

Duurzaam legionellabeheer in koeltorens

Slecht onderhouden natte koeltorens kunnen besmet zijn met Legionella. Dit kan Legionellose oftewel Veteranenziekte veroorzaken; een zeer ernstige ziekte. Professioneel beheer is derhalve noodzakelijk. Om legionellabesmettingen te bestrijden en te voorkomen, worden natte koeltorens gereinigd met chemicaliën zoals chloor, chloordioxide en hypochloriet. Dit zijn agressieve desinfectiemiddelen die na gebruik in het milieu terechtkomen. Dit is binnenkort echter niet meer nodig. Holland Water, GeoConnect-Sensing en Centre of Expertise Water Technology (CEW) hebben namelijk een milieuvriendelijk en duurzaam alternatief ontwikkeld.

N. (Nikolaj) Walraven, GeoConnect-Sensing; W. (Wiebe) Pool, Holland Water; C. (Conrad) Chapman, Holland Water en T. (Tjeerd) Rintjema, CEW; Peter van der Linde, Holland Water

Natte Koeltorens worden wereldwijd gebruikt voor klimaatbeheersing in gebouwen en voor warmteafvoer bij industriële processen. Het afvoeren van de overtollige warmte wordt gerealiseerd door het vernevelen en verdampen van koelwater in een open constructie. Omdat natte koeltorens vaak op het dak van gebouwen staan, kan nevel uit de open koeltorens zich bij voldoende wind over een groot gebied verspreiden. Bij onvoldoende onderhoud kunnen Legionellabesmettingen optreden in het koelwater, alsmede in de nevel. De besmette nevel kan zich via de lucht verspreiden. Dit gebeurde bijvoorbeeld in de zomer van 2006 in Amsterdam, met 3 doden en 31 zieken tot gevolg (Sonder et al., 2008). Meer recentelijk, in de periode oktober-november 2014, liepen 334 mensen in Vila Franca de Xira (Portugal) Legionellose op door besmette koeltorens (Shivaji et al., 2014). Uiteindelijk zijn 12 personen hieraan overleden (Shivaji et al., 2014). Het is evident dat legionellagroei in koeltorens dient te worden voorkomen en/of bestreden.

De standaardmanier om dit te doen is middels chemische reiniging met desinfectiemiddelen zoals chloor, chloordioxide en hypochloriet. Dit zijn oxiderende stoffen die vrije radicalen bevatten. Deze radicalen reageren - onder andere - met DNA, lipiden en proteïnen. Wanneer er voldoende van deze vrije radicalen aanwezig zijn, worden cellen van bijvoorbeeld Legionellabacteriën dermate beschadigd dat ze niet langer functioneren en afsterven (Westerlaken, 2006). Na gebruik komen de restanten van deze desinfectiemiddelen echter via het riool in het milieu terecht. Als residueel chloor reageert met organisch materiaal, kunnen trihalomethanen (THM) worden gevormd. Deze stoffen zijn bewezen carcinogeen (Lin et al. (1998A, 1998B); Nieuwenhuijsen et al. (2000); Kim et al. (2002); Ortolano et al. (2005)). Na lozing kan er sprake zijn van ernstige ecologische risico's. THM kunnen mogelijk micro-organismen in biologische waterzuiveringen en aquatische organismen in het oppervlaktewater nadelig beïnvloeden (Kim et al., 2002).

■ DUURZAAM ALTERNATIEF

In Nederland alleen zijn er naar schatting al meer dan 4000 natte koeltorens in gebruik (RIVM, 2016). Het beheer van deze koeltorens met chemicaliën brengt onnodige nadelige milieueffecten met zich mee. In 2014 hebben Holland Water, GeoConnect-Sensing (in samenwerking met Paleoterra) en CEW hun R&D krachten gebundeld en een systeem ontwikkeld voor duurzaam Legionellabeheer in koeltorens. Onder duurzaam wordt dan verstaan:

1. Het blijvend effectief bestrijden van Legionellabacteriën.
2. Het terugdringen van emissies van desinfectiemiddelen (zoals chloorverbindingen) naar het milieu.
3. Het nagenoeg volledig terugwinnen en hergebruik van middelen – circulariteit.
4. Een energiezuinige uitvoering van de behandeling.

Om duurzaam Legionellabeheer te kunnen realiseren:

1. Wordt gebruik gemaakt van koper- en

zilverionisatie om Legionella te bestrijden (Bifipro® Cool).

2. Is een terugwinmodule ontwikkeld om de gedoseerde hoeveelheden koper en zilver terug te winnen.
3. Is een sensor (door)ontwikkeld om de gedoseerde en teruggewonnen hoeveelheden koper en zilver te kunnen monitoren.
4. Is een sensor ontwikkeld om het functioneren van de waterontharder hoogfrequent te kunnen controleren.

KOPER- EN ZILVERIONISATIE

Het door Holland Water ontwikkelde systeem (Bifipro® Cool) maakt gebruik van koper- en zilverionisatie om legionellabesmettingen te voorkomen en/of effectief te bestrijden (foto1). Met behulp van deze techniek worden kleine hoeveelheden koper- en zilverionen in het koelwater en/of leidingwater gedoseerd. De koper- en zilverionen hechten zich, door elektrostatische banden, aan de geladen plekken van de bacteriële celwand. De wand wordt daardoor verzwakt en de zilverionen dringen de cel binnen, waar ze het DNA, RNA, enzymen en de aanwezige eiwitketens aantasten. Door dit proces wordt de reproductie van de bacterie gestopt (CTGB, 2007). In diverse studies is aangetoond dat bij concentraties van circa $400 \pm 100 \mu\text{g Cu/l}$ en $40 \pm 10 \mu\text{g Ag/l}$ Legionellabacteriën effectief kunnen worden bestreden (o.a. Liu et al., 1994, 1998; Lin et al., 1996; Rohr et al., 1996; Kiwa, 2006; Lin et al., 2011; RIVM, 2012; Walraven et al., 2016). Holland Water heeft een CTGB-toelating voor het Bifipro® systeem (CTGB, 2007). Niet alleen voor drinkwater, maar als enige in Nederland ook voor koelwater.

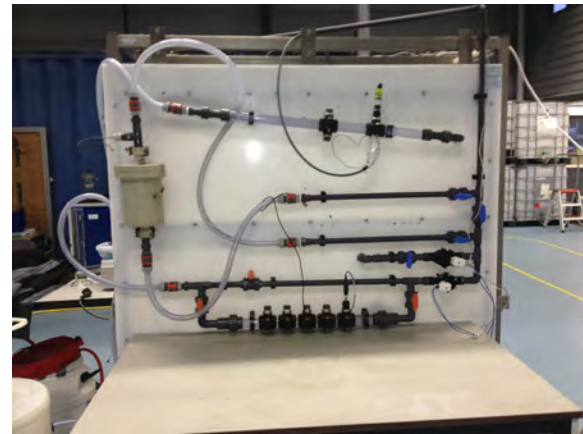


-Foto 1- Bifipro® systeem van Holland Water.

TERUGWINMODULE

Hoewel de gedoseerde hoeveelheden koper en zilver in principe onschadelijk zijn voor mens en dier (CTGB, 2007), is een terugwinmodule ontwikkeld om koper en zilver selectief terug te winnen (circulariteit). Hiermee wordt tevens voorkomen dat koper en zilver na behandeling

van het koelwater via het riool in het milieu terechtkomen. Elektrolytisch terugwinnen van metalen als koper en zilver uit afvalwater is een bekende techniek en wordt toegepast bij de behandeling van waterstromen in bijvoorbeeld de elektronische en galvanische industrie. Diverse commerciële apparaten zijn hiervoor beschikbaar, waarbij de afvalwaterstromen gewoonlijk worden geconditioneerd met diverse chemicaliën. De voorwaarden, gesteld bij de ontwikkeling van een proces voor het terugwinnen van koper- en zilverionen uit geloosd koelwater (FF IV project), zijn dat dit selectief en zonder toevoegingen van chemicaliën gebeurt. Bij dit proces worden de zilverionen elektrolytisch neergeslagen op gebruikte elektroden van de koper- en zilverionisatie. De zilverionen worden neerslagen op de gebruikte zilverelektroden en de koperionen op de gebruikte koperelektroden. Hergebruik van deze elektroden leidt tot een aanzienlijke reductie van het koper- en zilveragebruik. Bij koper- en zilverionisatie worden - middels gelijkstroom in afzonderlijke ruimtes - de koperionen en zilverionen geproduceerd bij de positief geladen koper en zilverelektroden. Deze ionen slaan bij de terugwinning weer neer op negatief geladen elektroden. Een belangrijk voordeel van de metalen koper en zilver is dat deze beide behoren tot de edele metalen. 'Zilver is edeler dan koper en zal dus eerder elektrolytisch uit een waterstroom kunnen worden teruggewonnen dan koper'. De chemische samenstelling van geloosd koelwater (onthard en ingedikt) vormt echter wel een probleem, rekening houdend met de lage concentraties aan koper- en zilverionen (gemiddeld $400 \pm 100 \mu\text{g Cu/l}$ en $40 \pm 10 \mu\text{g}$, fractie ca. 0,001 van de totale hoeveelheid ionen). Om de elektrochemische terugwinning van koper en zilver onder de knie te krijgen, is in eerste instantie een terugwinmodule gebouwd bestaande uit een kathodecilinder met grafietkorrels en een gecoate titaan-cilinder als anode. Door te experimenteren met de spanningsval en stroomsterkte over de elektroden is ervaring opgedaan met de selectieve terugwinning van koper en zilver op grafiet. Deze experimenten zijn uitgevoerd in het Waterapplicatiecentrum (WAC) te Leeuwarden (foto 2 en 3). Uit de testen in het WAC blijkt dat circa 50 % Cu en 85 % Ag kan worden teruggewonnen (en hergebruikt). Dit is gemeten met de Silco® Sensor (ook ontwikkeld in dit onderzoek) en gevalideerd met laboratoriumanalyses. De koper- en zilverconcentraties, gedoseerd in leidingwater in het WAC, komen overeen met die van koelwater. Echter, het zoutgehalte (geleidbaarheid) van koelwater is veel hoger. Daarom is de verdere ontwikkeling van de

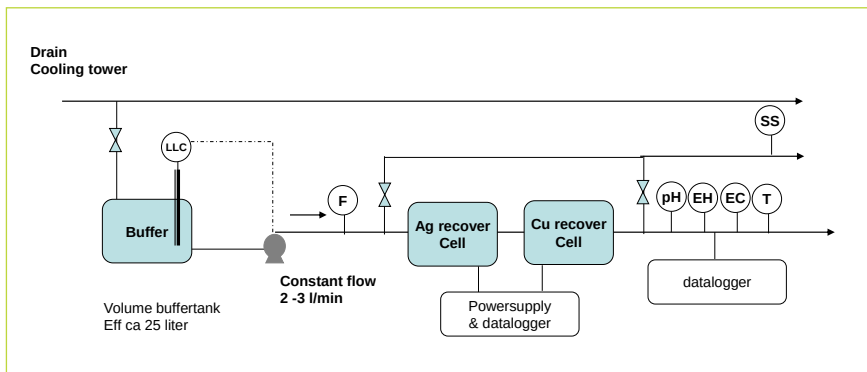


-Foto 2 en 3- Lab-opstelling geplaatst in het WAC. Op de bovenste afbeelding zijn de onderdelen geplaatst op een kunststof plaat met de diverse meetpunten o.a. Silco® Sensor en de terugwinmodule (grijze cilinder links) op basis van grafiet. Op de onderste afbeelding is de koper- en zilverionisatie-apparatuur (Bifipro®) geplaatst. De besturingskast regelt alle andere apparatuur en is via internet toegankelijk.

terugwinmodule uitgevoerd op een praktijklocatie (koeltoren bij grote Nederlandse instelling). Voor deze praktijktest zijn twee afzonderlijke terugwinmodules (koper en zilver) gebouwd. Hierbij zijn gebruikte koper en zilverelektroden als kathoden toegepast. Voor de juiste afregeling van de stroomsterkte door en spanning over de modules, worden de modules periodiek gescand en de daarmee verkregen data vergeleken met de geleidbaarheid, temperatuur, pH, redox en doorgestroomd debiet. In Figuur 1 en foto 4 zijn de schematische opbouw van de opstelling en een gedeelte van de praktische opstelling weergegeven. De proeven op de praktijklocatie waren ten tijde van dit schrijven nog in volle gang en zullen naar verwachting eind 2017 worden afgerond en gerapporteerd.

SILCO® SENSOR

Om het proces van koper- en zilverdosing en terugwinning te controleren is ook een sensor (door)ontwikkeld en ingezet die continu de koper- en zilverconcentraties monitort. Dit is de Silco® Sensor (foto 5). Deze sensor bestaat uit een werkelektrode, referentie-elektrode en



-Figuur 1- Schematische opstelling van de koper- en zilverterugwinmodule geplaatst op de praktijklocatie



-Foto 4- Deel van de opstelling van de koper- en zilverterugwinmodule op de praktijklocatie. Rechtsonder staan de buffertank en pomp en in het midden de plexiglazen koperterugwinmodule. De koperelektroden (niet zichtbaar) zijn geplaatst tussen gecoate titaanelektroden (zwart gaas). Bovenop deze terugwinmodule staat de microprocessor gestuurde voeding en datalogger. Achter de witte box is de zilver terugwinmodule geplaatst.

tel-elektrode. De werkelektrode is gemaakt van boron-gedoopte diamant, de tel-elektrode van platina en de referentie-elektrode is een zelfgemaakte 3 M KCl Ag/AgCl elektrode. De Silco® Sensor is gekoppeld aan een miniatuur potentiostat.

Met de potentiostat wordt een potentiaal aangelegd tussen de werkelektrode en de referentie-elektrode. Bij een bepaald potentiaal, dat parameterspecifiek is (circa -0,25 V voor Cu en 0,05 V voor Ag), vindt er een redoxreactie plaats op het oppervlak van de werkelektrode. Bij deze reactie loopt er stroom tussen de werkelektrode en de tel-elektrode. Door het potentiaal-afhankelijke stroomverloop uit te zetten in een figuur (voltamogram genoemd) kunnen de concentraties van de te meten elementen (bijvoorbeeld Cu en Ag) worden bepaald (figuur 2).

De prestatiekenmerken van de Silco® Sensor zijn onder laboratoriumcondities vastgesteld (Tabel 1). Uit dit onderzoek blijkt dat de detectiegrenzen van Cu en Ag respectievelijk 7 en 0,3 µg/l zijn. Het meetbereik is respectievelijk 7 tot 1500 µg/l voor Cu en 0,3 tot 80 µg/l voor



-Foto 5- Silco® Sensor

Ag. Met de Silco® Sensor is het dus mogelijk om water waaraan $400 \pm 100 \mu\text{g Cu/l}$ en $40 \pm 10 \mu\text{g Ag/l}$ is gedoseerd met het Bifipro® systeem te controleren op onder- en oversering. Momenteel wordt de Silco® Sensor getest volgens EN 16479 om te bepalen of de prestatiekenmerken voldoen aan prestatie-eisen voor watermonitoringsapparatuur voor water en afvalwater.

De Silco® Sensor is ingezet bij de ontwikkeling van de terugwinmodule en wordt momenteel samen met de terugwinmodule getest bij een grote Nederlandse instelling.

■ HARDHEIDSENSOR

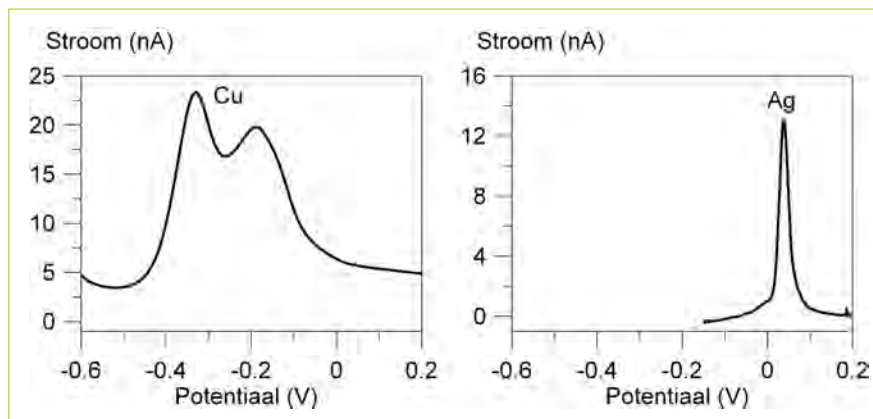
Om kalkaanslag in koeltorens te voorkomen, wordt het suppletiewater voor de koeltoren voor gebruik onthard. Dit gebeurt veelal met waterontharders met harskolommen waarin calcium- (Ca) en magnesium- (Mg) ionen worden omgewisseld voor natrium- (Na) ionen (ionenwisselaars). Als de waterontharder niet goed functioneert, of niet op tijd wordt geregenereerd, kan er alsnog kalkaanslag optreden in koeltorens. Dit dient te worden voorkomen. Kalkaanslag is namelijk een ideale bodem voor de groei van algen en bacteriën, waaronder Legionella. Bovendien is koper- en zilverionisatie dan minder effectief, omdat de koper- en zilverionen kunnen neerslaan met de kalk. Het verwijderen van kalkaanslag in koeltorens is kostbaar. De koeltorens moeten worden stilgelegd en kalkaanslag wordt meestal middels

hogedrukreiniging verwijderd. Behalve de Silco® Sensor is daarom ook een hardheidsensor ontwikkeld. Deze sensor zal binnenkort op de markt worden gebracht onder de naam Sodi Sensor. Met de deze sensor kan het functioneren van de waterontharders continu gemonitord en bijgestuurd worden. Dit draagt bij aan een duurzaam legionellabeheer in koeltorens. Het werkingsprincipe van de Sodi Sensor is gebaseerd op het meten van natrium (Na) voor en na de waterontharder. Natrium wordt gemeten in een bypass met een in eigen beheer ontwikkelde Na-specifieke elektrode en referentie-elektrode (foto 6). Indien de waterontharder goed functioneert, is de natriumconcentratie na de waterontharder hoger (mate is afhankelijk van de hoeveelheid Ca en Mg in het ruwe water) dan voor de waterontharder. Om dit te kunnen vaststellen, is een verschilmeting van Na voldoende (delta Na uitgedrukt in mV). Omdat het een verschilmeting betreft, is het niet noodzakelijk om de Na-specifieke elektrode te kalibreren. Dit resulteert in een robuuste en onderhoudsarme toepassing.

De ontwikkelde sensor is eerst onder laboratoriumcondities getest. Uit deze testen blijkt dat het lineaire meetbereik ligt tussen 0,4 en ten minste 2300 mg/l (de bovengrens is niet vastgesteld). Natriumconcentraties in niet-onthard en onthard suppletiewater voor koeltorens variëren tussen circa 5 en 300 mg/l. Dit ligt binnen het lineaire meetbereik van de hardheidsensor. De nauwkeurigheid van de sensor voor het onderzochte meetbereik is $\pm 10\%$ relatief. Uit een duurtest - die nog steeds loopt - blijkt dat de levensduur van de sensor langer is dan 1 jaar.

Na de laboratoriumtesten is de sensor onder semi-praktijkcondities getest in het WAC. In het WAC is één Sodi Sensor voor en één Sodi Sensor na een waterontharder geplaatst (direct in de waterflow). Bij aanvang van de test is de waterontharder volledig geregenereerd. Vervolgens is met een flow van circa 1,2 l/min leidingwater onthard. Deze test is meerdere malen herhaald. Ter illustratie zijn de resultaten van één van deze testen weergegeven in figuur 3.

In figuur 3 is te zien dat bij aanvang van het experiment het verschil tussen voor en na de waterontharder circa 15 mV is (Delta Na). Na 5 uur is te zien dat het verschil begint af te nemen. Dit duidt op een afname in de werking van het hars in de waterontharder (verzadiging). De waterontharder zou eigenlijk vanaf dit moment geregenereerd moeten worden voor een volledige werking. Na 12 uur is het verschil tussen beide sensoren nog circa 2 mV. Het hars is nagenoeg volledig uitgeput. Gedurende de test zijn watermon-



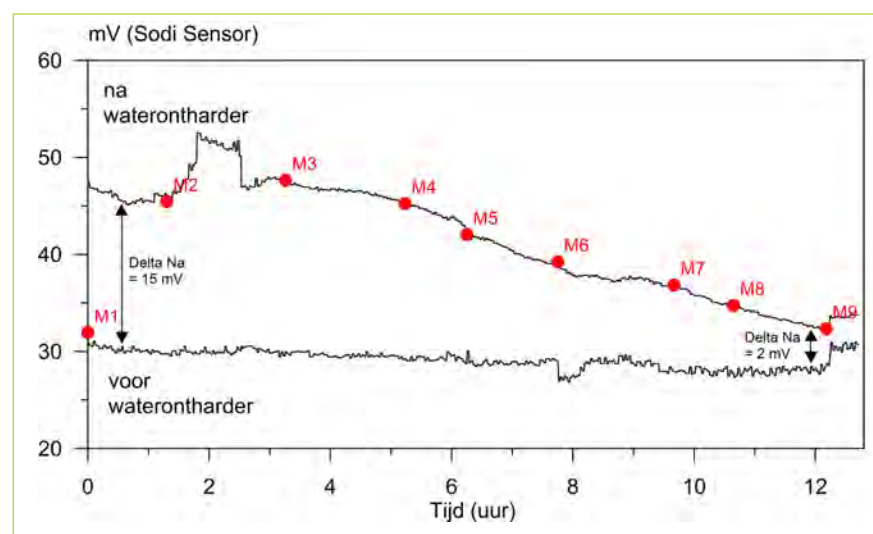
-Figuur 2- De piekhoogte of het piekoppervlak zijn een maat voor de concentratie van de betreffende parameter.

Parameter	Detectiegrens (mg/l)	Meetbereik (mg/l)	Gevoeligheid (nA/mg/l)
Cu	7	7 - 1500	0,35
Ag	0,3	0,3 - 80	3,36

-Tabel 1- Prestatiekenmerken van de Silco® Sensor bepaald onder laboratorium condities (in aangezuurde monsters)



-Foto 6- De Sodi Sensor in bypass tijdens praktijktest in een grote instelling



-Figuur 3- Gemeten potentiaal (mV) met de Sodi Sensor in het leidingwater: voor en na een waterontharder. (* monstername voor Vitens analyse). De meetfrequentie is ingesteld op 30 seconden.

sters genomen (figuur 3; M1 t/m M9). Deze monsters zijn geanalyseerd door Vitens. Uit deze resultaten blijkt dat het inkomende water circa 80 mg/l Na, 40 mg/l Ca en 10 mg/l Mg bevat (M1). Het ontharde water (M2 en M3) bevat circa 138 mg/l Na, 0,8 mg/l Ca en 0,1 mg/l Mg. Dit komt zeer goed overeen met de gekalibreerde meetresultaten van de sensor (de natriumconcentratie voor de waterontharder is 79 mg/l (M1) en na de waterontharder 142 mg/l (M2 en M3)). Na 5 uur nemen de Na-concentraties langzaam af en de Ca- en Mg-concentraties langzaam toe tot de oorspronkelijke waarden van niet-onthard water. Uit deze test blijkt dat de verschilmeting van Na gebruikt kan worden om,

1. te bepalen of de waterontharder goed functioneert en
2. een signaal aan de waterontharder te geven dat deze geregenereerd dient te worden.

Om de werking van de Sodi Sensor ook in de praktijk te kunnen aantonen is de sensor in een bypass van het wateronthardingssysteem van een koeltoren in een grote Nederlandse installatie geplaatst (foto 7). Via een kleppensysteem is, afwisselend, water voor en water na de sensor naar de bypass gestuurd. Met deze setup hoeft er slechts met 1 sensor te worden gemeten. Voor onderzoeksdoeleinden zijn er toch 2 gebruikt. Tevens is het mogelijk om in de bypass in stilstaand water te meten. Dit verdient de voorkeur, omdat stromend water de mV-meting beïnvloedt.

In de periode 13 april t/m 29 mei is continu gemeten met de Sodi Sensor (elke 2 minuten een meting). Ten tijde van dit schrijven liep de proef nog door. Voorafgaand aan (op 8 maart) en gedurende de proef (figuur 4) zijn enkele watermonsters genomen, welke door Vitens zijn geanalyseerd. Het inkomende water (water voor waterontharder) bevat gemiddeld 81 mg/l Na, 31 mg/l Ca en 10 mg/l Mg. De Duitse hardheid is 6,7. Op basis van deze gegevens is berekend dat het ontharde water theoretisch gezien 136 mg/l Na dient te bevatten, hetgeen overeenkomt met een delta Na (potentiaal gemeten in water na waterontharder minus potentiaal gemeten in water voor waterontharder), gemeten met de Sodi Sensor van circa 12 mV. In figuur 4 is delta Na en de berekende Duitse hardheid uitgezet tegen de metingsdata.

In figuur 4 is te zien dat delta Na varieert tussen circa 11 en 13 mV met een gemiddelde van 12 mV. Dit komt overeen met een gemiddelde Duitse hardheid van 0. Hieruit kan worden geconcludeerd dat het wateronthardingssysteem in de grote installatie goed functioneert (lees op tijd wordt geregenereerd) en dat het water nagenoeg volledig onthard was gedurende de testperiode. Dit wordt bevestigd

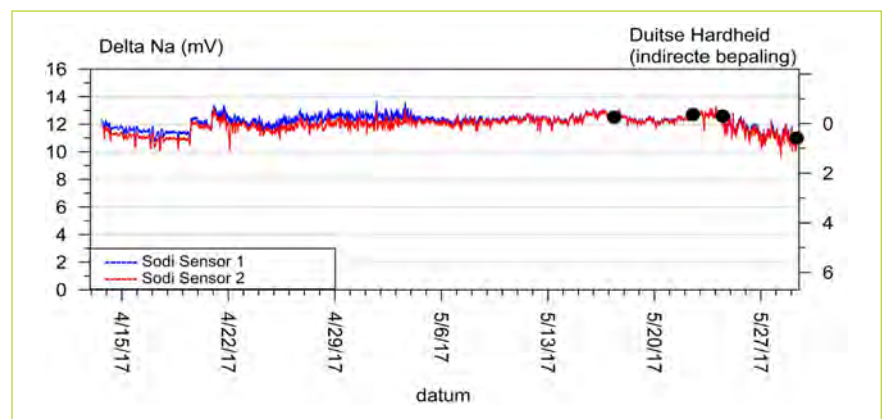


-Foto 7- Sodi Sensor in de bypass van een wateronthardingssysteem tijdens de praktijktest bij een grote Nederlandse installatie

door de Vitens-resultaten. Volgens de Vitens-analyses bevat het ontharde water gemiddeld 134 mg/l Na, <0,5 mg/l Ca en < 0,1 mg/l Mg. De Duitse hardheid volgens de Vitens-analyses is <0,1. In principe hoeft het koelwater niet volledig onthard te worden. Een hardheid van circa 2°dH is geschikt voor koelwater en is bovendien minder corrosief voor de koeltoren. Dit onderzoek toont aan dat met de ontwikkelde sensor hoogfrequent, betrouwbaar en goedkoop het functioneren van een waterontharder (ionenwisselaar) kan worden gecontroleerd. Bovendien is de sensor robuust en onderhoudsvriendelijk. Op basis van de meetgegevens van de sensor kan in principe de regeneratie van de waterontharder worden aangestuurd. Op de testlocatie (grote installatie) blijkt dat de waterontharders op tijd worden geregenereerd (op basis van flowmetingen). Maar wordt het wateronthardings-systeem hier niet veel te snel geregenereerd? Bovendien is de waterhardheid niet altijd constant en neemt de uitwisselingscapaciteit van hars tijdens gebruik af. Door met de ontwikkelde sensor continu de werking van de waterontharder te controleren, kan precies bepaald worden wanneer regeneratie noodzakelijk is. Dit maakt dat er efficiënter kan worden omgegaan met regeneratiezout en voorkomt scaling van de koeltoren.

CONCLUSIES

Holland Water, GeoConnect-Sensing en CEW hebben technieken ontwikkeld die duurzaam Legionellabeheer voor koeltorens mogelijk maken. Met de Sodi Sensor wordt continu gecontroleerd of het suppletiewater, bestemd voor koeltorens, wel volledig onthard is. Met Bifipro® Cool worden in het ontharde suppletiewater nauwkeurig kleine hoeveelheden koper en zilver gedoseerd. Hiermee worden Legionellabesmettingen effectief bestreden. De Silco® Sensor meet periodiek de koper- en zilverconcentraties in het koelwater zodat er geen sprake is van onderdosering (dan wordt Legionella niet effectief bestreden) noch van overdosering (dan komt er meer koper en zilver in het milieu dan noodzakelijk). De terugwinmodule zorgt er vervolgens voor dat de



-Figuur 4- Delta Na en de berekende Duitse hardheid versus de meetdatum in het suppletiewater van een koeltoren in een grote installatie. De meetfrequentie is ingesteld op 2 minuten (* monsternamen voor Vitens-analyse).

gedoseerde hoeveelheden koper en zilver uit het water worden gehaald zodat dit niet met het spuiwater in het riool terechtkomt. Deze combinatie van technieken is Legionellabeheer koeltorens 2.0 – veilig, schoon én duurzaam.

DANKWOORD

De ontwikkeling van bovengenoemde technieken is mogelijk gemaakt door subsidie van het ministerie van Economische Zaken, SNN en de Provincie Friesland (FF IV).

REFERENTIES

- CTGB (2007). Het college voor de toelating van gewasbeschermingsmiddelen en biociden. Toelatingsnummer 13292 N. Werkzame stoffen koper en zilver ter bestrijding van Legionella.
- Kim, B.R., Anderson, J.E., Mueller, S.A., Gaines, W.A., Kendall, A.M. (2002). Literature review – efficacy of various disinfectants against Legionella in water systems. Water Res. 36, 4433-4444.
- KIWA Water Research (2006). Evaluatie van praktijktesten met alternatieve technieken voor Legionellapreventie. Koper / zilver-ionisatie, anodische oxidatie (waaronder elektrodiagramanalyse), pasteurisatie en ultrafiltratie. KWR 05.066. Nieuwegein, Nederland.
- Lin, Y.E., Vidic, R.D., Stout, J.E., Yu, V.L. (1996). Individual and combined effects of copper and silver ions on inactivation of Legionella pneumophila. Wat. Res. 30 (8), 1905-1913.
- Lin, Y.E., Stout, J.E., Yu, V.L., Vidic, R.D. (1998A). Disinfection of water distribution systems for Legionella. Semin. Respir. Infect. 13 (2), 147-159.
- Lin, Y.E., Vidic, R.D., Stout, J.E., Yu, V.L. (1998B). Legionella in water distribution systems. AWWA journal 90 (9), 112-121.
- Lin, Y.E., Stout, J.E., Yu, V.L. (2011). Controlling Legionella in hospital drinking water: An evidence-based review of disinfection methods. Infect. Control. Hosp. Epidemiol. 32, 166-173.
- Liu, Z., Stout, J.E., Tedesco, L., Boldin, M., Hwang, C., Diven, W.F., Yu, V.L. (1994). Controlled evaluation of copper-silver ionization in eradicating Legionella pneumophila from a hospital warm water distribution system. J. Infect. Dis. 169, 919-922.
- Liu, Z., Stout, J.E., Boldin, M., Rugh, J., Diven, W.F., Yu, V.L. (1998). Intermittent use of copper-silver ionization

- for Legionella control in water distribution systems: a potential option in buildings housing individuals at low risk of infection. Clin. Infect. Dis. 26, 138-140.
- Nieuwenhuijsen, M.J., Toledano, M.B., Eaton, N.E., Fawell, J., Elliott, P. (2000). Chlorination disinfection byproducts in water and their association with adverse reproductive outcomes: a review. Occup. Environ. Med. 57, 73-85.
- Ortolano, G.A., McAlister, M.B., Angelbeck, J.A., Schaffer, J., Russell, R.L., Maynard, E., Wenz, B. (2008). Hospital water point-of-use filtration: a complementary strategy to reduce the risk of nosocomial infection. Am. J. Infect. Control. 33, S1-S19.
- RIVM (2012). Schalk, J.A.C., Bartels, A.A., De Roda Husman, A.M. Effectiviteit van beheerstechnieken voor Legionella in drinkwaterinstallaties. RIVM rapport 703719078, Bilthoven, Nederland.
- RIVM (2016). Schets, F.M., Schalk, J.A.C., Van de Veerdonk, P.A.M., Bartels, A., Versteegh, J.F.M. Natte koeltorens: registratie, toezicht en handhaving in verband met legionellapreventie. RIVM rapport 2016-0109, Bilthoven, Nederland.
- Rohr, U., Senger, M., Selenka, F., Turley, R., Wilhelm, M. (1999). Four years of experience with silver-copper ionization for control of Legionella in a German university hospital hot water plumbing system. Clin. Infect. Dis. 29, 1507-1511.
- Shivaji, T., Sousa Pinto, C., San-Bento, A., Oliveira Serra, L.A., Valente, J., Machado, J. et al. (2014). A large community outbreak of Legionnaires disease in Vila Franca de Xira, Portugal, October to November 2014. Euro Surveill. 19 (50).
- Sonder, G.J., Van den Hoek, J.A., Bovée, L.P., Aanheer, F.E., Worp, J., Du Ry van Beest Holle, M. et al. (2008). Changes in prevention and outbreak management of Legionnaires disease in the Netherlands between two large outbreaks in 1999 and 2006. Euro Surveill. 13 (38).
- Walraven, N., Pool, W., Chapman, C. (2016). Efficacy of copper-silver ionization in controlling Legionella in complex water distribution systems and a cooling tower: Over 5 years of practical experience. Journal of Water Process Engineering 13, 196-205.
- Westerlaken, M. (2006). Biological mechanism behind Legionella control. Report number P-UB-2006-05. Science Shop for Biology, Utrecht University, The Netherlands. <http://dspace.library.uu.nl/handle/1874/44805> (last accessed September 2016).