

Bevesierweg, Gebouw MML
(Fort Harssens) --
1781 CA Den Helder
Postbus 505
1780 AM Den Helder

www.tno.nl

T +31 88 866 38 01
F +31 88 866 65 56
infodesk@tno.nl

TNO-rapport

TNO 2012 R10424

Bepaling corrosiesnelheid van koperen leidingen voor en na de AquaCell waterontharder

Deel 2: Bepaling corrosiesnelheid na 10, 11 en 12 maanden

Datum	10 september 2012
Auteur(s)	R. Biersteker
Exemplaarnummer	
Oplage	
Aantal pagina's	14 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	
Opdrachtgever	Aquacombi
Projectnaam	
Projectnummer	033.26128/01.03

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, foto-kopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belang-hebbenden is toegestaan.

© 2012 TNO

Samenvatting

Kalkaanslag in huishoudelijke apparaten en waterleidingen vormt een bedreiging voor de levensduur ervan. Door gebruik van onthard water is deze bedreiging op de levensduur van waterleiding en apparaten te voorkomen. Door toepassing van een waterontharder kan in waterleidingnetwerken met kalkrijk water een oplossing worden gevonden voor het kalkafzettingprobleem. Deze waterontharders werken volgens het principe waarbij calcium- en magnesiumionen worden omgewisseld voor natriumionen. Aquacombi Nederland heeft TNO gevraagd onderzoek te doen naar de invloed van een waterontharder op de aantasting van koperen leidingen.

Uit het experimentele onderzoek is de volgende conclusie getrokken:

De corrosiesnelheid van koperen waterleidingen die gemonteerd zijn na een optimaal werkende AquaCell waterontharder is lager dan die in koperen waterleidingen zonder AquaCell waterontharder.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	4
2	Experimentele procedure	5
2.1	Beschrijving van de gewijzigde proefopstelling	5
2.2	Bepaling corrosiesnelheid door middel van gewichtsafname	6
2.3	Bepaling corrosiesnelheid door middel van polarisatie metingen	6
2.4	Metingen leidingwaterkwaliteit	7
2.5	Visuele inspectie	7
3	Meetresultaten	8
3.1	Corrosiesnelheid door middel van bepaling gewichtsafname	8
3.2	Bepaling corrosiesnelheid door middel van polarisatieweerstand metingen	9
3.3	Bepaling leidingwaterkwaliteit voor en na de waterontharder.	9
3.4	Visuele inspectie	10
4	Discussie	11
5	Conclusie	12
	Bijlage	13
	Ondertekening	Error! Bookmark not defined.

1 Inleiding

Door toepassing van een waterontharder kan in waterleidingnetwerken met kalkrijk water een oplossing worden gevonden voor kalkafzetting. Het is niet duidelijk of de toepassing van waterontharders, die werken volgens het principe waarbij calcium- en magnesium-ionen omgewisseld worden door natrium-ionen, schadelijke bijwerking hebben met als gevolg aantasting van de koperen leidingen. Aquacombi Nederland heeft TNO gevraagd onderzoek te doen naar de invloed van een ionenwisselaar op de aantasting van koperen leidingen.

Het onderzoek zal in 2 gedeelten worden uitgevoerd. Deel 1 omvat de proefopzet, voorbereidende werkzaamheden, installatie van de AquaCell waterontharder en metingen van de waterkwaliteit voor en na de AquaCell waterontharder na inbedrijfstelling.

Het experimentele onderzoek van deel 1 (TNO-rapport MMPC RAP-11-00076) is door TNO uitgevoerd met financiële ondersteuning van Senter Novem door middel van een grote innovatie voucher, referentie nummer G102864.

Bij het in dit rapport (deel 2) beschreven onderzoek wordt na 10, 11 en 12 maanden de corrosiesnelheid bepaald. Deze wordt berekend uit de gewichtsafname van de individuele koperen buissegmenten en bovendien wordt de corrosiesnelheid via polarisatieweerstandmetingen bepaald.

2 Experimentele procedure

De corrosiesnelheid wordt berekend uit:

- a. Gewichtsafname van de afzonderlijke buissegmenten
- b. Polarisiëweerstandmetingen.

De proefopstelling en proefopzet zoals beschreven in deel 1 van het onderzoek (rapport MMPC RAP-11-00076) is in overleg met de opdrachtgever gewijzigd. In de oorspronkelijke afgesproken proefopzet is de expositie mislukt door:

1. een te grote variatie in de waterdruk voor de waterontharder veroorzaakt door een brackingtank in het waterleidingsysteem
2. een te hoge initiële druk na de AquaCell waterontharder van 1,4 bar, veroorzaakt door toepassing van verkeerde koppelstukken.

De proefopzet is gewijzigd en expositie is opnieuw gestart.

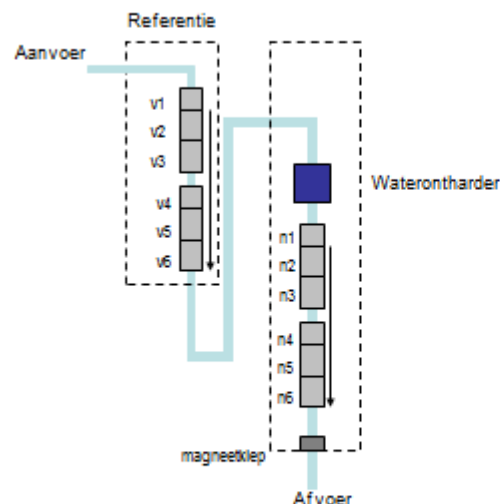
2.1 Beschrijving van de gewijzigde proefopstelling

De experimentele opstelling bestaat uit 2 secties met nieuwe koperen leidingstukken, handelskwaliteit, met een uitwendige diameter van 15 mm en een wanddikte van 0,9 mm. Een schematische voorstelling is in figuur 1 weergegeven. De eerste sectie bestaat uit 6 leidingsegmenten van elk 70 mm lengte gemonteerd voor de Aquacell waterontharder. Deze sectie dient als referentie en hier stroomt onbehandeld leidingwater door. De tweede sectie bevat eveneens 6 leidingsegmenten van elk 70 mm lengte en is na de waterontharder geplaatst. Hier stroomt onthard water door (figuur 2).

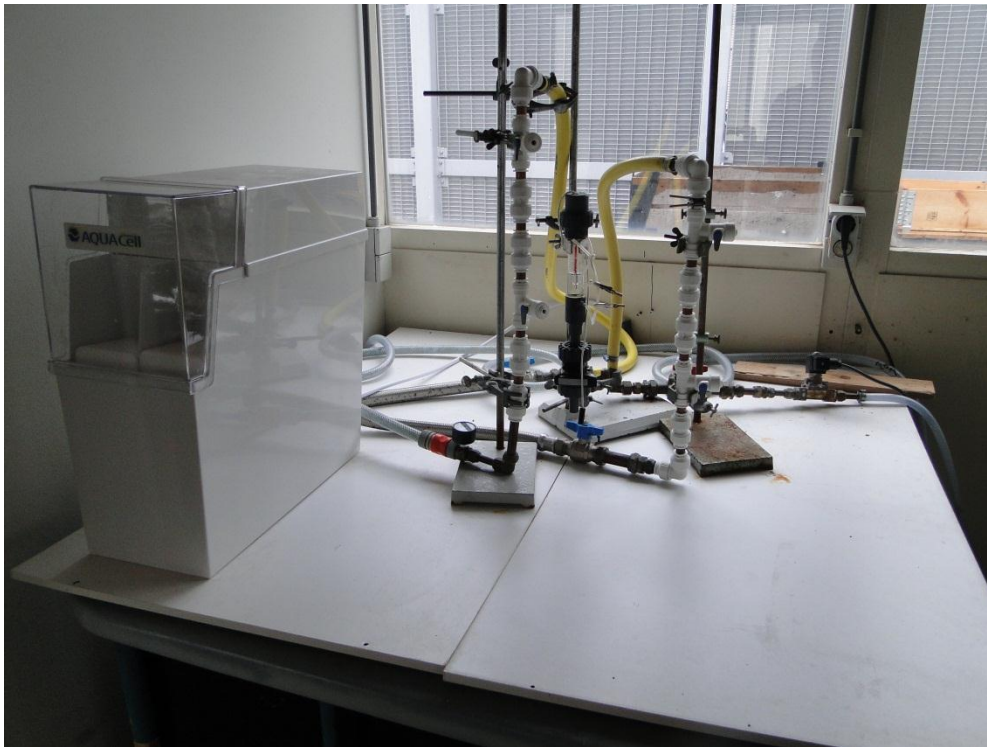
De stromingcyclus door de AquaCell is afwisselend:

15 minuten waterdoorvoer – 5 uur en 45 minuten geen waterdoorvoer.

Het debiet is 500 liter/uur.



Figuur 1: Schematische weergave proefopstelling.



Figuur 2: Proefopstelling met AquaCell waterontharder.

2.2 Bepaling corrosiesnelheid door middel van gewichtsafname

Voor de expositie zijn de lengten van de individuele leidingsegmenten met behulp van een schuifmaat gemeten en is de inwendige diameter vastgesteld. Het inwendig oppervlak van de buissegmenten is met alcohol schoongemaakt en ontvet. Met behulp van een analytische balans (Mettler, nauwkeurigheid 0,01 mg) zijn alle leidingsegmenten individueel gewogen. Dit is voor expositie (0 maanden) en na 10, 11 en 12 maanden uitgevoerd. Voor de gewichtsmetingen na 10, 11 en 12 maanden zijn de buissegmenten voor weging gespoeld met gedemineraliseerd water en vervolgens aan de lucht gedroogd. Uit de gewichten wordt het gewichtsverlies per oppervlakte-eenheid in mg/dm^2 berekend. Vervolgens wordt per expositieperiode de corrosiesnelheid in $\text{mg}/\text{dm}^2/\text{dag}$ (mdd) berekend. Door de corrosiesnelheid in mdd te delen door 4,1 wordt de corrosiesnelheid geconverteerd in de wanddikte afname in $\mu\text{m}/\text{jaar}$.

2.3 Bepaling corrosiesnelheid door middel van polarisatieweerstandmetingen

Door middel van polarisatieweerstandmetingen kan van buissegmenten waardoor water stroomt de corrosiesnelheid worden bepaald. Van de segmenten V2, V5, N2 en N5 zijn in duplo na 10, 11 en 12 maanden polarisatieweerstandmetingen uitgevoerd. In de bijlage polarisatieweerstandmetingen staat deze meetmethodiek beschreven.

2.4 Metingen leidingwaterkwaliteit

Voor en na de waterontharder is bij de start en na 10, 11 en 12 maanden de totale hardheid in °D, pH, temperatuur in °C, en de geleidendheid in µS/cm gemeten.

2.5 Visuele inspectie

Na 10, 11 en 12 maanden zijn de buissegmenten visueel onderzocht op mogelijke aantasting. Na afloop van de expositie zijn de buissegmenten in de lengte richting doorgezaagd en is de passieve laag op het inwendig oppervlak onderzocht. Hierbij is een stereomicroscop (Olympus, vergroting 10x) gebruikt.

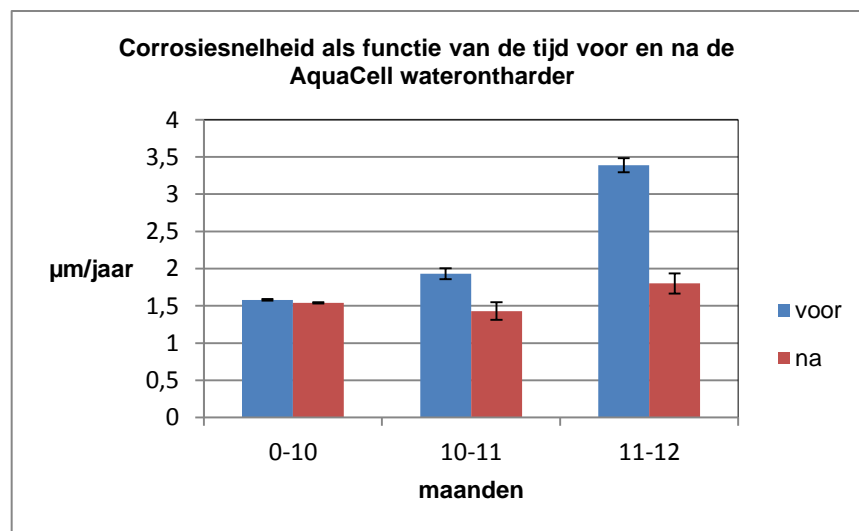
3 Meetresultaten

3.1 Corrosiesnelheid door middel van bepaling gewichtsafname

De gemiddelde corrosiesnelheden van de buissegmenten van voor en na de waterontharder zijn in tabel 1 vermeld. In figuur 1 zijn de resultaten in een staafdiagram weergegeven.

Tabel 1: Corrosiesnelheden voor en na de AquaCell waterontharder na 10, 11 en 12 maanden expositie.
 mdd = mg/dm²/dag s_{n-1}= standaard deviatie

Expositie-periode maanden	Corrosiesnelheid in mdd				Corrosiesnelheid in µm/jaar			
	voor AquaCell waterontharder		na AquaCell waterontharder		voor AquaCell waterontharder		na AquaCell waterontharder	
	Gemidd	S _{n-1}	Gemidd	S _{n-1}	Gemidd	S _{n-1}	Gemidd	S _{n-1}
0-10	0,39	0,00126	0,38	0,00100	1,58	0,0052	1,54	0,0042
10-11	0,47	0,00892	0,35	0,01447	1,93	0,0366	1,43	0,0593
11-12	0,83	0,01141	0,45	0,01666	3,39	0,0468	1,80	0,0683



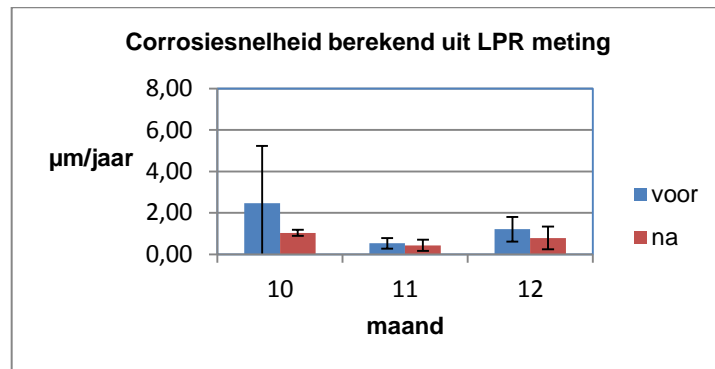
Figuur 3: Corrosiesnelheid uitgedrukt in afname wanddikte in micrometers per jaar. Tweemaal de standaard deviatie is als error bar weergegeven.

3.2 Bepaling corrosiesnelheid door middel van polarisatieweerstand metingen

De metingen van de polarisatieweerstand zijn uitgevoerd tijdens waterafname van de AquaCell. De gemiddelde corrosiesnelheden in micrometer per jaar zijn vermeld in tabel 2. In figuur 4 zijn de meetresultaten grafisch weergegeven.

Tabel 2: Corrosiesnelheden uitgedrukt in afname wanddikte in micrometer per jaar. s_{n-1} = standaard deviatie.

Expositie tijd Maand	Voor AquaCell waterontharder		Na AquaCell waterontharder	
	Gemidd, $\mu\text{m}/\text{jaar}$	S_{n-1}	Gemidd, $\mu\text{m}/\text{jaar}$	S_{n-1}
10	2,46	2,77	1,03	0,15
11	0,53	0,26	0,43	0,27
12	1,21	0,60	0,79	0,55



Figuur 4: Corrosiesnelheid berekend uit de polarisatieweerstand metingen (LPR) uitgedrukt in afname wanddikte in micrometer per jaar. De standaard deviatie is als error bar weergegeven.

3.3 Bepaling leidingwaterkwaliteit voor en na de waterontharder,

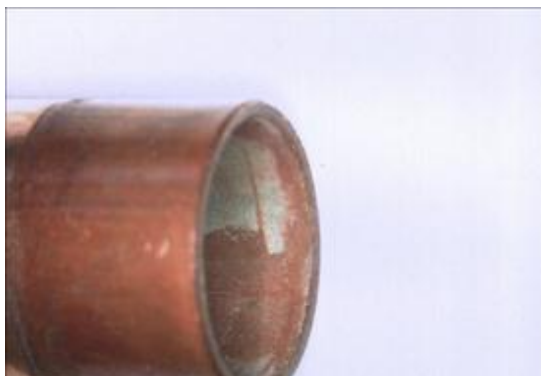
Na de start en na 10, 11 en 12 maanden is de kwaliteit van het leidingwater bepaald. De resultaten staan in tabel 3.

Tabel 3: Kwaliteit leidingwater voor en na de AquaCell waterontharder.

parameter	0 maanden		10 maanden		11 maanden		12 maanden	
	voor AquaCell	na AquaCell	voor AquaCell	na AquaCell	voor AquaCell	na AquaCell	voor AquaCell	na AquaCell
Totale hardheid in °D	10,4	0,5	9,9	0	9,2	0	8,9	0
Alkaliniteit p getal mmol/liter	0,3	0,2	0,1	0	0	0	0	0
m getal mmol/liter	2,4	2,1	2,1	2,3	3,0	2,6	2,5	2,5
pH	7,94	8,18	8,17	8,25	7,97	8,08	8,10	8,15
Temperatuur bij meting °C	17,8	17,7	14,0	15,1	15,5	16,0	18,8	18,7
Geleidendheid in $\mu\text{S}/\text{cm}$	585	599	582	572	595	582	646	582

3.4 Visuele inspectie

Na 10 maanden is de eerste inspectie van het inwendige oppervlak uitgevoerd. Na 11 en 12 maanden zijn bij de inspecties geen veranderingen geconstateerd t.o.v. de inspectie van 10 maanden. De buissegmenten voor de AquaCell waterontharder bezitten een passieve laag, die roodbruin van kleur is met groene banen (figuur 5). De buissegmenten na de AquaCell hebben een passieve roodbruine laag (figuur 6). Na expositie zijn van de in de lengterichting doorgezaagde buissegmenten de inwendige oppervlakken onder de lichtmicroscop geïnspecteerd. Er zijn geen putten of ernstige aantastingen gevonden. De microscoop opnamen van de doorgezaagde buissegmenten V4 en N4 zijn in de figuren 7 en 8 te zien.



Figuur 5: Buissegment V4 uitstroomzijde passieve laag is roodbruin en groen.



Figuur 6: Buissegment N4 uitstroomzijde passieve laag is roodbruin.



Figuur 7: Microscop foto van buissegment V4 voor waterontharder; groene baan op roodbruine ondergrond vergroting 10x.



Figuur 8: Microscop foto buissegment N4 na waterontharder; dunne roodbruine laag vergroting 10x.

4 Discussie

Bij de bepaling van de corrosiesnelheid is met beide meetmethoden geconstateerd dat door gebruik van de AquaCell waterontharder de corrosiesnelheid van koper lager wordt. De bepaling van de corrosiesnelheid via de polarisatieweerstandmeting is minder nauwkeurig dan de meting via de gewichtsafname. De laatste geeft de gemiddelde corrosiesnelheid over een bepaalde periode, terwijl de corrosiesnelheid berekend uit de polarisatieweerstand een momentopname is.

De corrosiesnelheid berekend uit de polarisatieweerstand vertoont bij de metingen van 10 maanden voor de AquaCell waterontharder een grote spreiding. Dit wordt veroorzaakt doordat de gemiddelde corrosiesnelheid van de duplo bepaling van buissegment V2 sterk afwijkt van die van V5. Visueel is geen verschil in aantastingspatroon tussen beide buissegmenten gevonden.

Tussen de gevonden waarden van de corrosiesnelheden berekend uit de gewichtsafname na 10 maanden is geen groot verschil gevonden tussen beide buissegmenten.

Het droogstaan van de buissegmenten voor de gewichtsbepaling kan invloed hebben op de passieve laag. Door uitdroging kan crackvorming ontstaan, wat invloed op de corrosiesnelheid kan hebben. Crackvorming is niet geconstateerd bij het visuele en microscopisch onderzoek.

5 Conclusie

Uit het experimentele onderzoek naar de invloed van de AquaCell waterontharder op de corrosiesnelheid van koperen buis kan het volgende worden geconcludeerd:

De corrosiesnelheid van koperen drinkwaterleidingen die gemonteerd zijn na een optimaal werkende AquaCell waterontharder is lager dan die in koperen drinkwaterleidingen zonder AquaCell waterontharder.

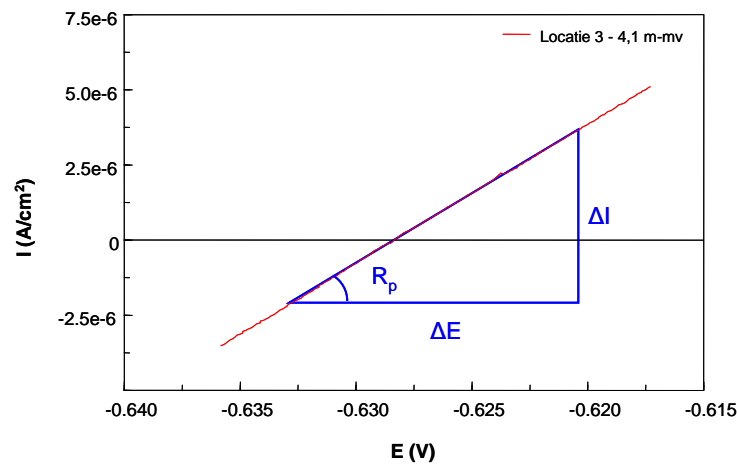
Bijlage

Polarisatieweerstandmeting

Bij polarisatieweerstand metingen wordt de open corrosiepotentiaal (OCP) ten opzichte van een verzadigde Ag/AgCl referentie-elektrode gemeten. Na stabilisatie van de OCP is de polarisatieweerstand (R_p) meetbaar.

Door een potentiaalscan van ca. -10 tot +10 mV rond de OCP uit te voeren, kan uit de helling in het potentiaal-stroom-diagram de R_p worden vastgesteld.

Een voorbeeld hiervan is hieronder weergegeven in figuur 9.



Figuur 9: Voorbeeld van bepaling R_p uit het potentiaal-stroomdiagram.

Met behulp van de berekende R_p en de volgende vergelijking kan de corrosiestroom berekend worden:

$$i_{corr} = \frac{B}{R_p}$$

i_{corr} de corrosiestroom (A/cm^2).

B proportionaliteitsconstante, 21 mV voor koper.

R_p de berekende polarisatieweerstand (Ω).

Met i_{corr} is vervolgens de corrosiesnelheid te bepalen:

$$Corrosiesnelheid = \frac{i_{corr} \cdot EW \cdot 10}{\rho \cdot F}$$

Corrosiesnelheid $\mu m/j$.

EW het equivalentgewicht; de relatieve atoommassa gedeeld door het aantal elektronen dat bij de corrosiereactie wordt overgedragen.

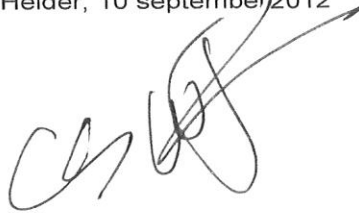
ρ de dichtheid van koper (g/cm^3).

F Faraday constante; de hoeveelheid elektrische lading van 1 mol elektronen = 96,485,3 C/mol.

10 conversiefactor om als resultaat de corrosiesnelheid in $\mu m/j$ te krijgen.

Ondertekening

Den Helder, 10 september 2012

A handwritten signature in black ink, consisting of several loops and a long horizontal stroke extending to the right.

Drs. C.S.W. Prent
Afdelingsmanager

TNO – MPC

A handwritten signature in black ink, featuring a complex, circular scribble followed by a long horizontal stroke extending to the right.

R. Biersteker
Auteur