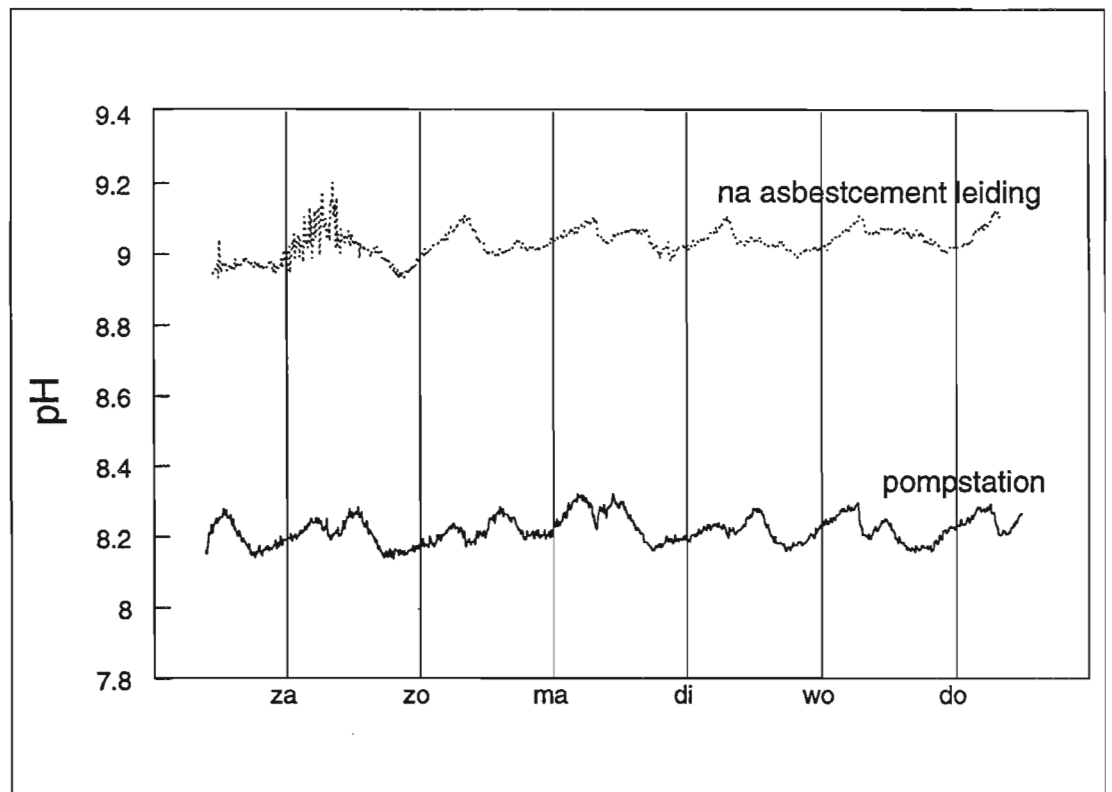


uitloging van calciumhydroxide bij cementhoudende leidingmaterialen



SWE 93.035

uitloging van calciumhydroxide bij cementhoudende leidingmaterialen

Opdrachtgever : VEWIN
Opdrachtnummer : 875.624.300
Auteurs : Drs. P.G.G. Slaats
Ir. H. Brink
Dr. Th.J.J. van den Hoven
Afdeling : Behandeling en Distributie

Onderzoek en Advies
Nieuwegein, februari 1994

© 1994 KIWA N.V.

Niets uit dit drukwerk mag worden veeelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van KIWA N.V., noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd.

The logo for KIWA N.V. features the word "kiwa" in a lowercase, sans-serif font. The letters are white with a black outline, and they are set against a solid black rectangular background.

KIWA N.V.

Certificatie en Keuringen
Sir Winston Churchill-laan 273
Postbus 70
2280 AB Rijswijk
Telefoon (070) 395 35 35
Telefax (070) 395 34 20
Telex 32480 kiwa nl

Onderzoek en Advies
Groningehaven 7
Postbus 1072
3430 BB Nieuwegein
Telefoon (03402) 6 95 11
Telefax (03402) 6 11 65

INHOUDSOPGAVE

SAMENVATTING	3
1 AANLEIDING EN DOELSTELLING	5
2 MECHANISME VAN UITLOGING VAN CALCIUMHYDROXIDE UIT CEMENT	7
2.1 Mechanisme	7
2.2 Gevolgen voor de watersamenstelling	8
3 AANPAK VAN HET ONDERZOEK	9
3.1 Omvang van het onderzoek	9
3.2 Het monitorsysteem	9
3.3 Interpretatie van gegevens	10
3.4 Distributietechnische factoren	10
3.5 Watersamenstelling	11
4 ASBESTCEMENT	13
4.1 Mate van uitloging	13
4.2 Relatie tussen pH-verandering en afzonderlijke parameters	14
4.2.1 Ouderdom asbestcement leiding	14
4.2.2 Leidingdiameter	14
4.2.3 Verblijftijd	16
4.2.4 Verzadigingsindex (SI)	17
4.2.5 Buffercapaciteit	18
4.3 Statistische analyse	21
4.4 Conclusie	22
5 GECEMENTEERD GIETIJZER	25
5.1 Mate van uitloging	25
5.2 Relatie tussen pH-verandering en afzonderlijke parameters	26
5.2.1 Ouderdom cementering	26
5.2.2 Leidingdiameter	27
5.2.3 Verzadigingsindex (SI)	27
5.3 Conclusie	28
6 BETON	29
7 CONCLUSIES	31
8 AANBEVELINGEN	33
LITERATUUR	35
BIJLAGE 1	
Distributietechnische parameters asbestcement leidingen	

BIJLAGE 2

Distributietechnische parameters gecementeerde gietijzeren leidingen

BIJLAGE 3

Modelleren van uitloging in asbestcement leidingen

SAMENVATTING

Gebleken is dat na conditioneren problemen met kalkafzetting op kunnen treden als gevolg van uitloging van calciumhydroxide uit asbestcement leidingen. Dit is voor enkele waterleidingbedrijven aanleiding geweest om conditioneren of cementeren van gietijzeren leidingen te heroverwegen, vooral omdat cementshoudende leidingmaterialen op grote schaal zijn toegepast in Nederland.

Naar aanleiding hiervan is geïnventariseerd in welke mate veranderingen in watersamenstelling plaatsvinden door uitloging van cementshoudende materialen. Bij uitloging van cementshoudende materialen lost uit het cement afkomstig calciumhydroxide op in drinkwater. Hierdoor stijgt de pH en daarmee het kalkafzettend vermogen.

Veranderingen in watersamenstelling zijn onderzocht door middel van metingen met monitorsystemen. Vervolgens is onderzocht of er relaties bestaan tussen de pH-veranderingen en distributietechnische factoren dan wel watersamenstelling.

Het blijkt dat pH-veranderingen door uitloging van asbestcement en gecementeerde gietijzeren leidingen algemeen voorkomen.

De mate van pH-verandering is sterk gerelateerd aan de ouderdom en de diameter van de onderzochte leidingen, de verblijftijd op een bepaald traject, de verzadigingsindex (SI) en de buffercapaciteit van het gedistribueerde water.

De veranderingen nemen af bij een toenemende ouderdom, een grotere diameter, een hogere SI en een hogere buffercapaciteit. Van deze factoren heeft de diameter de sterkste relatie met de mate van uitloging.

Problemen door uitloging van calciumhydroxide zijn daarom vooral te verwachten in situaties waarin de diameter van de leiding klein is, de leiding nieuw is, de verblijftijd lang is, de SI laag is en de buffercapaciteit gering is. De problemen door veranderingen in watersamenstelling zijn dan enigszins te beperken door de SI te verhogen en de buffercapaciteit te vergroten.

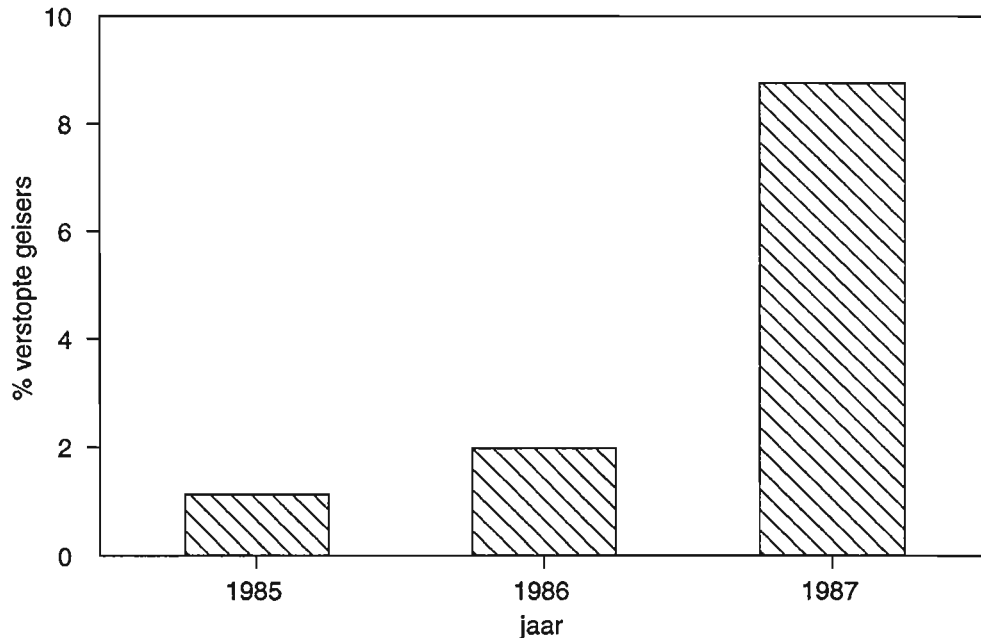
Cementeren van gietijzeren leidingen levert met betrekking tot uitloging geen problemen als dit grote diameters betreft. Cementering van kleine diameters kan tot sterke veranderingen in watersamenstelling leiden. Dit speelt met name een rol bij lange verblijftijden, een lage SI en een lage buffercapaciteit van het water.

In betonnen leidingen zijn pH-veranderingen naar verwachting beperkt. Dit is gebaseerd op de relatief grote diameters, waarin betonnen leidingen voorkomen.

1

AANLEIDING EN DOELSTELLING

In de periode 1987 tot 1991 heeft KIWA in het kader van het VEWIN onderzoekprogramma onderzoek uitgevoerd naar de mate van uitloging van hydroxyl-ionen uit cementhoudende leidingmaterialen. Aanleiding was dat bij enkele waterleidingbedrijven problemen met kalkafzetting optraden ten gevolge van uitloging van asbestcement leidingen (Van Eekhout e.a., 1991). Deze problemen traden op nadat was overgegaan tot conditioneren van drinkwater door middel van ontzuringprocessen (figuur 1).



Figuur 1 Toename van het aantal verstopte geisers na introductie van ontzuring in 1986 in het voorzieningsgebied van pompstation Gasselte

Het optreden van deze problemen was voor een aantal waterleidingbedrijven aanleiding om het conditioneren of het cementeren van gietijzeren leidingen te heroverwegen. Cementhoudende materialen zijn in het huidige waterleidingnet op grote schaal toegepast, circa 42% van het leidingnet groter dan 50 mm bestaat uit asbestcement en 1% uit beton. Cementmortel vindt toepassing bij cementering van gietijzer.

Bij uitloging van cementhoudende materialen lost uit het cement afkomstig calciumhydroxide op in drinkwater. Hierdoor stijgt de pH en daarmee het kalkafzettend vermogen. Toename van het kalkafzettend vermogen kan leiden tot hinderlijke kalkafzetting in warmwatertoestellen.

In dit onderzoek is nagegaan op welke schaal het bestaande waterleidingnet aanleiding geeft tot veranderingen in watersamenstelling door uitloging van calciumhydroxide uit cement. Om dit vast te stellen zijn in de periode 1987 tot 1991 op diverse lokaties metingen met monitorsystemen uitgevoerd.

Onderzocht is of er een verband bestaat met distributietechnische eigenschappen (materiaalsoort, ouderdom, diameter en verblijftijd) dan wel de watersamenstelling.

In hoofdstuk 2 is het mechanisme van uitloging van calciumhydroxide uit cementhoudende materialen en de gevolgen voor de watersamenstelling beschreven. Hoofdstuk 3 beschrijft de omvang en de aanpak van het onderzoek. Hoofdstuk 4, 5 en 6 geven de mate van uitloging en relatie met distributietechnische parameters en watersamenstelling voor respectievelijk asbestcement, gecementeerd gietijzer en beton.

In hoofdstuk 7 worden de conclusies van het onderzoek beschreven en hoofdstuk 8 geeft tenslotte aanbevelingen om uitloging van cementhoudende materialen te beperken of zelfs te voorkomen.

2 MECHANISME VAN UITLOGING VAN CALCIUMHYDROXIDE UIT CEMENT

2.1 Mechanisme

Asbestcement, beton en cementmortel bestaan voor een belangrijk deel uit cement, wat als bindmiddel fungeert voor respectievelijk asbestvezels, grind en zand.

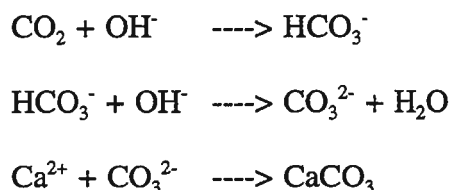
Cement bevat een zeer groot aantal verbindingen, de belangrijkste zijn tricalciumsilicaat (Ca_3SiO_5), dicalciumsilicaat (Ca_2SiO_4) en tricalciumalumi-
nmetaat ($\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$) en calciumhydroxide $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Deze cementzouten hydrateren in contact met water, waarbij ook $\text{Ca}(\text{OH})_2$ gevormd wordt. Bij contact met water lost dit op, waarbij Ca^{2+} en OH^- vrijkomt (Troxell e.a., 1968; Schock e.a., 1981).

optredende reacties in cementhoudende materialen in contact met water

cementhoudende materialen	afgifte aan water
$\text{Ca}_3\text{SiO}_5 + 5 \text{H}_2\text{O} \text{ ----> } \text{CaSiO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O} + 2 \text{Ca}(\text{OH})_2$	$\text{----> } \text{Ca}^{2+}, \text{OH}^-$
$\text{Ca}_2\text{SiO}_4 + 4 \text{H}_2\text{O} \text{ ----> } \text{CaSiO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O} + \text{Ca}(\text{OH})_2$	$\text{----> } \text{Ca}^{2+}, \text{OH}^-$
$\text{Ca}(\text{OH})_2 \text{ ----> } \text{Ca}^{2+} + 2 \text{OH}^-$	$\text{----> } \text{Ca}^{2+}, \text{OH}^-$

De OH^- -ionen reageren met het in water aanwezig CO_2 en HCO_3^- tot HCO_3^- respectievelijk CO_3^{2-} volgens:

reacties in water



Aangezien het CO_3^{2-} kan neerslaan met in het water aanwezig Ca^{2+} tot CaCO_3 , neemt het kalkafzettend vermogen toe.

2.2 Gevolgen voor de watersamenstelling

Als gevolg van uitloging van calciumhydroxide uit cement stijgt de pH en neemt de Ca^{2+} -concentratie in water toe. Bij toename van de pH en het Ca-gehalte neemt ook het kalkafzettend vermogen toe. Dit kan zover toenemen dat al tijdens distributie kalkafzetting gaat optreden. Calciumcarbonaat kan dan afzetten op de buiswand, maar ook in de vorm van kleine deeltjes in het water (microkristallen).

Wanneer geen pH-stijging wordt waargenomen, hoeft dit niet te betekenen dat geen uitloging plaatsvindt. De pH-stijging door uitloging kan gecompenseerd worden door een pH-daling als gevolg van kalkafzetting of microbiologische processen.

Problemen met kalkafzetting zullen met name optreden bij verwarming van het drinkwater, bijvoorbeeld in geisers en boilers. Dit wordt veroorzaakt doordat calciumcarbonaat minder goed oplosbaar is bij hoge temperatuur. In dit onderzoek is nog geen aandacht besteed aan het effect van uitloging op het kalkafzettend vermogen.

3 AANPAK VAN HET ONDERZOEK

3.1 Omvang van het onderzoek

In dit onderzoek zijn in totaal 21 verschillende trajecten op uitloging onderzocht. Deze omvatten 13 asbestcement leidingen, zeven gecementeerde gietijzeren leidingen en één betonnen leiding (bijlage 1 en 2).

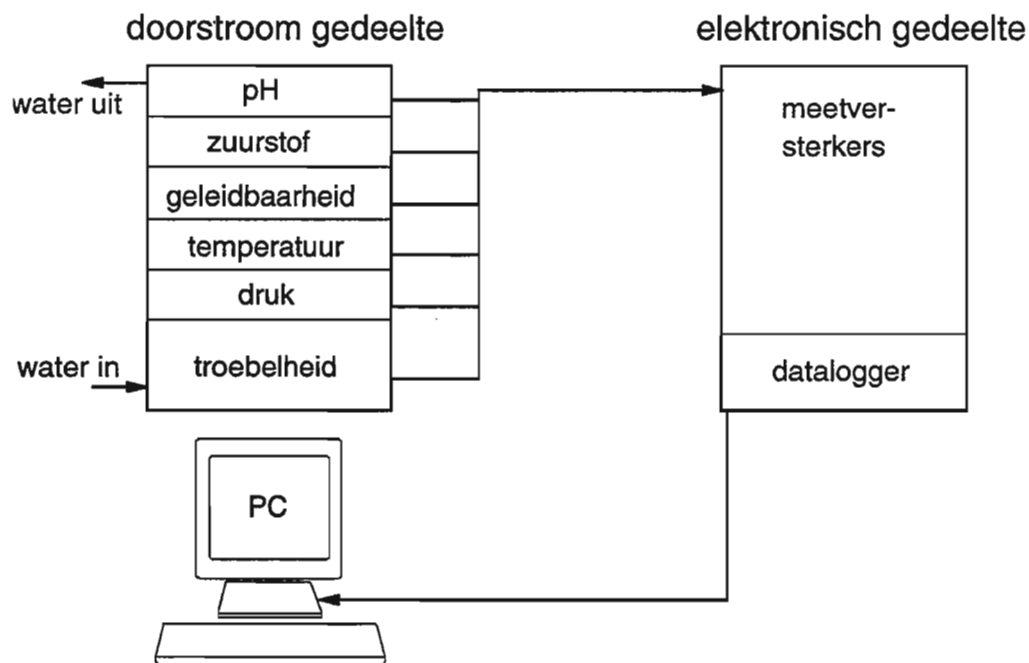
Selectie van te onderzoeken trajecten vond plaats op basis van distributie-technische factoren (diameter, lengte, verblijftijd) en watersamenstelling. Het onderzoek is uitgevoerd in samenwerking met Waterleiding Maatschappij Drenthe (Ekkers & Van Walsum, 1989; Brink & Kreukniet, 1992), Provinciaal Waterleidingbedrijf Noord-Holland (Van Walsum, 1989; Kreukniet e.a., 1991), Waterleiding Maatschappij Limburg (Kreukniet & Ekkers, 1991) en Waterleidingbedrijf Zuid-Holland-Zuid (Kreukniet & Kemper, 1990).

3.2 Het monitorsysteem

Veranderingen in watersamenstelling tijdens distributie zijn vastgesteld door continue metingen met drie monitorsystemen. Elk monitorsysteem registreert met een tijdsinterval van 10 minuten de pH, het zuurstofgehalte, de geleidbaarheid, de troebelheid, temperatuur en druk. Zodoende verricht elk systeem gedurende een meetsessie van een week ongeveer 1000 metingen per parameter. Een schematische voorstelling van het toegepaste monitorsysteem is gegeven in figuur 2.

De drie monitorsystemen plaatst men zodanig dat één systeem de watersamenstelling aan het begin van de leiding meet (bijvoorbeeld op het pompstation), terwijl het tweede en het derde systeem de watersamenstelling verderop in het distributienet in dezelfde leiding registreren. Een andere mogelijkheid is dat één systeem de watersamenstelling op het pompstation meet, terwijl de andere systemen de watersamenstelling registreren na een cementhoudende leiding en, veelal als referentie, een leiding van bijvoorbeeld PVC.

De monitorsystemen zijn aangesloten op de waterleiding door een aanboring op de desbetreffende leiding of op een huisaansluiting. Het drinkwater doorstroomt het monitorsysteem met een vaste volumestroom van circa 30 l/uur.



Figuur 2 Schematische voorstelling van het toegepaste monitorsysteem

3.3 Interpretatie van gegevens

De metingen leveren onder meer als resultaat het pH-verloop gedurende een meetweek op een bepaalde lokatie.

Om pH-veranderingen op een bepaald traject vast te stellen zijn op elke lokatie de pH-metingen van één meetweek gemiddeld. Vervolgens is de pH-verandering bepaald door de gemiddelde pH aan het einde van een bepaald traject te verminderen met de gemiddelde pH aan het begin van dat traject. Bij een verandering van de gemiddelde pH groter dan 0,05 pH-eenheid is er sprake van een relevante pH-verandering.

Daarna is onderzocht of er een verband bestaat tussen de mate van pH-verandering en verschillende factoren die uitloging kunnen beïnvloeden (leeftijd en diameter van de onderzochte leidingen, de verblijftijd op een bepaald traject, buffercapaciteit, verzadigingsindex van het gedistribueerde water).

3.4 Distributietechnische factoren

Gegevens over de ouderdom en diameter van de leiding zijn verstrekt door de deelnemende waterleidingbedrijven. Op een aantal trajecten varieerden de ouderdom en/of de diameter van verschillende buisdelen. In deze gevallen is voor de ouderdom de gemiddelde ouderdom genomen.

Bij de diameter speelt de verhouding tussen het inwendig oppervlak en volume een rol. Bij middeling van de diameters is dit verrekend door uit te gaan van inverse diameters.

De verblijftijd is uit de monitorgegevens bepaald door verschuiving van pieken in het patroon van een van de parameters te meten. Wanneer het niet mogelijk bleek om de verblijftijd uit de monitorgegevens af te leiden, is deze door leidingnetberekeningen vastgesteld.

3.5 Watersamenstelling

Gedurende de metingen met de monitorsystemen zijn op de verschillende lokaties watermonsters genomen om analyses te verrichten. De resultaten van deze analyses zijn toegepast om de verzadigingsindex (SI) en de buffercapaciteit te bepalen.

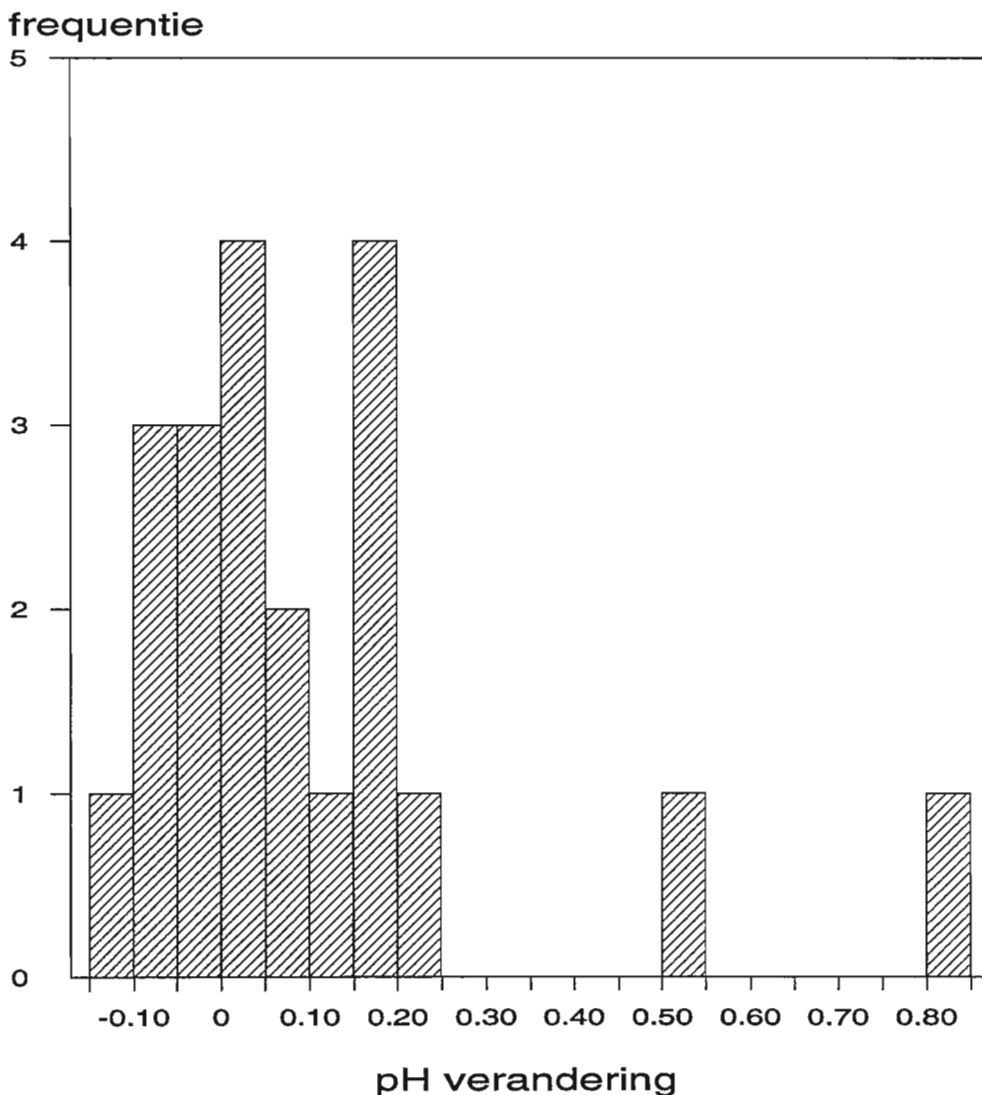
De pH, geleidbaarheid en temperatuur voor de SI-berekening zijn afkomstig uit de monitorgegevens. De berekeningen zijn uitgevoerd met het computerprogramma TACC90 versie 1.1.

4 ASBESTCEMENT

4.1 Mate van uitloging

Op 13 verschillende trajecten met asbestcement leidingen zijn in totaal 21 meetsessies uitgevoerd. De waargenomen pH-veranderingen zijn weergegeven in een histogram (figuur 3).

De ouderdom van de onderzochte leidingen varieert van 1 tot 41 jaar, de leidingdiameter van 100 tot 600 mm en de verblijftijd van 3 tot 180 uur. De buffercapaciteit loopt uiteen van 0,04 tot 2,3 mmol/l en de SI van -0,44 tot 0,57.



Figuur 3 Overzicht van waargenomen pH-veranderingen in asbest-cement leidingen

De pH-veranderingen variëren sterk, van -0,12 tot +0,81 pH-eenheid. Bij 14 metingen is de pH-verandering relevant, dat wil zeggen groter dan 0,05. Bij tien van deze metingen betreft het een pH-stijging en bij vier metingen een pH-daling. De pH-daling kan veroorzaakt zijn door het afzetten van calciumcarbonaat op de buiswand of door biologische activiteit.

De resultaten in figuur 3 geven aan dat pH-veranderingen door uitloging van calciumhydroxide uit asbestcement leidingen algemeen voorkomen en bovendien sterk variëren.

Verbanden met distributietechnische factoren of de watersamenstelling zijn echter niet af te lezen uit het histogram. Informatie over deze verbanden is te krijgen door een statistische analyse en door een grafische weergave van de pH-verandering als functie van de betreffende parameter. Aan deze laatste methode kleeft het bezwaar dat de pH-verandering in verband wordt gebracht met één bepaalde factor. Hierbij zijn de overige factoren constant verondersteld, maar dit is natuurlijk niet het geval. De grafische analyse komt aan de orde in paragraaf 4.2, de statistische analyse in paragraaf 4.3.

4.2 Relatie tussen pH-verandering en afzonderlijke parameters

4.2.1 Ouderdom asbestcement leiding

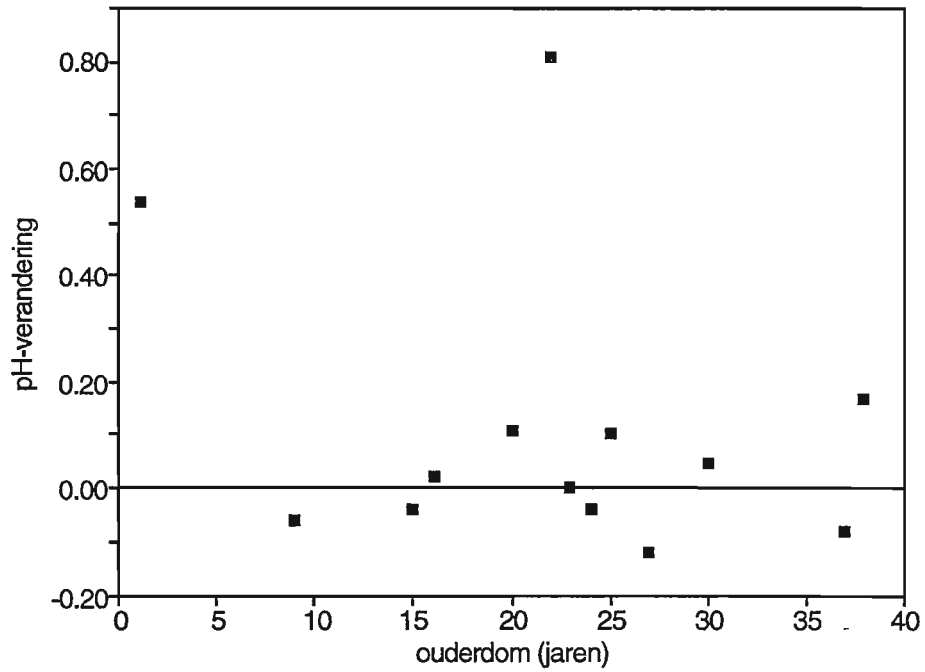
In figuur 4 is de gemiddelde pH-verandering na doorstromen van een bepaalde leiding uitgezet tegen de leeftijd van deze leiding.

Een duidelijk beeld ten aanzien van het effect van de ouderdom van de leiding komt hier niet naar voren. Opvallend is, dat ook bij leidingen ouder dan 20 jaar uitloging plaatsvindt. Dit is verrassend, omdat algemeen werd aangenomen dat uitloging van cement na enkele jaren stopt.

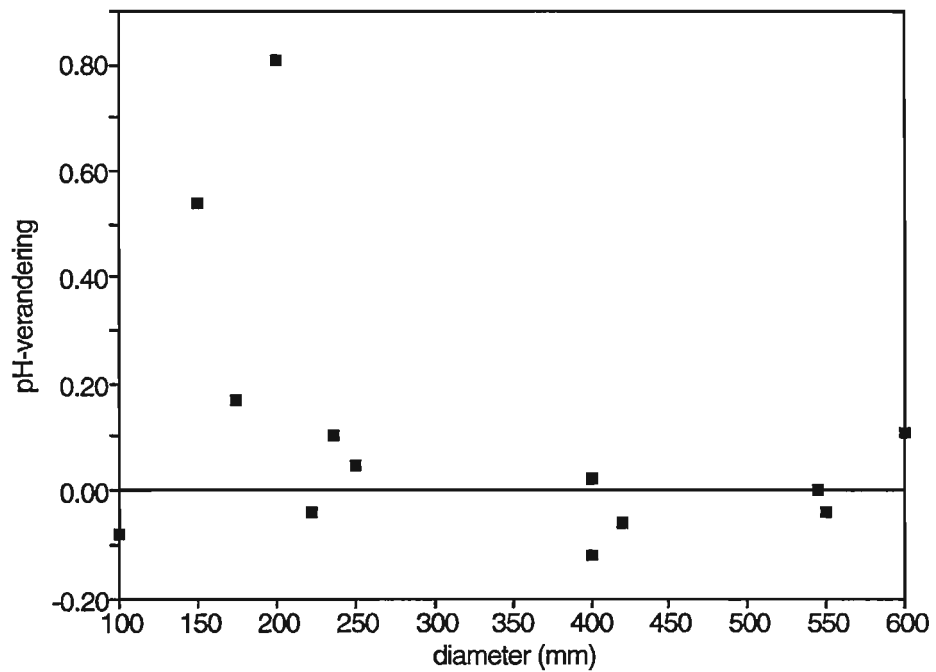
4.2.2 Leidingdiameter

In figuur 5 is de gemiddelde pH-verandering uitgezet tegen de diameter van de onderzochte leiding.

Zichtbaar is dat de grootste pH-veranderingen optreden bij de kleinste diameters. Dit is te verklaren doordat de oppervlakte/volume-verhouding toeneemt bij afname van de diameter. Bij toename van deze verhouding neemt ook het effect van uitloging toe.



Figuur 4 Gemiddelde pH-verandering uitgezet tegen de ouderdom van de leiding



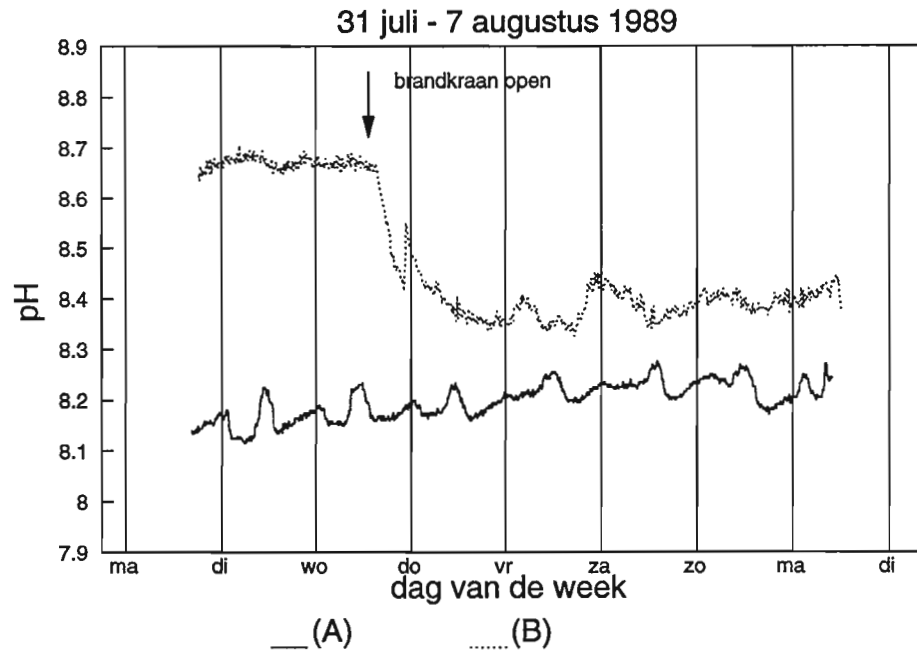
Figuur 5 Gemiddelde pH-verandering uitgezet tegen de leidingdiameter

4.2.3 Verbliftijd

Bij de metingen is de invloed van de verbliftijd op de pH-verandering onderzocht door tijdens een meting een brandkraan te openen (spuien) en hierdoor de verbliftijd te verkorten (figuur 6).

Bij het begin van de meting is de verbliftijd ongeveer 180 uur. Na openen van de brandkraan neemt de verbliftijd af tot circa 12 uur.

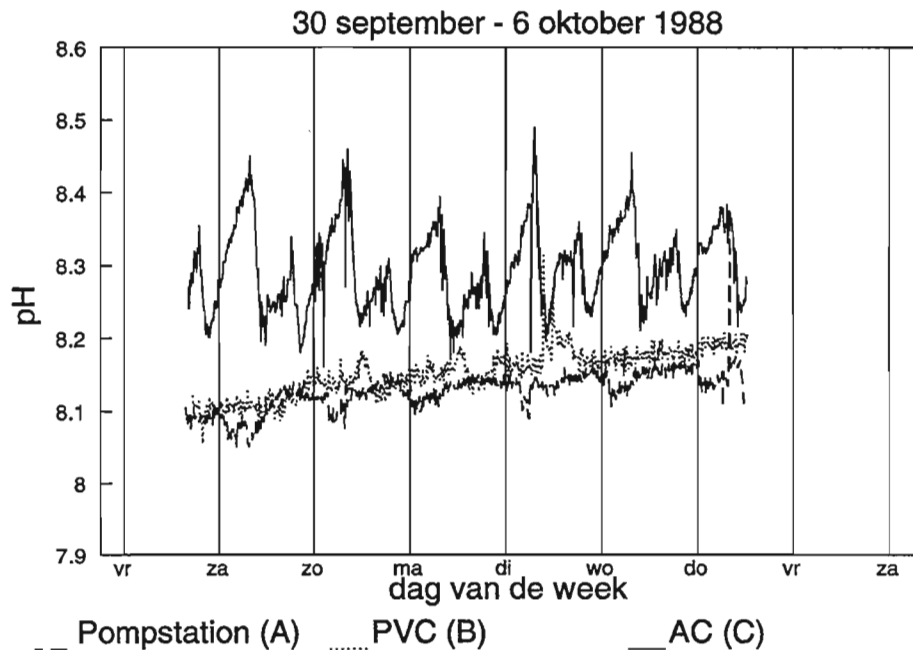
Zichtbaar is dat de pH-verandering na verkorten van de verbliftijd sterk daalt, van 0,5 tot 0,2 pH-eenheid.



Figuur 6 pH-verloop aan begin (A) en aan het eind (B) van een één jaar oude asbestcement leiding met een diameter van 300 tot 100 mm (trajectlengte is 14,2 km)

De invloed van de verbliftijd komt ook duidelijk tot uiting na vergelijking van het pH-verloop na doorstromen van asbestcement leiding en een PVC leiding.

Figuur 7 geeft het pH-verloop op een pompstation en na doorstroming van een PVC-leiding met een diameter van 235 mm en een asbestcement leiding met een diameter van 175 mm. De asbestcement leiding is 38 jaar oud. De watersamenstelling is op beide trajecten hetzelfde.

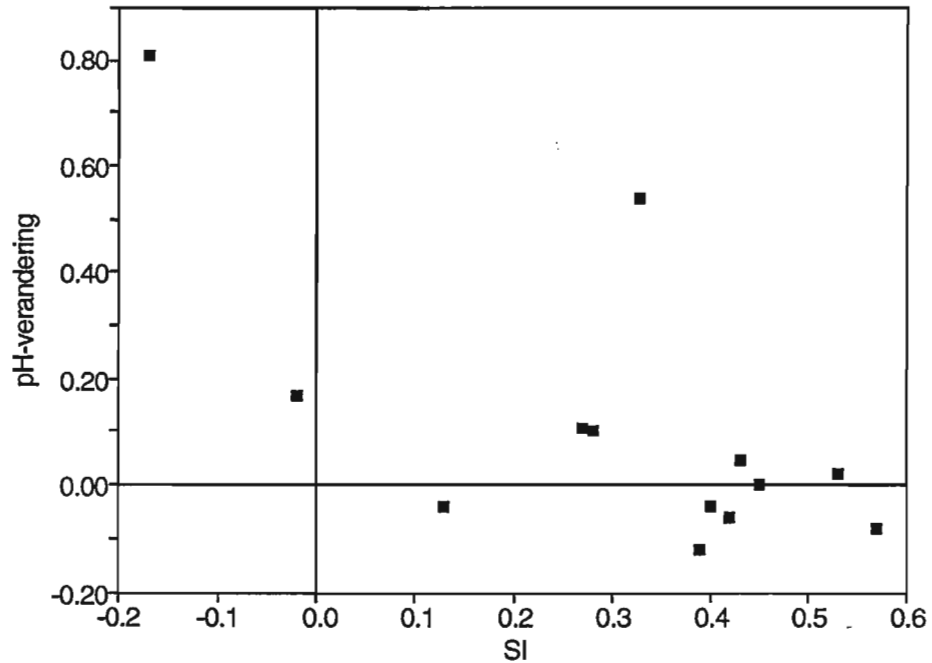


Figuur 7 *pH-verloop op pompstation (A), na een PVC-leiding (B) en na een asbestcement leiding (C)*

Na doorstromen van de asbestcement leiding is de pH niet constant, maar geeft een dag-nachtritme te zien. Tijdens de nacht, wanneer verblijftijden langer zijn door een laag waterverbruik, neemt de pH sterk toe. Gedurende de dag, bij een hoog waterverbruik, neemt de pH weer af. Dit dag-nachtritme in de pH is niet zichtbaar na doorstromen van de PVC-leiding. Het effect van de verblijftijd zoals uit dit onderzoek naar voren komt, correspondeert met effecten die in de literatuur zijn gerapporteerd (Conroy, 1991).

4.2.4 **Verzadigingsindex (SI)**

In figuur 8 is de gemiddelde pH-verandering uitgezet tegen de SI van het gedistribueerde water. Zichtbaar is dat de grootte van de pH-verandering afneemt bij toename van de SI. Vooral bij hogere SI-waarden (vanaf ongeveer 0,35) treden pH-dalingen op, mogelijk worden deze veroorzaakt door kalkafzetting.



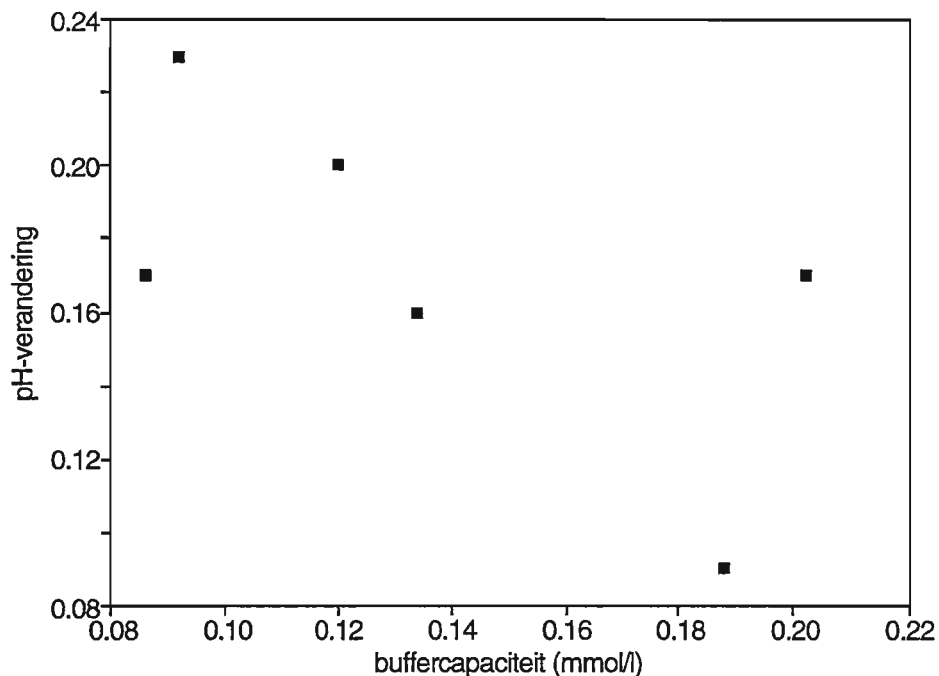
Figuur 8 Gemiddelde pH-verandering uitgezet tegen de SI

4.2.5 Buffercapaciteit

De invloed van de buffercapaciteit is bepaald bij metingen, die zijn uitgevoerd tijdens dosering van verschillende hoeveelheden koolzuurgas om problemen door uitloging tegen te gaan. Door dosering van koolzuurgas daalt de pH en stijgt het TAC-gehalte.

Figuur 9 geeft de pH-veranderingen bij variërende buffercapaciteit. De buffercapaciteit varieert van 0,09 mmol/l bij geen CO₂-dosering tot 0,19 mmol/l bij dosering van 4 mg/l CO₂. Bij de metingen zijn de distributietechnische factoren constant; de leiding is 38 jaar oud, de diameter is 175 mm en de verblijftijd bedraagt 5 tot 7 uur.

Bij deze metingen komt een duidelijk negatief verband tussen de buffercapaciteit en de pH-verandering naar voren. Bij een toename van de buffercapaciteit neemt de grootte van de pH-verandering af.

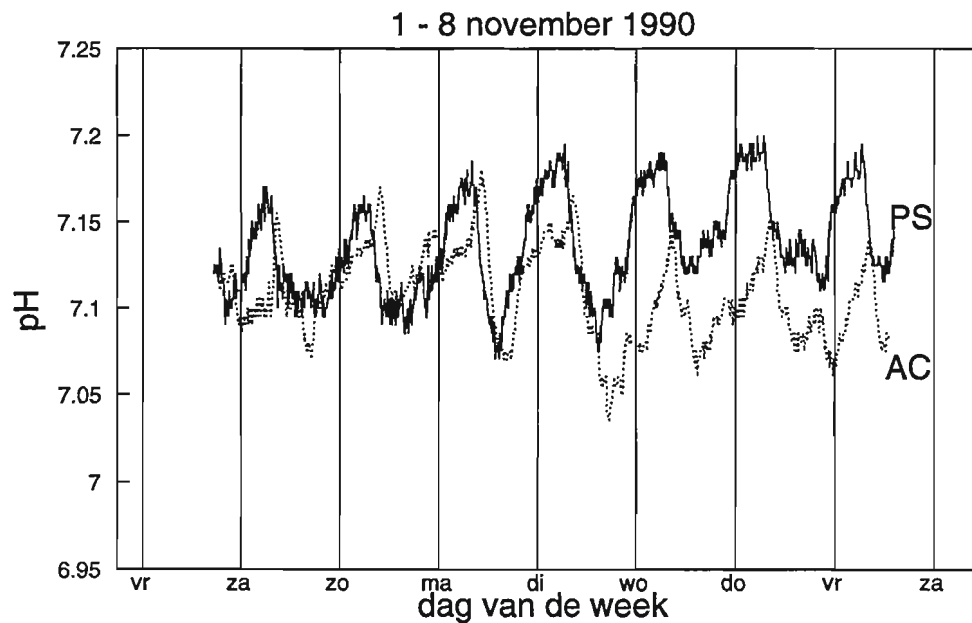
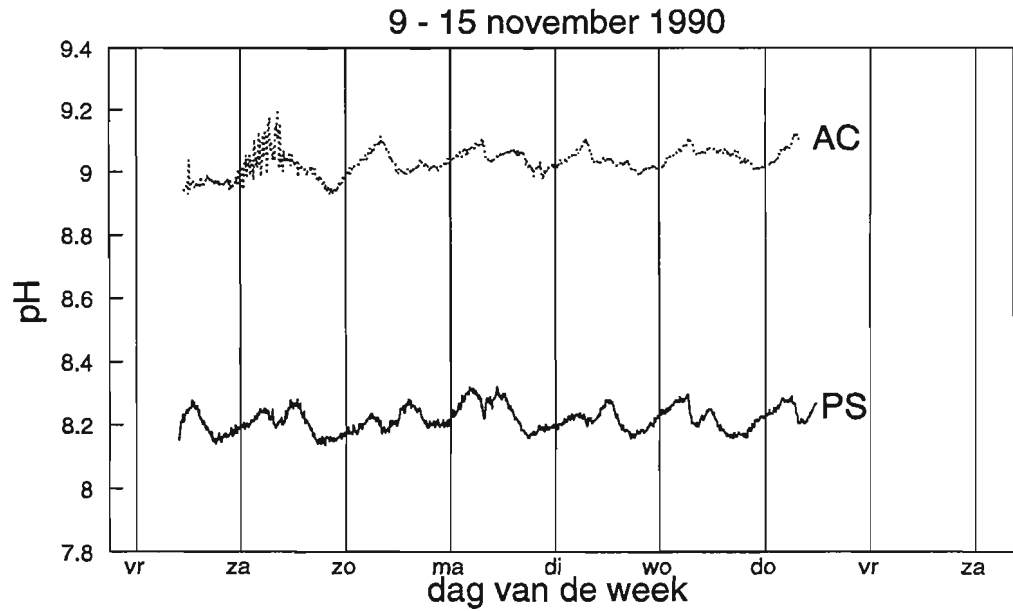


Figuur 9 Gemiddelde pH-verandering uitgezet tegen de buffercapaciteit van het gedistribueerde water

Twee metingen waarbij de buffercapaciteit van het water in hoge mate uiteen loopt bevestigen deze trend. Figuur 10 geeft de resultaten van metingen waarbij de buffercapaciteit 0,04 mmol/l en 2,2 mmol/l bedraagt. De distributietechnische parameters en SI komen bij deze metingen sterk overeen (tabel 1).

Tabel 1 Distributietechnische parameters en watersamenstelling bij metingen in figuur 11 en 12

figuur	ouderdom (jaren)	diameter (mm)	lengte (km)	verblijftijd (uren)	SI	buffercapaciteit (mmol/l)
9 - 15 november	22	200	3	12	-0,17	0,038
1 - 8 november	15	222	3	3	0,13	2,3

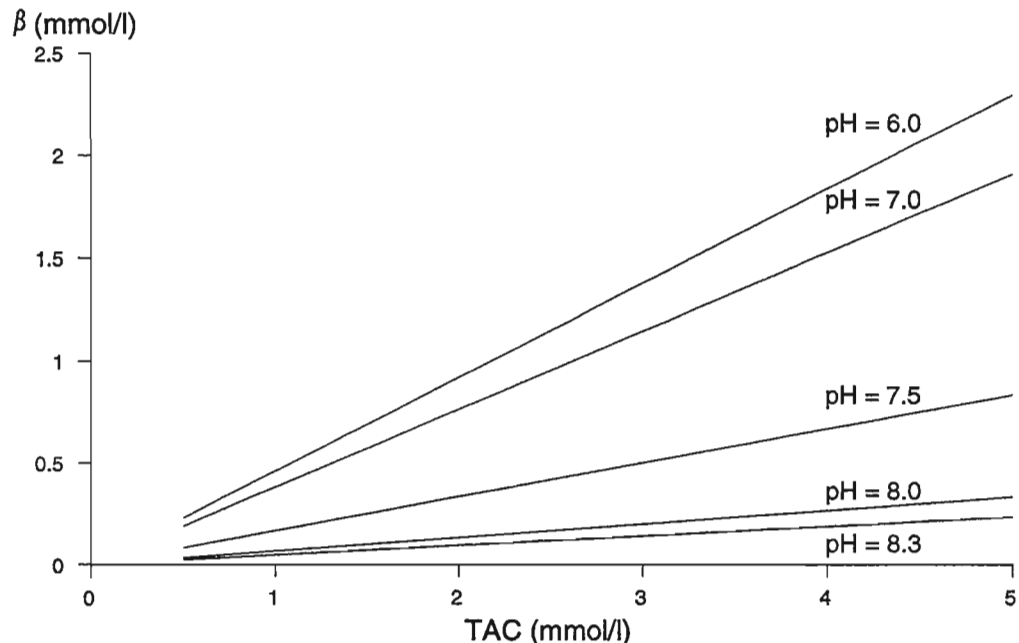


Figuur 10 pH-verloop op het pompstation (PS) en na 3 km asbestcement leiding (AC) in water met een buffercapaciteit van 0,04 mmol/l (boven) en een buffercapaciteit van 2,3 mmol/l (onder)

In het watertype met een lage buffercapaciteit blijkt de pH sterk toe te nemen, in de onderzochte leiding stijgt de pH met 0,81 pH-eenheid. In het watertype met een hoge buffercapaciteit verandert de pH tijdens transport door een asbestcement leiding nauwelijks, de pH-verandering is in dit geval -0,04 pH-eenheid.

Trends gevonden bij veldmetingen komen duidelijk overeen met de theorie: de buffercapaciteit heeft duidelijk invloed op de grootte van de pH-verandering bij uitloging van asbestcement.

De buffercapaciteit wordt voor het belangrijkste deel bepaald door de pH en het anorganisch koolstofgehalte (TAC). De buffercapaciteit neemt af bij een afname van de TAC en bij een toename van de pH en is minimaal bij een pH van 8,3 (figuur 11).



Figuur 11 Buffercapaciteit als functie van totaal anorganisch koolstofgehalte (TAC) bij verschillende pH-waarden

4.3 Statistische analyse

Er is onderzocht of er een statistisch verband bestaat tussen de waargenomen pH-stijging en de factoren ouderdom, diameter, verblijftijd, buffercapaciteit en SI. Metingen waarbij een pH-daling optrad, zijn uitgesloten omdat hier mogelijk sprake is van een ander proces (kalkafzetting).

Het blijkt dat voor asbestcement de pH-verandering modelmatig beschreven kan worden door de factoren ouderdom, diameter, verblijftijd, SI en buffercapaciteit (bijlage 3). Geen van de factoren heeft echter een significant verband met de pH-verandering.

Omdat deze statistische analyse is uitgevoerd op basis van slechts 8 metingen is dit model zeker **niet** in zijn algemeenheid toe te passen om voor een bepaald traject de pH-verandering te voorspellen. De uitkomsten zijn wel

geschikt om bij de uitgevoerde metingen een indruk te krijgen van de richting van de invloed en grootte-orde per factor.

Richting van de invloed per factor

Volgens de statistische analyse neemt de grootte van de pH-stijging af:

- bij toename van de diameter;
- bij toename van de leeftijd;
- bij toename van de SI;
- bij toename van de buffercapaciteit.

Ook zal volgens de statistische analyse de pH-verandering afnemen bij toename van de verblijftijd. Dit komt echter niet overeen met de waarnemingen tijdens de verschillende metingen; bij deze metingen neemt de pH toe bij toename van de verblijftijd (paragraaf 3.2.3). Deze waarnemingen genieten de voorkeur boven de statistische aangegeven richting.

Grootte-orde van de invloed

Van de onderzochte factoren hebben de distributietechnische parameters ouderdom en diameter hebben de grootste invloed op de mate van pH-verandering. Wanneer overige omstandigheden constant blijven, neemt bij de uitgevoerde metingen de pH-verhoging af met circa 1 pH-eenheid bij een toename van de diameter van 100 tot 600 mm. Een verschil in leeftijd van 25 jaar heeft ongeveer dezelfde invloed op de grootte van pH-verandering. De watersamenstelling heeft minder invloed op de mate van pH-verandering; bij een toename van de SI van -0,2 tot 0,3 neemt de pH-verandering met ongeveer 0,3 pH-eenheid af. Bij een toename van de buffercapaciteit door een pH-daling van 8,3 tot 7,8 en een constant TAC van 2 mmol/l neemt de grootte van de pH-verandering met ongeveer 0,05 pH-eenheid af.

4.4 Conclusie

Het blijkt dat pH-veranderingen tijdens distributie door uitloging van asbestcement leidingen algemeen voorkomen.

De diameter van de leiding blijkt de grootste invloed te hebben op de mate van pH-verandering, bij de kleinste diameters treden de grootste pH-veranderingen op. Ook de ouderdom heeft een grote invloed op de mate van pH-verandering. Naarmate de leiding ouder is, is de mate van pH-verandering kleiner. Tegengesteld aan de verwachtingen, kunnen in leidingen ouder dan 25 jaar ook nog grote pH-veranderingen optreden.

Overeenkomstig de verwachting leidt verkorten van de verblijftijd van het water in de leiding tot een afname van uitloging.

Het blijkt dat bij toenemende waarden van de SI pH-stijgingen door uitloging afnemen. Dit is ook het geval bij verhogen van de buffercapaciteit van het water.

pH-veranderingen in het leidingnet door uitloging van calciumhydroxide zijn daarom enigszins te beperken door de SI en de buffercapaciteit van water te verhogen.

Deze resultaten onderstrepen het belang van de aanbeveling van de Kiwa-Commissie Conditionering voor een TAC 'af pompstation' van minimaal 2 mmol/l (Van den Hoven & Van Eekeren, 1988).

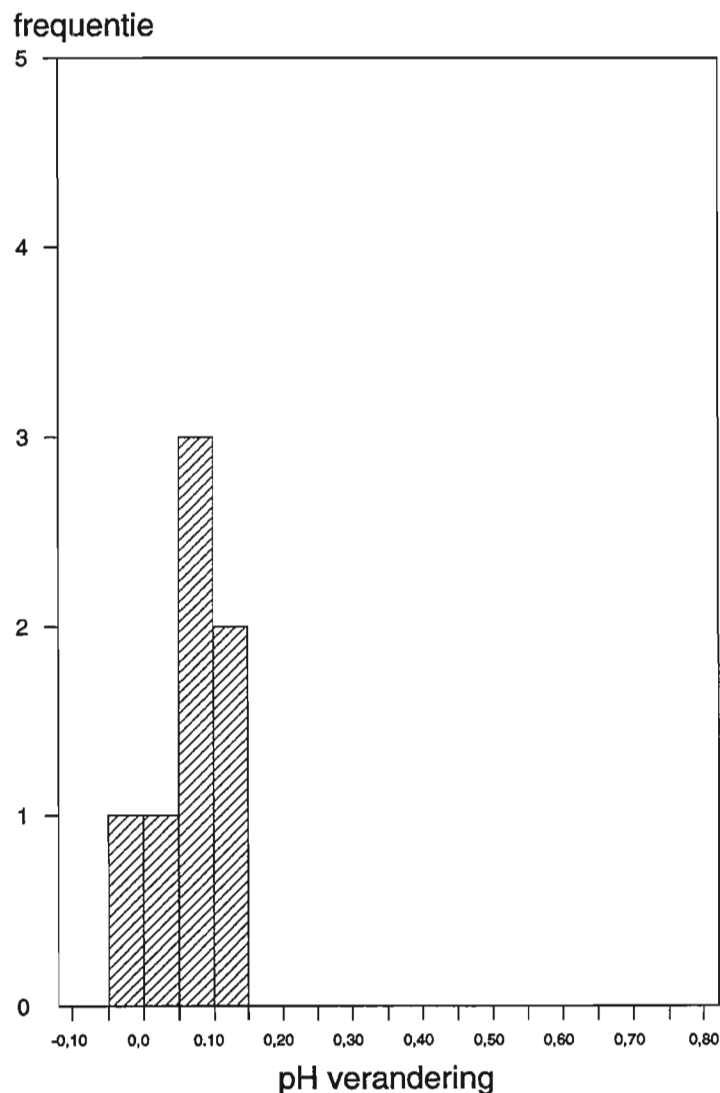
5 GECEMENTEERD GIETIJZER

5.1 Mate van uitloging

Om inzicht te krijgen in uitloging van gecementeerde gietijzeren leidingen zijn op zeven lokaties metingen met monitorsystemen verricht. Figuur 12 geeft de waargenomen pH-veranderingen.

Van de onderzochte leidingdelen varieert de ouderdom van 0 tot 44 jaar, de diameter van 125 tot 300 mm en de lengte van 0,2 tot 4,9 km. De buffercapaciteit varieert van 0,10 tot 0,28 mmol/l, de SI van 0,07 tot 0,53.

De verblijftijd varieert van 2,5 uur tot 8 uur.



Figuur 12 Overzicht van waargenomen pH-veranderingen in gecementeerde gietijzeren leidingen

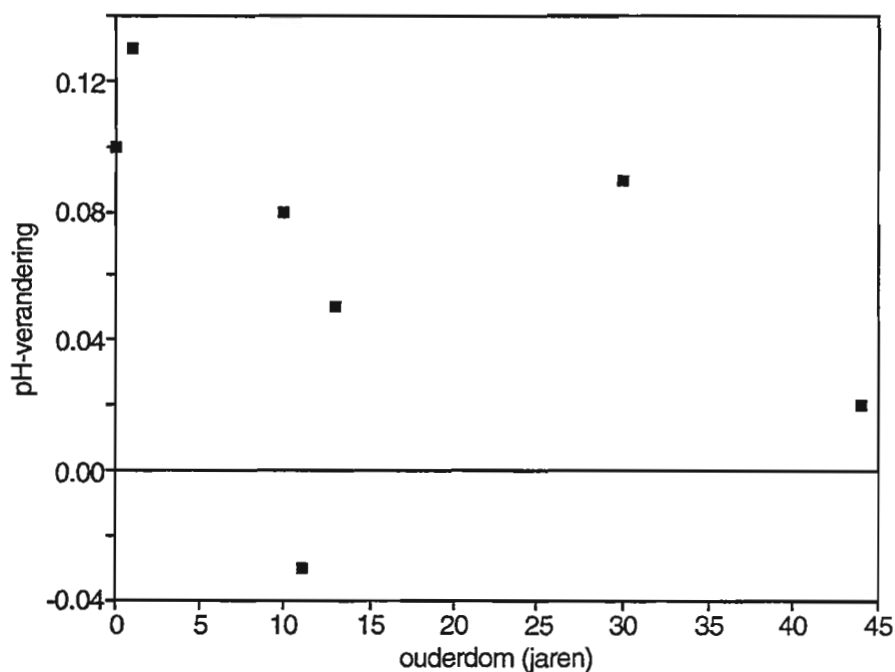
De pH-veranderingen variëren van -0,03 tot 0,13 pH-eenheid. Vier van deze pH-veranderingen zijn relevant, dat wil zeggen groter dan 0,05 pH-eenheid. De pH-veranderingen zijn echter in het algemeen aanzienlijk kleiner dan pH-veranderingen na doorstromen van asbestcement leidingen.

5.2 Relatie tussen pH-verandering en afzonderlijke parameters

5.2.1 Ouderdom cementering

In figuur 13 is de gemiddelde pH-verandering na doorstromen van een bepaald traject uitgezet tegen de ouderdom van de cementering in de onderzochte leiding.

Enigszins is de trend zichtbaar dat pH-veranderingen afnemen naarmate de cementering ouder is. De grootste pH-veranderingen treden op bij de meest recent aangebrachte cementering. Echter, na doorstromen van de leiding met de 30 jaar oude cementering treedt ook een relatief grote pH-verandering op.

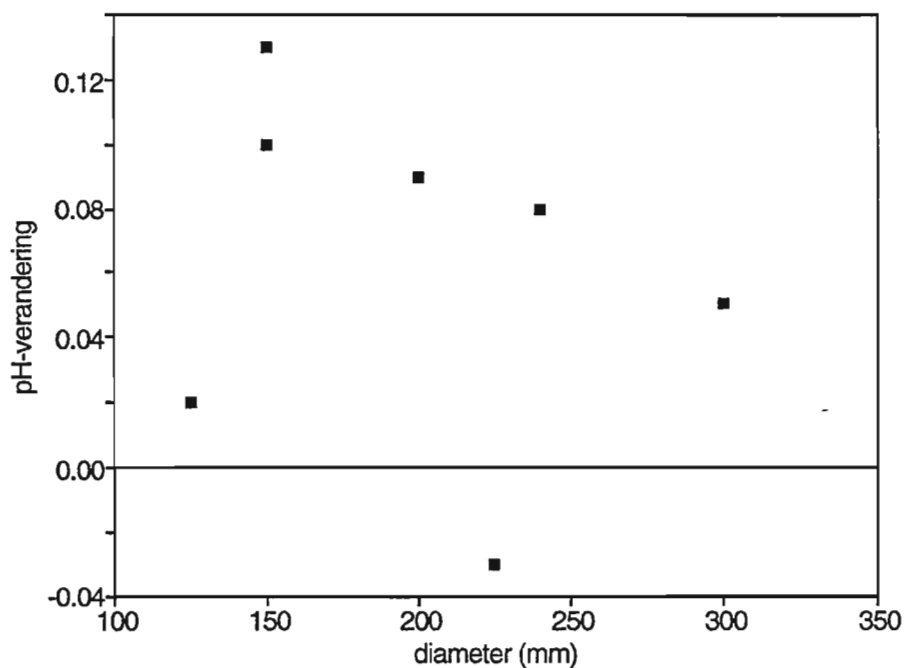


Figuur 13 Gemiddelde pH-verandering uitgezet tegen de ouderdom van de cementering

5.2.2 Leidingdiameter

In figuur 14 is de gemiddelde pH-verandering uitgezet tegen de diameter van de onderzochte leiding.

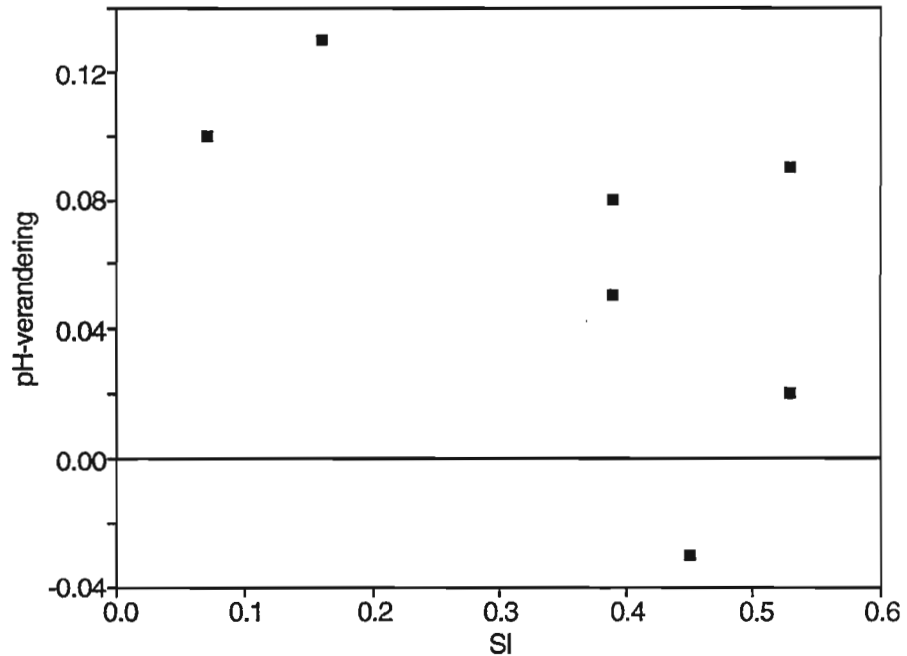
Zichtbaar is dat de pH-veranderingen afnemen bij toename van de diameter.



Figuur 14 Gemiddelde pH-verandering uitgezet tegen de leidingdiameter

5.2.3 Verzadigingsindex (SI)

In figuur 15 is de gemiddelde pH-verandering uitgezet tegen de SI van het gedistribueerde water. Zichtbaar is dat de grootte van de pH-veranderingen afneemt bij een toename van de SI.



Figuur 15 Gemiddelde pH-verandering uitgezet tegen de SI van het gedistribueerde water

5.3 Conclusie

In de pH-veranderingen na doorstroming van gecementeerde gietijzeren leidingen zijn dezelfde trends zichtbaar als in pH-veranderingen na doorstroming van asbestcement leidingen; de pH-veranderingen nemen af met de ouderdom van de leiding, bij toename van de diameter en bij toename van de SI.

In het algemeen zijn de gemeten pH-veranderingen kleiner dan bij asbestcement leidingen. Vermoedelijk hangt dit samen met de relatief hoge SI van het gedistribueerde water en de beperkte lengte van de afgelegde trajecten.

6

BETON

Op één lokatie zijn metingen uitgevoerd aan een betonnen leiding. De onderzochte leiding is 25 tot 27 jaar oud en heeft een diameter van 1000 mm. Het onderzochte traject is 17 km lang. De verblijftijd bedraagt circa 5 uur. De buffercapaciteit van het water is 0,12 mmol/l en de SI is 0,45. In tabel 2 is de pH-verandering na doorstroming van de leiding gegeven.

Tabel 2 Gemiddelde pH-verandering na doorstroming van een betonnen leiding

meting	pH-verandering
21	+ 0,02

Uit deze meting volgt dat de pH nauwelijks verandert na doorstroming van de betonnen leiding. Op grond van de invloedsfactoren bij asbestcement en gecementeerd gietijzeren leidingen is bovendien een zeer kleine pH-verandering te verwachten; de leiding is relatief oud, de diameter groot en de SI hoog.

Omdat bij uitloging van calciumhydroxide de diameter de belangrijkste rol speelt en beton meestal voorkomt in diameters groter dan 600 mm, zal het effect van uitloging in betonnen leidingen in het algemeen beperkt zijn.

7 CONCLUSIES

Bij asbestcement en gecementeerde gietijzeren leidingen komen pH-veranderingen tijdens distributie door uitloging van calciumhydroxide uit cement algemeen voor.

De mate waarin pH-veranderingen optreden neemt af bij:

- een toename van de diameter van de leiding;
- een toenemende ouderdom van de leiding;
- een afname van de verblijftijd van het drinkwater in de leiding;
- een toenemende SI van het drinkwater;
- een toenemende buffercapaciteit van het drinkwater.

Problemen door uitloging van calciumhydroxide zijn daarom vooral te verwachten in situaties waarin:

- de diameter van de leiding klein is;
- de leiding nieuw is;
- de verblijftijd lang is;
- de SI laag is;
- de buffercapaciteit gering is.

In betonnen leidingen zijn pH-veranderingen naar verwachting beperkt, omdat het hier om relatief grote diameters gaat.

Problemen door uitloging van calciumhydroxide zijn enigszins te beperken door de watersamenstelling aan te passen. Dit is mogelijk door de SI te verhogen of de buffercapaciteit te vergroten. Het belang van de aanbeveling van de Kiwa-Commissie Conditionering voor een TAC van minimaal 2 mmol/l komt hierin naar voren.

Over de invloed van de aard en samenstelling van het cement kan op basis van dit onderzoek geen uitspraak gedaan worden.

8

AANBEVELINGEN

1. De invloed van de aard en samenstelling van cement, toegepast voor het cementeren van gietijzer, is niet onderzocht. Het verdient daarom aanbeveling laboratoriumonderzoek uit te voeren, dat gericht is op het vaststellen van de invloed van de samenstelling van cementmortel op uitloging.
2. Cementeren van kleine gietijzeren leidingen in geval van lage buffercapaciteit en lange verblijftijden is af te raden omdat onaanvaardbare grote veranderingen in watersamenstelling zijn te verwachten.
3. Door de SI te verhogen en de buffercapaciteit te vergroten zijn problemen door uitloging van calciumhydroxide uit asbestcement enigszins te beperken. Het volgen van de aanbevelingen van de Kiwa-commissie Conditionering voor een TAC van minimaal 2 mmol/l is van belang.

LITERATUUR

Brink H. & A.A.Kreukniet: 1992. 'Het kalkafzettend vermogen in het voorzieningsgebied van Pompstation Gasselte (WMD)'. Kiwa-rapport SWI 91.165, Nieuwegein

Conroy P.J.: 1991. 'Deterioration of water quality in distribution systems The effects of water quality arising from in situ cement lining'. Summary report to the department of the Environment WRc Swindon, Wiltshire

Eekhout J.M.J.M. van, K.J. Hoogsteen, B.J.A.M. Haring & M.W.M. van Eekeren: 1991. 'Problemen met kalkafzetting'. H₂O 24 (12), 310-314

Ekkers G.H. & L. van Walsum: 1989. 'Onderzoek naar de invloed van een asbestcementleiding in het net van de WMD op de watersamenstelling'. Kiwa-rapport SWI 89.116, Nieuwegein

Hoven Th.J.J. van den & M.W.M. van Eekeren: 1988. 'Optimale samenstelling van drinkwater'. Kiwa-mededeling nr. 100, Nieuwegein

Kreukniet A.A. & C.P. Kemper: 1990. 'Monitor-metingen gecementeerde leiding nabij de Bergse Linkerrottekade te Rotterdam'. Kiwa-rapport SWI 90.142, Nieuwegein

Kreukniet A.A., Th.J.J. van den Hoven & B. Kramer: 1991. 'Onderzoek naar de uitloging van cementhoudende distributieleidingen in het voorzieningsgebied van PWN'. Kiwa-rapport SWI 91.113, Nieuwegein

Kreukniet A.A. & G.H. Ekkers: 1991. 'Onderzoek naar de uitloging van asbest-cement leidingen in het voorzieningsgebied van twee pompstations van de WML'. Kiwa-rapport SWI 91.115, Nieuwegein

Schock M.R. & R.W. Buelow: 1981. 'The behavior of asbestos-cement pipe under various water quality conditions: Part 2, theoretical considerations' JAWWA 73, 636-651

Troxell G.E., H.E. Davis & J.W. Kelly: 1968. 'Composition and properties of concrete' 2nd ed. New York: Mc Graw-Hill Book Co.Inc.

Walsum L. van: 1989. 'Onderzoek naar de uitloging van cementhoudende leidingmaterialen (interim rapport metingen voorzieningsgebied van de PWN)'. Kiwa-rapport SWI 89.130, Nieuwegein

Bijlagen

BIJLAGE 1

Distributietechnische parameters asbestcement leidingen

BIJLAGE 2

Distributietechnische parameters gecementeerde gietijzeren leidingen

BIJLAGE 3

Modelleren van uitloging in asbestcement leidingen

BIJLAGE 1**Distributietechnische parameters asbestcement leidingen**

me-ting	pH-ver-andering	ouderdom (jaren)	diameter (mm)	lengte (km)	verblijf (uren)	SI	bufcap (mmol/l)
1	0,81	22	200	3	12	-0,17	0,038
2	0,54	1	150	14,2	180	0,33	0,119
3.0	0,17	38	175	4,9	6,5	-0,02	0,086
3.1	0,23	37	175	4,9	6,5	0,01	0,092
3.2	0,2	40	175	4,9	6,5	0,16	0,12
3.3	0,16	38	175	4,9	6,5	-0,29	0,134
3.4	0,17	40	175	4,9	6,5	-0,08	0,202
3.5	0,09	38	175	4,9	6,5	-0,44	0,188
3.6	-0,1	40	175	4,9	6,5	0,14	0,141
4	0,11	20	600	5,8	5	0,27	0,129
5	0,1	25	237	4,5	15	0,28	0,411
6	0,05	30	250	6,6	7	0,43	0,109
7	0,02	16	400	9,5	26	0,53	0,287
8	0,0	23	545	10,7	20	0,45	0,114
8.1	0,01	23	545	10,7	20	0,41	0,119
8.2	-0,05	23	545	10,7	20	0,46	0,109
9	-0,04	24	550	6,8		0,4	0,112
10	-0,04	15	222	3	3	0,13	2,3
11	-0,06	9	420	17,		0,42	0,164
12	-0,08	37	100	1,	3,5	0,57	0,109
13	-0,12	27	400	15,	15	0,39	0,318

BIJLAGE 2

Distributietechnische parameters gecementeerde gietijzeren leidingen

met- ing	pH-veran- dering	ouderdom (jaren)	diameter (mm)	lengte (km)	verblijf (uren)	SI	bufcap (mmol/l)
14	0,09	30	200	2,4		0,53	0,287
15	0,05	13	300	5,8		0,39	0,111
16	0,08	10	240	0,2		0,39	0,116
17	-0,03	11	225	4,5	8	0,45	0,107
18	0,02	44	125	0,63	2,5	0,53	0,106
19	0,1	0	150	1,1	2,5	0,07	0,21
20	0,13	1	150	1,1	4,5	0,16	0,175

BIJLAGE 3

Modelleren van uitlogging in asbestcement leidingen

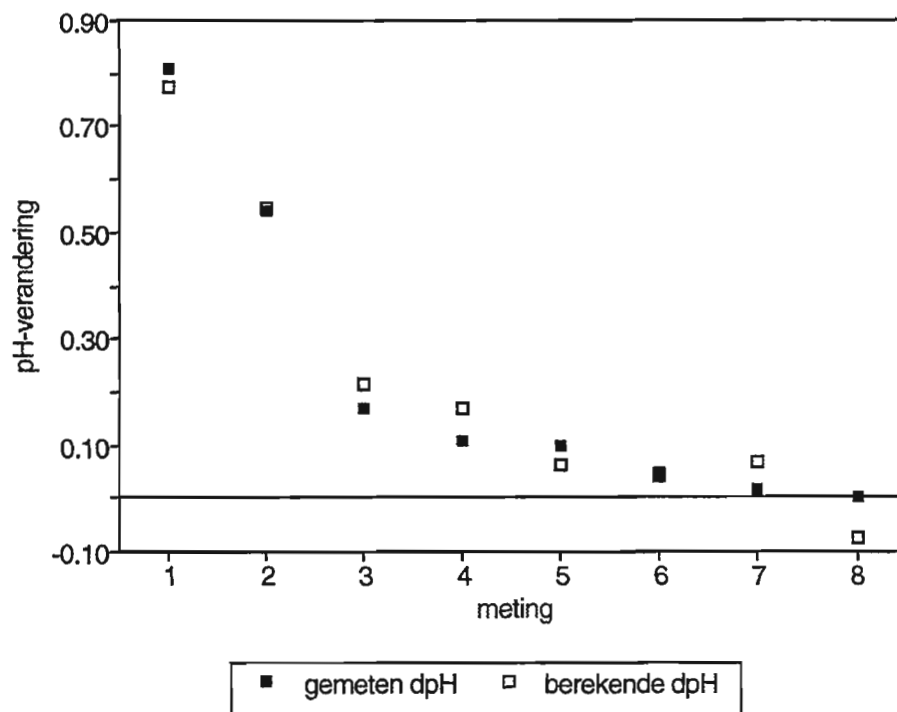
Nagegaan is of er een statistische relatie bestaat tussen de pH-stijgingen en de factoren ouderdom, diameter, verblijftijd, buffercapaciteit en SI. De metingen, waarbij een pH-daling optrad zijn daarbij uitgesloten, omdat deze duiden op een ander proces (kalkafzetting). De statistische bewerking is uitgevoerd op basis van slechts 8 metingen, de uitkomsten kunnen dan ook als niet meer dan indicatief worden gezien.

Model voor pH-verandering

Het blijkt dat de pH-verandering beschreven kan worden aan de hand van de factoren ouderdom, diameter, verblijftijd, SI en buffercapaciteit. De pH-verandering op een bepaald traject kan beschreven worden met het model:

$$\begin{aligned} \text{pH-verandering} = & 0,92 \\ & - 0,036 * (\text{ouderdom}) + 130 * (1/\text{diameter}) \\ & - 0,005 * (\text{verblijftijd}) \\ & - 0,76 * (\text{buffercapaciteit}) - 0,49 * (\text{SI}) \\ & + \text{modelfout} \end{aligned}$$

Deze vergelijking beschrijft 97 % van de variantie in de waargenomen pH-veranderingen. In figuur 16 zijn de berekende pH-veranderingen samen met de waargenomen pH-veranderingen weergegeven.



Figuur 16 *Vergelijking van gemeten en berekende pH-veranderingen*

Zichtbaar is dat de berekende waarden goed overeenkomen met de gemeten waarden. Voor asbestcement kan de pH-verandering bijna volledig beschreven worden met de factoren ouderdom, $(\text{diameter})^{-1}$, verblijftijd, SI en buffercapaciteit.

Het model is berekend op basis van 8 metingen. Voor een statistische bewerking is dit zeer weinig. Het model is daarom slechts indicatief en zeker niet toe te passen op trajecten die niet betrokken zijn in het berekenen van het model.

De bruikbaarheid van de modellering ligt in het feit dat het ons een werkhypothese verschaft voor nader onderzoek.