

Materiaalkeuze voor filterbuis toe te passen in vervuilde grond van project Haarlem

E.W. Schuring

Juni 2007

[1]	[definitieve versie]	Februari 2007
[2]	Revisie 1	Maart 2007
Gemaakt door:	Gecontroleerd door:	Goedgekeurd door:
 E.W. Schuring	 J.W. Hooijmans	 J.J. Saurwalt
ECN Engineering & Services		

Verantwoording

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van de Firma Visser & Smit Hanab BV, de heer A. Addink, Postbus 305, 3350 AH PAPENDRECHT onder ECN projectnummer 7.9635.01

Abstract

Visser & Smit Hanab BV has to make a materials selection for piping in contaminated soil. ECN-Engineering & Services was asked to make a materials advice based on corrosion considerations. A life time of 50 years is expected to be necessary.

From information made available regarding the composition of the soil and groundwater, it is concluded that the soil is to be considered very corrosive. Grondwater analyses at -10mNAP showed a large scatter in chlorine concentration. This result in local attack of stainless steel with the risk of local galvanic attack.

Carbon steel, stainless steels and aluminium alloys were considered as metallic options. With respect to metallic piping it is concluded that these can only be applied when using additional protective measures. These protective measures include coating and/or cathodic protection. As only limited information was available regarding Sulfur and Sulfate concentrations, microbiological corrosion is expected to occur. At -10 mNAP the sulfur and sulfate concentration are below the danger limits. However, because of the high chlorine concentrations, periodic inspection must be performed and a maintenance plan is to be set up. For the periodic inspection, a 4-5 year inspection interval is suggested. The application of metallic piping is not advisable. If a metallic material is selected, a stainless steel with a minimum of 20% Cr and 4% Mo is the best option. Additional measures regarding protection must be made, e.g. cathodic protection and regular inspection.

Several plastics, (HD)PE, PVC, PA, PTFE and EP (epoxide), were evaluated using literature and internet data. PTFE and EP perform best with respect to these chemicals. EP has an acceptable mechanical strength. (HD)PE is a good second choice.

With respect to the inner environment of the pipe, the transported groundwater, similar considerations can be made. From the presented information it is concluded that the pipe may well be partly drained occasionally. This means that corrosive components can be concentrated locally. With respect to mainly metallic piping, locally very corrosive conditions can occur, resulting in fast corrosion starting in the inner surface of the pipe. Although toluene, benzene, ethylene benzene and xylenes evaporate quickly, some concentration can not be excluded.

If plastic is selected as material for the piping, the pipe is to be laid in a bed of mechanically cleaned sand or soil. This to ensure an equalized stress distribution over the pipe and to prevent local loads by sharp objects in the soil.

Therefore, it is concluded that EP and PTFE are the best options for pipe material, with PE as second best.

Distribution list

A. Addink	Visser & Smit Hanab BV	1-2
E.W. Schuring	ECN	3
J.J. Saurwalt	ECN	4
A.B.M. Hoff	ECN	5
C.A.M. van der Klein	ECN	6
ECN-Centraal Archief	ECN	7

Key words

PE, polyethylene, PTFE polytetrafluoroethylene, PVC, polyvinylchloride, PA, polyamide, EP, epoxide, carbon steel, stainless steel, aluminium, poluted soil, corrosion, underground piping, clay, sand

Inhoud

Lijst van tabellen	5
Lijst van figuren	5
Samenvatting	6
1. Inleiding	9
2. Basisgegevens	11
2.1 Gegevens met betrekking tot corrosie overwegingen	11
2.2 Overige overwegingen bij de materiaalkeuze	16
3. Literatuuronderzoek en discussie	17
3.1 Scenario's voor de corrosiviteit van de grond	18
3.2 Metalen	21
3.3 Kunststoffen	30
3.4 Inwendig milieu van de leiding	32
3.5 Gecombineerde toepassing RVS-Kunststof	32
4. Conclusies	33
5. Aanbevelingen	33
Referenties	35
Bijlage A Methode voor het bepalen van de corrosiviteit van grond	37

Lijst van tabellen

Tabel 2.1	<i>Maximaal gemeten concentraties in de grond (Witteveen+Bos, 2003)</i>	11
Tabel 2.2	<i>Maximaal gemeten concentraties in het grondwater (Witteveen+Bos, 2003)</i>	12
Tabel 2.3	<i>Chloride concentraties gemeten in en geleidbaarheid van het grondwater (ALcontrol, 2005)</i>	12
Tabel 2.4	<i>Analyse grondwatermonsters van -10 mNAP [bron: Visser & Smit Hanab bv]</i>	12
Tabel 2.5	<i>Verstreckte gegevens over de toepassing, bron: Visser & Smit Hanab bv</i>	13
Tabel 2.6	<i>Indicatieve bepaling corrosiviteit van de grond op basis van Bijlage A</i>	15
Tabel 3.1	<i>Scenario's corrosiviteit van de grond op -10 mNAP op basis van Bijlage A</i>	19
Tabel 3.2	<i>Expositie condities in de grond en corrosieverwachting voor onbeschermd C-staal</i>	22
Tabel 3.3	<i>Overzicht van enkele roestvaststaal soorten</i>	27
Tabel 3.4	<i>Chemische bestendigheid van(HD)PE, PVC, PA and PTFE bij 20°C</i>	30

Lijst van figuren

Figuur 3.1	<i>Indicatie voor de weerstand en corrosiviteit van verschillende grondsoorten [Bogaerts, 1995]</i>	20
Figuur 3.2	<i>Pourbaix diagram voor Fe in water</i>	22
Figuur 3.3	<i>Gevoeligheid voor putvormige- en spleetcorrosie van roestvast staal afhankelijk van de chemische samenstelling, chlorideconcentratie en temperatuur</i>	25
Figuur 3.4	<i>Pourbaix diagram van aluminium bij kamertemperatuur</i>	29

Samenvatting

Visser & Smit Hanab BV moet als aannemer in het project Haarlem een leiding in vervuilde grond aanbrengen. Door de leiding zal grondwater worden getransporteerd. Verder wordt een levensduur van 50 jaar beoogd voor de leiding, indien mogelijk inspectie en onderhoudsvrij. Aan ECN Engineering & Services is gevraagd een materiaaladvies voor de te kiezen leiding uit te brengen op basis van de verstrekte gegevens met betrekking tot milieucondities en levensduur. Daarvoor is een literatuur scan uitgevoerd, waarmee een goede indicatie wordt verkregen van het verwachte corrosiegedrag van een aantal metalen en kunststoffen.

Uit de analyse van de vervuilde grond en het grondwater blijkt dat het milieu in een verschillende scenario's met variaties in agressieve bestanddelen, als zeer corrosief moet worden beschouwd. Een analyse van het grondwater op -10 mNAP toont aan dat het chloride percentrag sterk varieert. Dit kan leiden tot een lokale aantasting (activering) van het roestvaststaal, wat het risico van galvanische corrosie met zich meebrengt. Dit is uitgezet tegen de corrosiebestendigheid die van metallische materialen, C-staal, roestvaststaal (RVS) en aluminium, en kunststoffen, PE, PVC, PA, PTFE en EP onder de beoogde condities mag worden verwacht. Daarbij is gekeken of deze materialen onbeschermd of beschermd kunnen worden ingezet.

Voor de metallische materialen is de conclusie dat deze niet zonder extra beschermende maatregelen kunnen worden ingezet. Deze extra bescherming kan bestaan uit een organische coating, bijvoorbeeld bitumen, actieve kathodische bescherming of een combinatie hiervan. De grond is zeer inhomogeen wat gevaar voor galvanische corrosie oplevert. Mogelijk is met kathodische bescherming niet overal de gewenste potentiaal haalbaar. Omdat er slecht beperkte gegevens over de concentraties aan zwavel en sulfaat bekend zijn, is vooralsnog aangenomen dat microbiële corrosie is te verwachten. Op -10 mNAP liggen de zwavel en sulfaatconcentraties onder het gevaren niveau voor microbacteriële corrosie. Echter, vanwege de hoge chloride concentraties zal voor een levensduur van 50 jaar, regelmatig inspectie moeten plaatsvinden. Gedacht wordt aan elke 4 tot 5 jaar. Door corrosie, welke in de poriën van de filterbuis versterkt kan worden doordat een coating de poriën niet zal beschermen wat resulteert in een klein onedel oppervlak, zullen de poriën tijdens gebruik zeer waarschijnlijk is grootte toenemen. Daarmee is het af te raden een metallische filterbuis toe te passen. Als toch gekozen wordt voor een metalen filterbuis, is de keuze voor een roestvaststaal met minimaal 20% Cr en 4% Mo de beste optie. Dit materiaal kan niet onbeschermd worden toegepast.

Van de onderzocht kunststoffen, zijn PTFE (teflon) en EP (epoxide) bestand tegen alle gerapporteerde chemische stoffen. PE is een goed alternatief, hoewel PE minder bestand is tegen ethylbenzeen en toluen, maar beter dan PVC. EP heeft daarbij nog een redelijke sterkte.

Het te transporteren medium, grondwater, heeft hoge concentraties van genoemde chemische stoffen als mede een hoge concentratie chloriden. Voor de keuze vanuit corrosieoogpunt kunnen daarom voor het inwendige milieu van de leiding, deels dezelfde overwegingen gemaakt worden als voor het uitwendige milieu. Omdat het niet onwaarschijnlijk is dat de leiding deels een enkele keer droog komt te staan, is het mogelijk dat indikking van corrosieve componenten optreedt. In het geval van metallische leidingen kan dit leiden tot een versnelde corrosie van binnenuit door zogenaamde stilstandscorrosie. Daarmee is het met betrekking tot de corrosiviteit van het inwendige milieu aan te raden te kiezen voor een PTFE of PE leiding.

Bij de keuze voor een kunststoffilterbuis wordt aanbevolen de filterbuis te leggen in een bed van mechanisch schone grond of zand. Doel hiervan is een gelijkmatige belasting van de leiding te

garanderen en te voorkomen dat puntbelastingen ontstaan door scherpe voorwerpen die op de buitenwand drukken.

1. Inleiding

Voor het project Haarlem moet de firma Visser & Smit Hanab BV als aannemer een filterbuis in vervuilde grond aanbrengen. Aan ECN Engineering & Services is gevraagd een materiaaladvies uit te brengen voor het toe te passen filterbuismateriaal.

Het materiaaladvies is gebaseerd op door Visser & Smit Hanab BV verstrekte gegevens betreffende de expositiecondities. Doel van de studie is een aanbeveling te doen voor het te kiezen materiaal voor de buizen. Tevens zal, indien mogelijk, een indicatie voor de verwachte levensduur worden gegeven. Daarbij wordt gestreefd naar een levensduur van 50 jaar.

Er worden geen uitspraken gedaan over leverbaarheid, bedrijfsmatige overwegingen of verwerkingscondities voor de onderzochte materiaaltypen.

2. Basisgegevens

Voor het bepalen van de materiaalkeuze zijn de volgende gegevens verstrekt door Visser & Smit Hanab BV gebruikt.

2.1 Gegevens met betrekking tot corrosie overwegingen

Voor de materiaalkeuze zijn de volgende aspecten meegenomen:

- uitwendig milieu van de leiding:
 - type en hoeveelheid van de verontreinigingen in de grond,
 - zuurtegraad,
 - vochtigheid,
 - beluchting,
 - grondsoort (klei, zand, veen, enz),
 - aanwezigheid van agressieve componenten (bijvoorbeeld chloriden en bacteriën),
 - temperatuur,
 - elektrische geleidbaarheid van de grond, uitgedrukt in de weerstand [Ω .cm].
- inwendig milieu van de leiding:
 - te transporteren medium (grondwater),
 - zuurtegraad, samenstelling,
 - temperatuur,
 - druk,
 - aanwezigheid van agressieve componenten (bijvoorbeeld chloriden en bacteriën).

Overige specificaties:

- indien van toepassing gewenste verbindingsmethode(n) en ander constructietechnieken,
- gewenste levensduur.

Gegevens met betrekking tot de grond en het grondwater

De samenstelling van de vervuilde grond is weergegeven in Tabel 2.1, voor het grondwater in Tabel 2.2. Deze gegevens zijn overgenomen uit (Witteveen+Bos, 2003). Tevens is op 10 locaties door ALcontrol Laboratories (ALcontrol, 2005) de chlorideconcentratie volgens een natchemische methode bepaald. Deze waarden staan samengevat in Tabel 2.3. Omdat de metingen uit Tabel 2.3 tot maximaal -2 mNAP geen en de filterbuis op een diepte van -10 mNAP is gepland, zijn extra grondwater analyses uitgevoerd op -10 mNAP. De resultaten van deze metingen staan vermeld in Tabel 2.4. De overige gegevens staan samengevat in Tabel 2.5.

Tabel 2.1 *Maximaal gemeten concentraties in de grond (Witteveen+Bos, 2003)*

Stofparameter	max. concentratie (mg/kg d.s.)	kookpunt (°C)	MAC-waarde (mg/m ³)	voorlopige risicoklasse (T)
Arseen-componenten	5	615	0,05	3
Chroom	10	2672	0,50	3
Kwik	0,08	357	0,01	2
Lood	100	1.740	0,15	1
Nikkel	8	2730	0,10	1
Zink	56	907	1	1
PAK	17.000	variërend (gemiddeld>350)	0,2	3
Tolueen	1,5	111	150,00	1
Xylenen	1,8	139	210,00	1
Naftaleen	1.900	218	50,00	0
Cyanide-totaal	640	500	5,00	1

Tabel 2.2 *Maximaal gemeten concentraties in het grondwater (Witteveen+Bos, 2003)*

Stofparameter	Max. concentratie (µg/l)	MAC-waarde (mg/m ³)	voorlopige risicoklasse (T)
Arseen-componenten	260	0,05	3
Chroom	140	0,50	3
Kwik	0,6	0,01	2
Lood	3.750	0,15	1
Nikkel	10	0,10	1
Zink	79	1	1
PAK	74.000	0,2	3
Benzeen	8.600	3,25	3
Tolueen	32.000	150,00	1
Ethylbenzeen	15.000	215,00	0
Xylenen	30.000	210,00	1
Naftaleen	100.000	50,00	0
Cyanide-totaal	3.800	5,00	1

Tabel 2.3 *Chloride concentraties gemeten in en geleidbaarheid van het grondwater (ALcontrol, 2005)*

Concentratie in en geleidbaarheid van monster # op m NAP										
Element	MP 2	MP4	MP5	MP7	MP10	MP12	MP14	MP16	S1 (850-950)	S2 (350-450)
m NAP	-0,91	-1,11	-1,06	-1,06	-1,34	-2,01	-1,59	-1,62	-0,46	-0,94
Chloride [mg/l]	230	290	250	130	1100	560	1300	200	68	1500
Geleidbaarheid [µS/cm] Op 9-10 mNAP: tussen 2300 en 5600										

Tabel 2.4 *Analyse grondwatermonsters van -10 mNAP [bron: Visser & Smit Hanab bv]*

Monster	2067-m	5001-d	5009-d
Datum monstername	24-05-07	24-05-07	24-05-07
Filtertraject (m+NAP)	-8,38 tot -9,38	-8,78 tot -9,78	-8,32 tot -9,32
Temperatuur [°C]	11,7	15,4	14,3
pH	7,2	9,2	7
EC [uS/cm]	3670	710	1500
Zwavel [mg/l]	1,3	<1	4,5
Chloride (AA) [mg/l]	1700 *	130 *	130 *
Chloride (AA) [mmol/l]	48	4	4
Sulfaat (als SO ₄) [mg/l]	<1,0	<1,0	8,1

Opmerking: * overschrijding streefwaarde

Tabel 2.5 *Verstreekte gegevens over de toepassing, bron: Visser & Smit Hanab bv*

Parameter	Eenheid	Waarde(n)	Opmerking en toelichting met betrekking tot corrosieaspecten
Zuurtegraad grond	pH	7,6-9,0	Licht basisch
Grondsoort tot diepte van:	m NAP	0,5-(-0,5) Afwisselend zandig en kleiig-puinhoudend	Goed vocht doorlatend Redelijke beluchting
		(-0,5)-(-2,5): Afwisselend zandig en kleiig	Redelijk vocht doorlatend Matige beluchting
		(-2,5)-(-3,5): Klei veen	Slecht vochtdoorlatend Slechte beluchting
		(-3,5)-(-10,5): Fijnzand met kleilaagjes (wadzandpakket)	Matig vochtdoorlatend Matige beluchting
Levensduur	Jaar	50	Streefwaarde, afhankelijk van materiaalkosten kan een onderhoudsplan gemaakt worden
Transportmedium	--	Grondwater,	zie verder Tabel 2.2 en 2.3 voor de samenstelling
Temperatuur	°C	7	
Verbindings- en constructietechnieken	--	Materiaalafhankelijk	
Elektrische weerstand	[Ω.cm]	--	Hoe lager de weerstand hoe sterker de mate van corrosie bij metalen zal zijn. Hoe hoger de geleidbaarheid, hoe hoger de corrosiesnelheid (Tabel 2.4)
Elektische geleidbaarheid	[μS/cm]	750-3670	
Samenstelling grondwater			Zie Tabel 2.4
Cl ⁻	mmol/l	4-48	
S	mg/l	<1 - 4,5	
SO ₄ ⁻	mg/l	<1-8,1	
Beoogde diepte horizontale filterleiding	m NAP	-9,5	Horizontaal onder een hoek van 20°

Met betrekking tot de opbouw van de grondlagen, kan nog het volgende over de invloeden op de mate van corrosiviteit worden toegevoegd: in de bovenste één meter grond zal regenwater gemakkelijk indringen. Dit door de open structuur, mede als gevolg van het aanwezige puin. In deze zone zal daardoor de beluchting redelijk tot goed zijn. Dit betekent dat verwacht mag worden dat er voldoende zuurstof aanwezig is voor het toepassen van materialen die hun corrosieweerstand ontlenen aan de vorming van een stabiele oxidehuid. Voorbeelden zijn roestvaststaal en aluminium. De leiding ingraven op deze diepte heeft als risico dat er beschadigingen kunnen optreden bij grondwerkzaamheden. Het aanwezige puin kan, eventueel in combinatie met grondbewegingen, makkelijk leiden tot beschadigingen van de leidingen. In het geval van kunststofleiding zelfs tot breuk door lokale puntbelasting. Het grondwaterniveau ligt op ca -0,9 mNAP (zie Tabel 2.3). Variaties het grondwaterpeil kunnen leiden tot (tijdelijk) verhoogde chlorideconcentraties. Bij de keuze voor een metalen filterbuis, aluminium of roestvast staal, zal het materiaal aangetast (pitting) kunnen worden. Door de voldoende beluchting zal het materiaal weer kunnen repassiveren.

Op -0,5--2,5 m NAP is een zeker klei-aandeel aanwezig. Deze laag zal daarmee veel dichter zijn en minder goed belucht. Materialen die hun bescherming ontlenen aan een stabiele oxidehuid kunnen hier beter niet worden toegepast.

Op -2,5--3,5 m NAP zal de aanwezige klei en veen een dichte structuur met slechte beluchting hebben. In deze laag zal tevens een hoge activiteit van bacteriën te verwachten zijn. Een typische waarde voor elektrische weerstand voor dit type grond is 500-2000 Ω .cm.

Op -3,5--10,5 m NAP is de structuur weer meer open. De grondsoort is beschreven als fijnzand met kleilaagjes. Dit is een structuur die in verticale richting als inhomogeen moet worden beschouwd. Een deeltjesgrootte van 0,002-0,02 zou overeen kunnen komen met fijn zand. Door de gelaagde opbouw met klei-laagjes, zal deze zone over het algemeen slecht belucht zijn. Mede door de hoge chloride concentratie en de verwachte bacteriële activiteit, zal de corrosiviteit, met name met betrekking tot metalen, vrij hoog zijn. Een elektrische weerstand die in de literatuur voor deze grond wordt opgegeven, ligt tussen de 3000-5000 Ω .cm.(httd.njuct.edu.cn, 2007). De filterbuis is gepland in deze laag, namelijk op -9,5 m NAP.

Op internet (<http://httd.njuct.edu.cn/MatWeb/soil/table603.htm>) wordt een methodiek beschreven waarmee de corrosiviteit van grond kan worden bepaald. De opzet en uitwerking van deze methoden wordt uitgebreid beschreven door:

- 'H. Steinrath, Untersuchungsmethoden zur Beurteilung de Aggressiviteit von Boeden (Investigation methods for the assessment of the aggressiveness of soils), DVGW, Eschborn (D)- 1966. Additional descriptions can be found in DIN 50929, part 3
- op de internetsite <http://httd.njuct.edu.cn/MatWeb/soil/table603.htm>

De methodiek is kort weergegeven in Bijlage A.

In Tabel 2.6 is getracht op basis van de methode beschreven in Bijlage A een indicatie voor de corrosiviteit van de betreffende grond te maken. Van een aantal parameters is de waarde niet of onvoldoende bekend. Voor enkele gevallen is een aanname gedaan. Voor parameters waar geen goede aanname gedaan kon worden is een neutrale waarde gekozen. Dit staat aangegeven in Tabel 2.1. Voor de eindwaarde zijn alle 'ratings' opgeteld. De uiteindelijk totaal 'rating' eindigt op -30. Dit betekent dat de grond als zeer corrosief beschouwd kan worden ten opzichte van koolstofstaal. Als indicatie kan dan uitgegaan worden van een corrosiesnelheid van C-staal van ca 4 mm/j of meer. Voor roestvast staal is geen algemene corrosiesnelheid aan te geven, omdat RVS doorgaans lokale corrosie zoals pitting, interkristallijne corrosie en/of spleetcorrosie ondervindt. Echter, bij een zeer corrosief milieu kan ervan uitgegaan worden dat deze vormen van corrosie zeer wel kunnen optreden.

De filterleiding is gepland op een diepte van -9,5 m NAP. Daarmee komt de filter de laag met afwisselend fijnzand en kleilaagjes. De exacte mate van verontreiniging in deze laag is niet bekend. De gegevens over de verontreiniging in Tabel 2.1. en 2.2 zijn waarschijnlijk gemiddelde waarden.. Het grondwaterpeil ligt, afgeleid van de opgegeven stijghoogte voor het bepalen van de chloriden gehalten in Tabel 2.3, op 0,9-2 m NAP. Daarmee ligt de filterbuis in het grondwater. De aanvullende analyse van het grondwater op -10 mNAP, Tabel 2.4, geven aan dat het chloridegehalte sterk varieert en ligt tussen 130-1700 mg/l (4-48 mmol/l)

Voor het aansluiten van de filterbuis op de afvoer, zal de filter op de afvoerlocaties schuin door alle grondlagen worden aangebracht. Bij de keuze voor een metalen filterbuis, kunnen daardoor lokaal variaties in potentiaal over de buis ontstaan. Dit brengt een gevaar voor galvanische corrosie met zich mee. De delen van de buis met een lager potentiaal zijn onedel ten opzichte van de delen met een hoog potentiaal, waardoor lokale corrosie kan ontstaan.

Tabel 2.6 *Indicatieve bepaling corrosiviteit van de grond op basis van Bijlage A*

Parameter	Gemeten of aanname	waarde	Rating
1-Grondtype	Gemeten (over +0,5 tot -10,5 mNAP)	(ernstig) verontreinigd	-12
2-Weerstand [Ω .cm]	Aanname op basis van literatuur	500-5000	-4
3-Watergehalte	Aanname (min)	$\leq 20\%$	0
4-pH	Gemeten	7,6-9,2	0
5-Buffering	Aanname/onbekend	neutraal	0
6-Zwavelgehalte	$< 4,5$ [mg/l]	Neutraal	0
7-Neutrale zouten	Op basis van de hoogste concentratie Cl^- van het grondwater: $1500\text{mg/l} \cong 40\text{mmol/kg}^1$ (max 48 mmol/kg gemeten, Tabel 2.4)	$> 30-100$	-3
8-Sulfaten	$< 1 - 8,1$	matig	-2
9- Grondwater	Gemeten	Aanwezig	-1
10-Horizontale homogeniteit grond	Aanname (gelaagde opbouw)	Verschil max 2	+1
11-Verticale homogeniteit grond	Gemeten	Inhomogeen met schillende structuren	-6
12-Electrochemische potentiaal	Onbekend	Neem 'gunstigste waarde'	-3
Totaal			-30

NOOT:
 Er is aangenomen dat 1 liter grond ongeveer 1 kg weegt. Dit is niet helemaal juist. 1 liter grond zal zwaarder wegen, dus de concentraties worden nog conservatief geschat.

2.2 Overige overwegingen bij de materiaalkeuze

Deze overwegingen spelen bij de materiaalkeuze in dit rapport een secundaire rol. Echter, zij zijn mogelijk van belang bij de keuze op basis van constructieve overwegingen.

Sterkte buismateriaal:

Het filterbuis materiaal moet een voldoende sterkte hebben. De benodigde sterkte wordt bepaald door de wijze waarop de buis in de grond wordt aangebracht. Voor zover bekend, zal de filterbuis worden geplaatst met een boortechniek. Daarbij komen op de filterbuis een zekere trekbelasting te staan, welke de filterbuis moet kunnen weerstaan. De grootte van deze belasting is bij het schrijven van dit rapport niet bekend.

Maatvoering:

De filterbuis zal een diameter van 125 mm krijgen en over een lengte van 300 m worden aangelegd. Daarbij gaat de filter onder een hoek de grond in, om op een diepte van -9--10 mNAP onder een geringe hoek verder te lopen over de genoemde afstand van 300 m. Het geselecteerde buismateriaal moet in deze maatvoering verkrijgbaar zijn.

Filtreereisen:

In het filterbuismateriaal moet een porositeit met een zekere poriegrootte aangebracht kunnen worden. Deze poriegrootte is van wezenlijk belang voor het functioneren van de filterbuis en is gerelateerd aan de grof of fijnheid van de deeltjes in de grond. In dit geval het fijne zand op -9---10 mNAP.

Gebruikscondities:

De filterbuis kan na plaatsing niet meer worden opgegraven of vervangen. Eventuele reparatie of controle moet van binnen uit de filterbuis uitgevoerd worden.

3. Literatuuronderzoek en discussie

Voor de materiaalkeuze speelt vooral de corrosievastheid voor deze toepassing een rol. Daarbij moet onderscheid worden gemaakt tussen het interne milieu (het te transporteren medium) in de leiding en het externe milieu (de grond).

Voor metalen zijn onder de gegeven condities vooral beluchting (beschikbaarheid van zuurstof), vochtigheidsgraad (geleidend medium voor elektrochemische corrosie), de temperatuur, weerstand van de grond, biologische activiteit, opgeloste verontreinigingen en chloridenconcentratie van belang.

Als zou worden gekozen voor een kunststofleiding, spelen mogelijkheden tot (latere) verzakkingen en het optreden van puntbelasting een rol. Of de grond op de locatie van de filterbuis stabiel is, is tijdens het schrijven van dit rapport niet bekend. Daarom zal ervan worden uitgegaan dat zetting of verzakking van de grond op kan treden. Een puntbelasting zou kunnen worden veroorzaakt door opgebouwde druk door een verzakking in combinatie met harde delen, zoals puin, in de grond. Verder zijn sommige kunststoffen gevoelig voor microbiële aantasting.

Daarmee kan de materiaalkeuze grofweg in twee materiaalsoorten worden ingedeeld:

- metalen
- kunststoffen.

Metalen

Binnen de metalen komen in principe een aantal typen in aanmerking:

- C-staal: Dit materiaal kan in verschillende condities worden toegepast of geleverd: onbeschermd, verzinkt, gecoat met bitumen of andere organische coating. Onbeschermd C-staal kan actief of passief kathodisch worden beschermd.
- Roestvaststaal: Ferritisch, austenitisch (bv AISI304, 316 of AISI904L), Duplex. Dit materiaal wordt meestal onbehandeld of gebeitst en gepassiveerd toegepast
- Aluminium: hiervoor wordt voor ondergrondse buizen doorgaans legeringen als AA3003, AA6061 en AA6063 toegepast. Daarbij wordt aanbevolen om aanvullende bescherming met coatings in combinatie met kathodische bescherming toe te passen.

Kunststoffen

Voor buizen wordt doorgaans PE (polyethyleen) of PVC (polyvinylcarbonaat) toegepast. PE is in een groot aantal varianten beschikbaar, zoals HDPE, PE en LDPE. Deze hebben verschillende corrosie-eigenschappen. Een derde toegepast materiaal is epoxide (EP).

De grond waarin de buizen worden ingegraven, is vanuit corrosieoverwegingen de meest instabiele. Dit heeft betrekking op zowel de corrosieaspecten als grondbewegingen. Er zijn grote variaties mogelijk. Voor de materiaalkeuze zal daarom eerst naar compatibiliteit met de grond worden gekeken. Daarna zal nog een evaluatie met betrekking tot het te transporteren medium worden gemaakt.

3.1 Scenario's voor de corrosiviteit van de grond

Aan de hand van de methode voor het bepalen van de corrosiviteit van grond, zoals beschreven in Bijlage A is de corrosiviteit van de grond voor een aantal scenario's berekend. Deze scenario's zijn:

- rating 1: een grondsoort voor de zone waar de filterbuis ligt (fijn zand met gelaagde klei fracties)
- rating 2: hoge en lage weerstand van de grond
- rating 3: niet gevarieerd, in grondwater dus >20%
- rating 4: niet gevarieerd, pH is bekend
- rating 5: niet gevarieerd, onbekende factor en neutraal gehouden
- rating 6: hoge en lage concentratie zwavel
- rating 7: variaties in chloride concentratie: (1500, 460, 300 en 68) mg/l
- rating 8: hoge en lage concentraties SO₄
- rating 9: niet gevarieerd, er is constant grondwater aanwezig
- rating 10: grond is in horizontale richting homogeen (fijn zand met laagjes klei)
- rating 11: niet gevarieerd, grond is in verticale richting inhomogeen
- rating 12: niet gevarieerd, laagste rating aangehouden.

Met deze scenario's wordt aangenomen dat de hoogste en laagste mate van corrosiviteit kan worden ingeschat voor alleen de locatie van de filterbuis. Daarbij is een zo realistisch mogelijke inschatting van de laagste en hoogste mate per rating genomen. De uitkomsten staan samengevat in Tabel 3.1.

In alle scenario's uitgewerkt in Tabel 3.1 komt de rating uit op een waarde lager dan -10. De waarde varieert tussen -12 en -34. Daarmee moet de grond in alle scenario's als hoog corrosief worden geclassificeerd. Daarbij moet worden opgemerkt dat voor de chloride-concentratie, een rating van -3 aangehouden moet worden.

Alleen als alle condities gunstig zijn EN het uitwasbare deel van de klei + zilte zandgrond is lager dan 10%, is een rating van -8 theoretisch haalbaar. (De rating voor rating 1 wordt dan +4). Ook dan moet de grond nog als corrosief worden beschouwd. Dit moet dan samenvallen met een Cl⁻-concentratie van maximaal 460 mg/l. Of deze condities realistisch zijn zal vastgesteld moeten worden op basis van een analyse grondmonsters genomen op -10 mNAP. Daarbij zal dan tevens het zwavel en sulfaat gehalte bepaald moeten worden omdat de theoretische waarde van -8 alleen haalbaar is als de zwavel concentratie lager is dan 5 mg/kg en de sulfaat concentratie lager is dan 5 mmol/kg. De analyses van het grondwater op -10 mNAP laten een chloride-concentraties tot boven de 1500 mg/l (40 mmol/kg) zien, zie Tabel 2.4. Daarbij worden sulfaat concentratie tot 8,1 mg/l gemeten, wat tot een rating van -3 bij sulfaten leidt.

De analyses van het grondwater laten tevens zien dat lokaal grote variaties aanwezig zijn. Het chloride gehalte varieert tussen 130 en 1700 mg/l en het sulfaatgehalte tussen <1 mg/l en 8,1 mg/l (0,08 mmol/kg). Bij de toepassing van een metalen filterbuis, zal dit leiden tot een lokale aantasting van de buis en een daarmee gepaard gaand gevaar voor galvanische corrosie op actieve delen. De hoge geleidbaarheid van het grondwater, 3670 [μ S/cm] zal dit proces versnellen.

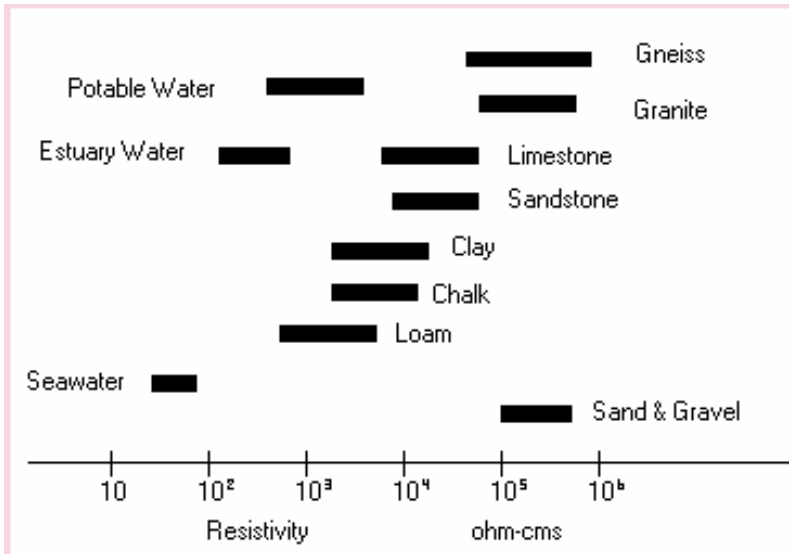
Tabel 3.1 Scenario's corrosiviteit van de grond op -10 mNAP op basis van Bijlage A

Parameter	Waarde				Rating ¹⁾			
	Min		Max		Min		Max	
1-Grondtype	Uitwasbare fractie Klei + zilt fijn zand (80%)		(ernstig) verontreinigd		-4		-12	
2-Weerstand [Ω.cm] (Figuur 3.1)	10.000-50.000 (zand + klei)		500-5000		+2		-4	
3-Watergehalte	>20%		>20%		-1		-1	
4-pH	7,6-9,0		7,6-9,0		0		0	
5-Buffering	Neutraal (<2,5)		>5,0-10		0		-4	
6-Zwavelgehalte	<5 mg/kg		nvt		0		0	
7-Neutrale zouten [mmol/gk]	<3 (68 mg/l)	3-10 (300 mg/l)	>10-30 (460 mg/l)	>30-100 (1500 mg/l)	0	-1	-2	-3
8-Sulfaten	Laag (<2 mmol/kg)		nvt		0		0	
9- Grondwater	Aanwezig		Aanwezig		-1		-1	
10-Horizontale homogeniteit grond	Homogeen, fijn zand + laagjes klei		Idem		+1		+1	
11-Verticale homogeniteit grond	Inhomogeen met schillende structuren (gelaagd met klei)		Idem		-6		-6	
12- Electrochemisch e potentiaal	Laagste waarde (-500/-400 mV vs Cu/CuSO ₄)		idem		-3		-3	
			68 mg/l Cl ⁻		-12		-30	
	Totaal afhankelijk van Cl ⁻ concentratie		300 mg/l Cl ⁻		-13		-31	
			460 mg/l Cl ⁻		-14		-32	
			1500 mg/l Cl ⁻		-15		-33	

NOOT:

Er is aangenomen dat 1 liter grond ongeveer 1 kg weegt. Dit is niet helemaal juist. 1 liter grond zal zwaarder wegen, dus de concentraties worden nog conservatief geschat.

1) Waar waarden bekend zijn uit Tabel 2.1 t/m 2.4, zijn de betreffende ratings opgenomen. behalve voor parameter 7, hier is het effect van variaties in Cl⁻-concentraties tot uitgebracht.



<i>Item</i>	<i>Measured Value</i>	<i>Marks</i>
Soil composition	Calcareous, marly limestone	+2
	Sandy marl, not stratified sand	
	Loam, sandy loam (loam content 75% or less)	0
	marly loam, sandy claysoil (silt content 75% or less)	
	Clay, marly clay, humus,	
Ground-water level at buried position	Peat, thick loam, marshy soil	-4
	None	0
	Exist	-1
Resistivity	Vary	-2
	10,000 ohm. cm or more	0
	10,000-5,000	-1
	5,000-2,300	-2
	2,300-1,000	-3
	1,000 or less	-4
Moisture content	20% or less	0
	20% or more	-1

Noot: de 'marks' zijn gerelateerd aan de ranking gegeven in Bijlage A.

Figuur 3.1 *Indicatie voor de weerstand en corrosiviteit van verschillende grondsoorten [Bogaerts, 1995]*

3.2 Metalen

C-staal

Voor de electrochemische corrosie van C-staal en metalen in het algemeen, zijn de beschikbaarheid van vocht (geleidend medium) en zuurstof de belangrijkste parameters. De mate waarin corrosie op kan treden, wordt door andere parameters zoals geleidbaarheid van de grond, andere beschikbare agressieve stoffen, als chloriden en sulfaat in combinatie met anaerobe bacteriën, en de zuurtegraad bepaald. Tabel 3.2 geeft een vergelijking tussen de opgegeven condities en de mate van corrosie die te verwachten is van onbeschermd C-staal in de grondcondities van het project Haarlem.

Afhankelijk van de diepte waarop de leiding komt te liggen, zullen de condities sterk variëren. De weerstand van de verschillende grondsoorten, zie Hoofdstuk 2, brengt het potentiële gevaar van galvanische corrosie met zich mee. Doordat de potentiaalverschillen tussen de C-stalen leiding en de grond (het milieu) over de lengte van de leiding kan verschillen, kunnen er corrosiestromen gaan lopen. Dit wordt deels geïllustreerd door het Pourbaix diagram van Figuur 3.2. In dit soort diagrammen is af te lezen welke fasen stabiel zijn, afhankelijk van de pH en het potentiaal ten opzichte van het elektrolyt water. De potentiaal wordt weer voor een belangrijk deel bepaald door de weerstand van de grond. Deze zal toenemen bij een lagere elektrische weerstand van de grond. Bij een weerstand van minder dan 1000 Ω .cm treedt ernstige tot zeer ernstige (lokale) corrosie op.

Om het C-staal goed te beschermen moet de potentiaal ten opzichte van de grond circa 0,85 V zijn. Dit kan worden bereikt door actieve kathodische bescherming toe te passen.

Microbiële corrosie is niet te verwachten als de leiding in zandgrond wordt ingegraven. In klei of veen is een hogere microbiële activiteit te verwachten. Dit is inherent aan de grondsoort, waarin grote hoeveelheden organisch materiaal is verwerkt. In vochtige omstandigheden is de mogelijkheid voor microbacteriële activiteit hoger. De aanwezigheid van grondwater verhoogt dus de microbacteriële activiteit. Anaerobe bacteriën reduceren sulfaten (SO_4^{2-}) tot zwavel. De zwavel zal bij een lage zuurstofactiviteit (lage zuurstofconcentratie) de rol van zuurstof overnemen en met ijzer, ijzer-sulfiden (FeS) vormen. Hierdoor treedt een snelle corrosie op.

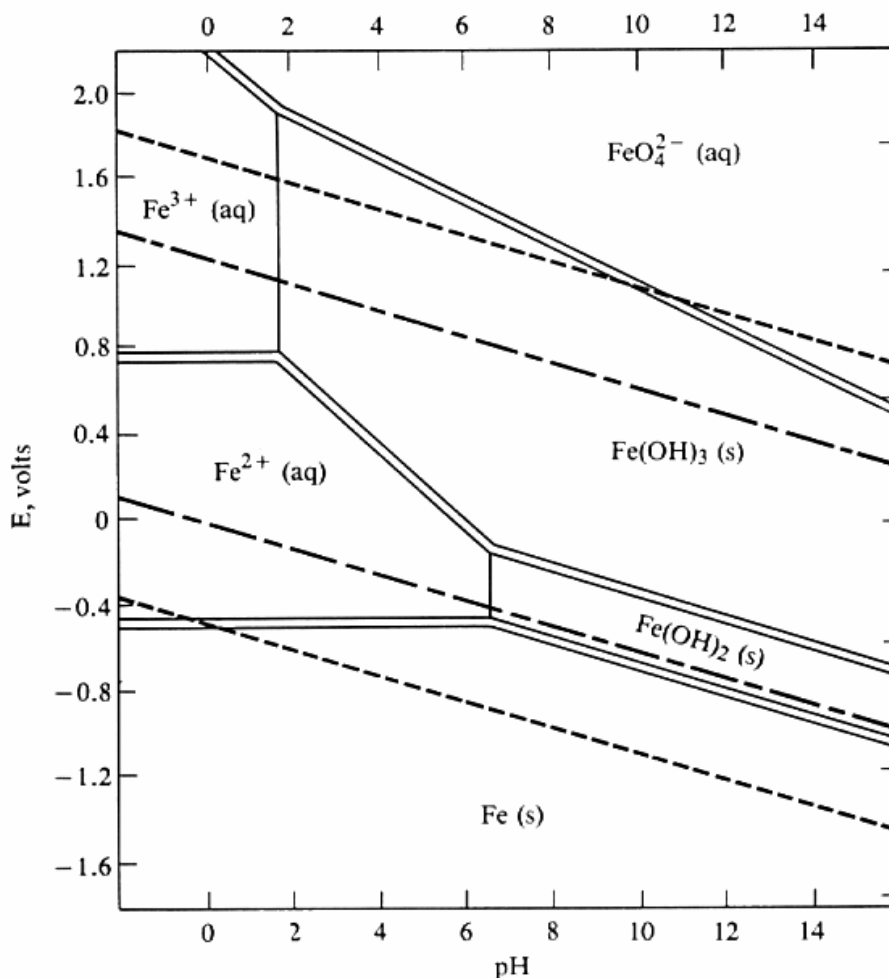
Metabolische bacteriën verlagen de zuurstofactiviteit doordat ze koolstofdioxide (CO_2) aanmaken en daarbij zuurstof gebruiken. Voor staalsoorten met beschermingsmechanismen die zijn gebaseerd op de vorming van een beschermende oxidehuid is dit nadelig. Voor een goede bescherming met verzinkt staal moet voldoende zuurstof aanwezig zijn, anders gaat het zink snel in oplossing en biedt slechts kort bescherming. De corrosiesnelheid van zink kan dan oplopen tot 25 μm per jaar. Bij standaard zinkdeklagen tot 150 μm betekent dit dus circa 6 jaar bescherming!

Samengevat is de conclusie voor de toepassing van een C-stalen leiding, dat deze voor een voldoende levensduur kathodisch moet worden beschermd. Daarbij zal de potentiaal ten opzichte van een CSE elektrode op 0,85 V moeten worden gebracht. Alleen verzinken zal voor deze toepassing niet voldoende zijn in verband met de lage zuurstofactiviteit.

De toepassing van C-staal brengt dus risico's met zich mee en er zal regelmatig inspectie moeten plaatsvinden. Met het oog op gevaar voor microbiologische corrosie en de maximale corrosiesnelheid tot boven de 4 mm/jaar, is bij toepassing van C-staal een wanddikte van 20 mm of meer aan te raden. De inspectietermijn zal dan 4 à 5 jaar zijn.

Tabel 3.2 *Expositie condities in de grond en corrosieverwachting voor onbeschermd C-staal*

Conditie	Parameter			
	Weerstand	Chloride gehalte	pH	Microbiële corrosie
Opgegeven	Niet opgegeven. Gezien de grond samenstelling wordt een lage weerstand verwacht	Tot 1500 ppm 40 mmol/kg	7,6-9,0	Er zijn geen gegevens over zwavel of sulfaat concentraties bekend
Verwachte corrosie o.b.v. lit. gegevens (ASM-Handbook Vol 13C)	Corrosief- zeer corrosief	tot Ernstige corrosie Enkele mm/jaar	Niet corrosief. Afhankelijk van potentiaal wordt $\text{Fe}(\text{OH})_x$ (roest) gevormd.	Bij hoog sulfaat concentraties (>10.000 ppm) corrosiesnelheid van meer den 4 mm/jr mogelijk



Figuur 3.2 *Pourbaix diagram voor Fe in water*

Roestvaststaal

Over het algemeen is het corrosiegedrag van RVS in ondergrondse toepassing moeilijk of niet voorspelbaar. Dit is terug te voeren op de slechte voorspelbaarheid van de corrosiecondities. Roestvaststaal kan daarom gevoelig zijn voor lokale snelle corrosie, zoals pitting.

De waarschijnlijkheid op lokale corrosie neemt toe met:

- hoger redox potentiaal (dat wil zeggen meer oxiderende condities)
- hoger chloride gehalte
- lager gelegeerd staal: lager Ni, Cr en Mo

Roestvaststaal is dus voor de corrosiebescherming afhankelijk van de aanwezigheid van zuurstof. Zoals al hiervoor opgemerkt onder C-staal en in Hoofdstuk 2, is de beschikbaarheid van voldoende zuurstof allerminst zeker. Omdat voor het optreden van corrosie de aanwezigheid van zuurstof noodzakelijk is, zal in een omgeving waar zuurstof volledig ontbreekt ook geen corrosie optreden. Gezien de beschreven condities, zal er zeker zuurstof aanwezig zijn, maar waarschijnlijk te weinig om afdoende passivatie te bieden, dit wordt aangeduid met slechte beluchting.

Daarnaast vormt de aanwezigheid van grote hoeveelheden Cl⁻, tot 1500 ppm in het grondwater, een gevaar. De chroomoxidehuid van roestvaststaal wordt aangetast door chloriden en andere halogenen. Als het roestvaststaal zich niet kan re-passiveren (het opnieuw vormen van de chroomoxidehuid), treedt pitting op. Deze lokale vorm van aantasting kan zeer snel gaan en leiden tot lekkages. Gelet op het milieu, is het zeer waarschijnlijk dat RVS zich niet kan re-passiveren. Dit wordt nog versterkt door de combinatie van verschillende grondsoorten.

Indien roestvaststaal wordt toegepast in de grond onder het grondwaterniveau, kan deze situatie vergeleken worden met corrosie in een waterige omgeving. In het project Haarlem wordt de filterbuis in het grondwater gelegd (op een diepte van ca -10 mNAP) met een chloride concentratie tussen 130 ppm en 1700 ppm, zie Tabel 2.4. Laag gelegeerde roestvaststaal soorten zoals AISI304(L), AISI316(L) en AISI317 zijn niet voldoende corrosiebestendig tijdens langdurige blootstelling. Met de beoogde bedrijfsduur van 50 jaar of meer, kan hier gesproken worden van zeer langdurige blootstelling. Om langdurig bestand te zijn tegen de condities in het grondwater, zal een roestvaststaal een kritische spleetcorrosie temperatuur (CCT) van 35°C of hoger moeten hebben, getest volgens ASTM G 48 in een Fe-Cl oplossing. [Metals Handbook Volume 13B]. Het is gebleken dat roestvaststaal dat langdurig bestand is tegen pitting en spleetcorrosie in zeewater, een PREN van ongeveer 40 of hoger moet hebben. In Figuur 3.3b is te zien dat AISI316L, bij een temperatuur van 35°C, bestand is tegen putvormige corrosie bij een Cl⁻-concentratie tot 700 ppm (700 mg/l) en tegen spleetcorrosie tot een Cl⁻-concentratie van 350 ppm. Figuur 3.3b is geldig voor aerobe condities (verzadigd met zuurstof). Voor anaerobe condities gelden lagere Cl⁻-concentraties.

Het bereik van de bepaalde Cl⁻-concentraties in het grondwater staan met een rood gearceerd vlak aangegeven in Figuur 3.3b. Op basis van Figuur 3.3 moet geconcludeerd worden dat AISI316(L) niet toegepast kan worden als filterbuis materiaal vanwege het hoge Cl⁻-gehalte. De verwachte deels anaerobe conditie is in deze conclusie meegenomen. Pas bij een Cl⁻-concentratie van 300 mg/l (300 ppm) of lager kan AISI316(L) relatief veilig worden toegepast. Volgens Tabel 2.3 en 2.4 varieert het Cl⁻gehalte in het grondwater tussen 130-1700 ppm. Op basis van deze resultaten moet de toepassing van AISI316(L) worden afgeraden. Uit Figuur 3.3 kan worden afgeleid dat een hoger gelegeerd roestvaststaal zoals AISI904L wel toepasbaar is.

De aanwezigheid van puin in de grond (0-1 m diepte) bestaat er een gevaar dat als de leiding in deze laag wordt ingegraven, de chroomoxidehuid wordt beschadigd en niet of onvoldoende kan herstellen (re-passiveren).

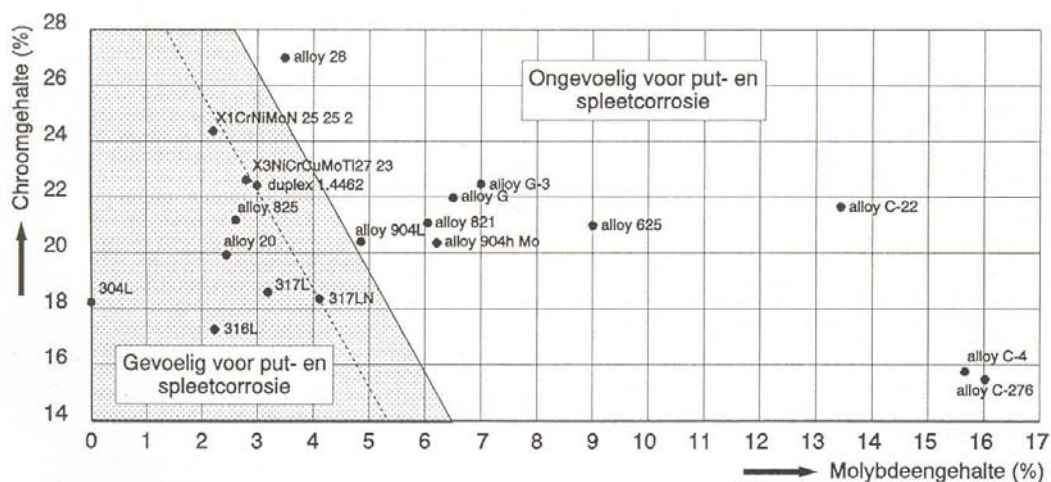
De corrosiebescherming van roestvaststaal berust op de vorming van een beschermende chroom-oxidehuid. De vorming en stabiliteit van de chroomoxidehuid wordt door legeren met molybdeen (Mo) en hogere concentraties chroom (Cr) verbeterd.

Als gekozen wordt voor een roestvaststaal, moet deze voldoende hoog gelegeerd zijn met Cr en Mo. Een hoog nikkel (Ni) gehalte verhoogt de weerstand tegen eventuele chloride-spanningscorrosie, Cl-SCC. Dit laatste is gezien de temperatuur van 7-10°C niet te verwachten. Echter, door het hoge chloridegehalte is Cl-SCC niet voor 100% uit te sluiten als de leiding onder voldoende hoge mechanische spanning komt te staan. Hoe dit verloopt over een termijn van 50 jaar is niet te voorspellen. Een indicatie voor de weerstand tegen lokale corrosie, pitting en spleetcorrosie, kan verkregen worden aan de hand van de Pitting Resistance Equivalent welke is gecorrigeerd voor het stikstofgehalte (N) in de legering (PREN):

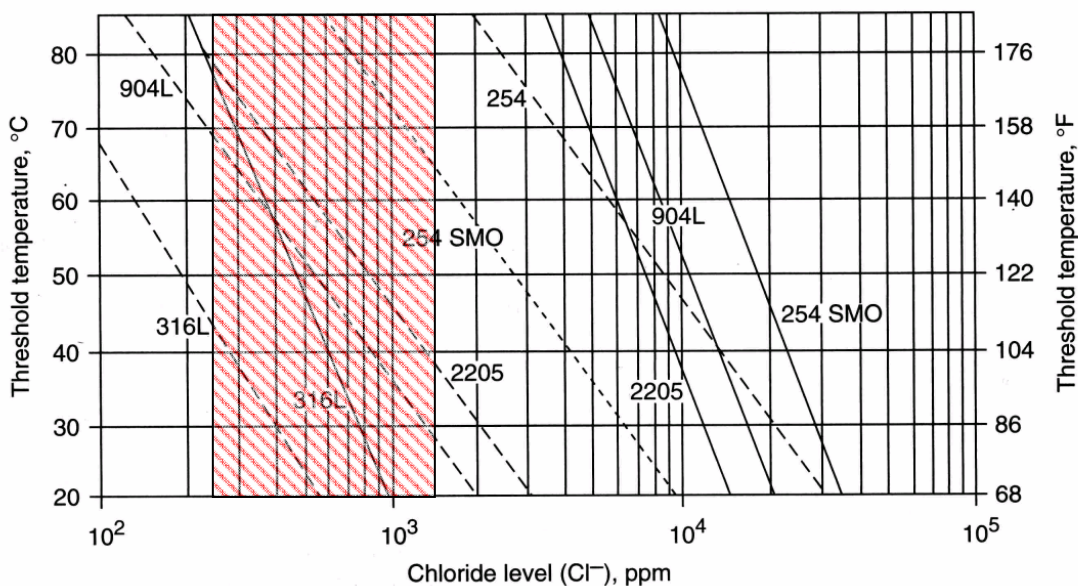
$$\text{PREN} = \text{Cr} + 3,3\text{Mo} + 30\text{N}$$

Dit betekent dat een potentieel toepasbaar roestvaststaal hoog gelegeerd moet zijn en daarmee een dure optie wordt zonder garantie voor succes. Figuur 3.3 geeft een indicatie voor de relatie tussen het chroom en molybdeen gehalte van een aantal austenitisch roestvaststaal soorten. Hoewel deze figuur ontwikkeld is voor bovengrondse condities, geeft het ook voor toepassing onder de grond een inzicht in de gevoeligheid voor corrosie van de verschillende materialen. Onder de grond kunnen de condities ongunstiger zijn, zodat de zone 'Gevoelig voor put- en spleetcorrosie' waarschijnlijk naar rechts zal opschuiven. Tussen de laag- en hoogkool varianten van de verschillende roestvaststaal soorten (bijvoorbeeld tussen AISI316 en 316L) is weinig verschil in corrosiegedrag. De keuze voor een L-kwaliteit wordt vooral bepaald door de lasbaarheid in combinatie met corrosietoepassingen.

De keuze voor een ferritisch roestvaststaal of een duplex wordt vooral bepaald door de gevoeligheid voor lokale corrosie. Deze is over het algemeen voor deze roestvaststaal soorten lager dan voor austenitische soorten. De corrosiebescherming berust nog steeds op de vorming van Cr-oxidehuid. Onder slecht beluchte condities en in de aanwezigheid van chloriden, zal ook bij deze staalsoorten de oxidehuid worden aangetast. Er zal dan meer een algemene corrosie optreden dan een lokale aantasting.



a: Gevoeligheid voor putvormige en spleetcorrosie afhankelijk van de chemische samenstelling



b: Gevoeligheid voor putvormige (dichte lijn) en spleetcorrosie (stippellijn) afhankelijk van temperatuur en Cl⁻ concentratie [Metalshandbook, Volume 13B]

Figuur 3.3 Gevoeligheid voor putvormige- en spleetcorrosie van roestvast staal afhankelijk van de chemische samenstelling, chlorideconcentratie en temperatuur

Microbacteriële corrosie (MIC)

Een ander gevaar voor corrosie van roestvaststaal is microbiologische corrosie, zoals hiervoor al beschreven onder C-staal. Seung-Ki (Seung-Ki, 1998) heeft een studie gedaan naar het microbacteriële corrosie van austenitische RVS in de grond. Dit naar aanleiding van falen van AISI304 pijpen na zes maanden bedrijfstijd. Seung-Ki heeft onderzoek gedaan aan AISI304, 316L, AISI 436L. In een laboratorium test werd na 95 dagen het ontstaan van pitting op de geteste monsters aangetoond. Om ondergrondse constructies te beschermen tegen microbacteriële corrosie, kan kathodische bescherming worden toegepast. De potentiaal moet dan op een waarde van -950 mV ten opzicht van een CSE (Cu/CuSO₄) elektrode gebracht worden. Bij de gemeten pH van 7,6-9,0 kan nog steeds MIC optreden. MIC kan afhankelijk van de betreffende bacterie optreden tot een pH van 9,5 bij temperaturen vanaf 4°C.

De zuurtegraad van de beoogde grond is voor RVS geen probleem. Roestvaststaal gedraagt zich passief bij een pH hoger dan 7.

Samengevat luidt de conclusie dat de toepassing van roestvaststaal is af te raden. Dit zowel vanuit corrosie als de beoogde levensduur van 50 jaar of langer. Als gekozen wordt voor de toepassing van de roestvaststaal, kan het best worden gekozen voor een hooggelegerde variant, bijvoorbeeld een type als AISI904L of 904h Mo. Dit zijn roestvaststaal soorten met minimaal 20% Cr en meer dan 4% Mo. Deze materialen kunnen niet zonder aanvullende maatregelen zoals kathodische bescherming worden toegepast. Daarnaast blijft een regelmatige inspectie noodzakelijk. Als inspectietermijn is een periode van 10 jaar aan te bevelen.

In Tabel 3.3 is nog een overzicht van een aantal roeststaaltypen gegeven met de berekende PREN waarde. Een hoge waarde is gunstig voor het corrosiegedrag met betrekking tot putvormige- en spleetcorrosie. De PREN is opgesteld voor toepassing onder atmosferische en bovengrondse condities of waterige condities en niet specifiek voor ondergrondse toepassingen. Echter, er is wel rekening gehouden met slecht beluchte condities. Daarmee geeft de PREN wel een indicatie voor de verwachte corrosiebestendigheid.

Tabel 3.3 *Overzicht van enkele roestvaststaal soorten*

Materiaal	nominale samenstelling (ASTM A240M)											
	C (=<)	Mn (=<)	P (=<)	S (=<)	Si (=<)	Cr	Ni	N	Cu	Mo	Fe	PREN
AISI304	0,08	2	0,045	0,03	0,75	19	8	--	--	--	--	19
AISI316LN	0,03	2	0,045	0,03	0,75	17	12	0,13	--	2,5	bal	27,3
AISI316L-WstNr-1.4404	0,03	2	0,045	0,015	1	17,5	11,5	0,11	--	2,25	bal	26,7
AISI316L-WstNr-1.4435	0,03	2	0,045	0,015	1	18	13,75	0,11	--	2,75	bal	28,8
AISI904L-WstNr-1.4539	0,02	1	0,045	0,035	1	20	25	0,05	1,5	4,5	bal	35,7
1925HMo	0,02	2	0,03	0,01	0,08	21,25	25	0,17	1	6,5	bal	45,4
254SMO	0,02	1	0,03	0,01	0,8	20	18	0,2	0,75	6,25	bal	43,8

$$\text{PREN} = \text{Cr} + 3,3\text{Mo} + 30\text{N}$$

Korte samenvatting andere ervaringen met roestvast staal

Van AISI316(L) en AISI304(L) zijn veel gevallen van ondergronds geplaatste pijpleiding bekend waarbij binnen een jaar lekkages optraden als deze onbeschermd worden toegepast [Bogaerts, 1995]. De oorzaken waren terug te voeren op galvanische corrosie en vooral op SRB (sulfide reducerende bacteriën) oftewel bacteriële corrosie. Beschermingsmaatregelen als coaten met een epoxide of teer in combinatie met actieve kathodische bescherming bieden bescherming tot 2-5 jaar.

Met AISI904L (20%Cr-25%Ni-4,5%Mo-1,5%Cu) zijn goede ervaring met ondergrondse toepassingen. De ondergrondse toepassing van roestvast staal onder grondwaterniveau is te vergelijken met waterige toepassingen. Onder waterige condities heeft AISI904L zich bewezen over periodes van 15 jaar of langer [Bogaerts, 1995]. Er zijn enkele gevallen bekend waarbij AISI904L is aangetast door SRB, waarbij lekkages al na enkele maanden optraden. Zodat geconcludeerd moet worden dat ook deze legering niet 100% bestand is tegen deze vorm van corrosie.

Aluminium

Voornamelijk in de Verenigde Staten wordt voor grondleiding ook wel aluminium toegepast. De toegepaste legeringen zijn AA3003, AA6061 en AA6063. Deze leiding worden doorgaans gecoat met een bitumen of ingetaped. Daarnaast wordt doorgaans actieve kathodische bescherming toegepast. In deze combinatie zijn er goede ervaringen over perioden van meer dan 40 jaar.

Aluminium kan in de toepassing binnen het project Haarlem niet onbeschermd worden toegepast. De condities zijn zodanig dat dan het risico voor lokale corrosie, zoals pitting onaanvaardbaar groot is.

Aluminium dankt zijn corrosieweerstand aan de vorming van een beschermende dichte aluminiumoxidehuid. De beschermende aluminiumoxidehuid wordt, net als roestvaststaal, aangetast door chloriden en andere halogenen. Daarnaast is aluminium een amfoteer metaal. Dat wil zeggen dat het zowel in een zuur als basisch milieu oplost. Dit is af te lezen uit het Pourbaix diagram van aluminium in Figuur 3.3. Aluminium is normaal passief in het pH gebied van 4-8,5. Binnen dit bereik wordt het gehydrateerde oxide $Al_2O_3(H_2O)_{(s)}$ gevormd en wordt het aluminium beschermd.

Voor de kathodische bescherming van aluminium mag de potentiaal niet negatiever zijn dan -1,2V ten opzichte van een CSE elektrode. Bij deze potentiaal is aluminium stabiel tot een pH van ca 8,5, zie Figuur 3.4.

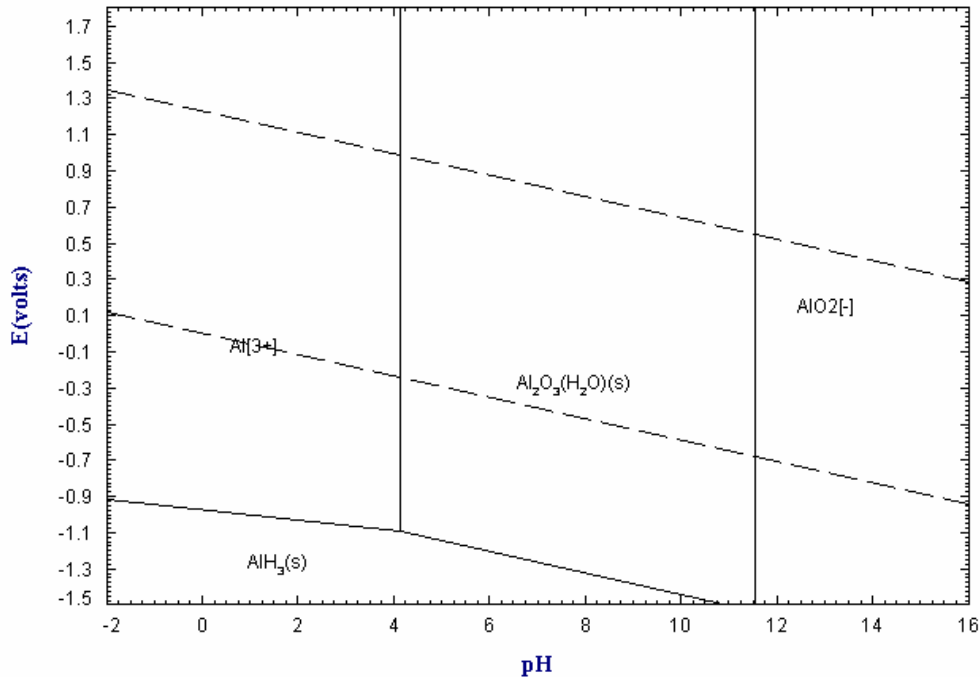
In grond met een weerstand boven 1500 Ω .cm treedt bij aluminium doorgaans geen corrosie op (ASM Handbook Vol 13B). Echter, de weerstand van de vervuilde grond in het project Haarlem is waarschijnlijk lager. Dit door het hoge vochtgehalte en de hoge concentratie ionen in de grond die voor de elektrische geleiding zorgen. De weerstand zal nog moeten worden gemeten om hierover zekerheid te krijgen.

Aluminium kan worden geanodiseerd om de corrosiebestendigheid te verhogen. Met anodiseren wordt een kunstmatige amorfe aluminiumoxidelaag gevormd die dikker is dan de natuurlijke oxidehuid. Ook de met anodiseren aangebrachte aluminiumoxidehuid wordt op termijn aangetast door chloriden. Onder atmosferische condities kan aluminium re-passiveren omdat er voldoende zuurstof aanwezig is. In de grond, en dan voornamelijk in niet-zandgrond, zal onvoldoende zuurstof aanwezig zijn. Men spreekt dan van een slechte beluchting. Een beschadigde aluminiumoxidehuid kan dan niet re-passiveren, waardoor lokale corrosie in de vorm van pitting op zal treden.

Al-H₂O, 298.15 K

C:\WebServer\ERPH25.BMP
2/6/2007

m = 1e-6



Figuur 3.4 Pourbaix diagram van aluminium bij kamertemperatuur

Samengevat is de conclusie dat de toepassing van aluminium mogelijk is, maar dat het materiaal niet onbeschermd kan worden toegepast. De leiding moet worden gecoat met een bitumen of gelijkwaardig. Daarnaast zal actieve kathodische bescherming moeten worden toegepast, waarbij de potentiaal niet lager mag komen te liggen dan -1,2V ten opzichte van een CSE referentie elektrode.

Algemene aandachtspunten bij toepassing van metalen in de grond

Naast de corrosiviteit van de omgeving op zich, speelt nog de mogelijkheid van galvanische corrosie als gevolg van zwerfstromen. Deze zwerfstromen kunnen afkomstig zijn van elektrische installaties, zoals een spoorlijn, elektrische leidingen. Afhankelijk van de geleidbaarheid dan wel de weerstand van de grond, wordt een stroom opgedrukt op de metalen leidingen in de grond. Hierdoor kan lokaal de potentiaal van het metaal in een ongunstige richting worden geduwd, waardoor lokaal corrosie op kan treden.

Door corrosie zal de poriegrootte van de metalen filterbuis op termijn wijzigen. Omdat corrosieproducten worden afgevoerd door onder andere het weggepompte grondwater, is de verwachting dat de poriegrootte zal toenemen. Dit is ongunstig voor de functionaliteit van de filterbuis, gezien de eisen die aan de poriegrootte worden gesteld. Daarbij zal de mate van corrosie niet over de hele lengte van de filterbuis even groot zijn.

3.3 Kunststoffen

Voor de toepassing van kunststoffen moet niet alleen worden gekeken naar het corrosiegedrag, maar tevens naar mechanische belastingen die op de leiding kunnen worden uitgeoefend. Voor de materiaalkeuze voor kunststof moeten de volgende aspecten worden meegenomen:

- corrosiebestendigheid; vochtopname, oxidatie/degradatie, microbacteriële aantasting, crazing (ESC-environmental stress crazing),
- mechanische degradatie; lokale (punt) belasting, overall druk van de grond.

In verband met de beschikbaarheid concentreert dit deel van de studie zich op polyethyleen (PE), polyamide (PA), polytetrafluor ethyleen (PTFE, teflon) en polyvinylchloride (PVC) leidingen en hun varianten.

Corrosiebestendigheid

Tabel 3.4 geeft op een indicatieve manier inzicht in de bestendigheid van een aantal kunststoffen tegen de chemische stoffen welke grond en het grondwater in project Haarlem zijn aangetroffen. De gegevens in Tabel 3.4 zijn gebaseerd op literatuur en internetgegevens. De gegevens zijn gebaseerd op geconcentreerde chemicaliën. Ingegraven in de grond zullen de concentraties lager zijn. Daarmee zal ook de degradatiesnelheid (corrosie) minder zijn. Echter, gezien de gewenste levensduur, wordt gezocht naar een zo hoog mogelijke bestendigheid.

PE wordt veel toegepast als materiaal voor grondleidingen. Daarmee zijn goede ervaringen over een periode van meer dan 30 jaar. PE wordt ook toegepast als buffer tegen uitloging van vervuilde grond naar het grondwater (ASM Engineering Handbook Vol 2,1988). Tabel 3.4 geeft een indicatie voor de bestendigheid van (HD)PE tegen de aangetroffen chemicaliën in de grond en het grondwater, zie Tabel 2.1 en 2.2.

Tabel 3.4 *Chemische bestendigheid van(HD)PE, PVC, PA and PTFE bij 20°C*

Chemische stof	Kunststof					
	PE	HDPE	PVC	PA	PTFE (teflon)	EP Epoxide
Benzeen	A	A	C	A	A	A
Ethylbenzeen		C	C	-	A	-
Naftaleen	A	A-B	-	A	-	A
Tolueen	C	B-C	B	A	A	A
Xylenen	B	B	C	A	A	A
Cl- in water (<5ppm)	-	-	A	A	A	A
Zeewater	A	A	A	-	A	A

A: Goed

B: Redelijk

C: Slecht

- geen gegevens

PE en PVC zijn beiden goed bestand tegen waterige zoutoplossingen, alkalische oplossingen, polaire oplosmiddelen (bijvoorbeeld ethanol) en niet-oxiderende zuren als zoutzuur (HCl). Oxiderende zuren kunnen PE en HDPE oxideren. Daarbij zijn de kristallijne fasen beter bestand, waarmee dus HDPE een betere chemische bestandheid heeft dan PE. Door Cl en/of F (fluor) in de koolstofketen op te nemen wordt de chemische corrosiebestendigheid verder verbeterd. Een voorbeeld hiervan is PTFE.

Het grondwater in de grond van project Haarlem bevat hoge concentraties benzeen en toluen, zie Tabel 2.6. PE is slecht bestand tegen toluen. PVC is minder bestand tegen a-polaire oplosmiddelen zoals benzeen. Dit geldt ook voor (HD)PE.

PA (polyamide) en PTFE (polytetrafluorethyleen, ook wel bekend onder de handelsnaam Teflon) hebben een betere chemische bestandheid tegen de aangetroffen verontreinigingen in de grond en het grondwater, zie Tabel 3.4.

Van PA is bekend dat het onder inwerking van water sterk kan zwellen (bij 50% relatieve vochtigheid van PA 2-3% water opnemen). Op de lange termijn (50 jaar) kan dit leiden tot nog onbekende problemen.

PTFE blijkt voor alle chemicaliën een goede tot uitstekende bestendigheid te hebben. Daarnaast is PTFE goed bestand tegen wateropname en crazing.

Epoxide (EP)

Epoxide heeft een zeer goede chemische bestendigheid. EP is bestand tegen niet-oxiderende zuren, alkalische oplossingen, waterige oplossingen van zouten en polaire oplosmiddelen. Uit Tabel 3.4 kan worden afgeleid dat EP bestand is tegen de verontreinigingen aangetroffen in de grond van project Haarlem tot een temperatuur van 20°C. EP heeft bovendien nog een redelijke sterkte tussen 43-80 MPa en een E-modulus van 3,72 GPa. Met name de E-modulus is relatief hoog vergeleken met de andere onderzocht kunststoffen. Een andere mogelijkheid de mechanische eigenschappen van PE te verhogen, is het toepassen van een versteviging met continue of discontinue vezels. Nadeel is de relatief hoge prijs van EP.

Mechanische degradatie: Crazing

Crazing is een mechanisme waarbij vooral de amorfe fase van een kunststof wordt aangetast door een geschikt corrosief element. Dat kan het indringen van water zijn. Daarmee is crazing onder andere een diffusie gestuurd mechanisme. Omdat voornamelijk de amorfe fase wordt aangetast, zijn kristallijne kunststoffen over het algemeen minder gevoelig voor dit mechanisme. Semi-kristallijne kunststoffen, zoals PE, zijn weer minder gevoelig dan amorfe kunststoffen, zoals PMMA (plexiglas). HDPE (Hoge Dichtheid PE) heeft een groter kristallijn aandeel dan standaard PE en is daarmee minder gevoelig voor crazing. Een andere parameter voor het optreden van crazing is de aanwezigheid van trekspanningen. Deze spanningen kunnen afkomstig zijn van de productie en van externe oorsprong, bijvoorbeeld de mechanische belasting tijdens gebruik. Als trekspanningen worden voorkomen, zal crazing niet optreden.

Microbacteriële corrosie, MIC

Over het algemeen zijn kunststoffen op zich goed bestand tegen MIC. MIC werkt in op additieven die aan kunststoffen zijn toegevoegd om de eigenschappen, zoals taaiheid, verbrossing, oxidatiebestendigheid, te verbeteren. Temperatuur en vochtigheid zijn bepalend voor de mate waarin MIC optreedt.

Samengevat luidt de conclusie dat van PE een goede corrosiebestendigheid verwacht mag worden en beter zal presteren dan PVC in de condities van project Haarlem. Omdat de chemische stoffen niet in geconcentreerde vorm aanwezig zijn, is het redelijk aan te nemen dat ook het toluen geen echt probleem is. Echter, er is geen lange termijn onderzoek bekend met betrekking tot het gedrag van PE in condities met verdunde oplossingen van toluen. Bij een nadere evaluatie van andere potentiële kunststoffen, blijkt dat PTFE de hoogste chemische bestendigheid heeft.

Een nadeel van PTFE kunnen de benodigde verbindingmethoden zijn. In het kader van deze studie is hier geen nader onderzoek naar gedaan. Maar dit is een punt van aandacht als voor dit materiaal wordt gekozen.

Mechanische belasting

Bij kunststofleidingen bestaat het gevaar deze door de druk van de grond worden samengedrukt of lokaal (punt) worden belast. Hiervoor zijn maatregelen te nemen. Kunststofleidingen dienen bij voorkeur te worden gelegd in een bed van schoon zand. De belasting van bovenliggende grond wordt zo gelijkmatig verdeeld en het risico van scherpe voorwerpen die op de wand drukken, wordt vermeden. Zo wordt voorkomen dat scherpe voorwerpen of stenen een lokale belasting uitoefenen en zo tot breuk leiden.

3.4 Inwendig milieu van de leiding

Door de leiding zal transport plaatsvinden van (kleine hoeveelheden) grondwater. Gezien de bepaalde samenstelling van het grondwater, zie Tabel 2.2. en 2.3, gelden voor een belangrijk deel dezelfde overwegingen als voor het uitwendige milieu.

Met betrekking tot de toepassing van metalen, geldt dan nog het risico van indikking van corrosieve stoffen indien de leiding (deels) droog komt te staan maar vochtig blijft. Dit kan bij metalen leidingen leiden tot zogenaamde stilstandscorrosie. Het leidingmateriaal corrodeert dan versneld door. Controle van deze corrosie is moeilijk en kostbaar. Gezien de opgegeven bedrijfscondities is zeer wel denkbaar dat indikken van corrosieve stoffen, chloriden in het geval van metalen, optreedt. Met een beoogde levensduur van 50 jaar, zijn daarom metalen leidingen (van C-staal, RVS of aluminium) af te raden.

In hoeverre de concentraties aan benzeen, toluen, ethylbenzeen, xylenen en naftaleen optreden, is niet bekend. Deze stoffen zijn vluchtig tot zeer vluchtig en zullen mogelijk deels uitgassen, zodat indikking niet optreedt. Dit is echter een aanname die niet nader onderzocht is. Gezien de gewenste levensduur van 50 jaar, is vanuit dit oogpunt het toepassen van PTFE aan te raden. PE is een goede tweede keus.

3.5 Gecombineerde toepassing RVS-Kunststof

Bij de doorvoering van de afvoerleiding(en) vanaf de filterbuis op -10 mNAP naar het oppervlak, gaat de leiding door verschillende grondsoorten. Bij een geheel metalen uitvoering zal de leiding daarom, zoals al vermeld, verschillende potentiaal verschillen doorlopen. Dit brengt gevaar voor lokale galvanische corrosie met zich mee. Daarom zal hier een overweging gemaakt voor een gecombineerde uitvoering, waarbij de filterbuis op -10 mNAP in roestvast staal wordt uitgevoerd en de afvoerleiding in kunststof.

Bij deze optie moeten de volgende aspecten worden afgewogen:

- De aansluiting RVS-kunststof kan leiden tot een spleet (verwacht wordt 0,6 mm) tussen kunststofleiding en RVS-leiding. Dit brengt gevaar voor spleetcorrosie met zich mee.
- Actieve kathodische bescherming van de RVS filterbuis is niet meer praktisch uitvoerbaar

De keuze van een kunststofleiding als afvoerleiding, voorkomt het optreden van potentiaalverschillen over de stalen buis. Deze potentiaalverschillen treden voornamelijk op bij de overgangen tussen de verschillende lagen in de grond in combinatie verschillen in weerstand en beluchting.

Een spleet dient echter voorkomen te worden om het risico voor spleetcorrosie te vermijden. Mogelijk kan de kunststofleiding worden aangesmolten.

Het toepassen van kathodische bescherming is praktisch niet meer uitvoerbaar. Gezien het voorgaande zal daarom voor een voldoende hoog gelegen roestvast staal gekozen moeten worden. AISI904L of een hoger gelegen materiaal is daarbij aan te bevelen, zie Tabel 3.3.

4. Conclusies

De toepassing van een metalen, C-staal, roestvaststaal of aluminium, leiding wordt afgeraden. Om de leiding afdoende te beschermen zijn extra maatregelen noodzakelijk, zoals een beschermende coating of (actieve) kathodische bescherming. Daarnaast zullen regelmatig, elke 5-10 jaar, inspecties moeten worden uitgevoerd.

Als om andere dan corrosie redenen gekozen wordt voor een metalen filterbuis, kan deze het beste uitgevoerd worden in AISI904L of een hoger gelegeerd roestvast staal.

Van de kunststoffen zijn in volgorde van oplopende chemische bestendigheid Epoxide, PTFE en PE goede keuzes. PVC heeft een te lage chemische bestendigheid tegen vooral benzeen, ethylbenzeen en toluen.

Bij de keuze voor kunststofleidingen, moeten deze in een bed van mechanisch schone zand of grond, dat wil zeggen vrij van scherpe voorwerpen en een gelijkmatige samenstelling, worden gelegd. Op deze wijze wordt een gelijkmatige belasting van de leidingen gerealiseerd en worden puntbelastingen door scherpe voorwerpen voorkomen.

Voor hogere mechanische eigenschappen kan gekozen worden voor een vezelversterkte variant van de kunststoffen.

Bij de keuze voor PTFE zal aandacht moeten worden besteed aan de toe te passen verbindingstechnieken.

5. Aanbevelingen

Voor een goede evaluatie van het corrosiegedrag van roestvast staal in de betreffende grond, is het aan bevelen een praktijktest in de betreffende grond met proefmonsters uit te voeren. Deze test zou bij een sterke corrosie in 2-3 maanden een indicatie kunnen geven.

Referenties

ALcontrol B.V., Project Minkelerweg Haarlem, Meetrapportnummer 05421R0, d.d. 20-10-2005

ASM-Handbook, *Volume 13 A-Corrosion : Fundamentals, Testing and Properties*, 2003

ASM-Handbook, *Volume 13 B-Corrosion : Materials*, 2005

ASM-Handbook, *Volume 13 C-Corrosion : Environment and Industries*, 2006

ASM Engineering Materials Handbook, *Volume 2: Engineering plastics*, 1988

Bogaerts, W.F., K.S. Agema, V.T. Thuy, J.H. Zheng: *Active Library on Corrosion 2.0*, Elsevier Science BV, ISBN 0-444-82942-3, 1995

Internet: <http://httd.njuct.edu.cn/MatWeb/soil/table603.htm>

Internet: <http://www.distrupol.com>

Internet: <http://www.ides.com>

Internet: <http://www.borealisgroup.com/public>

Internet: http://www.vp-scientific.com/Chemical_Resistance_Chart.htm

Internet: http://www.engineeringtoolbox.com/chemical-resistance-epoxy-d_786.html

Seung-Ki Ryu, Kim Heesan and Lee Yong-Deuk: *An electrochemical evaluation on microbially influenced corrosion of stainless steels in soil*, Stainless steel Research Team, Technical Research Labs., Pohang Iron & Steel Co., Pohang 790-785, Korea, CD-Eurocorr 1998

Witteveen+Bos: *HLM286-1 grondwatersaneringsplan GEB-terrein te Haarlem*, definitief 01 d.d. 7 november 2003

Bijlage A Methode voor het bepalen van de corrosiviteit van grond

(<http://httd.njuct.edu.cn/MatWeb/soil/table603.htm>)

Worksheet For Examination Of Soil Corrosivity

Below, different soil characteristics will be evaluated and each of them will get a certain rating. The sum of those ratings is a measure for the overall soil corrosivity (see Table 603 below). The parameters rated include:

R1: soil type	R2: resistivity
R3: water content	R4: pH
R5: buffer capacity	R6: sulfides
R7: neutral salts	R8: sulfates
R9: groundwater	R10: horiz.homogeneity
R11: vert.homogeneity	R12: electrode potential

1. Rating 'R1': TYPE OF SOIL (Texture & Structure)

	wt%	rating
a) coherency: elutriable fraction;(= mainly clay & silt matter)	<=10%	+4
	>10 to 30%	+2
	>30 to 50%	0
	>50 to 80%	-2
	>80%	-4
b) soils containing organic carbon, e.g.muddy or swampy soils: peat, fen, mud, marsh,.. organic carbon	>5	-12
c) severely polluted soil: pollution by fuel ash, slag coal, coke, refuse, rubbish or waste water		-12

2. Rating 'R2': SOIL RESISTIVITY

Ohm.cm	rating
>50,000	+4
>20,000 to 50,000	+2
>5,000 to 20,000	0
>2,000 to 5,000	-2
1,000 to 2,000	-4
<1,000	-6

3. Rating 'R3': WATER CONTENT

wt%	rating
<= 20%	0
>20%	-1

4. Rating 'R4': pH

pH	rating
>9	+2
>5.5 to 9	0
4.0 to 5.5	-1
<4	-3

5. Rating 'R5': BUFFERING CAPACITY

	mmol/kg	rating
acid capacity to pH 4.3: (alkalinity Ka4.3)	>1,000	+3
	200 to 1000	+1
	<200	0
base capacity to pH 7 : (acidity Kb7.0)	<2.5	0
	2.5 to 5	-2
	>5.0 to 10	-4
	>10 to 20	-6
	>20 to 30	-8
	>30	-10

6. Rating 'R6': SULFIDE CONTENT

mg/kg	rating
<5 (i.e.none or traces)	0
5 to 10	-3
>10	-6

7. Rating 'R7': NEUTRAL SALTS - water extract conc (Cl-) + 2 conc (SO4=)

mmol/kg	rating
<3	0
3 to 10	-1
>10 to 30	-2
>30 to 100	-3
>100	-4

8. Rating 'R8': SULFATES -hydrochloric acid extract (SO4=)

(mmol/kg)	rating
<2	0
2 to 5	-1
>5 to 10	-2
>10	-3

9. Rating 'R9': GROUNDWATER

	rating
No groundwater	0
Groundwater	-1
Groundwater at times	-2

10. Rating 'R10': HORIZONTAL SOIL HOMOGENEITY

resistivity variation	rating
Determination of soil resistivity profiles, i.e. variations of R2 values between adjacent domains (to this end all positive R2 values are made=)	+1
R2 difference <2	0
R2 difference ≥ 2 and ≤ 3	-2
R2 difference > 3	-4

11. Rating 'R11': VERTICAL SOIL HOMOGENEITY

		rating
a) adjacent soils with same resistivity:	- homogeneously embedded in soils with same structure (similar type) or in sand	0
	- inhomogeneously embedded in soils with different structure (& relatively corrosive soils), or containing foreign matter (e.g.roots,wood)	-6
b) adjacent soils with different resistivity: (different R2 values; determination of R2 according to par.10 above)	R2 difference ≥ 2 and ≤ 3	-1
	R2 difference > 3	-6

12. Rating 'R12': ELECTROCHEMICAL POTENTIAL

This is to detect foreign cathodes. If no potential measurement is possible (e.g. when assessing soils without structure) R12 should be taken -10 when pieces of coal or coke are present	
mV vs. Cu/CuSO4	rating
-500 to -400	-3
>-400 to -300	-8
>-300	-10

Notes

- Most methods of analysis are, for example, fully described in: 'H.Steinrath. Untersuchungsmethoden zur Beurteilung de Aggressiviteit von Boeden (Investigation methods for the assessment of the aggressiveness of soils), DVGW, Eschborn (D)-1966. Additional descriptions can be found in DIN 50929, part 3.
- In order to obtain a good assessment, all or not less than 10 of these parameters should be determined to evaluate a specific local soil corrosivity (which may be fairly time consuming).
- The worksheet gives no generally valid description of soil types, but it represents a good starting point! The anaerobic soils, in which sulfate-reducing bacteria are active, are of particular concern when considering the corrosivity of soils. In general, they are characterized by the following data: $R1 < -2$; $R6 = -6$; $R7 > = -2$.
- Sea or lake beds cannot be assessed on the basis of the basis of the present worksheet!
- The present corrosivity assessment is primarily intended to be related to ferrous materials (unalloyed & low-alloy steels and cast irons, hot-dip galvanized ferrous metals, and high-alloy stainless steels) and copper & its alloys. If other materials are used, expertise is required as to whether and to what extent the present analysis is applicable!

Final Result

Following this, the rating numbers R1 through R12 should be added together. In the assessment of the different parameters 1 through 12, only one rating, namely the most negative one, shall be used in each case. The corrosiveness of the soil is then given by TABLE 603 below.

TABLE 603 SUM R1...R12	Soil Corrosivity
≥ 0	VIRTUALLY NOT CORROSIVE
-1 to -4	SLIGHTLY CORROSIVE
-5 to -10	CORROSIVE
< -10	HIGHLY CORROSIVE