

Ondergrondse metalen constructies kunnen, onder bepaalde condities, corroderen. Deze condities zijn o.a.:

- a. de omringende grond is agressief ten opzichte van het metaal;
- b. verschillende metalen die door een metallisch contact een galvanisch element vormen;
- c. zwerfstromen in de bodem.

Het corroderen van een metaal is het gevolg van een proces opgewekt door zgn. elektrochemische cellen gevormd door dit



**ING. C. J. MINK**  
Hoofdingenieur bij KIWA  
Hoofd van de Technische Dienst

metaal en de omgeving-elektrolyet. Het ontstaan van dergelijke cellen zal hier verder buiten beschouwing worden gelaten. De werking van zo'n cel is in afb. 1 aangegeven.

Door het elektrische spannings-verschil — potentiaalverschil — tussen de anodische en kathodische plaats vloeit een positieve stroom door het elektrolyet van de anode naar de kathode.

Op de anodische plaats treedt de stroom uit, waarbij metaalionen in oplossing gaan, terwijl de negatieve lading van dat metaal — de elektronen — zich naar de kathode bewegen.

Het gewichtsverlies van het metaal is volgens de wet van Faraday

$$G = e \cdot i \cdot t$$

waarin:

G = het gewicht

e = de elektrische equivalent van het metaal

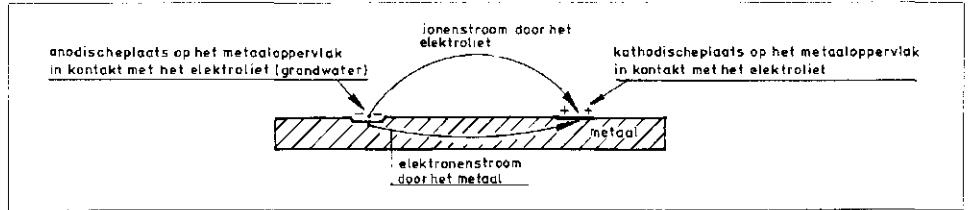
i = de elektrische gelijkstroom

t = de tijdsduur van de stroomuittreding

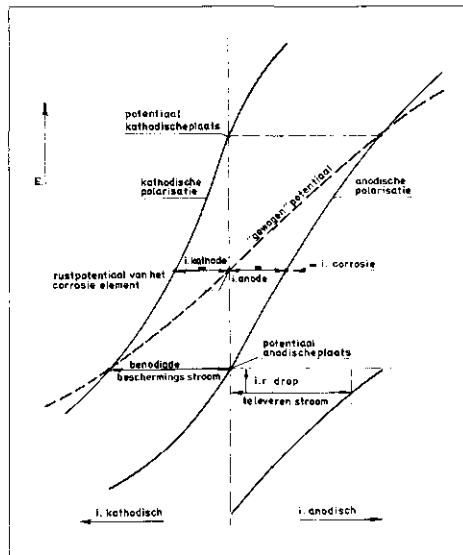
Met behulp van deze formule kan worden berekend dat bijv. in 1 jaar bij een stroom van 1 ampère ruim 9 kilo staal oplost — meer dan 1 cm<sup>3</sup> staal per mA/jaar — en magnesium onder deze condities rond 5 kg verliest.

Het elektrochemisch proces wordt geremd door nevenfactoren, die werkzaam zijn bij de anode, kathode en in het elektrolyet de zgn. polarisatie.

Deze nevenfactoren zullen hier eveneens buiten beschouwing worden gelaten. In afb. 2 is het potentiaal-verloop om de anode en kathode van een corrosie-element door de polarisatie als functie van de stroom aangegeven.



Afb. 1.



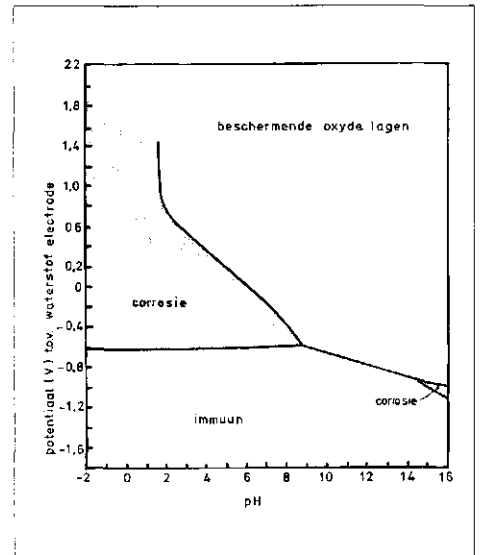
Afb. 2.

Bij een corrosie-element — zonder invloeden van buiten — is de uittredende anodestroom gelijk aan de intredende kathodestroom. Deze stromen zijn volgens afb. 2 gelijk bij de zgn. rustpotentiaal van het corrosie-element.

Daar de anodische- en kathodische plaatsen elektrisch niet kunnen worden gescheiden, zijn de aangegeven polarisatie-krommen niet te meten. In feite kan slechts de 'gewogen' potentiaal van het element worden bepaald als functie van een uitwendige toe- of af te voeren stroom. Het verloop van deze 'gewogen' potentialen als functie van een anodische- en kathodische stroom, is aangegeven in afb. 2. Uit de afbeelding blijkt dat bij het punt, waarbij de 'gewogen' potentiaal gelijk is aan de anode-potentiaal, geen stroom uit de anode treedt en derhalve geen corrosie kan optreden. De elektrische gelijkstroom die van 'buiten' moet worden aangevoerd is dan de benodigde kathodische beschermingsstroom.

### Kathodische bescherming van een corrosie-element

Corrosie van metaal in de bodem kan volgens het vorenstaande worden vermeden door het uittreden van stroom uit de anodische plaatsen te verhinderen. Dit kan worden bereikt door het te beschermen metaal-oppervlak geheel tot kathode te



Afb. 3.

maken van een elektro-chemische cel, bijv. door dit metaal in verbinding te brengen met een onedeler metaal in dezelfde elektrolyet.

In afb. 2 is het potentiaalverloop van magnesium aangegeven en de potentiaal, waarbij de benodigde beschermingsstroom wordt geleverd.

Ten gevolge van de elektrische weerstand van de elektrolyet ontstaat een — stroom afhankelijke — spanningsval (IR drop).

### Kriteria voor anode-potentiaalen van metalen

Aangezien de anodische- en kathodische plaatsen op eenzelfde metaaloppervlak voorkomen, is het niet mogelijk de potentiaal van de meest anodische plaats vast te stellen. Deze potentiaal kan echter thermodynamisch voor bepaalde omstandigheden worden bepaald.

Voor het vaststellen van de laagst voorkomende anode-potentiaalen, zijn door de Belgische onderzoeker Pourbaix E-pH diagrammen samengesteld.

Een vereenvoudigd Pourbaix diagram voor ijzer in een verdunde zoutoplossing bij 25 °C is in afb. 3 aangegeven.

Uit deze afbeelding blijkt dat voor de normaal voorkomende zuurgraden, de laagst voorkomende anode-potentiaalen — 620 mV bedragen, ten opzichte van de waterstof-elektrode.

Vertaald in de waarde gemeten met behulp van de koper-kopersulfaatcel, die in de praktijk vrijwel uitsluitend wordt toegepast, komt dit op  $-930$  mV.

Gebleken is echter dat onder normale aerobe bodem-omstandigheden corrosie van staal kan worden voorkomen bij een potentiaal van het metaal t.o.v. de elektroliet (metaal-elektrolietpotentiaal — MEP —) van  $-850$  mV t.o.v. de Cu/Cu SO<sub>4</sub> cel. Onder anaerobe omstandigheden dient echter een MEP van  $-950$  mV te worden aangehouden.

In deze omstandigheden kunnen sulfaten in de bodem door een bacteriologisch proces in sulfiden worden omgezet.

De bacteriën — spirovibrio-desulfuricans — gebruiken de aan de sulfaten onttrokken zuurstof voor hun levensfuncties.

De bacteriën zijn onwerkzaam bij vrije O<sub>2</sub> en komen door hun sporen-vormend vermogen bij anaerobe condities tot leven.

Von Wolzogen Kühr toonde aan dat sulfaatreductie de aantasting van ijzer zeer sterk bevordert. Voorwaarden voor de activiteit van de bacteriën zijn o.a. aanwezigheid van sulfaat, een zuurgraad tussen pH 5,5 en 8,5 en anaerobe condities van de bodem.

In tabel I, o.a. ontleend aan de in bewerking zijnde 'practische richtlijnen voor de kathodische bescherming' van de Commissie Kathodische Bescherming — een sub-commissie van de Beleidscommissie Bescherming Buisleiding — BBB, zijn de criteria voor de laagst voorkomende anode-potentialen van de verschillende metalen aangegeven.

Deze criteria gelden voor normale bodem-omstandigheden en zijn aangegeven voor enkele typen referentie-elektroden.

### Kathodische bescherming van ondergrondse stalen objecten

#### a. De noodzaak van kathodisch beschermen

De vraag of het nodig is kathodische bescherming toe te passen, hangt nauw samen met de te verwachten corrosie, de invloed daarvan op de veiligheid en de gewenste levensduur van de constructie. Indien de corrosie-snelheid zeer laag is, of het zeer plaatselijk corroderen (put-corrosie) van een object (bijv. damwand) niet belangrijk is, kan kathodische bescherming veelal beter achterwege worden gelaten.

De kathodische bescherming behoeft o.a. niet te worden toegepast, indien aan alle navolgende voorwaarden wordt voldaan.

1. De specifieke elektrische bodemweerstand van de elektroliet (grondwater) moet hoger zijn dan 10.000 ohmcm.
2. De potentiële zuurgraad (pH) moet groter zijn dan 6.

TABEL I - Laagst voorkomende anode-potentialen.  
(Potentialen voor het bereiken van kathodische bescherming).

Metaal of Alliage	Referentie - elektrode (aangegeven waarden in Volts)		
	verzadigde koper-kopersulfaat	zilver / zilverchloride	verzadigde kalomel elektrode
IJzer en staal			
a. aerobe omgeving	— 0,85	— 0,8	0,75
b. anaerobe omgeving	— 0,95	— 0,9	0,85
Koper/koper alliaages	— 0,50 tot — 0,65	— 0,45 tot — 0,6	0,4 tot 0,5
Lood			
a. positieve grens	— 0,6	— 0,55	0,5
b. negatieve grens	— 1,5	— 1,45	1,4
Aluminium			
a. positieve grens	— 0,95	— 0,9	0,85
b. negatieve grens	— 1,2	— 1,15	— 1,1

3. Verbindingen tussen twee verschillende metalen moeten afwezig zijn (galvanische corrosie).

4. Zwerfstrombeïnvloeding door gelijkstroom van derden (spoorwegen etc.) moet kleiner zijn dan de toegestane beïnvloedingscriteria.

#### b. Beperkingen van de beschermingsstroom bij het kathodisch beschermen van het object

De strijd tegen corrosie kan zowel in de actieve sfeer — kathodische bescherming — als in de passieve sfeer — bekleding van het object — worden gevoerd.

In de passieve sfeer — wordt het contact-oppervlak tussen de elektroliet en het staal beperkt tot de gezamenlijke oppervlakken van de onvermijdelijke fouten in de bekleding. Daarmede kan de benodigde beschermingsstroom tot meer dan 1/1000 van de benodigde stroom voor onbekleed staal worden gereduceerd. Dit betekent dat voor het beschermen van een goed beklede leiding met een diameter van 250 mm in laagohmige grond slechts 1 magnesium-anode per 2 km leidinglengte nodig is, of een gelijkrichterinstallatie van 2,5 ampère per 50 km leiding, terwijl deze lengten zonder bekleding van de leiding resp. 2 en 50 meter bedragen.

Een bekleding moet voldoen aan de volgende eisen:

1. elektrisch voldoende isolerend;
2. weinig wateropname en water doorlatendheid door poriën en haarscheuren;
3. goede hechting aan het te beschermen oppervlak.

Een asfaltbitumen bekleding volgens mededeling 13 groep II van de Corrosie Commissie II voldoet aan deze eisen. De stroombehoefte van asfalt beklede objecten kan worden gesteld op 0,03 tot 0,3 mA/m<sup>2</sup> afhankelijk van de

specifieke elektrische weerstand van de omringende bodem.

Een moderne PE-bekleding kan de stroombehoefte zelfs tot soms 1  $\mu$ A/m<sup>2</sup> reduceren.

### Het elektrisch scheiden van de te beschermen stalen leiding van andere elektrisch geleidende objecten

Kathodisch te beschermen objecten moeten niet alleen van een goede bekleding worden voorzien, doch deze objecten moeten tevens elektrisch worden geïsoleerd van de overige constructies.

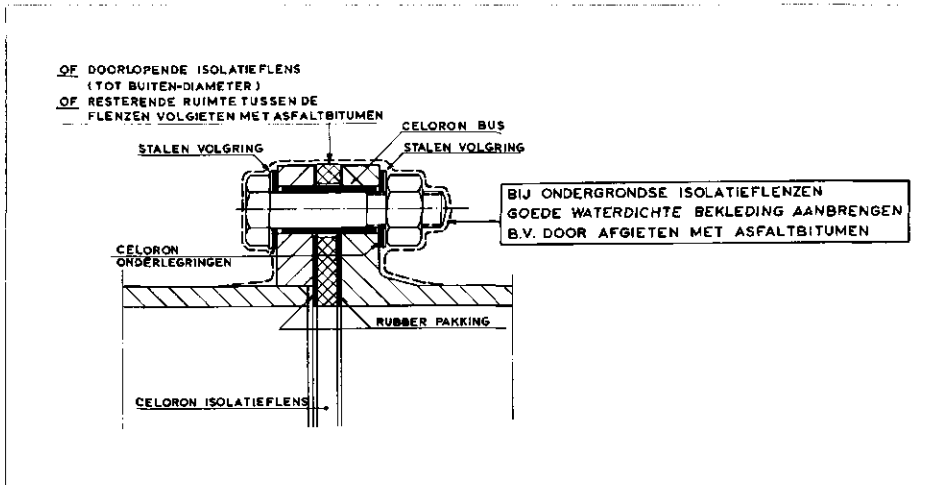
Reeds in het ontwerp stadium moet worden nagegaan hoe deze elektrische scheiding kan worden gerealiseerd.

Daarbij moet bij stalen leidingen worden gedacht aan de isolatie van aansluitende elektrisch geleidende objecten: mantelbuizen, pijpondersteuning, gewapende betonconstructies en in de leiding opgenomen elektrische apparatuur voorzien van aarding.

De isolatie kan worden verkregen door het inbouwen van isolatieflenzen — isolatiestukken, elektrisch niet geleidende pijpstukken, elektrisch isolerende afstandhouders bij mantelbuizen en pijpondersteuning, muurdoorvoeringen, etc.

De zo vertrouwde isolatieflens (zie afb. 4) kan vooral ondergronds soms onbetrouwbaar blijken te zijn. Afhankelijk van de positie van de isolatieflens kunnen hoge kosten voor het repareren ontstaan. Het verdient daarom aanbeveling isolatieflenzen zoveel mogelijk alleen bovengronds toe te passen en voor moeilijk bereikbare ondergrondse isolatie de speciale isolatiekoppeling te gebruiken (zie afb. 5) of een daaraan gelijkwaardige constructie.

De elektrische isolatieflenzen of koppelingen kunnen ook worden toegepast voor het beperken van zwerfstrombeïnvloeding. Deze beïnvloeding is in bepaalde gevallen sterker, naarmate de lengte van de leiding groter is.



Afb. 4.

Een vermindering van de beïnvloeding is dan te bereiken door de leiding elektrisch in kortere lengten te verdelen met behulp van isolatieflenzen.

Het zal echter in de meeste gevallen moeilijk zijn vóór het leggen van de leiding de mate van beïnvloeding en het effect van het inbouwen van de isolatieflenzen vast te stellen.

**Maatregelen tijdens de aanleg van stalen leidingen**

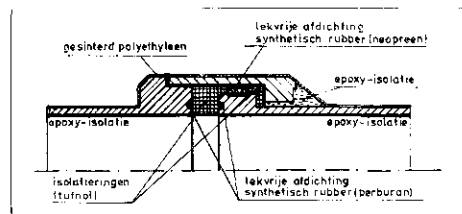
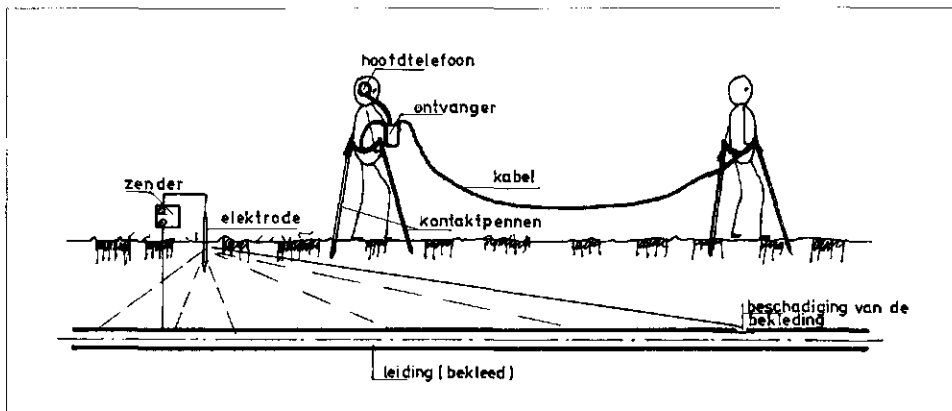
Tijdens de aanleg van de leiding moet eventuele transportschade aan de bekleding worden opgespoord en hersteld.

De bekleding van in het werk te bekleden gedeelten — pijpverbindingen — moeten eveneens goed hechtend zijn aangebracht. Daartoe moet het betreffende metaaloppervlak volgens de voorschriften worden voorbehandeld.

Onmiddellijk voorafgaand aan het leggen van de leiding, moet de bekleding op vonkdichtheid worden beproefd.

Na het aanvullen van de sleuf kunnen eventueel tijdens het leggen en aanvullen ontstane beschadigingen in de bekleding bovengronds worden opgespoord met een

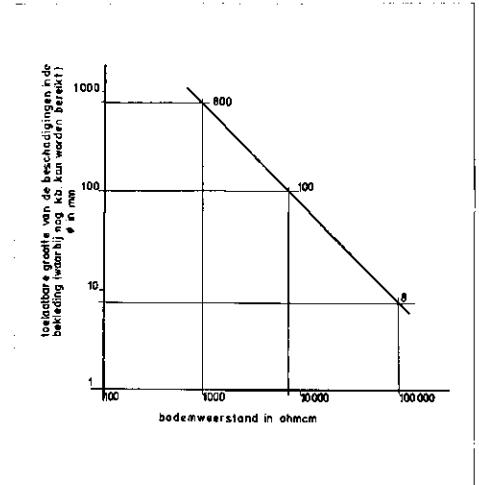
Afb. 6.



Afb. 5.

'pipe coating inspector' een op lage frequentie werkende stroombron geschakeld tussen de leiding en een aardelektrode, het zgn. pearsonapparaat (zie afb. 6).

Met deze apparatuur kunnen beschadigingen tot ca. 0,5 mm<sup>2</sup> oppervlakte worden aangetoond. Veelal is het bij kathodische bescherming niet nodig voor een dergelijke geringe beschadiging de leiding op te graven en de bekleding te herstellen, omdat deze bescherming een dergelijke onvolkomenheid geheel kan aanvullen. In dit verband moet echter met nadruk worden gesteld, dat de kathodische bescherming niet elke beschadiging kan beveiligen. De heer W. von Baeckmann heeft in één zijn publikaties aangetoond, dat — afhankelijk van de bodemomstandigheden —



Afb. 7.

gaten in de bekleding vanaf een diameter van 100 mm door de kathodische bescherming niet of niet voldoende kunnen worden beschermd (zie afb. 7).

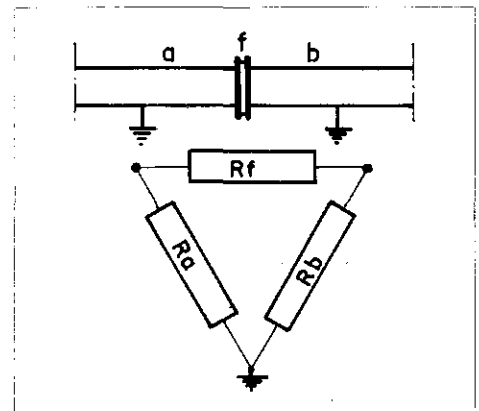
Tijdens de aanleg van de leiding moeten isolatiekoppelingen — isolatieflenzen — en mantelbuisconstructies van elektrisch isolerend materiaal bij voorkeur vóór en na het aanvullen van de leidingsleuf worden gecontroleerd.

Bij de beoordeling van de isolatiewaarden van dergelijke constructies dient uiteraard rekening te worden gehouden met de aardingsweerstand van de betreffende delen. Veelal zal na het aanaarden van de verschillende geïsoleerde delen de schijnbare weerstand tussen de delen sterk dalen door de lage overgangsweerstanden naar aarde (zie afb. 8). Daarmede dient vanzelfsprekend rekening te worden gehouden bij de beoordeling van de isolatiewaarden tussen beide delen.

**Uitvoering van de kathodische beschermingsinstallatie**

Een kathodische bescherming van een ondergrondse metalen object kan worden verkregen met behulp van

Afb. 8.



- a. galvanische anoden (magnesium);
- b. niet galvanische anoden (grafiet of siliciumijzer etc.) met externe stroombron.

In afb. 9 is de opstelling van een kathodische bescherming met galvanische anoden weergegeven.

De volt- en ampèremeter, alsmede de referentiecel, worden slechts tijdelijk aangebracht voor de controle op het effect van de bescherming. In normaal bedrijf is de schakelaar 1 gesloten.

In afb. 10 is de situatie weergegeven bij gebruik van een externe stroombron. De keuze tussen de bescherming met galvanische anoden en de niet galvanische anoden met externe stroombron wordt in hoofdzaak door economische overwegingen bepaald.

In het algemeen kan worden gesteld, dat voor objecten, waarbij meer dan 3 ampère beschermingsstroom nodig is, een externe stroombron economischer is, indien althans een externe stroombron in de nabijheid is. In een mededeling van de DVGW - Corrosie Commissie is een kosten-vergelijking gegeven tussen galvanische en niet-galvanische anoden.

In afb. 11 zijn de door de commissie gevonden toepassingsgebieden voor beide systemen afhankelijk van de bodemweerstand en de stroomsterkte aangegeven.

De technische levensduur van beide systemen kunnen gelijk worden gesteld. De misvatting dat galvanische anoden een kortere levensduur hebben dan de niet-galvanische anoden met externe stroombron, kan door de volgende calculatie afdoende worden weerlegd.

Magnesium lost op met een verlies aan gewicht van 5 kg per ampère per jaar. Een magnesium-anode van 10 kg kan derhalve 2000 mA gedurende één jaar leveren. Rekening houden met een 'eigen' aantasting, kan het rendement bij een stroomafgifte van bijv. 30 mA op ca. 40 % worden gesteld, zodat de levensduur op  $0,4 \times 2000 \text{ mA}$

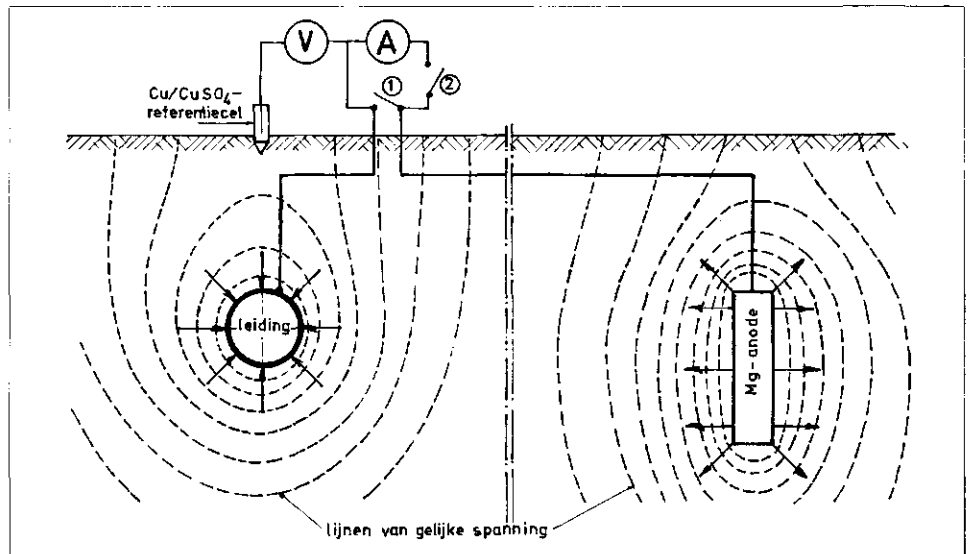
$$\frac{30 \text{ mA}}{0,4} = \text{ca. } 26 \text{ jaar kan worden begroot.}$$

**Controle op het effect van de kathodische bescherming**

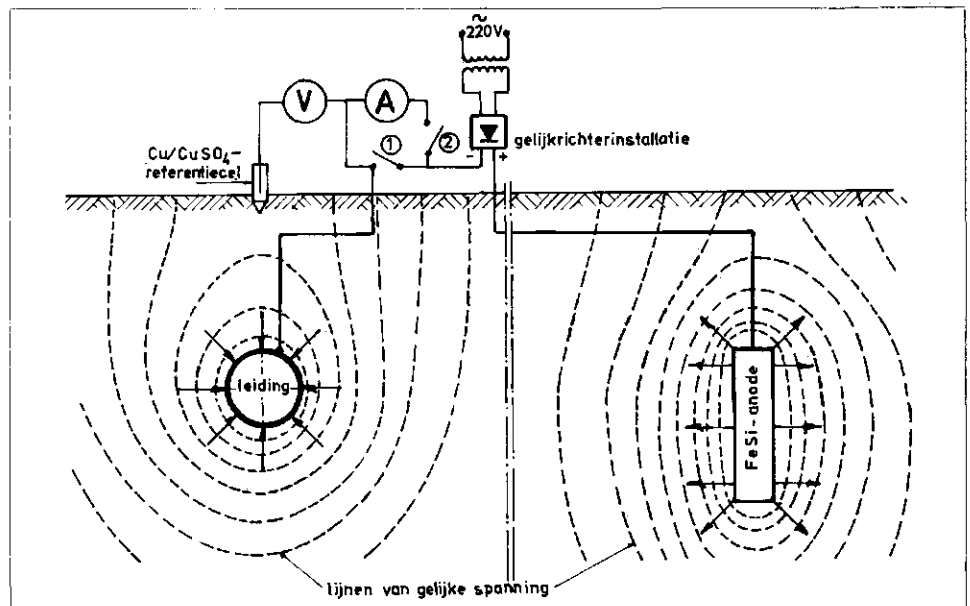
De kathodische bescherming berust op een zeer eenvoudig principe, nl. het voorkomen van stroomuittrede uit de te beschermen metaaloppervlakte door van 'buiten' stroom toe te voeren, waarbij de metaal-elektrolyet-potentiaal tenminste — 850 mV ten opzichte van de koper/kopersulfaat referentie cel moet bedragen. Het vaststellen of aan deze voorwaarde wordt voldaan, kan echter belangrijk minder eenvoudig zijn.

Een en ander houdt verband met de grootte van de beschermingsstroom per oppervlakte-eenheid — stroomdichtheid, de elektrische bodemweerstand en de elektrische weerstand van de betreffende bekleding van het object.

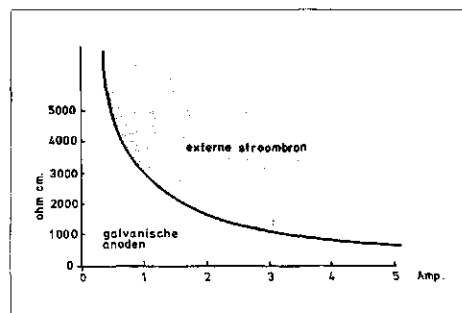
Zoals aangegeven in de afb. 9 en 10 ontstaat tengevolge van het stroomtransport een ohm-spanningsverlies 'IR drop' in het traject van de anode naar de kathode. Indien — op de gebruikelijke wijze — de koper/kopersulfaatcel op het maaiveld



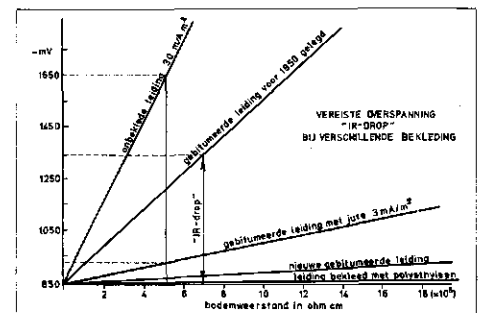
Afb. 9.



Afb. 10.



Afb. 11.



Afb. 12.

wordt geplaatst, dan wordt bij stroomdoorgang door de electrolyet etc. een gedeelte van de IR drop 'mede gemeten'.

In afb. 12 ontleend aan een publicatie van de Gasunie is de vereiste 'overspanning' aangegeven, die in verband met deze IR drop moet worden aangelegd om voldoende beschermingspotentiaal aan het metaaloppervlak te bereiken.

Hoewel deze afbeelding een indicatie geeft van in de te verwachten 'IR drop', blijkt in de praktijk dat door diverse oorzaken — niet homogene grond, plaatselijk slechte bekleding, onjuiste plaatsing van anoden, etc. — deze 'IR drop' belangrijk groter kan zijn.

Daardoor kan veelal onvoldoende informatie worden verkregen over het werkelijke effect van de kathodische beschermingsinstallatie.

#### Uitschakelmethode

De 'IR drop' kan echter eenvoudig worden geëlimineerd door de kathodische beschermingsinstallatie kortstondig uit te schakelen. Het depolarisatie-proces van de gepolariseerde kathode — het beschermde object — verloopt in gronden, waar kathodische bescherming vereist is, voldoende traag om met een daartoe geschikte — direct aanwijzende — voltmeter de potentiaal zonder 'IR drop' te meten.

Deze potentiaal van het object in gepolariseerde toestand wordt 'polarisatie-potentiaal' genoemd.

In anaerobe gronden met hoge bodemweerstand kan de depolarisatie — normaal enkele seconden tot dagen — zo snel plaats vinden, dat de polarisatie-potentiaal met behulp van een oscilloscoop moet worden bepaald.

#### Uitvoering van de controle op het effect van de kathodische beschermingsinstallatie

In de afb. 9 en 10 is de opstelling voor het meten van de metaal-elektrolyet-potentiaal aangegeven.

De uitschakelmethode kan worden uitgevoerd door het — kortstondig — openen van schakelaar 1.

Bij een dergelijke meting wordt in feite de gemiddelde MEP van een beperkt metaaloppervlak in de nabijheid van de referentiecel gemeten.

Een en ander volgt uit de verhouding van de hoge overgangswaerstand van de referentie-elektrode — 3000 tot 5000 ohm —, waarbij de langswaerstand door de leiding en de meetdraad — slechts enkele ohms — geen rol speelt.

Daardoor kan zonder ontoelaatbare meetfouten bij lage stroomdichtheden de MEP worden bepaald op meer dan 2 km van de contactplaats met de leiding (meetpunt).



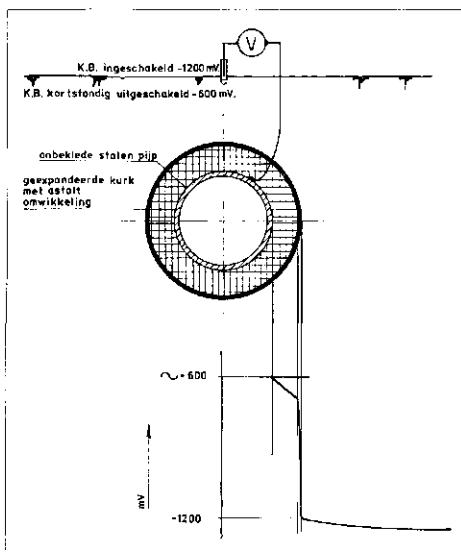
Afb. 13.

De controle op het effect van de kathodische bescherming wordt steekproefsgewijze uitgevoerd, nl. in de nabijheid van de meetpunten.

Deze meetpunten moeten worden aangebracht bij bijzondere constructies of situaties — mantelbuizen, kruisingen met leidingen van derden, etc. — en voorts tenminste op afstanden van 2 km. Deze steekproefsgewijze controle is slechts aanvaardbaar indien de zekerheid bestaat dat de omstandigheden — kwaliteit bekleding en bodemgesteldheid — niet wijzigen. Indien dit echter wel het geval is — bergtrajecten met zeer hoge bodemweerstand buiten de leidingsleuf, beschadigingen in de bekleding, contacten met andere objecten tussen twee opeenvolgende meetpunten — dan is de controle in de nabijheid van de meetpunten onvoldoende en moet de MEP langs het betreffende traject worden bepaald.

In verband daarmee is door KIWA apparatuur ontwikkeld, waarmee de MEP

Afb. 14.



langs het gehele traject van de leiding kan worden gemeten (afb. 13).

Door het simultaan gedurende enkele seconden uitschakelen van alle kathodische beschermingsinstallaties van zo'n object, kan daarbij de polarisatie-potentiaal veelal voldoende nauwkeurig worden vastgesteld.

#### Fouten in de elektrische scheiding met andere objecten

Het te beschermen object moet volledig elektrisch geïsoleerd zijn van andere elektrische geleidende objecten.

Bij stalen leidingen kunnen isolatieflenzen defect raken, door zettingen contacten ontstaan met mantelbuisconstructies en damwanden, etc., waardoor beschermingsstroom afvloeit naar die objecten. Door deze stroomverliezen zal altijd de kathodische bescherming van een deel, of van de gehele leiding onwerkzaam worden gemaakt.

Het opvoeren van de beschermingsstroom om deze verliezen te compenseren is echter zinloos en onaanvaardbaar.

Zinloos omdat zal blijken dat daarmee geen verbetering van de potentiaal van het te beschermen deel kan worden bereikt (afschakelmethode) en onaanvaardbaar omdat het gevaar voor interferentie van andere objecten sterk wordt vergroot. In het laatste geval kan ernstige schade worden veroorzaakt aan de leidingen van ander ondergronds verkeer.

Bij een goede periodieke controle kunnen dergelijke fouten tijdig worden opgespoord. Daarbij is het mogelijk met behulp van bepaalde apparatuur de plaats of plaatsen van het contact reeds vóór het uitvoeren van enig graafwerk bovengronds vast te stellen.

#### Kathodische bescherming van warmwaterleidingen met een thermische bekleding

Een kathodische te beschermen leiding moet van goed hechtende en elektrisch isolerende bekleding zijn voorzien, teneinde de stroomdichtheid te beperken en daardoor nadelige beïnvloeding op andere objecten te voorkomen [1].

Bij een thermische bekleding, bijv. bestaande uit geëxpandeerde kurk met asfaltbandage, is geen hechting van de elektrisch dichte laag asfalt op het staaloppervlak aanwezig (zie afb. 14).

Door één enkele beschadiging in deze asfaltbandage kan de geëxpandeerde kurk verzadigd raken met grondwater.

Aangezien de stroombehoefte van een onbekleed oppervlak ca. het duizendvoudige bedraagt van de stroombehoefte van een stalen oppervlak voorzien van een goed hechtende bekleding, is het duidelijk, dat het stroomtransport door de min of meer elektrisch dichte asfaltbandage veelal

onvoldoende zal zijn om in de stroombehoefte van de binnen de thermische bekleding — onbeklede — pijpen te voorzien.

### Literatuur

1. *Elementaire Wenken ter Voorkoming van Schade door kathodische beschermingsinstallaties*. Directoraat-Generaal van de Arbeid - Voorburg.
2. Sterel, ir. J. *Richtlijnen ter vermindering van eventuele nadelige invloeden ten gevolge van kathodische bescherming*. Het Gas nr. 6 dd. 1-6-'64.
3. Sterel, ir. J. *Wettelijke Regelingen en Richtlijnen, die direct of indirect verband houden met kathodische bescherming van ondergrondse netten*. Het Gas nr. 7 dd. 1-7-'66.
4. Boom, dr. J. W. en Wijngaard, ing. B. H. *Het potentiaal criterium bij kathodische bescherming*. PT en P jaargang 28 nr. 8, 1973, pag. 239 - 245.
5. Baeckmann, W. G. von. *Kathodischer Schutz erdverlegter Leitungen in Stadtgebiet und Potentialmessung*. Gas/Wasser/Wärme, Bd XXV/3 - 1971.

