

Lekdetectie bij bouwputten toepassing van de elektrische potentiaalmethod

Ir. Roel Brouwer
VWS Geotechniek BV
Woerden



Ing. Fred Veldhuizen
Texplor Benelux BV
Mijdrecht



Inleiding

Grondkerende wanden als afscherming van bouwputten hebben vaak ook een waterkerende functie. Om die te kunnen vervullen moet de constructie waterdicht zijn, zodat het gewenste grondwaterpeil binnen de bouwput kan worden gehandhaafd en geen grondwaterstroming door de wand kan plaatsvinden.

Indien lekkage van de wand optreedt, hoeft dit niet in alle gevallen tot problemen te leiden. In dichte kleilagen bijvoorbeeld zal een lekkage niet direct tot een waterstroom en mogelijk uitspoeling van grond leiden. In andere gevallen waarbij een waterkerende wand wordt toegepast is de situatie echter dusdanig dat een lekkage tot grote schade kan leiden.

Het grootste deel van de grondkerende constructie bevindt zich beneden het ontgravingniveau en is daarom niet visueel te inspecteren. Wanneer een lekkage na het uitvoeren van een ontgraving wordt waargenomen, betekent dit niet per definitie dat hiermee ook de locatie van het lek is vastgesteld. In veel gevallen zal de waarneming van

de lekkage hoogstens een aanwijzing zijn voor de locatie.

Voor het lokaliseren van lekkages zijn diverse specifieke detectiemethoden beschikbaar. Om op een specifiek project effectief van lekdetectiemethoden gebruik te maken, is het van belang dat opties voor herstel vooraf bekend zijn. Zijn dergelijke opties niet bekend, dan kan het nut van lekdetectie voor dat project in twijfel worden getrokken. Uiteraard is de keuze van uitvoeren van lekdetectie en het stadium waarin dit gebeurt in eerste instantie afhankelijk van de belangen die bij een eventuele lekkage geschaad worden.

Lekdetectie algemeen

Het opsporen van eventuele lekkages kan op verschillende tijdstippen en naar aanleiding van verschillende evenementen plaatsvinden. Controle kan worden uitgevoerd met behulp van:

1. Preventieve lekdetectie: Voorafgaand aan de ontgraving of bemaling.

De wand heeft nog niet zijn grondkerende functie en de voorwaarden zijn dan nog aanwezig om ge-

bleken lekkages te repareren voordat schade is opgetreden aan de omgeving. Ten gevolge van afname van de passieve grond- en waterdruk en daarmee samenhangende vervormingen, kan na ontgraving nog lekkage ontstaan die vooraf niet is waargenomen.

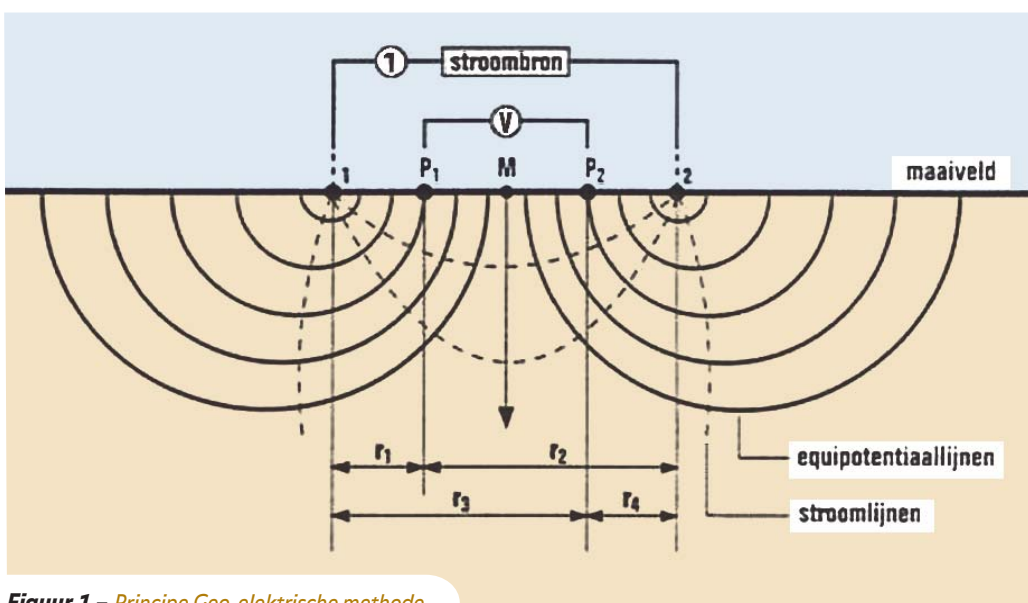
2. Correctieve lekdetectie: Na uitvoering van de ontgraving of bemaling

Correctieve lekdetectie wordt ingezet op basis van het vermoeden van lekkage of naar aanleiding van gebleken waterstroming. In dit stadium is het risico van schade aan de omgeving groter dan bij meten voorafgaand aan ontgraving of zijn schaden en lekkages zelfs al aanwezig.

Door de grotere kans op schades en de moeizame reparatie bij de 2e methode (een gat dient dan tegen de waterstroom gedicht te worden) verdient het ten zeerste aanbeveling om uit te gaan van de preventieve methode. Helaas kunnen niet alle methoden gebruikt worden als preventieve methode.

Voor de twee stadia van lekdetectie zijn dezelfde technieken toepasbaar, met dien verstande dat in geval van het vermoeden van lekkage wellicht de meetdichtheid wordt aangepast ter plaatse van de dan verdachte onderdelen van de constructie.

Onder preventieve lekdetectie verstaan we alle technieken die leiden tot het identificeren van lekkage in een overigens onverdachte situatie. Dit betekent dat het resultaat van preventieve lekdetectie zich kan beperken tot de conclusie dat al dan niet lekkage optreedt. Met een redelijke zekerheid kan worden aangetoond in hoeverre een waterkerende wand naar behoren functioneert (het waterbezuur komt overeen of wijkt niet significant af van de ontwerphoeveelheid). Daarbij dient wel aandacht te worden besteed aan 'normale' afwijkingen, bijvoorbeeld het feit dat een diepwand nooit volledig waterdicht is (het zgn. 'zweten' van de diepwand). Tevens bestaat de mogelijkheid dat bentonietinsluitingen bij diepwanden niet volledig worden opgemerkt



Figuur 1 - Principe Geo-elektrische methode

Samenvatting

Door lekkages bij bouwputten is het vakgebied geotechniek de laatste jaren regelmatig negatief in het nieuws gekomen. De met een lekkage gepaard gaande grondwaterstroming kan grondtransport veroorzaken, hetgeen stabiliteitsverlies tot gevolg heeft. Om die reden is er een toenemende vraag naar

methoden die in een vroegtijdig stadium lekken in keerconstructies kunnen opsporen. Dit artikel gaat in op een aantal verschillende technieken en beschrijft vervolgens een kansrijke methode, namelijk de elektrische potentiaal methode. Deze heeft zich in binnen- en buitenland meerdere malen bewezen.

tijdens de controle en pas na ontgraving toch aan het licht komen.

Mogelijke methoden zijn:

- hydrologische methoden, gebaseerd op de relatie tussen grondwateronttrekking en verlagingsspatroon;
- geo-elektrische methoden;
- elektrische potentiaalmethoden;
- tracermethoden (bv. gebruik van kleurstof als tracer).

De inzet van de preventieve lekdetectie maakt de uitvoering van correctieve lekdetectie veelal overbodig omdat lekkages vooraf in kaart worden gebracht. Voorwaarde is wel dat de preventieve lekdetectie in een voldoende hoge dichtheid wordt uitgevoerd. Verder is het detecteren van lekkages uiteraard alleen dan zinvol wanneer ook daadwerkelijk wordt overwogen maatregelen te nemen. In het vervolg van dit artikel wordt ingegaan op de zogenaamde elektrische potentiaal methode, in het bijzonder de ECR/EFT methode.

Achtergrond elektrische meetmethoden

Veranderingen in het van nature in de bodem aanwezig elektrische veld gaan in de tijd gezien langzaam. De elektrische potentiaal methode is gebaseerd op de koppeling tussen mechanische krachten en elektrische stromen. Hierbij creëert het transport van geladen deeltjes een potentiaalveld dat in situ geregistreerd kan worden. Dat laatste vindt plaats op het maaiveld.

In tabel 1 is een overzicht weergegeven van fysische processen en fenomenen die optreden bij een 'verandering' van de bewuste grootte. Indien bijvoorbeeld sprake is van een hydraulische gradiënt (een bouwkuip wordt leeggepompt en er zit een gat in de wand), dan ontstaan alle mogelijke stromen die in de tweede kolom van tabel 1 staan genoemd (Hydraulic). In kolom 3 en 4 staan de processen die optreden indien een elektrisch potentiaalverschil, respectievelijk een chemische verandering aangebracht wordt. Van nature is ook een thermische gradiënt aanwezig; deze verandert met de tijd door opwarming en afkoeling (5e kolom).

Wat betreft de metingen kan onderscheid worden gemaakt tussen de zogenaamde passieve meting

Gradient / Flow	Hydraulic	Electric	Chemical	Thermal
Fluid	Darcy's law (Conservation of mass and momentum)	Electro-osmosis	Chemical-osmosis	Thermo-osmosis
Current	Streaming Potential	Ohm's law (Maxwell eqn's)	Diffusion and membrane potential (Dorn potential)	Thermoelectricity Seebeck effect
Ion	Streaming current (Ion migration)	Electrophoresis	Fick's law (Convection diffusion eqn.)	Thermal diffusion of electrolyte Soret effect
Heat	Isothermal heat transfer	Peltier effect	Dufour effect	Fourier's law (First and second thermodynamic law)

Tabel 1 - Directe en indirecte gekoppelde processen (Carnahan 1987)

en de actieve meting. Onderstaand worden deze methoden behandeld.

Passieve meting

Grondwaterstroming in een poreus medium zorgt voor een elektrische stroom. Een mechanische waterstroming introduceert een ionentransport. Negatieve vrije ionen zijn in omvang kleiner dan de positieve vrije ionen. Hierdoor kunnen de negatieve ionen zich gemakkelijker bewegen dan de positieve. Het verschil in bewegingssnelheid veroorzaakt een scheiding van ionen en hierdoor ontstaat een elektrisch veld. Verder zijn nog allerlei lokale effecten langs het korrel/water contact afhankelijk van de korrels en de opgeloste deeltjes in het water.

De passieve meting is gebaseerd op het meten van het genoemde elektrische veld ten gevolge van scheiding van ionen. Dit gebeurt met behulp van één of meer sensoren die in een vast meetraster worden gebruikt/opgesteld.

Voor de passieve meting wordt geen stroom in de bodem gebracht, zoals bij de hierna beschreven actieve methode, maar wordt gebruik gemaakt van de natuurlijke energie in de bodem.

Actieve meting

Bij de actieve methode wordt een elektrische stroom de grond ingestuurd. Dit kan vanaf maaiveld of (via het grondwater) vanuit een boorgat.

Het toevoeren van stroom heeft tot gevolg dat meer ionen met de elektrische stroom gaan meebewegen. Hoe het verloop daarvan is, wordt, net als bij de passieve methode, gemeten met behulp van één of meer sensoren in een vast raster. De sensoren registreren dit als toename van de potentiaal.

Bij de actieve methode wordt gebruik gemaakt van de lineariteit van de relatie V (spanning) = I (stroomsterkte) $\times R$ (weerstand): bij een verdubbeling van de spanning V , verdubbelt ook de stroomsterkte I , bij een gelijkblijvende weerstand. Als er een kleine stroom loopt dan kan deze stroom zonder noemenswaardige weerstand door een lek stromen. Als de spanning wordt opgevoerd, dan neemt de mechanische weerstand bij het gat toe. Daar gebeurt dan hetzelfde als bij grote toevoer van materiaal in een trechter of silo: Er vindt als het ware zowel een elektrische als een mechanische verstopping van het gat plaats en de relatie tussen stroomsterkte (I) en spanning (V) is op een zeker moment niet meer lineair. Het gat kan de stroom niet meer ongestoord doorlaten en de sensor waar dit geconstateerd wordt geeft de locatie van het gat aan. Het gat is dan gelokaliseerd.

Een betrouwbare relatie tussen de grootte van een mechanische kracht en de grootte van het elektri-

sche veld dat ontstaat, is zeer lastig vast te stellen. De grootte van een eventueel debiet door een afdichtende wand is daarom nauwelijks te bepalen. Vooral nog wordt het resultaat beperkt tot een kwalitatieve en/of relatieve beschouwing.

Geo-elektrische methode

De geo-elektrische meetmethode berust op het meten van elektrische weerstand. Deze weerstand is indicatief voor de hoedanigheid van de grond (zand heeft een hoge weerstand, klei en veen hebben een relatief lage weerstand) en van het grondwater (zoet water heeft een hogere weerstand dan zout water). In deze traditionele toepassing worden de meetgegevens na interpretatie veelal gebruikt voor de vaststelling van begrenzingen en laterale uitgebreidheid van bodemlagen en voor het vaststellen van het verloop van het zoet-zout grensvlak.

Metingen worden uitgevoerd door middel van in de grond geplaatste elektroden die een elektrische stroom de grond in sturen, waarbij het spanningsverschil tussen twee meetelektroden wordt gemeten. Door de onderlinge afstanden tussen de elektroden te variëren kan het dieptebereik van de meting worden aangepast. Daarbij geldt dat het dieptebereik toeneemt met de afstand. Het principe van de geo-elektrische meting is weergegeven in *figuur 1*.

Elektrische Potentiaalmethoden

Bij de Elektrische Potentiaalmethoden wordt via het maaiveld in een boorgat een meetsignaal/

elektrische stroom ingevoerd en door een tegenpool/ontvanger door de te onderzoeken constructie getrokken. Altijd wordt op een zekere afstand van de bron gemeten. Het verloop van het elektrische veld dat bij de bron ontstaat wordt door de grond tussen bron en ontvanger bepaald. In een zandige ondergrond (relatief lage geleidbaarheid) zullen de stroombanen verder uit elkaar liggen dan in een kleiige ondergrond (relatief hogere geleidbaarheid). Aan het maaiveld zal dan een andere absolute potentiaal gemeten worden bij eenzelfde bron.

Tijdens de meting wordt gevarieerd in spanningsniveaus en in locaties van stroominvoer en tegenpolen, zodat een uitgebreid spectrum aan meetgegevens wordt verkregen waarop statistische analyses kunnen worden uitgevoerd.

Ten opzichte van de geo-elektrische methoden hebben elektrische potentiaalmethoden geen hinder van elektrisch geleidende materialen en – omdat de metingen in een zeer korte tijdsperiode worden uitgevoerd – ook aanzienlijk minder hinder van zwerfstromen en dergelijke. Metingen ten tijde van de bouw van de Tramtunnel en proefmetingen op stalen damwanden in Zaamslag (V-polder¹, zie *figuur 2*), hebben dit aangetoond. Bij laatstgenoemd project zijn met de methode een aantal ‘bekende’ lekwegen uit de metingen naar voren gekomen. Uit de veldproef is de conclusie getrokken dat de methode geschikt is voor het detecteren van lekkages in een omgeving van stalen damwanden.

Principe van de elektrische potentiaalmethode

Het basisprincipe van de meting berust op het eenvoudige principe, dat elektrische energie die weg met de minste weerstand tussen 2 polen neemt. Voor de meetmethodiek betekent dit, dat een gecontroleerd en gedefinieerd elektrisch signaal (de tracer) in het grondwater buiten de waterkerende constructie wordt aangebracht en door middel van een tegenpool naar de andere zijde van de constructie wordt geleid. Als er openingen zijn in de waterdichte constructie dan zal de stroom ook hierdoor geleid worden. Achter deze openingen is de elektrische potentiaal verhoogd ten opzichte van de waterdichte of zelfs vloeistofdichte gedeelten. Door deze potentiaal rastergewijs te meten kunnen gaten in de constructie worden gevonden.

Voor de registratie van de elektrische potentiaal wordt een gevoelig, zeer snel metend, (Electro Chemical Response, ECR) multisensor telemetrie-systeem ingezet. Dit systeem is in staat met een groot aantal gerangschikte sensoren gelijktijdig te meten en kwalitatief zeer hoogstaande en herhaalbare resultaten te produceren, ook onder zeer moeilijke meetvoorwaarden (bouwplaatsen, industriegebieden, stations etc.). De ECR-EFT technologie is speciaal ontwikkeld voor het onderzoeken en registreren van lekkages in horizontale en verticale bouwputbegrenzingen waterkeringen, daken en kelders, maar ook in vuilstortplaatsen, keringen en dammen, folies en andere bodem-beschermende constructies). In *figuur 3* is het principe van de EFT[®] technologie verduidelijkt.

In *figuur 4* is een voorbeeld gegeven van een lekkagecontrole van een diepwand die is geplaatst in een kleilaag waarbij lekkages in de kleilaag aanwezig zijn. In dit geval wordt het tracersignaal (energie-inbreng) vanuit een peilbuis in de watervoerende laag onder de kleilaag ingebracht.

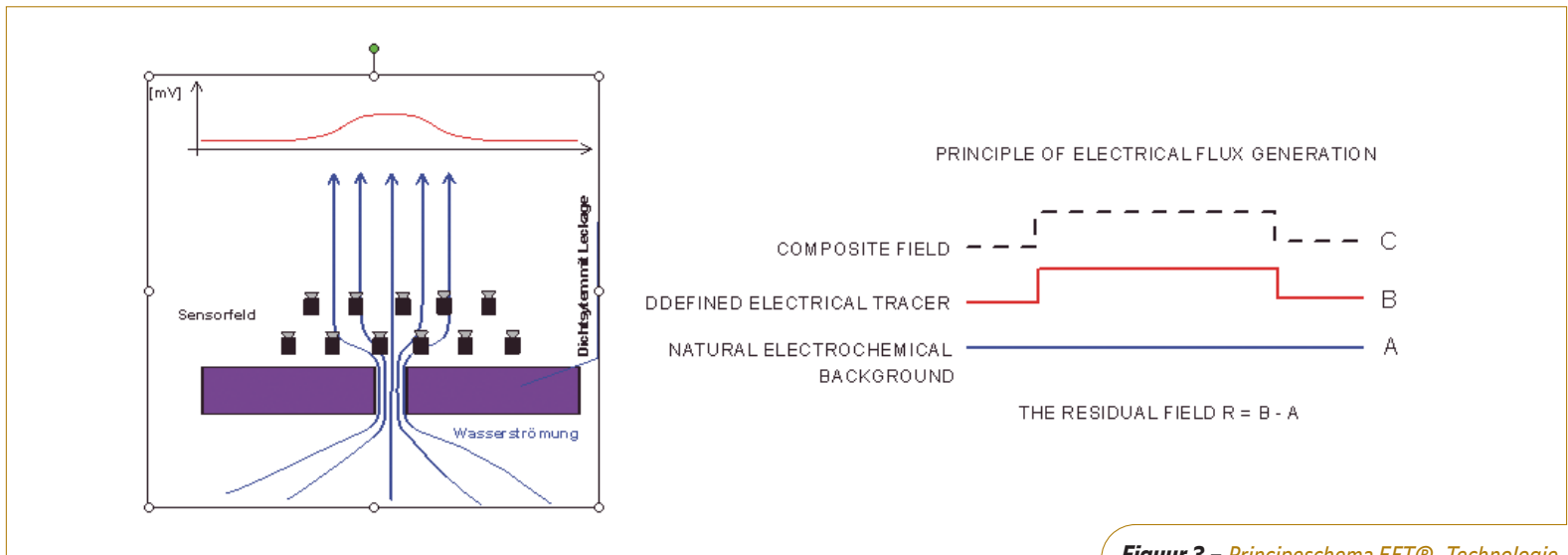
De hoeveelheid sensoren hangt af van de diepte van de wand, de ondergrond en uiteraard van project specifieke eisen.

Bij het begin van elk onderzoek wordt de natuurlijke energie in de bodem in het elektrochemische veld bepaald en daaraan bij de volgende metingen met behulp van een elektrische tracer gecorreleerd. In gebieden met een hoger energieniveau dan bij het normale veld van een afdichtende laag, is een logische elektrische doorlatendheid aanwezig, die de exacte locatie van een lekkage aangeeft.

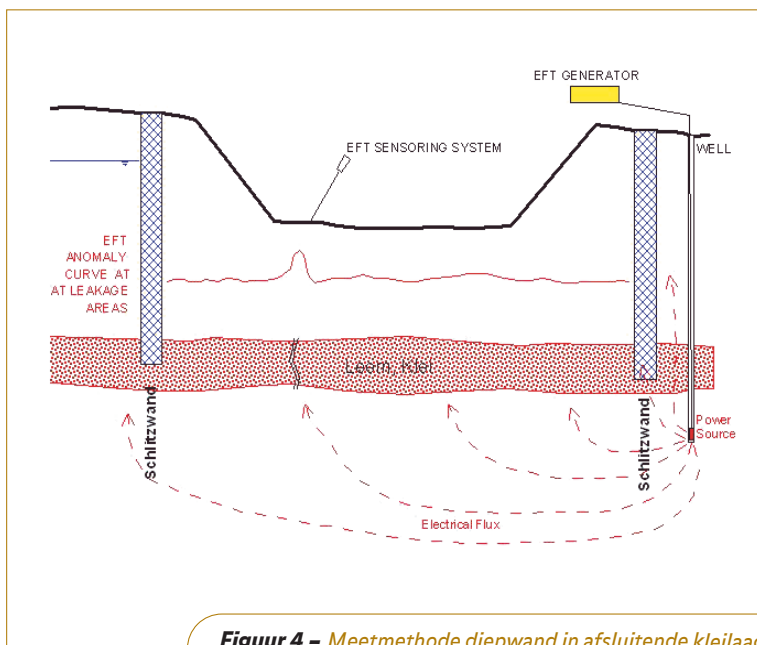
Op basis van de interpretaties kunnen in een bovenaanzicht de anomalieën worden aangegeven worden. Dit plan maakt beoordeling van grondwaterstromingen in de afdichtende lagen



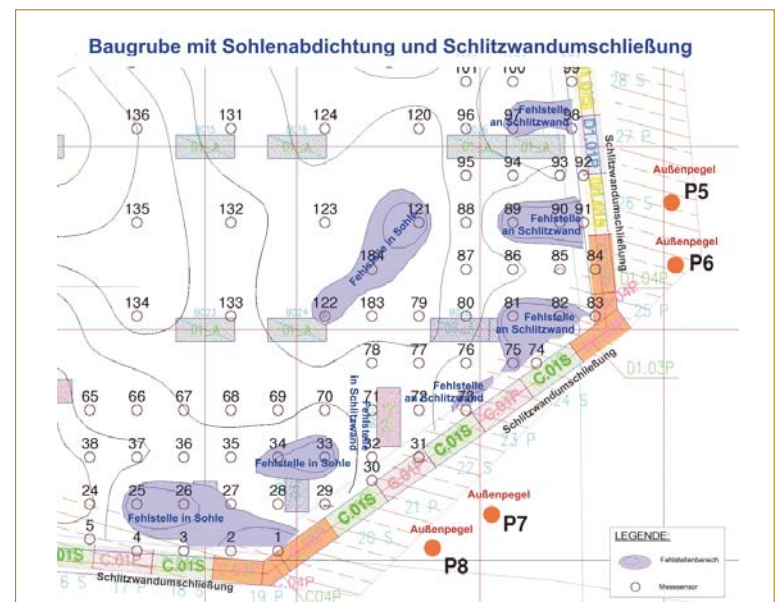
Figuur 2 – Installatie damwanden V polder.



Figuur 3 – Principeschema EFT®-Technologie.



Figuur 4 – Meetmethode diepwand in afsluitende kleilaag.



Figuur 5 – Bovenaanzicht sensorenveld en interpretatie van de meetresultaten.

mogelijk. Een voorbeeld van een dergelijk plan bij een bouwput omgeven door een diepwand is weergegeven in *figuur 5*.

Technische uitvoering

De plaatsbepaling van mogelijke lekkages in de wanden kan met de ECR-EFT Multisensortechnologie worden uitgevoerd. Afhankelijk van de aanwezige grondslag, specifieke projecteisen en eventueel bekende verdachte locaties wordt een meetstrategie opgesteld. De metingen worden uitgevoerd in verschillende tijdreeksen en op verschillende energieniveaus.

In *figuur 6* is een voorbeeld gegeven van een meetstrategie, waarbij het tracersignaal vanuit peilbuizen op 3 verschillende dieptes wordt gegenereerd en op het maaiveld door middel van de sensoren

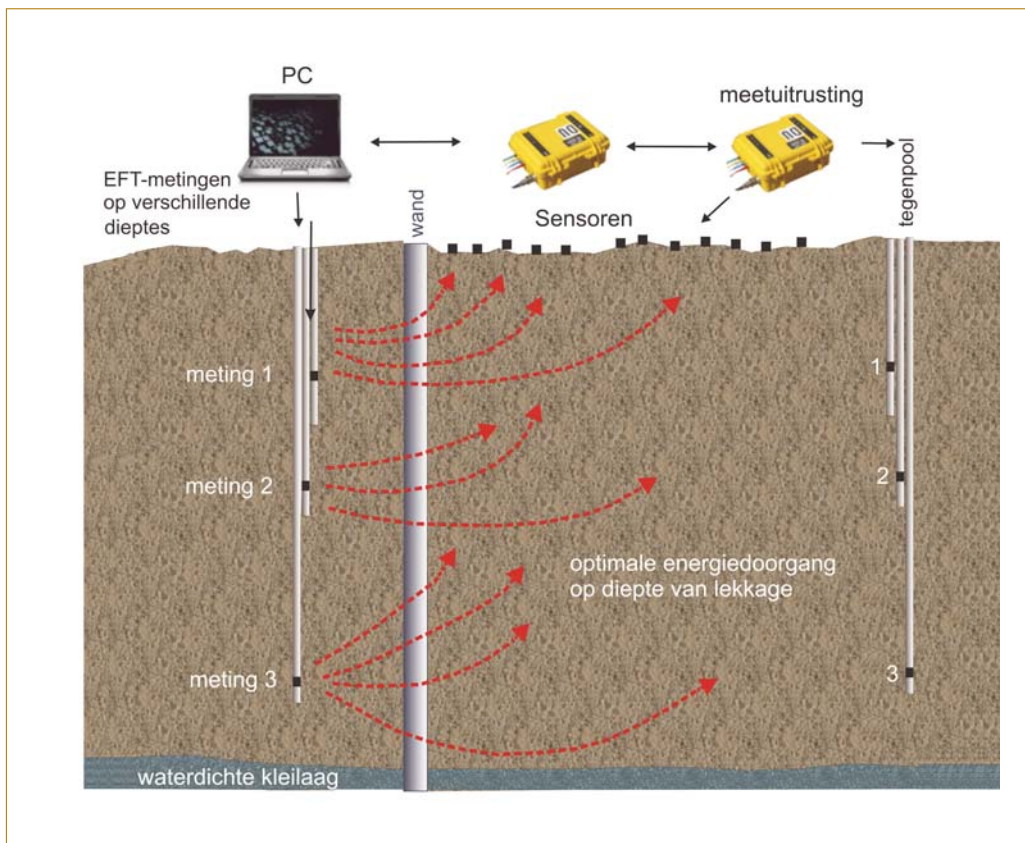
wordt 'opgevangen'. Om een elektrische stroom op te wekken is het noodzakelijk op dezelfde dieptes tegenpolen/ontvangers te installeren. Deze strategie wordt vaak toegepast in gelaagde grond. Impliciet wordt dan informatie verkregen over de diepte van de mogelijke lekkage.

Een voorbeeld van de uitvoering van deze methode in een bouwkuip is weergegeven in *figuur 7*.

De verkregen meetgegevens worden gerangschikt en weergegeven in een bovenaanzicht met de verkregen potentiaalverhogingen. Van belang is de exacte analyse van de basisgegevens om de natuurlijke achtergrond en de mogelijke veranderingen in de tijd evenals de bandbreedte van de optredende amplitudes te verkrijgen en deze d.m.v. een vlekkenplan in het onderzoeksgebied aan te geven.

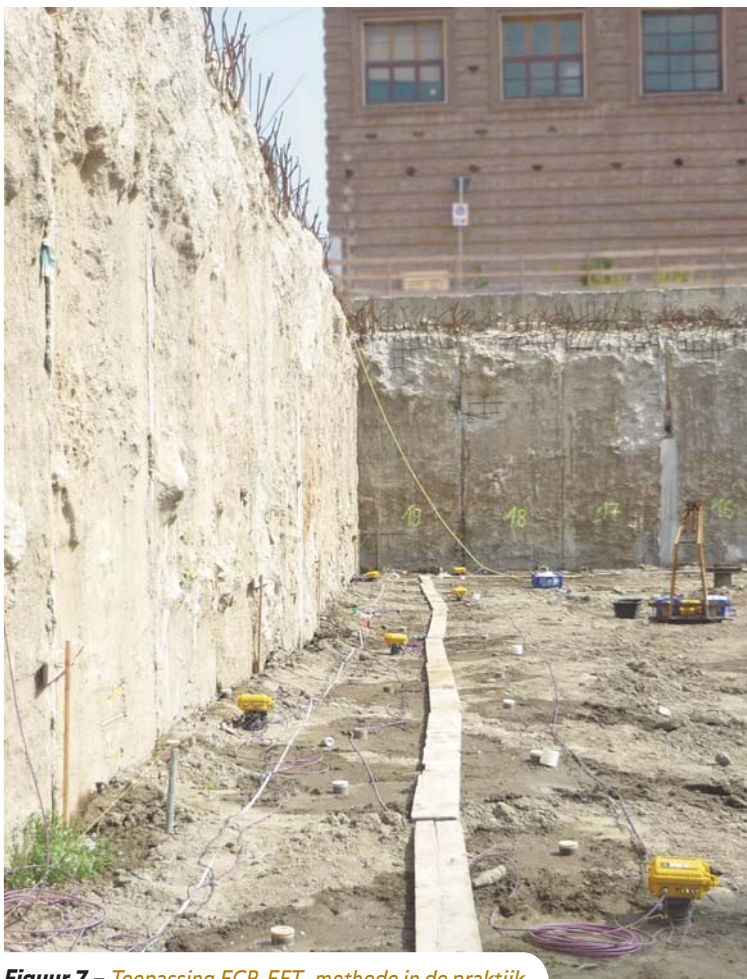
Vervolgens worden de basisgegevens statistisch geanalyseerd en worden referentie datasets gekozen, welke de basis vormen voor de daaropvolgende uitwerking van op tijd en energie weergegeven EFT-metingen, welke voor de latere kwaliteitscontrole van de wand dienen.

Als de constructie waterdicht is, levert de basispotentiaalmeting geen resultaat. Er kan een drempel zijn die de grondwaterstroom tegenhoudt, bijvoorbeeld een bentonietinsluiting bij een diepwand of een zeer klein lek dat pas groter wordt als (verder) wordt ontgraven. Deze drempel wordt weggenomen door actieve elektrische stroom op te leggen: de stroom wordt als het ware door het kleine lek geperst. Om kleine lekkages waar te nemen wordt bij verschillende, oplopende, energieniveaus gemeten. Hierop wordt de data geanalyseerd.



Figuur 6 – Toepassing ECR-EFT- methode bij diepwanden.

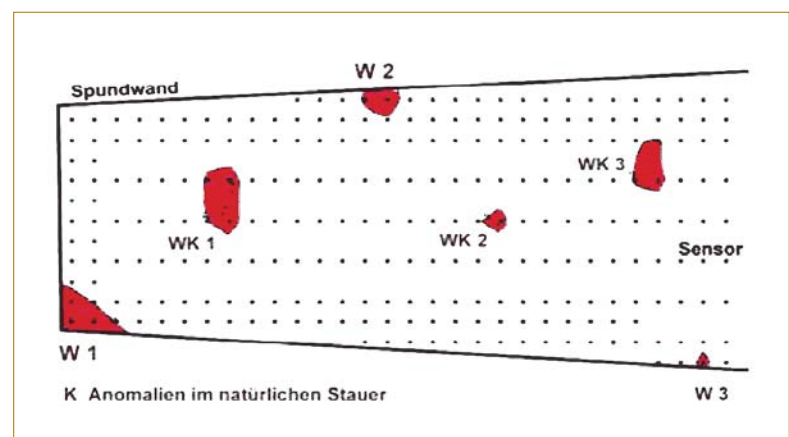
De beoordeling of een lekkage aanwezig is berust op het vergelijken van twee metingen: een meting zonder dat stroom wordt opgewekt en een meting waarbij een stroom loopt tussen de elektrodes en tegenpolen. Als er een groot verschil is tussen deze twee metingen kan er kennelijk ergens een stroom lopen. De stroom verandert het potentiaalveld boven de locatie waar deze door de wand loopt. Op basis van verschillen tussen meetwaarden 'met stroom' en 'zonder stroom', wordt een drempelwaarde vastgesteld. Meetwaarden die de drempelwaarde bij de verdere metingen overschrijden, duiden op mogelijke lekkage. Deze gebieden worden aangemerkt als verdachte gebieden. Uit de analyse van alle meetgegevens wordt vervolgens afgeleid of in die verdachte gebieden werkelijk lekkages voorkomen. Het vaststellen van de drempelwaarde gebeurt met name op basis van ervaring, projectspecifieke omstandigheden en de aanwezige grondslag. Het vaststellen van de drempelwaarde is een zeer belangrijk facet in de beoordeling van mogelijke lekkages en geeft daarmee direct de gevoeligheid van de uitwerking van de meetmethode weer. Het is dan ook van belang de metingen alleen uit te laten voeren door daarvoor opgeleide meettechnici met voldoende relevante ervaring. Hetzelfde geldt natuurlijk voor het analyseren van de meetgegevens.



Figuur 7 – Toepassing ECR-EFT- methode in de praktijk.

Omdat voor ieder energieniveau een grote hoeveelheid metingen wordt gedaan, kan men statistische analyse doen op de metingen. Als een drempelwaarde in een bepaald berekend verschil wordt overschreden zou dat bij andere berekende verschillen ook moeten optreden. Voor iedere sensor kan zo eenvoudig het potentiaal verschil tussen actieve stroommetingen en (passieve) (achtergrond)potentiaal-metingen worden bepaald.

In figuur 8 is een voorbeeld gegeven van een vlek-



Figuur 8 – Voorbeeld vlekkenplan met verhoogde potentiaal in een bouwput met damwanden.



Figuur 9 – Lekdetectie HSL aquaduct haarlemmer.

kenplan, waarin de verhoogde potentialen zijn aangegeven. De vlekken stellen verdachte locaties voor. In dit geval zijn alleen maaiveldsensoren toegepast. Daarnaast is er de mogelijkheid om een aantal sensoren aan een draad in een peilbuis naar te laten (zogenaamde kettingsensoren) waarmee de diepteligging van een lekkage nauwkeuriger te bepalen is. Bij de noord-zuidlijn in Amsterdam is hiermee ervaring opgedaan. De methode lijkt veelbelovend maar is nog niet geheel uitontwikkeld.

Ervaringen

Met name in Duitsland en Oostenrijk, maar ook in andere Europese landen is veel ervaring opgedaan met de elektrische potentiaal methode. De eerste ervaringen in Nederland zijn verkregen tijdens de uitvoering van de Tramtunnel in Den Haag, alwaar met name in de afbouwfase de waterdichtheid van diverse injecties is gecontroleerd. Vervolgens is het reeds eerder genoemde proefproject te Zaamslag uitgevoerd.

Hierna is in Nederland de techniek met succes toegepast op een grote hoeveelheid kleinere projecten (lekkages bij kelders, daken etc.) en grote infrastructurele projecten.

Bij het Ringvaartaquaduct over de Hoge Snelheidslijn tussen Hoofddorp en de Groene Hart Tunnel (HSL1) is de methode tevens ingezet. Bij de

aanleg van dit aquaduct werden lekkages geconstateerd, veroorzaakt door onvolkomenheden in de afdichtende holocene deklaag. De lekkages zijn met behulp van de Biosealing techniek onder begeleiding van Deltares hersteld. Het verloop van het 'dichtgroeien' van de lekkage is gedurende een periode van 5 maanden gemonitord met behulp van de potentiaal methode.

Voor de aanleg van de Noord-Zuidlijn in Amsterdam zijn op grotere schaal metingen verricht voor de volgende onderdelen:

- Zinktunnelsleuf Centraal Station (Sandwichwand)
- Voorplein centraal Station (diepwanden)
- Station Vijzelgracht (diepwanden)
- Station Rokin (diepwanden).

Conclusies

In dit artikel is een aantal methoden besproken dat toegepast kan worden bij het detecteren van lekkage bij bouwputten. De elektrische potentiaal methode, in het bijzonder de ECR-EFT methode is een van de betere methoden om lekkages in grond- en waterkerende wanden op te sporen. De methode heeft zich bij diverse projecten in binnen- en buitenland bewezen.

Een belangrijk voordeel van de methode is dat

deze tevens als preventieve methode kan worden toegepast; dus voordat een ontgraving of bemaling is uitgevoerd en kans op schade aan de omgeving bestaat. Als eventueel nadeel kan genoemd worden dat de methode momenteel alleen nog een ruwe indicatie over het lekdebiet geeft.

Referenties

- Admiraal, B.J., *Lekdetectiesystemen voor bouwputten en andere ondergrondse waterkerende constructies*, Geotechniek 4e jaargang, april 2000.
- Lambert, J.W.M., Brouwer, J.W.R. en Regteren, D.H., *Tanking Constructions, typically Dutch*, proc. Waterproof Membranes Convention, Cologne, november 2009.
- Stichting CURnet, *Folieconstructies voor verdiept aangelegde infrastructuur*, CUR rapport 221-2009, januari 2009.
- Van Daalen, P.M. en V. Hopman, *Betrouwbaarheid van lekdetectiesystemen voor ondergrondse constructie*, Geotechniek 5e jaargang, oktober 2001.

Noot

- ¹ De V polder was een innovatieproject met het idee om een horizontale en verticale afdichting van een bouwkuip te combineren (zie Van Daalen et al, 2001). ●