

'Leakfinder': opsporen van lekkages van in den natte ontgraven bouwkuipen met infrarood



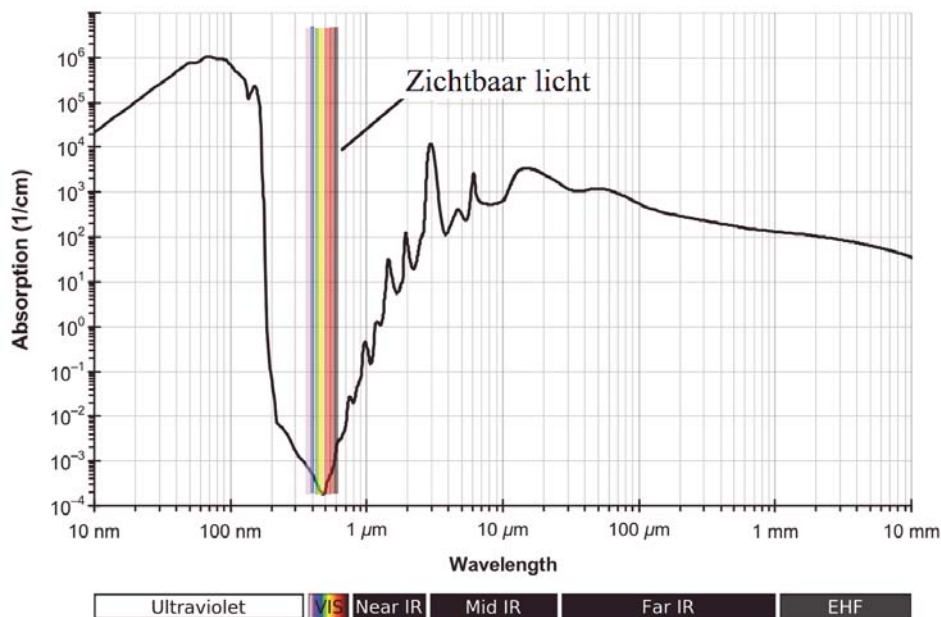
Drs. Gilles Colard
Movares b.v.



Ing. Onno Langhorst
Movares b.v.



René Bolhuis
Horus b.v.



Figuur 1 - Grafiek absorptie van lichtstralingen in water.

Aanleiding van de innovatie

Lekkages door bouwkuipwanden, die in den natte worden ontgraven, zijn vaak lastig vast te stellen. De eerste aanwijzing wordt gegeven door het (grondwater) monitoring systeem. Zoals gebruikelijk wordt deze direct achter de wand buiten de bouwkuip geïnstalleerd. Plotselinge verlaging van de grondwaterstand betekent dat een mogelijke lekkage aanwezig is.

Een gebruikelijke actie is door duikers een inspectie van de bouwkuipwand te laten uitvoeren. De duikers hebben in de bouwkuip maar een zeer beperkt zicht en in de praktijk blijft het moeilijk om een lekkage vast te stellen. Onder het emplacement van Amsterdam CS wordt in het kader van de Noord/Zuidlijn een bouwkuip in den natte ontgraven. Het risicoprofiel is kritisch en naar aanleiding van de bevindingen van de onderzoekscommissie

Veerman is gebleken dat het bij dergelijke bouwkuipen het van belang is om lekkages van de wanden snel op te sporen en te verhelpen omdat de gevolgen voor de omgeving groot kunnen zijn.

Overigens blijft er voor de bouwput van Amsterdam CS een zeer kleine kans bestaan dat lekkages kunnen optreden. Voor dit probleem is door Movares b.v. in samenwerking met Horus Surround Vision b.v. een innovatieve oplossing bedacht. Het betreft het meten van lekkages onder water door middel van infra rood (IR). Onder water is deze techniek nog niet eerder toegepast. Deze is voor de bouwkuip van Amsterdam CS verder ontwikkeld en succesvol toegepast.

Principe van het meten met infrarood

Bij een infrarood camera wordt de infrarode

straling via een sensor omgezet in een bepaalde laagspanning of zwakstroom waaruit dan de temperatuur van het voorwerp te bepalen is. Lichtstralingen worden, afhankelijk van hun frequentie, door water in meer of mindere mate geabsorbeerd. In de grafiek (zie figuur 1) is te zien dat de absorptie van de lichtstralingen in water maximaal is voor de frequenties in het ultraviolette en infrarode spectrum. Bij het zichtbare licht is de absorptie het minste (paars tot rood spectrum). Dit betekent dat IR stralingen alleen in water te meten zijn indien de bron van de IR stralingen zich dicht bij de IR camera bevinden. Hoe groter deze afstand, des te meer absorptie van de IR stralingen door het water. Er is dus met deze meetmethode fysiek contact tussen de watermoleculen uit het lek en de IR camera nodig (contactmeting). Dit in tegenstelling tot in de atmosfeer waar geen fysiek contact tussen de IR bron en de IR camera nodig is om een meting te realiseren (meting).

Rondom de bouwkuip van Amsterdam CS zijn peilbuizen en waterspanningsmeters geïnstalleerd om de variaties van de grondwaterstand en de stijghoogte in de verschillende watervoerende grondlagen te kunnen meten. Met 'BAT-sensoren of divers' zijn de waterstanden en ook de temperatuur van het grondwater eenvoudig te meten. In de praktijk blijkt dat voor elke watervoerende grondlaag een karakteristieke temperatuur van het water kan worden vastgesteld. Om een voldoende betrouwbaar beeld van de gemiddelde temperatuur van de diversen watervoerende lagen te verkrijgen, zijn enkele metingen gedurende enkele dagen noodzakelijk. Over de meetperiode is de temperatuur van het grondwater vrij constant. Het water in de bouwput heeft doorgaans een andere temperatuur dan uit de verschillende watervoerende grondlagen en is eenvoudig te meten.

Samenvatting

Lekkages van in den natte ontgraven bouwkuipen zijn vaak lastig op te sporen. De leakfinder is een innovatieve meetmethode die onder water lekkages van bouwkuipwanden kan opsporen. De meetmethode is gebaseerd op de detectie van infrarode stralingen. Door de temperatuurverschillen tussen het water in de

bouwkuip en het grondwater in de bodemlagen zijn lekkages relatief eenvoudig te detecteren. Bij deze meetmethode is uitgegaan van het in den natte ontgraven van bouwputten waarbij ten gevolge van een drukverschil lekwater binnen stroomt. Diverse bouwkuipen zijn al op deze wijze succesvol geïnspecteerd. De bouwkuip kan dan vervolgens veilig worden droog gezet.

Dit temperatuurverschil kan enkele graden tot tientallen graden bedragen, afhankelijk van het seizoen. Vanwege de nauwkeurigheid en de instellingsmogelijkheden van de IR camera zijn kleine temperatuurverschillen goed meetbaar tot 0,01°C. De waterstand buiten de bouwkuip staat altijd hoger dan het waterpeil in de bouwkuip. In het geval van een lekkage zal de grondwaterstroming richting de bouwkuip plaatsvinden. Dat is een van de randvoorwaarden van de mogelijke toepassing van deze meetmethode. De metingen worden uitgevoerd door het laten zakken van een infrarode camera langs de sloten of voegen van de bouwputwanden.

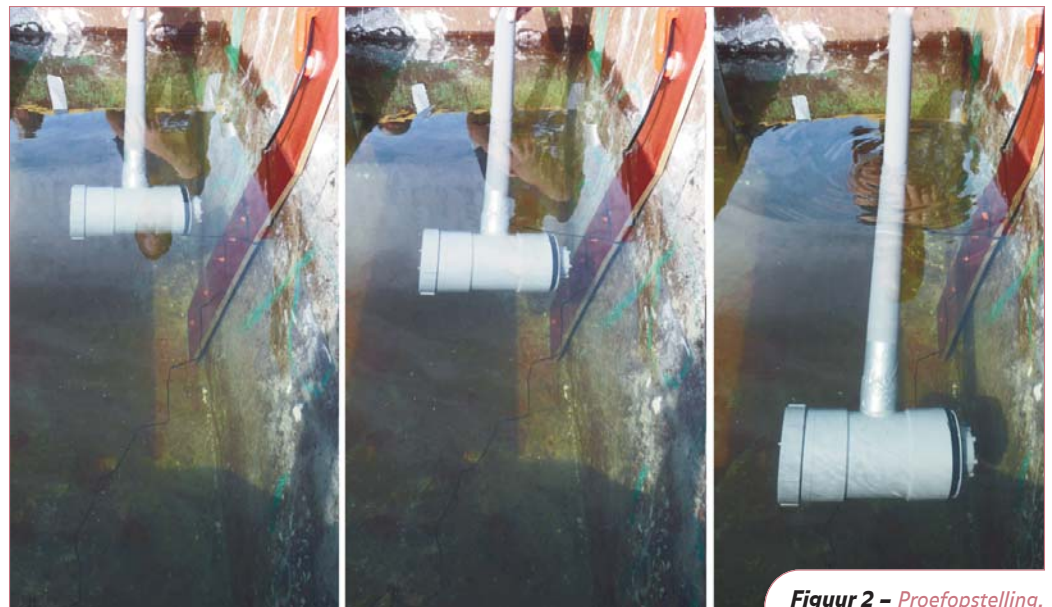
Op basis van gemeten verschillen van watertemperatuur in de bouwput kunnen lekkages opgespoord worden. De eventuele temperatuurverandering binnen de behuizing ten gevolge van het laten zakken van het apparaat heeft geen nadelige invloed op de meetresultaten. De lens van de camera is namelijk direct achter de PET-plaat gepositioneerd en vangt alleen IR-stralingen die afkomstig zijn van de PET-plaat. De IR-camera zelf is ongevoelig voor temperatuurverschillen. De troebelheid van het water in de bouwput beïnvloedt de meetresultaten niet. De meetmethode is inzetbaar voor bouwkuipwanden bestaande uit stalen profielen met een slotconstructie, zoals damwanden, combiwanden en MT-palenwanden.

Juist ter plaatse van de slotconstructies kunnen lekkages optreden. Hierdoor kan een plotselinge verlaging van de grondwaterstand buiten de

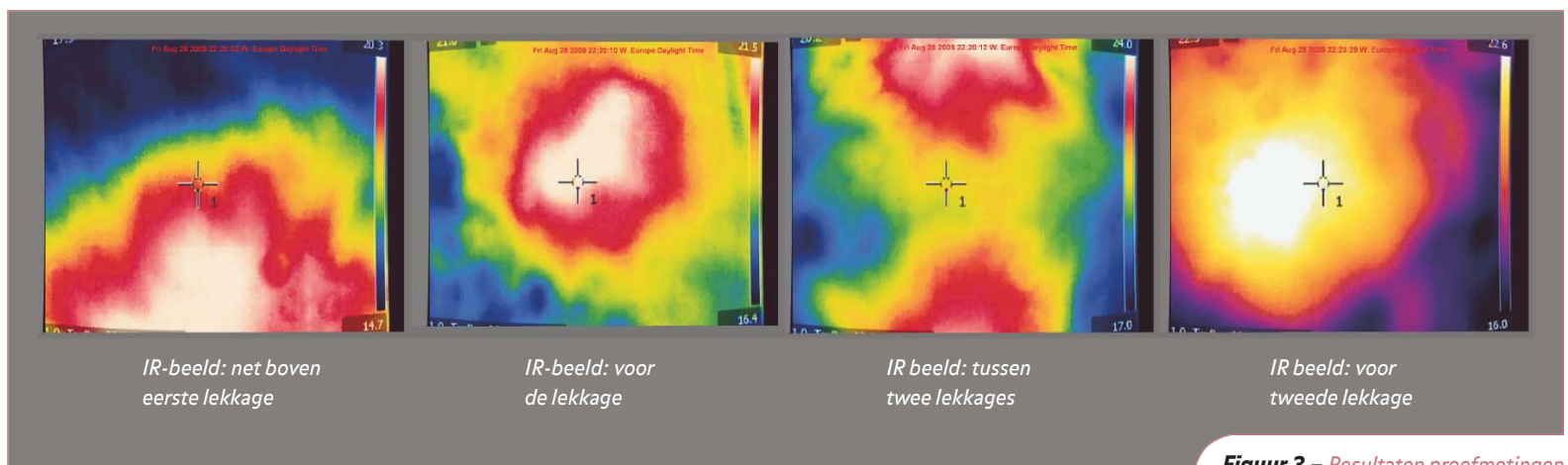
bouwkuip ontstaan, die zetting kan veroorzaken. Het grootste risico is dat zulke lekkages zandvoerend worden. Buiten de bouwkuip vindt dan ontgronding plaats waardoor funderingen van (monumentale) gebouwen kunnen worden ondermijnd met grote schade tot gevolg. In de praktijk moet men de waterremmendheid en gronddichtheid van de bouwkuipwanden kunnen waarborgen. Ook voor andere type bouwkuipwanden, zoals betonnen diepwanden of in de grond gevormde palenwanden, is deze meetmethode

toepasbaar. De bouwputwanden dienen verticaal te zijn omdat het meetapparaat geleid wordt langs een verticale as. Bij grote verticale afwijkingen van de wand is het meetmethode niet meer geschikt omdat dan de meetafstand te groot wordt.

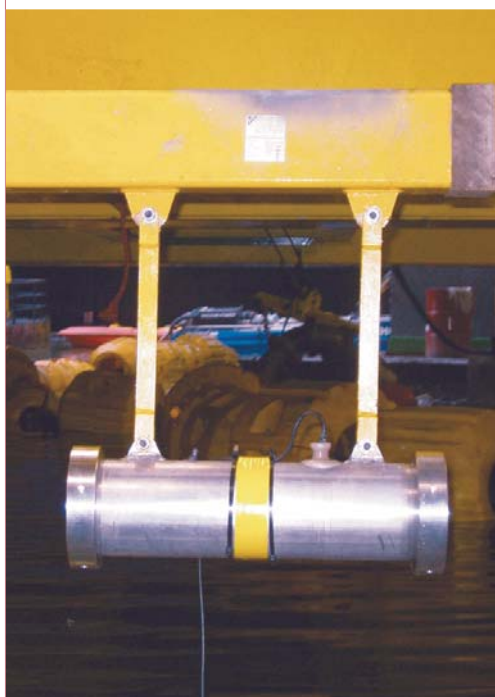
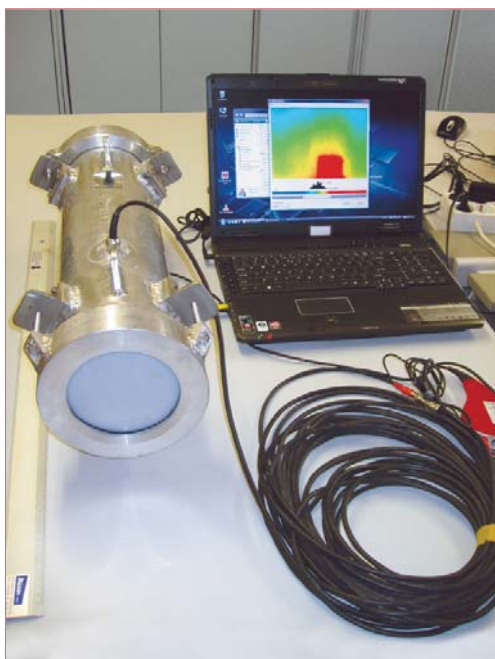
De meetmethode is uitmate geschikt voor de detectie van kleine tot matig grote lekkages omdat visuele detectie door duikers zeer lastig is. Bij zeer grote lekkages (grote oppervlaktes en debieten) heeft deze meetmethode geen toegevoegde waarde meer. De meetmethode is tevens



Figuur 2 – Proefopstelling.



Figuur 3 – Resultaten proefmetingen.



Figuur 4 – Het ontwikkelde meetsysteem (2e generatie) en IR-camera in bouwkuip van Amsterdam CS.



Figuur 5 – Bovenaanzicht MT-palenwand en slotconstructie..

geschikt bij kleine tot grote drukverschillen (hydraulische gradient) tussen de waterstand in de bouwput en de waterstand/stijghoogte van de betreffende grondlagen. De onderzoekdiepte is geen limiterende factor omdat de behuizing bestand is tegen (zeer) hoge waterdrukken. Daardoor kan deze meetmethode ook bij off-shore toepassingen, waarbij op grote dieptes wordt gewerkt, een interessante aanvulling zijn. Bij verstoring van een mogelijke fragiel evenwicht, waarbij geen of zeer kleine lekkages zijn gemeten, kunnen bij het droog zetten van de bouwput alsnog instabiel worden en leiden tot grotere lekkages.

Van proefopstelling tot ontwikkeling prototype

In de proefopstelling is in een met water gevulde container een waterlekage gesimuleerd en daarna is gemeten met diverse type IR camera's. Daarbij zijn onder andere de meetnauwkeurigheid, debiet, afstand van lek tot IR camera, temperatuurverschil, etc., gevarieerd. In *figuur 2* is een impressie van de proefopstelling gegeven.

De resultaten van de proefmetingen zijn weergegeven in *figuur 3*. Op de beelden geven de blauwe tot paarse kleuren het koudere water aan en de witte tot rode kleuren (gesimuleerde lekkage) het warmere water. Op basis van de resultaten van de proefopstellingen is het meetinstrument geoptimaliseerd en verder ontwikkeld tot een prototype.

Beschrijving van het meetsysteem

De prototype is specifiek voor de bouwkuip van Amsterdam CS ontwikkeld. Het meetsysteem bestaat uit een IR camera (FLIR Photon®) en is geïnstalleerd in een waterdichte aluminium be-

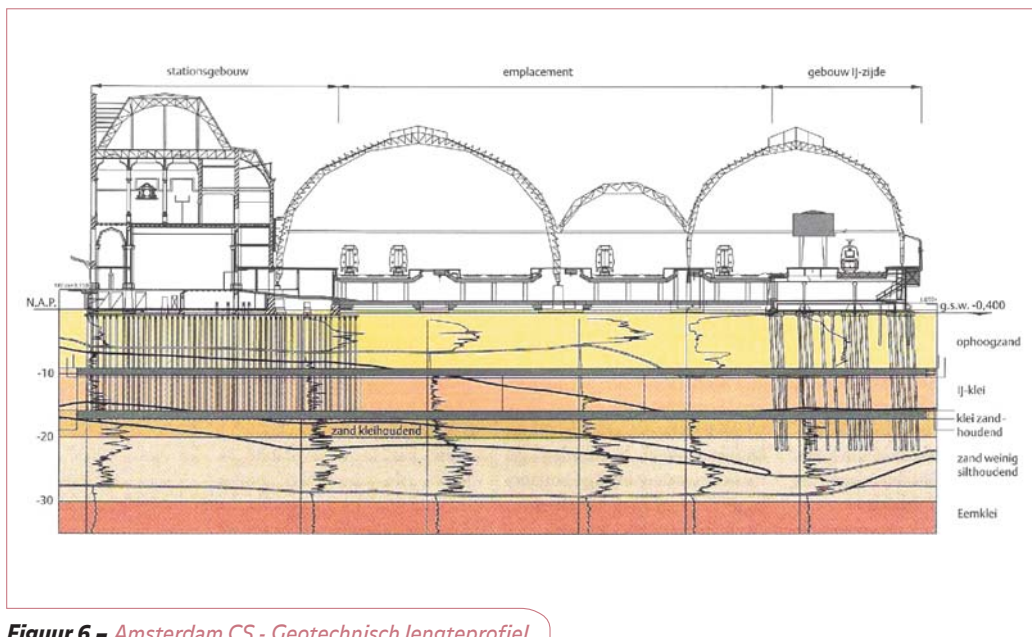
huizing. Deze behuizing is bestand tegen een hoge waterdruk. In de behuizing zijn naast de IR camera, een multiplexer en 12 volt accu gemonteerd. Aan de voorzijde bevindt zich een deksel van een polyethyleentereftalaat (PET) plaat van 5 mm dikte waardoor gemeten wordt. De IR camera bevindt zich direct achter de PET plaat, die IR doorlatend is. Met een coaxiaal kabel wordt de IR camera aan een laptop gekoppeld en kan de meetdata (snapshots of films) opgeslagen worden of direct gevisualiseerd worden. In *figuur 4* is het meetsysteem weergegeven.

Toepassing in bouwkuipen Amsterdam Centraal Station

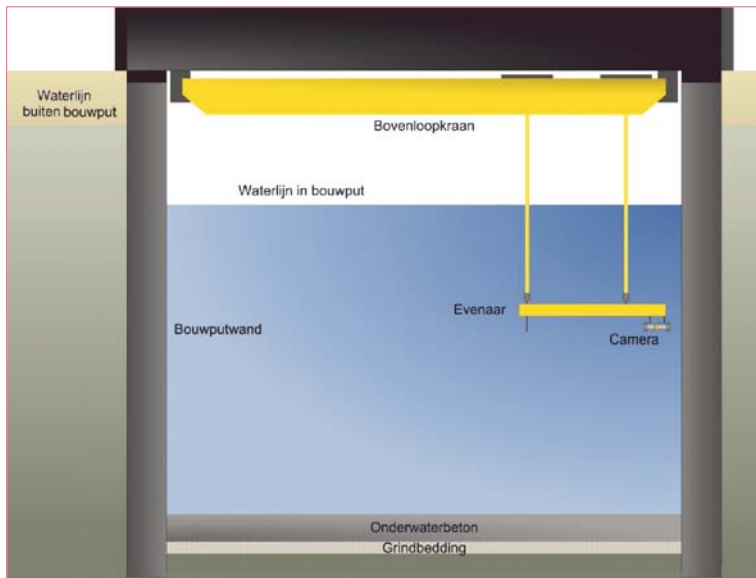
Onder het station Amsterdam Centraal wordt een bouwkuip aangelegd, waarbinnen een tunnelelement wordt afgezonken als onderdeel van het metrostation CS van de Noord/Zuidlijn. Het gedeelte van de fundering onder het emplacement wordt gekenmerkt door de toepassing van een bijzondere techniek in de vorm van een zogenaamde MT palenwand®.

De afzonderlijke MT palen® vormen via een slotconstructie een wand. De slotconstructie bestaat uit een 'mannelijk' en een 'vrouwelijk' slotdeel, waarbij het 'mannelijk' slotdeel binnen het 'vrouwelijk' slot deel valt. De sloten worden voordat het boorproces aanvangt met kleikorrels (Mikolite®) gevuld. Deze kleikorrels zwellen bij inwerking van water en zorgen voor de waterdichtheid van de slotconstructie.

De bodemopbouw onder het emplacement bestaat uit een 6 m dikke laag ophoogzand. Hieronder komt tot ca. NAP -56 m een relatief slap lagenpakket voor. Vanaf NAP -56 m komt de 3e zandlaag voor. In deze draagkrachtige zandlaag



Figuur 6 – Amsterdam CS - Geotechnisch lengteprofiel.



Figuur 7 – Doorsnede van in den natte ontgraven bouwkuip onder Amsterdam CS. Onder bovenloopkraan is een evenaar met de IR-camera gemonteerd.

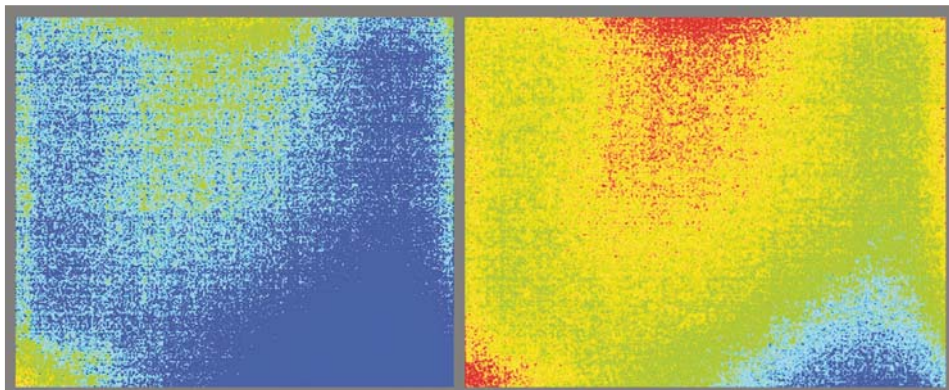


Figuur 8 – Casing en verankering van de Gewi-palen en het meten in de bouwput onder het Provinciehuis.

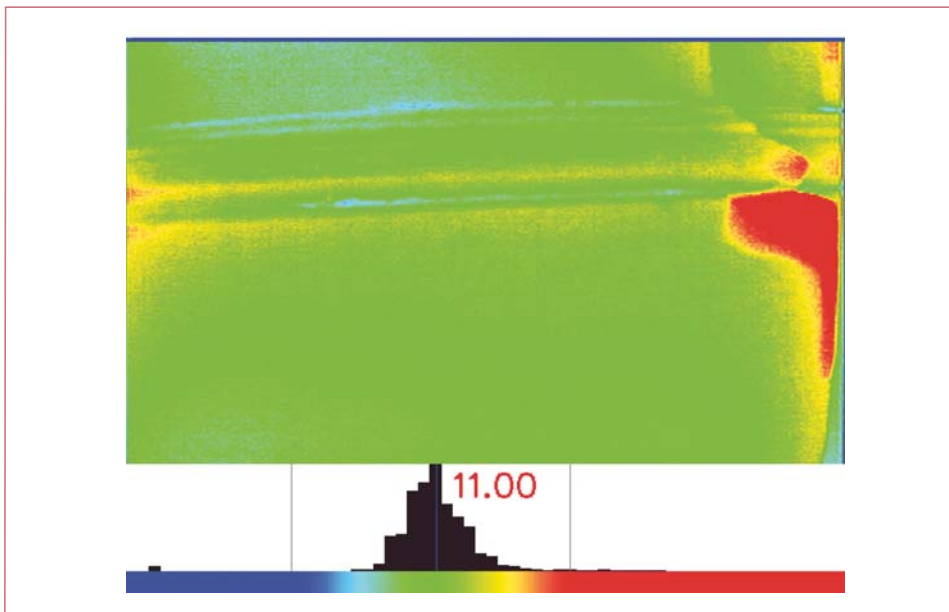
worden de lange MT palen® gefundeerd. In zomer bedraagt de gemiddelde temperatuur van het water in de bouwkuip gemiddeld 18-19 °C en van het grondwater in de bodemlagen varieert deze van 15-16 °C (ophoogzand) tot 20-22 °C (Wadzand) en 16-17 °C 2de zandlaag). De freatische grondwaterstand bedraagt ca. NAP-0,4 m, de stijghoogte in de 2e zandlaag bedraagt ca. NAP-2,0 m en de stijghoogte in de 3e zandlaag bedraagt ca. NAP-3,0 m. Vanaf 20 januari 2009 is gestart met de bemaling van de bouwkuip tot NAP-6,5 m. Daarna is van april tot juni 2009 tot NAP-6,0 m droog ontgraven. Na het aanbrengen van de eerste stempelraam op NAP-4,75 m, is vanaf oktober 2009 gestart met het in den natte ontgraven tot NAP-12,5 m. In de tweede fase wordt tot een uiteindelijke diepte van ca. NAP-19,2 m ontgraven.

Voor de bouwkuip onder het Amsterdam CS wordt de IR camera onder een bovenloopkraan gehangen met een evenaar. Daarna wordt de IR camera langzaam verticaal naar beneden geleid met een snelheid van enkele centimeters per seconde. De positie van de IR camera wordt door het besturingssysteem van de bovenloopkraan continu vastgesteld in een coördinaten stelsel. De diepte van een mogelijke lekkage is hierbij exact vast te stellen. De metingen kunnen ook eenvoudig als functie van de tijd worden geregistreerd. Door deze 'real-time' en precieze vaststelling van de positie van het meetapparaat, kan nauwkeurig worden aangegeven op welke diepte reparaties uitgevoerd kunnen worden. De meest optimale afstand tussen de IR camera en het slot is afhankelijk van de grootte van de lekkage, maar in de praktijk wordt een afstand tussen 5 cm en 10 cm aange-





Figuur 9 – Bouwkuip Provinciehuis Leeuwarden. Aanzicht van de Gewi-ankers in de keldervloer. Voorbeelden van de meetresultaten.



Figuur 10 – Voorbeeld van het kalibreren van de IR-meting met gebruik van een histogram.

houden. De maximale afstand bedraagt circa 20 cm tot 25 cm. Voor Amsterdam CS worden lekkages tussen 2 tot 5 liter per minuut als ondergrens beschouwd met een hydraulische gradiënt tussen de stijghoogte in de 2de zandpakket en de bouwkuip van 0,5 m tot 1,0 m. In *figuur 7* is de bouwkuipwand schematisch weergegeven. In dit geval betreft het de MT-palenwand®.

Op deze wijze kunnen onder water lekkages vrij eenvoudig worden opgespoord en kan direct ingegrepen worden om de lekkages snel en effectief te dichten. Na iedere fase van ontgraven worden de sloten door duikers en IR camera geïnspecteerd. Tot op heden zijn geen lekkages gedetecteerd.

Provinciehuis te Leeuwarden

In de bouwkuip onder het Provinciehuis te Leeuwarden zijn in december 2009 metingen verricht. Voor de verbouwing en de nieuwbouw van het Provinciehuis in Leeuwarden moest een deel te worden gesloopt. Ter plaatse van de bestaande kelders met 2 niveaus zijn onder water sparingen in de keldervloer geboord om een nieuwe fundering met Gewi-ankerpalen te kunnen installeren. De Gewi-ankers nemen de trekkracht op die is door de opdrijvende kracht wordt veroorzaakt. De aansluiting tussen de Gewi-ankerpalen en de betonvloer diende op lekkage te worden gecontroleerd, voordat de bouwput veilig leeggepompt kon worden. De casing van de Gewi-ankerpalen is door middel van een stalen ring door de betonvloer van de kelder geleid. Deze geleider is op de vloer gefixeerd door 2 stalen staven zoals in *figuur 8* is weergegeven.

De bodemopbouw direct onder het maaiveld bestaat uit ca. 2 m zand, waaronder klei, veen, leem en zandlaagjes voorkomen tot een diepte van ca. NAP -15 m. Vanaf dit niveau komt vastgepakt zand voor. De onderkant van de keldervloer bevindt zich op ca. NAP-6,7 m. Het grachtpeil wordt beheerd op NAP-0,52 m. De temperatuur van het water in de bouwkuip bedraagt gemiddeld 9°C en van het grondwater in de bodemlagen bedraagt gemiddeld ca. 13°C.

Het waterpeil in de bouwput is tot ca. 1,7 m verlaagd en daarna zijn de metingen verricht. De IR camera is voor deze reeks metingen op een aluminium frame gemonteerd om een handmatige bediening zo eenvoudig mogelijk te maken. Voor de meest optimale opnamen is de lens van de camera zo dicht mogelijk tegen de ruimte tussen de geleider en de betonvloer gepositioneerd. De opnamen zijn aan beide zijden van de geleider uitgevoerd. Alvorens de bouwkuip leeg te mogen pompen dient zekerheid te bestaan over de waterdichte aansluiting tussen een betonnen bouwkuipvloer met de aangebrachte Gewi-ankerpalen. Ook hier is de meting snel en effectief verlopen.

Ca. 100 aansluitingen zijn in een (korte) nacht gecontroleerd, wat anders door verschillende duikploegen uitgevoerd dient te worden. In figuur 9 is de bouwkuipvloer met Gewi-ankerpalen weergegeven nadat de bouwkuip is leeggepompt. Daarnaast is het resultaat van de IR meting met een verdachte locaties weergegeven.

Verdere ontwikkelingen

De laatste ontwikkelingen van het meetsysteem zijn gericht op twee aspecten:

1. Verbetering van de software waarbij onder andere de kalibratie van het temperatuur spectrum automatisch op het meest optimale temperatuurverschil kan worden ingesteld. Het beeld wordt weliswaar op het grootst gemeten temperatuurverschil gefocust. Een voorbeeld van deze techniek is in *figuur 10* weergegeven. Met behulp van de grijze werkbalk onder het computer scherm wordt de onder- en bovengrens van het gemeten temperatuurspectrum gelimiteerd. Het histogram geeft het spectrum aan waarin zich de meeste pixels bevinden.
2. Het ijken van het meetapparaat om uiteindelijk het debiet van de waargenomen lekkage te kunnen afleiden. Voorlopig geven de resultaten een kwalitatief inzicht en een kwantitatieve interpretatie van de meetdata is een wenselijke toevoeging.

Conclusie

Deze infrarode meetmethode is innovatief. Deze techniek is onder water nog niet eerder toegepast en voor de bouwkuip onder Amsterdam CS verder ontwikkeld en succesvol toegepast. Tevens is deze methode toepasbaar bij andere bouwkuipen die met water gevuld zijn. Het driedimensionale karakter van het te meten oppervlak heeft geen invloed op de kwaliteit van de meting. Metingen kunnen zowel op horizontale als op verticale oppervlakken worden uitgevoerd. Dit meetsysteem heeft een groot praktisch nut, waarbij op een vrij eenvoudige wijze lekkages nauwkeurig opgespoord kunnen worden. Deze meetdata zijn digitaal vast te leggen en zijn visueel beschikbaar. Voorheen waren vaak dure en risicovolle duikerwerkzaamheden nodig. Het economisch potentieel is enorm omdat veel bouwkuipen op lekkages gecontroleerd dienen te worden voordat deze veilig leeggepompt mogen worden, zonder risico dat de omgeving nadelig beïnvloed wordt (verzakken van bebouwing, etc.). De meetmethode is niet alleen in Nederland maar ook in het buitenland zeer interessant, omdat daar ook soortgelijke problematiek met bouwkuipen speelt. Bovendien is de maatschappelijke waarde van deze meetmethode groot omdat in het kader van de gehele problematiek van ongelukken met (zandvoerende)

lekkende bouwkuipwanden tot enorme imago-schade kan leiden. Met deze ontwikkelde meetmethode is een zeer effectieve en eenvoudige beheersmaatregel op het risico van (zandvoerende) lekkende bouwkuipwanden voorhanden gekomen.

Referenties

- [1] O.S. Langhorst, G.N.R.G. Colard, B.J. Schat, *Micro Tunneling piles: an innovative foundation system under Amsterdam Central Station*, Geotechniek, special edition of the Dutch scientific journal, oktober 2009, 17th ICSMGE 5-9- oktober 2009, Alexandria Egypt, page 12-15.
- [2] O.S. Langhorst en W. de Moor, *Microtunneling palen, een nieuw ervaringsoverstijgend funderingssysteem onder het emplacement A'dam CS*, Geotechniek 2007, nr 3, blz 36-41.
- [3] M. van Veelen, *Ruimtelijke patronen van bodemoppervlaktetemperaturen gemeten met infraroodthermografie* – Juni 2007.
- [4] P. Sharma, *Disaggregation of soil moisture measurements using SAR en optical remotely sensed data* – Feb. 2009.
- [5] *FLIR: The ultimate infrared handbook for R&D professionals – A resource guide for using infrared in research and development industry.* ●

- Geotechnisch ontwerp en detailengineering
- Risicobeschouwing

- Uitvoeringsoptimalisatie en kostenramingen
- Uitvoeringsbegeleiding

Gefundeerd bouwen aan de toekomst!

VWS Geotechniek



Postbus 525, 3440 AM Woerden | t +31 (0)348 43 52 54 | info@vwsg.nl | www.vwsg.nl