

# Netwerk Dijkmonitoring

Workshop Glasvezelmonitoring voor waterkeringbeheer

Op 27 juni vond de workshop glasvezelmonitoring voor waterkeringbeheer plaats in Tiel. In deze workshop zijn de technische principes van glasvezelmonitoring aan bod gekomen. Daarnaast zijn de resultaten van metingen met glasvezel gepresenteerd aan de aanwezigen. Ook is de State of the Art met betrekking tot glasvezelmonitoring gepresenteerd. In dit verslag wordt teruggeblikt op de workshop en zijn de resultaten op hoofdlijnen gerapporteerd.

## Welkom en introductie

Iedereen wordt welkom geheten door Wouter Zomer. Hij vertelt kort wat het Netwerk Dijkmonitoring doet. Het netwerk werkt faciliterend en agenderend, onder andere door bijeenkomsten als deze te organiseren. Er wordt daarbij gestreefd naar ongeveer 8 van dergelijke bijeenkomsten per jaar met telkens een ander onderwerp. De volgende workshop zal in het najaar plaatsvinden. Het programma voor de middag wordt vervolgens gepresenteerd. Daarbij is besloten de presentatie over de State of the Art om te wisselen met de case. Dit is ook zo in onderstaand programma weergegeven.

13:00 uur	Ontvangst bij Waterschap Rivierenland (De Blomboogerd 1, Tiel)
13:10 – 13:25 uur	Welkom en presentatie programma <i>door Wouter Zomer</i>
13:25 – 13:40 uur	Presentatie toepassing glasvezel bij WSRL <i>door Gerjan Westerhof</i>
13:40 – 14:20 uur	Presentatie techniek en behaalde resultaten <i>door Axel Fabritius</i>
14:20 – 15:20 uur	Presentatie State of the Art <i>door André Koelewijn en Martin van der Meer</i>
15:20 – 15:30 uur	Pauze
15:30 – 16:15 uur	Uitwerken case
16:15 – 16:45 uur	Discussie <i>door Wouter Zomer</i>
16:45 uur	Afsluiting en borrel

## Monitoring bij WSRL

Bij monitoring moet altijd in het achterhoofd gehouden worden dat dit niet alleen voor de uitvoering wordt gedaan, maar dat monitoring over de hele levenscyclus van de dijk toegepast wordt.

Bij het dijkversterkingsproject Kinderdijk – Schoonhovense Veer (KIS) was ruimte voor innovatie. De dijk ligt daar op 15 meter veen, waardoor verzakking veel voorkomt. Door middel van glasvezelkabels in de dijk kan deze verzakking gemonitord worden. De gebruikte kabels en apparatuur aldaar geven alleen weer dat er een verplaatsing plaatsvindt, maar niet in welke richting. Vanwege het dikke veenpakker onder de dijk lijkt het echter vrij duidelijk dat de verplaatsing naar beneden is. Het is echter nooit gelukt om de monitoring aan het calamiteitenprogramma te koppelen. Er gaat geen automatisch signaal af wanneer er x cm verzakking optreedt. De beschikbare data is ook nog niet verwerkt. Er wordt

nu aan gedacht om dit door middel van een afstudeeropdracht toch verwerkt en geanalyseerd te krijgen.

Naast de toepassing van glasvezel bij KIS, zijn er ook glasvezelstrips toegepast op ankers bij Streefkerk om te monitoren wat de ankers onder de grond doen. Daarbij is wel gebleken dat er heel veel verschillende partijen bij betrokken moeten worden, iemand moet de glasvezelkabel aan de ankers lijmen, de aannemer moet weten wat te doen, enzovoorts.

Verder is er ook een verticaal zanddicht geotextiel de grond ingebracht. Dit wordt ook gemonitord door middel van glasvezelkabels. Wanneer een temperatuurverschil wordt waargenomen kan gesteld worden dat op die locatie grondwaterstroming plaatsvindt. De proeven die gedaan zijn staan voor de afronding. Er moet dan bepaald worden of doorgegaan wordt met de metingen of niet. Daarbij rijst wel de vraag wie het beheer van dergelijke meetsystemen gaat overnemen.

Een nadeel van glasvezel is nog dat het een erg gevoelige meetmethode is. Daarom mag er nu in het gebied eromheen niks gedaan worden qua bebouwing en dergelijke. Gerjan benadrukt nogmaals dat de levenscyclus van een dijk integraler ingevuld zou moeten worden, waarbij monitoring ook een rol heeft in het beheer en onderhoud, de toetsing en de versterking.

## Techniek en behaalde resultaten GTC Kappelmeyer

Axel begint zijn presentatie met een beschrijving van wat gemeten kan worden met glasvezelkabels. Door GTC Kappelmeyer wordt deze techniek voornamelijk toegepast in het detecteren van lekken in dammen en dijken. Daarbij wordt temperatuur(verschil) als natuurlijke tracer gebruikt. De temperatuur toe- of afname van het water wordt verschoven over de tijd en afgevlakt naarmate men dieper gaat meten. Rond een diepte van 10 tot 15 meter wordt de temperatuur in de grond constant (ongeveer 10 graden Celsius).

Als voorbeeld wordt een dijk geschetst waar een slurry trench tot een diepte van 12 meter was aangelegd. Na ongeveer 10 jaar kwam er bij de teen van de dijk echter toch weer water naar boven. Daarom is door middel van temperatuurpeilingen tot een diepte van 20 meter met behulp van glasvezel gemeten. Daaruit bleek dat er water onder de trench en door de trench heen stroomde.

### Werking

De werking van temperatuurmetingen met glasvezel zijn als volgt. Er wordt een lichtsignaal door de kabel gestuurd. Dit signaal wordt teruggekaatst, waarbij de frequentie verandert met de temperatuur. Het gedeelte van het signaal dat van belang is, is het Anti-Stokes gedeelte, want dit is temperatuurgevoelig. Dit betekent ook dat de kabel zelf de sensor is, waardoor over de gehele lengte van de kabel gemeten kan worden.

Er zijn grofweg twee methoden te onderscheiden om temperatuur te meten met glasvezelkabels. De eerste is de gradiënt of passieve methode. Daarmee wordt er verschil gemeten tussen de temperatuur van de grond waar de kabel in ligt en de temperatuur van het water. Als er water langs de kabel stroomt zal de gemeten temperatuur veranderen.

Als tweede manier is er de 'heat-up' methode. Daarbij wordt de kabel verwarmd en wordt de mate van afkoeling gemeten. Deze mate van afkoeling zegt iets over het water dat langs de kabel stroomt. Deze manier is nauwkeuriger dan de passieve methode en met name geschikt voor situaties waar het water en de grond (bijna) dezelfde temperatuur hebben.

Het systeem kan ook automatisch werken door middel van een stoplichtsysteem. Groen betekent dan dat er niets aan de hand is, geel verdient aandacht en rood betekent dat er zo snel mogelijk nader

bekeken moet worden wat er aan de hand is. Er wordt daarbij gebruik gemaakt van het verschil tussen de referentiesituatie, de resultaten van de heat-up metingen en verder de gradiëntmethode en de effectieve thermische geleidbaarheid.

Daarnaast is er ook de mogelijkheid om bijvoorbeeld elke 10 meter glasvezelsensoren in de grond aan te brengen. Dit is bijvoorbeeld in Avignon gedaan, waar elke 10 meter tot een diepte van 16 meter glasvezelkabels in de grond zijn gebracht. Dit is gedaan om de kwaliteit van de slurry-sleuf die door de aannemer werd aangelegd te controleren. Als de sleuf niet waterdicht zou zijn zou de aannemer niet betaald krijgen. Voor, tijdens en na de aanleg van de slurry-sleuf is gemeten en uiteindelijk is gebleken dat de slurry-sleuf inderdaad waterdicht is.

In dijken is gebleken dat horizontale glasvezelkabels over het algemeen niet erg effectief zijn, omdat deze vaak ondiep liggen en daardoor te veel last hebben van invloed van buitenaf. Als deze dieper aangelegd worden is de effectiviteit groter, maar de grootste effectiviteit wordt bereikt wanneer de glasvezelkabels verticaal in de dijk liggen. De eerste meter onder maaiveld heeft in ieder geval last van de dagelijkse invloed, daaronder wordt dit minder.

Standaard geeft de glasvezelsensor alleen de locatie waar iets anders is, maar door nadere analyse van de gegevens kan ook worden achterhaald wat de orde van de grootte van de leksnelheid is. Door uitgekende kalibraties kan de schatting van de kwel de werkelijke waarde dicht benaderen.

Het gebruik van glasvezelsensoren richt zich over het algemeen alleen op temperatuur of alleen op vervorming. De combinatie kan ook gemeten worden, maar dat komt de nauwkeurigheid niet ten goede. Voor vervormingen wordt een enkelstrengs (dunne) kabel gebruikt, terwijl voor temperatuurmetingen een meervoudige (dikker) streng wordt gebruikt. De nauwkeurigheid van temperatuurmetingen met glasvezelkabels is in de praktijk 0,1 tot 0,2 graden Kelvin (of graden Celsius). Alleen onder laboratoriumomstandigheden zijn hogere nauwkeurigheden haalbaar, tot 0,01 à 0,02 K.

De heat-up methode heeft als nadeel dat alleen kortere stukken in een keer gemeten kunnen worden in vergelijking met de passieve methode. Dit wordt veroorzaakt door de benodigde energie voor het opwarmen van de kabel. Als de kabel te lang wordt voldoet een standaard netaansluiting niet meer. Dit is niet erg praktisch. De energie consumptie voor het opwarmen van de kabel ligt op ongeveer 10 W/meter voor een tot anderhalf uur opwarmen van de kabel.

De prijzen van glasvezelmonitoring zijn uiteraard afhankelijk van de grootte van de installatie. De prijzen van apparatuur variëren grofweg tussen de 35k€ en 70 k€. Daarnaast zijn dan nog de kabels en installatie nodig. In totaal zijn de kosten ongeveer 80 k€ tot 100 k€ voor een permanente installatie met alarmering, etc.

## State of the Art

Binnenkort komt het rapport ter beschikking met daarin samengevat de State of the Art met betrekking tot glasvezel. ***Een link naar dit rapport zal, zodra dit gepubliceerd is, nagestuurd worden naar de deelnemers.***

Lifecycle monitoring is erg belangrijk. Zoals Gerjan ook al aangaf is monitoring niet iets wat slechts in één fase van de levensduur van de dijk toegepast wordt, maar iets dat over de hele levensloop van de dijk toegepast zou moeten worden. De aansluiting van monitoringssystemen op het beheer is daarbij vaak erg lastig. Per project lukt die aansluiting vaak nog wel, maar integraal voor alle projecten lukt dat nog niet. Meten en monitoren is daarbij niet alleen van belang bij hoogwater, maar juist ook daarbuiten, bijvoorbeeld voor graafoverlasten van mens en dier.

Bij monitoring kan nooit slechts 1 apparaat of instrument toegepast worden. Er is altijd een combinatie nodig. De nauwkeurigheid en betrouwbaarheid worden daardoor alleen maar groter. Om monitoring succesvol te laten zijn is een goed monitoringsplan van essentieel belang. Daarnaast is goede kwaliteit van belang. Dit kan bereikt worden door een goed monitoringsplan. De kwaliteit van het monitoringsplan kan gecontroleerd worden met de Handreiking Life Cycle Monitoring. Hierin wordt niet beschreven wat de beste manier of techniek is, maar wel waar op gelet moet worden bij het opstellen of beoordelen van een monitoringsplan, waardoor ook concreet inzicht verkregen wordt in hoe dit in de eigen specifieke situatie verbeterd kan worden.

Je zal nooit te veel data hebben. Echter is goed datamanagement daarbij wel erg belangrijk. Als het datamanagement niet op orde is zal er weinig met de ingewonnen informatie gedaan worden. In geval van bijvoorbeeld een hoogwater is het echter erg nuttig om historische data te hebben en zo veel mogelijk informatie te hebben over het gebied.

De relatie tussen de parameter(s) die in de formules gebruikt worden en de faaloorzaak zijn soms hard, maar soms ook indirect. Het is daarom van belang dat de juiste parameters op het moment en de locatie worden gemeten dat het nodig is. Het is daarbij ook erg belangrijk om een goede nulmeting te hebben. Zonder een goede nulmeting zegt de ingewonnen data namelijk niet veel.

Er zijn drie technieken waarmee gemeten kan worden. De eerste is Fibre Bragg Grating (FBG). Daarbij worden unieke kerfjes gemaakt in de glasvezelkabel. Die kerfjes zorgen elk voor een iets andere terugkaatsing, waardoor de exacte locatie kan worden bepaald. Een dergelijke kabel is echter wel kwetsbaarder (door de kerfjes) en duurder dan een standaard glasvezelkabel. Het is mogelijk tot ongeveer 500 unieke kerfjes aan te brengen op een kabel. Daarnaast is er de gedistribueerde techniek, welke berust op veranderde terugkaatsing van het signaal door veranderde omstandigheden in en om de kabel. Dit is ook de methode die door Axel is toegelicht. Metingen kunnen daarmee kort op elkaar gedaan worden, maar de benodigde apparatuur hiervoor is erg duur. De kabel daarentegen is wel goedkoper. Ten slotte is er nog de mogelijkheid om alleen aan het uiteinde van de kabel te meten. Dit betekent echter wel dat voor elke meting een aparte kabel gebruikt moet worden. Met deze techniek kunnen bijvoorbeeld waterspanningen gemeten worden. Dit is onder andere ook in het DMC-systeem toegepast. Er wordt benoemd dat de uitleesapparatuur voor Rayleigh scattering erg duur is (tussen 20k€ en 100 k€).

De toepassing van deze technieken kan al wel, maar het is de vraag welke vraag van de beheerders daarmee opgelost/beantwoord kan worden. Het lastige daarbij is dat dijken niet continue belast worden en dat het dus zomaar kan zijn dat er 10 jaar niks gemeten wordt omdat er geen hoogwater langs is geweest. Daarop wordt benoemd dat regionale keringen kwetsbaarder zijn en lagere normen hebben. Deze regionale keringen zullen dus vaker belast worden en kunnen daarmee mogelijk als proeftuin dienen. Daarbij wordt ook opgemerkt dat een goede nulmeting jaren kan duren, omdat je over alle seizoenen wil meten.

Bij gebruik van monitoring zijn er niet altijd meevallers (de dijk is sterker dan gedacht). Er kunnen ook tegenvallers zijn (de dijk is zwakker dan gedacht). Die tegenvallers hoor je als beheerder echter ook te willen weten. Dat is tegenwoordig onderdeel van de zorgplicht.

De grootste winst die behaald kan worden met glasvezelmonitoring zit in de reductie van de schematiseringsonzekerheid. Hierin kan nu het gedrag van de dijk ook meegenomen worden, in plaats van alleen de gemeten parameters.

Bij de IJkdijk-proven in 2008 zijn ook glasvezelkabels gebruikt in de kruin, halverwege het talud, in de teen en in het veld voor de dijk. De meetapparatuur hield op met meten 24 uur voor bezwijking van

de dijk. Echter zijn er op dat moment al ernstige spanningen waar te nemen in de metingen met glasvezel. Glasvezelmonitoring kan dus een waarschuwende en voorspellende werking hebben wanneer een dijk op het punt staat te bezwijken. Op dat moment kan er dan nog ingegrepen worden. In 2012 zijn er ook glasvezelsensoren gebruikt bij een andere IJkdijk om piping waar te nemen. Ook daar was de werking van de glasvezelsensoren veelbelovend.

Daarnaast wordt er nog een voorbeeld getoond van de toepassing van glasvezelsensoren in een dijk in Italië. Dit is de eerste (en enige) plek waar glasvezelsensoren in Italië zijn toegepast. Meer over dit project is te vinden in bijgevoegde paper ('Effectiveness of distributed temperature measurements for early detection of piping in river embankments') van Bersan et al.

Er wordt nogmaals benadrukt dat de context heel belangrijk is. "1 meetsysteem is geen meetsysteem", er zal altijd een combinatie van systemen toegepast moeten worden.

## Case

De case die uitgewerkt is heeft betrekking op glasvezelmonitoring in de Willemspolder. Er is daar een proef gedaan met verticaal zanddicht geotextiel om piping tegen te gaan. In de proef is geprobeerd te achterhalen of het geotextiel dichtslibt met zand en daardoor als kort pipingscherm gaat fungeren. In 2012 is het Verticaal Zanddicht Geotextiel ook getest en toen is het effectief gebleken tegen piping. In die test was er wel kwel te zien, maar geen zandmeevoerende wellen (na een initiële inwerkperiode).

In de Willemspolder is bij een zomerdijk een test uitgevoerd met dit geotextiel. Aan de zaal wordt gevraagd welke meetsystemen nodig zouden zijn om te bepalen of het geotextiel nog water doorlaat of dat het dichtgeslibd is met zand.

Na enige uitwerktijd komen vanuit de verschillende groepen vergelijkbare oplossingen. Sommige oplossingen benoemen het aanbrengen van een glasvezelkabel voor en achter het geotextiel ter hoogte van een of meerdere zandlagen. Wanneer hier nog water doorheen stroomt zal er geen verschil in temperatuur waargenomen worden. Wanneer het geotextiel dicht zit zal hier wel een temperatuurverschil waargenomen worden.

Een andere optie die wordt aangedragen is het aanbrengen van een verwarmbare glasvezelkabel in het doek ter hoogte van een of meerdere van de zandlagen om op die manier de afkoeling te bepalen. Wanneer de kabel niet afkoelt zal er geen water doorheen stromen, wanneer deze wel afkoelt zal er wel water doorheen stromen.

De uiteindelijke oplossing die toegepast is als volgt. Er is een verwarmbare kabel in het doek geweven en er is een verwarmbare kabel 1,30 meter achter het geotextiel gelegd ter controle. Daarnaast zijn er op dezelfde hoogte als de glasvezelkabels waterdruksensoren aangebracht, net als aan de onderkant van het geotextiel.

Daarbij wordt wel opgemerkt dat de proef niet helemaal volgens plan is gegaan. Het geotextiel is uiteindelijk maar over 30 meter, in plaats van de volle 100 meter aangelegd. Daarnaast is het geotextiel maar 3,5 meter diep aangelegd, in plaats van de geplande 5 meter. In de resultaten was echter wel te zien dat de kabel afkoelde en dat er dus water door het geotextiel bleef stromen. Om op deze manier glasvezelkabels te gebruiken zal wel van tevoren goed bekend moeten zijn op welke diepte de zandlagen zich bevinden. Alleen in de zandlagen zal de glasvezelkabel een bruikbaar resultaat leveren.

## Afsluiting

Na afloop van de bespreking van de case worden de sprekers van vanmiddag bedankt door middel van een Deventer Koekpakket. Aansluitend wordt iedereen uitgenodigd een en ander nog even na te bespreken onder het genot van een hapje en een drankje tijdens de borrel.