



Anisotropie reduceert pipingopgave bij dijken

Het dijktraject Spui-West is onderzocht op doorlatendheid met een anisotropiemeting. Door rekening te houden met de doorlatendheid van verschillende lagen valt het pipingrisico lager uit. Een besparing van ongeveer 2 miljoen euro blijkt voor dit project haalbaar.

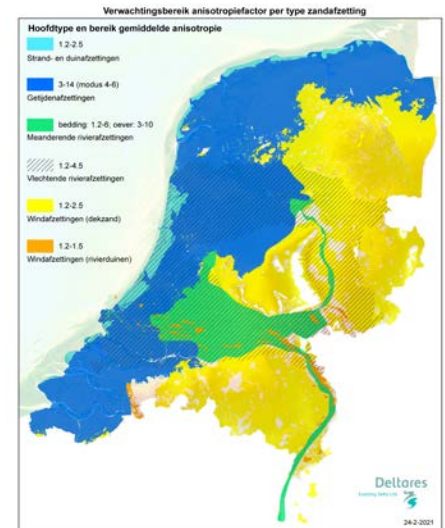
Onderdeel van de voorverkenning van normtraject 20-3 is het innovatieve anisotropieonderzoek. Hierbij zijn de Hydraulische Profiling Tool met Anisotrope Mini-Pompproeven (HPT-AMPT) en numerieke stromingsmodellen zoals D-Geo Flow ingezet om het effect van een meer realistisch meerlaagse en anisotrope bodemopbouw op het pipingrisico te bepalen. De huidige rekenregel waarmee de versterkingsopgave wordt bepaald, gaat namelijk uit van een homogeen en isotroop pakket, dus zonder doorlatendheidsverschillen tussen individuele zandlagen (meerlaagsheid) en binnen deze zandlagen (anisotropie). De HPT-AMPT-resultaten zijn vergeleken met andere doorlatendheidstesten en er is een methodiek opgesteld om de informatie op een verantwoorde manier mee te kunnen nemen in pipinganalyses. Het onderzoek is afgerond en het waterschap heeft met de resultaten de versterkingsopgave goed onderbouwd kunnen verkleinen.

Wat is anisotropie?

Een materiaal is anisotroop als de eigenschappen niet in alle richtingen hetzelfde zijn. Hier

gaat het specifiek om anisotropie in doorlatendheid en om de verschillen in horizontale en verticale doorlatendheid (K_h en K_v ; het quotiënt van deze twee is de anisotropiefactor). Deze verschillen ontstaan doordat zand overwegend in horizontale laagjes afgezet wordt. Deze laagjes kunnen behoorlijk verschillende eigenschappen hebben en deze overgangen in eigenschappen zorgen voor hindernissen voor stromend grondwater. Dit zorgt er uiteindelijk voor dat K_v voor natuurlijk materiaal vrijwel altijd lager is dan de K_h . In zand dat afgezet is in een getijdengebied is dit effect het grootst, omdat tijdens de kentering van het tij afwisselend zand en dunne klei- en siltlaagjes zijn afgezet. De lengte van deze laagjes ligt meer op meterschaal dan op een schaal van tientallen meters, en daarom wordt verwacht dat de gemiddelde anisotropiefactor afneemt bij een toename van een schaal van meters naar tientallen à honderden meters.

Binnen het Spui-West-project lag de focus op anisotropie in getijdenafzettingen, maar zijn ook andere typen afzettingen onderzocht. In de eerste fase is vooral op basis van literatuuronderzoek en geologische kennis gewerkt. Daar is in latere fases in het project een database van steeds grotere aantallen beschikbare HPT-AMPT metingen uit andere delen van het land aan toegevoegd. Het resultaat is een kaart van Nederland met indicatieve anisotropiewaarden. De metingen tonen overtuigend aan dat getijdenafzettingen het meest anisotroop zijn (factor van 3-14) en laten behoorlijk wat spreiding zien. Deze spreiding kan deels toegeschreven worden aan



Verwachtingswaarde anisotropie per type zandafzetting.

de aanwezigheid van subgroepen (bijvoorbeeld bedding- versus oeverafzettingen) en is inherent aan natuurlijke afzettingen. Voor het Spui-West-project is een stappenplan opgesteld om op basis van HPT-AMPT-metingen een rekenwaarde voor de anisotropiefactor te kunnen bepalen en daarbij rekening te houden met de spreiding, schaafeffecten, correlatielengtes en de geologische opbouw.

AMPT-onderzoek

Door rekening te houden met de veelal meerlaagse en anisotrope bodemopbouw zijn onnodige dijkversterkingen te voorkomen en maatregelen kleiner en dus goedkoper en met minder impact op omgeving en milieu uit te

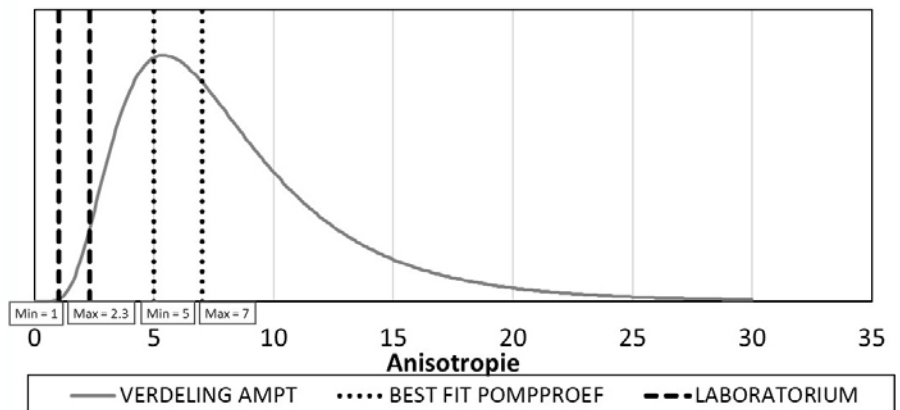
IN 'T KORT - Anisotropie

Het dijktraject Spui-West is onderzocht op anisotropie in doorlatendheid

Hierbij is gebruikt gemaakt van anisotropie-onderzoek met de HPT-AMPT

Door rekening te houden met anisotropie in doorlatendheid valt het pipingrisico lager uit

Een besparing van ongeveer 2 miljoen euro blijkt voor dit project haalbaar



Resultaten vergelijkingsonderzoek anisotropie.

voeren. De doorlatendheidsvariatie tussen en binnen de verschillende zandpakketten onder een dijk zorgt er namelijk voor dat het water minder gemakkelijk onder de dijk doorstroomt. Dit leidt tot een lagere belasting en een lager pipingrisico.

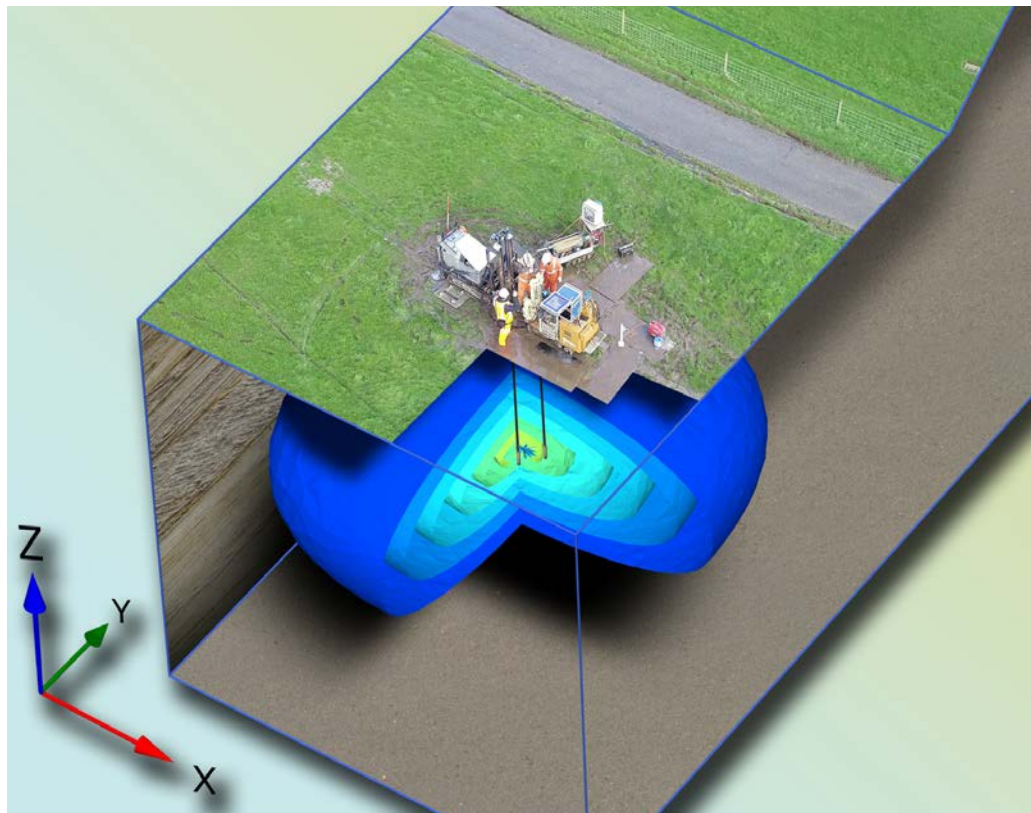
De HPT-AMPT-techniek van Fugro is ontwikkeld om op een relatief eenvoudige en efficiënte wijze de doorlatendheidsvariatie van de ondergrond te bepalen. Binnen het anisotropieproject is deze techniek vergeleken met traditionele methoden waarmee inzicht kan worden verkregen in de mate van anisotropie. Hierbij is rekening gehouden met eerdergenoemd schaal-effect en daarom is bewust gevarieerd in schaalgrootte van de verschillende proeven om zo beter inzicht te krijgen in de relatie tussen de schaal van anisotropie en de schaal van de meting. De HPT-AMPT-resultaten zijn hiertoe vergeleken met pomp- en laboratoriumproeven. Een pompproef komt met een schaal van honderden kubieke meters overeen met de schaal van het pipingmechanisme. Om de anisotropie uit deze pompproeven te bepalen, is een uitgebreid meetnet van waterspanningsmeters geplaatst op verschillende dieptes en op verschillende afstanden tot de pomplocatie. Ook zijn op zeer kleine schaal op ongeroerd monstermateriaal in het laboratorium doorlatendheidsmetingen uitgevoerd en zijn korrelverdelingen gebruikt om schattingen te geven van de doorlatendheid.

Schaal in lab te beperkt

De range van anisotropiewaarden die gevonden is met de pompproeven komt goed overeen met de mediaan van HPT-AMPT-proeven. De eerder genoemde verwachte afname van de anisotropie met toenemende schaal lijkt op het schaalniveau van deze twee proeven beperkt aanwezig. De anisotropiewaarden uit laboratoriumproeven zijn veel lager. Dat betekent dat de schaal van HPT-AMPT-metingen goed aansluit bij het schaalniveau van het pipingmechanisme en dus dat de HPT-AMPT-metingen geschikt zijn voor de afleiding van bulkwaardes voor doorlatendheid en anisotropie en dat dit niet geldt voor laboratoriumproeven. De schaal van een anisotropieproef in het laboratorium is zeer beperkt (orde decimeter-schaal) en daarnaast is er vaak sprake van een sampling bias waarbij kleilagen expliciet worden vermeden in de preparatie van laboratoriumproeven. Dat maakt dergelijke proeven niet bruikbaar voor piping.

Resultaat dijktraject 20-3

Om de resultaten van dit onderzoek toepasbaar te maken voor de praktijk is door Deltares



Visualisatie HPT-AMP-meting.

een methodiek opgesteld om de resultaten van de HPT-AMPT op een verantwoorde manier toe te passen binnen beoordelings- en versterkingsprojecten voor waterkeringen. Op basis van deze methodiek is binnen de Voorverkenning van waterschap Hollandse Delta, dijktraject 20-3 opnieuw beoordeeld op piping, nu rekening houdend met het gunstige effect van anisotropie binnen het getijdenzand onder de dijk. Hieruit volgt dat de kosten van de pipingmaatregelen met minimaal 30 procent afnemen, wat voor dit project leidt tot een besparing van circa twee miljoen euro over ca. 6 km.

Getijdenzand sterker

Meerlaagsheid en anisotropie zijn belangrijke parameters die de grondwaterstroming en daarmee de belasting bepalen. Naast de belasting is ook de sterkte van het zand tegen piping van belang. Op basis van recente studies blijkt dat getijdenzand sterker is dan rivierzand op basis waarvan de huidige rekenregel voor piping is afgeleid. Nu het effect van meerlaagsheid en anisotropie bekend is, is het tijd voor de volgende stap: praktijkvalidatie van de resultaten van het Spui-project en onderzoek naar de sterktecomponenten van het getijdenzand (fijne fractie, cohesie, doolhofstructuur). Door het unieke karakter van getijdenzanden, zoals de sterke

gelaagdheid, anisotropie, grote fijne fractie en fysische en biologische cohesie is het lastig om al deze aspecten in de kleine schaalproeven in het laboratorium na te bootsen. Daarom voeren Fugro en Deltares twee grootschalige pipingproeven in het veld uit: één met Wetterskip Fryslân langs de Vijfhuisterdijk en een tweede met Waterschap Hollandse Delta i.s.m. onder andere de Stowa, in de Hedwigepolder.

Beide proeven worden gefinancierd vanuit het HWBP. De proef in Friesland is inmiddels uitgevoerd en daarin is aangetoond dat getijdenzand inderdaad minder gevoelig is voor piping dan rivierzand. De full-scale-proef in de Hedwigepolder staat gepland voor juli 2021. De proeven zijn uniek, want nog niet eerder zijn grootschalige pipingproeven uitgevoerd op onverstoorde, natuurlijke afzettingen. Uiteindelijk zullen deze onderzoeken, inclusief de resultaten van Spui-West, gebruikt worden om te komen tot een specifieke aanpak voor piping in getijdenzand.

Gert-Ruben van Goor is team- en projectmanager Waterbouw; Rick van Tilborg is adviseur waterbouw (beiden bij Fugro), Marc Hijma is senior geoloog bij Deltares; Bastiaan Los is adviseur geotechniek/waterkeringen bij Waterschap Hollandse Delta.