



## AUTEURS



Goaitske de Vries  
*(Deltares)*



Cor Zwanenburg  
*(Deltares)*



Huub de Bruijn  
*(Deltares)*



Bianca Hardeman  
*(Rijkswaterstaat)*

# DIJKEN OP VEEN: ONTWERPMETHODE STERK VERBETERD

Ruim 33 kilometer van de Markermeerdijken tussen Hoorn en Amsterdam is afgekeurd en moet versterkt worden. Omdat deze dijken deels op een ondergrond van veen staan, werd – op basis van de bestaande rekenregels – gedacht aan relatief forse stabiliteitsbermen. Onderzoek wijst echter uit dat dijken op veen in de praktijk vaak sterker zijn dan ontwerpberekeningen met de bestaande methodiek aangeven. Aanleiding voor het ontwikkelen van een verbeterde ontwerpmethode voor dijken op veen.

Sinds enkele decennia wordt er gerekend aan de stabiliteit van waterkeringen. Toch blijkt het nog altijd lastig sterkte-parameters vast te stellen voor met name humeuze klei- en veenlagen, met andere woorden: lagen die veel organische stof bevatten.

De discussie spitst zich toe op de vraag: hoe moeten laboratoriumproeven uitgevoerd en geïnterpreteerd worden om representatief te zijn voor het gedrag van de grondlaag waaruit de monsters voor deze proeven zijn gestoken?

Om de discussie een stap verder te brengen heeft Deltares in nauwe samenwerking met hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier en Rijkswaterstaat een onderzoek uitgevoerd onder de titel 'Dijken op veen'.

Daarin lag de nadruk op grootschalige veldproeven en het ontwikkelen van een ontwerpmethode voor dijken op veen. De veldproeven zijn in 2012 uitgevoerd nabij het Noord-Hollandse Uitdam. De resultaten zijn nu vertaald naar een ontwerpmethode speciaal voor de Markermeerdijken, die meer recht doet aan de feitelijke sterkte van het daar aanwezige veen.

### Veldproeven

In de dagelijkse ingenieurspraktijk worden sterkte-eigenschappen van grond vastgesteld aan de hand van laboratoriumproeven. Voor alle grondsoorten geldt dat er een vertaling moet plaatsvinden van de in het laboratorium, aan de hand van kleine monsters, bepaalde parameters naar het gedrag van de hele grondlaag ter plekke.

Voor veen is deze vertaling complex, onder andere als gevolg van de grote heterogeniteit van een veenlaag, de vezelstructuur en de lage spanningen in veen. Deze laatste leiden ertoe dat in het laboratorium een relatief hoge meetnauwkeurigheid nodig is om voldoende betrouwbare resultaten te krijgen.

Om beter inzicht te krijgen in het verschil tussen de in het laboratorium gemeten sterkte en de feitelijke sterkte van de veenlaag in het veld zijn vijf grootschalige veldproeven uitgevoerd in de directe nabijheid van de Markermeerdijken (in het achterland). Tijdens de proeven werd een grote moot grond net zo lang belast totdat deze er onder bezweek (zie foto op

volgende pagina). Het volume van de moot grond was vergelijkbaar met het volume van een kleine dijk-afschuiving.

Voorafgaand aan de veldproeven is uitgebreid laboratoriumonderzoek gedaan. Op basis daarvan zijn met verschillende beproevingstechnieken, zoals Direct Simple Shear DSS (zie foto op volgende pagina) en triaxiaalproeven, en interpretatiemethoden de parameters voor de sterkte van het veen bepaald. Daarbij is zowel gedraineerd (aannemend dat het water in de poriën weg kan) als ongedraineerd (aannemend dat het poriënwater niet weg kan) gewerkt.

Bij stabiliteitsanalyses maakt dit verschil naar gelang de snelheid waarmee een afschuiving zich voordoet. Een afschuiving die zich zo snel voordoet dat consolidatie langs het glijvlak minimaal is, kan worden beschouwd als een ongedraineerde afschuiving.

Vervolgens zijn deze parameters ingevoerd in verschillende rekenmodellen (Bishop, LiftVan, Eindige Elementen Methode) om vooraf het bezwijkmoment te voorspellen. In totaal leverde dit zeven verschillende werkwijzen, elk met een andere combinatie van soorten laboratoriumonderzoek en rekenmodellen. Naast het laboratoriumonderzoek zijn ook veldsondemetingen (sonderingen en bolsondemetingen) uitgevoerd. Deze zijn vergeleken met de resultaten van zowel de veldproef als de laboratoriumproeven. Tot slot zijn na afloop van de proeven de verschillende proeffasen nagerekend. Er is geanalyseerd welk rekenmodel het beste overeenkomt met het geconstateerde bezwijkgedrag. Met deze ingrediënten (laboratoriumonderzoek, veldsondemetingen, parameters, veldproeven en rekenmodellen) is vastgesteld wat de sterkte van het veen is.

### Sterker dan gedacht

De veldproeven tonen aan dat veen sterker is dan waar in het huidige versterkingsontwerp, conform de vigerende leidraden, rekening mee wordt gehouden, (Zwanenburg, 2013). Uit de analyse van de veldproeven volgt dat ongedraineerde sterkte-eigenschappen beter aansluiten bij de waarnemingen uit de veldproeven dan de gedraineerde sterkte-eigenschappen. De

Betere  
ontwerpmethode  
dijken op veen

8



Veldproef: een veenpakket wordt steeds zwaarder belast, totdat het bezwijkt...



DSS-proef, een onderdeel van het bepalen van de sterkte en het gedrag van het veen in de nieuwe ontwerpmethod

methoden die uitgaan van de ongedraineerde benadering leiden tot significant meer sterkte bij lage spanningen en sluiten daarmee beter aan op de sterkte voor veen die in de veldproeven is waargenomen. Daarnaast wordt in de vigerende leidraden uitgegaan van triaxiaalproeven voor het bepalen van de sterkte-eigenschappen. Uit de vergelijking tussen de resultaten van de veldproeven en de zeven werkwijzen voor het bepalen van de sterkte-eigenschappen van veen blijkt dat de DSS-proef (in combinatie met ongedraineerde eigenschappen) beter aansluit bij de resultaten van de veldproeven.

De vigerende werkwijze leidt tot een significante onderschatting van de sterkte die in de veldproeven is waargenomen.

Analyse van het bezwijkmechanisme laat zien dat het veen zich anders gedraagt dan waarmee de huidige rekenmodellen voor het bepalen van de stabiliteit rekening houden. Zo zijn er rechte glijvlakken ontstaan, in plaats van de gekromde vlakken waarmee de meeste modellen rekenen (Zwanenburg, de Bruijn & de Vries 2012). Daarom is er voor gekozen om naast de rekenmodellen LiftVan en Bishop ook het model Spencer-Van der Meij toe te passen.

De methode-Spencer-Van der Meij kent de meest vrije glijvlakvorm en is daardoor het beste in staat het maatgevende glijvlak te vinden. De berekening met de methode Spencer-Van der Meij wordt gezien als een aanscherping van de berekeningsresultaten van de methoden Bishop en LiftVan.

### Toepassing in de praktijk

Met behulp van de resultaten uit de veldproeven is de wijze waarop relatief kleinschalige laboratoriumproeven worden vertaald naar het gedrag van een hele grondlaag gevalideerd en verbeterd. Toch zijn

de resultaten van de veldproeven niet zonder meer toepasbaar in de praktijk.

Ten eerste moet rekening worden gehouden met spreiding in sterkte-eigenschappen en heterogeniteit van de ondergrond. Er moet een vertaling plaatsvinden van de lokaal gevonden eigenschappen naar de overige, niet bemonsterde, dwarsprofielen en dijkstrekkingen. Een tweede belangrijke kanttekening is de nauwkeurigheid van DSS-proeven: de lage spanningen in veen stellen hoge eisen aan de nauwkeurigheid waarmee de DSS-proeven uitgevoerd moeten worden. Dat betreft niet alleen de meetnauwkeurigheid, maar ook de invloed van bijvoorbeeld monsterverstoring.

Deze kanttekeningen zijn meegenomen bij de ontwikkeling en onderbouwing van de verbeterde ontwerpmethod voor dijken op veen (Zwanenburg 2014). Zo zijn protocollen ontwikkeld voor de uitvoering van DSS-proeven op veen en zijn er correlaties opgesteld op basis van vier ijklocaties langs de Markermeerdijk, waarmee de vertaling van lokaal gevonden sterkte-eigenschappen naar overige dwarsprofielen gemaakt kan worden.

Deze correlaties zijn specifiek opgesteld voor gebruik bij het berekenen van de stabiliteit van de Markermeerdijken. De methode beschrijft het hele ontwerptraject, van parameterbepaling tot aan het opstellen van het dijkversterkingsontwerp en is opgebouwd uit acht stappen. Met de eerste zeven stappen wordt de 0-variant bepaald: de berekende stabiliteit van de huidige situatie. Vervolgens wordt bij onvoldoende stabiliteit de dijkversterking ontworpen.

Stap 1 - Keuze profielen

Stap 2 - Uitvoeren terreinwerkzaamheden

Stap 3 - Uitvoeren laboratoriumproeven

- Stap 4 - Opstellen correlaties
- Stap 5 - Bepalen rekenparameters
- Stap 6 - Bepaling overige uitgangspunten
- Stap 7 - Ontwerp 0-variant
- Stap 8 - Ontwerp dijkversterking

De kern van de methode bestaat uit het uitvoeren van veldsondemetingen in elk van de te berekenen dwarsprofielen. Binnen de ijkvelden zijn vergelijkingen opgesteld tussen de veldsondemetingen en het uitgevoerde laboratoriumonderzoek. Op basis daarvan zijn correlaties opgesteld. Door van elk profiel metingen beschikbaar te hebben kan de in rekening te brengen onzekerheid worden gereduceerd bij de bepaling van de sterkte eigenschappen van het veen. Met behulp van de correlaties worden de veldsondemetingen vertaald naar sterkteprofielen in de diepte. De sterkteprofielen worden vervolgens gebruikt in de stabiliteitsanalyses voor het dijkversterkingsontwerp.

Ten opzichte van de huidige rekenregels is de methode op een aantal punten vernieuwend. De belangrijkste zijn de parameterbepaling (DSS-proef en ongedraineerde schuifsterkte) van de veenlaag en het aanvullend gebruik van het rekenmodel Spencer-Van der Meij bij de uitvoering van de stabiliteitsanalyses. Tot slot is er, omdat er altijd een bepaalde mate van spreiding in eigenschappen van de ondergrond en onzekerheid in de modelberekeningen is, een veiligheidsmarge bepaald waarbinnen de ontwerpberoe-  
kningen kunnen worden uitgevoerd.

#### Impact nieuwe kennis

Met de verbeterde ontwerpmethodie voor dijken op veen is men in staat de sterkte en het gedrag van het veen op een juiste manier te berekenen. De ontwerpmethodie sluit aan bij het in ontwikkeling zijnde Wet-  
telijk Toets Instrumentarium (WTI), dat in 2017 van kracht wordt. Meer inzicht in de sterkte van het veen kan leiden tot minder dure en minder ingrijpende versterkingsmaatregelen. Naar verwachting kan op sommige plekken worden volstaan met een slankere versterking. Hoeveel daarmee bespaard kan worden, is nog moeilijk te voorspellen. Het team versterking Markermeerdijken maakt met

de verbeterde ontwerpmethodie dijken op veen nieuwe ontwerpberoe-  
kningen voor de te versterken dijken.

Goaitske de Vries  
(Deltares)

Cor Zwanenburg  
(Deltares)

Bianca Hardeman  
(Rijkswaterstaat)

Huub de Bruijn  
(Deltares)

#### Literatuur

Zwanenburg C., Bruijn H.T.J. de & Vries G. de [ 2012] *Eindrapport Dijken op Veen - Praktijkonderzoek.*

Zwanenburg C. [2013] *De bepaling van sterkte eigenschappen van veen, een vergelijking tussen laboratoriumproeven en veldmetingen* Geotechniek juli 2013, p26.

Zwanenburg C. [ 2014] *Eindrapport Dijken op Veen - Werkwijze voor bepaling macrostabiliteit Markermeerdijken.*

Betere  
ontwerpmethode  
dijken op veen

#### SAMENVATTING

Ruim 33 kilometer Markermeerdijken tussen Hoorn en Amsterdam is afgekeurd en moet versterkt worden. De Markermeerdijken staan deels op een ondergrond van veen. Op basis van geotechnische expertise en gebiedserving ontstond het vermoeden dat dijken op veen in de praktijk sterker zijn dan in de huidige rekenregels tot uitdrukking komt. Praktijkonderzoek bevestigde dit. Het onderzoek toont aan dat de sterkte van veen hoger is dan volgt uit de vigerende leidraden voor het bepalen van de sterkte eigenschappen. De resultaten uit het praktijkonderzoek zijn nu vertaald naar een ontwerpmethodiek speciaal voor de Markermeerdijken die meer recht doet aan de sterkte van veen. Ten opzichte van de huidige rekenregels is de methode op een aantal punten vernieuwend. De belangrijkste zijn de parameterbepaling (DSS-proef en ongedraineerde schuifsterkte) van de veenlaag en het aanvullend gebruik van het rekenmodel Spencer van der Meij bij de uitvoering van de stabiliteitsanalyses.