

# Gebiedsdekkende quick-scan dijkveiligheid door geautomatiseerd rekenproces

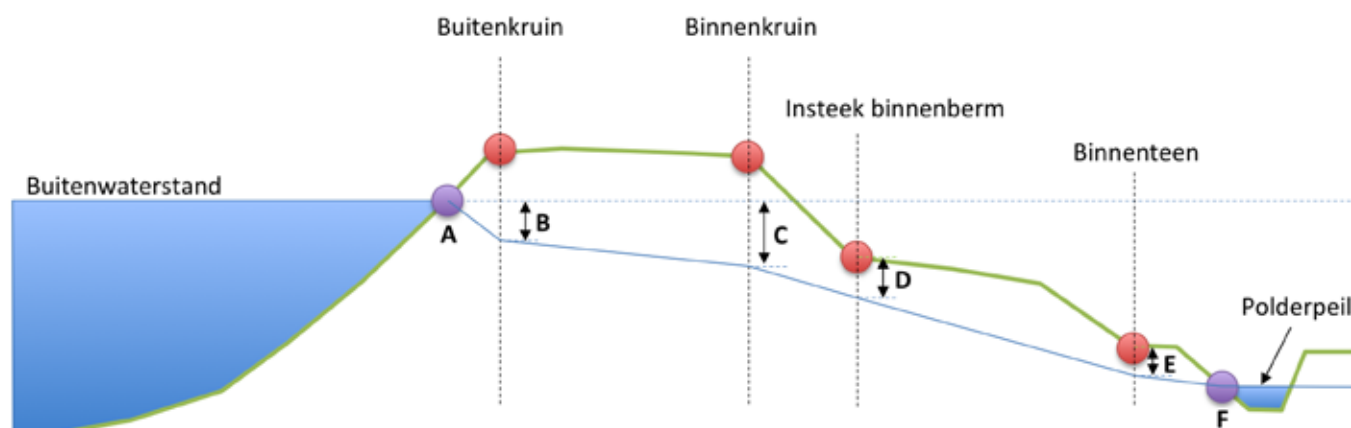
**Drs. ing. E.W. Vastenburg**  
Sr. adviseur, Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier  
(voormalig Deltares)



**Drs. ing. F.P.W. van den Berg**  
Sr. adviseur, Deltares



Figuur 1 - Schematisatie freatisch vlak binnen geautomatiseerde omgeving.



## Inleiding

De effecten van klimaatverandering worden steeds duidelijker. Extreme weersituaties komen steeds vaker voor. Zo worden bijvoorbeeld regenbuien steeds heviger en langduriger. Dit leidt onder andere tot hogere rivierafvoeren en waterstanden. Dit heeft gevolgen voor de (dijk) veiligheid. Tegelijkertijd is een sterke wereldwijde toename van de bevolking en economische groei waarneembaar. Wereldwijd neemt de te beschermen waarde van het achterland dan ook toe.

Om het effect van klimaatveranderingen op de waterveiligheid te kunnen kwantificeren zal na verwachting steeds vaker gebiedsdekkende veiligheidsanalyses uitgevoerd worden. Een onderdeel hiervan is de grondmechanische stabiliteit van de waterkeringen. Echter, in de meeste landen is relatief weinig informatie voor handen over de huidige staat van de waterkering. Uitgaande van een traditionele aanpak, waarbij vele handmatige analyses uitgevoerd worden, is het komen tot gebiedsdekkende uitspraken een zeer arbeidsintensief proces. Hier lijkt wel een verandering gaande. De laatste jaren is steeds meer beweging waarneembaar in de ontwik-

keling van geautomatiseerde rekentechnieken voor dijksterkte-analyses [1, 2, 3].

Voorgaande heeft geleid tot de volgende probleemstelling: Kan gebruik gemaakt worden van geautomatiseerde rekentechnieken om een snelle eerste gebiedsdekkende uitspraak te doen over de dijkveiligheid. Om dit te onderzoeken zijn twee pilotstudies uitgevoerd, waarbij gebruik gemaakt is van een geautomatiseerd rekenproces, een minimale set van (gebieds)gegevens en een stochastisch ondergrondmodel.

## Geautomatiseerd rekenproces

Voor het uitvoeren van een dijksterkte-analyse worden binnen het werkproces op hoofdlijnen vier stappen onderscheiden. Deze zijn onafhankelijk van toepassing (bijvoorbeeld toetsing, beleidsstudie) en of de berekeningen handmatig dan wel grotendeels geautomatiseerd uitgevoerd worden. Bij het uitwerken van deze stappen ligt in dit artikel de focus op het (deels) automatiseren van het werkproces. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van het door Deltares, in opdracht van STOWA, ontwikkelde Dijksterkte Analyse Module (DAM). Deze applicatie is ook

gebruikt voor het uitvoeren van de pilotstudies.

De eerste stap is het verzamelen van de basisgegevens. Voor het uitvoeren van geotechnische berekeningen is een aanzienlijke hoeveelheid data nodig. Zo heeft elk model zijn eigen databehoeftes. De datavraag is nagenoeg onafhankelijk van de wijze van uitvoering, handmatig of (grotendeels) geautomatiseerd.

Het beheren van de gegevens gebeurt, en zal naar verwachting steeds meer gebeuren, in een Geografisch Informatie Systeem (GIS). In de basis is een GIS eenvoudig te omschrijven als een database waarin informatie gekoppeld wordt aan een ruimtelijk object. Dit kunnen punten, lijnen of vlakken zijn. Daarnaast beschikken GIS-pakketten over zeer krachtige tools om data te bewerken en te analyseren [4]. Een belangrijk element binnen het automatiseren van het rekenproces is de koppeling met deze ruimtelijk vastgelegde gegevens als input voor modelschematisaties.

Het ruimtelijk vastleggen van gegevens ondersteunt een gestructureerd werkproces waar

## Samenvatting

Het klimaat verandert. Dit heeft grote gevolgen voor de dijkveiligheid. De vraag naar gebiedsdekkende veiligheidsanalyses neemt toe. Het handmatig uitvoeren van deze analyses is zeer tijdrovend. De laatste jaren wordt een ontwikkeling gezien in het automatiseren van dijksterkte-analyses. Daarnaast worden gebiedsgegevens meer en meer in een Geografisch Informatie Systeem (GIS) beheerd. Om na te gaan of geautomatiseerde re-

kentechnieken gebruikt kunnen worden voor een gebiedsdekkende quickscan van de dijkveiligheid is een tweetal pilots uitgevoerd: Xinyi Rivier in China en de Mississippi in de Verenigde Staten. Hierbij is gebruik gemaakt van de Dijksterkte Analyse Module (DAM), een set van globale gegevens en een stochastisch ondergrondmodel.

gewerkt wordt 'van globaal naar fijn'. Ter illustratie; voor een stabiliteitberekening zijn onder andere de stijghoogtes van belang. Als eerste stap kunnen conservatieve uitgangspunten gekozen worden binnen een gebied. Bijvoorbeeld op basis van expert judgement. Als tijdens het rekenproces blijkt dat een deel van de waterkering hierdoor niet goedgekeurd kan worden, dan kan voor deze locatie specifiek naar de uitgangspunten gekeken worden. Bijvoorbeeld door het uitvoeren van (aanvullende) veldmetingen. De gevonden waarden kunnen dan vastgelegd worden in het GIS voor het gebied waarvoor de gedetailleerdere gegevens van kracht zijn. Deze nieuwe gegevens worden dan vervolgens binnen de berekeningen gebruikt. Het blijkt dat door veel gerichter gegevens in te winnen (enorme) kostenbesparingen behaald kunnen worden. Zo becijferde Waternet een kostenbesparing van circa 2,5 miljoen Euro op de toetsing van hun regionale keringen door gebruik te maken van deze aanpak [5]. Een ander voordeel is dat de informatie eenduidig en ruimtelijk vastgelegd wordt en dat dit het meervoudig gebruik van de data stimuleert. Bijvoorbeeld door andere applicaties of werkprocessen.

Wellicht ten overvloede; de kwaliteit van de berekeningen is wel sterk afhankelijk van de kwaliteit van de gegevens. Overigens maakt het niet uit of de gegevens gebruikt worden binnen een meer traditioneel ingericht werkproces of een proces dat gekenmerkt wordt door een hoge mate van automatisering. De kwaliteit van de gegevens moet goed zijn.

De volgende stap is schematisering van de modelinvoer. Dit is een tijdrovende klus voor de ingenieur. Daarnaast zullen verschillende ingenieurs op basis van subjectiviteit anders schematiseren. Binnen de automatisering van de dijksterkteberekeningen is, naast de koppeling met de ruimtelijke gegevens, vooral deze stap gerationaliseerd. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de geïmporteerde gegevens en schematisatie algoritmen. Deze algoritmes kunnen onder andere betrekking hebben op het schematiseren van de waterspanningen, het automatisch aanpassen van de geometrie zodat deze voldoet

aan een opgegeven veiligheidsfactor, of het volgen van toetsregels. Ter verduidelijking wordt ingegaan op het schematiseren van de waterspanningen, zoals gebruikt bij de pilotstudies.

Voor de generatie van de waterspanningen worden de volgende onderdelen doorlopen: schematisering freatisch vlak (1), initiële schematisering stijghoogtes (2), controle op opdrijven (3) en definitieve schematisering waterspanningen (4).

### Ad 1 Schematisering freatisch vlak

De hoogteligging van het freatisch vlak (zie figuur 1) wordt gedefinieerd door het opgeven van een aantal verticale off-sets (punt A tot en met F) ten opzichte van de buitenwaterstand of maaiveld ligging, ter plaatse van vooraf gedefinieerde karakteristieke punten (bijvoorbeeld buitenkruin, binnenkruin en binnenteen). Tussen de punten wordt de ligging van het freatisch vlak bepaald met behulp van lineaire interpolatie. Al deze parameters zijn weer ruimtelijk vast te leggen binnen het GIS systeem, zodat van globaal naar fijn gewerkt kan worden en daarbij de gebiedskennis vastgelegd wordt.

### Ad 2 Initiële schematisering stijghoogtes

In eerste instantie worden de stijghoogtes in de watervoerende lagen geschematiseerd aan de hand van de invoergegevens. Dit is de stijghoogte aan de buitenteen. De stijghoogte in de binnenteen wordt initieel bepaald aan de hand van

een demping van de stijghoogte over de waterkering heen, om vervolgens met een optioneel op te geven gradiënt af te nemen tot polderpeil (zie Figuur 2).

### Ad 3 Controle op opdrijven

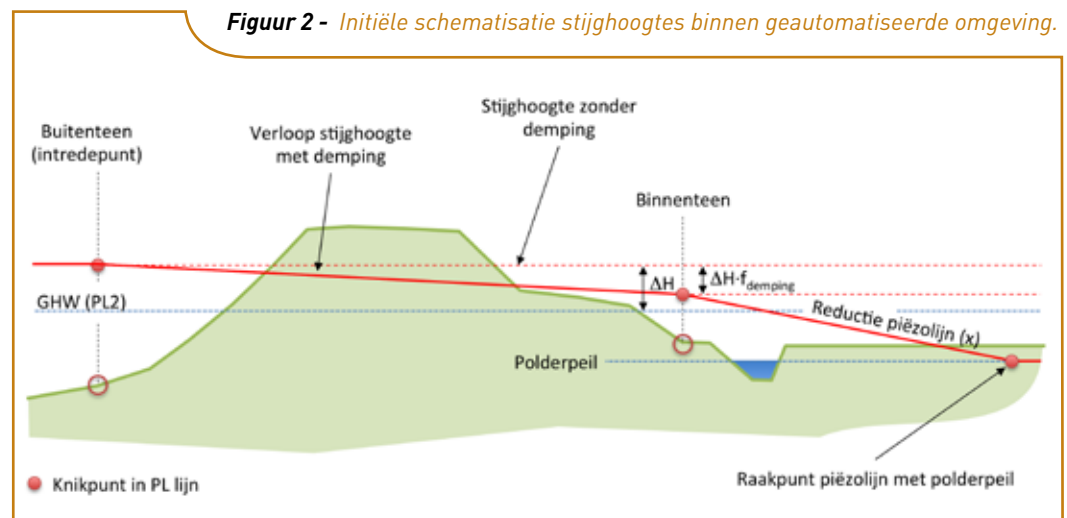
Vervolgens wordt aan de hand van het initiële stijghoogte verloop gecontroleerd op opdrijven. Hierbij controleert de software vanaf de binnenteen richting het achterland in elk geometriepunt of opdrijven kan optreden. Daarbij wordt ter plaatse van de sloot rekening gehouden met spanningsspreiding. In het geval van opdrijven wordt de stijghoogte tot een waarde gereduceerd waarbij opdrijven niet meer optreedt, zodat negatieve korrelspanningen binnen de macrostabiliteitberekeningen worden voorkomen. In het geval van opdrijven (opdrijfveiligheid < 1.2) is binnen de pilot naast het Bishopmodel ook gerekend met het Uplift-Van-model.

### Ad 4 Definitieve schematisering waterspanningen

Op basis van de initiële generatie van de waterspanningen en controle op opdrijven wordt de definitieve schematisering van de waterspanningen aangemaakt. Hierbij wordt in horizontale richting lineair geïnterpoleerd tussen de verschillende (berekende) knikpunten van de freatische lijn.

Voor het verloop van de waterspanningen in verticale richting wordt in het dijklichaam, de grondlagen waarin het freatisch vlak ligt en de

Figuur 2 - Initiële schematisatie stijghoogtes binnen geautomatiseerde omgeving.



**Figuur 3** - Locatie van de pilot aan de zuidzijde van de Xinyi Rivier.



watervoerende lagen, standaard uitgegaan van een hydrostatisch verloop. Voor de tussenliggende cohesieve lagen wordt een lineair verloop verondersteld. Hierbij wordt geen rekening gehouden met tijdsafhankelijk opbouw van de waterspanningen. Overigens behoort dit wel tot de mogelijkheden binnen de geautomatiseerde omgeving.

In de derde stap worden de berekeningen uitgevoerd. Alvorens deze te starten kunnen nog een aantal generieke instellingen opgegeven worden. Hierbij moet gedacht worden aan de te gebruiken faalmechanisme modellen en rekeninstelling. Bijvoorbeeld de grootte van het rekengrid bij Bishop. Vervolgens worden met de spreekwoordelijke “druk op de knop” alle sommen parallel uitgevoerd. Daarbij wordt zowel de modelinvoer, als wel de resultaten opgeslagen, zodat de stappen te herleiden zijn en de resultaten ingezien en beoordeeld kunnen worden.

De laatste stap bestaat uit analyse en communicatie van de resultaten. Ondanks het geautomatiseerde proces zullen de resultaten door een ervaren ingenieur gecontroleerd en geïnterpreteerd moeten worden op juistheid en lo-

gische verbanden. Feitelijk op dezelfde punten als bij een review van handgemaakte sommen. De resultaten kunnen vervolgens teruggebracht worden naar het GIS of andere softwarepakketten voor verdere analyses en presentaties. Doordat alles binnen een digitale omgeving is uitgevoerd zijn deze stappen relatief eenvoudig uit te voeren. Daarnaast wordt de kans op fouten verkleind omdat er geen gegevens overgetypt hoeven te worden.

#### **Aanpak pilots**

Voor de studie zijn twee pilots uitgevoerd: Xinyi Rivier, China (A) en Mississippi, Verenigde staten (B). Beide studies zijn uitgevoerd in samenwerking met Rijkswaterstaat en de lokale overheden.

#### **A Xinyi rivier, China**

De Xinyi rivier ligt net ten zuiden van Shuyang en heeft een lengte van circa 150 km. De rivier bestaat uit een noordelijk en een zuidelijk kanaal, waartussen zich een uiterwaarde bevindt. Deze overstroomt gemiddeld eens in de 5 jaar. De rivier wordt vanuit het westen gevoed door het Luomameer en door diverse stromen vanuit het noorden en een aftakking van de Huaihe ri-

vier vanuit het zuiden. De rivier mondt uit in de Gele zee. De Xinyi rivier maakt deel uit van een complex stelsel van afvoerkanalen en zorgt voor een snelle afvoer naar de zee. Hierdoor kunnen tijdelijk hoge waterstanden in de rivier voorkomen.

Shuyang is een snel groeiende stad, die op circa 400 km ten noordoosten van Shanghai ligt. Door de toenemende bevolking en de economische activiteiten, is behoefte aan een voldoende hoog veiligheidsniveau. In de overleggen met de betrokken partijen is besloten om te toetsen aan een veiligheidsfactor van 1,3 voor binnenwaartse macrostabiliteit. De pilot had tot doel om een quick-scan uit te voeren naar de huidige sterkte van de waterkeringen. Hiervoor zijn de dijken aan de zuidzijde van de Xinyi rivier (zie figuur 3) van Shuyang tot de Gele zee over een lengte van circa 100 km beschouwd. Hierbij ligt de focus op het faalmechanisme binnenwaartse macrostabiliteit. De pilot is uitgevoerd als samenwerking tussen de Huaihe River Commission (HRC), Rijkswaterstaat en Deltares [6].

De waterkering is begin jaren 70 van de vorige eeuw ontworpen en heeft een nagenoeg ge-



lijkvormige geometrie. Door de Huaihe River Commission (HRC) zijn twee geotechnische dwarsprofielen ter beschikking gesteld met bijbehorende grondmechanische eigenschappen. Daarnaast is een tweetal geometrische dwarsprofielen aangeleverd. Gezien het uniforme karakter van de dijkeometrie langs het tracé, zijn deze gebruikt om voor het gehele traject 110 dwarsprofielen af te leiden. De grootste variaties binnen het gebied komen namelijk vooral voor in de ondergrond en niet zo zeer in de dijkeometrie. Door de HRC zijn geen hydraulische randvoorwaarden aangeleverd, daarom is met verschillende waterstandscenario's gerekend. De scenario's varieerden van buitenkruin dijk – 5 m tot en met buitenkruin dijk – 1 m. Het polderpeil is uit de aangeleverde dwarsprofielen afgeleid en voor het gehele traject gehanteerd. Over het verloop van het freatisch vlak waren geen gegevens beschikbaar. Voor de schematisatie is uitgegaan van expert judgement van Deltares adviseurs. Na overleg is voor de verkeersbelasting 13,5 kN/m<sup>2</sup> aangehouden. Alle globale uitgangspunten zijn in een GIS ingevoerd en vervolgens in DAM ingelezen (zie Figuur 4).

### B Mississippi, Verenigde staten

De Mississippi ontspringt in het Itascameer, gelegen in Noord-Minnesota, en komt uit in de Golf van Mexico. Met een lengte van bijna 3700 kilometer is het de op een na langste rivier van

Noord-Amerika. Het pilotgebied is gelegen ten noorden van Vicksburg, met een tracé lengte van circa 40 kilometer. De dijkhoogte ten opzichte van maaiveld bedraagt 7 á 10 meter. De pilot is uitgevoerd als samenwerking tussen USACE-ERDC, Rijkswaterstaat en Deltares.

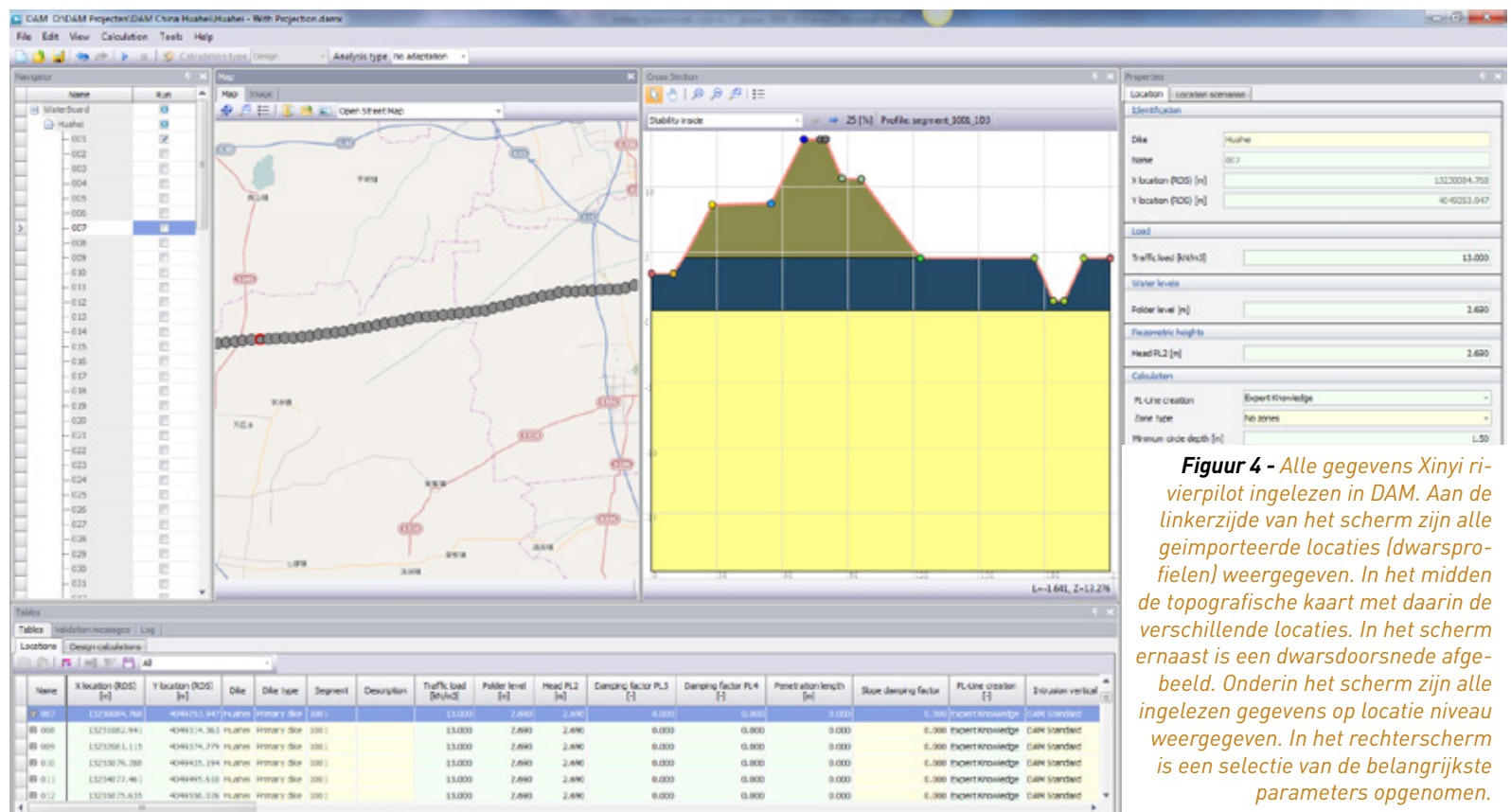
Voor de pilot is gebruik gemaakt van gebiedsdekkende laser-altimetrie gegevens. Daarnaast zijn de extreme rivierafvoeren bekend en is grondonderzoek voor handen voor een klein deel van het gebied. Het aangeleverde veldonderzoek bestaat uit een aantal boringen (18) sonderingen (35), zeeffrommen (3) en materiaaleigenschappen. Daarnaast is voor één doorsnede een eendige elementen grondwaterstromingsberekening voorhanden. Deze zijn gebruikt voor de schematisatie van de waterspanningen. Voor de pilot is aangenomen dat de aangeleverde gegevens representatief zijn voor het gehele gebied en zijn dan ook gebiedsdekkend in een GIS vastgelegd en gebruikt voor de berekeningen. Uiteindelijk zijn 97 dwarsprofielen aangemaakt.

### Stochastisch ondergrondmodel

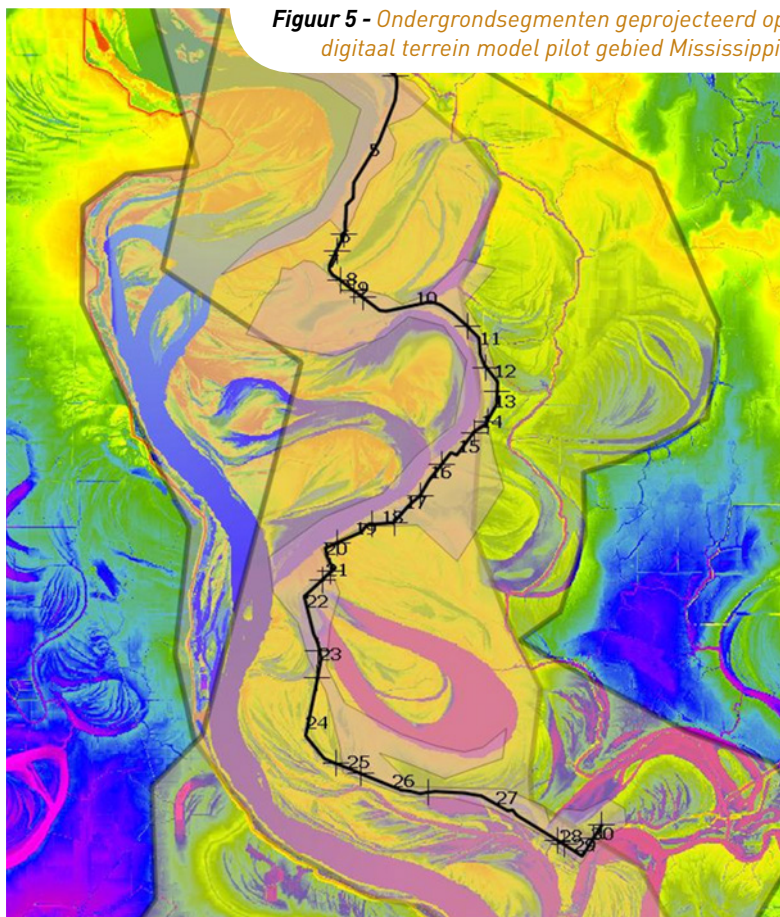
Doordat van beide pilot gebieden relatief weinig bekend is over de ondergrond, is gebruik gemaakt van een stochastische ondergrondschematisatie. Een dergelijke benadering is nodig, omdat de dichtheid van het uitgevoerde grondonderzoek onvoldoende is voor een gedetail-

leerde deterministische schematisatie van de ondergrond die voldoende zekerheid biedt [7]. De gebruikte methode ondervangt de noodzaak om voor de beoordeling van de waterkeringen over de gehele tracés veel boor- of sondeerpunten beschikbaar te hebben. In plaats daarvan wordt gebruik gemaakt van reeds bestaande gegevens als boringen, sonderingen, geotechnische dwarsprofielen, geologische kaarten, Google Earth en digitale terrein modellen (zie Figuur 5) samen met (geologische) kennis over de manier waarop de ondergrond is ontstaan. Deze laatste twee punten leggen aanzienlijke beperkingen op aan de theoretisch vele mogelijkheden waarop de ondergrond kan zijn opgebouwd. Bij het opstellen van een stochastisch ondergrondmodel wordt onderscheid gemaakt tussen enerzijds kennis over grondlagen die in de ondergrond aanwezig zijn of kunnen zijn in een bepaald gebied (segment) en kennis waar die grondlagen dan eventueel zitten of kunnen zitten in dat gebied.

De typen ondergrond die in de methode benoemd worden, bestaan per segment uit een stapel (zie Figuur 6) van grondeenheden (1D-profielen). Meestal komen deze overeen met de grondlagen zoals deze ook in het veld onderscheiden zouden worden. Afhankelijk van de vraagstelling (e.g. het beschouwde faalmechanisme) wordt een grondeenheid rele-



**Figuur 4** - Alle gegevens Xinyi rivierpilot ingelezen in DAM. Aan de linkerzijde van het scherm zijn alle geïmporteerde locaties (dwarsprofielen) weergegeven. In het midden de topografische kaart met daarin de verschillende locaties. In het scherm ernaast is een dwarsdoorsnede afgebeeld. Onderin het scherm zijn alle ingelezen gegevens op locatie niveau weergegeven. In het rechterscherm is een selectie van de belangrijkste parameters opgenomen.



**Figuur 5 -** Ondergrondsegmenten geprojecteerd op digitaal terrein model pilot gebied Mississippi.

vant geacht en opgenomen in de stapel. Elke grondeenheid onderscheidt zich van de onderliggende of bovenliggende eenheid door de grondeigenschappen (sterkte, doorlatendheid, etc.). Verder worden alle grondeenheden horizontaal geschematiseerd, ook al zullen er in werkelijkheid soms grondlagen zijn die uitwigen of niet-horizontaal zijn. Elke grondeenheid in de stapel heeft een bepaalde kans van voorkomen op een locatie. Omdat een grondeenheid dus mogelijk wel of niet aanwezig is op een bepaalde locatie, zijn meerdere soorten stapels mogelijk voor de locatie. Op elke locatie kunnen dus meerdere soorten stapels voorkomen, met een bepaalde kans die volgt uit de kansen van voorkomen van de verschillende grondeenheden in de stapels. De kans op het type ondergrond wordt berekend uit de combinatie van de kansen van voorkomen van de eenheden in elk van de mogelijke stapels. De methode maakt gebruik van de omstandigheid dat er voldoende bekend is over de opbouw van een gebied om een gefundeerde uitspraak te doen over de kans dat bepaalde grondeenheden in een bepaalde strekking van de waterkering voorkomen. Ondanks de relatief beperkte set aangeleverde gegevens voor de pilots, waren de geologen toch instaat om

aan de hand van de data en geologische kennis tot een globaal stochastisch ondergrondmodel te komen voor de eerste globale analyses.

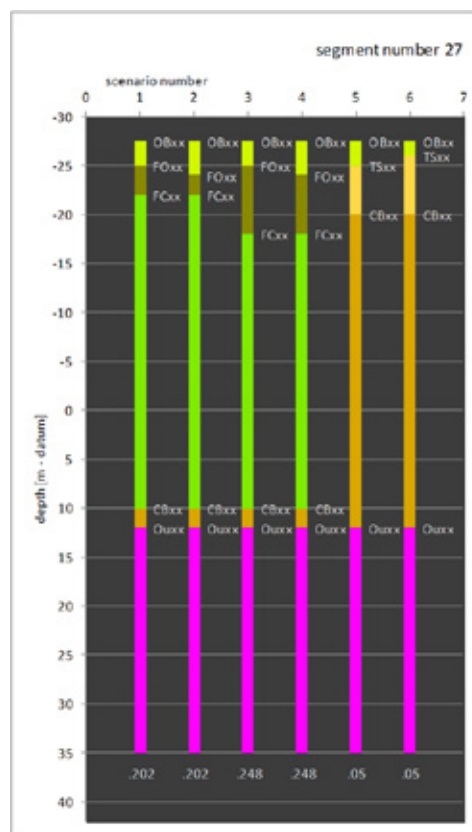
Indien, na het gereedkomen van een eerste schematisatie, voor een zekere locatie grondonderzoek wordt uitgevoerd, waarmee meer definitief wordt vastgesteld welke opbouw daar voorkomt, kunnen de kansen voor de omgeving van die locatie worden aangepast waardoor de schematisatie nauwkeuriger wordt. Door middel van gericht grondonderzoek in strekkingen die meer zekerheid vergen, kunnen de in een eerder stadium vastgestelde kansen van voorkomen dan nader gespecificeerd worden evenals de detaillering van de opbouw.

### Resultaten

#### A Xinyi rivier, China

Uit de berekeningen volgt dat alle profielen voldoende stabiel zijn voor het faalmechanisme macrostabiliteit (Bishop en Uplift-Van in opdrijfsituaties) bij de verschillende beschouwde waterstandscenario's en conservatieve uitgangspunten. Voor de situatie dat het rivierpeil tot een meter onder de kruin staat, voldoet de waterkering nog aan de te toetsen veiligheidsnorm. Het gereed maken van alle data in GIS, het op-

**Figuur 6 -** Voorbeeld mogelijke bodemopbouw binnen een segment



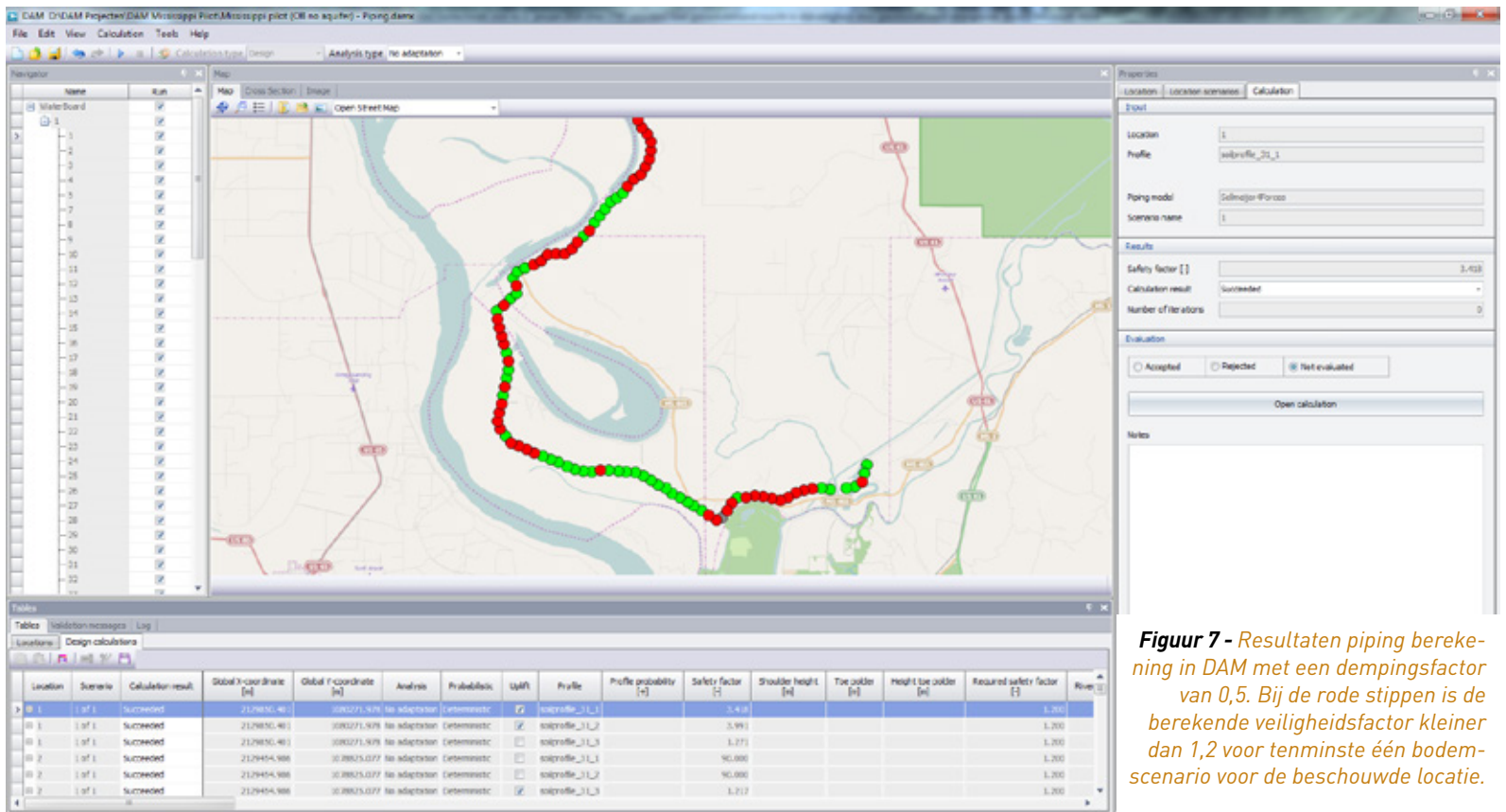
stellen van het stochastisch ondergrondmodel en het uitvoeren en controleren van de berekeningen inclusief rapportage is uitgevoerd binnen een tijdsbestek van een week.

Uit gesprekken met HRC blijkt dat ze geen macrostabiliteitproblemen kennen. Dit komt overeen met de resultaten van de quick-scan. Echter, binnen hun beheersgebied hebben ze vooral pipingproblemen. Voor de pilot ontbraken de benodigde parameters om een pipinganalyse uit te voeren. In een vervolgstudie zal de data verrijkt en verfijnt worden om ook het faalmechanisme piping nader te onderzoeken. Nu het grootste deel van de invoergegevens klaar staat, is dit een relatief kleine actie.

#### B Mississippi, Verenigde staten

De pilot heeft zich in eerste instantie vooral gericht op piping. Hiervoor zijn drie runs uitgevoerd met het Sellmeijer vier krachten model [8]. Tijdens de verschillende rekenlagen is vooral gevarieerd met de dempingsfactor van de stijghoogte over de waterkering heen (zie Figuur 2). Hier was namelijk niets over bekend. Tijdens de eerste run is gerekend met een dempingsfactor van 0. Met andere woorden de stijghoogte in het watervoerend pakket neemt initieel niet





**Figuur 7** - Resultaten piping berekening in DAM met een dempingsfactor van 0,5. Bij de rode stippen is de berekende veiligheidsfactor kleiner dan 1,2 voor tenminste één bodemscenario voor de beschouwde locatie.

af over de kering. Dit is zeer conservatief. Als de resultaten bekeken worden, dan wordt bij nagevoeg alle profielen opdrijven berekend en wordt vrijwel het gehele traject afgekeurd op piping (veiligheidsfactor < 1,2). Bij de tweede run is gerekend met een dempingsfactor van 0,5. Uit deze analyse volgt dat er delen goed en delen afgekeurd worden (zie Figuur 6). Tot slot is nog gerekend met een erg optimistische waarde van 1,0. In dit geval worden maar een viertal locaties afgekeurd.

De pilot leert dat als eenmaal de gegevens klaar staan zeer snel en laagdrempelig variatiestudies uitgevoerd kunnen worden om de gevoeligheid van parameters op het veiligheidsoordeel af te schatten. Een enkele piping run kost op een standaard laptop circa 46 seconden voor de 97 locaties. Uitgaande van het stochastisch ondergrondmodel zijn dit circa 300 berekeningen per run.

Tijdens een bijeenkomst met alle participanten, een aanvullend veldbezoek en uit beschikbare ontwerprapporten met maatregelen tegen piping, bleek dat de berekende resultaten van run 2 erg goed overeenkwamen met hetgeen aangetroffen wordt in het veld. Op verschillende locaties waren reeds pipingbermen aangelegd of nog in uitvoering. Deze waren nog niet aanwezig

in de aangeleverde gegevens. Daarnaast waren er op sommige locaties "relief wells" aanwezig, welke niet meegenomen waren in de berekeningen [9]. Hier werd in de berekeningen dan ook de locaties afgekeurd op piping.

### Conclusies

Beide pilots onderscheiden zich hoofdzakelijk op het vlak van aanwezige (digitale) gegevens. Bij de Xinyi rivier pilot waren vooral analoge gegevens voorhanden. Bij de Mississippi pilot was dit deels analoog en deels digitaal. Vooral de beschikbaarheid van een Digitaal Terrein Model (DTM) bij de Mississippi was een groot voordeel om vanuit hier snel dwarsprofielen te kunnen genereren. Voor beide pilots geldt dat met relatief geringe inspanning alle beschikbare gegevens in een GIS zijn gezet. Daarnaast valt op dat met relatief een minimum aan informatie al een eerste gebiedsdekkende indruk verkregen kan worden van de stabiliteit van de waterkeringen. Hierbij dient wel de opmerking gemaakt te worden dat dit een eerste globale indruk betreft. Doordat begonnen is met globale conservatieve parameters zal dit in principe altijd een veilige inschatting zijn van de dijkveiligheid. Met andere woorden; alle goedgekeurde locaties voldoen aan de gestelde veiligheidsnorm. De "afgekeurde" locaties zijn feitelijk locaties voor nader onderzoek. Dit is van belang om te realiseren bij

het interpreteren.

Met de beschreven aanpak is in Nederland behoorlijk veel ervaring opgedaan bij het toetsen van regionale keringen, waar ook relatief weinig bekend is voor grote strekkingen keringen en dan vooral van de ondergrond. In verschillende toetsingen is via de beschreven aanpak een eerste schifting uitgevoerd met globale parameters en een stochastisch ondergrondmodel, om zo de evident veilige locaties te identificeren. Vervolgens is verder in het toetsproces meer ingezoomd op de locaties welke in eerste instantie niet goedgekeurd konden worden [10, 11]. Deze aanpak bleek goed te werken. Feitelijk wordt binnen het werkproces steeds verder afgepeld. In eerste instantie is meer sprake van een globale relatieve beschouwing. Naarmate de gegevens steeds meer verfijnd en uitgebreid worden zal de veiligheidsanalyse meer en meer een absoluut karakter krijgen.

Bij de Xinyi rivier pilot is in eerste instantie gefocust op het faalmechanisme macrostabiliteit en in de Mississippi pilot op het fenomeen piping. Door te variëren in de parameters kan snel een gevoeligheidsanalyse worden uitgevoerd. Doordat het proces van schematiseren geautomatiseerd is, is dit feitelijk niet meer dan een druk op de knop. Dit nodigt de ingenieur uit om het effect

op de dijkveiligheid van verschillende randvoorwaarden en onzekerheden laagdrempelig te onderzoeken en daarop zijn strategie voor vervolgstappen vorm te geven. Bijvoorbeeld in de vorm van aanvullend veldonderzoek, waarbij hij a priori eerst de mogelijk winst in het veiligheidsordeel kan onderzoeken door het uitvoeren van parameterstudies. Daarnaast kan relatief snel het effect van nieuwe rekenregels inzichtelijk gemaakt worden als de data reeds op orde is.

Wel is het zo dat nieuwe technologische ontwikkelingen vragen om aanpassingen in de 'traditionele' manier van werken en omgang met de gegevens om het volledige potentieel van deze technieken te kunnen gebruiken. Binnen Nederland is met DAM al veel ervaring opgedaan, maar nog steeds blijft het gebruik beperkt tot een groep specialisten. Deze groep groeit wel, maar het lijkt er op dat nog steeds een vorm van koud watervrees aanwezig is. Daarnaast is een vaak gehoord argument dat het geen black-box moet worden. Dit is een valide argument. Echter, doordat alle invoer bekend is, de schematisaties algoritme beschreven zijn en alle gemaakte berekeningen bewaard worden, is de herleidbaarheid en reproductie hoog te noemen. Zo zijn bijvoorbeeld alle uitgevoerde stabiliteitsberekeningen met D-Geo stability te openen. Ons inziens maakt het dan niet uit of een berekening met de hand gemaakt is of grotendeels geau-

tomatiseerd. Een expert blik zal onafhankelijk van de manier van schematiseren (handmatig of automatisch) moeten kunnen beoordelen of het een correcte schematisatie betreft voor het beoogde doel.

Aan de hand van de uitgevoerde pilot en de ervaring met het geautomatiseerde rekenproces wordt geconcludeerd dat geautomatiseerde rekentechnieken voor een gebiedsdekkende quick-scan van de dijkveiligheid toepasbaar zijn, mits juist ingezet en door kundige adviseurs.

#### Literatuuropgave

- [1] Knoeff, H. & E.W. Vastenburg (2011). Automated Engineering in Levee Risk Management. 3rd International Symposium on Geotechnical Safety and Risk, Munich, Germany.
- [2] Woldringh, B., J.G. Knoeff (2009). American and Dutch levee evaluations. Deep Foundation Institute Journal, volume 3, Hawthorne, USA.
- [3] Koelewijn, A.R. & W.A. Hounjet (2007). Space reservation required for flood embankments in urban areas. Proc. 14th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering Madrid, pp. 845-849. Rotterdam, Mill press.
- [4] Gomez, B., & Jones, J. (2010). Research Methods in Geography: A Critical Introduction. Chichester, United Kingdom: John Wiley &

Sons.

- [5] STOWA (2011). DAM, Dijksterkte Analyse Module Voor een betere informatievoorziening over de sterkte van keringen (Businesscase). STOWA, Amersfoort.
- [6] Van den Berg, F.P.W., DAM assesment, Huaihe River basin, Deltares rapport met kenmerk 1209443-000-GEO-0009, versie december 2014
- [7] Van den Berg, F.P.W., Veiligheidstoetsing Regionale waterkeringen, Boezemkaden DAM Toetsing, Hollandse Delta Dijkkring 20, 21 en 25, Versie december 2012
- [8] TAW (1999). Technisch Rapport Zandmevoerende wellen. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW), Delft.
- [9] Van, M., M. Sharp, E.W. Vastenburg & W. Kanning (2015). Rapid Assessment Method for Stability and Piping of Mississippi Levees. 15th Panamerican Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Buenos Aires, Argentina.
- [10] <http://www.kennislink.nl/publicaties/automatisering-van-dijktoetsing-bespaart-miljoenen>
- [11] [http://www.stowa.nl/Upload/agenda/mlD\\_4873\\_cID\\_3863\\_45379885\\_presentatie%20Chris%20Woltering.pdf](http://www.stowa.nl/Upload/agenda/mlD_4873_cID_3863_45379885_presentatie%20Chris%20Woltering.pdf)

# Deltagoot

Enabling Delta Life

> **Hydrodynamisch onderzoek op ware grootte**

De Deltagoot is een unieke testfaciliteit waar op ware grootte kan worden getest wat het effect is van extreme golven op dijken, duinen, golfbrekers of offshore constructies. Waterbouwkundige constructies kunnen natuurgetrouw worden beproefd onder controleerbare en extreme omstandigheden.

De Deltagoot biedt kostenefficiënte en toekomstbestendige oplossingen voor:

- waterkeringen, duinen, golfbrekers
- offshore constructies
- bescherming van kabels en pijpleidingen
- geotubes en geocontainers
- reststerkte van dijken en steenzettingen
- verweking van de ondergrond
- nature based toepassingen zoals golfdempende werking van vegetatie

[www.deltares.nl/deltagoot](http://www.deltares.nl/deltagoot)