



Dijkversterking ontworpen 'op de kubieke centimeter'

Voor de versterking van de Waaldijk tussen Wolferen en Sprok is een nieuwe stap gezet in het automatiseren van stabiliteitsberekeningen met REAL2.0. Bestaande systemen op basis van parametrische ontwerptools en met algoritmes aangestuurd de stabiliteitsberekeningen zouden leiden tot een te grof resultaat.

Daarom zijn vernieuwingen doorgevoerd in de modulaire aansturing, in het ondergrondmodel en in de hoge mate van precisie bij het ontwerpen van de stabiliteitsbermen.

De circa 15 kilometer lange noordelijke Waaldijk tussen de buurtschappen Wolferen (Overbetuwe) en Sprok (Nijmegen) moet grotendeels worden versterkt om aan nieuwe strenge veiligheidsnormen te voldoen. De opdracht voor de planuitwerkingsfase is toegekend aan ontwerpteam De Betuwse Waard, dat bestaat uit Waterschap Rivierenland, aannemerscombinatie Ploegam, Dura Vermeer en GMB, en ingenieursbureau Witteveen+Bos. De Betuwse Waard krijgt daarbij ondersteuning van Royal Haskoning-DHV en Fugro.

Automatiseren

Grondbermen maken een aanzienlijk deel van de dijk stabiel. De afmetingen van deze stabiliteitsbermen moeten zeer nauwkeurig worden berekend. De bermen moeten groot en robuust genoeg zijn om minimaal de komende



Waaldijk Wolferen - Sprok ter hoogte van Nijmegen. (Bron: De Betuwse Waard)

vijftig jaar de stabiliteit van de dijk te garanderen. Daarbij geldt dat de dijk even sterk is als haar zwakste schakel. Echter, de stabiliteitsbermen moeten ook passen in de beperkte ruimte naast de dijk en voldoen aan de randvoorwaarden vanuit ruimtelijke kwaliteit. In een laat stadium van het ontwerpproces kwam veel nieuwe informatie beschikbaar, zoals grondonderzoek, peilbuisreeksen en ontwerprandvoorwaarden. Er bleven slechts twee maanden over om met deze informatie tot een gedetailleerd ontwerp te komen en het benodigde ruimtebeslag precies vast te stellen.

Veel dijkversterkingsprojecten hebben eenzelfde uitdaging: krappe deadlines, veel data verwerken en hoge eisen aan het ontwerp. Daarom is het steeds gangbaarder dat waterschappen, aannemers en ingenieursbureaus deze werkzaamheden automatiseren, zoals nu bijvoorbeeld gezamenlijk gebeurt in het GEOLIB-project. Dit beperkt de doorlooptijd van het ontwerpproces en voorkomt repetitief en standaard werk. Daarnaast leidt automatisering tot minder fouten en meer regie op rekenbestanden. Het ontwerp is beter onderbouwd, omdat er meer situaties kunnen worden doorgerekend. Diverse partijen ontwikkelen momenteel

slimme en innovatieve software om moeiteloos meerdere stabiliteitsberekeningen uit te voeren. Complexe invoer gaat via een script in plaats van handmatige invoer. Parametrische ontwerpers vertalen stabiliteitsbermen uit tweedimensionale sommen naar een transparant driedimensionaal ontwerp met algoritmes. Maar het is ook belangrijk om te letten op de beperkingen van de software. In de praktijk blijkt dat handmatige bewerkingen nog steeds nodig zijn, waardoor het volledige ontwerpproces niet automatisch verloopt. Daarnaast wordt niet alle geotechnische data ten volle benut.

Herhaaldelijk verbeterd

Bij dijkversterking Wolferen-Sprok is daarom een volgende stap gemaakt in de automatisering van het dijkontwerp. Er is gebruik gemaakt van REAL (Rapid Engineering Assessment of Levees), in 2009 ontwikkeld door Fugro. Deze softwareapplicatie is inmiddels in veel landen toegepast en herhaaldelijk verbeterd op basis van opgedane ervaringen. De basis van REAL is een driedimensionaal model van de dijk- en bodemopbouw en het maaiveldverloop. Hieruit worden dwarsprofielen gegenereerd met een hoge dichtheid (bijvoorbeeld om de 25 m). Van

IN 'T KORT - REAL2.0

Voor de versterking van de Waaldijk is een nieuwe stap gezet

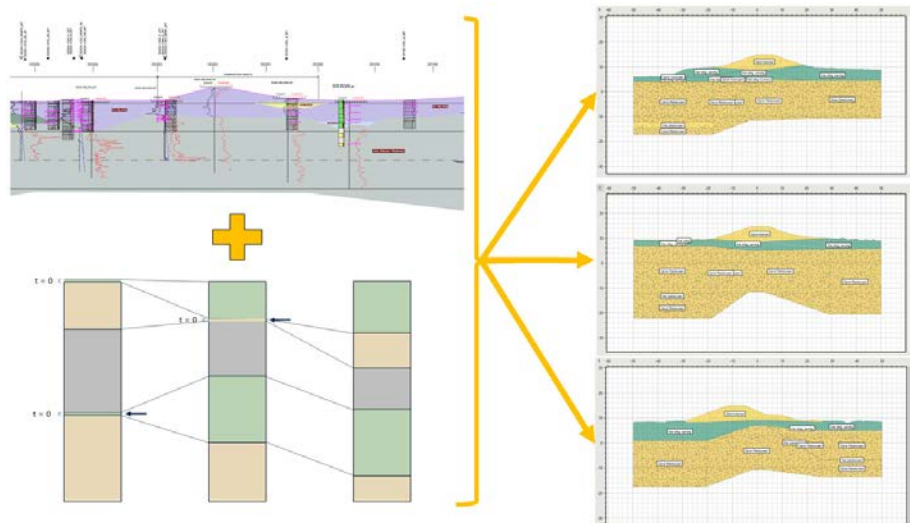
Een stap m.b.t. het automatiseren van stabiliteitsberekeningen met REAL2.0

Bestaande systemen zouden leiden tot een te grof resultaat

Daarom zijn o.a. vernieuwingen doorgevoerd in de modulaire aansturing

CSSM-schuifsterktemodel

De afkorting CSSM staat voor Critical State Soil Mechanics. Deze theorie is sinds een aantal jaar gebruikelijk om het grondgedrag bij dijken te beschrijven. Hierbij wordt gerekend met de sterkte die zich in grondlagen ontwikkelt na relatief veel vervorming. Deze blijkt een goede maat voor de taludstabiliteit van dijken. In het CSSM-model is een nauwkeurige bepaling van de grensspanning in elke grondlaag van belang. Dat is de hoogste spanning die in de grond is opgetreden. Toepassing van REAL2.0 maakt een nauwkeurige en gebiedsdekkende bepaling van de grensspanning mogelijk.



Met een algoritme wordt het 3D-ondergrondmodel vertaald naar dwarsprofielen voor stabiliteitsberekeningen met D-Stability.

elk dwarsprofiel wordt automatisch de stabiliteit berekend. Dit geeft een continu inzicht in de stabiliteit van de dijk bij alle voorkomende buitenwaterstanden. De resultaten worden gevisualiseerd op kaarten. Deze laten overzichtelijk zien waar de zwakke en sterke plekken in de dijk zitten en tot welke buitenwaterstand de dijkveiligheid nog gegarandeerd is.

Inmiddels heeft REAL een versie 2.0 die zowel geschikt is voor de beoordeling van dijken, als voor het automatisch ontwerp van dijkversterkingen. Onder de motorkap wordt gebruik gemaakt van D-Stability uit de D-GEO Suite van Deltares. Dit relatief nieuwe rekenprogramma berekent op een gefaseerde manier de stabiliteit van dijken met het CSSM-schuifsterktemodel. Het wordt modulair aangestuurd met de programmeertaal Python. De software blijft overzichtelijk door gebruik te maken van modules voor afzonderlijke processen, zoals bodemschematisatie, vlakdekkende opbarst-analyses en bermdimensionering. De modulaire aanpak maakt maximaal gebruik van de reken capaciteit van computers. Hoewel de meeste, geotechnisch geschoolde, dijkadviseurs bekend zijn met Python, kan

REAL2.0 ook aangestuurd worden zonder deze voorkennis via een grafische interface. Bij elk dijkversterkingsproject is in de praktijk sprake van uitgangspuntenwijzigingen die het ontwerp beïnvloeden. Daarbij komt het nut van REAL2.0 goed tot uitdrukking, omdat het effect hiervan op het totale dijkontwerp bijna met één druk op de knop kan worden bepaald.

Kleine details

Uit ervaring blijkt het succes van automatisch aangestuurde stabiliteitsberekeningen afhankelijk van het vinden van juiste oplossingen voor kleine details. Een voorbeeld is het schematiseren van de dijkopbouw. Deze is lastig in regels te vatten, omdat deze deels wordt bepaald door de natuur (zettingen in de ondergrond, ageing) en deels door de mens (aanlegvolgorde, toegepaste materialen). Er is een algoritme ontwikkeld om de laagscheidingen en uitwiggende lagen toch zo precies mogelijk te modelleren op basis van grondonderzoek. Een ander voorbeeld is de beoordeling van glijvlakken die volgen uit stabiliteitsberekeningen.

Een ingenieur kan in één oogopslag beoordelen of een berekend glijvlak relevant is voor de

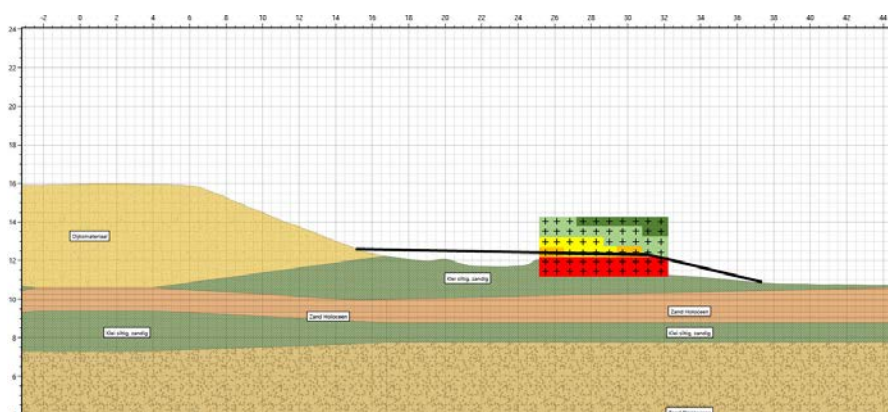
veiligheid van een dijk, maar een computerprogramma ziet dit niet. Dit is opgelost door op basis van dijkennissen algoritmes te ontwikkelen waarmee de software niet-relevante glijvlakken negeert. Dit bespaart veel handmatig controlewerk achteraf.

Daarnaast is de koppeling tussen digital twins en REAL2.0 momenteel in ontwikkeling, omdat die steeds vaker worden toegepast. Een digital twin is een virtuele kopie van de werkelijkheid. De werkelijkheid wordt daarbij weergegeven met een 3D datamodel dat continu wordt bijgewerkt met nieuwe gegevens. Bij dijkversterkingen worden bijvoorbeeld monitoringsgegevens tijdens de uitvoering opgeslagen in een digital twin. REAL2.0 kan hieraan worden gekoppeld. Hiermee kan tijdens de uitvoering real time de verandering van dijkstabiliteit worden berekend aan de hand van rivierpeil-, waterspannings- en deformatiemetingen.

Zettingsmodule

Toepassing van REAL2.0 heeft langs de Waal tussen Wolferen en Sprok geleid tot een vloeiend verloopend en doelgericht dijkontwerp, dat goed past binnen de omgeving. REAL2.0 wordt inmiddels ook naar tevredenheid toegepast bij andere dijkversterkingsprojecten. De ontwikkelingen staan ondertussen niet stil. Er wordt bijvoorbeeld gewerkt aan een zettingsmodule, omdat de zakking van het dijkprofiel in gebieden met een slappe ondergrond een significant effect heeft op het dijkontwerp. Normaal wordt dit slechts globaal meegenomen, omdat gecombineerde zettings- en stabiliteitsberekeningen tijdrovend zijn. Met REAL2.0 wordt ontwerpen op de kubieke centimeter steeds meer realiteit.

Tolga Cömert is international management trainee en Werner Halter is principal consultant. (beiden bij Fugro)



Uitvoer van 'bermgenerator': automatische bepaling van optimale stabiliteitsbermafmetingen voor één dwarsprofiel.