

Parametrisch ontwerpen

**De Innovatieversneller
Hoogwaterbescherming**

De Blomboogerd 1
4003 BX Tiel
Postbus 599
4001 AN Tiel

Contactpersoon
Han Knoeff

div@wsrl.nl

Datum
2022-02-22

Ons kenmerk
ons kenmerk

Uw kenmerk
Uw kenmerk

Bijlage(n)
bijlage

memo

Van 3D model naar 2D schematisatie voor pipinganalyse

Inleiding

In het innovatieproject 'Parametrisch Ontwerpen' wordt een tool ontwikkeld waarmee een aantal stappen bij de toepassing van een 3D ondergrondmodel in een pipinganalyse, al of niet in combinatie met Dpiping, geautomatiseerd kunnen worden uitgevoerd. Het innovatieproject is gekoppeld aan het versterkingsproject Culemborg-Beatrixsluizen (CUB). Het project wil de tool in de zomer gebruiken.

Automatiseren kan het werkproces behoorlijk vereenvoudigen. Te veel automatiseren is niet altijd zinvol en het verleden heeft aangetoond dat het centraal zetten van de tool of rekenmodel ongewenste effecten heeft. Door het project is daarom aan het de Innovatieversneller (DIV) en het Adviesteam Dijkontwerp aan het begin van het project advies gevraagd.

Om de meerwaarde van automatiseren te benutten is een helder beeld van het werkproces dat wordt ondersteund belangrijk. Zonder dit beeld is de kans groot dat de ontwikkeling van de tool centraal komt te staan en de tool uiteindelijk niet of niet juist wordt gebruikt. Ook wordt met een goed beeld van het werkproces het risico kleiner dat vanuit het automatiseringsproces pragmatische aannamen worden gedaan die hinderlijk zijn voor de eindgebruiker of een goed gebruik in de weg staan.

Om de mogelijkheden en onmogelijkheden van het automatiseren van pipinganalyses met 3D ondergrondmodellen en DPiping te inventariseren zijn door DIV een tweetal werksessies georganiseerd. In de werksessie 'Van 3D ondergrondmodel naar 2D pipinganalyse' is stil gestaan bij de schematisatiestappen die worden gezet om van een 3D ondergrondmodel tot een schematisatie voor een analyse met de regel van Sellmeijer en een analyse met Dpiping te komen. Daarbij zijn de kennisleemten benoemd en hiervoor – waar mogelijk – pragmatische oplossingen gegeven. In de werksessie 'veiligheidsformat en omgaan met onzekerheden' is stilgestaan hoe met de onzekerheden van de geautomatiseerde pipinganalyse in het licht van de veiligheidsfilosofie kan worden omgegaan. Deze memo betreft de conclusies en aanbevelingen van de werksessie 'van 3D ondergrondmodel naar 2D pipinganalyse'. De conclusies zijn weergegeven in aandachtspunten bij het automatiseren van pipinganalyses.

Bij de werksessie (23-2-2022) waren aanwezig: Gert Ruben van Goor (Fugro, CUB), Matthias Hauth (Victor, CUB), Silvia Bersan (Crucs, WAM en JAV), Jacco Hoogewoud. (Advies in Water), Ron Stroet (RHDHV), Raymond van der Meij



(Deltares), Esther Rosenbrand (Deltares, DIV), Han Knoeff (DIV). Het memo is inhoudelijk gereviewd door Albert Wiggers (Adviesteam Dijkontwerp)

Werkproces voor pipinganalyse

Het faalmechanisme piping bestaat uit een keten van mechanismen die achter elkaar optreden. In een reguliere pipinganalyse worden de mechanismen opdrijven/opbarsten, heave en terugschrijdende erosie beschouwd. Daarbij vormt de stijghoogte in de watervoerende zandlaag voor opbarsten en heave de effectieve belasting. Voor piping is naast de stijghoogte ook het vermogen van het grondwatersysteem om water aan te voeren vanuit het buitenwater van belang.. De stijghoogte kan met geohydrologische analyses worden bepaald.

In het schematiseringsproces kunnen de volgende stappen worden onderscheiden:

- Stap 0 Verzamelen gegevens. Het betreft o.a. informatie over
 - a) geometrie/maaiveldligging
 - b) bodemopbouw
 - c) eigenschappen grondlagen
- Stap 1 Opstellen ondergrondmodel
- Stap 2 Geohydrologische schematisatie en analyse (bepalen belasting)
- Stap 3 Schematisatie en analyse opbarsten en heave
- Stap 4 Bepalen stijghoogte en stromingsbeeld na opbarsten
- Stap 5 Analyse terugschrijdende erosie
 - a) Opstellen consistente 2D schematisatie voor terugschrijdende erosie
 - Bodemopbouw
 - Geometrie en voorland
 - Doorlatendheden en/of leklengte
 - Randvoorwaarden
 - b) Genereren rekenbestand
 - c) Uitvoeren analyse met regel van Sellmeijer of DPiping

In het project parametrisch ontwerpen wordt aangesloten op de pipingtool die door Waterschap Rivierenland (WSRL) is ontwikkeld. Het is de bedoeling dat de tool ook de Geohydrologische Aanpak Piping die bij Meanderende Maas is ontwikkeld ondersteunt¹. De stappen 1-5 zijn in de pipingtool van WSRL - in combinatie met de Geohydrologische Aanpak - beschikbaar. Nieuw daarbij is het 3D ondergrondmodel als uitgangspunt en de voorziene ontwikkeling om schematisaties voor toepassing in DPiping op te stellen. Hierover gaan de aandachtspunten in de volgende paragraaf.

Aandachtspunten bij het automatiseren van pipinganalyses

1 Afmetingen 3D model voor geohydrologische analyse

Een Geohydrologische analyse is nodig om de waterspanningen te bepalen. Waterspanningen vormen de belasting in de berekeningen naar opbarsten, heave en terugschrijdende erosie. Voor een geohydrologische analyse is het van belang dat het 3D ondergrondmodel niet alleen de ondiepere lagen (boven NAP – 5 m) maar ook die diepere watervoerende lagen bevat. In het lokaal verfijnde GeoTOP²

¹ Het betreft onder andere inladen van waterspanningen en van geohydrologische systeemeigenschappen uit een geohydrologisch model

² Standaard Geotop gaat tot 50 m, met voxels van 100x100x0.5 m.

model zijn de diepere watervoerende pakketten niet aanwezig,³ terwijl deze zeer relevant zijn voor de stijghoogten en stroming. Voor de geohydrologische analyse is inzicht in contact tussen de rivier en het diepere watervoerend pakket, en in de aan- of afwezigheid van een scheidende laag tussen de ondiepere en diepere zandlagen van belang. Het diepere en ondiepere watervoerende pakket zullen andere leklengtes hebben.

Combinatie van het lokaal verfijnde GeoTOP model met geohydrologische modellen zoals REGIS II of het UGM⁴ geohydrologische model kan helpen om inzicht in de diepere lagen te krijgen. Hierbij is een aandachtspunt de mogelijke witte vlekken of inconsistenties tussen de modellen.

2 Ruimtelijk inzicht in data en interpolatie in ondergrondmodel

Een belangrijke meerwaarde van een 3D model is dat deze inzicht biedt in variaties en heterogeniteit in de ondergrond. Echter moet daarbij worden opgemerkt dat een 3D model altijd is gebaseerd op interpretaties van en interpolaties tussen puntdata. Het is daarom belangrijk om in het ondergrondmodel onderscheid te maken tussen 'harde data' van boringen en sonderingen, en interpolatie/interpretatie. De onzekerheden bij het interpreteren en interpoleren hangt naast dichtheid van informatie ook af van de interpolatietechniek (bijv. lineair interpoleren tussen punten, geostatistische analyse, combinatie van geostatistiek en geologisch inzicht, etc.)⁵. Voor het vertalen van het ondergrondmodel naar een schematisatie voor toepassing in een rekenmodel is eveneens inzicht in de brondata nodig. Een 3D model kan helpen om de brondata visueel ontsluiten.

In de nieuwe tool zal de brondata (sonderingen en boringen) beschikbaar zijn. Het 3D model kan, samen met andere informatie, worden gebruikt voor het afleiden van een vakindeling (strekking met vergelijkbare karakteristieken waarbij de onzekerheid rondom parameters vergelijkbaar is). De experts zijn terughoudend om o.b.v. het 3D model binnen het vak een voorzet te geven voor een representatieve doorsnede voor toepassing in een semi probabilistische analyse voor terugschrijdende erosie.

Voor Sterke Lekdijken is een meer gedetailleerd Geotop opgesteld met extra boringen en sonderingen uit het grondonderzoek. Het gedetailleerde model heeft een diepte van 5 a 10 m, en rijkt in delen van het gebied niet tot aan onderzijde Holoceen. Voor beschouwing van piping is dat onvoldoende, zelfs voor opbarsten en heave. De parameters kunnen in gevallen waar de basis van het 1e watervoerende pakket ondieper is dan 50 m uit Geotop worden gehaald. In andere gevallen is Regis nodig. De parametrisering van lagen uit Geotop is nog niet geijkt.

³ De diepte van het Regis model varieert in Nederland, soms is het 100 m, soms wel 800 m. Voor piping levert Regis informatie over het eerste watervoerende pakket, essentieel voor piping. (k en D van Sellmeijer). REGIS kent geen detaillering in het Holoceen en is daarom voor pipinganalyses te grof en moet altijd worden gecombineerd met meer verfijnde modellen die de Holocene lagen beschrijven.

⁴ UGM staat voor Utrechts Grondwatermodel. Dat is een model vergelijkbaar met Moria, dat bij Rivierenland is gebruikt voor GOWA en Nederbetuwe, en vergelijkbaar met het basismodel dat voor Meanderende Maas/GAP is gebruikt. UGM bevat een lagenmodel dat is opgebouwd uit zowel Regis als Geotop. Het model bevat geohydrologische parameters uit Regis II.2 en is nog niet gekalibreerd.

⁵ De gebruiker moet inzicht hebben in de achtergrond(en) bij het 3D model. Dit moet goed beschreven worden in de metadata / bijsluiters.

Aanbevolen wordt een proces te ondersteunen waarbij de gebruiker zelf vanuit de informatie een of meerdere (scenario's⁶) schematisaties opstelt. Er worden risico's gezien in het automatiseren van dit proces (zie de aandachtspunten in dit memo en de memo omgaan onzekerheden). Het vraagt veel expertise (en is vaak moeilijker) om een voorgestelde schematisering te verifiëren. Het automatiseren van de vertaalslag van 3D ondergrondmodel naar 2D heeft bovendien het gevaar in zich van starheid en het onvoldoende betrekken van geohydrologische en geologische gebiedskennis

3 Consistentie in schematisatiekeuzes en parameterbepaling voor geotechnische analyse

Voor een piping analyse van is het van belang om bij het berekenen van opbarsten, heave en terugschrijdende erosie consistent om te gaan met schematisatiekeuzes en parameterwaarden. Vragen rondom consistentie van de schematisatiekeuzes kunnen ook spelen wanneer het gaat om keuzes voor doorlatendheid in combinatie met d_{70} of lek lengte in relatie tot kD van het watervoerend pakket. Deze keuzes zijn daardoor lastig te automatiseren.

Voor de analyse van terugschrijdende erosie met de rekenregel is een schematisatiehandleiding beschikbaar. De factsheet DGeoFlow geeft enkele handvatten voor schematisatie van een 2D analyse met DPiping waar ook aspecten als meerlaagsheid en anisotropie van het watervoerend pakket kunnen worden meegenomen.

Voor het automatiseren van een 2D ondergrondschematisatie uit een 3D ondergrondmodel ontbreekt kennis. Zo is de vraag hoe Geotop voxels naar geohydrologische parameters (doorlaatvermogen kD en weerstand c) kunnen worden vertaald. Wat is de verticale weerstand van een opeenstapeling van zand- en kleilaagjes?⁷ Wat is op geohydrologisch relevante schaal de representatieve verticale weerstand van een schaakbord-weerstandbeeld? Daarnaast kan een 3D ondergrondmodel kan niet zonder extra schematisatiestap worden gebruikt in een analyse van terugschrijdende erosie. Bijvoorbeeld de diepte van de deklaag kan variëren langs de pipe waarbij het rekenmodel uitgaat van een rechte laagscheiding of zandbanen en/of stroming die schuin onder de dijk lopen. (zie ook memo omgaan met onzekerheden bij automatiseren pipinganalyse). Een 3D model kan inzicht bieden in de variabiliteit in 3D, en om de kritieke locaties waar DPiping sommen relevant zijn te identificeren.

⁷ Niet besproken op de werksessie: Bij geohydrologen is veel discussie over het opschalen van Geotop voxels naar geohydrologische parameters (doorlaatvermogen kD en weerstand c). Het vertalen van een 3D ondergrondschematisatie met kleinschalige details naar een 2D schematisatie en parametrisatie voor een geohydrologisch model kan in principe wel geautomatiseerd worden maar vraagt kennis over geohydrologische parameters op een grotere schaal (honderden meters en groter). De sleutel hierbij zit in de kalibratie van een geohydrologisch model aan gemeten stijghoogteveranderingen bij een hoogwater. Dat levert precies de parameterwaarden op die relevant zijn op de schaal van het probleem: een hoogwatergolf. Dit valt echter buiten de scope van dit automatiseringstraject.



Een ondergrondmodel op basis van een 'best guess' ondergrond past beter bij probabilistische analyses dan bij een semi-probabilistische benadering. Een semi-probabilistische benadering vraagt een stap om onzekerheden te schematiseren (ondergrondmodel kan dan niet meer voor andere toepassingen worden gebruikt)

4 Herleidbaarheid data en schematisatie

Het is van belang dat bij het automatiseren zicht gehouden wordt op de herleidbaarheid van de data en schematisatie. Het onderscheid tussen data, (boringen/sonderingen), 3D ondergrondmodel en schematisatie voor de geotechnische analyse moet herleidbaar blijven.

Conclusies en aanbevelingen bij automatiseren pipinganalyses

1. Aanbevolen wordt om het GeoTOP model te combineren met/aan de vullen met aanvullende data (bijv. AHN, Regis, UGM grondwater model, boringen/sonderingen, geofysica) met name om de diepte die nodig is voor de geohydrologische analyses te krijgen. Aanbevolen wordt om het CUB-GeoTOP model (tot -10 m) te combineren met/aan de vullen met aanvullende data (bijv. standaard GeoTOP (tot -50 m), zandbanenkaart en top-zandkaart van Utrecht, boringen/sonderingen, geofysica) voor de holocene lagen en met aanvullende data (Regis II.2, UGM grondwater model) om de diepte die nodig is voor de geohydrologische analyses te krijgen.
2. Aanbevolen wordt om in het 3D ondergrondmodel onderscheid te maken tussen harde data en interpretatie/interpolatie om de adviseur in staat te stellen om een goede schematisatie op te stellen.
3. De vertaling van een 3D ondergrondmodel naar een schematisatie voor een semi-probabilistische berekening is een aandachtspunt. Het traject van invoerdata naar een modelschematisatie dient herleidbaar en consistent te zijn. Een vertaling is nodig om van een 3D ondergrondmodel naar een 1D of 2D schematisatie te gaan, een punt of dwarsdoorsnede uit het 3D model is vaak ongeschikt voor de modellen en in relatie tot het veiligheidsformat. Het ontbreken van de kennis om deze vertaalslag te automatiseren is een risico. Aanbevolen wordt om het model alleen te automatiseren voor de stappen die geautomatiseerd kunnen worden.
4. Een geautomatiseerd 3D ondergrondmodel kan meerwaarde hebben voor bijvoorbeeld: het identificeren van kritieke locaties, in combinatie met een grondwaterstromingsmodel voor het bepalen van de richting van stroombanen en daarmee de richting van pipegroei, voor het visualiseren van ondergronddata in 3D. Aanbevolen wordt om de toepassingen waarvoor het geautomatiseerde 3D model meerwaarde heeft te identificeren en het alleen daarvoor toe te passen, bijvoorbeeld de gebruiker aan de hand te nemen door het schematisatieproces en deze niet te vervangen door algoritmen: zelf keuzes maken waarbij relevante info beschikbaar is.

