

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

Omgaan met onzekerheden

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 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 worden door DIV een tweetal werksessies georganiseerd. In de werksessie 'Van 3D ondergrondmodel naar 2D pipinganalyse' wordt 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 worden de kennisleemten benoemd en hiervoor – waar mogelijk – pragmatische oplossingen gegeven. In de werksessie 'veiligheidsformat en omgaan met onzekerheden' wordt 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 'veiligheidsformat en omgaan met onzekerheden'. De conclusies zijn weergegeven in aandachtspunten bij het automatiseren van pipinganalyses.



Bij de werksessie waren Petar Lubking (Van Oord), Yoeri Jongerius (Van Oord), Wim Kanning (Deltares), Ruben Jongejan (Adviesteam Dijkontwerp) en Han Knoeff (DIV) aanwezig.

Werkproces voor pipinganalyse

Bij een pipinganalyse kunnen een aantal generieke stappen worden onderscheiden:

1. Verzamelen informatie. Het betreft informatie over
 - a. geometrie/maaiveldligging
 - b. bodemopbouw
 - c. eigenschappen grondlagen
2. Schematiseren ondergrond en dijkdoorsnedes
3. Uitvoeren analyse
 - a. Belasting
 - b. sterkte

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 de effectieve belasting. De stijghoogte kan met geohydrologische analyses worden bepaald.

Beoogde automatiseringen in het project parametrisch ontwerpen

In het project parametrisch ontwerpen wordt een tool ontwikkeld die de volgende onderdelen van de pipinganalyse automatiseert:

1. De tool koppelt en ontsluit de volgende data
 - a. maaivelddata (bijvoorbeeld AHN),
 - b. 3D ondergrondmodel (verfijnd GeoTopmodel met raster van 25x25x0,25m), gef bestanden van sonderingen. Van gef bestanden kunnen automatisch interpretaties worden gemaakt welke handmatig kunnen worden aangepast.
 - c. csv bestanden met parameters van grondlagen. De parameters van grondlagen kunnen handmatig worden aangepast.
2. Een dijkvakverdeling kan worden ingelezen en locaties kunnen worden geselecteerd voor opbarst- en heaveberekeningen en analyses van terugschrijdende erosie.
3. De gebruiker kan kiezen voor 1D, 2D of 3D stijghoogteanalyses (dempingsfactor, 2D-berekening volgens TRWD of numeriek 3D-geohydrologisch model).
4. De tool ondersteunt 1D opbarst- en heaveberekeningen en 2D-analyses met de rekenregel van Sellmeijer of DGeoFlow. Voor 2D analyses met de rekenregel van Sellmeijer moeten leklengtes worden opgegeven. De tool ondersteunt ook het maken van schematisaties (uit een 3D ondergrondmodel) voor berekeningen met DPiping door het automatisch genereren van een rekenbestand. Voor bepaling van de waterspanningen wordt daarbij een passend geohydrologisch model gebruikt.

In het project parametrisch ontwerpen wordt aangesloten qua aanpak op de pipingtool die door Waterschap Riverenland (WSRL) is ontwikkeld, inclusief de manier van meenemen van voorlanden. Het is de bedoeling dat de tool ook de Geohydrologische Aanpak Piping die bij Meanderende Maas is ontwikkeld ondersteunt.

Aandachtspunten bij het automatiseren van pipinganalyses

Het automatiseren van onderdelen van de pipinganalyse kan een krachtig hulpmiddel zijn voor het ontwerpproces. Daarbij gelden de volgende aandachtspunten:

1. Inhoudelijk correct - hazard consistentie
2. Betrouwbaar - Onzekerheden consistent meenemen
3. Toepasbaar – Ondersteunt werkproces

1 Hazard consistent – inhoudelijk correct

Voor analyses van terugschrijdende erosie is het belangrijk dat schematisatie van stijghoogte (belasting) en weerstand tegen erosie (sterkte) zoveel mogelijk consistent met elkaar zijn. Zowel de stijghoogte als de weerstand tegen erosie zijn afhankelijk van dezelfde ondergrond. Een conservatieve schematisatie van de ondergrond (lage kD waarde) voor bepaling van de lek lengte is een optimistische schematisatie voor de analyse van de weerstand tegen erosie. Een conservatieve waarde van de d70 voor het korrelevenwicht is een optimistische waarde voor de bepaling van de doorlatendheid. In de praktijk zal er altijd inconsistentie zijn in de schematisering van belasting en sterkte en tussen de mechanismes opbarsten, heave en piping . Het is een kunst om een schematisatie te maken die in totaliteit veilig maar niet bovenmatig conservatief is.

Voor 1D analyses van opbarsten en heave is het eenvoudig om de schematisatie van belasting en sterkte op elkaar af te stemmen (ook bij een 2D of 3D geohydrologisch model)¹. Bij 2D analyses van terugschrijdende erosie, waarin stijghoogten uit een regionaal geohydrologisch model worden gekoppeld met een 2D of 3D schematisatie van de ondergrond wordt het ingewikkelder om deze intern consistent en consistent te krijgen met opbarsten en heave. De handreiking GAP zal hiervoor handvatten geven. Bij volledige 3D analyses is het bijna onmogelijk om een schematisering van belasting en sterkte te maken die veilig is maar niet bovenmatig conservatief en consistent met opbarsten en heave. Het vraagt veel kennis en expertise van gebruikers om de consequenties van schematisatiekeuzen te beoordelen. Automatiseren van het schematiseringsproces bij 3D analyses kan hierbij ondersteuning bieden maar ook negatief uitpakken (als berekeningsresultaten direct als waar worden aangenomen).

Voor opdrijven en opbarsten is de hazard consistentie doorgaans geen issue/eenvoudig te bewerkstelligen. Hier kan met een 3D ondergrondmodel een analyse van de stijghoogte worden gemaakt waarna voor elke willekeurige locatie een 1D analyse inzicht geeft van de kans op opdrijven en opbarsten.

¹ Theoretisch wijkt de schematisering van de waterspanningen bij heave af van de schematisering van waterspanningen bij opbarsten. Bij heave is de toplaag immers opgebarsten.

2 Omgaan met onzekerheden – betrouwbare informatie

In de WBI schematiseringshandleiding voor de analyse van piping wordt uitgegaan van uniforme vakken. Voor het vak wordt een representatieve (gemiddelde) doorsnede gekozen. De onzekerheid van de bodemopbouw wordt met scenario's geschematiseerd. De grondparameters worden als stochast meegenomen. Voor dit veiligheidsformat zijn veiligheidsfactoren afgeleid. Wanneer wordt afgeweken van het veiligheidsformat, bijvoorbeeld wanneer met een conservatieve doorsnede wordt gerekend, zijn de veiligheidsfactoren in principe niet geldig. Enkele kleine afwijkingen hebben daarbij vanzelfsprekend een minder groot effect dan veel of grote afwijkingen. Wanneer afwijkingen groter zijn is een probabilistische verificatie gewenst. Aandachtspunten zijn dat er goed moet worden gekeken naar correlaties tussen parameters en of de gebruikte onzekerheden goed aansluiten bij de gebruikte data.

Voor een pipinganalyse worden rekenmodellen gebruikt die uitgaan van een vereenvoudiging van de werkelijkheid. In het schematisatieproces wordt de werkelijkheid vertaald naar een invoer van het rekenmodel. De wijze waarop de ondergrond wordt geschematiseerd in een ondergrondmodel wordt dus bepaald door het rekenmodel. Afhankelijk van het rekenmodel is een meer of minder fijnmazige schematisatie van de ondergrond nodig. Voor de bepaling van stijghoogte zijn 3D modellen beschikbaar waarvoor 3D ondergrondmodellen kunnen worden opgesteld. Voor bepaling van de weerstand tegen terugschrijdende erosie dient de werkelijkheid verder te worden geschematiseerd. De beschikbare modellen die de weerstand beschrijven zijn namelijk 1D en 2D-modellen. De analyse van terugschrijdende erosie met de respectievelijk de rekenregel van Sellmeijer en DPiping is een 1D respectievelijk 2D ondergrondschematisatie nodig. Een passende 1D ondergrondschematisatie is daarbij in de regel niet gelijk aan een uitsnede van een 2D ondergrondmodel en een 2D passende ondergrondschematisatie is in de regel niet gelijk aan een uitsnede uit een 3D ondergrondmodel. De complexe realiteit moet namelijk steeds worden vertaald naar een schematisatie die past bij het gebruikte model. Zo zijn ook voor 2D-pipinganalyses en 2D-macrostabieleitsanalyses andere ondergrondeigenschappen relevant, en is een passende schematisering van de laagopbouw vrijwel nooit gelijk.

Als de uittredepuntenmethode uit de WSRL pipingtool gevolgd wordt voor pipinganalyses zijn nog enkele generieke punten van belang:

- Het combineren van de pipinganalyses naar een traject. Een van de grote voordelen van de uittredepunten methode is de grote dichtheid waarmee sommen kunnen worden gemaakt, waardoor een deel van de ruimtelijke onzekerheid wegvalt en het lengte-effect drastisch reduceert. Echter, zolang er op basis van doorsnede-eisen wordt geanalyseerd in plaats van resultaten te combineren naar trajecten of vakken, kan dit winstpunt niet meegenomen worden en blijft er een onnodig conservatisme in de methode.
- Door het uitvoeren van grote hoeveelheden berekeningen kunnen ondergrondscenario's met kleine kans van optreden maar grote kans op falen gegeven aanwezig (één van redenen van de grote faalkansen in VNK) snel over het hoofd worden gezien. De onderbouwing dat de kans op



deze scenario's voldoende klein is, stelt echter wel eisen aan de dichtheid en kwaliteit van de invoer.

Bij gebruik van een 3D ondergrondmodel voor bepaling van de stijghoogte voor een pipinganalyse verdienen de volgende punten aandacht. In de handreiking GAP zullen hiervoor handvatten worden gegeven

- Is er sprake van lokale ondergrondfenomenen waarvan de ligging onbekend/onzeker is? Dergelijke schematiseringonzekerheid is in een 1D of 2D-model relatief gemakkelijk mee te nemen door met scenario's te werken die elk een eigen kans van voorkomen hebben. In een 3D-analyse is dit een stuk ingewikkelder omdat dan niet alleen de aanwezigheid van een fenomeen relevant is maar ook de precieze ligging ervan. Dit is vooral van belang als deze schematiseringonzekerheid van grote invloed is op de uitkomsten.
- Geohydrologische modellen worden niet altijd ontwikkeld met het doel voorspellingen van stijghoogtes bij extreme waterstanden te leveren. Parameters die voor het vrijwel dagelijkse grondwaterstromingsbeeld weinig relevant zijn, zijn dat mogelijk wel bij extreme forcering. Ook dient rekening te worden gehouden met mogelijke veranderingen in bijv. de intredeweerstand bij hoogwater (bijv. wegspoelen sliblagen).
- Een 3D-model geeft inzicht in de stroomrichting bij hoogwater. Deze stroomrichting is niet noodzakelijkerwijs loodrecht op de dijk. Dit is relevant voor een goede beschrijving van de weerstand bij gebruik van een 2D-sterktemodel.
- Een geohydrologisch model kent, zoals elk model, voorspelonzekerheid. Het is van belang dat deze onzekerheid wordt meegenomen in beoordelingen en ontwerpverificaties. Dit kan door behoudend te schematiseren (of juist niet – afhankelijk van het beslisprobleem) of door de onzekerheden rond verwachte stijghoogtes te beschrijven met kansverdelingen.
- Vanzelfsprekend neemt de betrouwbaarheid van het geohydrologisch model toe wanneer deze is gekalibreerd met monitoringgegevens van een hoogwatersituatie. De waarde van voorspellingen is beperkt wanneer er geen monitoringgegevens zijn.

Generiek hebben 1D, 2D en 3D-modellen voor geohydrologische analyses elk sterke en zwakke punten. Het modelleren van parameter- en schematiseringonzekerheid is in 1D of 2D veel eenvoudiger dan in 3D. Daar staat tegenover dat bepaalde gedragingen van het fysisch systeem (bijv. grondwaterstroming in rivierbochten) alleen met 3D-modellen goed zijn te modelleren. Door de uitkomsten van 1D, 2D en 3D-modellen te vergelijken kan steeds een passende modellering voor de analyse van piping worden gekozen. Specifiek kan de tool die wordt ontwikkeld hierbij wellicht ondersteunen, door het mogelijk te maken om snel de uitkomsten van verschillende soorten geohydrologische modellen te vergelijken.

3 Helder werkproces – toepasbare informatie

Het automatiseren van schematisatiestappen kan een krachtig hulpmiddel voor het ontwerpproces zijn. Dit is wel afhankelijk van de toepassing. Het is zeer belangrijk om de context van het gebruik of beoogd gebruik vroegtijdig vast te

stellen. Zonder deze context aan het begin van het project vast te stellen kan het automatiseringsproject behoorlijk uit de bocht vliegen.

Bij gebruik van het 3D ondergrondmodel voor het automatiseren van pipinganalyses zijn een aantal van de aspecten die bij 1 en 2 zijn genoemd slecht oplosbaar. Afhankelijk van de context zijn deze soms echter minder belangrijk dan de voordelen van een 3D-modellering.

Benoemde aandachtspunten kunnen worden gebruikt voor het identificeren van stappen in het schematiseringsproces automatisering de meerwaarde heeft. Daarbij wordt aanbevolen ook breder dan piping te kijken. Voor schematisering van de stijghoogte tonen veel schematiseringsstappen voor piping grote overeenkomst met schematiseringsstappen voor macrostabiliteit. Grote meerwaarde wordt gezien.

- Bij toepassing van een 3D ondergrondmodel voor het opsporen van kritieke locaties en/of situaties waarin een 2D-modellering een vertekend beeld geeft (bijv. bij toestroming in rivierbochten).
- Bij toepassing en visualisatie van 3D ondergrondmodel bij de verificatie van de schematisatie van 1D en 2D analyses. Met het 3D ondergrondmodel kan makkelijker met onzekerheden en ondergrondscenario's in 1D en 2D analyses worden omgegaan.

In een analyse van piping worden continue keuzes gemaakt. Vaak wordt begonnen met beperkte informatie en eenvoudige rekenmodellen. Afhankelijk van de situatie wordt vervolgens gekozen om meer gegevens in te winnen, andere (probabilistische) rekentechnieken in te zetten, de fysica beter te modelleren. Voorkomen moet worden dat het 3D ondergrondmodel en het automatiseringsproces de keuze bepaald.

Conclusies en aanbevelingen bij automatiseren pipinganalyses

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. Tijdens een werksessie over omgaan met onzekerheden in het automatiseringsproces zijn de volgende conclusies ~~en~~ getrokken en aanbevelingen gedaan.

1. 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 wordt gebruikt.
2. Hoewel de tool zich richt op piping is het gedeelte dat zich richt op de berekening van stijghoogtes potentieel ook waardevol voor verificaties van de macrostabiliteit.
3. De waarde van de automatisering is afhankelijk van de toepassing. Het is zeer belangrijk om de context van het gebruik of beoogd gebruik vroegtijdig vast te stellen en duidelijk vast te leggen. Zo wordt duidelijker wat gebruikers van de tool mogen verwachten, en wat de ontwikkelaars van de tool van gebruikers mogen verwachten.



4. Onzekerheden in het schematiseringsproces dienen daarbij transparant te worden beschreven. Aansluiting bij het gebruikelijke veiligheidsformat wordt daarbij aanbevolen. Onzekerheden in geohydrologie en ondergrond worden daarin met scenario's beschreven. Bij een 3D-ondergrondmodel zullen vereenvoudigingen vrijwel zeker nodig om de complexiteit te beheersen (een volledig random-field model met onzekere, lokale ondergrondfenomenen is buitengewoon ingewikkeld).
5. Wanneer wordt afgeweken van het veiligheidsformat zijn de veiligheidsfactoren in principe niet geldig. Wanneer afwijkingen groter zijn is een probabilistische verificatie noodzakelijk voor een nauwkeurig(er) beeld.
Met de WSRL-uittredepuntentool zijn ook probabilistische berekeningen uitgevoerd. De rekeninput is daarbij geëxporteerd als csv bestand en in batch mode doorgerekend met de Probabilistisc ToolKit. Ook is een methode ontwikkeld voor het 'bottom-up' combineren van faalkansen per locatie tot faalkansen op trajectniveau. In D-Piping komt ook de mogelijkheid om probabilistische piping berekeningen uit te voeren (terugschrijdende erosie). Aanbevolen wordt om op deze ontwikkelingen aan te sluiten om dubbel werk te voorkomen.
6. Voor analyses van terugschrijdende erosie is het belangrijk dat de schematisatie van de ondergrond ten behoeve van stijghoogtevoorspellingen (belasting) en de schematisatie van de weerstand tegen erosie (sterkte) zoveel mogelijk consistent met elkaar zijn. Zowel de stijghoogte als de weerstand tegen erosie zijn afhankelijk van dezelfde ondergrond. Een conservatieve schematisatie van de ondergrond voor de belasting is daarbij een optimistische schematisatie voor de sterkte. Het is een kunst om een schematisatie te maken die in totaliteit veilig maar niet bovenmatig conservatief is. Dit geldt ook voor de consistentie tussen de mechansimes opbarsten, heave en terugschrijdende erosie: deze dienen ook consistent in samenhang te worden beschouwd.
7. Toepassing van een 3D grondwaterstromingsmodel heeft een aantal grote voordelen maar ook nadelen door de relatief grote complexiteit. Zo is het modelleren van schematiseringonzekerheid in een 3D-ondergrondmodel relatief ingewikkeld. Het spiegelen van verschillende soorten modellen (1D, 2D, 3D) kan helpen bij het maken van passende modelkeuzes.
8. Het vlakdekkend of voor zeer veel locaties evalueren van de sterktemodellen voor opbarsten, piping en heave kan helpen bij het opsporen van kritieke locaties.
9. Doorsnedes uit een 3D ondergrondmodel zijn niet zondermeer geschikt voor analyse van terugschrijdende erosie met een 1D of 2D-model. Deze analyses vragen, afhankelijk van het toe te passen rekenmodel, een bij het model passende 1D of 2D schematisatie van de ondergrond. Voor een 2D-macrostabiteitsanalyse is een passende 2D-beschrijving van de ondergrond ook anders dan voor een 2D-pipinganalyse. Een 3D ondergrondmodel kan ondersteuning bieden aan het opstellen van een passende schematisatie, maar het belang van een deskundige blik haast onmogelijk wegnemen.
10. Voor analyse van terugschrijdende erosie wordt meerwaarde gezien bij toepassing van een 3D ondergrondmodel voor het opsporen van kritieke locaties



en/of situaties waarin een 2D-modellering een vertekend beeld geeft (bijv. bij toestroming in rivierbochten).

Meerwaarde wordt ook gezien bij toepassing en visualisatie van 3D ondergrondmodel in combinatie met de verschillende databronnen, en bij de verificatie van de schematisatie van 1D en 2D analyses. Met het 3D ondergrondmodel kan makkelijker met onzekerheden en ondergrondscenario's in 1D en 2D analyses worden omgegaan. Het combineren/inladen van andere kaart-lagen kan daarbij ook interessant zijn (bijvoorbeeld wellenkaart/zandbanenkaart).

