



Bestuur van Waterschap Aa en Maas
T.a.v. de heer P. van Dijk
Postbus 5049
5201 GA 's-Hertogenbosch

Hoogwaterbeschermingsprogramma
T.a.v. de heer E. Wagener
Postbus 2232
3500 GE Utrecht

Onderwerp: advies Geohydrologische Aanpak Piping
Datum: 16 februari 2021
Bijlagen: -
Afschrift aan: DGWB, Slootmaker

Ons kenmerk: ENW-21-02
Uw kenmerk: 911378
Contactpersoon: ir. M. Hazelhoff
Functie: coördinator ENW
E-mail: marieke.hazelhoff@rws.nl
Telefoon: 06-46935746

Geachte heer Van Dijk, geachte heer Wagener,

In uw brief van 5 november 2020 met kenmerk 911378 vraagt u het Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW) advies uit te brengen over de toepassing van regionale geohydrologische modellen voor piping.

Voor het dijkversterkingsproject Ravenstein-Lith is een projectgebonden subsidie verleend door het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) om te onderzoeken hoe geohydrologische informatie en modellen gebruikt kunnen worden om stijghoogtes beter in te schatten om zo de pipingopgave nauwkeuriger vast te stellen. Regionale geohydrologische modellen worden hierbij gekoppeld aan de reguliere sterktemodellen voor opbarsten, heave en terugschrijdende erosie. De Geohydrologische Aanpak Piping (GAP) is ontwikkeld voor algemene toepasbaarheid en getest op de casus Meanderende Maas.

Het voorliggende advies is gebaseerd op het op 2 december 2020 beschikbaar gestelde synthesesrapport *Geohydrologische Aanpak voor Piping* (met bijlagen) en het achtergrondrapport *Kwantificering onzekerheden stijghoogte* van november 2020.

Aan het ENW zijn de volgende vier vragen gesteld:

1. Wat is uw mening over het gebruik van regionale geohydrologische modellen voor het voorspellen/bepalen van stijghoogtes bij hoogwateromstandigheden ten behoeve van beoordelingen en ontwerpverificaties voor het faalmechanisme piping?
2. In de ontwikkelde methode is de 95%-waarde van de stijghoogte onder hoogwateromstandigheden berekend gebruikmakend van een geohydrologisch model in combinatie met een aanpak voor het kwantificeren van onzekerheden. Heeft u aanbevelingen ten aanzien van de opzet (kalibratie en validatie) van het geohydrologisch model en de omgang met onzekerheden voor de ontwikkelde methode?
3. De aanpak zoals beschreven in de samenvatting is ontwikkeld met als doel brede toepassing, en hij is getest op de casus Meanderende Maas. Vindt u dat de aanpak goed is toegepast voor de casus Meanderende Maas?
4. Ziet u specifieke aanbevelingen voor de bredere toepassing van regionale geohydrologische modellen bij andere dijktrajecten en voor andere faalmechanismen?



Algemeen

Het gebruik van regionale geohydrologische modellen voor het verkrijgen van een beter inzicht in de pipingopgave acht het ENW een belangrijke stap en een positieve ontwikkeling. De algemene indruk van de studie is dat degelijk onderzoek is uitgevoerd, waarbij veel experts zijn geraadpleegd.

De GAP-studie maakt het belang duidelijk van het betrekken van de geohydrologie in de omgeving van een dijkvak bij het bepalen van de grondwaterstroming en stijghoogtes. De verfijndere modellering doet meer recht aan de lokale omstandigheden en draagt daarmee bij aan het verkleinen van onzekerheden in de stijghoogte. Naast het nauwkeuriger bepalen van de pipingopgave, biedt de aanpak ook meer mogelijkheden voor maatwerk in de dijkversterking.

Regionale geohydrologische modellen zijn eerder ingezet in dijkversterkingsprojecten (bijvoorbeeld Schoonhovense Veer-Langerak en Gorinchem-Waardenburg), in GAP is echter voor het eerst op een systematische manier uitgewerkt hoe de onzekerheden in de modellering verantwoord kunnen worden meegenomen in het bepalen van de stijghoogtes die relevant zijn voor piping.

De adviesvragen hieronder zijn specifiek gericht op het omgaan met onzekerheden binnen de gepresenteerde GAP-aanpak. De algemene indruk is dat hiervoor een degelijke methode is uitgewerkt die alle benodigde ingrediënten behelst.

De methodiek is getest op het dijkversterkingsproject Meanderende Maas. Binnen de uitgewerkte methodiek zijn in deze case study nog veel vereenvoudigende aannames gemaakt, merendeels door conservatieve uitgangspunten te kiezen. Binnen de projectrandvoorwaarden waren dergelijke aannames nodig. Om de methode breder toepasbaar te maken is echter nog nadere uitwerking nodig om op een verantwoorde manier minder conservatieve uitgangspunten te hanteren. In de beantwoording van de vragen is dan ook bewust onderscheid gemaakt tussen de voorgestelde methodiek en de specifieke uitwerking voor Meanderende Maas.

Beantwoording van de vragen

1. *Wat is uw mening over het gebruik van regionale geohydrologische modellen voor het voorspellen/bepalen van stijghoogtes bij hoogwateromstandigheden ten behoeve van beoordelingen en ontwerpverificaties voor het faalmechanisme piping?*

De GAP-studie laat duidelijk zien wat het belang is van het betrekken van de geohydrologie in de omgeving van een dijkvak bij het bepalen van de grondwaterstroming en stijghoogtes. Dit uit zich bijvoorbeeld in de sterke contrasten tussen buiten- en binnenbochten. De modellering wordt op deze manier veel realistischer en faciliteert maatwerk. In beoordelingen en ontwerpverificaties voor het faalmechanisme piping zal de verbeterde modellering dan ook in belangrijke mate bijdragen aan het expliciteren van onzekerheden.

Een belangrijk element in het voorspellen van stijghoogtes bij hoogwateromstandigheden is de onzekerheid in de verandering van de stijghoogterespons bij waterstanden die ver buiten het bereik liggen waarbinnen de kalibratie heeft plaatsgevonden. Onder (2) wordt hierop nader ingegaan.

Het maatwerkkarakter van regionale geohydrologische modellen wordt als positieve ontwikkeling gezien, geheel in lijn met de aanbevelingen in het ENW-advies over meer geloofwaardige overstromingskansen¹

¹ [Advies Overstromingskansen - ENWinfo](#), 4 februari 2020



en het strategisch-thematisch advies *Hoe meer te halen uit beoordelingen op maat?*² In de concrete uitwerking in de testcasus Meanderende Maas zijn veel vereenvoudigende aannames gedaan met een conservatief karakter. In toekomstige doorontwikkeling van de methode is het wenselijk om nog meer te streven naar het zo goed mogelijk bepalen van de overstromingskans in plaats van een conservatieve schatting ervan.

2. *In de ontwikkelde methode is de 95%-waarde van de stijghoogte onder hoogwateromstandigheden berekend gebruikmakend van een geohydrologisch model in combinatie met een aanpak voor het kwantificeren van onzekerheden. Heeft u aanbevelingen ten aanzien van de opzet (kalibratie en validatie) van het geohydrologisch model en de omgang met onzekerheden voor de ontwikkelde methode?*

De methode voor het bepalen van de 95%-kwantielwaarde (c.q. karakteristieke waarde of de waarde met 5%-overschrijdingskans) van de stijghoogterespons berust in de kern op een Monte-Carlosimulatie met het geohydrologische model. De uitkomsten van de simulatie zijn realisaties van de stijghoogterespons, gebaseerd op alle gemodelleerde onzekerheden. De verdeling van deze realisaties wordt wederom gebruikt om de 95-kwantiel te bepalen.

Het ENW acht het in een dergelijke aanpak noodzakelijk dat met de volgende onzekerheden en aspecten expliciet rekening wordt gehouden:

- parameteronzekerheid van relevante parameters (bijvoorbeeld doorlatendheden), inclusief statistische onzekerheid en eventuele meeton nauwkeurigheid;
- ruimtelijke variabiliteit (bijvoorbeeld ruimtelijke correlaties van grondeigenschappen);
- modelonzekerheid (zowel fysica-model als probabilistisch model).³

Deze elementen zijn allemaal in de beschreven methode geadresseerd, waardoor de methode compleet wordt geacht. Voor alle componenten is een uitwerking op uiteenlopend detailniveau mogelijk. In de case studie Meanderende Maas zijn veel vereenvoudigende aannames gemaakt, merendeels door conservatieve uitgangspunten te kiezen. Voor toekomstige ontwikkelingen en toepassingen is het dan ook essentieel dat in de producten van het innovatieproject duidelijk onderscheid wordt gemaakt tussen de methodiek zelf, de aanbevolen best practices en de projectspecifieke uitwerking (deels ingegeven door de projectrandvoorwaarden).

Een belangrijk element in het voorspellen van stijghoogtes bij hoogwateromstandigheden is de onzekerheid in de verandering van de stijghoogterespons bij waterstanden die veel hoger zijn dan het bereik waarin het geohydrologisch model gekalibreerd is. Voorbeelden van veranderingen in de fysieke condities bij hoogwater zijn: (i) afnemende intredeweerstand op de rivierbodem door eroderende sliblagen, (ii) overstromen van uiterwaarden inclusief aanwezige watergangen of (iii) aanpassingen of uitval van grondwateronttrekking. Hoewel sommige van de veranderingen expliciet kunnen worden opgenomen in de modellering, inclusief onzekerheid, is duidelijk dat modelonzekerheid in de stijghoogtevoorspelling toeneemt naarmate het hoogwater verder verwijderd is van de condities waarop gekalibreerd is.

De aanbeveling voor de modelonzekerheid is dan ook om rond de gekalibreerde waterstanden uit te gaan van de in de kalibratie bepaalde standaardafwijking (RMSE) en een hogere maat van modelonzekerheid

² [Hoe meer te halen uit beoordelingen op maat? \(strategisch-thematisch advies\) - ENWinfo](#), 4 december 2017

³ De term 'modelonzekerheid' wordt in verschillende vakgebieden verschillend gedefinieerd. In de waterveiligheid en constructieve veiligheid is de modelfout gedefinieerd als afwijking tussen modelvoorspelling en werkelijk optredende waarde. Modelonzekerheid is dan ook het element in onzekerheids- en betrouwbaarheidsanalyses dat de modelfout adresseert, inclusief onzekerheid. In de praktijk wordt dit doorgaans gedaan door een multiplicatieve of additieve modelfactor toe te passen op de modeluitkomst.



toe te passen voor hogere waterstanden. Deze modelonzekerheid kan uiteraard niet op metingen in het project zelf worden gebaseerd. De aanbeveling is dan ook om de modelonzekerheid voor hogere waterstanden te baseren op expertschattingen, mede gebaseerd op vergelijkingen van metingen en modelvoorspellingen op andere locaties die wel bij hoogwaters zijn gedaan.

Het probabilistische model werkt nu met een beperkt aantal Monte-Carlorealisaties, waarop een kansverdeling wordt gefit ter bepaling van de 95%-kwantielwaarde. Deze fitprocedure introduceert additionele onzekerheden. De keuze voor deze procedure lijkt ingegeven door de lange rekentijden van het geohydrologische model en de projectrandvoorwaarden. Voor toekomstige doorontwikkeling van de aanpak is het wenselijk om van de stand der techniek gebruik te maken om de onzekerheden door de gehanteerde rekentechniek te verkleinen. Hierbij kan enerzijds worden gedacht aan importance sampling-technieken die ervoor zorgen dat de berekeningen van het geohydrologische model geconcentreerd worden in het relevante bereik van parameters, of anderzijds aan cloud computing om het aantal modelberekeningen te verhogen.

Een aandachtspunt voor de geohydrologische modellering zelf is de conditie van opdrijven of opbarsten. Het geohydrologisch model houdt geen rekening met de randvoorwaarde dat de stijghoogte lokaal begrensd is door het gewicht van de aanwezige deklaag (oftewel het grenspotentiaal). Dit wordt ook onderkend in de rapportage. Vergeleken met de huidige modellering zal meenemen van dit aspect tot een realistischer en dikwijls gunstiger waterspanningsbeeld leiden.

3. *De aanpak zoals beschreven in de samenvatting is ontwikkeld met als doel brede toepassing, en hij is getest op de casus Meanderende Maas. Vindt u dat de aanpak goed is toegepast voor de casus Meanderende Maas?*

De toepassing van de methode op de testcasus Meanderende Maas behelst zoals eerder beschreven veel vereenvoudigingen om binnen de projectrandvoorwaarden tot een resultaat te komen. De meeste vereenvoudigingen berusten volgens de toegeleverde rapportage op conservatieve uitgangspunten. Zo redenerend zijn de berekende stijghoogtes een veilig uitgangspunt om het dijkversterkingsontwerp op te baseren en eventuele winst in termen van kortere kwelschermen en pipingbermen te verzilveren. Of alle gekozen uitgangspunten daadwerkelijk conservatief zijn, is overigens niet door het ENW nagegaan. Dat is verantwoordelijkheid van de kwaliteitsborging van het project.

Er zijn twee specifieke aandachtspunten voor het baseren van het dijkversterkingsontwerp op de resultaten van de methode in de testcasus Meanderende Maas:

- *Modelonzekerheid:* Zoals in het antwoord op vraag 2 beschreven acht het ENW het noodzakelijk om rekening te houden met de modelonzekerheid gerelateerd aan het voorspellen van de stijghoogtes bij hoogwaters die ver boven de waterstanden liggen waarop het geohydrologisch model gekalibreerd is. In de manier waarop nu wordt omgegaan met de modelonzekerheid is dit aspect nog onderbelicht.
- *Langetermijnveranderingen:* Het geohydrologische model is geijkt op de huidige toestand van het systeem. Voor een schatting van de huidige overstromingskans is dat voldoende. Voor de zichtperiode van een dijkversterking van normaliter 50 jaar is het daarentegen belangrijk om te anticiperen op mogelijke langetermijnveranderingen, bijvoorbeeld door middel van scenarioberekeningen, en het toekennen van kansen aan deze scenario's. Een voorbeeld hiervan zijn veranderingen in de riviermorphologie zoals daling van de bodemligging door erosie. Ook andere veranderingen in randvoorwaarden kunnen op de lange termijn spelen.

De rapportage beschrijft de gekozen uitgangspunten en gaat in op het conservatisme in deze. Naast het onderbouwen van projectkeuzes is dit ook belangrijk voor bredere toepassing van de methode in andere projecten zodat het onderscheid tussen projectspecifieke keuzes en algemene uitgangspunten van de methode duidelijk is voor toekomstige gebruikers.



Het kiezen van conservatieve uitgangspunten is overigens, hoewel vaak begrijpelijk vanuit het oogpunt van de doelen en randvoorwaarden van een project, niet de ideale situatie in de overstromingskans-benadering. Omdat in het rapport wel erg vaak een conservatieve aanname wordt gedaan,⁴ had op zijn minst ook een meest realistische waarde (of aannemelijke) waarde moeten worden ingeschat om inzicht te verschaffen in de bandbreedte van de stijghoogte.

Opgemerkt wordt dat de keuze voor een geohydrologisch model in de ontwerpfase ook gevolgen heeft voor de beoordelingsfase, omdat in de beoordeling immers niet meer volstaan kan worden met het standaard instrumentarium. Het ENW vindt dit niet problematisch omdat het beoordelen van een gerealiseerd ontwerp ook gezien kan worden als antwoord op de vraag of de waterkering nog passend is binnen de marges van het ontwerp. De beheerder moet dan wel hierop voorbereid zijn: in de ontwerpfase moeten dan de marges en de noodzakelijke monitoring zijn aangegeven.

4. *Ziet u specifieke aanbevelingen voor de bredere toepassing van regionale geohydrologische modellen bij andere dijktrajecten en voor andere faalmechanismen?*

Naast de aanbevelingen in de antwoorden op de vragen 2 en 3 hebben we de volgende aanbevelingen voor toepassing bij andere dijktrajecten:

- *Modelonzekerheid en kalibratie:* De modelonzekerheid wordt idealiter gekoppeld aan de kwaliteit van de kalibratie, waardoor situaties worden 'beloond' waarbij wordt gekalibreerd op metingen. Daarbij neemt de modelonzekerheid af voor hogere waterstanden naarmate de kalibratie is gebaseerd op hogere waterstanden of condities die meer lijken op de maatgevende condities.
- *Langetermijnveranderingen:* Voor de zichtperiode van een dijkversterking van normaliter 50 jaar is het belangrijk om te anticiperen op mogelijke langetermijnveranderingen, bijvoorbeeld door middel van scenarioberekeningen. Een voorbeeld hiervan zijn veranderingen in de riviermorphologie zoals daling van de bodemligging door erosie. Ook andere veranderingen in randvoorwaarden kunnen spelen op de lange termijn. Voor bredere toepassing wordt aanbevolen om uit te werken hoe langetermijnveranderingen kunnen worden geadresseerd.

Als aanbeveling voor andere faalmechanismen zien we vooral mogelijkheden voor het faalmechanisme *macro-instabiliteit*. Nauwkeurigere bepaling van de (karakteristieke waarde van de) stijghoogte is ook waardevol voor macro-instabiliteit. Net als bij piping geldt dat de berekende stijghoogten gelden voor een situatie zonder opdrijven. Voor de situatie met opdrijven worden de stijghoogten begrensd door het gewicht van de deklaag. Hier houdt het model geen rekening mee.

Ook wil het ENW tot slot de volgende algemene aanbevelingen meegeven:

- *Systematisch meten en monitoren:* Voor een betere modellering van de geohydrologie is het belangrijk voor beheerders om tijdig te investeren in meetnetten en monitoring, hetgeen in het synthesesrapport ook is onderkend. Over een langere periode ingewonnen data maken een veel betere kalibratie mogelijk dan data die slechts zijn gegenereerd binnen een project. Langdurige monitoring vergroot ook de kans op het meten in extremere condities. Tevens vormt dit een mooie illustratie van het pleidooi voor het systematisch meten en monitoren zoals beschreven in het strategisch-thematisch advies *Beter leren keren door veldmetingen en monitoring*⁵ en de POV Piping-publicatie *Handreiking meetnetten en grondwatermonitoring voor piping*.

⁴ Het woord 'conservatief' komt in het synthesesrapport 31 keer voor.

⁵ [Beter leren keren door veldmetingen en monitoring \(strategisch-thematisch advies\) - ENWinfo](#), 24 nov. 2017



- *Vereenvoudiging / standaardisering*: Op de langere termijn kan met de ervaring van meervoudig toepassen van de voorgestelde werkwijze, vereenvoudiging en standaardisering mogelijk zijn. Bijvoorbeeld kan worden gedacht aan het onderbouwen van 'default' onzekerheidsmarges die gebruikt kunnen worden in combinatie met modelresultaten op basis van best guess-parameters. Dit zou de bewerkelijkheid van de procedure kunnen reduceren, uiteraard ten koste van nauwkeurigheid.
- *Drainageconstructies*: Drainageconstructies worden in toenemende mate gebruikt als maatregel tegen piping of macro-instabiliteit. Drainages beïnvloeden de grondwaterstroming en stijghoogte. Naarmate meer drainageconstructies binnen de randvoorwaarden van het geohydrologisch model voorkomen, of zelfs onderdeel uitmaken van de maatregelen in het versterkingsontwerp, wordt het belangrijker dat het effect van drainageconstructies goed wordt meegenomen in de modellering. Momenteel wordt ook vanuit het HWBP gewerkt aan de ontwerp- en beoordelingsrichtlijn (OBR) drainage technieken voor waterkeringen met drainageconstructies. Ook hier wordt ingegaan op het bepalen van de karakteristieke waarden van de stijghoogte. Het is voor potentiële gebruikers wenselijk dat de methodes in de OBR en de hier voorgestelde methode met elkaar in overeenstemming zijn.

Slotopmerkingen

De toepassing van regionale geohydrologische modellen voor piping is een duidelijke stap vooruit, maar uiteraard staat de kennis niet stil en zijn er nog vervolgstappen te zetten. Het grenspotential en het effect van het opbarsten zitten bijvoorbeeld nog niet in het model, terwijl de hydrologie na opbarsten er heel anders uitziet. Ook in de probabilistische benadering kunnen nauwkeurigheid en rekensnelheid nog worden verbeterd.

De koppeling van de stijghoogteresultaten uit het geohydrologisch model aan de rekenregel uit het beoordelings- en ontwerpinstrumentarium (formule van Sellmeijer) en het model D-Geo Flow voor terugschrijdende erosie, zou volgens het ENW een logische vervolgstap zijn. Dat geldt ook voor onderzoek naar het effect van opdrijven/opbarsten op de toe te passen randvoorwaarden in de analyse van piping voor situaties met voorland.

Tevens opent een goed gekalibreerd geohydrologisch model de weg om aan de hand van scenario's het effect van toekomstige problemen of (gebieds)ingrepen verder te analyseren, zoals droogteproblematiek (veranderende weerstand in deklaag) of eroderen van aanwezige sliblagen bij hoogwater.

Conclusie

Het ENW ziet met het uitgevoerde onderzoek veel mogelijkheden om via de voorgestelde aanpak het inzicht in de stijghoogtes te vergroten. Voor brede praktische inzetbaarheid is het van belang om bij de doorontwikkeling van de aanpak in termen van nauwkeurigheid en rektijden vooral meer ervaring op te doen in meer cases of projecten.

Wij hopen u naar tevredenheid van advies te hebben voorzien.

Hoogachtend,

Dr. ir. G.M. van den Top
Voorzitter van het Expertise Netwerk Waterveiligheid