

Advies

Toepassen Shields-Darcy pipingmodel

Advies nummer 21-01 gedateerd 8 januari 2021

Aan het Bestuur van Waterschap Limburg
Postbus 2207
6040 CC Roermond

Geacht Bestuur,

In het beheergebied van Waterschap Limburg zijn veel waterkeringen op het faalmechanisme piping afgekeurd en moeten derhalve verbeterd worden. Het zuidelijk deel van het beheergebied valt vanwege de aanwezige grote korreldiameter (D_{70}) en hoge gradering buiten het toepassingsgebied van het vigerende Sellmeijermodel voor piping. Als onderdeel van de verkenningen voor het versterkingswerk heeft het waterschap de mogelijkheden van het toepassen van een alternatief pipingmodel onderzocht: het Shields-Darcy of SD-model, opgesteld door de heer G. Hoffmans. In een aantal beschouwde gevallen leverde het SD-model aanzienlijk grotere kritieke vervallen op, met als gevolg sterk verminderde benodigde versterkingen.

In uw brief met kenmerk 2020-D22471 vraagt u het Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW) advies uit te brengen over de toepassing van het Shields-Darcymodel voor piping zowel voor Limburg als landelijk voor het beoordelen en ontwerpen.

Omdat het mogelijk een veelbelovende stap in het pipingwerkveld betreft, is in opdracht van het ENW door de heer J. Pol van de Technische Universiteit Delft onderzoek gedaan naar het verschil in resultaten tussen de vigerende methode voor pipingberekeningen, namelijk Sellmeijer, en het SD-model. Dit rapport is als bijlage toegevoegd aan dit advies.

Allereerst wil het ENW veel waardering uitspreken voor het SD-model, omdat hierin op een elegante wijze het pipingproces wordt gemodelleerd. Door het opstellen ervan wordt kritisch naar het pipingproces en de onderliggende uitgangspunten en aannames gekeken, en hoe deze het best gemodelleerd kunnen worden.

Er zijn vele overeenkomsten tussen het vigerende model van Sellmeijer en het SD-model, zoals de aanname van laminaire stroming in de pipe en in het zandpakket, 2D-stroming en horizontale zandpakketten. Twee belangrijke verschillen in de aanpak veroorzaken onder praktijkcondities echter grote verschillen in de uitkomsten tussen de modellen. Dit betreft (A) de wijze van modellering van de grondwaterstroming en (B) de wijze van modellering van de erosieweerstand.

A. Grondwaterstroming

In het TU Delft-rapport is te zien dat het grootste verschil in kritiek verval het gevolg is van de keuzes in de modellering van de grondwaterstroming. Een lager kritiek verval resulteert bij een grondoplossing in grotere



benodigde bermen. In het SD-model worden bij de afleiding aannames gedaan, waaruit volgt dat een beperkt deel van het grondwater naar de pipe stroomt en dat de rest van het water naar het achterland stroomt. De rekenregel van Sellmeijer is gebaseerd op numerieke berekeningen van grondwaterstroming en pipevorming, waarbij een afsluitende polderdeklaag is geschematiseerd en dus geen grondwater naar het achterland stroomt. De TU Delft-analyse laat met numerieke berekeningen met D-Geo Flow zien dat de uitkomsten van de Sellmeijer-rekenregel beter overeenkomen met deze D-Geo Flow-berekeningen dan die van het Shields-Darcy-model. Deze conclusie geldt ongeacht de doorlatendheid van de polderdeklaag; ook bij een zeer doorlatende deklaag berekent D-Geo Flow een substantieel hoger (ongunstiger) pipedebiet dan het SD-model.

In de schaalproeven (orde enkele decimeters tot meters lang), waarop de rekenregel van Sellmeijer en het SD-model gefit zijn, zijn de verschillen tussen beide modellen beperkt. Voor prototype-condities zijn de verschillen echter aanzienlijk.

Het verdient volgens het ENW de voorkeur om de grondwaterstroming te modelleren, of om de aannames en uitkomsten in rekenregels te toetsen aan een model. En niet om deze te bepalen op basis van vereenvoudigde aannames in de gemodelleerde randvoorwaarden over bijdrages aan het pipingproces van de grondwaterstroming. Dit geeft niet alleen de mogelijkheid de fysica correcter weer te geven, maar levert ook mogelijkheden om andere randvoorwaarden, geometrie, drukmetingen en grondopbouw (bijvoorbeeld anisotropie en het effecten van de grotere diameter en gradering) mee te nemen.

B. Modelling erosieweerstand

De modellering van erosieweerstand wordt in het SD-model gedaan op basis van een variant op Shields en in de aanpak van Sellmeijer op basis van White. Het voornaamste verschil tussen beide aanpakken is dat White een lineair verband tussen de kritieke schuifspanning en de aanwezige korreldiameter legt en Shields een niet-lineair verband. In het TU Delft-rapport is goed terug te lezen dat Shields (niet-lineair verband) over het algemeen beter geschikt is voor de modellering van erosie in de pipe dan het vigerende White (lineair verband), maar ook dat het effect op het berekende kritieke verval voor fijn, uniform zand beperkt zal zijn.

Het model van Shields verdient daarmee volgens het ENW dan ook de voorkeur in toekomstige ontwikkelingen in pipingmodellering. Dit kan ook een goede basis zijn voor situaties met grover materiaal en een grote gradering in aanwezige korreldiameters, zoals op veel plekken in Limburg het geval is of bijvoorbeeld voor het meenemen van turbulente stroming.

Verder geldt dat in het geval van grote graderingen en korreldiameters, het Shields-Darcymodel niet van toepassing is, maar het Sellmeijermodel evenmin. Dit vraagt om kennisontwikkeling voor de erosie van sterk gegradeerd zand met een hoge doorlatendheid en relatief grote korreldiameters.

Conclusie

Het ENW vindt het te prijzen dat Waterschap Limburg op zoek is gegaan naar een aanscherping van de berekende kwelweglengtes. Kijkend naar de verschillen in aanpak van de grondwaterstromings-modellering en de modellering van de erosieweerstand kan het ENW op dit moment niet positief adviseren over de toepassing van het SD-model in verkenningen voor versterkingswerkzaamheden.

Wel is het ENW van mening dat de Shields-modellering van erosieweerstand op termijn geschikt zou moeten worden gemaakt voor pipingmodellen. Dit geeft uiteindelijk een betere representatie van de sterkte.



Omdat beide modellen niet geschikt zijn voor het lokaal aanwezige materiaal (door de grote graderingen en korreldiameters) beveelt het ENW aan om de effecten op de grondwaterstroming met een daartoe geëigend numeriek grondwaterstromingsmodel te bepalen (bijvoorbeeld met D-Geo Flow) en vooral ook om enkele laboratoriumexperimenten uit te voeren met gegradeerd materiaal (zoals in Limburg), om op deze manier een realistischer inschatting te krijgen op de overstromingskans door piping. Op de korte termijn (enkele maanden) kunnen de resultaten in de vorm van een factor op het kritiek verval of in de formule van Sellmeijer worden meegenomen, en hierover wil het ENW graag meedenken. Voor de wat langere termijn kan deze kennis worden gebruikt om piping beter te modelleren.

In afwachting van de resultaten kunnen verkenningen naar de noodzaak tot maatregelen, conform de beslisboom piping, op basis van de bandbreedte van denkbare uitkomsten van de verschillende modellen een oplossing bieden.

Wij hopen u naar tevredenheid van advies te hebben voorzien.

Hoogachtend,

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

Bij dit advies hoort de rapportbijlage ENW-21-01b:

J. Pol. *Shields-Darcy pipingmodel. Verschilanalyse met Sellmeijer en D-GeoFlow*. TU Delft, 2020.