

# Shields-Darcy-pipingmodel: nadere analyse toepasbaarheid

**Het Shields-Darcy-pipingmodel is een welkome kritische blik op de rekenregels. Het Expertisenetwerk Waterveiligheid (ENW) heeft echter niet positief geadviseerd over toepassing bij dijkversterkingen. Er is evenwel nog meer experimenteel en modelmatig onderzoek nodig om bestaande en nieuwe modellen aan te scherpen.**

De huidige toetspraktijk leidt soms tot zeer grote geschatte overstromingskansen, en dus waterveiligheidsopgaves. Hoffmans e.a. (Land+Water juli 2020) bespreken het Shields-Darcy-pipingmodel, als alternatief voor de vigerende rekenregel van Sellmeijer. Omdat het Shields-Darcy-model in veel gevallen tot een fors veiligere dijk komt dan de vigerende rekenregel van Sellmeijer, heeft Waterschap Limburg het ENW om advies gevraagd naar de toepasbaarheid van het Shields-Darcy-model. In dat kader heeft de TU Delft de aannames en uitkomsten van beide modellen onderzocht. De twee modellen beschrijven vergelijkbare processen, namelijk grondwaterstroming onder de dijk, stroming in een erosiekanaal (of pipe), en het evenwicht van (zand)korrels op de bodem van de pipe. Op meerdere punten zijn deze principes echter verschillend uitgewerkt en met andere aannames.

## Experimenteel onderzoek

Ten eerste het korrelevenwicht. Shields-Darcy baseert dit op een variant van het bekende Shields-diagram, Sellmeijer op de formule van

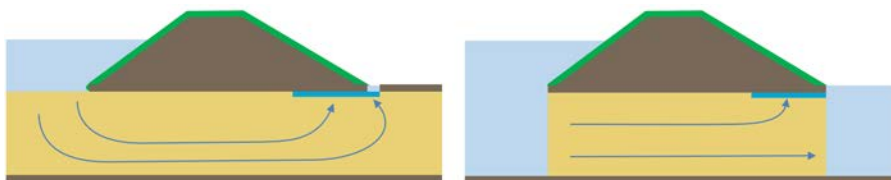
### IN 'T KORT - Shields-Darcy

Het Shields-Darcy-pipingmodel is een welkome kritische blik op de rekenregels

ENW heeft echter niet positief geadviseerd over toepassing bij dijkversterking

Er is nog meer experimenteel en modelmatig onderzoek nodig

Zodat bestaande en nieuwe modellen kunnen worden aangescherpt



Schets van de grondwaterstroming in het model van Sellmeijer (links) en Shields-Darcy.

White. Omdat White een te hoge sterkte berekent bij grover zand, is de invloed van de korrelgrootte ( $d_{70}$ ) in Sellmeijer gecorrigeerd door een kalibratie op kleine schaalproeven. Deze correctie blijkt echter sterk afhankelijk van de gekozen proeven. Het heeft de voorkeur om in plaats daarvan het korrelevenwicht direct te baseren op experimenteel bepaalde schuifspanningen, zoals in het Shields-diagram. Bij veelvoorkomende situaties (fijn, uniform zand) leidt het verschil in korrelevenwicht echter niet tot zeer grote verschillen in sterkte. Omdat beide modellen niet direct toepasbaar zijn bij grof ( $d_{70} > 0.500$  mm) en gegradeerd materiaal (grofweg  $d_{60}/d_{10} > 3$ ), zoals in Limburg aanwezig is, adviseert het ENW hiervoor aanvullend experimenteel onderzoek.

## Terughoudend

Het tweede verschil zit in de grondwaterstroming, en het deel van het grondwater dat naar de pipe stroomt. Beide modellen hanteren hierbij al een verschillende schematisering van de grondwaterstroming en randvoorwaarden. Bij Sellmeijer is de polderdeklaag ondoorlatend, waardoor al het water via de wel uitstroomt, en dus ook voor een groot deel door de pipe. Bij Shields-Darcy is er geen enkele weerstand in het achterland, waardoor veel water afstroomt naar de polder door de diepere delen van het zandpakket. Verder is er een verschil in rekenmethode: voor Sellmeijer zijn de effecten van de grondwaterstroming berekend met een numeriek model (MSeep), terwijl Shields-Darcy aannames bevat over de hoeveelheid water die naar de pipe stroomt om dit vervolgens analytisch te combineren met het korrelevenwicht. Deze aannames leiden tot verschillen in schaafeffecten: de mate waarin het kritieke verval over de dijk varieert met de kwelweglengte. Voor praktijkcondities met brede dijken en dikke zandpakketten geeft Shields-Darcy daardoor al snel een 50 procent hoger kritiek verval (dus veiliger) dan Sellmeijer. Omdat beide modellen goed overeenkomen met schaalproeven (daar zijn ze op gekalibreerd), is het lastig om de juistheid van schaafeffecten experimen-

teel te valideren. Daarom hebben we deze onderzocht met D-GeoFlow, een numeriek pipingmodel waarin grondwaterstroming, pipestroming en korrelevenwicht gekoppeld worden berekend. Uitgaande van randvoorwaarden die passen bij de modelaannames konden de schaafeffecten in Sellmeijer goed gereproduceerd worden, maar die van Shields-Darcy niet. Dit is de belangrijkste reden om terughoudend te zijn met het toepassen van Shields-Darcy. Het ENW heeft dan ook nog geen positief advies gegeven over toepassing bij dijkversterkingen. De schematisering van de grondwaterstroming en de bijbehorende randvoorwaarden voor afstroming naar de polder blijkt een belangrijke factor, en voor fijn uniform zand heeft dit meer invloed dan het criterium voor korrelevenwicht. Hierbij gaat het om aspecten als de doorlatendheid van de polderdeklaag, de drukval over het verticale uitstroombkanaal, zandpakketten met grove en fijne zandlagen, en driedimensionale grondwaterstroming. Vaak zal hiervoor meer maatwerk nodig zijn dan rekenregels kunnen bieden.

## Alternatieven

Ten slotte laat deze ontwikkeling zien dat het zinvol is om alternatieve modelbenaderingen zoals dit Shields-Darcy-model te verkennen, ook als kritische blik op aannames in de bestaande rekenregels. Denk aan het toepassen van Shields. Het ENW heeft hier veel waardering voor. Het onderzoek heeft verschillende kennisleemtes blootgelegd die de komende tijd een plek moeten krijgen in het doorontwikkelen van pipingmodellen en rekenregels. Behalve het eerdergenoemde onderzoek naar grof en gegradeerd materiaal, is dat bijvoorbeeld om nader (experimenteel en modelmatig) onderzoek naar schaafeffecten te doen, en daarbij rekening te houden met de afstroming naar de polder en driedimensionale grondwaterstroming.

*Joost Pol is promovendus waterveiligheid aan de TU Delft en adviseur bij HKV; Bas Jonkman is hoogleraar waterbouwkunde aan de TU Delft.*