

Schematiseringsfactor maakt keuzes in geotechniek beter zichtbaar

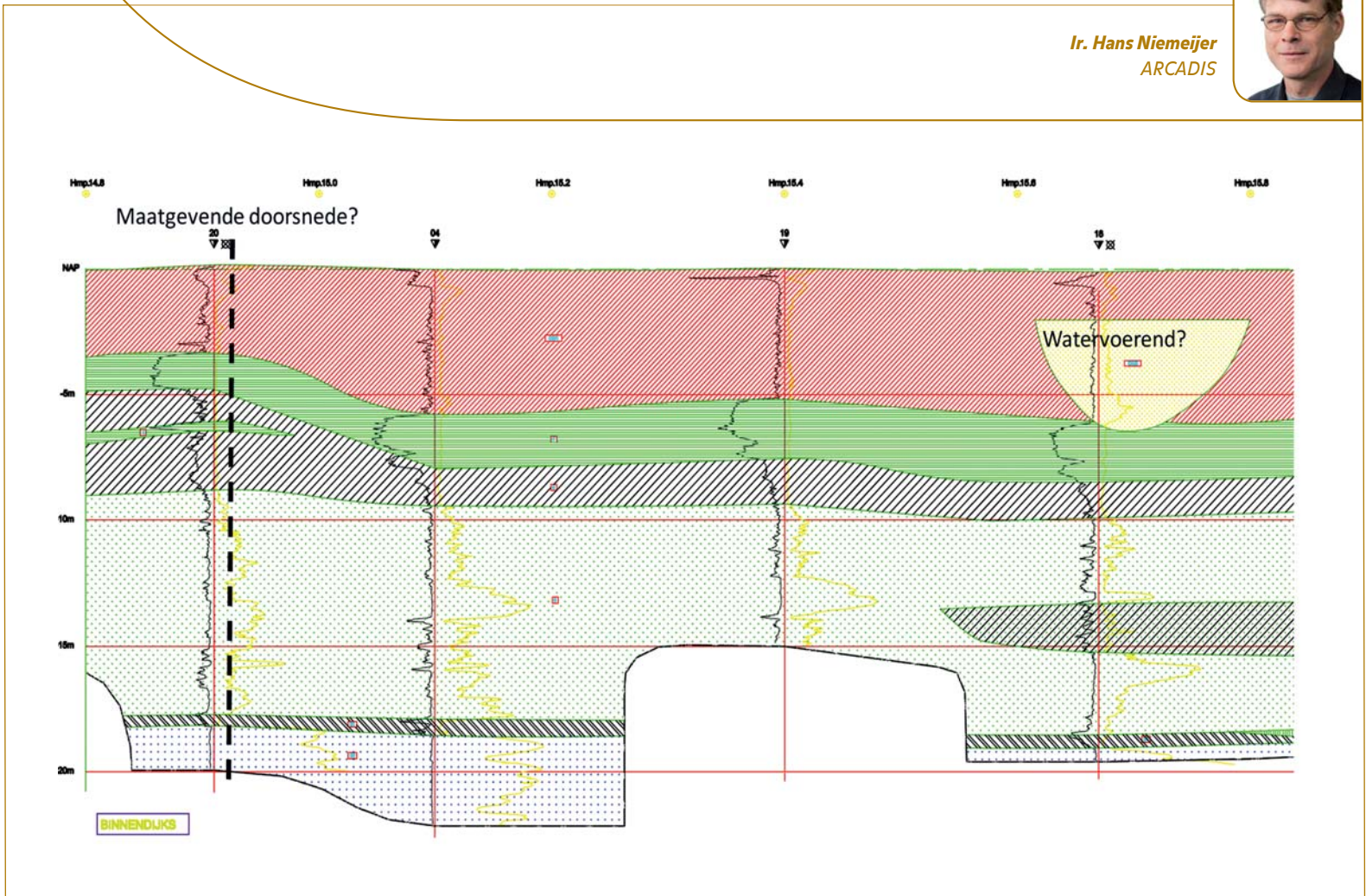
Ir. Ed Calle
Deltares



Ir. Werner Halter
Fugro Ingenieursbureau BV



Ir. Hans Niemeijer
ARCADIS



Figuur 1 – Als sondeerpunten worden vertaald naar een geotechnisch lengteprofiel, dan wordt zichtbaar dat de keuze van een veilige bodemopbouw niet in één keer duidelijk is.

Inleiding

Grondmechanische berekeningen zijn gebaseerd op schematiseringen. Het rekenmodel voor de controle op een bezwijkmechanisme is een schematisering, net als de te kiezen waarden voor de grondeigenschappen en externe belastingen. De keuzevrijheid voor de geotechnisch adviseur is bij de keuze voor het rekenmodel, de grondeigenschappen en de belastingen betrekkelijk beperkt. Hij of zij wordt hierbij geholpen door

praktijkrichtlijnen of voorschriften. Anders ligt dat voor de te kiezen schematisering van de opbouw van de (onder)grond en de hierin optredende water(over)spanningen. Voor de vertaalslag van grondonderzoek naar een beeld van de opbouw van de ondergrond uit grondlagen en een beeld van de geohydrologische systematiek, zijn geen eenduidige richtlijnen te geven. Vaak zijn meerdere interpretaties van de beschikbare informatie mogelijk, waardoor bij de keuze van deze schema-

tisering onzekerheid een belangrijke rol speelt.

Voor een veiligheidscontrole moeten veilige (maar ook weer niet te conservatieve) schematiseringen worden gekozen, of moeten onzekerheden via het gebruik van veiligheidsfactoren worden verdisconteerd. De verschillende regelgevingen (Eurocodes en leidraden voor waterkeringen) geven voorschriften waarmee onzekerheden van rekenmodel, belastingen en grondeigenschappen

Samenvatting

Het schematiseren van de ondergrond is bij het ontwerpen van geotechnische constructies een belangrijk aspect. Misschien wel het belangrijkste, omdat directe controle niet mogelijk is. De keuzes die bij de schematisering gemaakt moeten worden blijken een grote invloed te hebben op de veiligheid van een ontwerp. Anders dan voor bijvoorbeeld onzekerheden in de grondparameters, geven de normen tot nu toe echter geen concrete aanwijzingen hoe omgegaan moet worden met schematiseringsonzekerheden. Door het Expertise Netwerk

Waterveiligheid is de schematiseringsfactor geïntroduceerd, die schematiseringsonzekerheden in rekening brengt. De keuzes die gemaakt zijn voor het opstellen van een schematisering worden hierbij expliciet benoemd en gekwantificeerd. Hiermee wordt de schematiseringsfactor, een partiële veiligheidsfactor, bepaald. De schematiseringsfactor bepaalt samen met de andere partiële veiligheidsfactoren de te bereiken stabiliteitsfactor.

(schuifsterkte) worden afgedekt. Voor veilige schematiseringskeuzes van (onder)grondopbouw en waterspanningen bestaan zoals gezegd geen voorschriften. Toch hebben onzekerheden hierin een minstens net zo grote, zo niet nog grotere, invloed op de berekende veiligheid van de grondconstructie. Het is een misvatting te denken dat ook deze onzekerheden worden afgedekt door de wél voorgeschreven veiligheidsfactoren.

Daarom is de zogenaamde schematiseringsfactor geïntroduceerd. Dit is een veiligheidsfactor, waarvan de grootte afhankelijk is van de mate van veiligheid in de gekozen schematisering van de (onder)grondopbouw en de in de grondlagen optredende water(over)spanningen. In dit artikel wordt de achtergrond van deze factor besproken.

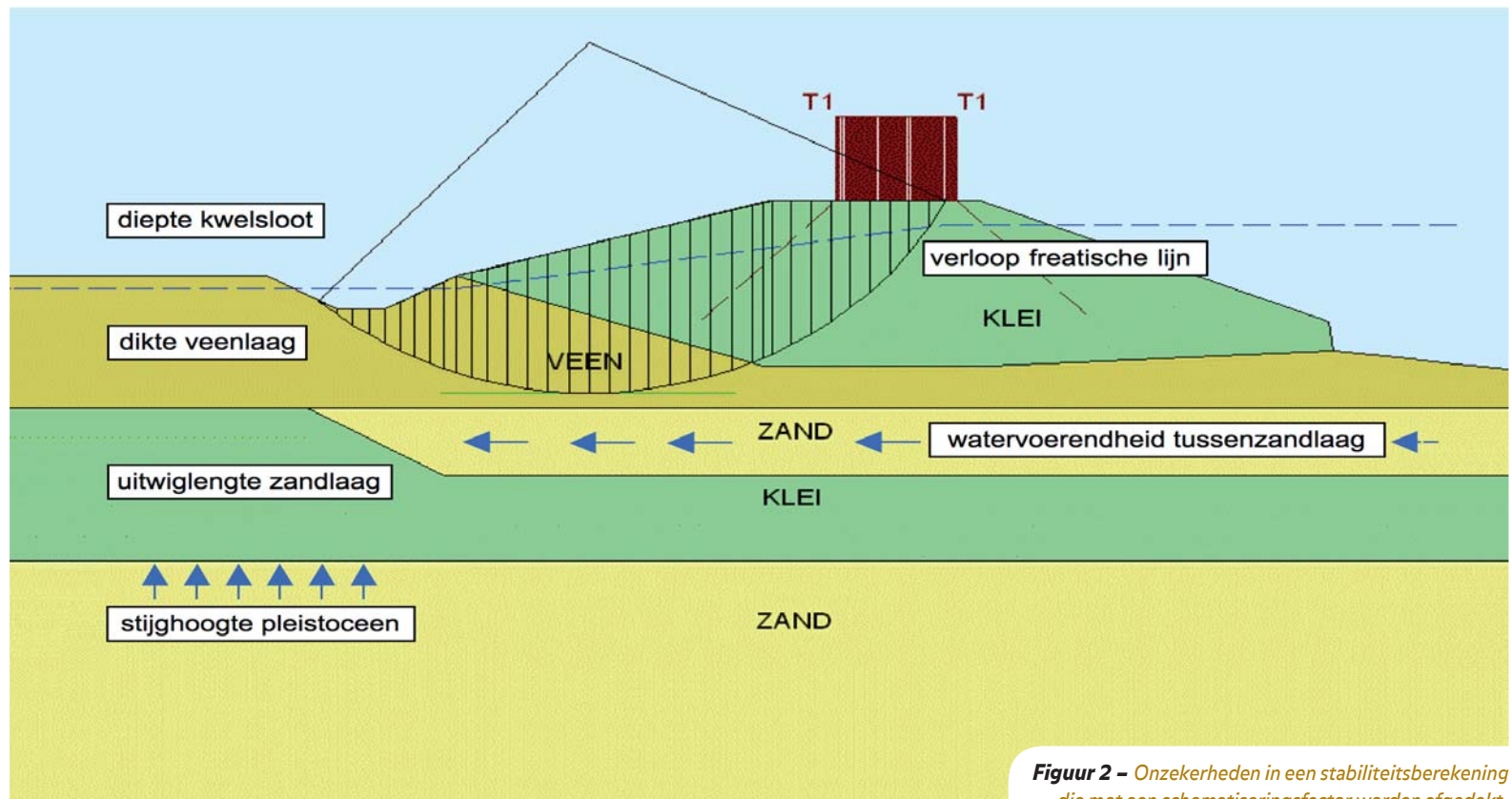
Hoewel onafhankelijk van elkaar ontstaan, is er in de opzet van de hier beschreven aanpak overeenkomst met richtlijnen voor het schematiseren, die door de US Geological Survey zijn ontwikkeld voor het beoordelen van seismische risico's [5].

De complexe ondergrond

De opbouw van de ondergrond is even complex als onzeker. Op basis van boor- en sondeerstaten, die maar een zeer beperkt deel van de ondergrond in kaart kunnen brengen, moet de geotechnisch adviseur een schematisering van de ondergrond maken. Deze schematisering moet enerzijds voldoen aan de strenge eisen van de te bereiken veiligheid en anderzijds een kosteneffectief ontwerp opleveren. Doorgaans geldt dat hoe beperkter het grondonderzoek is, hoe meer verschillende

schematiseringen mogelijk zijn. Voor een grondmechanische veiligheidsanalyse komt het er op aan potentieel onveilige opbouwen van de ondergrond en hierin optredende waterspanningen te herkennen, die op grond van de beschikbare informatie uit het grondonderzoek (inclusief literatuurgegevens) niet uitgesloten kunnen worden.

Een voorbeeld is de keuze van een maatgevende bodemopbouw voor een stabiliteitsberekening van een dijk op basis van sonderingen met relatief grote tussenafstanden (zie figuur 1). Er kan worden uitgegaan van de grondlagen die bij de ongunstigste sondering worden aangetroffen, maar mogelijk komen er tussen de sonderingen ongunstigere situaties of lokale afwijkingen voor. Een lokale afwijking kan bijvoorbeeld een voor de stabiliteit



Figuur 2 – Onzekerheden in een stabiliteitsberekening die met een schematiseringsfactor worden afgedekt.

van een grondconstructie ongunstige geul of zandbaan in de ondergrond zijn, waarin bij een hoge rivierstand hoge waterspanningen ontstaan. Wanneer deze niet op grond van kennis van de geologie van het gebied kan worden uitgesloten, moet hiermee bij de keuze van de schematisering voor de stabiliteitsberekening rekening worden gehouden.

Elke geotechnisch adviseur zal anders omgaan met deze onzekerheden, op basis van eigen inzicht. De mate van veiligheid die in een berekening is ingebouwd, is daarom weinig inzichtelijk. De schematiseringsfactor en de achterliggende schematiseringstheorie zijn een hulpmiddel om dit inzichtelijk te maken.

Definitie

De schematiseringsfactor is een veiligheidsfactor die compenseert voor onzekerheden in de gekozen schematisering van de bodemopbouw, de waterspanningen en de geometrie, naar analogie van de partiële materiaalfactoren. De schematiseringsfactor is geen vaste factor, zoals andere voorgeschreven veiligheidsfactoren, maar is afhankelijk van de gekozen schematisering waarmee ontwerp- of toetsberekeningen worden uitgevoerd. Bij een veilige schematiseringkeuze is de schematiseringsfactor klein, bijvoorbeeld gelijk aan 1,0, en kan die oplopen tot ca. 1,3 naarmate onzekerheden onvoldoende afgedekt zijn door de schematiseringkeuzes. De eis die voor de berekende stabiliteitsfactor geldt, wordt vermenigvuldigd met de schematiseringsfactor.

Bepaling van de schematiseringsfactor bij taludstabiliteit

De methode omvat een basisschematisering (in dit geval van een dwarsprofiel van een grondconstructie) en scenario's (afwijkende dwarsprofielen). De basisschematisering is een eerste keuze op basis van de beschikbare informatie. Dit kan op zich al een veilige schematisering zijn, maar dat hoeft niet noodzakelijk het geval te zijn. De scenario's zijn mogelijke afwijkingen van de basisschematisering, die een negatieve invloed op de stabiliteit hebben en niet kunnen worden uitgesloten op basis van de beschikbare informatie (zie figuur 2). Voorbeelden van mogelijke afwijkingen zijn:

- maaiveldniveaus zijn ongunstiger dan aangenomen in de basisschematisering;
- dikten van grondlagen zijn ongunstiger;
- er zijn voor de stabiliteit ongunstige grondlagen, die niet zijn opgemerkt bij het grondonderzoek;
- de ligging van de freatische lijn en waterspanningen zijn ongunstiger;
- taludhellingen tussen de meettraaien zijn steiler dan waargenomen bij de metingen.

Deze lijst is niet uitputtend, in iedere situatie kunnen andere afwijkende scenario's van belang zijn.

Per afwijkend scenario spelen twee zaken een rol: 1. de invloed op de berekende stabiliteitsfactor; 2. de kans dat het scenario daadwerkelijk realiteit is.

De invloed op de berekende stabiliteitsfactor kan eenvoudig worden bepaald, door een stabiliteitsberekening voor het scenario uit te voeren. Daarnaast wordt de kans van voorkomen van dat scenario bepaald. De kans van voorkomen van een bepaald scenario kan echter veelal niet objectief worden bepaald. Er moet dan volstaan worden met een kansschatting op basis van expert judgement. Vanzelfsprekend is die kansschatting afhankelijk van de (geologische)gebiedskennis, de beschikbare informatie uit grondonderzoek en de hieruit blijvende (ruimtelijke) variabiliteit. De invloed van het scenario op de kans dat instabiliteit kan optreden bestaat uit de combinatie van de invloed die het scenario heeft op de stabiliteitsfactor en de kans van voorkomen van dat scenario.

Probabilistische achtergrond

Het principe achter de schematiseringsfactor is dat de kans op instabiliteit wordt berekend van het ontwerp volgens de basisschematisering en vervolgens getoetst aan de toelaatbare kans op instabiliteit. In plaats van een ontwerp kan het ook om de veiligheidstoetsing van een bestaande grondconstructie gaan. Omdat verschillende schematiseringen mogelijk zijn, is de kans op instabiliteit gelijk aan de som van kansen op instabiliteit, gegeven de verschillende scenario's, vermenigvuldigd met de kansen van voorkomen van die scenario's:

$$P_{sf}(D; S_1) P(S_1) + \sum_{i=2}^N P_{sf}(D; S_i) P(S_i) \leq P_{sf, \text{toelaatbaar}} \quad (1)$$

Hierin staat het subscript *sf* voor 'slope failure' en staat S_i voor scenario *i*, waarbij de basisschematisering als S_1 wordt aangeduid. $P(S_i)$ is de kans op scenario *i*. Verder is $P_{sf}(D; S_i)$ de kans op instabiliteit van het talud, bij het gegeven ontwerp (*D*) en uitgaande van schematiseringsscenario S_i , en is $P_{sf, \text{toelaatbaar}}$ de toelaatbare kans. Omdat we hier alleen scenario's beschouwen die voor wat betreft de stabiliteit in ongunstige zin afwijken van de basisschematisering, moet

$$P(S_1) + \sum_{i=2}^N P(S_i) = 1 \quad (2)$$

In principe zijn ook scenario's mogelijk die gunstiger zijn dan de basisschematisering (S_1). Omdat de invloed hiervan op de totale faalkans relatief klein is, worden die echter buiten beschouwing gelaten. De kansen hierop worden, door de voorwaarde in vergelijking (2), toegevoegd aan de kans op de ba-

Tabel 1 Voorbeelden van ongunstige scenario's bij een stabiliteitsanalyse die van invloed kunnen zijn op de schematiseringsfactor

Ongunstig scenario
Freatische lijn in de dijk ligt hoger
Binnenwaterstand ligt hoger
Aanpassing waterspanningen in het gehele slappe lagenpakket
Veenlaag 1,6 m dik in plaats van 1,3 m
Maaiveld NAP +0,5 m in plaats van NAP + 0,7 m
Maaiveld NAP +0 m in plaats van NAP + 0,5 m
Consolidatiegraad 70 % in plaats van 100%

sis-schematisering $P(S_1)$. Met deze vereenvoudiging wordt het aantal door te rekenen scenario's beperkt tot de gekozen basisschematisering en ongunstiger scenario's.

Een belangrijke pijler van de methode is dat er een globale relatie is tussen de stabiliteitsfactor en de daarbij behorende kans op instabiliteit. Daarmee kunnen de kansen $P(D; S_i)$ en $P_{sf, \text{toelaatbaar}}$ berekend worden aan de hand van de berekende stabiliteitsfactoren $F_d(D; S_i)$ en de vereiste stabiliteitsfactor $F_{d, \text{eis}}$. Voor berekeningen van de stabiliteitsfactor, volgens de voorschriften in de het Addendum I bij de Leidraad Rivieren [1], is zo'n relatie afgeleid (zie kader met rekenvoorbeeld).

De tweede pijler van de methode is dat wanneer bij het opstellen van een ontwerp de eis aan de stabiliteitsfactor wordt aangescherpt, er ruimte ontstaat voor bijdragen aan de kans op instabiliteit door de ongunstiger scenario's, zodat toch nog aan vergelijking (1) wordt voldaan. Die aanscherping gebeurt door de ontwerp-eis $F_{d, \text{eis}}$ (de schadefactor genoemd) te vermenigvuldigen met een schematiseringsfactor. De schematiseringsfactor kan iteratief worden bepaald.

Wanneer uit de berekeningen volgt dat de schematiseringsfactor groter dan 1,3 moet zijn, dan is dit een indicatie dat de basisschematisering te optimistisch is gekozen. Het is dan raadzaam om een van de ongunstiger scenario's S_2, \dots, S_N als basisschematisering te kiezen en de controle opnieuw uit te voeren. Volgt uit de berekeningen dat de schematiseringsfactor gelijk is aan 1,0, dan is de basisschematisering voldoende veilig gekozen. De begrenzingen aan de schematiseringsfactor van 1,0 en 1,3 zijn keuzes die bij de invulling van de methode voor het gebruik bij waterkeringen

Principe van de schematiseringfactor aan de hand van een rekenvoorbeeld

In het Addendum TRWG [2] worden veiligheidsfactoren voor de stabiliteit van primaire waterkeringen gegeven: materiaalfactoren (γ_m), schadefactoren (γ_n) en rekenmodelfactoren (γ_d).

De eis bij stabiliteitscontrole is:

$$F_d \geq \gamma_n \gamma_d$$

Hierin is de stabiliteitsfactor F_d berekend met rekenwaarden van de schuifsterkte (karakteristieke waarden gedeeld door materiaalfactoren γ_m). De vereiste schadefactor wordt berekend aan de hand van een (volgens voorschrift in de Leidraad af te leiden) vereiste betrouwbaarheidsindex β volgens:

$$\gamma_n = 1 + 0,13 (\beta - 4) \quad (v1)$$

Deze relatie wordt gebruikt als globale relatie tussen de actuele stabiliteitsfactor en de faalkans:

$$P_{sf}(F_d) = \Phi(-\beta) \approx \Phi(-4 - (F_d/\gamma_d - 1) / 0,13) \quad (v2)$$

waarin $\Phi()$ de standaard normale kansfunctie is.

Veronderstel nu een situatie dat voor de schematisering van de ondergrond twee mogelijkheden worden onderkend. Dit zijn een schematisering S_1 , waarbij de dikte van de veenlaag (zie figuur 3) gelijk is aan 1,0 m (de maximale dikte die in grondonderzoekspunten is gevonden) en een ongunstiger schematisering S_2 , waarbij verondersteld wordt (bijvoorbeeld op basis van ervaringen elders in het gebied) dat die dikte tussen de grondonderzoekspunten groter kan zijn, zeg maximaal 1,5 m. De kans hierop wordt niet verwaarloosbaar geacht, namelijk $P(S_2)=0,1$. Deze waarde is een schatting, gebaseerd op de waargenomen variaties en ervaringen elders in het gebied.

Stel dat de stabiliteitsfactor van de dijk bij S_1 volgens de stabiliteitsberekening gelijk is aan $F_d(D;S_1)=1,14$ en bij de ongunstiger schematisering S_2 gelijk aan $F_d(D;S_2)=1,03$. Stel verder dat de vereiste schadefactor $\gamma_n = 1,09$ is en de rekenmodelfactor $\gamma_d = 1$. De stabiliteitsfactor moet dan groter of gelijk zijn aan 1,09. Schematisering S_1 voldoet daar wel aan maar schematisering S_2 niet. We weten echter niet welke van de twee juist is, maar weten alleen dat de kans dat S_2 optreedt is gelijk is aan 0,1. Bijgevolg is de kans dat S_1 optreedt gelijk aan 0,9 (samen gelijk aan 1).

Bij de schadefactor van 1,09 is de toelaatbare kans op instabiliteit, berekend volgens vergelijking (v2), $P_{sf} = 1,35 \times 10^{-6}$. De kans op instabiliteit, als S_1 juist is, wordt ook met vergelijking (v2) berekend en is $P_{sf}(D; S_1) = 1,92 \times 10^{-7}$. De kans op instabiliteit, als S_2 juist is, is $P_{sf}(D; S_2) =$

$1,16 \times 10^{-5}$. De kans op instabiliteit, rekening houdend met de kansen op S_1 en S_2 is:

$$P_{sf}(D; S_1) P(S_1) + P_{sf}(D; S_2) P(S_2) = 1,92 \times 10^{-7} \times 0,9 + 1,16 \times 10^{-5} \times 0,1 = 1,34 \times 10^{-6}$$

Met andere woorden, de kans op instabiliteit, rekening houdend met de kans op het ongunstige scenario S_2 , is kleiner dan de toelaatbare kans op instabiliteit, die hoort bij de vereiste schadefactor van $\gamma_n=1,09$. Daarom kan de dijk wel goedgekeurd worden.

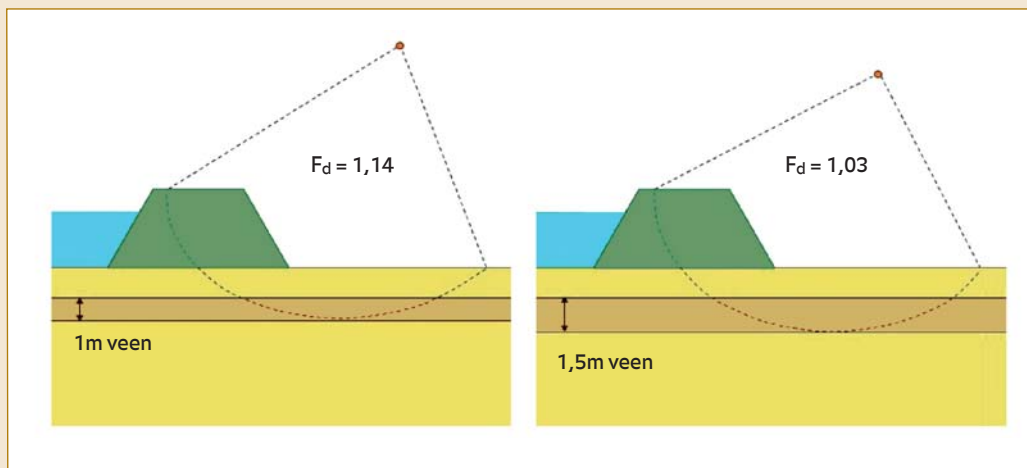
Stel nu dat we S_1 kiezen als basisschematisering, dat wil zeggen als schematisering die we willen gebruiken voor de stabiliteitscontrole. De berekening laat zien dat als de stabiliteitsfactor $F_d(D;S_1)$ maar groot genoeg is, de bijdrage aan de faalkans door de ongunstiger schematisering, met een 0,11 lagere stabiliteitsfactor (en kans op voorkomen van 0,1), nog voldoende klein is om (nog net) te voldoen aan de toelaatbare faalkans. In dit geval blijkt dat een verhoogde eis aan de stabiliteitsfactor $F_d(D;S_1) \geq 1,14$ voldoende is. Het quotiënt van die verhoogde eisen de feitelijke eis $\gamma_n=1,09$, noemen we de vereiste schematiseringsfactor, die in dit geval $\gamma_b=1,14/1,09=1,05$ bedraagt.

Het criterium voor voldoende stabiliteit wordt daarmee:

$$F_d(D; S_1) \geq \gamma_n \gamma_d \gamma_b \quad (v3)$$

In het algemeen zullen bij een gekozen basisschematisering meer dan één schematiseringsscenario's mogelijk zijn. In het *Technisch Rapport Grondmechanisch Schematiseren bij Dijken* is een methode beschreven, analoog aan bovenstaande redenering, om de vereiste schematiseringsfactor te bepalen.

Hadden we in dit voorbeeld S_2 als basisschematisering gekozen, dan is geen schematiseringsfactor (of preciezer geformuleerd: kan de schematiseringsfactor gelijk aan 1 zijn) nodig, omdat er geen mogelijke ongunstiger schematiseringen zijn te verdisconteren. Er zou dan echter niet worden voldaan aan de stabiliteitseis (welke gelijk is aan de schadefactor vermenigvuldigd met de modelfactor, indien met rekenwaarden voor de grondeigenschappen is gerekend).



Figuur 3 – Een dikkere veenlaag leidt tot een lagere taludstabiliteit.

zijn gemaakt. Vooralsnog ligt de ondergrens in ref [2] zelfs op 1,1. Deze waarde is (voorzichtigheidshalve) zo gekozen om 'trendbreak' met het vroegere voorschrift te vermijden [4].

Hieruit volgt dat veiligheid van de eerste gekozen basisschematisering altijd in samenhang moet worden gezien met de onzekerheden in de schematisering. Als alle (substantiële) schematiseringonzekerheden goed geïnventariseerd zijn, volgt uit de procedure vanzelf of de gekozen basisschematisering voldoende veilig was. Vanzelfsprekend levert een goede eerste keuze wel tijdswinst op.

Bij het benoemen van basisschematisering en afwijkende scenario's is het een eis dat deze elkaar onderling uitsluiten en dus onafhankelijk zijn, want anders mag vergelijking(1) niet worden toegepast. Verder is het aan te bevelen dat de basisschematisering zodanig gekozen wordt dat de som van de kansen op de afwijkende ongunstiger scenario's niet te groot wordt (bij voorkeur niet groter dan 0,3 à 0,4). Wordt deze som groter, dan zal doorgaans blijken dat de gekozen basisschematisering toch te optimistisch was, tenzij de afwijkende scenario's slechts een geringe ongunstige invloed op de stabiliteitsfactor hebben.

Inperken van onzekerheden

Uit de analyse kan blijken dat één of meer van de geïdentificeerde mogelijke afwijkingen van de basisschematisering een dominante invloed hebben op de kans op instabiliteit waardoor een hoge schematiseringsfactor nodig is en een duur ontwerp. Wanneer duidelijk is dat deze scenario's ook bij betere informatie zeker niet uitgesloten zullen worden, dan is dat uiteraard terecht. Maar, als vermoed wordt dat deze scenario's met voldoende betrouwbaarheid zijn uit te sluiten door additioneel (grond)onderzoek, dan ligt het meer voor de hand om additioneel onderzoek te doen. Aan de hand van de schematiseringanalyse kan vooraf gekeken worden wat de mogelijke winst is van dit onderzoek. Tevens volgt hieruit ook in hoeverre de kansen op deze scenario's gereduceerd moeten worden om tot het gewenste resultaat te komen. Hierop moet het additionele (grond)onderzoek uitgelijnd worden, waarbij ingeschat moet worden of het onderzoek daadwerkelijk kan leiden tot de benodigde reductie van scenario-kansen.

Schematiseringsscenario's kunnen ook betrekking hebben op onzekerheden die voortkomen uit de wijze van uitvoeren van een taludversterking, of de wijze van het beheer in de operationele fase. In dat geval ligt het meer voor de hand om na te gaan welke maatregelen bij de uitvoering of welke

beheersstrategie nodig zijn om tot de gewenste reductie van scenario-kansen te komen. Voorbeelden zijn strikte uitvoeringsbegeleiding, kwaliteitscontroles of, ingeval van operationeel beheer, periodieke controles op de werking van drainage, etc.

Voordelen van de schematiseringsfactor

De hier voorgestelde systematiek is niets meer of minder dan een gevoeligheidsanalyse, waarmee inzichtelijk wordt gemaakt of het ontwerp voldoet aan de eisen. Een groot voordeel van het gebruik van de betreffende systematiek is dat gekozen schematiseringen transparant worden gemaakt. Voor de bepaling van de factor moeten immers de grootste onzekerheden in de schematisering op een rij worden gezet en globaal worden gekwantificeerd. Hoewel dit in zekere zin een subjectieve beschouwing is, geeft het meer inzicht. Dit maakt het verder eenvoudiger om een extra kwaliteitscontrole uit te laten voeren met behulp van een 'second opinion'. De schematiseringanalyse sluit aan op de Eurocode 7-1, omdat daarin nadrukkelijk een onderbouwing van het geotechnisch ontwerp wordt vereist.

Een ander voordeel van deze systematiek is dat het effect van aanvullend grondonderzoek op een geotechnische berekening beter in beeld wordt gebracht. De onzekerheden worden minder indien meer grondonderzoek beschikbaar is. Omdat dan een lagere schematiseringsfactor kan worden toegepast, vertaalt dit zich direct in een uitgekinder ontwerp.

Het principe van de schematiseringsfactor kan worden toegepast bij elke type geotechnische berekening. De noodzaak hiertoe wordt groter naarmate de gevolgen van falen groter zijn. Echter ook bij kleine constructies, is een sluitende onderbouwing nodig.

Vooralsnog is de bepaling van de schematiseringsfactor echter alleen voor het ontwerpen van waterkeringen uitgewerkt. In het Addendum bij het *Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies* [2] wordt het gebruik van de schematiseringsfactor voorgeschreven en diverse richtlijnen voor regionale keringen sluiten daarbij aan. De wijze waarop de factor wordt bepaald, is uitgewerkt in het *Technisch Rapport Grondmechanische Schematiseringen bij Dijken* [3] van het ENW. Hierin is ook een mathematische onderbouwing opgenomen. Dit Technisch Rapport geeft tevens een eenvoudig stappenplan waarmee de schematiseringsfactor op basis van tabellen kan worden bepaald.

Een alternatief voor de hier beschreven methode is het uitvoeren van volledig probabilistische berekeningen. De verschillende aannamen in de berekening over schematiseringen van de onder-

grond en geohydrologische systematiek, die ruimtelijk kunnen variëren of die anderszins niet precies bekend zijn, moeten dan als stochastische grootheden worden gedefinieerd. Er is echter nog geen programmatuur beschikbaar om dit eenvoudig te kunnen doen. De schematiseringsfactor, met de basisschematisering en scenario's, is daarom op dit moment een handzaam alternatief.

Totstandkoming

De schematiseringsfactor is in het kader van SBW onderzoek¹ ontwikkeld in opdracht van Rijkswaterstaat Waterdienst voor het Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW). De schematiseringsfactor is voor het eerst geïntroduceerd bij het verschijnen van de Leidraad Rivieren in 2007 [1], in het Addendum bij het *Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies* [2]. Dit was het gevolg van een over de afgelopen 10 à 20 jaar gegroeid inzicht dat de keuzes die bij de schematisering (moeten) worden gemaakt, een grote invloed hebben op de bereikte veiligheid van het ontwerp.

Noot

¹ Sterkte en Belasting Waterkeringen. Een door het Directoraat Generaal Water van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu gefinancierd onderzoeksprogramma ten behoeve van verbetering van de kwaliteit van veiligheidstoetsingen van de primaire waterkeringen in Nederland. Dit programma wordt door Rijkswaterstaat en Deltares uitgevoerd in samenwerking met verschillende partijen in de waterveiligheidssector.

Referenties

- [1] *Leidraad Rivieren*. Uitgave o.v.v. ENW (Expertise Netwerk Waterveiligheid), mei 2007. (inclusief Addendum I bij de Leidraad Rivieren, 2008). Zie voor downloads www.waterkeren.nl, (kies tab 'waterveiligheid' en vervolgens tab 'toegang tot de Leidraad Rivieren').
- [2] *Addendum bij het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies*. Uitgave o.v.v. ENW, mei 2007. Zie referentie [1] voor download.
- [3] *Technisch Rapport Grondmechanische Schematiseringen bij Dijken*. Uitgave o.v.v. ENW, in voorbereiding.
- [4] *Achtergrondrapport Materiaalfactoren Rivierdijken*. Fugro rapport 1207-0055-000, 29 jan 2008.
- [5] T.C. Hanks, N.A. Abrahamson, D.M. Boore, K.J. Coppersmith and N.E. Kapprath, 2009. *Implementation of the SSHAC Guidelines for level 3 and 4*. US Geological Survey, Open-file Report 2009/1093. ●