

Keywords

STPH, bodemschematisatie, grondeigenschappen

Contactpersoon

Marit Zethof

Type voorbeeld

Het voorbeeld betreft de beoordeling van een waterkering op Piping en heave (STPH) met de focus op het schematiseren van de ondergrond.

Status voorbeeld

Afgestemd met ILT

Casebeschrijving

De case betreft het beoordelingsproces voor het faalmechanisme STPH van dijktraject 13-5, dat aan de Waddenzee ligt (zie Figuur 1). Op de Waddenzee kan hoogwater ontstaan door een combinatie van storm en getij.

De beheerder van dit traject is het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK). Het traject is ca. 10,3 km lang en bestaat uit de Balgzanddijk (8,0 km) en Amsteldiepdijk (2,3 km). Achter de Balgzanddijk en de Amsteldiepdijk ligt het Balgzandkanaal en de Amstelmeerboezem. Voor dit traject is de signaleringswaarde 1/3.000 per jaar. De maximaal toelaatbare overstromingskans is 1/1.000 per jaar.



Figuur 1: Dijktraject 13-5.

Beslisproces

De beoordeling van dijktraject 13-5 op het faalmechanisme STPH vindt plaats aan de hand van de gedetailleerde toets. De faalkans is namelijk niet verwaarloosbaar klein op basis van de eenvoudige toets, omdat de verhouding tussen de kwelweglengte en het verval over waterkering te klein is (Stap E.5).

Ten behoeve van de gedetailleerde beoordeling dient een schematisatie te worden opgesteld van o.a. de ondergrond, de vakindeling, dijkgeometrie en de grondeigenschappen. Hierbij is een aantal keuzes te maken die in dit voorbeeld worden toegelicht:

- Worden grond, terrein en hydraulische variaties voldoende in de gekozen vakindeling weergegeven?
- Welk type van het opvulmateriaal (tussen maaiveldniveau waterkering en de bovenzijde van de WBI-SOS-scenario's) wordt in de bodemschematisatie gebruikt?
- Hoe ziet de geometrie van de dijk eruit?
- Welke waarden worden voor de grondeigenschappen gebruikt?
- Waar ligt het intrede- en uittredepunt?
- Kan het voorland worden meegenomen?

Dilemma's en gevoeligheidsanalyses

Bij het schematiseren van de ondergrond is het de vraag: hoe moet een balans worden gevonden tussen het benodigde detailniveau en de werkinspanning? Door 'van grof naar fijn' te werken wordt de werkinspanning zo veel mogelijk afgestemd op het benodigde detailniveau. De gedetailleerde beoordeling is daarom in eerste instantie uitgevoerd op basis van veilige aannames (zoals de volgende uitgangspunten: zand-op-zand situatie, dempingsfactor van 1, laagste D70 is maatgevend en conservatieve schematisatie van het voorland). Als de veiligheid zodanig is dat het oordeel "voldoet aan de signaleringswaarde" (klasse IIv) niet kan worden geconcludeerd, wordt deze eerste schematisatie verder aangescherpt en gedetailleerd. Voor het beoordelingsspoor STPH is het WBI-SOS als vertrekpunt aangehouden. Daarbij zijn de ondergrondscenario's in het WBI-SOS geverifieerd met de beschikbare boringen en sonderingen. In deze vergelijking is geconcludeerd dat de WBI-SOS-scenario's voldoende overeenkomstig zijn met het grondonderzoek o.b.v. de aanwezigheid van zandlagen en de variatie in dikte van de zandlagen. De variatie in de ondergrond uit het grondonderzoek komt daarmee voldoende terug in ondergrondscenario's van het WBI-SOS en de vergelijking gaf daarom geen aanleiding om de ondergrondscenario's voor de eerste beoordeling aan te passen.

Vakindeling

Bij de keuze voor de vakindeling dienen variaties in grondopbouw, geometrie en hydraulische belastingen voldoende weer te worden geven. Bij de beoordeling is 'van grof naar fijn' gewerkt. De vakindeling kan in principe fijn gedefinieerd worden, echter leidt dat tot (onnodig) veel werk of niet tot extra scherpte in het veiligheidsoordeel wanneer sprake is van uniforme condities. De vakindeling in de beoordeling is daarom in eerste instantie gelijk gesteld aan de vakindeling van de WBI-SOS-segmenten. Conform de schematiseringshandleiding 'piping' [1] is geanalyseerd of de variaties voldoende terugkomen in de WBI-SOS-segmenten op de volgende aspecten: (1) het toetspeil en polderpeil, (2) de geometrie, (3) de dijkopbouw en (4) de bodemopbouw. Conform de schematiseringshandleiding is het nodig om drie van de vijf WBI-SOS-segmenten verder op te delen in twee stukken. Dit omdat de breedte aan de dijkbasis voor één SOS segment teveel verschilt (segment 13006). Een tweede segment is in twee vakken verdeeld om de overgang van de Balgzanddijk naar de Amsteldiepdijk in de vakindeling terug te laten komen (segment 13007). Het derde segment is opgeknipt in twee vakken om de "Verzakking" correct mee te nemen (segment 13008). De "Verzakking" is een dijktraject van 200m met een afwijkende geometrie. Figuur 2 laat de uiteindelijke vakindeling zien. Variaties in het toetspeil, polderpeil en de dijkopbouw zijn dusdanig klein dat de vakgrootte niet verder is aangescherpt.



Figuur 2: Vakindeling en ligging dwarsprofielen (rode punten).

Opvulmateriaal van de schematisatie

De bodemopbouw binnen de WBI-SOS scenario's is gedefinieerd voor de diepere grondlagen onder het binnendijkse maaiveldniveau. Dat betekent dat de scenario's aangevuld moeten worden met een grondtype dat aanwezig is boven dit maaiveldniveau (zie rode grondlaag in Figuur 3 en Figuur 4). De vraag is nu welk type van het dijk- en opvulmateriaal moet worden gekozen, gegeven de WBI-SOS scenario's?

In een aantal SOS bodemopbouwscenario's is beschreven dat een zandlaag onder de dijk aanwezig is. Bij de keuze voor zand als opvulmateriaal ontstaat een zand-op-zand situatie, wat resulteert in een oordeel voor het dijkvak "voldoet aan de signaleringswaarde" (klasse IIv). In principe kan in deze situatie geen doorgaande pipe ontstaan. Door het 'van grof naar fijn' schematiseren, is de dijkopbouw als eerste veilig geschematiseerd. Dit betekent dat het dijk- en opvulmateriaal ter plaatse van het voorland niet als watervoerend is aangemerkt met het verzadigd gewicht gelijk aan 13 kN/m.

Geotechnische eigenschappen van de verschillende grondlagen

Aan de verschillende geotechnische lagen worden vervolgens geotechnische eigenschappen toegeschreven. De D_{70} en de k -waarde zijn hierin de belangrijkste parameters. Door 'van grof naar fijn' te schematiseren zijn de standaard waarden voor de D_{70} en de k -waarde toegepast, zoals deze zijn meegeleverd met D-Soil Model versie 17.1. Deze waarden zijn in eerste instantie niet verder aangescherpt op basis van lokaal bodemonderzoek. Deze standaard waarden vinden hun grondslag in de studie Veiligheid Nederland in Kaart (VNK2).

- De korrel diameter (D_{70}) voor de verschillende geologische formaties staat in het WBI-SOS beschreven. De diepere zandlagen hebben een lagere D_{70} dan de ondiepe grondlagen. Per SOS-scenario is de laagste waarde van D_{70} aangenomen als het gemiddelde (160 – 170 μm voor de verschillende segmenten). Conform de schematiseringshandleiding 'piping' is de variatiecoëfficiënt 0,12 [1], die aan de WBI2017 calibratiestudie piping is ontleend.
- De doorlatendheid van de zandlaag (de k -waarde) staat per laag in het WBI-SOS beschreven. Voor een aantal diepere zandlagen is voor verschillende diepten verschillende k -waarden gegeven. Hierbij is in eerste instantie de maximale doorlatendheid per zandlaag toegepast. Conform de schematiseringshandleiding 'piping' is uitgegaan van een variatiecoëfficiënt van 0,5 [1].
- Het verzadigd volumiek gewicht van de cohesieve deklaag is in het WBI-SOS weergegeven. Per grondlaag is de standaardafwijking afgeleid op basis van de ondergrenswaarde van het volumiek gewicht en een variatiecoëfficiënt van 0,5 (conform de schematiseringshandleiding 'piping'). In het D-Soil Model is vervolgens de grootste standaardafwijking van alle lagen

toegepast (= 0,9 kN/m³). Conform de schematiseringshandleiding 'piping' is er ook een verschuiving van 10 kN/m³ in het D-Soil Model aangehouden [1].

Aanwezige kwelweg

De kwelweg is een belangrijke sterkte parameter bij piping. Deze is gedefinieerd als de afstand tussen het intredepunt en uittredepunt van de dijk. Het intredepunt is het dichtst bij de dijk gelegen punt waar het buitenwater met de minste weerstand de watervoerende zandlaag kan bereiken. Het uittredepunt is de locatie waar de kwelstroom het maaiveld of de kwelsloot bereikt. De vraag is: hoe worden deze twee punten gekozen en hoe moet worden omgegaan met verschillende watervoerende lagen?

Voor het in- en uittredepunt zijn twee fysiek verschillende scenario's te onderscheiden: (1) het intredepunt bij de buitenteen en het uittredepunt bij de binnenteen waarbij de ondiepe zandlagen watervoerend zijn en (2) het intredepunt ter plaatse van het voorland en het uittredepunt ter plaatse van de bodem van het Balgzandkanaal/Amstelmeerboezem, waarbij de diepe zandlagen watervoerend zijn. Bij het tweede scenario is sprake van een langere kwelweg, omdat het voorland wordt meegenomen, maar er is ook sprake van een dikkere watervoerende zandlaag met een hogere doorlatendheid. Hierdoor is scenario 1 niet per definitie conservatiever dan scenario 2.

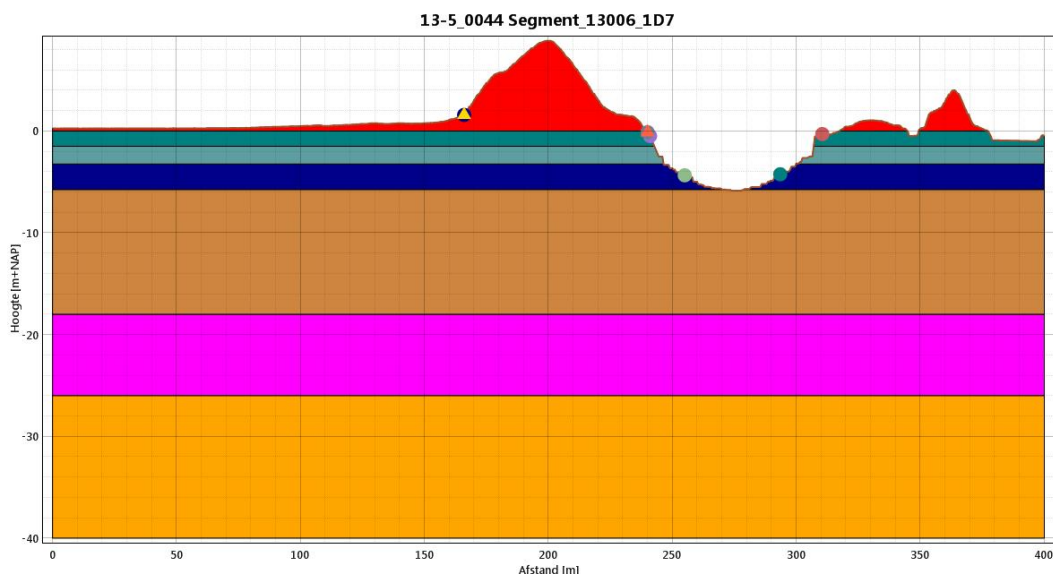
Op basis van de beschikbare informatie was niet vast te stellen welke van de twee situaties maatgevend was. In de beoordeling is deze onzekerheid daarom expliciet meegenomen door beide situaties door te rekenen. Uit de resultaten blijkt dat scenario 1 leidt tot de grootste faalkans. Omdat scenario 2 niet leidt tot een ander veiligheidsoordeel (IIv, voldoet aan signaleringswaarde) is scenario 1 als maatgevend gesteld voor het dijkvak.

In de onderstaande figuren is de uiteindelijke schematisatie weergegeven voor ondergrondscenario 1D7 van vak 13006.2 voor situatie 1 (met een intredepunt in de dijkteen - Figuur 3) en situatie 2 (met een intredepunt in het voorland - Figuur 4).

Beoordelingsresultaat

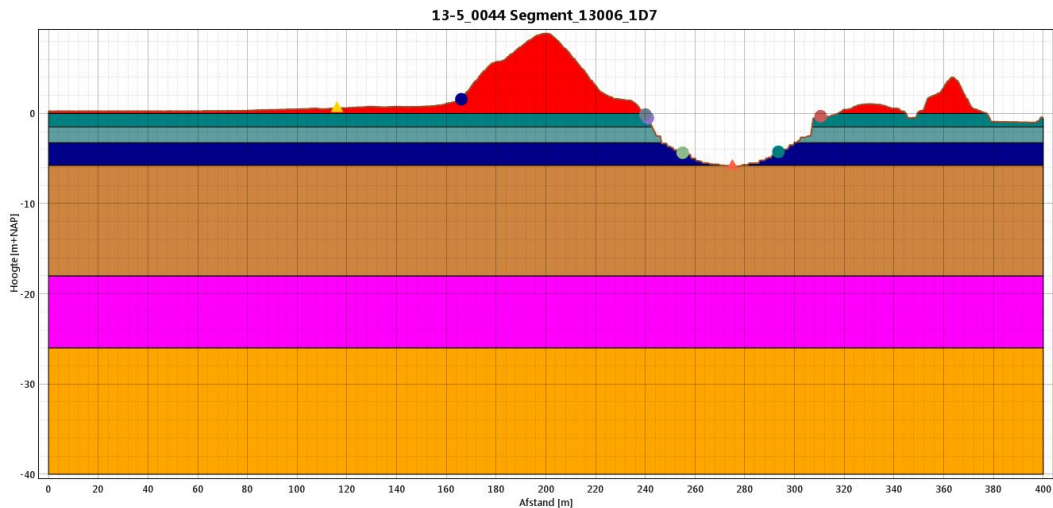
Het veiligheidsoordeel is voor één van de dijkvakken in klasse IIIv en voor de overige dijkvakken in klasse IV of klasse IIv bij de (zeer) conservatieve schematisatie. Dit betekent dat het oordeel op trajectniveau voor piping luidt "voldoet aan de signaleringswaarde". De beschreven schematisatie met als basis het WBI-SOS behoeft geen verdere aanscherping in de vakindeling.

Over de werkwijze in dit voorbeeld wordt opgemerkt dat in situatie 2 het voorland is meegenomen. Hierdoor krijgt het voorland een waterveiligheidsfunctie. Een beheerder moet zijn voorland mogelijk vastleggen om deze functie te waarborgen.



Hydraulische gegevens	
Locatie met hydraulische randvoorwaarden	WZ_1_13-5_dk_00021 (129 m)
Toetspeil [m+NAP]	4.51
Handmatig toetspeil invoeren	False
> Dempingsfactor bij uittredepunt [-]	1.000 (Verwachtingswaarde = 1.000, Standaardafwijking = 0.000)
> Polderpeil [m+NAP]	-0.564 (Verwachtingswaarde = -0.400, Standaardafwijking = 0.100)
Stijghoogte bij uittredepunt [m+NAP]	4.51
Schematisatie	
Profielschematisatie	13-5_0044
Stochastisch ondergrondmodel	13006_Piping
Ondergrondschematisatie	Segment_13006_1D7
Intredepunt	166.00
Uittredepunt	240.00
> Kwelweglengte [m]	62.49 (Verwachtingswaarde = 74.00, Variatiecoëfficiënt = 0.10)
> Totale deklaagdikte bij uittredepunt [m]	0.73 (Verwachtingswaarde = 1.38, Standaardafwijking = 0.50)
> Effectieve deklaagdikte bij uittredepunt [m]	0.73 (Verwachtingswaarde = 1.38, Standaardafwijking = 0.50)
> Dikte watervoerend pakket [m]	2.67 (Verwachtingswaarde = 1.75, Standaardafwijking = 0.50)
> Doorlatendheid aquifer [m/s]	0.000023 (Verwachtingswaarde = 0.000012, Variatiecoëfficiënt = 0.500000)
> De d70 in de bovenste zandlaag [m]	0.000139 (Verwachtingswaarde = 0.000170, Variatiecoëfficiënt = 0.120000)
> Verzadigd gewicht deklaag [kN/m ³]	11.77 (Verwachtingswaarde = 13.00, Standaardafwijking = 0.90, Verschuiving = 10.00)

Figuur 3: Situatie 1, vak 13006.2 (ondergrondscenario 1D7).



Hydraulische gegevens	
Locatie met hydraulische randvoorwaarden	WZ_1_13-5_dk_00021 (129 m)
Toetspeil [m+NAP]	4.51
Handmatig toetspeil invoeren	False
> Dempingsfactor bij uittredepunt [-]	1.000 (Verwachtingswaarde = 1.000, Standaardafwijking = 0.000)
> Polderpeil [m+NAP]	-0.564 (Verwachtingswaarde = -0.400, Standaardafwijking = 0.100)
Stijghoogte bij uittredepunt [m+NAP]	4.51
Schematisatie	
Profielschematisatie	13-5_0044
Stochastisch ondergrondmodel	13006_Piping
Ondergrondschematisatie	Segment_13006_1D7
Intredepunt	116.00
Uittredepunt	275.00
> Kwelweglengte [m]	134.27 (Verwachtingswaarde = 159.00, Variatiecoëfficiënt = 0.10)
> Totale deklaagdikte bij uittredepunt [m]	0.00 (Verwachtingswaarde = NaN, Standaardafwijking = 0.50)
> Effectieve deklaagdikte bij uittredepunt [m]	0.00 (Verwachtingswaarde = NaN, Standaardafwijking = 0.50)
> Dikte watervoerend pakket [m]	12.98 (Verwachtingswaarde = 12.14, Standaardafwijking = 0.50)
> Doorlatendheid aquifer [m/s]	0.000113 (Verwachtingswaarde = 0.000058, Variatiecoëfficiënt = 0.500000)
> De d70 in de bovenste zandlaag [m]	0.000139 (Verwachtingswaarde = 0.000170, Variatiecoëfficiënt = 0.120000)
> Verzadigd gewicht deklaag [kN/m ³]	0.00 (Verwachtingswaarde = NaN, Standaardafwijking = NaN, Verschuiving = NaN)

Figuur 4: Situatie 2, vak 13006.2 (ondergrondscenario 1D7).

Bronnen

[1] Schematiseringshandleiding Piping. RWS – WVL, januari 2017.