

Memo



Aan
Alex Rennings

Kopie aan
Peter van der Vliet

Van
J.N. Boon

Doorkiesnummer
072 582 8347

E-mail
j.boon@hhnk.nl

Onderwerp
Advies teensloot en drainage
Zuiderdijk sectie 8

Registratienummer
15.0052708

Datum
14 september 2015

Inleiding

In 2012 is, tijdens de versterking van de Zuiderdijk van Drechterland (Dijk 18), de dijk binnenwaarts afgeschoven. Deze afschuiving heeft plaats gevonden ter hoogte van Wijdenes op Sectie 8A (van Dp134+50 tot Dp140+100). De oorzaak van de afschuiving is een samenloop van omstandigheden geweest, o.a. te snelle ophoogfasering en natte omstandigheden.

Om te voorkomen dat de dijk bleef schuiven is vervolgens de gehele teensloot gedempt om extra steun te bieden en vervolgens de dijk opnieuw geprofileerd.

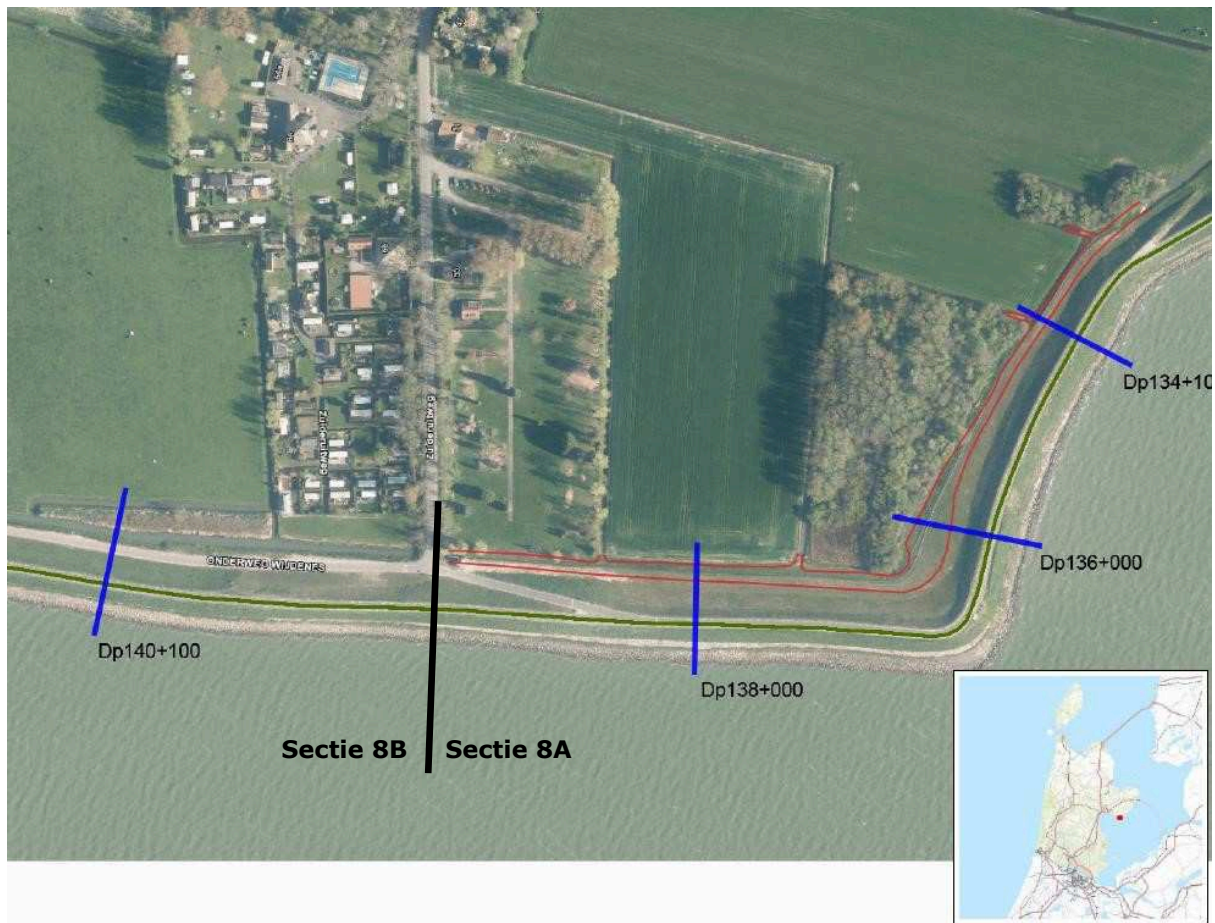
Na realisatie heeft Fugro de revisie van o.a. sectie 8 op stabiliteit herberekend (bron: 1204-0026-068.B04/LWZ). Hieruit bleek dat sectie 8B, met de bij het ontwerp behorende hoge freatische lijn, niet voldoet op binnenwaartse stabiliteit. Om deze reden zijn in 2014 vijf peilbuisraaien geplaatst op verschillende plaatsen in het dwarsprofiel in sectie 8. Het uitvoeren van de peilbuismetingen dient meerdere doelen:

- Met behulp van de peilbuismetingen een doorvertaling maken van de freatische grondwaterstand onder maatgevende omstandigheden;
- Met behulp van de nieuwe freatische lijn de stabiliteit van sectie 8B berekenen;
- Adviseren over de ligging van de terug te graven dijksloot.

Op de onderstaande afbeelding staat een luchtfoto van de betreffende locatie weergegeven. De rode lijnen geven de ligging van de gedempte teensloot weer. De blauwe lijnen geven de locatie van de berekende profielen weer met de daarbij behorende dijkpaalnummers.

Datum

14 september 2015



Figuur 1: Overzicht locatie

Werkwijze

Allereerst zijn peilbuizen geplaatst op een aantal locaties van de betreffende dijksectie. Deze peilbuizen hebben vervolgens ruim een half jaar de grondwaterstand gemeten. Deze meetgegevens zijn vervolgens geanalyseerd en hier uit is een vertaling gemaakt.

Vervolgens is de freatische grondwaterstand verwerkt in de revisieberekeningen en is de stabiliteit herberekend. Hierna zijn een aantal gevoeligheidsberekeningen uitgevoerd ten behoeve van het bepalen van de afstand van de teensloot ten opzichte van de dijk. Ten behoeve van de berekeningen is nog een klein archiefonderzoekje uitgevoerd om de herkomst van een aantal gegevens, zoals de beoordeling op het faalmechanisme Piping en een vergelijk tussen de toegepaste sterkteparameters.

Datum

14 september 2015

Uitgangspunten

Voor de berekening van de stabiliteit van de dijk en de bepaling van de afstand van de teensloot is van een aantal randvoorwaarden uitgegaan. Ook zijn er tijdens het archiefonderzoek nog een aantal discrepanties boven water gekomen.

De randvoorwaarden staan hieronder per onderwerp toegelicht.

Stabiliteitseisen

De marcostabiliteit binnenwaarts dient, indien berekend met de methode Bishop, te voldoen aan een veiligheidsfactor van $F \geq 1,16$ in geval van de situatie Maatgevend Hoogwater (MHW) en $F \geq 1,08$ in geval van de situatie Extreme Neerslag (ENS). Deze waarden zijn conform het versterkingsontwerp van de Zuiderdijk.

Geohydrologie

De stijghoogte in het diepe watervoerende pakket (pleistoceen) wordt aangehouden op NAP -2,00 m. Dit komt overeen met de uitgangspunten welke bij het ontwerp van de Zuiderdijk zijn aangehouden.

Uit de uitgevoerde peilbuismetingen blijkt dat de stijghoogte in de tussenzandlaag ca. 0,40 m hoger ligt dan het freatisch vlak t.p.v. de berm. Deze stijghoogte wordt gevoed door het Markermeer en loopt lineair af naar het achterland (polderpeil).

Het verloop van de freatische lijn is gebaseerd op recente peilbuismetingen. Hierbij zijn de gemeten grondwaterstanden aangepast (verhoogd) voor een maatgevende situatie behorend bij 100 jaar (bron: KNMI), op basis van:

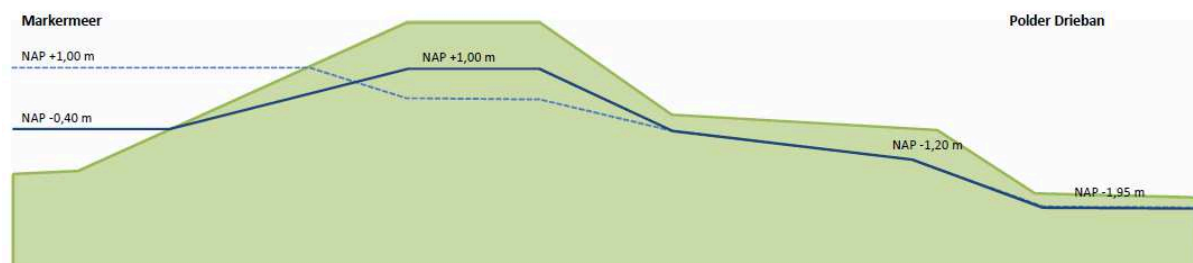
- Een reactie op hoge waterstand op het Markermeer;
- Aanzienlijke (maar niet extreme) neerslag, op basis van waargenomen reacties op buien gedurende de meetperiode.

Deze freatische lijnen wijken af van de uitgangspunten welke bij het ontwerp van de Zuiderdijk zijn aangehouden maar wordt, op basis van de lokale metingen, wel als een realistisch uitgangspunt gezien aangezien de uitgangspunten behorend bij het ontwerp, op het gebied van waterspanningen, afkomstig zijn uit verouderde keurgrenzenonderzoeken uit 1997 (bron: BK10.01588).

Op figuur 2 en 3 staan de freatische lijnen per situatie schematisch weergegeven.

Datum

14 september 2015



Figuur 2: Freatische lijn bij Extreme Neerslag (ENS) (= de niet-onderbroken lijn)



Figuur 3: Freatische lijn bij Maatgevend Hoogwater (MHW) (= de niet-onderbroken lijn)

Datum

14 september 2015

Bovenbelasting

Conform de "Handreiking Constructief Ontwerpen" wordt gerekend met een ongedraineerde bovenbelasting (verkeersbelasting) van 13 kN/m² over een breedte van 2,50 meter.

Sterkteparameters en grondopbouw

De laagopbouw is hetzelfde aangehouden als die van de revisieberekeningen van Fugro. Voor de sterkteparameters van de grond wordt ook de proevenverzameling die behoort bij het ontwerp van de Zuiderdijk aangehouden.

Bij het bestuderen van de revisieberekeningen van Fugro zijn er twee discrepanties boven water gekomen:

- De sterkte van het ophoogmateriaal is lager aangenomen;
- De sterkte van het dijksmateriaal (klei, antropogeen) is iets hoger aangenomen.

Waarom hiervoor is gekozen is niet terug gevonden tijdens het archiefonderzoek. Het verschil in de sterkteparameters is hieronder weergegeven.

Tabel 1: Vergelijk sterkteparameters

Sterkteparameters ontwerp Zuiderdijk			Sterkteparameters revisieberekening Sectie 8		
Grondsoort	σ	τ	Grondsoort	σ	τ
Klei, antropogeen <i>kruin</i>	0	0	Klei, antropogeen	0	1,00
	17,56	7,22	<i>kruin</i>	17,56	7,22
	200	68,72		200	68,72
Klei, ophoogmateriaal	0	3,00	Klei, ophoogmateriaal	0	2,00
	100	44,42	(nieuwdijksmateriaal)	200	82,81
	200	85,84			

Uiteindelijk is in deze beschouwing gekozen om voor het dijksmateriaal (klei, antropogeen) uit te gaan van de sterkteparameters behorend bij het ontwerp van de Zuiderdijk. Voor het ophoogmateriaal maakt het voor sectie 8A niet uit welke van de twee toegepast worden. Met de lagere sterkteparameters voldoet deze sectie op alle berekende profielen voor alle situaties. Voor sectie 8B is de sterkte van het ophoogmateriaal erg van belang, in deze sectie is het kritische glijvlak ondiep in vooral het ophoogmateriaal en komt de onderzijde niet tot onder de freatische lijn. De keuze tussen de twee sets sterkteparameters voor het ophoogmateriaal maakt het verschil tussen het wel of niet voldoen van de binnenwaartse stabiliteit.

Faalmechanismen

Ten behoeve van het bepalen van de locatie van de teensloot zijn de drie profielen van sectie 8A beoordeeld op binnenwaartse macrostabiliteit en piping.

Het profiel van sectie 8B alleen beoordeeld op binnenwaartse macrostabiliteit.

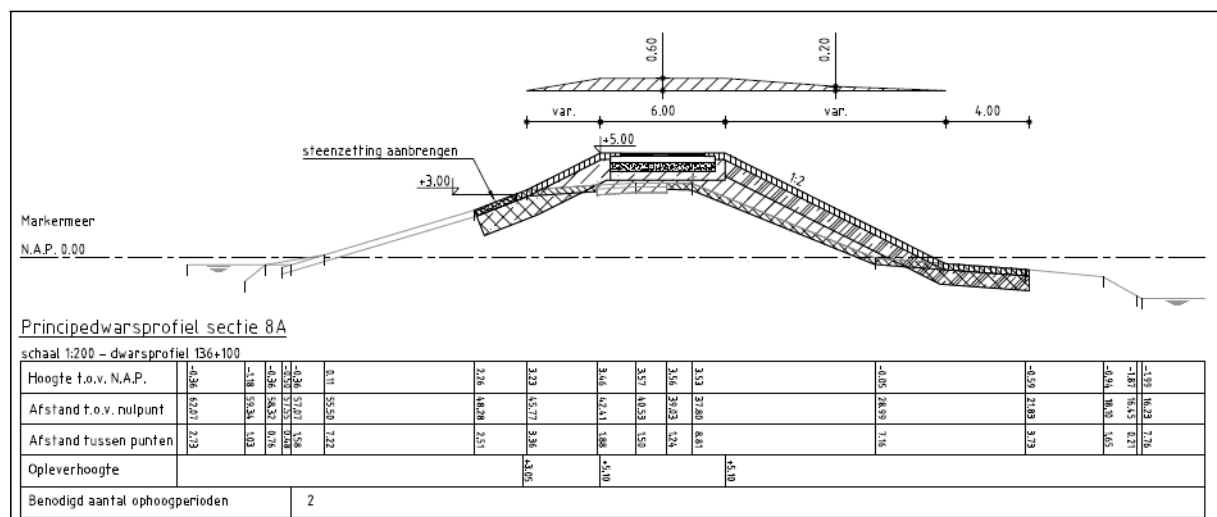
Datum

14 september 2015

Tijdens het archiefonderzoek is gebleken dat de gehele Zuiderdijk tijdens de toetsing voldoende is gekeurd op het faalmechanisme Piping. Of dit faalmechanisme vervolgens in het ontwerp nog beschouwd is bij het hogere ontwerppeil is niet duidelijk te herleiden. In de ontwerp rapportages wordt verwezen naar de toetsresultaten welke verwijzen naar het keurgrenzenonderzoek van 1997.

Omdat ter hoogte van sectie 8 een ondiepe zandlaag aanwezig is onder het dijklichaam is Piping in deze studie wel beschouwd voor het bepalen van de afstand van de teensloot tot de dijk. Omdat geen korrelverdeling van de tussenzandlaag beschikbaar is, is uitgegaan van een Creep factor van 18 (fijn zand). Voor het intredepunt is deze ter plaatse van de teen gekozen. Dit is een ongunstige veronderstelling maar gezien de mogelijkheid van perforaties van het slappe lagenpakket (indien deze buitendijks al aanwezig is) wel mogelijk.

Wat opvalt is dat het oorspronkelijke ontwerp van sectie 8 ook niet voorziet in een pipingberm terwijl dat deze maatgevend blijkt te zijn voor de afstand van de teensloot (bij de gehanteerde uitgangspunten in deze studie).



Figuur 4: Ontwerpprofiel Sectie 8A

Geometrie

Omdat de toekomstige teensloot een belangrijke waterloop is, is door de afdeling Watersystemen van HHNK de volgende minimaal benodigde maatvoering van de teensloot aangegeven:

Waterpeil NAP -1,95 m

Bodem NAP -2,80 m

Waterbreedte 6,00 m

Taluds 1:2

De bermtaluds van de dijk, indien deze afgegraven dienen te worden t.b.v. de teensloot, dienen minimaal 1:3 te zijn en door te lopen tot het maaiveldniveau van het achterland. Vanaf dit niveau begint de insteek van de teensloot.

Datum

14 september 2015

Bepaling teensloot sectie 8A

Om nauwkeurig de locatie van de teensloot van sectie 8A te kunnen bepalen zijn voor deze sectie drie profielen beschouwd (zie figuur 1).

- Dp134+100
- Dp136+000
- Dp138+000

Voor deze locaties is een minimale variant berekend en een voorkeursvariant. Daarnaast wordt per locatie nog een advies gegeven over de locatie van de teensloot.

Dp134+100

Allereerst is het profiel getoetst met de nieuwe freatische grondwaterstanden op de situaties MHW en ENS. Hieruit volgde een stabiliteit van respectievelijk $F=1,25$ en $F=1,22$. Hieruit blijkt dat de situatie ENS maatgevend is voor de binnenwaartse stabiliteit. Vervolgens is m.b.v. de rekenregel van Bligh de minimale pipinglengte bepaald vanuit de tussenzandlaag. Omdat de diepte van de teensloot NAP -2,80 meter dient te worden doorsnijdt deze de zandlaag. Om deze reden is geen reductiefactor in rekening gebracht.

Hiermee bedraagt de benodigde pipinglengte vanuit de (buiten)teen 53,10 meter.

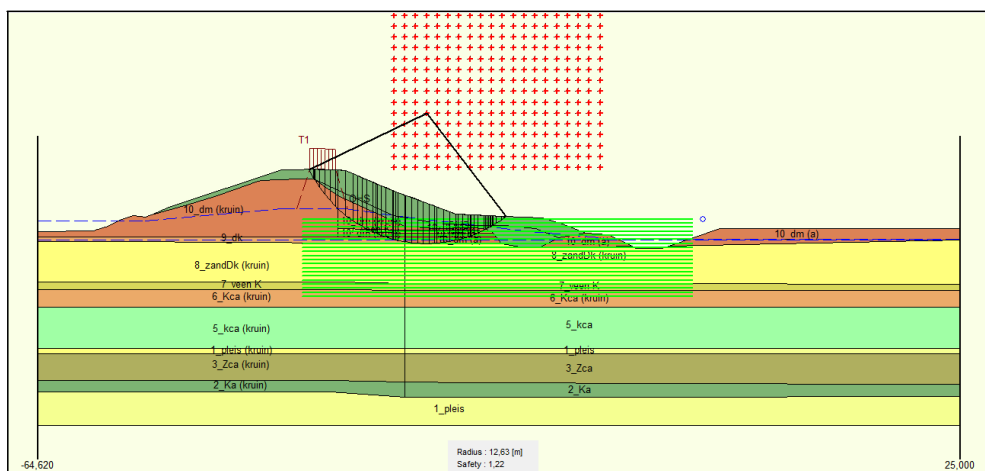
$$L = (\Delta H - 0,3d)C_{\text{creep}}$$

Verval over de waterkering	ΔH	2,95 m
Dikte van de deklaag	d	0,00 m
Creepfactor	C_{creep}	18 [-]
Minimale kwelweglengte	L	53,10 m

Advies

Door de lange kwelweglengte valt de teensloot hiermee buiten de bestaande berm en heeft deze dus geen invloed meer heeft op het maatgevende glijvlak. Het minimale profiel betreft hiermee tevens het voorkeursprofiel.

Op de onderstaande figuur is de dijk met de toekomstige teensloot schematisch weergegeven.



Figuur 5: Ontwerp dijk met teensloot t.h.v. Dp134+100

Er wordt geadviseerd om de teensloot te graven op een minimale afstand van 28,50 meter vanuit de aslijn van de kruin tot de insteek van de teensloot.

Datum

14 september 2015

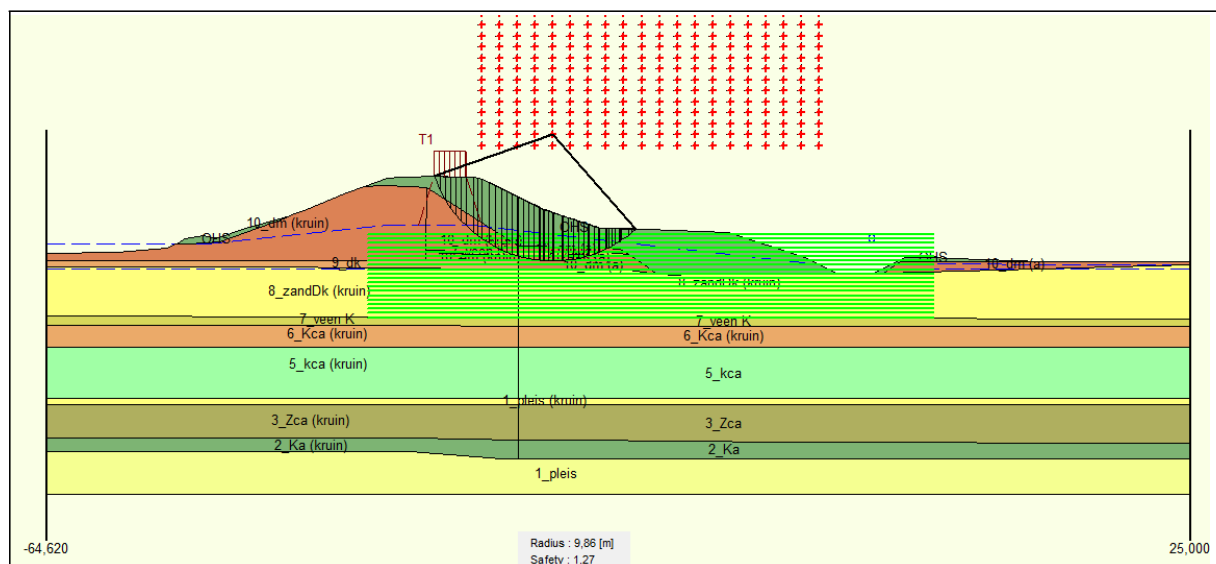
Dp136+000

Voor deze locatie was nog geen revisieberekening beschikbaar. Het beschikbare model van Dp134+100 is aangepast aan de geometrie van Dp136+000. Kenmerkend verschil op deze locatie is de brede teensloot welke voor de versterking aanwezig was. Na de afschuiving is deze in zijn geheel gedempt wat op deze locatie heeft gezorgd voor een veel grotere berm.

Uit de stabiliteitsbeschouwing blijkt dat voor dit profiel de situatie ENS ook maatgevend is met een stabiliteitsfactor van $F=1,26$.

Voor deze locatie snijdt de te realiseren teensloot ook de ondiepe tussenzandlaag en is de minimaal benodigde kwelweglengte gelijk aan die van Dp134+100, 53,10 meter vanuit de (buiten) teen.

Hiermee komt het minimale profiel er uit te zien als weergegeven op figuur 6. De afstand tussen de as van de kruin en de insteek van de teensloot bedraagt 29,00 meter.



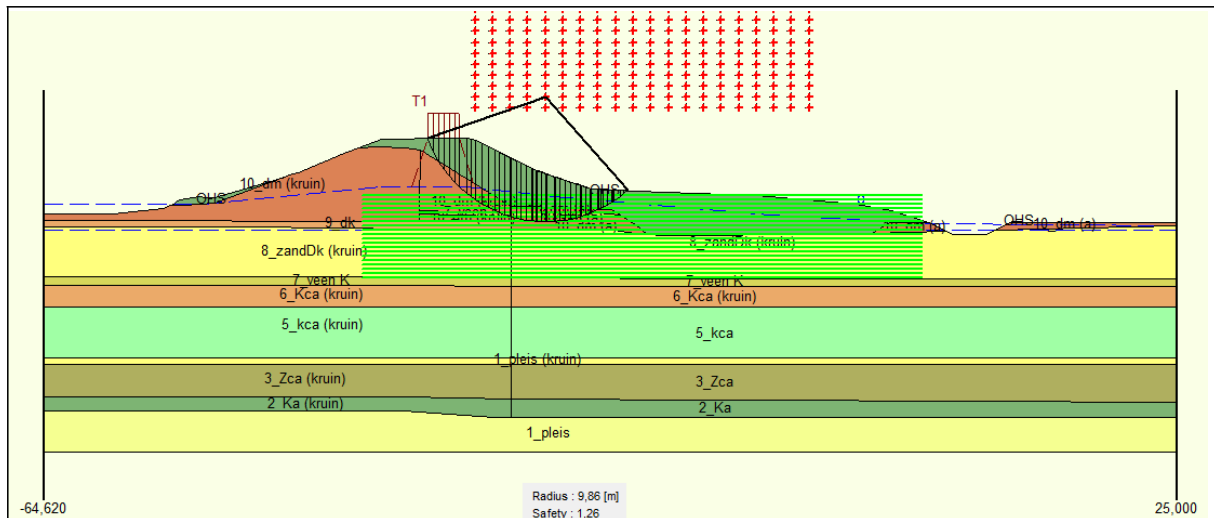
Figuur 6: Minimale ontwerp dijk met teensloot t.h.v. Dp136+000

Omdat bij het minimale profiel de toekomstige teensloot nog binnen de oude teensloot gegraven kan worden kan dit mogelijk risico's met zich meebrengen. Na de afschuiving is de teensloot gedempt maar is de sliblaag welke zich op de bodem van de sloot bevond niet verwijderd. Deze sliblaag zou als glijvlak kunnen fungeren door de lage wrijvingsweerstand van deze sliblaag. Ook is het mogelijk dat, omdat de demping in 2012 plaats heeft gevonden, de toen geïntroduceerde waterspanningen in de ondergrond nog niet geheel gedissipeerd zijn.

Het afgraven van de berm binnen de contouren van de oude teensloot geeft een wezenlijk hoger risico dat de huidige berm, of wellicht zelfs de dijk, wederom in beweging zou kunnen komen. Het voorkeursprofiel houdt hier rekening mee door de toekomstige teensloot te graven buiten de contouren van de oude teensloot. Op figuur 7 is het voorkeursprofiel schematisch weergegeven.

Datum

14 september 2015



Figuur 7: Voorkeursprofiel dijk met teensloot t.h.v. Dp136+000

Op de bovenstaande figuur is te zien dat de gehele steunberm intact wordt gehouden en dat een kleine steunrug tussen de oude en de nieuwe teensloot over blijft. De afstand tussen de as van de kruin en de insteek van de teensloot in deze situatie bedraagt 39,50 meter.

Advies

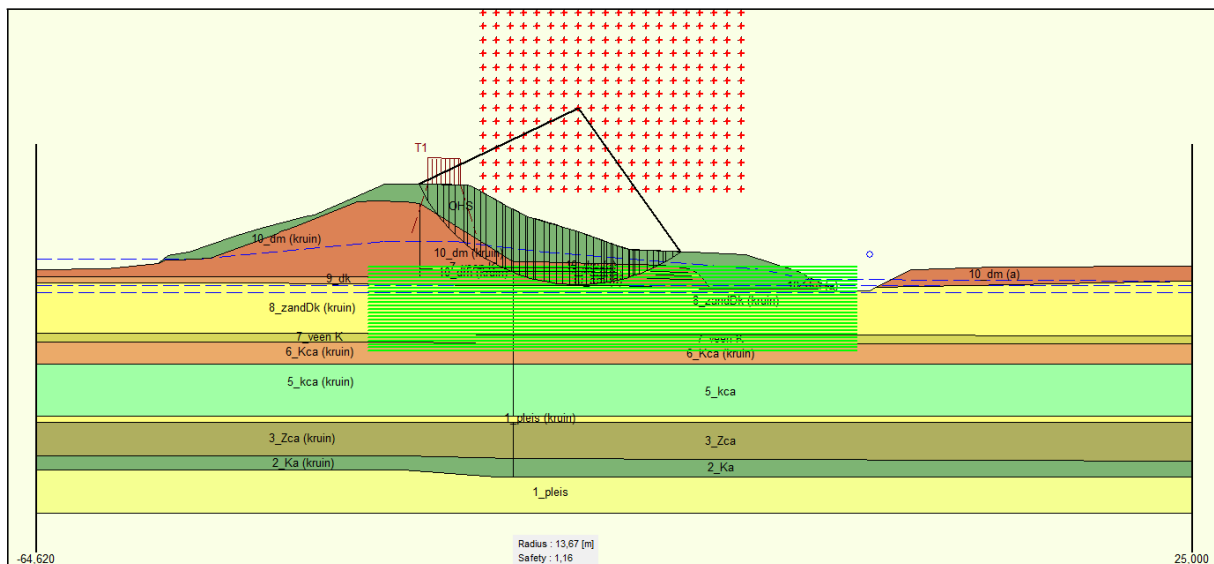
Omdat het minimale profiel een verhoogd risico op een nieuwe afschuiving, of het in beweging laten komen van het dijklichaam, met zich mee brengt wordt geadviseerd om deze variant zeker niet zonder extensieve monitoring uit te voeren. En zelfs met monitoring tijdens de uitvoering wordt het risico op instabiliteit niet weg genomen, op het moment dat het ophoogmateriaal in beweging komt door de graafwerkzaamheden, kan het niet meer tegen gehouden worden en is het al te laat.

DP138+000

Ook voor deze locatie was nog geen revisieberekening beschikbaar. Het beschikbare model van Dp134+100 is ook hier aangepast aan de geometrie van Dp138+000. Kenmerkend verschil op deze locatie is dat de berm zeker 0,50 meter lager is dan deze op de andere twee profielen aanwezig is. Dit zorgt er voor dat de freatische lijn vlak onder het snijpunt van het talud met de berm door gaat wat zorgt voor een iets lagere stabiliteit. Beide situaties MHW en ENS hebben een stabiliteit van $F=1,16$ wat nog net voldoet. Indien de berm een halve meter hoger zou zijn aangelegd zou deze al een verschil in stabiliteit van 0,10 hebben (1,26 i.p.v. 1,16).

Voor deze locatie snijdt de te realiseren teensloot ook de ondiepe tussenzandlaag en is de minimaal benodigde kwelweglengte gelijk aan die van Dp134+100 en Dp136+000, 53,10 meter vanuit de (buiten) teen.

Hiermee komt het minimale profiel er uit te zien als weergegeven op figuur 9. De afstand tussen de as van de kruin en de insteek van de teensloot bedraagt 29,00 meter.



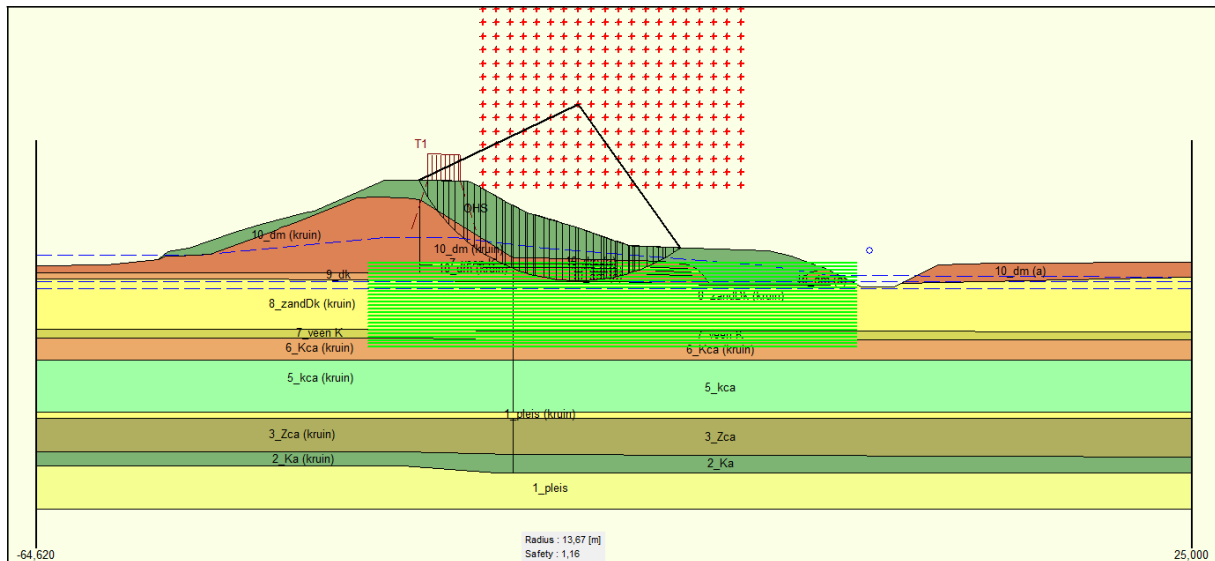
Figuur 9: Minimale ontwerp dijk met teensloot t.h.v. Dp138+000

Omdat de minimaal benodigde kwelweglengte dusdanig groot is valt op deze locatie ook het minimale profiel net buiten de contouren van de oude teensloot. Wel wordt de bestaande steunberm iets ingekort.

Het voorkeursprofiel gaat uit van het behouden van de bestaande berm (niet inleveren op de bestaande sterkte). Het voorkeursprofiel ziet er uit zoals weergegeven op figuur 10.

Datum

14 september 2015



Figuur 10: Voorkeursprofiel dijk met teensloot t.h.v. Dp138+000

Op de bovenstaande figuur is te zien dat de gehele steunberm intact wordt gehouden. Het verschil tussen de beide profielen voor deze locatie bedraagt echter maar 2,00 meter. De afstand tussen de as van de kruin en de insteek van de teensloot bedraagt voor het voorkeursprofiel 31,00 meter.

Advies

Omdat het verschil tussen de beide profielen voor deze locatie zo gering is wordt geadviseerd om het voorkeursprofiel aan te houden. Hiermee wordt niet ingeleverd op de huidige sterkte van de dijk en is de waterkering iets meer toekomstbestendig.

Doordat het dijklichaam tijdens de versterking op deze sectie zo breed is aangelegd, en het ontbreken van een teensloot zorgt dit voor een grotere opbolling van de freatische grondwaterstand. Een kleine ophoging van de bestaande steunberm tot NAP +0,75 meter (1 laag van ca. 0,40 à 0,50 meter) zou hier ook een groot positief effect hebben op de binnenwaartse macrostabiliteit.

Datum

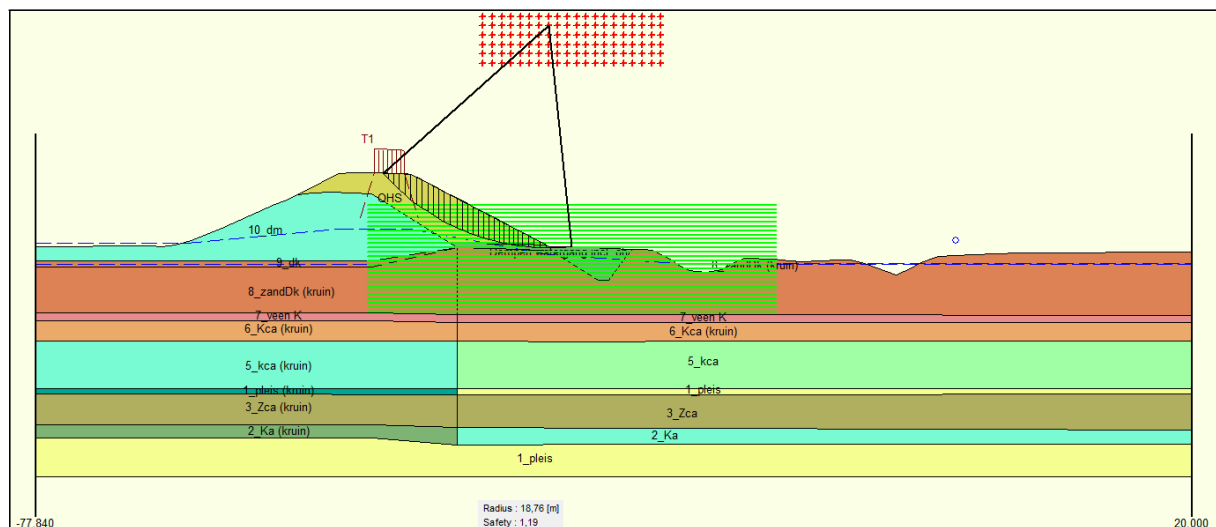
14 september 2015

Bepaling drainage sectie 8B

Uit de revisieberekeningen was gebleken dat met de freatische grondwaterstand behorend bij het ontwerp de stabiliteit niet zou voldoen. Om deze reden zijn peilbuismetingen uitgevoerd om de freatische grondwaterstand te kunnen optimaliseren en zo de stabiliteit her te berekenen. Of de drainage noodzakelijk zou zijn voor de stabiliteit van de waterkering zal blijken uit de berekeningen. Het toepassen van drainage is vanuit de verkeersveiligheid in ieder geval een vereiste.

DP140+100

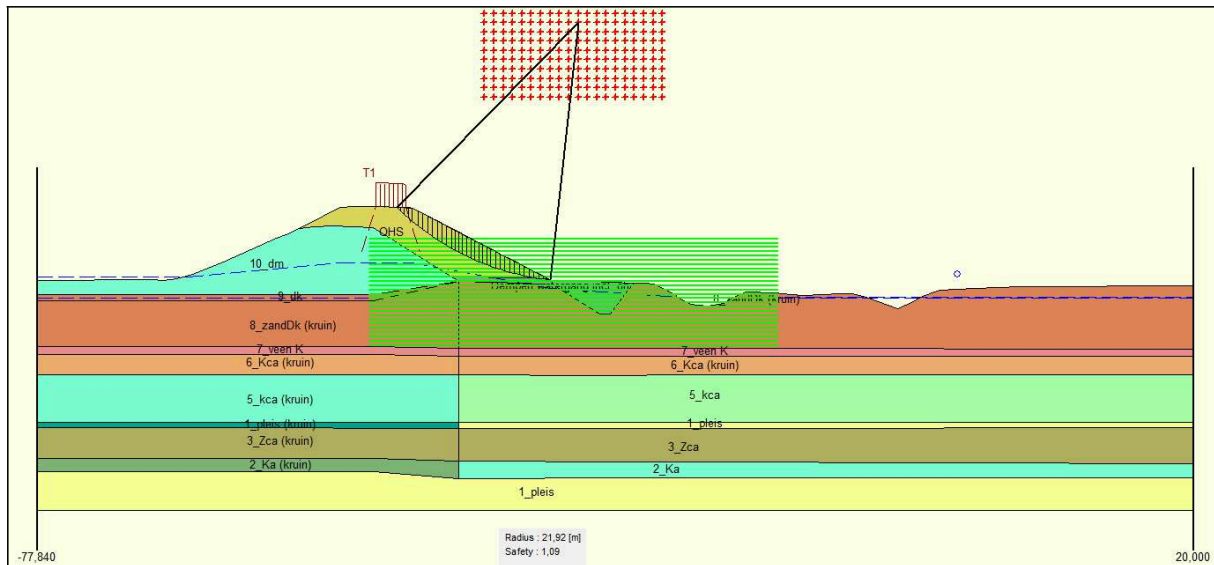
Uit de stabiliteitsberekeningen is gebleken dat de aanwezigheid of diepte van de drainage geen invloed heeft op de stabiliteit van de dijk. Het maatgevende glijvlak is op deze sectie ondiep en raakt het niveau van de freatische lijn niet omdat het talud erg hoog en steil is (1:1,9). Daarnaast is de vraag of de stabiliteit van de dijk wel of niet voldoet nog niet beantwoord met het bepalen van de freatische grondwaterstand omdat er een discrepantie zit in de toegepaste set sterkteparameters voor het ophoogmateriaal, zoals beschreven bij de Uitgangspunten. De lagere sterkteparameters (*nieuwdijksmateriaal*) geeft een stabiliteit van $F=1,09$ en de sterkteparameters behorend bij de proevenverzameling van het ontwerp (*ophoogmateriaal*) geeft een stabiliteit van $F=1,19$.



Figuur 11: Stabiliteit van dijk met sterkteparameters behorend bij ontwerp (*ophoogmateriaal*)

Datum

14 september 2015



Figuur 12: Stabiliteit van dijk met sterkteparameters uit revisieberekening (nieuw dijksmateriaal)

Advies

Voor het maatgevende glijvlak van de dijk heeft de aanleg van drainage niet veel toegevoegde waarde maar omdat het afstromende water in de wintermaanden voor onveilige verkeerssituaties kan leiden is het toepassen van drainage ter hoogte van de binnenteen wel gewenst. De diepte van de drainage wordt geadviseerd op ca. MAP -0,80 m. NAP is dit ca. NAP -1,30 à -1,40 m.

Hiernaast zit er in de geometrie van deze dijksectie een opbolling omdat de oprit hier in het verleden verwijderd is. Ter hoogte van deze opbolling is het talud zelfs nog steiler dan 1:1,9 wat er voor zorgt dat dit talud mogelijk nog instabieler is. Er wordt dan ook geadviseerd om het binnentalud op sectie 8B vlak te trekken.

Om een oordeel te kunnen geven over de stabiliteit van de waterkering en welke grondsterkte aangehouden dient te worden zou besloten kunnen worden om de lagere sterkteparameters links te laten liggen en uit te gaan van de sterkteparameters die behoren bij het ontwerp. Sowieso is het aan te raden om bij Fugro de navraag te doen wat de beweegredenen te zijn om een lagere set sterkteparameters aan te houden in de revisieberekeningen. Een laatste mogelijkheid is nog om de sterkte van het toegepaste ophoogmateriaal opnieuw te beproeven. Risico hierbij is wel dat de uiteindelijke sterkte van het toegepaste ophoogmateriaal lager blijkt te zijn dan aangenomen.

Datum

14 september 2015

Conclusies en aanbevelingen

Conclusies

- Het onderzoek bevestigt het beheerderoordeel van HHNK (notitie HHNK, d.d. december 2013) dat de (extreem) hoge grondwaterstand uit de oorspronkelijke Fugro monitoring onjuist is;
- Op basis van de grondwaterstandsmetingen is het niveau van de freatische grondwaterstand en de stijghoogte opnieuw bepaald. De huidige schematisering vormt een optimalisatie van zowel de stijghoogte in de tussenzandlaag als de freatische grondwaterstand;
- Omdat het niet duidelijk is te achterhalen of het faalmechanisme Piping wel, en zo niet, waarom niet, is beschouwd in het ontwerpproces, is deze wel beschouwd bij de bepaling van de positie van de teensloot;
- Voor sectie 8A voldoet, bij de aanbevolen positie van de teensloot (zie onderstaand), de stabiliteit, ongeacht de gehanteerde sterkteparameters;
- De berm ter hoogte van profiel Dp138+000 ligt lager waardoor de stabiliteit hier net op de grens zit ($F=1,16$) bij set sterkteparameters voor het ophoogmateriaal;
- Voor sectie 8B is het verschil in de sterkteparameters van het ophoogmateriaal bepalend of de stabiliteit van de dijk wel of niet voldoet, bij de oorspronkelijke sterkte (gehanteerd bij het ontwerp) voldoet de stabiliteit.

Aanbevelingen

- Voor de afstand van de te graven teensloot tot de as van de kruin is het aan te bevelen om de volgende maatvoering per locatie aan te houden:
 - o Dp134+100 28,50 meter
 - o Dp136+000 buiten het natuurgebied van Staatsbosbeheer om
 - o Dp138+000 31,00 meter
- Het wordt sterk afgeraden om binnen de contouren van de oude teensloot graafwerkzaamheden uit te voeren.
- De berm ter plaatse van profiel Dp138+000 op te hogen naar NAP +0,75 meter, t.p.v. het snijpunt met het binnentalud en onder een talud van 1:20.
- Omwille van de verkeersveiligheid drainage aanleggen bij sectie 8B. Nadere specificatie van de drainage constructie:
 - o Positie: aan de dijkzijde van de weg;
 - o Ligging: in het zandcunet van de wegconstructie;
 - o Diepte: MV -0,80 m (ca. NAP -1,30 à -1,40 m);
 - o Regelmatig (ieder 25 m) aftakkingen naar de teensloot;
 - o De uiteinden van de drain dienen te zijn voorzien van doorspuitvoorzieningen;
 - o De drain dient te worden omhuld met een zogenaamde volumineuze omhulling (pp450);

Bijlagen

Bijlage 1	Voorkeursituatie
Bijlage 2	Peilbuismetingen Zuiderdijk
Bijlage 3	Maatgevende neerslagsituatie KNMI
Bijlage 4	Berekening maatgevende situatie Zuiderdijk