

DIJKVERBETERING KRUISPOLDER / WILHELMUSPOLDER

Ontwerpnota

Versie 3

MAART jiii

doc.nr. PZDT-R-98247

INHOUDSOPGAVE

SAMENVATTING		1
1.	INLEIDING	3
	1.1	Achtergrond 3
	1.2	Doelstelling Ontwerpnota 3
	1.3	Leeswijzer 4
2.	SITUATIEBESCHRIJVING	5
3.	ONTWERP-CONDITIES	6
	3.1	Uitgangspunten 6
	3.2	Golfrandvoorwaarden 6
4.	TOETSING	8
	4.1	Algemeen 8
	4.2	Stabiliteit toplaag 8
	4.2.1	Betonblokken op klei 9
	4.2.2	Zetsteen op granulaire onderlaag 9
	4.3	Reststerkte bekleding 12
	4.4	Conclusie 12
5.	KEUZE BEKLEDING	13
	5.1	Algemeen 13
	5.2	Toepasbaarheid bekledingstypen 13
	5.2.1	Hergebruik betonblokken op geokunststof op klei 13
	5.2.2	Hergebruik natuursteen op granulair materiaal 14
	5.2.3	Betonzuilen op granulair materiaal 14
	5.2.4	Hergebruik betonblokken op granulair materiaal 15
	5.3	Keuze 15
	5.3.1	Algemeen 15
	5.3.2	Boventafel 16
	5.3.3	Ondertafel 16
6.	DIMENSIONERING	18
	6.1	Berm 18
	6.2	Overgang berm-boventafel 18
	6.3	Bekleding boventafel 18
	6.4	Overgang boventafel-ondertafel 20
	6.5	Ondertafel 21
	6.6	Teenconstructie 21
FIGUREN		
LITERATUUR		
BIJLAGEN		
APPENDIX		

SAMENVATTING

In deze Nota wordt het ontwerp beschreven van de verbetering van de glooiing van het oostelijke deel van het dijkvak van de Kruispolder en de Wilhelmuspolder, in het kader van het Project Zeeweringen.

Het dijkvak van de Kruispolder en de Wilhelmuspolder ligt in het beheersgebied van het Waterschap Hulster Ambacht. De lengte van het vak is ongeveer 4400 m. Dit ontwerp betreft de glooiing van het buitentalud, vanaf de berm tot aan de teen. Halverwege de glooiing, rond NAP+3,5 m, ligt een overgang. Daarboven (de boventafel) bestaat de bekleding uit betonblokken op klei, onder de overgang (de ondertafel) liggen diverse soorten natuursteen en betonelementen op een granulaire onderlaag. De kern van de dijk bestaat uit zand.

In de Algemene Nota zijn de algemene **uitgangspunten** vastgesteld voor de verbeteringswerken in 1997. Deze uitgangspunten betreffen de vereiste veiligheid, uitvoerbaarheid, beheer en onderhoud, milieu en de eis dat uitvoering in 1997 mogelijk moet zijn.

De **golfrandvoorwaarden** voor het ontwerp variëren over het dijkvak. Bij een waterstand van NAP+6 m varieert de golfhogte van 1,7 m tot 2,1 m, de bijbehorende golfperiode is 6,2 s. Ook bij lagere waterstanden zijn maatgevende golfrandvoorwaarden vastgesteld.

Toetsing van de huidige bekleding is uitgevoerd aan de hand van de Leidraad Toetsen op Veiligheid. De gehele bekleding van de boventafel en een groot deel van de bekleding van de ondertafel is 'onvoldoende' uit het oogpunt van stabiliteit van de toplaag. Voor een deel van de bekleding van basaltzuilen geldt, dat een nadere inventarisatie van de zuilafmetingen nodig is voor een definitief toetsresultaat. Deze bekleding wordt daarom nog niet binnen dit ontwerp aangepakt, en daardoor heeft toetsing van de bekledingen daaronder nog geen zin. Vanwege de zandkern is de reststerkte 'onvoldoende'; het eindresultaat van de toetsing wordt daarom bepaald door de besproken beoordeling van de toplaag.

De **keuze van de nieuwe bekledingstypen** wordt bepaald door de vastgestelde uitgangspunten en randvoorwaarden. Op grond van het uitgangspunt dat zoveel mogelijk van de bestaande bekledingsmaterialen moeten worden hergebruikt, wordt een deel van de boventafel bekleed met gekantelde betonblokken op een uitvullaag, terwijl een deel van de ondertafel wordt bekleed met gekantelde blokken van Poolse graniet op een uitvullaag. Voor de rest van de glooiing zijn alleen nieuwe betonzuilen beschikbaar.

De **dimensionering** hangt af van de geldende golfrandvoorwaarden. De gekantelde betonblokken hebben een dikte van 0,50 m en een breedte van 0,20 m. Van de beschikbare Poolse graniet worden alleen blokken met een grotere dikte dan 0,30 m gebruikt als zetsteen. Voor de betonzuilen wordt gekozen voor zuilen met een dikte van 0,35 m en een volumieke massa van 2300 kg/m^3 . Deze zuilen kunnen zowel in de boventafel als in de ondertafel worden toegepast. Onder de toplaag wordt een uitvullaag aangebracht van steenslag met een laagdikte van 0,1 m. Onder de gekantelde betonblokken kan een sortering worden toegepast van 4/20 mm, onder de betonzuilen en de Poolse graniet is een sortering nodig van 20/40 mm. Onder deze uitvullaag wordt een vlies (O_{90} van $100 \mu\text{m}$) aangebracht ter voorkoming van erosie van kleideeltjes. Op het deel waar de bekleding van de ondertafel wordt vernieuwd, wordt tevens een nieuwe bekleding aangebracht. De bovenkant van de teenconstructie komt tussen NAP+0,3 m en NAP+1,0 m.

Het is mogelijk dat een deel van de (minimaal voorlopig) gehandhaafde bekleding onderin de glooiing als 'onvoldoende' zal worden beoordeeld. Het vervangen van laaggelegen bekledingen met handhaving van de nieuwe, hogergelegen bekledingen heeft grote uitvoeringstechnische nadelen en is duur. De oplossing voor dit mogelijke probleem kan worden gevonden in het overlagen van de bestaande bekleding met breuksteen. Naar deze oplossing wordt nader onderzoek uitgevoerd in het kader van het Project Zeeweringen.

Tenslotte wordt op een deel van het dijkvak een proefvak aangebracht met Hydroblocks. Dit is een type dat machinale plaatsing in bochten mogelijk maakt. Verdere eigenschappen (mogelijkheid van eco-top, dimensionering) worden hierdoor niet beïnvloed.

1. INLEIDING

1.1 Achtergrond

Uit onderzoek van de Technische Adviescommissie Waterkeringen is gebleken dat een groot deel van de taludbekledingen van de glooiingen van zeedijken in Zeeland niet sterk genoeg is. De belangrijkste problemen doen zich voor bij bekledingen van betonblokken die direct op een onderlaag van klei liggen. Om dit probleem op te lossen is door Rijkswaterstaat het Project Zeeweringen opgestart. Binnen het Project Zeeweringen wordt, in samenwerking met de Zeeuwse Waterschappen en de Provincie Zeeland, de taludbekleding van de primaire waterkeringen in Zeeland zodanig verbeterd dat ze voldoet aan de wettelijke eisen.

Om de urgente dijkvakken snel aan te kunnen pakken is bij aanvang van het Project besloten om al in 1997 de eerste werken uit te voeren. Vier dijkvakken langs de Westerschelde zijn uitgekozen; één van deze vier dijkvakken is het vak van de Kruispolder en de Wilhelmuspolder. Het ontwerp van dit dijkvak is het onderwerp van deze nota.

In het ontwerp wordt alleen de bekleding van het buitentalud van de glooiing, vanaf de buitenberm tot en met de teen beschouwd. Kruin, buitenbeloop boven de berm, kern, ondergrond en binnentalud worden niet in het ontwerp betrokken. De berm wordt wel bij het ontwerp betrokken voor zover dat voor de uitvoering van de werken van belang is.

1.2 Doelstelling Ontwerpnota

De gemaakte ontwerpen moeten formeel worden vastgelegd in ontwerpnota's. In deze nota's moet een inzichtelijke beschrijving worden gegeven van de uitgangspunten en van de ontwerpkeuzes die op grond daarvan worden gemaakt.

Ter verbetering van de helderheid is besloten om de ontwerpnota's te splitsen. Aspecten die voor alle vier de dijkvakken gelden worden beschreven in een Algemene nota **Fout! Onbekende schakeloptie-instructie.**, terwijl de specifieke aspecten voor elk dijkvak in aparte ontwerpnota's worden vastgelegd. De voorliggende nota is de specifieke ontwerpnota voor de Kruispolder en de Wilhelmuspolder.

Voor deze specifieke nota kan de volgende doelstelling worden geformuleerd: de nota moet een beschrijving geven van

- de specifieke aspecten die van belang zijn voor het ontwerp van de taludbekleding van de glooiing van de Kruispolder en de Wilhelmuspolder;
- toetsings- en ontwerpberekeningen;
- het resulterend ontwerp.

Het resulterend ontwerp moet daarnaast zodanig worden beschreven dat het een overzicht geeft van de ontwerpgegevens die moeten worden opgenomen in het systeem van leggers en beheersregisters van de waterschappen.

1.3 Leeswijzer

In Hoofdstuk 2 wordt de huidige situatie van het dijkvak beschreven. Hoofdstuk 3 beschrijft de ontwerp-uitgangspunten en golfrandvoorwaarden. In Hoofdstuk 4 komt de toetsing van de huidige bekleding aan de orde en wordt geconcludeerd welke delen wel en niet binnen het Project Zeeweringen moeten worden verbeterd. In Hoofdstuk 5 wordt op basis van de vastgestelde uitgangspunten en golfrandvoorwaarden een principe-oplossing gekozen voor elk gedeelte van het dijkvak dat moet worden verbeterd. In Hoofdstuk 6 tenslotte wordt de dimensionering van de bekledingen beschreven.

2. SITUATIEBESCHRIJVING

Het dijkvak van de Kruispolder en de Wilhelmuspolder ligt in Zeeuws-Vlaanderen, in het beheersgebied van het Waterschap Hulster Ambacht, tussen de plaatsen Baalhoek en Walsoorden. De locatie is weergegeven in Figuur 1.

Het gedeelte dat is geselecteerd voor verbetering heeft een lengte van 4416 m en ligt tussen de dijkpalen 191,95 (de Nol van Baalhoek, zuid-oostgrens) en 236,11 (Walsoorden, noord-westgrens). De geometrie van de glooiing kan globaal worden beschreven door één karakteristiek dwarsprofiel. Dit is weergegeven in Figuur 2.

Voor een schematische weergave van de bekleding van het gehele dijkvak wordt verwezen naar Figuur 3a.

Het interessegebied strekt zich uit vanaf de berm tot en met de teen. Van belang voor het ontwerp zijn de kern van de dijk en de bekleding van de dijk (toplaag, granulaire onderlaag en basismateriaal).

De kern van de dijk bestaat uit zand.

Verticaal gezien bestaat de bekleding uit twee gedeelten, met een overgang rond NAP+3,5 m. Dit is ongeveer 1 m boven Gemiddeld hoogwater (GHW).

Het bovenste gedeelte, tussen de berm (rond NAP+6,2 m) en de overgang, wordt de **boventafel** genoemd. De taludhelling van de boventafel is circa 1:3,5. De bekleding bestaat uit betonblokken van 0,5 m bij 0,5 m met een dikte van 0,2 m. Het basismateriaal van de gehele boventafel bestaat uit klei.

Het gedeelte van de steenbekleding onder NAP+3,5 m wordt de **ondertafel** genoemd. De taludhelling is ook hier circa 1:3,5. De bekleding bestaat uit verschillende soorten natuursteen op een granulaire laag en varieert sterk over de lengte van het dijkvak. Van boven naar beneden gaat het om de volgende typen steen: basaltzuilen, betonzuilen, blokken van Poolse graniet, Doornikse blokken en Lessinische steen.

Het basismateriaal van de ondertafel bestaat over ongeveer 3500 m uit klei en over ongeveer 900 m (op de gedeelten dp 205,32 - dp 210,27 en dp 215 - dp 219) uit mijnsteen. Dit onderscheid is weergegeven in de dwarsprofielen in Figuur 2.

De huidige bekleding van de boventafel is aangebracht rond 1980.

Aan het zuid-oostelijk uiteinde, op het gedeelte dp 191,95 - dp 193, bevindt zich in de ondertafel de zogenaamde Nol van Baalhoek. In dit ontwerp is deze Nol, dus de ondertafel van het gedeelte dp 191,95 - dp 193, buiten beschouwing gelaten.

3. ONTWERP-CONDITIES

3.1 Uitgangspunten

In de Algemene nota voor de dijkvakken van 1997 Fout! **Onbekende schakeloptie-instructie.** wordt een beschrijving gegeven van uitgangspunten die in het algemeen gelden voor dijkversterking en van de uitgangspunten die in het bijzonder gelden voor de werken die in 1997 worden uitgevoerd. Op grond hiervan zijn de volgende technische uitgangspunten voor het ontwerp vastgesteld:

- de gehele bekleding moet sterk genoeg zijn om niet te bezwijken tot aan de ontwerp-omstandigheden met een gemiddelde overschrijdingsfrequentie van 1/4000 per jaar;
- het ontwerp moet goed uitvoerbaar zijn en goede voorwaarden scheppen voor beheer en onderhoud;
- gestreefd moet worden naar het zoveel mogelijk toepassen van milieuvriendelijke materialen en naar hergebruik van aanwezige materialen. De gebruikte constructiematerialen moeten zoveel mogelijk geschikt zijn voor eventueel toekomstig hergebruik;
- vertragingen in ontwerp, procedures en uitvoering moeten worden vermeden; dit betekent onder meer dat er naar gestreefd wordt alleen oplossingen toe te passen die in de praktijk bewezen zijn, dat ingrijpende profielwijzigingen worden voorkomen en bovendien dat de grootschalige toepassing van asfalt moet worden vermeden.

Voor de Kruispolder en de Wilhelmuspolder gelden geen specifieke uitgangspunten.

3.2 Golfbrandvoorwaarden

De golfbrandvoorwaarden voor het ontwerp worden bepaald door het gekozen uitgangspunt dat de dijk sterk genoeg moet zijn om veiligheid tegen overstroming te bieden tot aan een hoogste hoogwaterstand met een gemiddelde overschrijdingskans van 1/4000 per jaar. Voor het ontwerp zijn de maatgevende golfvelden bij verschillende waterstanden met behulp van modelberekeningen vastgesteld door RIKZ. Voor het ontwerp zijn de maatgevende golfvelden bij verschillende waterstanden met behulp van modelberekeningen vastgesteld door RIKZ Fout! **Onbekende schakeloptie-instructie.** De resultaten van de berekeningen zijn weergegeven in Tabel 1.

GOLFRANDVOORWAARDEN						
dijkvak [dp]	waterstand NAP+6 m		waterstand NAP+4 m		waterstand NAP+2 m	
	H _s	T _p	H _s	T _p	H _s	T _p
191,95-214	2,1	6,2	1,7	5,7	1,2	5,7
214-218,59	1,8	6,2	1,6	5,7	1,2	5,7
218,59-225	1,7	6,2	1,6	5,7	1,2	5,7
225-236,11	1,7	6,2	1,6	5,7	1,5	5,7

Tabel 1: Golfbrandvoorwaarden

Bij waterstanden lager dan NAP+2 m is de maximale golfhoogte gelijk aan 70 % van de waterdiepte ($H_s = 0,7 \times d$).

4. TOETSING

4.1 Algemeen

In 1996 heeft Grondmechanica Delft de toestand van de bekledingen van de glooiingen geïnventariseerd Fout! **Onbekende schakeloptie-instructie..** Deze inventarisatie was de directe aanleiding tot het Project Zeeweringen. Ook de bekleding van het dijkvak van de Kruispolder en de Wilhelmuspolder is in dat kader globaal getoetst aan de hand van de Leidraad Toetsen op Veiligheid Fout! **Onbekende schakeloptie-instructie.;** bijna de hele bekleding van het dijkvak boven GHW is daarbij beoordeeld als 'onvoldoende', voor een deel van de ondertafel was het toetsingsresultaat 'nader onderzoek'. In het inventarisatierapport is aangegeven dat de geldigheid van dit resultaat wordt beperkt doordat

- niet alle gegevens beschikbaar waren;
- de gebruikte golfrandvoorwaarden eigenlijk niet zijn bedoeld voor toetsing van bekledingen;
- de gebruikte rekenmethodes slechts indicatief zijn.

De uitgevoerde globale toetsing is dan ook niet geschikt als basis voor het ontwerp.

Op grond van de verbeterde gegevens (zie Hoofdstuk 2) en de verbeterde golfrandvoorwaarden (zie § 3.2) zijn nieuwe toetsingsberekeningen uitgevoerd. Wederom is gewerkt volgens de Leidraad Fout! **Onbekende schakeloptie-instructie..** Deze toetsing wordt in dit Hoofdstuk beschreven.

In de Algemene nota 1997 Fout! **Onbekende schakeloptie-instructie.** is aangegeven dat van de geselecteerde dijkvakken alle gedeelten worden aangepakt die op grond van de Leidraad Toetsen als 'onvoldoende' worden beoordeeld. Een bekleding is 'onvoldoende' als de toplaag 'onvoldoende' of 'twijfelachtig' is en als bovendien de reststerkte van de bekleding 'onvoldoende' is. Als de toplaag 'onvoldoende' of 'twijfelachtig' is maar de reststerkte is 'voldoende', is het eindresultaat voor de bekleding in principe 'voldoende'. Op deze laatste regel bestaat een uitzondering: het eindresultaat voor de bekleding kan slechts 'voldoende' zijn als het bezwijken van de toplaag niet kan leiden tot schade aan hoger gelegen bekledingen. Bij nadere toetsing moet daarom aandacht worden besteed aan zowel de toplaag als de reststerkte.

De toetsing van de stabiliteit van de toplaag en van de reststerkte van de bekleding worden in de volgende paragrafen apart behandeld. Aansluitend wordt het eindresultaat van de toetsing vastgesteld, op grond waarvan geconcludeerd wordt welke delen van de bekleding moeten worden verbeterd.

4.2 Stabiliteit toplaag

Bij toetsing van steenbekledingen volgens de Leidraad bestaan verschillende niveaus van detail. Elke bekleding wordt eerst met de 'eenvoudige methode' getoetst. Als deze eenvoudige toetsing tot een beoordeling 'goed' of 'onvoldoende' leidt, is dat tevens het eindresultaat. Als de bekleding volgens de eenvoudige toetsing 'twijfelachtig' is, moet indien mogelijk worden getoetst met de

'gedetailleerde methode' (zie Fout! **Onbekende schakeloptie-instructie.**). Beide methoden worden nader beschreven in de Appendix.

De toetsing wordt beschreven per bekledingstype. In- en uitvoer van de toetsingsberekeningen is opgenomen in Bijlage 1.

4.2.1 Betonblokken op klei

Een bekleding van betonblokken op klei kan alleen met de 'eenvoudige methode' worden getoetst.

In het dijkvak komt dit bekledingstype in de gehele boventafel voor.

Voor de blokken gelden de golfrandvoorwaarden bij NAP+6 m (zie Tabel 1). Voor de berekening zijn de volgende gegevens gebruikt:

H_s	=	2,1 m - 1,7 m
T_p	=	6,0 s
α	=	1:3,5
ρ_{beton}	=	2300 kg/m ³
ρ_{water}	=	1025 kg/m ³
D	=	0,20 m

In de minst gunstige situatie, bij $H_s = 2,1$ m, gelden voor de belastingparameter (ξ_{op}) en de sterkteparameter ($H_s/\Delta D$) de volgende waarden:

- $\xi_{op} = 1,48$
- $H_s/\Delta D = 8,44$

Bij $H_s = 1,7$ m gelden de volgende waarden:

- $\xi_{op} = 1,64$
- $H_s/\Delta D = 6,83$

Uit het diagram van het 'black-box'-model voor 'stabiliteit van steenzetting op goede klei' (type 2) volgt, dat alle betonblokken in het dijkvak als 'onvoldoende' worden beoordeeld.

4.2.2 Zetsteen op granulaire onderlaag

De bekleding bestaat uit verschillende soorten natuursteen op een granulaire laag en varieert sterk over de lengte van het dijkvak. Globaal van boven naar beneden gaat het om de volgende typen steen: basaltzuilen, betonzuilen, blokken van Poolse graniet, Doornikse blokken en Lessinische steen.

Basaltzuilen

De basaltzuilen komen voor in het gedeelte dp 193 - dp 205,3 en in het gedeelte dp 222,5 - dp 236,11. Voor de toetsing zijn de golfrandvoorwaarden voor de betreffende gedeelten op het niveau NAP+5 m gebruikt. Zowel de golfrandvoorwaarden als de zuildikten zijn verschillend voor de twee gedeelten; ze worden dan ook apart behandeld.

Voor het **gedeelte dp 193 - dp 205,3** zijn de volgende gegevens gebruikt:

H_s	=	1,9 m
T_p	=	6,0 s
α	=	1:3,5
ρ_{blok}	=	2900 kg/m ³
ρ_{water}	=	1025 kg/m ³
D	=	0,23 - 0,28 m

De aanwezige zuilafmetingen zijn bepaald door onderzoek ter plaatse. Bij een zuildikte van 0,23 m gelden voor de belastingparameter (ξ_{op}) en de sterkteparameter ($H_s/\Delta D$) de volgende waarden:

- $\xi_{op} = 1,55$
- $H_s/\Delta D = 4,52$

Uit het diagram van het 'black-box'-model voor 'toetsing van steenzetting op filter (normale constructie)' (type 3b) volgt, dat de bekleding als 'twijfelachtig' moet worden beoordeeld. Er wordt niet voldaan aan het toepasbaarheids criterium voor een gedetailleerde berekening met ANAMOS; een bekleding met een zuildikte van 0,23 m wordt op grond hiervan als 'onvoldoende' beoordeeld.

Vanwege de grote variatie in afmetingen van de basaltzuilen (tussen 0,23 m en 0,28 m) is het van belang om te bepalen welke dikte minimaal nodig is om de beoordeling 'goed' te kunnen behalen. Dit volgt uit de grenswaarde voor het toepasbaarheids criterium en uit een controleberekening met ANAMOS. De minimaal benodigde dikte bij de vastgestelde golfparameters voor dit vak is 0,24 m. In een groot deel van het vak zal hieraan wel worden voldaan. In afwachting van een nadere inventarisatie van de aanwezige dikte wordt het beoordelingsresultaat 'nader onderzoek' gegeven voor de gehele bekleding van basaltzuilen op het gedeelte dp 193 - dp 205,3.

Voor het **gedeelte dp 222,5 - dp 236** zijn de volgende gegevens gebruikt:

H_s	=	1,7 m
T_p	=	6,0 s
α	=	1:3,5
ρ_{blok}	=	2900 kg/m ³
ρ_{water}	=	1025 kg/m ³
D	=	0,16 - 0,22 m

Ook hier zijn de aanwezige zuilafmetingen ter plaatse bepaald. Bij een zuildikte van 0,16 m gelden de volgende waarden:

- $\xi_{op} = 1,64$
- $H_s/\Delta D = 5,81$

Uit het diagram van het 'black-box'-model voor 'toetsing van steenzetting op filter (normale constructie)' (type 3b) volgt, dat de bekleding direct als 'onvoldoende' moet worden beoordeeld.

Ook voor dit gedeelte is de minimaal benodigde dikte vastgesteld; deze bedraagt 0,22 m. Aangezien slechts een klein deel van de aanwezige zuilen hieraan voldoet, wordt de hele basaltbekleding op het gedeelte dp 222,5 - dp 236 als 'onvoldoende' beoordeeld.

Betonzuilen

De betonzuilen komen voor op het gedeelte dp 193 - dp 200. Het hele vak bevindt zich onder het vak met basaltzuilen waarvoor de beoordeling 'nader onderzoek' is gegeven. Omdat dat vak (minimaal voorlopig) gehandhaafd wordt, is het niet mogelijk om lagergelegen vakken te vervangen. Op grond van dit gegeven is de toetsing van de bekleding van betonzuilen uitgesteld.

Poolse graniet

Het Poolse graniet bevindt zich in een groot deel van het dijkvak ten westen van dp 205, middenin de ondertafel. Voor de toetsing wordt gebruik gemaakt van de golfrandvoorwaarden op het niveau NAP+5 m.

De volgende gegevens zijn gebruikt:

H_s	=	1,7 m
T_p	=	6,0 s
α	=	1:3,5
ρ_{blok}	=	2600 kg/m ³
ρ_{water}	=	1025 kg/m ³
D	=	0,22 m

De volgende waarden worden berekend voor de parameters:

- $\xi_{op} = 1,64$
- $H_s/\Delta D = 5,03$

Uit het diagram van het 'black-box'-model voor 'toetsing van steenzetting op filter (normale constructie)' (type 3b) volgt, dat de bekleding direct als 'onvoldoende' moet worden beoordeeld.

Doornikse blokken

De Doornikse blokken bevinden zich op het gedeelte dp 193 - dp 205,3 en op het gedeelte dp 220 - dp 236, onder vakken met Poolse graniet.

Voor het eerste gedeelte geldt dezelfde overweging als voor het besproken vak met betonzuilen: de beoordeling wordt uitgesteld totdat er een definitieve beoordeling is van het vak met basaltzuilen bovenin de ondertafel.

Het andere vak, op het gedeelte dp 220 - dp 236, wordt wel getoetst. Voor de toetsing wordt gebruik gemaakt van de golfrandvoorwaarden op het niveau NAP+3,5 m.

De volgende gegevens zijn gebruikt:

H_s	=	1,6 m
T_p	=	5,7 s
α	=	1:3,5
ρ_{blok}	=	2600 kg/m ³
ρ_{water}	=	1025 kg/m ³
D	=	0,15 m

De volgende waarden worden berekend voor de parameters:

- $\xi_{op} = 1,66$
- $H_s/\Delta D = 6,51$

Uit het diagram van het 'black-box'-model voor 'toetsing van steenzetting op filter (normale constructie)' (type 3b) volgt, dat de bekleding direct als 'onvoldoende' moet worden beoordeeld.

Lessinische steen

Op de gedeelten dp 193 - dp 200 en dp 212 - dp 215 bevindt zich rond NAP een bekleding van ongepenetreerde Lessinische steen. Voor het eerste gedeelte wordt de definitieve toetsing uitgesteld in afwachting van nader onderzoek naar de afmetingen van de basaltzuilen bovenin de ondertafel. Het tweede gedeelte is evenmin expliciet getoetst, maar wordt op grond van een kwalitatieve toetsing beoordeeld als 'onvoldoende'.

Op het gedeelte dp 210,3 - dp 213,6 is de gehele ondertafel bekleed met Lessinische steen. Ook hiervoor geldt dat het op grond van een kwalitatieve toetsing als 'onvoldoende' wordt beoordeeld.

4.3 Reststerkte bekleding

Bij de toetsing van de reststerkte van de bekleding is de volgende werkwijze gevolgd: de reststerkte wordt slechts als 'voldoende' beoordeeld als

- de kern van de dijk uit goede klei bestaat;
- de ontwerpgolfhoogte H_s duidelijk kleiner is dan 2 m.

Zoals aangegeven in Hoofdstuk 2 bestaat de kern uit zand. De beoordeling van de reststerkte is direct 'onvoldoende'.

4.4 Conclusie

Vanwege de afwezigheid van reststerkte wordt het toetsingsresultaat bepaald door de stabiliteit van de toplaag. De stabiliteit van de toplaag is voor de gehele boventafel en voor een deel van de ondertafel beoordeeld als 'onvoldoende'; voor een deel van de ondertafel, op het gedeelte dp 193 - dp 205,3, is het eindoordeel uitgesteld in afwachting van nader onderzoek naar de dikte van de basaltzuilen bovenin de ondertafel. De ondertafel op het gedeelte dp 191,95 - dp 193 wordt in dit ontwerp niet beschouwd. De eindbeoordeling is weergegeven in Figuur 3b.

5. KEUZE BEKLEDING

5.1 Algemeen

In deze paragraaf wordt voor het hele dijkvak de keuze van het bekledingstype beschreven.

In de Algemene nota Fout! **Onbekende schakeloptie-instructie.** is op grond van de vastgestelde uitgangspunten geconcludeerd dat twee oplossingsvarianten beschikbaar zijn voor uitvoering in 1997, namelijk:

- blokken gekanteld herplaatsen op geokunststof (buiten getijzone);
- zetsteen op dunne uitvullaag op een vlies.

Van de tweede oplossingsvariant, zetsteen op dunne uitvullaag op een vlies, waren ten tijde van de ontwerpwerkzaamheden twee typen beschikbaar, namelijk hergebruik van natuursteen en nieuw aan te voeren betonzuilen. Toen de uitvoering van het werk al begonnen was, ontstond het inzicht dat hergebruik van de beschikbare betonblokken op een uitvullaag gunstiger is dan direct op geokunststof op klei. Dit wordt beschreven in de Algemene nota Fout! **Onbekende schakeloptie-instructie.** Op dat moment is alsnog gecontroleerd in hoeverre hergebruik van de gekantelde betonblokken mogelijk en zinnig zou zijn, mede in het licht van het feit dat het werk al in uitvoering was.

Na een bespreking van de toepasbaarheid van de vier mogelijke bekledingstypen wordt voor boventafel en ondertafel de keuze beschreven.

5.2 Toepasbaarheid bekledingstypen

Voor de vier besproken bekledingstypen wordt de toepasbaarheid vastgesteld. Ten eerste worden de drie bekledingstypen beschreven die bij het maken van het ontwerp beschouwd zijn, vervolgens wordt de latere controle van de toepasbaarheid van betonblokken op granulair materiaal besproken. De berekeningsresultaten zijn opgenomen in Bijlage 2.

5.2.1 Hergebruik betonblokken op geokunststof op klei

De eerste beschikbare oplossing is slechts mogelijk als de golfrandvoorwaarden dit toelaten: omdat gebruik wordt gemaakt van de aanwezige blokken is er geen vrijheid in het kiezen van dikte en volumieke massa. De dikte van de blokken in gekantelde vorm bedraagt 0,5 m, de volumieke massa is 2300 kg/m^3 . Dit bekledingstype kan alleen buiten de getijdezone worden toegepast.

Met behulp van het diagram van het 'black-box'-model voor 'stabiliteit van steenzetting op geotextiel op zand of klei' (type 1) is vastgesteld of de aanwezige betonblokken gekanteld direct op geotextiel op klei kunnen worden toegepast. Afhankelijk van de invoerparameters kan de vereiste maximale waarde voor de sterkteparameter worden bepaald. Hieruit volgt de minimaal vereiste dikte van de toplaag. Voor de invoerparameters wordt verwezen naar § 4.2.1.

Bij $H_s = 2,1$ m geldt:

$$\xi_{op} = 1,48 \Rightarrow H_s/\Delta D < 2,95 \Rightarrow D > 0,58 \text{ m}$$

Bij $H_s = 1,7$ m geldt:

$$\xi_{op} = 1,64 \Rightarrow H_s/\Delta D < 2,7 \Rightarrow D > 0,51 \text{ m}$$

Dit is groter dan de beschikbare dikte. Met dit resultaat is aangetoond dat de golfrandvoorwaarden voor de boventafel te zwaar zijn om het gekanteld herplaatsen van de blokken direct op geotextiel op klei mogelijk te maken.

5.2.2 Hergebruik natuursteen op granulair materiaal

De voor hergebruik beschikbare natuursteen betreft blokken van Poolse graniet.

De blokken van Poolse graniet zullen in ieder geval herzet moeten worden op een geotextiel. Dit betekent dat het mogelijk is om de blokken zodanig te herplaatsen dat de constructiedikte maximaal is. In het geval van het Poolse graniet betekent dit plaatsing 'op de kop': de grootste afmeting in de huidige situatie is de lengte van de blokken, evenwijdig aan de dijkas. Van belang voor de vaststelling van de mogelijkheden van hergebruik is dus, wat de lengte (in de huidige situatie) van de blokken is. De variatie in lengte is tamelijk groot, en varieert rond 0,3 à 0,35 m. Besloten is om de blokken in drie categorieën te verdelen, afhankelijk van de lengte: groter dan 0,35 m, tussen 0,30 en 0,35 m en kleiner dan 0,30 m. Voor de twee grensafmetingen (0,35 m en 0,30 m) wordt bepaald tot aan welke randvoorwaarden toepassing mogelijk is. Hieruit volgt op welke delen van het talud welke categorie Poolse graniet kan worden toegepast.

Voor de blokken met een lengte **kleiner dan 0,30 m** wordt aangenomen dat herplaatsing 'op de kop' niet zinnig is. Deze categorie kan wel worden hergebruikt als bestortingsmateriaal. De zwaarste golfrandvoorwaarde uit Tabel 1 waarbij de categorie '**tussen 0,30 en 0,35 m**' kan worden toegepast, is de combinatie $H_s = 1,6$ m en $T_p = 5,7$ s. Deze randvoorwaarde komt voor bij een waterstand van NAP+4 m ten westen van dp 214 en bij een waterstand van ongeveer NAP+3,5 m ten oosten van dp 214. In het westelijk gedeelte mogen de blokken op grond hiervan worden toegepast tot aan NAP+2,5 m, in het oostelijk gedeelte tot aan NAP+2 m. Blokken met een lengte van **0,35 m en groter** kunnen worden toegepast bij alle randvoorwaarden uit Tabel 1.

5.2.3 Betonzuilen op granulair materiaal

Het belangrijkste voordeel van betonzuilen is, dat er vrijheid is in het kiezen van dikte en volumieke massa. Betonzuilen zijn dus voor het hele dijkvak toepasbaar.

Voor dit dijkvak gelden geen specifieke randvoorwaarden ten aanzien van natuurontwikkeling. Toepassing van ecotops heeft voor dit dijkvak daarom geen meerwaarde.

5.2.4 Hergebruik betonblokken op granulair materiaal

De toepasbaarheid van gekantelde blokken op granulair materiaal kan worden bepaald met ANAMOS. Behalve de dikte van de topklaag is voor deze berekeningen ook het relatieve open oppervlak van belang; voor gekantelde blokken wordt deze parameter bepaald door de breedte van de blokken in gekantelde vorm, ofwel de dikte in liggende vorm. De breedte (in gekantelde vorm) van alle beschikbare blokken is 0,20 m. Uit de berekening blijkt, dat de beschikbare dikte van 0,50 m genoeg is bij de zwaarste randvoorwaarden, zodat toepassing van de beschikbare betonblokken, in gekantelde vorm en op een uitvullaag, in het gehele dijkvak mogelijk is.

5.3 **Keuze**

5.3.1 Algemeen

Voor een onderbouwing van de keuze voor dit dijkvak is een korte beschrijving van de geschiedenis nodig. Ten tijde van het maken van het ontwerp konden de drie toen beschikbare bekledingstypen alle op verschillende delen van het dijkvak worden toegepast. Omdat gekantelde blokken op een geokunststof op klei alleen in de boventafel kunnen worden toegepast, is gekozen voor toepassing van deels gekantelde blokken op klei en deels betonzuilen in de boventafel, terwijl voor de ondertafel is gekozen voor een verdeling tussen gekantelde Poolse graniet en betonzuilen. Vervolgens werd bekend dat met zwaardere golfrandvoorwaarden moest worden gerekend (zie Tabel 1), waarna de toepassing van gekantelde blokken op klei in de boventafel niet meer mogelijk bleek (zie § 5.2.1). Bij de daaropvolgende controle van de toepasbaarheid van betonblokken op een uitvullaag bleek, dat deze toepasbaar zijn in de gehele glooiing. Om de ingrijpendheid van de bestekwijziging te beperken is vervolgens besloten om het vak met gekantelde blokken op geokunststof op klei uit het oorspronkelijke bestek te vervangen door een vak met gekantelde blokken op een uitvullaag op een geokunststof

De exacte verdeling tussen de bekledingstypen in boven- en ondertafel wordt besproken in de volgende twee paragrafen.

5.3.2 Boventafel

Door het kantelen van de aanwezige betonblokken wordt de oppervlakte die kan worden bekleed, gereduceerd tot ongeveer 40 %. Voor de boventafel geldt, dat het resterende deel van de boventafel wordt bekleed met betonzuilen. Er moet een keuze worden gemaakt hoe de oppervlakte wordt verdeeld tussen de twee constructietypen: ofwel in stroken (boven elkaar) ofwel in vakken (naast elkaar). Een oplossing in vakken heeft als belangrijk voordeel dat geen overgangsconstructie tussen de materialen hoeft te worden toegepast. Bovendien heeft de beheerder van het dijkvak aangegeven dat een oplossing in vakken beter past in het landschap. Gekozen is daarom voor een verdeling in vakken. De gekantelde blokken worden, wederom op verzoek van de beheerder en met het oog op landschappelijke inpassing, toegepast vanaf de kant van Baalhoek (dp 191,95), voorzover als de voorraad strekt. Aan de hand van de beschikbare hoeveelheden is bepaald dat het gedeelte dp 191,95 - dp 214 met gekantelde betonblokken kan worden bekleed.

5.3.3 Ondertafel

Van de ondertafel moet het **gedeelte dp 205,3 - dp 236,11** worden verbeterd. Zoals beschreven is besloten tot hergebruik in de ondertafel van de Poolse graniet, voor zover de dikte (ofwel de lengte in de oorspronkelijke bekleding) van de blokken groter is dan 0,30 m. Een zo groot mogelijk deel van het te vervangen gedeelte van de ondertafel zal hiermee worden bekleed. Het overige deel zal worden bekleed met betonzuilen.

Net als voor de boventafel geldt ook voor de ondertafel, dat een verdeling moet worden gemaakt tussen twee bekledingstypen, in dit geval Poolse graniet en betonzuilen. Ook in het geval van de ondertafel wordt gekozen voor een verdeling in vakken, op grond van dezelfde argumenten die golden voor de boventafel: het voorkomen van overgangsconstructies en inpassing in het landschap.

In overleg met de beheerder is besloten, om het gedeelte dp 214 - dp 224 te bekleden met het Poolse graniet. De gedeelten dp 205,3 - dp 214 en dp 224 - dp 236,11 worden bekleed met betonzuilen.

Voor de bekleding van de ondertafel op het gedeelte **dp 193 - dp 205,3** geldt, dat de definitieve toetsing is uitgesteld. De bestaande bekleding wordt (minimaal voorlopig) gehandhaafd. Het is mogelijk dat zich na toetsing de situatie zal voordoen dat delen van deze bekleding 'onvoldoende' zijn, terwijl de bekleding erboven gehandhaafd kan worden. Vervanging van de 'onvoldoende' bekleding door zwaardere zetsteen zou echter in deze situatie tot grote uitvoeringstechnische problemen leiden. Als een lagergelegen bekleding zouden moeten worden vervangen, zouden de hogergelegen, 'goed' beoordeelde stroken tijdens de uitvoering niet worden ondersteund. Dit zou moeten worden opgelost door een tijdelijke constructie of door verwijdering en latere herplaatsing van de 'goede' bekleding. Beide oplossingen leiden tot veel extra kosten en bouwtijd.

Vanwege dit nadeel komen andere oplossingsrichtingen in beeld, die weliswaar voldoen aan de algemene uitgangspunten maar die niet in 1997 kunnen worden uitgevoerd. Met name gaat het in dit geval om het overlagen van de bestaande bekleding met breuksteen. De resultaten van het lopende onderzoek naar de dimensionering van breuksteenoverlaging worden op korte termijn verwacht; het eventuele overlagen zal dan ook al in 1998 kunnen worden uitgevoerd.

De resulterende bekleding van het gehele dijkvak is schematisch weergegeven in Figuur 4.

6. DIMENSIONERING

De dimensionering van de bekleding wordt in dit hoofdstuk beschreven vanaf de berm in benedenwaartse richting. De resulterende dwarsprofielen met bijbehorende locaties in het dijkvak zijn weergegeven in de Figuren 5 tot en met 10.

6.1 Berm

Over de gehele lengte van het talud wordt op de berm een onderhoudsstrook aangelegd, voornamelijk ten behoeve van de bereikbaarheid in de uitvoeringsfase. Voor het ontwerp van de onderhoudsstrook is het verkeer in de uitvoeringsfase maatgevend. In de uitvoeringsfase wordt daarom een onderhoudsstrook met een breedte van 3 m aangelegd, opgebouwd uit een 0,25 m dikke laag betonpuingranulaat met sortering 0-40 mm. Onder de onderhoudsstrook wordt geokunststof aangebracht. Na voltooiing van het werk zal het betonpuingranulaat worden overlaagd met een wegdek van 60 mm dik asfaltbeton.

Voor de aansluiting van het beoogde profiel op het bestaande profiel van de kruin wordt gebruik gemaakt van vrijkomende klei.

6.2 Overgang berm-boventafel

Tussen de onderhoudsstrook en de boventafel wordt een overgang aangebracht van betonzuilen, waardoor geleidelijk wordt overgegaan van de helling van de onderhoudsstrook naar de helling van het talud. Ook op het gedeelte waar de bekleding van de boventafel uit gekantelde betonblokken bestaat, moet de 'ronding' met betonzuilen uitgevoerd worden: met blokken is een zodanige constructie niet uitvoerbaar.

Met betrekking tot de dimensies van de zuilen wordt aangesloten bij de bekleding van de boventafel. De dimensionering daarvan wordt besproken in § 6.3.

6.3 Bekleding boventafel

Toplaag

De dimensionering van een toplaag van zetsteen op een uitvullaag wordt uitgevoerd met de 'analytische methode' zoals beschreven in het Handboek voor dimensionering van gezette taludbekledingen Fout! **Onbekende schakeloptie-instructie..** De analytische ontwerpmethode komt overeen met de 'gedetailleerde methode' voor Toetsing volgens de Leidraad Fout! **Onbekende schakeloptie-instructie..** De methode wordt beschreven in de Appendix.

De toplaag van **gekantelde betonblokken** hoeft niet nader gedimensioneerd te worden: de afmetingen van de blokken staan vast, en de controleberekening of toepassing mogelijk is, wordt beschreven in § 5.2.4.

Voor de toplaag van **betonzuilen** is gerekend met de zwaarste randvoorwaarde op het gedeelte dp 214 - dp 236,11: $H_s = 1,8$ m en $T_p = 6,2$ s.

Voor de constructie zijn de volgende invoergegevens gebruikt:

- taludhelling: 1:3,5

toplaag:

- zuiloppervlakte: 0,09 m²
- rel. open opp.: 10 %
- onderlinge wrijving: 0,5

uitvullaag:

- laagdikte: 0,15 m
- kar. korreldiameter: 20 mm
- porositeit: 0,35

Verschillende combinaties van volumieke massa en dikte zijn mogelijk. Gekozen is voor zuilen met een dikte van 0,35 m en een volumieke massa van 2300 kg/m³. De rekenresultaten van ANAMOS bij deze combinatie zijn weergegeven in Bijlage 3.

Uitvullaag

De uitvullaag onder de toplaag is voornamelijk van belang voor de uitvoering. De dimensionering wordt bepaald door de volgende eisen:

- het materiaal moet zodanig grof zijn dat het niet tussen de elementen van de toplaag door uit kan spoelen;
- de laagdikte hangt af van de gekozen sortering en van de uitvoeringstechniek;
- de doorlatendheid en de dikte moeten zo klein mogelijk zijn uit het oogpunt van toplaagstabiliteit.

Voor de uitvullaag onder de verschillende materialen gelden verschillende eisen; deze moeten dus apart worden gedimensioneerd.

De spleetopening tussen de **gekantelde betonblokken** is zeer klein (orde 1 mm). Gekozen kan worden voor de kleinste sortering die uit uitvoeringstechnisch oogpunt mogelijk is. Gekozen is voor een D₁₅ van 5 mm, de bijbehorende sortering is 4/20 mm. Voor de laagdikte is een waarde van 0,10 m gekozen; dit is de kleinste waarde die uit uitvoeringstechnisch oogpunt mogelijk is. Opgemerkt wordt, dat in de controleberekening in § 4.2.2 met de gekozen sortering is gerekend. Daarbij is uitgegaan van een laagdikte van 0,15 m; de stabiliteitsberekening is hierdoor conservatief.

De speling tussen de **betonzuilen** is groter; de uitvullaag hieronder moet daarom een sortering van 20/40 mm hebben. De dikte van de uitvullaag moet zo klein mogelijk zijn; de minimale dikte waarin steenslag met sortering 20/40 mm kan worden aangebracht bedraagt 0,1 m. Ook hier geldt, dat in de ontwerpberekeningen is uitgegaan van een ongunstige waarde voor de laagdikte van 0,15 m, zodat de stabiliteitsberekening conservatief is.

Geokunststof

Onder de verschillende bekledingstypen wordt hetzelfde vlies aangebracht.

Om erosie van kleideeltjes tegen te gaan is een bepaalde maximale maaswijdte vereist.

De strengste eis die in de praktijk aan de maaswijdte (O_{90}) van vliezen gesteld kan worden bedraagt 100 μm . Het is wel mogelijk om vliezen met een kleinere maaswijdte te produceren, maar dit heeft de volgende nadelen:

- het is niet mogelijk om het materiaal te testen met de gebruikelijke methodieken, namelijk zeefproeven met zand in een trilapparaat. Bij dergelijk kleine maaswijdten wordt het gedrag van korrels grotendeels bepaald door electro-magnetische krachten op microniveau;
- vliezen met een maaswijdte (O_{90}) van 100 μm liggen op de grens van de materialen die standaard leverbaar zijn.

Ten behoeve van dit ontwerp zijn zeefproeven uitgevoerd van vliezen met een gegarandeerde maximum maaswijdte (O_{90}) van 100 μm . In deze proeven was de resulterende werkelijke doorlatendheid kleiner dan 64 μm .

In het kader van het Project Zeeweringen is bovendien nader onderzoek opgestart naar het gedrag van de Zeeuwse klei onder verschillende vliezen, onder meer met een maximale maaswijdte (O_{90}) van 100 μm . De resultaten van dit onderzoek zullen kunnen worden toegepast bij het ontwerp van de dijkvakken die na 1997 zullen worden aangepakt.

Op grond van deze overwegingen is gekozen voor de toepassing van een vlies met een maximale maaswijdte (O_{90}) van 100 μm .

6.4 Overgang boventafel-ondertafel

In het algemeen is de overgang vormgegeven met betonnen opsluitbanden die hergebruikt worden uit de bestaande constructie, ondersteund door azobépalen. In het dijkvak komen drie verschillende overgangen voor.

Op het **gedeelte dp 191,95 - dp 205,3** wordt de boventafel bekleed met gekantelde blokken, terwijl op de ondertafel de huidige bekleding van basalt (minimaal voorlopig) wordt gehandhaafd. Om een goede aansluiting mogelijk te maken worden de bovenste basaltzuilen herzet. De aansluiting van de herzette basaltzuilen op de opsluitbanden wordt uitgevoerd met gietasfalt. Daarnaast worden de basaltzuilen over een breedte van 0,5 m ingegoten met gietasfalt.

Op het **gedeelte dp 205,3 - dp 214** wordt de boventafel bekleed met gekantelde blokken en de ondertafel met betonzuilen. De doorlatendheid van de uitvullaag is boven en onder deze overgang verschillend; om negatieve effecten van deze overgang te voorkomen, wordt een extra sterke overgangsconstructie aangebracht. Over een breedte van 1 m, aan de bovenkant van de ondertafel, worden extra zware zuilen toegepast, met een dikte van 0,40 m en een volumieke massa van 2600 kg/m^3 . Daarnaast worden de betonzuilen over een breedte van 0,5 m ingegoten met gietasfalt.

Op het **gedeelte dp 214 - dp 224** wordt de boventafel bekleed met betonzuilen en de ondertafel met Poolse graniet. De aansluiting van de blokken van Poolse graniet op de opsluitbanden wordt uitgevoerd met gietasfalt.

6.5 Ondertafel

Toplaag

De toplaag van **Poolse graniet** hoeft niet nader gedimensioneerd worden. De controleberekeningen worden beschreven in § 5.2.2: de minimale zuildikte die wordt toegepast bedraagt 0,30 m.

Voor de toplaag van **betonzuilen** geldt de randvoorwaarde bij een waterstand NAP+5 m: $H_s = 1,9 \text{ m}$ en $T_p = 5,95 \text{ s}$. Uit de toepasbare zuiltypen is gekozen voor dezelfde combinatie als in de boventafel: een dikte van 0,35 m en een volumieke massa van 2300 kg/m^3 .

Uitvullaag

Onder de Poolse graniet en onder de betonzuilen wordt een zelfde uitvullaag aangebracht als onder de betonzuilen in de boventafel (zie § 6.3): sortering 20/40 mm, laagdikte 0,10 m. Opgemerkt wordt, dat de granietblokken op zodanige wijze worden geplaatst dat de dikte van de uitvullaag in principe constant is. Omdat de blokdikte varieert ontstaat hierdoor een ongelijk oppervlak. Hiertegen bestaan geen constructieve bezwaren.

Geokunststof

Voor de ondertafel wordt hetzelfde vlies toegepast als voor de boventafel: de maximale maaswijdte (O_{90}) is $100 \mu\text{m}$.

6.6 Teenconstructie

In het gedeelte dp 205,3 - dp 236 wordt op de ondertafel een nieuwe bekleding aangebracht; op ditzelfde gedeelte is ook een nieuwe teenconstructie nodig.

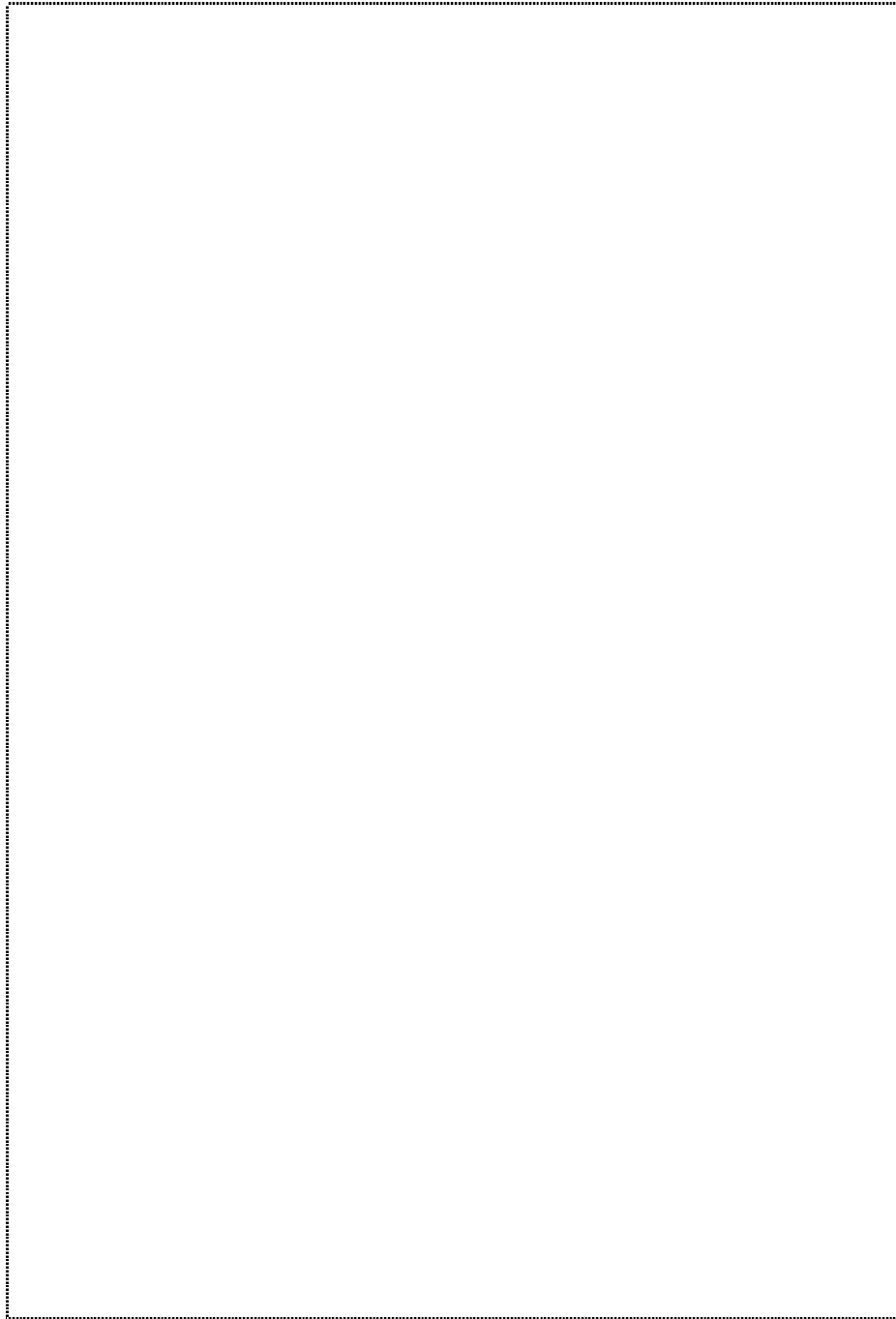
Onderaan de ondertafel bevindt zich in de huidige situatie een onbekende bekleding onder het maaiveld. Besloten is om een nieuwe teenconstructie aan te brengen op het niveau NAP+0,3 m à 1,0 m. Voor een deel van het dijkvak kan hiervoor materiaal uit de bestaande overgangsconstructie tussen boven- en ondertafel worden hergebruikt.

Op het **gedeelte dp 205,3 - dp 214** wordt een nieuw te maken betonnen beschoeiingselement aangebracht. Onder deze teenconstructie wordt een kreukelberm aangebracht over een breedte van 5 m, bestaand uit vrijkomend materiaal uit de bestaande bekleding, aangevuld met breuksteen van sortering 10-60 kg.

De nieuwe teenconstructie bestaat op het **gedeelte dp 214 - dp 236** uit hergebruikte betonnen opsluitbanden ondersteund door hergebruikte azobepalen met een lengte van 1,25 m. Onder en deels over deze teenconstructie wordt een kreukelberm aangebracht over een breedte van 5 m, bestaand uit vrijkomend materiaal uit de bestaande bekleding, aangevuld met breuksteen van sortering 10-60 kg.

FIGUREN

- Figuur 1: Locatie projectgebied
- Figuur 2: Algemene dwarsprofielen
- Figuur 3a: Huidige situatie
- Figuur 3b: Toetsingsresultaten
- Figuur 4: Ontwerp
- Figuur 5: Dwarsprofiel 1
- Figuur 6: Dwarsprofiel 2
- Figuur 7: Dwarsprofiel 3
- Figuur 8: Dwarsprofiel 4
- Figuur 9: Dwarsprofiel 5
- Figuur 10: Dwarsprofiel 6



Figuur 1: Locatie projectgebied

LITERATUUR

- [1] Project Zeeweringen, Algemene nota dijkvakken 1997, Versie 3, documentnr. PZDT-R-98253, Projectbureau Zeeweringen, maart 1998
- [2] Westerschelde golfmodellering en golftrandvoorwaarden voor de dijkvakken Borsselepolder, Wilhelmus-/Kruispolder, Kleine Huissens-/Eendragtspolder, Hans van Kruiningenpolder, Rijkswaterstaat RIKZ, juli 1997
- [3] Hydraulische randvoorwaarden voor primaire waterkeringen, Rijkswaterstaat, Delft, september 1996
- [4] Inventarisatie sterkte gezette taludbekledingen in Zeeland, Grondmechanica Delft, kenmerk 362070/46, Delft, januari 1997
- [5] Leidraad Toetsen op Veiligheid, Groene versie, TAW, Delft, augustus 1996
- [6] Rapport 155, Handboek voor dimensionering van gezette taludbekledingen, CUR Gouda, maart 1992
- [7] Taludbekledingen van gezette steen, Vernieuwd Black-Box model, Waterloopkundig Laboratorium, kenmerk H1770, Delft, april 1994

BIJLAGEN

- Bijlage 1: Berekeningsresultaten toetsing
- Bijlage 2: Berekeningsresultaten keuze bekleding
- Bijlage 3: Berekeningsresultaten dimensionering

BIJLAGE 1: BEREKENINGSRESULTATEN TOETSING

- Betonblokken op klei
- Natuursteenbekledingen (black-box)
- Basaltzuilen (ANAMOS)

Bijlage 1: Toetsing basaltzulen

INVOERGEGEVENS

PARAMETER / BEREKENING	Basaltzulen, dp 192 - dp 205,3 ('oost')	Basaltzulen, dp 222,5 - dp 236 ('west')
Golven		
H _s [m]	1,9	1,7
T _p [s]	6,0	6,0
h ₁ [m]	5,0	5,0
Talud		
cot(α) [-]	3,5	3,5
ft [-]	0,5	0,5
h ₂ [m]	2,0	0,0
h ₃ [m]	4,0	4,0
Constructietype niet ingewassen zulen filter basis		
Zuilen		
Az [m ²]	0,09	0,09
Azo [%]	10	10
Dz [m]	0,24	0,22
sm [kg/m ³]	2900	2900
fwz [-]	0,5	0,5
Filter		
b [m]	0,20	0,20
D ₁₅ [mm]	30	30
n [-]	0,40	0,40
Basis		
D ₅₀ [mm]	0,15	0,15
D ₉₀ [mm]	0,25	0,25
nb [-]	0,35	0,35

EINDRESULTATEN

Stabiliteit toplaag conclusie ANAMOS	De constructie is stabiel	De constructie is stabiel
--	------------------------------	------------------------------

BIJLAGE 2: BEREKENINGSRESULTATEN KEUZE BEKLEDING

- Betonblokken op geotextiel op klei
- Poolse graniet
- Betonblokken op geotextiel op granulair materiaal

Bijlage 2: Keuze bekleding, Poolse graniet

INVOERGEGEVENS

PARAMETER/ BEREKENING	dikte > 0,30 m	dikte > 0,35 m
Golven		
H _s [m]	1,6	2,1
T _p [s]	5,7	6,2
h ₁ [m]	6,0	6,0
Talud		
cot(α) [-]	3,5	3,5
ft [-]	0,5	0,5
h ₂ [m]	3,5	3,5
h ₃ [m]	6,0	6,0
Constructietype niet ingewassen dichte blokken filter geotextiel basis		
Dichte blokken		
B [m]	0,22	0,22
L [m]	0,25	0,25
D [m]	0,30	0,35
s [mm]	3	3
sm [^{kg/m³}]	2600	2600
fwg [-]	0,5	0,5
Filter		
b [m]	0,15	0,15
D ₁₅ [mm]	30	30
n [-]	0,40	0,40
Geotextiel onder filter		
T _g [mm]	2	2
O ₉₀ [mm]	1	1
k [mm/s]	10	10
m [-]	0,5	0,5
Basis		
D ₅₀ [mm]	0,15	0,15
D ₉₀ [mm]	0,25	0,25
nb [-]	0,35	0,35

EINDRESULTATEN

Stabiliteit toplaag conclusie ANAMOS	De constructie is stabiel	De constructie is stabiel
--	------------------------------	------------------------------

Bijlage 2: Keuze bekleding, betonblokken op geotextiel op granulair materiaal

INVOERGEGEVENS

PARAMETER / BEREKENING	breedte 0,20 m	
Golven		
H _s [m]	2,1	
T _p [s]	6,2	
h ₁ [m]	6,0	
Talud		
cot(α) [-]	3,5	
ft [-]	0,5	
h ₂ [m]	3,5	
h ₃ [m]	6,0	
Constructietype	niet ingewassen dichte blokken filter geotextiel basis	
Dichte blokken		
B [m]	0,20	
L [m]	0,50	
D [m]	0,50	
s [mm]	1	
sm [kg/m ³]	2300	
fwg [-]	0,5	
Filter		
b [m]	0,15	
D ₁₅ [mm]	5	
n [-]	0,35	
Geotextiel onder filter		
T _g [mm]	2	
O ₉₀ [mm]	1	
k [mm/s]	10	
m [-]	0,5	
Basis		
D ₅₀ [mm]	0,15	
D ₉₀ [mm]	0,25	
nb [-]	0,35	

EINDRESULTATEN

Stabiliteit toplaag conclusie ANAMOS	De constructie is stabiel
--	------------------------------

BIJLAGE 3: BEREKENINGSRESULTATEN DIMENSIONERING

- Betonzuilen

Bijlage 3: Dimensionering betonzuilen

INVOERGEGEVENS

PARAMETER / BEREKENING	boventafel	ondertafel
Golven		
H _s [m]	1,8	1,9
T _p [s]	6,2	5,95
h ₁ [m]	6,0	5,0
Talud		
cot(α) [-]	3,5	3,5
ft [-]	0,5	0,5
h ₂ [m]	3,5	3,5
h ₃ [m]	6,0	6,0
Constructietype niet ingewassen zuilen filter geotextiel basis		
Zuilen		
A _z [m ²]	0,09	0,09
A _{zo} [%]	10	10
D _z [m]	0,35	0,35
s _m [kg/m ³]	2300	2300
fwz [-]	0,5	0,5
Filter		
b [m]	0,15	0,15
D ₁₅ [mm]	20	20
n [-]	0,35	0,35
Geotextiel		
T _g [mm]	2	2
O ₉₀ [mm]	1	1
k [mm/s]	10	10
m [-]	0,5	0,5
Basis		
D ₅₀ [mm]	0,15	0,15
D ₉₀ [mm]	0,25	0,25
nb [-]	0,35	0,35

EINDRESULTATEN

Stabiliteit toplaag conclusie ANAMOS	De constructie is stabiel	De constructie is stabiel
--	------------------------------	------------------------------

APPENDIX A: METHODIEK TOETSING EN ONTWERP

Bezwijkmechanismen

Voor de bekleding bestaan volgens de Leidraad Toetsen drie bezwijkmechanismen:

- afschuiving;
- materiaaltransport vanuit de kern;
- stabiliteitsverlies van elementen in de toplaag.

Onder het bezwijkmechanisme **afschuiving** wordt de situatie verstaan waarin de bekleding afschuift langs een glijvlak dat vlak onder de bekleding ligt. Om dit bezwijkmechanisme te voorkomen moet het geheel van de bekleding plus onderliggende kleilagen voldoende dik zijn. In geval van een kleikern kan het mechanisme niet voorkomen. De vereiste dikte hangt af van de golfhoogte en golfsteilheid, de taludhelling en de korrel diameter van het kernmateriaal.

Als **materiaaltransport vanuit de kern** voorkomt, kunnen holtes ontstaan onder de toplaag. De stabiliteit van de toplaag komt hierdoor in gevaar. Dit mechanisme kan voorkomen als de openinggrootte van geotextiel of granulaire laag te groot is in verhouding tot de korrelafmetingen van het kernmateriaal.

Stabiliteitsverlies van elementen in de toplaag wordt in het algemeen veroorzaakt door het optreden van een opwaartse kracht, die samenhangt met een drukverschil over de toplaag. Dit drukverschil is maximaal op het moment dat een golf zich maximaal heeft teruggetrokken op het talud: terwijl het water onder de toplaag nog druk uitoefent is het water op de toplaag teruggetrokken. Het drukverschil bij vaste golfrandvoorwaarden is het grootst als de doorlatendheid van de onderlaag groot is en van de toplaag juist klein

Toetsing

In de Leidraad Toetsen wordt voor de toetsing van de stabiliteit van de toplaag onderscheid gemaakt tussen drie niveaus: eenvoudig, gedetailleerd en geavanceerd / modelonderzoek. De gedetailleerde methode is alleen toepasbaar voor constructies waarin onder de toplaag een granulaire laag aanwezig is. Het laatste, hoogste niveau wordt in deze fase van het Project Zeeweringen niet toegepast: dit zou zoveel tijd kosten dat de uitvoering te veel vertraagd zou worden. De eenvoudige methode en de gedetailleerde methode worden hierna in meer detail beschreven.

In lijn met de Leidraad wordt elke bekleding ten eerste getoetst met de eenvoudige methode. Als het resultaat van deze eenvoudige toetsing 'onvoldoende' of 'goed' is, is dit tevens het eindresultaat van de toetsing. Als het resultaat 'twijfelachtig' is, hangt het vervolg af van het type constructie: als onder de toplaag een granulaire laag aanwezig is, wordt het eindresultaat bepaald door toetsing met de gedetailleerde methode. Als dit niet het geval is, en de constructie dus niet met de gedetailleerde methode getoetst kan worden, is het eindresultaat 'onvoldoende'.

Eenvoudige methode

Bij de eenvoudige methode wordt gebruik gemaakt van het 'black box'-model zoals dat ontwikkeld is door het Waterloopkundig Laboratorium Fout! **Onbekende schakeloptie-instructie**.. Dit model is gebaseerd op fysische modelproeven, waarmee de relatie tussen het golfveld en de eigenschappen van de zetstenen op het moment van bezwijken vastgesteld is. De stabiliteit wordt bepaald door de verhouding tussen enerzijds $H_s/\Delta D$ en anderzijds de brekerparameter ξ_{op} .

Hierin geldt:

H_s	=	significante golfhoogte [m]
	=	verhouding tussen volumieke massa toplaag en water [-]
D	=	dikte elementen toplaag [m]
ξ_{op}	=	brekerparameter, bepaald door de taludhelling α , de significante golfhoogte H_s en de piekperiode T_p op diep water [-]

$H_s/\Delta D$ is gedefinieerd als de sterkteparameter, ξ_{op} als de belastingparameter. In diagrammen (onder meer opgenomen in de Leidraad Toetsing) is aangegeven bij welke verhouding tussen belasting en sterkte de stabiliteit 'goed', 'twijfelachtig' of 'onvoldoende' is.

Gedetailleerde methode

Zoals beschreven wordt de gedetailleerde methode slechts toegepast als het resultaat van toetsing met de eenvoudige methode 'twijfelachtig' is. Bovendien is de gedetailleerde methode slechts toepasbaar voor constructies met een granulaire laag onder de toplaag.

Aan de toepassing van de gedetailleerde methode is nog een extra voorwaarde verbonden. De volgende relatie moet geldig zijn:

$$H_s/\Delta D < 6\xi^{-2/3}$$

Als niet aan deze voorwaarde voldaan wordt, is het resultaat van de gedetailleerde toetsing 'onvoldoende'. Als wel aan de voorwaarde voldaan wordt kan een toetsingsberekening worden uitgevoerd. De gedetailleerde methode is verwerkt in het computerprogramma ANAMOS.

De belasting wordt gekarakteriseerd door het stijghoogteverschil over de toplaag. De weerstand van de toplaag tegen stabiliteitsverlies (de sterkte van de constructie) is groot als de doorlatendheid van de toplaag groot is in verhouding tot de doorlatendheid van het filter. De verhouding tussen de doorlatendheid van het filter en de toplaag wordt de lek lengte van de toplaag genoemd. Daarnaast is de zwaarte van de elementen van de toplaag van belang.

Voor de berekening van de belasting moeten de significante golfhoogte H_s en de piekperiode T_p ingevoerd worden. Met betrekking tot de constructie hangen de in te vullen grootheden af van het gekozen constructietype.

In het algemeen is over de verschillende onderdelen de volgende informatie nodig:
algemeen:

- taludhelling;

toplaag:

- doorlatendheid (dikte, relatieve afmetingen openingen);
- zwaarte elementen (dikte, volumiek gewicht);
- onderlinge wrijving (uitgedrukt in een dimensieloze factor, bijna altijd met een waarde van 0,5);

granulaire laag:

- doorlatendheid (dikte, porositeit, korreldiameter).

De eigenschappen van het basismateriaal zijn niet van belang voor de stabiliteit van de toplaag.

Het resultaat van de toetsingsberekening met deze methode is een score 'goed' of 'onvoldoende' voor het aspect 'stabiliteit toplaag'.

Ontwerp

Omdat **stabiliteitsverlies** van de toplaag het belangrijkste bezwijkmechanisme is, wordt het ontwerp van de bekleding hierdoor bepaald. Het resulterende ontwerp wordt vervolgens gecontroleerd op weerstand tegen **afschuiving**. Hiervoor worden grafieken uit de Leidraad Toetsing gebruikt. Met betrekking tot het mechanisme **materiaaltransport** wordt het volgende opgemerkt: één van de aanleidingen van het Project Zeeweringen was de ontdekking dat onder de toplaag van betonblokken geultjes en structuurvorming in de klei voorkwam. Om dit tegen te gaan wordt onder alle nieuwe constructies een vlies aangebracht met een maximale maaswijdte (O_{90}) van 100 μm . Door deze voorziening wordt het mechanisme materiaaltransport in alle gevallen voorkomen. Hieraan wordt daarom verder geen aandacht besteed.

De ontwerpmethodede met betrekking tot stabiliteitsverlies hangt af van het type constructie.

Een constructie van blokken direct op een vlies op klei wordt ontworpen aan de hand van het 'black-box'-model, zoals beschreven onder het kopje 'Toetsing'. De vereiste dikte wordt bepaald door de lijn tussen de toetsingsresultaten 'twijfelachtig' en 'goed'.

Voor constructies waarin tussen blokken en vlies een granulaire laag wordt aangebracht, wordt, net als bij de toetsing, gebruik gemaakt van het programma ANAMOS. Ten eerste wordt vastgesteld welke combinatie van volumieke massa en dikte minimaal nodig is om ANAMOS toe te kunnen passen. Vervolgens wordt deze combinatie ingevoerd in ANAMOS om te controleren of de constructie stabiel is. Het ontwerp moet voldoen aan het toepasbaarheids criterium van ANAMOS en bovendien volgens ANAMOS sterk genoeg zijn.