

**CUR**

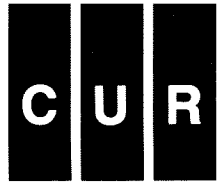
civieltechnisch centrum uitvoering research en regelgeving

rapport **92-5**

# **plaatbekleding van open colloïdaal beton**

**proefproject IJsselmeerdijk  
Noordoostpolder**





Postbus 420  
2800 AK Gouda

92-5  
PLAATBEKLEDING VAN OPEN  
COLLOÏDAAL BETON

Proefproject IJsselmeerdijk  
Noordoostpolder

Dit rapport is onder de volgende trefwoorden opgenomen in het CUR-infobestand:

cementbetonnen dijkbekledingen

colloïdaal beton

ontwerpmethode

plaatbekledingen

proefproject

uitvoering

#### Colofon

Corrector: ir. C. van de Fliert

Typiste: mw. K.S. Polderman

Tekenaar: J.F. Voogt

Foto's: VNC

Druk: Van Norden bv

#### CUR

Postbus 420

2800 AK Gouda

Tel.: 01820-39600

Fax: 01820-30046

De CUR en degenen die aan deze publikatie hebben meegewerkt, hebben een zo groot mogelijke zorgvuldigheid betracht bij het verwerken van de in deze publikatie vervatte gegevens. Deze gegevens geven de stand van de techniek op het moment van uitgifte weer. Nochtans moet de mogelijkheid niet worden uitgesloten, dat zich toch onjuistheden in deze publikatie kunnen bevinden. Degene die van deze publikatie gebruik maakt, aanvaardt daarvan het risico. De CUR sluit, mede ten behoeve van al degenen die aan deze publikatie hebben meegewerkt, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die mocht voortvloeien uit het gebruik van deze gegevens.

Het overnemen (van delen) van deze uitgave is slechts toegestaan met als bronvermelding "Rapport 92-5, "Plaatbekleding van open colloïdaal beton. Proefproject IJsselmeerdijk, Noordoostpolder", CUR Gouda".

## VOORWOORD

In april 1987 is door CUR de preadviescommissie PC 58 "Cementbetonnen plaatbekledingen op dijken en oevers" ingesteld. Op grond van het door de preadviescommissie uitgevoerde onderzoek werd in april 1988 geconcludeerd dat vervolgonderzoek zinvol zou zijn.

De preadviescommissie was van mening, dat de voor Nederland geschatte markt en de gunstige buitenlandse ervaringen voldoende aanleiding gaven om te beginnen met de opzet en de uitvoering van één of meerdere proefproject(en). Aan de hand van de resultaten zou vervolgens bepaald kunnen worden of en zo ja welke aspecten nog nader onderzoek behoeven.

In juni 1989 is de onderzoekcommissie C 58 met een gelijklopende naam als de preadviescommissie ingesteld. De taak van deze commissie was:

- Nagaan welke projecten binnenkort in uitvoering zouden gaan en waarvoor een betonnen plaatbekleding een zinvol alternatief zou zijn.
- Selecteren van proefprojecten.
- Ontwerpen van een cementbetonnen plaatbekledingsconstructie ten behoeve van proefprojecten.
- Begeleiden van de uitvoering van de proefprojecten, het uitvoeren van de benodigde inspecties en metingen evenals het evalueren van de proefprojecten.
- Onderzoeken van de geconstateerde witte vlekken bij het ontwerpen en het uitvoeren.
- Opstellen van ontwerp- en uitvoeringsaanbevelingen aan de hand van de bij de proefprojecten verkregen ervaringen. Deze aanbevelingen dienen uiteindelijk te leiden tot richtlijnen voor die typen plaatconstructies die kansrijk zijn.

In het kader van bovengenoemde taak is in september 1989 een proefvak aangelegd op een zeedijk in het Waterschap het Vrije van Sluis nabij Breskens. Het betrof hier een plaatbekleding van open colloïdaal beton.

In 1990 is voorts een proefvak aangelegd op het talud van een winterdijk in het rivierengebied. In dit vak, op de Waalbandijk te Ochten in het Polderdistrict Betuwe, wordt de be- en doorgroeiing van een open plaatbekleding door natuurlijke vegetatie onderzocht.

In 1990 zijn bovendien proeven uitgevoerd naar het onder water penetreren van breuksteen met colloïdaal beton ten behoeve van een mogelijke toepassing als waterdichte onderwater-taludbekleding in een kanaal. In 1991 zijn in dit verband nog aanvullende proeven uitgevoerd ter optimalisatie van de betonmengsels in relatie met het type breuksteen.

Tenslotte werd medio 1991 een proefvak met open colloïdaal beton aangelegd op een dijk langs het IJsselmeer in de Noordoostpolder.

Tevens is door de onderzoekcommissie de nodige aandacht besteed aan het ontwerp van cementbetonnen plaatbekledingen.

De met de diverse proefprojecten en studies opgedane ervaringen resulteerden begin 1992 in de eindrapportage van de onderzoekcommissie C 58 "Cementbetonnen plaatbekledingen op dijken en oevers".

In het voorliggende rapport wordt over het proefproject IJsselmeerdijk, Noordoostpolder gerapporteerd.

De samenstelling van de onderzoekcommissie was als volgt:

ir. W. Korf, voorzitter (vanaf juni 1989)

ing. P.J. Eversdijk, secretaris

ir. A.M. Burger

ir. M.Th. de Groot (corresponderend lid vanaf juni 1990)

ing. A.M. Hendriksma

ir. J.A. Hernandez

J.C.P. Johanson (lid vanaf februari 1990)

ir.M. Klein Breteler (corresponderend lid vanaf april 1990)

ir. W. Meermans

ing. J.P. van der Rest

ir. W.G. de Rijke (lid vanaf juni 1990)

ing. J.E. Schipper (corresponderend lid vanaf 1989)

ing. C.G. de Vrieze (lid vanaf februari 1990)

ir. G.J.H. Vergeer, coördinator

prof.dr.ir. E.W. Bijker, mentor

Ir. J.C. Huis in 't Veld en ir. J. Lindenberg waren tot juli 1989 respectievelijk voorzitter en corresponderend lid van de onderzoekcommissie. Tot december 1989 is ir. H.E. van der Most lid van de commissie geweest. In de periode van juli 1989 tot februari 1990 heeft ing. J.A.J. Hoos bijgedragen aan de voorbereiding en de uitvoering van het proefproject Breskens.

De CUR spreekt haar dank uit aan:

- het Ministerie van Economische Zaken, CEMIJ, ENCI, Mebin B.V., VNC, VBN, de Directies Zeeland en Limburg evenals de Dienst Weg- en Waterbouwkunde van de Rijkswaterstaat, voor de financiële bijdragen die dit onderzoek mogelijk hebben gemaakt;
- de afdeling Praktijkonderzoek van de Dienst Weg- en Waterbouwkunde van de Rijkswaterstaat, die een aantal metingen heeft verricht;
- de Bouwdienst, de Directie Limburg en de Dienst Weg- en Waterbouwkunde, alle van de Rijkswaterstaat, evenals VNC en Mebin B.V., die tijdens de voorbereiding en de uitvoering van het proefproject Opijnen de nodige inspanningen hebben gepleegd;
- het Waterschap het Vrije van Sluis, het Polderdistrict Betuwe, het Waterschap Noordoostpolder en de Directie Flevoland van de Rijkswaterstaat, die hun medewerking hebben verleend bij het uitvoeren van de proefprojecten.

De rapportage van het rapport "Plaatbekleding van open colloïdaal beton. Proefproject IJsselmeerdijk, Noordoostpolder" is opgesteld door ir. A.M. Burger van VNC.

maart 1992

Het bestuur van de CUR

## INHOUD

NOTATIES	8
Hoofdstuk 1 INLEIDING	10
1.1 Algemeen	10
1.2 Doelstelling van het demonstratieproject	11
1.3 Beschrijving van open colloïdaal beton	11
Hoofdstuk 2 OMSCHRIJVING VAN DE PROEFLOCATIE	14
2.1 Aanleiding tot de dijkverbetering	14
2.2 Huidige situatie	14
2.3 Aanpassingen	14
Hoofdstuk 3 BELASTINGEN OP DE CONSTRUCTIE	16
3.1 Hydraulische belastingen	16
3.2 Mechanische belastingen	17
Hoofdstuk 4 ONTWERP VAN DE TALUDVERDEDIGING	18
4.1 Doorgaande plaatbekleding	18
4.2 Randaansluitingen	22
4.3 Mengselontwerp	22
Hoofdstuk 5 UITVOERING, METINGEN EN WAARNEMINGEN	24
5.1 Uitvoering	24
5.2 Produktie	27
5.3 Metingen en waarnemingen	28
5.4 Laboratoriummetingen	31
Hoofdstuk 6 BEHEER EN ONDERHOUD	33
Hoofdstuk 7 EVALUATIE	34
LITERATUUR	37

Bijlage	A	ONTWERP VAN EEN PLAATBEKLEDING VAN OPEN COLLOÏDAAL BETON, WESTERMEERDIJK, NOORDOOSTPOLDER . . . . .	38
---------	---	--	----



## NOTATIES

$a$	= straal van het contactvlak	(m)
$b_1$	= dikte van de puinlaag	(m)
$b_2$	= dikte van het granulair materiaal	(m)
$d_s$	= afstand tussen het snijpunt van het stijghoogtefront en het talud tot de stilwaterlijn	(m)
$D$	= dikte van de toplaag	(m)
$D_{f15}$	= korrelgrootte van een filter die door 15% van de korrels op basis van gewicht wordt onderschreden	(m)
$E$	= elasticiteitsmodulus	(N/mm <sup>2</sup> )
$f$	= reductiecoëfficiënt ten gevolge van lastoverdracht in de voeg	(-)
$h$	= plaatdikte	(m)
$h_v$	= verschil tussen de buitenwaterstand en het freatisch niveau in het filter	(m)
$H$	= golfhoogte	(m)
$H_{max}$	= maximale golfhoogte	(m)
$H_s$	= significante golfhoogte	(m)
$k$	= doorlatendheid van het filter	(m/s)
$k$	= beddingsconstante voor de steenfundering	(N/mm <sup>3</sup> )
$k'$	= doorlatendheid van de toplaag	(m/s)
$k_1, k_2$	= lineaire doorlatendheid van een filter	(m/s)
$L_{max}$	= afstand tussen de punten in een betonplaat	(m)
$L_0$	= golflengte op ondiep water van regelmatige of maatgevende golf	(m)
$L_s$	= afstand tussen de scheuren in een betonplaat, gemeten langs het talud	(m)
$n$	= porositeit	(-)
$P$	= maatgevende wiellast	(kN)
$S_{max}$	= resulterende maximale belasting op de toplaag	(m)
$T$	= golfperiode	(s)
$T_p$	= golfperiode bij de piek van het centrum	(s)
$v_i$	= snelheid waarmee de buitenwaterstand daalt	(m/s)
$\alpha$	= taludhelling	(°)
$\beta$	= vooroverhelling	(°)
$\Delta$	= relatieve volumieke massa van beton	(-)
$\Lambda$	= leklengte	(m)
$\Lambda_{opt}$	= optredende leklengte	(m)

$\Lambda_{cr}$	= kritieke leklengte	(m)
$\xi_o$	= brekerparameter	(-)
$\sigma_b$	= breukspanning van het beton	(N/mm <sup>2</sup> )
$\hat{\sigma}_b$	= toelaatbare buigtrekspanning in een doorsnede van een betonplaat	(N/mm <sup>2</sup> )
$\sigma_{b \max}$	= optredende maximale buigtrekspanning in een doorsnede van een betonplaat	(N/mm <sup>2</sup> )
$\hat{\tau}_b$	= toelaatbare schuifspanning in een doorsnede van een betonplaat	(N/mm <sup>2</sup> )
$\tau_{b \max}$	= optredende maximale schuifspanning in een doorsnede van een betonplaat	(N/mm <sup>2</sup> )
$\phi_b$	= stijghoogte onder de aankomende golftop ten opzichte van het punt waar het stijghoogtefront op het talud aansluit	(m)

## HOOFDSTUK 1 INLEIDING

### 1.1 Algemeen

Het onderhavige rapport is het verslag van de uitvoering van een demonstratieproject voor de bekleding van een deel van het buitenbeloop van de Westermeerdijk om de Noordoostpolder tussen Urk en de Rotterdamsehoek en tussen de hectometerpalen hm 14,5 en hm 14,7 (zie figuur 1). Het proefproject is uitgevoerd op initiatief van CUR-commissie C 58 "Cementbetonnen plaatbekledingen", die tot taak heeft te onderzoeken of recente ontwikkelingen ten aanzien van materiaaltechnologie, uitvoeringstechniek en kennis van het ontwerp de toepassing van cementbetonnen plaatbekledingen wenselijk maken.

Uiteindelijk zal dit leiden tot een praktische, geverifieerde ontwerpmethode voor dit type bekledingen.

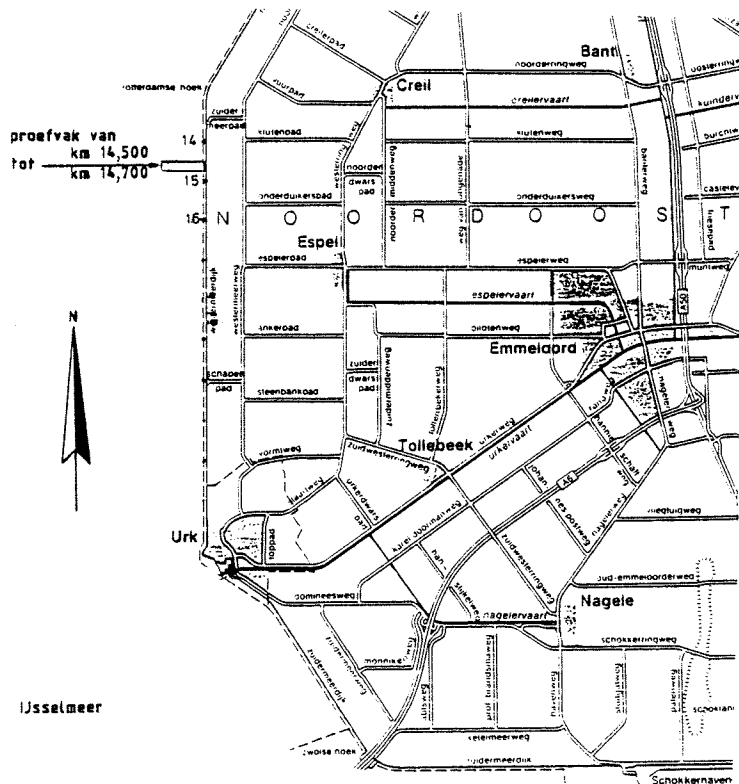


Fig. 1. Locatie van het demonstratieproject

Als één van de activiteiten van de onderzoekcommissie C 58 is medio 1989 een proefproject uitgevoerd op de zeedijk bij Breskens [1]. Daar is in de getijzone een taludverdediging aangebracht met open colloïdaal beton.

Vervolgens is in september en oktober 1990 een tweede proefproject uitgevoerd op de Noordelijke Waalbandijk nabij Ochten [2]. Ook daar is een open-colloïdaal-betonplaat aangebracht, maar daar was onderzoek naar de mogelijkheid van begroeiing op de plaatbekleding het belangrijkste punt van aandacht.

De resultaten van beide proefprojecten waren van dien aard dat de wens is gegroeid voor uitvoering van een derde project, dat meer het karakter moest krijgen van een demonstratie dan van een proef. Om het totaalbeeld te completeren, is gekozen voor een proefproject op een meerdijk. De Noordoostpolderdijk is bijzonder geschikt gebleken voor dit doel.

### **1.2 Doelstelling van het demonstratieproject**

Het belangrijkste doel van het project in de Noordoostpolder is het invullen van een aantal witte vlekken die nog uit de voorgaande proefprojecten zijn overgebleven, zoals:

- de uitvoering van dagnaden en aansluitingen op bestaande constructies;
- het gedrag van de bekleding op een wat minder draagkrachtige ondergrond;
- het gedrag van de bekleding onder de voor meerdijken typische korte-golfbelasting.

Ten opzichte van de eerder uitgevoerde proefprojecten onderscheidt het project Noordoostpolder zich doordat twee typen open colloïdaal beton naast elkaar zijn toegepast. Het betreft hier, naast het reeds tweemaal eerder toegepaste open beton op basis van granulaat 16-32 mm, een betonsoort gebaseerd op het veel fijnere granulaat 4-16 mm (zie figuur 2 en 3).

Speciaal aandachtspunt bij dit proefproject was de mate waarin de bekleding onder de heersende golfbelasting, bij een niet droogvallend voorland, geleidelijk aanslibt.

Het gedrag en de sterkte van de bekleding onder extreme hydraulische belasting zijn geen primaire onderzoeksaspecten, aangezien het proefproject Breskens, dat in de winter van 1990 aan een zeer zware Noordzee-golfbelasting is blootgesteld geweest, hieromtrent reeds ruim voldoende informatie heeft opgeleverd.

### **1.3 Beschrijving van open colloïdaal beton**

Open colloïdaal beton is een betonsoort die wordt verkregen door toevoeging van een lijmachtige hulpstof aan beton en het vrijwel achterwege laten van de zandfractie. Daardoor ontstaat een zeer open beton, met een waterdoorlatendheid die vergelijkbaar is met die van grind, waardoor een uit het oogpunt van hydraulische belastingen heel gunstige plaatbekleding kan worden verkregen.



Fig. 2. Grof open colloïdaal beton (16-32 mm)  
(de lengte van het bordje is 40 cm)

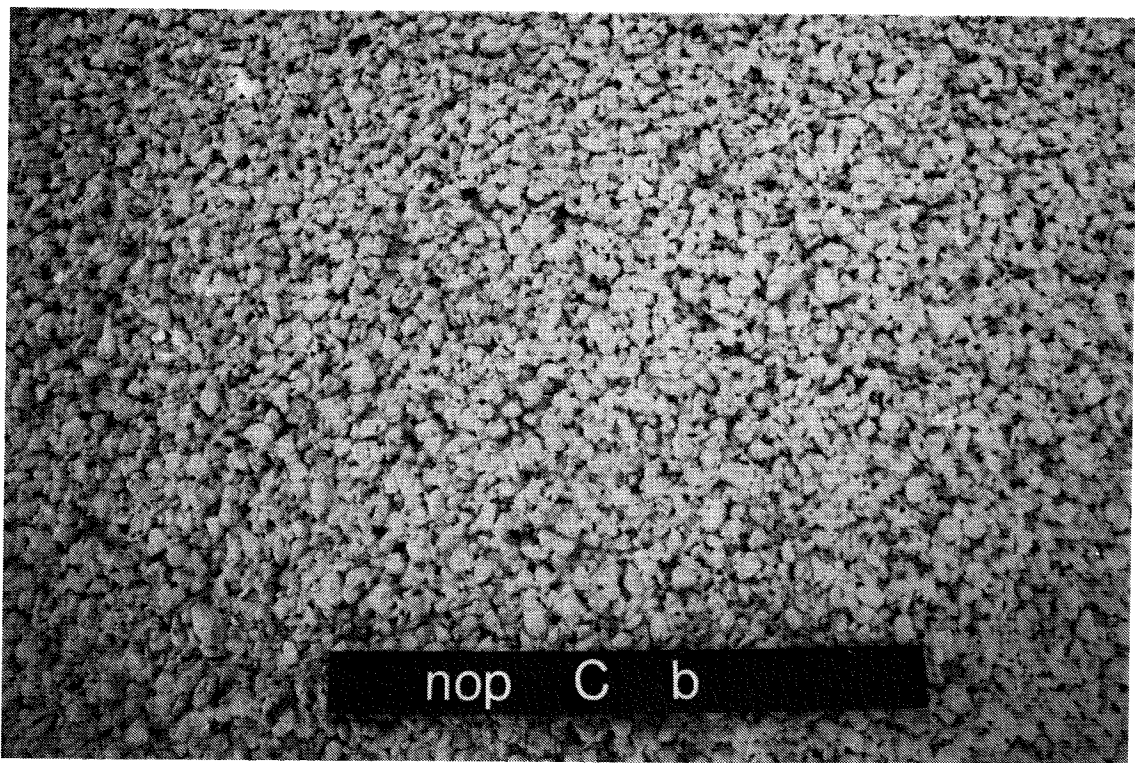


Fig. 3. Fijn open colloïdaal beton (4-16 mm)  
(de lengte van het bordje is 40 cm)

De twee belangrijkste eigenschappen van open colloïdaal beton volgen direct al uit de naamgeving.

**Colloïdaal:** Door de toevoeging van een lijmachtige hulpstof behoudt colloïdaal beton in de speciefase ook onder water zijn samenhang; de toepassingen van het materiaal zijn meestal hierop geselecteerd. Door toevoeging van de hulpstof ontmengt de specie niet meer tijdens het transport, zodat het niet noodzakelijk is het beton aan te voeren in zware betonmixers; dit kan een belangrijk voordeel zijn voor moeilijk bereikbare plaatsen. Tevens moet worden vermeld dat het door toevoeging van de hulpstof mogelijk wordt een speciale betonvariant samen te stellen, vrijwel zonder zand; hierdoor wordt een open, waterdoorlatend beton verkregen.

**Open:** De open structuur van het materiaal heeft twee effecten. Ten eerste heeft het beton een waterdoorlatendheid in de orde van grootte van het grind waarmee het is samengesteld, waardoor de hydrodynamische belastingen op de bekleding worden beperkt. Ten tweede maakt de open structuur doorworteling en begroeiing van de bekleding mogelijk.

Als laatste belangrijke eigenschap moet nog worden genoemd dat het materiaal zich met eenvoudige hulpmiddelen onder steile taluds laat verwerken en dat de aansluiting op bestaande constructie-onderdelen en "vreemde elementen" door de loskorrelige structuur in de speciefase zonder problemen mogelijk is.

## HOOFDSTUK 2

### OMSCHRIJVING VAN DE PROEFLOCATIE

#### 2.1 Aanleiding tot de dijkverbetering

In verband met de overdracht van het beheer van de Noordoostpolderdijken door de Rijkswaterstaat Directie Flevoland aan het Waterschap Noordoostpolder is momenteel een zogenoemd "afwerkprogramma" in uitvoering. Als onderdeel daarvan wordt een nieuwe taludbekleding aangebracht op een deel van de IJsselmeerdijk tussen Urk en de Rotterdamsehoek. Na een initiatief van CUR-commissie C 58 "Cementbetonnen Plaatbekledingen" hebben de betrokkenen ermee ingestemd van dit werk een demonstratieproject voor open colloïdaal beton te maken.

#### 2.2 Huidige situatie

Door verzakking van de vooroever van de dijk is periodieke aanvulling van de bestorting op het kraagstuk noodzakelijk geweest. Waarschijnlijk mede als gevolg hiervan is de bestaande teenopsluiting van de dijkbekleding verzakt en voorover gekanteld. De dijkbekleding van basaltzuilen is daardoor zo aangetast dat een grondig herstel in verband met de beheeroverdracht noodzakelijk is.

Aan de bovenzijde is de basaltbekleding opgesloten door een betonnen berm, die tevens als onderhoudspad dienst doet.

#### 2.3 Aanpassingen

De bestaande damwand zal worden vervangen door een nieuwe betonnen damwand met de bovenrand op NAP + 0,0 m (zie figuur 4). Tevens wordt de kreukelberm aangevuld met stortsteen. De basaltbekleding wordt verwijderd. De onderlagen worden zoveel mogelijk intact gelaten. De bestaande opbouw van de dijk bestaat uit een kern van keileem die voldoende wordt opgesloten door een krammat van gebitumineerde jute, waarop een dubbele vlijlaag, bestort met puin. Ook deze puinlaag wordt zoveel mogelijk intact gelaten en aangevuld met grauwacke tot een nader te bepalen dikte (zie berekeningen in bijlage A). In verband met de bestaande verzakking is die laag nabij de damwand iets dikker, om het talud toch strak te kunnen afwerken.

De bekleding van open colloïdaal beton is aangebracht in plaats van de huidige basaltbekleding. De totale lengte van de plaatbekleding bedraagt ca. 200 meter.

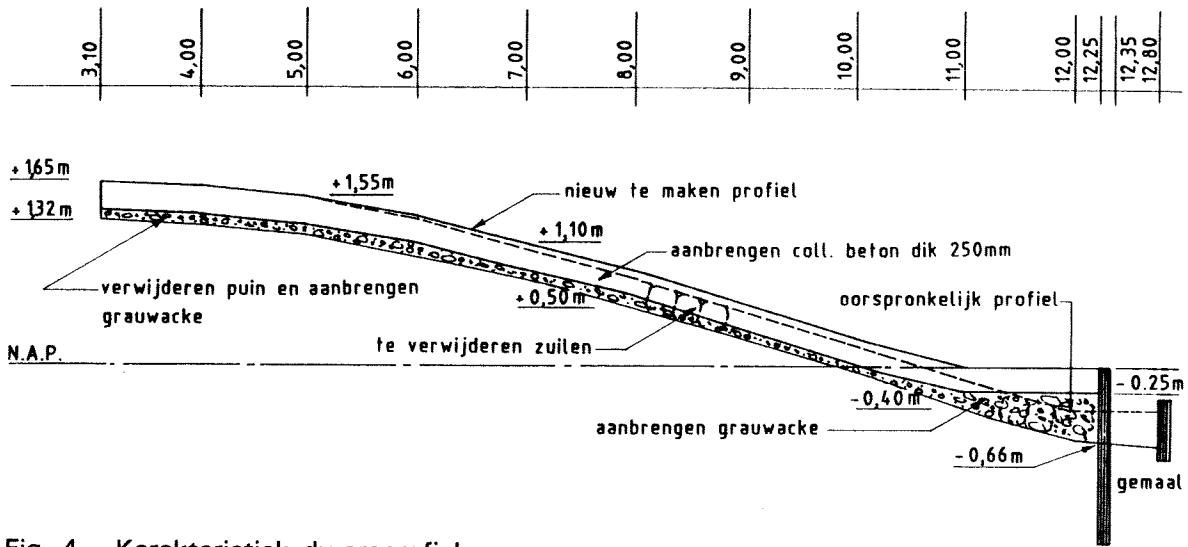


Fig. 4. Karakteristiek dwarsprofiel



## HOOFDSTUK 3 BELASTINGEN OP DE CONSTRUCTIE

### 3.1 Hydraulische belastingen

#### *Waterstanden*

In de dagelijkse omstandigheden is de waterstand van het IJsselmeer zodanig dat de golfbelasting op de kreukelberm is geconcentreerd.

De extreme ontwerpwaterstand bij een overschrijdingsfrequentie van 1/4000 per jaar is door de Rijkswaterstaat, Dienst Binnenwateren vastgesteld op NAP + 1,90 m, zie [3].

De waterstand is voor het ontwerp van de bekleding slechts van belang voor zover die een beperking oplegt aan de extreme ontwerp golfhoogte. Daarnaast is van belang de verticale snelheid waarmee de waterstand zakt na een extreem hoge stand, bijvoorbeeld ten gevolge van het plotseling draaien van de windrichting.

#### *Golfbelasting*

Voor meerdijken vormen de door de wind opgewekte golven in het algemeen de maatgevende belasting voor de dijkbekleding. Scheepsgolven spelen in dit geval een ondergeschikte rol.

De ontwerp golfhoogte voor het proefvak is door de Rijkswaterstaat, Dienst Binnenwateren vastgesteld, zie [3]. De significante ontwerp golfhoogte op de vooroever voor een overschrijdingsfrequentie van 1/4000 per jaar is vastgesteld op  $H_s = 2,70$  m met een golfperiode  $T = 5,5$  sec.

In bijlage A wordt aangegeven hoe uit deze hydraulische randvoorwaarden de inkomende ontwerp golfbelasting op de talusbekleding wordt berekend. Voor de dimensionering van de bekleding met de in [4] en [5] beschreven methode wordt uitgegaan van een golfhoogte  $H = 2,5$  m en een golfperiode van  $T = 5,5$  sec.

#### *Stroomsnelheid*

De verwachte stroomsnelheden voor de dijk zijn zo klein dat de hierdoor uitgeoefende belastingen op de bekleding kunnen worden verwaarloosd ten opzichte van de golfbelastingen. Stroombelastingen blijven bij het ontwerp dan ook buiten beschouwing.

### 3.2 Mechanische belastingen

Op een dijkbekleding kunnen vele vormen van, meestal slecht kwantificeerbare, mechanische belastingen worden uitgeoefend, bijvoorbeeld:

- belastingen door vast of drijvend ijs;
- belastingen door vee;
- vandalisme;
- aanvaringen;
- landbouw- en onderhoudsverkeer.

Belastingen door ijs zijn weliswaar zeldzaam, maar kunnen zeer aanzienlijk zijn. Vooral de schurende werking van kruierend ijs is in dit verband berucht. Deze mechanische belasting is echter niet of nauwelijks betrouwbaar te kwantificeren.

De belastingen door vee en vandalisme zijn voor plaatbekledingen niet van belang, terwijl scheepsbelastingen ten gevolge van aanvaringen vanwege de kleine kans van voorkomen buiten beschouwing worden gelaten.

Wat resteert, zijn de belastingen door verkeer. De incidentele belastingen door verkeer kunnen aanzienlijk zijn. Volgens opgave van het Waterschap moet rekening worden gehouden met een voertuigbelasting van 200 kN (20 ton). Dit leidt tot een voor het ontwerp maatgevende wiellast van  $P = 50$  kN, onder de aanname dat een dergelijke wagen op slechts 4 wielen staat.

## HOOFDSTUK 4

### ONTWERP VAN DE TALUDVERDEDIGING

#### 4.1 Doorgaande plaatbekleding

In opdracht van de CUR-onderzoekcommissie C 58 is door het Waterloopkundig Laboratorium (WL) een ontwerpmethodede ontwikkeld voor cementbetonnen plaatbekledingen. Deze methode is grotendeels gebaseerd op de kennis die in het kader van het meerjarig onderzoekprogramma van de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW) is opgebouwd. De methode is zowel toepasbaar voor plaatbekledingen van dicht beton als voor de bekleding van open colloïdaal beton, zoals toegepast voor het demonstratieproject op de Noordoostpolderdijk. Voor de achtergronden van de gehanteerde ontwerpmethodede wordt dan ook verwezen naar de achterliggende rapporten [4], [5] en [8].

De methode omvat rekenmodellen voor:

- berekening van de interne en externe hydraulische belastingen in de taludverdedigingsconstructie, op basis van de externe golfrandvoorwaarden;
- toetsing van de stabiliteit van de onderlagen van de constructie (filterlaag, basis);
- toetsing van de stabiliteit van de toplaag, waarbij expliciet rekening wordt gehouden met de stabiliteitsverhogende werking van platen ten opzichte van een bekleding opgebouwd uit kleine elementen (steenzetting);
- bepaling van de invloed van een mogelijk optredende geleidelijke aanslibbing van toplaag en onderlagen, waardoor de waterdoorlatendheden geleidelijk kunnen afnemen.

Bij de toepassing van de berekeningsmethode wordt een bepaald ontwerp als uitgangspunt genomen, dat vervolgens systematisch aan een aantal stabiliteitscriteria voor de verschillende constructieonderdelen wordt getoetst. Op basis van het resultaat van deze toetsing wordt vervolgens het ontwerp bijgesteld. Door de Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde is het ontwerp gemaakt voor de taludverdedigingsconstructie voor het proefproject op de Noordoostpolderdijk. De berekeningen zijn weergegeven in bijlage A.

Het uiteindelijk verkregen ontwerp, met de belasting- en constructieparameters, is in het onderstaande geresumeerd:

#### *Randvoorwaarden*

- golfhoogte :  $H = 2,50$  m
- golfperiode :  $T_p = 5,5$  sec
- waterstand : NAP + 1,90 m

#### *Constructie*

- taludhelling :  $\tan \alpha = 1/4$
- vooroeverhelling :  $\tan \beta = 1/5$
- constructiebasis : keileem (cohesief), afgedekt met een krammat van gebitumineerde jute en een dubbele vlijlaag
- bekleding:
  - filterlaag: de bestaande puinfundering wordt zoveel mogelijk intact gelaten; plaatselijk is die vervangen door of aangevuld met grauwacke 10-40 mm, waarvan:  
 $D_{f15} = 10$  mm  
doorlatendheid  $k = 125$  mm/s (conservatief hoge waarde)  
porositeit  $n = 0,35$
  - toplaag:  
dikte:  $D = 0,25$  m (waarvan 0,20 m als effectief en 0,05 m als reserve voor slijtage en onregelmatige uitvoering worden aangehouden)  
diameter: zie 4.3  
doorlatendheid: 10 mm/s (conservatief lage waarde)  
buigtreksterkte: 0,7 à 0,8 MPa

De taludbekleding met bovenstaande karakteristiek is stabiel onder de aangegeven hydraulische ontwerprandvoorwaarden. Dit ontwerp is vervolgens getoetst aan de incidenteel optredende verkeersbelastingen.

Door de Vereniging Nederlandse Cementindustrie zijn met de voor het ontwerp van wegen algemeen geaccepteerde gemodificeerde methode-Westergaard [6] berekeningen uitgevoerd voor de spanningen in de open-colloïdaal-betonplaat onder de belasting door een vrachtwagen met een totaalgewicht van 200 kN (20 ton).

De berekeningen zijn uitgevoerd voor een vrachtauto met 4 wielen met wiellast  $P$  van 50 kN en voor de "zwakste" open-colloïdaal-betonsoort op basis van de korrelgrootte 16-32 mm. Het beton met fijner granulaat 4-16 mm heeft een aanzienlijk hogere betonsterkte en is daardoor niet maatgevend voor het ontwerp.

*Invoer van de spanningsberekening onder vrachtwagenbelasting*

beddingsconstante voor de steenfundering	$k = 0,100 \text{ à } 0,130 \text{ N/mm}^3$
wiellast	$P = 50 \text{ kN}$
straal van het contactvlak belasting - plaat	$a = 275 \text{ mm}$
plaatdikte	$h = 250 \text{ mm}$
elasticiteitsmodulus	$E = 14.000 \text{ N/mm}^2$
reductiecoëfficiënt ten gevolge van lastoverdracht in de voeg	$f = 0,7$

*Toelichting op de invoer*

- De beddingsconstante  $k$  is bepaald op basis van tabellen in [7]. Van belang zijn de dikte van de funderingslaag en de mate van verdichting. Uitgegaan is van een laagdikte van ongeveer 0,30 m en een goed en een matig verdichte steenfundering. Deze varianten representeren respectievelijk de situatie waar het open colloïdaal beton wordt aangebracht op de oude puinfundering en de situatie waar een deel van het puin wordt vervangen door een laag grauwacke.
- De wiellast  $P$  is gebaseerd op een vrachtwagen met een totaalgewicht van 20 ton op 4 wielen. In de regel is een dergelijke vrachtwagen uitgerust met 6 wielen (dubbel lucht), wat tot geringere belastingen leidt.
- Het contactvlak band - weg heeft een straal van 150 mm. Voor de berekening wordt de last geacht aan te grijpen in het hart van de plaat, dus 125 mm onder de bovenzijde. Ten gevolge van lastspreiding mag in deze omstandigheden het contactvlak worden vergroot tot  $a = 275 \text{ mm}$ .
- Voor de plaatdikte  $h$  is in eerste instantie de volledige dikte van 250 mm aangehouden, dus inclusief de 50 mm reserve voor slijtage en onnauwkeurigheden in de uitvoering. Deze aanname kan worden verdedigd doordat de vrachtwagenbelasting vrijwel steeds optreedt in de zone hoog op het talud, tegen de berm. Juist in deze zone is slijtage als gevolg van incidentele golfbelasting nauwelijks van belang. Bij de uitvoering moet goed worden gewaarborgd dat juist in de bereden zone de dikte van 250 mm ook daadwerkelijk wordt aangebracht.

In tweede instantie is het alsnog raadzaam geoordeeld de berekeningen te herhalen voor een effectieve plaatdikte van 200 mm. Als gevolg hiervan worden dan strengere eisen gesteld aan de betonsterkte.

- De elasticiteitsmodulus  $E$  is gebaseerd op metingen die zijn uitgevoerd voor het proefproject Breskens [1].
- Nabij een vrije plaatrand kunnen onder de wielen grotere spanningen optreden dan midden in de plaat. Een (krimp)scheur in open colloïdaal beton heeft echter een zeer ruw contactvlak, waardoor in de scheur dwarskrachten kunnen worden overgedragen. Hierdoor worden de spanningen gereduceerd. Op basis van ervaring is gekozen voor een reductiecoëfficiënt  $f = 0,7$ .

*Uitkomsten bij een effectieve plaatdikte  $h = 0,25$  m*

- Buigtrekspanningen in de plaat: 0,66 à 0,69 N/mm<sup>2</sup>
- Gereduceerde buigtrekspanningen op de plaatrand: 0,75 à 0,79 N/mm<sup>2</sup>

Aangezien de Westergaard-berekeningsmethode bekend staat als enigszins conservatief en de belastingen door zwaar verkeer slechts incidenteel voorkomen, kan worden geconcludeerd dat een minimale plaatdikte van 0,25 m voldoende is bij een buigtreksterkte van het beton van ca. 0,7 à 0,8 N/mm<sup>2</sup>. Het is echter de vraag of de plaatdikte van 0,25 m wel volledig mag worden meegerekend om de buigtrekspanningen op te nemen. Door slijtage kan de dikte van de plaat, vooral gedurende de eerste jaren na aanleg, met enkele centimeters afnemen. De berekeningen zijn daarom herhaald voor een effectieve plaatdikte van 0,20 m.

*Uitkomsten bij een effectieve plaatdikte  $h = 0,20$  m*

- buigtrekspanningen in de plaat: 0,90 à 0,94 N/mm<sup>2</sup>
- gereduceerde buigtrekspanningen op de plaatrand: 1,00 à 1,06 N/mm<sup>2</sup>

Hieruit blijkt dat een buigtreksterkte van ca. 1,0 N/mm<sup>2</sup> voor deze geringere plaatdikte voldoende is. De daarbij behorende druksterkte van ca. 10 N/mm<sup>2</sup> is altijd ruim voldoende om de drukbelasting zonder schade te kunnen weerstaan. Analyse van geboorde kernen uit eerder aangelegde proefvakken, zie [2], heeft aangetoond dat dergelijke waarden met de normale produktiemethoden voor open colloïdaal beton kunnen worden gerealiseerd.

#### 4.2 Randaansluitingen

De randaansluitingen zijn gedetailleerd door het Waterschap Noordoostpolder. Uitgangspunten daarbij waren (zie figuur 5):

- De eventueel nieuw aan te brengen filterlaag sluit ononderbroken aan op de bestaande filterlaag onder de naastgelegen basaltbekleding.
- Aan de meerzijde sluit de open-colloïdaal-betonbekleding strak aan op de opnieuw gestelde damwandconstructie, die fungeert als referentiemaat voor de bekledingsdikte. Extra voorzieningen waren niet noodzakelijk.
- Aan de beide uiteinden van het proefvak en aan de bovenrand langs de berm is de open-colloïdaal-betonbekleding zonder speciale voorziening tegen de bestaande verharding aangestort. De bestaande verhardingen fungeren als referentiemaat voor de dikte van de betonnen plaatbekleding.



Fig. 5. Detail van de randaansluiting op de bestaande basaltbekleding

#### 4.3 Mengselontwerp

Door Mebin B.V. zijn op basis van de ontwerpeisen twee geschikte mengsels open colloïdaal beton onder de merknaam "Hydrocrete" samengesteld.

Uitgangspunt daarbij is geweest:

- druksterkte: gemiddeld  $10 \text{ N/mm}^2$
- buigsterkte: ca.  $1,0 \text{ N/mm}^2$

De grove variant open colloïdaal beton is opgebouwd met grind 16-32 mm, de fijne variant met grind 4-16 mm. In beide gevallen is nauwelijks zand toegepast, is gewerkt met hoog-ovencement klasse A en zijn de colloïdale eigenschappen verkregen door dosering van Hydrocrete. De exacte mengselsamenstelling is voor de afnemers niet van belang. Op basis van opgegeven prestatie-eisen, zoals waterdoorlatendheid en druksterkte, kan een terzake deskundig betontechnoloog steeds een optimaal mengsel samenstellen.



## HOOFDSTUK 5

### UITVOERING, METINGEN EN WAARNEMINGEN

#### 5.1 Uitvoering

Alvorens met het aanbrengen van het colloïdaal beton kon worden begonnen, is de plas-berm door aanvullende bestortingen hersteld en is de nieuwe betonnen damwand op hoogte en in lijn gesteld. Vervolgens is de bestaande basaltbekleding opgenomen en is de grauwac-ke aangebracht. Vervolgens is het open colloïdaal beton met de bak van een hydraulische kraan gespreid en onder profiel afgewerkt. De minimale betondikte van 0,25 m is zeker gesteld door enkele centimeters overdikte aan te brengen. Alleen het grove open colloïdaal beton is vervolgens afgerold met een lichte landbouwrol. Bij het fijne open colloïdaal beton is dit mechanisch overbodig en esthetisch ongewenst.

De aanvang van de betonstortwerkzaamheden is een aantal malen uitgesteld vanwege extreem slecht voorjaarsweer. Uiteindelijk is het betonstorten begonnen op 18 juni 1989. Ook daarna is het werk nog onderbroken doordat de golfslag en de golfoploop het niveau bereikten waar het beton moest worden aangebracht. Op 20 juni 1991 heeft een grote groep belangstellenden in het kader van een "open dag" een bezoek gebracht aan het werk in uitvoering (zie figuur 6).

Begin juli zijn de werkzaamheden afgerond.

Er is gewerkt van zuid naar noord, waarbij over de eerste ca. 100 meter het grove open colloïdaal beton is verwerkt en over het resterende deel het fijne beton.

Ook bij dit project is gebleken dat de verwerking van open colloïdaal beton weliswaar een-voudig is, maar dat voor het realiseren van een fraai, strak uiterlijk hoge eisen moeten wor-den gesteld aan de vakbekwaamheid van de kraanmachinist. De ervaring met de proefpro-jecten in Breskens en Ochten heeft geleerd dat een mooi strak resultaat wordt verkregen door het beton direct na het spreiden op het talud met een landbouwrol af te walsen.

Bij het aanbrengen en afwerken van de open-colloïdaal-betonspecie is aan de aannemer een "draaiboek" als aanbeveling bij de uitvoering aangeboden. Door de aannemer is op basis van de lokale omstandigheden en beperkingen op een aantal punten van dit draaiboek afgewe-ken zonder de essentie aan te tasten. Uiteindelijk is gewerkt volgens het hierna beschreven draaiboek.



Fig. 6. "Open dag" 20 juni 1991

Draaiboek voor de uitvoering:

- aanvoer van betonspecie met een truckmixer vanuit de centrale in Emmeloord;
- wegens de beperkte draagkracht van het onderhoudspad op de dijk lost de truckmixer een deel van de betonspecie in een vrachtauto met vlakke laadbak;
- de truckmixer of de vrachtauto transporteert de betonspecie naar de plaats van verwerking en stort het op de gewenste plaats;
- een hydraulische kraan met platte bak zonder tanden verwerkt de specie en werkt deze vlak af (zie figuur 7);
- vervolgens wordt de betonspecie afgewalst met een lichte landbouwrol (alleen bij het grove open colloïdaal beton);
- werkvoegen als gevolg van oponthoud op het werk (tot maximaal 2 uur) worden aangebrand met een pasta van cement en water, voordat er weer betonspecie tegenaan wordt gestort;



Fig. 7. Spreiden van colloïdaal beton met een hydraulische kraan

- de dagproductie wordt beëindigd door een plank van 0,25 m hoogte die fungeert als bekisting; de volgende werkdag wordt deze bekisting opgenomen en het oude werk wordt angebrand met een cementpasta; vervolgens wordt het verse beton koud tegen het oude beton verwerkt en afgerold;
- de dagnaad vormt dan echter een blijvend zwakke plek in de bekleding; daarom wordt na het verharden van het beton ter plaatse van de naad de bekleding over een breedte van ca. 0,50 m (0,25 m ter weerszijden van de dagnaad) gepenetreerd met een geschikte cementgebonden colloïdale cementpasta; Mebin B.V. heeft hiervoor een geschikte penetratiemortel ontwikkeld (zie figuur 8).

De uitvoering is begeleid door Mebin B.V./VNC, die tevens hebben gezorgd voor het vastleggen van de werkzaamheden en het resultaat op foto en video.

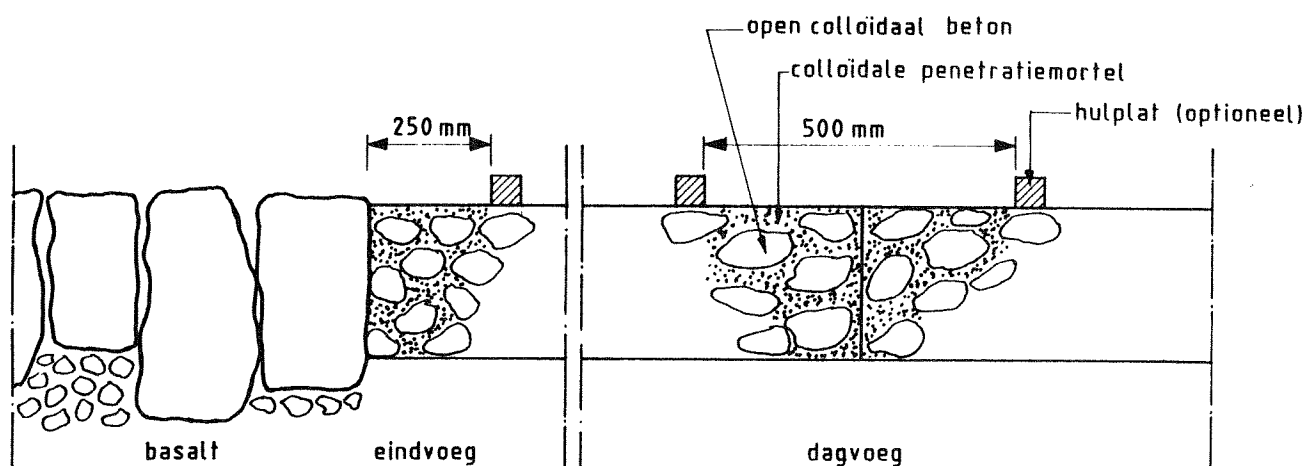


Fig. 8. Afwerking van dagvoegen en eindvoeg

## 5.2 Produktie

Op de Noordoostpolderdijk, in het dijkvak tussen km 14,745 en km 15,545, is in totaal ca. 1840 m<sup>2</sup> open colloïdaal beton aangebracht. De produktie van de bekleding is aangevangen op 18 juni 1991, nadat de voorbereidende werkzaamheden voor zover mogelijk waren afgerond. De eerste dagen is veel hinder ondervonden van de voor eind juni extreem slechte weersomstandigheden, met veel wind. In verband hiermee is ernaar gestreefd steeds een zo klein mogelijk deel van de dijk "open" te laten liggen. In de praktijk betekende dit dat het uitbreken van de bestaande bekleding, het afwerken van de onderlagen en het aanbrengen van de toplaag als een continue produktiegang werden uitgevoerd.

Op 18 en 19 juni is de produktie stilgelegd vanwege het slechte weer, waarbij de golven tot op de zojuist aangebrachte bekleding opliepen. Dit heeft ertoe geleid dat ca. 20 m<sup>2</sup> van de produktie op 18 juni de volgende dag is vervangen omdat die ontoelaatbaar was uitgespoeld. Samenvattend zijn de volgende produkties gerealiseerd:

<u>datum</u>	<u>produktie</u>
18-06-1991	36 m <sup>3</sup> (ca. 140 m <sup>2</sup> )
19-06-1991	27 m <sup>3</sup> (ca. 100 m <sup>2</sup> )
20-06-1991	126 m <sup>3</sup> (ca. 500 m <sup>2</sup> )
21-06-1991	54 m <sup>3</sup> (ca. 200 m <sup>2</sup> )
25-06-1991	70 m <sup>3</sup> (ca. 250 m <sup>2</sup> )
01-07-1991	162 m <sup>3</sup> (ca. 650 m <sup>2</sup> )

Bij deze cijfers moet worden aangetekend dat veelal slechts een deel van de werkdag gebruikt werd voor het verwerken van het beton. De verwachting is dat bij routinematige productie per ploeg van drie man plus een hydraulische kraan een dagproductie van ca. 1.000 m<sup>2</sup> (250 m<sup>3</sup>) goed haalbaar is.

### 5.3 Metingen en waarnemingen

Namens de CUR-commissie C 58 zijn bij de aanleg van de bekleding waarnemingen en metingen verricht betreffende de materiaaleigenschappen, de wijze van verwerking en de uitvoering van constructiedetails.

Gezien de aard van het project, waar vooral uitvoeringsaspecten en lange-duur-gedrag onderwerpen van onderzoek waren, zijn de waarnemingen en metingen zeer beperkt gebleven. Door Mebin B.V. zijn produktiemonsters genomen van de afgeleverde betonmortel. Deze monsters zijn gedeeltelijk direct betontechnologisch onderzocht en gedeeltelijk opgeslagen voor later sterkteonderzoek (zie 5.4).

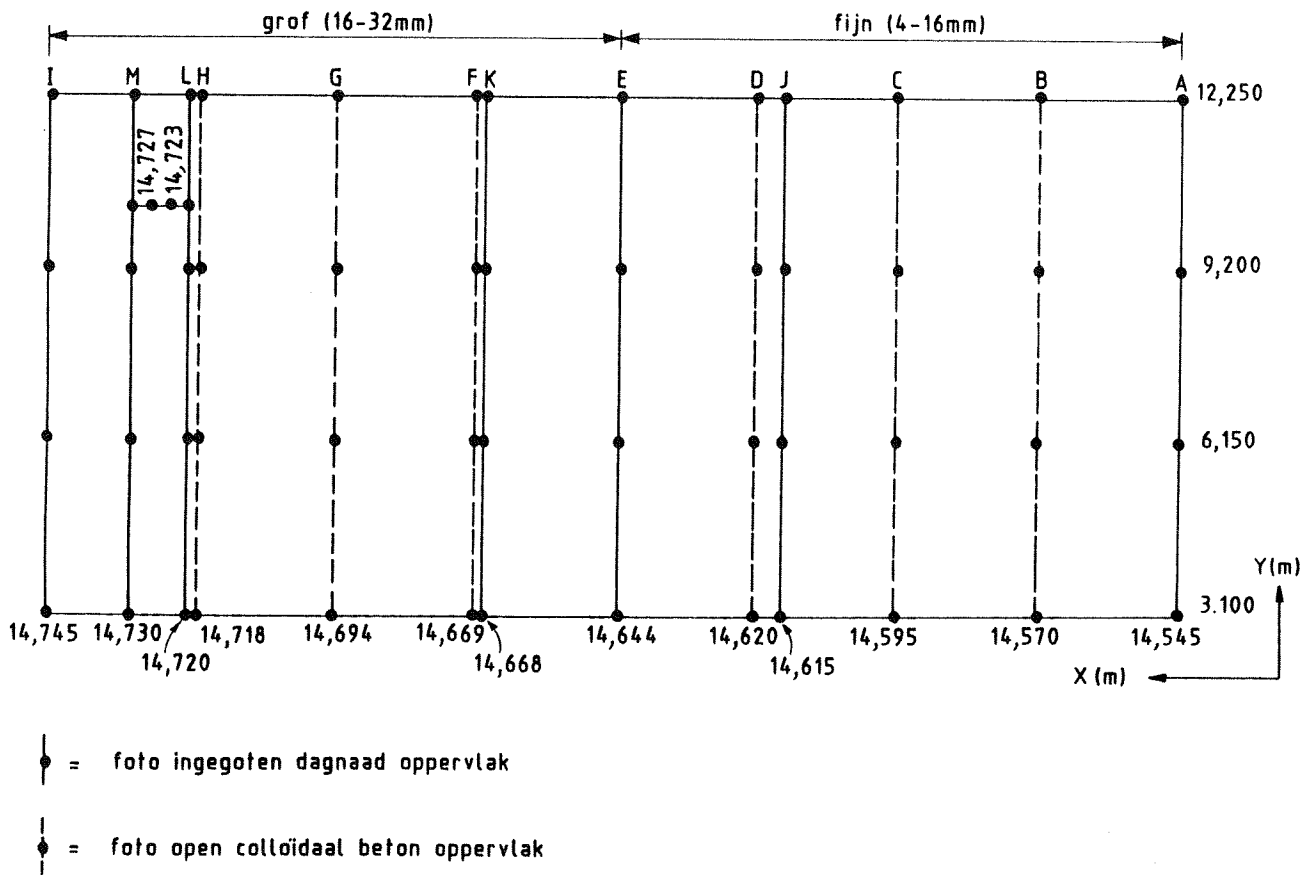


Fig. 9. Raster voor systematische fotografische inspectie

Door VNC is de opgeleverde bekleding op 6 september systematisch gefotografeerd. Hierbij is volgens een vast raster het oppervlak in detail gefotografeerd (zie figuur 9).

Ook van alle ingegoten naden zijn foto's gemaakt. Doel van deze fotoserie is het in detail vastleggen van de initiële situatie om later als objectieve vergelijkingsbasis te kunnen dienen. De fotoserie is in een beperkte oplage als bijlage bij het onderhavige rapport verspreid aan direct belanghebbenden.

Vastgesteld kan worden dat zowel met het grovere als met het fijnere open colloïdaal beton een goed resultaat is verkregen. Met het fijnere beton wordt een iets strakker oppervlak verkregen, zelfs in vergelijking met het afgerolde grovere beton. Of dit op prijs wordt gesteld, is een kwestie van persoonlijke smaak (zie figuur 10).

In de maanden na aanleg van de bekleding is regelmatig een inspectie van het dijkvak uitgevoerd. Vrij snel na het gereedkomen van de bekleding bleken krimpscheuren op te treden in de aangegoten dagnaden (zie figuur 11). In november 1991 is voor het eerst scheurvorming waargenomen in de doorgaande plaat. Ten gevolge van de lagere temperaturen zijn op regelmatige onderlinge afstanden van ca. 25 meter krimpscheuren opgetreden over de volledige breedte van de bekleding.

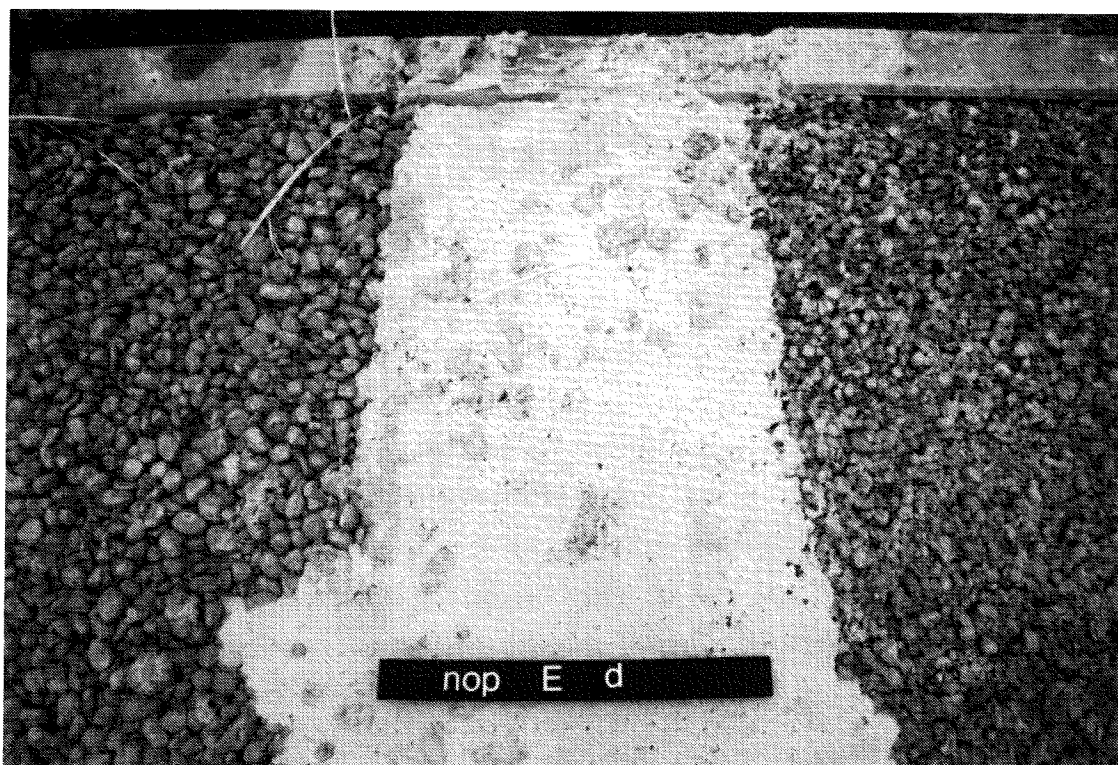


Fig. 10. Aansluiting van grof op fijn open colloïdaal beton



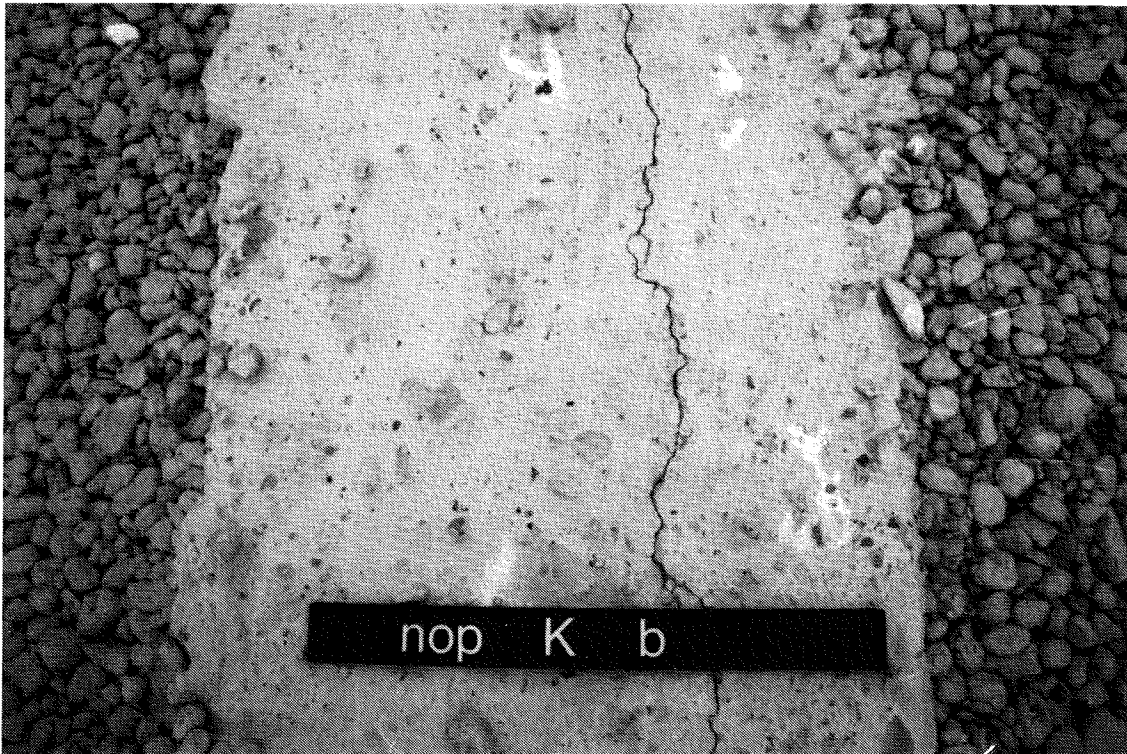


Fig. 11. Krimpscheur in een ingegoten dagmaad

Om het gedrag van de constructie op langere termijn te kunnen volgen, wordt in overleg met de beheerder, het Waterschap Noordoostpolder, een beperkt programma voor periodieke metingen en waarnemingen opgesteld.

Hierbij wordt gedacht aan de volgende opzet:

- periodieke waterpassingen om mogelijke zakkingen waar te nemen;
- periodieke inspectie in verband met mogelijke slijtage van het oppervlak, met name nabij de naden;
- detectie van scheuren in de betonplaat (N.B.: scheurvorming ten gevolge van temperatuurspanningen in een cementbetonnen plaatbekleding wordt mede in beschouwing genomen bij het ontwerp en vormt geen bedreiging voor de stabiliteit; scheurvorming als indicatie voor ernstige verzakkingen is echter een mogelijke bedreiging voor de stabiliteit);
- verschillen in de gedragingen van de verschillende toegepaste betonsoorten;
- kwalitatieve bepaling van de doorlatendheid van de toplaag.

De constructie is ontworpen om probleemloos gedurende lange tijd te kunnen functioneren. Mochten zich echter onverhoopt vragen, twijfels of problemen voordoen bij de beheerder, dan staat de Dienst Weg- en Waterbouwkunde (DWW) van de Rijkswaterstaat als extern adviseur ter beschikking. Als daar aanleiding toe is, kan met de DWW worden besloten tot de uitvoering van kwantitatieve doorlatendheidsmetingen.

#### 5.4 Laboratoriummetingen

Tijdens de productie van het open colloïdaal beton is zowel van het grovere als van het fijnere type een aantal monsters genomen voor latere beproeving in het laboratorium. Na verharding zijn de monsters onderworpen geweest aan proeven ter bepaling van de volumieke massa, de druksterkte en de buigtreksterkte. De gemiddelde volumieke massa bedroeg voor het grove beton  $1870 \text{ kg/m}^3$  en voor het fijne beton  $2057 \text{ kg/m}^3$ . De proeven zijn uitgevoerd in het Genie Laboratorium van de KMA te Breda.

De resultaten zijn weergegeven in tabel 1 en 2.

Tabel 1. Beproevingresultaten van druksterkte

drukproeven			
type 16-32 mm		type 4-16 mm	
monster-nummer	druksterkte (N/mm <sup>2</sup> )	monster-nummer	druksterkte (N/mm <sup>2</sup> )
1	7,20	1	18,30
2	12,50	2	21,20
3	11,90	3	18,10
4	10,70	4	18,70
5	14,20	5	16,80
6 *	3,90	6	19,60
gem. (1 t/m 6)	10,07	gemiddeld	18,80
gem. (1 t/m 5)	11,30		

\* het betreft hier een beschadigd proefstuk, waardoor geen goede drukproef kon worden uitgevoerd



Tabel 2. Beproevingresultaten van buigtreksterkte

vierpuntsbuigproeven (ASTM C 78.84)			
type 16-32 mm		type 4-16 mm	
monster-nummer	buigtreksterkte (N/mm <sup>2</sup> )	monster-nummer	buigtreksterkte (N/mm <sup>2</sup> )
1	1,48	1	2,50
2	1,49	2	2,54
3	2,13	3	2,50
4	1,58	4	2,31
5	2,15	5	2,32
6	2,09	6	2,35
gemiddeld	1,82	gemiddeld	2,42

Uit de resultaten blijkt dat het geleverde beton ruimschoots aan de gestelde eisen voor de druksterkte (gemiddeld 10 N/mm<sup>2</sup>) en de buigtreksterkte (1 N/mm<sup>2</sup>) voldoet. Eveneens wordt bevestigd dat het fijnere open colloïdaal beton aanmerkelijk sterker is dan het grove type.

## HOOFDSTUK 6

### BEHEER EN ONDERHOUD

Een bekleding van open colloïdaal beton is uitermate onderhoudsarm. Hoewel hierover nog geen harde uitspraken kunnen worden gedaan, is de verwachting dat slijtage van het betonoppervlak in de golfaanvalzone beperkt kan optreden in de eerste jaren na aanleg. Het betreft dan voornamelijk het loswrikken van steentjes uit het oppervlak die onvoldoende raakvlakken hebben met de omliggende bekleding. Mede in verband met deze mogelijke slijtage wordt de constructie met enige overdikte aangebracht.

Afhankelijk van de gewenste landschappelijke inpassing van de constructie staat het de beheerder vrij begroeiing op de bekleding met grassen en kruidachtige gewassen te stimuleren of te beteugelen. De vorming van houtachtig gewas op de bekleding moet echter worden tegengegaan.

## HOOFDSTUK 7

### EVALUATIE

Het is nog te vroeg om een volledige evaluatie van het project Noordoostpolder uit te voeren. Immers, belangrijk onderdeel van de doelstelling van het project is het verkrijgen van informatie over het lange-termijngedrag van de bekleding.

Het is wel mogelijk reeds nu het project te evalueren voor wat betreft ontwerp en uitvoering.

#### *Ontwerp*

Gebleken is dat de in het kader van CUR-commissie C 58 ontwikkelde ontwerpmethode goed voldoet voor praktische situaties. Ook in het onderhavige geval, met een in dikte variërende laag grauwacke op de oude puinlaag, bleek het mogelijk met realistische schematisaties tot een acceptabel ontwerp te komen.

Anders dan bij de voorgaande proefprojecten in Breskens en Ochten bleek bij het project in de Noordoostpolder dat het gemaakte ontwerp gelijktijdig kritisch is voor zowel de mechanische belasting door onderhoudsverkeer als de hydraulische golfbelasting (bij Breskens was de golfbelasting bepalend; bij Ochten was de wielbelasting bepalend).

Als probleempunt van de ontwerpmethode moet worden genoemd dat de uitkomst sterk afhankelijk is van de waarden van de doorlatendheid van toplaag en onderlagen; deze waarden zijn variabel in de tijd en relatief slecht bekend.

#### *Uitvoering*

De eenvoudige wijze van uitvoering, met een geringe arbeidsinzet en met standaardbouw-materieel, is ook in de Noordoostpolder bevestigd. Speciale aandacht is besteed aan de afwerking van de dagnaden tussen twee opeenvolgende dagproducties. Met een speciale colloïdale penetratiemortel zijn deze voegen na verharding van het beton ingegoten. Naar verwachting wordt hiermee een afdoende oplossing verkregen voor het euvel van voegerosie dat bij het proefproject Breskens is opgetreden. Deze methode is in de praktijk goed uitvoerbaar, maar de duidelijk zichtbare voeg is een storend element in het fraaie, strakke uiterlijk van de bekleding (zie figuur 12).

Voor de eerste keer is bij het project Noordoostpolder het fijnere (4-16 mm) open colloïdaal beton toegepast. Bij de verwerking is gebleken dat dit zich op dezelfde eenvoudige wijze laat aanbrengen. Door de grotere sterkte van dit materiaal bestaat de indruk dat de afwerking van de dagvoegen, door penetratie, hier minder noodzakelijk is.



Fig. 12. Overzichtsfoto van de opgeleverde bekleding

### *Kosten*

Het relatief kleinschalige demonstratieproject dat is uitgevoerd, leent zich niet goed voor een kostenanalyse op basis van nacalculatie. Het is wel mogelijk op grond van waarnemingen en verwachtingen een kostenschatting op te stellen voor het aanbrengen van de bekleding voor een wat groter werk, waarbij inefficiëntieverliezen slechts een marginale invloed hebben.

Uitgangspunt is één verwerkingsploeg, bestaande uit 3 man (à f 60,-- per uur) en één hydraulische kraan (à f 75,-- per uur). De kosten per werkdag bedragen voor deze ploeg dus f 2.040,--. Bij een geschatte reële produktie van ca. 1000 m<sup>2</sup> per werkdag bedragen de kosten van het aanbrengen van het beton derhalve ca. f 2,-- per m<sup>2</sup>.

Bij een bekledingsdikte van 0,25 m bedragen de materiaalkosten voor het open colloïdaal beton ca. f 50,-- per m<sup>2</sup> (ca. f 200,-- per m<sup>3</sup>). De materiaalkosten zijn dus zeer dominant in de totale kosten van de bekleding van ca. f 52 per m<sup>2</sup>.

Deze eenheidsprijs omvat slechts het feitelijk aanbrengen van de bekleding en is exclusief alle voorbereidende werkzaamheden, afwerking, BTW, winst en overhead.

**"Open dag"**

In het kader van deze evaluatie moet nog worden genoemd dat op 20 juni 1991 een "open dag" voor het demonstratieproject is georganiseerd, die door meer dan 120 belangstellenden is bezocht. Op een uitzonderlijke, zonovergoten junimiddag heeft de Nederlandse waterbouwwereld zich kunnen overtuigen van de diverse voordelen van open colloïdaal beton als dijkbekleding. Deze gezamenlijke activiteit van alle betrokkenen mag dan ook als zeer geslaagd worden beoordeeld.

## LITERATUUR

1. CUR-rapport 90-1, Plaatbekleding van open colloïdaal beton. Proefproject Breskens; Gouda, 1990.
2. CUR-rapport 92-3, Plaatbekleding van open colloïdaal beton. Proefproject Waalbandijk, Ochten; Gouda, 1992.
3. Rijkswaterstaat, Dienst Binnenwateren, Rapport BWA-N-89107, 1989.
4. Rijke, W.G. de, Cementbetonnen plaatbekledingen op dijken. Ontwerpprocedure; Verslag bureaustudie in opdracht van CUR; Waterloopkundig Laboratorium, H1280, deel I, 1990.
5. Rijke, W.G. de, Cementbetonnen plaatbekledingen op dijken. Ontwerpprocedure; Verslag bureaustudie in opdracht van CUR; Waterloopkundig Laboratorium, H1280, deel II, 1990.
6. Ioanides, A.M., J. Donnelly, M.R. Thompson and E.J. Barenberg, Analysis of slabs-on-grade for a variety of loading and support conditions (Chapter 5), University of Illinois at Urbana-Champaign, Department of Civil Engineering, IL 61801, 1984.
7. Vereniging Nederlandse Cementindustrie, Handleiding Betonwegen, 1988.
8. CUR-rapport 156, Cementbetonnen plaatbekledingen op dijken en oevers; Gouda, 1992.

**BIJLAGE A**  
**ONTWERP VAN EEN PLAATBEKLEDING VAN OPEN COLLOÏDAAL BETON,**  
**WESTERMEERDIJK, NOORDOOSTPOLDER**

De berekeningen voor het ontwerp zijn uitgevoerd door de Dienst Weg- en Waterbouwkunde van de Rijkswaterstaat. Voor uitvoerige beschrijving van de toegepaste ontwerpmethodede wordt verwezen naar [5] en hoofdstuk 3 en bijlage A van [8]. Nadat in deze bijlage eerst berekeningen worden uitgevoerd volgens spoor 1, volgt een toetsing volgens spoor 2.

**Spoor 1**

*Randvoorwaarden*

- Hydraulische randvoorwaarden: significante golfhoogte  $H_s = 2,70$  m  
golfperiode  $T_p = 5,5$  s  
waterstand NAP + 1,90 m
- Toplaag:  
dikte (aansname)  $D = 0,25$  m, waarvan 0,20 m effectief en  
0,05 m overhoogte  
toplaagdoorlatendheid  $k' = 10$  mm/s  
(voor de veiligheid is deze zeer lage waarde aangehouden)
- Taludhelling:  $\tan \alpha = \frac{1}{4}$
- Filterconstructie:  
grauwacke (10-40)  $D_{f15} = 10$  mm  
 $n = 0,35$  (aansname) (zie tabel 3 in [8])  
 $k = 125$  mm/s (zie figuur 17 in [8])  
puin  $D_{f15} = 20$  mm  
 $k = 200$  mm/s

*Bepaling golfbelasting ter plaatse van de constructie*

- a.  $H_{\max} = 1,4 \cdot 2,7 = 3,78$  m
- b. diepte ten opzichte van NAP op  $\frac{1}{4} L_0$  van de teen, bij een vooroeverhelling van 1 : 5:  
 $L_0 = g \cdot T_p^2 / 2 \pi = 47,2$  m  
diepte =  $1/4 \cdot \tan \alpha \cdot L_0 = 0,2 \cdot 0,25 \cdot 9,8 \cdot 5,5^2 / 2 \pi = 2,30$  m  
waterstand t.o.v. NAP = 1,90 m  
totale waterdiepte = 4,20 m

De maximale golfhoogte die op deze waterdiepte kan voorkomen, wordt dan:

$$H_{\max} = 0,6 \cdot 4,20 = 2,50 \text{ m.}$$

Alle navolgende ontwerpberekeningen worden daarom uitgevoerd met een ontwerpgolfhoogte  $H = 2,5 \text{ m}$  en een periode  $T_p = 5,5 \text{ s}$ .

$$\xi_o = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{(H/L_o)}} = 1,09$$

Hieruit volgen enige proefbelastingparameters, namelijk:

$$\phi_b = 2,25 \text{ m, } \tan \beta = 0,85 \text{ en } d_s = 1,0 \text{ m (zie figuur 16 in [8]).}$$

#### *Leklengtecriterium*

Bij onderling overleg bleek dat de keileemkern van de dijk in de huidige situatie op doelmatige wijze wordt afgedekt met een laag gebitumineerde jute en twee vlijlagen, waarop geklopt puin aanwezig is. Besloten is om dit pakket niet volledig te vervangen door grauwzand, maar het zoveel mogelijk intact te laten als filterpakket onder het colloïdaal beton. De laagdikte is variabel, aan de teen kan een grotere laagdikte optreden. In het navolgende wordt de laagopbouw van het samengestelde filter nader bepaald. Bij een "niet dichtgeslibde toplaag op een open filter" geldt:

$$\Lambda_{\text{optr}} < \Lambda_{\text{or}} \text{ en } k_{\text{filter}} > 1 \text{ mm/s.}$$

In de volgende berekening wordt spoor 1 als toetsingscriterium gevolgd. Voor een verdere aanduiding van de te volgen sporen wordt verwezen naar bijlage A in [8].

$\Lambda_{\text{optr}}$  bij een samengesteld filter kan als volgt worden berekend:

$$\Lambda_{\text{optr}} = \sqrt{(k_1 b_1 + k_2 b_2) D/k'}$$

waarin:

$$k_1 = \text{doorlatendheid puinlaag} = 0,2 \text{ m/s (aanname)}$$

$$b_1 = \text{dikte puinlaag}$$

$$k_2 = \text{doorlatendheid granulair materiaal} = 0,125 \text{ m/s (bekend)}$$

$$b_2 = \text{dikte granulair materiaal}$$

$$D = \text{dikte toplaag} = 0,20 \text{ m (bekend)}$$

$$k' = \text{doorlatendheid toplaag} = 0,01 \text{ m/s (bekend)}$$



$$\Lambda_{cr} = \frac{2 \Delta D}{\text{tga}} = \frac{2 \cdot 0,8 \cdot 0,2}{0,25} = 1,30 \text{ m}$$

$\Delta$  = onder-water-gewicht beton (-)

$D$  = dikte toplaag (m)

$\alpha$  = taludhelling ten opzichte van horizontaal vlak (-)

Indien de dikte van de filterlaag kleiner is dan ongeveer 0,45 m kan worden volstaan met het bestaande filter van geklopt puin. Dit filter kan met grauwacke (10-40 mm) worden ingestrooid om grote holle ruimten te voorkomen. Bij deze laagdikte geldt:

$$\Lambda_{opt} \leq \sqrt{0,2 \cdot 0,45 \cdot 0,17/0,01} = 1,33 \text{ m}$$

De doorlatendheid van de puinlaag is daarbij aangehouden op 0,2 m/s. Indien de aan te leggen filterlaag een grotere noodzakelijke laagdikte heeft, hetgeen kan voorkomen aan de teen, dient de laag als volgt te worden opgebouwd:

<u>laagdikte</u>	<u>puin</u>	<u>grauwacke (10-40 mm)</u>
0,45 m	0,45 m	0 m
0,50 m	0,45 m	0,05 m
0,55 m	0,36 m*	0,19 m
0,60 m	0,28 m*	0,32 m
0,65 m	0,20 m*	0,45 m
0,70 m	0,12 m*	0,58 m
0,75 m	0,03 m*	0,72 m
0,77 m	0 m*	0,77 m

\* in dit geval moet dus een deel van het puin worden verwijderd

Bij deze aannamen (een waterdoorlatendheid van 0,01 m/s in de "doorlatende" toplaag) is een filter met een grotere laagdikte dan 0,75 m van grauwacke (10-40 mm) niet toelaatbaar. Deze situatie zal echter in de praktijk niet voorkomen.

Controle van de waarde van  $\Lambda$  (met behulp van formule (5) in [8])

$$\frac{H \xi_0^2}{28 \sqrt{\operatorname{tg} \alpha \cdot \sin \alpha}} = \frac{2,5 \cdot 1,09^2}{28 \sqrt{0,25 \cdot 0,245}} = 0,42 < 1,28$$

Er wordt aan het criterium voldaan.

*Berekening van de belastinglengte en de maximale opwaartse kracht op de toplaag*

Bepaling  $L_{\max}$  met behulp van figuur 21 in [8] en  $S_{\max}$  met behulp van figuur 22 in [8],  
uitgaande van:

$$\phi_b = 2,25$$

$$\operatorname{tg} \beta = 0,85$$

$$\operatorname{tg} \alpha = 0,25$$

$$\Lambda = 1,25$$

$$\Delta D = 0,8 \cdot 0,2 = 0,16$$

$$L_{\max} = 2,60 \text{ m} \quad S_{\max} = 0,53 \text{ m}$$

Als reductiefactor ten gevolge van krimpstreken wordt aangehouden: 1,0.

*Bepaling  $\sigma_{b \max}$  en  $\tau_{b \max}$*

Met behulp van formule (6) en (7) in [8] en uitgaande van:

$$L_{\max} = 2,6 \text{ m}$$

$$S_{\max} = 0,53 \text{ m}$$

$$D = 0,2 \text{ m}$$

$$\rho = 1.000 \text{ kg/m}^3$$

volgt:

$$\sigma_{b \max} = 0,4 \text{ MPa} \quad \tau_{b \max} = 0,02 \text{ MPa}$$

Aangehouden wordt dat de toelaatbare buigtrekspanning ( $\hat{\sigma}_b$ ) niet meer mag bedragen dan 50% van de maximale breukspanning van het beton. Als ondergrens voor de maximale breukspanning is aangehouden 0,75 MPa. Dus:

$$\hat{\sigma}_b = 0,5 \cdot \sigma_b = 0,5 \cdot 0,75 = \text{ca. } 0,4 \text{ MPa}$$

$$\hat{\tau}_b = 0,1 \cdot \hat{\sigma}_b = 0,0375 > > 0,02 \rightarrow \text{voldoet}$$

N.B. Achteraf is uit proefnemingen gebleken dat  $\hat{\sigma}_b$  groter was dan eerder is aangenomen; hierdoor wordt nog royaler aan de criteria voldaan.

#### *Controleberekening voor een dichte toplaag op een open filterconstructie*

Er wordt uitgegaan van  $D = 0,25$  m.

Deze situatie komt in de praktijk niet voor of wordt althans zeer onwaarschijnlijk geacht. Door het voortdurend golven op dezelfde hoogte op het talud wordt niet slechts de toplaag, maar steeds ook het filter gevuld. De mogelijkheid bestaat dat simultaan de dikte van de toplaag door slijtage wat afneemt. Indien deze slijtage aanmerkelijk is, moet de stabiliteit van de toplaag opnieuw worden getoetst aan de dan geldende waarden voor de doorlatendheid van toplaag en filtermateriaal.

Om er inzicht in te krijgen tot hoever in theorie de stabiliteit in het meest ongunstige geval verminderd zou worden, is toch een berekening uitgevoerd. Voor het filtermateriaal is uitgegaan van grauwacke 10-40 mm (in dit geval het ongunstigste).

De waterstand daalt 1,00 m binnen 10 uur, dus  $v_i = 0,03$  mm/s (aanname)

$$\Lambda = \sqrt{k \cdot b_2 \cdot D/k'}$$

$$k = 0,125 \text{ m/s}$$

$$b_2 = 0,35 \text{ m}$$

$$D = 0,25 \text{ m}$$

$$k' = 0,0001 \text{ m/s}$$

$$\Lambda = \sqrt{0,125 \cdot 0,35 \cdot 0,25/0,0001} = 10,45 \text{ m}$$

$$\Lambda_{or} = \frac{2 \Delta D}{\tan \alpha}$$

$$\Delta = 0,8 \text{ (-)}$$

$$D = 0,25 \text{ (m)}$$

$$\tan \alpha = 0,25 \text{ (-)}$$

$$\Lambda_{or} = \frac{2 \cdot 0,8 \cdot 0,25}{0,25} = 1,6 \text{ m} < 10,45 \text{ m}$$

$$k_{filter} > 1 \text{ mm/s}$$

## Spoor 2

### Waterstandsrandvoorwaarde

Controleer of:

$$\frac{n \cdot v_i}{(k_{filter} \sin^2 \alpha)} < 1$$

$$n_{filter} = 0,35$$

$$v_i = 0,03 \text{ mm/s}$$

$$k_{filter} = 125 \text{ mm/s}$$

$$\text{tg } \alpha \approx \sin \alpha = 0,25$$

$$\frac{0,35 \cdot 0,03}{125 \cdot 0,25^2} = 0,013 < 1$$

Aan deze voorwaarde wordt dus ruimschoots voldaan.

Uit figuur A4 in [8] volgt:  $h_v = 0,02 \text{ m}$ .

### Belastinglengte en opwaartse kracht op de toplaag

Uitgaande van:

$$h_v = 0,02 \text{ m}$$

$$\text{tg } \alpha = 0,25$$

$$\Lambda = 10,45 \text{ m}$$

$$\Delta D = 0,8 \cdot 0,25 = 0,20 \text{ m}$$

volgt:

$$L_{\max} = S_{\max} = 0 \text{ (zie figuur A5 en A6 in [8])}$$

Dit betekent dat er geen waterspanningen onder de toplaag optreden ten gevolge van een snel dalende waterstand.

#### *Berekening op golfrandvoorwaarde*

Met behulp van onderstaande waarden voor  $d_s$ ,  $\text{tg } \beta$ ,  $\text{tg } \alpha$  en  $\Delta D$  kan met behulp van figuur A2 en A3 in [8]  $L_{\max}$  en  $S_{\max}$  worden berekend:

$$d_s = 1,00 \text{ m (zie figuur 16 in [8])}$$

$$\text{tg } \beta = 0,85 \quad \text{(zie figuur 16 in [8])}$$

$$\text{tg } \alpha = 0,25$$

$$\Delta D = 0,20 \text{ m}$$

$$L_{\max} = 2,6 \text{ m}$$

$$S_{\max} = 0,75 \text{ m}$$

$$L_s/L_{\max} = 1 \text{ (aannname)}$$

Hieruit volgt: reductiefactor = 1

#### *Berekening van de maximale buigtrek- en schuifspanning*

Uitgaande van:

$$L_{\max} = 2,6$$

$$S_{\max} = 0,75$$

$$D = 0,25$$

$$\sigma_{b \max} = 0,4 \text{ MPa (zie formule (6) in [8])}$$

$$\tau_{\max} = 0,02 \text{ MPa (zie formule (7) in [8])}$$

Indien de toplaag geheel zou dichtslibben, terwijl daarbij het filter geheel niet dichtslibt, kan de stabiliteit van de toplaag niet in alle omstandigheden worden gegarandeerd. Deze theoretische situatie wordt echter niet reëel geacht.

#### *Eindconclusie*

Een laagdikte open colloïdaal beton van 0,25 m (waarvan 0,20 m effectief) op 0,35 m filter (10-40 mm) voldoet; hetzelfde geldt voor een constructie met een puinonderlaag (de specificaties voor de laagdikte van een filter, opgebouwd uit puin en grauwacke zijn in deze bijlage weergegeven) of voor een geringere filterlaagdikte.