

29 JUN 2000

Rijkswaterstaat, Projectbureau Zeeweringen
 T.a.v. dhr. Y. Provoost
 Postbus 114
 4460 AC GOES

Onderwerp
 Toezenden rapporten

| | ACTIE | INFO |
|---------------------------------------|-------|------|
| PROJECTBUREAU ZEEWERINGEN | | X |
| PROJECTLEIDER | | X |
| SECRETARISSE | | |
| PROJECTSECRETARIS | | X |
| BEDEWERKER FINANCIËN | | X |
| BEDEWERKER KWALITEIT <i>bijl.</i> | | X |
| TEAMLEIDER ONTWERP <i>bijl.</i> | | X |
| HOOFD UITVOERING | | |
| COÖRDINATOR / BESTESCHRIJVER | | |
| <i>Piet H bijl.</i> | | X |
| <i>Jep W bijl.</i> | | X |
| | | |
| <i>+ bijl.</i> | | |
| <i>kan</i> ARCHIEF <i>RDT-B-00163</i> | | X |
| CIRCULATIE MAP | | |

Postbus 69
 2600 AB Delft
 Stieltjesweg 2
 2628 CK Delft
 Telefoon (015) 269 35 00
 Telefax (015) 261 08 21
 info@geodelft.nl
 www.geodelft.nl

Datum
 2000-06-28
 Uw kenmerk
 bonnr. 359038
 Ons kenmerk
 CO-388710/59

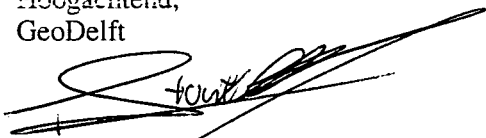
Doorkiesnummer
 015 269 38 16
 E-mail
 std@geodelft.nl

Geachte heer Provoost,

Hierbij zenden wij u 5 exemplaren van het eindrapport 'Geavanceerde toetsing van de Waarde- en Westveerpolder'.

Wij vertrouwen er op u hiermee van dienst te zijn geweest.

Hoogachtend,
 GeoDelft

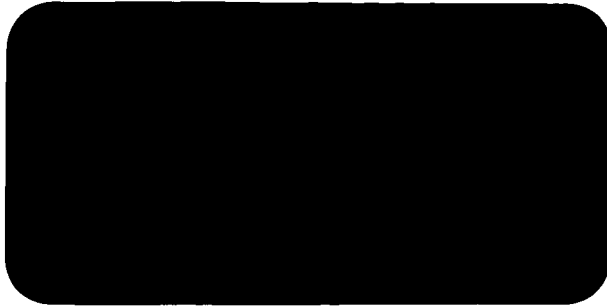


Ir. T. P. Stoutjesdijk
 Senior adviseur



004844 2000 PZDT-B-00163 ken

Bors:Toezenden rapporten Geavanceerde toetsing van



**Geavanceerde toetsing van de Waarde- en
Westveerpolder**

CO-388710/59 1

juni 2000

Geavanceerde toetsing van de Waarde- en
Westveerpolder

juni 2000

Opgesteld in opdracht van:
Rijkswaterstaat, Projectbureau Zeeweringen
Postbus 114
2600GA 4460 AC Goes

AFDELING Grondconstructies
Projectleider : ir. O.A. van Logchem
Projectbegeleider: ir. M. Klein Breteler (WL)

GeoDelft
Stieltjesweg 2, 2628 CK DELFT
Postbus 69, 2600 AB DELFT

Telefoon (015) 269 35 00
Telefax (015) 261 08 21
Postbank 234342
Bank MeesPierson NV

| | | | | | |
|---|---------------|--|---------|---------------------|---|
| rapportnr: CO-388710/59 | | datum rapport: juni 2000 | | | |
| titel en subtitel: Geavanceerde toetsing van de Waarde- en Westveerpolder | | behandelende afdeling: Grondconstructies | | | |
| | | projectnaam: Geavanceerd toetsen steenzettingen Waarde- en Westveerpolder | | | |
| projectleider(s): ir. O.A. van Logchem | | projectbegeleider(s): ir. M. Klein Breteler (WL) | | | |
| naam en adres opdrachtgever: Rijkswaterstaat, Projectbureau Zeeweringen Postbus 114 2600GA 4460 AC Goes | | referentie opdrachtgever: Bon 359038 | | | |
| | | verzenden in: 5 -voud | | | |
| | | type rapport: eindrapport | | | |
| <p>samenvatting rapport:</p> <p>Een aantal bekledingen op de dijk langs de Waarde- en Westveerpolder zijn geavanceerd getoetst. Deze geavanceerde toetsing heeft in eerste instantie bestaan uit het bestuderen van de aanwezige gegevens, het brengen van een locatiebezoek en het op basis hiervan bezien of een eindoordeel mogelijk is (fase 1 van de geavanceerde toetsing). Voor een deel van de getoetste bekledingen bleek dit inderdaad het geval.</p> <p>Een tweetal bekledingen van met asfalt gepenetreerd basalt bleek nog niet van een eindscore te voorzien. Op deze twee vakken zijn in januari 2000 in totaal 4 getijmetingen uitgevoerd en geanalyseerd (fase 2b van de geavanceerde toetsing). Interpretatie en extrapolatie van de metingen hebben voor deze bekledingen tot een eindoordeel geleid.</p> <p>In dit eindrapport (fase 3a van de geavanceerde toetsing) worden de bevindingen en resultaten van de fase 1 en 2b gepresenteerd en worden de eindscores van de bekledingen in dit dijkvak samengevat.</p> | | | | | |
| opmerkingen: | | | | | |
| trefwoorden: steenzetting, geavanceerd toetsen | | verspreiding: Rijkswaterstaat | | | |
| opgeslagen op: onder titel: 388710.59 | | | | aantal blz.: 44 | |
| versie: | datum: | opgesteld door: | paraaf: | Gecontroleerd door: | paraaf: |
| 1 | februari 2000 | Log | | Std | |
| 2 | mei 2000 | Log/Std | | MKB (WL) |  |
| | | | | | |
| | | | | | |

INHOUDSOPGAVE

| | | |
|---|--|----|
| 1 | Inleiding | 1 |
| 2 | Gegevens van de constructie en fase 1 van de geavanceerde toetsing | 3 |
| | 2.1 Algemene beschrijving op basis van ter beschikking staande gegevens | 3 |
| | 2.2 Locatiebezoek | 4 |
| | 2.2.1 Vilvoordse steenzetting, overlaagd met stortsteen, gepenetreerd met asfalt, bekledingnummers 14806, 14807 en 16103 | 5 |
| | 2.2.2 Met beton gepenetreerde Vilvoordse steen, bekledingen 15501 en 15503 | 6 |
| | 2.2.3 Met gietasfalt ingegoten basalt, bekledingen 16203, 16206 en 16501 | 6 |
| | 2.2.4 Met beton ingegoten basalt, bekledingen 17299, 18014 en 18020 | 8 |
| | 2.3 Voorlopige conclusies | 9 |
| | 2.3.1 Vilvoordse steenzetting, overlaagd met stortsteen, gepenetreerd met asfalt, bekledingnummers 14806, 14807 en 16103 | 9 |
| | 2.3.2 Met beton gepenetreerde Vilvoordse steen, bekleding 15501 en 15503 | 10 |
| | 2.3.3 Met gietasfalt ingegoten basalt, bekledingen 16203, 16206 en 16501 | 11 |
| | 2.3.4 Met beton ingegoten basalt, bekleding 17299,2, tot aan ca km 17,5 | 13 |
| | 2.3.5 Met asfalt overgoten basalt, bekleding 17299,1, vanaf ca km 17,5 | 13 |
| | 2.3.6 Bekledingen 18014 en 18020 | 13 |
| | 2.4 Samenvatting conclusies | 14 |
| 3 | Uitvoering en resultaten van de getijmetingen | 15 |
| | 3.1 Inleiding | 15 |
| | 3.2 Uitvoering van de getijmetingen | 16 |
| | 3.3 Meetresultaten en verwerking | 17 |
| | 3.4 Interpretatie van de meting | 18 |
| | 3.4.1 Bekledingsvak 16203 en 16501 Dp 25+15m en Dp 29+35m | 18 |
| | 3.4.2 Bekledingsvak 17299 Dp 37+25m en Dp 39+00m | 22 |
| 4 | Narekenen van de metingen | 25 |
| | 4.1 Beschrijving Steenzet getij versie | 25 |
| | 4.2 Werkwijze bij het narekenen van de meting | 25 |
| | 4.3 Resultaat van de parameterschatting | 27 |
| 5 | Voorspelling van gedrag onder maatgevende condities | 29 |
| | 5.1 Randvoorwaarden voor de berekening | 29 |
| | 5.2 Resultaten | 30 |
| | 5.3 Nadere beschouwing bekleding bij Dp25+15 m | 32 |
| 6 | Conclusies en aanbevelingen..... | 35 |

1 Inleiding

In november 1999 is in opdracht van Rijkswaterstaat, Projectbureau Zeeweringen, fase 1 van de geavanceerde toetsing van de bekledingen op de dijk van de Waarde- en Westveerpolder langs de Westerschelde uitgevoerd door GeoDelft in samenwerking met WL Delft Hydraulics. Deze fase 1 van de geavanceerde toetsing heeft bestaan uit:

- het bestuderen van de door Rijkswaterstaat en de beheerder ter beschikking gestelde stukken
- het ten behoeve van het locatiebezoek aangeven of, en zo ja waar, er gaten in de bekleding gemaakt dienen te worden
- het uitvoeren van een locatiebezoek
- het opstellen van een notitie met de bevindingen en de voorlopige conclusies
- het bespreken van deze conclusies met het Projectbureau Zeeweringen, de Dienst Weg- en Waterbouwkunde, en de beheerder, het Waterschap de Zeeuwse Eilanden.

De uitslag van fase 1 van de geavanceerde toetsing was dat er aan de hand van de ter beschikking staande gegevens een aantal bekledingen van een definitieve score konden worden voorzien, maar tevens dat voor een tweetal vakken van met asfalt gepenetreerde basalt geen definitieve uitspraak over de stabiliteit van de constructie mogelijk was. In overleg met de betrokken partijen is besloten om in deze twee vakken getijmetingen uit te voeren. Dit wordt fase 2b van de geavanceerde toetsing genoemd.

Fase 2b heeft bestaan uit:

- het uitvoeren van een viertal getijmetingen (januari 2000)
- het narekenen van de resultaten van de getijmetingen om zo goed mogelijk de fysische eigenschappen, met name de doorlatendheden van top laag en filterlaag, te bepalen
- het maken van een berekening van de optredende maximale belasting op de bekleding onder maatgevende omstandigheden op basis van de fysische eigenschappen zoals die bij het narekenen van de metingen zijn bepaald
- het bepalen van de stabiliteit van de bekleding onder maatgevende omstandigheden
- concept rapportage met de conclusies (CO-388710/39, februari 2000)
- bespreken van de resultaten en de conclusies.

De concept-rapportage van Fase 2b is voorzien van commentaar. Vervolgens is opdracht verleend voor fase 3a van de geavanceerde toetsing: de eindrapportage. In de eindrapportage worden de uitgevoerde activiteiten in één rapport weergegeven, en worden van alle getoetste bekledingen de eindscores samengevat.

In dit eindrapport wordt ingegaan op de betreffende bekledingen en de resultaten van fase 1 van de geavanceerde toetsing (Hoofdstuk 2), de getijmetingen en de resultaten van de metingen (Hoofdstuk 3), de resultaten van het narekenen van de metingen (Hoofdstuk 4) en de resultaten van de

berekeningen bij maatgevende omstandigheden (Hoofdstuk 5). In hoofdstuk 6 worden de conclusies gegeven.

2 Gegevens van de constructie en fase 1 van de geavanceerde toetsing

2.1 Algemene beschrijving op basis van ter beschikking staande gegevens

De Waarde- en Westveerpolder ligt ten oosten van het veer Kruiningen-Perkpolder, bij het dorpje Waarde (zie bijlage 1). Het dijkvak heeft een lengte van circa 3,5 km. Binnen dit vak zijn maar liefst circa 80 bekledingen aanwezig die globaal en gedetailleerd zijn getoetst (zie bijlage 2). Hierbij is een belangrijk deel 'onvoldoende' bevonden en een heel klein gedeelte krijgt de score 'goed'. De overige bekledingen worden doorverwezen naar de geavanceerde toetsing. De resultaten na de globale en de gedetailleerde toetsing zijn weergegeven in de onderste figuur in bijlage 2.

In overleg met Rijkswaterstaat, DWW en PBZ, en de beheerder, is besloten deze bekledingen te clusteren tot er vier gedeeltes overblijven voor de geavanceerde toetsing:

- een overlaging van een Vilvoordse steenzetting met een laag met asfalt gepenetreerde stortsteen tussen km 14,9 en 15,3, bekledingnummers 14806 en 14807, en een klein gedeelte van dit type bekleding tussen km 16,1 en 16,3, bekledingnummer 16103
- een met beton ingegoten Vilvoordse steenzetting tussen km 15,5 en 15,8, bekledingnummers 15501 en 15503
- gezette basalt ingegoten met gietasfalt tussen km 16,3 en 17,3, bekledingnummers 16203, 16206 en 16501
- gezette basalt ingegoten met colloïdaal beton of cementbeton, tussen km 17,3 en 18,4, bekledingnummers 17299, 18014 en 18020.

Bekledingnummers 14903, 15201, 15502, 15808, 16102, 16205, 16805, 17203, 17204, 17405, 17602, 17701, 18001, 18013, 18101 en 18202 worden niet onderzocht. Dit zijn kleine oppervlaktes die niet onder één van de genoemde vier geclusterde bekledingen vallen. Deze bekledingen zullen worden gerenoveerd.

De taludhelling van de dijk beneden de buitenberm ligt tussen 1 : 3,2 en 1 : 4,5. Uit de door het waterschap aangeleverde toetsingtabellen zijn de volgende relevante kenmerken gehaald:

| Bekleding | MW [m+NAP] | H _s [m] | T _p [sec] | H/ΔD [-] | ξ [-] | F [-] | g/t [-] | t/o [-] |
|-----------|---------------|-----------------------|-------------------------|-------------|----------|----------|------------|------------|
| 14806 | 3,00 | 1,55 | 5,2 | 20,4 | 1,4 | 25,5 | - | - |
| 15501 | 4,14 | 1,62 | 5,62 | 4,7 | 1,34 | 5,7 | 0,49 | 1,29 |
| 16103 | 2,19 | 1,16 | 5,3 | n.b | 1,50 | n.b | n.b | n.b |
| 16203 | 4,52 | 2,25 | 5,9 | 4,9 | 1,51 | 6,5 | 0,34 | 1,12 |
| 16501 | 2,89 | 2,03 | 5,52 | 4,8 | 1,32 | 5,8 | 0,48 | 1,27 |
| 17299 | 3,89 | 2,08 | 6,17 | 4,6 | 1,68 | 6,4 | 0,53 | 1,01 |
| 18014 | 3,49 | 1,90 | 6,07 | 3,5 | 1,37 | 4,3 | 0,64 | 1,71 |
| 18020 | 1,97 | 1,69 | 5,69 | 3,1 | 1,20 | 3,5 | 0,28 | 2,14 |

Tabel 2.1 Overzicht gegevens globale toetsing

In de tabel is:

- MW de voor de betreffende bekleding maatgevende waterstand
- H_s significante golfhoogte
- T_p piekperiode
- ξ_{op} brekerparameter
- Δ relatief onderwatergewicht van de toplaag
- D de dikte van de toplaag
- F factor die gedefinieerd is volgens:

$$F = \frac{H_s}{\Delta D} \xi^2$$

De factoren 'g/t' en 't/o' geven aan of de bekleding in de globale toetsing dicht bij een goede score of dicht bij een onvoldoende score zit. Als één van deze twee verhoudingen precies 1 is dan is precies de grens tussen goed en twijfelachtig, of tussen twijfelachtig en onvoldoende bereikt. Naarmate het verhoudingsgetal meer van 1 afwijkt, zit de bekleding verder van die grens af.

Bij de in de tabel vermelde gegevens moet wel worden bedacht dat het overlaagde en gepenetreerde zettingen betreft, zodat de golfbelasting niet per definitie maatgevend is. Het kan ook zijn dat de bekleding bestand is tegen golfbelasting, maar door statische overdrukken bezwijkt.

2.2 Locatiebezoek

Op 19 mei 1999 is een locatiebezoek afgelegd. Vertegenwoordigd waren Rijkswaterstaat, Waterschap de Zeeuwse Eilanden, GeoDelft en WL Delft Hydraulics. Onderstaand worden de bevindingen weergegeven:

2.2.1 Vilvoordse steenzetting, overlaagd met stortsteen, gepenetreerd met asfalt, bekledingnummers 14806, 14807 en 16103

Foto 1 geeft een overzicht van de locatie. Ter plaatse bleek het lastig om gaten in deze bekleding te maken, zeker ook om onder de Vilvoordse steen naar het filter te kunnen kijken. Vooraf waren drie gaten in de toplaag gepland om de aard van de onderlagen te kunnen vaststellen. Het maken van het eerste gat (foto 2) bij km 15,0 (dp 9) kostte veel tijd. Hierna is bewust naar een zwakkere plek gezocht. Deze werd gevonden op een plek waar een steen uit de gepenetreerde bestorting was losgeslagen. De stenen hieromheen bleken makkelijk los te laten. Er zijn dus in totaal twee gaten gerealiseerd.

De stortsteenlaag bestaat uit Grauwacke die vol en zat is gepenetreerd met gietasfalt (zie foto 3). De stenen hebben een diameter van ongeveer 15 - 25 cm. Op de locatie ligt het voorland vrij hoog, op circa NAP + 0,75 m. Onder het voorland moet volgens de gegevens de oorspronkelijke steenzetting van Vilvoordse steen doorlopen (bekleding 14807). Deze is echter niet, zoals de gegevens vermelden, overlaagd. Dit is foutief overgenomen. Omdat de bekleding geheel onder het voorland ligt, en wordt beschermd door een kreukelberm, zodat het voorland niet wegslaat, hoeft deze niet te worden getoetst.

Op het voorland is een stortsteen berm aangebracht, hierboven ligt de overlaagde glooiing. De overlaging eindigt op ongeveer NAP + 2 m met een plat gedeelte van circa 0,5 meter breed, waarmee aangesloten wordt op de hierboven gelegen bekleding (zie foto 4). Het totale oppervlak van de overlaging is hiermee beperkt tot ongeveer 2400 m².

Bekledingnummer 16103 ligt een stuk verder, bij km 16,1 tot 16,3. De hoogteligging van de bekleding is variabel.

Bij de aanleg van de overlaging in 1992 is de Vilvoordse steen oppervlakkig schoongespoten. Er is echter geen sprake van een goede hechting. Er is hooguit in de bovenste paar centimeter gietasfalt in de voegen tussen de stenen gelopen. Bij het uitbreken blijkt ook dat, als de stortsteen en het gietasfalt worden verwijderd, de ronde Vilvoordse steen als laag herkenbaar wordt. De gepenetreerde laag kan als een aparte laag van de Vilvoordse steen 'gepeld' worden. Van één samenhangende toplaag van overlaging met Vilvoordse steen lijkt dan ook geen sprake te zijn.

Bij het eerste gat blijkt de totale dikte van overlaging, Vilvoordse steen en filter/vlijlagen ongeveer 60 cm. Hierbij is 10 à 15 cm filter plus vlijlagen, en circa 25 cm dikte van de Vilvoordse steen. Dit zou suggereren dat de overlaging op deze plaats wat dikker is dan de aangenomen 17 cm gemiddelde dikte. Dit is mogelijk, omdat de penetratie in twee slagen is aangebracht: eerst de onderste strook, daarna de bovenste strook. Bovenaan zal de laagdikte mogelijk iets groter zijn.

Bij het tweede gat is de laagdikte van de overlaging inderdaad iets dunner, ongeveer 10 cm. Dit gat is op ca 1,5 m (langs het talud gemeten) onder de overgangsconstructie gemaakt. Gezien de staat van de verwerkte hoeveelheden van stortsteen en gietasfalt, en de maat van de in één laag gebruikte stenen, lijkt een gemiddelde maat voor de dikte van de overlaging van 17 cm nog steeds realistisch.

De bekleding en de aansluiting op de erboven gelegen bekleding zijn waarschijnlijk waterdicht.

Het filter onder de Vilvoordse steen is ondoorlatend: er is water in het gat gezet, maar dit zakt niet waarneembaar. Onder het filter zitten vlijlagen en natte klei.

2.2.2 Met beton gepenetreerde Vilvoordse steen, bekledingen 15501 en 15503

Op deze locatie blijkt dat het bovenste deel van de Vilvoordse steen is gepenetreerd met beton, maar het onderste deel niet, zie ook foto 5 voor een overzicht van de locatie. Verder ligt het voorland ook hier hoog, zodat het waarschijnlijk is dat bekleding 15503 geheel onder dit voorland ligt. Met dit gegeven zou de totale oppervlakte aan daadwerkelijk gepenetreerde Vilvoordse steen ongeveer de helft van de oppervlakte van bekledingnummer 15501 bedragen, ofwel zo'n 800 m².

In het gepenetreerde deel is de beton op plaatsen weggeslagen (zie foto 6), maar de bekleding is dan nog wel ondoorlatend: er staat op veel plaatsen water tussen de spleten van de stenen. Het onderste deel is begroeid met blaaswier, en zal vermoedelijk evenmin erg waterdoorlatend zijn. In dit onderste deel zit ook een gedeelte dat het resultaat lijkt van reparatie na schade (zie foto 7). Het lijkt daarom onwaarschijnlijk dat het onderste gedeelte alsnog goedgekeurd kan worden.

In dit gedeelte is één gat in de toplaag gemaakt (foto 8), in plaats van twee, zoals vooraf gepland. De lokatie van dit gat ligt ongeveer op 2 m (langs het talud gemeten) onder de overgangsconstructie bij km 15,7 (dp 16,3). De toplaag is hier ongeveer 25 centimeter dik. De penetratie is oppervlakkig, de beton is tot ongeveer 5 cm tussen de stenen doorgedrongen. De hechting tussen de betonpenetratie en de Vilvoordse steen is slecht. Nadat het eerste gat is gemaakt kunnen de volgende stenen eenvoudig met een stootijzer worden losgewerkt.

Zowel het filter als de toplaag zijn volledig dichtgeslibd. Als er water in het gat wordt gezet zakt dit nauwelijks weg.

2.2.3 Met gietasfalt ingegoten basalt, bekledingen 16203, 16206 en 16501

Bij km 16,3 (dp 22,2) bevindt zich een bocht. Hier begint dit vak. Juist in deze bocht heeft de beheerder sterke twijfels over de conditie van de bekleding. Het talud oogt zeker niet strak, er zijn kuilen en verzakkingen die mogelijk duiden op problemen met ongelijkmatige zakking of grondmechanische stabiliteit (zie foto 9). De onderkant van het talud staat erg steil, en de blokken zijn sterk gekanteld. Ter plaatse bevindt zich een uitlaat van de waterzuivering. Het is niet duidelijk of deze problemen hiermee te maken kunnen hebben, bijvoorbeeld vanwege doorgraving van de dijk. Helemaal boven aan de bekleding is een circa 5 meter brede strook waar de penetratie niet meer overal aanwezig is (foto 10 en 11). Hier blijkt onder de zuilen holle ruimte aanwezig te zijn. De toplaagdikte is geschat door in de openingen tussen de zuilen te meten: basaltsoortering 20 - 30 cm. Net rond de bocht is een wat vreemd plateau'tje in het talud aanwezig (zie foto 12). Misschien heeft hier iets van een paal gestaan. Verder is een trapglooiing aangebracht.

Tevens ontbreekt er lokaal een zuil, waarna het gat is gevuld met gietasfalt. Dit duidt wellicht op een opgetreden schade.

Al met al maakt het gedeelte in de bocht een weinig betrouwbare indruk.

De rest van het vak ligt op een recht stuk (zie foto 13). Op het oog is de conditie hier beter: het talud oogt strak. Hier en daar zijn er echter enkele m² die niet overgoten zijn (zie bijvoorbeeld foto 14, 17 en 18).

Bekleding 16501 is een proefvak. De basalt is hier op een vlakke ondergrond gezet, waardoor aan de bovenkant hoogteverschillen ontstaan (zie foto 16). Het oppervlak oogt daarom hobbelig, maar dat is op zich niet alarmerend. In dit gedeelte is een gat gemaakt. Het blijkt dat, hoewel het talud hier al uren droog moet hebben gestaan, het gat zich vult met water uit de dijk (foto 15).

Dit vak is nieuw gezet en daarna ingegoten. De ingieting is tot op de onderlagen doorgedrongen. De laagdikte is gemiddeld 25 cm.

Boven het proefvak bevindt zich ingegoten basalt die volgens het gebruikelijke principe op vlijlagen is gezet en is uitgevuld met een puinlaagje. Ook hier is een gat in de bekleding gemaakt. Zowel de toplaag als het filter zijn ingezand en slecht doorlatend. De gemiddelde dikte van de basaltzuilen is 27 cm. De basalt is overgoten zonder dat de stenen zijn herzet. De penetratie is niet volledig, maar tot ongeveer 5 centimeter vanaf de bovenkant van de steen doorgedrongen.

Verder westelijk in het vak zitten laag in de bekleding natte plekken. Kennelijk is de overgoten basalt niet overal waterdicht en treedt hier nog water uit, ondanks het feit dat de getijwaterstand al geruime tijd laag is.

Er is ook geconstateerd dat hier en daar de overgieting is weggespoeld.

Bij km 16,9 is ook een gat gemaakt, namelijk op ca 2 m (langs het talud gemeten) onder de overgangsconstructie. Op ca 1,5 m (langs het talud gemeten) onder de overgangsconstructie is er een palenrij te zien.

Hier blijkt de bekleding wel tot onderin te zijn ingegoten. De laagdikte van de basalt is hier kleiner, ongeveer 20 centimeter gemiddeld, met minimum waarden van 16 cm. De basalt staat op een dun, ingezand puinfilter met dikte van ca 10 cm. Hieronder zitten vlijlagen, waarop verrassend een polypropyleen filterdoek is aangetroffen. Er is water in het gat gezet. Dit zakt met een snelheid van 4 cm per minuut weg.

Ook laag op het talud is een gat in de bekleding gemaakt. De zuildikte bleek gemiddeld 23 centimeter. De asfalt is tot op de filterlaag doorgedrongen. Het filter is dichtgeslibd. Nadat er water in het gat is gezet blijkt dat dit nauwelijks zakt.

Op dit gedeelte zijn 3 perkoenrijen in lengterichting aanwezig. Dit kan duiden op verschillende bekledingen. Aan het eind van het vak zijn er geen perkoenrijen meer. De scheiding ligt globaal bij km 17,1 (dp 30).

Bij dp 30 (km 17,1) is een verzakking in de overgoten bekleding aanwezig (op ca 3 à 4 m langs het talud gemeten onder de overgangsconstructie). Dit lijkt op een gedeelte dat tijdens of na een storm is hersteld en daarna overgoten (foto 17). In dit gedeelte van de bekleding zitten meer van dit soort plekken. De algemene indruk van de kwaliteit van dit gedeelte is slechter dan van het eerdere gedeelte. Gedeelten van de overgieting ontbreken. Dit gedeelte is ook eerder overgoten dan ingegoten.

Vooraf waren in dit gedeelte 10 gaten voorzien. Het bleek praktisch niet haalbaar alle gaten op één dag te realiseren. Dit is wel nadelig ten aanzien van het beeld dat gevormd kan worden.

2.2.4 Met beton ingegoten basalt, bekledingen 17299, 18014 en 18020

In de bocht bij km 17,3 (dp 32,5) begint het met beton ingegoten gedeelte van de basaltzetting. Het eerste gedeelte, voor de bocht bij km 17,5 oogt niet overtuigend. Het lijkt alsof een gedeelte, dat al niet meer in al te goede conditie was, is overgoten met beton. Plaatselijk is de beton weggeslagen (foto 19 en 20). De kwaliteit van de stenen is matig, er is veel zonnebrand te zien (foto 21). De zuilen aan de onderzijde van het talud zijn gekanteld. Gezien de geringe afmetingen van de stenen, zoals aan de bovenzijde is te zien, is de sortering eerder 20/30 cm dan 30/40 cm. Ter plaatse van een stuk bekleding met open voegen kan de dikte gemeten worden (op 8 à 9 m langs het talud gemeten onder de overgangsconstructie). De zuilhoogte is hier gemiddeld 24 cm.

In dit gedeelte is een gat in de bekleding gemaakt (foto 22). De zuildikte is ongeveer 20 centimeter. Er is een dunne zuil (19 cm) die lijkt te zweven boven de filterlaag. De bekleding is nauwelijks ingewassen.

Het filter van puin oogt vrij open met $D_{15} \approx 15$ à 20 mm. De dikte is ongeveer 5 cm op 3 vlijlagen. Het water dat in gat is gezet loopt binnen enkele seconden weg.

Dichterbij de bocht bij km 17,5 is de penetratie beter blijven zitten, maar de sortering van de zuilen lijkt nog steeds klein (foto 23).

Voorbij de bocht bij km 17,5 (dp 34) blijkt dat de basalt niet met beton maar met asfalt is gepenetreerd (zie foto 24). De penetratie is hier wel vrij goed blijven zitten. Op het oog is ook hier sprake van een kleinere sortering basalt, aan het oppervlak zitten veel zuilen met een kleine oppervlakte. De basalt oogt aan het oppervlak vrij onregelmatig, er kan sprake zijn van een overlaging van een bestaande zetting. Volgens de beheerder is de basalt niet herzet voordat de penetratie heeft plaatsgevonden. Aan de teen van het talud zit een strook Vilvoordse steen met erg steil talud (km 17,5 tot km 17,6).

Ook in dit gedeelte is een gat gemaakt, namelijk nabij km 17,6 (tussen dp 35 en 36), op ca 1,5 m (langs het talud gemeten) onder de overgangsconstructie. De zuildikte is ongeveer 21 centimeter. De penetratie blijkt wel tot onderin te zijn doorgedrongen, en is zelfs tot onder de basalt doorgedrongen (foto 25). Het filter is ingezand.

Hier en daar zitten open (niet gepenetreerde) plekken in de zetting, zowel onder aan het talud (foto 26) als bovenaan. Ook zitten er veelvuldig (krimp-)scheurtjes tussen de basalt en het gietasfalt.

Op het talud bevindt zich enkele natte plekken tussen km 17,8 en 18,0 (dp 38 tot dp 40), waar kennelijk nog water uitstroomt. Hier en daar is het oppervlak wat verzakt.

Ook voor dit gedeelte geldt dat het gaten maken om praktische redenen tot een minimum is beperkt.

2.3 Voorlopige conclusies

2.3.1 Vilvoordse steenzetting, overlaagd met stortsteen, gepenetreerd met asfalt, bekledingnummers 14806, 14807 en 16103

De overlaging kan worden beschouwd als een asfaltbekleding op een starre ondergrond. Dit betekent dat de benodigde laagdikte ten aanzien van golfklappen vrijwel zeker minder is dan de aanwezige 17 cm gemiddelde dikte (zie Leidraad toetsen op veiligheid, figuur 3.2.2.5 van Katern 8).

Omdat de bekleding waterondoorlatend is, en het toetspeil ver boven de bovenkant van de bekleding uitstijgt, kan niet worden uitgesloten dat onder de bekleding statische wateroverdruk ontstaat. Als eerste benadering hiervoor kan gebruikt worden:

$$\phi_{\max} = \frac{1}{4}(z_{\text{boven}} - z_{\text{onder}})$$

waarin ϕ_{\max} het maximaal optredende stijghoogteverschil is, het niveau van de bovenzijde van de bekleding en z_{onder} het niveau van de onderzijde van de bekleding. Met $z_{\text{boven}} = 2,2$ m en $z_{\text{onder}} = 0,8$ m (bekledingnummer 14806) wordt hiermee een maximaal stijghoogteverschil van 0,35 m berekend. Als tegenwerkende kracht geldt het gewicht van de overlaging. De constructie is stabiel als:

$$\phi_{\max} \leq \Delta D \cos \alpha$$

waarin Δ het relatieve onderwatergewicht van de overlaging is (gerekend is met een uit asfalt (35 % maal 2000 kg/m^3) en stortsteen (60 % maal 2600 kg/m^3) samengestelde soortelijke massa van 2300 kg/m^3 , dan is deze waarde 1,3), D de dikte van de overlaging en α de taludhelling. De benodigde dikte van de overlaging is 28 cm. Dit is bijna twee maal zo veel als de aanwezige dikte.

Op basis het optredende belastingdiagram kan berekend worden dat een strook van ongeveer 2 m breedte opgelicht dreigt te worden. De optredende buigtrekspanning in de strook blijkt in de orde van grootte van 0,1 MPa te komen, terwijl bij een lage belastingsnelheid slechts orde 0,03 MPa toelaatbaar is. De plaatwerking van de ingegoten breuksteen levert derhalve een onvoldoende bijdrage. De bekleding voldoet dus niet.

Hier kan nog bij aangetekend worden dat de benadering aan de ene kant conservatief is, omdat er gerekend wordt met een grondwaterstand die tot aan de bovenzijde van de overlaging komt, terwijl er op datzelfde moment het waterpeil zo ongunstig mogelijk staat, namelijk halverwege de onder- en bovenkant van de dichte bekleding. Aan de andere kant gaat de benadering uit van een open constructie aan de onderzijde van de bekleding, zodat het water hier makkelijk uit kan treden. Of die aanname klopt bij deze constructie is de vraag. Als de overgang aan de onderzijde beperkt doorlatend is dan kan de optredende maximale belasting hoger uitvallen dan hier berekend.

De conclusie is dat de overlaging niet stabiel verklaard kan worden met betrekking tot statische overdrukken. Er zal een keuze gemaakt moeten worden tussen:

- verbeteren van de constructie, bijvoorbeeld door de aanwezige laagdikte aan te vullen met een gepenetreerde stortsteenlaag tot de vereiste dikte
- de bekleding vervangen vanaf een niveau van NAP+1,5 m.
- aantonen dat de statische overdrukken beperkt blijven. Op voorhand kan worden ingeschat dat dit geen eenvoudige opgave is. Een standaard getijmeting is niet eenvoudig uit te voeren op deze constructie, waarna de resultaten vertaald moeten worden naar maatgevende omstandigheden. Kijken naar eerder opgetreden hoge waterstanden levert naar verwachting mogelijk enige winst op, maar nooit voldoende om de constructie goed te kunnen keuren. De duur en hoogte van de hoogwaters sinds de aanleg zijn moeilijk vergelijkbaar met de omstandigheden tijdens de superstorm.

Door de beheerder is aangegeven dat dit type bekleding veel vaker voorkomt, en dat het zeker zinvol is om, zo niet voor deze specifieke locatie dan op een andere plaats, nader onderzoek (getijmeting) te gaan doen. Besloten is dit voor deze bekleding niet te doen, omdat het een beperkte oppervlakte betreft en omdat er al een zwakke plek in de bekleding is gevonden.

Bekledingnummer 14807 bevindt zich geheel onder het voorland en de kreukelberm en kan daar gewoon blijven zitten.

Bekledingnummer 16103 heeft een variabele hoogteligging. Met betrekking tot de statische overdrukken is de bekleding stabiel als het hoogteverschil ($Z_{\text{boven}} - Z_{\text{onder}}$) niet groter is dan 0,85 m. Dit is alleen over de eerste honderd meter het geval. Dit oppervlak is echter heel klein. Voor het overige deel gelden dezelfde conclusies als voor bekleding 14806.

2.3.2 Met beton gepenetreerde Vilvoordse steen, bekleding 15501 en 15503

Geconstateerd is dat in dit vak een oppervlakkige penetratie aanwezig is, waarbij de penetratie ook nog deels is weggeslagen. Aan de onderzijde van de bekleding is geen penetratie aangetroffen. Bovendien is de hechting tussen de betonpenetratie en de Vilvoordse steen slecht.

Als wordt aangenomen dat de bekleding op de zwakste plek zal bezwijken, dan lijkt het het beste om de bekleding als niet gepenetreerd te beschouwen. De bekleding blijft dan twijfelachtig volgens de gedetailleerde toetsing. De niet gepenetreerde Vilvoordse steen is waarschijnlijk onvoldoende omdat:

- De belasting in verhouding tot de sterkte is erg groot: $F = H_s / \Delta D \cdot \xi_{op}^{2/3} = 5,8$.
- De ervaring met Vilvoordse steen in de praktijk en in de Deltagoot is niet gunstig. Reeds bij een relatief kleine belasting wrikken de stenen los en treedt bezwijken op. In de Deltagoot bezweek de constructie al bij $F \approx 3$.

Het feit dat er waarschijnlijk al schade in het verleden is opgetreden (vandaar dat de bekleding is gepenetreerd) geeft ook sterk te denken.

Voor de gedeelten waar de betonpenetratie wel goed is blijven zitten is de bekleding niet overal echt waterdicht. Daar waar dat over een groot oppervlak wel het geval is, moet de stabiliteit bij statische overdrukken voldoende zijn. De toelaatbare statische overdruk is $\Delta D \cos \alpha \approx 0,35$. De optredende maximale statische overdruk is $(z_{boven} - z_{onder})/4 \approx 0,30$ als de bekleding aan de onderrand voldoende doorlatend is. Dit betekent dat de dichte stukken niet beschadigd raken door statische overdruk.

De slecht gepenetreerde stukken kunnen opgevat worden als een steenzetting met erg lage toplaaagdoorlatendheid. Het filter is ook slecht doorlatend vanwege de inslibbing. Of een dergelijke bekleding instabiel wordt bij zware golfaanval is op basis van de beschikbare gegevens moeilijk te zeggen. Overwogen kan worden of nadere studie wenselijk is, of dat renovatie, gezien de beperkte oppervlakte van circa 800 m² meer voor de hand ligt.

Na overleg is besloten deze bekleding 'onvoldoende' te verklaren.

Bekleding 15503 bevindt zich geheel onder het voorland en er is een kreukelberm aanwezig waardoor het voorland niet weg kan spoelen. Dit gedeelte onder het voorland kan gewoon blijven zitten.

2.3.3 Met gietasfalt ingegoten basalt, bekledingen 16203, 16206 en 16501

In de bocht aan het begin van het vak, bij km 16,3, is bij de visuele inspectie grote twijfel ontstaan ten aanzien van de toestand van dit vak. Het eerste gedeelte tot aan km 16,4 wordt daarom 'onvoldoende' beoordeeld. Dit zijn bekledingen 16206 en een klein deel van bekleding 16203.

Het verdere vak bevindt zich op een recht stuk. Het proefvak (bekleding 16501) is volledig ingegoten en heeft een laagdikte van ongeveer 25 cm. Weliswaar is deze bekleding niet over de gehele hoogte van het dwarsprofiel aanwezig, maar omdat boven het proefvak een vak zit met 'gewone' ingegoten basalt moeten deze twee bekledingen als 1 geheel worden beschouwd bij het bepalen van statische overdrukken.

Bekleding 16203 is veel minder eenduidig. Zowel volledig ingegoten als overgoten basalt komt voor, waarbij de gemiddelde laagdikte voor drie verschillende gaten varieert van 20 cm, 23 cm en 27 cm.

Omdat de bekleding over een grote hoogte aanwezig is (globaal van NAP – 0,25 m tot NAP + 3,25 m) zijn statische overdrukken een groot probleem. Het feit dat uren nadat het getij op het talud heeft gestaan nog natte plekken op de bekleding voorkomen, duidt er op dat zich in de filterlaag een hoge waterstand heeft opgebouwd, die kennelijk niet snel meezakt met een dalend getij. Er zijn echter nog nooit problemen met de bekleding geweest.

Vooralsnog wordt de overgoten bekleding getoetst op zowel golfbelasting als statische overdruk. Voor de golfbelasting geldt dat een dikte van de zuilen van 0,2 m direct tot een onvoldoende score leidt. Een dikte van 27 cm is twijfelachtig. De grens hiertussen ligt bij 22 cm dikte.

De bekleding is overal over een dusdanige hoogte aanwezig dat ten aanzien van het ontstaan van statische overdrukken de score twijfelachtig wordt verkregen.

Door de beheerder is na het veldbezoek onderzocht of er systematiek zit in de aangetroffen laagdiktes en mate van penetratie, en of dit van bovenaf herkenbaar is. Dit blijkt niet het geval.

De conclusie is dat zonder verder onderzoek dit vak in zijn geheel moet worden afgekeurd, wellicht met uitzondering van het proefvak (bekleding 16501):

- er kunnen gedeelten voorkomen waar de asfalt slechts oppervlakkig aanwezig is, en waar de laagdikte beperkt is. Deze worden getoetst aan het mechanisme golfbelasting en scoren dan onvoldoende
- ook als er aangetoond kan worden dat de bekleding in een gedeelte wel goed is ingegoten, dan kan theoretisch een zo grote overdruk optreden dat de bekleding bezwijkt onder de statische overdruk.

Gezien de grote oppervlakte is het zinvol om hier toch vervolgonderzoek te doen. Het dijkvak renoveren kost enkele miljoenen gulden. Hierop kan worden bespaard als:

- door een getijmeting wordt aangetoond dat de doorlatendheden zo laag zijn dat de freatische lijn in het filter, ook onder maatgevende omstandigheden, niet hoger komt dan een bepaald niveau. Boven dat niveau hoeft dan niet te worden gerenoveerd. Er wordt dan bijvoorbeeld een overlaging tot halverwege de bekleding mogelijk in plaats van het geheel vervangen van de bekleding.
- wellicht is een mogelijkheid om een deel van de bekleding te vervangen door een meer open constructie. Hierdoor blijven de overdrukken onder de ingegoten bekleding kleiner. Van het gedeelte dat eventueel kan blijven liggen moet op vrij korte afstand worden gecontroleerd of het ingieten voldoet. Om dit te kunnen dimensioneren is een getijmeting nuttig om inzicht in de te verwachten overdrukken te krijgen.

In het bekledingsvak 16203 is een kleine oppervlakte petit graniet (nummer 16805) aanwezig. Deze is onvoldoende, en zal, als de ingegoten basalt wordt goedgekeurd, moeten worden vervangen door ingegoten basalt.

In overleg is besloten om een tweetal getijmetingen op dit vak uit te voeren. Gegeven de lengte/oppervlakte van de bekleding (circa 800 meter lang, oppervlakte ongeveer 7.000 à 8000 m²) is deze inspanning gerechtvaardigd.

2.3.4 Met beton ingegoten basalt, bekleding 17299,2, tot aan ca km 17,5

De constructie is op het oog niet erg overtuigend. Als de stukken waar de betonpenetratie is weggeslagen als normale constructie worden beschouwd, dan volgt uit een globale toetsing met de aangetroffen gemiddelde laagdikte van 0,20 m dat de zetting 'onvoldoende' is ($F \approx 8,6$).

Omdat de constructie over een grotere hoogte aanwezig is, geldt voor het gedeelte waar de penetratie wel is blijven zitten dat vooralsnog niet aan de eis ten aanzien van statische overdruk wordt voldaan.

Besloten is om dit vak af te keuren.

2.3.5 Met asfalt overgoten basalt, bekleding 17299,1, vanaf ca km 17,5

Op deze locatie is in eerste instantie slechts 1 gat gemaakt. Dit beperkte het beeld. In overleg is besloten een aantal gaten extra te maken. Dit is gedaan door het waterschap en besproken in de memo A. Beaufort d.d. 8 september 1999.

Er zijn 5 extra gaten gemaakt. Hieruit komt naar voren dat de glooiing als volledig gepenetreerd mag worden beschouwd. De gemiddelde topplagdikte is 25,4 cm. De twijfelachtige plekken op het talud zijn (als de overige stukken worden goedgekeurd) herstelbaar.

Met deze wetenschap is besloten op deze bekleding twee getijmetingen uit te voeren. Er is een redelijke oppervlakte aanwezig die mogelijk gehandhaafd kan blijven. Uit een vergelijking van de verwachte maximale stijghoogte met de laagdikte en het gewicht van de gepenetreerde basaltlaag blijkt dat deze ongeveer gelijk kunnen zijn. Het is dus zinvol hier door middel van metingen beter inzicht in te krijgen.

2.3.6 Bekledingen 18014 en 18020

Deze bekledingen zijn bij het locatiebezoek niet meegenomen: er zijn hier ook geen gaten gemaakt. Achteraf is door het waterschap bekeken of deze vakken zijn gepenetreerd. Bekleding 18014 is eerst met beton ingegoten naar aanleiding van schade. Hierna is de bekleding preventief overgoten met

asfalt. Het hoogteverschil tussen de onderzijde en de bovenzijde van de bekleding bedraagt maximaal 1,6 meter. Dit is teveel om met het oog op statische overdrukken tot goedkeuring te komen. De combinatie van ingieten met beton en overgieten met asfalt wekt evenmin het vertrouwen van een goede constructie. Aanbevolen wordt de constructie af te keuren.

Bekleding 18020 is niet ingegoten. Volgens de STEENTOETS-tabellen is de score twijfelachtig. Gezien de lage F-waarde van dit vak ($F=3,49$) kan de score 'goed' worden gegeven als de verdere onderhoudstoestand goed is.

2.4 Samenvatting conclusies

In tabel 2.2 worden de conclusies gerecapituleerd:

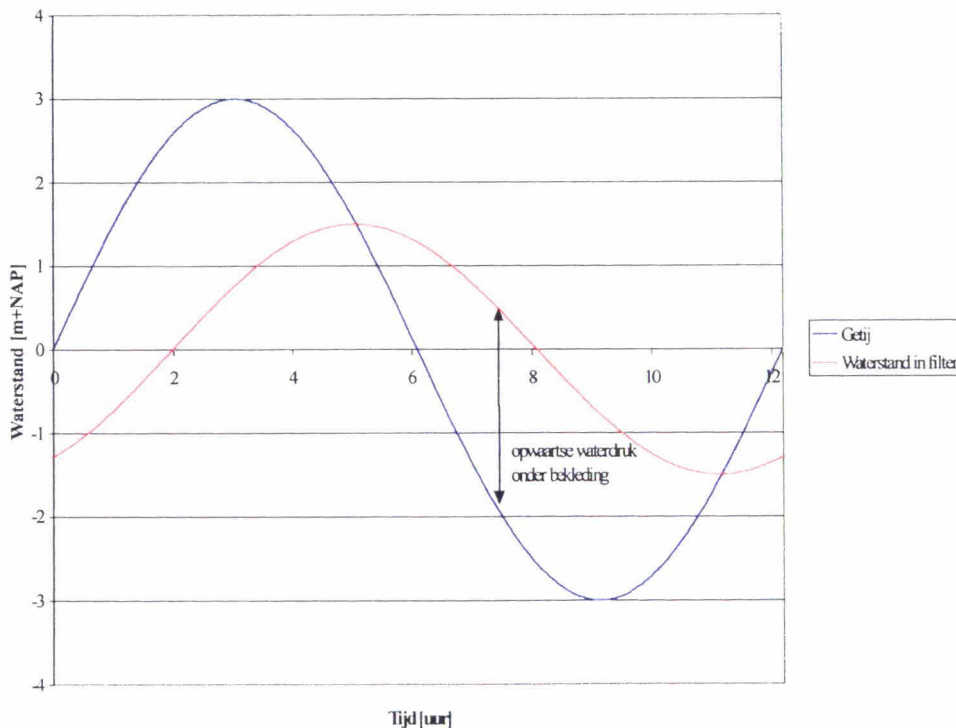
| Bekleding nummer | Type | Conclusie |
|------------------|----------------------------|---|
| 14806 | Overlaagde Vilvoordse | Onvoldoende (beperkte oppervlakte en slechte plek) |
| 14807 | Overlaagde Vilvoordse | Goed (onder voorland) |
| 16103 | Overlaagde Vilvoordse | Onvoldoende |
| 15501 | Vilvoordse met beton | Onvoldoende |
| 15503 | Vilvoordse met beton | Goed (onder voorland) |
| 16203 | Basalt met gietasfalt | Tot km 16,4 onvoldoende. Overige deel: getijmetingen. |
| 16206 | Basalt met gietasfalt | Onvoldoende |
| 16501 | Basalt met gietasfalt | Afhankelijk van resultaten getijmeting 16203 |
| 17299,2 | Basalt met beton | Onvoldoende |
| 17299,1 | Basalt met gietasfalt | Getijmetingen |
| 18014 | Basalt met beton en asfalt | Onvoldoende |
| 18020 | Basalt | Goed |

Tabel 2.2 Conclusies na fase 1 van de geavanceerde toetsing

3 Uitvoering en resultaten van de getijmetingen

3.1 Inleiding

Het principe van de getijmeting is als volgt. Aan de buitenzijde van de bekleding wordt een waterspanningsmeter aangebracht die het verloop van de getijwaterstand registreert. Onder de bekleding worden eveneens een aantal waterspanningsmeters in de filterlaag geplaatst die simultaan de waterstand in de filterlaag meten. Als er sprake is van een open (goed waterdoorlatende) constructie, dan zijn getijwaterstand en waterstand in het filter vrijwel gelijk. Bij dichte (slecht waterdoorlatende) constructies ontstaan verschillen tussen de getijwaterstand en de waterstand in het filter. Bij opkomend tij kan de waterstand in het filter niet even snel stijgen, bij afgaand tij blijft er geruime tijd een waterstand in het filter aanwezig die hoger is dan de getijwaterstand (zie figuur 3.1). Dit laatste kan gevaarlijk zijn: er ontwikkelt zich een waterdruk onder de bekleding die er in extreme gevallen voor zou kunnen zorgen dat de bekleding omhoog wordt gedrukt en van de dijk afschuift. De bekleding faalt en het filter en de kern van de dijk blijven onverdedigd achter. Dit bezwijkmechanisme wordt ‘bezwijken door statische verschilddrukken’ genoemd.



Figuur 3.1 Voorbeeld: de waterstand in het filter reageert vertraagd en gedempt op het getij

Met de getijmeting kan worden bepaald hoe groot de opwaartse verschilddrukken voor een specifieke bekleding gedurende één specifiek (spring)tij worden. Dit zegt echter nog niet wat de opwaartse statische verschilddruk bij maatgevende omstandigheden zal zijn. Om hier iets van te kunnen zeggen

wordt de meting nagerekend. Het gemeten getij wordt als randvoorwaarde opgelegd, en berekend wordt bij welke doorlatendheid van het filter en de toplaag de gemeten waterstand in het filter het beste overeenkomt met de berekende waterstand in het filter. Het resultaat hiervan is dat er een goede schatting van de doorlatendheden gemaakt kan worden.

Met die schatting van de doorlatendheden kan vervolgens een berekening worden uitgevoerd waarbij een maatgevende hydraulische randvoorwaarde wordt opgelegd. Uit de berekening volgt dan een voorspelling van de grootte van de opwaartse verschuldruk die zich op kan bouwen onder de bekleding bij maatgevende omstandigheden.

De bekleding moet bij de opwaartse verschuldruk bij maatgevende omstandigheden stabiel zijn wil de score 'goed' kunnen worden toegekend.

3.2 Uitvoering van de getijmetingen

De getijmetingen zijn uitgevoerd in twee bekledingsvakken. Beide bekledingen bestaan uit basalt die is ingegoten met gietasfalt. Per vak zijn op twee plaatsen getijmetingen uitgevoerd, één met een op het oog goede ingieting en één waar op het oog het ingieten met asfalt minder is. Het idee hierachter is dat hiermee een indruk van de mogelijke variatie in eigenschappen binnen een bekledingsvak kan worden verkregen.

De locaties waar de getijmetingen zijn uitgevoerd zijn aangegeven in tabel 3.1. De taludhelling van de bekleding varieert tussen 1:3,5 en 1:4.

| Bekledingsvak 16203 en 16501 tussen km 16,4 en km 17,25 | |
|---|--------------------------|
| Meting ter hoogte van dijkpaal: | Meting ter hoogte van km |
| Dp25+15m | 16,6 |
| Dp29+35 | 17 |
| Bekledingsvak 17299 tussen km 17,5 en km 18,1 | |
| Meting ter hoogte van dijkpaal: | Meting ter hoogte van km |
| Dp37+25m | 17,8 |
| Dp39+0 | 18 |

Tabel 3.1 Plaats waar de getijmetingen zijn uitgevoerd

De metingen zijn uitgevoerd gedurende één springtij, gegevens over waterstanden en tijdstip van de metingen zijn te vinden in tabel 3.2.

| Locatie | Datum (2000) | Hoogwater | Laagwater |
|------------|---------------|------------|-------------|
| Dp 25+15 m | 6/1 tot 7/1 | 2,51 m+NAP | -1,93 m+NAP |
| Dp 29+35 m | 7/1 tot 8/1 | 2,60 m+NAP | -1,96 m+NAP |
| Dp 37+25 m | 10/1 tot 11/1 | 2,63 m+NAP | -1,92 m+NAP |
| Dp 39+00 m | 11/1 tot 12/1 | 2,58 m+NAP | -1,88 m+NAP |

Tabel 3.2 Bron: Getijtafels Nederland (RIKZ), getij ter plaatse van Hansweert

Een getijmeting wordt uitgevoerd met 7 drukopnemers in het filter en één drukopnemer op het voorland voor het meten van het getij. Foto 27 en foto 28 geven een goede indruk van de meetopstelling. Foto 27 geeft de opstelling in bekledingsvak 16203/16501. Op het voorland ligt één drukopnemer. Laag op het talud bevinden zich Doornikse blokken. Hier is één drukopnemer onder de toplaag aangebracht. Boven de Doornikse steen zit de strook gepenetreerde basalt die wordt getoetst. Hierin zijn 6 drukopnemers in het filter aangebracht.

Foto 28 geeft een zelfde beeld voor bekledingsvak 17299. Laag op het talud bevindt zich een bekleding van Vilvoordse steen. Hier is één drukopnemer geplaatst. In de strook gepenetreerde basalt hierboven zitten opnieuw 6 drukopnemers.

In tabel zijn 3.3 de hoogtes van de verschillende waterspanningsmeters weergegeven, in m ten opzichte van NAP. Waterspanningsmeter 1 bevindt zich aan de teen van het talud en registreert het getij. Meters 2 tot en met 8 zitten onder de toplaag.

| Meter | Dp25+15 | Dp29+35 | Dp37+25 | Dp39+00 |
|---|---------|---------|---------|---------|
| 1 (voorland) | -1.31 | -1.10 | -0.38 | -0.24 |
| 2 (Doornikse/Vilvoordse) | -1.03 | -0.98 | -0.09 | -0.33 |
| 3 (basalt) | -0.25 | -0.21 | 0.81 | 0.15 |
| 4 (basalt) | 0.05 | 0.09 | 0.95 | 0.33 |
| 5 (basalt) | 0.29 | 0.45 | 1.21 | 0.58 |
| 6 (basalt) | 0.78 | 0.76 | 1.43 | 0.76 |
| 7 (basalt) | 0.98 | 1.02 | 1.68 | 0.99 |
| 8 (basalt) | 1.23 | 1.36 | 1.98 | 1.35 |
| hoogte overgang basalt/vilvoordse of basalt/doornikse | 0,01 | -0,1 | 0,9 | 0,35 |

Tabel 3.3 Hoogte van de waterspanningsmeters

3.3 Meetresultaten en verwerking

Het resultaat van de meting is een meetbestand dat is gevuld met meetwaarden in Volts. Deze waarden worden omgerekend naar waterdrukken in meters waterkolom volgens de formule:

$$\text{Data[mBar]} = \left[\frac{(\text{ruw meetgetal [V]} * 1000) [\text{mV}]}{100} - \text{nulpunt[mV]} \right] * \text{reciproke gevoeligheid}$$

$$\text{Data [m waterkolom]} = \frac{\text{data [mBar]}}{98,07}$$

De factoren 100 in de eerste formule is alleen nodig omdat het meetsignaal met een factor 100 wordt versterkt. Het nulpunt en de reciproke gevoeligheid zijn ijkfactoren die in het laboratorium voor iedere waterspanningsmeter worden bepaald.

Zowel voor als na de meting zijn alle waterspanningsmeters geijkt. Uit de resultaten blijkt dat er slechts een minimaal verloop heeft plaatsgevonden. De omrekening van milliVolt naar meters waterkolom heeft plaatsgevonden op basis van het gemiddelde van beide ijkingen. Deze gemiddelde waarden zijn opgenomen in tabel 3.4.

| Waterspanningsmeter | nulpunt [mV] | reciproke gevoeligheid [-] |
|---------------------|--------------|----------------------------|
| wsm 1 (getij) | 0,56249 | 6,99796 |
| wsm 2 | -0,44942 | 7,02366 |
| wsm 3 | 0,39104 | 6,98638 |
| wsm 4 | 0,45656 | 6,97766 |
| wsm 5 | 1,10225 | 6,97695 |
| wsm 6 | 0,27053 | 7,2617 |
| wsm 7 | 0,04418 | 6,97965 |
| wsm 8 | 0,57389 | 7,00139 |

Tabel 3.4 Ijkfactoren van de waterspanningsmeters

Om een beeld te krijgen van wat de metingen voorstellen worden de gemeten drukken in meters waterkolom vervolgens omgerekend naar stijghoogtes, volgens het principe:

$$\text{Stijghoogte} = \text{plaatshoogte} + \text{drukhoogte}$$

De plaatshoogte van iedere waterspanningsmeter is gegeven in tabel 3.1. De drukhoogte is de waterdruk in meters waterkolom.

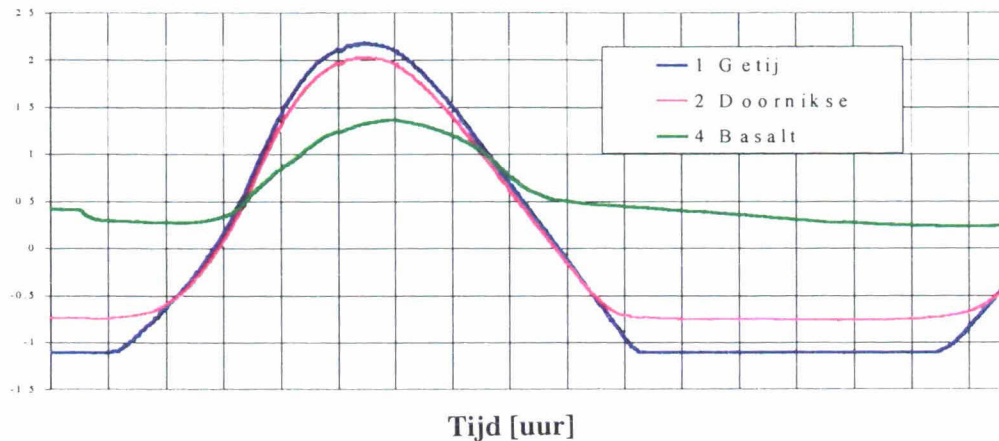
De resultaten van de meting zijn nu toegankelijk voor interpretatie. In bijlagen 3 tot en met 6 zijn de meetresultaten voor de 4 meetlocaties weergegeven in stijghoogtes ten opzichte van NAP. In de bijlagen valt op dat waterspanningsmeter 3 (Chan3) steeds, en dat geldt voor alle 4 meetlocaties, een stijghoogteverloop geeft dat afwijkt van de verwachting. Bij de dalende tak van het getij zou verwacht worden dat er één moment optreedt waarop alle stijghoogten gelijk zijn. Waterspanningsmeter 3 geeft op dat moment steeds een te lage waarde. Dit is mogelijk een fout in de ijking, maar omdat de waterspanningsmeter voor en na de meting geijkt is, en daar weinig verloop in zit, is dat niet waarschijnlijk. Een fout in het opmeten van de positie van de waterspanningsmeter op het talud is evenmin waarschijnlijk, omdat dezelfde fout optreedt bij alle 4 meetlocaties.

3.4 Interpretatie van de meting

3.4.1 Bekledingsvak 16203 en 16501 Dp 25+15m en Dp 29+35m

In figuur 3.1 staan het getij, het verloop van de stijghoogte in de Doornikse steen en het verloop van de stijghoogte onder de basalt weergegeven, zoals gemeten bij Dp29+35.

Stijghoogte [m+NAP]



Figuur 3.1: vergelijking van gemeten stijghoogte in basalt en in doornikse steen

In de figuur is te zien hoe het stijghoogte verloop in het filter onder de Doornikse steen vrij goed het getij volgt, zowel in opgaande als in neergaande richting. Dit betekent dat de kans op overdrukken ten gevolge van getij, in deze bekleding relatief klein is. Opvallend is dat de stijghoogte in de filterlaag al begint op te lopen voordat het getij het niveau van de betreffende opnemer is bereikt. Dit kan verklaard worden doordat er kennelijk op dat moment nog steeds water uit het filter naar het voorland afstroomt. Op het moment dat de buitenwaterstand het niveau van het voorland heeft bereikt, dan wordt deze afvoer verhinderd.

Het stijghoogteverloop onder de basalt is iets anders: ten gevolge van een slecht doorlatende toplaag en filter wordt de variatie in stijghoogte onder deze bekleding slechts in beperkte mate beïnvloed door het getij. Bij een getijdaling blijft de stijghoogte in het filter achter, dit heeft te maken met een langzame afname van de waterstand in het filter. Hierdoor zullen overdrukken onder de basaltbekleding optreden.

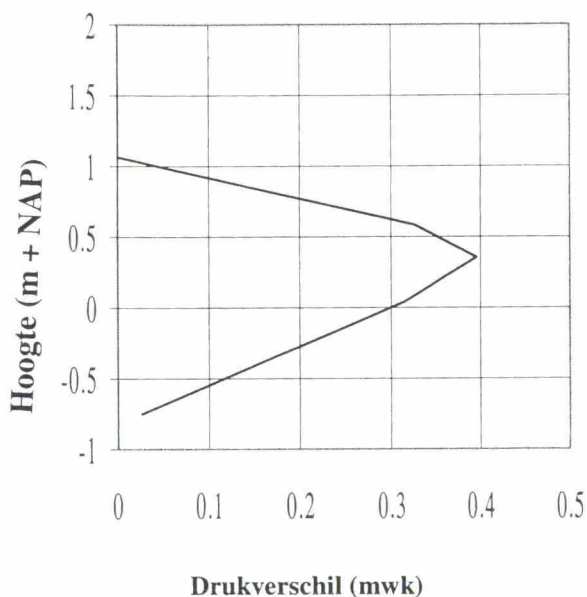
Ook hier begint de stijghoogte in het filter onder de basalt op te lopen voordat de buitenwaterstand het niveau van de betreffende meter heeft bereikt. Het moment waarop dit begint lijkt samen te vallen met het moment waarop de buitenwaterstand de overgang tussen de Doornikse steen en de basalt heeft bereikt.

Het drukverschil over de bekleding wordt bepaald door het verschil te nemen tussen de waterdruk aan de buitenkant van de bekleding en de gemeten waterdruk in het filter. De waterdruk aan de buitenkant van de bekleding wordt bepaald door het getij en is hydrostatisch. Het maximum gemeten drukverschil in één punt ligt om en nabij 0,4mwk bij Dp 29+35 en om en nabij 0,45mwk bij Dp 25+15.

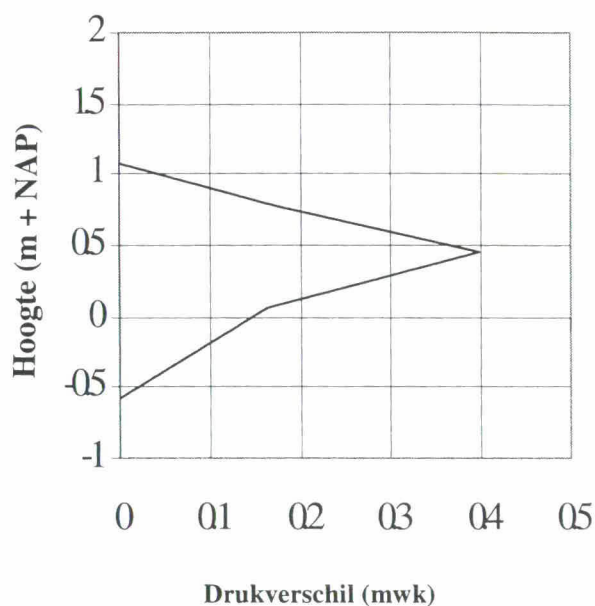
Het maximum drukverschil in één punt is niet gelijk aan de maximale belasting op de toplaag. Door de drukverschillen van de verschillende waterspanningsmeters per tijdstip te sommeren, kan een maximale totale belasting op de bekleding worden gevonden. Deze maximum belasting treedt op als de som van de opwaartse drukverschillen over de hoogte maximaal is. Hieruit volgt een tijdstip met

een maximale opwaartse belasting over de toplaag. Dit tijdstip hoeft niet hetzelfde te zijn als het tijdstip waarop in één punt het drukverschil maximaal is.

Het gemeten drukverschil over de toplaag, op het moment van maximale belasting is grafisch gepresenteerd in figuren 3.2 en 3.3 voor de meetlocaties Dp29+35 en Dp 25+15. De grafieken geven het drukverschil als functie van de hoogte op de bekleding.



Figuur 3.2: drukverschil over toplaag Dp2515



Figuur 3.3: drukverschil over toplaag Dp2935

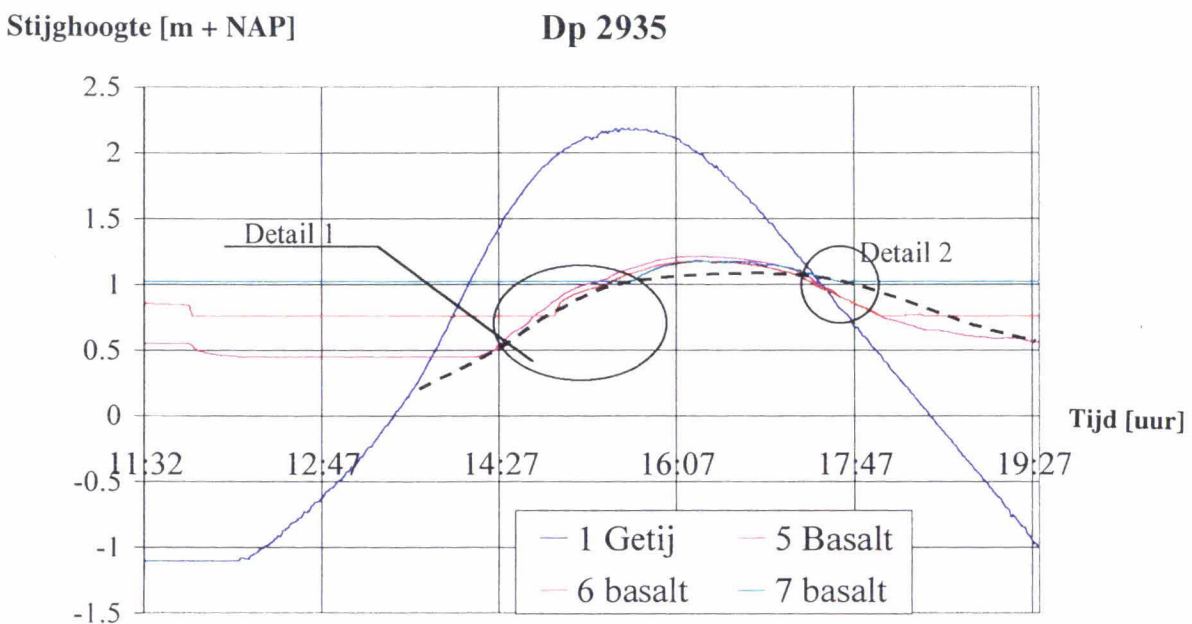
Te zien is hoe het opwaartse drukverschil is geconcentreerd rondom een hoogte van 0,5m + NAP bij Dp 29+35. Bij Dp 25+15 is dit drukverschil over een grotere hoogte aanwezig, wat betekent dat de totale belasting (de belasting geïntegreerd over de hoogte) groter is.

Op basis van het verloop van de stijghoogtes in het filter kan de hoogte van de waterstand in het filter worden afgeleid. In figuur 3.4 staan voor vier drukopnemers het verloop in stijghoogte afgebeeld. Ten gevolge van het oplopen van de stijghoogte in het filter beginnen de drukopnemers te reageren (detail 1). Als het getij gaat dalen is op een zeker moment de stijghoogte in het filter gelijk aan de hoogte van het getij (detail 2). Hier wordt een maximum hoogte van de freatische lijn in het filter gevonden. Deze

maxima zijn voor de verschillende metingen weergegeven in onderstaande tabel. Op basis van het zo gevonden verloop in de freatische lijn kan vervolgens nog een amplitudedemping en faseverschil worden geschat van de waterstandsvariatie in het filter ten opzichte van het getij.

| locatie | maximum hoogte freatische lijn (m tov NAP) | Amplitude filter/ Amplitude getij | faseverschuiving (min) |
|------------|--|--------------------------------------|------------------------|
| Dp 25 + 15 | 0,8 | 0,12 | 150 |
| Dp 29 + 35 | 1,0 | 0,19 | 120 |

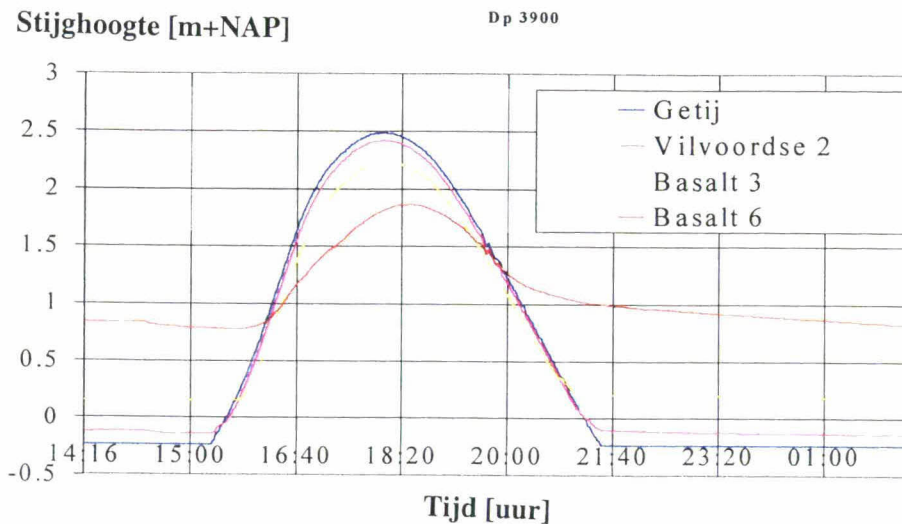
Tabel 3.5 Uit de metingen bepaald verloop van de freatische lijn in het filter



Figuur 3.4: verloop van de freatische lijn bepalen op basis van meting

3.4.2 Bekledingsvak 17299 Dp 37+25m en Dp 39+00m

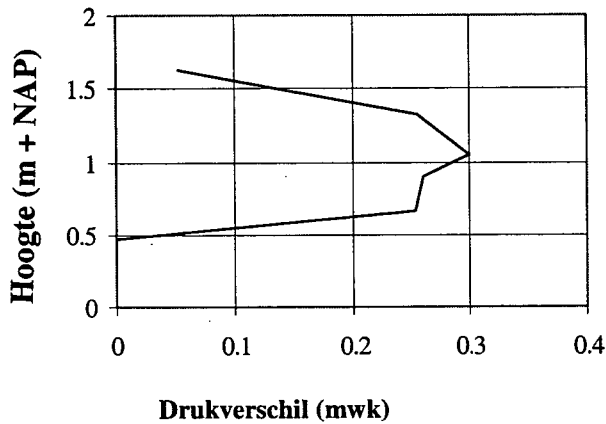
In figuur 3.5 staat het verloop van het getij, en de gemeten stijghoogtes in de filterlaag.



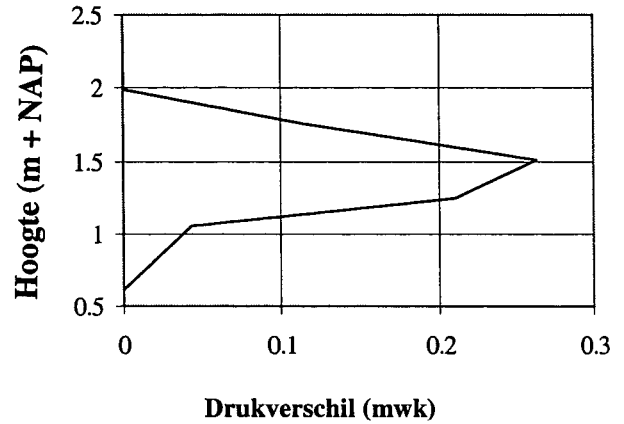
Figuur 3.5: vergelijking van gemeten stijghoogte in basalt, in vilvoordse steen en boven overgang

Het gemeten verloop van de stijghoogtes in de filterlaag onder de ingegoten basalt en onder de Vilvoordse steen is volkomen vergelijkbaar met die van vakken 16203 en 16501: zie figuur 3.1. Ook hier zullen overdrukken over de toplaag optreden bij neergaand getij, omdat het filter niet snel genoeg leeg kan stromen ten gevolge van de relatief ondoorlatende toplaag.

Het maximum drukverschil over de bekleding in één punt is voor Dp 37+25m 0,31mwk en voor Dp 39+00m 0,36mwk. De maximale belasting op de toplaag wordt bepaald op basis van de som van de drukverschillen van opnemers 3-8. Hiervan is voor beide meetlocaties een grafiek gemaakt (figuur 3.6 en 3.7). Bij Dp 3900 is over een hoogte van 0,65m bekleding, een drukverschil van 0,25mwk of hoger gemeten, bij Dp37 + 25 is de hoogte waarover een dergelijke belasting optreed veel geringer, in de orde van 0,30m.



Figuur 3.6: drukverschil over toplaag Dp3900



Figuur 3.7: drukverschil over toplaag Dp3725

Op dezelfde manier als dit eerder voor de meting bij Dp 29+35 is geïllustreerd kan de positie van de freatische lijn worden bepaald uit de meting. Hieruit kan dan vervolgens de amplitudedemping en de faseverschuiving worden geschat, zie tabel 3.6.

| locatie | maximum hoogte freatische lijn (m tov NAP) | Amplitude filter/ Amplitude getij (-) | faseverschuiving (min) |
|------------|--|---|---------------------------|
| Dp 37 + 25 | 1,78 | 0,28 | 60 |
| Dp 39 + 00 | 1,5 | 0,23 | 113 |

Tabel 3.6 Uit de metingen bepaald verloop van de freatische lijn in het filter

4 Narekenen van de metingen

4.1 Beschrijving Steenzet getij versie

De Steenzet getij versie is gebaseerd op het computerprogramma Steenzet/1+. Steenzet/1+ is een numeriek computerprogramma dat de waterspanningen in het filter van een steenzetting berekent op basis van een externe (korte) golfrandvoorwaarde en de fysische eigenschappen (doorlatendheden) van de constructie. In de getijversie wordt in plaats van een korte golf een gemeten getij ingevoerd als externe hydraulische randvoorwaarde, alsmede de geometrie en eigenschappen van top laag en filterlaag. Het rekenschema van beide programma's is vrijwel identiek.

In de Steenzet getij versie wordt per tijdstap op basis van de actuele getijwaterstand en de ingevoerde eigenschappen van de glooiing uitgerekend hoeveel water er netto in- of uitstroomt van of naar het filter. Op basis van deze hoeveelheid water die in- of uitstroomt wordt de waterstand in de filterlaag aangepast. Hierna wordt het stijghoogteverloop in het filter berekend op basis van de bekende steenzettingentheorie.

De uitvoer van het programma bestaat uit berekende stijghoogtes op een aantal plaatsen onder de bekleding. Verder bestaat de uitvoer uit het verloop van de freatische lijn. Aan de hand van deze uitvoer kunnen de berekende en de gemeten stijghoogtes worden vergeleken, waarna indien nodig de eigenschappen van de bekleding of het filter kunnen worden aangepast.

4.2 Werkwijze bij het narekenen van de meting

Als eerste schatting voor de doorlatendheden van de top laag en de filterlaag kan gebruik gemaakt worden van de analytische theorie. Uit de lektijdtheorie kan aan de hand van de gemeten amplitudedemping en de faseverschuiving van het verloop van de waterstand in het filter ten opzichte van het verloop van het getij een schatting van de verhouding tussen de doorlatendheden van het filter en de top laag worden afgeleid:

$$\frac{A_f}{A_o} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{T_k}{T_o}\right)^2}}$$

$$\tau = \frac{T_o}{2\pi} \arctan\left(\frac{T_k}{T_o}\right)$$

waarin: A_f de amplitude van de waterbeweging in het filter
 A_o de getijamplitude
 T_k de lektijd

- To de getijperiode (12h25m)
 τ de faseverschuiving tussen het verloop van het getij en het verloop van de waterstand in het filter

De lektijd wordt gegeven door:

$$T_k = \frac{2\pi n \Lambda}{k \sin \alpha}$$

- waarin: n de porositeit van het filtermateriaal
 Λ de leklengte
k de doorlatendheid van het filter
 α de taludhelling

De leklengte is gedefinieerd als:

$$\Lambda = \sqrt{\frac{bDk}{k'}}$$

- waarin: b de dikte van de filterlaag
D de dikte van de toplaag
k' de doorlatendheid van de toplaag

Uit het verloop van de stijghoogte in de filterlaag over de hoogte van het talud kan met behulp van de leklengtetheorie eveneens een schatting voor de doorlatendheden worden gegeven.

Door de leklengte en de lektijd dusdanig te variëren dat de gemeten amplitudedemping en faseverschuiving van het verloop van de waterstand in het filter ongeveer overeenstemmen met de theoretische waarden en het gemeten verloop van de stijghoogte over de zetting ongeveer overeenkomt met het theoretische verloop wordt een eerste schatting van de constructie-eigenschappen verkregen.

Deze worden als eerste poging in de computersimulatie gebruikt.

Voor het narekenen van de meting is gebruik gemaakt van het gedeelte van de meting vanaf het punt waar de getijwaterstand gelijk is aan de waterstand in het filter, waarna de getijwaterstand verder zakt. Op dat moment loopt de waterstand in het filter eveneens (vertraagd) terug. In dit gedeelte wordt het verloop van de stijghoogte onder het talud alleen nog beïnvloed door de waterstand in de filterlaag en de getijwaterstand.

Bij de analyse is het stijghoogte verloop van de onderste waterspanningsmeter gebruikt. Deze levert de grootste stijghoogteverschillen over de toplaag op. Bovendien valt deze niet droog, zodat er gedurende de gehele meetduur kan worden nagegaan of de meting en de berekening overeenstemming vertonen.

De geometrie van de bekleding, die gebruikt is als basis voor de berekeningen is gegeven in tabel 4.1. Alle waarden zijn ten opzichte van NAP. De invoer in Steenzet is relatief ten opzichte van de freatische lijn genomen. Deze "truc" is nodig om binnen Steenzet de freatische lijn de juiste startwaarde te geven.

| locatie | Onderkant talud (m + NAP) | Onderste begrenzing basalt (m + NAP) | Bovenste begrenzing basalt (m + NAP) | startwaarde freatische lijn (m + NAP) |
|--------------|------------------------------|---|---|--|
| Dp 25 + 15 m | -1,2 | 0,01 | 3,3 | 0,8 |
| Dp 29 + 35 m | -1,6 | -0,1 | 3,3 | 1,0 |
| Dp 37 + 25 m | -0,7 | 0,9 | 2,66 | 1,78 |
| Dp 39 + 00 m | -0,5 | 0,35 | 2,64 | 1,5 |

Tabel 4.1 Geometrische eigenschappen van de 4 bekledingen

Voor de toplaagdikte is steeds 25 cm aangehouden. De filterlaagdikte is aangenomen op 5 cm.

4.3 Resultaat van de parameterschatting

De eerste schatting van de toplaagdoorlatendheid en de filterlaagdoorlatendheid levert uiteraard zelden een bevredigend resultaat op. Daarom wordt vervolgens geoptimaliseerd door parameters als de porositeit en de dikte van de filterlaag en de toplaagdoorlatendheid te variëren. Op deze wijze werd voor alle vier de locaties een goede benadering van de meting verkregen (zie bijlagen 7 tot en met 10).

De gebruikte parameters om tot deze fit van de metingen te komen is gegeven in tabel 4.2, die de waardes geeft voor toplaagdoorlatendheid, filterdoorlatendheid en porositeit op de 4 meetlocaties. De waarden voor de constructie-eigenschappen zijn plausibel te noemen voor (gepenetreerde) zettingen met een dichtgeslibd filter. Enige onzekerheid blijft hier overigens altijd aan kleven, omdat er meerdere parameters zijn waarmee kan worden gevarieerd, en maar één meting om dit op te 'ijken'. Eén van de belangrijke gegevens waarmee 'geijkt' wordt, is de doorlatendheid van de toplaag beneden de basalt (de Doornikse of Vilvoordse steen in dit geval). Deze is van belang bij het leeglopen van de zetting voor zover dit niet via de toplaag, maar via het filter naar de onderrand van de gepenetreerde bekleding gebeurt. Daarom is dit gegeven ook in tabel 4.2 opgenomen.

| Dijkpaal | kfilter (m/s) | nfilter | ktoplaag (m/s) | kVilvoordse/ Doornikse (m/s) |
|----------|---------------|---------|----------------|---------------------------------|
| 25+15 | 2,3 E-4 | 0,2 | 1 E-8 | 3 E-7 |
| 29+35 | 2,7 E-4 | 0,2 | 1 E-6 | 5 E-5 |
| 37+25 | 5,2 E-3 | 0,3 | 1 E-6 | 1 E-5 |
| 39 | 1,9 E-4 | 0,2 | 1 E-8 | 3 E-8 |

Tabel 4.2 Constructie-eigenschappen zoals bepaald uit de metingen

5 Voorspelling van gedrag onder maatgevende condities

5.1 Randvoorwaarden voor de berekening

Voor de twee bekledingsvakken moet een voorspelling worden gemaakt van het gedrag onder maatgevende condities.

In beide bekledingsvakken (16203/16501 en 17299) is op twee plaatsen gemeten. In hoofdstuk 4 zijn uit de metingen parametersschattingen bepaald. Hieruit komt naar voren dat de parameters voor locaties Dp 25+15m (bekledingsvak 16205/16501) en Dp 39+00m (bekledingsvak 17299) het minst gunstig zijn. Ook uit de interpretatie van de meting (paragraaf 3.4) is te zien hoe hier de optredende opwaartse drukverschillen groter zijn, of over een grotere hoogte van de bekleding aanwezig zijn. Daarom worden de geschatte parameters van deze locaties gebruikt als zijnde representatief voor de minst gunstige situatie binnen het dijkvak bij het voorspellen van de te verwachten drukverschillen onder maatgevende condities.

Strikt genomen is deze aanname aanvechtbaar: er is gemeten in twee raaien binnen een dijkvak, en daaruit blijkt dat er bijvoorbeeld een factor 100 verschil wordt gevonden in toplaagdoorlatendheid. Misschien is er dus nog wel een ongunstiger punt binnen het dijkvak te vinden. Aan de ander kant zijn er twee gegevens die de keuze enigzins rechtvaardigen: er is bewust gezocht naar die punten binnen het dijkvak waar de bekleding op het oog open en op het oog zeer dicht was. Dat verklaart wel enigzins het gevonden verschil in toplaagdoorlatendheid. Daarnaast is er sprake van een zekere mate van 'uitmiddeling van doorlatendheid'. Hiermee wordt bedoeld dat als er een zeer open en een zeer gesloten gedeelte van de toplaag naast elkaar liggen, er op het moment dat er stijghoogteverschillen tussen deze beide raaien ontstaan vanzelf water van de ene raai naar de andere raai gaat stromen. Grote verschillen middelen elkaar op die manier uit.

In tabel 5.1 zijn de ingevoerde waarden voor de geometrie van de zetting en de startwaarde van de freatische lijn in het filter gegeven. Aan de bovengrens van de bekledingen zitten blokken op klei. Dit kan worden opgevat als een ondoorlatende overgang. De startwaarde voor de freatische lijn is daarom gelijk aan de bovenkant van de filterlaag onder de gepenetreerde basalt.

| locatie | Teen van de steenzetting (m + NAP) | Ondergrens basaltbekleding (m + NAP) | Bovengrens basalt (m + NAP) | Startwaarde freatische lijn (m + NAP) |
|--------------|------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| Dp 25 + 15 m | -1,2 | 0,01 | 3,3 | 3,05 |
| Dp 39 + 00 m | -0,5 | 0,35 | 2,64 | 2,40 |

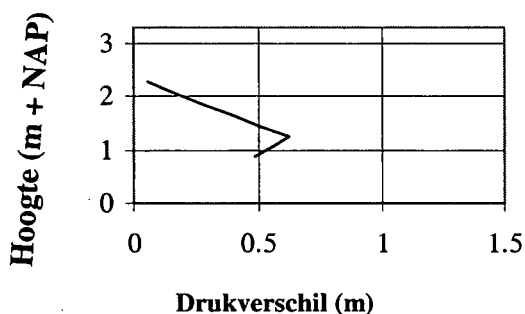
Tabel 5.1 Geometrie en startwaarde voor de waterstand in het filter

De meest extreme conditie waaraan een bekleding kan worden blootgesteld is een volledig gevuld filter en vervolgens een snelle daling van het getij. Voor de 'snelle daling van het getij' is de dalende tak van het gemeten getij (springtij) gebruikt. Voor de toetsing is deze situatie bekeken. Het is

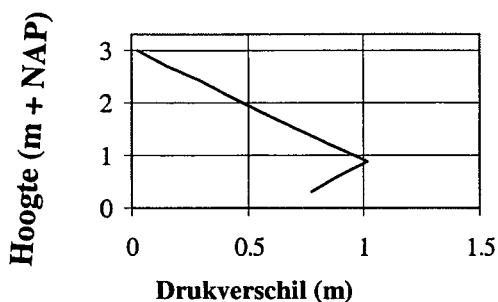
mogelijk dat de situatie van een volledig gevuld filter in de praktijk niet optreedt, ook niet onder een MHW conditie. Als de bekleding echter voor deze situatie voldoet, dan hoeft verder niet gekeken te worden of zo'n extreme conditie zich al dan niet voor kan doen. In het geval dat de bekleding niet voldoet, dan kan alsnog verder worden gestudeerd.

5.2 Resultaten

De resultaten van de berekeningen met Steenzet zijn gepresenteerd in figuren 5.1 (dp 39) en 5.2 (dp 25+15 m). De figuren geven een beeld van de maximale belasting op de toplaag.



Figuur 5.1 Drukverschil (dp 39)

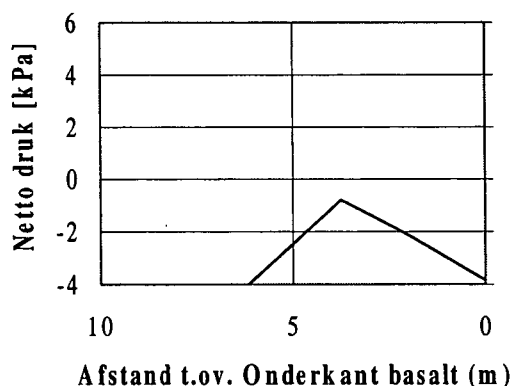


Figuur 5.2 Drukverschil (dp 25+15m)

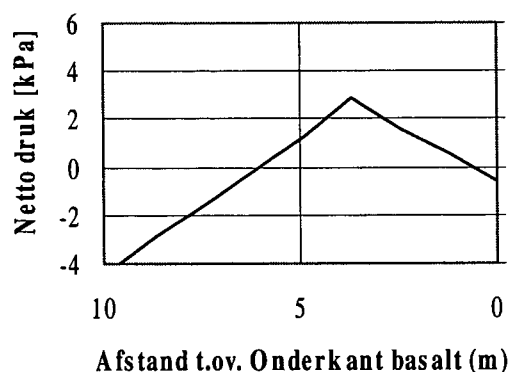
Wat opvalt is dat de optredende drukverschillen voor de bekleding bij Dp 39 veel kleiner zijn dan bij Dp 25 + 15. Dit is logisch: bij dp 25 + 15 m is het hoogteverschil tussen de bovenkant van de bekleding en de onderkant van de bekleding aanzienlijk groter, terwijl de doorlatendheden van de beide locaties vergelijkbaar zijn. Het drukverschil neemt vlak boven de onderkant van de bekleding weer af, doordat de toplaag van Doornikse steen, respectievelijk Vilvoordse steen een grotere doorlatendheid heeft.

In de figuren 5.3 en 5.4 is de netto berekende druk over de toplaag weergegeven (netto druk = opwaartse druk – eigen gewicht toplaag).

**Netto druk (kPa) over toplaag voor
maatgevende condities Dp 39+00 m**



**Netto druk (kPa) over toplaag voor
maatgevende condities Dp 25+15 m**



Figuur 5.3 Netto druk (dp 39)

Een positieve netto druk betekent dat de waterdruk onder de toplaag groter is dan het eigen gewicht van de toplaag: de toplaag kan omhoog worden gedrukt. Voor het volumegewicht van de toplaag is 2900 kg/m^3 gebruikt.

Figuur 5.4 Netto druk (dp 25+15m)

Het berekende netto drukverschil voor dp 39 blijft beneden nul, wat betekent dat de bekleding niet zal worden opgedrukt.

Bij Dp 25 + 15 m treedt een positieve netto druk op, hier moet dus wel rekening worden gehouden met opdrukken. Of dit opdrukken daadwerkelijk op zal treden hangt af van de mate van plaatwerking die de bekleding van gepenetreerde basalt op kan brengen. Omdat de bekleding plaatselijk omhoog wordt gedrukt, terwijl de gedeelten hieronder en hierboven blijven liggen, ontstaan in de gepenetreerde basalt buigspanningen. Als deze buigspanningen groter worden dan de toelaatbare buigspanningen treden scheuren in de 'plaat' van basalt en asfalt op, en verliest de bekleding zijn integriteit. De bekleding wordt dan als bezweken beschouwd.

Om te controleren of dit op kan treden is de resulterende buigspanning op deze bekleding bepaald op basis van de beschouwingen in rapport "Stabiliteit van basalt ingegoten met gietasfalt" van het WL, met projectnummer H3272.62.

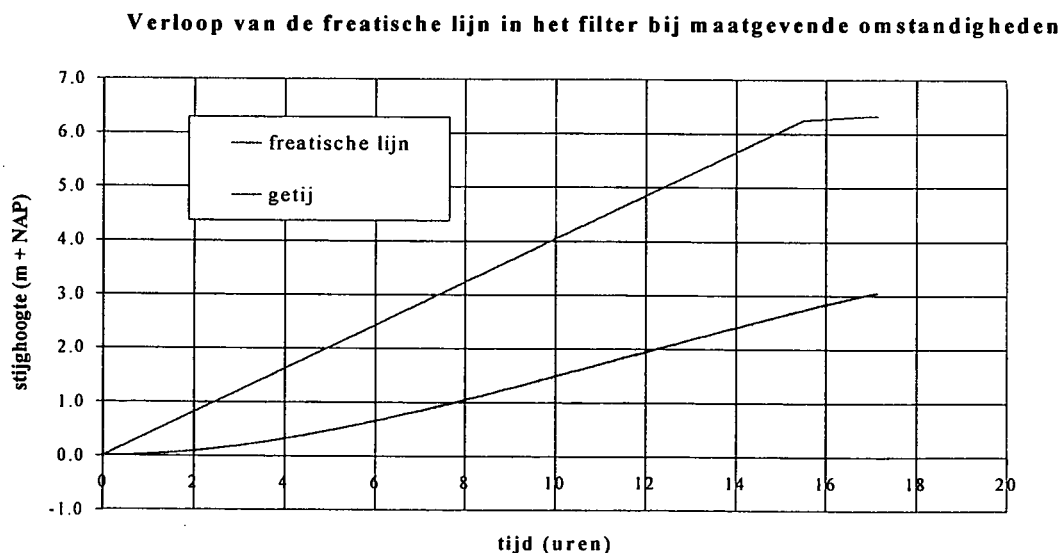
Hier wordt het gedeelte van de bekleding waarover een netto opwaarts gerichte druk werkt geschematiseerd tot een ligger op twee steunpunten. Dit wordt voorlopig, tot er meer kennis over het gedrag van gepenetreerde bekledingen is verzameld, gehanteerd als conservatieve benadering. Op basis van deze schematisatie kan voor de bekleding een moment worden berekend op basis van de druk die van onderaf op de bekleding werkt. De buigspanning op basis van dit moment is vastgesteld op $1,5 \text{ MN/m}^2$. Deze waarde is vele malen groter dan de maximale buigspanning die op deze bekleding mag werken, namelijk $0,03 \text{ MN/m}^2$.

5.3 Nadere beschouwing bekleding bij Dp25+15 m

Op basis van de resultaten van de berekening uit de voorgaande paragraaf zou de bekleding bij dp 25+15m moeten worden afgekeurd. De drukverschillen, die volgen uit de berekening zijn dermate hoog dat het onderling verband tussen de stenen dit nooit zal kunnen opvangen.

De oorzaak van dit slechte resultaat houdt verband met het gegeven dat de bekleding over een grote hoogte aanwezig is. Hierdoor is bij een volledig gevuld filter veel tijd nodig voordat het water uit de bekleding kan ontsnappen en er kunnen grote drukverschillen over de toplaag optreden. Bij de beschouwing uit paragraaf 5.2 is echter wel uitgegaan van de meest ongunstige aanname, namelijk dat het filter onder de gepenetreerde basalt bij maatgevende omstandigheden geheel gevuld raakt met water.

Om te verifiëren of deze aanname klopt is een verloop van de stormopzet volgens de methode uit Katern 3 van de "Leidraad Toetsen op Veiligheid" gebruikt. Deze geeft het verloop van de stormopzet tijdens maatgevende omstandigheden. Dit verloop van de waterstand is gebruikt als externe hydraulische randvoorwaarde voor Steenzet. Er wordt begonnen met een normale (lage) waterstand in het filter. Vervolgens wordt een aantal uren doorgerekend waarin de buitenwaterstand zeer hoog is. Hierdoor zal de waterstand in het filter onder de gepenetreerde basalt stijgen. De vraag die moet worden beantwoord is, of deze waterstand dusdanig zal stijgen dat het filter onder de gepenetreerde basalt geheel gevuld raakt, of niet.



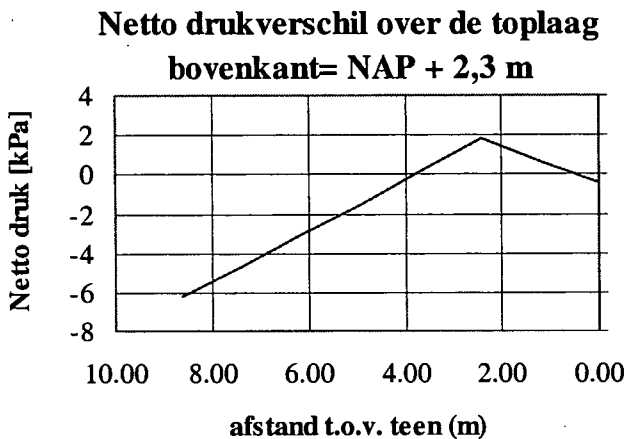
Figuur 5.5 Stijging van de waterstand in de filterlaag bij een maatgevend verloop van de buitenwaterstand

Het resultaat van deze berekening is te zien in figuur 5.5. Het blijkt dat volgens de berekening gedurende het eerste deel van de stormopzet (17 uur) de freatische lijn in het filter stijgt tot een waarde van ca 3 m + NAP. Gedurende de rest van het hoogwater zal de bovenkant van het filter, op 3,3m +

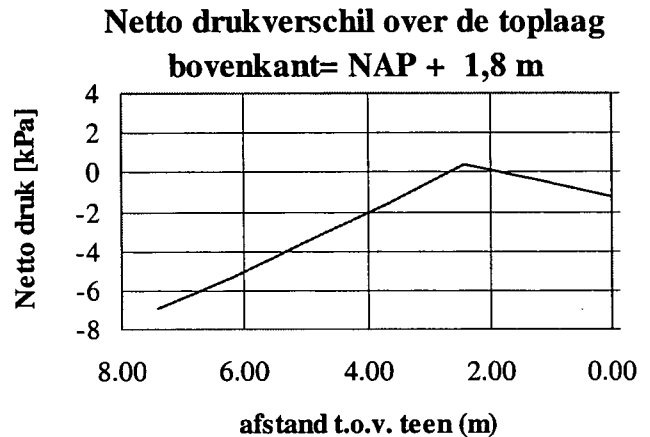
NAP, zeker bereikt worden. Hieruit volgt dat het filter onder de bekleding onder maatgevende condities naar verwachting volledig gevuld raakt met water. De bekleding blijft afgekeurd.

Om de bekleding te behouden is het mogelijk om op basis van het gevonden drukverschil dat bij maatgevende condities over de bekleding op zal treden, een verzwaring uit te voeren. Dit kan gebeuren, door boven op de basalt een laag met stortsteen aan te brengen. Het gewicht van deze stortsteen zal het netto drukverschil over de top laag moeten compenseren. De stortsteen zal moeten worden aangebracht tot een hoogte van NAP + 1,5 m op het talud, aangezien op dit niveau de grootste opwaartse overdrukken ontstaan.

Een andere oplossing is om een gedeelte van de bekleding te verwijderen door van bovenaf een strook over een hoogte tussen 1 en 1,5m te verwijderen, en het resterende deel aan de bovenkant te voorzien van een waterdichte opsluitband. Het effect hiervan is bekeken voor de situatie waarbij 1, danwel 1,5m wordt verwijderd. Hierbij werd gevonden dat als de bovenkant van de bekleding tot NAP + 2,3 m reikt, nog teveel overdrukken ontstaan (zie figuur 5.6). Als de hoogte waarover de bekleding aanwezig is wordt teruggebracht tot NAP + 1,8 m werkt er een zeer geringe netto druk op de bekleding (zie figuur 5.7).



Figuur 5.6 Bovenkant NAP + 2,3 m



Figuur 5.7 Bovenkant op NAP+1,8 m

Voor beide situaties is de buigspanning berekend die maximaal kan optreden over de top laag. Voor de situatie met de bovenkant op NAP + 2,3 m is deze buigspanning gelijk aan $0,28 \text{ MN/m}^2$, ongeveer tien maal de toelaatbare waarde. Voor de situatie met de bovenkant van de bekleding op NAP + 1,8 m is de buigspanning gelijk aan $0,001 \text{ MN/m}^2$, ruim beneden de toelaatbare waarde van $0,03 \text{ MN/m}^2$.

6 Conclusies en aanbevelingen

In de periode van 6 januari t/m 11 januari 2000 zijn in twee bekledingsvakken van de dijk bij de Waarde- en Westveerpolder getijmetingen uitgevoerd. De bekledingsvakken hebben nummers 16203/16502 en 17299,1. De bekleding in de twee vakken bestaat uit basalt, ingegoten met gietasfalt.

In totaal zijn op vier plaatsen getijmetingen uitgevoerd. Met behulp van deze metingen zijn belastingen op de bekleding tijdens maatgevende condities berekend met het computerprogramma Steenzet. Hiertoe is eerst het gedrag van de bekleding tijdens de meting vertaald naar eigenschappen van de toplaag en het filter voor beide bekledingen. Vervolgens zijn op basis van een voor de bekleding maatgevende conditie, de optredende stijghoogteverschillen over de toplaag berekend, voor twee profielen, namelijk Dp 25+15 m en Dp 39+00 m.

Op basis van de berekeningen is de bekleding bij Dp 39+00 m goedgekeurd, en daarmee bekledingsvak met nummer 17299,1.

Het blijkt dat bij de gevonden doorlatendheden, gecombineerd met de beperkte hoogte, waarover de bekleding aanwezig is, geen dusdanige opwaartse drukverschillen optreden dat de bekleding onder statische overdruk zal bezwijken. Het is wel van groot belang dat, als de betonblokken op klei worden gerenoveerd, aan de bovenzijde van de gepenetreerde basalt een waterdichte overgang wordt gecreëerd.

Hierbij dient als nuancering te worden aangebracht, dat dit geldt voor het gedeelte tussen dp 175 en dp 180+60m (zie ook bijlage 11). Tussen dp 180+60 m en het einde van het vak bij dp 181 is de bekleding over een te grote hoogte aanwezig en volgt afkeuren.

De bekleding met vakcodes 16203 en 16501 kon niet in de huidige vorm worden goedgekeurd. De simulatie met Steenzet laat zien dat bij maatgevende condities opdrukken van de bekleding optreedt, en dat hierbij tevens de buigsterkte van de bekleding wordt overschreden. Er zijn twee opties om de bekleding geheel of gedeeltelijk te behouden:

- aan de onderzijde tot een niveau van NAP + 1,5 m een stortsteen overlaging toepassen
- vanaf de bovenkant de bekleding over een hoogte van circa 1,5 m verwijderen (tot NAP + 1,80 m) en vervolgens aan de bovenzijde een waterdichte overgang creëren.

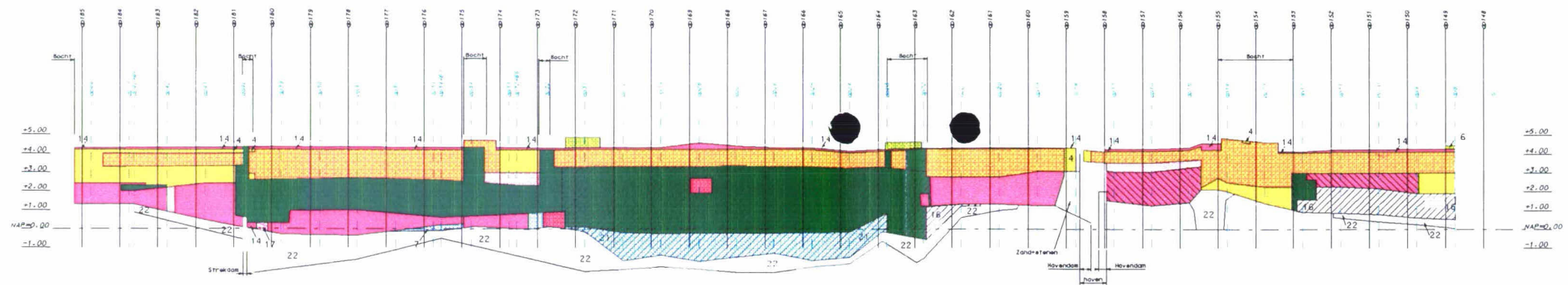
In tabel 6.1 worden de conclusies van de geavanceerde toetsing gerecapituleerd.

In bijlage 11 is het resultaat grafisch weergegeven.

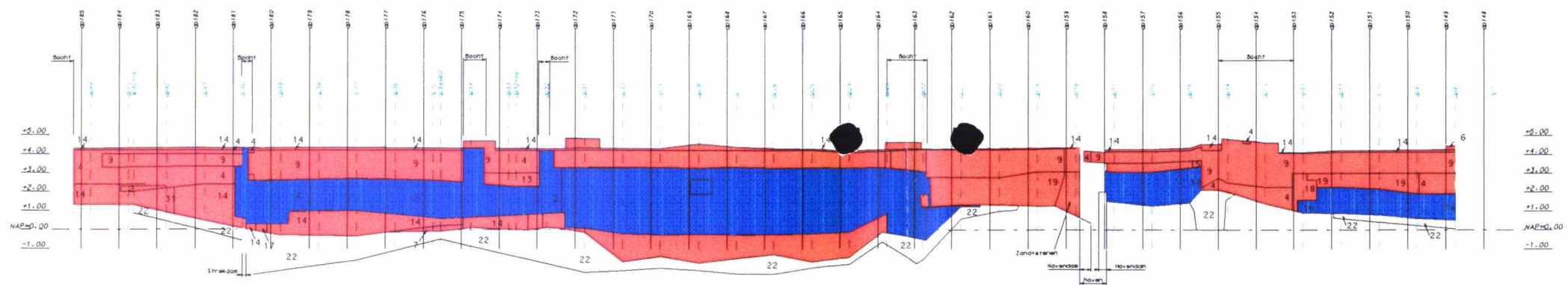
| Bekleding nummer | Type | Conclusie |
|------------------|-------------------------------|--|
| 14806 | Overlaagde Vilvoordse | Onvoldoende (beperkte oppervlakte en slechte plek) |
| 14807 | Overlaagde Vilvoordse | Goed (onder voorland) |
| 16103 | Overlaagde Vilvoordse | Onvoldoende |
| 15501 | Vilvoordse met beton | Onvoldoende |
| 15503 | Vilvoordse met beton | Goed (onder voorland) |
| 16203 | Basalt met gietasfalt | Onvoldoende |
| 16206 | Basalt met gietasfalt | Onvoldoende |
| 16501 | Basalt met gietasfalt | Onvoldoende |
| 17299,2 | Basalt met beton | Onvoldoende |
| 17299,1 | Basalt met gietasfalt | Goed tussen dp 175 –dp 180+60m onvoldoende tussen dp 180+60m – dp 181 |
| 18014 | Basalt met beton en asfalt | Onvoldoende |
| 18020 | Basalt | Goed |

Tabel 6.1 Eindconclusies van de geavanceerde toetsing

BIJLAGEN



- Legend
- 1 asfalt
 - 2 basalt
 - 3 betonzuilen
 - 4 betonblokken
 - 5 diabolblokken
 - 6 doorgroutstenen
 - 7 doornikke steen
 - 8 poole graniet
 - 9 haringblokken
 - 10 hydraulische blokken
 - 11 kapelblokken
 - 12 leasische steen
 - 13 petit graniet
 - 14 vliivordae steen
 - 15 granieblokken
 - 16 storfateen-asfalt
 - 17 gebakke steen
 - 18 basalt+beton
 - 19 vliivordae steen+beton
 - 20 basalt+asfalt
 - 21 doornikke steen+asfalt
 - 22 storfateen

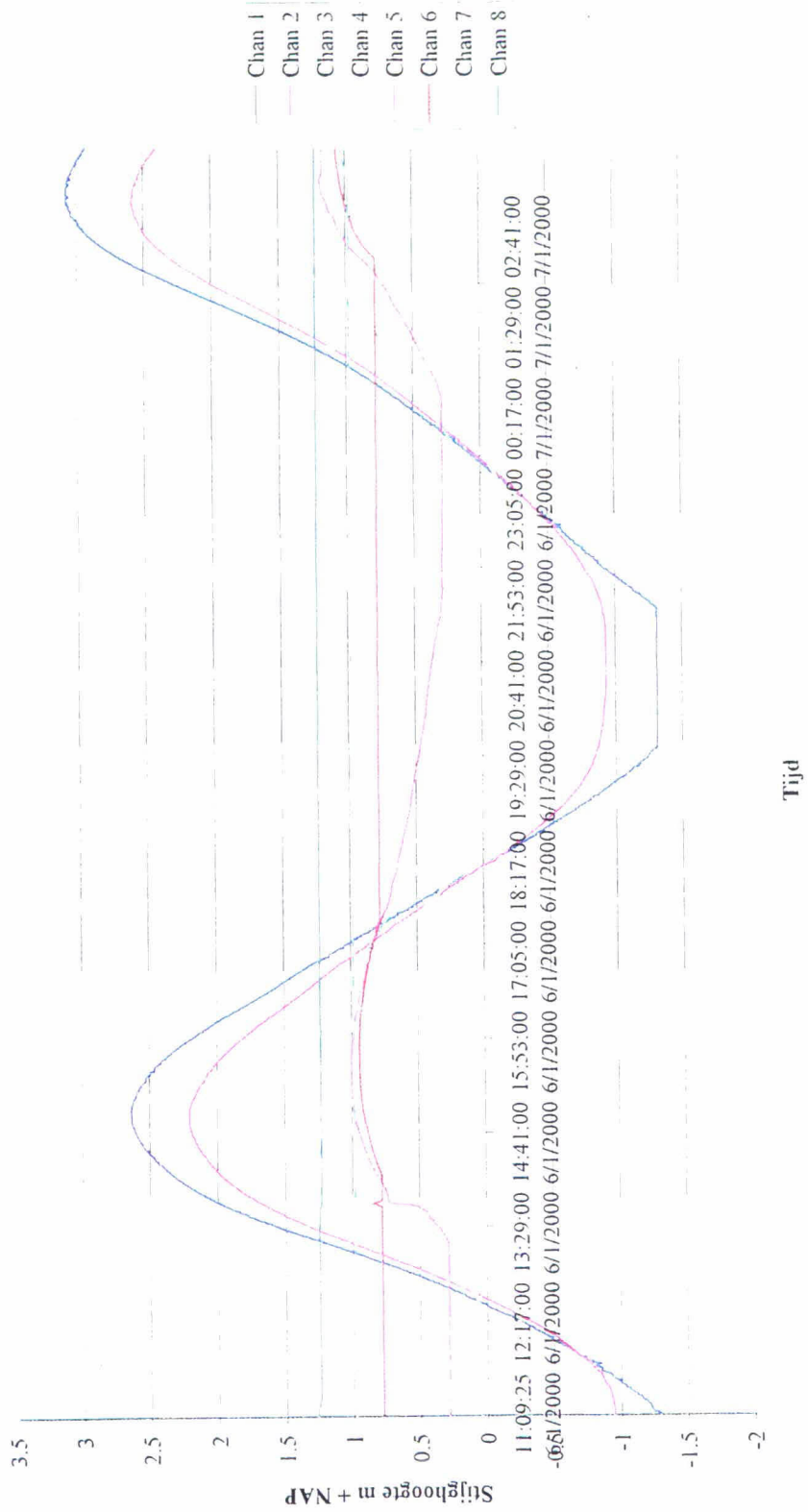


- Legend
- 1 asfalt
 - 2 basalt
 - 3 betonzuilen
 - 4 betonblokken
 - 5 diabolblokken
 - 6 doorgroutstenen
 - 7 doornikke steen
 - 8 poole graniet
 - 9 haringblokken
 - 10 hydraulische blokken
 - 11 kapelblokken
 - 12 leasische steen
 - 13 petit graniet
 - 14 vliivordae steen
 - 15 granieblokken
 - 16 storfateen-asfalt
 - 17 gebakke steen
 - 18 basalt+beton
 - 19 vliivordae steen+beton
 - 20 basalt+asfalt
 - 21 doornikke steen+asfalt
 - 22 storfateen

Waterschap Zeeuwse Eilanden
Datum: 07-05-1999

| | | | | | |
|---|---|--------------------------------------|-----------------------------|---------------------|-------------------------|
| <p>FILENAAM: n:\projecten\gd\388710\milieu\tekeningen\388710-002</p> <p>GeoDelft Stieltjesweg 2, 2628-CK DELFT Postbus 69, 2600 AB DELFT</p> <p>GEAVANCEERDE TOETSING WAARDEN WESTVEER POLDER OVERZICHT AANWEZIGE BEKLEDINGEN RESULTAAT GLOBALE EN GEDETAILEERDE TOETS</p> | <p>Telefoon (015) 269 35 00 Telefax (015) 261 08 21</p> | <p>Homepage: www.geodelft.nl</p> | <p>datum 2000-06-14</p> | <p>get. Loo</p> | |
| | | | | <p>CO-388710</p> | <p>gez. Std</p> |
| | | | | <p>BIJL. 2</p> | <p>fom. A 3</p> |

Stijghoogteverloop Dp 25+15 m



Stieltjesweg 2, 2628 CK DELFT
Postbus 69, 2600 AB DELFT

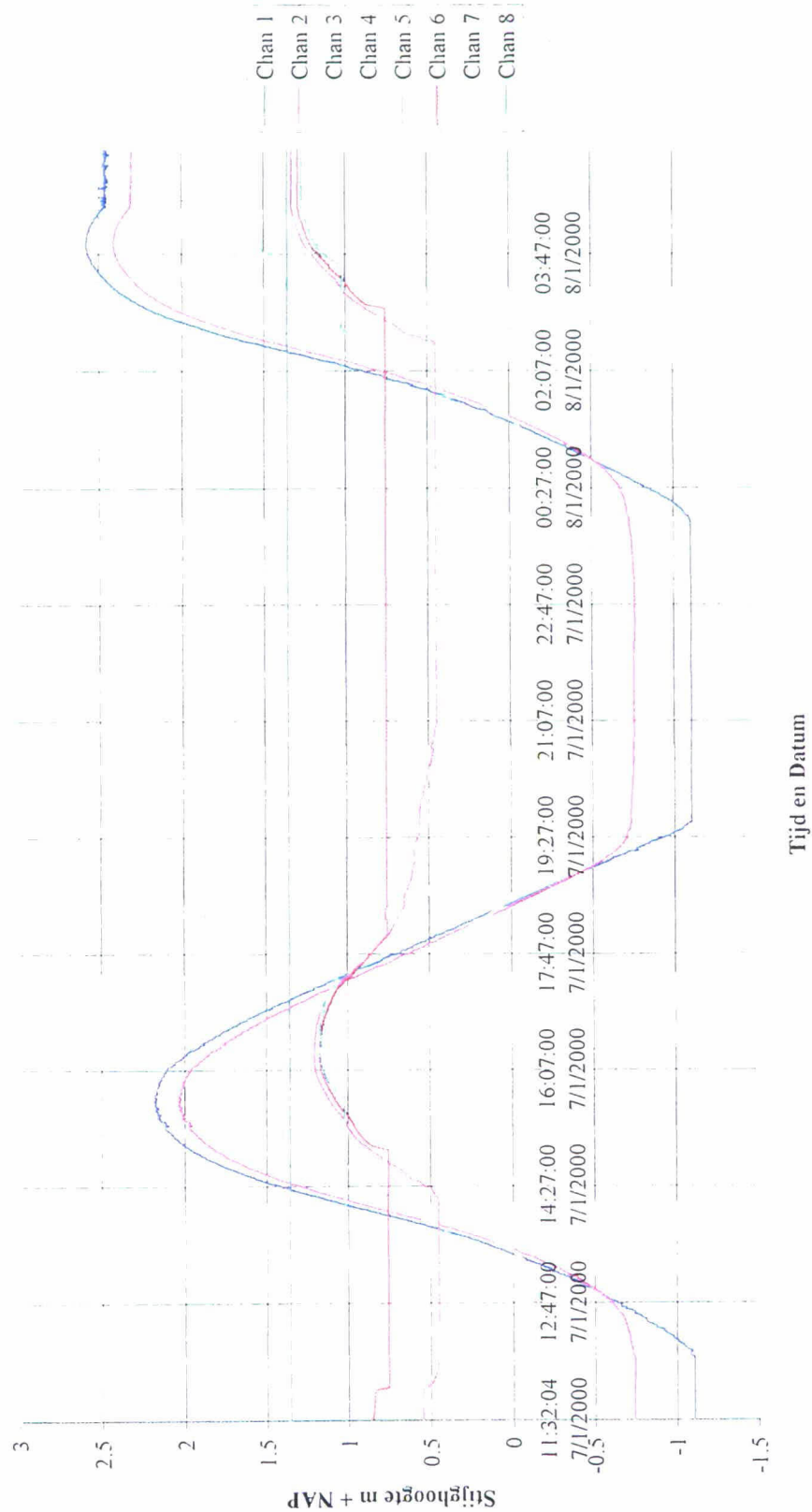
Telefoon (015) 269 35 00
Telefax (015) 261 08 21

Homepage:
www.geodelft.nl

| | | |
|---------|------------|-------|
| datum | 2000-06-13 | get. |
| | | Log |
| | 388710 | gez. |
| | | Std |
| BIJL. 3 | | form. |
| | | A4 |

Geavanceerde toetsing Waarde en Westveerpolder
Interpretatie getijmetingen
Gemeten stijghoogtes Dp2515

Stijghoogteverloop Dp 29+35 m



Stieltjesweg 2, 2628 CK DELFT
Postbus 69, 2600 AB DELFT

Telefoon (015) 269 35 00
Telefax (015) 261 08 21

Homepage:
www.geodelft.nl

datum
2000-06-13

get.
Log

Geavanceerde toetsing Waarde en Westveerpolder
Interpretatie getijmetingen

388710

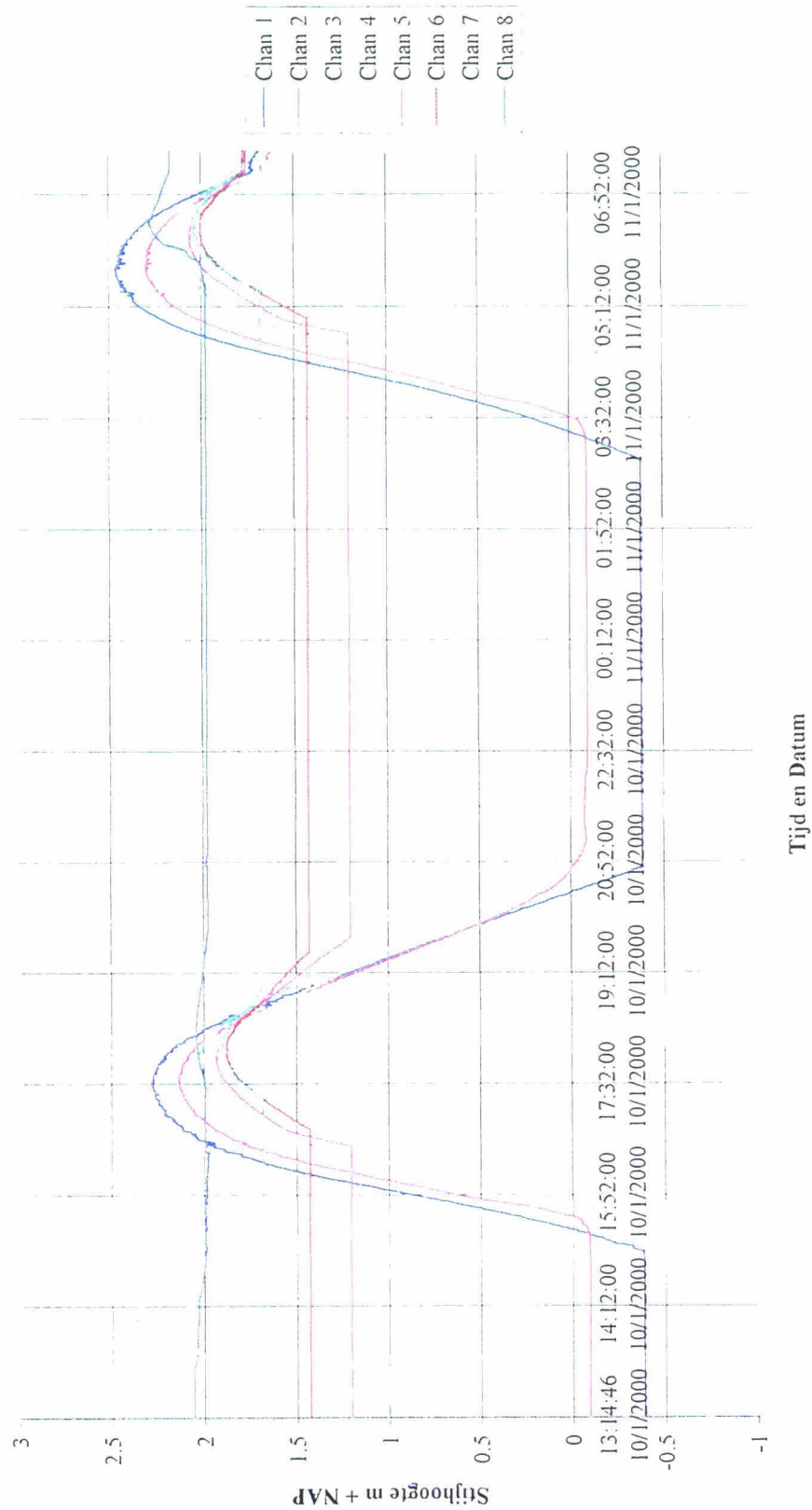
gez.
Std

Gemeten stijghoogtes Dp2935

BIJL. 4

form.
A4

Stijghoogteverloop Dp 37+25 m



Stieltjesweg 2, 2628 CK DELFT
Postbus 69, 2600 AB DELFT

Telefoon (015) 269 35 00
Telefax (015) 261 08 21

Homepage:
www.geodelft.nl

datum
2000-06-13

get.
Log

Geavanceerde toetsing Waarde en Westveerpolder
Interpretatie getijmetingen

388710

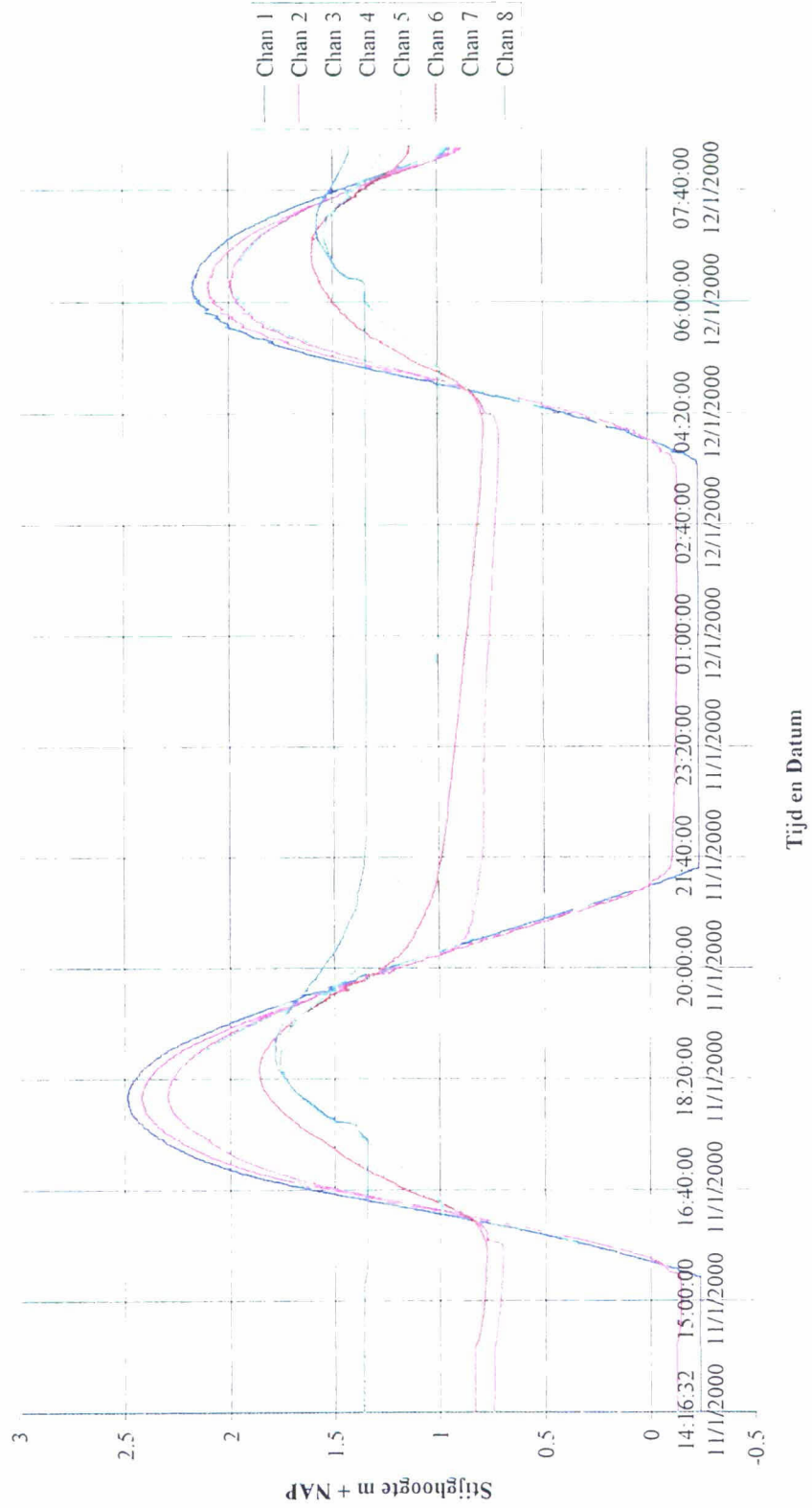
gez.
Std

Gemeten stijghoogtes Dp3725

BIJL. 5

form.
A4

Stijghoogteverloop Dp 39+00 m



Stieltjesweg 2, 2628 CK DELFT
Postbus 69, 2600 AB DELFT

Telefoon (015) 269 35 00
Telefax (015) 261 08 21

Homepage:
www.geodelft.nl

datum
2000-06-13

get.
Log

Geavanceerde toetsing Waarde en Westveerpolder
Interpretatie getijmetingen

388710

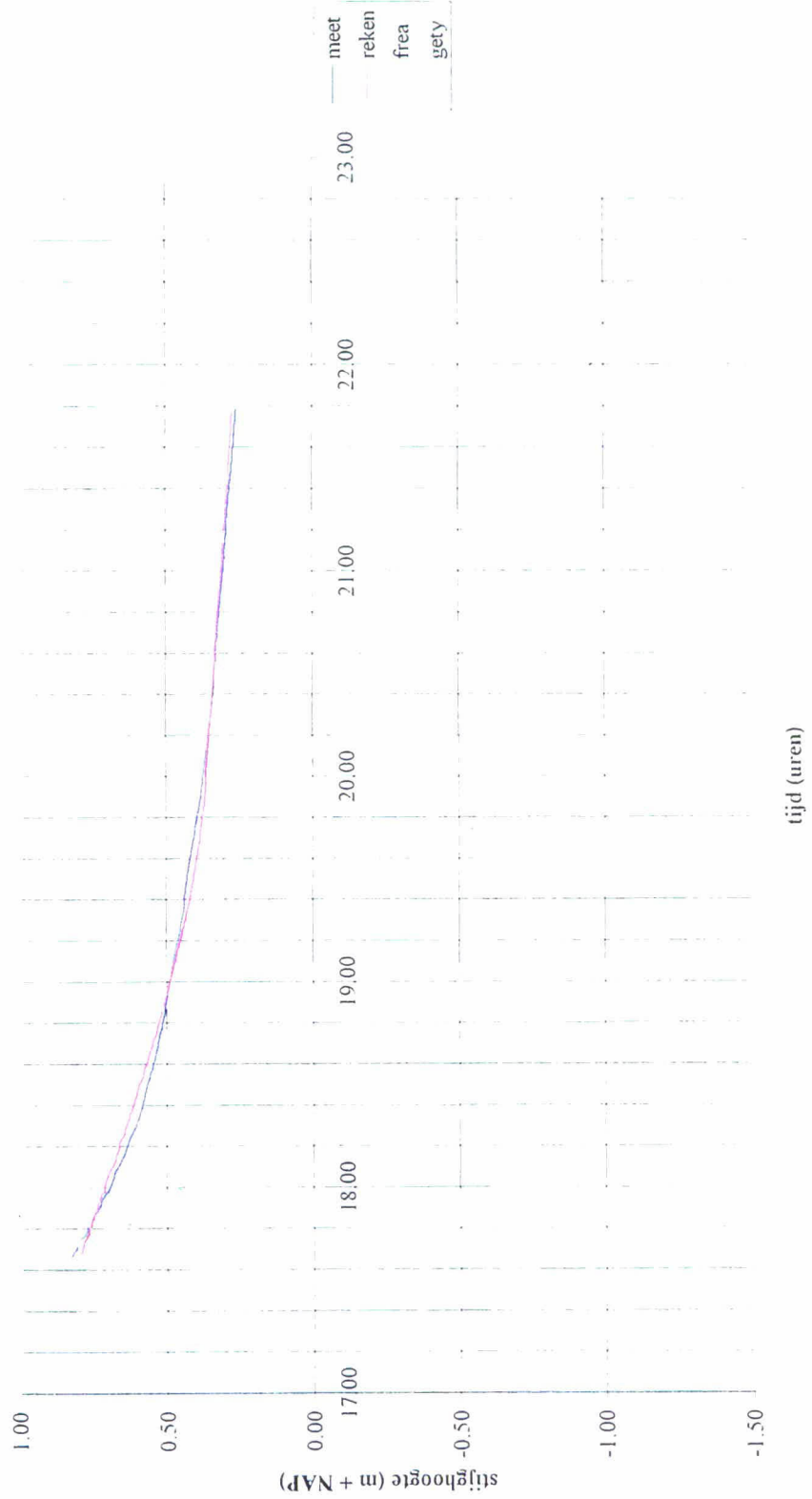
gez.
Std

Gemeten stijghoogtes Dp3900

BIJL. 6

form.
A4

2515 parameterschatting dro 5



Stieltjesweg 2, 2628 CK DELFT
Postbus 69, 2600 AB DELFT

Telefoon (015) 269 35 00
Telefax (015) 261 08 21

Homepage:
www.geodelft.nl

datum
2000-06-13

get.
Log

Geavanceerde toetsing Waarde en Westveerpolder
Interpretatie getijmetingen

388710

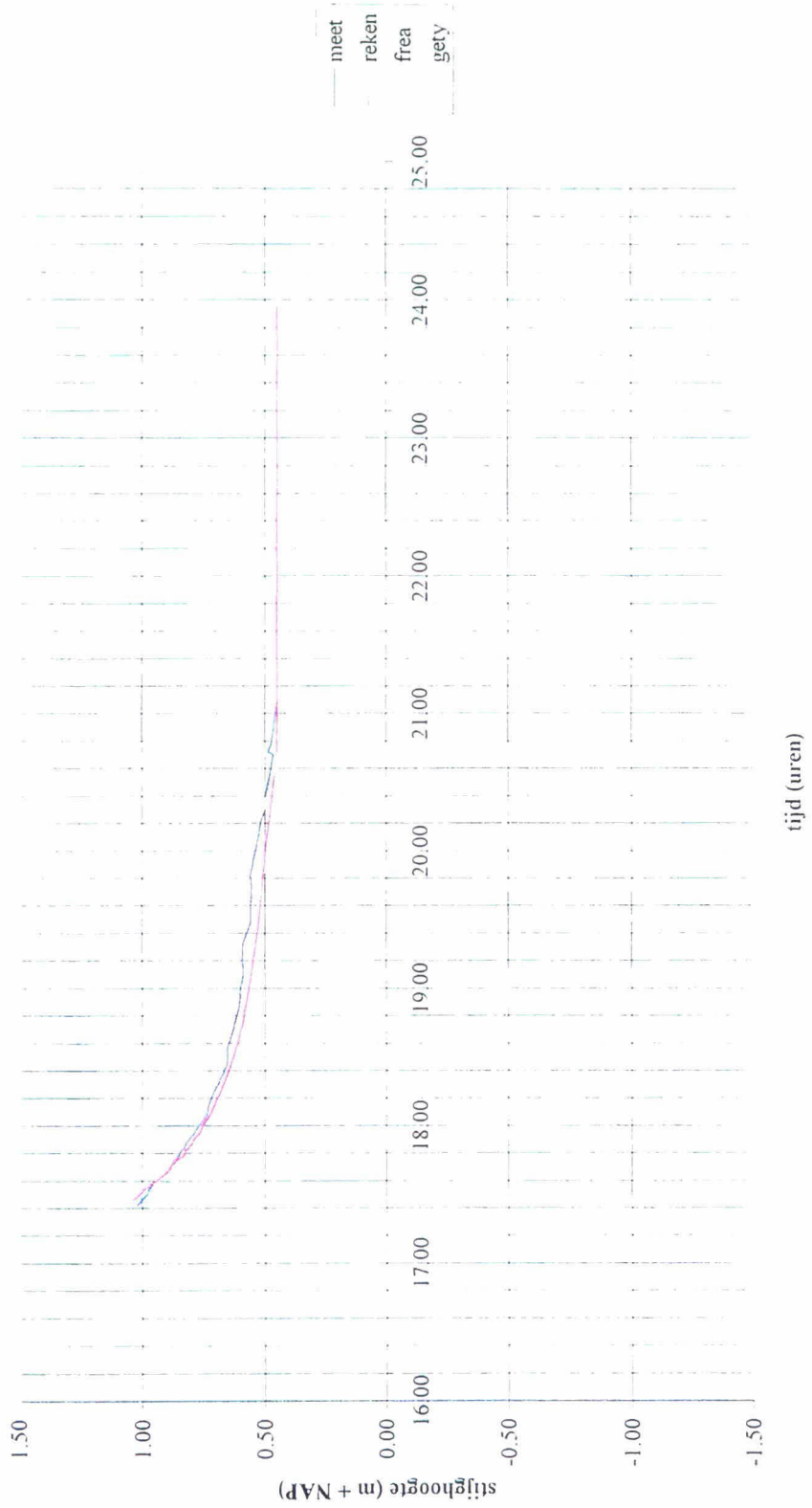
gez.
Std

Resultaat parameterschatting Dp2515

BIJL. 7

form.
A4

2935 parameterschatting dro5



Stieltjesweg 2, 2628 CK DELFT
Postbus 69, 2600 AB DELFT

Telefoon (015) 269 35 00
Telefax (015) 261 08 21

Homepage:
www.geodelft.nl

datum
2000-06-13

get.
Log

Geavanceerde toetsing Waarde en Westveerpolder
Interpretatie getijmetingen

388710

gez.
Std

Resultaat parameterschatting Dp2935

BIJL. 8

form.
A4

3725 parameterschatting Dro 5



Stieltjesweg 2, 2628 CK DELFT
Postbus 69, 2600 AB DELFT

Telefoon (015) 269 35 00
Telefax (015) 261 08 21

Homepage:
www.geodelft.nl

datum
2000-06-13

get.
Log

Geavanceerde toetsing Waarde en Westveerpolder
Interpretatie getijmetingen

388710

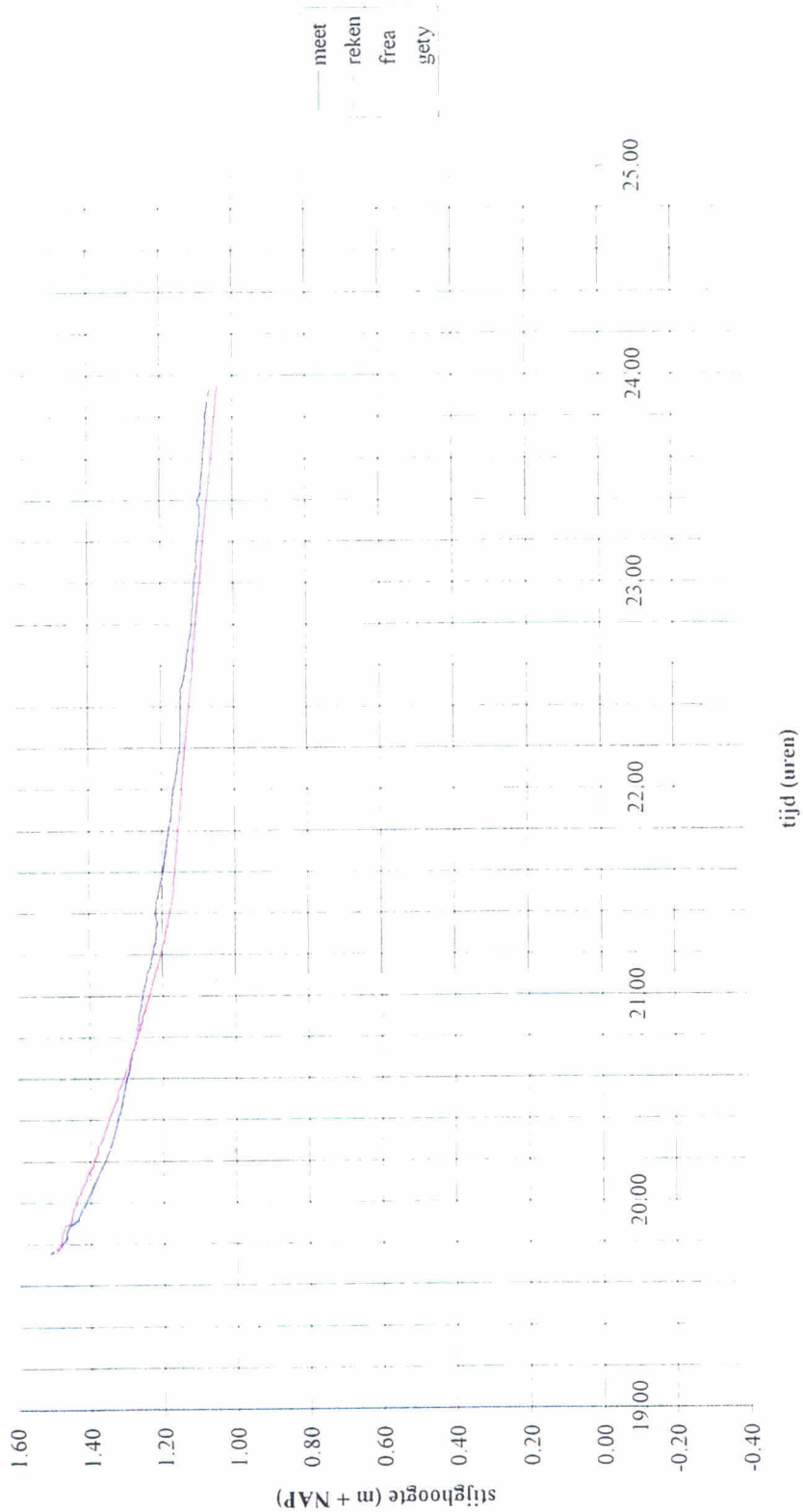
gez.
Std

Resultaat parameterschatting Dp3725

BIJL. 9

form.
A4

3900 parameterschatting dro 7



Stieltjesweg 2, 2628 CK DELFT
Postbus 69, 2600 AB DELFT

Telefoon (015) 269 35 00
Telefax (015) 261 08 21

Homepage:
www.geodelft.nl

datum
2000-06-13

get.
Log

Geavanceerde toetsing Waarde en Westveerpolder
Interpretatie getijmetingen

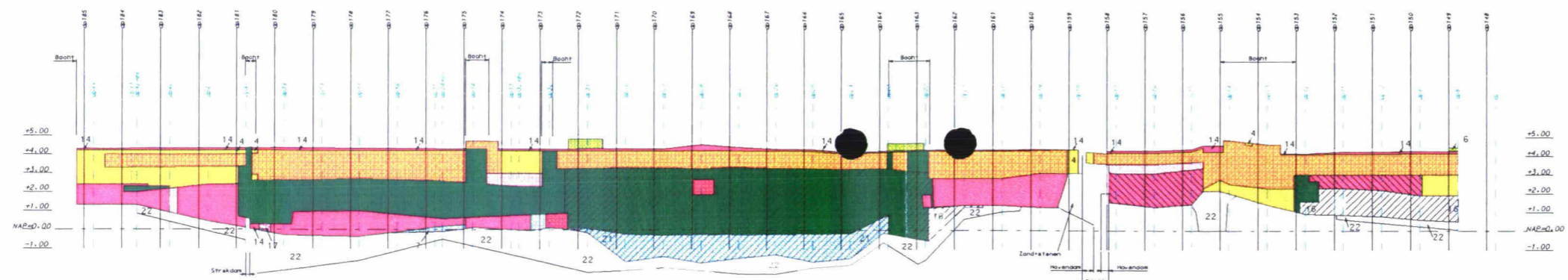
388710

gez.
Std

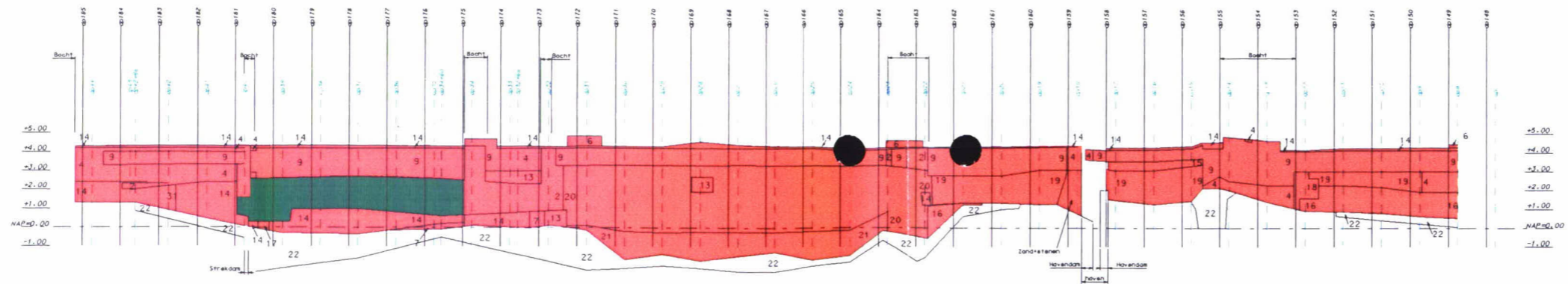
Resultaat parameterschatting Dp3900

BIJL. 10

form.
A4



- Legenda
- 1 asfalt
 - 2 basalt
 - 3 betonzuilen
 - 4 betonslakken
 - 5 diobalblokken
 - 6 doorgroefstenen
 - 7 doornikke steen
 - 8 pools graniet
 - 9 harlingarablakken
 - 10 hyarablakken
 - 11 koperalablakken
 - 12 leistelijke steen
 - 13 perit granit
 - 14 vliivoordse steen
 - 15 gronitblokken
 - 16 stortsteen-asfalt
 - 17 gebakken steen
 - 18 basalt-beton
 - 19 vliivoordse steen-beton
 - 20 basalt-asfalt
 - 21 doornikke steen-asfalt
 - 22 stortsteen
 - dijsloot oud



- Legenda
- 4 goud
 - 19 vliivoordse steen
 - 18 basalt-beton
 - 22 stortsteen


 Waterschap Zeeuwse Eilanden
 Datum: 07-05-1999

| | | | |
|---|--|---------------------|-----------------|
| FILENAAM: n:\projecten\gd\388710\milieu\tekeningen\388710-001  Stieltjesweg 2, 2628 CK DELFT Postbus 69, 2600 AB DELFT Geavanceerde Toetsing Waarden Westveer Polder Overzicht aanwezige Bekledingen eindscores | Telefoon (015) 269 35 00 Telefax (015) 261 08 21 Homepage: www.geodelft.nl | datum 2000-06-14 | get. Loo |
| | | CO-388710 | gez. Std |
| | | BIJL. 11 | form. A 3 |



Foto 1 Overlagingsconstructie van met asfalt gepenetreerde stortsteen. Overzicht van de locatie. Genomen bij km 14,9 in westelijke richting.



Foto 2 Gat in de overlaging bij km 15.



Foto 3 Detail van de overlaging (km 15).



Foto 4: De overgangsberm aan de bovenzijde van de bekleding (km 15).



Foto 5: Overzicht van de locatie met beton gepenetreeerde Vilvoordse steen. Genomen bij km 15,8 in oostelijke richting.



Foto 6 Aantasting van de overgieting (km 15,7).



Foto 7 Hier is kennelijk een schade in de Vilvoordse steen gerepareerd (km 15,7)



Foto 8 Gat in de gepenetreerde Vilvoordse steen (km 15,7).



Foto 9 Bocht in het derde gedeelte: begin van het vak met asfalt gepenetreerde basalt (km 16,3, in westelijke richting genomen).



Foto 10 Plaatselijk is de penetratie verdwenen (km 16,3).



Foto 11 Onder de blokken heeft uitspoeling plaatsgevonden (km 16,3).

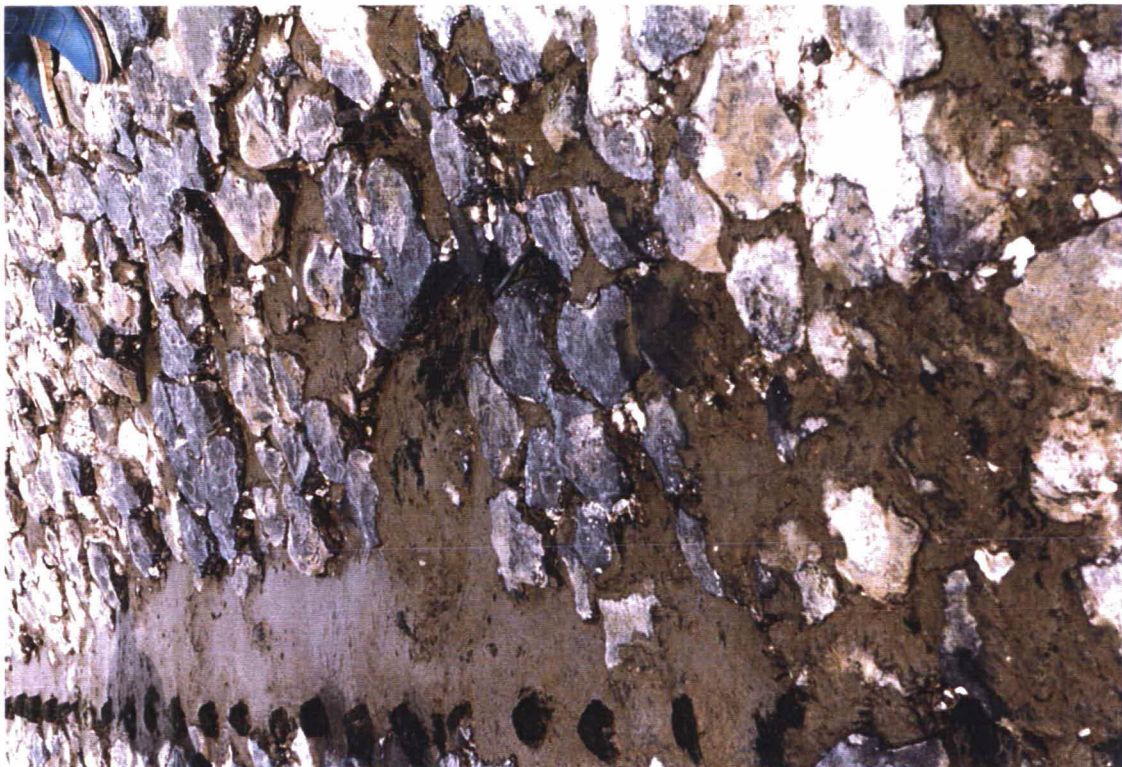


Foto 12 Plateau in de bekleding, waarvan de functie niet bekend is (km 16,4).



Foto 13 Overzicht van het rechte stuk van de met asfalt gepenetreerde basalt (km 16,4, genomen in westelijke richting)..



Foto 14 Deel van de penetratie is verdwenen (km 16,4).



Foto 15 Gat in de bekleding bij km. 16,6. Er blijkt nog water onder de bekleding aanwezig te zijn.



Foto 16 Het proefvak met de basalt die op een vlakke ondergrond is gezet. Foto genomen bij km 16,6 in westelijke richting.



Foto 17: Een deuk in het talud (km 16,9).



Foto 18 De naden tussen de zuilen zijn leeggespoeld (km 16,9).

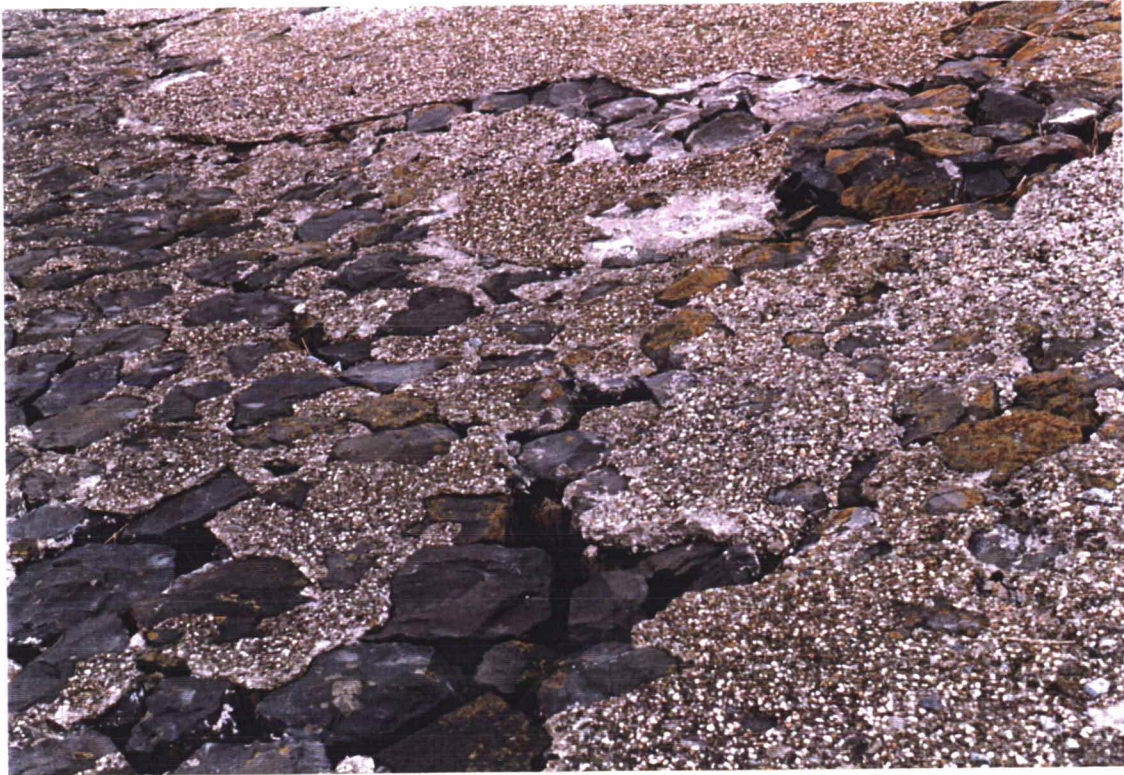


Foto 19 Beeld van de betonpenetratie, en de kale plekken daarin (km 17,3).



Foto 20 Verzakking van een deel van het talud (km 17,3).



Foto 21 De betonpenetratie is op dit gedeelte beter blijven zitten (km 17,4).



Foto 22 Gat in de bekleding, met loshangende, kleine zuil (km 17,4).

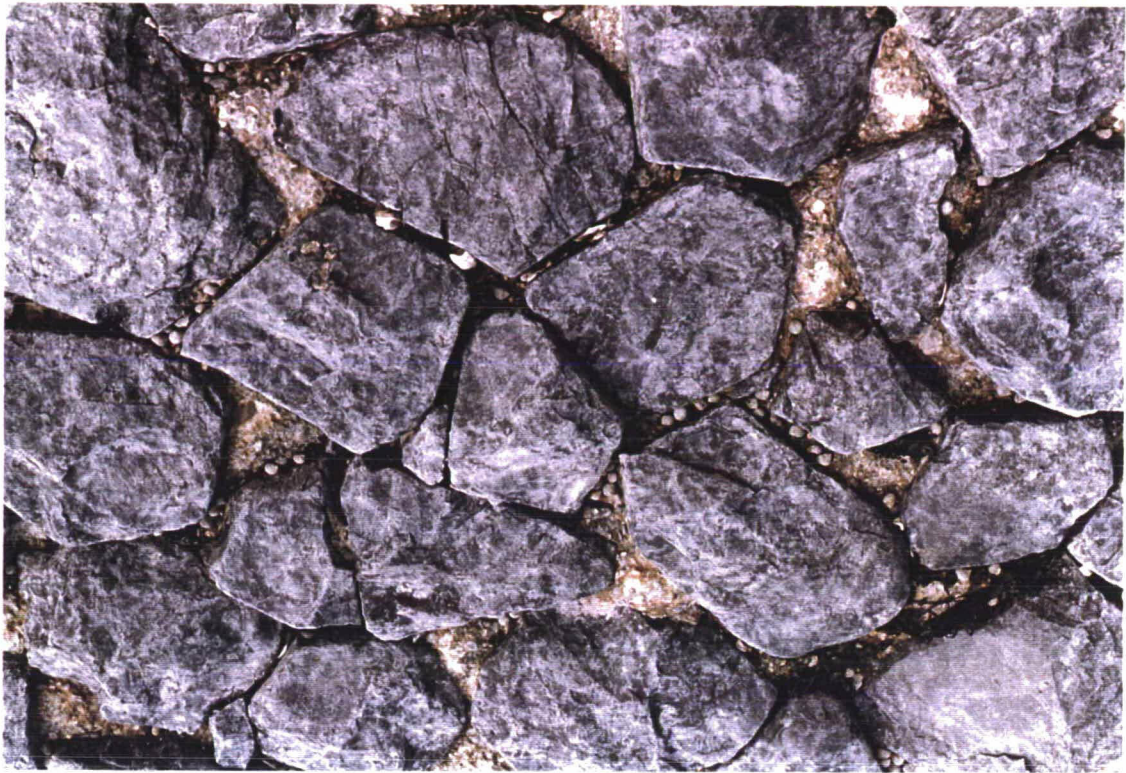


Foto 23 Beeld van de betonpenetratie (km 17,45).



Foto 24 Overzicht van het vak waar de penetratie asfalt blijkt te zijn in plaats van beton (km 17,6, foto genomen in westelijke richting).



Foto 25 Gat in de bekleding: de penetratie blijkt tot onderin de spleten te zijn doorgedrongen (km 17,6).



Foto 26 In de bekleding zitten plaatsen waar de penetratie is verdwenen (km 17,7).

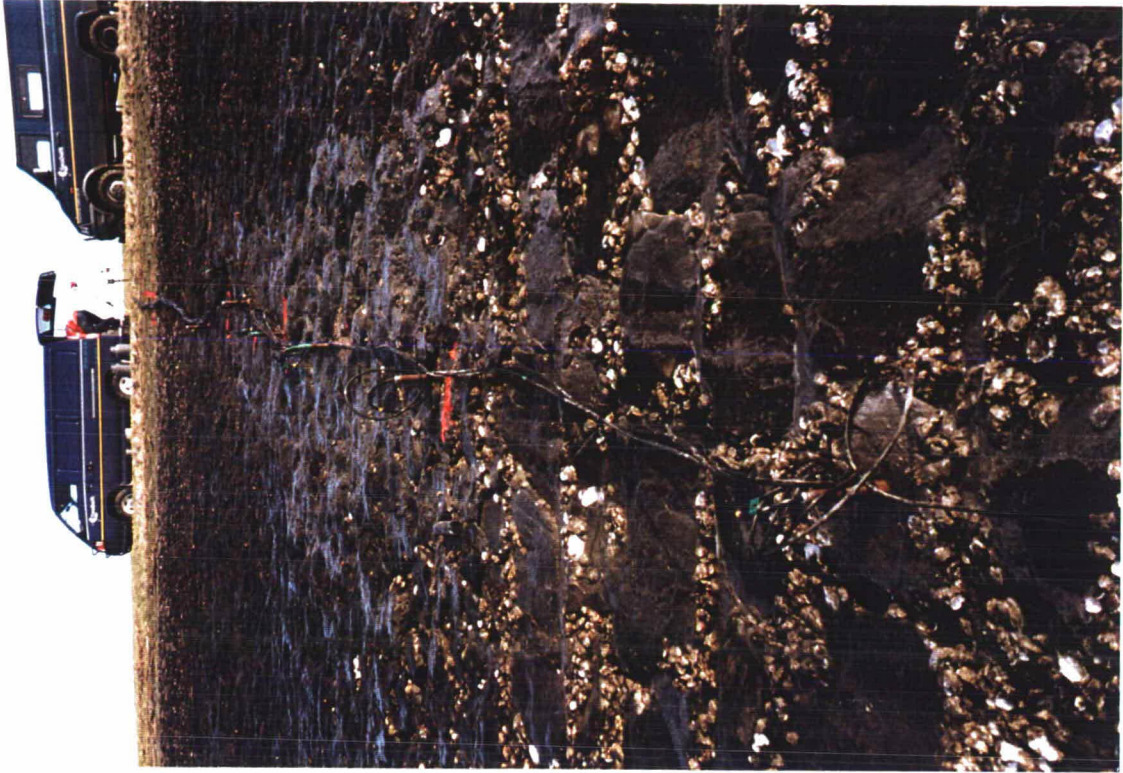


Foto 27 Meetopstelling van de getijmeting bij dp 29+35m in bekledingsvak 16203 en 16501



Foto 28 Meetopstelling van de getijmeting bij dp 37+25m in bekledingsvak 17299



Postbus 69
NL-2600 AB Delft
Stieltjesweg 2
NL-2628 CK Delft
Telefoon (015) 269 35 00
Telefax (015) 261 08 21
info@geodelft.nl
www.geodelft.nl