

# Waterdrukproeven op ingeslibde bekledingen

Door: Ruud Bosters

Datum: 15 december 2004

## Inhoud

<b>1. Inleiding</b>	1
<b>2. Voorgeschiedenis</b>	1
<b>3. Doelstelling</b>	2
<b>4. Proeflocaties</b>	2
<b>5. Proefbeschrijving</b>	2
5.1 Opstelling	2
5.2 Uitvoeringswijze	3
<b>6. Vlissingen - De Nolle, ingezande basalt</b>	4
6.1 Algemene gegevens	4
6.2 Verslag van de proeven	5
<b>7. Vlietpolder - Wissenkerke, ingeslibde basalt</b>	6
7.1 Algemene gegevens	6
7.2 Verslag	7
<b>8. Kapellebank - Willem-Anna polder, ingeslibde Hydroblocks</b>	8
8.1 Algemene gegevens	8
8.2 Verslag	9
<b>9. Oesterdam, ingeslibde koperslakblokken</b>	10
9.1 Algemene gegevens	10
9.2 Verslag	11
<b>10. Kruiningen - Den Inkel, ingegoten basalt</b>	12
10.1 Algemene gegevens	12
10.2 Verslag	13
<b>11. Analyse proefresultaten en conclusies</b>	14
11.1 Samenvatting observaties	14
11.2 Analyse proeven	14
11.3 Vergelijking met de maatgevende situatie	15
11.4 Vervolgonderzoek	16

# 1. Inleiding

Ingevolge de Wet op de Waterkering dienen steenbekledingen, als onderdeel van de waterkering, vijfjaarlijks getoetst te worden conform de Leidraad Toetsen op Veiligheid. In de praktijk kan op basis van de huidige wetenschappelijke kennis aan veel steenbekledingen geen definitief toetsoordeel toegekend worden.

In 2003 is daarom door de Dienst Weg- en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat het Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen opgestart. Het doel van dit programma is het reduceren van kennisleemtes teneinde te komen tot scherpere toetsregels en daarmee sneller en vaker tot definitieve toetsresultaten.

Binnen dit onderzoeksprogramma heeft voorliggend verslag betrekking op onderdeel 7.5: “Invloed van dichtslibbing”. In dit kader zijn in oktober 2004 op vijf locaties in Zeeland ‘kijkproeven’ uitgevoerd waarbij via een buis door de toplaag water het filter is ingeperst, teneinde na te gaan hoe een ingeslibde of ingezande bekleding hierop reageert.

## 2. Voorgeschiedenis

Al langere tijd wordt verondersteld dat ingeslibde of ingezande bekledingen een grotere sterkte hebben dan open bekledingen, en dat dit voordeel op zou kunnen leveren bij de toetsing. Dit is gebaseerd op de gedachte dat een ingeslibd filter minder doorlatend is, waardoor de watertoevoer traag is en zich minder waterdruk in het filter kan ontwikkelen, met als gevolg een kleinere belasting en minder schade aan de toplaag.

Aan de andere kant zou in theorie een ingeslibde bekleding ook zwakker zou kunnen zijn, indien de toplaag wél, maar het filter niet ingeslibd is. Overigens is dit in de praktijk nog nooit waargenomen.

Om de extra sterkte aan te tonen zijn in 2002 twee infiltratieproeven gedaan op een ingeslibde granietbekleding aan het dijkvak Mosselbanken bij Dow Chemical in Terneuzen. Daarbij werd evenals bij de proeven op ingegoten bekledingen water geïnfiltreerd via een sleuf aan de bovenzijde van de bekleding teneinde de toplaag via het filter onder druk te zetten. Het geïnfiltreerde water liep echter met name het dijklichaam in, waardoor onvoldoende overdrukken ontstonden om conclusies te kunnen trekken omtrent de sterkte en bestendigheid van ingeslibde bekledingen.

De ervaring aan de Mosselbanken resulteerde in het idee om een proef te doen waarbij de waterdruk rechtstreeks in het filter aangebracht wordt via een buis door de toplaag. Dit idee is nader uitgewerkt en op 14, 15 en 19 oktober 2004 zijn op vijf locaties in Zeeland waterdrukproeven op ingeslibde en ingezande bekledingen uitgevoerd.

### 3. Doelstelling

Doel van de proeven is meer inzicht te krijgen in het gedrag van ingeslibde bekledingen, teneinde eventueel vervolgonderzoek scherper te kunnen definiëren. De belangrijke onderzoeksvragen bij de proeven zijn:

1. Kan de bekleding een grote waterdruk weerstaan?
2. Is de inslibbing bestendig of treedt bij maatgevende omstandigheden erosie van filter en inwasmateriaal in de toplaag op, zodat de bekleding zijn oorspronkelijke eigenschappen als open bekleding terugkrijgt?

De invloed van golfklappen of de simulatie daarvan is niet aan de orde geweest.

### 4. Proeflocaties

Daar het hoofddoel van de proeven was om meer inzicht te krijgen in het gedrag van ingeslibde bekledingen in het algemeen, is gezocht naar locaties die onderling duidelijk verschilden in toplaag en aard van de inslibbing. Uiteindelijk zijn de volgende locaties geselecteerd:

1. Vlissingen (De Nolle): Ingezande bekleding van basalt;
2. Vlietepolder (Wissenkerke): Ingeslibde bekleding van basalt;
3. Kapellebank (Willem-Anna polder): Ingeslibde bekleding van Hydroblocks;
4. Oesterdam: Ingeslibde bekleding van koperslabblokken;
5. Kruijningen (Den Inkel): Ingegaten bekleding van basalt.

De bekleding in Kruijningen is geen ingeslibde bekleding, d.w.z. de bekleding is niet alleen ingeslibd, maar ook ingegaten. De locatie Kruijningen was m.n. geselecteerd om een vergelijking te kunnen maken met de infiltratieproef (met sloot bovenaan de bekleding) die aldaar is uitgevoerd in 2001.

Op elke locatie waren 3 à 4 stalen buizen in de ondertafel aangebracht. Per dag bleken twee locaties (totaal 7 à 8 buizen) beproefd te kunnen worden.

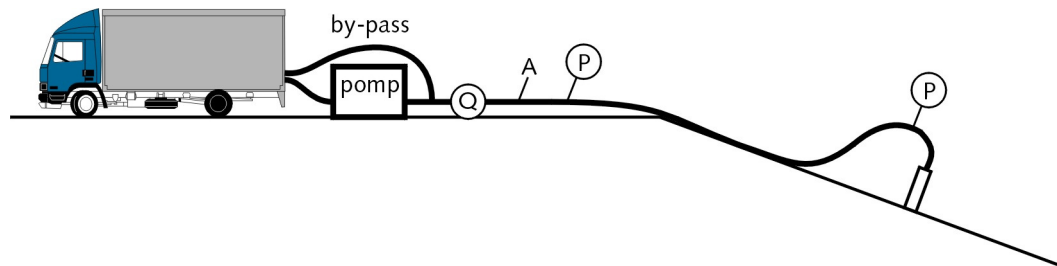
### 5. Proefbeschrijving

#### 5.1 Opstelling

De proefopstelling moest het directe contact tussen het filter en een instelbare waterdruk mogelijk maken. Hiertoe werd vooraf in de toplaag een gat geboord tot op het filter, met een diameter  $\varnothing$  10 cm. Hierin werd een stalen buis  $\varnothing$  5 cm geplaatst. De buizen hadden een lengte van 0,75 m en staken daarmee 0,4 à 0,5 m boven de bekleding uit. De resterende ruimte in het boorgat werd gevuld met snelcement, om de stalen buis naadloos te verbinden met de toplaag.

Aan de bovenzijde was de stalen buis voorzien van schroefdraad. Hierop werd een koppelstuk gedraaid dat voorzien was van een drukmeter. Op het koppelstuk werd een waterslang aangesloten, die naar de pomp leidde.

De pomp stond op de berm en werd gevoed door een waterreservoir, in de vorm van een met water gevulde tankwagen (inhoud  $45 \text{ m}^3$ ) of een gierkar (inhoud  $5 \text{ m}^3$ ). Direct achter de pomp waren achtereenvolgens een by-pass, een debietmeter, een afsluiter en een drukmeter aangebracht, zie figuur 1. De by-pass en de afsluiter dienden om de druk in te kunnen regelen tussen ca. 0,2 en 3 bar. Hiertoe kon de by-pass geknepen worden.



Waarin:

Q : Debietmeter

A : Afsluiter

P : Drukmeter

*Figuur 1: Proefopstelling*

## 5.2 Uitvoeringswijze

Allereerst werd een falling head proef gedaan: Met een emmer werd de stalen buis gevuld, waarna de daalsnelheid van de waterspiegel werd gemeten.

Vervolgens werden het koppelstuk en de waterslang aangebracht en verbonden met de pomp. De afsluiter onder de pomp werd opengezet, zodat het water onder vrij verval vanuit de tankwagen naar beneden kon stromen. Daar de stalen buizen zich op de benedentafel (NAP +1 à +2 m) bevonden en het waterniveau in de tankwagen zo'n 3 m boven de berm lag, kon hiermee meteen al een druk van zo'n 6 à 8 mWk ontstaan.

Vervolgens werd de pomp aangezet en in stappen van ruwweg 0,5 bar opgevoerd tot maximaal 3 bar (30 mWk). De referentie (nul-waarde) voor alle hier gegeven drukken is daarbij de atmosferische druk.

Bij elk waterdrukkniveau is geobserveerd en genoteerd hoe de bekleding reageerde. Voorts zijn debietmetingen gedaan en is op één locatie tevens de verticale verplaatsing van de toplaag gemeten.

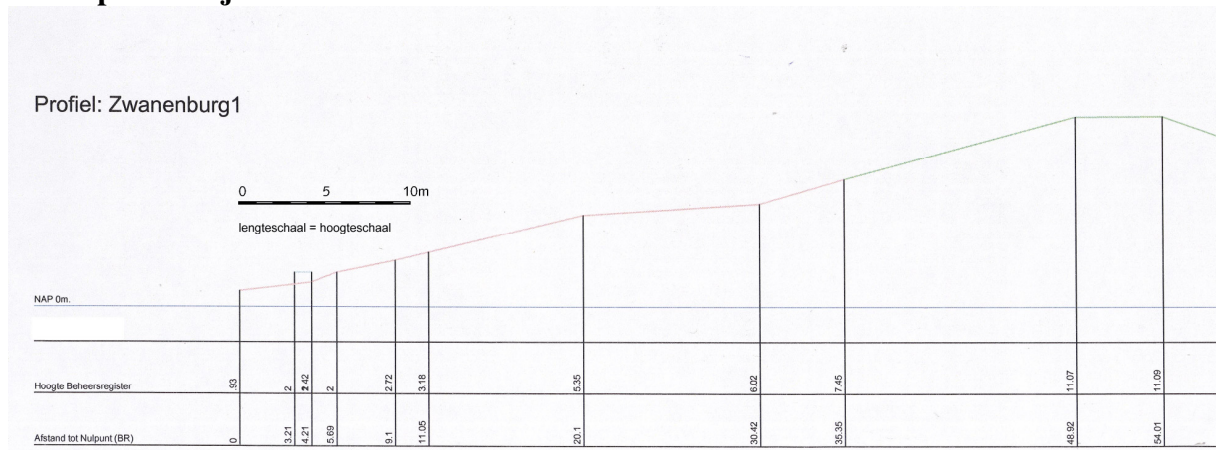
## 6. Vlissingen - De Nolle, ingezande basalt

### 6.1 Algemene gegevens

**Exacte locatie:** De locatie ligt aan de Zwanenburgseweg te Vlissingen, en betreft een duinvoetverdediging juist ten noorden van het strand "De Nolle", tussen dijkpaal 329 en 330.

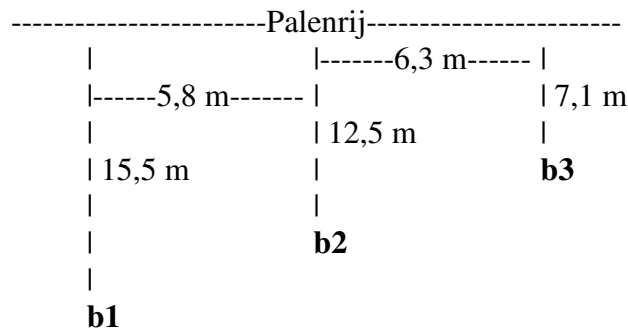
**Datum:** De proeven zijn uitgevoerd op 14 oktober 2004.

#### Dwarsprofiel dijk:



Figuur 2: Dwarsprofiel Vlissingen - De Nolle

#### Situatietekening:



Waarin **b** = stalen buis;

Alle afstanden zijn gemeten langs het talud.

#### Opbouw bekleding

Buis	Toplaag	D <sub>toplaag</sub>	Onderlagen
b1	Basalt	0,41 m	Uitvullaag van puin op vlijlagen van baksteen
b2		0,38 m	
b3		0,37 m	

**Inslibbing:** Zowel toplaag als onderlagen waren ingezand met matig grof zand.

**Voorland:** Noordzeestrand bestaande uit matig grof zand.

## 6.2 Verslag van de proeven

De mate van inzanding van de toplaag en het niveau van het strand bleken bij verschillende bezoeken zeer wisselend te zijn. De toplaag is zowel volledig ingezand als vrijwel schoon gezien, het strandniveau lag op de proefdag ca. 1 m hoger dan bij het plaatsen van de buizen. Op de dag van de proef was de onderste buis (b1) geheel met zand bedekt en bleek na opgraven ook tot 12 cm onder de rand van de buis met zand gevuld te zijn.

**Buis b1:** Na de falling head proef (zie paragraaf 5.3) werd bij buis b1 stapsgewijs de waterdruk tot 2 bar opgebouwd. Hierbij was er geen debiet en geen zichtbare vervorming.

**Buis b2:** Bij een druk van ca. 1 bar werd een debiet van 8,3 l/min gemeten. Na enige tijd viel de druk weg en werd het volgende waargenomen:

1. Rond de buis begon er water uit het talud te stromen;
2. Enige tientallen seconden later: Op enige meter afstand werden er aan de teen bubbeltjes in het zand waargenomen;
3. Weer enige tientallen seconden later: Er ontstond een wel op 4 m afstand in het zand aan de teen;
4. Weer enige tientallen seconden later: In de lager gelegen (en eerder beproefde) buis b1 begon water op te wellen en uit te stromen. Op 7 m afstand ontstond aan de teen een tweede wel.

Er kon geen druk meer opgebouwd worden en het debiet liep op tot een eindwaarde van 30 à 35 l/min. Opmerkelijk was dat er water uit buis b1 ging stromen, terwijl het niet gelukt was om er water in te persen.

Na de proef is een zuil bij buis b2 uitgebroken. Hieronder werd veel zand, wat grind (uitvulling of inwassing) en een vlijlaag aangetroffen. Het met een emmer ingekapte water bleek snel weg te zakken. Ter vergelijking werd verderop op dezelfde hoogte eveneens een zuil uitgebroken. Hoewel hieronder hetzelfde materiaal aanwezig was, zakte het ingekapte water aldaar niet weg.

**Buis b3:** De druk werd opgevoerd tot 2 bar, waarbij er een beperkt debiet was van 2,7 à 3 l/min. Er werd geen uitstroming waargenomen.

### Metingen

Buis	Falling headproef	Drukproef; druk + debiet
b1	$v_{\text{daal}} = 0,1 \text{ cm/min}$	Tot $P_{\text{max}} = 2 \text{ bar}$ : $Q = 0$
b2	$v_{\text{daal}}(t = 0 \text{ tot } t = 2') = 8 \text{ cm/min}$ $v_{\text{daal}}(t = 2' \text{ tot } t = 4') = 4,5 \text{ cm/min}$ $v_{\text{daal}}(t = 4' \text{ tot } t = 6') = 3,5 \text{ cm/min}$ $v_{\text{daal}}(t = 6' \text{ tot } t = 8') = 2 \text{ cm/min}$	$P = 1 \text{ bar}$ : $Q = 8,3 \text{ l/min}$ $Q_{\text{eind}} = 30 \text{ l/min}$
b3	$v_{\text{daal}}(t = 0 \text{ tot } t = 1') = 19 \text{ cm/min}$ $v_{\text{daal}}(t = 1' \text{ tot } t = 2') = 13 \text{ cm/min}$	$P = 0,8 \text{ bar}$ : $Q = 3 \text{ l/min}$ $P = 2 \text{ bar}$ : $Q = 2,7 \text{ l/min}$

Waarin:

$v_{\text{daal}}$  = Daalsnelheid van water in buis bij falling head proef

$P_{\text{max}}$  = Maximaal op de buis aangebrachte druk

$Q_{\text{eind}}$  = Einddebiet door de buis, na het wegvallen van de druk

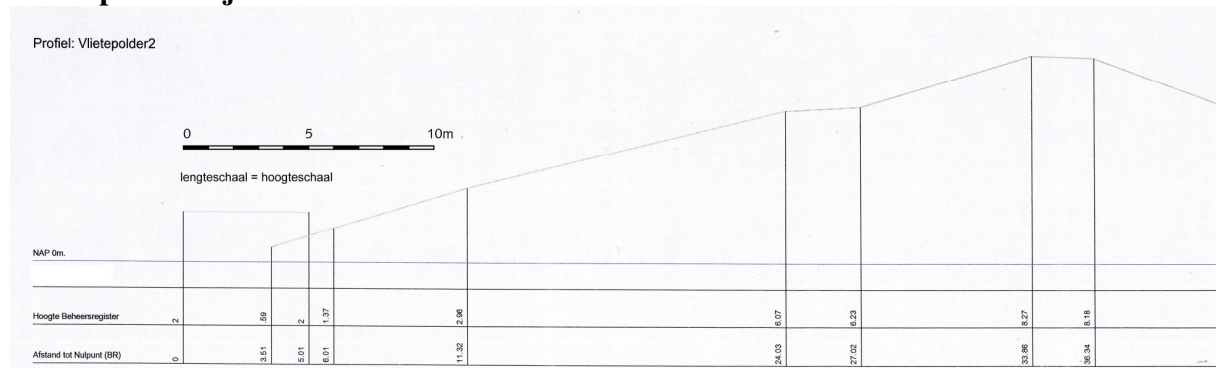
## 7. Vlietepolder - Wissenkerke, ingeslibde basalt

### 7.1 Algemene gegevens

**Exacte locatie:** De locatie bevindt zich 1,5 km ten noordoosten van Wissenkerke, aan de zeedijk langs de Oosterschelde, ter hoogte van de boerderij “Zeelucht” en dijkspaal 1872.

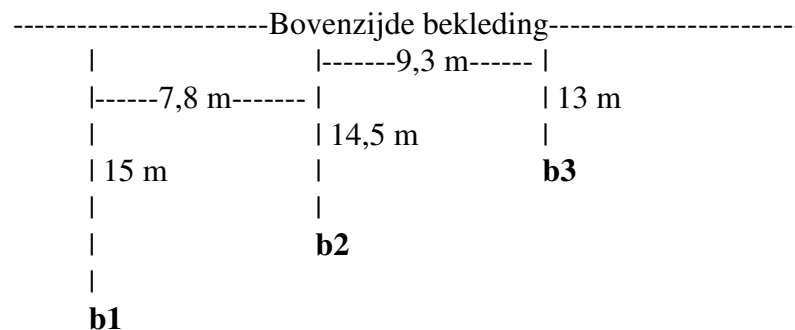
**Datum:** De proeven zijn uitgevoerd op 14 oktober 2004.

#### Dwarsprofiel dijk:



Figuur 3: Dwarsprofiel Vlietepolder - Wissenkerke

#### Situatietekening:



Waarin **b** = stalen buis;  
Alle afstanden zijn gemeten langs het talud.

#### Opbouw bekleding

Buis	Toplaag	D <sub>toplaag</sub>	Onderlagen
b1	Basalt	0,29 m	Uitvullaag van puin op vlijlagen van baksteen
b2		0,32 m	
b3		0,33 m	

**Inslibbing:** Zowel toplaag als onderlagen waren ingezand met fijn zand en schelpen.

**Voorland:** Oosterscheldestrand bestaande uit fijn zand en schelpen.

## 7.2 Verslag

Bij de proeven werd met de drukketer ter plaatse van de buizen weinig of geen druk gemeten. De drukketer leek defect, omdat ook bij een volle slang de meter niet uitsloeg, ook niet als de slang bijvoorbeeld met de voet ingedrukt werd.

**Buis b1:** Rondom de buis bevond zich op de toplaag 10 cm zand en schelpen. Na aansluiting op de watertank ontstond er onder vrij verval direct een groot debiet en begon er water uit de toplaag te stromen, eerst nabij de buis, later op diverse plaatsen in de omgeving. Er ontstonden wellen aan de (met zand en schelpen bedolven) teen. Na in werking stellen van de pomp, ontstonden nog veel grotere wellen waaruit donker slib stroomde. Ook waren bubbeltjes en uittredend water waarneembaar tot 1 m hoger op het talud. Na de proef is de zuil met de buis uitgebroken. Onder de naastliggende zuil waren stroomkanalen zichtbaar. Met een emmer ingekapt water liep direct weg.

**Buis b2:** Na de falling head proef werd de watertank aangesloten en ontstonden er onder vrij verval direct een groot debiet en kleine lekken rond de proefzuil. Er trad echter weinig water uit. Later ontstonden grote wellen aan de bedolven teen, op 3 m afstand onder de buis, waarbij het uitstromende water bruin en sterk slibhoudend was. Er werd een debiet gemeten van 17 l/min, maar gezien de omvang van de wellen is dit waarschijnlijk een incorrecte meting, hetgeen wordt geweten aan het scheef staan van de debietmeter. Het werkelijke debiet wordt geschat op 40 à 50 l/min.

Na de drukproef is nogmaals een falling head proef gedaan, waarbij het water zeer snel wegzakte.

**Buis b3:** Na aansluiting op de watertank ontstonden er onder vrij verval direct een groot debiet en lekken rondom de proefzuil. Vervolgens ontstonden kleine wellen op enige meter afstand richting teen en weer wat later twee wellen aan de teen, die onder water stond. Door deze wellen werd veel slib meegevoerd.

### Metingen

Buis	Falling headproef	Drukproef; druk + debiet
b1	$v_{\text{daal}}(t = 0 \text{ tot } t = 5') = 1,8 \text{ cm/min}$ $v_{\text{daal}}(t = 5' \text{ tot } t = 7') = 0,5 \text{ cm/min}$	$Q_{\text{eind}} = 40 \text{ l/min}$
b2	$v_{\text{daal}}(t = 0 \text{ tot } t = 1') = 6 \text{ cm/min}$ $v_{\text{daal}}(t = 1' \text{ tot } t = 3') = 4,5 \text{ cm/min}$ $v_{\text{daal}}(t = 3' \text{ tot } t = 4') = 5 \text{ cm/min}$	$Q_{\text{eind}} \approx 40 \text{ à } 50 \text{ l/min (schatting)}$
b3	$v_{\text{daal}} = 0$	$Q_{\text{vrij verval}} = 29 \text{ l/min}$ $Q_{\text{eind}} = 46 \text{ l/min}$

Waarin:

$v_{\text{daal}}$  = Daalsnelheid van water in buis bij falling head proef

$Q_{\text{eind}}$  = Einddebiet door de buis, na het wegvallen van de druk



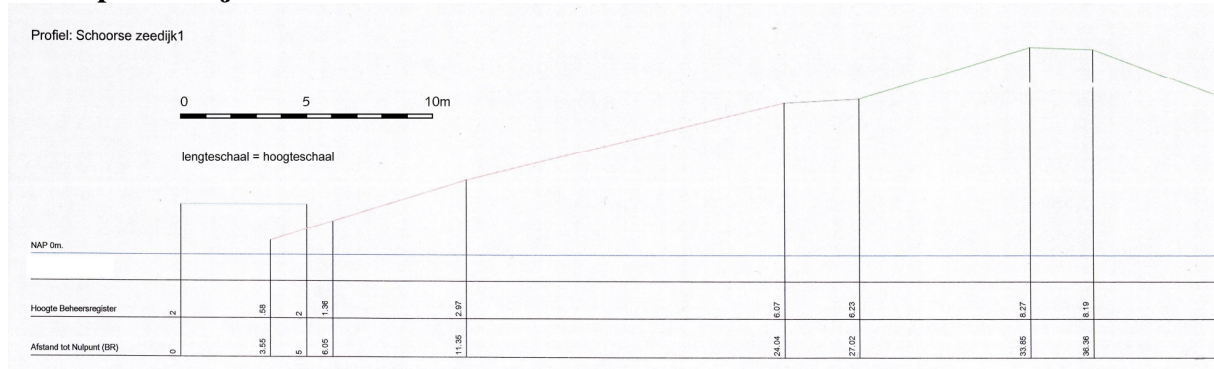
## 8. Kapellebank - Willem-Anna polder, ingeslibde Hydroblocks

### 8.1 Algemene gegevens

**Exacte locatie:** De locatie ligt 2 km ten westen van Schore, aan de zeedijk langs de Westerschelde, ter hoogte van het zuidelijke eind van de Schoorse Oudedijk, bij dijkpaal 289.

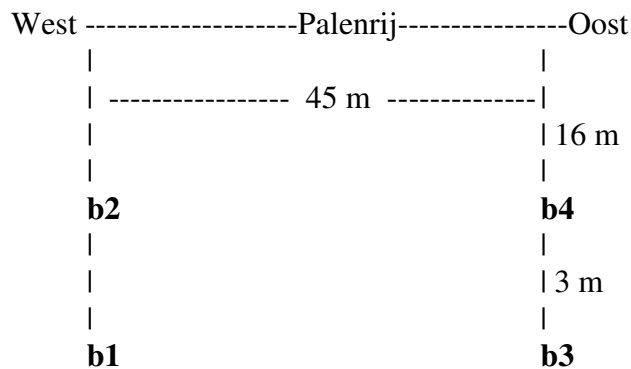
**Datum:** De proeven zijn uitgevoerd op 15 oktober 2004.

#### Dwarsprofiel dijk:



Figuur 4: Dwarsprofiel Kapellebank - Willem-Anna polder

#### Situatietekening:



Waarin **b** = stalen buis;

Alle afstanden zijn gemeten langs het talud.

#### Opbouw bekleding

Toplaag	$D_{\text{toplaag}}$	Onderlaag
Hydroblock	0,40 m	Doornikse steenslag 20-40 mm

**Inslibbing:** Zowel toplaag als onderlaag waren ingeslibd met klei en fijn zand (slib). Voorts waren enige schelpjes aanwezig.

**Voorland:** Slikgebied bestaande uit klei en fijn zand (slib).

## 8.2 Verslag

Falling head proeven zijn niet uitgevoerd omdat alle vier de buizen voor de proef vol met water stonden (er was dus weinig of geen doorstroming).

**Buis b1:** Na het aansluiten op de watertank is er direct een groot debiet en is er bij een druk van 0,2 bar uitspoeling rondom de proefzuil. Bij een druk van 0,5 bar treedt 1,5 m hoger op het talud water uit. Vervolgens valt de druk weg en ontstaat aan de teen een wel met zandkleurig water.

Na de proef is de zuil met de buis verwijderd. Het filter was goed ingeslibd. Ondanks de goede doorstroming tijdens de proef, liep ingekapt water niet weg.

**Buis b2:** Tot een druk van 1,8 bar is er geen debiet. Vervolgens treedt er een hydraulische breuk op, valt de druk weg en ontstaat een groot debiet van 158 l/min. Bruin, zandig water stroomt uit de toplaag rondom de buis en ook uit de eerder beproefde buis b1.

Na de proef is de zuil met de buis verwijderd. Ook hier was het filter goed ingeslibd en liep ingekapt water vreemd genoeg nauwelijks weg ( $v_{\text{daal}} = 1 \text{ cm/min}$ ).

**Buis b3:** De druk werd stapsgewijs opgevoerd tot 2,3 bar en een vijftal minuten vastgehouden. Er trad geen debiet op en er werd geen hydraulische breuk geforceerd.

**Buis b4:** De druk werd stapsgewijs opgevoerd tot 2,5 bar en een vijftal minuten vastgehouden. Er trad geen debiet op en er werd geen hydraulische breuk geforceerd.

### Metingen

Buis	Falling headproef	Drukproef; druk + debiet
b1	$v_{\text{daal}} = 0$	$Q_{\text{vrij verval}} = 34 \text{ l/min}$ $Q_{\text{eind}} = 48 \text{ l/min}$
b2	$v_{\text{daal}} = 0$	Tot $P = 1,8 \text{ bar}$ : $Q = 0$ $Q_{\text{eind}} = 158 \text{ l/min}$
b3	$v_{\text{daal}} = 0$	Tot $P_{\text{max}} = 2,3 \text{ bar}$ : $Q = 0$
b4	$v_{\text{daal}} = 0$	Tot $P_{\text{max}} = 2,5 \text{ bar}$ : $Q = 0$

Waarin:

$P_{\text{max}}$  = Maximaal op de buis aangebrachte druk

$Q_{\text{eind}}$  = Einddebiet door de buis, na het wegvallen van de druk

## 9. Oesterdam, ingeslibde koperlakkblokken

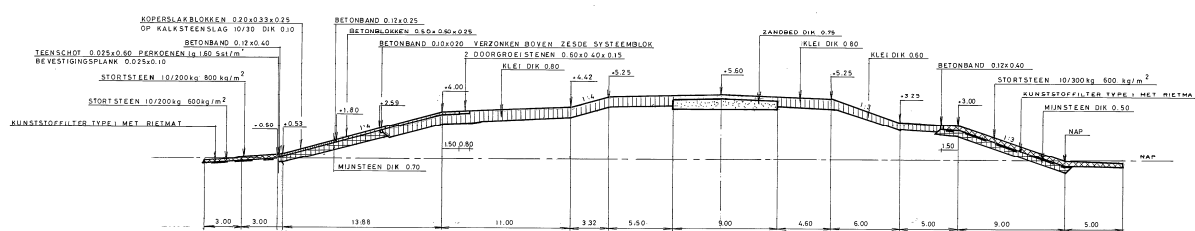
### 9.1 Algemene gegevens

**Exacte locatie:** De locatie ligt langs de Oosterschelde, bij km 3,9 van de Oesterdam.

**Datum:** De proeven zijn uitgevoerd op 15 oktober 2004.

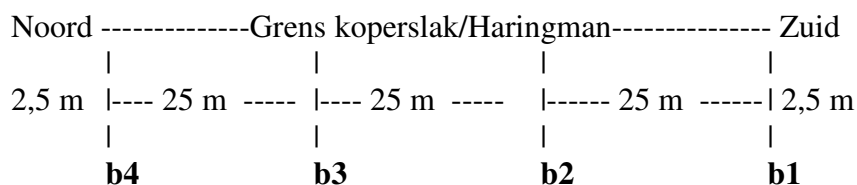
#### Dwarsprofiel dijk:

##### PROFIEL 22-22



Figuur 5: Dwarsprofiel Oesterdam

#### Situatietekening:



Waarin **b** = stalen buis;

Alle afstanden zijn gemeten langs het talud.

#### Opbouw bekleding

Toplaag	LxBxH	Onderlaag
Koperslakkblok	0,20x0,26x0,33 m	Doornikse steenslag 14-20 mm

**Inslibbing:** Zowel toplaag als onderlaag waren ingeslibd met klei en fijn zand (slib).

**Voorland:** Groot slikgebied bestaande uit klei en fijn zand (slib).

## 9.2 Verslag

**Buis b1:** Bij een druk van ca. 1,5 bar komen er 3 stenen lager op het talud luchtbelletjes uit de voegen. Ook in het midden van sommige blokken ontsnappen er luchtbelletjes. Bij een druk van 2,2 bar borrelt het meer intens, tot 8 stenen lager in het talud.

Bij 3 bar wordt het talud iets natter, is plotseling een sterk gesis hoorbaar en treden veel bubbeltjes en water uit tot op enige meters van de buis. De druk valt weg en op 7 m afstand ontstaat een wel aan de teen. Water treedt uit tot 12 m aan weerszijden van de buis.

Na de proef zijn twee blokken uit de glooiing verwijderd. Het uitvullaagje was ingeslibd, maar aan de damzijde was tevens een holte zichtbaar.

**Buis b2:** De druk werd stapsgewijs opgevoerd tot 3 bar en een vijftal minuten vastgehouden. Er trad een beperkt debiet op, maar er werd geen hydraulische breuk geforceerd.

Na de proef is opnieuw een falling head proef gedaan. Er werd gemeten:  $v_{\text{daal}} = 3 \text{ cm/min}$ , hetgeen dus lager was dan voor de proef, waarschijnlijk omdat het filter inmiddels verzadigd was.

Vervolgens zijn 2 blokken uitgebroken. Het filter was ingeslibd en ingekapt water liep niet weg.

**Buis b3:** Er was direct een redelijk debiet, waarbij lekken in de toplaag ontstonden. Het aantal lekken in voegen en midden in de blokken nam samen met het debiet toe. De druk viel hierbij weg.

**Buis b4:** Bij een druk van 1 bar ontsnappen luchtbelletjes tot op 0,5 m rond de buis.

Vervolgens valt de druk weg en ontstaat er een wel aan de teen, 2 m onder de buis. Na wegscheppen van het zand wat de toplaag rond de wel bedekt, blijkt het water vooral uit te stromen door een wat breed uitgevallen dwarsvoeg, op het snijpunt met een langsvoeg.

### Metingen

Buis	Falling headproef	Drukproef; druk + debiet
b1	$v_{\text{daal}}(t = 0 \text{ tot } t = 1') = 13 \text{ cm/min}$ $v_{\text{daal}}(t = 1' \text{ tot } t = 2') = 10 \text{ cm/min}$ $v_{\text{daal}}(t = 2' \text{ tot } t = 3') = 9 \text{ cm/min}$	$P = 0,7 \text{ bar: } Q_{\text{vrij verval}} = 5 \text{ l/min}$ $P = 1,3 \text{ bar: } Q = 5 \text{ l/min}$ $P = 2,2 \text{ bar: } Q = 10 \text{ l/min}$ $P = 2,6 \text{ en } 3 \text{ bar: } Q = 0$ $Q_{\text{eind}} = 25 \text{ l/min}$
b2	$v_{\text{daal}}(t = 0 \text{ tot } t = 1') = 23 \text{ cm/min}$ $v_{\text{daal}}(t = 1' \text{ tot } t = 2') = 13 \text{ cm/min}$  $v_{\text{daal}}(\text{na proef}) = 3 \text{ cm/min}$	$\text{Tot } P = 1,5 \text{ bar: } Q = 0$ $P = 2 \text{ bar: } Q = 3 \text{ l/min}$ $P = 2,5 \text{ bar: } Q = 6 \text{ l/min}$ $P_{\text{max}} = 3 \text{ bar: } Q = 0$
b3	$v_{\text{daal}} = 0$	$P = 0,7 \text{ bar: } Q \text{ stijgt van } 19 \text{ tot } 33 \text{ l/min}$ $Q_{\text{eind}} = 38 \text{ l/min}$
b4	$v_{\text{daal}}(t = 0 \text{ tot } t = 1') = 6 \text{ cm/min}$ $v_{\text{daal}}(t = 1' \text{ tot } t = 2') = 8 \text{ cm/min}$ $v_{\text{daal}}(t = 2' \text{ tot } t = 3') = 5 \text{ cm/min}$	$\text{Tot } P = 0,6 \text{ bar: } Q = 0$ $P = 1 \text{ bar: } Q = 31 \text{ l/min}$ $Q_{\text{eind}} = 24 \text{ l/min}$

Waarin:

$v_{\text{daal}}$  = Daalsnelheid van water in buis bij falling head proef

$P_{\text{max}}$  = Maximaal op de buis aangebrachte druk

$Q_{\text{eind}}$  = Einddebiet door de buis, na het wegvallen van de druk

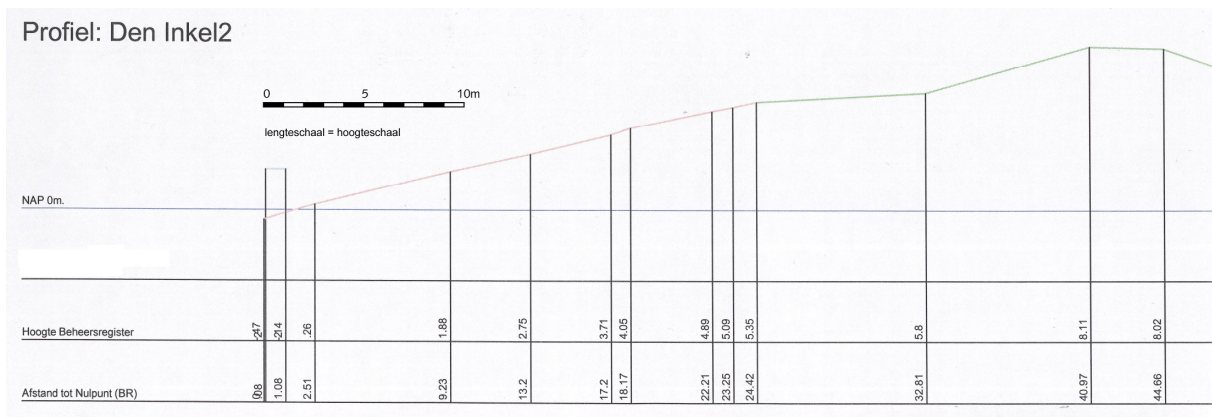
# 10. Kruiningen - Den Inkel, ingegoten basalt

## 10.1 Algemene gegevens

**Exacte locatie:** De locatie bevindt zich aan de zeedijk langs de Westerschelde, 1,5 km ten zuiden van Kruiningen, iets ten oosten van de splitsing tussen Polderweg en Inkeldijk, bij dijkspaal 193.

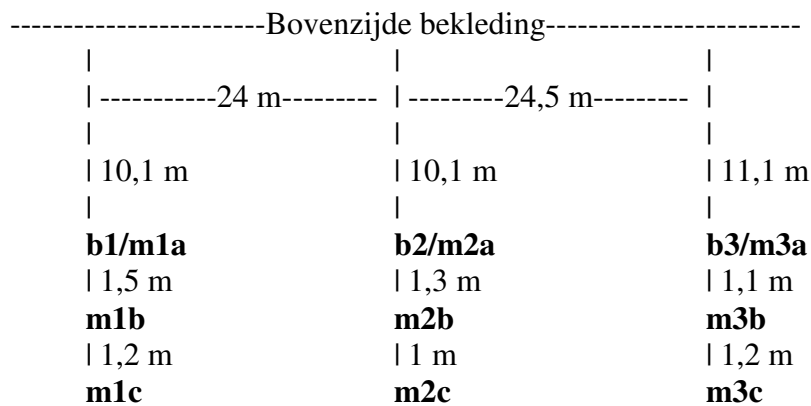
**Datum:** De proeven zijn uitgevoerd op 19 oktober 2004.

### Dwarsprofiel dijk:



*Figuur 5: Dwarsprofiel Oesterdam*

### Situatietekening:



Waarin:

**b** = stalen buis

**m** = meetpunt waterpassing

Alle afstanden zijn gemeten langs het talud.

## Opbouw bekleding

Buis	Toplaag	$D_{\text{toplaag}}$	Onderlagen
b1	Basalt	0,24 m	Puin op vlijlagen, grind
b2		0,26 m	
b3		0,25 m	

**Inslibbing:** N.v.t. (ingegoten).

**Voorland:** Smalle slikken bestaande uit klei en fijn zand (slib).

## 10.2 Verslag

Falling head proeven zijn niet uitgevoerd omdat alle drie de buizen voor de proef vol met water stonden (er was dus weinig of geen doorstroming).

Bij de proeven zijn tevens verplaatsingsmetingen gedaan om vast te stellen of sprake was van opdrijving van de toplaag. Hiertoe werden bij elke buis voor en tijdens de proef 3 punten gewaterpast, zie situatietekening.

**Buis b1:** Reeds bij een druk van 0,4 bar trad veel lekkage op tot 0,5 m hoger op het talud (verticaal). Het uittredende water is slibhoudend. Er ontstaan wellen in de teen en het einddebiet is zeer groot. De toplaag bleek 4 à 12 mm opgedreven te zijn. Na afloop is de beproefde zuil uitgebroken. Het filter was nog steeds ingeslibd, maar het met een emmer ingekapte water liep snel weg.

**Buis b2:** Bij een druk van 0,6 bar trad beperkt lekkage door de toplaag op. De lekkage nam vervolgens hand over hand toe en het debiet liep op tot 120 l/min, waarbij ook wellen aan de teen ondstonen. De toplaag bleek 7 à 11 mm opgedreven te zijn. Na afloop is de beproefde zuil uitgebroken. Het filter was ingeslibd, onder het filter bevinden zich minimaal 4 vlijlagen.

**Buis b3:** Bij een druk van 0,4 bar sist de bekleding en begint er water uit te stromen. Ook hier neemt de lekkage tijdens de proef toe. Lekkage treedt op tot 0,5 m hoger op het talud (verticaal). De toplaag bleek 4 à 15 mm opgedreven te zijn.

## Metingen

Buis	Falling head	Drukproef; druk + debiet	Opdrijving van de toplaag
b1	$v_{\text{daal}} = 0$	$P = 0,4 \text{ bar}; Q = 103 \text{ l/min}$ $Q_{\text{eind}} = 188 \text{ l/min}$	m1a: +12 mm m1b: +4 mm m1c: +7 mm
b2	$v_{\text{daal}} = 0$	$P = 0,6 \text{ bar}; Q = 20 \text{ l/min}$ $Q_{\text{eind}} = 120 \text{ l/min}$	m2a: +7 mm m2b: +10 mm m2c: +11 mm
b3	$v_{\text{daal}} = 0$	$P = 0,4 \text{ bar}; Q_{\text{vrij verval}} = 20 \text{ l/min}$ $Q_{\text{eind}} = 40 \text{ l/min}$	m3a: +15 mm m3b: +15 mm m3c: +4 mm

Waarin:

$Q_{\text{eind}}$  = Einddebiet door de buis, na het wegvallen van de druk

# 11. Analyse proefresultaten en conclusies

## 11.1 Samenvatting observaties

De belangrijkste proefobservaties zijn:

1. Het materiaal van inslibbing is op alle locaties gelijk aan het materiaal waar het voorland uit bestaat;
2. Toplaag en filter waren op alle locaties in dezelfde mate ingeslibd. Het filter is nooit minder ingeslibd dan de toplaag;
3. De mate van inzanding van een toplaag aan de Noordzeekust kan binnen enige dagen zeer sterk variëren;
4. In een aantal gevallen werd een druk opgebouwd tot 2 à 3 bar zonder dat daarbij ook maar enig debiet optrad;
5. In een aantal gevallen was bij een druk tot 1 à 2 bar het debiet beperkt ( $Q < 10$  l/min), maar trad vervolgens kennelijk een 'doorbraak' op, waarna de druk wegviel en het debiet opliep tot ca.  $Q_{\text{eind}} = 50$  l/min (met als extremen 25 en 190 l/min);
6. In een aantal gevallen trad reeds onder vrij verval (ca. 7 mWk) een doorbraak op, wordt geen druk gemeten en treedt een debiet op van 40 à 50 l/min;
7. Bij debieten van  $Q < 10$  l/min treedt er nauwelijks uitstroom op. De indruk bestaat dat in deze fase met name vulling van het filter optreedt en dat de druk langzaam onder een groter taludoppervlak opgebouwd raakt;
8. Bij debieten van  $Q > 25$  l/min treedt eerst uitstroming op door de toplaag rond en waaivormig onder de proefbuis en vervolgens ontstaan wellen aan de teen. De mate van uitstroom door de toplaag varieert sterk. In vrijwel alle gevallen is de afvoer via de wellen het grootst;
9. De afvoer door de toplaag en de wellen is in het begin steeds zandkleurig en wordt na verloop van tijd minder troebel;
10. Na het uitbreken van de proefzuil bleek telkens dat het filter nog steeds was ingeslibd, maar waren in een aantal gevallen schoongespoelde, met grof materiaal gevulde ruimtes zichtbaar onder de omliggende zuilen;
11. In een aantal gevallen stond de buis voor de proef vol water en was de daalsnelheid van het water dus nihil, maar trad na het zetten van enige druk toch een doorbraak en een goede doorstroom op;
12. Bij Kruiningen werd gemeten dat de ingegoten toplaag tijdens de proeven 4 à 15 mm omhoog kwam;
13. Bij Willem-Anna polder was er bij twee buizen voor de proef geen doorstroming, tijdens de proef een goede doorstroming, maar na de proef, na het uitbreken van de proefzuil, wederom geen doorstroming.

## 11.2 Analyse proeven

### In- en uitstroom bekleding bij dagelijkse omstandigheden

Onder dagelijkse omstandigheden kunnen bij alle bekledingen die slecht doorlatend zijn (hetzij door grondige inslibbing met klei en fijn zand, hetzij door ingieting), bij afgaand water punten gevonden worden waar troebel water uitsijpelt door de toplaag. Bij ingegoten bekledingen is dit extra goed zichtbaar omdat de resulterende modderstroompjes contrasteren met de zwarte kleur van de ingieting.

In het filter zal de waterstroom zich concentreren en versterken richting de spleten in de toplaag en de meer open kanalen hierin. Hierdoor hebben zich in het filter waarschijnlijk preferente stroomkanaaltjes ontwikkeld, die qua grootte afgestemd zijn op de dagelijkse hoeveelheid in- en uitstromend water. Waarschijnlijk is sprake van een dynamisch proces, waarbij slibhoudend water instroomt en zich in de kanaaltjes afzet bij opkomend water en weer erodeert en uitstroomt bij afgaand water.

Aan de teen doet zich hetzelfde fenomeen voor, maar dan op een grotere schaal: De spleet is hier meestal (afhankelijk van de constructiewijze) het filter zelf, wat na weggroten van het teenschot rechtstreeks in het sediment tussen de teenbestorting uitkomt. Gezien de grotere ruimte (de spleetbreedte bedraagt ca. 10 cm, tegen 1 à 2 cm in de toplaag) zullen de preferente stroomkanalen hier groter zijn en wellicht reeds hoog in het filter ontspringen (b.v. op de hoogwaterlijn).

### **Gedrag bij drukproef**

Op het moment dat de proefbuis verbonden wordt met de watertank, komt er een waterdruk van ca. 7 mWk op het filter te staan. Uitgaande van een buisoppervlak van 20 cm<sup>2</sup> betekent dit een kracht van 140 N. Daar bij een zuil van 35 kg de zwaartekracht ca. 350 N bedraagt, zal de zuil hierdoor niet in beweging komen.

Tenzij het filter onder de buis werkelijk potdicht is, zal het water vervolgens in de poriën van het ingeslibde filter dringen en zal de druk zich onder de zuil en in de omgeving verspreiden. Op een gegeven moment wordt de drukkracht groter dan het gewicht van de zuil, waardoor de proefzuil, en vervolgens ook de naburige zuilen, opdrijven. De zuilen zullen minder opdrijven (omhoog komen) naarmate de klemming groter is. Door de ontstane ruimte of spleet kan het ingepompte water gemakkelijker afstromen en de indruk bestaat dat de 'plotselinge' drukafname en debiettoename, die bij vrijwel alle proeven optrad, het moment van opdrijven markeert.

Tegelijkertijd zoekt het water zich een uitweg via bestaande kanaaltjes en zwakke plekken in filter en toplaag, die uitspoelen tot grotere preferente stroomkanalen. Dit zal met name gebeuren waar en zolang de toplaag niet opgedreven is. De preferente stroomkanalen zullen zich aanpassen aan het wateraanbod en als dit niet te groot is zal de opdrijving van de toplaag op den duur teniet gedaan worden.

De grootste uitstroom vindt ondertussen plaats aan de teen, waar de meeste ruimte (c.q. de geringste weerstand door het wegvallen van de toplaag) is voor het ontstaan van grote wellen.

## **11.3 Vergelijking met de maatgevende situatie**

Bij de gedane proeven is zeer veel druk aangebracht (tot 30 mWk), veel meer dan in de maatgevende situatie (orde grootte 3 mWk) ooit zal ontstaan. Voorts was de watertoevoer onbeperkt, terwijl die in de maatgevende situatie sterk beperkt wordt door de geringe doorlatendheid van de toplaag.

Anderzijds is de druk bij de proeven aangebracht op slechts één punt, terwijl de druk in de maatgevende situatie over de gehele lengte van de bekleding aanwezig is: In werkelijkheid is de belasting niet cirkelvormig, maar strookvormig, waardoor er minder klemming gemobiliseerd kan worden.

Tenslotte is er in de maatgevende situatie ook een golfbelasting aanwezig. Deze is in de proeven niet verdisconteerd.



Evenals bij de infiltratieproeven (met sloot) op ingegoten bekledingen bleek dat een hoge waterdruk leidt tot algemene ventielwerking en het ontstaan van wellen aan de teen, zonder dat daarbij schade aan de bekleding optrad. Het uitstromende water was zandhoudend en dus trad er erosie van de inslibbing op, maar bij uitbreken van de proefzuilen bleek dat het filter ook na de proef nog steeds goed ingeslibd was.

In de maatgevende situatie is ook sprake van golfwerking en is de erosie van zowel topklaag als filter wellicht groter. Even goed kan echter gesteld worden dat de waterdrukken kleiner zullen zijn en de erosie bijgevolg ook. Hoe het ook zij, ook in de maatgevende situatie zal minimaal enige erosie optreden, waardoor de bekleding doorlatender wordt.

## **11.4 Vervolgonderzoek**

Uit de proeven is gebleken dat de inslibbing onderhevig is aan erosie, en de indruk bestaat dat de mate van inslibbing en de omvang van preferente stroomkanalen zich aanpast aan de hydraulische omstandigheden tot een evenwicht wordt bereikt.

Een nieuwe, open bekleding zal na aanleg door inslibbing waarschijnlijk aan sterkte winnen. Een volledig ingeslibde bekleding, waarbij de inslibbing in evenwicht is met de dagelijkse omstandigheden, zal tijdens maatgevende omstandigheden door erosie langzaam opener worden. Dit zal waarschijnlijk betekenen dat de sterkte tijdens de storm afneemt.

Mogelijk kan voor toetsing de doorlatendheid van een ingeslibde bekleding geschat worden en kan een aanname gedaan worden voor de toename van deze doorlatendheid door erosie bij maatgevende omstandigheden. Hiermee zou dan berekend kunnen worden of de bekleding goedgevoetst kan worden.

Belangrijke punten van onderzoek zijn de sterktoename door inslibbing (door afname doorlatendheid) en de bepaling van het bezwijkmechanisme: Waarschijnlijk is voor open bekledingen de golfklap maatgevend, en voor ingeslibde bekledingen de golfterugtrekking.

De oorspronkelijke gedachte was het onderzoek voort te zetten met meer geavanceerde drukproeven. Deze zouden kunnen bestaan uit 5 gaten op het talud, in een raai loodrecht op de dijkas, waarbij in 2 of 3 gaten geïnfiltreerd kan worden en in alle gaten de druk gemeten kan worden. Door tevens een proef uit te voeren in een andere raai, b.v. 100 m verderop, zou een indruk gekregen worden van de heterogeniteit van de inslibbing.

Gezien het dynamische karakter van de inslibbing liggen deze proeven niet meer voor de hand. Het onderzoek kan zich beter richten op het definiëren van een simpele methode voor het schatten van de doorlatendheid en de reductie hiervan tijdens maatgevende omstandigheden. Dit onderzoek kan deels praktisch, deels bureau-onderzoek zijn.