



Aan
Leo Philipse
Hans van der Sande
Yvo Provoost
Mark Klein-Breteler
Nisa Nurmohamed
Hans Johanson
Robert 't Hart

Piet
Yvo
Heerbest
Toetsgr.
P201-R-02094 inv

Van
Ronald van Etten
Datum
2 april 2002
Onderwerp
Toezending rapporten

Doorkiesnummer
388
Bijlage(n)
3

Het bijgaande wordt u toegezonden

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> conform afspraak | <input type="checkbox"/> gaarne reactie voor |
| <input type="checkbox"/> met verwijzing naar | <input checked="" type="checkbox"/> om te behouden |
| <input type="checkbox"/> met verzoek de behandeling over te nemen | <input type="checkbox"/> gaarne retour voor |
| <input type="checkbox"/> met verzoek om advies | <input type="checkbox"/> met dank voor inzage |
| <input type="checkbox"/> met verzoek om commentaar | <input type="checkbox"/> conform verzoek retour |
| <input type="checkbox"/> te uwer informatie | |
- Meetverslag infiltratieproef GeoDelft
Predictieberekeningen met Seep/W GeoDelft
Hoofdrapport infiltratieproef

met vriendelijke groet,

Ronald



006689 2002 PZDT-R-02094 best

akadeInfiltratieproef Kruiningen hoofdrapport, meetversla

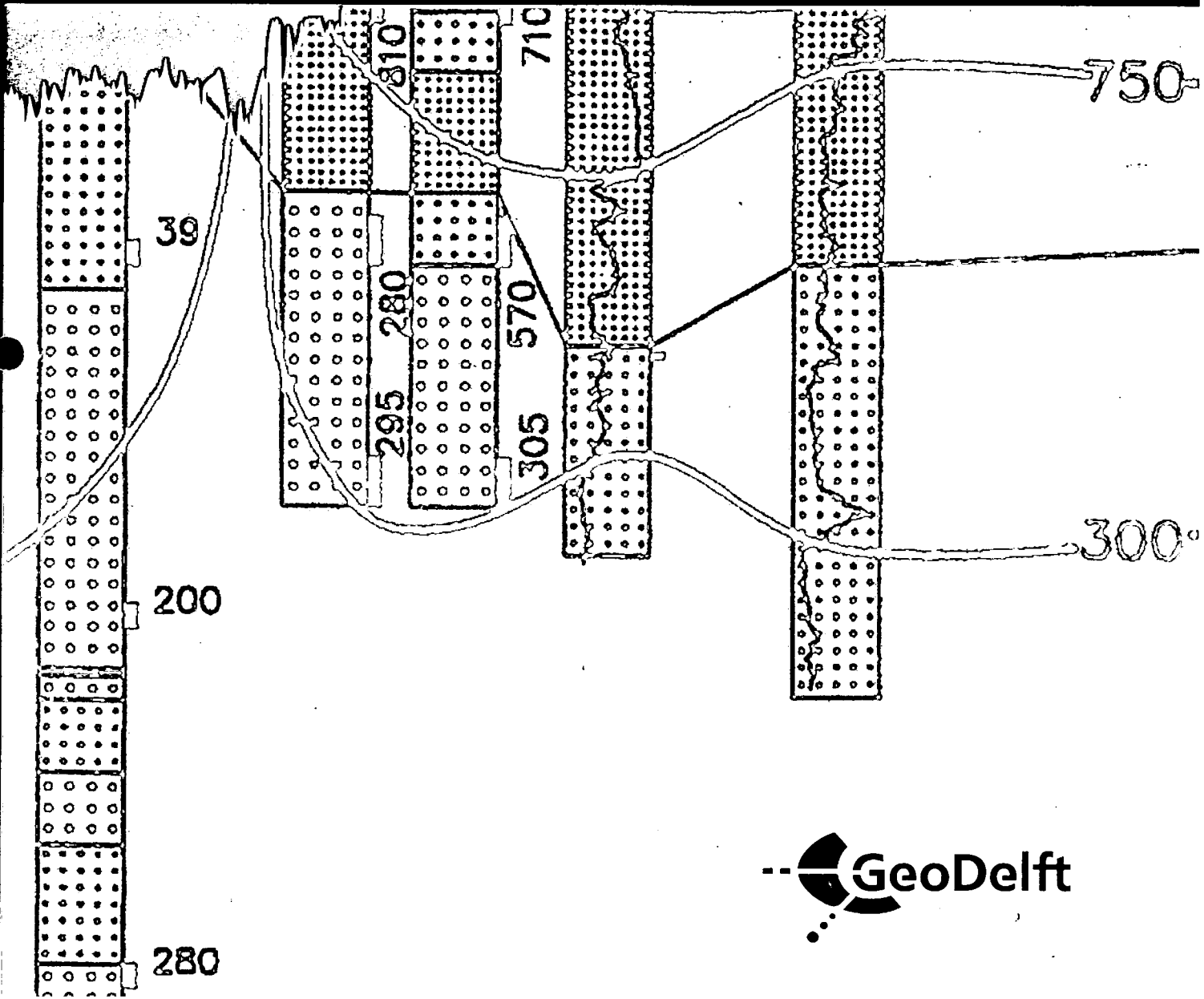
Infiltratieproef Kruiningen

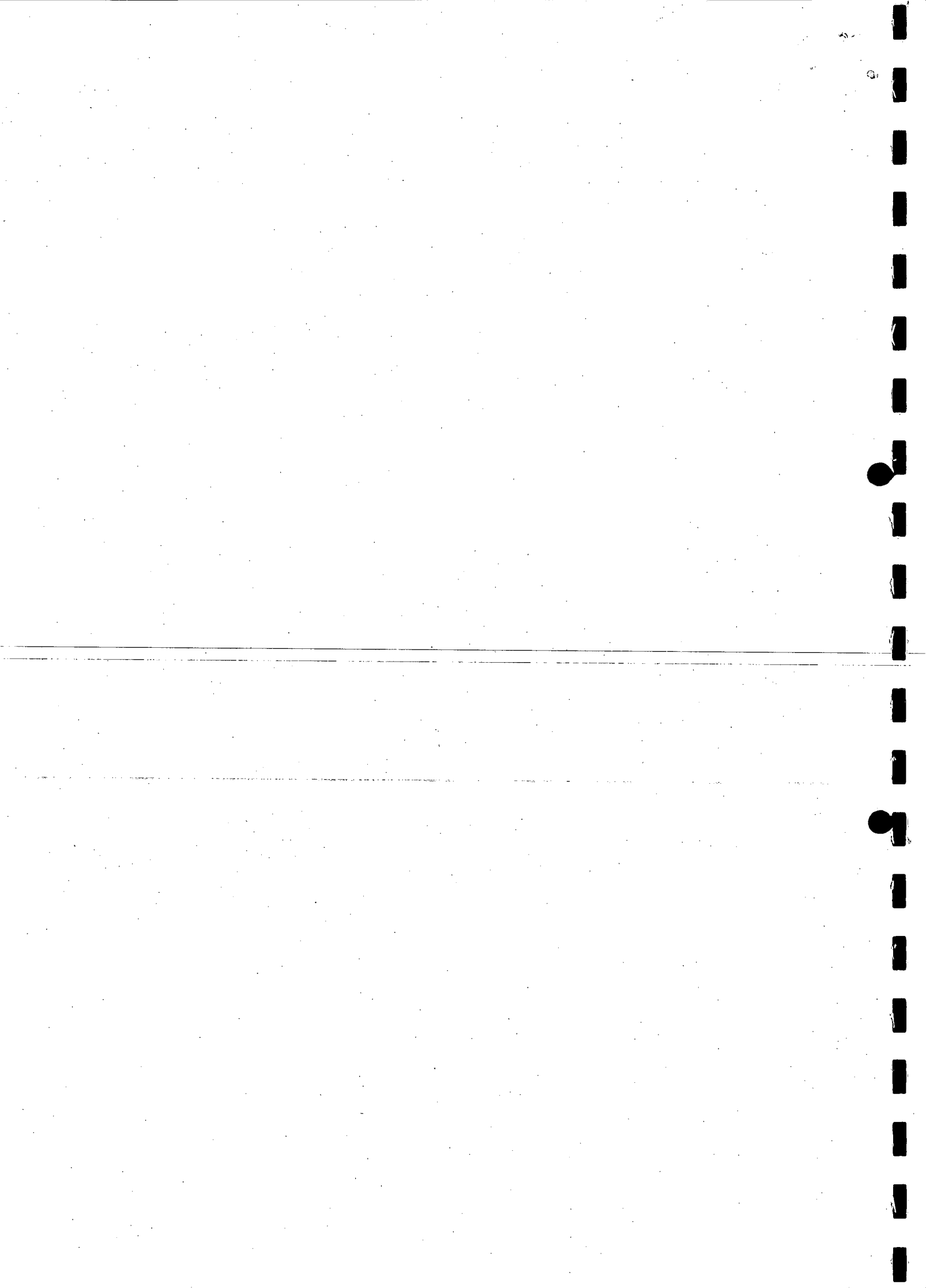
hoofdrapport

definitief

CO-400970.0024 versie 2

maart 2002





Infiltratieproef Kruiningen hoofdrapport

definitief

CO-400970.0024

maart 2002

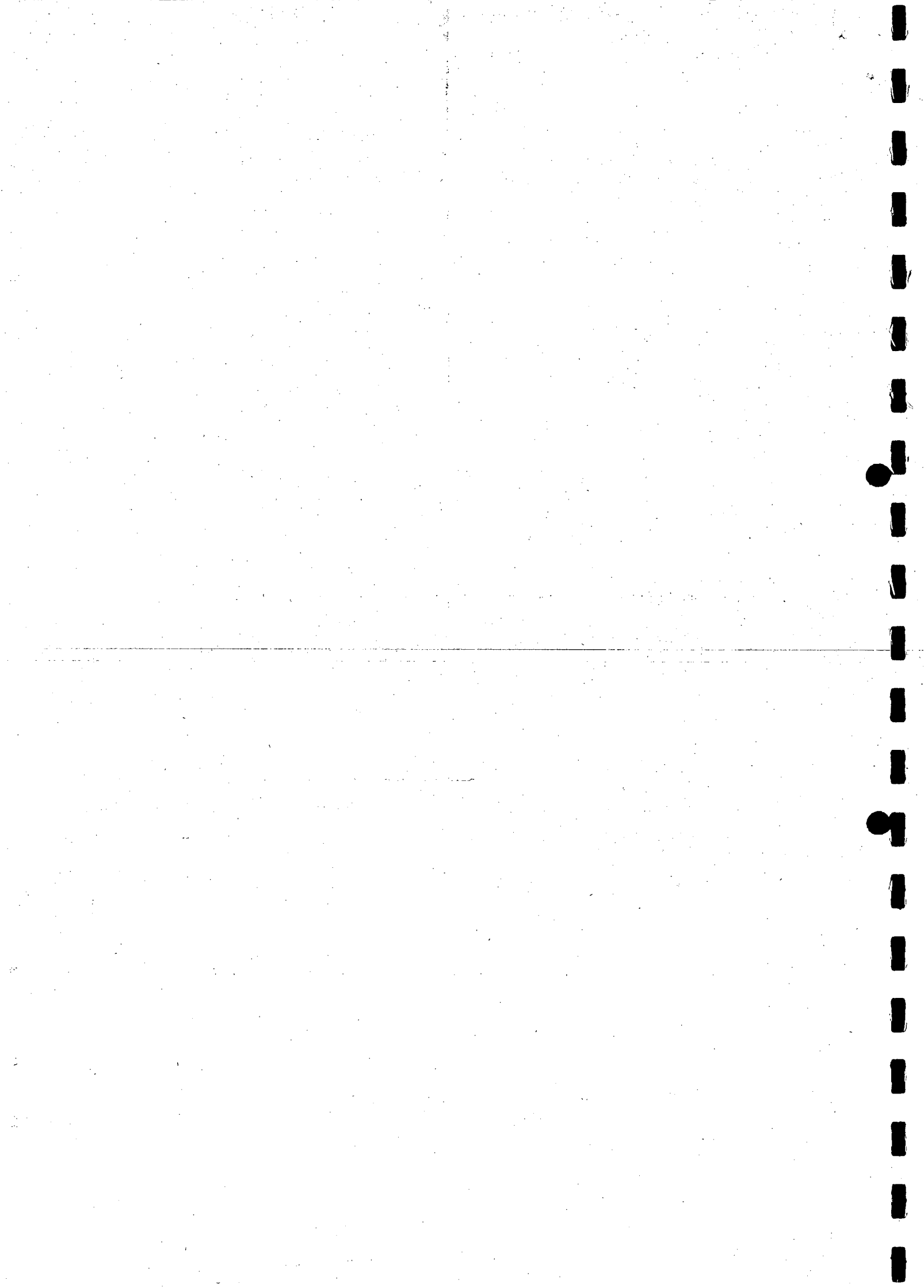
D:\projects\400970

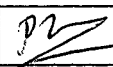
Opgesteld in opdracht van:
RIJKSWATERSTAAT, DIENST WEG- EN
WATERBOUWKUNDE
POSTBUS 5044
2600 GA DELFT

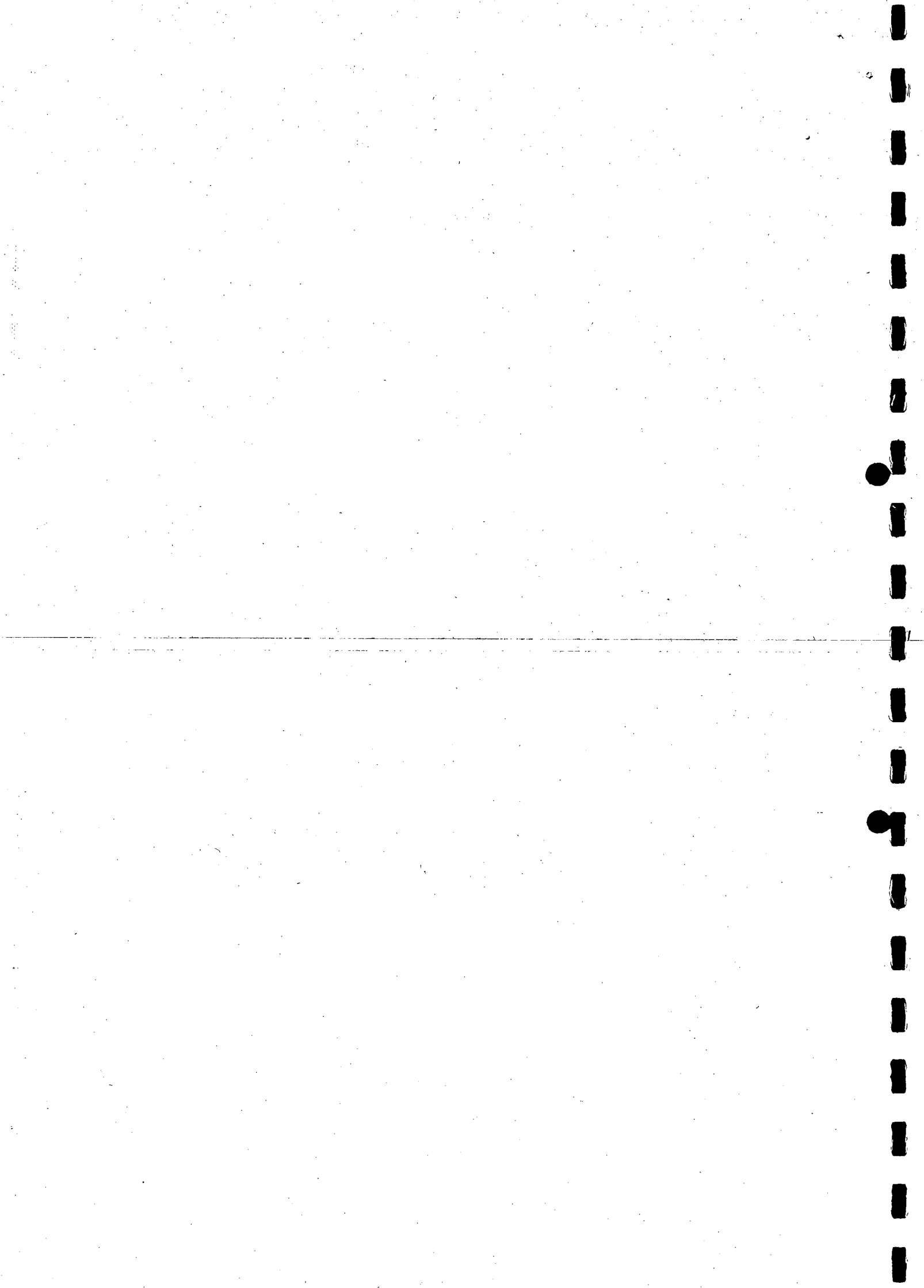
AFDELING GRONDCONSTRUCTIES
Projectleider : Ir. P. Meijers
Projectbegeleider : Ir. T.P. Stoutjesdijk

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
Rek.nr. 25.92.35.911

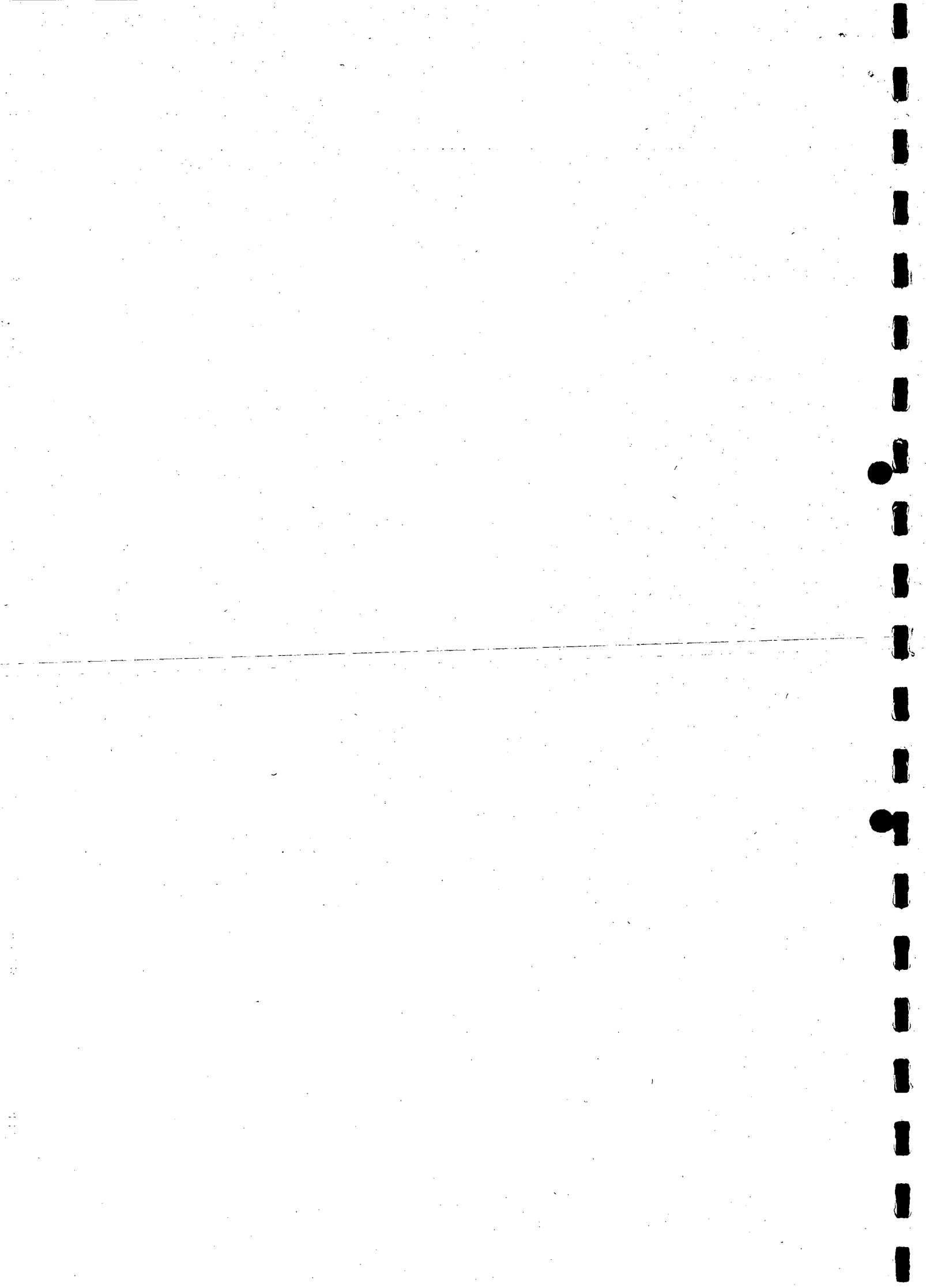


rapportnr: CO-400970.0024		datum rapport: maart 2002			
titel en subtitel: Infiltratieproef Kruiningen hoofdrapport		behandelende afdeling: Grondconstructies			
		projectnaam:			
projectleider(s): Ir. P. Meijers		Projectbegeleider(s): Ir. T.P. Stoutjesdijk			
naam en adres opdrachtgever: Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde Postbus 5044 2600 GA DELFT		referentie opdrachtgever: DWW 1902			
		verzenden in: 20-voud			
		type rapport: definitief			
<p>samenvatting rapport:</p> <p>Op de dijk van de Oost-Inkelpolder, bij Kruiningen, is op een ingegoten basaltbekleding een infiltratieproef uitgevoerd. De opzet van het onderzoek, de belangrijkste resultaten van de deelonderzoeken en een globale interpretatie van de meetresultaten worden in dit rapport gepresenteerd.</p> <p>De reden om deze proef uit te voeren is dat de sterkte van aan ingegoten bekledingen gevoelsmatig groter is dan volgt uit de huidige beoordelingsmethodiek. Het resultaat van de proef bevestigde dit vermoeden. De bekleding is niet bezwaken, terwijl hij volgens de huidige methodiek wel is afgekeurd en dus vervangen moet worden. Het bezwijkmechanisme van ingegoten bekledingen op overdruk lijkt anders te zijn dan wordt aangenomen bij de huidige toetsmethode. Bij dit onderzoek is alleen gekeken naar het mechanisme 'bezwijken door overdruk'. Of bezwijken door een combinatie van overdruk en golfbelasting mogelijk is viel buiten het kader van deze studie. De voorlopige conclusie uit dit onderzoek is dat een ingegoten bekleding minder snel op overdruk bezwijkt dan met de huidige modellen wordt voorspeld. De verwachting is dat verdere analyse en herhaling van de proef op andere locaties zal leiden tot een minder conservatieve toetsprocedure en daarmee tot belangrijke besparingen op de herstelkosten van dijkbekledingen.</p>					
<p>opmerkingen:</p> <p>Details van de verschillende deelonderzoeken zijn in aparte rapporten vermeld.</p>					
trefwoorden: Ingegoten bekleding, infiltratie		verspreiding: 20 x DWW 2 x GeoDelft 1 x WL Delft Hydraulics			
opgeslagen op: onder titel: D:\projects\400970 infiltratieproef\tekst\400970.0024 v2.doc				aantal blz.:	
versie:	datum:	opgesteld door:	paraaf:	gecontroleerd door:	paraaf:
concept 1	Oktober 2001	Ir. P. Meijers		Ir. T.P. Stoutjesdijk	
concept 2	Januari 2002	Ir. P. Meijers		Ir. T.P. Stoutjesdijk	
2	Maart 2002	Ir. P. Meijers		Ir. T.P. Stoutjesdijk	



INHOUDSOPGAVE

1	Inleiding	1
1.1	Achtergrond infiltratieproef	1
1.2	Uitvoering onderzoek	1
2	Aanpak onderzoek	3
2.1	Probleembeschrijving en doel	3
2.2	Onderdelen haalbaarheidsstudie	3
2.2.1	Overzicht stappenplan	3
2.2.2	Beschrijving stappenplan	4
3	Meetlocatie	7
4	Resultaten voorbereidende metingen en predicties	9
4.1	Vorbereidende proef	9
4.2	Getijmetingen	9
4.3	Trekproeven	11
4.4	Predictie infiltratieproef	14
4.4.1	Seep/W berekeningen	14
4.4.2	Steenzet berekeningen	15
4.4.3	DIANA berekeningen	15
5	Infiltratieproef	17
5.1	Go-no go beslissing	17
5.2	Uitvoering	17
5.3	In het veld geconstateerde verschijnselen	19
5.4	Meetresultaten	20
6	Eerste interpretatie infiltratieproef	23
6.1	Resultaat proef	23
6.2	Verschillen predictie en metingen	26
6.3	Mogelijke verklaringen voor verschil meting-predictie	26
7	Conclusies en aanbevelingen	29



BIJLAGEN

- A Stappenplan
 - B Voorbereidende proef
 - C Verslag bespreking go-no go beslissing
 - D Risico-evaluatie infiltratieproef
 - E Keuze meetlocatie
 - F Geschatte verplaatsing door opwaartse drukverschil over ingegoten basalt
-
- 3.1 Locatie
 - 4.1a,b Resultaat getijmeting
 - 4.2a Foto opstelling trekproeven
 - 4.2b Registratie trekproef T1
 - 4.2c Registratie trekproef T2
 - 4.2d Registratie trekproef R3
 - 4.3a Geometrie SEEP/W berekeningen
 - 4.3b Resultaat narekenen getijmeting met SEEP/W
 - 4.3c Resultaat predictie met SEEP/W
 - 5.1 Meetopstelling infiltratieproef
 - 5.2 Fotoimpressie infiltratieproef
 - 5.3a Verloop getij en waterstand infiltratiesloot, dag 1
 - 5.3b Verloop drukhoogte raai G1, dag 1
 - 5.3c Verloop drukhoogte raai G2, dag 1
 - 5.4a Verloop getij en waterstand infiltratiesloot, dag 2
 - 5.4b Verloop drukhoogte raai G1, dag 2
 - 5.4c Verloop drukhoogte raai G2, dag 2
 - 5.5a Verloop verplaatsing dag 1, waterpaspunten 1-21
 - 5.5b Verloop verplaatsing dag 2, waterpaspunten 3, 6, 13-21
 - 5.5c Verloop verplaatsing t.g.v. alleen getij, waterpaspunten 13-21
 - 5.6a Verloop verticale verplaatsing, hydrostatische meting WL01 t/m WL04
 - 5.6b Verloop verticale verplaatsing, hydrostatische meting WL05 t/m WL08
 - 5.6c Verloop verticale verplaatsing, hydrostatische meting WL09 t/m WL11

1 Inleiding

1.1 Achtergrond infiltratieproef

Het toetsen van met asfalt of beton in- of overgoten bekledingen levert in de praktijk grote problemen op. Er wordt gevoelsmatig een extra sterkte aan de ingieting van dit soort bekledingen toegeschreven die echter niet kan worden gekwantificeerd. Daarom kan er in de toetspraktijk geen rekening mee worden gehouden en zullen grote strekkingen wellicht ten onrechte worden afgekeurd. Vervanging hiervan brengt grote kosten met zich mee.

Om deze kennisleemte te vullen heeft RWS-DWW, middels contract DWW 1902, opdracht gegeven een onderzoek uit te voeren, met als doel na te gaan of het haalbaar is een procedure op te stellen voor het toetsen van met asfalt of beton in- en overgoten bekledingen. Het doel van zo'n procedure is dit soort bekledingen op een minder conservatieve manier te kunnen toetsen.

1.2 Uitvoering onderzoek

Het belangrijkste onderdeel van het onderzoek was het uitvoeren van een praktijkproef op een met gietasfalt ingegoten bekleding. Bij deze proef is geprobeerd om de belastingsituatie die maatgevend wordt geacht voor bezwijken van de bekleding na te bootsen. Dit is gedaan door van bovenaf water in de filterlaag onder de toplaag te infiltreren. Aan deze infiltratie dankt de proef zijn naam 'infiltratieproef'. Als voorbereiding op deze proef zijn een aantal deelonderzoeken (metingen en predicties) uitgevoerd. De periode van uitvoering was van juli tot oktober 2001. De feitelijke infiltratieproef is in september 2001 uitgevoerd.

In dit rapport wordt de opzet van het onderzoek weergegeven (hoofdstuk 2) en worden de resultaten van de verschillende metingen en predicties voorafgaande aan de eigenlijke proef samengevat (hoofdstuk 4). Hoofdstuk 5 beschrijft de feitelijke infiltratieproef en de belangrijkste meetresultaten. Een eerste interpretatie van de meetresultaten is gegeven in hoofdstuk 6, een volledige analyse van de meetresultaten vormt geen onderdeel van de opgedragen werkzaamheden in het kader van contract DWW-1902. Tot slot worden in hoofdstuk 7 enige aanbevelingen gedaan.

Gedetailleerde beschrijvingen en resultaten van de diverse onderdelen van het onderzoek zijn te vinden in diverse werkrapporten. Een overzicht van deze rapporten is aan het eind van dit rapport opgenomen.

Bij het onderzoek waren een groot aantal partijen betrokken. In willekeurige volgorde zijn dit:

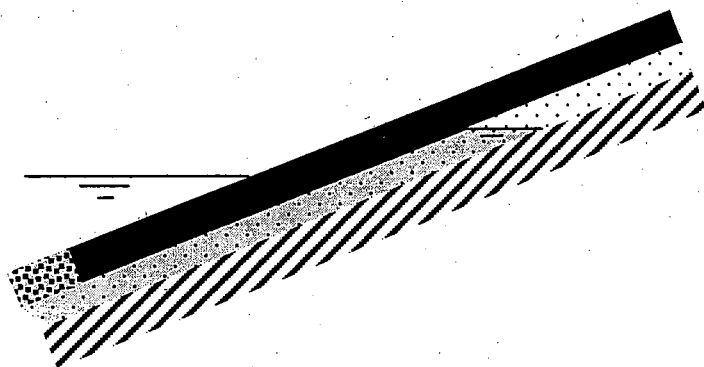
- RWS-DWW: initiator en opdrachtgever, regie
- RWS Projectbureau Zeeweringen: opdrachtgever getijmeting, aanleg infiltratiesloot, herstel bekleding
- GeoDelft: uitvoering getijmeting, uitvoering trekproeven, meting druk onder de toplaag tijdens de infiltratieproef, berekeningen met Steenzet en SEEP/W, rapportage

-
- WL|Delft Hydraulics: uitvoeren verplaatsingsmetingen tijdens de trekproeven en de infiltratieproef, predictie verplaatsingen toplaag
 - RWS-Meetskundige Dienst (in onderaanneming van WL|Delft Hydraulics): uitvoeren verplaatsingsmetingen tijdens de trekproeven
 - TNO-Bouw (in onderaanneming van WL|Delft Hydraulics): uitvoeren DIANA berekeningen
 - Waterschap Zeeuwse Eilanden: beschikbaar stellen meetlocatie, pompcapaciteit, personeel en materieel
 - diverse onderaannemers
 - klankbordgroep (o.a. projectbureau Zeeweringen en TAW-coördinator).

2 Aanpak onderzoek

2.1 Probleembeschrijving en doel

Het mechanisme waarop een ingegoten/overgoten bekledingen in de huidige gedachtegang kan bezwijken is dat er bij vallend tij een statische opwaartse waterdruk onder de bekleding ontstaat. Deze opwaartse waterdruk ontstaat doordat het filter onder de bekleding tijdens hoogwater volloopt maar bij een dalende buitenwaterstand niet snel kan leeglopen. Hierdoor ontstaat de situatie dat de waterdruk onder de bekleding groter is dan de waterdruk op de bekleding en zal de toplaag worden opgedrukt.



Figuur 2.1 Situatie bij dalende buitenwaterstand, verschil in waterstand boven en onder de toplaag

De bekleding wordt afgekeurd als over enige lengte de berekende overdruk groter is dan het gewicht van de toplaag. Verondersteld wordt dat dan de bekleding opbarst en/of afschuift en daardoor zijn functie (het voorkomen van erosie van het achterliggende dijklichaam) niet meer kan vervullen.

Het vermoeden bestaat dat deze toetsmethode geen recht doet aan de werkelijke sterkte van dit type bekledingen. Om hier meer inzicht in te krijgen heeft de DWW besloten een haalbaarheidsstudie uit te voeren voor het opstellen van een procedure voor het toetsen van ingegoten/overgoten bekledingen. Deze studie bestaat uit het uitvoeren van een infiltratieproef op een bestaande dijkbekleding. Bij deze proef is getracht onder een gedeelte van de toplaag een dusdanige overdruk aan te brengen dat deze zal worden opgedrukt. Het gedrag van de bekleding tijdens de infiltratieproef moet inzicht verschaffen over het te verwachten bezwijkgedrag tijdens de ontwerpstorm. Dit inzicht kan daarna worden gebruikt om een betere toetsregel op te stellen.

2.2 Onderdelen haalbaarheidsstudie

2.2.1 Overzicht stappenplan

Om tot het beoogde doel te komen zijn een aantal stappen nodig. Deze bestaan uit het uitvoeren van een aantal metingen om de eigenschappen van de bekleding vast te stellen, het uitvoeren van berekeningen om de situatie tijdens de infiltratieproef te voorspellen en het uitvoeren van de infiltratieproef.

Het totale onderzoek bestond uit de volgende stappen:

1. opstellen stappenplan
2. onderzoek belasting op bekleding d.m.v. een getijmeting
3. onderzoek sterkte van de bekleding d.m.v. trekproeven.
4. predictie infiltratieproef.
5. rapportage.
6. go-no go beslissing uitvoeren infiltratieproef.
7. uitvoeren infiltratieproef
8. rapportage.

De verschillende stappen zullen in de volgende paragraaf kort worden toegelicht.

2.2.2 Beschrijving stappenplan

In deze paragraaf wordt het stappenplan, zoals voorafgaand aan de proef opgesteld, weergegeven. Het is dus de vooraf gewenste uitvoering. De daadwerkelijke uitvoering is in de hoofdstukken 4 en 5 weergegeven.

Stap 1: Opstellen stappenplan

Deze stap diende om te bezien of de uitvoering van een infiltratieproef met als doel een haalbaarheidsstudie voor het opstellen van een procedure voor het toetsen van met asfalt of beton in- en overgoten bekledingen te realiseren is. Dit onderdeel is apart opgedragen middels opdrachtbon 31511018 (AK). Het resultaat hiervan is het gedetailleerde onderzoeksplan. In bijlage A is dit stappenplan opgenomen.

Stap 2: Onderzoek belasting op bekleding d.m.v. een getijmeting

De resultaten van de getijmeting worden gebruikt om de doorlatendheid van de toplaag en de filter-laag te bepalen. De plaats van de getijmetingen is ter plaatse van het meetvak voor de infiltratieproef. Op het moment van uitvoeren van de getijmeting waren er nog twee opties voor de plaats van de eigenlijke infiltratieproef. Er is mede daarom in twee raaien een getijmeting uitgevoerd. Een extra reden om twee getijmetingen uit te voeren was om een indruk te krijgen van eventuele variatie in de doorlatendheid van de toplaag en filterlaag.

Met de getijmeting kan alleen iets worden gezegd over het gedeelte van de bekleding dat door getij wordt belast, ongeveer tot NAP + 2,5 m. Voor het gedeelte hierboven geeft deze meting geen resultaat. De indruk bestaat dat het onderste deel van de filterlaag door inslibbing minder doorlatend is dan het hooggelegen deel. Om toch een indicatie te krijgen van de doorlatendheid van het bovenste deel van de filterlaag worden bij het uitvoeren van de getijmeting een aantal extra gaten hoger op het talud geboord waarin een mini infiltratieproef is gedaan. Deze mini infiltratieproef bestaat uit het meten van de zaksnelheid van het water in de gaten. De plaats van de extra gaten is zodanig gekozen dat zij ook bruikbaar zijn voor het plaatsen van opnemers tijdens de echte infiltratieproef.

Dit onderdeel is apart opgedragen door Rijkswaterstaat, Projectbureau Zeeweringen, middels opdrachtbon 350037.

De resultaten van de getijmeting en de mini infiltratieproeven worden gebruikt bij de predictie van de belasting tijdens de infiltratieproef (waterdrukken onder de toplaag), stap 4 van het stappenplan.

Stap 3: Onderzoek sterkte van de bekleding d.m.v. trekproeven

De sterkte en stijfheid van de toplaag worden bepaald met trekproeven. Hierbij wordt aan een steen getrokken. Tijdens het trekken worden de kracht en de vervorming van de bekleding gemeten. De resultaten vormen de basis voor de predictie van de sterkte van de toplaag tijdens de infiltratieproef (zie stap 4).

Stap 4: Predictie infiltratieproef

Het doel van de predictie is na gaan of het uitvoeren van de infiltratieproef zinvol is. Voor deze predictie worden de volgende berekeningen uitgevoerd:

- narekenen getijmetingen met SEEP/W
- predictie waterdrukken tijdens de proef met Steenzet
- predictie waterdrukken tijdens de proef met SEEP/W
- narekenen trekproeven met DIANA
- predictie vervorming van de toplaag tijdens de proef met DIANA .

Het narekenen van de getijmetingen en de trekproeven dient ter bepaling van de eigenschappen van de bekleding voor de eigenlijke predictieberekeningen. Een zelfde analyse voor de eigenschappen van de bekleding is ook gedaan met het programma Steenzet, als onderdeel van stap 2.

De predicties met SEEP/W en Steenzet geven een schatting van de druk onder de bekleding. De programma's SEEP/W en Steenzet gebruiken een verschillende modellering voor de stroming. Verwacht wordt dat Steenzet de stijgsnelheid van de freatische lijn tijdens de proef overschatten dat SEEP/W de werkelijkheid beter benaderd. De resultaten van deze berekeningen worden vervolgens gebruikt om het gedrag van de bekleding tijdens de infiltratieproef te bepalen.

Met de DIANA berekeningen wordt een numerieke simulatie van de uitgevoerde trekproeven op de ingegoten bekleding uitgevoerd. Hieruit volgt een schatting van de stijfheid van de bekleding.

Uit de stijfheid van de toplaag en de voorspelde belasting van de toplaag (waterdrukken in de filterlaag) tijdens de infiltratieproef volgt een voorspelling van de vervorming tijdens de infiltratieproef.

Stap 5: Rapportage

De resultaten van de voorgaande stappen worden in werkdocumenten vastgelegd.

Als voorbereiding voor de 'go-no go' beslissing (stap 6) wordt een samenvattende notitie van de verschillende werkdocumenten opgesteld. Hierin is ook een inventarisatie van mogelijke risico's tijdens de infiltratieproef (kans dat de proef mislukt) opgenomen.

Stap 6: Go-no go beslissing uitvoeren infiltratieproef

In een overleg van de klankbordgroep wordt vastgesteld of de infiltratieproef wel of niet zal doorgaan.

Stap 7: Uitvoeren infiltratieproef

Bij de infiltratieproef wordt aan de bovenzijde van de bekleding water in de filterlaag geïnfiltreerd via een infiltratiesloot. Gelijktijdig worden de volgende zaken gemeten:

- getij
- drukken onder de toplaag in twee raaien
- opbolling van de toplaag in één raai
- vervorming van de toplaag boven de waterlijn middels waterpassing.

Stap 8: Rapportage

Het opstellen van een rapport met de resultaten van de metingen tijdens de infiltratieproef. Tevens wordt in deze stap een samenvattend rapport opgesteld. Hierin wordt een samenvatting van de meetresultaten en een eerste (kwalitatieve) interpretatie gegeven. Het onderhavige rapport is het resultaat van deze stap.

3 Meetlocatie

Tijdens een veldbezoek op 30 mei 2001 is door de klankbordgroep de meetlocatie gekozen. Bijlage 3.1 toont de plaats van de meetlocatie.

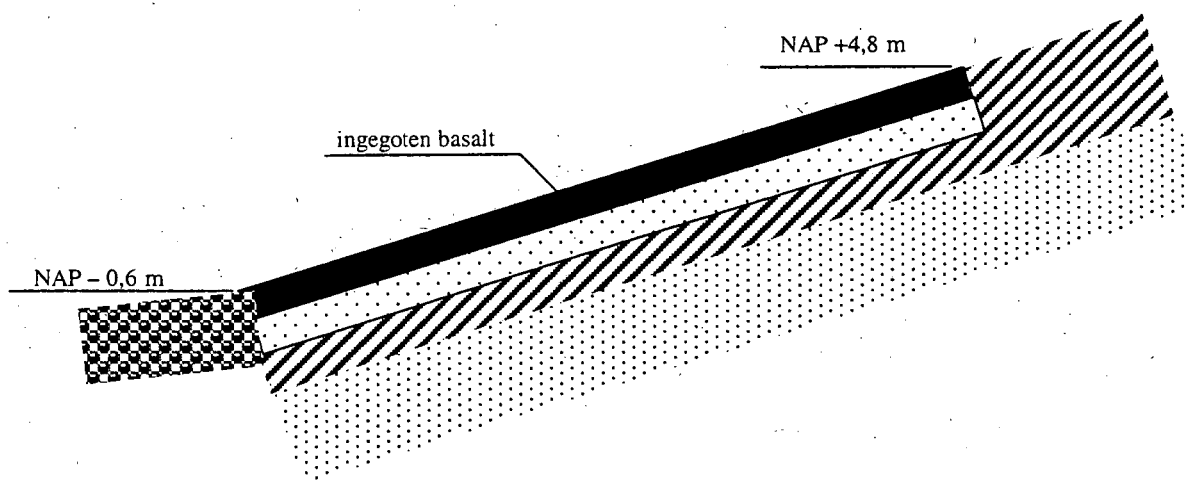
De meetlocatie is de dijk van de Oost-Inkelenpolder, ongeveer ter hoogte van km 19.76. Deze ligt langs de Westerschelde, ten oosten van de veerhaven Kruiningen. Het nummer van het betreffende bekledingsvak is 19402. Het bekledingsvak is bij de geavanceerde toetsing afgekeurd omdat de verwachte overdruk groter is dan de toelaatbare overdruk (GeoDelft rapport CO-388710/91, versie 1, januari 2001).

Vak 19402 bestaat uit met gietasfalt ingegoten/overgoten basalt. De diepte van de penetratie is 12 à 14 cm. Het bekledingsvak kan globaal in twee delen worden gesplitst, een westelijk deel waar het ingegoten basalt hoog doorloopt (tot NAP + 4,8 m) en een oostelijk deel waar het ingegoten basalt minder hoog doorloopt (tot NAP + 3,45 m). Beide delen zijn bij de keuze van het eigenlijke meetvak in beschouwing genomen.

De opbouw van de bekleding bij de twee delen is als volgt:

* westelijk deel (vak 19402, hoge ligging bovenkant basalt)

- kreukelberm
- teen op NAP -0,6 m
- gepenetreerde basalt tot NAP +4,8 m.

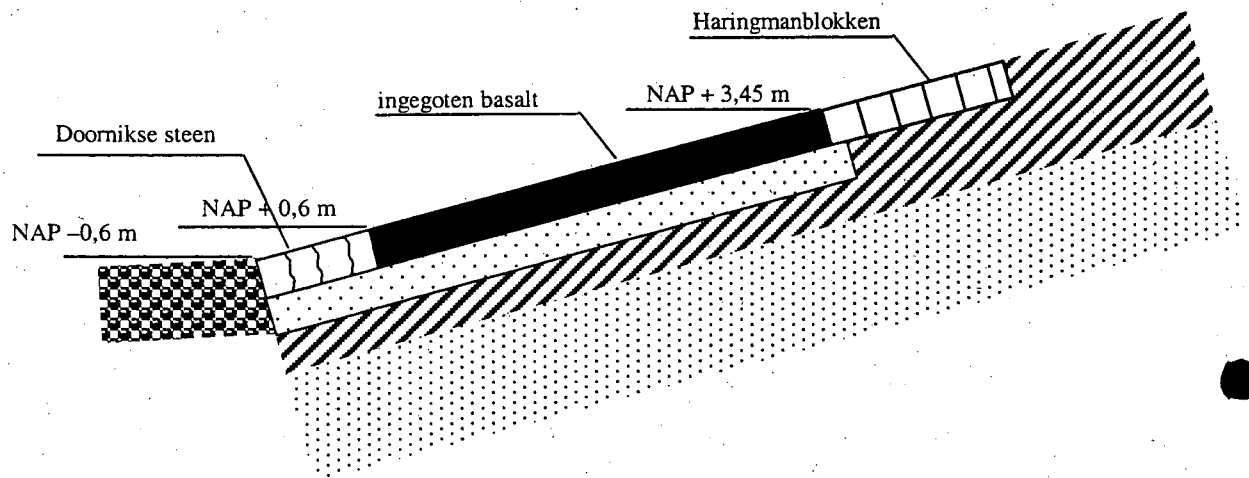


Figuur 3.1 Schets opbouw westelijk deel bekleding (raai G1), niet op schaal

* oostelijk deel (vak 19402, lage ligging bovenkant basalt)

- kreukelberm
- teen op NAP -0,6 m
- Doornikse steen tot NAP +0,6 m

- gepenetreerde basalt tot NAP +3,45 m
- Haringmanblokken tot NAP +4,8 m.



Figuur 3.2 Schets opbouw oostelijk deel bekleding (raai G2), niet op schaal

De taludhelling is ongeveer 1:3,5.

De dikte van het basalt is gemiddeld 0,25 tot 0,28 m.

Het filter is ongeveer 10 cm dik op 4 vlijlagen. Onder het bovenste deel van de bekleding bestaat het filtermateriaal uit steenslag, in het onderste deel uit puin.

Onder de filterlaag is een kleilaag aangetroffen met een dikte van 0,5 à 1 m. Hieronder is zand aanwezig.

De definitieve plaats van de meting is na de 'go-no go' beslissing genomen (zie paragraaf 5.1).

4 Resultaten voorbereidende metingen en predicties

In dit hoofdstuk worden de belangrijkste resultaten van de voorbereidende stappen van het stappenplan (stap 2 t/m 5) samengevat. Een uitgebreide beschrijving van de diverse onderdelen is te vinden in de betreffende werkrapporten.

4.1 Voorbereidende proef

Als voorbereiding op de eigenlijke infiltratieproef is door RWS op 8 juni 2001 een voorbereidende proef uitgevoerd. Een notitie over deze proef, opgesteld door RWS-PBZ, is opgenomen als bijlage B. Deze proef valt buiten het eigenlijke onderzoeksprogramma, zoals weergegeven in het stappenplan, maar levert wel belangrijke kwalitatieve informatie.

Op één plaats is 10 m³ water in de dijk geïnfilteerd en gekeken hoe snel dit wegstroomde. Geconstateerd werd dat het water snel wegloopt en dat op grote horizontale afstand (ongeveer 30 m) van het infiltratiepunt water uit het talud stroomt.

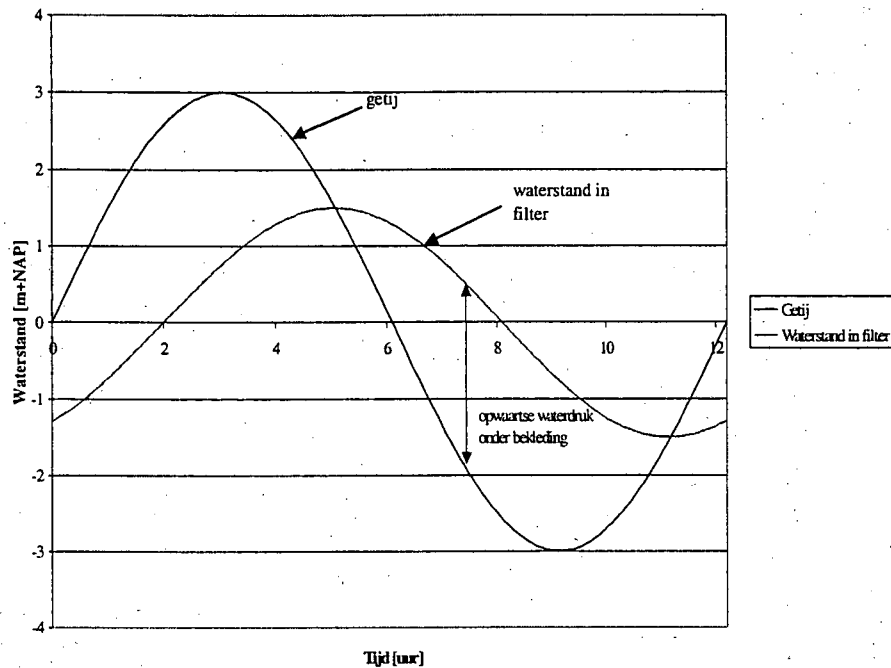
Het doel van deze proef was om het inzicht in de haalbaarheid van de eigenlijke infiltratieproef vooraf te vergroten. Gebleken is dat het water makkelijk in de filterlaag infiltreert en de filterlaag dus ook redelijk snel gevuld kan worden. Uit de snelle infiltratie werd geconcludeerd dat het bovenste deel van het filter goed doorlatend is. De grote horizontale afstroming deed vermoeden dat het onderste deel van het filter mogelijk minder doorlatend is dan het bovenste deel. Ter plaatse van deze scheiding zal het water bij het naar beneden stromen in de filterlaag een weerstand ondervinden. De eindconclusie was dat het zinvol is om op deze locatie verder te gaan met de voorbereidingen voor de eigenlijke infiltratieproef.

Naast deze voorbereidende proef is op 5 plaatsen de bekleding opgebroken om de opbouw van de bekledingen vast te stellen. De resultaten staan ook in bijlage B. Na afloop zijn de gaten waterdicht hersteld.

4.2 Getijmetingen

Een uitgebreide beschrijving van de uitgevoerde getijmetingen en de analyse van deze meting is te vinden in rapport CO-400970.0023 en CO-400970.0014 van GeoDelft.

Bij de getijmeting wordt simultaan de waterstand op de bekleding (het getij) en de waterdruk op een aantal plaatsen in de filterlaag gemeten. Als er sprake is van een open (goed waterdoorlatende) constructie zijn getijwaterstand en waterstand in het filter vrijwel gelijk. Bij een 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 4.1).



Figuur 4.1 Voorbeeld verloop getij en freatische lijn, de waterstand in het filter reageert vertraagd en gedempt op het getij, tussen 5 uur en 11 uur is er sprake van een netto opwaartse waterdruk op de bekleding

Bij het afgaand getij is er een moment waarop de freatische lijn in het filter even hoog ligt als het getij. Bij de gebruikelijke opbouw van de constructie (d.w.z. een dichte kleilaag onder de filterlaag) is er op dat moment geen stroming in de filterlaag en zijn de stijghoogten in alle opnemers gelijk. In de grafiek van de gemeten stijghoogten betekent dit dat alle lijnen door één punt gaan. In de praktijk wordt, door verschillende oorzaken, dit nooit exact gevonden. Bijna altijd is er bij de registratie van de stijghoogten een tijdstip te vinden waarbij de verschillen in gemeten stijghoogten gering (enige centimeters) zijn.

In twee raaien is een getijmeting uitgevoerd. Bijlage 4.1a en 4.1b tonen de resultaten van de getijmeting. Hoewel de twee raaien minder dan 20 m naast elkaar lagen vertonen zij toch een heel verschillend beeld. Het 'door één punt gaan' van de gemeten stijghoogten wordt hier niet gevonden. De meest aannemelijke verklaring hiervoor is dat de onderliggende kleilaag niet dicht is, maar dat via deze kleilaag water het dijklichaam instroomt.

Het programma Steenzet is niet toegerust voor stroming vanuit de filterlaag door de onderliggende kleilaag. Narekenen van de getijmeting met het programma Steenzet, met als doel de doorlatendheid van de toplaag en de filterlaag te bepalen, is dan ook slechts gedeeltelijk, en dan nog alleen voor de onderste opnemers, gelukt.

In de SEEP/W berekeningen kan tijdsafhankelijke stroming in zowel de verzadigde als de onverzadigde zone worden meegenomen. Tevens wordt de ondergrond in beschouwing genomen. Dit model komt daarom beter overeen met de werkelijkheid dan de getijversie van Steenzet. Een nadeel is het grote

aantal variabelen. Hierdoor is het fitten van de meetresultaten minder eenduidige. Diverse combinaties van parameters kunnen in principe een acceptabele fit geven.

Met de SEEP/W berekeningen is het mogelijk gebleken om de getijmeting met een goede mate van overeenstemming na te rekenen. Hiervoor was het wel nodig om te veronderstellen dat water via zandinsluitingen in de kleilaag onder de filterlaag naar het dijklichaam stroomt. Tevens was het voor raai G1 nodig om te veronderstellen dat de top laag plaatselijk meer doorlatend was dan gemiddeld. Bijlage 4.2a toont de gebruikte geometrie. Het berekeningsresultaat met de beste schatting van de parameters is te zien in bijlage 4.2b. Vergelijking hiervan met de gemeten drukverloop toont dat de situatie bij opkomend getij goed wordt gesimuleerd, bij afgaand getij loopt de filterlaag in werkelijkheid sneller leeg dan volgens de berekening. Alle pogingen om het gedrag tijdens afgaand getij beter te simuleren resulteerden in een beduidend slechtere overeenstemming tussen meting en berekening bij opkomend getij.

In tabel 4.1 zijn de doorlatendheden van de top laag en filterlaag, zoals deze tijdens het narekenen met SEEP/W de beste overeenstemming tussen meting en berekening gaven, weergegeven.

Model	SEEP/W	
raai	G1	G2
k_{top}	$2 \cdot 10^{-6}$ m/s	$5 \cdot 10^{-6}$ m/s
D (dikte top laag)	0,3 m	0,3 m
k_{filter}	$1 \cdot 10^{-4}$ m/s	$1 \cdot 10^{-4}$ m/s
b (dikte filterlaag)	0,3 m	0,3 m
k_{top}/D	$6,7 \cdot 10^{-6}$ -/s	$1,7 \cdot 10^{-6}$ -/s
$k_{filter} \cdot b$	$3,3 \cdot 10^{-5}$ m ² /s	$3,3 \cdot 10^{-5}$ m ² /s

Tabel 4.1 Schatting doorlaatbaarheid top laag en filterlaag met SEEP/W, onderste deel bekleding, exclusief beter doorlatend deel top laag

Met deze waarden is de lek lengte van de bekleding respectievelijk 2,1 m (raai G1) en 1,35 m (raai G2). Vergeleken met andere locaties zijn dit lage waarden. De reden van deze minder gebruikelijke waarden is niet onderzocht. Mogelijk is het veroorzaakt door verschillen tussen de schematisatie in SEEP/W, waarbij aannamen moesten worden gedaan voor de ondergrond, en de werkelijkheid.

Tijdens de getijmeting zijn tevens 4 gaten geboord in het hoger gelegen gedeelte van de ingegoten bekleding. In deze gaten is water gegoten en gekeken is hoe snel dit water wegstroomde. Het doel hiervan was om een indruk te krijgen van de doorlatendheid van het hoger gelegen deel van de filterlaag. Gebleken is dat de doorlatendheid hier vrij groot is, het water stroomde in het algemeen zo snel weg dat het gat niet gevuld kon worden.

4.3 Trekproeven

De trekproeven zijn uitgevoerd op 2001-07-12. De resultaten zijn vastgelegd in rapport CO-400970/19 van GeoDelft en rapport H3990.20 van WL|Delft Hydraulics. Deze rapporten overlappen elkaar enigszins.

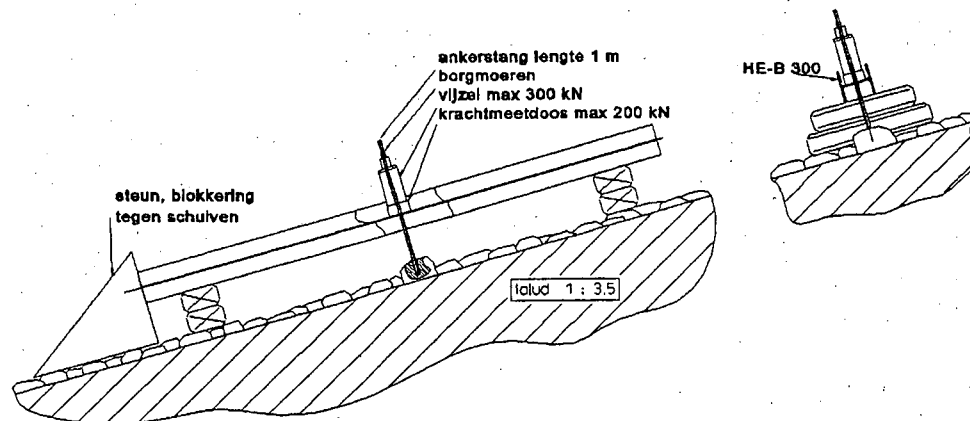
De trekproeven zijn niet in het meetvak uitgevoerd om te voorkomen dat het gedrag van de bekleding wordt beïnvloed door het lostrekken van een steen en mogelijke scheurvorming in het gietasfalt tijdens de trekproef. Gekozen is een deel van de bekleding ten oosten van het mogelijke meetvak. Aangenomen wordt dat de sterkte daar representatief is voor het meetvak.

Als voorbereiding op de trekproeven zijn 6 stenen voorzien van een draadeind, die met een chemisch anker in de steen is bevestigd. Hiervan waren er drie bedoeld voor de trekproef en drie als reserve, indien onverhoopt mocht blijken dat bezwijken van anker of toplaag eerder gebeurde dan gewenst.

Vooraf was de capaciteit van het chemisch anker getest in de werkplaats van GeoDelft. Bij deze test is het anker belast tot 150 kN zonder dat er tekenen van bezwijken konden worden geconstateerd. In totaal zijn 5 trekproeven uitgevoerd. Twee testen zijn mislukt omdat het anker bezweek op de aanhechting anker-basalt. Dankzij de reserve ankers was het toch mogelijk om de geplande drie trekproeven uit te voeren.

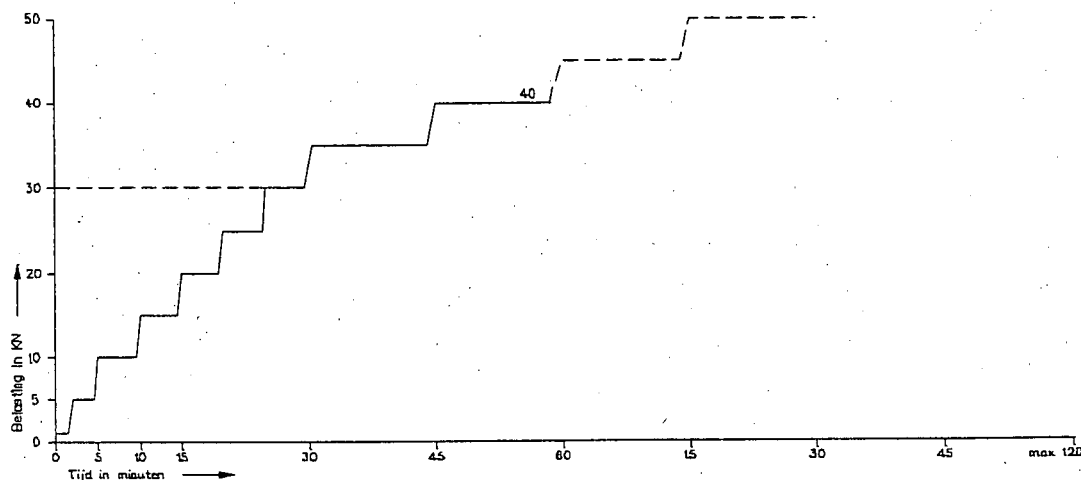
Overleg met de leverancier van de ankers gaf aan dat de ankers correct waren geïnstalleerd en een trekkracht van 150 kN moeten kunnen opnemen. De reden waarom een aantal ankers sneller bezweken dan verwacht mocht worden is niet bekend.

Tijdens de trekproeven is door GeoDelft het belastingframe aangebracht, de belasting opgebracht en de kracht gemeten. De meetopstelling is weergegeven in figuur 4.2. Bijlage 4.2a geeft een foto impressie van de meetopstelling.



Figuur 4.2 Opstelling trekproef

In verband met ruimte in de opstelling is eerst voorbelast tot 1 kN. Daarna is de belasting opgevoerd naar de volgende belastingstap. De belastingstappen waren 5 kN. In het begin is de belasting 5 tot 10 minuten per stap constant gehouden voordat verder werd belast. Vanaf een belasting van 30 kN is de belasting 15 tot 30 minuten constant gehouden voordat verder werd belast. Figuur 4.3 toont het belastingschema.



Figuur 4.3 Belastingschema trekproef

De verplaatsing van de steen waaraan werd getrokken en de stenen rond de getrokken steen is door Rijkswaterstaat, Meetkundige Dienst, gemeten met een zogenaamd Total Station. Dit meetsysteem bestaat uit een automatisch theodoliet die de plaats meet van een aantal meetpunten ('spiegeltjes') op de stenen. De meetfrequentie was eens per 3 minuten. Door WL|Delft Hydraulics is de verplaatsing van de steen waaraan werd getrokken continu gemeten met een hydrostatische sensor, zodat het verloop van de verplaatsing hiervan nauwkeuriger bekend was. Deze sensor was bevestigd aan de ankerstang en niet aan de steen zelf.

Bijlage 4.2b, 4.2c en 4.2d tonen het meetresultaat van de geslaagde uitgevoerde trekproeven (proef T1, T3 en R3). Getoond wordt het verloop van de kracht en de verplaatsing van de steen waaraan wordt getrokken als functie van de tijd. Bij proef T1 en T2 werd de vervorming groter dan de slag van de gebruikte vijzel. Daarop is de vijzel afgelaten, de ankerstang opnieuw aangespannen en de kracht opnieuw opgebracht. De kruipsnelheid bleek bij deze belasting echter zo groot dat binnen dezelfde belastingstap opnieuw de slag van de vijzel werd bereikt. Duidelijk was te zien dat de steen uit de bekleding werd getrokken. Daarop is de proef beëindigd. Proef R3 werd beëindigd omdat de vijzel olie begon te lekken.

De bezwijkbelasting van proef T1, T2 en R3 was respectievelijk 30 kN, 20 kN en meer dan 45 kN. Bezijken treedt op doordat de steen uit de bekleding wordt getrokken. Voordat een steen uit de bekleding wordt getrokken is er sprake van een elastische vervorming waarbij de bekleding de vorm van een 'kattenrug' aanneemt.

In de bijlagen is te zien dat bij constante belasting de vervorming blijft toenemen. Dit duidt op kruip van het gietasfalt. De belasting per stap is niet lang genoeg aangehouden om een eindwaarde te bereiken. De verwachting is dat, bij langer aanhouden van de belasting, de bekleding bij dezelfde belasting meer vervormd en dat de steen bij een lagere belasting uit de bekleding wordt getrokken. Dit aspect is in het kader van dit onderzoek niet verder onderzocht.

De bijlagen tonen een verschil in de door WL en MD gemeten verplaatsing. Dit verschil wordt geweten aan de bevestiging van de drukopnemer. Deze was bevestigd aan de ankerstang en niet aan de steen zelf. Achteraf gezien was dit een minder gelukkige constructie. Als de ankerstang iets verschuift t.o.v. het

blok (bijvoorbeeld door slip van het anker) is dat te zien als een extra verplaatsing van het blok. Ook was de bevestiging van de hydrostatische sensor aan de ankerstang niet rigide waardoor minimale verplaatsingen van de sensor t.o.v. de ankerstang niet zijn uit te sluiten.

Bekend is dat de sterkte- en stijfheidseigenschappen van gietasfalt een functie zijn van de temperatuur. Daarom is tijdens de trekproeven de temperatuur van het asfalt gemeten. Deze varieerde tussen de 18°C en 25°C, afhankelijk van het tijdstip en de zonbestraling.

In het kader van dit onderzoek worden deze gegevens niet gebruikt. Bij een vervolgonderzoek kunnen deze gegevens van nut zijn.

4.4 Predictie infiltratieproef

4.4.1 Seep/W berekeningen

De resultaten van de SEEP/W berekeningen zijn beschreven in rapport CO-400970.0014 van GeoDelft.

De SEEP/W berekeningen bestonden uit twee stappen. In de eerste stap zijn de getijmetingen nagerekend om de doorlatendheid van de diverse onderdelen van de bekleding vast te stellen (zie paragraaf 4.2). Met deze eigenschappen is in de tweede stap een predictie gemaakt van de waterdrukken tijdens de infiltratieproef.

Met de resultaten van het narekenen van de getijmeting is vervolgens een voorspelling gemaakt van de waterdrukken tijdens de infiltratie-proef. Voor het bovenste deel van de filterlaag zijn aannamen gedaan op basis van de resultaten van de mini-infiltratieproeven. Per raai zijn 4 berekeningen gemaakt, waarmee de gevoeligheid van de berekeningsresultaten voor de belangrijkste geachte parameters is nagegaan. De gebruikte geometrie voor beide raaien (G1 en G2) en het berekeningsresultaat voor de beste schatting van de parameters (zie tabel 4.1) staan in bijlage 4.3a en 4.3c.

Tabel 4.2 toont de belangrijkste berekeningsresultaten.

aspect	lage infiltratie	hoge infiltratie
hoogte infiltratie	NAP + 3,5 m	NAP + 4,8 m
maximum drukverschil		
- beste schatting	1,4 m	1,5 m
- range	1,3 – 1,6	0,45 – 1,5
infiltratiedebiet		
- gemiddeld	0,05 m ³ /hr/m	0,32 m ³ /hr/m
- maximum	0,14 m ³ /hr/m	0,43 m ³ /hr/m

Tabel 4.2 Resultaten predictie met SEEP/W

Volgens de predictie ontstaan de grootste waterdrukken op de overgang van een goed naar een minder goed filter. De grootste overdrukken worden nauwelijks beïnvloed door het getij. De plaats van de grootste overdrukken ligt boven de hoogwaterlijn.

De maximale voorspelde overdruk is ongeveer 1,5 m drukhoogteverschil (zie bijlage 4.3c). Dit is voldoende om de bekleding op te drukken.

Volgens de berekeningen is het benodigde debiet tijdens de infiltratieproef 2,5 à 20 m³/hr, bij een infiltratiebreedte van 50 m en geen zijdelingse afstroming.

4.4.2 Steenzet berekeningen

Bij de analyse van de getijmeting zijn al berekeningen met Steenzet uitgevoerd om de doorlatendheid van de bekleding (toplaag en de filterlaag) vast te stellen. Hierbij is al geconstateerd dat dit slechts gedeeltelijk mogelijk was.

Met Steenzet wordt geen stroming in de onverzadigde zone meegenomen, water die via de onverzadigde zone infiltreert komt direct in de freatische zone. Deze berekeningsmethode geeft dus naar verwachting een overschatting van de stijgsnelheid van de freatische lijn. Om met Steenzet een predictie te maken van het gedrag tijdens de infiltratieproef moet de invoer worden aangepast.

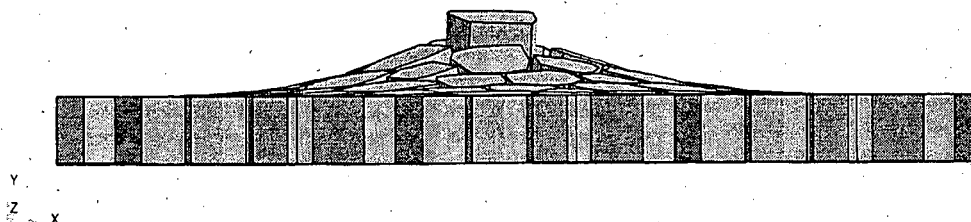
Een ander nadeel is dat in de modellering van Steenzet niet is voorzien in lekkage van water naar het dijklichaam. Uit de interpretatie van de getijmeting volgde dat dit waarschijnlijk een belangrijk mechanisme is op deze locatie. Getracht is om deze instroming naar het dijklichaam via een omweg toch te realiseren. Dit stuitte op een aantal numerieke problemen die binnen het kader van deze studie niet konden worden opgelost. Omdat de resultaten van een predictie met Steenzet in dit geval toch enigszins twijfelachtig zouden zijn, en het met SEEP/W wel mogelijk was om een predictie te maken, is dit spoor niet verder gevolgd.

4.4.3 DIANA berekeningen

Een uitgebreide beschrijving van de uitgevoerde DIANA berekeningen is te vinden in rapport 2001-NM-R014 van TNO-Bouw.

In de berekeningen is een deel van de steenzetting gemodelleerd. De basaltzuilen zijn gemodelleerd met volume-elementen, de voegvulling en de ondergrond is gemodelleerd met interface-elementen. Met de DIANA berekeningen zijn de trekproeven nagerekend om de elastische eigenschappen van de bekleding, met name de voegvulling, vast te stellen.

In eerste instantie gedragen de voegen zich lineair-elastisch. Bij grotere trekkrachten treedt afschuiving in de voegen op en wordt er een steen uit de bekleding getrokken. Dit gedrag komt overeen met het gedrag tijdens de trekproeven. Figuur 4.4 toont de berekende vervorming van een bekleding bij trekken aan een blok.



Figuur 4.4 Berekende vervorming taludbekleding bij trekproef, $F=15$ kN, perspectief evenwijdig aan talud (vergrotingsfactor vervorming 20)

Tevens is met een eenvoudiger plaatmodel en een analytisch model ook een analyse van de vervormingen gemaakt. Geconstateerd is dat deze drie modellen (zuilenmodel, plaatmodel en analytisch model) verplaatsingen geven die redelijk overeen komen zolang er geen zuil uit de bekleding wordt getrokken. De gemeten vervorming (opbolling) van de bekleding kan goed worden gemodelleerd met een equivalente stijfheidsmodulus van 45 MPa (trekproef T1) en 200 MPa (trekproef R3). De verwachting is dat bij langer aanhouden van de belasting de equivalente stijfheidsmodulus door kruip lager wordt.

Oorspronkelijk was het de bedoeling om met DIANA ook de vervorming tijdens de infiltratieproef te berekenen. Het bleek uiteindelijk, binnen de beschikbare tijd, niet mogelijk om deze berekeningen gereed te hebben voor de go-no go beslissing (stap 6). Hierdoor zouden deze berekeningen geen bijdrage geven aan de voorbereiding van de proef, en zijn daarom voorlopig niet verder uitgevoerd.

In plaats van de DIANA berekeningen is door WL|Delft Hydraulics ten behoeve van de go-no go beslissing met een eenvoudige handberekening een schatting gemaakt van de vervorming tijdens de infiltratieproef (zie bijlage F).

Hierbij is de bekleding gemodelleerd als een ligger op twee steunpunten. De belasting volgde uit de SEEP/W berekeningen en de stijfheid uit de DIANA berekeningen. De berekende vervorming varieerde tussen 0,8 m en 2,6 m bij raai G1 en bij raai G2 tussen 0,1 en 0,5 m. Bij deze vervormingen is de gebruikte schematisatie niet meer correct. Er wordt daarom niet verwacht dat de bekleding daadwerkelijk zover zal opbollen. De conclusie uit deze beschouwing was dat de bekleding zwaar overbelast wordt en zover opbolt dat hij bezwijkt.

5 Infiltratieproef

5.1 Go-no go beslissing

Tijdens een vergadering van de klankbordgroep op 10 september 2001 is besloten om de feitelijke infiltratieproef door te laten gaan. Als voorbereiding op deze go-no go beslissing is een notitie opgesteld met de belangrijkste aspecten en risico's. Deze notie is opgenomen als bijlage D. Een verslag van de bespreking is opgenomen als bijlage C.

De belangrijkste onzekerheden voor het wel of niet slagen van de proef waren de vraag of er voldoende overdruk onder de bekleding kan worden opgebouwd om deze op te drukken en of het hiervoor benodigde infiltratiedebiet geleverd kan worden.

Uit de resultaten van de getijmeting werd geconcludeerd dat de onderliggende kleilaag lek was. Hierdoor ontstond de vrees dat er niet voldoende overdruk opgebouwd kan worden om de bekleding te laten bezwijken. De resultaten van de SEEP/W berekeningen gaven echter vertrouwen dat er voldoende overdruk kan worden opgebouwd om de bekleding te laten vervormen (opbollen). Deze overdruk zou zich, volgens de predicties, met name opbouwen ter plaatse van een overgang tussen een goed en een minder goed doorlatend deel van de filterlaag. Door de verwachte lekkage naar het dijklichaam zou het benodigde debiet groot kunnen worden. Het voorspelde debiet is met normaal beschikbare pompen te leveren. Hiermee was aan de belangrijkste voorwaarden voor het slagen van de proef voldaan.

De klankbordgroep realiseerde zich dat absolute zekerheid over het slagen van de proef vooraf niet is te geven. Men was echter unaniem van mening dat, alles overziende, het verantwoord is om de proef op deze locatie door te laten gaan.

Tijdens de vergadering op 10 september 2001 waren er nog twee alternatieven voor de meetlocatie. Nadat de beslissing om de proef te laten doorgaan was genomen is de meetlocatie definitief vastgesteld. Een inventarisatie van de verschillende aspecten gaf geen duidelijke voorkeur voor raai G1 of raai G2 (zie hiervoor bijlage E). Uiteindelijk viel de keuze op raai G1 omdat daar het ingegoten basalt hoger doorloopt. Dit vak heeft als nadeel dat het relatief beperkt van breedte is, zodat zijdelingse afstroming een relatief grote invloed zou krijgen. Om dit effect te beperken is besloten om ook bij raai G2 water te infiltreren.

5.2 Uitvoering

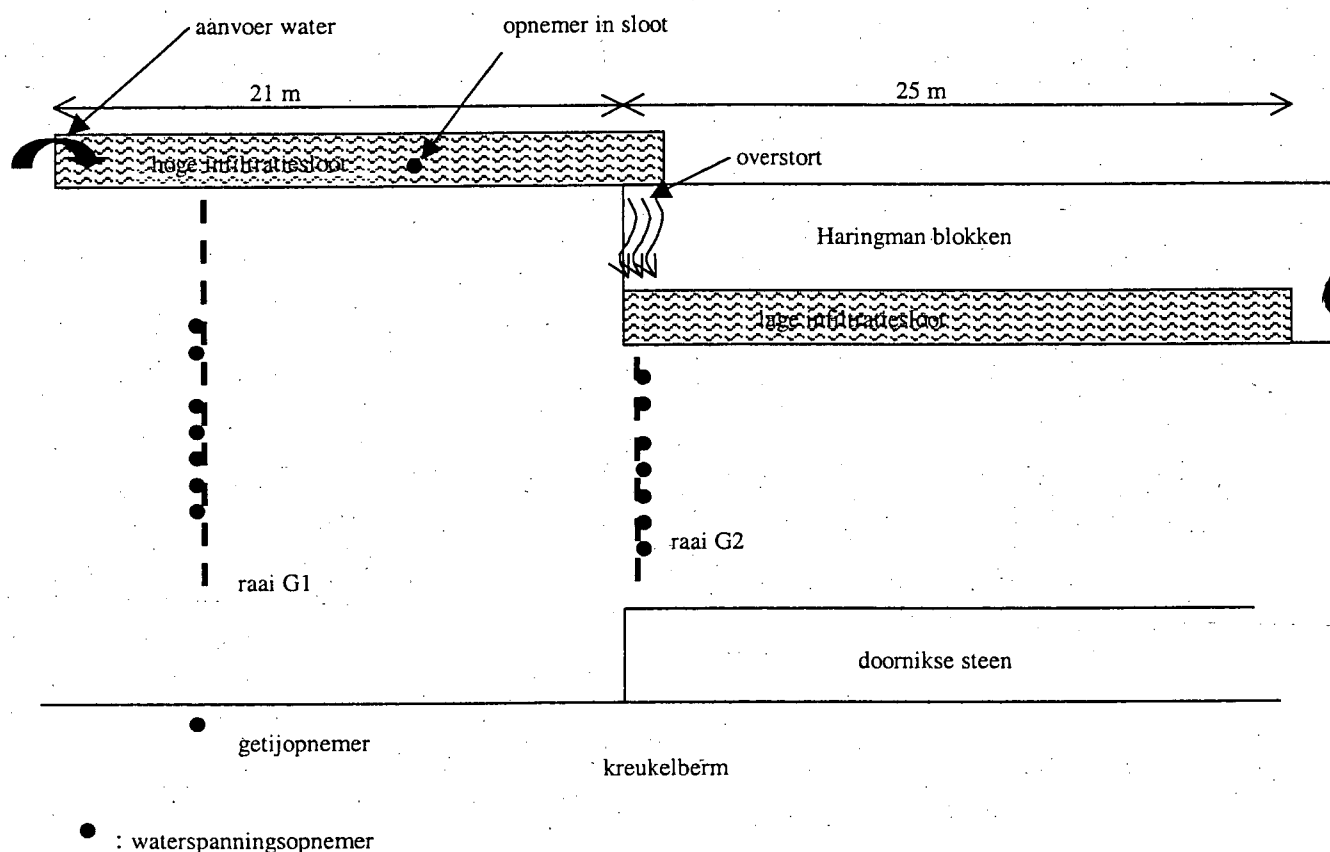
Een uitgebreide beschrijving van de infiltratieproef is te vinden in rapport CO-400970.0025 van GeoDelft en H3990 van WL|Delft Hydraulics.

Figuur 5.1 toont de meetopstelling. De meetopstelling bestond uit een 'hoge' en een 'lage' infiltratiesloot. De hoge sloot werd gevuld met water. Via een overstort werd de lage infiltratiesloot gevuld vanuit de hoge infiltratiesloot. De volgende waarden werden gemeten:

- waterdruk op het talud aan de teen (meting getij)
- waterdruk in de filterlaag in 2 raaien met elk 7 opnemers

- waterdruk in de hoge infiltratiesloot (vastleggen wanneer er werd geïnfiltreerd)
- meting vervorming talud met 12 hydrostatische opnemers in 1 raai
- meting vervorming talud op 15 punten middels waterpassen

De plaats van de diverse opnemers is weergegeven in bijlage 5.1.



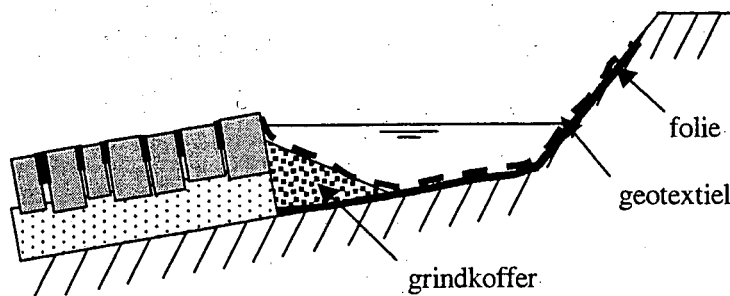
Figuur 5.1 Meetopstelling, bovenaanzicht

Op 24 september is de infiltratiesloot aangelegd en zijn de benodigde opnemers op de bekleding gemonteerd. De infiltratieproef zelf is uitgevoerd op 25 en 26 september. Op 27 september zijn de opnemers verwijderd, de bekleding hersteld en de verplaatsing van de toplaag bij alleen getij gemeten.

Door het Projectbureau Zeeweringen is de infiltratiesloot aangelegd. Tevens was het projectbureau Zeeweringen verantwoordelijk voor het herstel van de bekleding na afloop van de proef. Het Waterschap Zeeuwse Eilanden heeft gezorgd voor voldoende pompcapaciteit en personele ondersteuning. GeoDelft heeft tijdens de proef het getij en de waterdrukken onder de bekleding gemeten. WL|Delft Hydraulics heeft de vervorming van de toplaag gemeten.

Figuur 5.2 toont een doorsnede over de infiltratiesloot. Op de bodem van de sloot is een waterdicht folie gelegd om de onderliggende klei af te dichten en uitspoeling van klei te voorkomen. Tegen het filter is een grindkoffer geplaatst om de bestaande bekleding te ondersteunen. Over het geheel is een doorlatend

geotextiel gelegd om dichtslibben van het filter te voorkomen. Tijdens de proef is gebleken dat dit geotextiel dicht ging zitten. Dit probleem was te verhelpen door het geotextiel voortdurend schoon te vegen en schoon te spuiten.



Figuur 5.2 Doorsnede infiltratiesloot (schematisch)

Een fotoimpressie van de proef is opgenomen als bijlage 5.2.

Tijdens de proef was het weer half tot zwaar bewolkt, de windsnelheid was 2 à 3 Beaufort. Op 27 september was er enige neerslag. De gemiddelde temperatuur was ongeveer 13°C.

5.3 In het veld geconstateerde verschijnselen

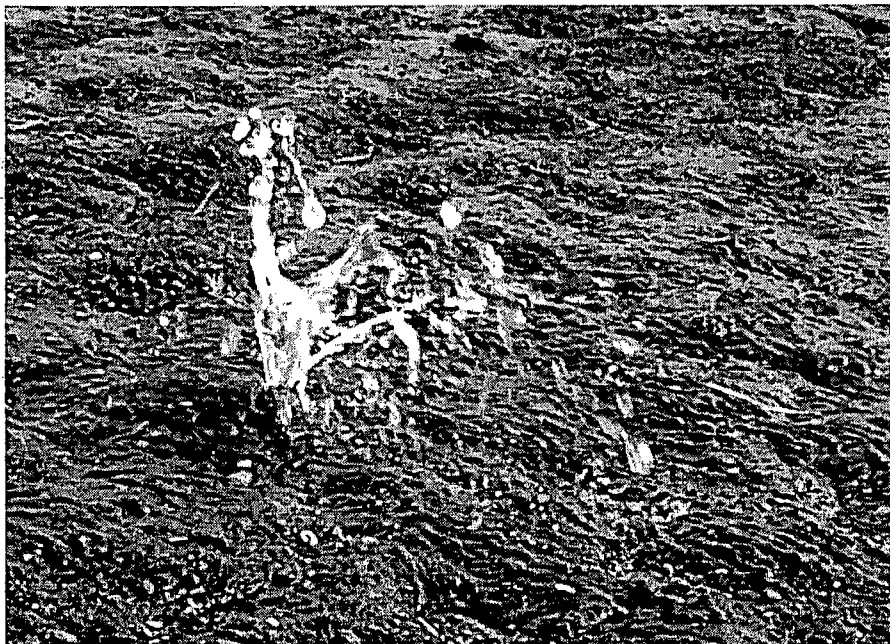
De drukken onder de bekleding liepen snel op na het begin van infiltratie om vervolgens praktisch constant te blijven. Enige minuten na het begin van de infiltratie begon het water uit de toplaag omhoog te komen, vaak in de vorm van fonteintjes met een hoogte van 10 à 20 cm (figuur 5.3 toont één van de fonteintjes). Ook aan de teen stroomde op verschillende plaatsen water naar buiten. In het begin was dit water slibhoudend, na verloop van tijd kreeg het een heldere aanzien.

De plaatsen waar het water door de toplaag naar buiten kwam waren vooraf niet herkend als plaatsen waar de toplaag lek was. De bekleding vertoonde daar voorafgaand aan de proef geen vochtvlekken of een groene aanslag. Ook werden geen plaatsen gevonden waar op het oog de penetratie ontbrak.

Tijdens de proef bleek het geotextiel dicht te slaan, waardoor de drukken onder de bekleding terugliepen. Vanaf dat moment is met succes het geotextiel schoongehouden door continu te vegen en schoon te spoelen.

De infiltratie is een paar keer stopgezet om de grootste gaten in de toplaag te dichten met CEBAR (snelhardend cement). De druk onder de bekleding liep hierdoor niet noemenswaardig verder op. Wel bleek dat in de loop der tijd het aantal plaatsen waar water uit het talud kwam toenam.

Opvallend veel 'fonteintjes' ontstonden op de plaats waar verwacht werd dat een overgang tussen een goed en een minder goed doorlatend filter aanwezig is.



Figuur 5.3 Voorbeeld van een 'fonteinje'

Een bezwijken van de bekleding, in de vorm van grote vervormingen en afschuivingen, is niet opgetreden. Na afloop van de proef was de bekleding nog intact.

Op 26 september is, op een plaats waar twee fonteinjes aanwezig waren, een steen uit de bekleding gelicht om de filterlaag te inspecteren. Hierbij zijn geen bijzonderheden geconstateerd.

5.4 Meetresultaten

De plaats van de diverse opnemers is te zien in bijlage 5.1.

In tabel 5.1 en 5.2 wordt de plaatshoogte van de waterdrukopnemers in de filterlaag gegeven.

Opnemer	hoogte opnemer [m + NAP]
WSM 1 (getij)	0.27
WSM 2	1.44
WSM 3	1.73
WSM 4	1.99
WSM 5	2.34
WSM 6	2.54
WSM 7	2.97
WSM 8	3.18

Tabel 5.1 Plaatshoogte opnemers raai G1 (t.o.v. NAP)

Opnemer	hoogte opnemer [m + NAP]
WSM 1	1.02
WSM 2	1.37
WSM 3	1.67
WSM 4	1.94
WSM 5	2.15
WSM 6	2.80
WSM 7	2.98
WSM 8 (sloot)	≈4.6

N.B. de hoogte van de opnemer in de infiltratiesloot is niet gemeten, maar geschat

Tabel 5.2 Plaatshoogte opnemers raai G2 (t.o.v. NAP)

De meetnauwkeurigheid van de waterdrukopnemers was minder dan 1 mBar (0,1 kPa). De meetnauwkeurigheid van de verplaatsingsmetingen (verschilmeting) was waarschijnlijk minder dan 1,0 mm. Het verschil tussen de meetresultaten gemeten door middel van waterpassing en hydrostatische metingen was gering.

Het verloop van het getij en de waterdiepte in de bovenste infiltratiesloot is opgenomen als bijlage 5.3a en bijlage 5.4a. De gemeten drukken (drukhoogten) op meetdag 1 en 2 zijn opgenomen als bijlage 5.3b en 5.3c, respectievelijk bijlage 5.4b en 5.4c. De gemeten verplaatsingen zijn gegeven in bijlage 5.5a t/m 5.6c.

Het infiltratiedebiet is niet gemeten. Mondelinge opgave van de machinist van de pomp was dat het debiet ongeveer 50 à 100 m³/hr bedroeg. Het infiltratiedebiet was daarmee een factor 5 groter dan het voorspelde debiet. De verschillende waterstromen zijn niet gemeten zodat geen waterbalans kan worden opgesteld.

Voor de verdere meetgegevens wordt verwezen naar de onderliggende werkrapporten CO-400970.0025 en H3990

6 Eerste interpretatie infiltratieproef

6.1 Resultaat proef

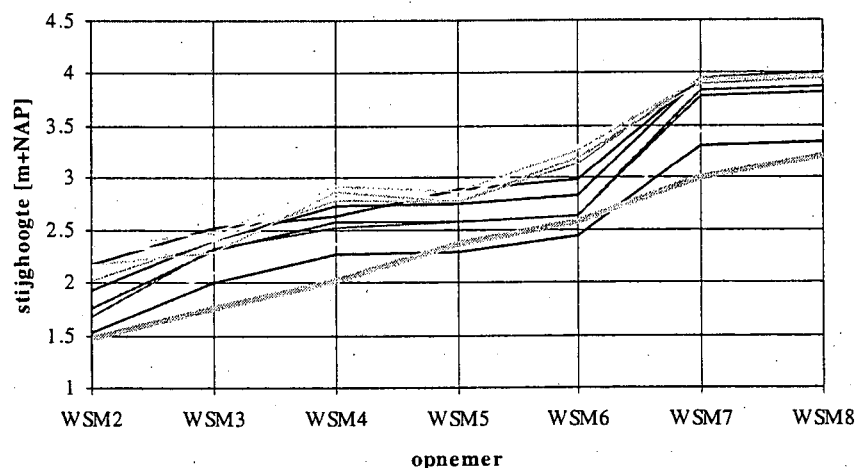
Op drie plaatsen (WSM4 en WSM 7 van raai G1 en WSM 6 van raai G2) is in de filterlaag een drukhoogte gemeten van ongeveer 0,9 m. Bij een dikte van de toplaag van ongeveer 0,25 m en een volumegewicht van 28 kN/m^3 is het eigen gewicht van de bekleding ongeveer 7 kN/m^2 . De drukhoogte die nodig is om de het eigen gewicht van de bekleding te compenseren is daarmee ongeveer 0,7 m. De gemeten drukhoogte ligt hier in een aantal gevallen boven.

Voor plaatsen waar een drukhoogte van 0,9 m wordt gemeten blijkt dat de stijghoogte in de direct hierboven gelegen opnemers gelijk is aan de stijghoogte op deze plaatsen. Dit is te zien in figuur 6.1a en 6.1b. Deze figuren tonen de gemeten stijghoogten op de eerste meetdag voor diverse tijdstippen. Bij raai G1 is te zien dat de stijghoogte in WSM4 en WSM5 gelijk zijn. Hetzelfde geldt voor WSM7 en WSM8. Bij raai G2 wordt dit geconstateerd voor WSM6 en WSM7.

Bij WSM1 en WSM2 worden hogere drukhoogten onder de bekleding tot 1,5 m gemeten. Dit is voor de situatie dat er water op het talud staat, zodat dit niet betekent dat de bekleding aldaar wordt opgetild.

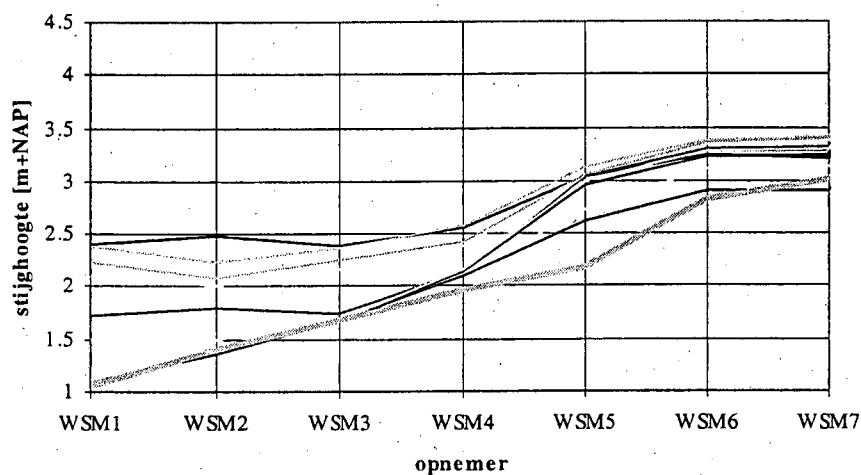
Figuur 6.1a Verloop stijghoogte als functie van de plaats (opnemer) op meetdag 1, de diverse lijnen

Infiltratieproef Kruiningen, raai G1, dag 1



zijn voor diverse tijdstippen. De dikke lijn geeft de plaatshoogte van de opnemers weer.

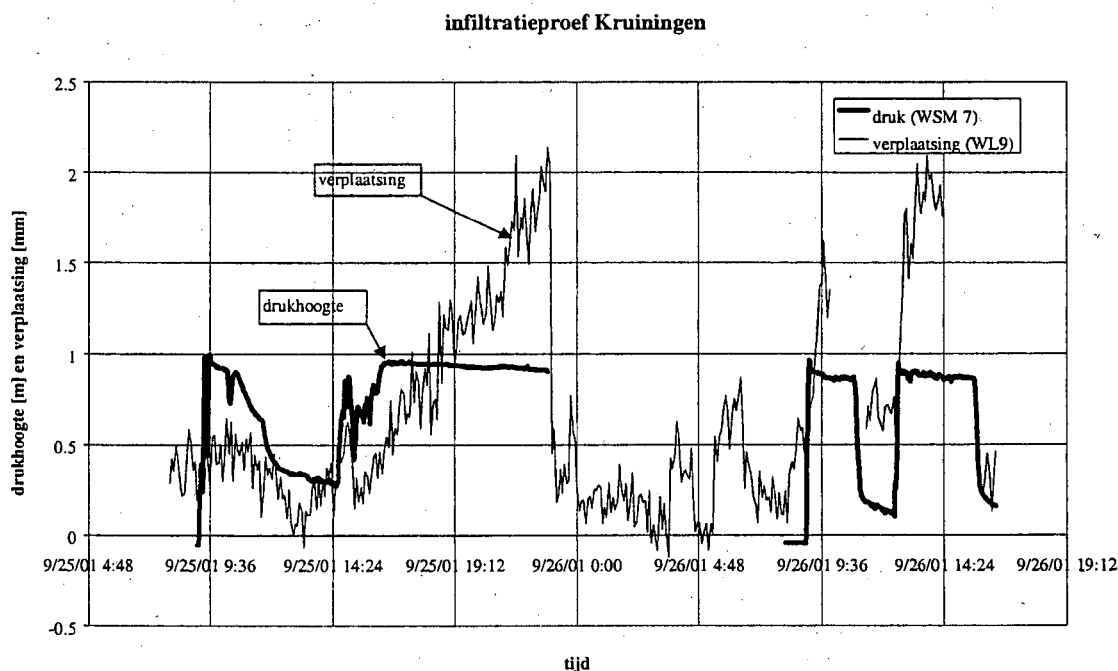
Infiltratieproef Kruiningen, raai G2, dag 1



Figuur 6.1b Verloop stijghoogte als functie van de plaats (opnemer) op meetdag 1, de diverse lijnen zijn voor diverse tijdstippen. De dikke lijn geeft de plaatshoogte van de opnemers weer.

Uit vergelijking van het verloop van de druk en de verplaatsing van de toplaag blijkt dat de verplaatsing doorgaat terwijl de druk constant blijft. Figuur 6.2 toont dit verloop voor WSM7 van raai G1. Dit kan duiden op kruipvervorming van de toplaag. Na aflatens van de druk loopt de opbolling snel terug tot de oorspronkelijke waarde. Als migratie van het (grove) filtermateriaal de oorzaak van de opbolling was zou deze terugval niet optreden.

Op 27 september is de vervorming van het talud gemeten tijdens gebruiksbelasting (getij). De hierbij gemeten vervormingen zijn verwaarloosbaar. De tijdens de infiltratieproef gemeten vervormingen zijn dus een gevolg van de proef en niet van het getij.



Figuur 6.2 Verloop druk en verplaatsing voor een geselecteerd punt van raai G1

Verwacht wordt dat een soort piping in de filterlaag is opgetreden, danwel dat de filterlaag in zijn geheel is schoongespoeld, danwel dat de toplaag iets wordt opgetild en er een spleet is ontstaan tussen de toplaag en de filterlaag. Daardoor wordt de doorlatendheid van de filterlaag vergroot en stroomt het water snel naar de teen. Dit verlaagt ook de overdrukken onder de toplaag. Aanwijzingen hiervoor zijn het uittredend water aan de teen, de kleur van het uittredende water (aan het begin van de proef slibhoudend, na enige tijd helder) en het grotere benodigde debiet op dag 2 vergeleken met het debiet op dag 1.

Merkwaardig is dat de bekleding op een beperkt aantal plaatsen omhoog komt en niet in zijn geheel. Vanuit een 2-dimensionale beschouwing is dit alleen te verklaren als beneden het beschouwde punt de toplaag zwaarder is of een veel hogere stijfheid heeft en daarom niet wordt opgetild. Een andere verklaring is dat de toplaag niet in zijn geheel wordt opgetild, maar dat de 'pipes' een grillig patroon onder de bekleding vormen, waarbij 2 pipes meetraai G1 en 1 pipe meetraai G2 kruist.

Tevens stroomde er water via de toplaag weg uit de filterlaag, vaak in de vorm van 'fonteyntjes'. Dit verschijnsel doet vermoeden dat de toplaag bij het begin van vervormen lek raakt of dat aanwezige scheuren open gaan staan. Via deze lekken raakt de filterlaag een deel van zijn wateroverdruk kwijt.

Het gedrag van de ingegoten bekleding op wateroverdrukken tijdens de proef is anders dan tot nu toe nu wordt verwacht. Er lijkt sprake te zijn van een zelf regulerend mechanisme waardoor de belasting niet te ver kan oplopen.

Het betreft hier een eerste, globale, interpretatie van de proefresultaten. Een diepgaandere analyse is nodig om definitieve conclusies te kunnen trekken.

6.2 Verschillen predictie en metingen

Het gedrag van de toplaag week op een aantal punten af van de predicties:

- gemeten is een overdruk van 0,9 m, volgens de predictieberekeningen (met SEEP/W) zou een overdruk van 1,5 m ontstaan
- de sterktemodellering middels trekproeven en DIANA berekeningen lijkt achteraf minder relevant
- het voorspelde bezwijken is niet opgetreden
- het werkelijke infiltratiedebiet (geschat op 50 à 100 m³/hr) was aanzienlijk hoger dan voorspeld met de predictieberekeningen (ongeveer 10 m³/hr).

6.3 Mogelijke verklaringen voor verschil meting-predictie

Mogelijke verklaringen voor de in paragraaf 6.2 geconstateerde verschillen zijn:

1. met de huidige predictiemodellen is het wel mogelijk om te voorspellen wat de waterdrukken zijn op het moment dat de toplaag begint te bewegen. Wat er vervolgens met de waterdrukken gebeurt hangt af van het gedrag van de toplaag tijdens bezwijken. Dit kan met de huidige modellen niet worden gemodelleerd
2. in de filterlaag ontstaat mogelijk piping in het ingezande deel van het filter. Op basis van eenvoudige pipingregels, zoals die van Bligh, is piping te verwachten. Volgens Bligh is het toegestane verhang $H = L/C$. Voor fijn zand is $C = 15$. Dit geeft voor het toegestane verhang $H = L/15$, dus een verval van $H/L = 1/15$. Het werkelijke verval is ongeveer gelijk aan de taludhelling dus $1/3,5$ à $1/4$. Een aanwijzing voor het ontstaan van piping is het uitstromen van slibhoudend water uit de teen in de beginfase van de proef.
3. de doorlatendheid van de toplaag is niet homogeen en constant. Bij het begin van infiltratie vindt het water, zodra er drukopbouw plaatsvindt, feilloos die plaatsen waar het naar buiten kan stromen. Naarmate de waterdruk toeneemt kunnen er nieuwe openingen ontstaan. Als de toplaag in beweging komt kan dat nieuwe openingen (scheurtjes) veroorzaken. Hierdoor neemt de doorlatendheid van de toplaag toe. Dit wordt aan het oppervlak geconstateerd als plaatsen waar water uit de toplaag stroomt. Bij eerdere bezoeken is niet geconstateerd dat er ter plaatse water uit de toplaag stroomde. De afwezigheid van groen uitgeslagen plekken, normaal een aanwijzing dat er een lek in de toplaag aanwezig is, is ook een indicatie dat er geen gaten in de toplaag aanwezig waren. Dit maakt het aannemelijk dat de scheuren en gaten zijn ontstaan tijdens de infiltratieproef
4. bij raai G2 spoelen de spleten tussen de dichtgeslibde Doornikse steen spoelen schoon. Hierdoor neemt de doorlatendheid van de teen sterk toe. Bij raai G1 is een soortgelijk verschijnsel geconstateerd bij de kreukelberm
5. de overdruk kan niet veel verder oplopen dan nodig is om de bekleding op te tillen. Op dat moment ontstaat er een spleet tussen de toplaag en de filterlaag, en neemt de doorlatendheid van de filterlaag sterk toe. Dit zou tot uitdrukking moeten komen in een sterke toename van de drukhoogte in de lager gelegen drukopnemers. Dit is echter niet geconstateerd. Er kan echter sprake zijn van allerlei lokale verschijnselen die niet zijn gemeten
6. de filterlaag is doorlatender dan uit het narekenen van de getijmeting volgt. Bij het narekenen van de getijmeting met SEEP/W is gebleken dat het 'leeglopen' van de filterlaag in werkelijkheid sneller gaat dan volgens de berekening. Als geprobeerd werd om het filter sneller te laten leeglopen had dit tevens tot gevolg dat bij opkomend tij de filterlaag sneller volstroomde dan volgens de getijmeting. Dit kan duiden op een verloop van de doorlatendheid tijdens het getij, waarbij de doorlatendheid van

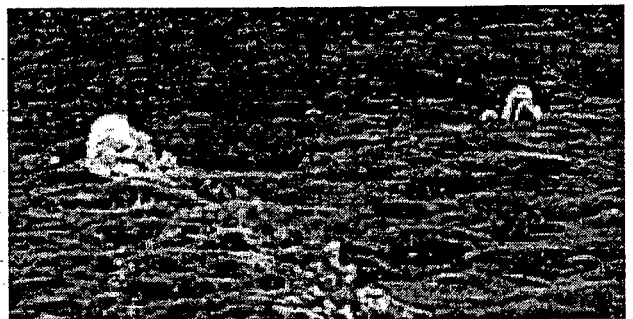
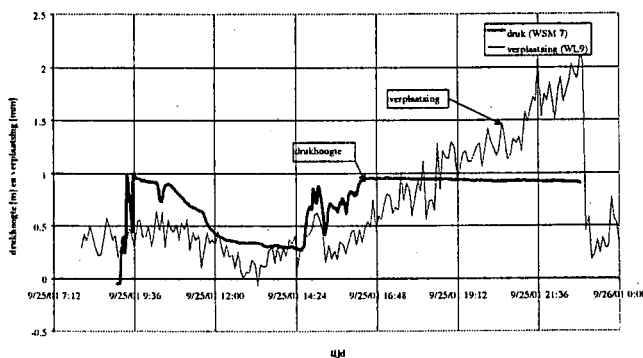
de filterlaag tijdens leegstromen hoger is dan bij volstromen. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat bij instromen de stijghoogte op de bekleding hoger is dan eronder waardoor de bekleding tegen het filter wordt gedrukt, bij leegstromen van de filterlaag is de situatie omgekeerd en wordt de bekleding iets opgedrukt

7. door het zijdelings afstromen van water kan de waterdruk afnemen. Afgaande op het patroon van plaatsen waar water uit het talud komt is globaal aan te nemen dat de zone waar de stijghoogte sterk oploopt ongeveer een hoek van 45° betreft. In werkelijkheid kan het water wel verder horizontaal wegstromen, maar de drukken daarbij zijn dan zo klein dat dit water niet meer uit de toplaag stroomt. Bij maatgevend hoogwater speelt zijdelingse afstroming geen rol, behoudens situaties waar een dichte bekleding aansluit op een open bekleding
8. het infiltratiedebiet was aanzienlijk groter dan uit de predictieberekeningen volgde. Het verschil was ongeveer een factor 5. Een deel van dit verschil kan worden toegeschreven aan zijdelingse afstroming, maar dat is onvoldoende om dit verschil te verklaren. Door de toplaag vindt lek plaats, maar dit is zeker niet voldoende om het grote infiltratiedebiet te verklaren. Naar verwachting verdwijnt een aanzienlijk percentage van het geïnfilterde water door de filterlaag richting de teen. Een andere verliesterm is infiltratie van water vanuit de filterlaag naar het dijklichaam door de onderliggende kleilaag.

7 Conclusies en aanbevelingen

De resultaten van de proef hebben het inzicht in het gedrag van een ingegoten bekleding aanzienlijk vergroot. Een voorlopige interpretatie van de proefresultaten is dat de doorlatendheid van de filterlaag is vergroot door piping, schoonspoelen van de filterlaag en/of oplichten van de toplaag. Hierdoor neemt de doorlatendheid van de filterlaag toe en zal deze sneller leeglopen dan bij normale condities.

Een tweede mechanisme is dat bij overdruk er scheuren en/of openingen in de toplaag ontstaan die de wateroverdruk doen afnemen.



Figuur 7.1 Voorbeeld meetresultaat en stroming door toplaag

De opgetreden verschijnselen worden nog niet volledig begrepen. Duidelijk is wel dat de huidige methode van toetsing van ingegoten bekledingen geen recht doet aan het werkelijk gedrag van dit type bekledingen. Bezijken op overdruk lijkt, in ieder geval voor deze locatie, niet het maatgevende mechanisme. Of deze conclusie ook geldt voor andere locaties, bijvoorbeeld indien een dichte teenconstructie aanwezig is, zal nader onderzocht moeten worden.

Het is nog wel mogelijk dat bezijken plaatsvindt door een combinatie van overdruk en golfbelasting. Ook dit zal nader onderzocht moeten worden.

Het uitgevoerde onderzoek en de daaruit volgende inzichten leiden tot de volgende aanbevelingen:

- onderzoek of de combinatie van overdruk en golfbelasting aanleiding kan geven tot bezijken
- een nadere analyse van de drukregistraties en de gemeten verplaatsingen tijdens de infiltratieproef. Hierbij moet worden gekeken of de opgetreden verschijnselen fysisch zijn te verklaren. Vervolgens moeten deze verklaringen worden onderbouwd met de meetresultaten en eventueel aanvullende berekeningen, danwel werkhypothese voor verder onderzoek worden opgesteld
- herhaling van de meting op andere locaties. Er is nu sprake van een proef op één locatie. Algemeen geldend verklaren van de resultaten van deze proef voor alle ingegoten bekledingen is onverantwoord. Door de meting te herhalen op andere locaties kan worden nagegaan of de geconstateerde verschijnselen uniek zijn voor deze locatie, of ook bij andere locaties aanwezig zijn. Dit kan dan een minder uitgebreide versie zijn van het hier gerapporteerde onderzoek. Minimaal zullen echter aanwezig moeten zijn de meting van de drukken onder de toplaag en de vervorming van de toplaag. Het uitvoeren van trekproeven, berekeningen met SEEP/W en met DIANA kan in

eerste instantie achterwege worden gelaten. Deze zijn in een later stadium, als dat nuttig en nodig blijkt voor de interpretatie van de meetresultaten, alsnog uit te voeren. Bij voorkeur wordt vooraf een getijmeting uitgevoerd. Nadeel van het achteraf uitvoeren van een getijmeting is dat deze moet worden uitgevoerd op een mogelijk verstoord meetvak of buiten het meetvak. Het kan interessant zijn om zowel vooraf als na afloop van de proef een getijmeting uit te voeren, om daarmee de verandering in doorlatendheden te meten.

- aanhouden van de beslissing tot vervangen van afgekeurde ingegoten bekledingen totdat de resultaten van de nadere analyse bekend zijn
- heroverweging van de geavanceerde toetsing van de meetlocatie; mogelijk kan het bekledingsvak alsnog worden goedgekeurd op basis van 'bewezen sterkte'. Noodzakelijk daarvoor is dat een einduitspraak over de stabiliteit voor de toetscondities mogelijk is op basis van de proefresultaten. Hierbij moet ook rekening worden gehouden met de combinatie overdruk-golfbelasting (zie eerste aanbeveling)

Beschrijven van het werkelijke gedrag in een handzame toetsmethodiek vormt een echte uitdaging. De verwachting is dat met een nieuwe methodiek minder bekledingen moeten worden afgekeurd en dus minder bekledingen moeten worden vervangen. Het resultaat van de proef biedt perspectief om te komen tot een minder conservatieve beoordeling van gepenetreerde bekledingen. De winst hiervan is zowel financieel (minder kosten), milieutechnisch (besparing op bouwstoffen) als maatschappelijk (herstel dijkbekledingen is eerder gereed) van aard.

OVERZICHT WERKRAPPORTEN

- Geavanceerde toetsing van de Kruiningenpolder en de Oost-Inkelenpolder, definitief, CO-388710/91, versie 1, januari 2001 (GeoDelft)
- Getijmeting Oost-Inkelenpolder, definitief, CO-400970.0023, versie 1, oktober 2001 (GeoDelft)
- Predictieberekeningen infiltratieproef basaltbekleding met Seep/W, definitief, CO-400970.0014, versie 2, januari 2002 (GeoDelft)
- Haalbaarheidsstudie toetsing ingegoten/overgoten dijkbekleding Kruiningen, trekproeven, definitief, CO-400970/301/19, oktober 2001 (GeoDelft)
- Verplaatsingsmetingen tijdens trekproeven op ingegoten basalt, definitief, H3990.20, november 2001 (WL/Delft Hydraulics)
- Numerieke simulaties zuilenbekleding met gietasfalt voegen, definitief, 2001-NM-R014, 10 februari 2002 (TNO Bouw)
- Meetverslag infiltratieproef Kruiningen, definitief, CO-400970.0025, februari 2002 (GeoDelft)
- Verplaatsingsmetingen tijdens inpompproef bij Kruiningen, versie 2 (definitief), H3990, februari 2002 (WL/Delft Hydraulics)

BIJLAGE A: Stappenplan

Inleiding

Middels opdrachtbon 31511018 (AK) heeft RWS-DWW aan GeoDelft opdracht gegeven tot het opstellen van een stappenplan voor het uitvoeren van een infiltratieproef op gepenetreerde steenzetting, inclusief een locatiebezoek.

Doel proef

Uitvoeren van een haalbaarheidstudie voor het opstellen van een procedure voor het toetsen van een ingegoten/overgoten bekledingen.

Achtergrond

Het toetsen van met asfalt of beton in- of overgoten bekledingen levert in de praktijk grote problemen op. Er wordt gevoelsmatig een extra sterkte aan de ingieting van dit soort bekledingen toegeschreven die echter niet kan worden gekwantificeerd. Daarom kan er in de toetspraktijk geen rekening mee worden gehouden en zullen grote strekkingen wellicht ten onrechte worden afgekeurd. Het doel van dit onderzoek is deze kennisleemte te vullen en daarmee dit soort bekledingen adequaat te kunnen toetsen.

Het totale onderzoek bestaat uit de volgende stappen:

1. Opstellen stappenplan (dit document)

Deze stap dient om te bezien of de uitvoering van een infiltratieproef met als doel een haalbaarheidstudie voor het opstellen van een procedure voor het toetsen van bovengenoemde bekledingen te realiseren is en omvat de volgende onderdelen:

- overleg over opzet onderzoek
- keuze meetlocatie
- veldbezoek
- opbreken bekleding (enkele gaten)
- opstellen kostenraming

2. Onderzoek belasting op bekleding d.m.v. een getijmeting

De getijmeting bestaat uit de volgende onderdelen:

- uitvoeren twee getijmetingen
- boren extra gaten t.b.v. mini infiltratieproef
- afdichten gaten met packers voor hergebruik bij infiltratiemeting
- uitwerken twee getijmetingen

De resultaten van de getijmeting worden gebruikt om de doorlatendheid van de toplaag en de filterlaag te bepalen. De plaats van de getijmetingen is ter plaatse van het meetvak voor de infiltratieproef. De meting wordt in duplo uitgevoerd om een indruk te krijgen van eventuele variatie in de bekleding. Met de getijmeting kan alleen iets worden gezegd over het gedeelte van de bekleding dat door getij wordt belast, ongeveer tot NAP + 2,5 m. Voor het gedeelte hierboven geeft deze meting geen resultaat. De indruk bestaat dat het onderste deel van de filterlaag minder doorlatend is dan het hooggelegen deel. Om toch een indicatie te krijgen van de doorlatendheid van het bovenste deel van de filterlaag zullen een aantal extra gaten worden geboord waarin een mini infiltratieproef wordt gedaan. Deze bestaat uit het meten van de zaksnelheid van het water in de gaten. Deze extra gaten worden zodanig gekozen dat zij ook bruikbaar zijn voor het plaatsen van opnemers tijdens de echte infiltratieproef.

De exacte keuze van het meetvak is nog niet bekend. Deze wordt pas bij stap 6 gemaakt. Op dit moment zijn er twee opties. De getijmetingen worden daarom niet beide in hetzelfde vak uitgevoerd maar per mogelijk meetvak 1 getijmeting.

3 --- Onderzoek sterkte van de bekleding d.m.v. trekproeven

3a Uitvoeren trekproeven

In totaal zijn er 3 trekproeven voorzien. De keuze voor het meetvak moet nog worden gemaakt. Deze trekproeven moeten naast het meetvak worden gedaan, om beschadiging van het meetvak te voorkomen. De drie trekproeven worden ten oosten van de voorziene mogelijke meetvakken uitgevoerd. De resultaten hiervan worden gebruikt bij (en zijn nodig voor) de go-no go beslissing (stap 6). Aangenomen wordt dat de sterkte alhier representatief is voor het meetvak.

De opstelling is een zogenaamde krachtgestuurde trekproef en is geschikt tot een belasting van 100 kN. De opstelling bestaat uit twee stalen balken met een lengte van circa 4 meter. Deze worden met een kleine tussenruimte naast elkaar op het talud geplaatst. Over de balken wordt een plaat aangebracht waarop een holle elektrische krachtmeetdoos met een holle vijzel wordt geplaatst. Hierdoor komt een 3/4" draadstang welke boven de vijzel opgesloten wordt met borgmoeren. Om tijdens de proeven geen invloed te ondervinden van de balksteunpunten op het talud, wordt een afstand van twee meter aangehouden tot de te beproeven basaltsteen.

De opstelling is met handkracht te installeren.

De verankering in de basaltsteen vindt plaats met behulp van een zogenaamd chemisch anker. In de basaltsteen wordt een gat geboord waarin een chemisch anker wordt geplaatst en vervolgens wordt hierin de genoemde 3/4" draadstang gedraaid.

Er wordt getrokken aan 1 steen. Een kritisch punt de verbinding anker-steen. Om de betrouwbaarheid van het anker voor deze toepassing te testen, is het noodzakelijk een geschiktheidproef uit te voeren. Dit kan met reserve basaltstenen plaatsvinden op GeoDelft.

3b Uitvoeren meting tijdens de trekproeven

De trekproeven bestaan uit de volgende deelstappen

- voorbereiding (ontwerp opstelling, testen capaciteit verankering in de steen, opstellen meetprotocol inclusief stappen indien beoogt resultaat niet wordt gehaald, meting belasting en vervormingen)
- uitvoeren 3 trekproeven
- meting kracht en vervorming
- meting temperatuur voegvulling
- uitwerken trekproeven

Het exacte belastingschema moet nog worden vastgesteld. Bij een storm is de belasting langdurend aanwezig. Dit zal in het belastingschema worden meegenomen. Voorlopig is de bedoeling dat de belasting langzaam wordt opgevoerd naar de maximale belasting en vervolgens enige tijd constant wordt gehouden. Uitgegaan wordt van een totale belastingduur per trekproef van maximaal 2 uur en twee proeven per dag.

Tijdens de trekproeven worden de kracht en de vervorming van het talud gemeten. Op dit moment is de verwachting dat het anker voldoende sterk is om de belasting van de vijzel naar de steen over te dragen. Mocht onverhoopt de proef mislukken doordat het anker of de steen bezwijkt, dan wordt uitgeweken naar een reservelocatie. Om dit mogelijk te maken zullen in 6 stenen ankers worden aangebracht.

Tijdens de trekproeven op de ingegoten basaltbekleding moet de verplaatsing gemeten worden van de bekleding rondom het blok dat omhoog getrokken wordt. Deze metingen worden uitgevoerd met een Leica Total Station.

Voorgesteld wordt om rond het te trekken blok op negen plaatsen de verplaatsingen loodrecht op het talud te meten met een nauwkeurigheid van ongeveer 1 mm. Deze punten moeten vanaf één punt zichtbaar zijn.

Als meetmethode is gekozen voor een geodetische methodiek, zoals ook voor de vervormings- en verplaatsingsmetingen van de Stormvloedkering Oosterschelde wordt toegepast, en wel door toepassing van een geavanceerde Total Station met automatische targetting en loggersoftware.

Het meetinterval is circa 1 minuut, de verwachte precisie van de metingen is 1 mm (95% betrouwbaarheidsinterval).

Tijdens de trekproef wordt de waterdruk onder de bekleding niet gemeten. Uit de getijmeting volgt of verwaarlozing van deze druk geoorloofd is of niet.

Een discussiepunt is de invloed van de temperatuur op het gedrag van asfalt. Naar verwachting zullen de trekproeven in de zomer en de infiltratieproef in de herfst worden uitgevoerd. De toetsituatie is de winter. Verwacht wordt dat bij lagere temperaturen de voegvulling zich brosser zal gedragen (hogere stijfheid en kleiner vervormingstraject). Verwacht wordt dat de voegvulling een grote invloed heeft op de stijfheid van de bekleding.

Tijdens de trekproeven wordt daarom de temperatuur van de voegvulling gemeten.

Verder onderzoek naar dit aspect wordt op dit moment niet opportuun geacht.

Het doel van de predictie is na gaan of het uitvoeren van de infiltratieproef zinvol is.

Voor deze predictie worden de volgende berekeningen uitgevoerd:

- narekenen getijmeting met SEEP/W
- narekenen trekproef met DIANA
- predictie waterdrukken tijdens de proef met Zsteen
- predictie waterdrukken tijdens de proef met SEEP/W
- predictie belasting in de toplaag tijdens de proef

Uit de analyse van de getijmeting volgt de eerste schatting voor de doorlatendheid van de filterlaag en de toplaag. Dit is onderdeel van stap 2.

Met Steenzet/Zsteen wordt geen stroming in de onverzadigde zone meegenomen, water die via de onverzadigde zone infiltreert komt direct in de freatische zone. Deze berekeningsmethode geeft dus naar verwachting een overschatting van de stijgsnelheid van de freatische lijn. Om met Steenzet/Zsteen een predictie te maken van het gedrag tijdens de infiltratieproef moet de invoer worden aangepast.

In de SEEP-W berekeningen kan tijdsafhankelijke stroming in zowel de verzadigde als de onverzadigde zone worden meegenomen. Hiermee komt dit model beter overeen met de werkelijkheid dan de getijversie van Steenzet. Een nadeel is het grote aantal variabelen, waardoor fitten van de meetresultaten arbeidsintensiever is.

Met de DIANA berekeningen wordt een numerieke simulaties van praktijktrekproeven op zuilenbekleding met gietasfalt voegen uitgevoerd. De verkregen last-verplaatsingsdiagrammen worden vertaald naar een stijfheid van de bekleding.

De werkzaamheden betreffende de volgende activiteiten:

- Het analyseren van de resultaten van de praktijktrekproeven. Het optredende (bezwijk)mechanisme wordt bepaald. Hieruit wordt afgeleid welke parameters van de voegen een belangrijke rol spelen (normaalstijfheid, afschuifstijfheid, cohesie, wrijvingshoek, dillatantie hoek en kruip effecten).
- Het uitvoeren van een numerieke simulatie van een praktijktrekproef. Het last-verplaatsingsdiagram (F-u curve) verkregen met DIANA wordt getuned aan een representatieve F-u curve uit de praktijktrekproef. Het tunen bestaat uit maximaal 2 verbeterlagen en dus maximaal 3 berekeningen. Voor deze numerieke berekeningen gelden de volgende uitgangspunten:
 - Er wordt gebruik gemaakt van het in TNO-rapport 2000-MIT-NM-R016 'Numerieke modellering van een blokken- en zuilenbekleding' opgestelde model:
 - Hetzelfde belastingsproces als in TNO-rapport 2000-MIT-NM-R016 wordt aangenomen. Dit betekent dat de initiële spanningen alleen door het eigen gewicht van de zuilen wordt veroorzaakt. Het eigen gewicht van de voegen wordt niet meegenomen. Er wordt ervan uitgegaan dat de spanningen t.g.v. het (warm) aanbrengen van het gietasfalt weg gerelaxeerd zijn. Temperatuurseffecten worden niet meegenomen.
 - Er wordt ervan uitgegaan dat alleen het gedrag van de voegen onbekend is. De eigenschappen van de zuilen en bedding worden bekend verondersteld en worden niet

gevarieerd. Dit betekent dat de invloed van het binnendringen van het gietasfalt in het filter onder de bekleding (de bedding) niet wordt onderzocht.

- Wanneer uit de analyse van de praktijktrekproeven blijkt dat kruip effecten een belangrijke rol spelen, is het mogelijk om dit fenomeen op vereenvoudigde wijze mee te nemen in de berekening. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat alleen de voegen zich visco-elastisch gedragen. De kruip effecten worden in rekening gebracht door de stijfheid van de voegen te reduceren met een relaxatiefactor.

Het resultaat van de DIANA berekeningen zijn de eigenschappen van gietasfalt voegen en de last-verplaatsingsdiagrammen voor een zuilenbekleding met gietasfalt.

De predicties met SEEP-W en Steenzet geven een schatting van de druk onder de bekleding. Deze wordt vervolgens gebruikt om het gedrag van de bekleding tijdens de infiltratieproef te bepalen. Dit kan met DIANA.

Voor een deel kunnen deze berekeningen onafhankelijk van elkaar worden uitgevoerd. De predictieberekeningen met DIANA kunnen pas worden uitgevoerd als de predictieberekeningen met Steenzet en SEEP-W gereed zijn.

5 Rapportage

De resultaten van de voorgaande stappen worden in werkrapporten vastgelegd. Dit betreft:

- uitwerken getijmeting met Steenzet plus voorspelling gedrag tijdens de infiltratieproef
- uitwerking getijmeting met SEEP-W, plus voorspelling gedrag tijdens infiltratieproef
- factueel rapport trekproeven
- rapport DIANA berekeningen

Als voorbereiding voor de 'go-no go' beslissing (stap 6) wordt een samenvattend rapport van de verschillende werkrapporten opgesteld. Hierin komt ook een inventarisatie van mogelijke risico's tijdens de infiltratieproef (kans dat de proef mislukt).

6 Go-no go beslissing uitvoeren infiltratieproef

In gezamenlijk overleg met alle betrokken partijen en de klankbordgroep wordt door RWS-DWW vastgesteld of de infiltratieproef zal doorgaan en welk meetvak gebruikt wordt.

7 Uitvoeren infiltratieproef

7a Uitvoeren infiltratieproef

Bij de uitvoeren van de feitelijke infiltratieproef zijn de volgende activiteiten te onderscheiden:

- organisatie watertoevoer

- aanleg infiltratiesleuf, inspectie grondopbouw, steken monsters voor lab. onderzoek
- herstel bekleding

7b Precisiemetingen tijdens de infiltratieproef

Voor de metingen tijdens de infiltratieproef zijn de volgende activiteiten te onderscheiden:

- opstellen meetprotocol/draaiboek
- installatie drukopnemers in filterlaag in 2 raaien
- opstelling meting vervorming talud (opbolling)
- uitvoeren metingen (verloop drukken, verloop getij, vervorming talud)

Het infiltratiedebiet wordt niet expliciet gemeten. Afhankelijk van de wijze van toevoer van het water is mogelijk wel een indicatie hiervoor te verkrijgen, bijvoorbeeld tellen aantal aangevoerde tankwagens.

Voor 1 meetraai zijn tijdens de getijmeting al gaten geboord. Deze kunnen opnieuw worden gebruikt.

Voor de tweede meetraai worden nieuwe gaten geboord.

De infiltratieproef wordt voortgezet totdat de bekleding bezwijkt of totdat duidelijk wordt dat geen bezwijken is te verwachten. Hiervoor moet in-situ gemeten worden wat de waterdrukken zijn en of deze nog oplopen. Criteria hiervoor worden in het meetprotocol opgenomen. Ten behoeve van de kostenraming wordt uitgegaan van een maximale meetduur van twee dagen (48 uur).

Tijdens de infiltratieproef wordt de verplaatsing van de bekleding gemeten gedurende enkele getijcycli. De gekozen meetmethode is gebaseerd op het meten van hellingveranderingen in combinatie met een Leica Total Station.

De vervormingen van de bekleding zullen worden gemeten in 1 raai met een lengte van circa 12 m, loodrecht op de dijk-as.

Op het gehele talud, zowel onder water als boven water, worden de verplaatsingen gemeten met een helling-meet methode. Afzonderlijke hellingmeters, aangepast voor onderwater gebruik en geplaatst op langs het talud gemonteerde staven, meten op onderlinge afstanden van circa 1 m de hellingen. Op basis van de veranderingen in de gemeten hellingen worden hieruit de verplaatsingen haaks op het talud afgeleid.

Voor zover het talud droog is wordt tevens een geodetische methodiek gebruikt zoals ook voor de trekproeven is voorgesteld, en wel door toepassing van een geavanceerde Total Station met automatische targetting en loggersoftware. Hierdoor komt tijdens elk laagwater een nauwkeurige basismeting beschikbaar, die als uitgangspunt gebruikt kan worden voor de hellingmetingen tijdens hoogwater. Dit garandeert de benodigde nauwkeurigheid.

Alle signalen worden gelogd en later in samenhang verwerkt.

Het meetinterval is circa 5 minuten, de verwachte precisie van de metingen is 1 mm.

Opstellen samenvattend rapport. Dit rapport bestaat uit twee delen. Het eerste deel is een factueel rapport van de metingen (resultaat stap 7). Het tweede deel geeft een samenvatting van de meetresultaten en een eerste (kwalitatieve) interpretatie hiervan.

Kostenraming infiltratieproef

niet opgenomen in stappenplan

Planning infiltratieproef

Een harde randvoorwaarde voor de planning is het begin van het stormseizoen (1 oktober). Op deze datum moet de infiltratieproef zijn uitgevoerd en eventuele schade aan de bekleding hersteld. Rapportage van de meting kan hierna plaatsvinden. De tijdsplanning is samengesteld op basis van deze randvoorwaarde.

step	omschrijving	juli							augustus							september							oktober							november						
		wrck	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47											
1	stappenplan	xx	xx																																	
	ondrecht			5-jul																																
2	reüimelinge				xx																															
	uitwerken met steenzet					xx	xx																													
3	trekproef voorbereiding				xx	xx																														
	trekproef uitvoering						xx																													
4	predictie inclusief rapportage							xx	xx	xx	xx																									
	zeisteen								xx	xx	xx	xx																								
	SEEP-W									xx	xx	xx	xx																							
	DIANA								xx	xx	xx	xx																								
5	rapportage											xx	xx																							
6	geo-nogo																																			
	samenfassend rapport											xx																								
	beslissing												xx																							
7	infiltratieproef																																			
	voorbereiding													xx	xx																					
	uitvoering															xx																				
8	uitwerkings metingen																																			
	samenfassend rapport																xx	xx	xx	xx	xx	xx														

Bijlage B: Voorbereidende proef

Door: Yvo Provoost, RWS-directie Zeeland

Datum: 11 juni 2001

Naar aanleiding van de bevindingen d.d.7 juni 2001 is er op 8 juni 2001 een voorbereidende proef uitgevoerd.

Vanuit een gierkar heeft men 10.000l water in een gat boven de bekleding laten lopen. Dit gat was naar drie zijden gedicht met plastic. Het gat is ongeveer 1,5 bij 0,75m groot en 0,5m diep. De aansluitende bekleding bestaat uit basaltzuilen (dik 20cm) gepenetreerd met asfalt op een filter van Doornikse steenslag (dik 10cm).

In chronologische volgorde is het volgende geconstateerd:

(de nummers verwijzen naar de nummers op het schetsje)

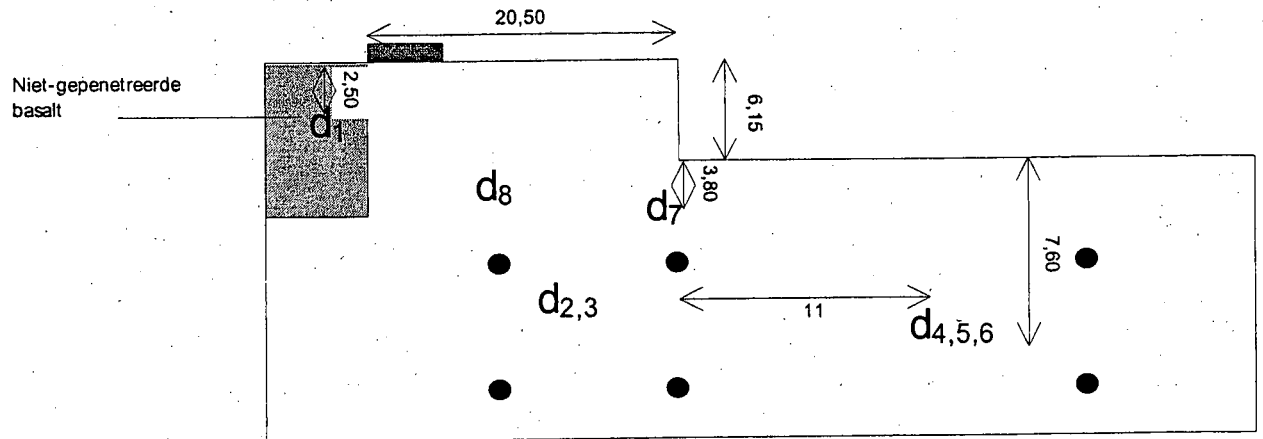
- 1 Vrij snel na het vullen van het gat liep het water door de niet-ingegoten basalt naar buiten. Redelijke hoeveelheid.
- 2,3 Na verloop van tijd (15-20 min.) kwam hier het water naar buiten. Matige hoeveelheid.
- 4,5,6 Nog wat later kwam hier het water tussen de zuilen naar boven. Hier spoot het water naar buiten. Op deze locatie is het meeste water naar buiten gekomen (vergelijkbaar met (of meer) locatie 1).
- 7 en 8 Na ca. 40 min. trad er water uit op de scheiding van de oude en de nieuwe bekleding. Hoger dan punt 8 is geen uittreden geconstateerd (hier is de asfaltpenetratie zeer dik/dicht).

Het hoogste punt van uittreden lag op ongeveer 7,5m onder de bovenrand van de gepenetreerde puist, halverwege deze puist.

De 10.000l water is in ca. 50 min. uit de kar gestroomd. Enige minuten later was ook het gat leeg.

Talud ter plaatse is ongeveer 1:4.

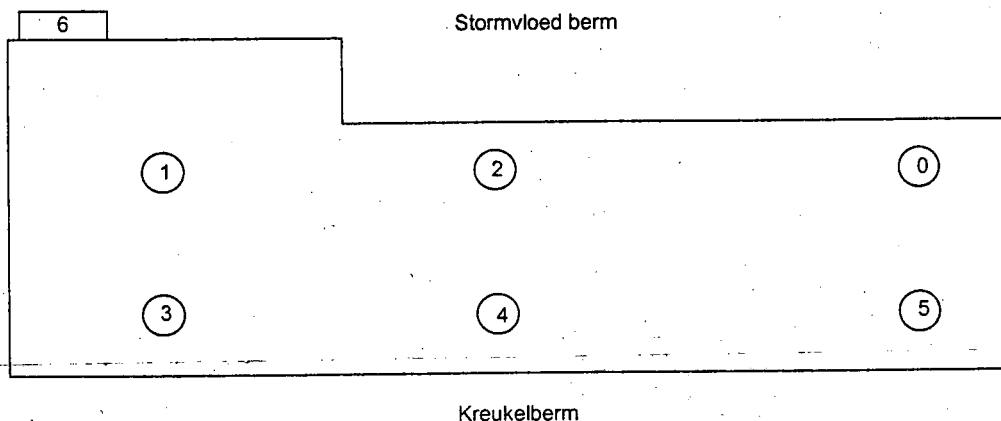
Schematische weergave proef-infiltratieproef



- Breekpunt
- Vulpunt
- d Uittreepunt water

Niet op schaal!!

Vooraanzicht Oost Inkelenvolder



gat	opmerkingen	doorlatendheid
0	gat van fase 1	niet gemeten tijdens deze proef
1	5 cm puin (basalt split), vlijlagen, vochtig, slib	0 cm/min
2	14 cm gepentreerd, 5 cm puin (steenslag, slakken), vlijlagen ingezand	2 cm/min, loopt weg via ruimte tussen zuilen
3	14 cm gepentreerd, 5 cm puin, vlijlagen, slib	4,5 cm/min (hoog), 1 cm/min (diep)
4	14 cm gepentreerd, 5 cm puin, vlijlagen, vochtig, slib	0 cm/min
5	5 cm puin/slakken, vlijlagen, water in het gat, slib	4,5 cm/min (hoog), 1,5 cm/min (midden), 0,5 cm/min (diep)
Zuilen ongeveer 24-25 cm dik		
6	gat 1,5 m breed tot onder het filter, basalt dik 20 10 cm doornikse steenslag, gepentreerd tot ongeveer halverwege zuilen	water loopt weg via ondergrond en via filter ca. 50-100 l/min

Bijlage C: Verslag bespreking go-no go beslissing

Datum: 10 september 2001, van 10.30 hr tot 12.45 hr

Plaats: kantoor GeoDelft

Doel bespreking: beslissing of infiltratieproef doorgaat (stap 6 uit contract DWW-1902)

Aanwezig: Leo Philipse (TAW mentor)

Ronald van Etten, Nisa Nurmohamed, Hans Johanson (RWS-DWW)

Mark Klein Breteler (WL|Delft Hydraulics)

Theo Stoutjesdijk, Piet Meijers (GeoDelft)

Voor de beslissing waren de volgende documenten en gegevens beschikbaar:

- analyse getijmeting en predictieberekeningen met SEEP/W
- resultaten trekproeven
- resultaten DIANA berekeningen trekproef
- memo WL met voorspelling opbolling tijdens infiltratieproef
- memo GD met inventarisatie risico's infiltratieproef (een aangepaste versie, waarin de opmerkingen tijdens deze bespreking zijn verwerkt, is aan dit verslag toegevoegd, zie bijlage D)

Voorafgaand aan deze bespreking was op 6 september in kleiner comité de beschikbare informatie al doorgesproken.

De beschikbare gegevens zijn doorgesproken.

Uit de analyse van de getijmeting bleek dat de kleilaag onder de filterlaag waarschijnlijk lek is. Alleen met de aanname dat water vanuit de filterlaag het dijklichaam instroomt konden de gemeten verschijnselen worden verklaard. Dit werd bevestigd door de SEEP/W berekeningen.

Steenzet gaat uit van een dichte kleilaag onder de filterlaag. De situatie in het meetvak wijkt dus af van deze modellering. Een analyse van de getijmeting met Steenzet is om deze reden dan ook niet gelukt.

De SEEP/W berekeningen voorspellen dat een grote overdruk ontstaat onder de bekleding. De invloed van de 'lekke' kleilaag onder de filterlaag heeft hierop minder invloed dan verwacht. De verklaring is dat het dijklichaam volloopt en dat daarmee een stationaire situatie ontstaat. De consequentie is wel een relatief groot benodigd debiet. De grootste overdruk ontstaat ter plaatse van de overgang goed doorlatend filter naar minder goed doorlatend filter.

Uit de analyse van de trekproeven volgt dat de stijfheid van de bekleding vrij laag is. Waarschijnlijk is er sprake van een grote mate van kruip. Dit maakt de bekleding onder lange duur belasting minder stijf, en resulteert dus in een grotere opbolling.

De memo met mogelijke risico's wordt besproken. Een aantal van de genoemde aspecten wordt minder waarschijnlijk geacht. Het opnemen van maatregelen om eventueel tijdens de proef de waterdruk extra te verhogen wordt als onpraktisch van de hand gewezen.

Verder wordt gesproken over de uitvoering, en dan met name over de aanleg van de infiltratiesloot. Vrees bestaat dat het filter hier snel zal dichtslibben. Hiervoor worden een aantal maatregelen voorgesteld.

Absolute zekerheid dat de proef zal slagen is niet te geven (als dit wel kon was de proef niet nodig). Alles overziende is men unaniem van mening dat het verantwoord is om de proef door te laten gaan.

Na enig aandringen spreekt de TAW-mentor het woord 'GO' uit.

Aktiepunten

- maken besprekingsverslag
- aanpassen notitie over risico's
- voorstel keuze meetvak (raai G1 of G2)
- versturen formele opdrachtbrief
- contact met waterschap over hun werkzaamheden

Aktie

Piet
Piet
Piet
Ronald
Hans

Bijlage D: RISICO-EVALUATIE INFILTRATIEPROEF

1 Inleiding

Eind september 2001 is een infiltratieproef op de dijk bij Kruiningen voorzien.

Bij deze proef wordt geprobeerd een zodanige wateroverdruk onder de bekleding aan te brengen dat deze opbarst.

Dit wordt uitgevoerd door boven de bekleding een sleuf te graven tot in de filterlaag (deze sleuf wordt verder aangeduid als infiltratiesloot) die wordt volgezet met water. De bedoeling is dat via deze sloot water in de filterlaag infiltreert en daardoor een opwaartse waterdruk creëert.

Het doel van de proef is om het gedrag van de bekleding daarbij te bepalen. Deze gegevens dienen om na te gaan of het zinvol is een rekenmethode op te stellen voor het toetsen van ingegoten bekledingen.

In deze memo zullen een aantal aspecten worden beschouwd die de uitvoering van de proef eventueel zouden kunnen doen mislukken.

Tot slot is een lijstje opgenomen met zaken die vooraf moeten worden geregeld.

Een concept versie van deze notitie (d.d. 2001-09-05) is besproken met de begeleidingsgroep van de infiltratieproef. De opmerkingen die hierbij zijn gemaakt zijn in deze versie verwerkt.

2. Onzekerheden

2.1 Overzicht

De volgende onzekerheden zijn er:

- opbouw bekleding
- opbouw dijklichaam
- binnenwaartse en buitenwaartse stabiliteit
- doorlatendheid filterlaag
- sterkte toplaag
- benodigd debiet
- opbouw waterdruk
- weer
- verstopping infiltratiesloot
- plaats bezwijken

2.2 Opbouw bekleding

De opbouw van de bekleding is vastgesteld door het maken van een aantal gaten in de bekleding. Hieruit volgt dat de bekleding ingegoten basalt is. Onder de toplaag bevindt zich een filterlaag met een wisselende doorlatendheid en daaronder een kleilaag van beperkte dikte.

Uit een analyse van de getijmeting kwam naar voren dat de onderliggende kleilaag waarschijnlijk lek is. Deze conclusie is gebaseerd op het gegeven dat alleen met deze aanname het mogelijk was om een acceptabele overeenstemming tussen de meting en de berekening met SEEP/W te krijgen.

In de berekeningen is een 2D schematisatie toegepast. Dit betekent dat is uitgegaan van geen variatie van de opbouw van de top laag langs de dijks. Deze aanname is waarschijnlijk niet correct. Er zijn twee getijmetingen uitgevoerd, met een onderlinge afstand van ongeveer 20 m. Deze twee metingen gaven een geheel verschillend beeld te zien. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat de ene meting is uitgevoerd in een oorspronkelijke bekleding en de andere op de plaats waar vroeger waarschijnlijk een suatiesluis heeft gelegen.

Uit een door RWS uitgevoerde mini Johansonproef kwam naar voren dat het water zich over een grote lengte horizontaal kan verspreiden.

Bij de infiltratieproef wordt over een lengte van 25 m of 50 m water geïnfiltrerd (afhankelijke van het gekozen meetvak). Dit is ongeveer 1 à 3 keer de lengte (gemeten langs het talud) van de bekleding. Eventuele 3D effecten zullen minder zijn dan in de mini infiltratie proef. Niettemin zal rekening gehouden moeten worden met zijdelingse afstroming van water, met de kans dat de bekleding bezwijkt buiten het meetvak. Door deze zijdelingse afstroming zal ook de benodigde hoeveelheid water groter worden.

De eigenschappen van de ondertafel zijn, door de uitgevoerde getijmeting, redelijk bekend. Van de boventafel zijn deze eigenschappen niet met dezelfde nauwkeurigheid bekend. De doorlatendheid van de filterlaag aldaar is bepaald door gaten te boren in de top laag en deze met water te vullen (een soort falling head test). Hieruit volgde dat de filterlaag onder de boventafel waarschijnlijk goed doorlatend is. Volgens de berekeningen treedt de grootste druk op ter plaatse van de overgang van een goed doorlatend naar een slecht doorlatend filter. Als dit gedeelte van de filterlaag minder doorlatend is zal het water slechter infiltreren en de drukopbouw minder zijn.

Er is een kans dat de infiltratiesloot de top kleilaag doorsnijdt. In dat geval zal het debiet rechtstreeks het dijklichaam inlopen en niet in de filterlaag komen. Bij aanleg moet dit worden gecontroleerd, en zonodig maatregelen worden genomen (folie, zand cement stabilisatie??).

2.3 Opbouw dijklichaam, binnen- en buitenwaartse stabiliteit

Over de opbouw van het dijklichaam is verder niets bekend. Waarschijnlijk is het een zanddijk met een afdekkende kleilaag.

De verwachting is dat er tijdens de proef water in de dijk zal infiltreren. Dit water moet weer ergens uit de dijk stromen. Dit kan via zijdelingse afstroming naar de Westerschelde. Het is ook mogelijk dat het water naar het achterland stroomt. Dit betekent een extra waterbezwaar voor de achterliggende polder (dit is waarschijnlijk niet zo'n bezwaar vanwege de achterliggende spuikom), maar ook mogelijk

problemen met de binnenwaartse en buitenwaartse stabiliteit. Het risico hierop wordt klein geacht. Mocht er onverhoopt toch iets afschuiven, dan is dit te herstellen.

2.4 Doorlatendheid en sterkte toplaag

De doorlatendheid van de toplaag is voor de ondertafel vastgesteld middels getijmetingen. Hierop is de predictie gebaseerd. Er zijn geen aanwijzingen dat de boventafel meer doorlatend is. De mogelijkheid dat er lokaal gaten in de toplaag aanwezig zijn wordt in een volgende paragraaf besproken.

De sterkte van de toplaag is vooraf bepaald middels trekproeven. De resultaten hiervan zijn/worden door WL/TNO gebruikt om een voorspelling van het gedrag te geven. De resultaten hiervan zijn nog niet bekend.

Uit de trekproeven is wel gebleken dat de sterkte van plaats tot plaats makkelijk een factor 2 (en misschien wel meer) kan variëren. De bekleding zal echter bezwijken op de plaats met de laagste sterkte. Aan de andere kant wordt de bekleding tijdens de proef op een andere manier belast en kan mogelijk meer/minder plaatwerking optreden.

Een ander bezwijkmechanisme is dat de bekleding langs het talud naar beneden afschuift. Verwacht wordt dat de ondertafel voldoende reststerkte heeft om dit mechanisme te voorkomen. Dit is echter niet met berekeningen gecontroleerd. Op het moment dat de bekleding over een groot gedeelte opbolt, en dus bezwijkt, is afschuiven wel een reëel vervolgmecanisme.

Overigens is het de vraag of de bekleding inderdaad op sterkte bezwijkt. Een mogelijk mechanisme is dat de bekleding iets wil opbollen, waardoor er scheurtjes in de ingieting ontstaan. Door deze scheurtjes neemt de doorlatendheid van de toplaag toe, en de overdruk af. Voor de toetsing zou dit een interessant mechanisme zijn, de toplaag werkt dan als een soort veiligheidsventiel die automatisch begint te blazen als de overdrukken te hoog oplopen. Tijdens de proef moet worden gelet op dit soort verschijnselen.

2.5 Opbouw voldoende waterdruk

Gezien de verwachte opbouw van de toplaag met kleilaag is waarschijnlijk een aanzienlijk debiet nodig om de maximale overdruk te bereiken.

Uit de SEEP/W berekeningen is een schatting van het debiet gehaald. Deze ligt in de orde van 0,1 à 0,3 m³/hr/m. Voor een 50 meter lange sloot betekent dit een debiet van 5 à 15 m³/hr. Door zijdelingse afstroming zal het debiet waarschijnlijk groter zijn. Als we veronderstellen dat de werkelijke breedte gelijk is aan de lengte van de sloot plus de lengte van de bekleding (gemeten langs het talud) dan is de 'rekenwaarde' van de lengte van het meetvak 50 + 15 = 65 m. Het ontwerp infiltratiedebiet is dus minimaal 20 m³/hr.

Mogelijke maatregelen als druk niet voldoende oploopt zijn:

- verhogen niveau in infiltratiesloot; hiervoor moeten dus schotten om de infiltratiesloot worden neergezet. Dit kan niet te hoog worden, want het is niet de bedoeling dat de toplaag direct naast de infiltratiesloot omhoog komt. Verwacht wordt dat de grootste overdrukken niet hier ontstaan,

- maar onder de freatische lijn. Praktisch stuit deze optie op de nodige problemen, zoals de aansluiting van de schotten op de ondergrond. Verder maken dergelijke schotten de meting van de verplaatsing met het nu voorziene systeem met een leiding moeilijker.
- verhinderen zijdelingse afstroming; dit zal betekenen het dichtzetten van de filterlaag, bijvoorbeeld door het opbreken van de bekleding, plaatsen van een kort damwandscherm en dichtbetonneren van de toplaag. Dit zal vooraf moeten gebeuren want het lijkt niet realistisch dit nog tijdens de eigenlijke proef te doen.
 - dichtgrouten van de filterlaag; dit kan door het boren van gaten in de toplaag en injecteren van grout. Ook dit zal vooraf moeten gebeuren. Nadeel is dat de horizontale verspreiding van de grout niet goed bekend is, dus niet zeker is of er voldoende afsluiting is.
 - afdichten gaten toplaag; als wordt geconstateerd dat er op diverse plaatsen water uit de toplaag omhoog komt kan worden overwogen om deze plaatsen alsnog af te dichten. Op dat moment is er sprake van uit de toplaag omhoog stromend water. Dichtzetten met een snelhardend middel lijkt niet haalbaar. Tijdelijk stoppen met de infiltratie teneinde het debiet te stoppen is geen realistische optie. De uitstroming stopt pas als de filterlaag is leeggestroomd. Dit zal enige tijd vergen en daarmee de duur van de proef aanzienlijk verlengen. De enigste optie lijkt het verhogen van de weerstand door zandzakken o.i.d. op het gat te plaatsen.
 - injecteren waterdruk; dit betekent het boren van gaten in de toplaag, hierop een slang aansluiten en daar druk opzetten. De gaten kunnen eventueel vooraf worden geboord en afgesloten met een packer, dan wel tijdens de proef worden geboord. Voor het losdraaien van de packers zal eerst de druk moeten worden afgelaten (anders uitspoeling van de filterlaag in de opening). De belastingsituatie zal nu anders zijn dan bij een stormsituatie (axiaal-symmetrisch i.p.v. plane strain).
 - trekken aan de bekleding; dit wordt een soort herhaling van de trekproef, lijkt niet zinvol

Alles overziende lijken er weinig mogelijkheden te zijn om de grootte van de waterdruk te beïnvloeden. De mogelijke maatregelen zijn of onpraktisch, of laten de resulterende belasting te sterk afwijken van de gewenste situatie.

Het beschikbaar hebben van zandzakken (of kleizakken) lijkt wel zinvol om eventueel het debiet van uit het talud tredend water te beperken.

2.6 Het weer

De weersgesteldheid ten tijde van de proef is nu niet bekend. De uitvoering van de proef zelf lijkt weinig gevoelig voor storm en/of regen.

De nauwkeurigheid van de meting zal minder worden (golfklappen op het talud die waterspanningsmeters zullen beïnvloeden, zowel op de toplaag voor hoogtemeting als onder de toplaag voor meting waterdruk).

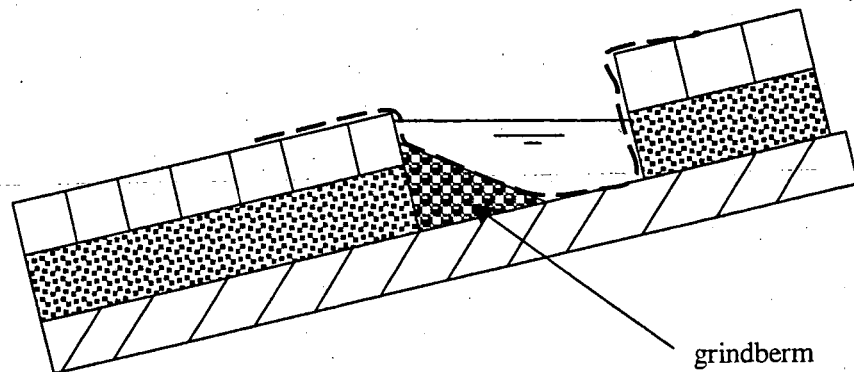
Uit veiligheidsoverwegingen moet de proef mogelijk wel worden uitgesteld bij storm.

N.B. denk ook aan verlichting voor nachtelijke meting.

2.7 Verstopping infiltratiesloot

Als de infiltratiesloot verstopt kan er niet voldoende water infiltreren. Dit moet worden voorkomen. De volgende maatregelen worden bedacht:

- tussenopslag van water zodat slib e.d. kan bezinken; hiervoor kan bijvoorbeeld een tussenopslag worden gebruikt zoals loowerkers deze gebruiken bij injectie van drijfmest; een bijkomend voordeel is dat daarmee een buffer aanwezig is
- geotextiel op de bodem van de infiltratiesloot; door aan een zijde een reservestrook te houden kan dit geotextiel eventueel worden opgeschoven, macht het onverhoopt verstopt raken
- aanbrengen van een soort grindberm aan de 'benedenstreamse' zijde van de sloot; deze berm heeft twee functies: ondersteuning van de bovenste rij stenen en vergroting van het instroomoppervlak (zie figuur)



2.8 Plaats bezwijken

De meetraaien voor de verplaatsing en de druk onder de bekleding worden vooraf vastgesteld. De bekleding zal bezwijken op de plaats waar deze het zwakst is. Dit betekent dat het mogelijk is dat de toplaag lokaal bezwijkt en dat er geen sprake is van een 2D bezwijkmechanisme. De kans bestaat derhalve dat met de meetraaien het bezwijken niet wordt gemeten. Hier lijkt weinig aan te doen, afgezien van het (fors) uitbreiden van het aantal meetraaien (maar daarvoor is de mobilisatietijd waarschijnlijk al te kort i.v.m. aanschaf opnemers; verder is dit kostentechnisch niet haalbaar).

Er blijft dan alleen visuele inspectie over. Dit kan alleen boven water. Gezien de plaats van de verwachte grootste overdruk wordt aan deze voorwaarde waarschijnlijk wel voldaan.

Bij visuele inspectie o.a. letten op:

- water uit de toplaag
- opbolling (waarschijnlijk op het oog niet te zien)
- ontstaan scheuren
- andere verschijnselen

Als geconstateerd wordt dat buiten de meetraai de toplaag gaat opbollen is alleen het meten van de vervorming met een waterpasbaak nog een mogelijkheid. Of het uit veiligheidsoverwegingen verstandig is om te lopen over een bekleding die in feite over een groot gedeelte zweeft, is nog maar de vraag.

3. Voorbereiding

Zaken die voor de proef moeten worden geregeld zijn:

- mobilisatie aannemer om infiltratiesleuf te maken
- organisatie/mobilisatie watertoevoer (op welke wijze, afspraken met onderaannemer/loonwerker voor 24-uurs service)
- registratie aangevoerde hoeveelheid water?
- testen opnemers
- installatie drukopnemers en verplaatsingsopnemers
- zandzakken gereed
- PUR schuim?
- verlichting
- stopcriterium proef (waterdrukken lopen niet meer op? na 48 uur infiltreren e.d.)
- wie neemt de beslissing op de locatie? (GD/WL in overleg met RWS)
- hotel
- mobiel toilet
- catering? afwisseling ploegen?
- presentatie meetresultaten op locatie (t.b.v. nemen beslissing stoppen of doorgaan)
- herstel bekleding na afloop proef
- ...

Uit veiligheidsoverwegingen zullen minimaal twee mensen aanwezig moeten zijn. Overwogen kan worden om de opstelling 's nachts onbewaakt te laten (indien water met een pomp wordt aangevoerd). Dit betekent wel dat er een gereede kans is dat de bekleding bezwijkt zonder dat dit wordt waargenomen.

Bijlage E: Voorstel keuze meetvak

Voor de eigenlijke infiltratieproef zijn er twee mogelijke meetvakken:

- meetraai G1: hier ligt de bovenkant van het basalt hoog op het talud (ongeveer op NAP + 4,8 m). De breedte van het meetvak is beperkt (ongeveer 25 m)
- meetraai G2: hier ligt de bovenkant van het basalt laag op het talud (ongeveer op NAP + 3,5 m). De breedte van het meetvak is ongeveer 50 m

Uit de SEEP/W berekeningen volgt dat bij beide meetraaien een overdruk ontstaat.

(N.B. bij de SEEP/W berekeningen is de hoogte van de infiltratiesloot bij raai G1 en G2 is verwisseld, dit betekent dat bij G1 de infiltratie te laag op het talud plaatsvindt. De consequentie is dat de overdruk waarschijnlijk wordt onderschat, evenals het debiet. Voor raai G2 geldt het omgekeerde. Voor de feitelijke conclusies heeft dit geen invloed)

De berekeningen geven een goed beeld van de optredende mechanismen. Het maatgevend mechanisme blijkt te zijn de opstuwings bij de overgang van een goed naar een minder goed doorlatend filter. Dit wordt bij beide berekeningen gevonden.

Uit alle 4 berekeningen van G1 volgt dat er overdruk aanwezig is. Bij raai G2 is er in 1 berekening sprake van onvoldoende overdruk. Dit is de situatie dat er praktisch geen verschil is in de doorlatendheid van de filterlaag.

Bij de beste schatting (run 1 van de predictieberekeningen) is de verandering van de drukhoogte in de filterlaag ongeveer 0,15 m/m. Dit is minder dan de verandering van de plaatshoogte (ongeveer 1:3,5). Dit wordt bij beide meetraaien gevonden en is duidelijk onafhankelijk van de situatie bij de ondertafel. De grootste overdruk wordt gevonden op de overgang naar een minder doorlatend filter. Bij de lage infiltratiesloot is dit de overgang van het middengedeelte van de filterlaag naar het onderste deel van de filterlaag. De grootste overdruk treedt dan op bij ongeveer NAP + 1,8 m. Bij de hoge infiltratiesloot is dit de overgang van het hooggelegen gedeelte van de filterlaag naar het middengedeelte. De grootste overdruk treedt dan op bij ongeveer NAP + 3 m. De echte plaats hangt af van de werkelijke plaats van de overgang en is dus niet nauwkeurig bekend.

Bij de berekening voor raai G2 (dit is de berekening met de bodemopbouw voor de lage basalt) wordt de tussenliggende sprong in doorlatendheid filterlaag (op ongeveer NAP + 1 m) niet teruggevonden in de drukhoogteverschillen. Bij deze meetraai was bij de getijmeting ook geconstateerd dat

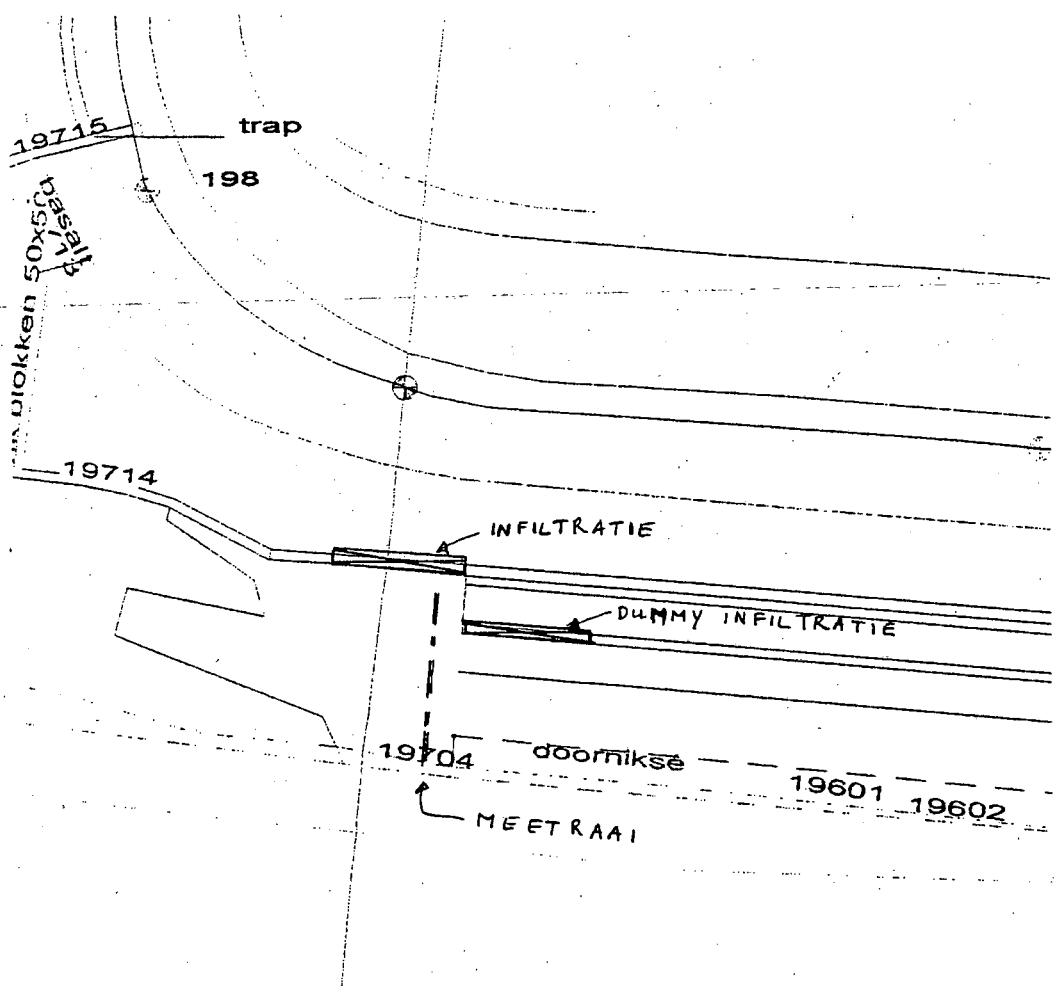
Uit de resultaten van de SEEP/W berekeningen komt geen echte voorkeur voor een locatie naar voren. Uitvoeringstechnisch is er ook geen voorkeur voor een bepaalde locatie. De plaats met de lage infiltratiesloot zal meer werk vergen omdat een deel van de bekleding (Haringmanblokken en basalt) moet worden opgebroken.

aspect	lage infiltratie	hoge infiltratie
hoogte infiltratie	NAP + 3,5 m	NAP + 4,8 m
breedte meetvak	50 m	25 m
aanleg	opbreken bekleding	in tussenberm
zijdelingse afstroming	waarschijnlijk beperkt, gezien breedte-hoogte verhouding	mogelijk hoog wegens hoge breedte-hoogte verhouding
overdruk	1,4 m	1,5 m
schatting debiet (excl. zijdelingse afstroming)	$50 \cdot 0,05 = 2,5 \text{ m}^3/\text{hr}$	$25 \cdot 0,32 = 8 \text{ m}^3/\text{hr}$
zekerheid sprong in $k_{\text{filter}}?$	redelijk	redelijk
lengte overdruk		

De inventarisatie geeft geen duidelijke voorkeur.

Bij de hoge infiltratiesloot lijkt de kans op succes iets groter (groter gedeelte met goed doorlatend filter), maar is de kans op verstoring door zijdelingse afstroming ook groter.

Voorgesteld wordt om deze locatie te kiezen. Om het effect van zijdelingse afstroming te beperken wordt voorgesteld om bij het lage gedeelte ook een infiltratiesloot aan te leggen. In de volgende figuur is dit schematisch weergegeven.



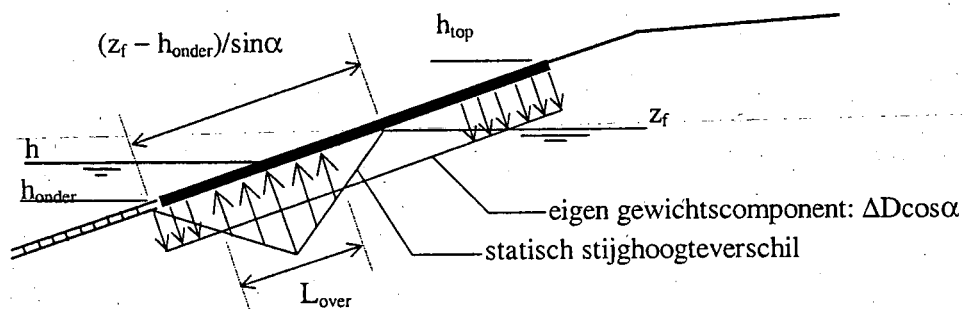
Bijlage F: Geschatte verplaatsing door opwaartse drukverschil over ingegoten basalt

Door: M. Klein Breteler, WL|Delft Hydraulics

Datum: 7-9-'01

Op basis van SEEP/W-sommen en getijmetingen heeft GeoDelft een schatting gemaakt van de opwaartse belasting tijdens de inpompproof bij Kruiningen. Met deze resultaten is onderstaand een schatting gemaakt van de opwaartse verplaatsing (opbolling) van de ingegoten Basalt bekleding.

De belastingsituatie is geschematiseerd zoals is weergegeven in onderstaande schets:

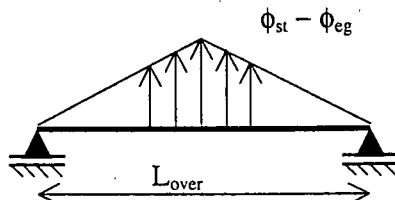


Figuur 1, Opwaarts stijghoogteverschil en eigen gewicht

De belasting wordt gekarakteriseerd door:

- L_{over} = lengte met positieve (opwaartse) netto belasting (m)
- $[\phi_{st}]_{max}$ = maximaal stijghoogteverschil over de toplaag als gevolg van de statische belasting (treedt op bij de buitenwaterstand) (m)
- ϕ_{eg} = stijghoogteverschil dat overeenkomt met het eigen gewicht (m)

De smalle strook met netto opwaartse belasting gaat als gevolg van deze belasting opbollen, en zou kunnen opbarsten. Voor de bepaling van de opbuiging wordt de bekleding voorlopig geschematiseerd tot een ligger op twee steunpunten met overspanning L_{over} :



Figuur 2, Bekleding geschematiseerd tot ligger op twee steunpunten

In deze schematisatie van figuur 2 worden de volgende aspecten niet meegenomen:

- De bekleding heeft een veel grotere lengte dan L_{over} . Daardoor zullen er buigende momenten zijn bij de opleggingen in bovenstaande schematisatie. Deze buigende momenten verkleinen het maximale buigend moment in het midden van de ligger;
- Op het aangrenzende deel van de bekleding naast het gebied met lengte L_{over} (met netto opwaartse belasting) is de netto neerwaartse belasting vrij klein. Daardoor zal een groter stuk bekleding dan L_{over} worden opgelicht. Dit veroorzaakt een vergroting van het maximaal buigend moment in de toplaag.

De invloed van deze twee aspecten zal elkaar deels opheffen, hoewel het tweede aspect soms een overheersende invloed heeft.

De maximale opbuiging is in deze schematisatie:

$$Y_{max} = \frac{\rho g([\phi_{st}]_{max} - \phi_{eg})L_{over}^4}{120EI} \quad (1)$$

- met: Y_{max} = maximale opbolling van de toplaag (m)
 E = elasticiteitsmodulus van de toplaag (N/m^2)
 I = traagheidsmoment van de toplaag per meter breedte (m^4/m)
 D = dikte van de toplaag (m)

Substitutie van de formule voor het traagheidsmoment $I = D^3/12$ geeft:

$$Y_{max} = \frac{\rho g([\phi_{st}]_{max} - \phi_{eg})L_{over}^4}{10ED^3} \quad (2)$$

Met voor statische belasting: $E \approx 10$ à 100 MN/m^2 .

Voor de situatie bij Kruiningen geldt volgens de SEEP/W berekeningen van GeoDelft het volgende:

- G2 (run 1): $[\phi_{st}]_{max} - \phi_{eg} = 0,53$ m; $L_{over} = 5,3$ m; $D = 0,30$ m
- G1 (run 1): $[\phi_{st}]_{max} - \phi_{eg} = 0,68$ m; $L_{over} = 7,5$ m; $D = 0,30$ m

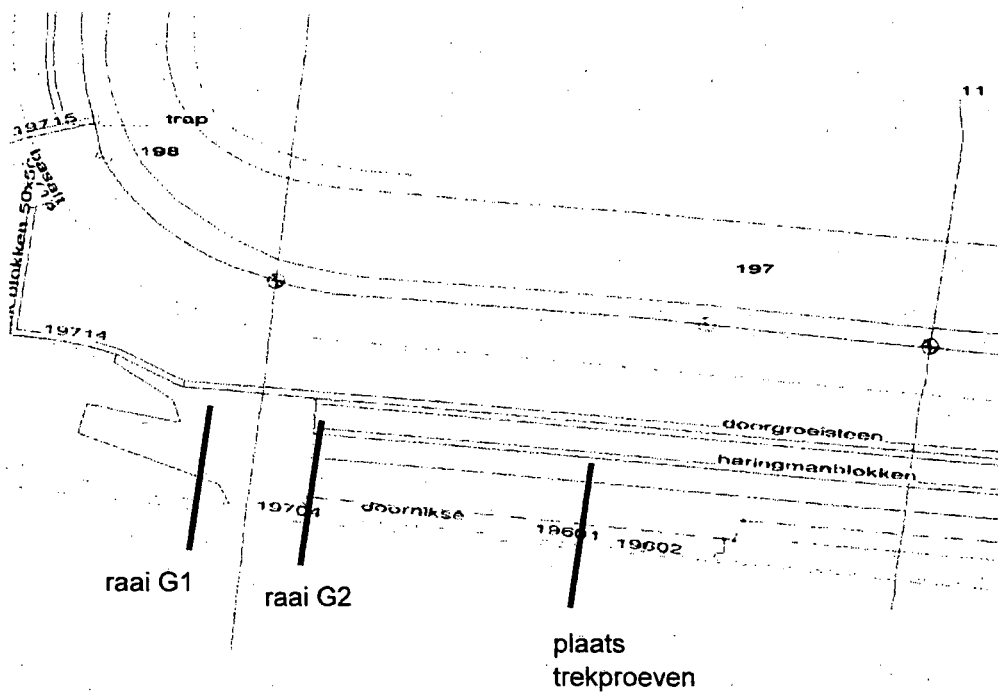
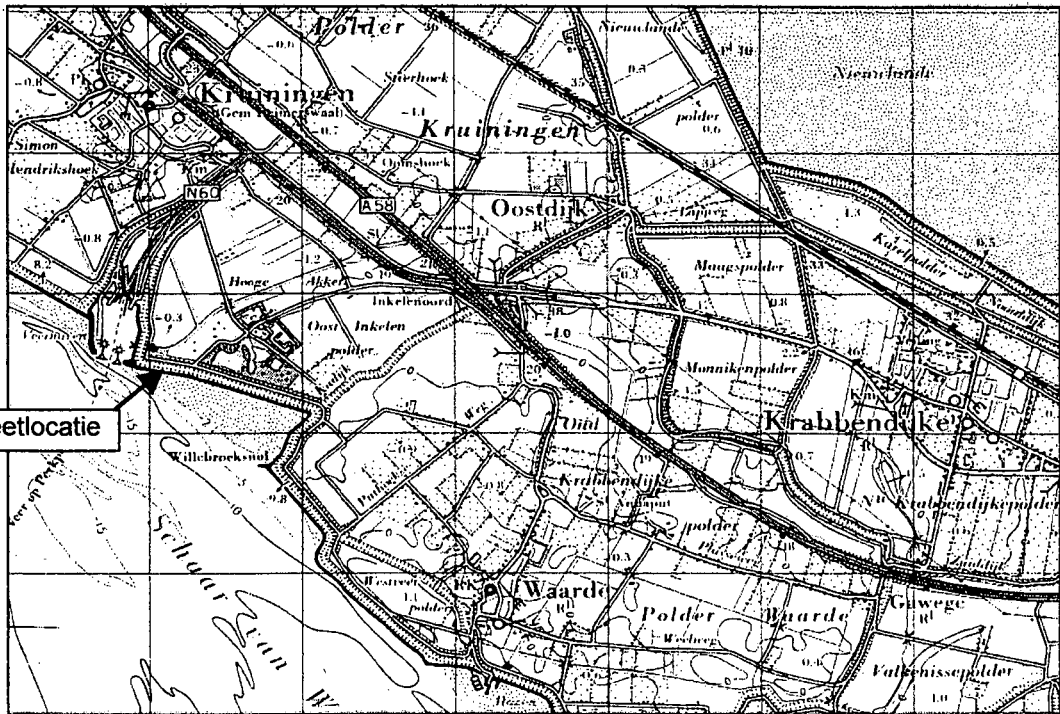
Dit leidt met bovenstaande Formule tot de volgende verplaatsingen:


- G2:
 - als $E = 30$ MN/m^2 : $Y_{max} = 0,5$ m
 - als $E = 100$ MN/m^2 : $Y_{max} = 0,1$ m
- G1:
 - als $E = 30$ MN/m^2 : $Y_{max} = 2,6$ m
 - als $E = 100$ MN/m^2 : $Y_{max} = 0,8$ m

Deze schematisatie, met een tweezijdig scharnierend opgelegde ligger, geeft een overschatting van de totale verplaatsing. Een onderschatting wordt verkregen als een tweezijdig ingeklemde ligger wordt beschouwd. De verplaatsing wordt dan bijna vijf maal kleiner.

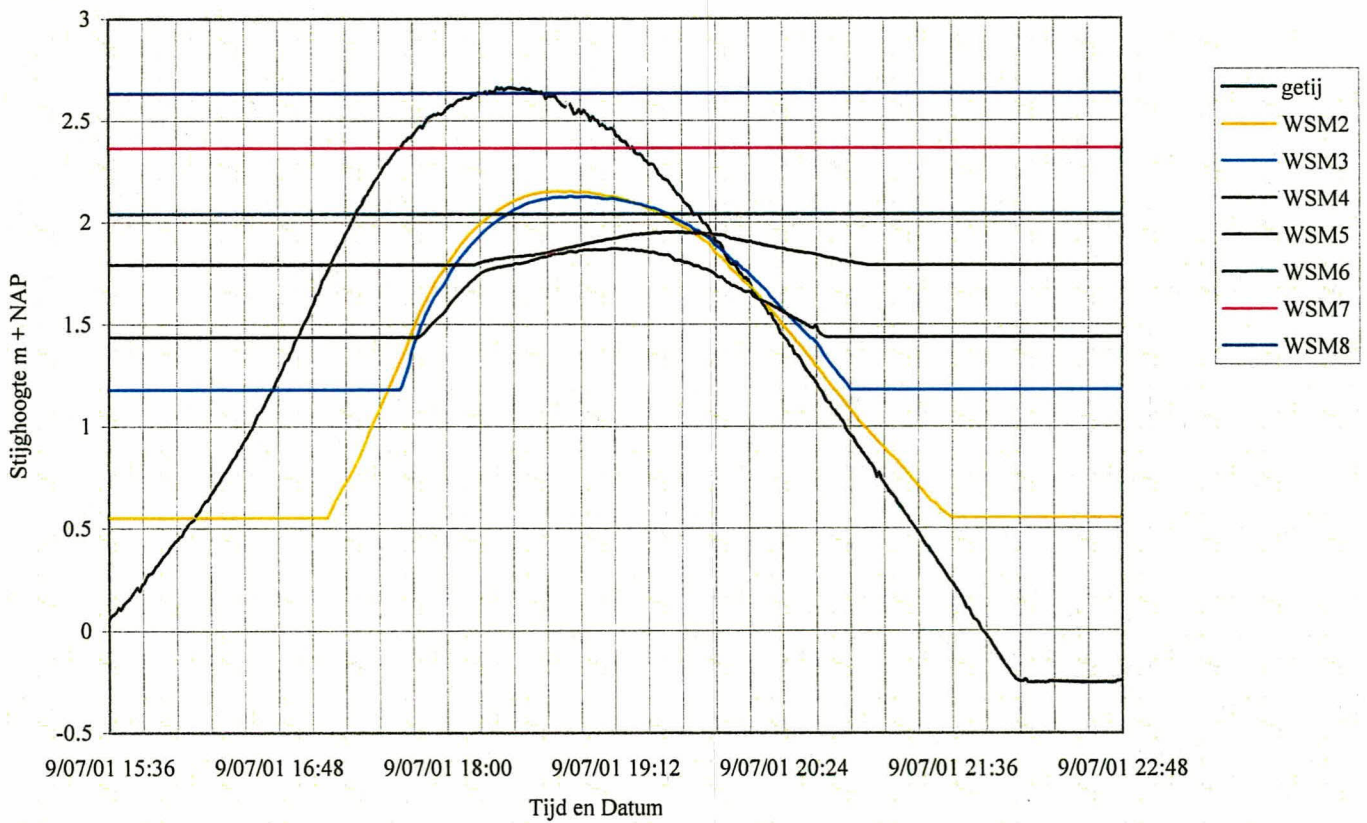
Er kan geconcludeerd worden dat de bekleding zwaar overbelast wordt en volgens deze berekeningen zover opbolt dat hij barst.

Tot slot wordt opgemerkt dat voor de overdruk gebruik is gemaakt van de met SEEP/W berekende waarden. Na het afronden van de SEEP/W berekeningen bleek dat de hoogte van de infiltratiesloot voor raai G1 en raai G2 was verwisseld. De consequentie daarvan is dat voor raai G1 de overdruk waarschijnlijk wordt onderschat en voor raai G2 overschat. Voor de feitelijke conclusies heeft dit geen invloed.



	Postbus 69, 2600 AB DELFT	Telefoon (015) 269 35 00 Telefax (015) 261 08 21	datum	get.
			2002/03/21	
			CO - 400970	gez.
INFILTRATIEPROEF KRUIJNINGEN Meetlocatie			BIJL. 3.1	form. A4

Stijghoogteverloop Inkelenpolder, raai G1



Postbus 69,
2600 AB DELFT

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

GETIJMETING OOSTINKELENPOLDER, RAAI G1

Resultaat getijmeting

Datum
2001-09-14

get.
Meij

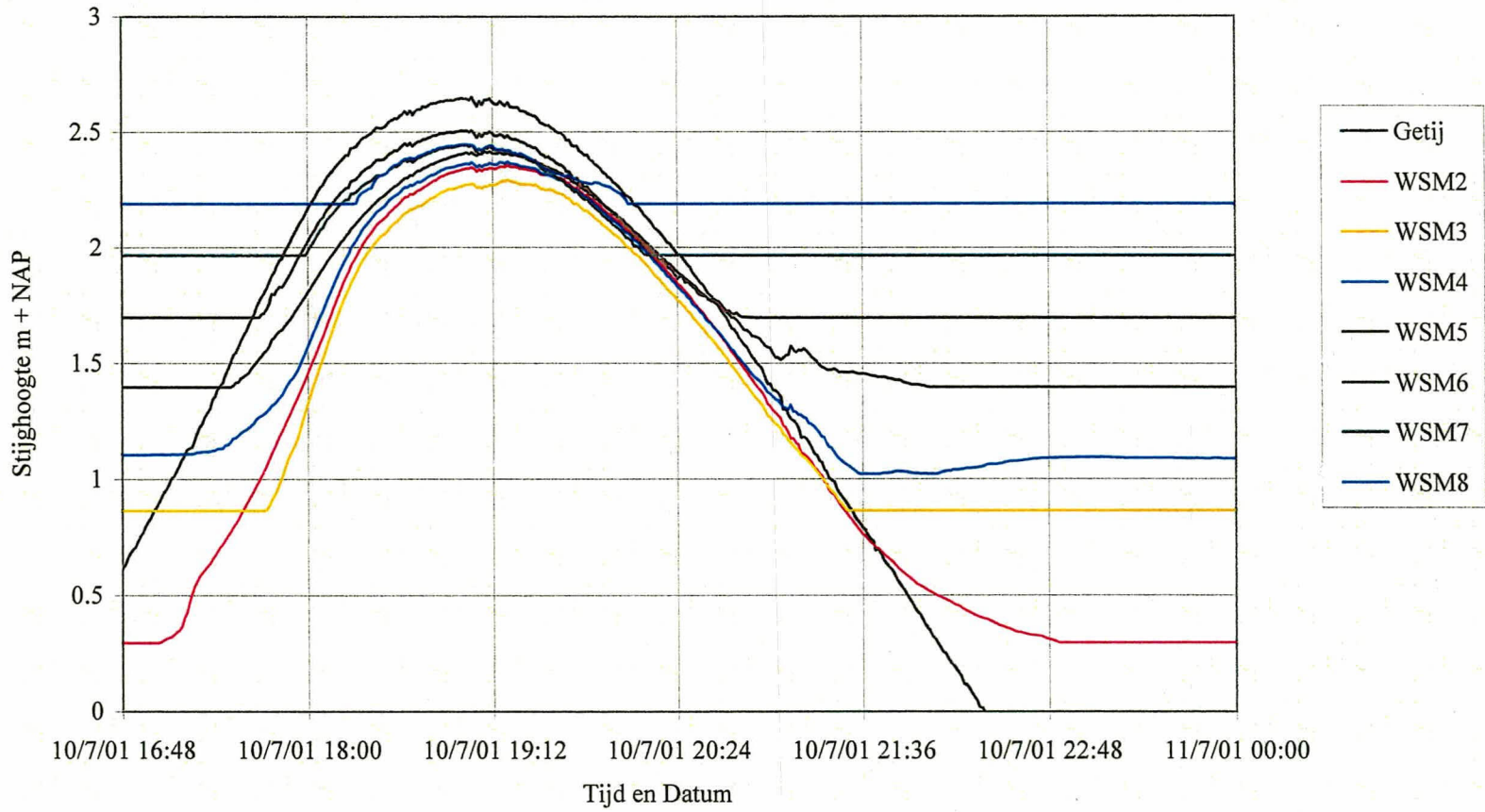
CO - 400970

gez.

BIJL. 4.1a

form.
A4

Stijghoogteverloop Inkelenpolder, raai G2



Postbus 69
2800 AB DELFT

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

GETIJMETING OOSTINKELENPOLDER, RAAI G2

Datum
2001-09-14

get.
Meij

CO - 400970

gez

BIJL. 4.1b

form.
A4

Resultaat getijmeting



Postbus 69,
2600 AB DELFT

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

datum

2001/10/31

get.

INFILTRATIEPROEF KRUININGEN
Fotoimpressie trekproeven

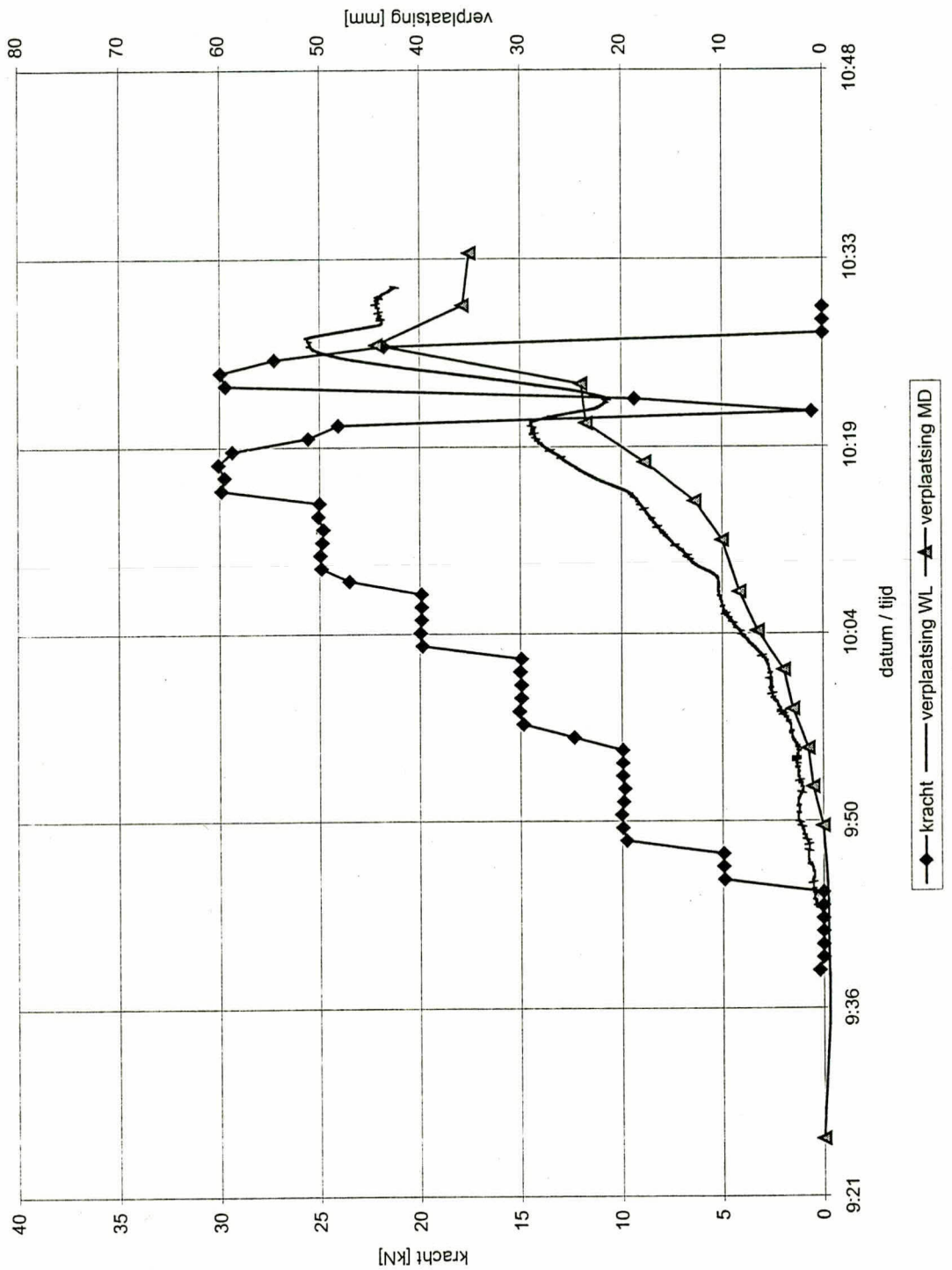
CO - 400970


gez.

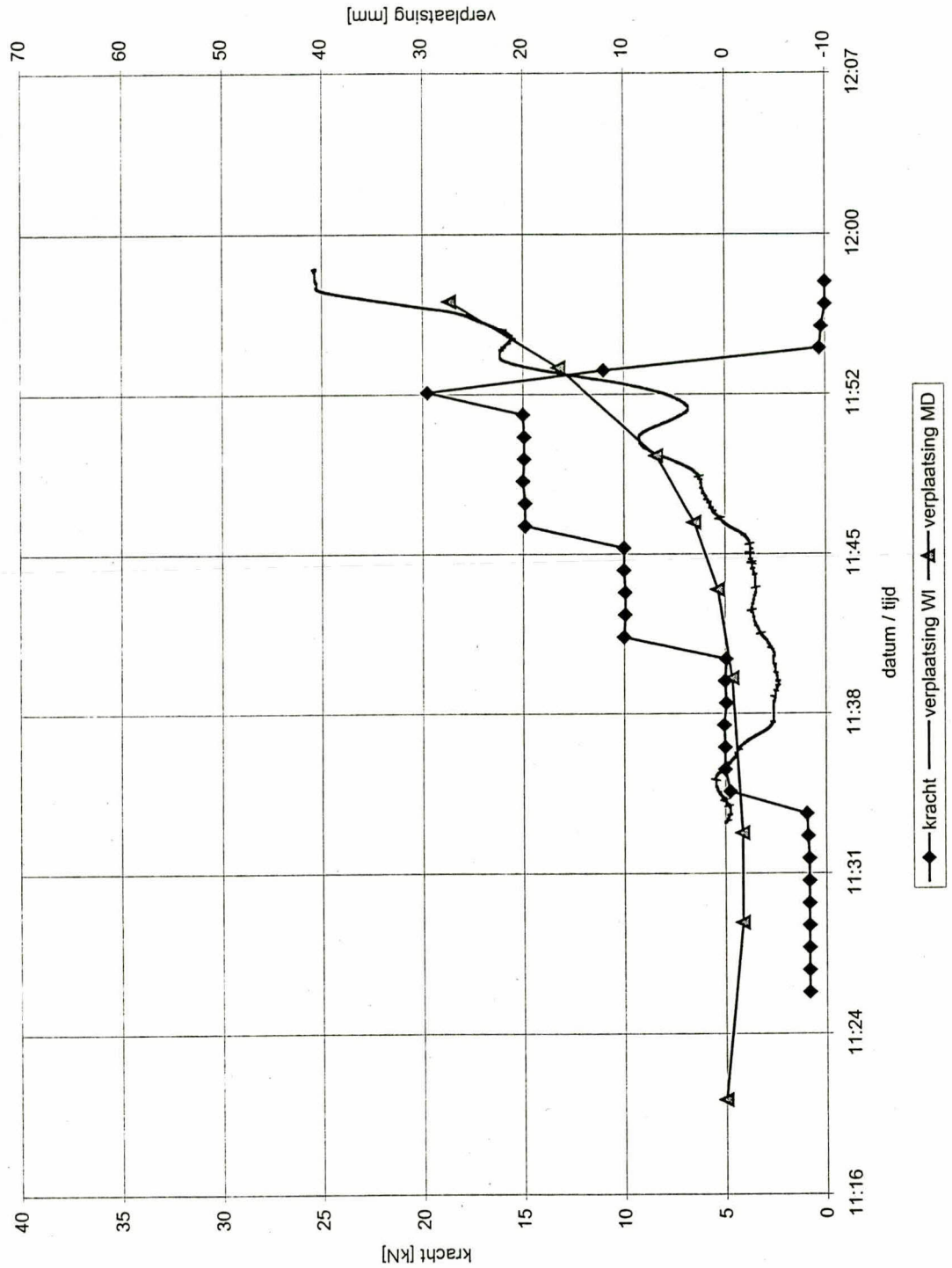
BIJL. 4.2a

form.

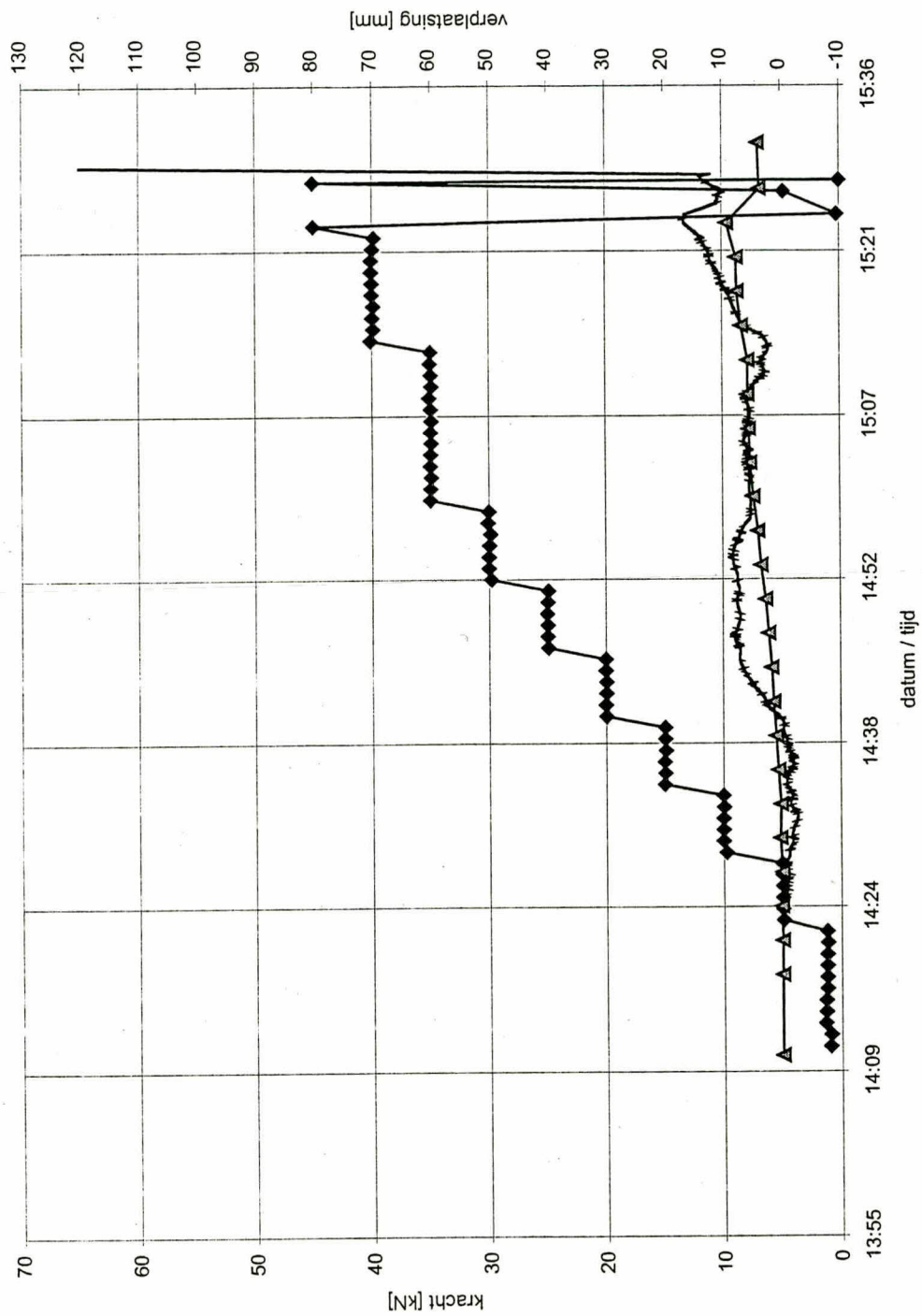
A4



 Postbus 69, 2600 AB DELFT Stieltjesweg 2, 2628 CK DELFT	Telefoon (015) 269 50 00 Telefax (015) 261 08 21	Homepage: www.geodelft.nl	datum	Get.
			2001/08/09	Waar
			TREKPROEVEN DIJKBEKLEDING	Gez.
KRUININGEN	CO-400970	vno		
REGISTRATIE PROEF T1	BIJL. 4.2b	form.	A4	



 Postbus 69, 2600 AB DELFT Stieltjesweg 2, 2628 CK DELFT	Telefoon (015) 269 50 00 Telefax (015) 261 08 21	Homepage: www.geodelft.nl	datum	Get.
			2001/08/09	Waar
			TREKPROEVEN DIJKBEKLEDING	Gez.
KRUININGEN	CO-400970	vno		
REGISTRATIE PROEF T2	BIJL. 4.2c	form.	A4	



◆ kracht
 — verplaatsing WL
 ▲ verplaatsing MD



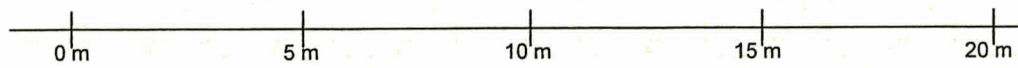
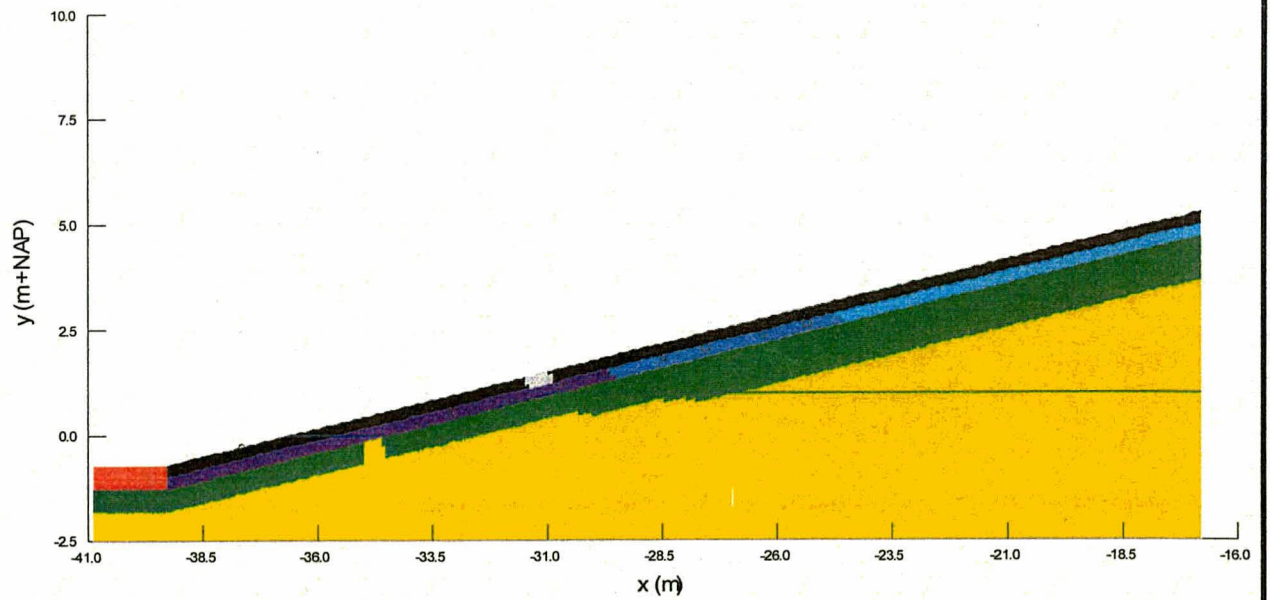
Postbus 69, 2600 AB DELFT
Stieltjesweg 2, 2628 CK DELFT

Telefoon (015) 269 50 00
Telefax (015) 261 08 21

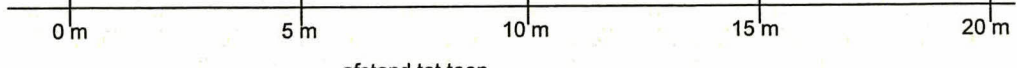
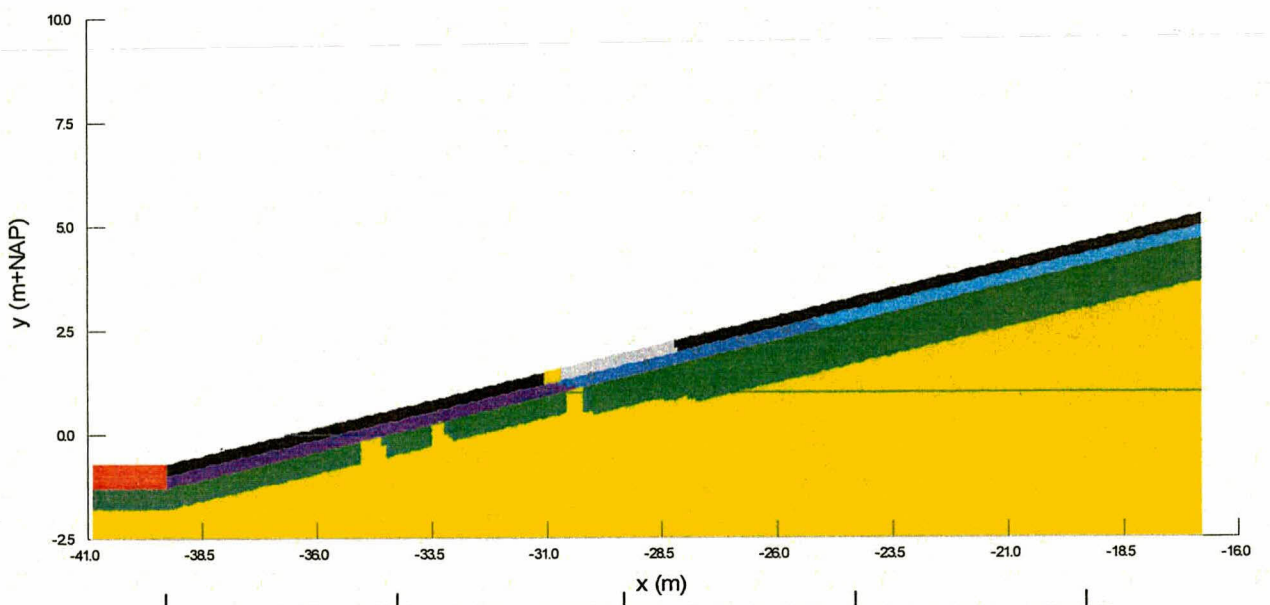
Homepage:
www.geodelft.nl

TREKPROEVEN DIJKBEKLEDING
KRUININGEN
REGISTRATIE PROEF R3

datum	2001/08/09	Get.	Waar
	CO-400970	Gez.	vno
BIJL. 4.2d		form.	A4



RAAI G1



RAAI G2

LEGENDA

-  basaltlaag, relatief ondoorlatend
-  basaltlaag, relatief doorlatend
-  zand
-  klei
-  filterlaag, goed doorlatend
-  filterlaag, minder goed doorlatend
-  filterlaag, slecht doorlatend
-  kreukelberm



Postbus 69,
2600 AB DELFT

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

INFILTRATIEPROEF KRUININGEN
Gebruikte geometrie SEEP/W berekeningen

datum
2001/10/31

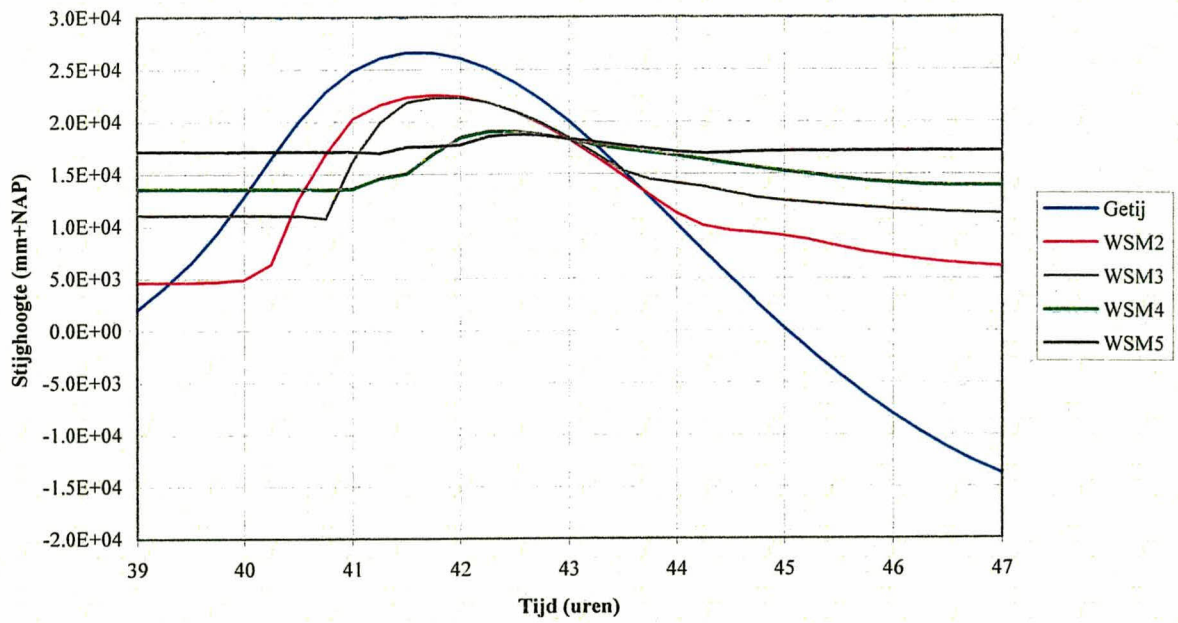
gez.
CO - 400970

form.
BIJL. 4.3a

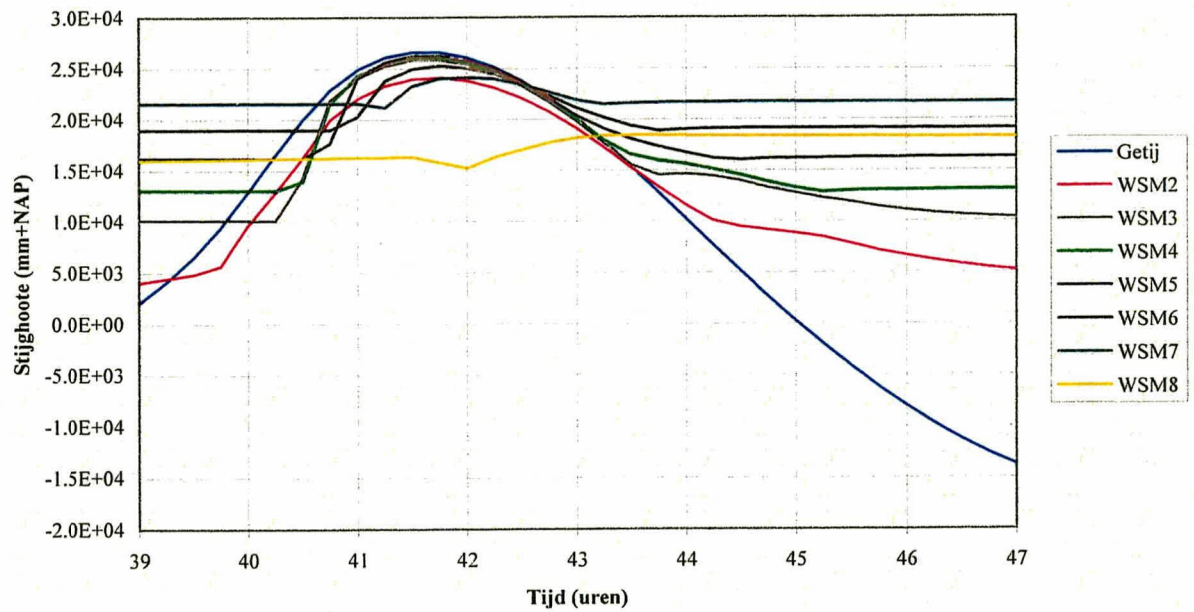
get.

gez.

form.
A4

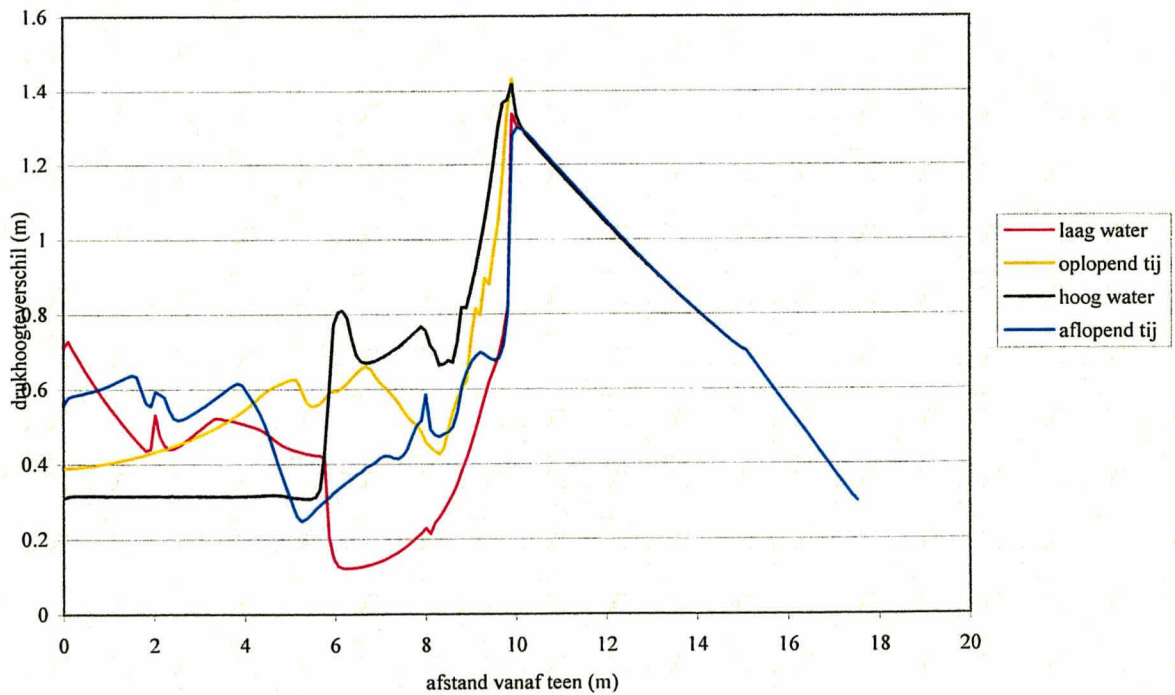
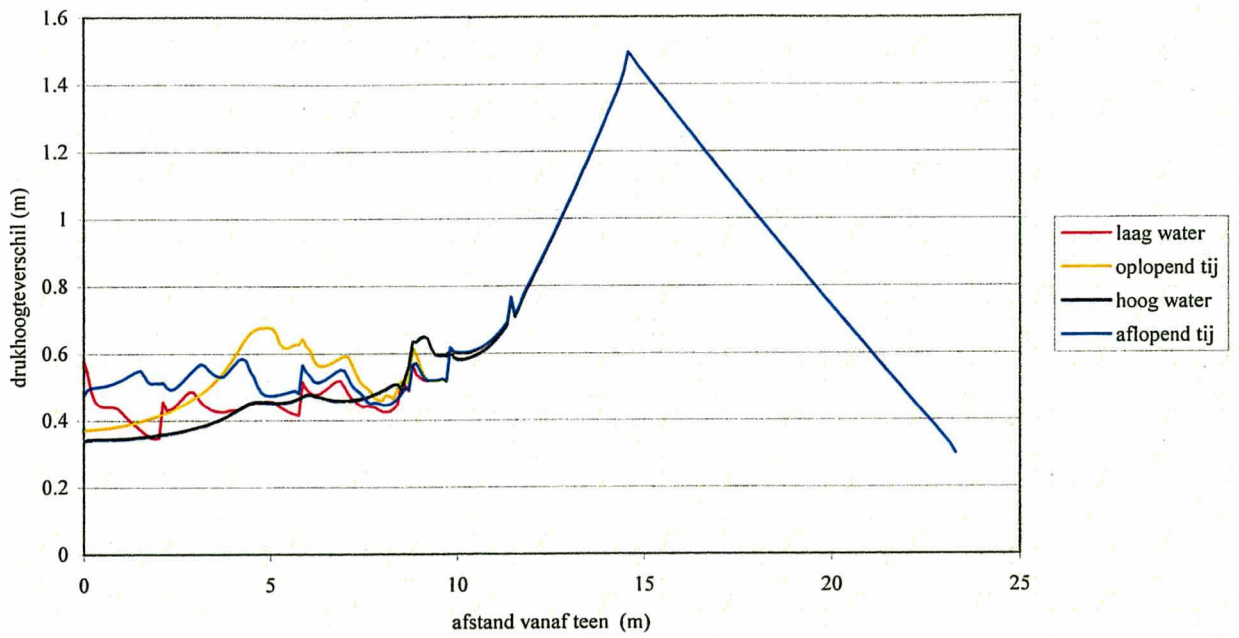


RAAI G1



RAAI G2

	Postbus 69, 2600 AB DELFT	Telefoon (015) 269 35 00 Telefax (015) 261 08 21	datum	get.
			2001/10/31	
INFILTRATIEPROEF KRUININGEN Resultaat narekenen getijmeting met SEEP/W, beste schatting			CO -400970	gez.
			BIJL. 4.3b	form. A4

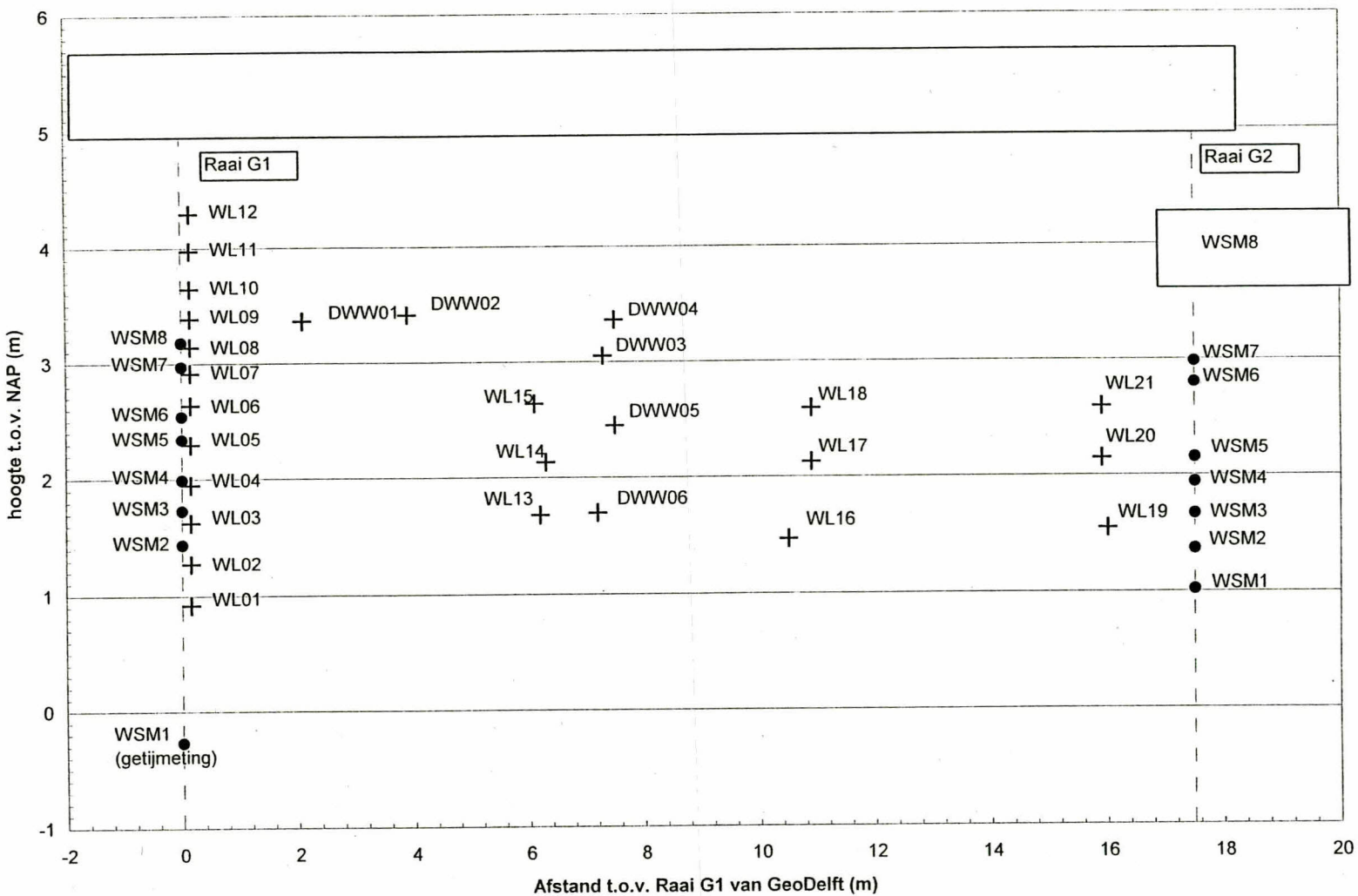


Postbus 69,
2600 AB DELFT

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

INFILTRATIEPROEF KRUININGEN
Resultaat predictie met SEEP/W, beste schatting

datum	get.
2001/10/31	
gez.	
CO -400970	
form.	
BIJL. 4.3C	A4



Postbus 69
2600 AB DELFT

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

INFILTRATIEPROEF KRUIJNINGEN

Meetopstelling infiltratieproef

Datum

2002-03-25

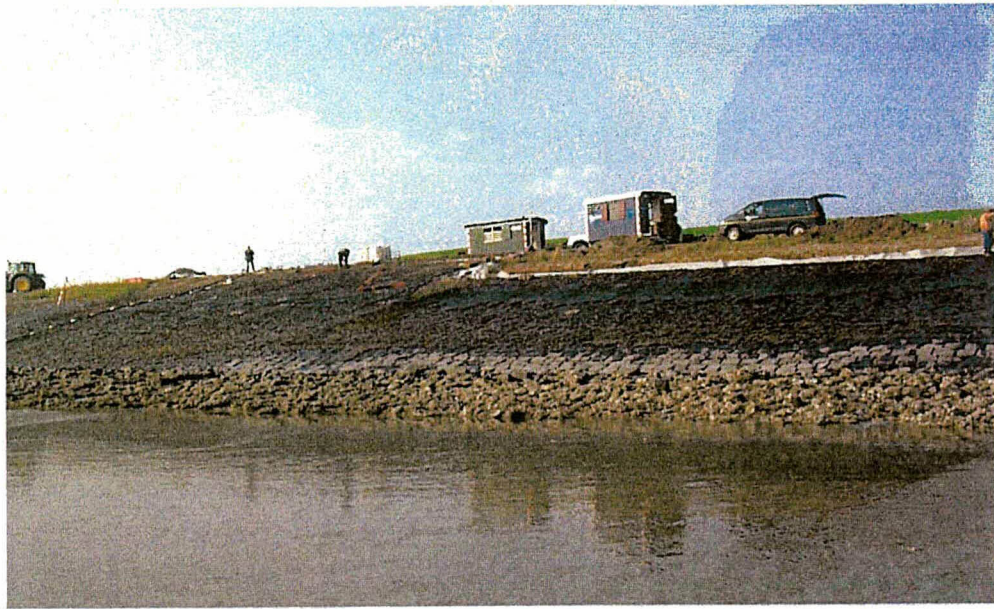
gel.
V/L

CO - 400970

gez.

BIJL. 5.1

form.
A4



Postbus 69,
2600 AB DELFT

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

datum

2002/03/21

get.

INFILTRATIEPROEF KRUININGEN

Fotoimpressie infiltratieproef, meetopstelling

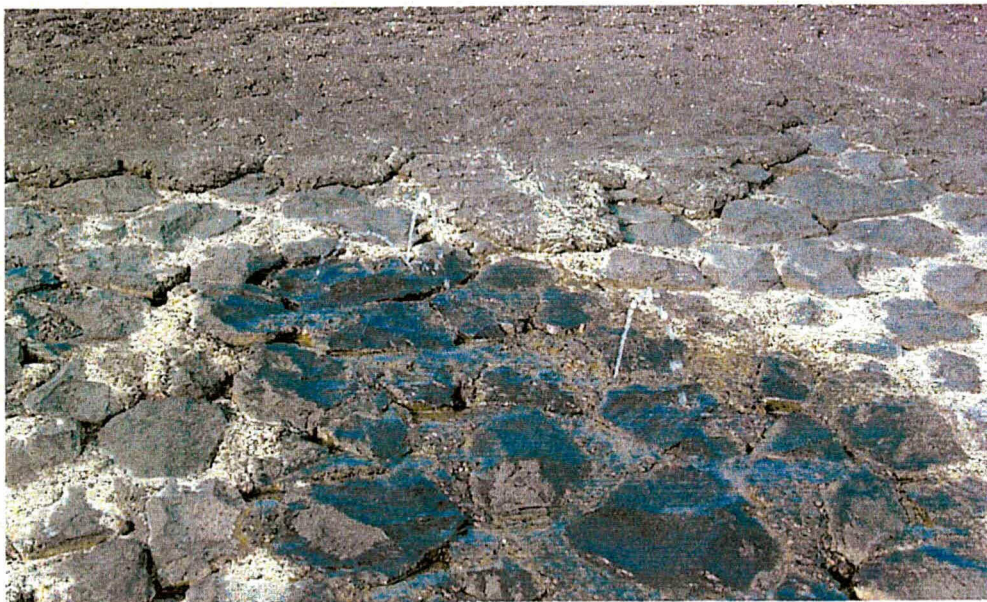
CO - 400970

gez.

BIJL. 5.2a

form.

A4



Postbus 69,
2600 AB DELFT

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

datum

2001/10/31

get.

INFILTRATIEPROEF KRUIJNINGEN

Fotoimpressie infiltratieproef, gevolgen infiltratie

CO - 400970

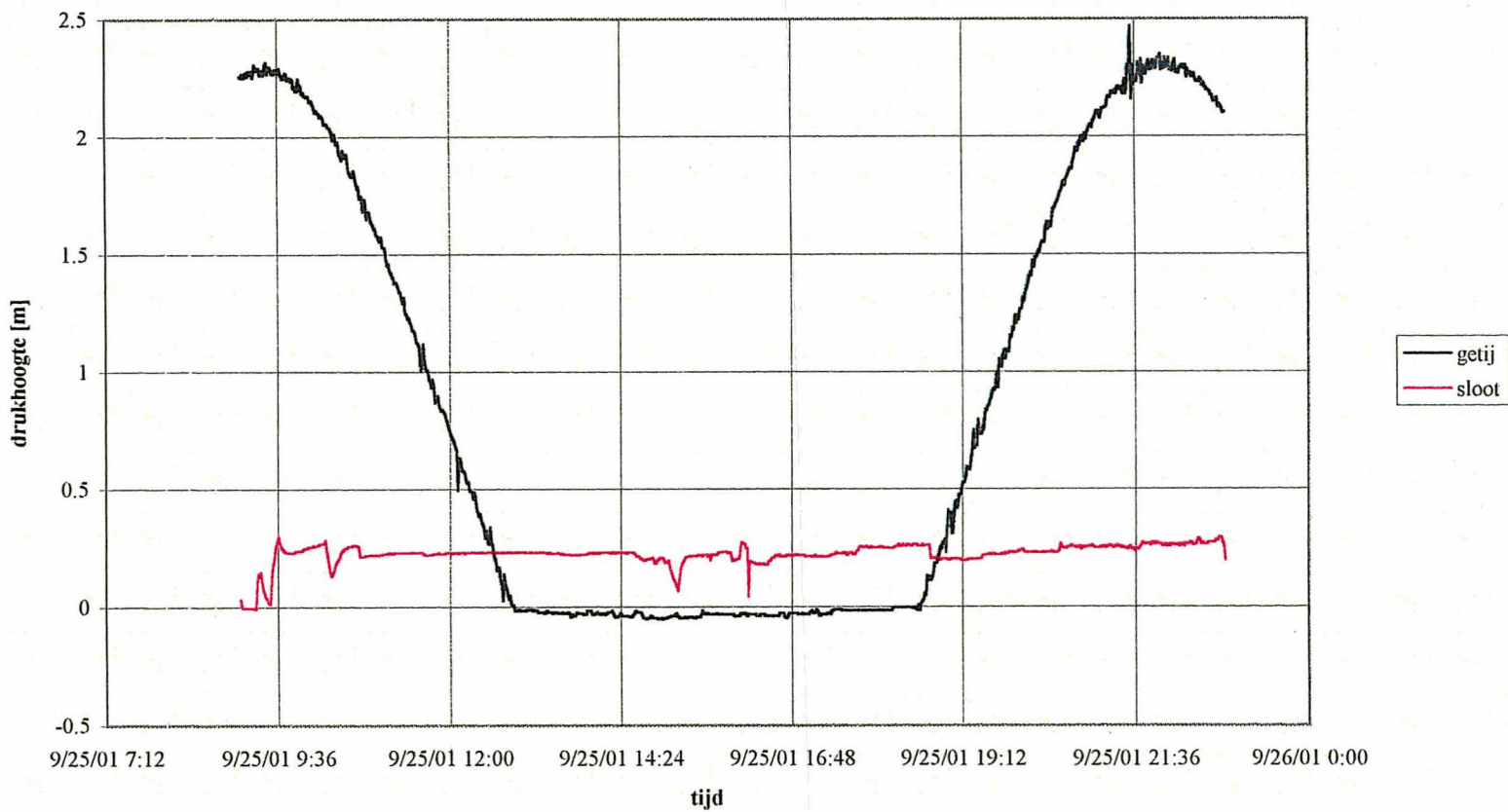
gez.

BIJL. 5.2b

form.

A4

Infiltratieproef Kruiningen
verloop getij en waterstand in infiltratiesloot meetdag 1



Postbus 69,
2600 AB DELFT

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

INFILTRATIEPROEF KRUININGEN

Datum
2002-01-22

CO - 400970

get.
Meij

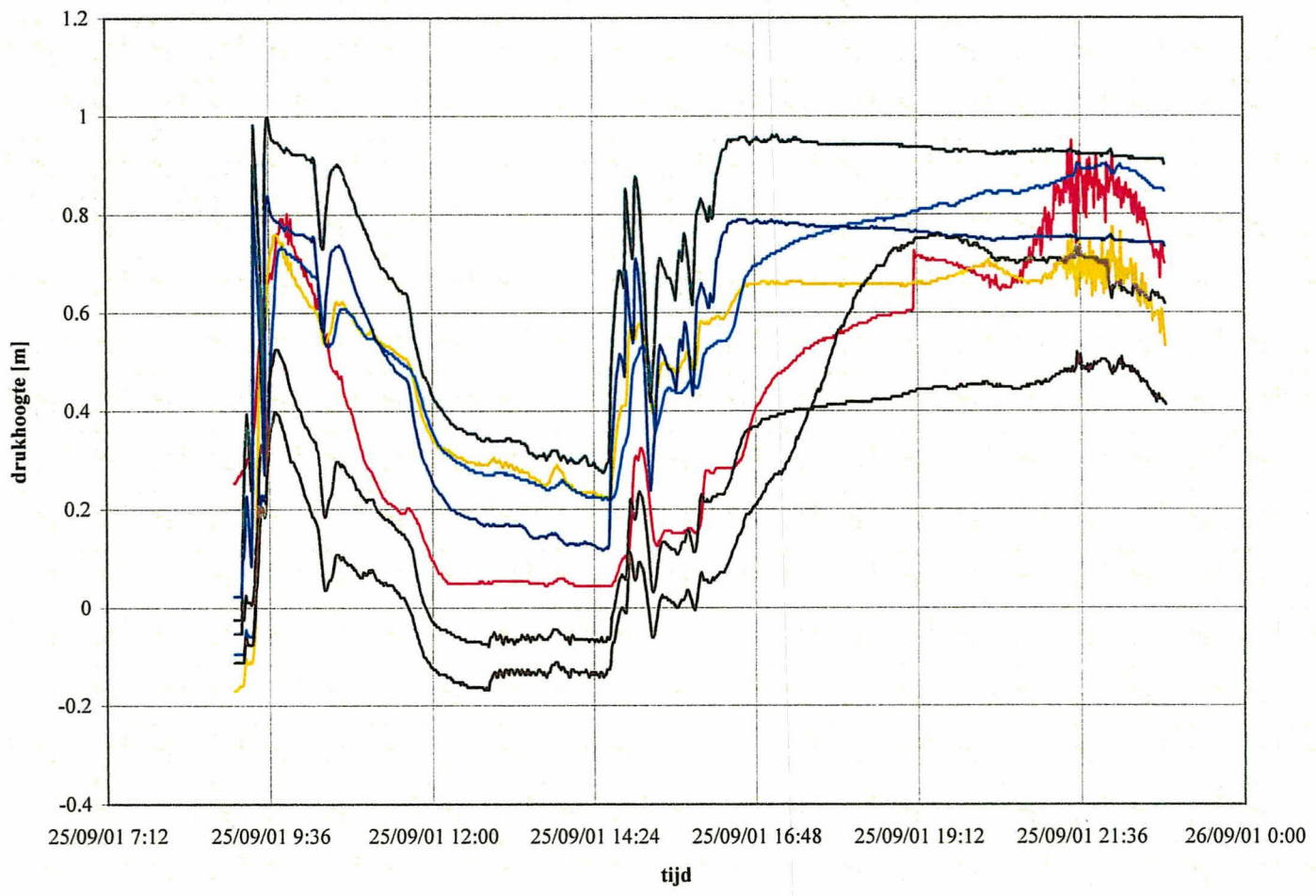
gez.

Verloop getij en waterstand in infiltratiesloot, dag 1

Bl.JL. 5.3a

form.
A4

infiltratieproef Kruiningen, raai G1



- WSM2
- WSM3
- WSM4
- WSM5
- WSM6
- WSM7
- WSM8



Postbus 69
2600 AB DELFT

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

INFILTRATIEPROEF KRUININGEN, RAAI G1

Verloop drukhoogte, dag 1

Datum
2001-10-22

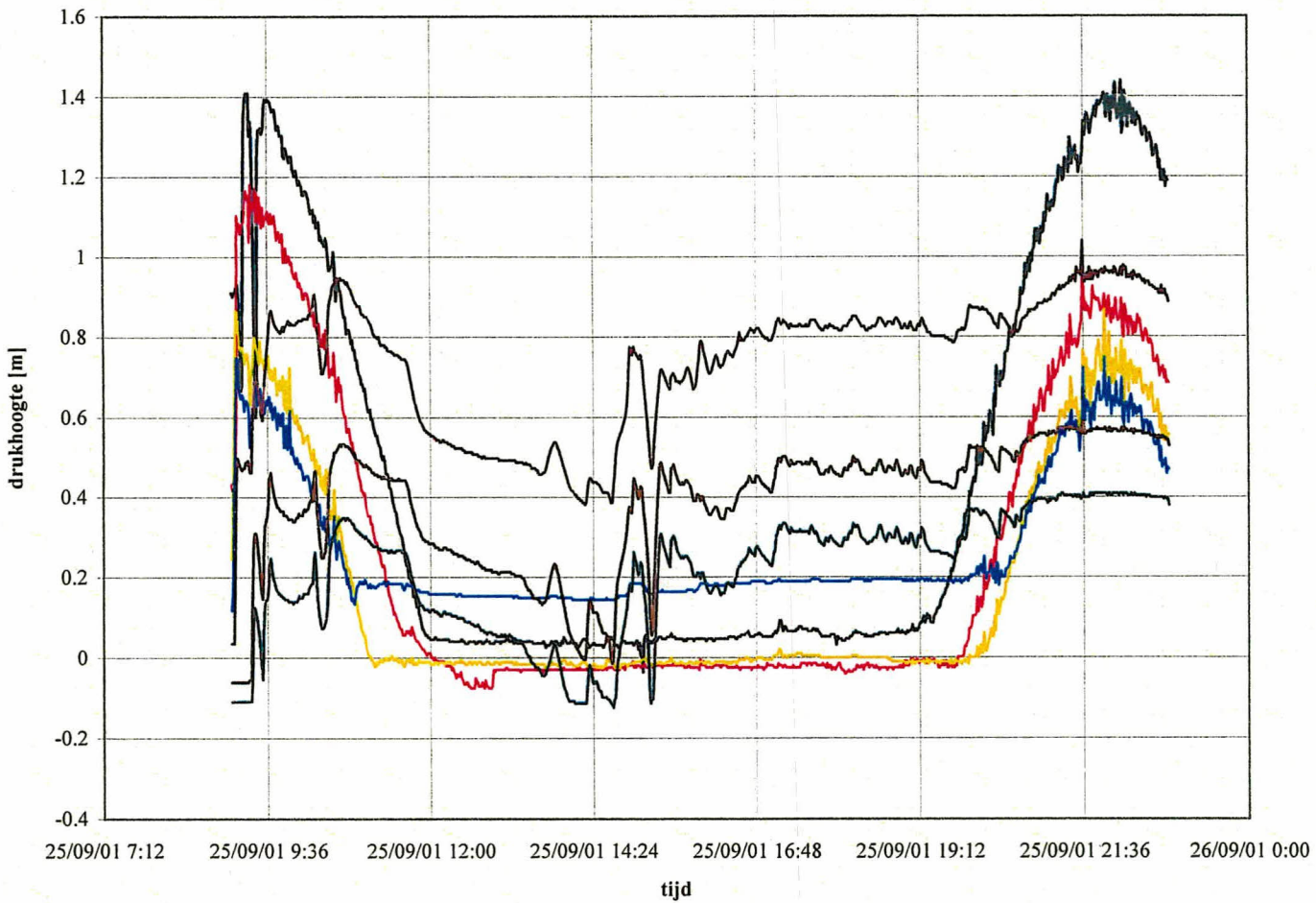
CO - 400970

BIJL. 5.3b

get.
Meij

form.
A4

infiltratieproef Kruiningen, raai G2



- WSM1
- WSM2
- WSM3
- WSM4
- WSM5
- WSM6
- WSM7



Postbus 69
2600 AB DELFT

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

INFILTRATIEPROEF KRUININGEN, RAAI G2

Verloop drukhoogte, dag 1

Datum
2001-10-22

get.
Meij

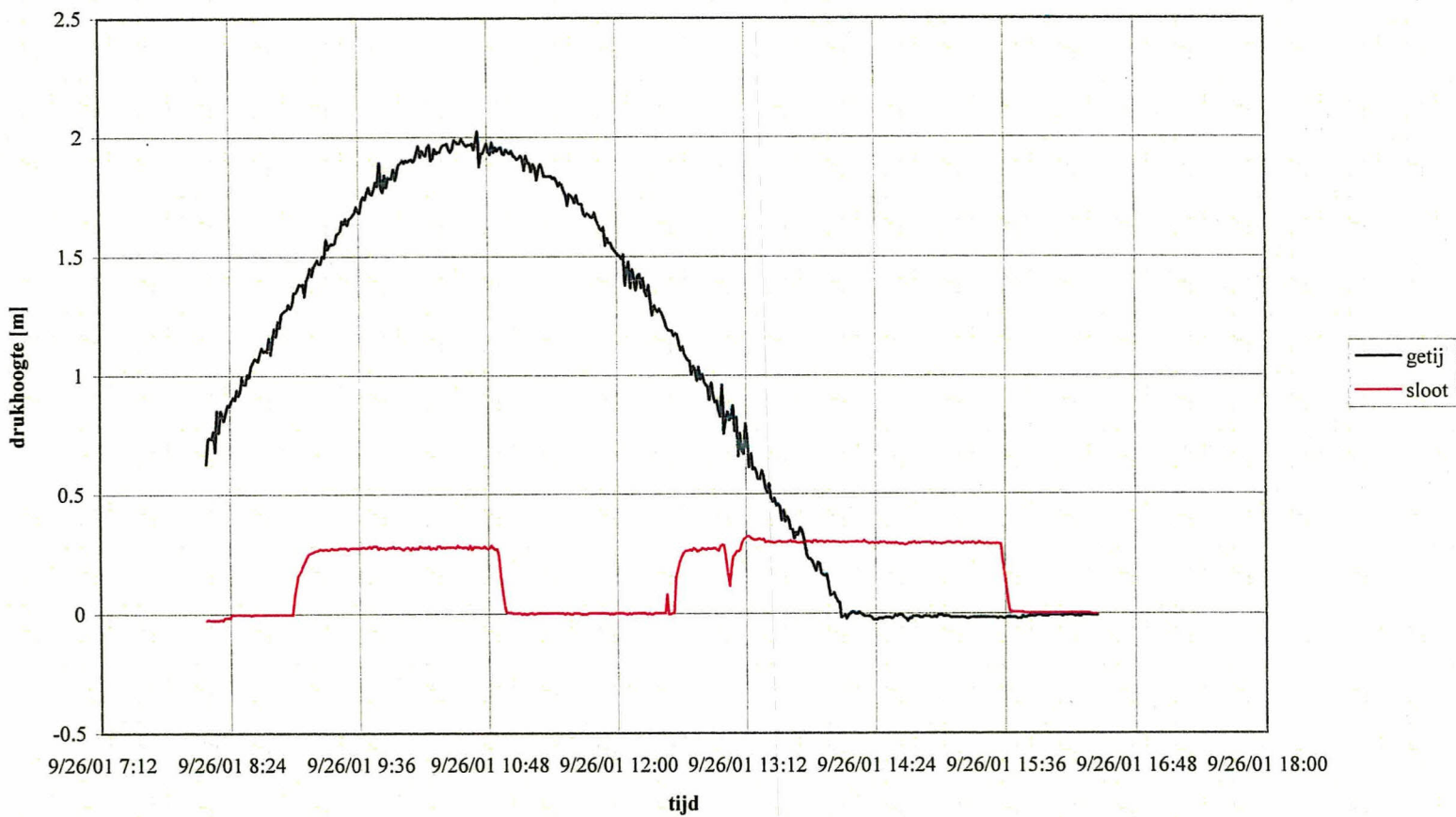
CO - 400970

gez.

BIJL. 5.3c

form.
A4

Infiltratieproef Kruiningen
verloop getij en waterstand in infiltratiesloot meetdag 2



Postbus 69,
2600 AB DELFT

Telefoon (0)15) 269 35 00
Telefax (0)15) 261 08 21

INFILTRATIEPROEF KRUININGEN

Verloop getij en waterstand in infiltratiesloot, dag 2

Datum
2002-01-22

get.
Meij

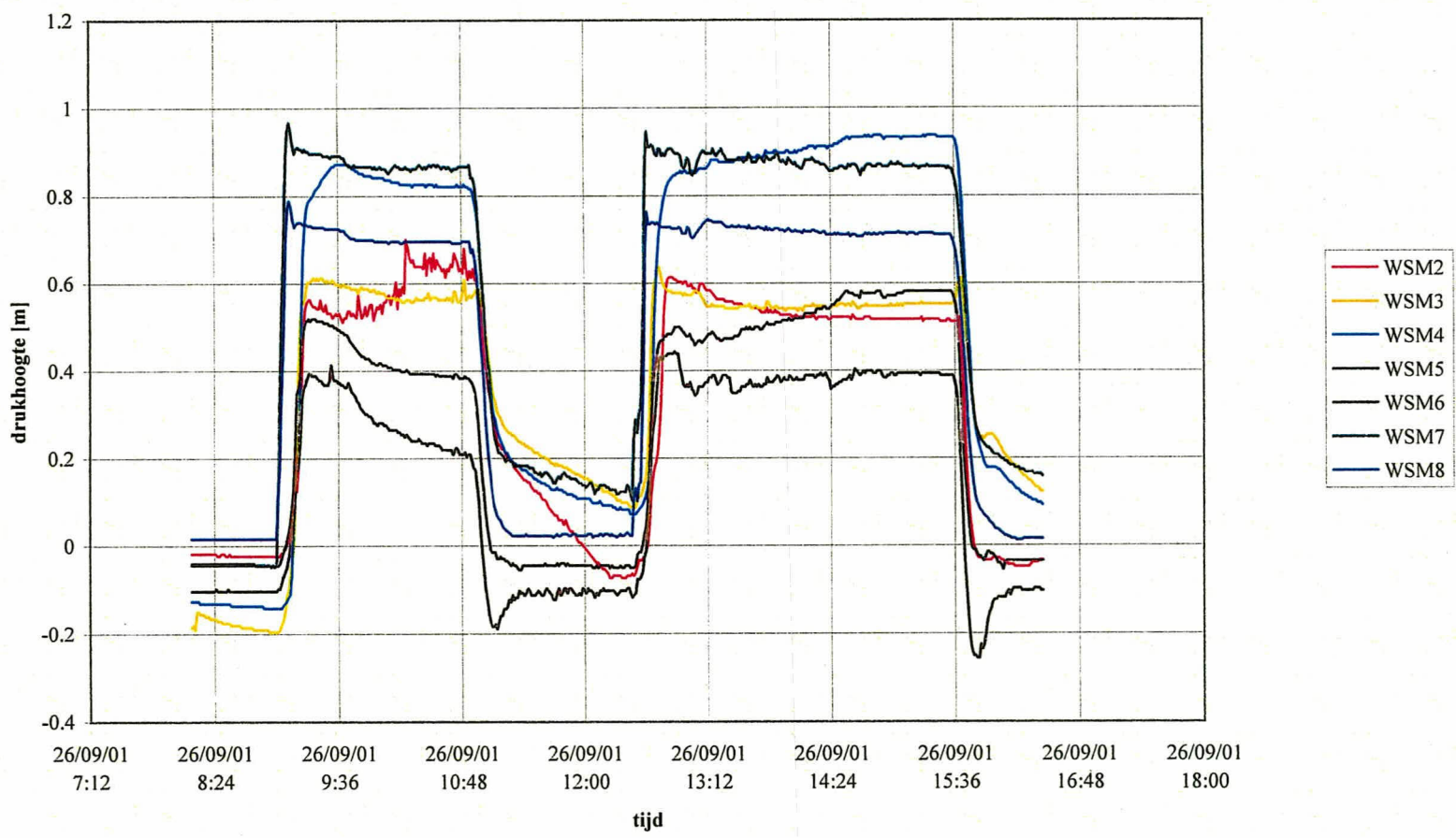
CO - 400970

gez.

BIJL. 5.4a

form.
A4

infiltratieproef Kruiningen, raai G1



- WSM2
- WSM3
- WSM4
- WSM5
- WSM6
- WSM7
- WSM8



Postbus 69,
2600 AB DELFT

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

INFILTRATIEPROEF KRUININGEN, RAAI G1

Datum
2001-10-22

CO - 400970

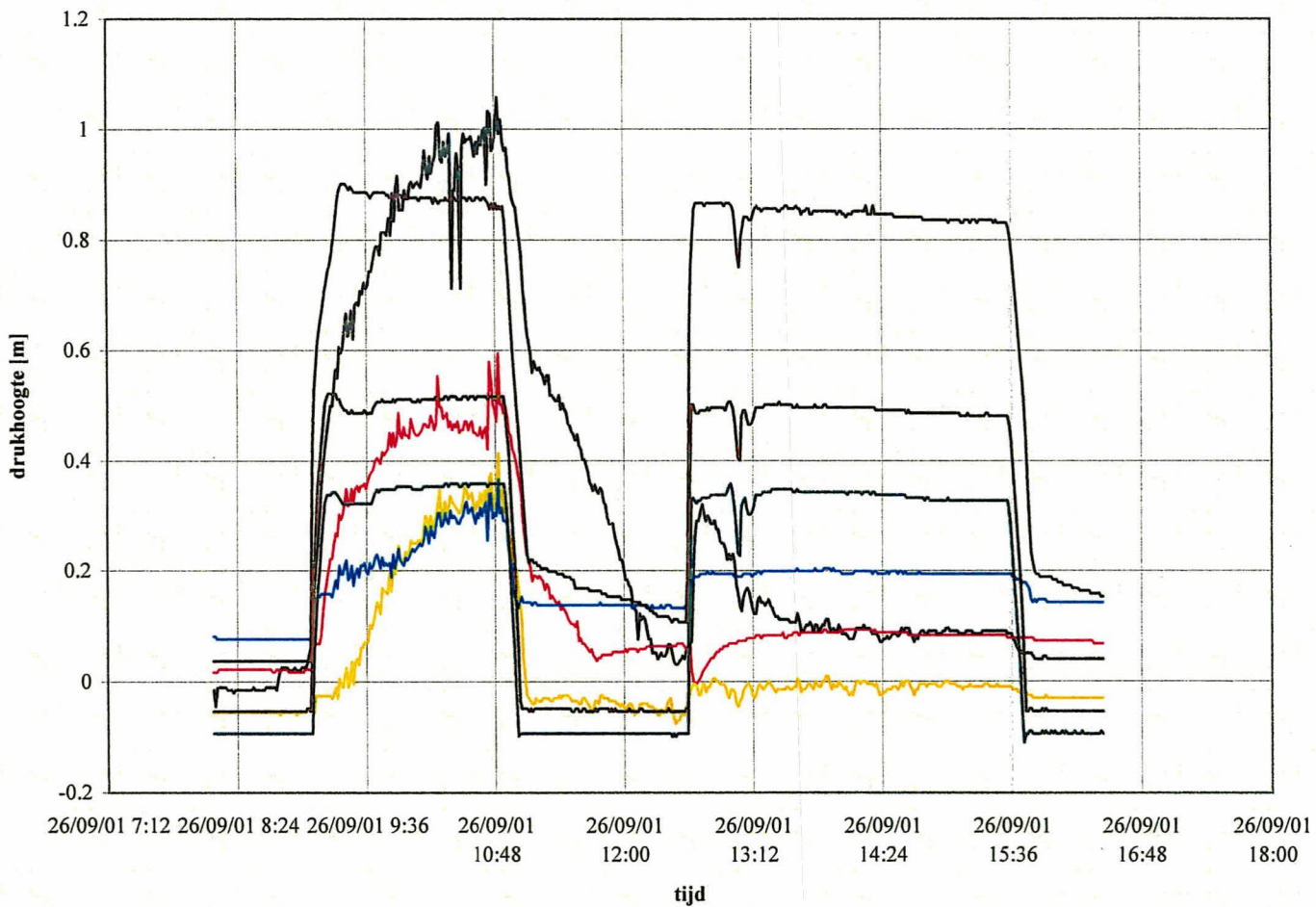
get.
Meij

Verloop drukhoogte, dag 2

BIJL. 5.4b

form.
A4

infiltratieproef Kruiningen, raai G2



- WSM1
- WSM2
- WSM3
- WSM4
- WSM5
- WSM6
- WSM7



Postbus 69,
2600 AB DELFT

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

INFILTRATIEPROEF KRUININGEN, RAAI G2

Verloop drukhoogte, dag 2

Datum
2001-10-22

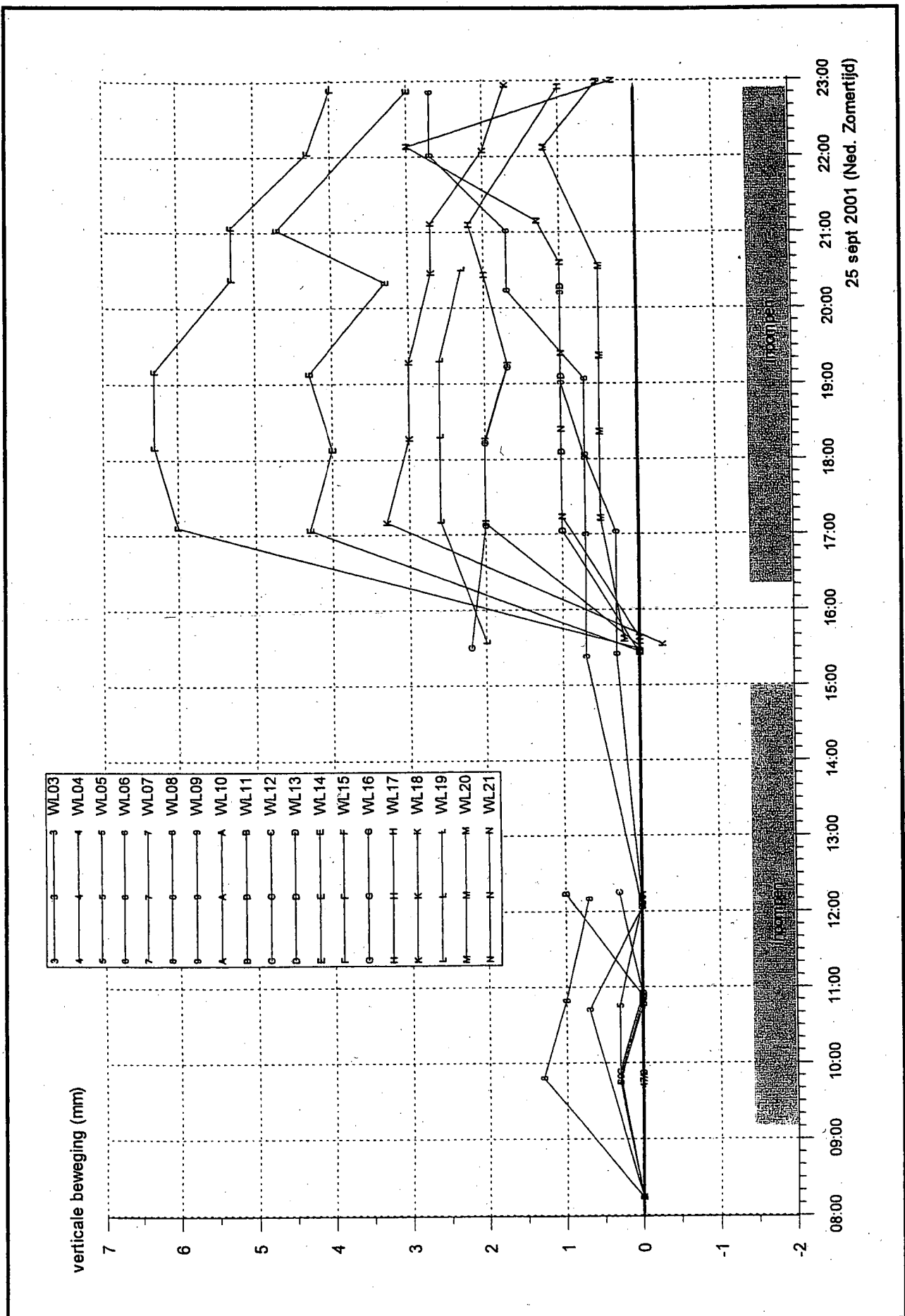
CO - 400970


BIJL. 5.4c

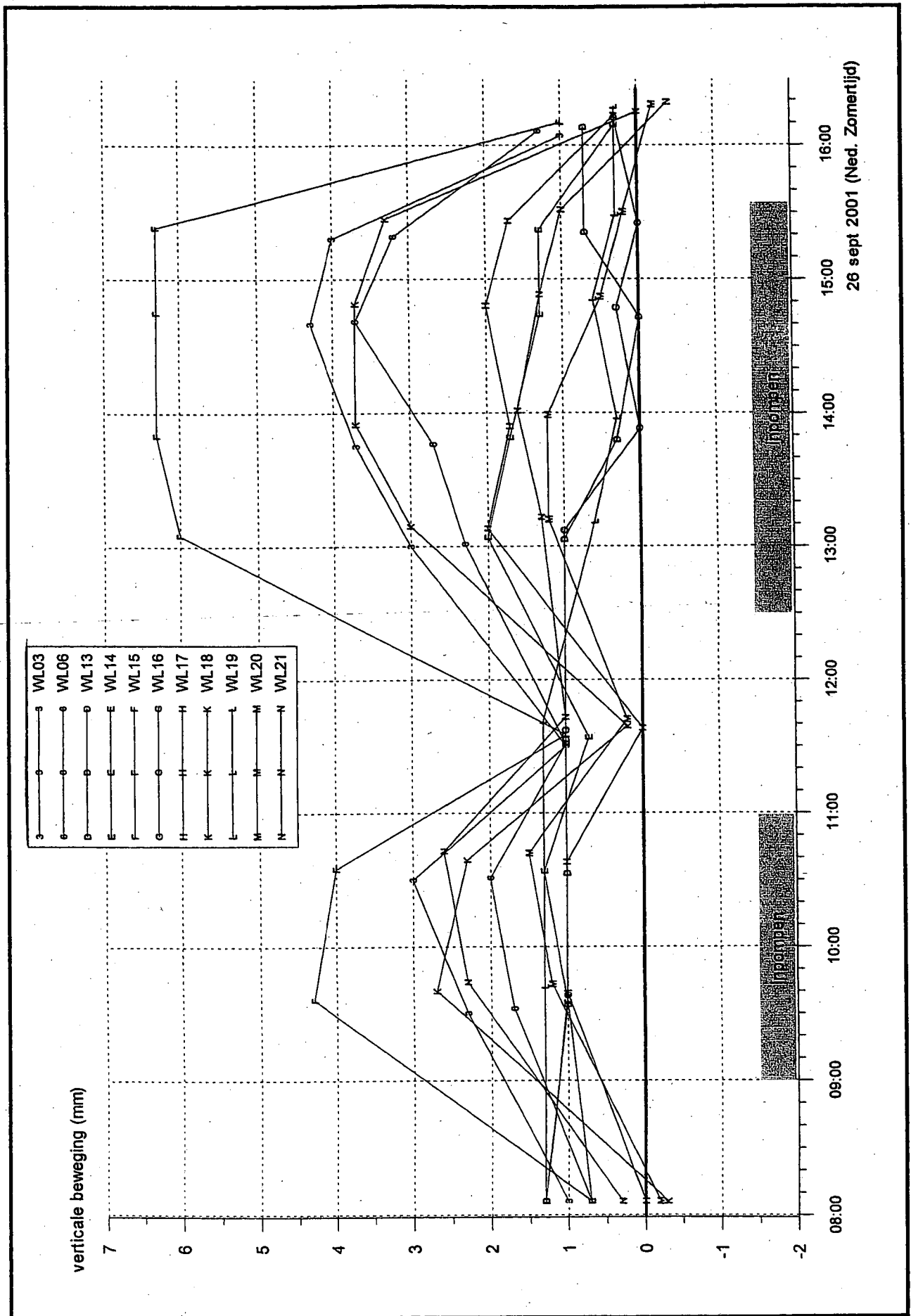
get.
Meij

gez.

form.
A4



 Postbus 69, 2600 AB DELFT	Telefoon (015) 269 35 00 Telefax (015) 261 08 21	Datum 2002-03-25	get. WL	
		INFILTRATIEPROEF KRUIJINGEN		gez. CO - 400970
		Verplaatsingen dag 1, waterpaspunten 1-21		fom. A4
		BIJL. 5.5a		



Postbus 69,
2600 AB DELFT

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

Datum
2002-03-25

get.
WL

INFILTRATIEPROEF KRUIJINGEN

Verplaatsingen dag 2, waterpaspunten 3, 6, 13-21

CO - 400970

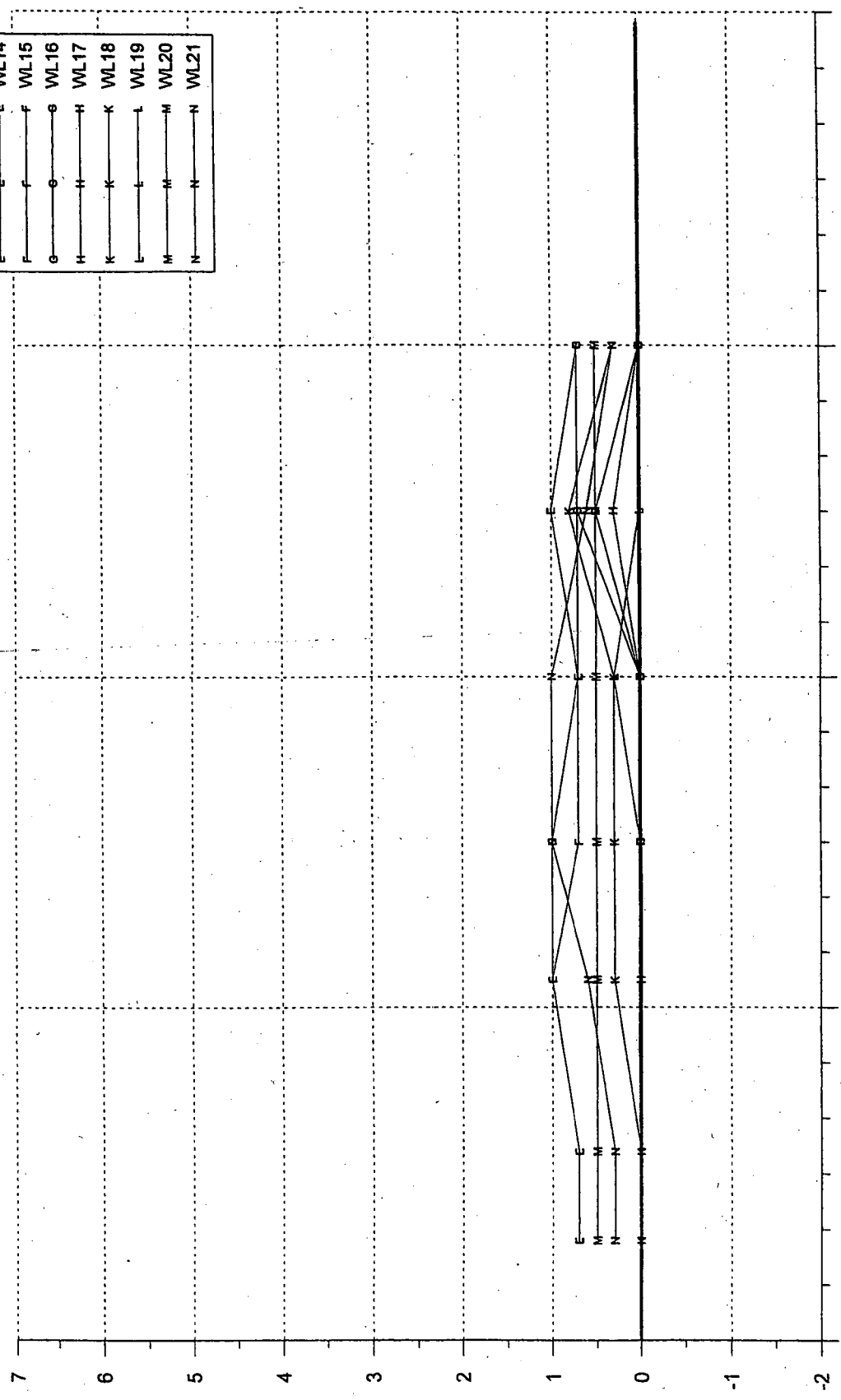
gez.

BIJL. 5.5b

form.
A4

D	B	D	WL13
E	E	E	WL14
F	F	F	WL15
G	G	G	WL16
H	H	H	WL17
K	K	K	WL18
L	L	L	WL19
M	M	M	WL20
N	N	N	WL21

verticale beweging (mm)



16:00
27 sept 2001 (Ned. Zomertijd)

15:00

14:00

13:00

12:00



Postbus 69
2600 AB DELFT

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

Datum
2002-03-25

get.
WL

INFILTRATIEPROEF KRUININGEN
Verplaatsingen t.g.v. alleen getij, waterpaspunten 13-21

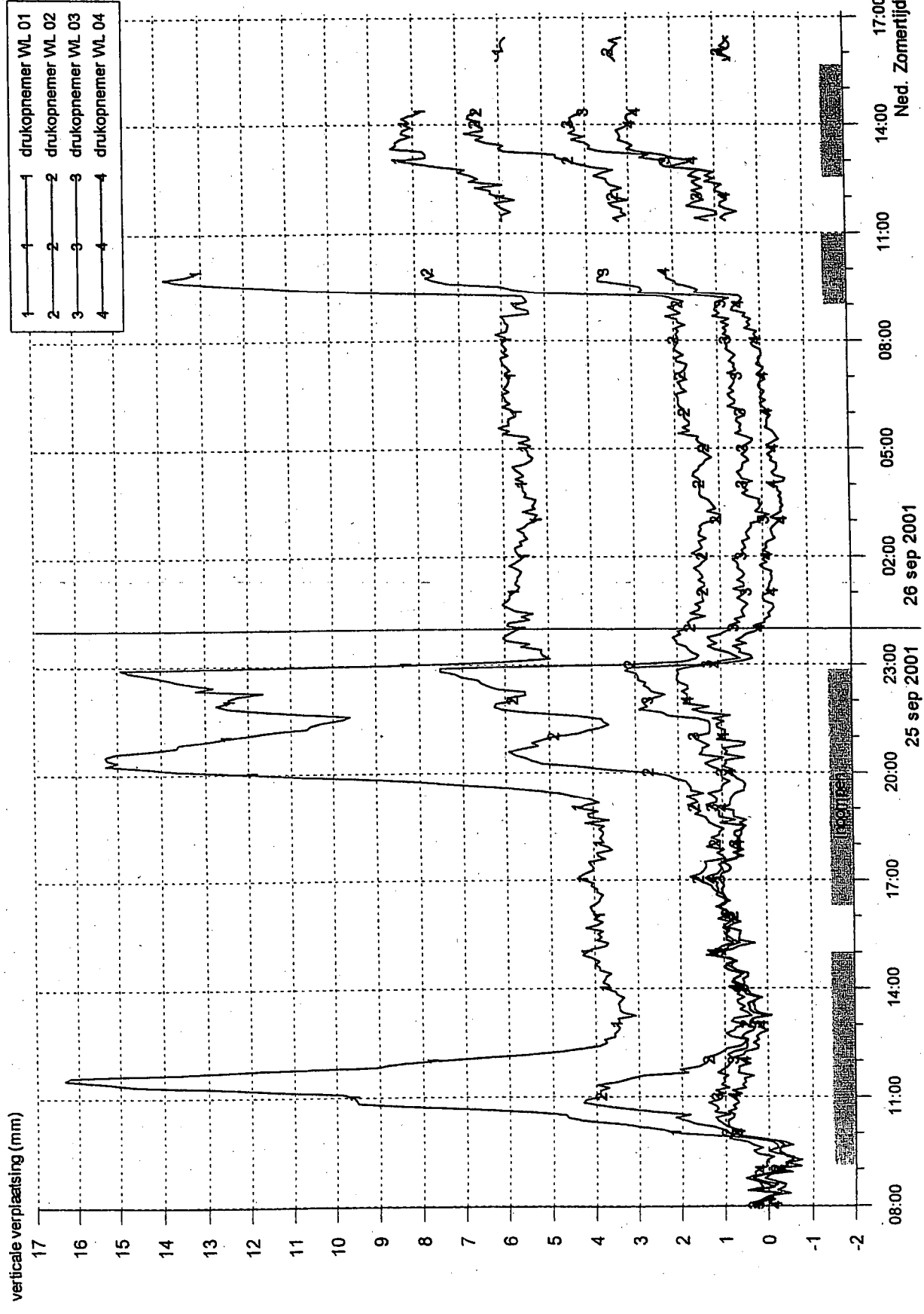
CO - 400970


gez.

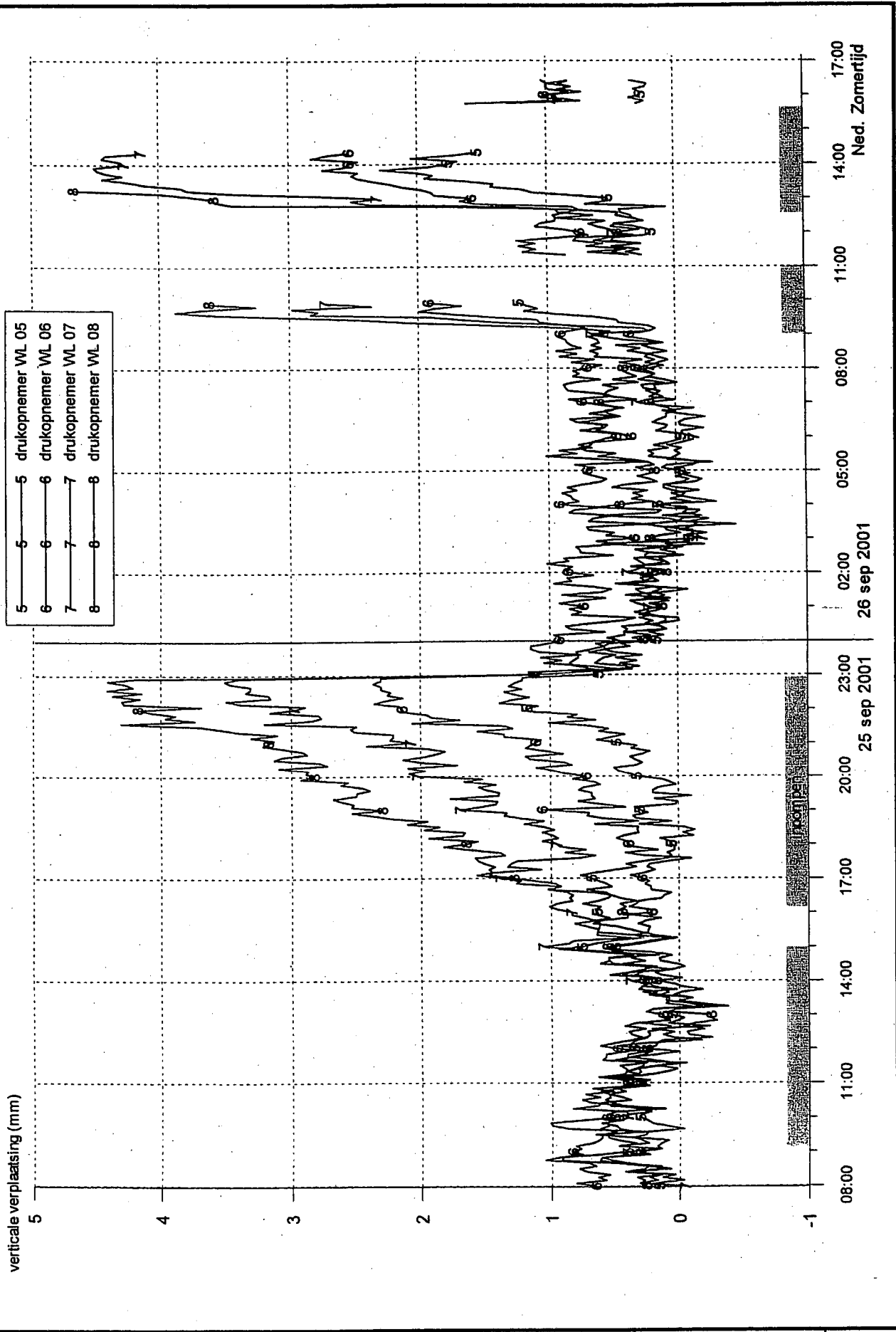
BIJL. 5.5c


form.
A4

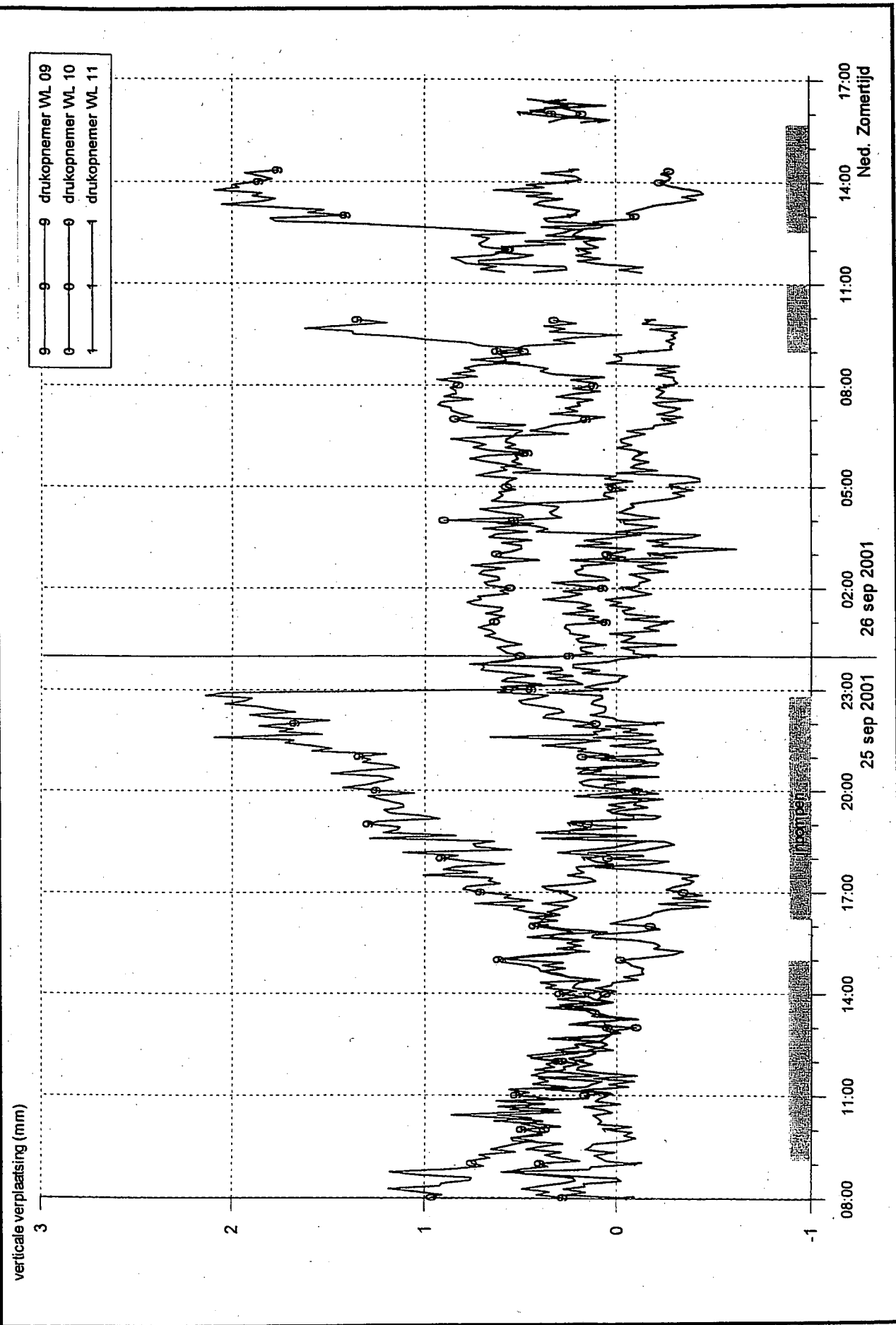
- 1 — 1 drukopnemer WL 01
- 2 — 2 drukopnemer WL 02
- 3 — 3 drukopnemer WL 03
- 4 — 4 drukopnemer WL 04



 Postbus 69, 2600 AB DELFT	Telefoon (015) 269 35 00 Telefax (015) 261 08 21	Datum 2002-03-25	gel. WL
		INFILTRATIEPROEF KRUININGEN Verticale verplaatsing, hydrostatische meting WL01 t/m 04	
		BIJL. 5.6a	form. A4



 Postbus 69, 2600 AB DELFT	Telefoon (015) 269 35 00 Telefax (015) 261 08 21	Datum 2002-03-25	get. WL	
		INFILTRATIEPROEF KRUININGEN		gez. CO - 400970
		Verticale verplaatsing, hydrostatische meting WL05 t/m 08		form. BIJL. 5.6b



Postbus 69,
2600 AB DELFT

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

Datum
2002-03-25

get.
WL

INFILTRATIEPROEF KRUININGEN

CO - 400970

gez.

Verticale verplaatsing, hydrostatische meting WL09 t/m WL11

BIJL. 5.6c

form.
A4



Postbus 69
NL-2600 AB Delft
Stieltjesweg 2
NL-2628 CK Delft
Telefoon (015) 269 35 00
Telefax (015) 261 03 21
info@geodelft.nl
www.geodelft.nl

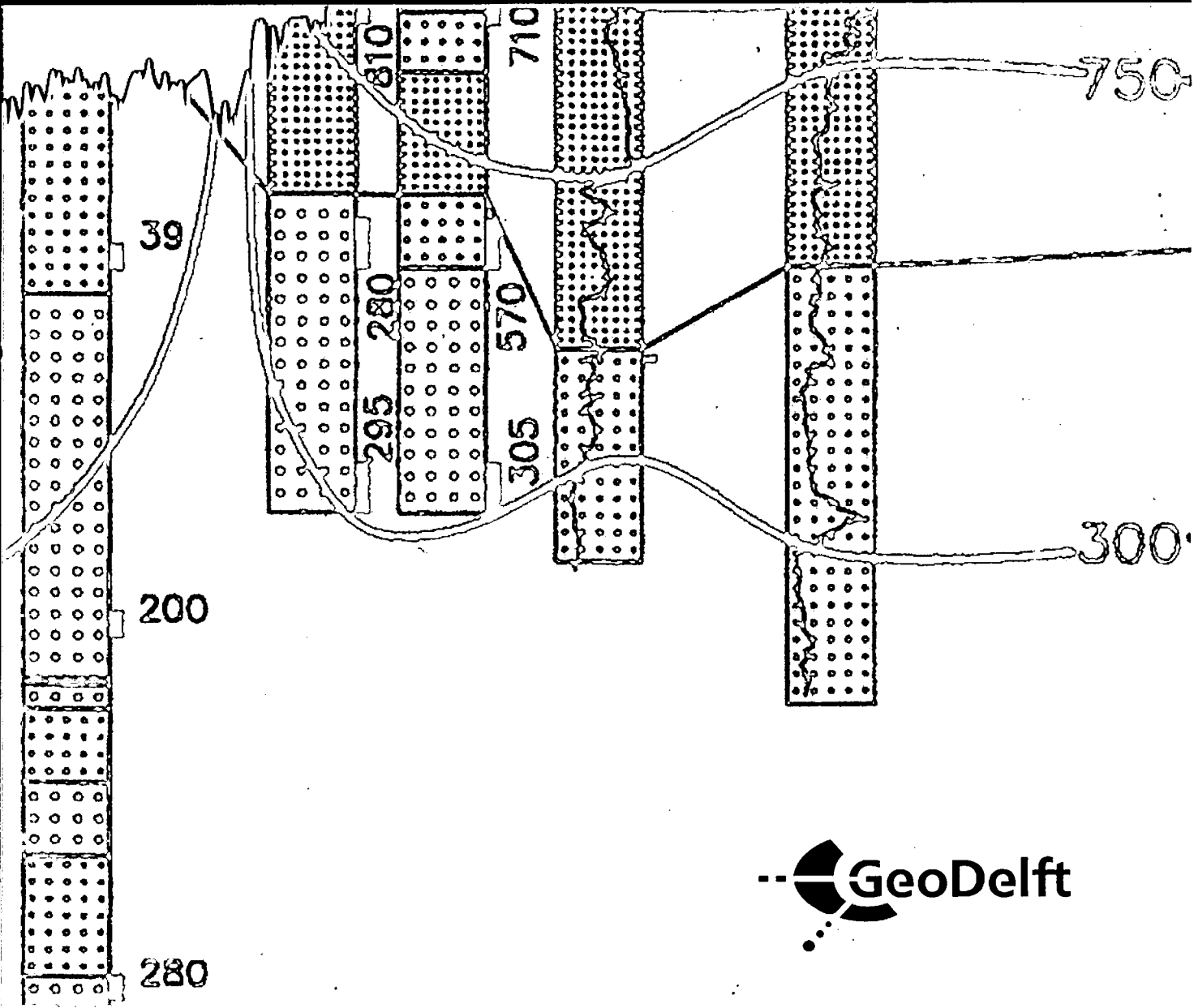
Meetverslag infiltratieproef

Kruiningen

definitief

CO-400970.0025 versie 1

januari 2002



Meetverslag infiltratieproef Kruiningen

definitief

CO-400970.0025

januari 2002

D:\projects\400970

Opgesteld in opdracht van:

RWS-DWW

POSTBUS 5044

2600 GA DELFT

AFDELING GRONDCONSTRUCTIES

Projectleider : Ir. P. Meijers

Projectbegeleider : Ir. T.P. Stoutjesdijk

GeoDelft

Stieltjesweg 2, 2628 CK DELFT

Postbus 69, 2600 AB DELFT

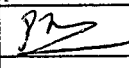
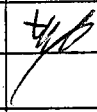
Telefoon (015) 269 35 00

Telefax (015) 261 08 21

Postbank 234342

Bank MeesPierson NV

Rek.nr. 25.92.35.911

rapportnr: CO-400970.0025		datum rapport: januari 2002			
titel en subtitel: Meetverslag infiltratieproef Kruiningen		behandelende afdeling: Grondconstructies			
		projectnaam:			
projectleider(s): Ir. P. Meijers		projectbegeleider(s): Ir. T.P. Stoutjesdijk			
naam en adres opdrachtgever: RWS-DWW Postbus 5044 2600 GA DELFT		referentie opdrachtgever:			
		verzenden in: -voud			
		type rapport: definitief			
<p>samenvatting rapport:</p> <p>Eind september 2001 is in Kruiningen een infiltratieproef uitgevoerd. Bij deze proef is geprobeerd in de filterlaag onder een ingegoten basaltbekleding een dusdanige overdruk op te bouwen dat de bekleding wordt opgetild. Dit rapport bevat een beschrijving van de meetopstelling en de resultaten van de drukmeting. De gemeten drukken komen plaatselijk ongeveer overeen met het eigen gewicht van de toplaag. De bekleding is niet afgeschoven of opgebarsten, wel kwam er op diverse plaatsen water door de toplaag naar buiten.</p> <p>Een uitgebreide analyse van de meetresultaten valt buiten het kader van dit rapport.</p>					
opmerkingen:					
trefwoorden: infiltratieproef, ingegoten basalt		verspreiding: 10 x RWS-DWW 1 x WL/Hydraulics 2 x GeoDelft			
opgeslagen op: onder titel: D:\projects\400970 infiltratieproef\tekst\400970.0025 v1.doc					aantal blz.:
versie:	datum:	opgesteld door:	paraaf:	gecontroleerd door:	paraaf:
1	Januari 2002	Ir. P. Meijers		Ir. T.P. Stoutjesdijk	

INHOUDSOPGAVE

1	Inleiding	1
2	Opzet proef	3
	2.1 Plaats meting	3
	2.2 Plaats opnemers	3
	2.3 Opbouw infiltratieproef	4
	2.4 Toevoer water	4
	2.5 Tijdschema	5
	2.6 Gegevens opnemers	5
3	Resultaten proef	7
	3.1 Observaties tijdens de proef	7
	3.2 Verwerking meetgegevens	11
	3.2.1 Plaats opnemers	11
	3.2.2 Bewerking meetwaarden	13
	3.2.3 Grafische weergave resultaat drukmeting	14
4	Eerste interpretatie meetresultaat	15
	4.1 Interpretatie op basis veldobservaties	15
	4.2 Observaties uit de metingen	16
5	Samenvatting	19

BIJLAGEN

A	Getijkrommen Hansweert en Bath
B	Weerrapport KNMI, Vlissingen
2.1	Plaats meting
2.2	Overzicht meetlocatie
3.1	Fotoimpressie meting
3.2-3.3	Verloop getij en waterstand in infiltratiesloot
3.4-3.7	Verloop drukhoogte tijdens meting
3.8-3.11	Verloop stijghoogte tijdens meting

1 Inleiding

Het toetsen van met asfalt of beton in- of overgoten bekledingen levert in de praktijk grote problemen op. Er wordt gevoelsmatig een extra sterkte aan de ingieting van dit soort bekledingen toegeschreven die echter niet kan worden gekwantificeerd. Daarom kan er in de toetspraktijk geen rekening mee worden gehouden en zullen grote strekkingen wellicht ten onrechte worden afgekeurd.

Om deze kennisleemte te vullen heeft RWS-DWW, middels contract DWW 1902, aan GeoDelft opdracht gegeven een onderzoek uit te voeren, met als doel het na te gaan of het haalbaar is een procedure op te stellen voor het toetsen van met asfalt of beton in- en overgoten bekledingen. Met deze procedure kunnen daarmee dit soort bekledingen adequaat worden getoetst. Het karakter van deze studie is dus een haalbaarheidsstudie.

Het onderzoek bestaat uit een aantal deelonderzoeken. Dit rapport beschrijft de uitvoering en de resultaten van de drukmetingen tijdens de feitelijke infiltratieproef. De resultaten van de uitgevoerde verplaatsingsmetingen tijdens de feitelijke infiltratieproef worden separaat door WL|Delft Hydraulics gerapporteerd.

Bij de meting en de voorbereiding waren een groot aantal partijen betrokken. De belangrijkste zijn:

- RWS-DWW: initiator en opdrachtgever, regie
- RWS-Projectbureau Zeeweringen: aanleg infiltratiesloten, herstel bekleding
- GeoDelft: predictie waterdrukken onder de toplaag, meting waterdruk onder de toplaag
- WL|Delft Hydraulics: predictie verplaatsing, meting verplaatsing
- TNO-Bouw: DIANA berekeningen
- Waterschap Zeeuwse Eilanden: beschikbaar stellen meetlocatie, personeel en materieel; verzorgen watertoevoer.

2 Opzet proef

2.1 Plaats meting

De meetlocatie is gelegen op de dijk van de Oost-Inkelenpolder. Deze ligt langs de Westerschelde, ten oosten van de veerhaven Kruiningen, ongeveer ter hoogte van KM 19.76. Het nummer van het betreffende bekledingsvak is 19402. De locatie is weergegeven in bijlage 2.1. De toplaag bestaat uit ingegoten/overgoten basalt.

Een overzicht van de meetlocatie is weergegeven op bijlage 2.2.

De meetopstelling bestaat uit twee infiltratiesloten, een 'hoge' en een 'lage' infiltratiesloot. Water wordt aan een zijde in de hoge infiltratiesloot toegevoerd. Middels een overlaat wordt de lage infiltratiesloot gevoed vanuit de hoge infiltratiesloot. Het feitelijke meetvak was de plaats met het 'hoge infiltratiesloot'. De lage infiltratiesloot is aangebracht om de invloed van zijdelingse wegstroming van water te beperken.

De oorspronkelijke opzet was om continu te infiltreren totdat de bekleding zou bezwijken, met een maximum duur van 48 uur. Op basis van de tijdens de proef geconstateerde verschijnselen is het meetprogramma enigszins aangepast. De beslissingen over deze aanpassingen van het oorspronkelijke meetprogramma zijn ter plaatse genomen in gezamenlijk overleg door vertegenwoordigers van RWS-DWW (R. van Etten, J.C.P. Johanson, S. Nurmohamed), GeoDelft (P. Meijers, T.P. Stoutjesdijk), WL|Delft Hydraulics (M. Klein Breteler), Projectbureau Zeeweringen (Y. Provoost) en TAW-coördinator (L.A. Philipse). Deze aanpassingen zijn opgenomen in paragraaf 3.1.

2.2 Plaats opnemers

De drukken in de filterlaag zijn gemeten in twee raaien. Bijlage 2.2 toont de plaats van de meetraaien. De meetraaien zijn dezelfde raaien die ook voor de getijmeting zijn gebruikt.

Raai G1 is de westelijke raai. Hier is de gepenetreerde basalt aanwezig tot een hoogte van ongeveer NAP + 4,8 m. Raai G2 is ongeveer 17,5 m ten oosten van raai G1 gelegen. Hier is de gepenetreerde basalt aanwezig tot de 'normale' hoogte van NAP + 3,7 m.

Meetraai G1 bleek niet in het midden van het meetvak, maar enigszins naar de rand te liggen. De afwijking is ongeveer 5 m. Dit is waarschijnlijk veroorzaakt door verkeerde interpretatie van gegeven instructies. Toen deze afwijking werd geconstateerd was het niet haalbaar om een nieuwe meetraai te instrumenteren. De meetraai lag wel zover van de rand van het meetvak af (5 m) dat toch een representatief meetresultaat wordt verwacht.

Op verschillende plaatsen zijn in de twee meetraaien via gaten in de toplaag waterspanningsmeters in de onderliggende filterlaag geplaatst. De opnemers zijn gevat in een packer en gefixeerd door het gat gedeeltelijk te vullen met fijn grind. De gaten worden door middel de packers waterdicht afgesloten.

De verplaatsingen zijn door WL|Delft Hydraulics gemeten in raai G1, iets ten oosten van de plaats van de waterspanningsopnemers onder de toplaag. Verder is door WL|Delft Hydraulics met een waterpasinstrument de verplaatsing op een aantal punten op het talud gemeten. Een overzicht van de

verplaatsingsmetingen is te vinden in rapport H3990, 'Verplaatsingsmetingen tijdens inpompproef bij Kruiningen'.

2.3 Opbouw infiltratieproef

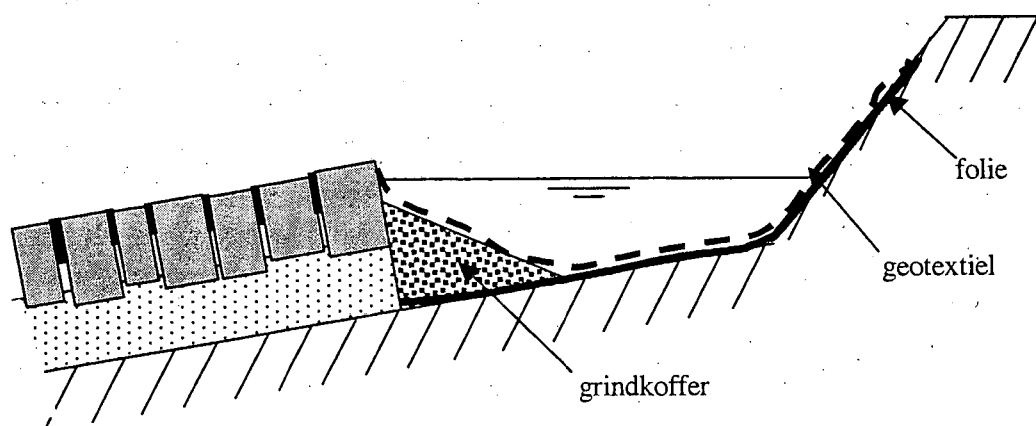
Ten behoeve van de infiltratie is aan de bovenzijde van de ingegoten basaltbekleding een infiltratiesloot aangelegd. Een schematisch dwarsprofiel over de sloot is weergegeven in figuur 2.1. De aanleg bestaat uit de volgende onderdelen:

1. verwijderen betonblokken toplaag (respectievelijk doorgroeistenen en Haringmanblokken)
2. ontgraven klei tot onderkant filterlaag
3. aanbrengen van een waterdicht folie op de bodem van de sloot
4. aanbrengen van een stortsteen berm (grindkoffer) tegen de filterlaag en basaltbekleding
5. aanbrengen van een geotextiel over de grindkoffer en vlies.

De functie van het waterdichte doek is het voorkomen van wegstromen van water direct vanuit de infiltratiesloot naar de ondergrond. Met name bij de lage infiltratiesloot is na ontgraven geconstateerd dat er in de kleilaag lokaal zandinsluitingen aanwezig waren. Tevens had dit folie had ten doel erosie van de klei, en daarmee vermenging van het infiltratiemateriaal met fijn materiaal, tegen te gaan.

De functie van de grindkoffer is tweeledig: het ondersteunen van de filterlaag en basaltbekleding en het vergroten van het instroomoppervlak.

De functie van het geotextiel is het wegvangen van zwevend materiaal, met als doel daarmee verstopping van de filterlaag onder de basaltbekleding te voorkomen.



Figuur 2.1 Doorsnede infiltratiesloot (schematisch)

2.4 Toevoer water

Het water is aangevoerd met een landbouwpomp. Het water werd onttrokken uit de Westerschelde, op de kop van de veerdam.

Via een lange slang werd het water naar de bovenste sloot gepompt en aan de westkant ingelaten. Aan de oostkant was een overloop aanwezig. Via deze overloop werd de tweede, lager gelegen, sloot gevoed.

Het waterdebiet is niet gemeten. Wel is een schatting gemaakt aan de hand van de pompcapaciteit.

2.5 Tijdschema

Een chronologisch overzicht van de belangrijkste activiteiten is weergegeven in tabel 2.1.

datum	tijd	activiteit
zaterdag 22 september		voorbereiding plaatsen opnemers voor de verplaatsingmeting
maandag 24 september	8.00 hr	begin aanleg infiltratiesloten begin montage verplaatsingsopnemers begin montage waterspanningsmeters
	ongeveer 16.00 hr	test werking systeem, infiltratie gedurende ongeveer 1 kwartier
	16.30 –17.30 hr	dichten aantal gaten in top laag, die tijdens de test aan het licht kwamen
dinsdag 25 september	9 hr	start infiltratie
	14.30 hr	constatering dat geotextiel verstopt
	14.45 hr	start schoonmaken geotextiel
	22.45 hr	einde meting dinsdag
woensdag 26 september	8.00 hr	weghalen geotextiel
	8.30 hr	start infiltreren
	11.00 hr	stop infiltratie, dichtmaken aantal gaten in top laag
	12.30 hr	hervatten infiltratie
	13.00 hr	pomp korte tijd uit
	15.35 hr	einde infiltratie, meting loopt door om leeglopen filter te meten
	16.30 hr	einde meting
donderdag 27 september		meting verplaatsing top laag tijdens getij, demobilisatie meetopstelling, herstel bekleding

Tabel 2.1 Chronologisch overzicht meting

Een uitgebreidere beschrijving van de observaties tijdens de metingen is weergegeven in paragraaf 3.1.

2.6 Gegevens opnemers

De gebruikte opnemers waren piezo-resistieve type waterspanningsmeters, type borehole.

Op verschillende plaatsen zijn waterspanningsmeters in de filterlaag wordt geplaatst. Hiervoor zijn de gaten in de top laag van de eerder uitgevoerde getijmeting gebruikt. De opnemers zijn gefixeerd door het gat gedeeltelijk te vullen met fijn grind. De gaten worden door middel van zogenaamde packers waterdicht afgesloten. Per raai zijn 7 opnemers geplaatst. Tevens is een waterspanningsmeter aan de teen van de bekleding geplaatst en een waterspanningsmeter in de hoge infiltratiesloot gelegd. De meetfrequentie van de drukopnemers was 1 meting per minuut.

Tijdens de meting zijn 6 opnemers van de 16 opnemers (3 per meetraai) ter plaatse tevens met een lijnschrijver geregistreerd. Hiermee kon het verloop van de drukken ter plaatse worden gevolgd. De registratie ter plaatse was in Volts. Vertaling naar de druk ging via een geschatte schaalfactor van 0,7 m/V. De feitelijke schaalfactor bleek achteraf ongeveer 1 m/V te zijn.

Deze registratie diende om tijdens de proef het verloop van de waterdrukken visueel te kunnen volgen, zodat zonodig het meetprogramma kon worden aangepast. Na afloop zijn, als controle, de analoge registraties vergeleken met de digitale registraties. Hierbij zijn geen verschillen tussen de digitale en de analoge registraties geconstateerd.

3 Resultaten proef

3.1 Observaties tijdens de proef

Een foto impressie van de proef is opgenomen als bijlage 3.1.

Zaterdag 22 september 2001

Door WL|Delft Hydraulics zijn gaten in de stenen geboord ten behoeve van de montage van de verplaatsingsopnemers.

Maandag 24 september 2001

Op maandag vindt het grootste deel van de voorbereidende werkzaamheden plaats en wordt proefgedraaid.

Aan de bovenzijde van het proefvak worden twee infiltratiesleuven gegraven. Hiertoe moet eerst een betonband worden verwijderd. Dit vereiste de nodige kracht. Het asfalt blijkt redelijk aan de bovenste basaltzuilen en stevig aan de betonband vast te zitten. Hierna wordt op de bodem van de infiltratiesloot plastic folie gelegd waarop een laag grove steenslag komt. Hierop wordt een geotextiel gelegd.

WL|Delft Hydraulics en GeoDelft installeren de verplaatsingsopnemers en waterspanningsmeters. Het waterschap brengt de pomp in gereedheid.

In de twee bovenste gaten van de westelijke meetraai wordt water gegoten (herhaling van de mini infiltratieproef tijdens de getijmeting). Dit water stroomt snel (binnen enkele seconden) weg.

Om ongeveer vier uur 's middags wordt de pomp aangezet. Het lukt in eerste instantie niet met een beperkt debiet de infiltratiesloot te vullen, maar met een hoger debiet lukt dit wel.

Er ontstaan al snel fonteintjes en lek in de toplaag. Sommige fonteintjes zijn wel 10 cm hoog. Er ontstaan ook steeds nieuwe fonteintjes. Ook laag op het talud komt water uit de zetting. De proef duurt ongeveer 15 minuten per infiltratiesloot.

Laat in de middag worden enkele van de grootste gaten gedicht met snelhardende cement. Verder is tijdens de proef een bezinkbeker gevuld met het pompwater. Het pompwater is 'grijs'. Na twee uur is dit nog steeds het geval. Ook de volgende dag blijkt dat er nog geen sprake is van bezinking.

Er zit dus een redelijke hoeveelheid slibachtig materiaal in het water dat slechts langzaam bezinkt. Verwacht werd dat het geotextiel dit materiaal zou afvangen en daarmee verstopping van de filterlaag zou voorkomen.

Dinsdag 25 september 2001

09:05 u: het inpompen begint. Er wordt gewerkt met een T-stuk en twee dunnere slangen, zodat beide infiltratiesloten tegelijkertijd kunnen worden gevuld. Het debiet is door de dunne slangen echter beperkt, waardoor de sloten nauwelijks vullen.

09:10 u: in het gedeelte waar over grote hoogte is gepenetreerd ontstaan 2 fonteintjes van ongeveer 10 cm hoog nabij de stilwaterlijn. In het lage gedeelte ontstaan diverse vochtplekken. Er wordt een begin van drukopbouw gemeten waterspanningsmeter WSM5 in raai 2.

- 09:15 u: het inpompen wordt gestopt en vervolgens wordt het volledige debiet met een grote slang in de bovenste infiltratiesloot gezet.
- 09:20 u: de pomp gaat weer aan. De infiltratiesloot begint zich nu aardig te vullen.
- 09:23 u: op 2 meter afstand van de infiltratiesloot ontstaan lekplekken. Aan de zijkant van het vak wordt ernstige lek geconstateerd in het naastliggende vak van basalt waar in veel minder mate penetratie aanwezig is. Ter hoogte van de infiltratiesloot in het lage gedeelte ontstaan enkele fonteintjes.
- 09:25 u: het water uit de pomp spuit het filterdoek weg. Er wordt gestopt met pompen. Het doek wordt met piketten vastgezet.
- 09:30 u: aan de zijkant stroomt nog steeds liters water weg.
- 09:31 u: de slang wordt gefixeerd en de pomp gaat weer aan.
- 09:34 u: bij een gat in het talud is goed hoorbaar dat er onder hoge druk lucht ontsnapt, het klinkt een beetje alsof het gas van een gasfornuis wordt aangezet. Om 9:36 uur ontstaat hier een fonteintje dat water een paar centimeter omhoog spuit. Het is ongeveer hoogwater.
- 09:36 u: bovenste goot loopt over, het debiet wordt iets teruggenomen.
- 09:43 u: op de waterspiegel wordt zichtbaar dat er zich circa 30 cm onder de waterlijn een wel bevindt die water spuit. Er is geborrel zichtbaar. Voorlopig is het de indruk dat er meer water het talud in wordt gepompt dan er via de toplaag weer naar buiten komt. Met andere woorden: er zou drukopbouw plaats moeten vinden.
- 09:48 u: alleen aan de zijkant verdwijnt nog erg veel water. Fonteintjes en lek in de toplaag blijven redelijk constant.
- 09:55 u: de waterspanningsmeters geven een uitslag die omgerekend neer zou komen op circa 65 à 70 cm waterdruk onder de bekleding. Het WL meet enige millimeters verplaatsing.
- 10:13 u: WL slaat enkele extra meetpunten die gedurende de proef regelmatig gewaterpast kunnen worden om gedurende de proef een indruk van de verplaatsingen te hebben. Alleen de bovenste sloot staat vol. Door een Haringmanblok uit de bekleding naast de infiltratiesloot te verwijderen kan er echter een waterstroming naar de lagere infiltratiesloot worden gecreëerd. Dit lukt, maar de pompslang pompt dan precies de verkeerde kant op.
- 10:19 u: de pomp wordt uitgezet en verplaatst naar de andere kant van de bovenste infiltratiesloot.
- 10:27 u: pompen gaan weer aan. Er begint al snel water naar de onderste infiltratiesloot te lopen, maar deze raakt maar zeer langzaam gevuld met water.
- 10:34 u: er lekt alweer water uit het lagere gedeelte. Voor een deel is dit nog water met luchtbelletjes.
- 10:38 u: de onderste sloot loopt maar langzaam vol. Het is goed te volgen dat als de sloot over een grotere breedte gevuld raakt er ook over grotere breedte in het talud lekken in de toplaag ontstaan.
- 10:42 u: In de raai zijn twee plaatsen te onderscheiden waar zich een hogere druk ontwikkelt: hoog op het talud (waar wellicht een overgang in doorlatendheid zit) en rond de waterlijn in de getijzone. In de meetraai 2 zijn de drukken minder groot. Met name de hogere waarde van de druk onder invloed van een mogelijke overgang in doorlatendheid is een stuk lager dan in raai 1.
- 11:02 u: de onderste infiltratiesloot begint zich nu ook redelijk te vullen.
- 11:15 u: ongeveer bij de onderste waterspanningsmeter in raai 2 manifesteert zich een gat waar flink water uit spuit. Op dezelfde plaats zitten rond de stilwaterlijn een stuk of 5 behoorlijke lekken.

- 11:30 u: de waterdruk bij raai 1 hoog op het talud blijkt behoorlijk te zijn afgenomen. Het debiet dat wordt ingepompt wordt geschat op ongeveer 50 m³ per uur, beduidend meer dus dan de vooraf geschatte 15 à 20 m³/uur.
- 11:54 u: de grotere fontein en op het talud zijn geheel verdwenen.
- 12:06 u: de waterdruk in raai 1 hoog op het talud is verder afgenomen. Dit wordt in verband gebracht met de lagere getijwaterstand, waardoor er meer water over een groter oppervlak weg zou kunnen stromen. Als dat klopt moet gewacht worden op het volgende hoogwater om weer meer druk te kunnen opbouwen.
- 12:47 u: tussen de Doornikse blokken op de ondertafel in het oostelijke deel van het proefvak spoelen zand, steentjes en schelpen weg. Er ontstaan verschillende wellen en er komt veel water uit borrelen. Uit één grotere wel spuit zelfs een fonteintje water.
- 13:25 u: WL slaat enkele extra meetpunten voor het waterpassen bij meetraai 2. Uit de waterpassing blijkt dat de zetting circa 5 mm is gezakt ten opzichte van de eerste waterpassingen. Omdat de eerste waterpassingen omstreeks hoogwater plaatsvonden is de conclusie dat bij de eerste waterpassing het talud kennelijk 5 mm omhoog was gekomen. In het westelijke vak, waar tot aan de teen gepenetreerde basalt aanwezig is, zijn aan de teen, tussen de stortsteen, een aantal wellen ontstaan. Eén heeft een behoorlijk debiet. Een andere wel lijkt wat zand op te woelen.
- 14:30 u: Van Etten werpt de vraag op of het doek nog wel voldoende water doorlaat. Als het doek wordt opgelicht dan lijkt er nauwelijks water door het doek te sijpelen, en de steenslag hieronder staat droog. Toch wordt er nog steeds behoorlijk water ingepompt.
- 14:45 u: Van Etten begint het doek schoon te bezemen. Dit heeft effect: er ontstaan weer fonteintjes op het boventalud en het peil in de infiltratiesloot zakt: er wordt dus meer water geïnfiltrerd. De drukken bij de waterspanningsmeters lopen ook vrijwel direct weer op. Besloten wordt voorlopig door te gaan met het doek schoon te bezemen, en te bekijken tot hoever de drukken oplopen. Eventueel kan worden besloten het doek geheel te verwijderen. Na enige tijd blijkt dat de steenslag nu goed is gevuld met water; er gaat dus beduidend meer water door het doek. Aan de teen is inmiddels duidelijk dat de wellen behoorlijk water geven: er ontstaat zelfs een erosiegeul door water dat afstroomt richting zee. De vraag kan gesteld worden of er soms doorgaande pipes ontstaan tussen het doorlatende filter en de teen.
- 15:10 u: de pomp wordt stilgezet en het inlaatpunt verplaatst.
- 15:15 u: de pomp wordt weer aangezet en de sloten stromen weer snel vol.
- 15:25 u: de waterdruk hoog op het talud bij meetraai 1 is toegenomen. Met bezemen ontstaan nu ook aan de oostzijde weer fonteintjes.
- 16:10 u: ongeveer om 16:00 uur is het laagwater. Er wordt nu ook getracht met een klokpomp het doek schoon te spuiten.
- 16:30 u: pompdebiet wordt iets opgevoerd, want het peil in de onderste sloot was circa 5 cm gezakt.
- 16:53 u: de waterdruk blijft constant.
- 17:00 u: WL meet met waterpassen op enkele punten beweging van 3, 4, 5 en 6 mm. De meeste beweging wordt gevonden op één lijn op een hoogte waar vooraf werd ingeschat dat hier de overgang in doorlatendheden zou kunnen zitten. Dat zou consistent zijn met het feit dat volgens de berekeningen hier de grootste drukopbouw plaatsvindt.
- 17:30 u: de waterdruk blijft vanaf dit moment constant of neemt heel langzaam iets af. Het getij lijkt hier weinig invloed op te hebben. Het feit dat er door een hoge waterstand tegendruk wordt geleverd waardoor lek door de toplaag af zou nemen heeft hier kennelijk weinig invloed op. Er wordt met vereende krachten doorgebezemd en doorgemeten tot het hoogwater is geweest en

de drukken weer af lijken te nemen. Overigens zijn dit de drukken in de getijzone: de drukken hoog op het talud blijven door de infiltratie onveranderd op dezelfde waarde. De meting wordt doorgezet tot na hoogwater. Er is niet te verwachten dat bij afgaand tij de drukken nog oplopen als dit bij opkomend tij ook niet het geval is. Doorgaan met infiltratie tijdens de nacht is daarom zinloos. Om 22:45 uur wordt de proef voor deze dag beëindigd.

Woensdag 26 september 2001

08:00 u: 's ochtends wordt het doek verwijderd.

08:30 u: er wordt begonnen met water direct via de steenslag te infiltreren in de hoop dat door het doek te verwijderen nog iets meer water kan infiltreren, waardoor wellicht de druk nog iets hoger op kan lopen. De drukopbouw wordt echter niet groter dan voorheen.

10:30 u: er wordt overlegd. Het lijkt niet zinvol om op deze manier door te gaan. Er is op het boventalud door de infiltratie kennelijk een evenwicht ontstaan, en alleen in de getijzone worden variaties gemeten onder invloed van de buitenwaterstand. Besloten wordt om het pompen te stoppen, en de grotere gaten in het talud zo goed mogelijk te dichten. Verondersteld wordt dat hierdoor wellicht een iets hogere waterdruk kan ontstaan, waardoor nieuwe lekken en fonteintjes er voor moeten zorgen dat er opnieuw evenwicht gaat ontstaan. Als dit lukt lijkt in ieder geval één mechanisme dat optreedt bevestigd.

Het talud wordt geïnspecteerd en de grotere gaten in de top laag worden gemarkeerd.

11.00 u: pompen gaan dicht. De infiltratiesloten lopen snel leeg (ongeveer 5 minuten) maar na 10 minuten komt er nog steeds op verschillende plaatsen water uit het talud.

Het overgoten deel van het gietasfalt is op sommige plaatsen ongeveer 5 cm opgebouwd, hieronder zit lucht. Rond één blok zitten twee gaten. Hier wordt de gietasfalt vanaf geslagen en het blok wordt uit het talud gelicht om de gaten te kunnen inspecteren. Het steenslagfilter lijkt op het oog wat zanderig, maar een emmer water stroomt binnen 1 à 2 seconden weg. De hoogte is ongeveer NAP + 2 meter.

Het formaat van de gaten varieert van een millimeter tot een vinger dik.

12:53 u: de pompen gaan weer aan. Er ontstaan vrijwel direct lekken. De bestaande fonteintjes zijn voor een deel goed gedicht, voor een deel ontstaan hier toch weer lekken. Rond de waterlijn ontstaan ook al snel 2 fonteintjes.

13:00 u: de pomp slaat af.

13:10 u: de pomp slaat weer aan, maar haalt niet meer de volle capaciteit. Boven aan het talud ontstaan 2 nieuwe fonteintjes. Er ontstaan na enige tijd nieuwe fonteintjes (op dit moment ongeveer 7 geteld) waarvan sommige beginnen als haarscheurtjes en een miniem fonteintje geven. De waterdruk loopt, voor zover is afgelezen, niet hoger op dan voorheen.

14:10 u: de waterdruk in raai 1 loopt nog op. Er ontstaan nog steeds nieuwe fonteintjes, en de bestaande lijken iets te groeien. Er wordt besloten door te gaan met infiltreren om deze ontwikkeling te volgen.

14:35 u: de waterstand is nu zo laag gezakt dat het voorland zichtbaar wordt. In de teen bij het westelijke gedeelte van het proefvak zitten meerdere wellen, 1 grote en tenminste 3 kleinere. Laag op het talud zitten ook twee behoorlijke fonteinen in het talud.

Hoewel het merendeel van de spleten tussen de Doornikse blokken nog steeds gevuld zijn met zand, slib en schelpen zijn er forse gaten in de spleten vrijgespoeld waar veel water uitwelt. Er is één gat waar bijna een vuist inpast en waar enorm veel water uitspoelt.

In het talud, waar al eerder twee nieuwe fonteintjes werden geconstateerd, is weer een nieuw

fonteintje bijgekomen. Ook wordt vastgesteld dat er veel meer lek op het talud plaatsvindt dan voordat de grotere gaten zijn gedicht.

- 15:13 u: er is geen ontwikkeling meer waar te nemen. Volgens de drukopnemers vindt in de getijzone nog een toename van de druk plaats. Besloten wordt dit nog even aan te zien.
- 15:32 u: besloten te stoppen met infiltreren. Het leeglopen van de filterlaag wordt nog door de waterspanningsmeters geregistreerd. Het filter boven bij de infiltratiesloot zit vol met slib, maar is nog wel doorlatend.
- 15:50 u: de wellen aan de teen zijn gestopt.
- 16:03 u: de waterdruk in de filterlaag is vrijwel verdwenen.

Donderdag 27 september 2001

Door WL|Delft Hydraulics wordt de beweging van de toplaag gemeten ten gevolge van het getij. De diverse opnemers worden verwijderd.

3.2 Verwerking meetgegevens

De verwerking van de drukmetingen is analoog aan die bij de getijmeting. Volledigheidshalve wordt de procedure hier vermeld.

3.2.1 Plaats opnemers

Voor de meetraai G1 en G2 zijn in respectievelijk tabel 3.1 en 3.2 de plaatshoogte van de opnemers gegeven. Dit zijn de hoogten zoals door GeoDelft ten tijde van de meting geregistreerd. WSM 1 in raai G1 bevindt zich op het talud, de overige opnemers in de filterlaag onder de toplaag. WSM8 in raai G2 ligt op de bodem van de hoge infiltratiesloot.

Opnemer	hoogte opnemer [m + NAP]
WSM 1 (getij)	0.27
WSM 2	1.44
WSM 3	1.73
WSM 4	1.99
WSM 5	2.34
WSM 6	2.54
WSM 7	2.97
WSM 8	3.18

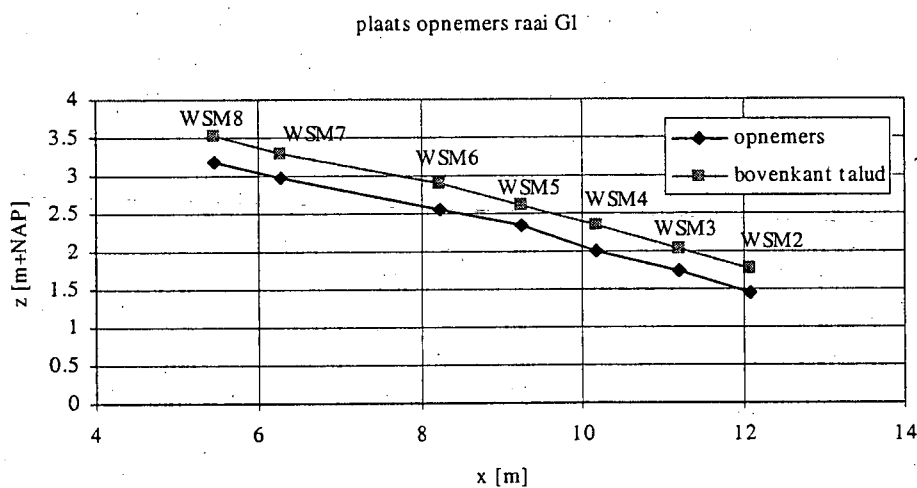
Tabel 3.1 Plaatshoogte opnemers raai G1 (t.o.v..NAP)

Opnemer	hoogte opnemer [m + NAP]
WSM 1	1.02
WSM 2	1.37
WSM 3	1.67
WSM 4	1.94
WSM 5	2.15
WSM 6	2.80
WSM 7	2.98
WSM 8 (sloot)	≈4.6

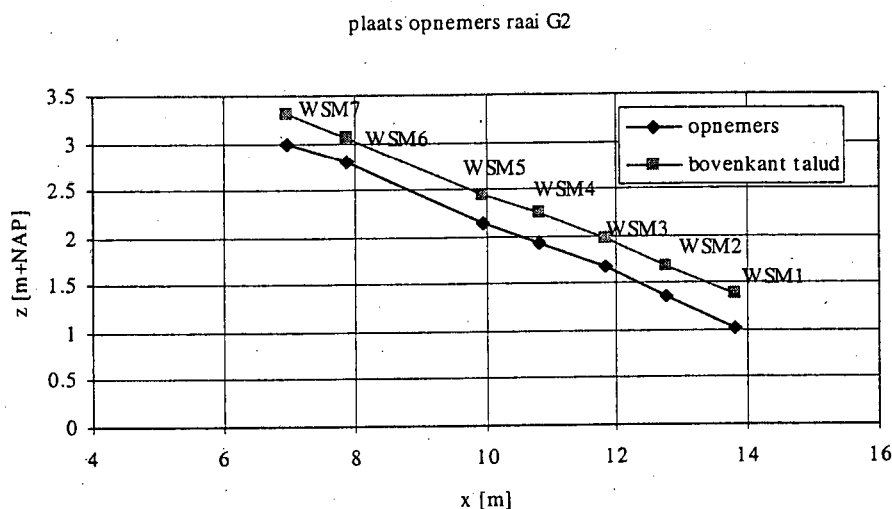
N.B. de hoogte van de opnemer in de infiltratiesloot is niet gemeten, maar geschat

Tabel 3.2 Plaathoogte opnemers raai G2 (t.o.v. NAP)

De figuren 3.1 en 3.2 tonen de plaats van de opnemers voor de twee meetraaien.



Figuur 3.1 Plaats opnemers onder toplaag, raai G1



Figuur 3.2 Plaats opnemers onder toplaag, raai G2

3.2.2 Bewerking meetwaarden

Het resultaat van de meting is een meetbestand dat bestaat uit 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 factor 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.

Waterspanningsmeter	nulpunt [mV]	reciproke gevoeligheid [-]
WSM 1 (getij)	1.0165	9.95402
WSM 2	-0.82517	9.98891
WSM 3	0.93427	9.90851
WSM 4	0.40147	9.93875
WSM 5	-0.40755	9.98169
WSM 6	0.40211	10.02187
WSM 7	1.13541	9.861
WSM 8	-0.0607	7.02112

Tabel 3.3 Ijkfactoren van de waterspanningsmeters raai G1

Waterspanningsmeter	nulpunt [mV]	reciproke gevoeligheid [-]
WSM 1	1.55065	9.97484
WSM 2	0.03482	10.01607
WSM 3	0.99899	10.0034
WSM 4	0.04759	9.97375
WSM 5	-0.31099	9.92334
WSM 6	1.14316	9.92307
WSM 7	-0.96995	9.97954
WSM 8 (sloot)	0.79536	6.98903

Tabel 3.4 IJfactoren van de waterspanningsmeters raai G2

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 en 3.2. De drukhoogte is de waterdruk in meters waterkolom.

De resultaten van de meting zijn nu toegankelijk voor interpretatie.

3.2.3 Grafische weergave resultaat drukmeting

Bijlage 3.2 en 3.3 vertonen het verloop van het getij en de waterstand in de infiltratiesloot op de beide meetdagen. De registratie van de waterstand in de infiltratiesloot is met name bedoeld om vast te leggen wanneer er wel en geen water werd geïnfilteerd.

Bijlage 3.4 t/m 3.7 tonen het verloop van de drukhoogte als functie van de tijd. Bijlage 3.8 t/m 3.11 tonen het verloop van de stijghoogte als functie van de tijd.

4 Eerste interpretatie meetresultaat

4.1 Interpretatie op basis veldobservaties

Korte tijd na begin van de infiltratie (enige minuten) blijkt er op diverse plaatsen water uit het talud te stromen. Meestal ging dit in de vorm van een 'fonteinje' met een hoogte van 0,1 à 0,2 m. Dit verschijnsel was het meest duidelijk aanwezig op de hoogte waar een overgang tussen een goed doorlatend en een minder goed doorlatend filter wordt vermoed. Het aantal 'fonteinjes' leek tijdens de meting enigszins toe te nemen. Een accurate observatie op de lager gelegen delen van de bekleding werd beperkt omdat daar water over de toplaag liep, afkomstig van overstort uit de infiltratiesloot en vrijkomend uit de hoger gelegen delen van het talud. Opgemerkt wordt dat de grootste gaten niet aanwezig waren ter plaatse van de meetraaien.

Het ontstaan van de 'fonteinjes' en lek is ook geconstateerd vrij dicht bij de infiltratiesloten. De lek en de fonteinjes ontstaan vanaf ongeveer 75 cm afstand vanaf de infiltratiesloot. Dit betekent dat water uit de infiltratiesloot via de bekleding vrijwel horizontaal afstroomt.

Daarnaast stroomt er ook water naar de gedeelten direct naast het proefvak. Globaal is de indruk dat het water onder een spreidingshoek van 1:1 wegstroomt.

De plaatsen waar het water door de toplaag naar buiten kwam waren vooraf niet herkend als plaatsen waar de toplaag lek was. De bekleding vertoonde daar voorafgaand aan de proef geen vochtvlekken of een groene aanslag. Voorafgaand aan de proef is het meetvak nogmaals geïnspecteerd. Hierbij werden geen plaatsen gevonden waar op het oog de penetratie ontbrak.

Bij afgaan tijd werd, bij het droogvallen van de teen, geconstateerd dat op een aantal punten hier water naar buiten kwam. In eerste instantie was dit water bruin gekleurd. In de latere fase van de meting was dit water redelijk helder. Dit zou kunnen duiden op piping.

Na begin van de infiltratie lopen de drukken onder de bekleding snel op, om vervolgens min of meer constant te blijven. Paragraaf 4.2 gaat verder in op de gemeten drukken.

Op woensdag is het geotextiel verwijderd en is de infiltratie hervat. Hiermee wordt de instroomweerstand van de filterlaag verminderd. De waterdrukken onder de toplaag werden hierdoor niet of nauwelijks hoger. Dit was overeenkomstig de verwachting, aangezien de dag daarvoor al was geconstateerd dat, na schoonmaken en schoonhouden van het geotextiel, het water in de stortsteen drempel op gelijke hoogte stond met het water boven het geotextiel.

De grootste gaten in de toplaag zijn op de tweede dag gedicht met snelhardend cement (CEBAR). Vervolgens is de proef herhaald. De gedachte hierachter was dat door het dichten van de gaten er wellicht een hogere overdruk zou ontstaan. Het gevolg van afdichten zou dan moeten zijn dat er hogere waterdrukken worden gemeten en/of er nieuwe openingen in het gietasfalt ontstaan. Tot een meetbare grotere wateroverdruk leidde dit niet. Wel ontstonden er nieuwe openingen in de toplaag waardoor water naar buiten stroomde. Dit vormt een aanwijzing dat scheurvorming tijdens overdruk zal optreden.

Het infiltratiedebiet is niet gemeten. Mondelinge opgave van de machinist van de pomp was dat het debiet ongeveer 50 à 100 m³/hr bedroeg. Het infiltratiedebiet was daarmee een factor 5 groter dan het voorspelde debiet. De verschillende waterstromen zijn niet gemeten zodat geen waterbalans kan worden opgesteld. Mogelijke oorzaken voor dit verschil zijn:

- zijdelingse afstroming
- lek via de toplaag
- grotere doorlatendheid filter bij oplichten toplaag (ontstaan spleet tussen toplaag en filterlaag)
- piping in de filterlaag
- hogere doorlatendheid ondergrond boventafel dan geschat.

Bij het droogvallen van de infiltratiesloot bleek dat er op de bodem van het geotextiel zand aanwezig was. De totale hoeveelheid was beperkt, naar schatting enige liters. Dit duidt op de aanwezigheid van zand in het infiltratiewater. In de bezinkkolommen is slib geconstateerd. Dit houdt in dat zonder voorzorgen de filterlaag kan gaan verstopen. Tijdens de proef is ook geconstateerd dat het geotextiel verstopt raakte, maar dit kon ter plaatse worden verholpen door het geotextiel schoon te maken. De gekozen methode van infiltratie is bruikbaar.

Het gebruik van een geotextiel bij eventuele volgende proeven en dit continu schoon houden lijkt zinvol, omdat na afloop van de tweede dag van de proeven toch zand in het filter werd geconstateerd. Dit houdt het risico in dat het filter 'dichtslaat', waardoor te weinig water kan worden geïnfiltereerd om voldoende druk op te bouwen.

4.2 Observaties uit de metingen

De metingen geven aan dat het filter snel met water verzadigd raakt. Enige minuten na begin van de infiltratie nemen bij de meeste opnemers de drukken al snel toe, om vervolgens nauwelijks meer te veranderen. Het is niet helemaal zeker of op dat moment al een waterdruk wordt gemeten, of dat er in eerste instantie sprake is van een verhoogde luchtdruk (het geconstateerde ontsnappen van lucht onder hoge druk op de eerste meetdag duidt hierop), die vervolgens wordt vervangen door een waterdruk.

Leeglopen van de filterlaag, als de infiltratie wordt gestopt, gaat ook snel. Een kortstondige onderbreking van de infiltratie is vrijwel direct terug te zien in de drukregistraties.

Bij de bovenste opnemers wordt de druk alleen bepaald door de infiltratie. Bij de onderste opnemers is ook de invloed van het getij nog merkbaar. De grens tussen deze twee gebieden ligt voor raai G1 globaal bij WSM3 (NAP + 2 m). Bij raai G2 is de opnemer die nog op het getij reageert op de eerste meetdag WSM 6 (NAP + 3 m) en op de tweede meetdag WSM 4 (NAP + 2,3 m). Blijkbaar is er tijdens de proef een verandering opgetreden in de opbouw van de bekleding.

De drukhoogte waarbij de druk gelijk is aan het eigen gewicht van de toplaag hangt af van de dikte van de toplaag en de diepte van de opnemer onder de toplaag. De opnemers liggen ongeveer 0,3 à 0,35 m onder de bovenkant van de toplaag. Uitgaande van een dikte van de toplaag van 0,25 à 0,3 m liggen ze dus ongeveer 5 cm onder de onderkant van de toplaag. De vereiste opwaartse druk voor oplichten wordt daarmee $(0,25 \text{ à } 0,3) \cdot 28,3 + 0,05 \cdot 10 = 7,6 \text{ kPa}$ tot 9,0 kPa.

Bij raai G1 wordt op twee niveau's (WSM 7 en WSM 4) dit niveau bereikt. Bij raai G2 wordt dit niveau op één plaats bereikt (WSM 6). Een aanwijzing dat hier inderdaad sprake is van een soort 'drijven' van de top laag is dat een aantal hoger gelegen opnemers vrijwel dezelfde stijghoogte heeft. Bij de waterpassingen door WL/Delft Hydraulics is ook een kleine beweging geconstateerd.

Het dichtmaken van de gaten op woensdag heeft slechts een kleine invloed op de waterdrukken.

Bij raai G1 lopen op woensdag de drukken in de bovenste meetpunten na het dichten van enige gaten iets hoger op dan ze waren voordat de gaten werden gedicht. In deze opnemers is ook een geleidelijke afname van de druk tijdens de meting te constateren. Dit kan een gevolg zijn van zowel verstopping van het bovenste deel van de filterlaag als het ontstaan van gaten in de top laag. Bij de lager gelegen opnemers neemt de druk eerst nog langzaam toe om vervolgens constant te worden.

Bij raai G1 bereikt WSM6 op de eerste meetdag een hogere druk dan op de tweede meetdag, voor WSM 5 en WSM4 geldt het omgekeerde. Uiteindelijk bereiken ze dezelfde stijghoogte. Dit lijkt erop dat ze tijdens de proef min of meer in open verbinding met elkaar komen te staan.

Ook voor WSM3 geldt dat de druk op de tweede meetdag lager is dan op de eerste meetdag.

WSM2 vertoont op de eerste meetdag rond 19 uur een kleine sprong (toename stijghoogte ongeveer 0,1 m). Op de tweede meetdag wordt een gelijksoortige sprong geconstateerd rond 10 hr. De oorzaak hiervan is niet bekend.

De metingen zijn nog niet geanalyseerd en worden zeker nog niet ten volle begrepen. Zo zou het opstellen van een 'waterbalans' duidelijk moeten maken waarom er sprake is van en groot verschil in voorspeld en werkelijk infiltratiedebiet.

Globaal gezien zijn de belangrijkste waarnemingen tijdens de meting:

- er vindt in het bovenste deel van het talud snel waterdrukopbouw plaats. Hierdoor ontstaat er ook snel lek van water door de top laag en ontstaan er fonteintjes. Het water vindt feilloos die plaatsen waar de penetratie ruimte laat
- rond de waterlijn is een tweede plaats waar waterdruk zich kan opbouwen. Ook hier is zichtbaar dat water uittreedt
- waterdrukopbouw vindt plaats tot een niveau waarop enige verplaatsing van de top laag plaatsvindt. Dit kan mogelijk aanleiding zijn tot het ontstaan van nieuwe lekplaatsen of fonteintjes waarlangs extra water kan ontsnappen en verdere drukopbouw wordt voorkomen
- er lijkt sprake te zijn van een toenemende doorlatendheid van de filterlaag naarmate de proef voortduurt. Bij een zekere druk ontstaan er in het dichtgeslibde deel van de filterlaag mogelijk doorgaande 'pipes', getuige de geconstateerde wellen in het voorland en het schoonspoelen van delen van de spleten tussen de Doornikse steen. In normale pipinganalyses is sprake van een kritisch verhang van 1/10 à 1/18. Dit verhang wordt blijkens de drukregistraties zeer ruim overschreden. Heel globaal wordt dit vermoeden bevestigd door schattingen van het infiltratiedebiet: circa 50 m³/uur op de eerste dag en 80 à 100 m³/uur op de tweede dag
- het dichten van gaten in de top laag leidt niet tot een duidelijk hogere opbouw van waterdrukken. Wel ontstaan nieuwe plaatsen waar lekkage optreedt.

De indruk bestaat dat een perfect gepenetreerde (ingegoten) bekleding een grotere drukopbouw toestaat en een hogere kans op bezwijken heeft dan een slecht overgoten bekleding. Bij de laatste situatie leidt

iedere overdruk tot een lek, waardoor verdere drukopbouw wordt voorkomen. Om hier enig zicht op te krijgen zijn meer proeven noodzakelijk. Daarnaast wordt opgemerkt dat slecht overgoten bekledingen ook ten aanzien van golfbelasting moeten worden beschouwd.

5 Samenvatting

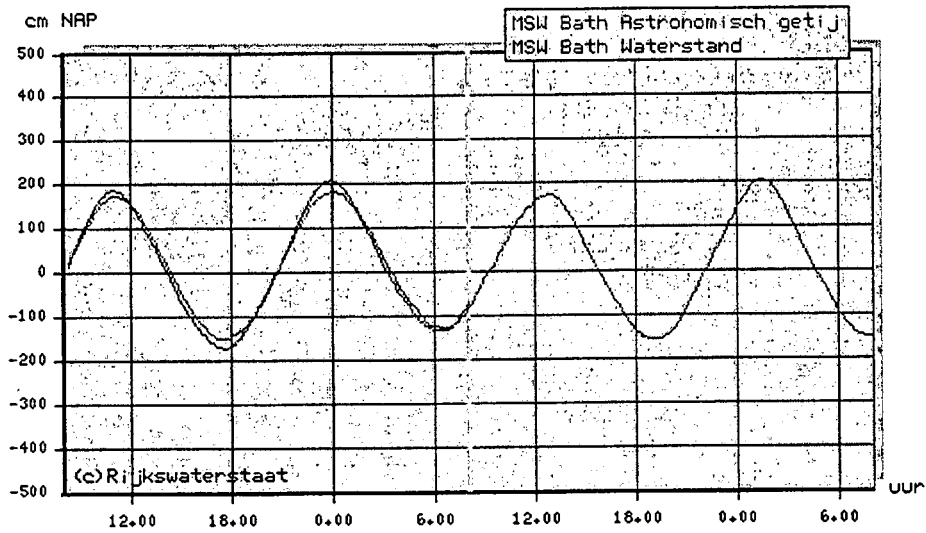
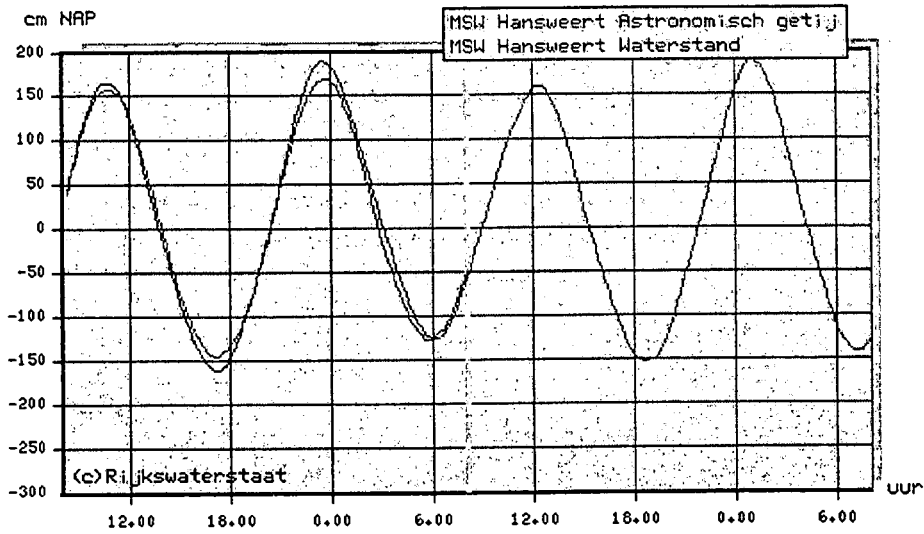
Met de gekozen meetopstelling was het mogelijk om een zodanige overdruk onder de bekleding op te bouwen dat deze het eigen gewicht van de toplaag licht heeft overschreden. Bezwijken van de bekleding, in de vorm van grote breuken of afschuivingen, is niet opgetreden. Wel kwam op veel plaatsen het water door de toplaag naar buiten. Verder zijn diverse wellen in het voorland en uitspoelen van de dichtgeslibde ondertafel van Doornikse steen geconstateerd. Mogelijk hebben deze mechanismen ervoor gezorgd dat de bekleding niet is bezweken.

De plaats van raai G1 lag niet in het midden van het meetvak maar enigszins aan de rand. Er wordt niet verwacht dat dit de meetresultaten ongunstig heeft beïnvloed.

Aandachtspunten voor een vervolgmeting zijn:

- zorg voor zo helder mogelijk infiltratiewater
- gebruik een geotextiel om verstopping van de filterlaag te voorkomen, controleer regelmatig of dit geotextiel zelf niet dichtslaat
- meet het infiltratiedebiet, bijvoorbeeld met een debietmeter op de pomp
- leg alle optredende verschijnselen zo goed mogelijk vast.

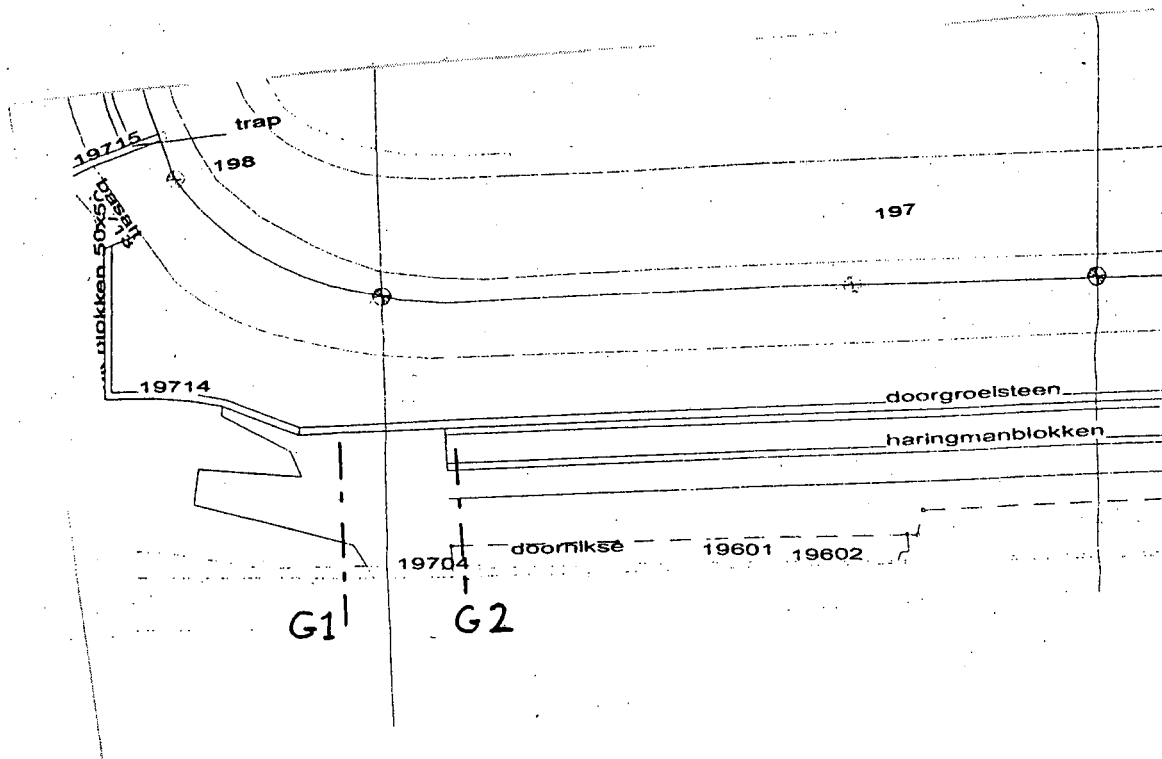
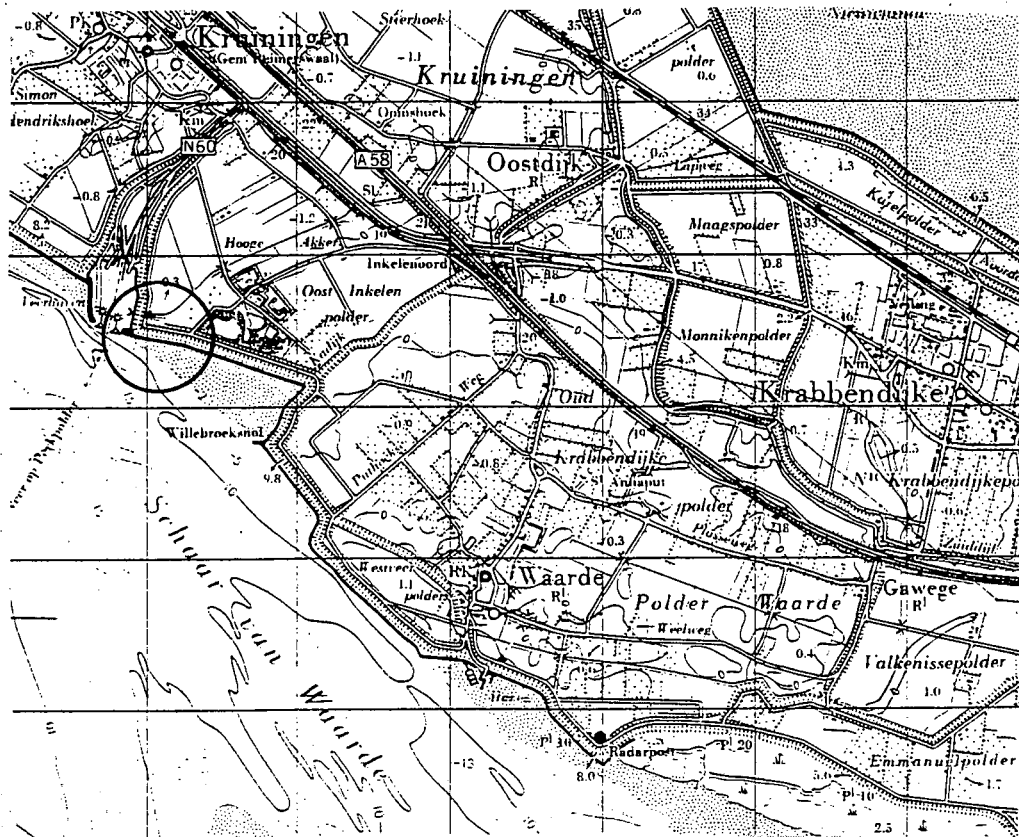
Bijlage A: Gemeten getijcurve Hansweert en Bath, 26 en 27 september 2001



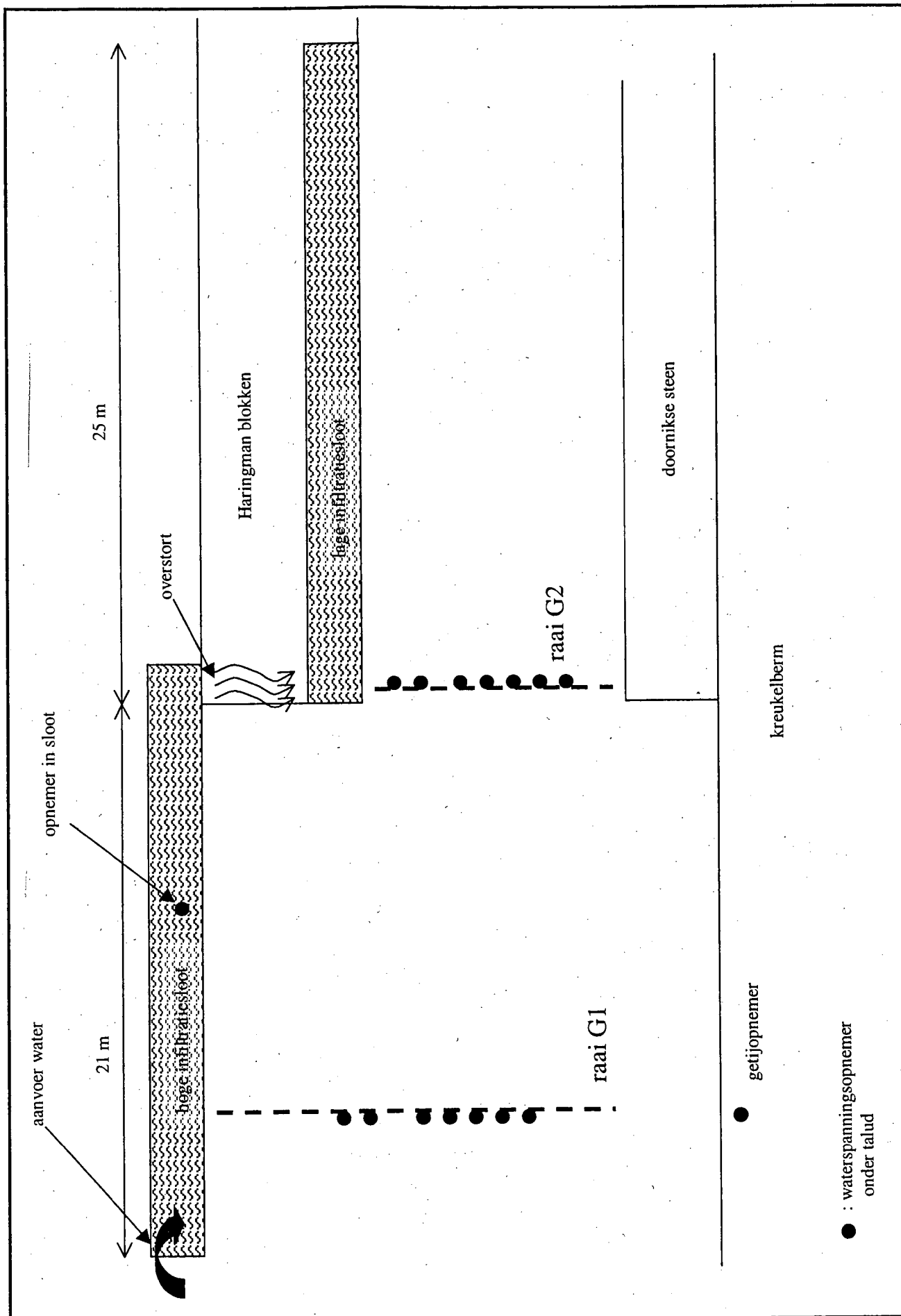
Bijlage B: Weerrapport Vlissingen

datum	24 september	25 september	26 september
temperatuur			
- gemiddeld	13,5	12,8	13,3
- minimum	16,4	16,0	15,7
- maximum	11,8	9,6	10,9
neerslag [mm]	<0,05	0,1	4,2
gemiddelde windsnelheid (m/s)	2,6	2,3	5,3
overheersende windrichting	71° ONO	204° ZZW	174° Z
luchtdruk [hPa]	1012	1017	1017

Bron: internetsite KNMI



	Stieltjesweg 2, NL 2628 CK DELFT P.O.Box 69, NL 2600 AB DELFT	Telephone 31 (0) 15 269 35 00 Telefax 31 (0) 15 261 08 21	Homepage: www.geodelft.nl	date 2001-10-22	drw. Mey	
	Infiltratieproef Kruijningen				CO-400970	ctr. --
	Plaats meetlocatie				Annex 2.1	form. A4



Stieltjesweg 2, NL 2628 CK DELFT
 P.O.Box 69, NL 2600 AB DELFT

Telephone 31 (0) 15 269 35 00
 Telefax 31 (0) 15 261 08 21

Homepage:
www.geodelft.nl

date	2001-10-22	drw.	Mey
	CO-400970	ctr.	--
	Annex2.2	form.	A4

Infiltratieproef Kruiningen

Overzicht meetlocatie



Stieltjesweg 2, NL 2628 CK DELFT
P.O.Box 69, NL 2600 AB DELFT

Telephone 31 (0) 15 269 35 00
Telefax 31 (0) 15 261 08 21

Homepage:
www.geodelft.nl

date	drw.
2001-10-23	Mey
CO-400970	ctr.
Annex.3.1a	form.
	A4

Infiltratieproef Kruiningen
Foto's infiltratieproef
Aanleg infiltratiesloot



Stieltjesweg 2, NL 2628 CK DELFT
P.O.Box 69, NL 2600 AB DELFT

Telephone 31 (0) 15 269 35 00
Telefax 31 (0) 15 261 08 21

Homepage:
www.geodelft.nl

date
2001-10-23

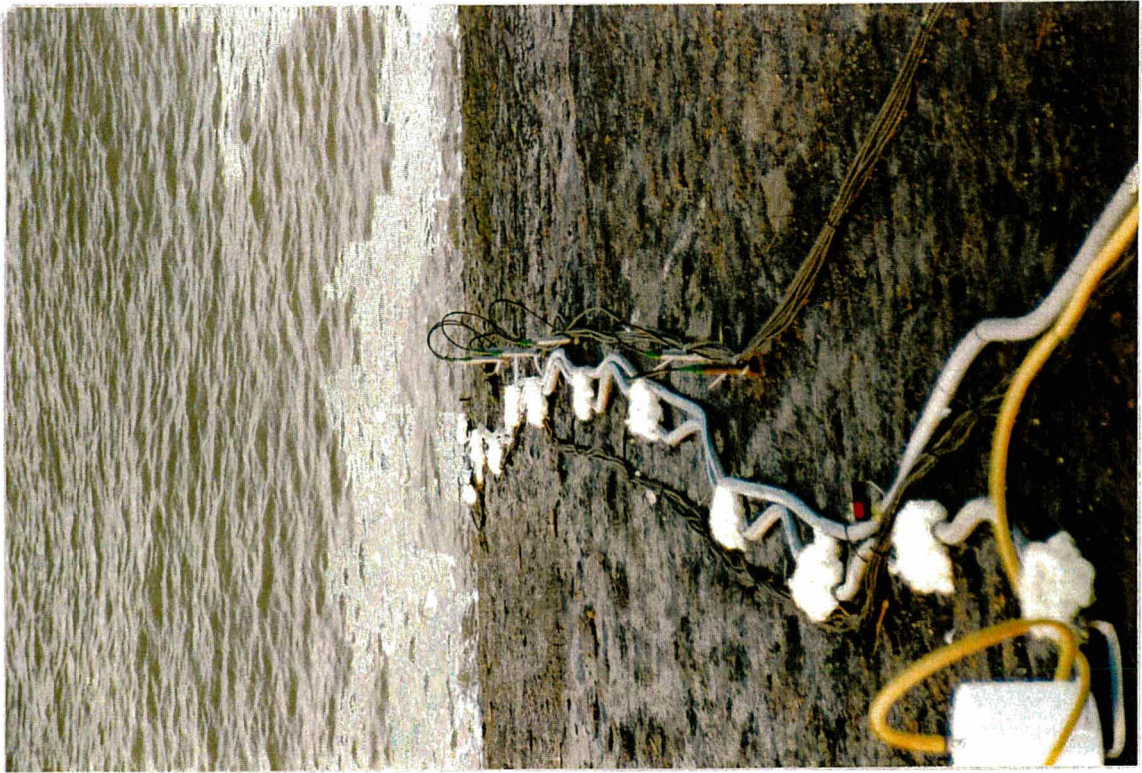
drw.
Mey

Infiltratieproef Kruiningen
Foto's infiltratieproef
Overzicht meetlocatie

ctr.
CO-400970

form.
Annex.3.1b

ctr.
--
form.
A4



Stieltjesweg 2, NL 2628 CK DELFT
P.O.Box 69, NL 2600 AB DELFT

Telephone 31 (0) 15 269 35 00
Telefax 31 (0) 15 261 08 21

Homepage:
www.geodelft.nl

date
2001-10-23

drw.
Mey

Infiltratieproef Kruijningen
Foto's infiltratieproef
Aanleg meetraai G1

CO-400970

ctr.
--

Annex.3.1c

form.
A4



Stieltjesweg 2, NL 2628 CK DELFT
P.O.Box 69, NL 2600 AB DELFT

Telephone 31 (0) 15 269 35 00
Telefax 31 (0) 15 261 08 21

Homepage:
www.geodelft.nl

date
2001-10-23

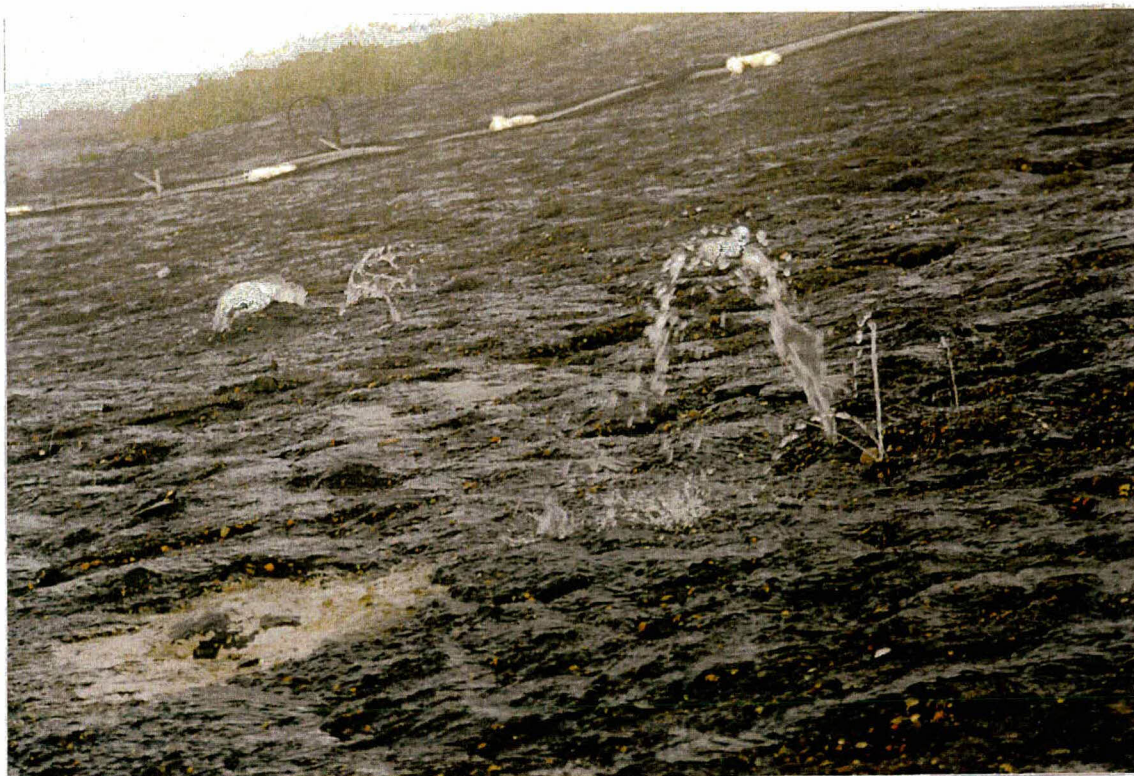
drw.
Mey

Infiltratieproef Kruiningen
Foto's infiltratieproef
Uitspoeling aan de teen

ctr.
CO-400970

form.
Annex.3.1d

ctr.
--
form.
A4



Stieltjesweg 2, NL 2628 CK DELFT
P.O.Box 69, NL 2600 AB DELFT

Telephone 31 (0) 15 269 35 00
Telefax 31 (0) 15 261 08 21

Homepage:
www.geodelft.nl

date
2001-10-23

drw.
Mey

Infiltratieproef Kruiningen
Foto's infiltratieproef
Lek door toplaag

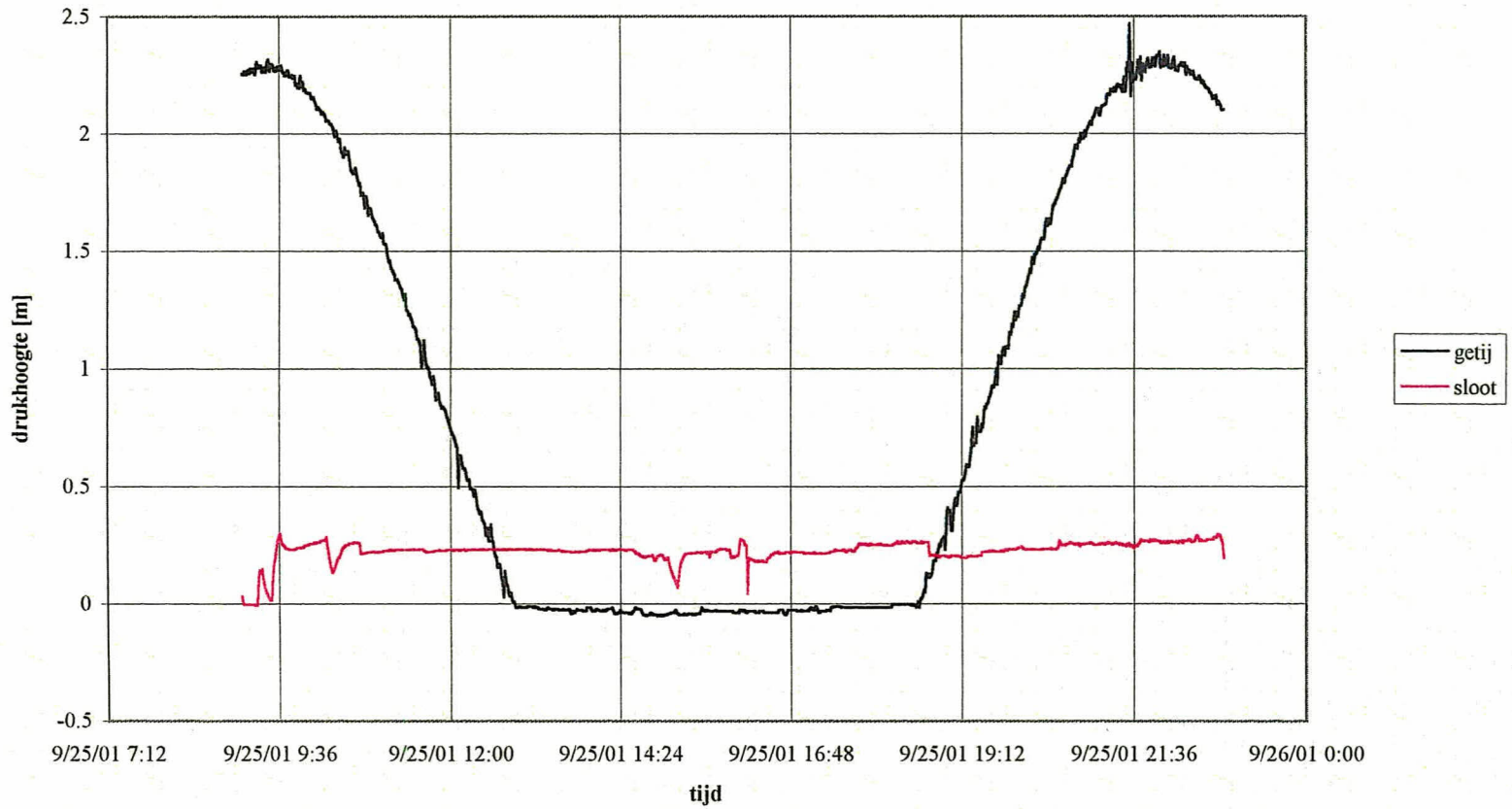
CO-400970

ctr.
--

Annex.3.1e

form.
A4

Infiltratieproef Kruiningen
verloop getij en waterstand in infiltratiesloot meetdag 1



Postbus 69
2600 AB DELFT

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

INFILTRATIEPROEF KRUININGEN

Verloop getij en waterstand in infiltratiesloot, dag 1

Datum
2002-01-22

CO - 400970

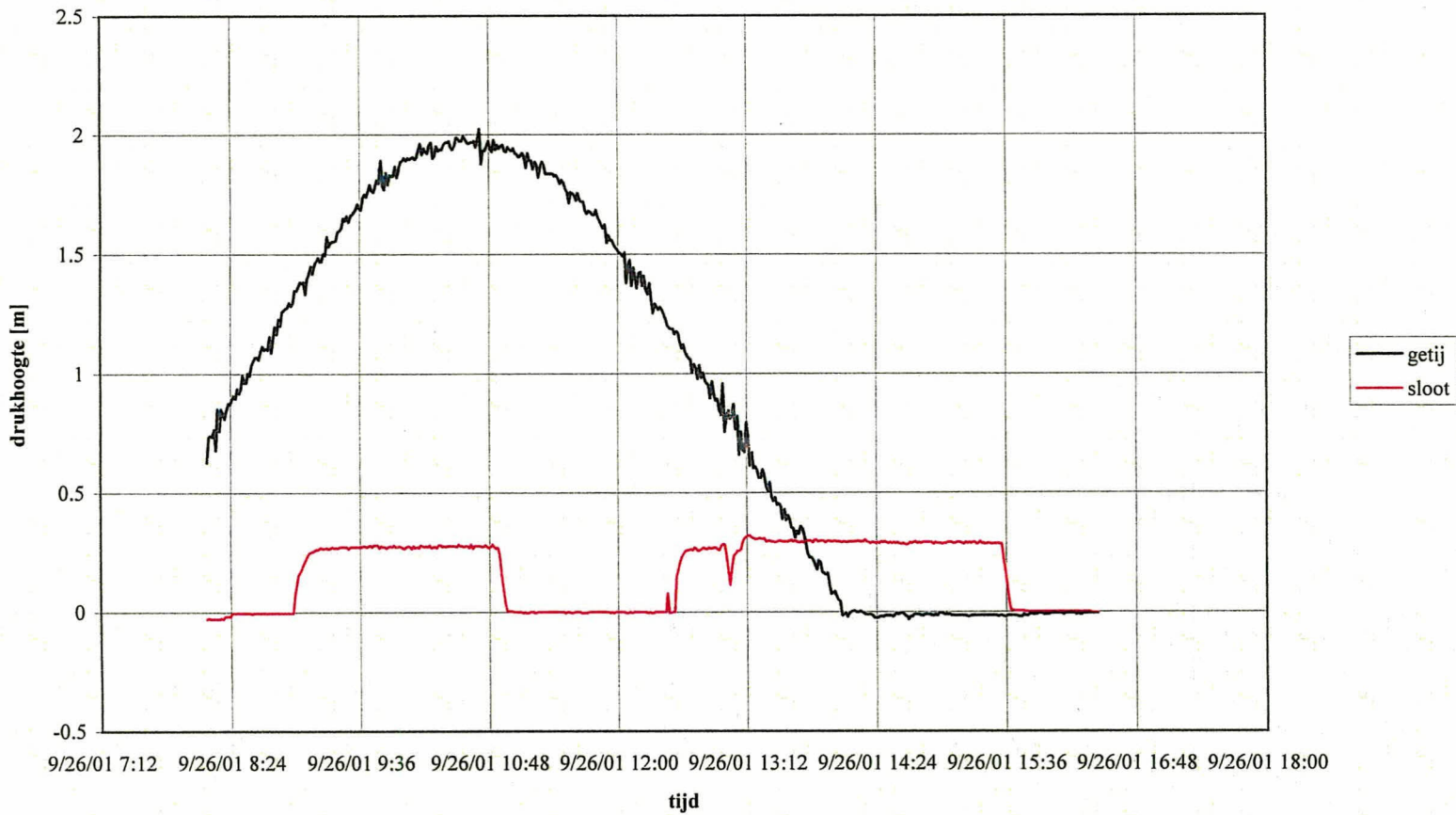
BIJL. 3.2

get.
Meij

gez.

form.
A4

Infiltratieproef Kruiningen
verloop getij en waterstand in infiltratiesloot meetdag 2



Postbus 69
2600 AB DELFT

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

INFILTRATIEPROEF KRUININGEN

Datum
2002-01-22

CO - 400970

get.
Meij

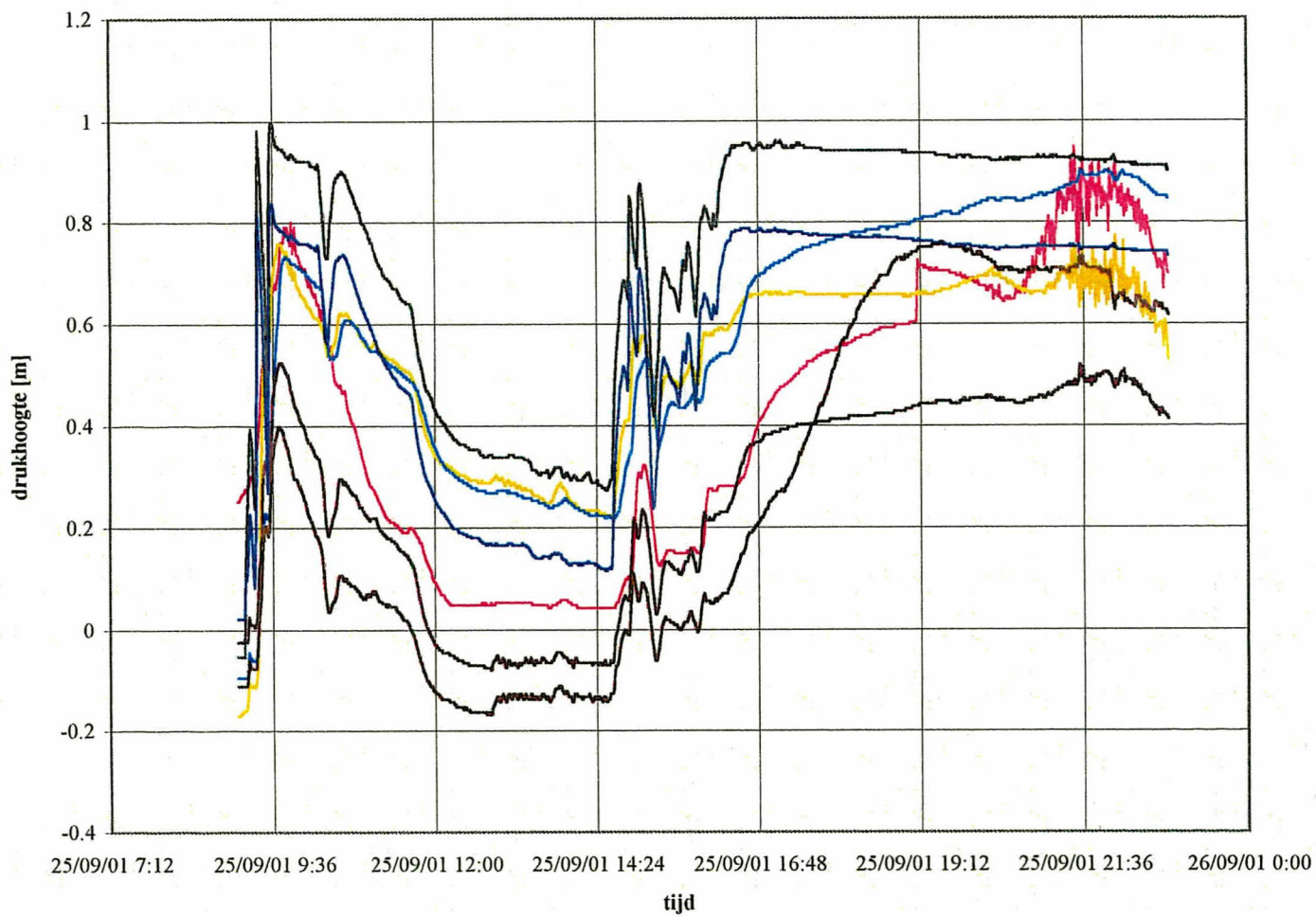
gez.

Verloop getij en waterstand in infiltratiesloot, dag 2

BIJL. 3.3

form.
A4

infiltratieproef Kruijningen, raai G1



Postbus 69,
2600 AB DELFT

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

Datum
2001-10-22

get.
Meij

INFILTRATIEPROEF KRUIJNINGEN, RAAI G1

CO - 400970

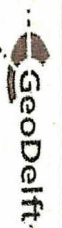
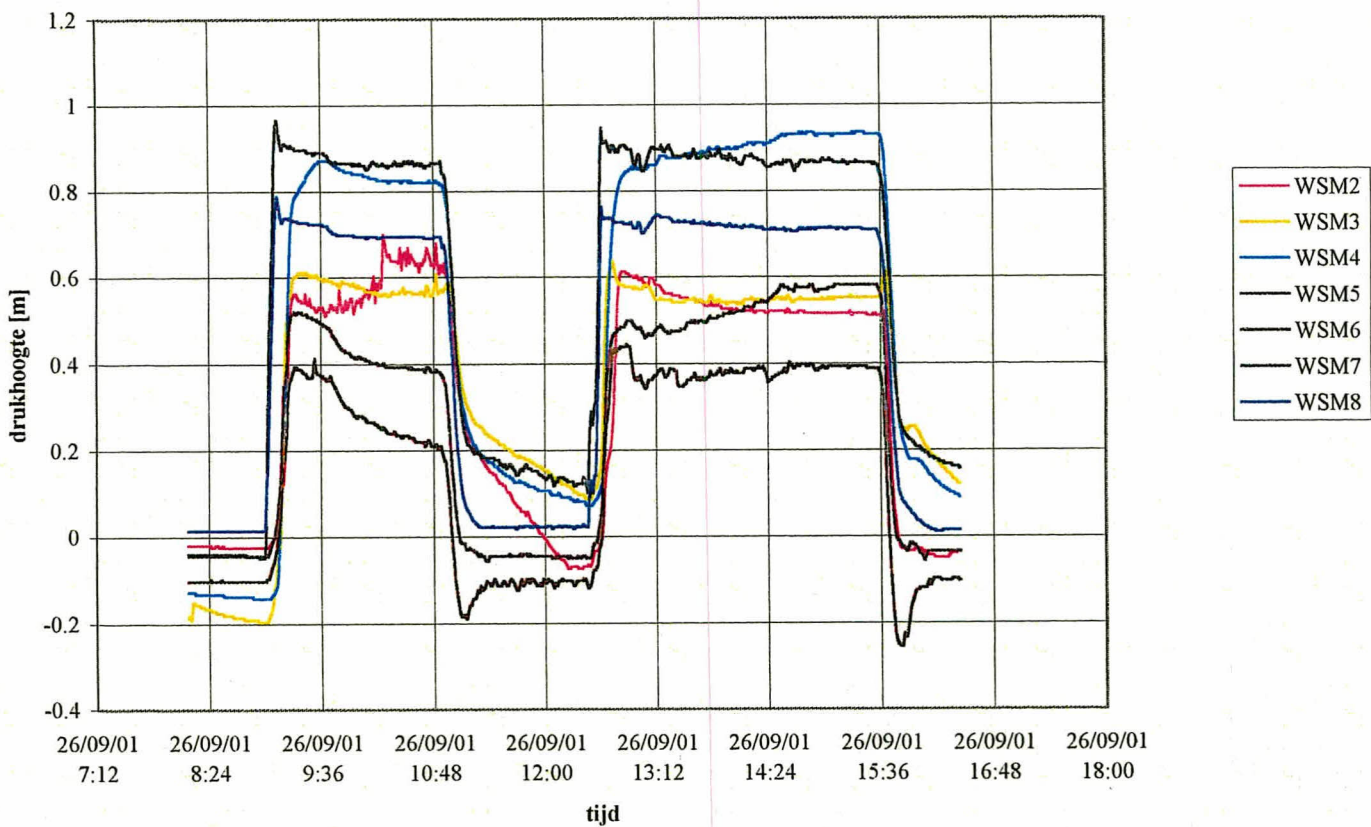
gez.

Verloop drukhoogte, dag 1

BiJL. 3.4

form.
A4

infiltratieproef Kruiningen, raai G1



Postbus 69,
2600 AB DELFT

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

INFILTRATIEPROEF KRUININGEN, RAAI G1

Datum
2001-10-22

get.
Meij

CO - 400970

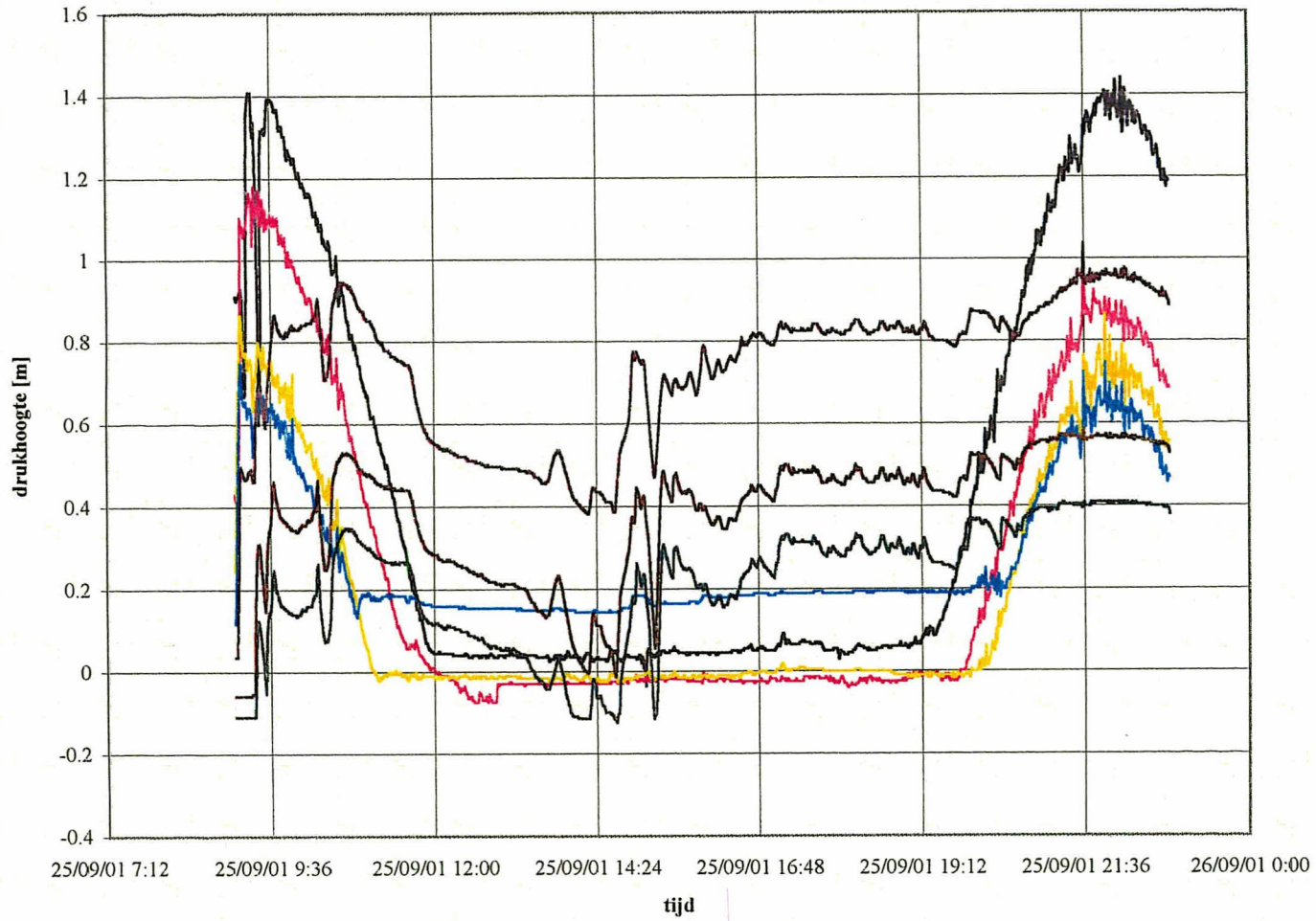
gez.

Verloop drukhoogte, dag 2

BIJL. 3.5

form.
A4

infiltratieproef Kruiningen, raai G2



Postbus 69,
2600 AB DELFT

Telefoon (015) 289 35 00
Telefax (015) 261 08 21

INFILTRATIEPROEF KRUININGEN, RAAI G2

Datum
2001-10-22

get.
Meij

CO - 400970

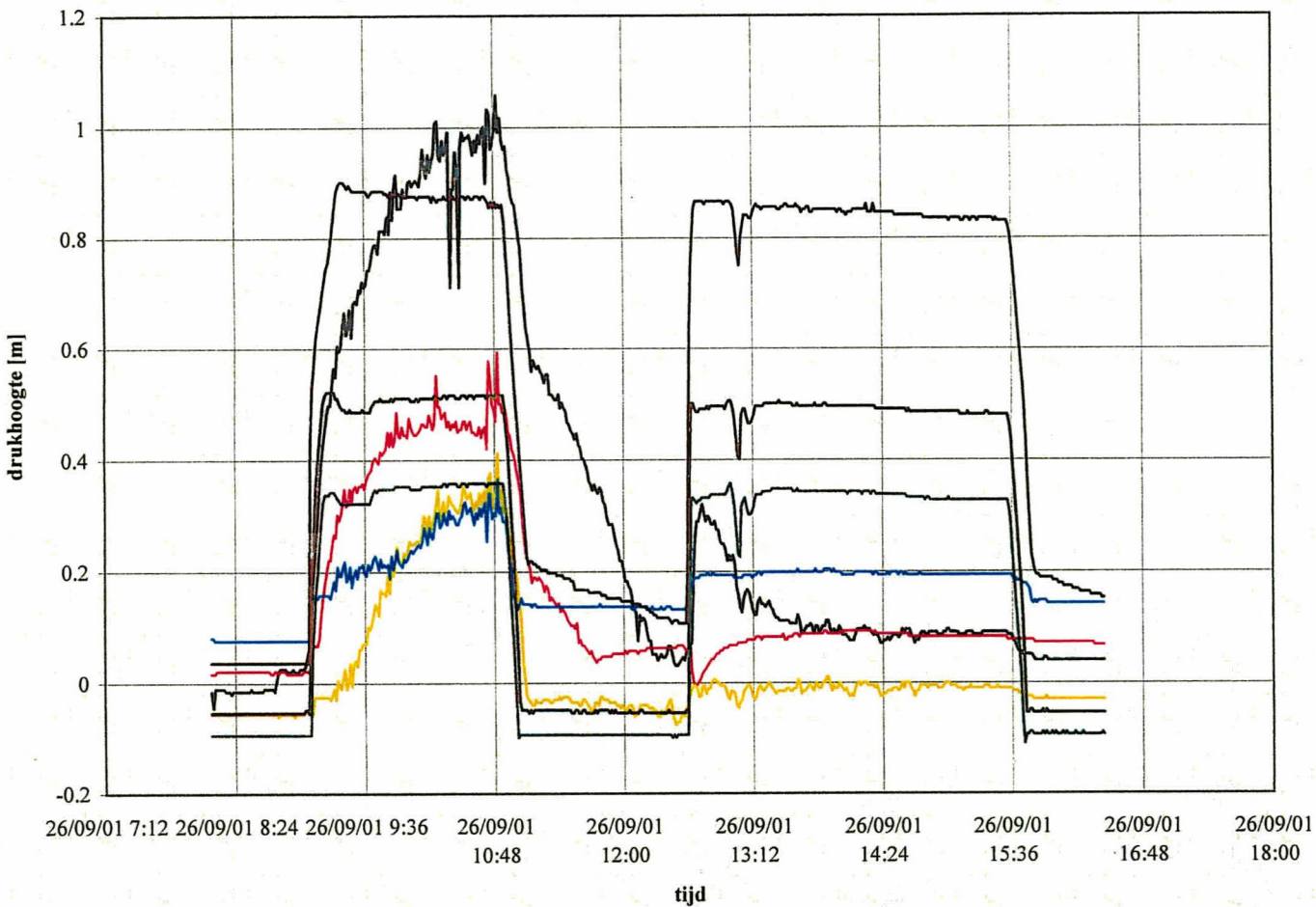
gez.

Verloop drukhoogte, dag 1

BIJL. 3.6

form.
A4

infiltratieproef Kruiningen, raai G2



- WSM1
- WSM2
- WSM3
- WSM4
- WSM5
- WSM6
- WSM7



Postbus 69,
2600 AB DELFT

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

INFILTRATIEPROEF KRUININGEN, RAAI G2

Datum
2001-10-22

get.
Meij

CO - 400970

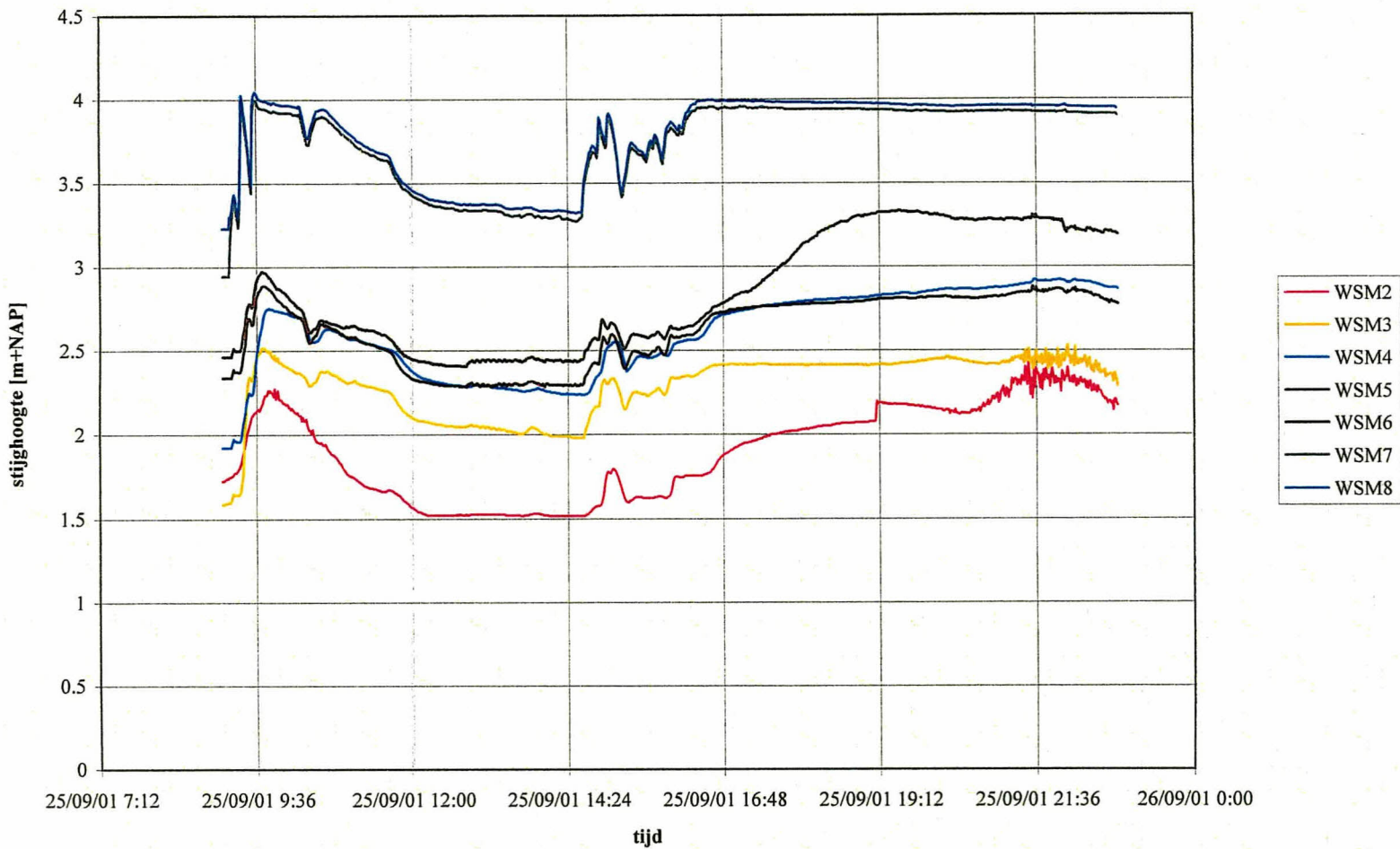
gez.

Verloop drukhoogte, dag 2

BIJL. 3.7

form.
A4

infiltratieproef Kruijningen, raai G1



Postbus 69
2600 AB DELFT

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

INFILTRATIEPROEF KRUIJNINGEN, RAAI G1

Datum
2001-10-22

get.
Meij

CO - 400970

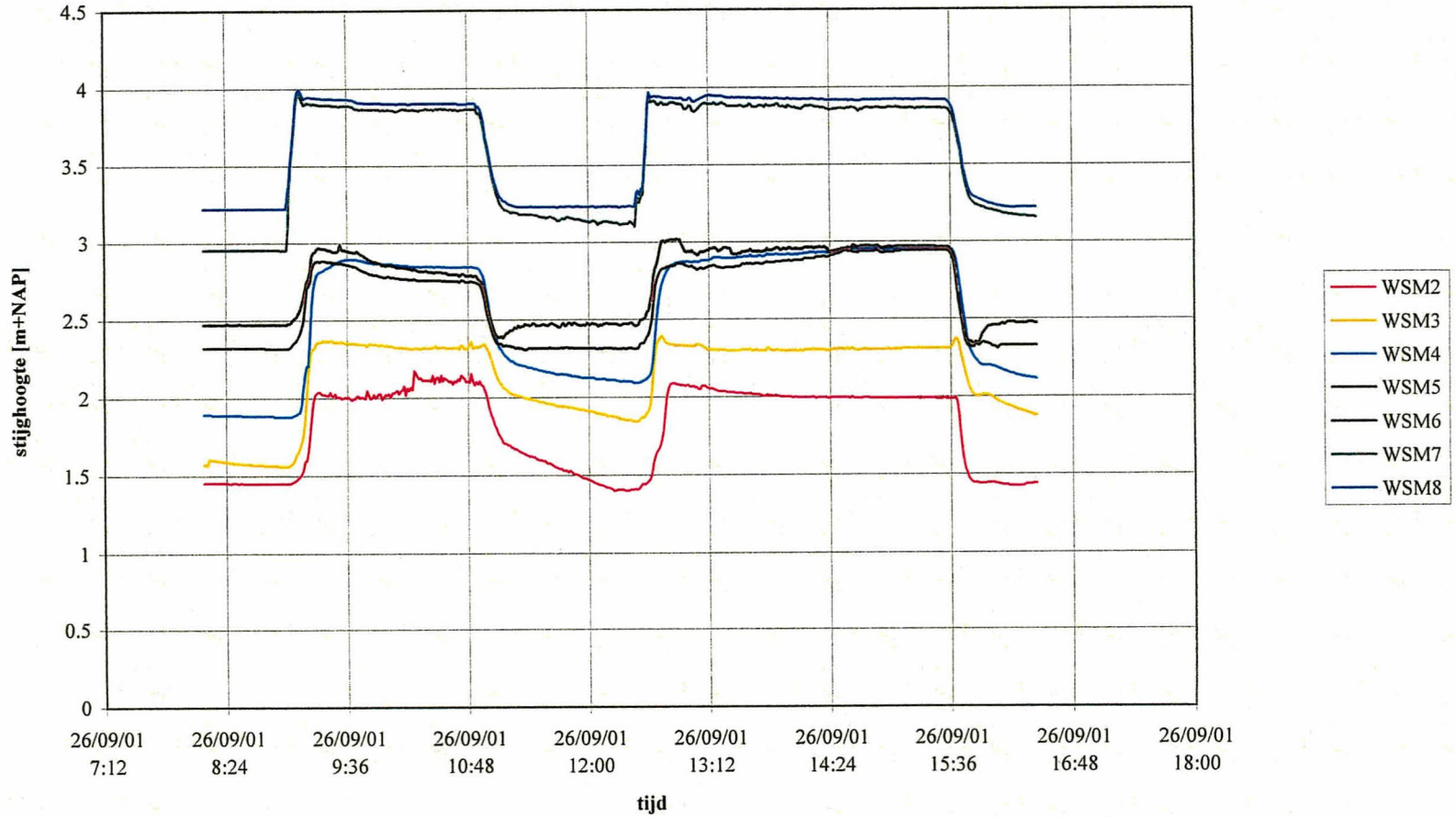
gez.

Verloop stijghoogte, dag 1

BIJL. 3.8

form.
A4

infiltratieproef Kruiningen, raai G1



Postbus 69,
2600 AB DELFT

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

INFILTRATIEPROEF KRUININGEN, RAAI G1

Datum
2001-10-22

get.
Mei

CO - 400970

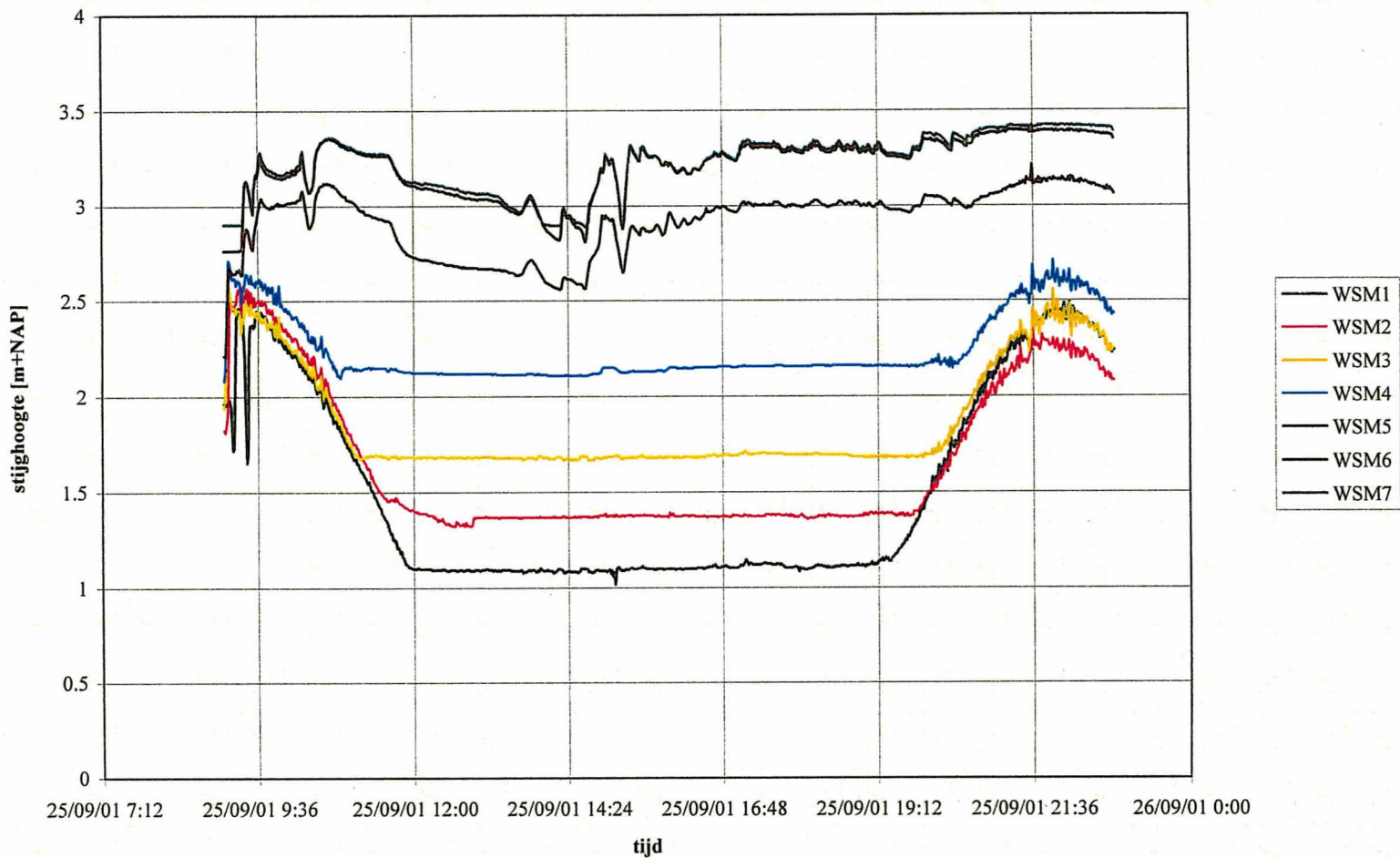
gez.

BIJL. 3.9

form.
A4

Verloop stijghoogte, dag 2

infiltratieproef Kruiningen, raai G2



Postbus 69
2600 AB DELFT

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

INFILTRATIEPROEF KRUININGEN, RAAI G2

Datum
2001-10-22

CO - 400970

get.
Meij

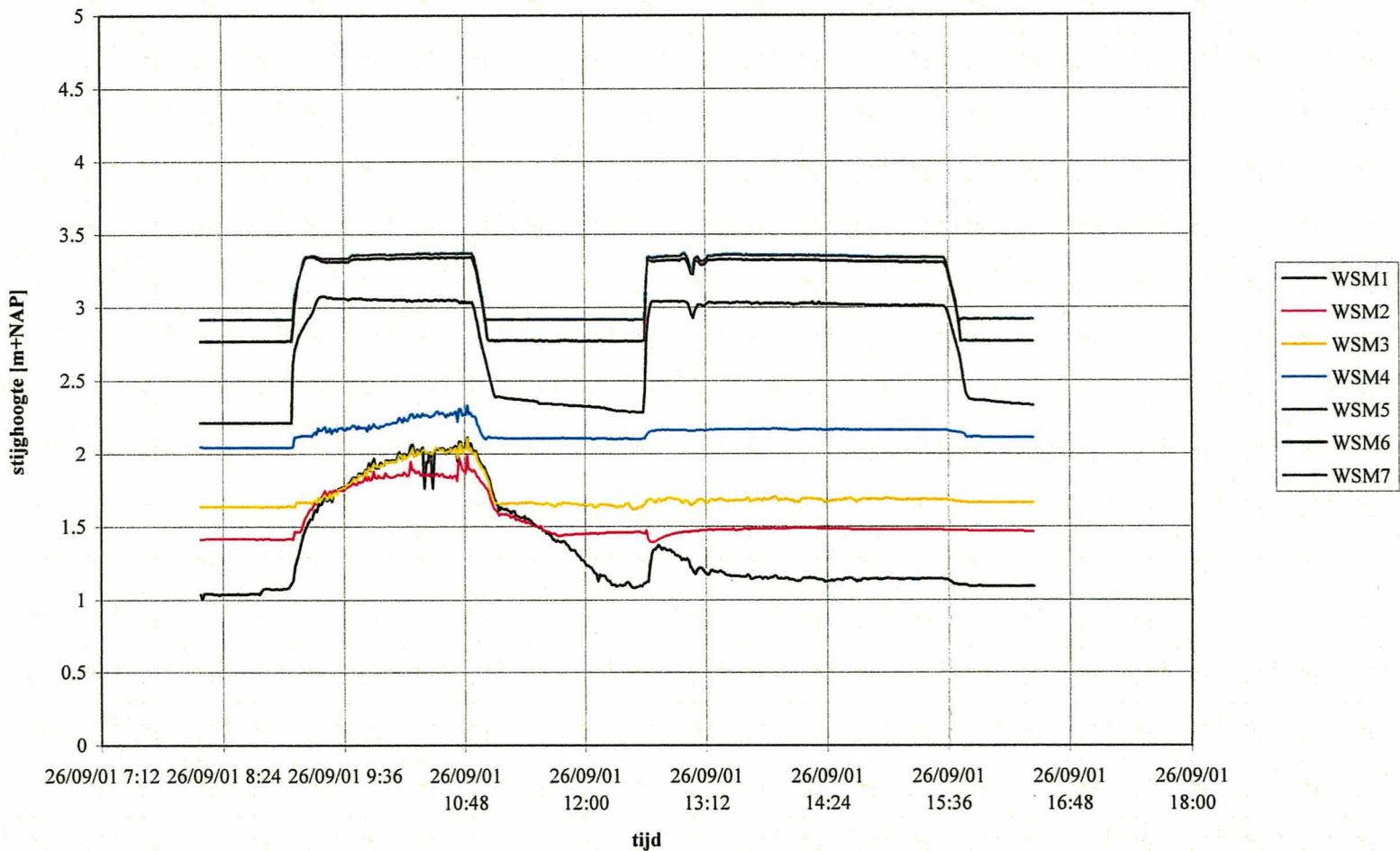
gez.

Verloop stijgheogte, dag 1

BIJL. 3.10

form.
A4

infiltratieproef Kruiningen, raai G2



Geodelft

Postbus 69,
2600 AB DELFT

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

INFILTRATIEPROEF KRUININGEN, RAAI G2

Datum
2001-10-22

get.
Meij

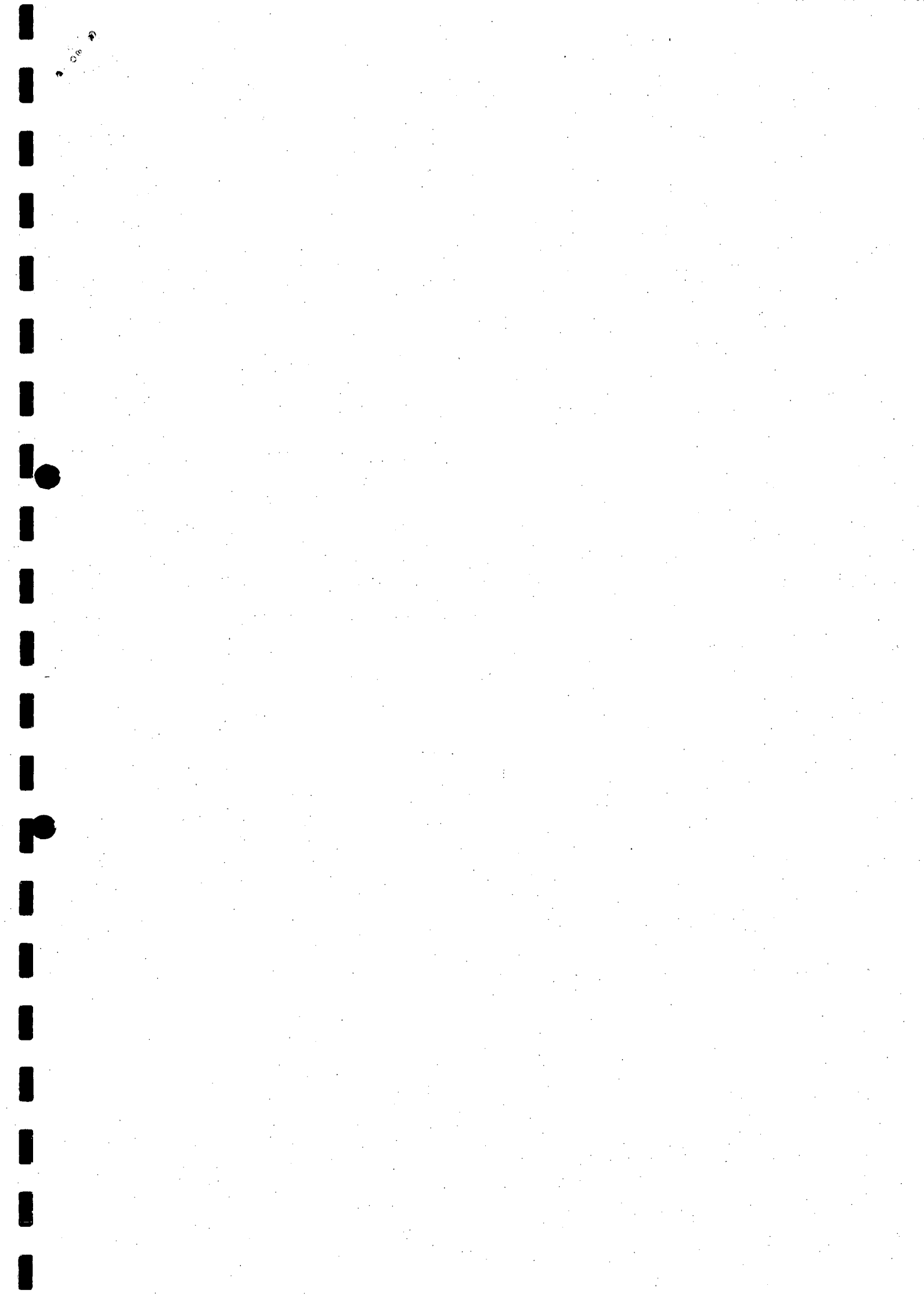
CO - 400970

gez.

Verloop stijghoogte, dag 2

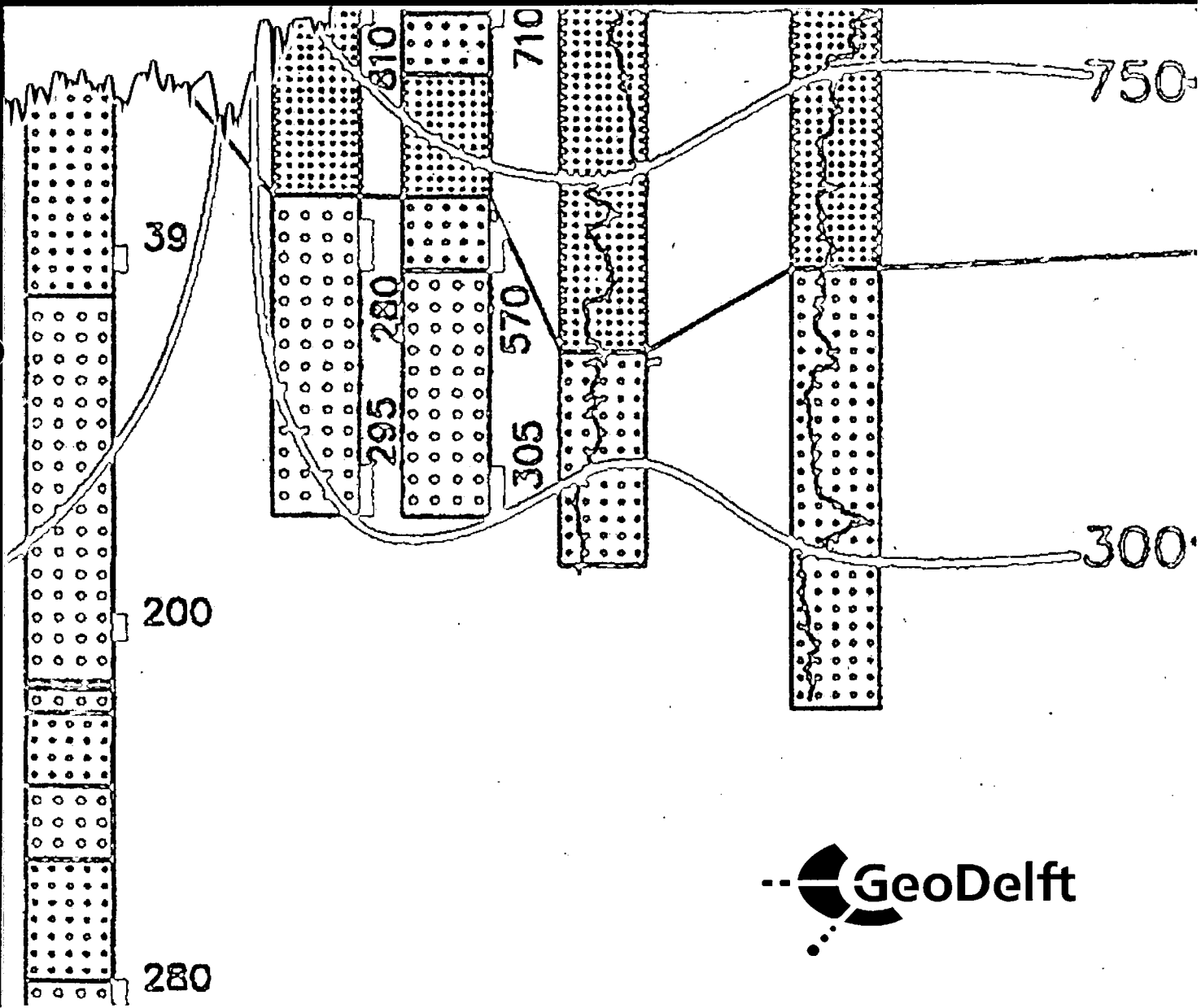
BIJL. 3.11

form.
A4



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

Predictieberekeningen
Infiltratieproef Basaltbekleding
met Seep/W
definitief
CO-400970.0014 versie 2
januari 2002



**Predictieberekeningen Infiltratieproef
Basaltbekleding met Seep/W**

definitief

CO-400970.0014

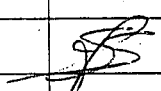

januari 2002

C:\My

Opgesteld in opdracht van:
RIJKSWATERSTAAT-DIENST WEG- EN
WATERBOUWKUNDE
POSTBUS 5044
2600 GA DELFT

AFDELING GRONDCONSTRUCTIES
Projectleider : Ir. P. Meijers
Projectbegeleider: Ir. T. P. Stoutjesdijk

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
Rek.nr. 25.92.35.911

rapportnr: CO-400970.0014		datum rapport: januari 2002			
titel en subtitel: Predictieberekeningen Infiltratieproef Basaltbekleding met Seep/W		behandelende afdeling: Grondconstructies			
		projectnaam:			
projectleider(s): Ir. P. Meijers		projectbegeleider(s): Ir. T. P. Stoutjesdijk			
naam en adres opdrachtgever: Rijkswaterstaat-Dienst Weg- en Waterbouwkunde Postbus 5044 2600 GA Delft		referentie opdrachtgever: DWW-1902			
		verzenden in: 20-voud			
		type rapport: definitief			
<p>samenvatting rapport:</p> <p>In dit rapport zijn predictieberekeningen gemaakt voor een infiltratieproef, gepland in de filterlaag onder de gepenetreerde basaltbekleding van het buitentalud van een zeedijk in Kruiningen. Als eerste zijn de berekeningen geïkt aan meetresultaten van een getijmeting in twee verschillende raaien, G1 en G2. Er is gevarieerd met de geometrie van de dijk en de doorlatendheden van de verschillende lagen. Vervolgens is voor beide raaien de stroming gedurende de infiltratieproef gesimuleerd. Per raai zijn vier berekeningen uitgevoerd met verschillende geometrieën en materiaalparameters. Het maatgevend mechanisme blijkt voor beide raaien te zijn de opstuwning bij de overgang van een goed naar een minder goed doorlatend filter. Uit alle vier berekeningen van raai G1 volgt dat er overdruk aanwezig is. Bij raai G2 is er in één berekening sprake van onvoldoende overdruk. Dit is de situatie dat er praktisch geen verschil is in de doorlatendheid van de filterlaag. De maximale drukverschillen worden in de boventafel verwacht. De gemiddelde infiltratiedebiet is van orde grootte 0,05 tot 0,32 m³/uur per strekkende meter, afhankelijk van de doorlatendheid van de filterlaag en de betreffende raai.</p>					
opmerkingen:					
trefwoorden:			verspreiding:		
opgeslagen op: onder titel: C:\My Documents\Rapportage\400970.0014.doc				aantal blz.: 29	
versie:	datum:	opgesteld door:	paraaf:	gecontroleerd door:	paraaf:
1	27 augustus 2001	sfs		mey	
2	3 januari 2002	sfs		mey	

INHOUDSOPGAVE

1	Inleiding	1
2	Theorie en methode	3
	2.1 Theorie	3
	2.2 Methode	5
	2.2.1 Geometrie	5
	2.2.2 Randvoorwaarden	6
	2.2.3 Initiële condities	7
	2.2.4 Tijdsintegratie en convergentiecriteria	7
3	Resultaten	9
	3.1 Getijmeting	9
	3.1.1 Getijmeting raai G1	9
	3.1.2 Getijmeting raai G2	10
	3.2 Infiltratieproef	12
	3.2.1 Algemeen	12
	3.2.2 Infiltratieproef raai G1	13
	3.2.3 Infiltratieproef raai G2	14
4	Discussie en Conclusies	17
	Referenties	19
	Bijlage A: Getijmeting Raai G1	
	Bijlage B: Getijmeting Raai G2	
	Bijlage C: Infiltratieproef Raai G1	
	Bijlage D: Infiltratieproef Raai G2	

1 Inleiding

Op de dijk van de Oostinkelpolder, ten westen van de veerhaven Kruiningen, is voor week 39, 2001 een infiltratieproef gepland in de filterlaag onder de gepenetreerde basaltbekleding van het buitentalud. Het doel van de proef is na te gaan onder welke omstandigheden de ingegoten basaltbekleding kan worden afgedrukt door de waterdrukopbouw in de filterlaag. Voorafgaande aan de proef zijn getijmetingen uitgevoerd in twee verschillende raaien.

Het doel van dit rapport is het maken van een predictie van de waterdrukopbouw onder de basaltbekleding van de dijk te Kruiningen gedurende de infiltratieproef. Met deze predictie kan vervolgens een inschatting worden gemaakt van de kans dat de toplaag wordt opgedrukt en van de optredende vervormingen.

Met de beschikbare gegevens over de geometrie zijn eerst de simulaties geijkt aan de resultaten van de getijmetingen in de twee raaien. De getijmetingen zijn gerapporteerd in GD-rapport CO-400970.0023. Deze ijking resulteert in een beste schatting van de geometrie en de grondhydraulische parameters voor beide raaien. Door een aantal parameters te variëren wordt een indruk van de gevoeligheid van deze beste schatting verkregen. Vervolgens is de stroming gedurende de infiltratieproef gesimuleerd. Per raai zijn vier berekeningen uitgevoerd met verschillende geometrieën en/of materiaalparameters. De resultaten van deze berekeningen zijn geanalyseerd met betrekking tot de waterdrukopbouw onder de basaltbekleding en debiet door de filterlaag.

2 Theorie en methode

2.1 Theorie

Stroming in de onverzadigde/verzadigde zone wordt mathematisch beschreven door middel van de zogenaamde Richardsvergelijking [Tindall and Kunkel, 1999]. Deze vergelijking, die volgt uit de combinatie van de continuïteitsvergelijking voor het water met de impulsvergelijking (de wet van Darcy) voor het water, wordt met de drukhoogte $p(m)$ als primaire variabele geschreven als:

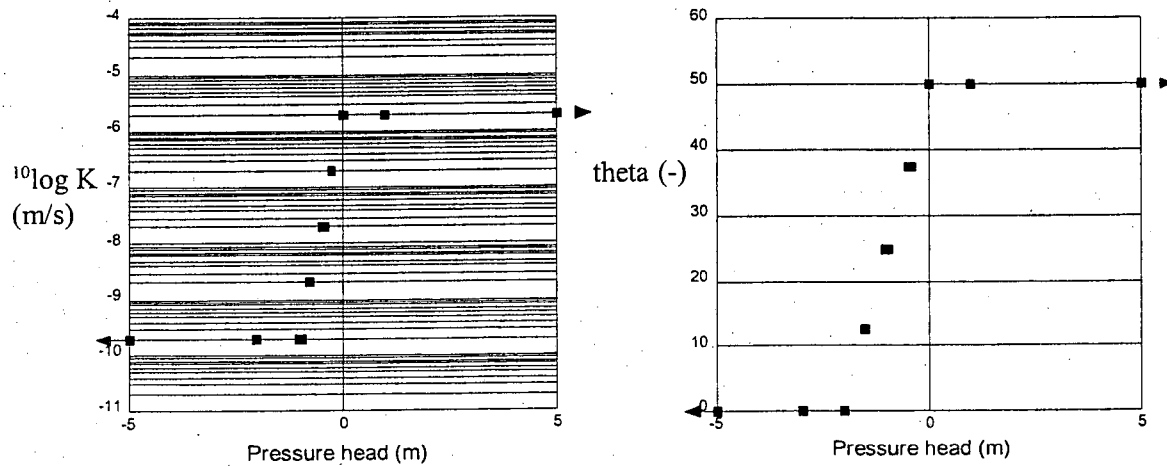
$$\nabla \cdot [\mathbf{K}(\nabla p + \rho \mathbf{g})] = \left[(m_v + n\beta)S + n \frac{\partial S}{\partial p} \right] \frac{\partial p}{\partial t} \quad (2.1)$$

waarin:

- \mathbf{K} doorlatendheidstensor [m/s]
- p drukhoogte [m]
- \mathbf{g} gravitatie-vector [m/s²]
- ρ dichtheid [kg/m³]
- m_v samendrukbaarheid van de korrelmatrix [1/m]
- n porositeit
- β samendrukbaarheid van de vloeistof-lucht mengsel [1/m]
- S effectieve verzadigingsgraad [-]
- t tijd [s]

De berekeningen van de onverzadigde stroming worden uitgevoerd met het eindig elementenprogramma Seep/W. Het mathematisch principe is echter hetzelfde. In het vervolg wordt voor de stijghoogte de variabele h (m) gekozen, de drukhoogte wordt aangeduid met p (m). De verzadigde doorlatendheid wordt aangeduid met K_S (m/s). Verder wordt de plaatshoogte aangegeven met z (NAP + m).

Voor het oplossen van de Richardsvergelijking dienen zogenaamde materiaalcurven te worden gedefinieerd, relaties tussen de doorlatendheid en het vochtgehalte en de aanwezige (negatieve) druk. Deze relaties, die essentieel en bepalend zijn voor de berekeningen, zijn voor dijkmateriaal nog niet goed bekend. Net als het geval is voor natuurlijk afgezette gronden, zijn voor het dijkmateriaal beide relaties hoogstwaarschijnlijk echter sterk niet-lineair. In een zojuist verschenen rapport wordt beargumenteerd dat een vereenvoudigde beschrijving leidt tot een adequate beschrijving van de drukopbouw in de dijk [GeoDelft, 2001]. De vereenvoudigde beschrijving bestaat uit een lineaire relatie tussen het vochtgehalte θ (-) met de negatieve drukhoogte en een loglineaire relatie tussen de doorlatendheid K (m/s) en de negatieve drukhoogte (zie Figuur 2.1 voor de functie voor het onderste deel van de filterlaag).



Figuur 2.1 Doorlatendheid K (m/s) en vochtgehalte θ (-) als functie van de drukhoogte (in m), voor de basaltlaag in raai G1. De twee curven zijn gedefinieerd met behulp van een schatting voor de verzadigde doorlatendheid K_s , de porositeit n en de twee parameters p_k en p_s .

Bij een drukhoogte van $p > 0$ m wordt de doorlatendheid gelijk aan de verzadigde doorlatendheid gekozen. Vervolgens neemt de doorlatendheid logaritmisch (met kental 10) 4 orden van grootte af tussen $p = 0$ m en de (negatieve) drukhoogte p_k (m). Voor drukhoogten kleiner dan p_k is de doorlatendheid constant:

$$\begin{aligned}
 K(p) &= K_s & p &\geq 0 \\
 K(p) &= K_s 10^{(-4p/p_k)} & p_k &\leq p \leq 0 \\
 K(p) &= K_s 10^{-4} & p &\leq p_k
 \end{aligned} \tag{2.2}$$

De eerste vormparameter in deze vereenvoudigde beschrijving is de waterdrukhoogte p_k (m). Deze is gedefinieerd als de (negatieve) drukhoogte waarbij de conductiviteit 4 orden van grootte is afgenomen.

De relatie tussen het vochtgehalte en de drukhoogte wordt lineair verondersteld. Bij een drukhoogte gelijk aan $p = 0$ m wordt het vochtgehalte gelijk gesteld aan de effectieve porositeit n_e (het verzadigde vochtgehalte minus het restvochtgehalte). De verzadigingsgraad wordt vervolgens beschreven als:

$$\begin{aligned}
 \theta(p) &= n_e & p &\geq 0 \\
 \theta(p) &= n_e (1 - p/p_s) & p_s &< p < 0 \\
 \theta(p) &= 0 & p &\leq p_s
 \end{aligned} \tag{2.3}$$

De drukhoogte p_s (m) is de tweede vormparameter in de vereenvoudigde beschrijving. Dit is de (negatieve) drukhoogte waarbij het vochtgehalte gelijk aan nul is geworden. In overeenstemming met relatie (2.3) is de vochtcapaciteit gedefinieerd als:

$$\begin{aligned} c(p) &= 0 & p &\geq 0 \\ c(p) &= -1/p_s & p_s < p < 0 \\ c(p) &= 0 & p &\leq p_s \end{aligned} \quad (2.4)$$

Het vochtgehalte en de doorlatendheid worden voor positieve drukken gelijk gekozen aan het verzadigd vochtgehalte en de verzadigde doorlatendheid. Voor één materiaal, de weerstandslaag onder aan de teen van buitentalud, wordt een samendrukbaarheid van $m_v = 10^{-7} \text{ m}^{-1}$ verondersteld. Voor alle andere materialen is de samendrukbaarheid verwaarloosd.

Behalve materiaalparameters zijn voor de berekening geschikte randvoorwaarden en een schatting van de initiële condities nodig. De randvoorwaarden voor de getijmeting zijn niet geheel bekend, aangezien slechts een zevental stijghoogten in de filterlaag gemeten is. Verder is de neerslagflux niet gemeten en ontbreekt de stijghoogte in het dijklichaam. Verder zijn de negatieve drukhoogten afgekapt op $p = 0$ m. Het verloop van de getijgolf gedurende de meting is wel bekend. De randvoorwaarden en initiële condities worden in Hoofdstuk 3 besproken.

2.2 Methode

2.2.1 Geometrie

De geometrie van de dijk is niet goed bekend. Op een paar locaties is de verticale grondopbouw bepaald. Tijdens de definitie van de geometrie is zoveel mogelijk rekening gehouden met deze gegevens. De numerieke resolutie in de toplagen is gesteld op 0,1 m (zie Bijlage A1 en B1). Gezien de optredende Darcy snelheden van orde grootte $q = 10^{-4} \text{ m/s}$ zijn, is deze gridgrootte redelijk bij een tijdstap van 1 minuut (zie paragraaf 2.4). Iedere laag bestaat uit minimaal drie elementen. Over het algemeen zijn vierhoekige elementen gebruikt. In enkele situaties is overgegaan op driehoekige elementen. In de zandkern is een geleidelijke overgang naar een grover elementengrid ontworpen. Hier is een maximale grootte van een elementrand van 0,5 m aangehouden.

In de berekeningen zijn de volgende aannamen gedaan. De stroming verloopt in een twee dimensionaal vlak, waarin slechts een deel van het buitentalud van de dijk wordt gerepresenteerd. Neerslag wordt verwaarloosd. Verder wordt de drukafname in de filterlaag door drukafhankelijkheid van de porositeit verwaarloosd. Tenslotte worden de onverzadigde grondhydraulische parameters volgens een vereenvoudigd model [GeoDelft, 2001] weergegeven.

Het buitentalud van de dijk heeft een helling van 1:3.8 en is opgebouwd uit een achttal gebieden. De basaltlaag (zwart voor relatief ondoorlatend en grijs voor relatief doorlatend) is 0,3 m dik. De filterlaag (verschillende kleuren blauw) is 0,3 m dik. De kleilaag (groen) varieert van 0,5 m tot 1,0 m dikte. Hieronder ligt de zandlaag (geel). Een weerstandslaag onder aan de teen van de dijk (oranje) loopt door tot de bodem van de filterlaag. Deze weerstandslaag resulteert in een vertraagde

getijreactie van de stijghoogten ter plaatse van de drukopnemers als gevolg van elastische berging. Onder de weerstandslaag loopt de kleilaag door tot aan de linkerkant van het domein.

Verschillen in de geometrie tussen raaien G1 en G2 betreffen de locaties van de doorlatende basaltbekleding en de lekken in de kleilaag. Verder verschillen de optimale waarden van de materiaalparameters van de basaltbekleding enigszins.

2.2.2 Randvoorwaarden

Getijmetingen

De randvoorwaarde in de dijk, aan de rechterkant van het domein, is op een stijghoogte van $h = 1,0$ m gesteld. Deze waarde van $h = 1,0$ m is een realistische waarde, vergeleken met eerdere waarnemingen in andere dijken. Er is gevarieerd met deze randvoorwaarde en de resultaten bleken hiervoor redelijk gevoelig. De genoemde waarde gaf voor beide raaien de beste resultaten in vergelijking met de getijmetingen. Dit geeft vertrouwen in de gekozen randvoorwaarde. Aan de linkerrand en op het talud wordt de getijgolf opgelegd.

Op het talud boven de maximale getijhoogte wordt de flux gelijk aan nul verondersteld.

Infiltratieproeven

De randvoorwaarde in de dijk, aan de rechterkant van het domein, is net als in de getijmeting op een stijghoogte van $h = 1,0$ m gesteld. Aan de linkerrand en op het talud wordt tijdens de infiltratieproef verwachte getijgolf opgelegd (de proef is gepland op 27 september 2001).

Gedurende de infiltratieproef wordt de drukhoogte op het talud in het gebied tussen de maximale hoogte van het getij en de infiltratieput op $p = 0$ m gezet. De stijghoogte in de infiltratieput (die doorloopt tot in de kleilaag) wordt gelijk gekozen aan de plaatshoogte van de onderrand van de putten. Hiertoe is in raai G1 een infiltratieput gemaakt op een hoogte van $z = 3,8$ m. In raai G2, waar de infiltratieput juist buiten het domein valt, is de rechterrandoorwaarde tot een hoogte van $z = 4,8$ m ($0,2$ m in de kleilaag) gesteld op $h = 5,3$ m.

Na het verschijnen van de conceptrapportage is gebleken, dat de hoogte van de infiltratiesloot bij raai G1 en G2 is verwisseld. Dit betekent dat bij G1 de infiltratie te laag op het talud plaatsvindt. De consequentie is dat de overdruk waarschijnlijk wordt onderschat, net als het debiet. Voor raai G2 geldt het omgekeerde.

De randvoorwaarde op de taludhelling, voor de beschrijving van de getijgolf, dient in drukhoogte-waarden opgegeven te worden. De drukhoogte varieert over het talud en wordt in verschillende gebieden opgelegd (waarin ieder gebied een hoogteverschil van $\Delta z = 1,0$ m heeft). De waarden van de drukhoogten zijn zo gekozen, dat de minimale drukhoogte van de getijgolf gelijk is aan $p = -0,5$ m, terwijl de gemiddelde drukhoogte over ieder deelgebied gelijk aan 0 m is. Op deze manier kan een realistisch drukverschil tussen top en onderkant van de basaltlaag worden bepaald. Testberekeningen (niet afgebeeld) hebben aangetoond, dat het afkappen van de drukhoogte nauwelijks invloed heeft op de stijghoogte-waarden op de interne gridpunten.

2.2.3 Initiële condities

De initiële freatische lijn is bepaald door na te gaan wat het verloop van de freatische lijn is na afloop van een getijgolf. Vanwege continuïteit van de druk begint de freatische lijn in de basaltlaag bij het getij, welke op $h = 0$ m begint. Vervolgens loopt de freatische lijn horizontaal door de basaltlaag en filterlaag tot de top van de kleilaag. De freatische lijn loopt via de top van de kleilaag op en snijdt deze op $h = 1,0$ m door om zo horizontaal door te lopen tot de rechterkant van het domein (zie ook Bijlagen A2, A3, B2 en B3). Initieel wordt de minimale drukhoogte gelijk gesteld aan $p = -1$ m. Uit ervaring blijkt, dat dit een redelijke waarde voor de drukhoogte in de onverzadigde zone van dijken is.

De getijgolven zijn een aantal keren herhaald om de invloed van de initiële conditie te laten afnemen. Uit de berekeningen blijkt dat na drie getijgolven een dynamisch evenwicht is bereikt. Op dat moment zijn namelijk de drukhoogten voorafgaande aan en na afloop van de getijgolf gelijk. De situatie na de derde golf wordt als initiële conditie gebruikt, zowel voor berekeningen van de getijmetingen als voor de infiltratieproeven (de initiële conditie wordt wel met een andere getijgolf berekend dan voor de getijmetingen).

De voor de getijmeting in raai G1 gebruikte geometrieën zijn gegeven in Bijlagen A2 en A3. Voor raai G2 zijn de geometrieën afgebeeld in Bijlagen B2 en B3.

2.2.4 Tijdsintegratie en convergentiecriteria

De standaard convergentiecriteria van het programma Seep/W zijn toegepast. Dit houdt in, dat de iteratie stopt wanneer de oplossing minder dan één procent verandert. Verder worden maximaal 10 iteraties per tijdstap gedaan. Wanneer geen convergentie wordt bereikt, wordt met de laatste iteratie verder gerekend in de volgende tijdstap. Uit testberekeningen met verschillende tijdstapgrootte is gebleken, dat de resultaten niet noemenswaardig verschillen wanneer een tijdstap van $\Delta t = 30$ s, $\Delta t = 60$ s, of $\Delta t = 300$ s wordt genomen. Om deze reden is in de berekeningen gekozen voor een constante tijdstap van $\Delta t = 60$ s. De oplossing wordt iedere 15 minuten opgeslagen. De berekeningstijd van 3000 tijdstappen met een computer met een processor van 400 MHz bedraagt ongeveer 4 uur.

3 Resultaten

In dit hoofdstuk worden eerst de resultaten van de berekening van de getijmeting besproken, gevolgd door de resultaten van de infiltratieproef. In de beschrijving wordt telkens onderscheid gemaakt tussen de twee raaien.

3.1 Getijmeting

3.1.1 Getijmeting raai G1

De gebruikte geometrie van de beste schatting voor raai G1 is te zien in Bijlage A2. In Tabel 3.1 zijn de waarden voor de verzadigde doorlatendheid K_S , de porositeit n en de twee parameters p_k en p_S gegeven voor de beste schatting van de getijmetingen. De variaties op de beste schatting zijn gegeven in Bijlagen A2 en A3. In de eerste variatie is de kleilaag dicht gemaakt, de tweede variatie heeft een homogene basaltlaag, in de derde variatie is het onderste deel van de filterlaag een orde minder doorlatend verondersteld.

De berekende stijghoogten op de locaties van de drukopnemers gedurende de getijmetingen zijn geplot in Bijlagen A4 t/m A7. Hierin is in de bovenste figuur de getijmeting te zien, in de onderste figuur zijn de berekeningsresultaten gegeven. Op de horizontale assen is de tijd weergegeven. Ieder vak komt overeen met 1,0 uur. Alleen het getij en de meetwaarden van de eerste vier waterdrukopnemers zijn te zien. De drie bovenliggende drukopnemers gaven namelijk geen respons op het getij (zowel in de meting als in de berekeningen), en zouden alleen het beeld verstoren. Tenslotte wordt opgemerkt dat in de getijmetingen (de bovenste figuren) de drukhoogte bij $p = 0,0$ m is afgekapt. De horizontale lijnen zijn in de realiteit waarschijnlijk niet geheel horizontaal, aangezien de drukhoogte in het algemeen tot negatieve waarden zal afnemen. In de berekeningsresultaten zijn de negatieve waarden wel meegenomen in de berekening van de stijghoogtewaarden.

Tabel 3.1 Waarden voor de verzadigde doorlatendheid K_S , porositeit n , de twee parameters p_k en p_S voor de beste schatting van de getijmetingen in raai G1.

materiaal	K_S (m/s)	n (-)	p_k (m)	p_S (m)	m_v (Pa ⁻¹)	laagdikte (m)
basalt	$2,0 \times 10^{-6}$	0,05	-1,0	-2,0	-	0,3
doorlatende basalt	$1,0 \times 10^{-5}$	0,10	-1,0	-2,0	-	0,3
weerstandslaag	$1,0 \times 10^{-6}$	0,40	-0,5	-4,0	1×10^{-3}	0,6
filterlaag onder	$1,0 \times 10^{-4}$	0,20	-2,0	-2,0	-	0,3
filterlaag midden	$3,0 \times 10^{-3}$	0,20	-1,0	-2,0	-	0,3
filterlaag boven	$5,0 \times 10^{-2}$	0,30	-1,0	-2,0	-	0,3
kleilaag	$3,0 \times 10^{-6}$	0,50	-0,5	-15,0	-	0,5-1,0
zandlaag	$1,0 \times 10^{-4}$	0,35	-1,0	-2,0	-	variabel

De resultaten van de beste fit (Bijlage A4) laten ten eerste een goede overeenkomst met de stijghoogten in de vier drukopnemers zien. De maximale stijghoogte van WSM2 wordt ten hoogste 0,1 m overschat. De maximale stijghoogte is voornamelijk afhankelijk van de doorlatendheden van de weerstandslaag onder in het talud, de filterlaag (zowel het onderste als de middelste deel) en de basaltlaag. Door het basalt op een hoogte tussen $z = 1,4$ m en $z = 1,5$ m doorlatend te veronderstellen worden de stijghoogten in WSM2 en WSM3 nagenoeg aan elkaar gelijk, net als het geval is in de getijmeting. Voor het verloop van de stijghoogte van de twee bovenste opnemers (WSM4 en WSM5) blijkt het genoemde doorlatende deel van de basaltbekleding en een lek in de kleilaag noodzakelijk.

De vertraging van de respons op het getij van alle drukopnemers is ook goed gerepresenteerd. Met name de keuze van de doorlatendheid en de samendrukbaarheid van de weerstandslaag lag hieraan ten grondslag. Ook de locatie van het doorlatende basalt heeft veel invloed op de vertraging in de getijrespons van de hoger gelegen drukopnemers. De locatie waar de getijcurve de stijghoogte in de drukopnemers gedurende aflopend getij snijdt in de grafiek komt ook goed overeen. Deze snijpunten liggen op een hoogte van ongeveer $z = 1,8$ m voor de lagere en $z = 1,5$ m voor de hogere opnemers. Het leeglopen van de filterlaag, tenslotte, gaat in de berekening enigszins langzamer dan in de getijmeting. Hoewel getracht is het leeglopen sneller te laten verlopen, is dit niet geheel geslaagd. Bij gelijke doorlatendheidscurven voor het instromen als uitstromen zal snel leeglopen ook betekenen, dat de filterlaag snel volloopt. Dat leidt tot een hogere maximale stijghoogte, wat niet realistisch is. Het kan ook zijn, dat het langzaam leeglopen wordt veroorzaakt doordat de freatische lijn aan de landzijde een vaste waarde van $z = \text{NAP} + 1,0$ m heeft. Dit is verder niet onderzocht.

In de eerste variatie is het gat in de kleilaag afgesloten. Zoals te zien is in Bijlage A5 heeft dit nauwelijks invloed op de resultaten.

Wanneer de basaltlaag homogeen wordt verondersteld (gelijk aan $K_S = 2 \times 10^{-6}$ m/s, zie Bijlage A6), worden de hogere waterdrukopnemers beïnvloed. WSM3, WSM4 en WSM5 hebben alle een iets lagere maximale stijghoogte. Het zeewater kan dus inderdaad minder makkelijk via de top laag instromen.

In de derde variatie op de beste schatting is de doorlatendheid van het onderste deel van de filterlaag een orde van grootte kleiner gekozen. Zoals te zien is in Bijlage A7 heeft dit wederom nauwelijks invloed op de resultaten. De lage doorlatendheid van de weerstandslaag bepaalt hoogstwaarschijnlijk het debiet dat via de onderkant de filterlaag binnenstroomt, meer dan de doorlatendheid van het onderste deel van de filterlaag.

3.1.2 Getijmeting raai G2

De gebruikte geometrie van de beste schatting voor raai G2 is te zien in Bijlage B2. In Tabel 3.2 zijn de waarden voor de verzadigde doorlatendheid K_S , de porositeit n en de twee parameters p_k en p_s gegeven voor de beste schatting van de getijmetingen in deze raai. De beste schatting van raai G2 verschilt op de volgende punten van die in raai G1:

1. de doorlatendheid van de basaltlaag is hoger
2. de basaltlaag is tussen $z = 1,5$ m en $z = 1,6$ m lek (de doorlatendheid van zand is hiervoor genomen)
3. de basaltlaag is doorlatend tussen $z = 1,5$ m en $z = 2,25$ m
4. er zijn twee lekken in de kleilaag gedefinieerd
5. de grens tussen het onderste en middelste deel van de filterlaag ligt op $z = 1,10$ m en tussen het middelste en bovenste deel op $z = 2,55$ m

Tabel 3.2 Waarden voor de verzadigde doorlatendheid K_S , porositeit n , de twee parameters p_k en p_s voor de beste schatting van de getijmetingen in raai G2.

materiaal	K_S (m/s)	n (-)	p_k (m)	p_s (m)	m_v (Pa ⁻¹)
basalt	$5,0 \times 10^{-6}$	0,05	-1,0	-2,0	-
doorlatende basalt	$1,0 \times 10^{-4}$	0,10	-1,0	-2,0	-
weerstandslaag	$1,0 \times 10^{-6}$	0,40	-0,5	-4,0	1×10^{-3}
filterlaag onder	$1,0 \times 10^{-4}$	0,20	-2,0	-2,0	-
filterlaag midden	$3,0 \times 10^{-3}$	0,20	-1,0	-2,0	-
filterlaag boven	$5,0 \times 10^{-2}$	0,30	-1,0	-2,0	-
kleilaag	$3,0 \times 10^{-6}$	0,50	-0,5	-15,0	-
zandlaag	$1,0 \times 10^{-4}$	0,35	-1,0	-2,0	-

De geometrie van de berekeningen met variaties op de beste schatting zijn gegeven in Bijlagen B2 en B3. Net als in raai G1 bestaan deze variaties uit (a) het dichtmaken van de kleilaag (b) het veronderstellen van een homogene basaltlaag en (c) het met een orde van grootte verminderen van de doorlatendheid van de onderste deel van de filterlaag.

De berekende stijghoogten op de locaties van de drukopnemers gedurende de getijmetingen zijn gegeven in Bijlagen B4 t/m B7. Hierin is in de bovenste figuur de getijmeting te zien, in de onderste figuur zijn de berekeningsresultaten gegeven. Op de horizontale assen is de tijd weergegeven. Ook hier komt ieder vak overeen met 1,0 uur. Aangezien alle drukopnemers een respons op het getij geven zijn deze alle te zien. Tenslotte wordt opgemerkt dat in de getijmetingen (de bovenste figuren) de drukhoogte bij $p = 0,0$ m is afgekapt. In de berekeningsresultaten zijn de negatieve waarden wel meegenomen in de berekening van de stijghoogtewaarden.

De resultaten van de beste schatting (Bijlage B4) laten ten eerste een goede overeenkomst met de stijghoogten in de zeven drukopnemers zien. De hoogste waarde van de stijghoogte wordt in de getijmeting bereikt door WSM6, in de berekeningen door WSM3 en WSM4. De verschillen in maximale waarden van de stijghoogten tussen de meting en berekening zijn echter klein, van orde grootte 0,1 tot 0,2 m. De maximale stijghoogte is voornamelijk afhankelijk van de doorlatendheden van de weerstandslaag onderin het talud, de filterlaag (zowel het onderste als het middelste deel) en de basaltlaag. Door het doorlatende basalt op een hoogte van 1,2 m te laten beginnen blijft de maximale stijghoogte in WSM2 achter op de waarden in de andere metingen, net als het geval is in de

getijmeting. Voor het verloop van de stijghoogte van de bovenste opnemers (WSM4 t/m WSM8) blijkt een stuk doorlatend basalt en een lek in de kleilaag noodzakelijk. De vertraging van de respons op het getij van de twee drukopnemers WSM2 en WSM3 is ook goed gerepresenteerd. Met name de doorlatendheid en samendrukbaarheid van de weerstandslaag liggen hieraan ten grondslag. De locatie van het doorlatende basalt heeft veel invloed op de nauwelijks aanwezige vertraging in de getijrespons van de hoger gelegen drukopnemers. De locatie waar de getijcurve de stijghoogte in de drukopnemers gedurende aflopend getij snijdt in de grafiek komt ook goed overeen. Deze snijpunten liggen op een hoogte van ongeveer $z = 2,2$ m voor de hogere en afnemend tot $z = 1,5$ m voor de lagere opnemers. In de getijmeting doorsnijdt het getij de stijghoogtecurve van de lagere drukopnemers op een hoogte van ongeveer $z = 0,7$ m. Aan dit verschil tussen de meting en berekening ligt de minder goede representatie van het leeglopen van de filterlaag ten grondslag. Hoewel ook in de berekeningen van deze raai getracht is het leeglopen sneller te laten verlopen, is dit niet geheel geslaagd.

In de eerste variatie is de lek in de kleilaag afgesloten. Zoals te zien is in Bijlage B5 leidt dit tot een overschatting van de maximale stijghoogtewaarden in alle drukopnemers.

Wanneer de basaltlaag homogeen wordt verondersteld (gelijk aan $K_s = 5 \times 10^{-6}$ m/s, zie Bijlage B6), neemt de maximale stijghoogte in de hogere waterdrukopnemers ongeveer 0,5 m af, niet overeenkomstig met de metingen. Als reden geldt natuurlijk dat het zeewater minder makkelijk kan instromen.

In de derde en laatste variatie op de beste schatting is de doorlatendheid van het onderste deel van de filterlaag een orde van grootte kleiner gekozen. Zoals te zien is in Bijlage B7 heeft dit invloed op de vertraging tussen de stijghoogten in de hogere drukopnemers met het getij. Verder blijft opnemer WSM8 onverzadigd, in tegenstelling tot de gemeten waarde.

3.2 Infiltratieproef

3.2.1 Algemeen

Met de beste schatting vanuit de getijmeting wordt de infiltratieproef doorgerekend. Doel van deze berekening is het maken van een schatting van het drukverschil tussen de boven- en onderkant van de basaltlaag.

Aangenomen dat de basaltbekleding een gemiddelde dikte van $\Delta z = 0,3$ m heeft, dan is met een gemiddelde dichtheid van $2,83 \times 10^3$ kg/m³ een drukhoogteverschil van grootte $\Delta p = 0,82$ m nodig om de basaltlaag af te drukken. Het drukhoogteverschil wordt berekend door het verschil te nemen van het een na hoogste knooppunt in de basaltlaag met het op een na hoogste knooppunt in de filterlaag. Op deze manier wordt het knooppunt vermeden, dat precies op de grens tussen filterlaag en basaltlaag ligt. De waarde in dit knooppunt is eerder een interpolatie tussen beide lagen en dus niet geschikt voor de berekening van het drukhoogteverschil. Het drukhoogteverschil wordt geplot over de hele lengte tussen de teen van de dijk en de infiltratieput, op vier verschillende tijdstippen: opkomend getij ($h = 0,0$ m), maximaal getij ($h = 1,7$ m), afnemend getij ($h = 0,0$ m), minimaal getij ($h = -1,55$ m).

Per raai zijn vier berekeningen uitgevoerd. De variaties zijn gegeven in Tabel 3.3. De eerste drie berekeningen gebruiken de beste schatting voor de geometrie en parameters van de ondertafel. In run 1 wordt de kleilaag van de boventafel lek verondersteld, net als het geval is voor de ondertafel in de beste schatting van de getijmeting. In run 2 wordt de kleilaag van de boventafel niet lek verondersteld. Run 3 is gelijk aan run 1, behalve dat het bovenste deel van de filterlaag (hoger dan $z = 2,55$ m) een orde van grootte minder doorlatendheid is.

Tabel 3.3 Variaties in de berekeningen van de infiltratieproef voor raaien G1 en G2.

berekening	K_f bovenste filterlaag (m/s)	ondertafel	kleilaag boventafel
Run 1	$5,0 \times 10^{-2}$	beste schatting	lek
Run 2	$5,0 \times 10^{-2}$	beste schatting	niet lek
Run 3	$5,0 \times 10^{-3}$	beste schatting	lek
Run 4	$5,0 \times 10^{-2}$	kleilaag niet lek	niet lek

3.2.2 Infiltratieproef raai G1

De twee gebruikte geometrieën voor de infiltratieproeven in raai G1 zijn te zien in Bijlagen C1.

Bijlage C2 (bovenste figuur) laat voor Run 1 de drukhoogteverschillen over de toplaag op de vier tijdstippen zien als functie van de lengte vanaf de teen. Dit zijn respectievelijk het moment van laagwater, het moment dat bij opkomend tij de getijhoogte NAP+0 m is, hoogwater en het moment dat de bij afgaand tij de getijhoogte NAP+0 m is. De interpretatie van de berekening is het duidelijkst, wanneer met de bespreking begonnen wordt bij de infiltratieput. Vanaf de put naar beneden loopt het drukhoogteverschil sterk op, tot het moment dat de middelste filterlaag wordt bereikt. Op $l = 13,9$ m wordt de grens $\Delta p = 0,82$ m overschreden, boven deze grens kan de basaltlaag worden afgedrukt. De lekken die op $l = 12,0$ m en $l = 16,5$ m in de kleilaag zitten zijn in het verloop van het drukhoogteverschil niet waar te nemen. Door de lagere doorlatendheid van het middelste deel van de filterlaag neemt het drukhoogteverschil minder snel toe, tot het punt waarop de middelste filterlaag overgaat op de onderste filterlaag. Op dat punt wordt het grootste drukhoogteverschil bereikt. Bij hoogtij is dit verschil maximaal. Het onderste lek in de kleilaag ($l = 4,6$ m) is wederom niet te onderscheiden. Het drukhoogteverschil neemt vervolgens af in het gebied waar de basaltlaag doorlatend is.

In het gebied tussen ongeveer $l = 0,0$ m en $l = 9,0$ m is de invloed van het getij duidelijk zichtbaar. De locatie waarop de grenswaarde $\Delta p = 0,82$ m wordt bereikt hangt af van de getijhoogte. Bij het afgaand getij wordt de maximale lengte van $\Delta l = 5,3$ m bereikt waarin het drukhoogteverschil groter dan $\Delta p = 0,82$ m is (dit is de grens waarboven de basaltlaag opgedrukt kan worden).

Bijlage C2 (onderste figuur) laat voor Run 2 (geen lek in de kleilaag van de boventafel) een nagenoeg identiek verloop zien. Uit dit feit kan worden afgeleid, dat de lekken in de kleilaag van de boventafel van beperkte invloed op het resultaat zijn. Dit is uit de gegevens van Run 1 ook af te leiden, aangezien er geen invloed van deze lekken in Run 1 (bovenste figuur in Bijlage C2) is te constateren.

De resultaten van Run 3 (zie Bijlage C3, bovenste figuur) verschillen ook slechts een beetje van de eerste twee runs. De maximale drukhoogte ligt wat lager. De reden voor het verschil in drukhoogteverschil is, dat door de lagere doorlatendheid van de bovenste filterlaag de drukhoogte in de filterlaag minder hoog wordt. De verschillen tussen boven- en onderkant van de basaltbekleding worden dus ook minder groot. Het is opmerkelijk, dat de drukhoogteverschillen in de ondertafel groter zijn dan in de eerdere runs. Bij het afgaand getij wordt de maximale lengte van $\Delta l = 3,8$ m bereikt waarin het drukhoogteverschil groter dan $\Delta p = 0,82$ m is.

In Bijlage C3 (onderste figuur) is tenslotte het drukhoogteverschil van Run 4 te zien. Het verloop van de curve lijkt over het algemeen op de eerdere runs, behalve dat bij aflopend tij de opgedrukte zone veel groter is. Hieruit kan worden geconcludeerd, dat de lek in de ondertafel duidelijk van invloed is op de mogelijkheid tot afdrukken van de toplaag.

Behalve de drukhoogteverschillen zijn ook de debieten in de infiltratielaag bepaald. In Bijlage C4 zijn voor Runs 1 en 3 de infiltratiesnelheden geplot als functie van de tijd voor de vier knooppunten, waarop de filterlaag op de infiltratieput uitkomt. De twee hoogste waarden worden in het midden van de filterlaag gemeten. De andere twee waarden zijn van de knooppunten die grenzen aan de klei- en basaltlagen. Voor het bepalen van het debiet worden het gemiddelde van de twee middelste knooppunten bepaald. Deze wordt vervolgens in een uurdebiet per strekkende meter omgerekend volgens:

$$Q = \Delta h \times q \times 3600$$

met Q (m^3/uur per strekkende meter) het debiet, Δh (m) de hoogte van de filterlaag, en q (m/s) de gemiddelde snelheid in de filterlaag nabij de infiltratieput.

Voor Run 1 is het gemiddeld debiet $Q = 0,05$ m^3/uur per strekkende meter, met een maximum van $Q = 0,14$ m^3/h per strekkende meter. In Run 3, waar een lagere doorlatendheid van het bovenste deel van de filterlaag is verondersteld, is het debiet ook gelijk aan $Q = 0,05$ m^3/h per strekkende meter. Een maximum van $Q = 0,13$ m^3/uur per strekkende meter wordt bereikt.

3.2.3 Infiltratieproef raai G2

De gebruikte geometrieën voor de infiltratieproeven in raai G2 zijn te zien in Bijlagen D1.

Bijlage D2 (bovenste figuur) laat voor Run 1 de drukhoogteverschillen op de vier tijdstippen zien als functie van de lengte vanaf de teen. Met de interpretatie van de berekening wordt begonnen vanaf de infiltratieput. Vanaf de put naar beneden loopt het drukhoogteverschil sterk op, tot het moment dat de middelste filterlaag wordt bereikt. Op dat punt wordt het grootste drukhoogteverschil bereikt. Op $l = 19,4$ m wordt de grens $\Delta p = 0,82$ m overschreden, boven deze grens kan de basaltlaag worden afgedrukt. De lekken die op $l = 19,5$ m, $l = 15,8$ m en $l = 12,0$ m in de kleilaag van de boventafel zitten zijn in het verloop van het drukhoogteverschil niet waar te nemen. Ook de lekken in de kleilaag van de ondertafel zijn niet te onderscheiden. In het gebied tussen ongeveer $l = 0,0$ m en $l = 10,0$ m is

de invloed van het getij duidelijk zichtbaar. De overgang van het middelste filter naar het onderste filter (op $l = 10,0$ m) is nauwelijks zichtbaar.

De onderste locatie, waarop de grenswaarde $\Delta p = 0,82$ m wordt bereikt, hangt niet af van de getijhoogte.

De lengte waarover het drukhoogteverschil groter dan $\Delta p = 0,82$ m is (dit is de grens waarboven de basaltlaag opgedrukt kan worden) is gelijk aan $\Delta l = 7,5$ m. Deze lengte is een factor 1,4 groter dan in raai G1.

Bijlage D2 (onderste figuur) laat voor Run 2 (geen lek in de kleilaag van de boventafel) een nagenoeg identiek verloop zien. Uit dit feit kan worden afgeleid dat de lekken in de kleilaag van de boventafel niet van invloed op het resultaat zijn. Dit is uit de gegevens van Run 1 ook af te leiden, aangezien er geen invloed van deze lekken in Run 1 (bovenste figuur in Bijlage D2) is te constateren.

Run 3 in Bijlage D3 (bovenste figuur) verschilt aanzienlijk van de eerste twee runs. Het maximale drukhoogteverschil bedraagt $\Delta p = 0,6$ m; dit wordt in de ondertafel bij oplopend tij bereikt. De reden voor deze lage maximale waarde is, dat door de lagere doorlatendheid van de bovenste filterlaag de drukhoogte in de filterlaag nauwelijks oploopt. De verschillen tussen boven- en onderkant van de basaltbekleding worden dus ook minder groot. De grenswaarde voor afdrukken wordt niet bereikt.

In Bijlage D3 (onderste figuur) is tenslotte het drukhoogteverschil van Run 4 te zien. Het verloop van de curve is nagenoeg hetzelfde als in Runs 1 en 2. Hieruit kan worden geconcludeerd dat de lek in de ondertafel niet merkbaar van invloed is op de mogelijkheid tot afdrukken van de toplaat.

Ook voor deze raai zijn de debieten in de infiltratielaag bepaald. In Bijlage D4 zijn voor Runs 1 en 3 de infiltratiesnelheden geplot als functie van de tijd voor de vier knooppunten, waarop de filterlaag op de infiltratieput uitkomt. De twee hoogste waarden worden in het midden van de filterlaag gemeten. De andere twee waarden zijn van de knooppunten die grenzen aan de klei- en basaltlagen. Voor Run 1 is het debiet $Q = 0,32$ m³/uur per strekkende meter met een maximum van $Q = 0,43$ m³/uur per strekkende meter. Run 3, waar een lagere doorlatendheid van het bovenste deel van de filterlaag is verondersteld, heeft een debiet van $Q = 0,14$ m³/uur per strekkende meter met een maximum van $Q = 0,15$ m³/uur per strekkende meter.

4 Discussie en Conclusies

Door middel van berekeningen van onverzadigde stroming in het buitentalud van een dijk te Kruiningen zijn schattingen van de drukopbouw in de filterlaag onder de basaltbekleding gemaakt. De geometrie en materiaalparameters zijn eerst geijkt aan de hand van getijmetingen in twee verschillende raaien. De toegepaste vereenvoudigde relaties tussen vochtgehalte en drukhoogte en doorlatendheid en drukhoogte blijken goed geschikt voor het uitvoeren van deze ijking. De berekeningen kunnen namelijk goed worden gefit aan het tijdsafhankelijk verloop van de gemeten drukhoogten in de filterlaag. Alleen het leeglopen van de filterlaag bij aflopend tij blijft enigszins achter op de meetresultaten. Dit verschil is echter klein genoeg om met de verkregen materiaalparameters betrouwbare schattingen te maken van de uit te voeren infiltratieproef.

Vervolgens is ook de infiltratieproef gesimuleerd voor beide raaien. De berekeningen geven een goed beeld van de optredende mechanismen. Het maatgevend mechanisme blijkt te zijn de opstuwing bij de overgang van een goed naar een minder goed doorlatend filter. Dit wordt bij beide berekeningen gevonden.

Uit alle vier berekeningen van raai G1 volgt dat er overdruk aanwezig is. Bij raai G2 is er in één berekening sprake van onvoldoende overdruk. Dit is de situatie dat er praktisch geen verschil is in de doorlatendheid van de filterlaag.

Bij de beste schatting (run 1 van de predictieberekeningen) is de verandering van de drukhoogte in de filterlaag ongeveer 0,15 m/m. Dit is minder dan de verandering van de plaatshoogte (ongeveer 1:3,5). Dit wordt bij beide meetraaien gevonden en is blijkbaar onafhankelijk van de situatie bij de ondertafel. De grootste overdruk wordt gevonden op de overgang naar een minder doorlatend filter. Bij de lage infiltratiesloot is dit de overgang van het middengedeelte van de filterlaag naar het onderste deel van de filterlaag. De grootste overdruk treedt dan op bij ongeveer NAP + 1,8 m. Bij de hoge infiltratiesloot is dit de overgang van het hooggelegen gedeelte van de filterlaag naar het middengedeelte. De grootste overdruk treedt dan op bij ongeveer NAP + 3,0 m. De echte plaats hangt af van de werkelijke plaats van de overgang en is dus niet nauwkeurig bekend.

Bij de berekening voor raai G2 (dit is de berekening met de bodemopbouw voor de lage basalt) wordt de tussenliggende sprong in doorlatendheid filterlaag (op ongeveer NAP + 1 m) niet teruggevonden in de drukhoogteverschillen.

De drukhoogteverschillen tussen de boven- en onderkant van de basaltbekleding zijn voor raai G1 over een lengte van ongeveer 5,3 m en voor raai G2 over 7,5 m groter dan het gewicht van de basaltbekleding ($\Delta p \geq 0,82$ m). De maximale verschillen worden verwacht op de locatie waar de filterlaag minder doorlatend wordt, ten opzichte van het bovenste deel van de filterlaag. Met name in het gebied boven deze overgang in doorlatendheid zijn de drukhoogteverschillen boven de grenswaarde van $\Delta p = 0,82$ m.

De afstand over het talud waarover opdrukken optreedt is niet erg gevoelig voor de (in)homogeniteit van de kleilaag onder de filterlaag. Wel van belang is de doorlatendheid van de filterlaag. In de berekening

van de taludlengten is deze doorlatendheid op $K = 5,0 \times 10^{-2}$ m/s gesteld. In raai G1 neemt de lengte waarin opdrukken kan optreden af tot ongeveer 4,2 m in het geval, dat de filterlaag een orde minder doorlatend is ($K = 5,0 \times 10^{-3}$ m/s). In raai G2 bereiken onder deze omstandigheden de maximale drukhoogteverschillen de grenswaarde van $\Delta p = 0,82$ m voor opdrukken geheel niet. Naar verwachting zullen ook mogelijke doorlatende delen in de basaltbekleding in of boven het gebied waarin opdrukken optreedt, dit gebied verkleinen. De gemiddelde infiltratiedebieten zijn van orde grootte 0,05 tot 0,32 m³/h per strekkende meter, afhankelijk van de doorlatendheid van de filterlaag en de betreffende raai.

Tenslotte wordt opgemerkt, dat in de berekeningen de drukafhankelijkheid van het vochtgehalte van de filterlaag bij positieve druk is verwaarloosd. De drukhoogteverschillen die in deze berekeningen zijn verkregen dienen gezien te worden als maximale schattingen. De afname van de drukhoogteverschillen, die gedurende het opdrukproces onvermijdelijk zal optreden, kan er toe leiden dat de vervormingen van de top laag klein blijven.

Na het uitvoeren van de berekeningen is gebleken dat bij de voorspelling van de waterdrukken tijdens de infiltratieproef de hoogte van de infiltratiesloot bij raai G1 en G2 verwisseld zijn. De vermelde resultaten in paragraaf 3.2 en dit hoofdstuk zijn dus voor de situatie met een infiltratiesloot op een andere hoogte dan voorzien tijdens de infiltratieproef. Uit de resultaten blijkt dat deze omwisseling geen invloed heeft op de feitelijke conclusies, namelijk dat er voldoende drukopbouw plaatsvindt en dat de plaats van de grootste overdruk verwacht wordt op een plaats waar de filterlaag minder doorlatendheid wordt.

Referenties

[GeoDelft, 2001]

Materiaalparameters voor ontwerpmodel grondwaterstroming, CO-710201/58, GeoDelft, opgesteld door C.A. Schoofs, augustus 2001.

[Tindall and Kunkel, 1999]

Unsaturated zone hydrology for scientists and engineers, Prentice Hall, London, U.K., 624 pp., 1999.

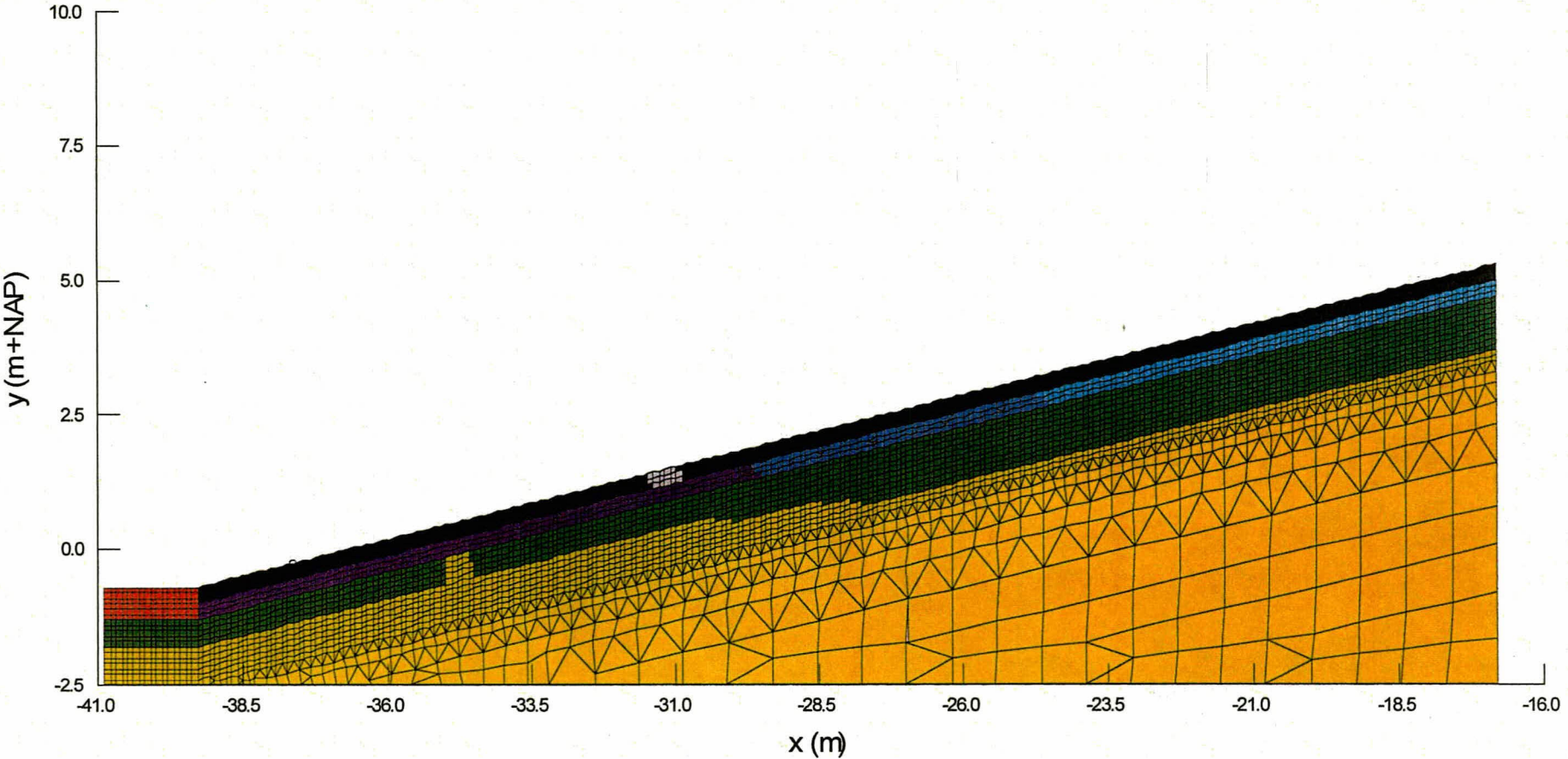
BIJLAGEN

Bijlage A1 Geometrie en elementengrid raai G1



Postbus 69,
2600 AB DELFT

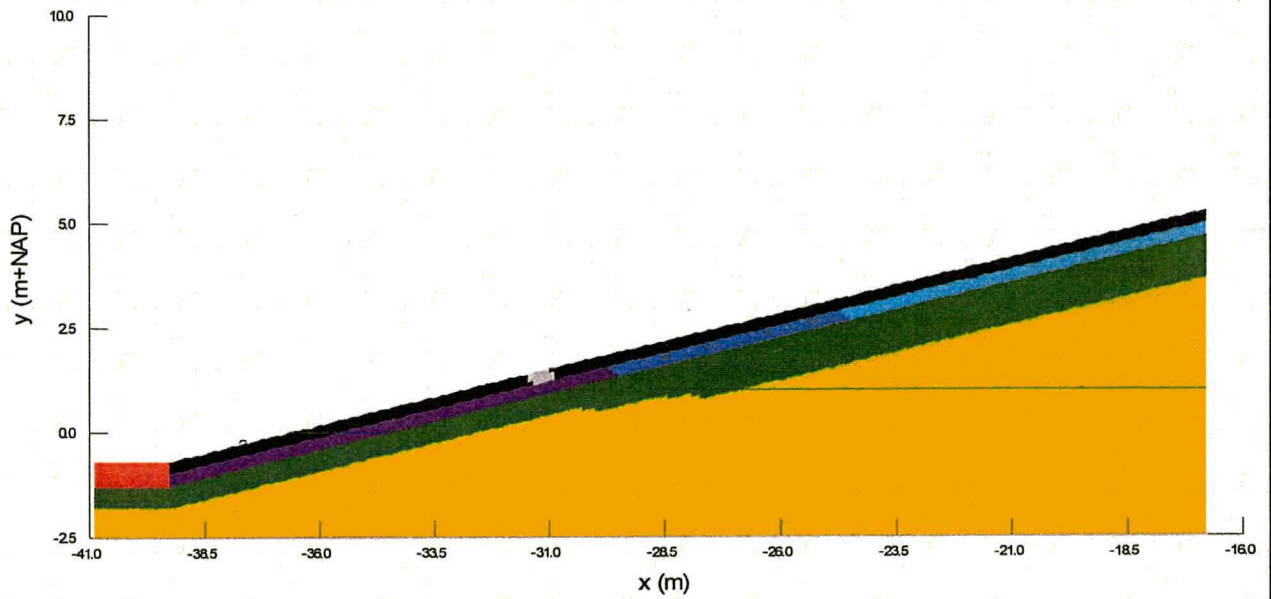
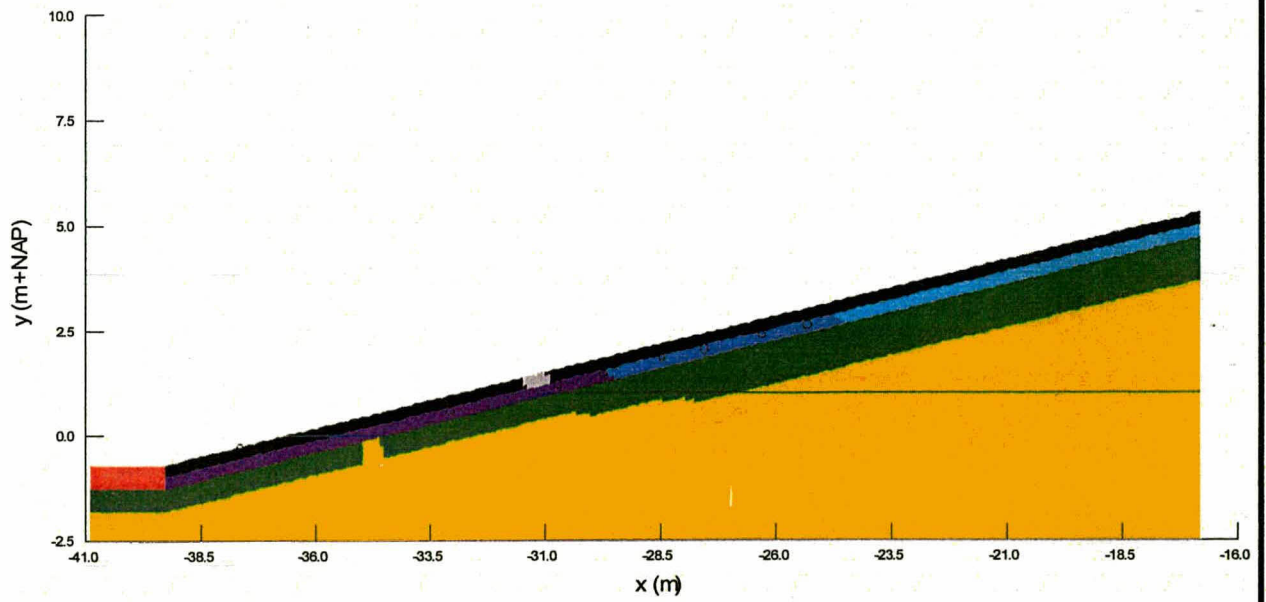
Telefoon (015) 269 35 00
Telefax (015) 261 08 21



LEGENDA

- basaltlaag, relatief ondoorlatend
- basaltlaag, relatief doorlatend
- zand
- klei
- filterlaag, goed doorlatend
- filterlaag, minder goed doorlatend
- filterlaag, slecht doorlatend
- weerstandlaag (kreukelberrn)

CO - 400970	Datum	2001-8-6	get.	Sfs
	BIL. A1		gez.	A4



Postbus 69,
2600 AB DELFT

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

datum

2001/08/06

get.

Sfs

Boven: best fit

Onder: kleilaag dicht

Bijlage A2 Geometrie en Initiele Conditie raai G1

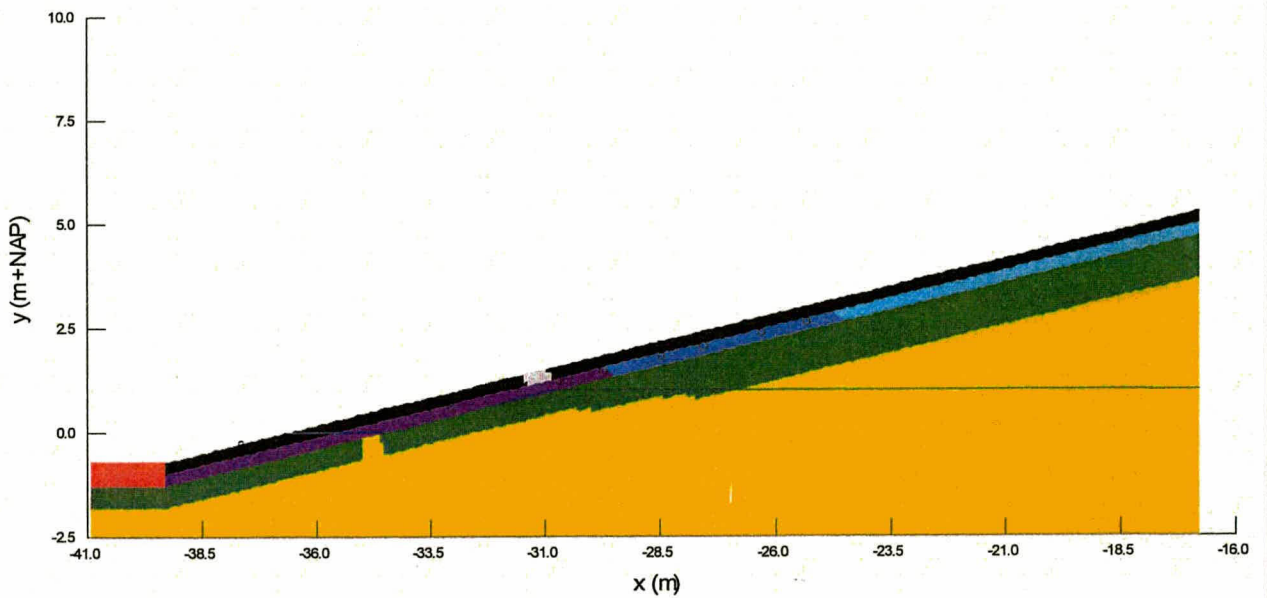
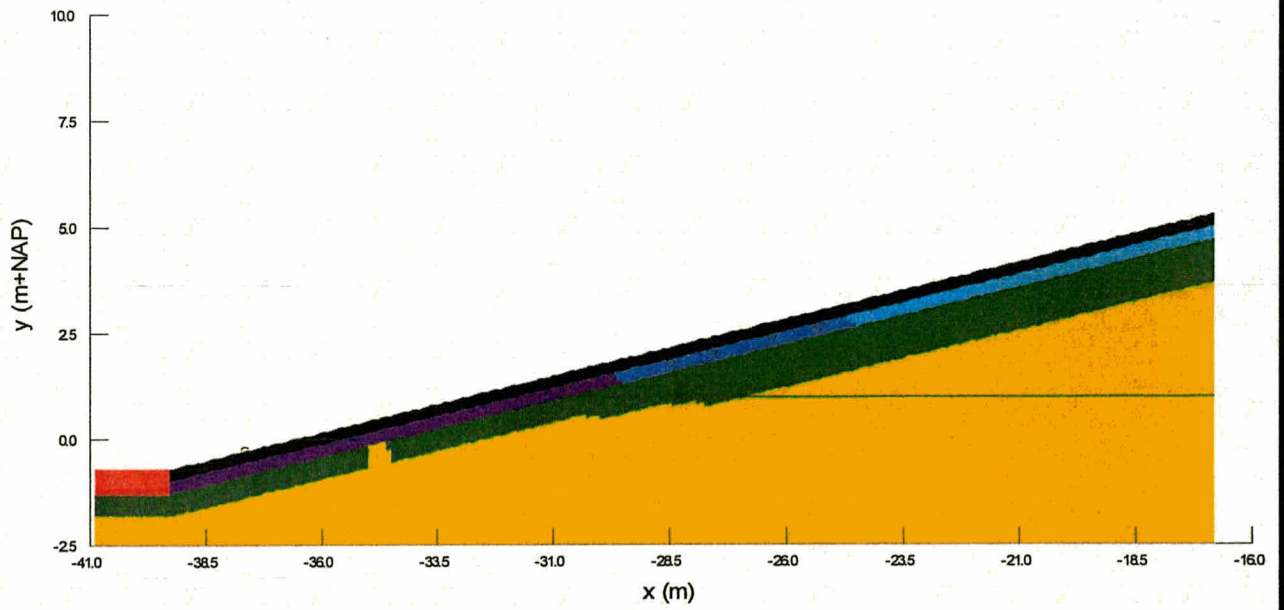
CO - 400970

gez.

BIJL. A2

form.

A4



Postbus 69,
2600 AB DELFT

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

datum
2001/08/06

get.
Sfs

Boven: basaltlaag homogeen

Onder: filterlaag 10x minder doorlatend

CO - 400970

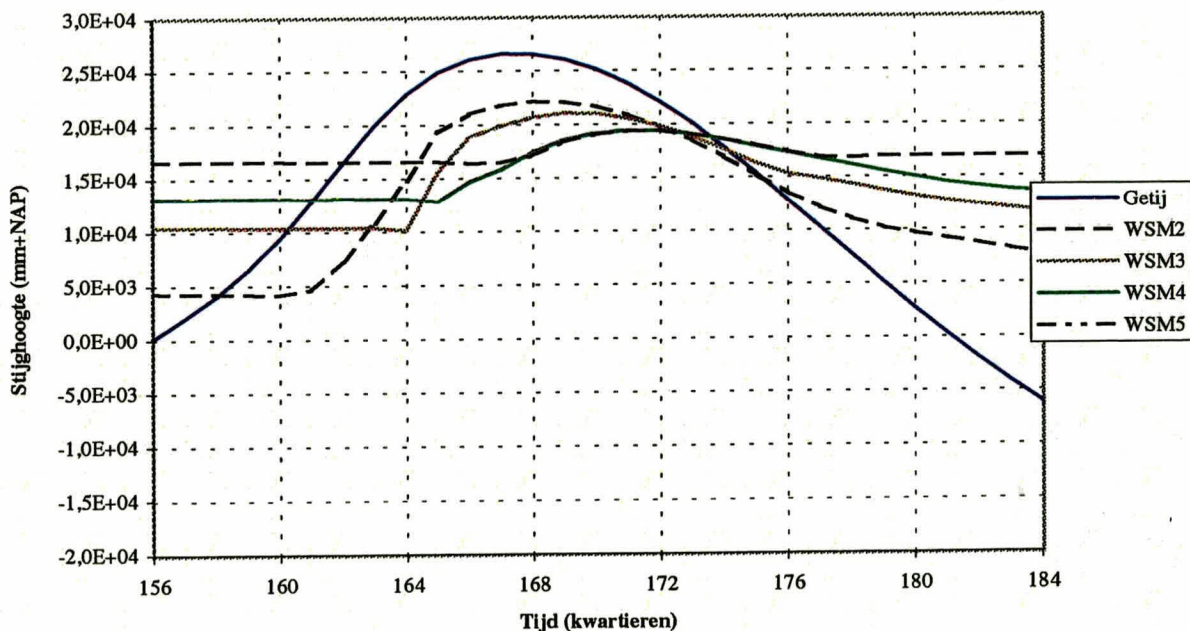
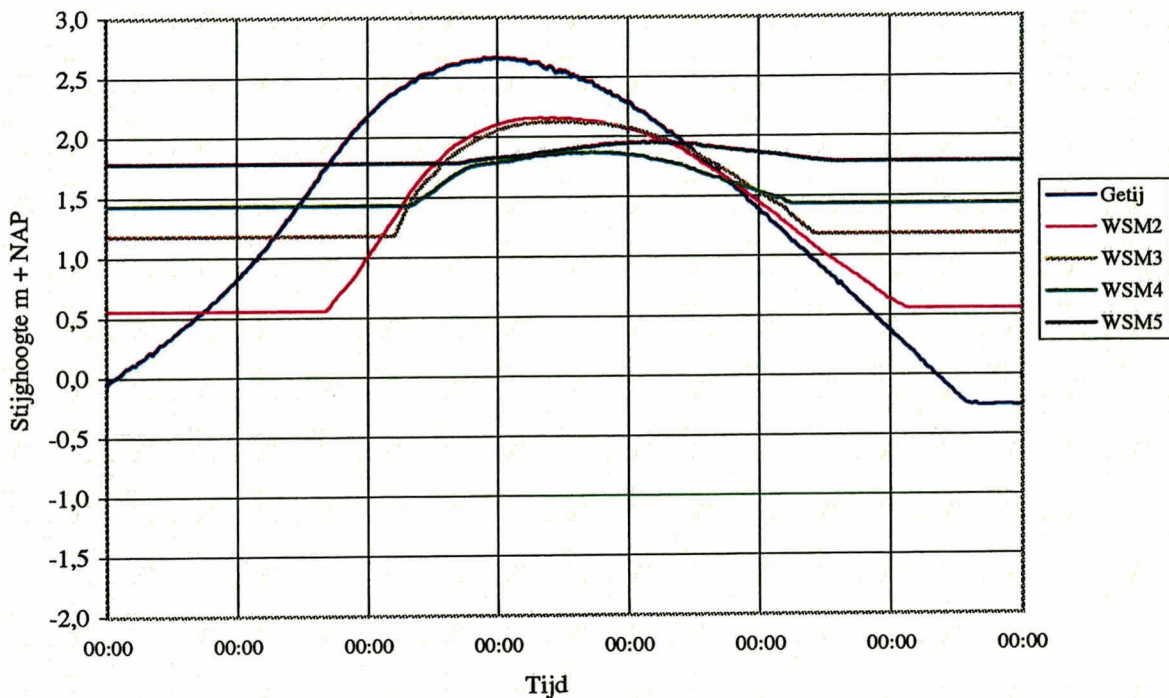
gez.

Bijlage A3 Geometrie en Initiele Conditie raai G1

BIJL. A3

form.
A4

Stijghoogteverloop Inkelenpolder, raai G1



Postbus 69,
2600 AB DELFT

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

datum
2001-08-06

get.
Sfs
gez.

Boven: getijmeting

Onder: getijberekening best fit

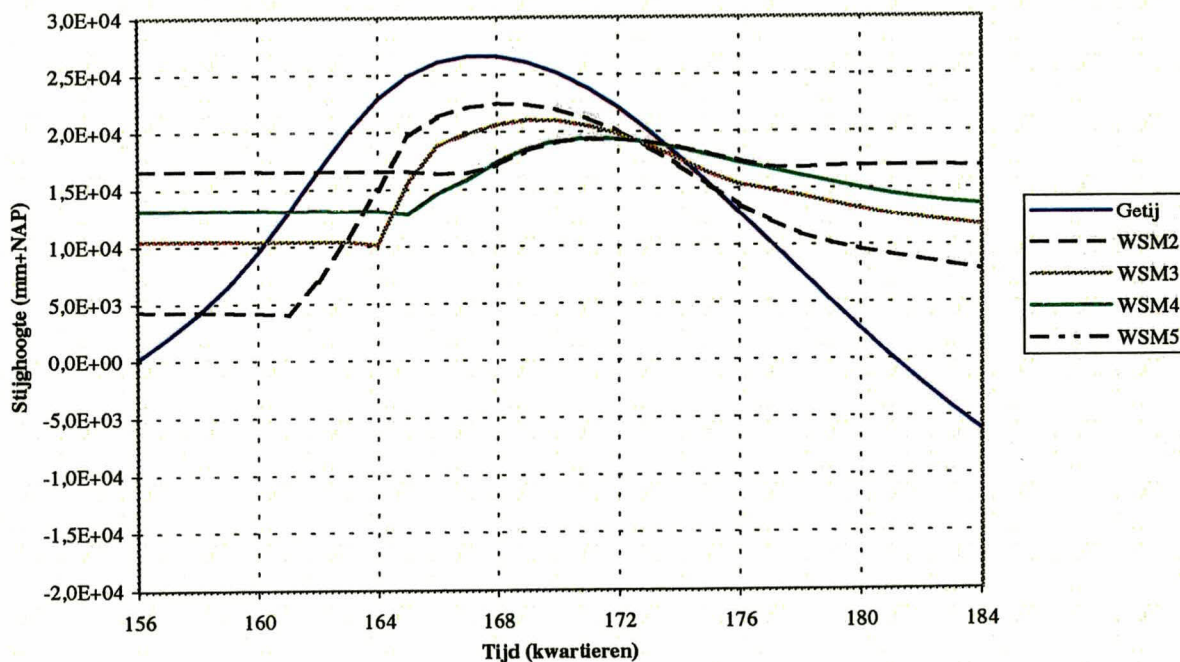
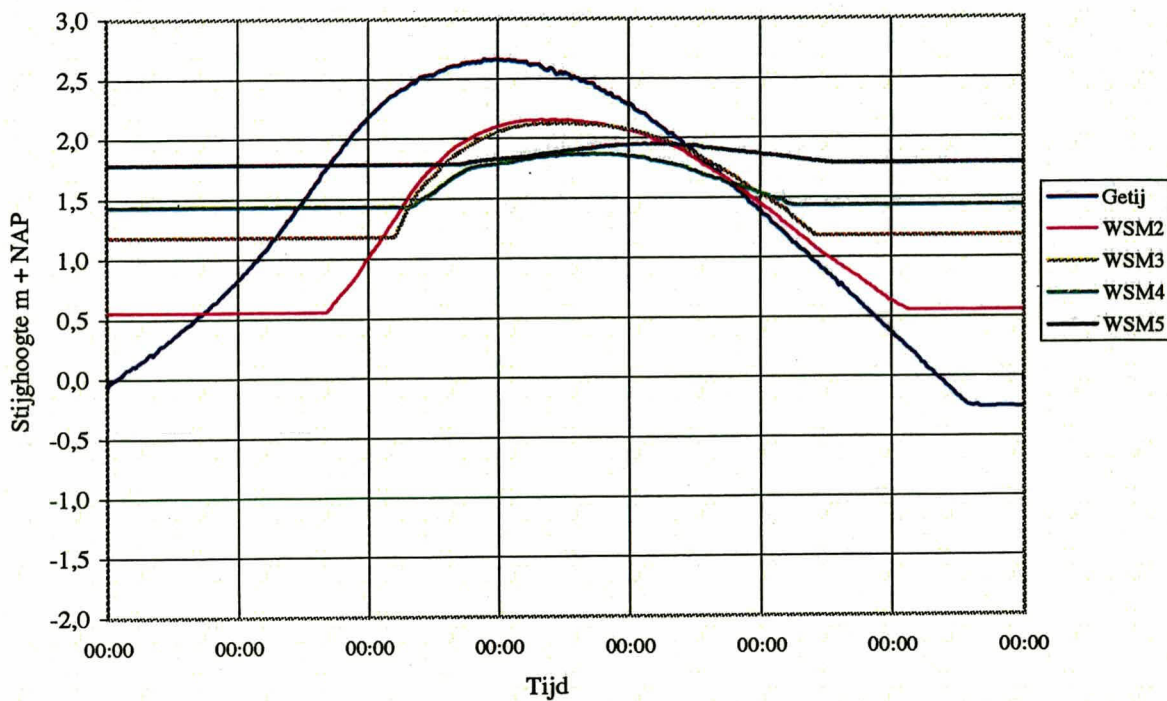
Bijlage A4 Getijmeting, Stijghoogteverloop Raai 1

CO - 400970

BIJL. A4

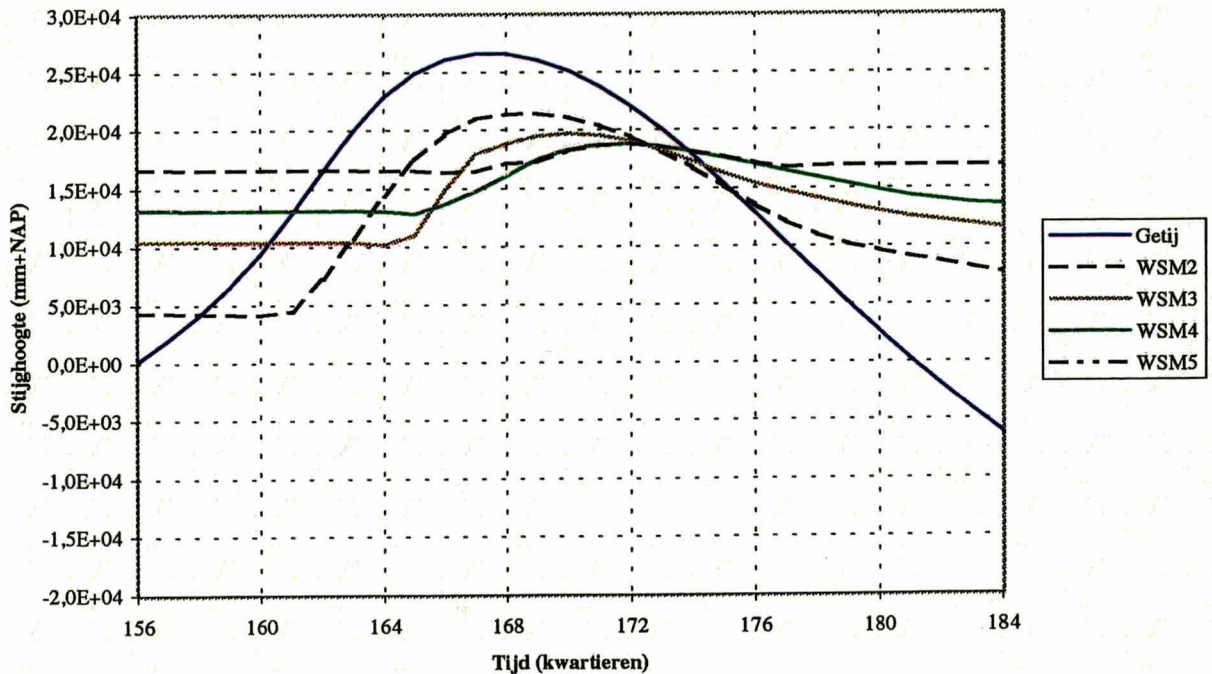
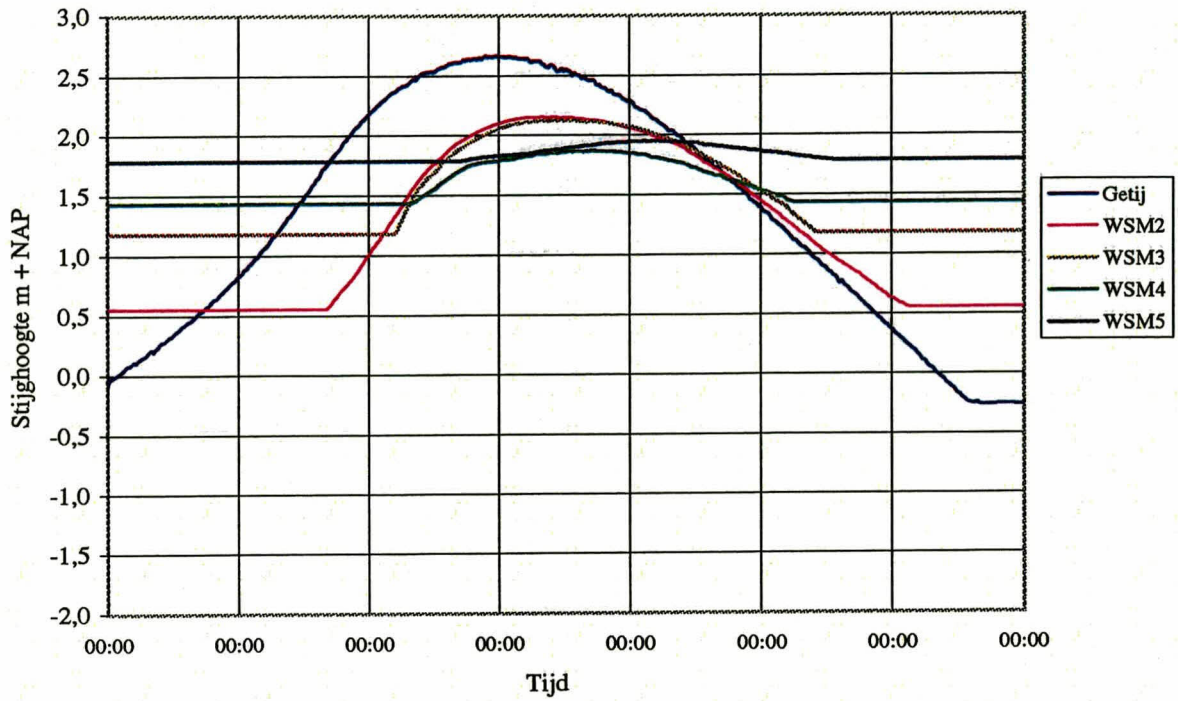
form.
A4

Stijghoogteverloop Inkelenpolder, raai G1



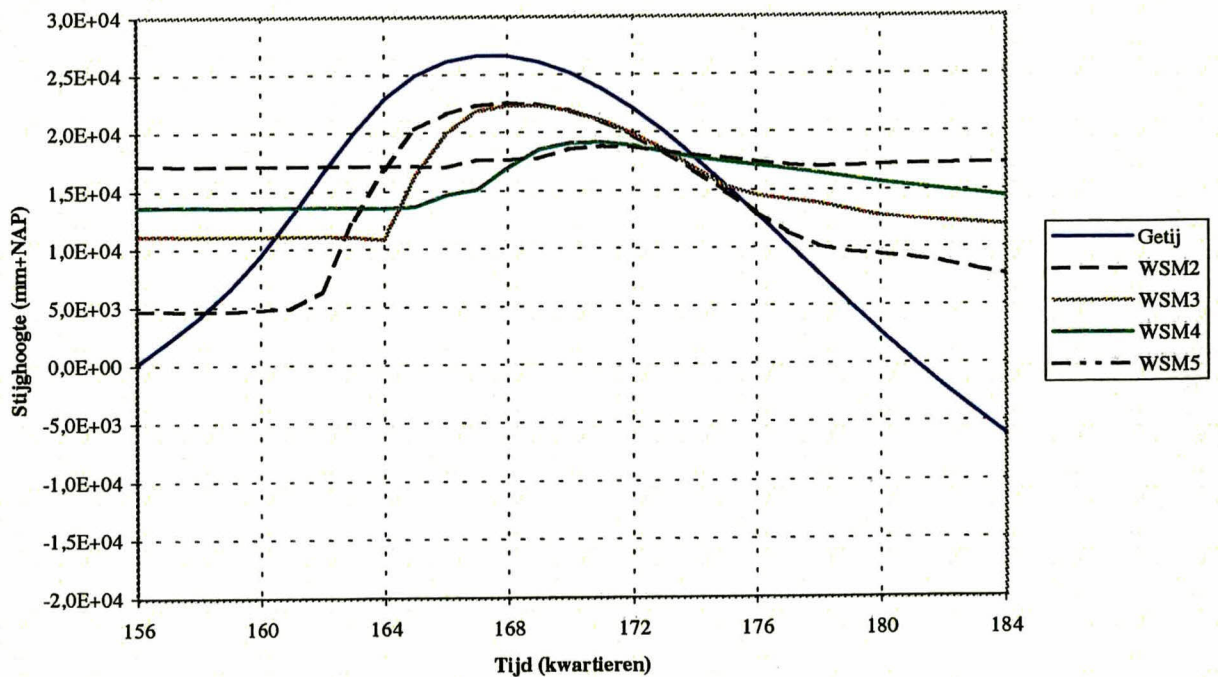
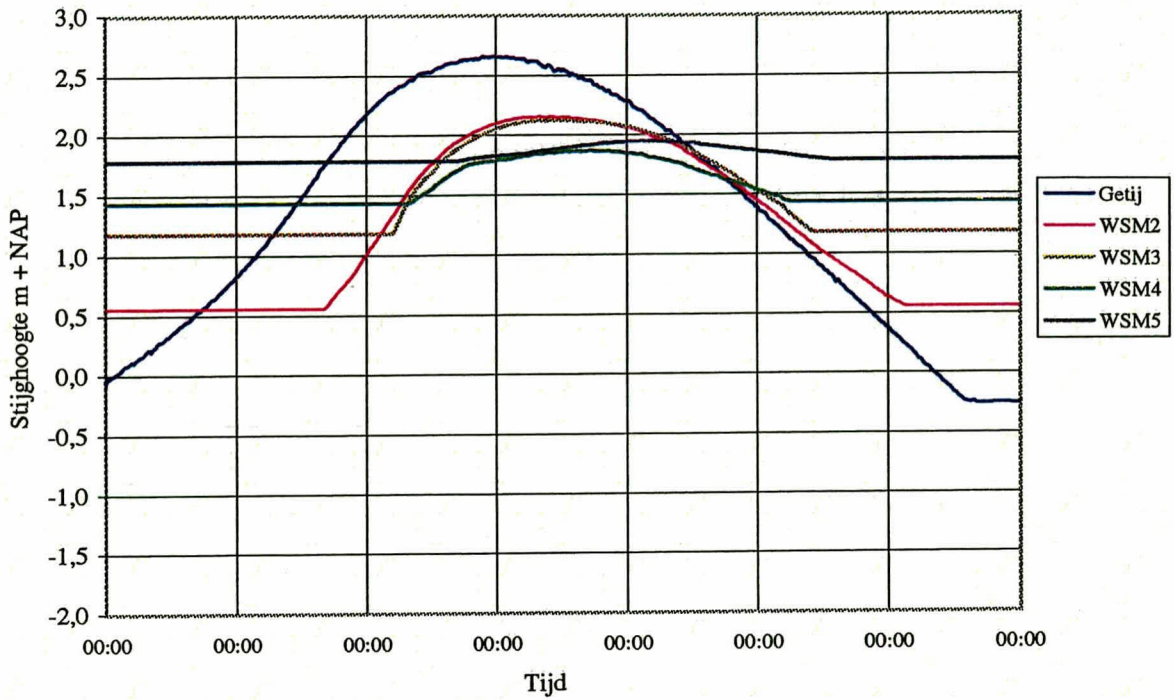
	Postbus 69, 2600 AB DELFT	Telefoon (015) 269 35 00 Telefax (015) 261 08 21	datum	get.
			2001-08-06	Sfs
Boven: getijmeting Onder: getijberekening kleilaag dicht Bijlage A5 Getijmeting, Stijghoogteverloop Raai 1			CO - 400970	gez.
			BIJL. A5	form. A4

Stijghoogteverloop Inkelenpolder, raai G1



 Postbus 69, 2600 AB DELFT	Telefoon (015) 269 35 00 Telefax (015) 261 08 21	datum	get.
		2001-08-06	Sfs
Boven: getijmeting Onder: getijberekening basaltlaag homogeen Bijlage A6 Getijmeting, Stijghoogteverloop Raai 1		CO - 400970	gez.
		BIJL. A6	form. A4

Stijghoogteverloop Inkelenpolder, raai G1



Postbus 69,
2600 AB DELFT

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

datum
2001-08-06

get.
Sfs

Boven: getijmeting

Onder: getijberekening filterlaag 10x minder doorlatend

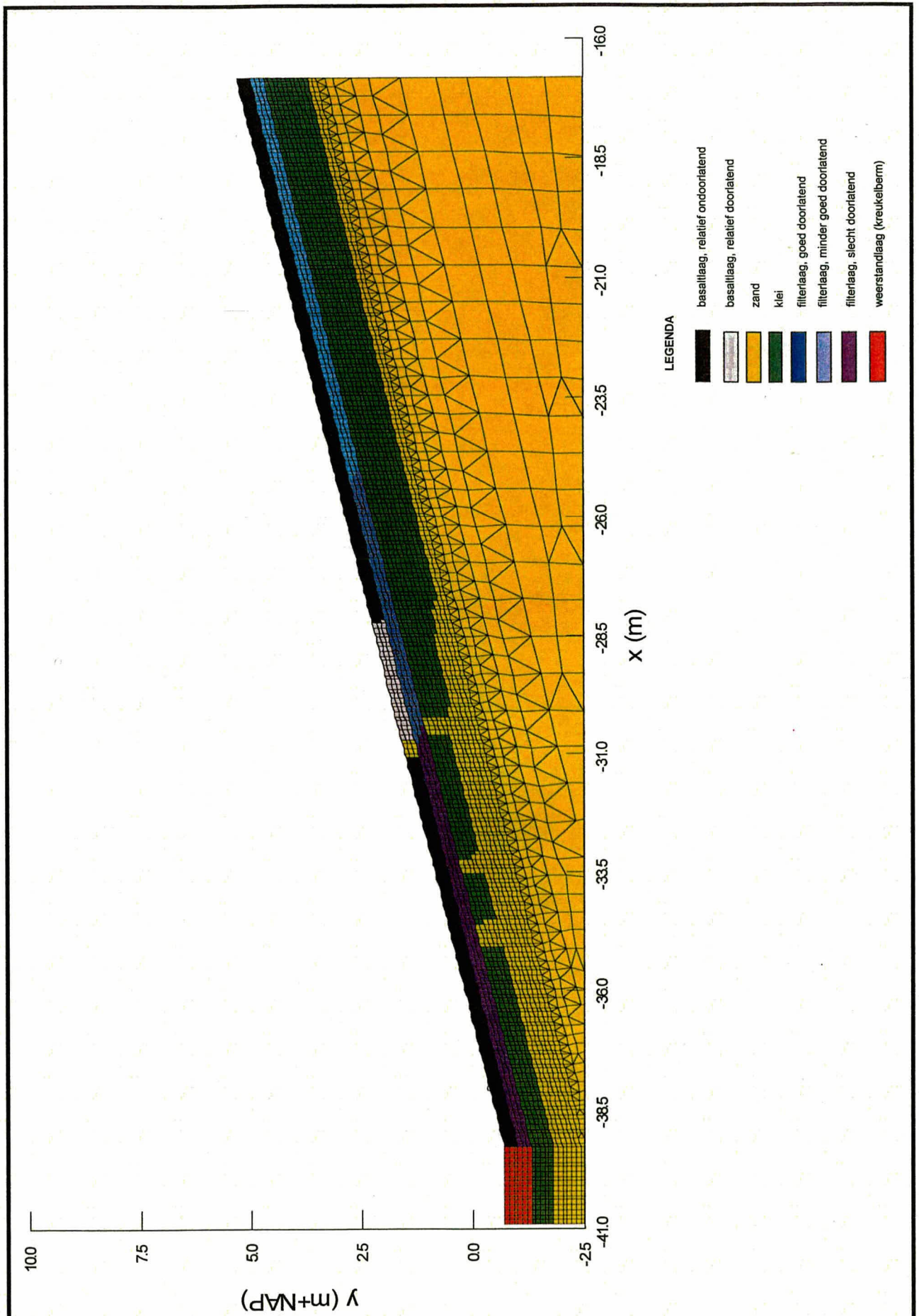
Bijlage A7 Getijmeting, Stijghoogteverloop Raai 1

CO - 400970

gez.

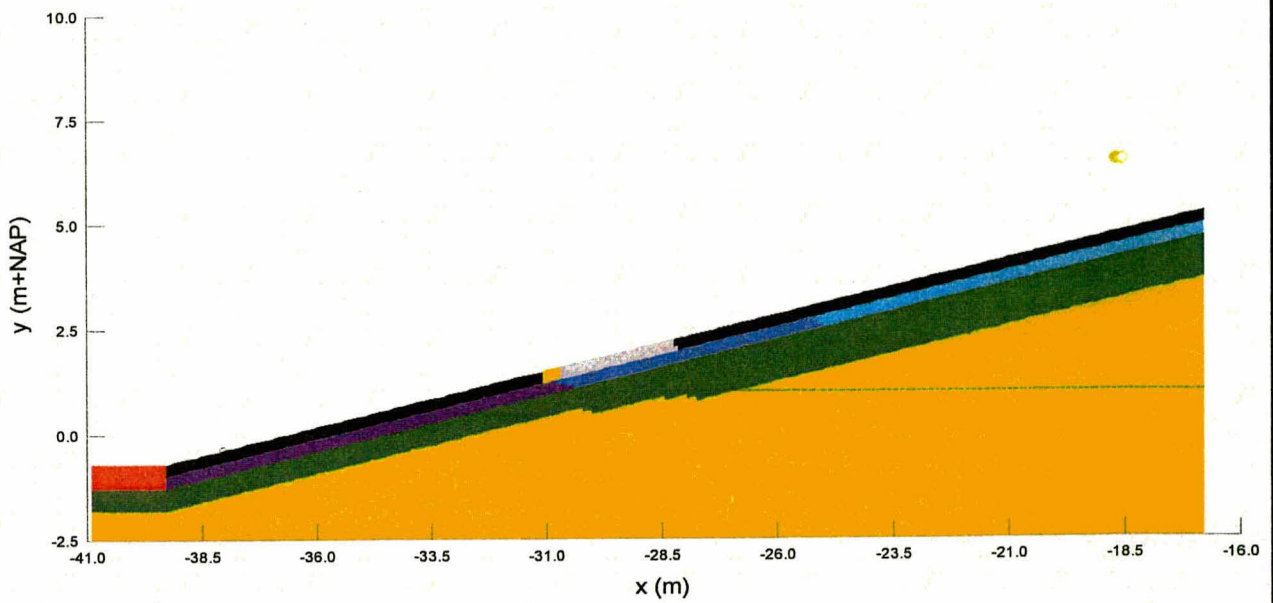
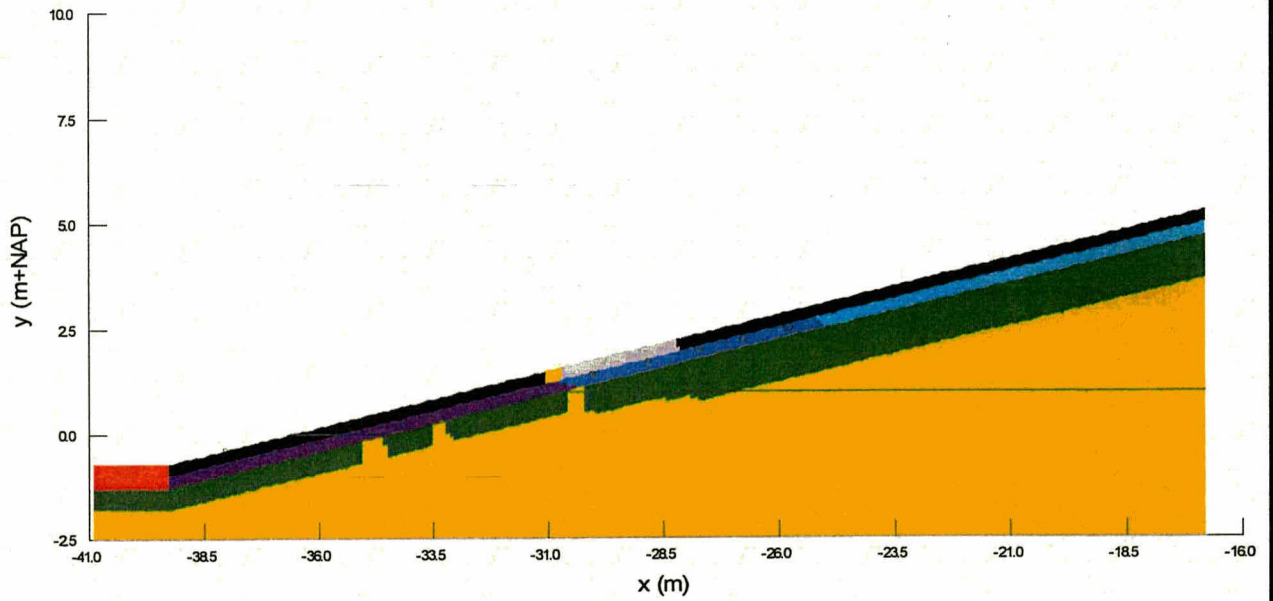
BIJL. A7

form.
A4



- LEGENDA**
- basaltlaag, relatief ondoorlatend
 - basaltlaag, relatief doorlatend
 - zand
 - klei
 - filterlaag, goed doorlatend
 - filterlaag, minder goed doorlatend
 - filterlaag, slecht doorlatend
 - weerstandslaag (kreukelberm)

	Postbus 69, 2600 AB DELFT	Telefoon (015) 269 35 00 Telefax (015) 261 08 21	Datum 2001-8-6	get. Sfs
	Bijlage B1 Geometrie en elementengrid raai G2			CO - 400970
			BIJL. B1	form. A4



Postbus 69,
2600 AB DELFT

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

datum
2001/08/06

get.
Sfs

Boven: best fit

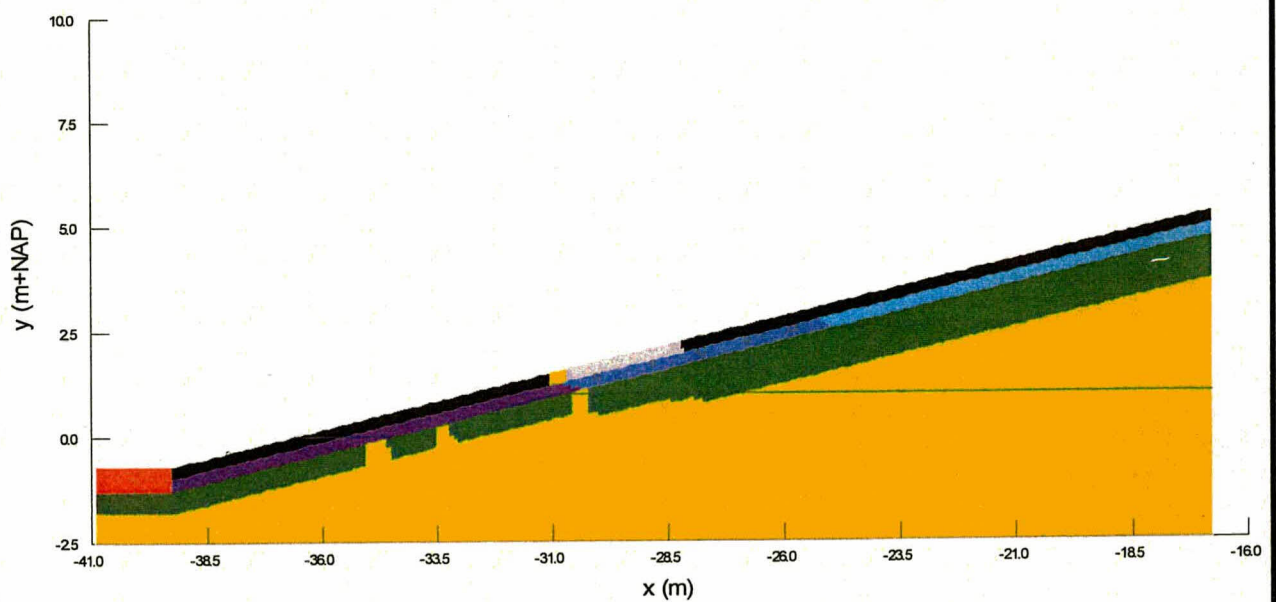
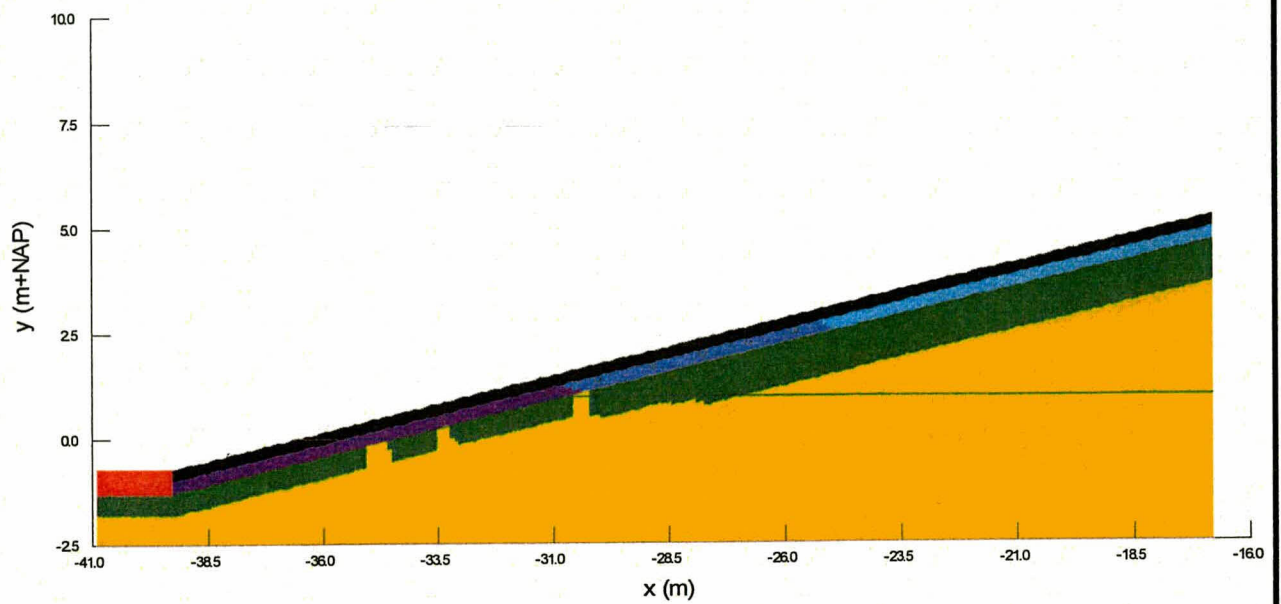
Onder: kleilaag dicht

Bijlage B2 Geometrie en Initiele Conditie raai G2

gez.
CO - 400970

form.
BIJL. B2

form.
A4



Postbus 69,
2600 AB DELFT

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

datum
2001/08/06

get.
Sfs

Boven: basaltlaag homogeen

Onder: filterlaag 10x minder doorlatend

CO - 400970

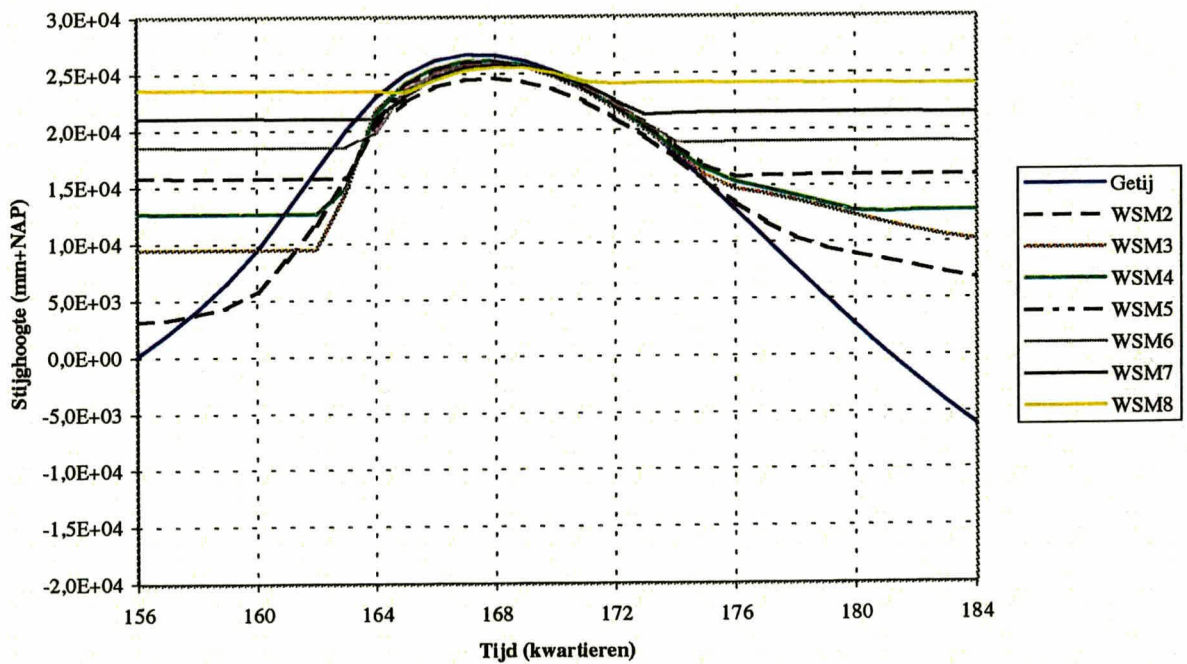
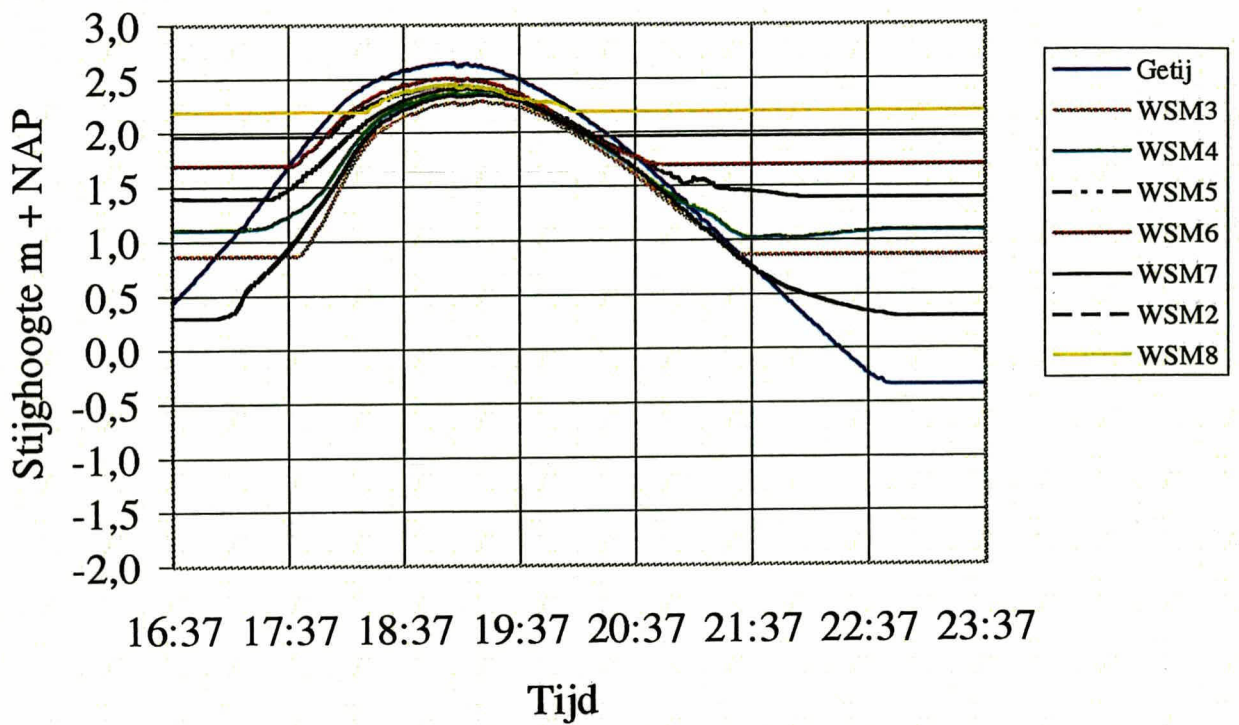
gez.

Bijlage B3 Geometrie en Initiele Conditie raai G2

BIJL. B3

form.
A4

Stijghoogteverloop Inkelenpolder raai G2



Postbus 69,
2600 AB DELFT

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

datum
2001-08-06

get.
Sfs

Boven: getijmeting

CO - 400970

gez.

Onder: getijberekening best fit

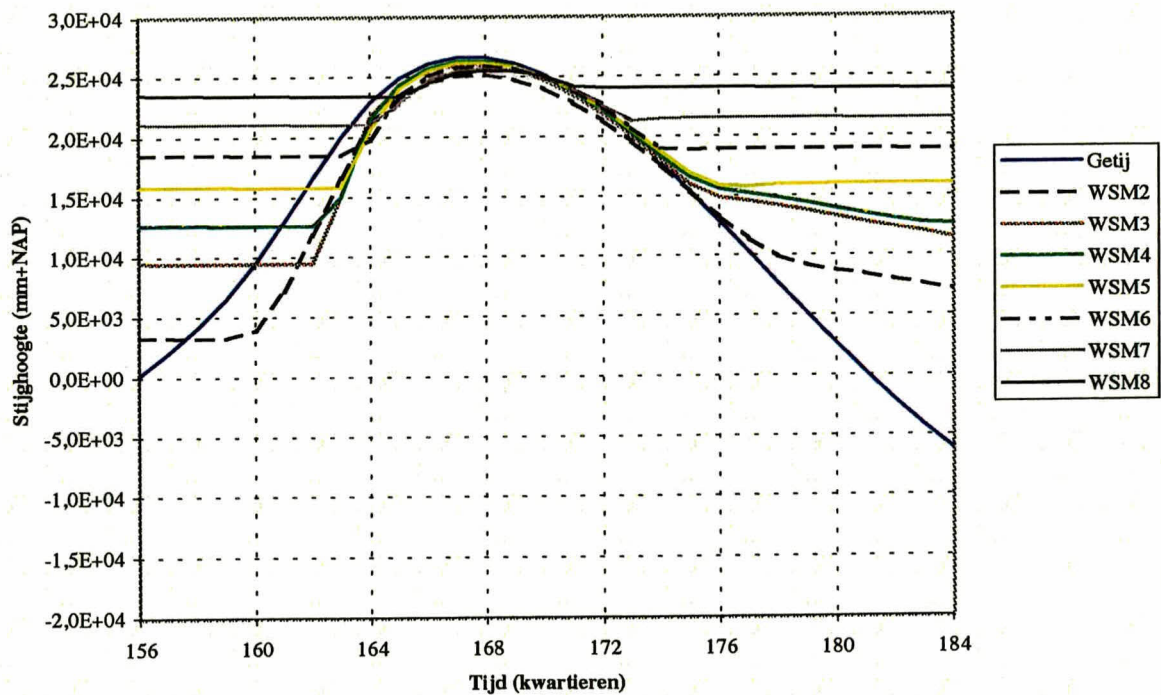
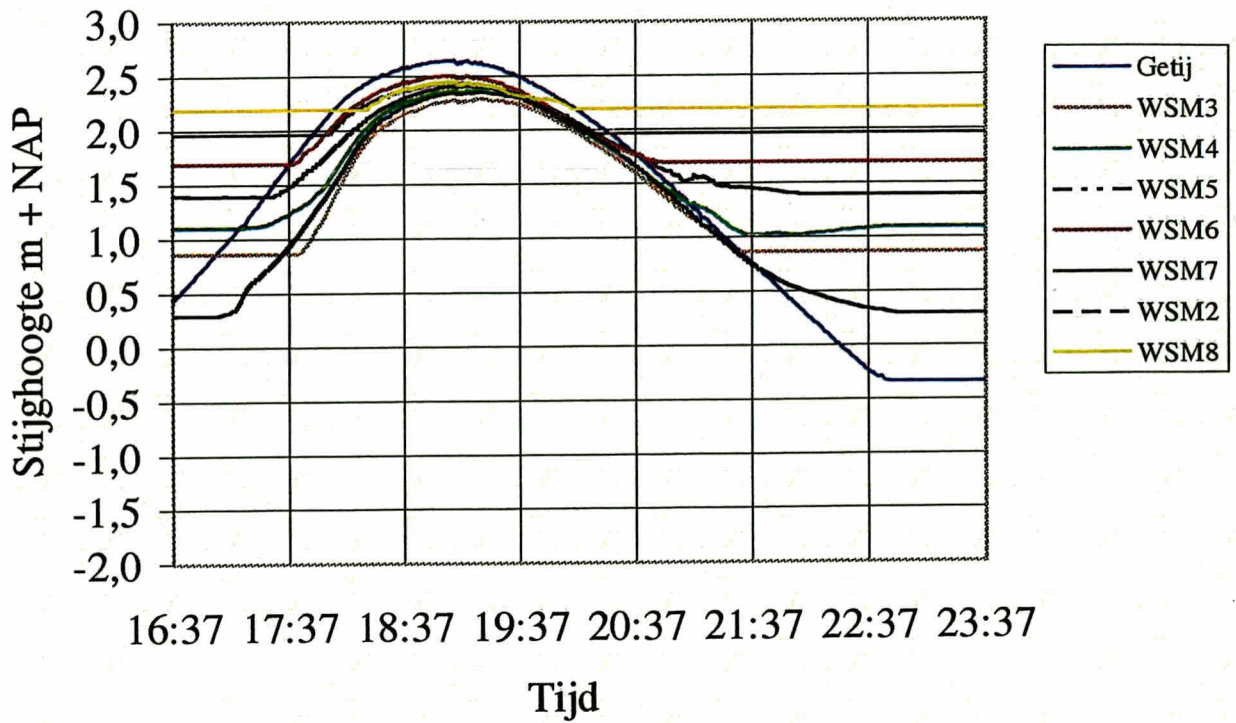
BIJL. B4

form.

Bijlage B4 Getijmeting, stijghoogteverloop raai G2

A4

Stijghoogteverloop Inkelenpolder raai G2



Postbus 69,
2600 AB DELFT

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

datum
2001-08-06

get.
Sfs

Boven: getijmeting

Onder: getijberekening kleilaag dicht

Bijlage B5 Getijmeting, stijghoogteverloop raai G2

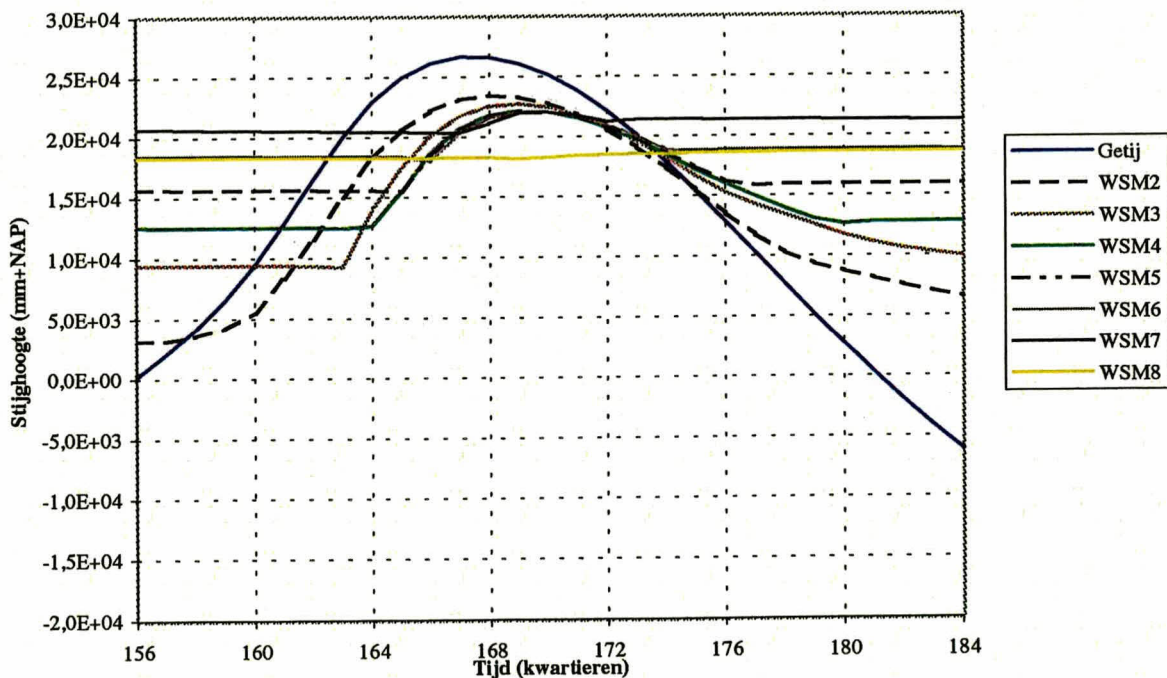
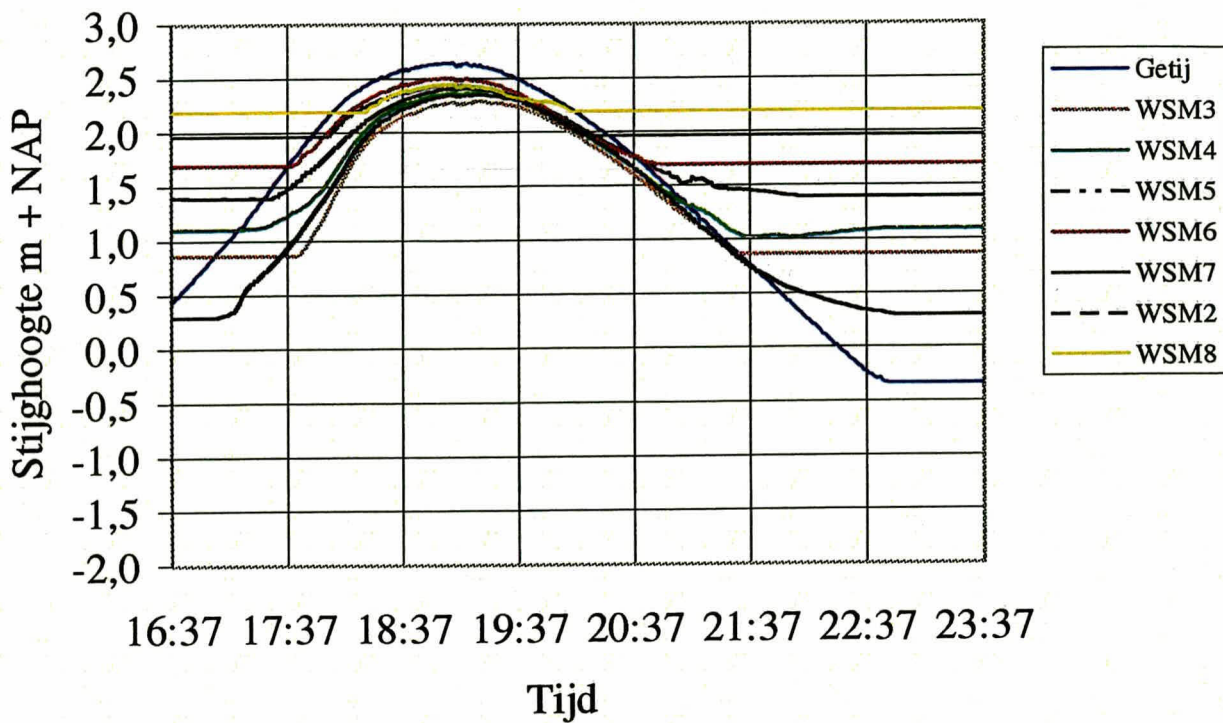
CO - 400970

gez.

BIJL. B5

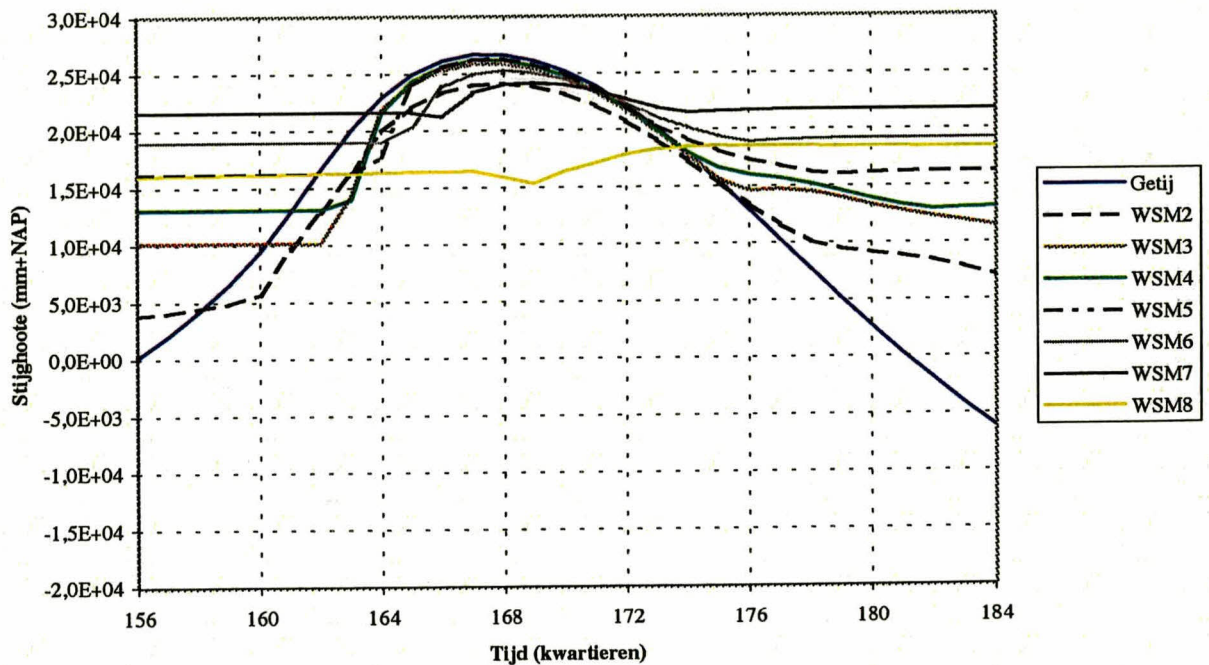
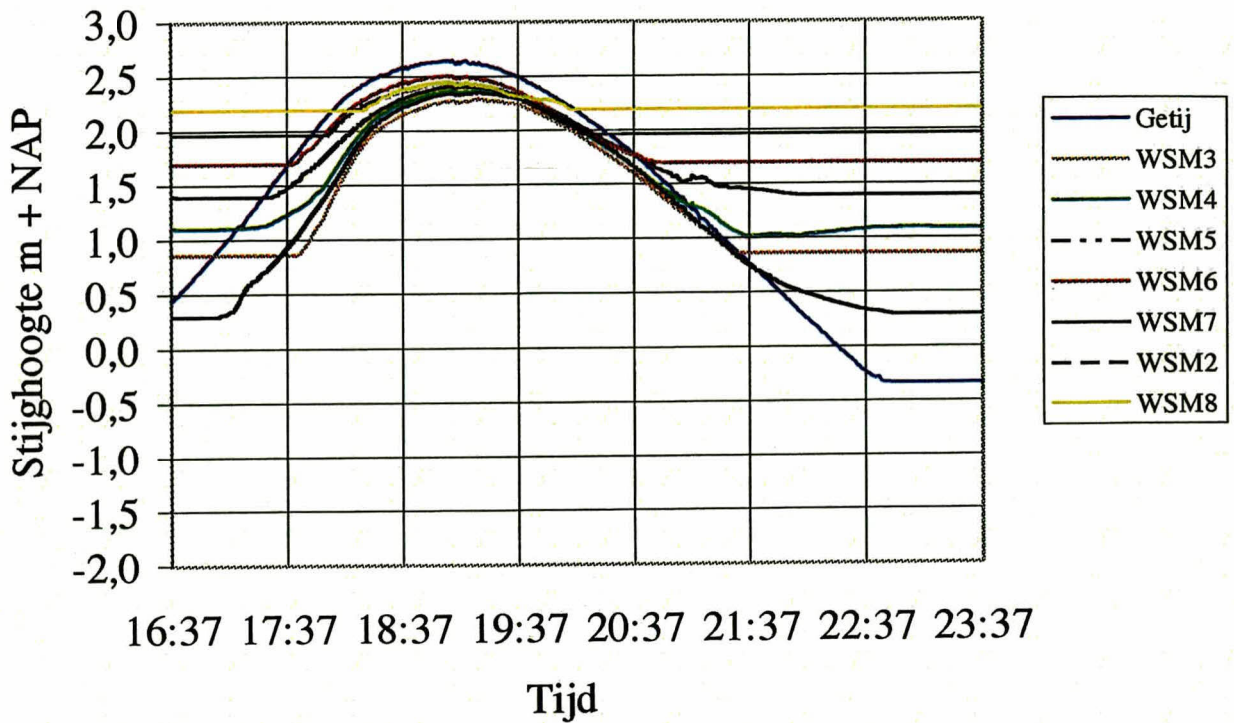
form.
A4

Stijghoogteverloop Inkelenpolder raai G2



	Postbus 69, 2600 AB DELFT	Telefoon (015) 269 35 00 Telefax (015) 261 08 21	datum	get.
			2001-08-06	Sfs
Boven: getijmeting Onder: getijberekening basaltlaag homogeen Bijlage B6 Getijmeting, stijghoogteverloop raai G2			CO - 400970	gez.
			BIJL. B6	form. A4

Stijghoogteverloop Inkelenpolder raai G2



Postbus 69,
2600 AB DELFT

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

datum
2001-08-06

get.
Sfs

Boven: getijmeting

CO - 400970

gez.

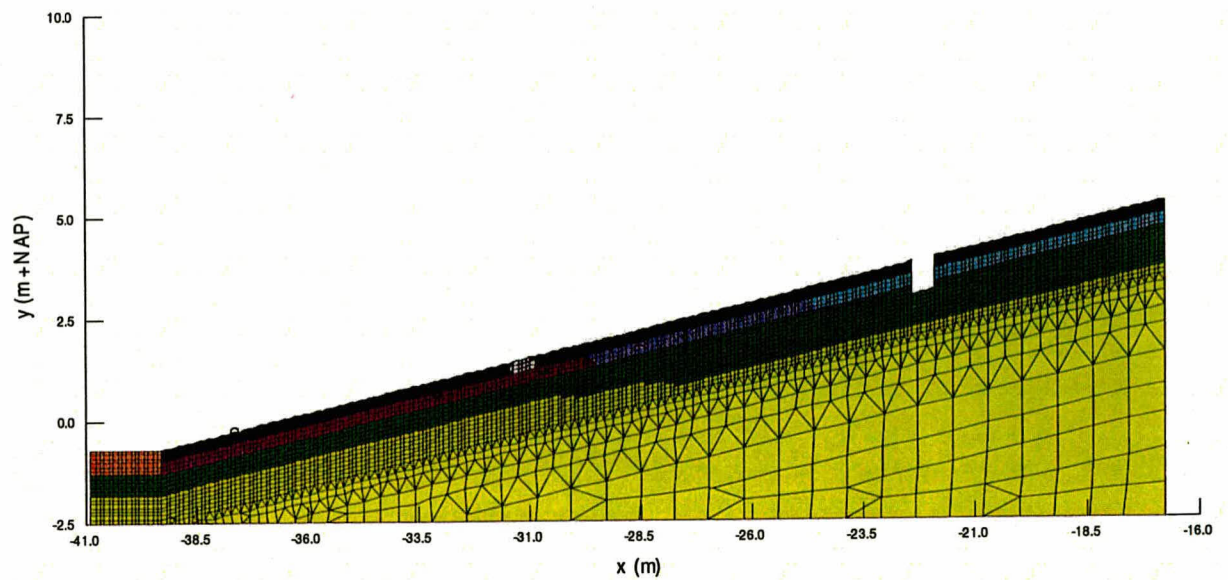
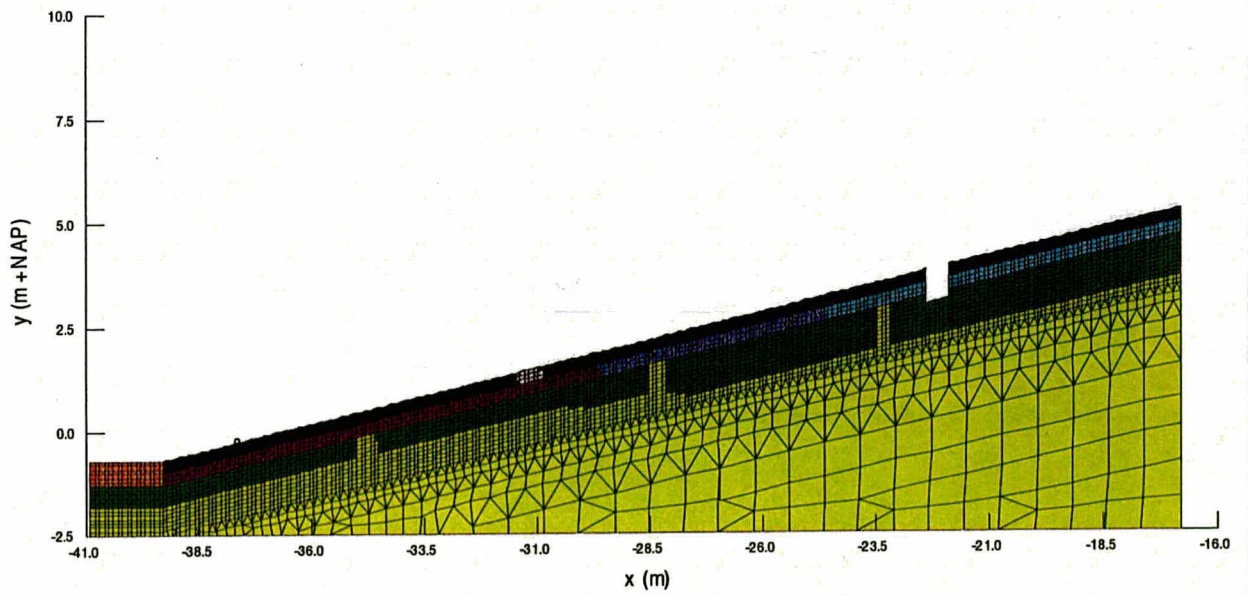
Onder: getijberekening filterlaag 10x minder doorlatend

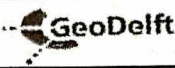
BIJL. B7

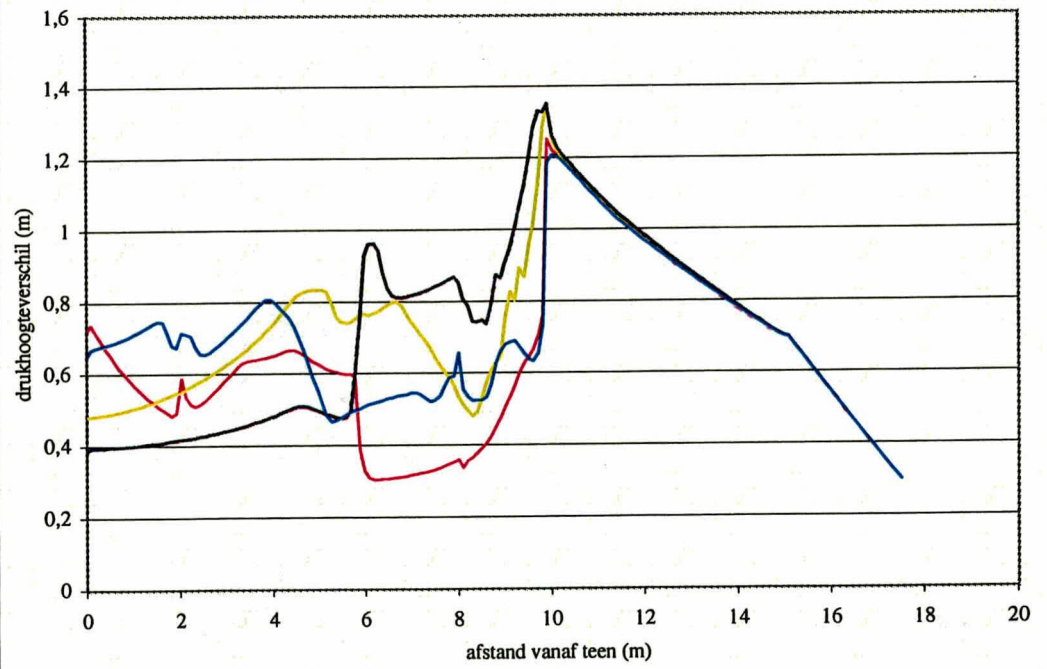
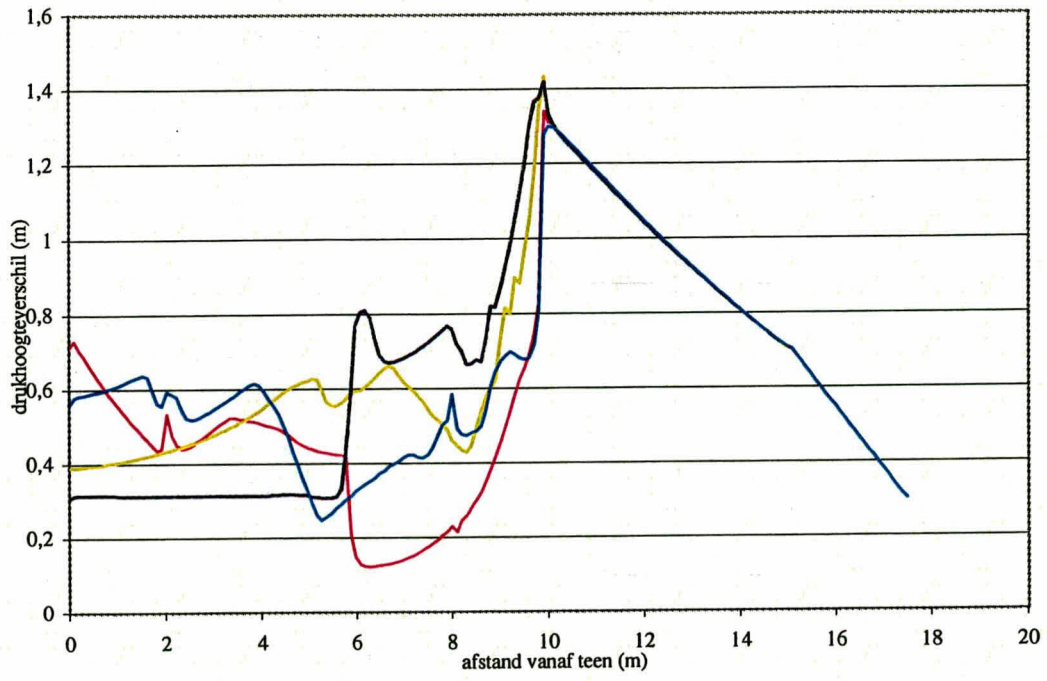
form.


Bijlage B7 Getijmeting, stijghoogteverloop raai G2

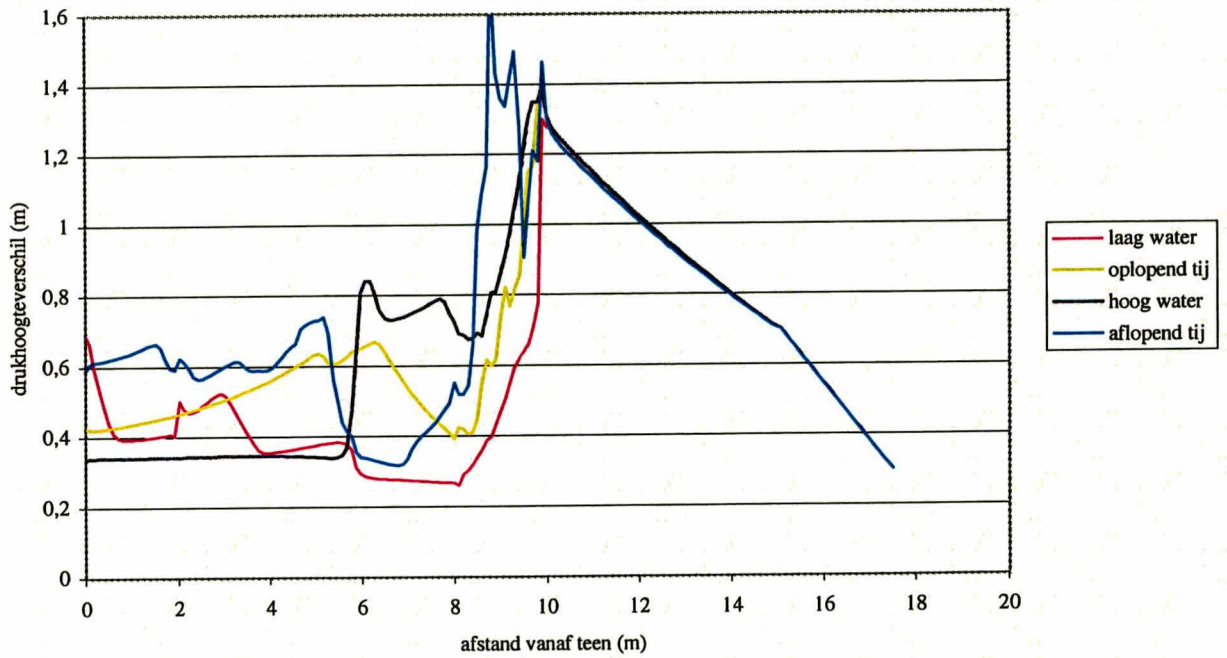
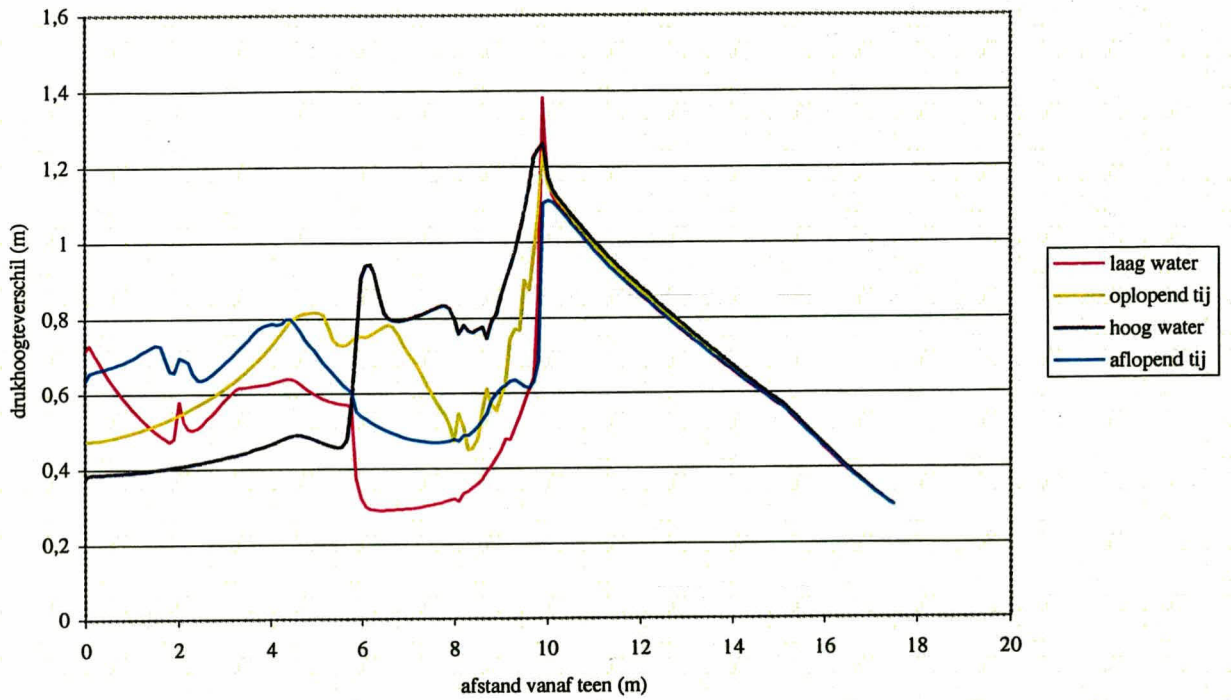
A4



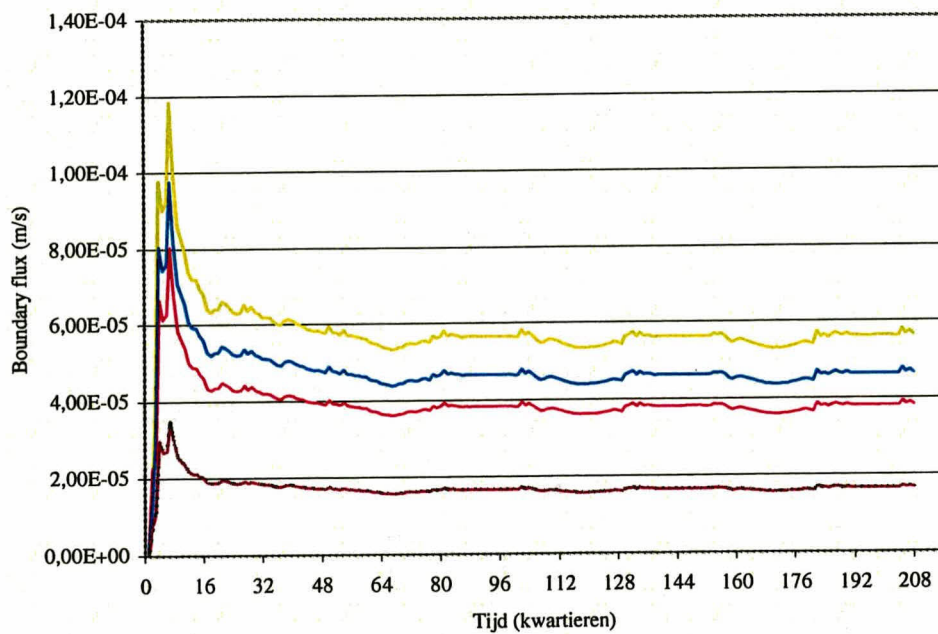
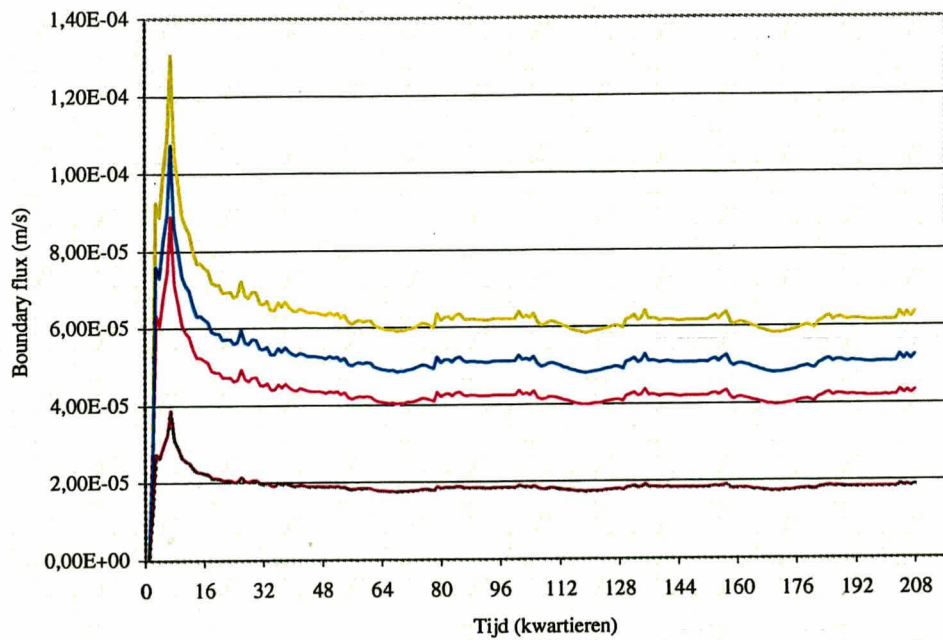
	Postbus 69, 2600 AB DELFT	Telefoon (015) 269 35 00 Telefax (015) 261 08 21	datum	get.
			2001-08-10	Kff
Boven: geometrie Run 1, 2 en 4 Onder: geometrie Run 3 Bijlage C1 Geometrie Raai G1			CO - 400970	gez.
			BIJL. C1	form. A4



	Postbus 69, 2600 AB DELFT	Telefoon (015) 269 35 00 Telefax (015) 261 08 21	datum	get.
			2001-08-10	Kff
Boven: drukverschil op vier tijdstippen bij Run 1 Onder: drukverschil op vier tijdstippen bij Run 2 Bijlage C2 Drukverschil tijdens infiltratieproef Raai G1			CO - 400970	gez.
			BIJL. C2	form. A4



	Postbus 69, 2600 AB DELFT	Telefoon (015) 269 35 00 Telefax (015) 261 08 21	datum	get.
			2001-08-10	Kff
Boven: drukverschil op vier tijdstippen bij Run 3 Onder: drukverschil op vier tijdstippen bij Run 4 Bijlage C3 Drukverschil tijdens infiltratieproef Raai G1			CO - 400970	gez.
			BIJL. C3	form. A4



Postbus 69,
2600 AB DELFT

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

datum
2001-08-12

get.
Sfs

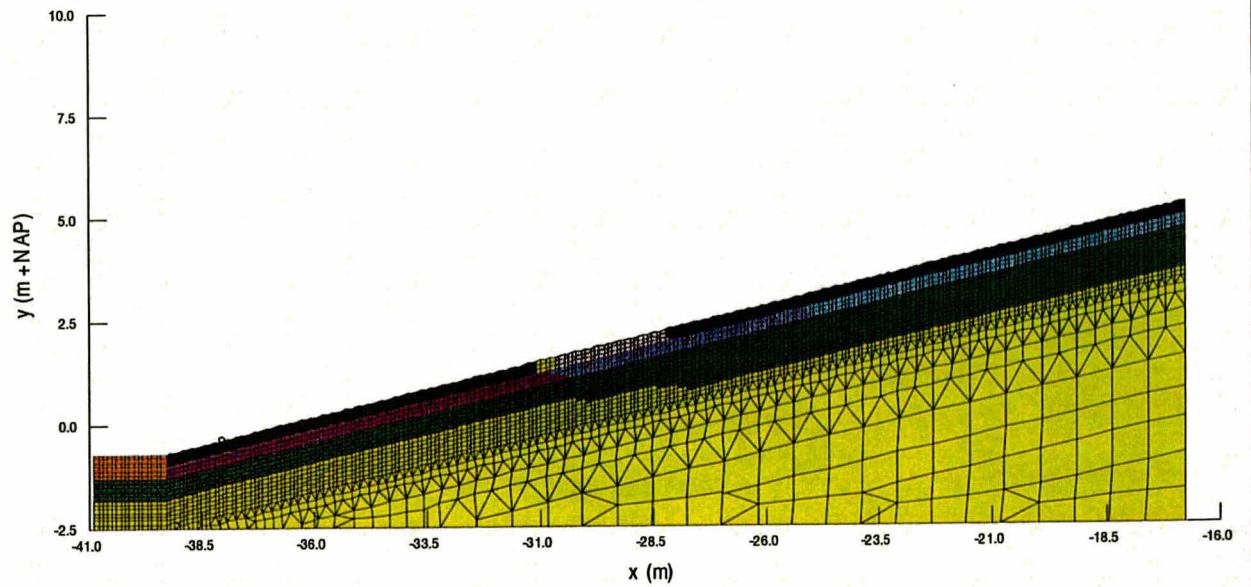
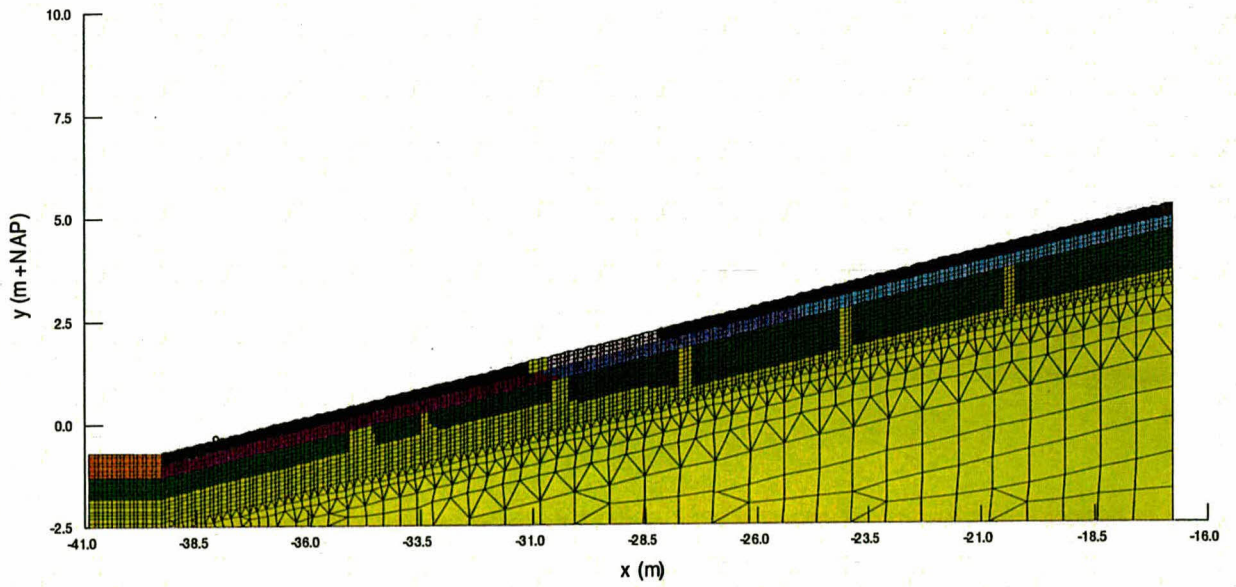
Boven: infiltratiesnelheden in vier knooppunten in filterlaag voor Run 1
Onder: infiltratiesnelheden in vier knooppunten in filterlaag voor Run 3
Bijlage C4 Drukverschil tijdens infiltratieproef Raai G1

CO - 400970

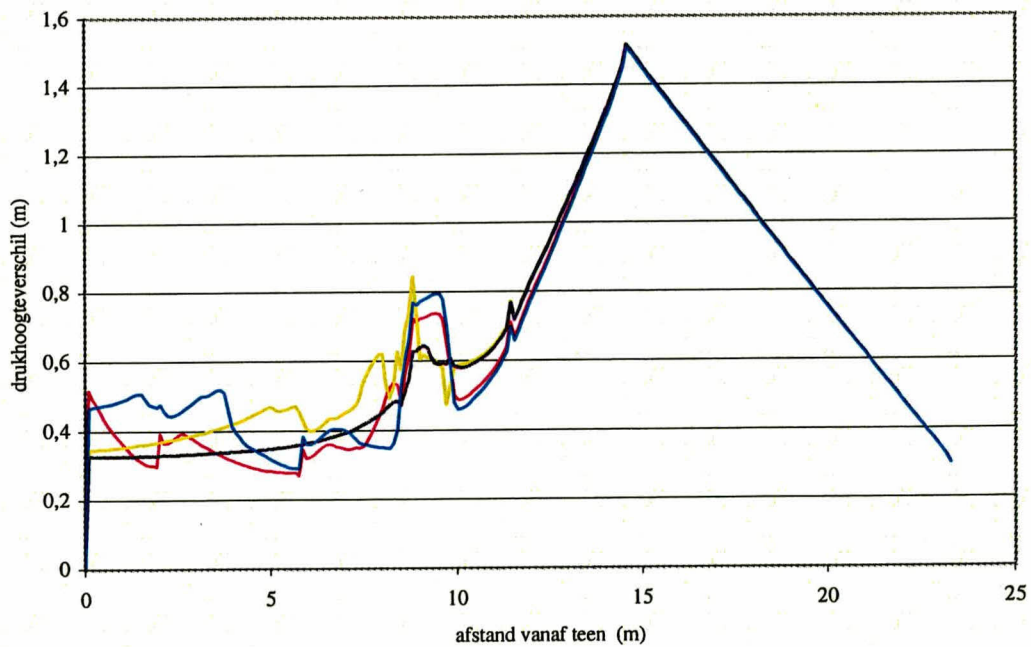
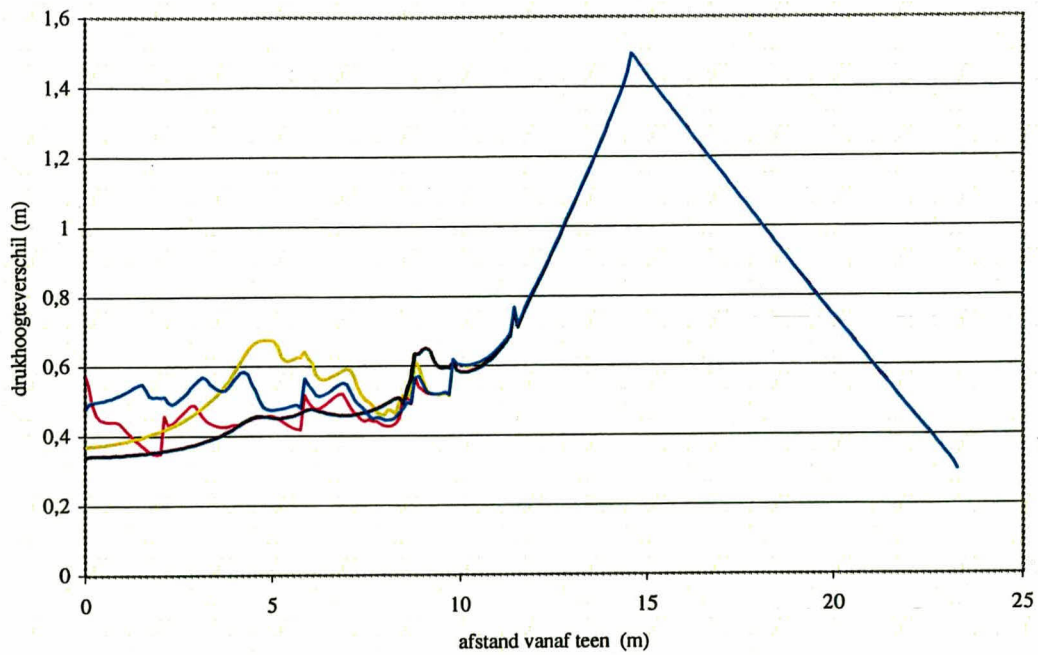
gez.

BIJL. C4

form.
A4



	Postbus 69, 2600 AB DELFT	Telefoon (015) 269 35 00 Telefax (015) 261 08 21	datum	get.
			2001-08-10	Kff
Boven: geometrie Run 1, 2 en 3 Onder: geometrie Run 4 Bijlage D1 geometrie infiltratieproef Raai G2			CO - 400970	gez.
			BIJL. D1	form. A4



Postbus 69,
2600 AB DELFT

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

datum
2001-08-10

get.
Kff
gez.

Boven: drukverschil op vier tijdstippen bij run 1

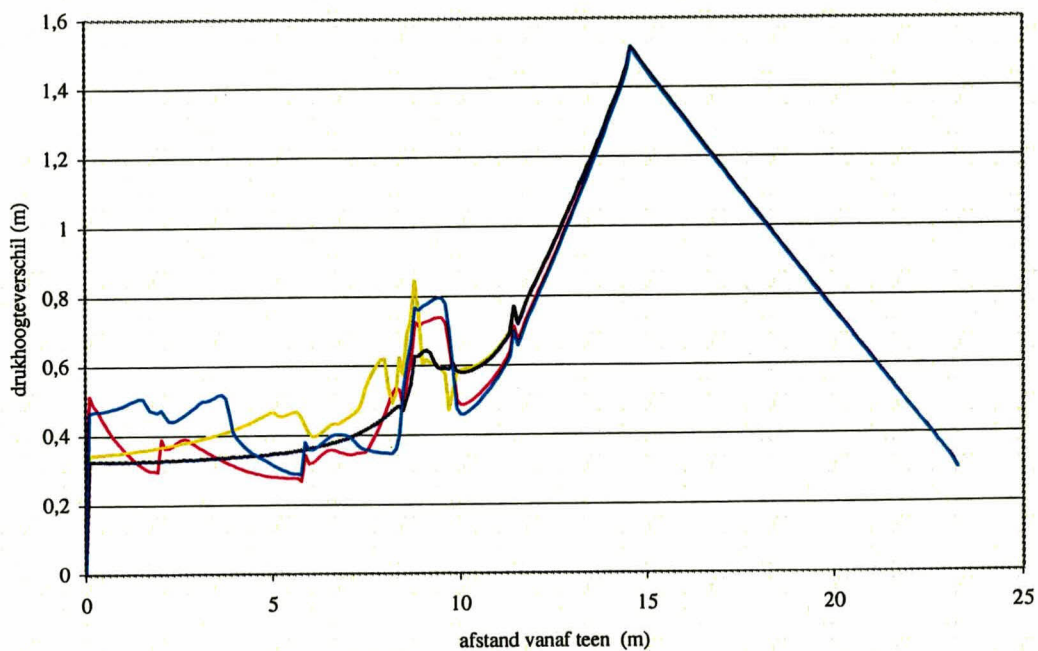
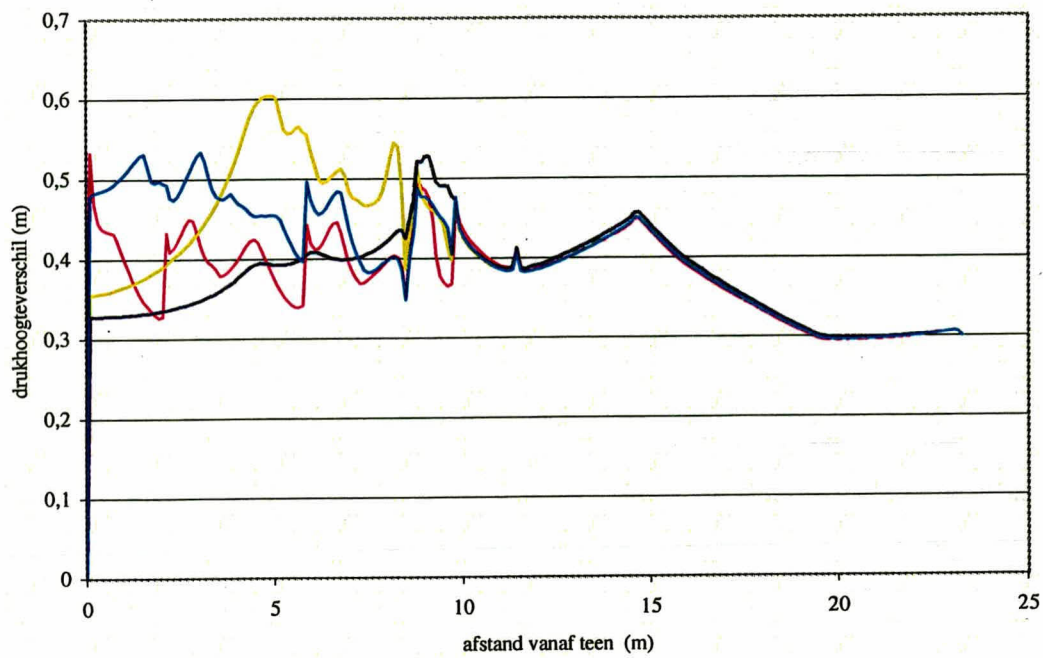
Onder: drukverschil op vier tijdstippen bij run 2


Bijlage D2 Drukverschil tijdens infiltratieproef Raai G2

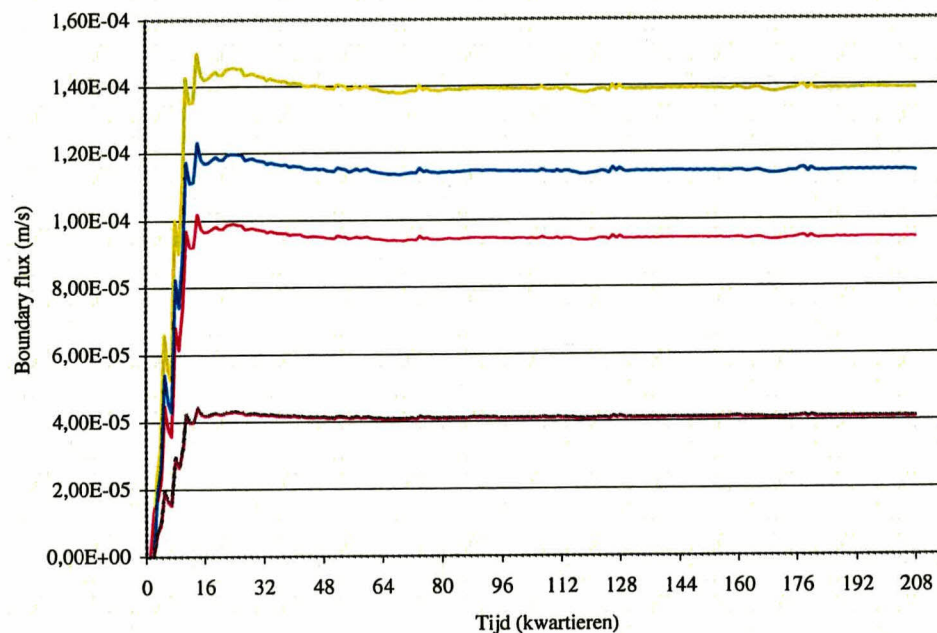
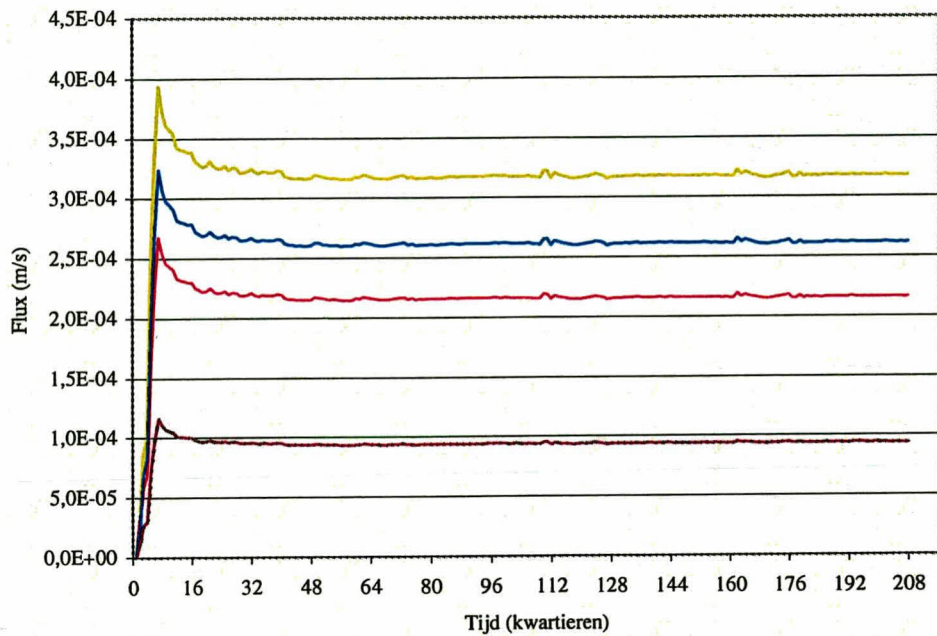
CO - 400970

BIJL. D2

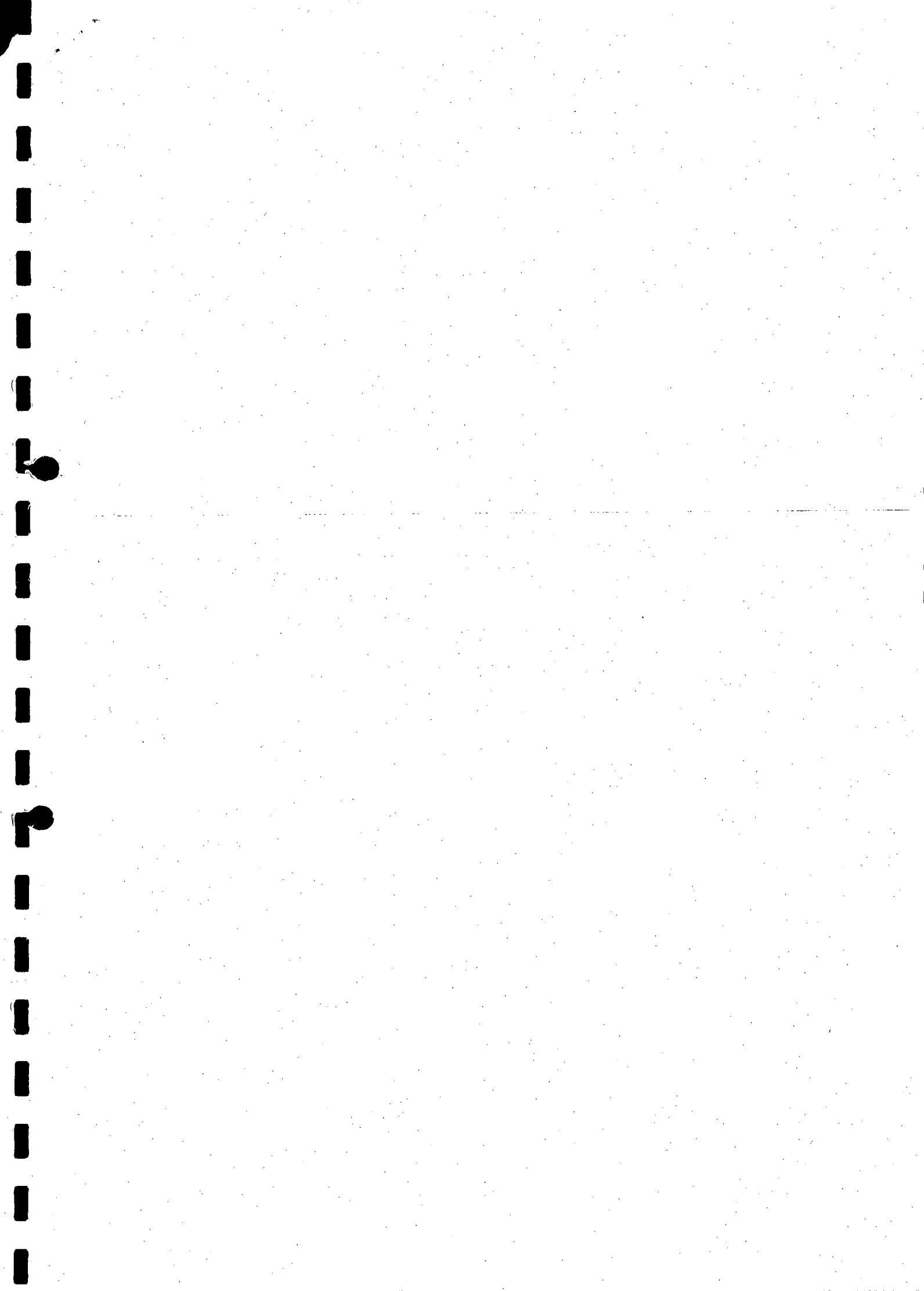
form.
A4



 Postbus 69, 2600 AB DELFT	Telefoon (015) 269 35 00 Telefax (015) 261 08 21	datum	get.
		2001-08-10	Kff
Boven: drukverschil op vier tijdstippen bij run 3 Onder: drukverschil op vier tijdstippen bij run 4 Bijlage D3 Drukverschil tijdens infiltratieproef Raai G2		CO - 400970	gez.
		BIJL. D3	form. A4



 Postbus 69, 2600 AB DELFT Telefoon (015) 269 35 00 Telefax (015) 261 08 21	datum	get.
	2001-08-12	Sfs
Boven: infiltratiesnelheden in vier knooppunten in filterlaag voor Run 1 Onder: infiltratiesnelheden in vier knooppunten voor Run 3 Bijlage D4 Infiltratiesnelheden filterlaag Raai G2	CO - 400970	gez.
	BIJL. D4	form. A4



0.00 0

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