



0 1 NOV 2001

RWS, Projectbureau Zeweringen

Postbus 144
4460 GA GOES

Onderwerp
rapport getijmeting

PROJECTBUROU ZEEWERINGEN		INFO
PROJECTLEIDER		
SECRETARIS		
PROJECTSECRETARIS		
ASBESTWERKER BIJZONDEN		
GEWENSAK IN WAJTEIL	r.bijl	X
LEIDER ONTWEPP		
UITVOERING		
RENTORRESISTASCHRIJVER		X
ke	t.bijl P201-R-01320	X
CHICULATIS MAP		

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

Begeleidend schrijven

Datum
2001-10-31
Uw kenmerk
350037
Ons kenmerk
CO-400970.0026

Doorkiesnummer
[Redacted]
E-mail
[Redacted].ft.nl

Geachte heer [Redacted],

Hierbij zenden wij u bijgaande stukken:

- ter kennisneming
- volgens afspraak d.d.
- met verzoek om commentaar, gaarne voor
- voor de vergadering d.d.
-

Concept rapport CO-400970.0023 (getijmeting) in 3-voud.
Dit rapport is ook naar RWS-DWW gestuurd als onderdeel contract DWW 1902.

Met vriendelijke groet,
GeoDelft

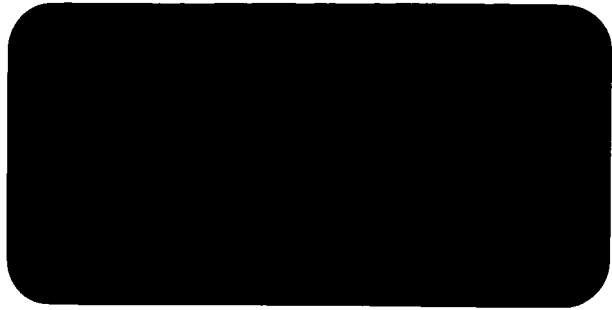
[Redacted signature]

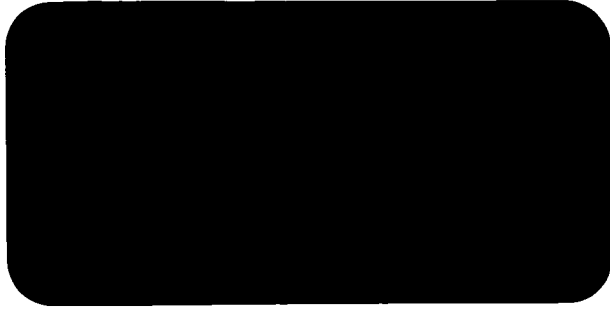
Adviseur



005904 2001 PZDT-R-01320 ken

01 Getijmeting Oost-Inkelenpolder definitief CO-40





Getijmeting Oost-Inkelpolder

definitief

CO-400970.0023 versie 1

oktober 2001

Getijmeting Oost-Inkelenpolder

definitief

CO-400970.0023
oktober 2001
D:\projects\400970

Opgesteld in opdracht van:
RIJKSWATERSTAAT, PROJECTBUREAU
ZEEWERINGEN
POSTBUS 114
4460 AC GOES

AFDELING GRONDCONSTRUCTIES

Projectleider : 


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-400970.0023		datum rapport: oktober 2001			
titel en subtitel: Getijmeting Oost-Inkelenpolder		behandelende afdeling: Grondconstructies			
		projectnaam:			
projectleider(s): [redacted]		projectbegeleider(s): [redacted]			
naam en adres opdrachtgever: RIJKSWATERSTAAT, PROJECTBUREAU ZEEWERINGEN Postbus 114 4460 AC Goes		referentie opdrachtgever: 350037			
		verzenden in: 10-voud			
		type rapport: definitief			
<p>samenvatting rapport:</p> <p>In dit rapport worden de uitgevoerde getijmetingen beschreven ter plaatse van de Oost-Inkelenpolder. De metingen zijn uitgevoerd in juli 2001 en zijn een voorbereiding voor een in september 2001 op deze locatie uit te voeren infiltratieproef door RWS-DWW.</p> <p>Er is op twee plaatsen gemeten. Tussen de beide metingen vertonen een groot verschil in gedrag geconstateerd. De verschijnselen tijdens de meting zijn kwalitatief alleen te verklaren door aan te nemen dat er water vanuit de filterlaag het dijklichaam instroomt. Dit mechanisme zit niet in de modellering van Steenzet. Bepalen van de eigenschappen van de bekleding met Steenzet is daarom niet goed mogelijk. Pogingen om de infiltratie vanuit de filterlaag naar de dijk indirect in rekening te brengen zijn slechts gedeeltelijk gelukt.</p> <p>Het voorspellen van het gedrag van de bekleding tijdens de infiltratieproef met Steenzet was niet mogelijk door numerieke problemen.</p>					
<p>opmerkingen:</p> <p>De metingen vormen een onderdeel van de voorbereiding voor de infiltratieproef (DWW 1902)</p>					
trefwoorden: getijmeting, steenzetting, basaltbekleding, infiltratieproef		verspreiding: RWS-DWW, WL, GD			
opgeslagen op: onder titel: D:\projects\400970 infiltratieproef\getijmeting\tekst\400970.0023rap.doc				aantal blz.:	
versie:	datum:	opgesteld door:	paraaf:	gecontroleerd door:	paraaf:
1	oktober 2001	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

INHOUDSOPGAVE

1	Inleiding	1
2	Beschrijving bekleding t.p.v. getijmeting	3
	2.1 Locatie	3
	2.2 Opbouw bekleding	3
3	Getijmeting	5
	3.1 Principe getijmeting	5
	3.2 Plaats opnemers	6
	3.3 Verwerking meetgegevens	8
	3.4 Externe belasting	9
	3.5 Interpretatie getijmeting	10
	3.5.1 Interpretatie meting raai G1	11
	3.5.2 Interpretatie meting raai G2	11
	3.6 Mini infiltratieproef	12
4	Narekenen getijmeting	15
	4.1 Beschrijving Steenzet getij versie	15
	4.2 Aanpassing invoer	15
	4.3 Resultaten narekenen	16
5	Voorspelling waterdruk tijdens infiltratieproef	19
	5.1 Benodigde files	19
	5.2 Simulatie getij	20
	5.3 Simulatie infiltratiesloot	21
	5.4 Simulatie van infiltratie in de ondergrond	21
	5.5 Resultaten	23
6	Conclusies	25

1 Inleiding

Door Rijkswaterstaat, Projectbureau Zeeweringen is middels opdrachtbon 350037 aan GeoDelft opdracht verleend tot het uitvoeren van twee getijmetingen.

Deze metingen vormen stap 2 uit het stappenplan infiltratieproef, zoals dat door Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde wordt uitgevoerd.

De plaats van de getijmetingen was de dijk van de Oost-Inkelenpolder, ten oosten van de veerhaven Kruiningen, tussen dp 197 en dp 198.

Ter plaatse is in 2000 door GeoDelft en WL|Delft Hydraulics fase 1 van de geavanceerde toetsing uitgevoerd. Dit is gerapporteerd in rapport CO-388710/86 van januari 2001. Gegevens over de opbouw van de bekleding zijn aan dit rapport ontleend.

2 Beschrijving bekleding t.p.v. getijmeting

2.1 Locatie

De meetlocatie voor de infiltratieproef is gelegen op de Westerscheldedijk, ten oosten van de veerhaven Kruiningen. Het betreft de dijk van de Oost-Inkelenpolder, ongeveer ter hoogte van km 19.76. Het nummer van het betreffende bekledingsvak is 19402.

De definitieve plaats van de infiltratieproef was ten tijde van de getijmeting nog niet bekend. Daarom gekozen voor twee raaien in mogelijke meetvakken. 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 + 3,45 m.

Bijlage 2.1 toont de plaats van de meetraaien.

2.2 Opbouw bekleding

De bekleding is ingegoten/overgoten basalt. De opbouw van de bekleding bij de twee meetraaien is als volgt:

* raai G1 (vak 19402, hoge ligging bovenkant basalt)

- stortsteen op voorland
- teen op NAP -0,6 m
- gepenetreerde basalt tot NAP +4,8 m

* raai G2 (vak 19402, lage ligging bovenkant basalt)

- stortsteen op voorland
- teen steenzetting 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

De taludhelling is ongeveer 1:3,5.

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

Het filter bestaat uit 10 cm dik (steenslag en fosforslakken) op 4 vlijlagen.

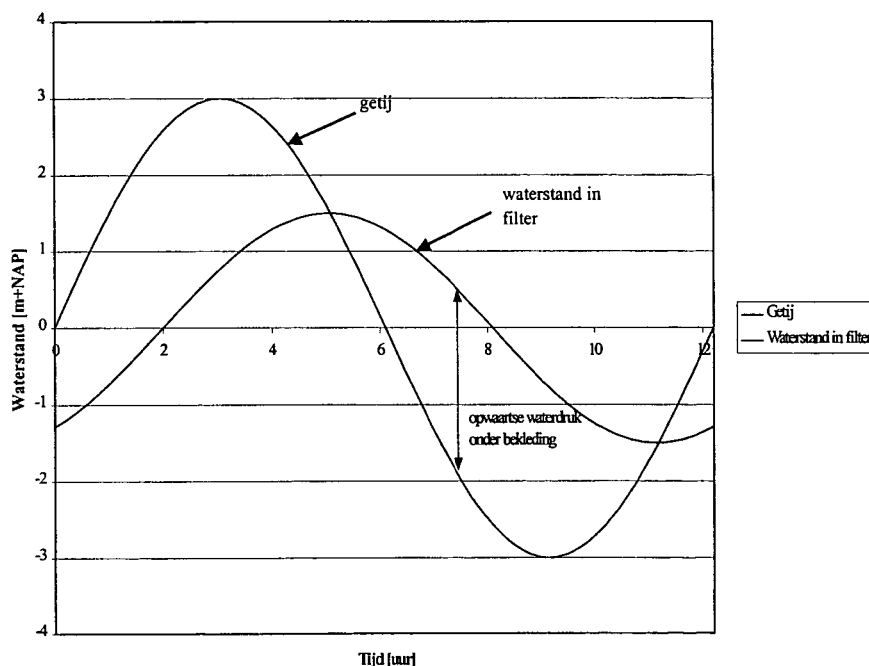
Onder de filterlaag is een kleilaag aangetroffen met een dikte van 0,5 à 1 m. Hieronder is zand aanwezig.

3 Getijmeting

3.1 Principe getijmeting

Het principe van de getijmeting is als volgt. Ter plaatse van de teen van de dijk wordt aan de buitenzijde van de bekleding een waterspanningsmeter aangebracht die het verloop van de getijwaterstand registreert. Op verschillende plaatsen worden gaten in de toplaag geboord waardoor een waterspanningsmeter in de filterlaag wordt geplaatst. De opnemers zijn gefixeerd door het gat gedeeltelijk te vullen met fijn grind. De gaten worden door middel van zogenaamde packers waterdicht afgesloten.

Met de geplaatste opnemers wordt simultaan de waterstand op de bekleding en in de filterlaag gemeten. Als er sprake is van een open (goed waterdoorlatende) constructie, dan zijn getijwaterstand en waterstand in het filter vrijwel gelijk. Bij dichte (slecht waterdoorlatende) constructies ontstaan verschillen tussen de getijwaterstand en de waterstand in het filter. Bij opkomend tij kan de waterstand in het filter niet even snel stijgen, bij afgaand tij blijft er geruime tijd een waterstand in het filter aanwezig die hoger is dan de getijwaterstand (zie figuur 3.1). Dit laatste kan gevaarlijk zijn: er ontwikkelt zich een waterdruk onder de bekleding die er in extreme gevallen voor zou kunnen zorgen dat de bekleding omhoog wordt gedrukt en van de dijk afschuift. De bekleding faalt en het filter en de kern van de dijk blijven onverdedigd achter. Dit bezwijkmechanisme wordt 'bezwijken door statische verschildrukken' genoemd.



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

Met de getijmeting kan worden bepaald hoe groot de opwaartse verschildrukken voor een specifieke bekleding gedurende één specifiek (spring)tij worden. Dit zegt echter nog niet wat de opwaartse statische verschildruk bij maatgevende omstandigheden zal zijn, in dit geval tijdens de infiltratieproef. Om hier iets van te kunnen zeggen wordt de meting nagerekend. Het gemeten getij wordt als randvoorwaarde opgelegd, en berekend wordt bij welke doorlatendheid van het filter en de toplaag de gemeten waterstand in het filter het beste overeenkomt met de berekende waterstand in het filter. Het resultaat hiervan is dat er een goede schatting van de doorlatendheden gemaakt kan worden.

Dit resultaat wordt vervolgens gebruikt om de situatie tijdens de infiltratieproef door te rekenen.

3.2 Plaats opnemers

De getijmeting en stormmeting is zijn uitgevoerd ter plaatse van km 19,77, in vak 19402.

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 bevindt zich op het talud, de overige opnemers onder in de filterlaag onder de toplaag.

opnemer	hoogte [m + NAP]
WSM 1 (getij)	-0.257
WSM 2	0.555
WSM 3	1.179
WSM 4	1.438
WSM 5	1.791
WSM 6	2.040
WSM 7	2.368
WSM 8	2.633

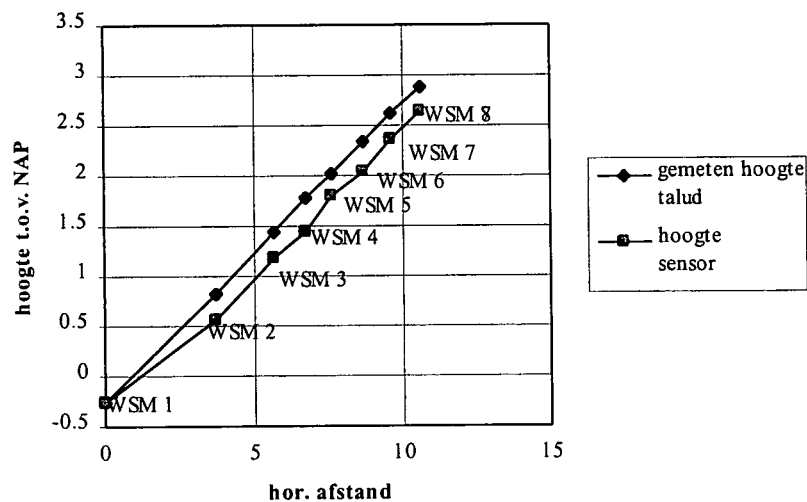
Tabel 3.1 Plaatshoogte opnemers raai G1 (t.o.v. NAP)

opnemer	hoogte [m + NAP]
WSM 1 (getij)	-0.351
WSM 2	0.296
WSM 3	0.864
WSM 4	1.020
WSM 5	1.397
WSM 6	1.696
WSM 7	1.965
WSM 8	2.190

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

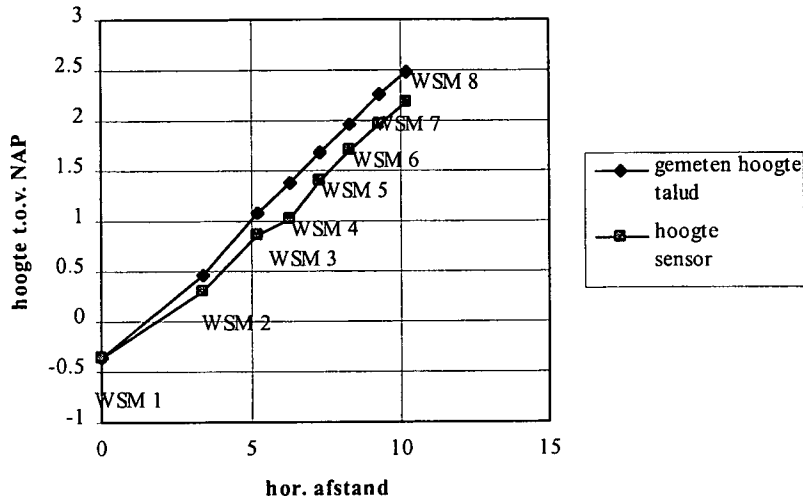
De figuren 3.1 en 3.2 tonen de plaats van de opnemers voor de twee meetraaien.

**getijmeting Inkelenspolder, raai G1
hoogte vs afstand van opnemers**



Figuur 3.1 Plaats opnemers op talud, raai G1

getijmeting Inkelenpolder, raai G2
hoogte vs afstand van opnemers



Figuur 3.2 Plaats opnemers op talud, raai G2

3.3 Verwerking meetgegevens

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

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

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

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)	0.47883	4.99262
WSM 2	-0.34333	7.03218
WSM 3	0.35665	7.00117
WSM 4	0.67109	7.01338
WSM 5	0.9801	6.97487
WSM 6	0.49007	7.25499
WSM 7	0.07375	6.9931
WSM 8	0.57432	6.97832

Tabel 3.3 IJfactoren van de waterspanningsmeters

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

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

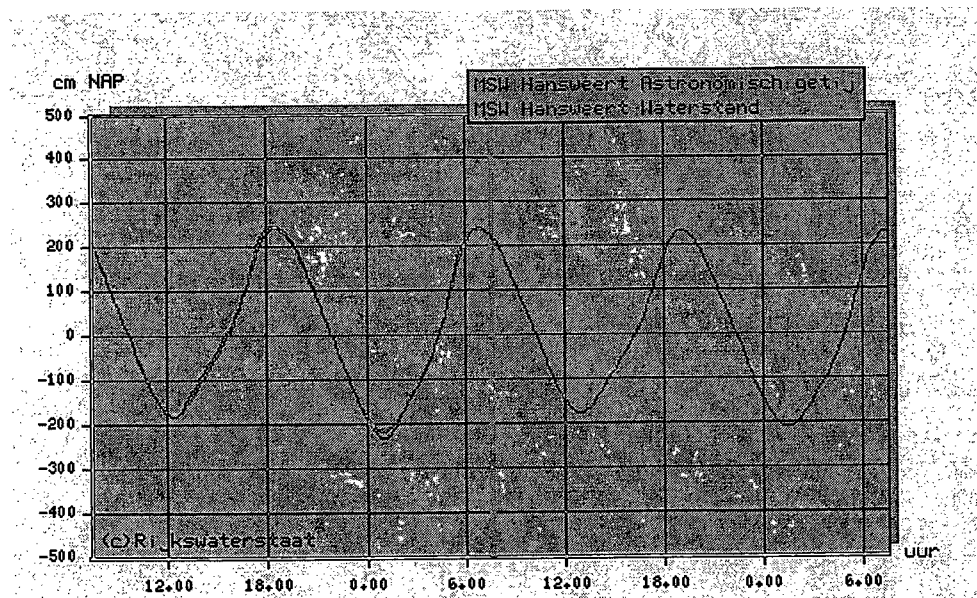
De plaatshoogte van iedere waterspanningsmeter is gegeven in tabel 3.1 en 3.2. De drukhoogte is de waterdruk in meters waterkolom.

De ondergrens van iedere stijghoogte wordt gevormd door de plaatshoogte.

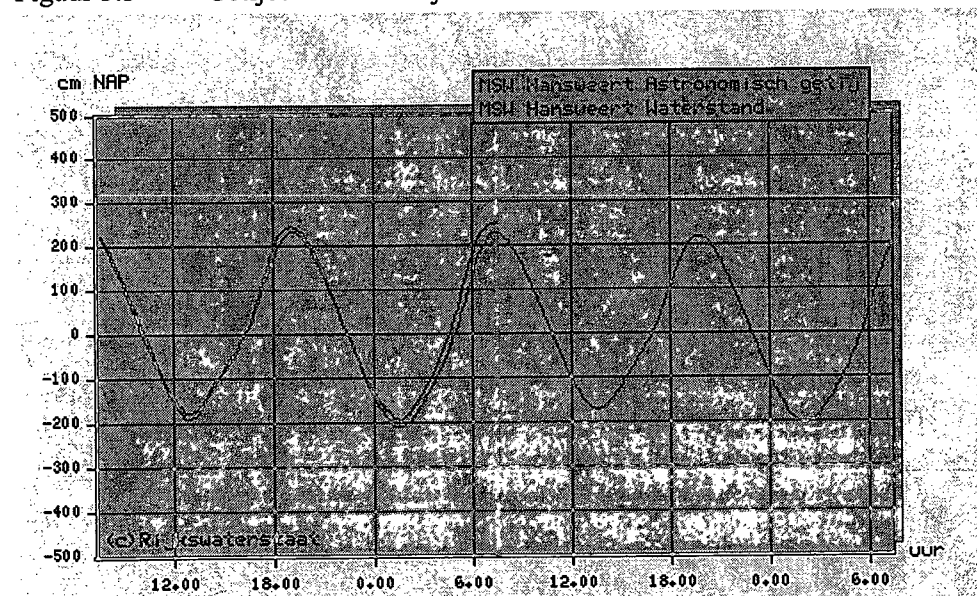
De resultaten van de meting zijn nu toegankelijk voor interpretatie. In bijlage 3.2 en 3.3 is het resultaat gepresenteerd als stijghoogte per waterspanningsmeter, uitgezet als functie van de tijd.

3.4 Externe belasting

In figuur 3.3 en 3.4 is de gemeten getijcurve in Hansweert weergegeven. Deze figuren zijn ontleend aan internet (<http://www.waterland.com>).



Figuur 3.3 Getijcurve 9 en 10 juli 2001 te Hansweert



Figuur 3.4 Getijcurve 10 en 11 juli 2001 te Hansweert

Op 9 juli was de overheersende windrichting westzuidwest en de gemiddelde windsnelheid 7 à 8 m/s (4 Beaufort).

Op 10 juli was de windrichting zuidwest en de gemiddelde windsnelheid 8 à 12 m/s (5 Beaufort).

3.5 Interpretatie getijmeting

Uit de registraties van de stijghoogten zijn een aantal observaties te maken. Die worden hierna weergegeven.

3.5.1 Interpretatie meting raai G1

Bij de meting hebben WSM6, WSM7 en WSM8 geen uitslag te zien gegeven. Na afloop van de meting is de werking van de opnemers gecontroleerd. Hierbij bleek dat WSM6 en WSM7 naar behoren functioneren. WSM8 bleek nauwelijks te reageren. Dit is hersteld voor de volgende meting.

WSM2 en WSM3 gaan ongeveer gelijk op qua stijghoogte. Dit duidt op een goed doorlatend filter tussen deze twee opnemers.

Het getij en de opnemers WSM2, WSM3 en WSM5 gaan ongeveer door één punt ($t = 20$ hr, $h = 1,8$ m). Opnemer WSM5 heeft een veel langzamer dalende tak dan WSM2 en WSM3.

Opnemer WSM4 heeft een sterk afwijkend verloop. Deze gaat niet door hetzelfde punt als de overige opnemers. Dit suggereert dat de opbouw van de ondergrond (filter en kleilaag) bij WSM4 lokaal afwijkt van die bij de overige opnemers. Een mogelijkheid is dat bij WSM4 een lokale inhomogeniteit aanwezig is (bijvoorbeeld een gat in de onderliggende kleilaag). Een aanwijzing hiervoor is dat WSM5 later droogvalt dan WSM3 en WSM4.

De gemeten getijhoogte is ongeveer NAP + 2,65m. Bij Hansweert is een getijhoogte ongeveer NAP + 2,4 m gemeten. De gemeten getijhoogte is dus 0,25 m hoger dan verwacht en komt beter overeen met de getijhoogte in Bath dan in Hansweert.

3.5.2 Interpretatie meting raai G2

Ten tijde van de meting was er sprake van veel wind (windkracht 6, uit ZW).

De gemeten getijhoogte is ongeveer NAP + 2,65m. De gemeten getijhoogte bij Hansweert is ongeveer NAP + 2,4 m. De gemeten getijhoogte is dus 0,25 m hoger dan verwacht en komt beter overeen met de getijhoogte in Bath dan in Hansweert.

Alle opnemers reageren. De gemeten stijghoogte volgt goed de getijhoogte. In de meting vallen de volgende zaken op.

Het getij ligt altijd boven de stijghoogte van de diverse opnemers, niet alleen in de opgaande tak, maar ook in de dalende tak. Het eerste is een gebruikelijke gang van zaken. Het tweede is onverwacht en niet goed te verklaren. Een mogelijke verklaring kan zijn de onnauwkeurigheid tijdens de waterpassing. De waterpassing is echter twee keer uitgevoerd (tijdens de getijmeting was er te veel wind om een nauwkeurige waterpassing uit te voeren), en het verschil tussen de waterpassingen is klein en onvoldoende om dit verschil te verklaren. WSM 3 heeft op alle tijdstippen de laagste stijghoogte.

Plotten van de stijghoogten als functie van de plaats toont voor alle tijdstippen een dip bij WSM3. Het totale beeld suggereert dat er bij WSM3 water het dijklichaam instroomt.

Bij opkomend tij kunnen twee series van aanslaan van de opnemers worden onderscheiden: WSM2 en WSM3 en WSM4 t/m WSM8. Dit suggereert dat de situatie voor deze series verschillend is (verschil

in filterlaag). Het is ook mogelijk om de momenten van aanslaan te zien als een continu beeld, waarbij opnemer WSM3 te laat aanslaat. Dit kan een gevolg zijn van een gat in de onderliggende kleilaag waardoor plaatselijk water wegstroomt, overeenkomstig het eerder geschetste beeld. Opvallend is dat de snelheid waarmee de freatische lijn stijgt hoger is dan de snelheid waarmee het getij stijgt. Bij afgaand tij wordt ongeveer eenzelfde verdeling gevonden, met dien verstande dat WSM7 te vroeg afslaat of WSM8 te laat.

Een andere verklaring is dat er tussen WSM3 en WSM 4 een overgang zit tussen een relatief ondoorlatend en een relatief doorlatend filter.

WSM6, WSM7 en WSM8 hebben gedurende de tijd dat zij waterdruk meten ongeveer een vast verschil met de getijhoogte, d.w.z. het stijghoogteverschil over de toplaag is ongeveer constant. Gedurende deze tijd stroomt er dus een constant debiet door de toplaag naar binnen.

Op $t = 19.12$ hr vertonen alle opnemers een lokale dip van ongeveer 2 cm gedurende ongeveer 5 minuten. De oorzaak hiervan is niet bekend, mogelijk is dit een seiche.

WSM5 vertoont op $t = 21$ hr een tijdelijke stijging van de waterdruk. Op dit moment lag het getij al ongeveer 0,3 m lager dan de plaatshoogte van WSM5.

WSM4 komt niet droog te staan tussen de verschillende hoogwaters. Direct na een hoogwater daalt de stijghoogte om daarna weer op te lopen tot NAP + 1,22 m (dit is 0,06 m boven de plaatshoogte van de opnemer).

3.6 Mini infiltratieproef

Aanvullend op de getijmeting is een mini infiltratieproef uitgevoerd. Hiervoor zijn zowel in raai G1 als in raai G2 2 extra gaten geboord (gat 9 en 10). Deze gaten zijn met water gevuld waarna is gekeken hoe snel het water weg loopt (vergelijkbaar met een doorlatendheidsmeting volgens het principe van de 'falling head test'). Het doel van deze proef is het krijgen van een indruk van de doorlatendheid van de filterlaag onder het bovenste deel van de bekleding.

* raai G1

Bij gat 9 (bovenkant op NAP + 3,29 m) is onder de toplaag (dik 0,32 m) een sterk siltig filter aangetroffen. De diepte van het gat was 0,33 m. Na 10 s was 0,30 m water weggestroomd. Na 250 s was er 0,32 m water weggestroomd, het resterende deel bleef in het gat staan.

Bij gat 10 (bovenkant op NAP + 3,52 m) is onder de toplaag (dik 0,26 m) puin aangetroffen. Het is niet mogelijk gebleken om het gat vol water te zetten. Er is dus sprake van een zeer doorlatend filter.

* raai G2

Bij gat 9 (bovenkant op NAP + 3,05 m) is onder de toplaag (dik 0,22 m) split aangetroffen. Het is niet mogelijk gebleken om het gat vol water te zetten. Er is dus sprake van een zeer doorlatend filter.

Bij gat 10 (bovenkant op NAP + 3,31 m) is onder de toplaag (dik 0,29 m) split aangetroffen. Het is niet mogelijk gebleken om het gat vol water te zetten. Er is dus sprake van een zeer doorlatend filter.

De conclusie is dat onder het bovenste deel van de bekleding de doorlatendheid van de filterlaag groot is, waarschijnlijk meer dan 0,03 m/s.

4 Narekenen getijmeting

4.1 Beschrijving Steenzet getij versie

De getijversie van Steenzet is begin jaren 90 ontwikkeld. Het programma is geschreven in Fortran en werkt onder DOS.

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

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

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

4.2 Aanpassing invoer

Het programma kiest als startwaarde voor het getij het referentieniveau.

Het mist onder het huidige operating systeem de mogelijkheden om een grafische presentatie van de uitvoer te maken. Omdat meerdere berekeningen nodig waren voor het doen van een goede schatting van de eigenschappen van de steenzetting is met het spreadsheetprogramma Excel een template gemaakt. Hiermee konden de berekende waterspanningen snel worden ingelezen en vergeleken met de gemeten waterspanningen. Daarmee diende de Excel template als een vervangend uitvoerscherm voor het programma.

Steenzet kiest als startwaarde voor de freatische lijn het NAP-niveau. Dit is in dit geval niet juist omdat het filter bij aanvang van de meting al gedeeltelijk met water is gevuld. Daarom zijn een aantal aanpassingen aan de invoer doorgevoerd:

- aangepast referentieniveau voor de ingevoerde stijghoogtes
- aangepast referentieniveau voor de geometrie: alle waardes (niveaus) zijn gegeven t.o.v. het referentieniveau

Dankzij deze aanpassingen komt de beginwaarde van de freatische lijn (relatief gezien) op de juiste hoogte te liggen.

Steenzet bepaalt uit het ingevoerde niveau van de waterspanningsmeters de plaats op het talud. De gemeten niveaus zijn daarom omgerekend naar de niveaus van de onderkant van de bekleding. Deze niveaus zijn gebruikt als invoer voor de berekening.

De dikte van de basaltbekleding kan variëren. De diepte van de opnemers beneden de bovenkant van de steen varieert dus ook. In Steenzet/1 wordt een vaste dikte van de toplaag gebruikt. Het niveau van de opnemers is daarom bepaald zodanig dat bij de ingevoerde dikte van de toplaag deze op de juiste plaats onder het talud liggen. Daarbij is uitgegaan van een dikte van de toplaag van 0,25 m.

4.3 Resultaten narekenen

Uit het gemeten verloop van de stijghoogten is het tijdstip bepaald waarop de freatische lijn gelijk is met de buitenwaterstand. Theoretisch gaan op dit tijdstip alle stijghoogten door 1 punt. In de praktijk wordt dit meestal niet gevonden, o.a. als gevolg van de invloed van anisotrope doorlatendheid van de toplaag en filterlaag, verschil in werkelijk en gemodelleerd gedrag en meeton nauwkeurigheden.

Bij het narekenen is uitgegaan van de standaard modellering in Steenzet, dus een doorlatende toplaag op een homogene doorlatende filterlaag op een relatief ondoorlatende ondergrond. Uit een kwalitatieve analyse van de getijmeting wordt verwacht dat de aanname van een homogene filterlaag in dit geval waarschijnlijk niet correct is.

Paralel aan deze analyse zijn berekeningen met SEEP/W gemaakt. Uit deze analyses volgt dat alleen met de aanname van een 'lekke' kleilaag een overeenstemming tussen de meting en de berekening is te verkrijgen. De aanname van een waterdichte kleilaag lijkt in ieder geval niet juist. Dit betekent dat dus ook bij de analyse met Steenzet een dergelijk gedrag moet worden gemodelleerd, hoewel het programma daar niet voor bedoeld is. Dit zal dus via een truc moeten gebeuren.

Parameters waarmee gevarieerd kan worden zijn de doorlatendheid van de toplaag, doorlatendheid van de filterlaag, berging in de filterlaag en stijghoogte op het talud. Theoretisch is het mogelijk om de doorlatendheid van de toplaag te reduceren, in combinatie met een verlaging van de stijghoogte op het talud, zodanig dat het netto debiet loodrecht op de filterlaag juist wordt weergegeven. Pogingen om deze truc in te voeren veroorzaakten echter numerieke problemen en zijn daarom gestaakt.

Het alternatief is het schrijven van een apart programma waarmee lekkage van water via de filterlaag wel kan worden gemodelleerd. Dit valt echter buiten het kader van deze analyse. Er is daarom zoveel mogelijk de gebruikelijke wijze van analyse gevolgd.

Uit de getijmeting is zo goed mogelijk het tijdstip waarop de stijghoogten gelijk liggen bepaald, zie hiervoor hoofdstuk 3.

Voor raai G1 zijn voor het fitten alleen de waarden van de 2 laagste waterspanningsmeters (WSM2 en WSM3) gebruikt. De resultaten vormen daarom een schatting van de eigenschappen van het onderste deel van de bekleding.

Voor raai G2 is gekeken bij welk tijdstip de standaardafwijking van de waterspanningsmeters onder het talud minimaal was. Dit tijdstip is gekozen als startpunt voor het fitten van de getijmeting. Bij dit tijdstip lag het getij ongeveer 0,16 m boven de gemiddelde stijghoogte onder de toplaag. Voor het fitten is de getijhoogte met deze waarde verlaagd. Deze verlaging brengt tot op zekere hoogte het instromen van water vanuit de filterlaag naar het dijklichaam in rekening. De resultaten van het fitten

geven voor de doorlatendheid van de toplaag een soort gecombineerde doorlatendheid van toplaag en kleilaag.

Bij het narekenen is er voor de doorlatendheid van de toplaag verschil gemaakt voor het gedeelte met ingegoten basalt en de Doornikse steen. De grens hiertussen is gelegd op NAP +0,4 m.

Bij het narekenen is een redelijke overeenstemming gevonden tussen de berekening en de meting met de volgende parameters:

raai G1

* toplaag,

- dikte $D = 0,25$ m
- overgoten: $k = 5E-5$ m/s
- teen: $k = 8E-5$ m/s

* filter

- dikte $b = 0,5$ m
- porositeit $n = 0,2$
- doorlatendheid $k = 5,6E-3$ m/s

raai G2

* toplaag,

- dikte $D = 0,25$ m
- overgoten: $k = 4E-5$ m/s
- Doornikse steen: $k = 1e-4$ m/s
- teen: $k = 1E-5$ m/s

* filter

- dikte $b = 0,5$ m
- porositeit $n = 0,2$
- doorlatendheid $k = 5,6E-3$ m/s

Opgemerkt moet worden dat de keuze voor een aanzienlijk hogere doorlatendheid van de filterlaag een ongeveer even goede overeenstemming geeft tussen meting en berekening. Bij een lagere doorlatendheid ontstaan er afwijkingen.

Bijlage 4.1 en 4.2 tonen voor drie plaatsen op het talud het gemeten stijghoogteverloop en het met bovenstaande parameters berekende verloop. Deze bijlagen laten tevens het berekende verloop van de freatische lijn ('frea') en het verloop van het getij ('gety') zien. De stijghoogten zijn geplot t.o.v. de maximum stijghoogte van de freatische lijn (Voor raai G1 is dit NAP + 1,8m en voor raai G2 NAP + 2,00m). De reden van dit afwijkende nulpunt is de beperking in de getijdeversie van Steenzet (zie paragraaf 4.2).

In de berekende stijghoogten is voor de eindsituatie, als de opnemers droog staan, soms een klein verschil aanwezig tussen de gemeten en de berekende stijghoogte. Dit verschil komt overeen met de werkelijke hoogte van de opnemer in de meting en de theoretische onderkant van de bekleding in de berekening.

De hier gepresenteerde set waarden is slechts een mogelijke combinatie. Er is ook een fit gemaakt met een kleinere dikte van de filterlaag. Voor de toplaag zijn daarbij dezelfde waarden gebruikt als hiervoor. Voor de filterlaag geven de volgende waarden een acceptabele overeenstemming tussen meting en berekening (althans voor de in de fit betrokken opnemers en met de aanpassing van de getijhoogte voor raai G2):

raai G1

* toplaag,

- dikte $D = 0,25$ m
- overgoten: $k = 5E-5$ m/s
- teen: $k = 8E-5$ m/s

* filter

- dikte $b = 0,3$ m
- porositeit $n = 0,4$
- doorlatendheid $k = 1,4E-2$ m/s

raai G2

* toplaag,

- dikte $D = 0,25$ m
- overgoten: $k = 4E-5$ m/s
- Doornikse steen: $k = 1e-4$ m/s
- teen: $k = 1E-5$ m/s

* filter

- dikte $b = 0,25$ m
- porositeit $n = 0,4$
- doorlatendheid $k = 8,8E-3$ m/s

De berekeningsresultaten zijn weergegeven op bijlage 4.3 en 4.4.

Het blijkt dat met de modellering in Steenzet de gemeten stijghoogten redelijk tot goed kunnen worden nagerekend. Dit ondanks de verwachte lekkage vanuit de filterlaag naar de ondergrond. De gevonden doorlatendheden zijn groot. Bedacht moet worden dat in de gefitte waarden tevens de doorlatendheid van de ondergrond impliciet is meegenomen.

5 Voorspelling waterdruk tijdens infiltratieproef

5.1 Benodigde files

Met de modules uit Steenzet is getracht een voorspelling te maken van de waterdruk tijdens de infiltratieproef. Met de standaard batchfile is dit niet mogelijk. De feitelijke berekening is gemaakt met het rekenhart 'getijde.exe'. De benodigde invoerfiles worden buiten het programma aangemaakt, zodanig dat deze de goede parameters voor de gewenste berekening bevatten.

Dit programma roept een aantal hulpfiles aan. Dit zijn:

- de beschrijving van de bekleding (inkell.stl)
- de plaats van de drukopnemers (inkell.inp)
- het verloop van de waterdrukken bij de gesimuleerde drukopnemers (inkell.UNF)
- de doorlatendheid van de toplaag (inkell.kto)

(N.B. de genoemde namen zijn de namen van de files die voor de eerste simulatie zijn gebruikt)

De file 'inkell.stl' staat in een aparte directory DATA. Hierin staan de volgende files:

- stlz.hid
- stlz.inp
- stlz.ban

De inhoud van de files is respectievelijk:

*stlz.hid

inkell.ST1

F

F

*stlz.inp

3.5000

4.500000

-0.77000

0.500000

0.000000E+00

0.000000E+00

1.50000

4.40000

0.230000

1254.63

372448.

1.00000

0.200000

3500.00

3741.50

0.200000

0.100000E-01

```

0.000000E+00
0.000000E+00
0.400000
  2.83000
0.550000
0.200000
  1.00000
  18000.0
inkell.UNF
inkell.inp
inkell.kto

```

```

*st1z.ban
\DATA\ST1Z.INP

```

5.2 Simulatie getij

Voor het getij wordt een sinusvormig verloop verondersteld met een gemiddelde waarde van NAP + 0 m en een amplitude van 2 m. De periode is 12 uur en 25 minuten.

Het verloop van het getij wordt gesimuleerd door het voorschrijven van de druk/stijghoogte in een aantal gesimuleerde drukopnemers op het talud. Dit is met een apart programma gedaan. Het programma Steenzet gaat verschillend om met 'drukopnemers' die zich boven of onder H0 bevinden (zie de procedure readop.for). Om eventuele problemen te voorkomen wordt in de invoer de stilwaterlijn gelijk genomen aan NAP.

Boven dit niveau wordt de stijghoogte t.o.v. het beschouwde punt gelezen, onder dit niveau de stijghoogte t.o.v. het referentieniveau. In de file 'naam.UNF' staat de gesimuleerde meetwaarde in Volts. Deze wordt met een nulpuntscorrectie en een calibratiefactor omgezet naar een druk. Door deling van de waarde door 98,07 ontstaat de stijghoogte.

In formulevorm (zie ook paragraaf 3.3):

$$p = \left[\frac{x * 1000}{100} - x_{nul} \right] * f$$

$$h = \frac{p}{98,07}$$

met:

- p : druk (in [mBar])
- x : meetwaarde (in [V])
- x_{nul} : nulpuntscorrectie (in [mV])
- f : calibratiewaarde
- h : stijghoogte

Voor de generatie van de meetfile wordt de omgekeerde weg bewandeld. Voor de nulpuntscorrectie x_{nul} wordt de waarde 0 genomen en voor de calibratiefactor (reciproke gevoeligheid in paragraaf 3.3) de waarde 0,0098.

De daadwerkelijke aanmaak van de file gebeurt met een ad-hoc programma *getij.pas*.

Dit geeft een *ascii*-file. Voor gebruik in de berekening moet deze worden omgezet naar een binaire file.

5.3 Simulatie infiltratiesloot

De infiltratiesloot wordt gesimuleerd door ter hoogte van de bovenkant van de ingegoten bekleding een stijghoogte op het talud voor te schrijven van 0,1 m. Ter plaatse krijgt de doorlatendheid een fictieve waarde. In Steenzet wordt infiltrerend water direct toegevoegd aan de freatische berging. Dit betekent dat water wat hoog op het talud infiltreert direct een verhoging van de freatische lijn tot gevolg heeft. In werkelijkheid heeft dit water tijd nodig om door het filter naar beneden te stromen, waarbij onderweg een deel van het water gebruikt wordt voor het bevochtigen van het filtermateriaal.

Stel: water infiltreert op NAP + 3,5 m. Tijdens de infiltratieproef verloopt de freatische lijn van NAP tot NAP + 3,5 m (maximaal). Voor de schatting wordt uitgegaan van gemiddeld NAP + 1 m. Dit betekent een hoogteverschil van 2,5 m en een stroomlengte van $2,5/\sin 16^\circ = 9,1$ m. Bij een doorlatendheid van de onverzadigde zone van $5,6E-3$ m/s is de werkelijke snelheid $v = 5,6E-3 \cdot (1/3,5) \cdot (1/n) = 8E-3$ m/s. De tijdsduur is dus 1138 s (19 minuten).

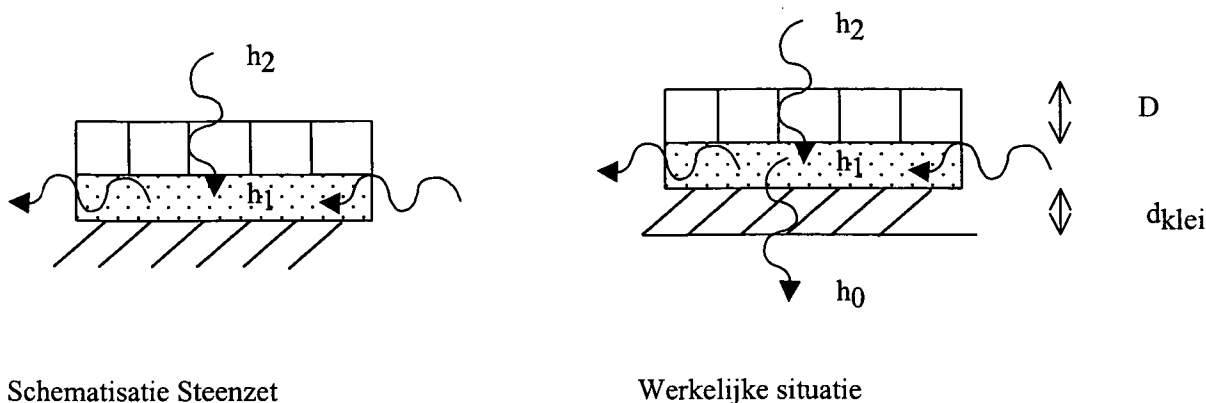
Het debiet per strekkende meterbreedte is $q = k \cdot i \cdot b = 5,6E-3 \cdot (1/3,5) \cdot 0,5 = 8E-4$ m²/s.

Een dergelijk gedrag moet worden gesimuleerd middels de doorlatendheid van de toplaag ter plaatse van de infiltratiesloot. De dikte van de toplaag is $D = 0,25$ m. De breedte waarover water infiltreert is 0,5 m (deze hangt af van de modellering van de lengte van de infiltratiesloot). Het verval over de bekleding is gemiddeld $D + 0,5 \cdot 0,1 = 0,3$ m. Dit geeft een debiet $q = k_{top} \cdot 0,5 \cdot (0,3/0,25) = k_{top} \cdot 0,6$. Gelijktellen geeft voor de fictieve toplaagdoorlatendheid $k_{top} = 1,3E-3$ m/s.

5.4 Simulatie van infiltratie in de ondergrond

De instroming vanuit de filterlaag in de ondergrond zou in principe op de volgende wijze gemodelleerd kunnen worden in Steenzet.

Er wordt een deel van het talud beschouwd met een lengte dx . De voeding van de filterlaag over dit gedeelte bestaat uit de stroming door de filterlaag.



Figuur 5.1 Schematisatie stroming naar filterlaag

Het debiet is $q = k_{top} \frac{h_2 - h_1}{D}$

In werkelijkheid is er ook een stroming door de onderliggende kleilaag. Dit geeft voor het netto debiet naar de filterlaag:

$$q_{netto} = k_{top} \frac{h_2 - h_1}{D} - k_{klei} \frac{h_1 - h_0}{d_{klei}}$$

In de berekening wordt gezocht naar de waarde van h_1 . Deze moet dus in beide modelleringen dezelfde waarde geven. Er is dus alleen te sturen met de waarden van de doorlatendheid $k_{top,calc}$ en de stijghoogte op het talud $h_{2,calc}$.

Het debiet in de Steenzet modellering en in werkelijkheid moet gelijk zijn. Dit geeft de volgende vergelijking:

$$q_{netto} = k_{top} \frac{h_2 - h_1}{D} - k_{klei} \frac{h_1 - h_0}{d_{klei}} = k_{top,calc} \frac{h_{2,calc} - h_1}{D}$$

Uitwerken van deze vergelijking geeft de volgende uitdrukking voor $h_{2,calc}$:

$$h_{2,calc} = h_1 \left(1 - \frac{k_{top}}{k_{top,calc}} - \frac{k_{klei}}{k_{top,calc}} \frac{D}{d_{klei}} \right) + \frac{k_{top}}{k_{top,calc}} h_2 + \frac{k_{klei}}{k_{top,calc}} h_0 \frac{D}{d_{klei}}$$

Dit moet onafhankelijk zijn van de waarde van h_1 . Dit is alleen het geval als de bijdrage van h_1 nul is, dus als

$$1 - \frac{k_{top}}{k_{top,calc}} - \frac{k_{klei}}{k_{top,calc}} \frac{D}{d_{klei}} = 0$$

Hieruit volgt:

$$k_{top,calc} = k_{top} + k_{klei} \frac{D}{d_{klei}}$$

Hiermee wordt de te gebruiken waarde voor de stijghoogte op het talud $h_{2,calc}$:

$$h_{2,calc} = \frac{k_{top} h_2 + k_{klei} h_0 * D/d_{klei}}{k_{top} + k_{klei} * D/d_{klei}}$$

Dit is ook te schrijven als een correctie op de stijghoogte op het buitentalud:

$$\Delta h_2 = h_2 - h_{2,calc} = \frac{k_{top} h_2 + k_{klei} h_2 * D/d_{klei} - k_{top} h_2 - k_{klei} h_0 * D/d_{klei}}{k_{top} + k_{klei} * D/d_{klei}} = \frac{k_{klei} (h_2 - h_0) * D/d_{klei}}{k_{top} + k_{klei} * D/d_{klei}}$$

Deze waarde hangt nog af van h_0 , de stijghoogte onder de kleilaag. Als de freatische lijn voldoende diep ligt is deze stijghoogte gelijk aan de plaatshoogte van de onderkant van de kleilaag ter plaatse. Deze varieert dus met de plaats langs het talud. Hiermee is de 'correctie' Δh_2 van de getijhoogte ook een functie van de plaats langs het talud.

Op deze wijze zou het mogelijk moeten zijn om een berekening te maken van de infiltratieproef.

5.5 Resultaten

De in de voorgaande paragrafen beschreven methode is toegepast op een berekening met Steenzet. Tot op heden heeft dit onverklaarbare en ongeloofwaardige resultaten opgeleverd. De oorzaak hiervan is binnen het kader van deze studie niet achterhaald.

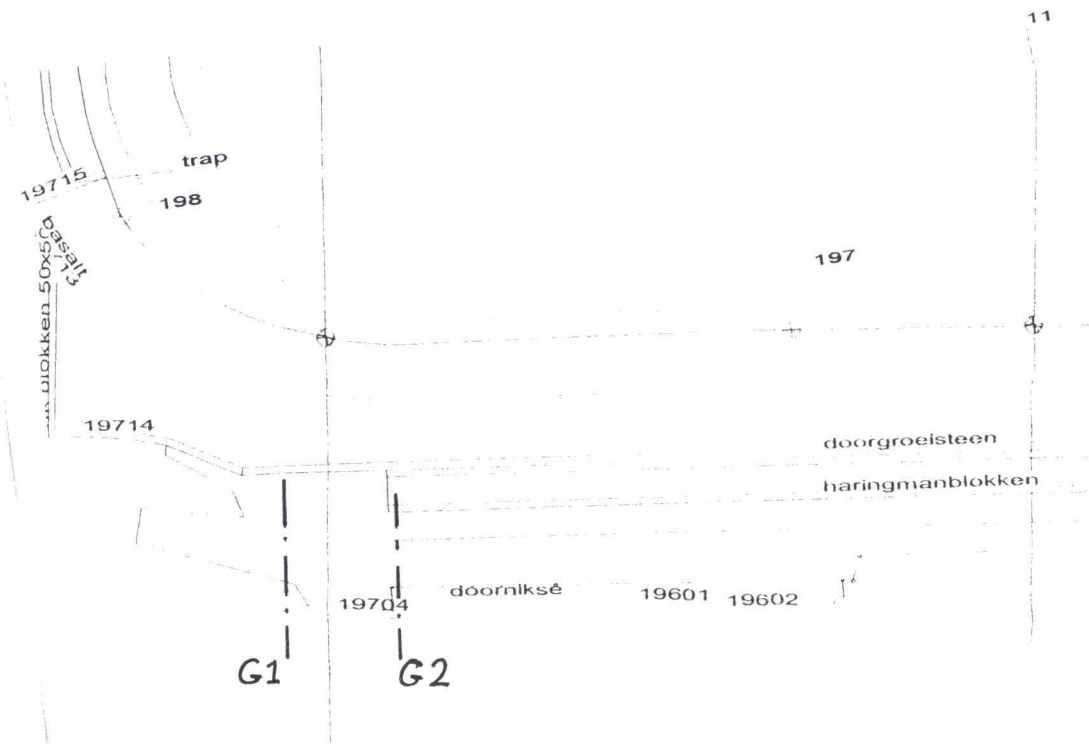
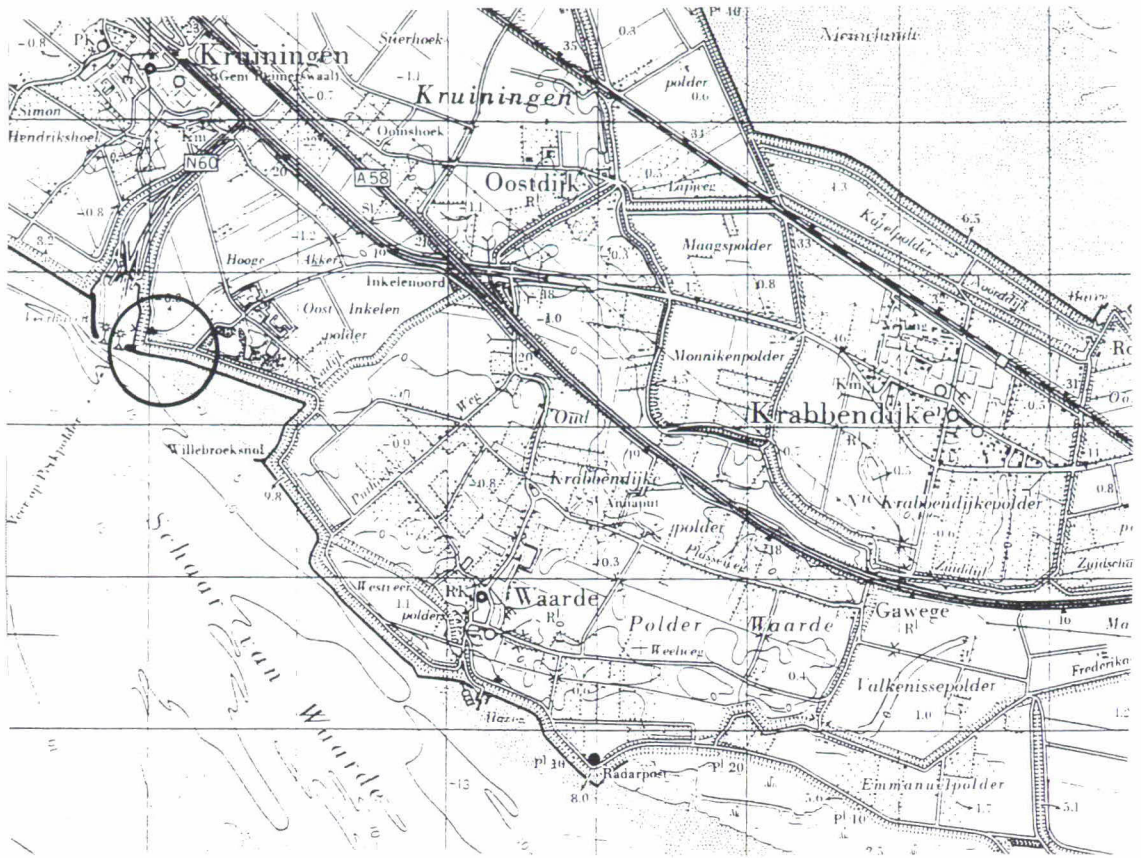
6 Conclusies

Uit de kwalitatieve analyse van de getijmeting volgt dat er waarschijnlijk water vanuit de filterlaag de dijk instroomt. Dit aspect zit niet in de modellering van Steenzet. Steenzet is daarom niet het meest geschikte programma om deze situatie na te rekenen en om een voorspelling te maken voor de situatie tijdens de infiltratieproef.

Desalniettemin is met Steenzet een schatting gemaakt voor de doorlatendheid van de toplaag en de filterlaag.

Het maken van predicties voor de infiltratieproef is niet gelukt. Hiervoor zijn, gegeven het feit dat de Steenzet modellering hiervoor niet geschikt is, complexe benaderingsformules noodzakelijk om deze in rekening te brengen. Dit bleek al snel op numerieke problemen te stuiten die binnen het kader van deze opdracht niet waren op te lossen. Indien de predictieberekeningen wel waren gelukt was de waarde daarvan toch twijfelachtig, gezien de beperkingen van Steenzet voor deze specifieke situatie.

BIJLAGEN



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.
2001-09-14	Mey

Getijmeting Inkelempolder, Kruiningen
Locatie

ctr.
CO-400970

form.
Annex2.1
A4



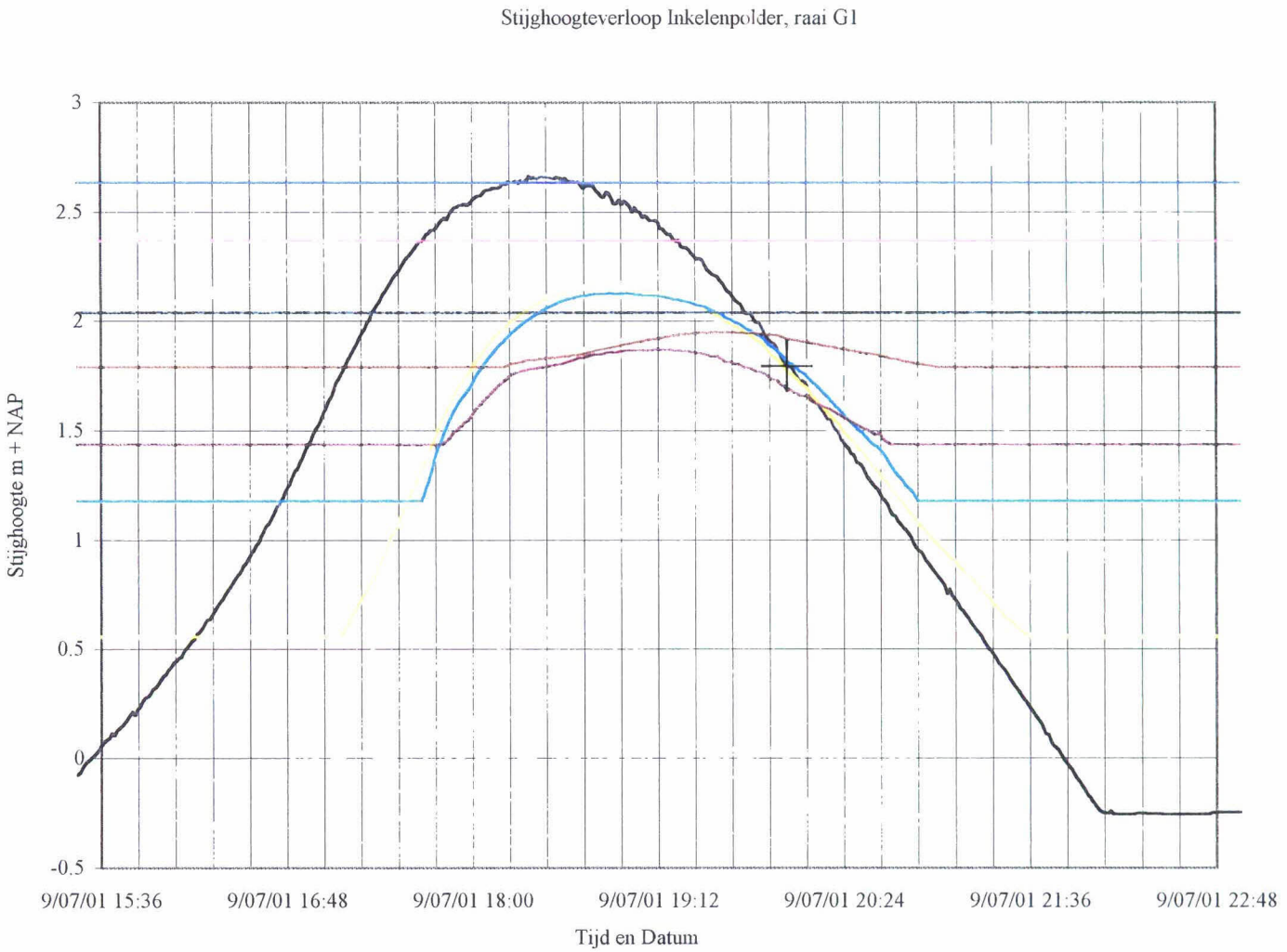
Stieltjesweg 2, NL 2628 CK DELFT
 P.O.Box 69, NL 2600 AB DELFT

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

Homepage:
www.geodelft.nl

date	2001-09-14	drw.	Mey
	CO-400970	ctr.	--
	Annex.3.1	form.	A4

Getijmeting Inkelenpolder, Kruiningen
 Foto's getijmeting



Postbus 69
2600 AB DELFT

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

GETIJMETING OOSTINKELENPOLDER, RAAI G1

Datum
2001-09-14

CO - 400970

get.
Meij

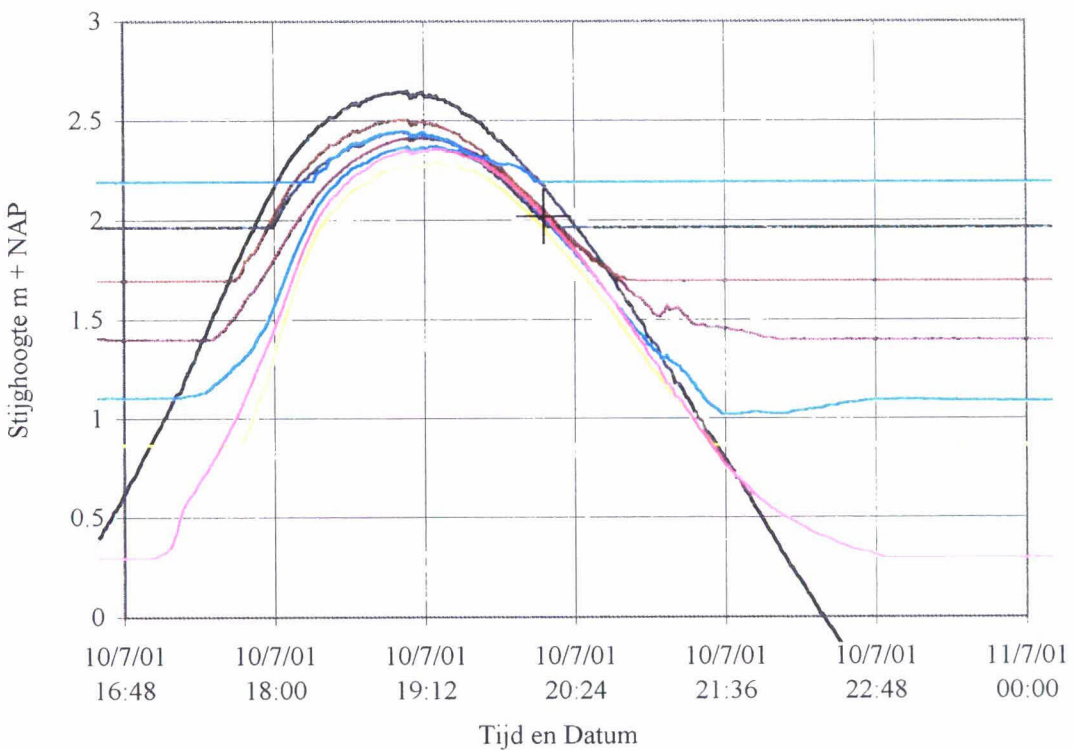
gez.

Resultaat getijmeting

BIJL. 3.2

form.
A4

Stijghoogteverloop Inkelenpolder, raai G2



- Getij
- WSM3
- WSM4
- WSM5
- WSM6
- WSM7
- WSM2
- + fitpunt
- WSM8



Postbus 69,
2600 AB DELFT

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

GETIJMETING OOSTINKELENPOLDER, RAAI G2

Datum
2001-09-14

CO - 400970

get.
Meij

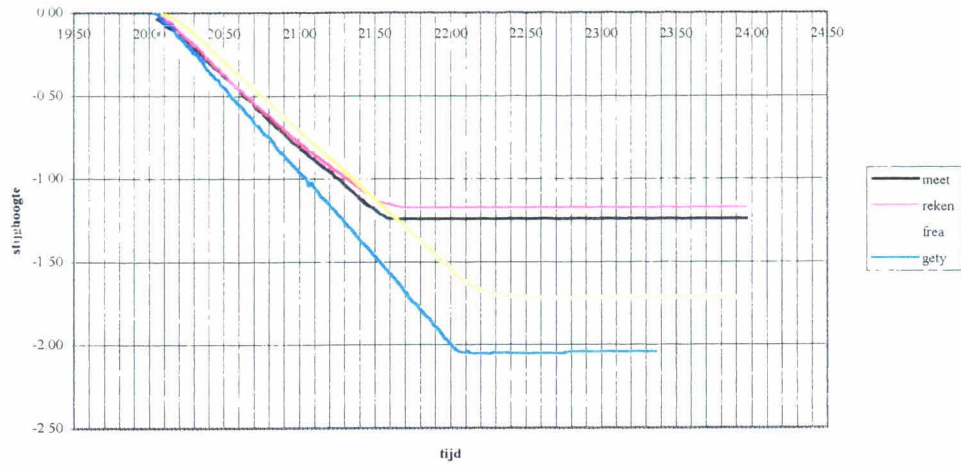
gez.

Resultaat getijmeting

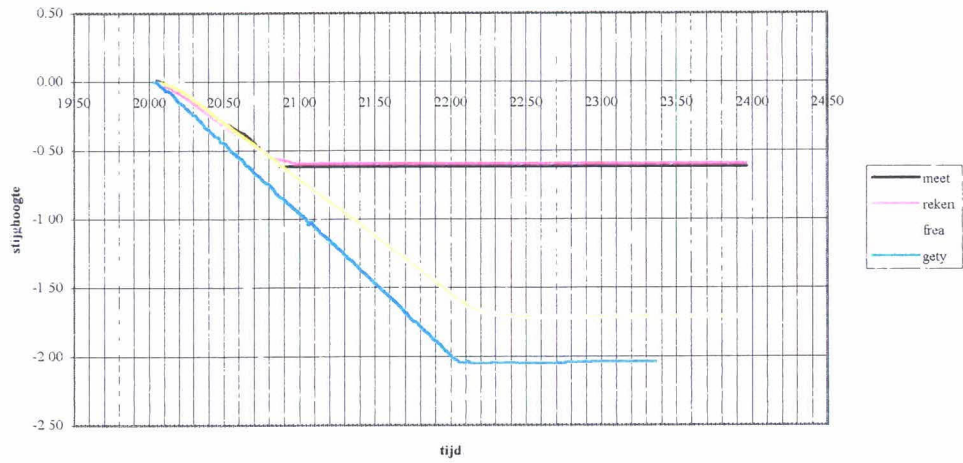
BIJL. 3.3

form.
A4

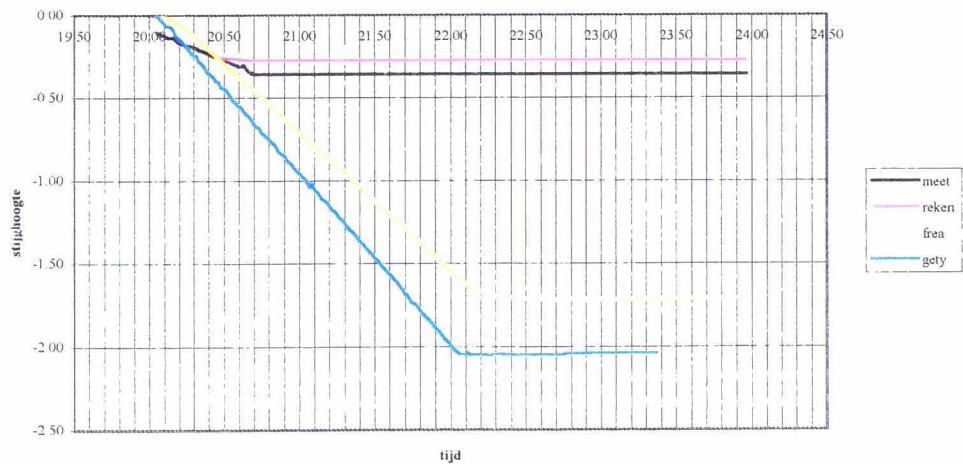
Vergelijking stijghoogtes, Inkelen1, wsm2




Vergelijking stijghoogtes, Inkelen1, wsm3



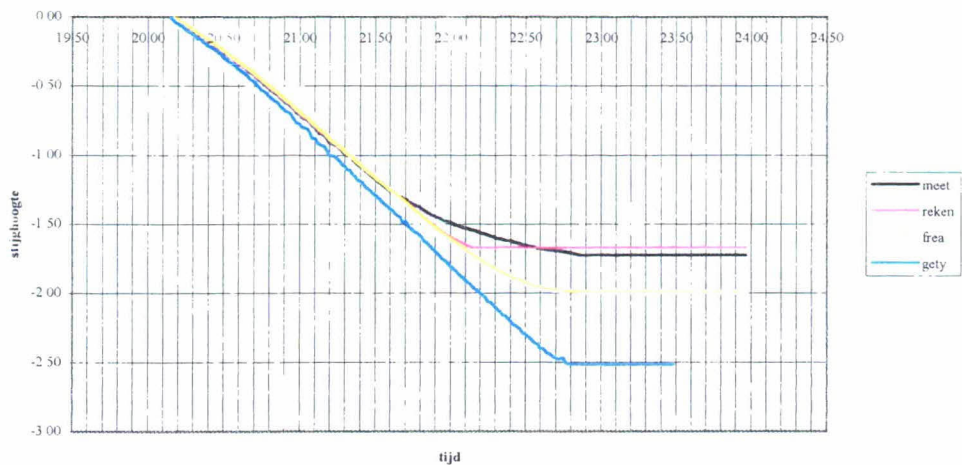
Vergelijking stijghoogtes, Inkelen1, wsm4



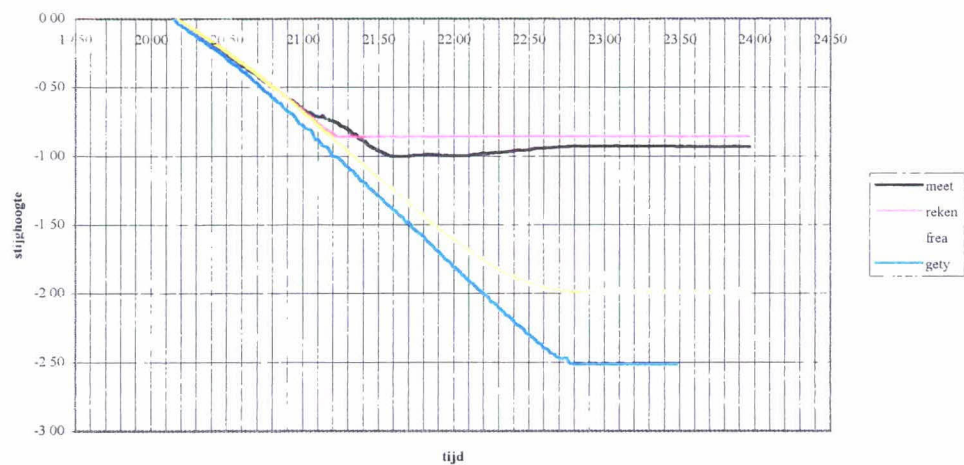
N.B. stijghoogte is ten opzichte van referentiehoogte NAP + 1,8 m

	Postbus 69, 2600 AB DELFT	Telefoon (015) 269 35 00 Telefax (015) 261 08 21	datum	get.
			2001/09/14	Meij
GETIJMETING OOSTINKELNPOLDER, RAAI G1			CO -400970	gez.
Resultaat narekenen getijmeting			BIJL. 4.1	form. A4

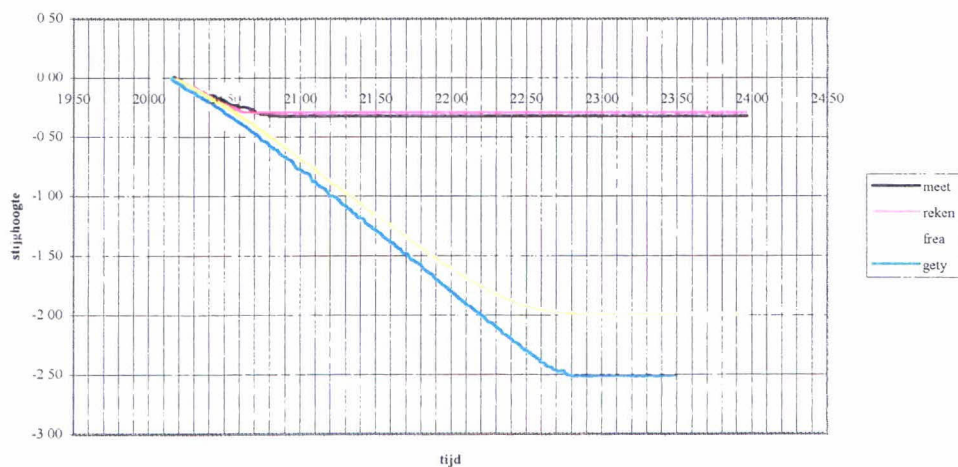
Vergelijking stijghoogtes, Inkelen2, wsm2




Vergelijking stijghoogtes, Inkelen2, wsm4



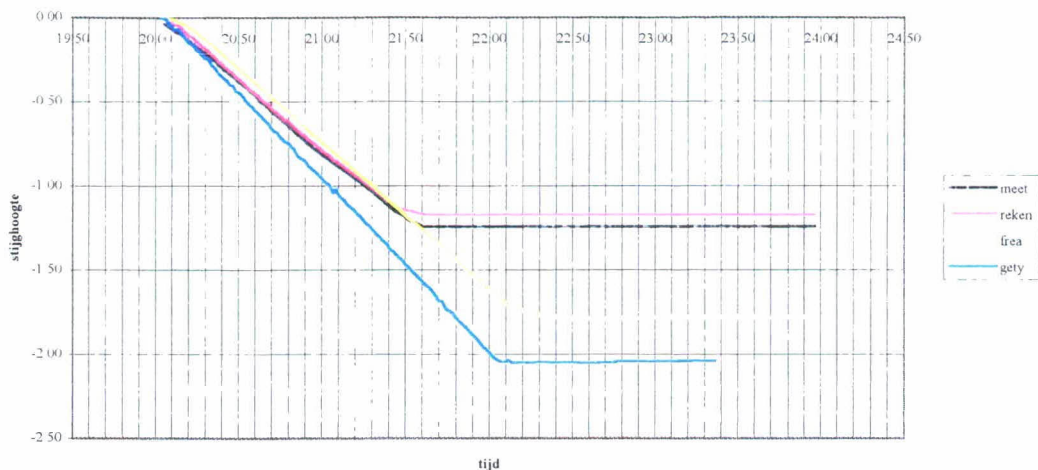
Vergelijking stijghoogtes, Inkelen2, wsm6



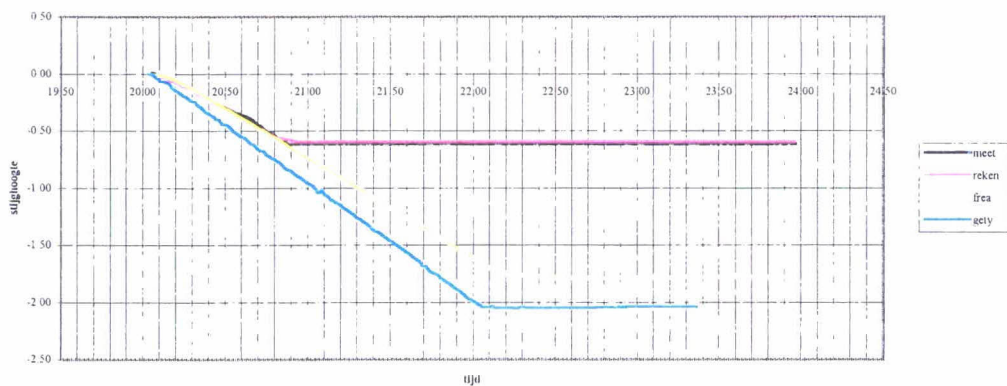
N.B. stijghoogte is ten opzichte van referentiehoogte NAP + 2,0 m

	Postbus 69, 2600 AB DELFT	Telefoon (015) 269 35 00 Telefax (015) 261 08 21	datum	get.
			2001/09/14	Meij
GETIJMETING OOSTINKELNPOLDER, RAAI G2			CO -400970	gez.
Resultaat narekenen getijmeting			BIJL. 4.2	form. A4

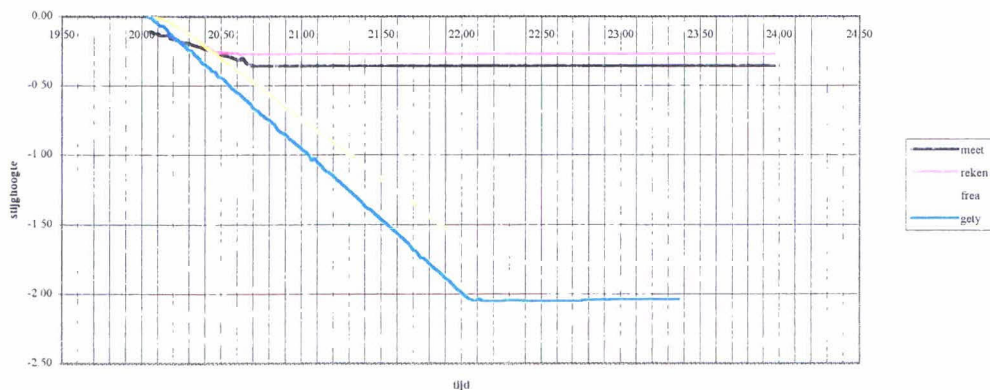
Vergelijking stijghoogtes, Inkelen1, wsm2




Vergelijking stijghoogtes, Inkelen1, wsm3



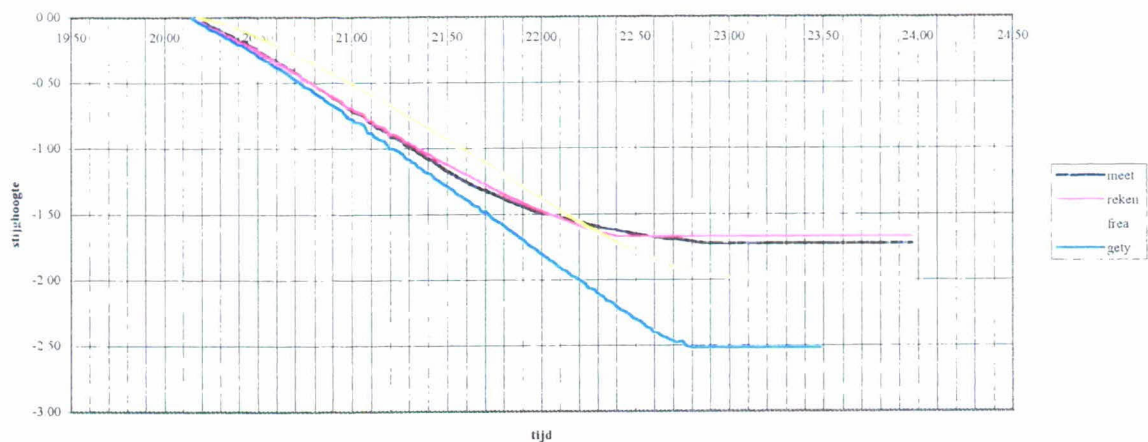
Vergelijking stijghoogtes, Inkelen1, wsm4



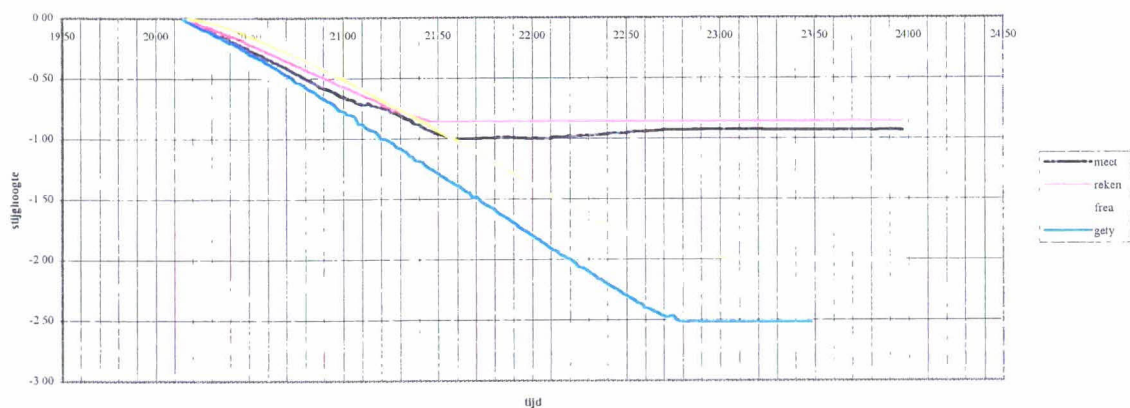
N.B. stijghoogte is ten opzichte van referentiehoogte NAP + 1,8 m

	Postbus 69, 2600 AB DELFT	Telefoon (015) 269 35 00 Telefax (015) 261 08 21	datum	get.
			2001/10/10	Meij
GETIJMETING OOSTINKELNPOLDER, RAAI G1			CO -400970	gez.
Resultaat narekenen getijmeting, 2e variant			BIJL. 4.3	form. A4

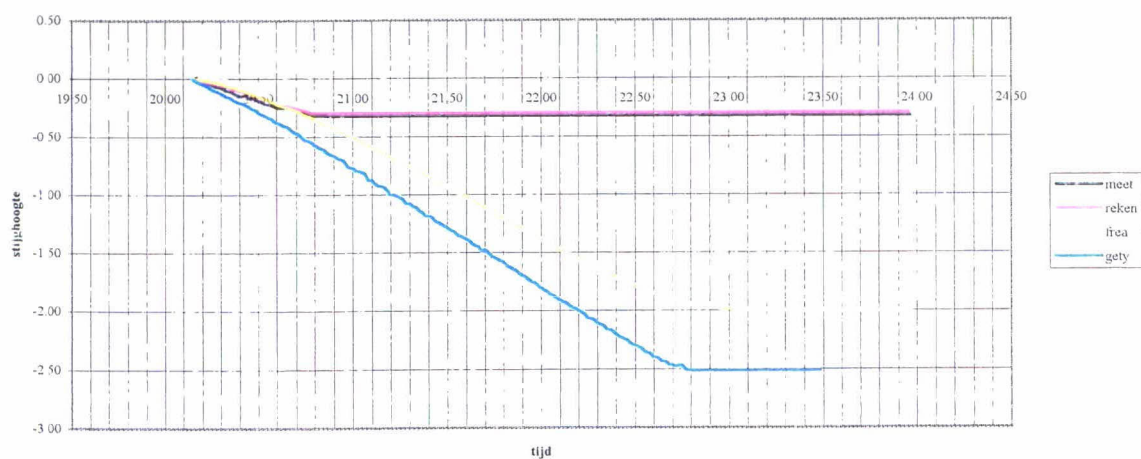
Vergelijking stijghoogtes, Inkelen2, wsm2



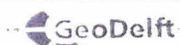
Vergelijking stijghoogtes, Inkelen2, wsm4

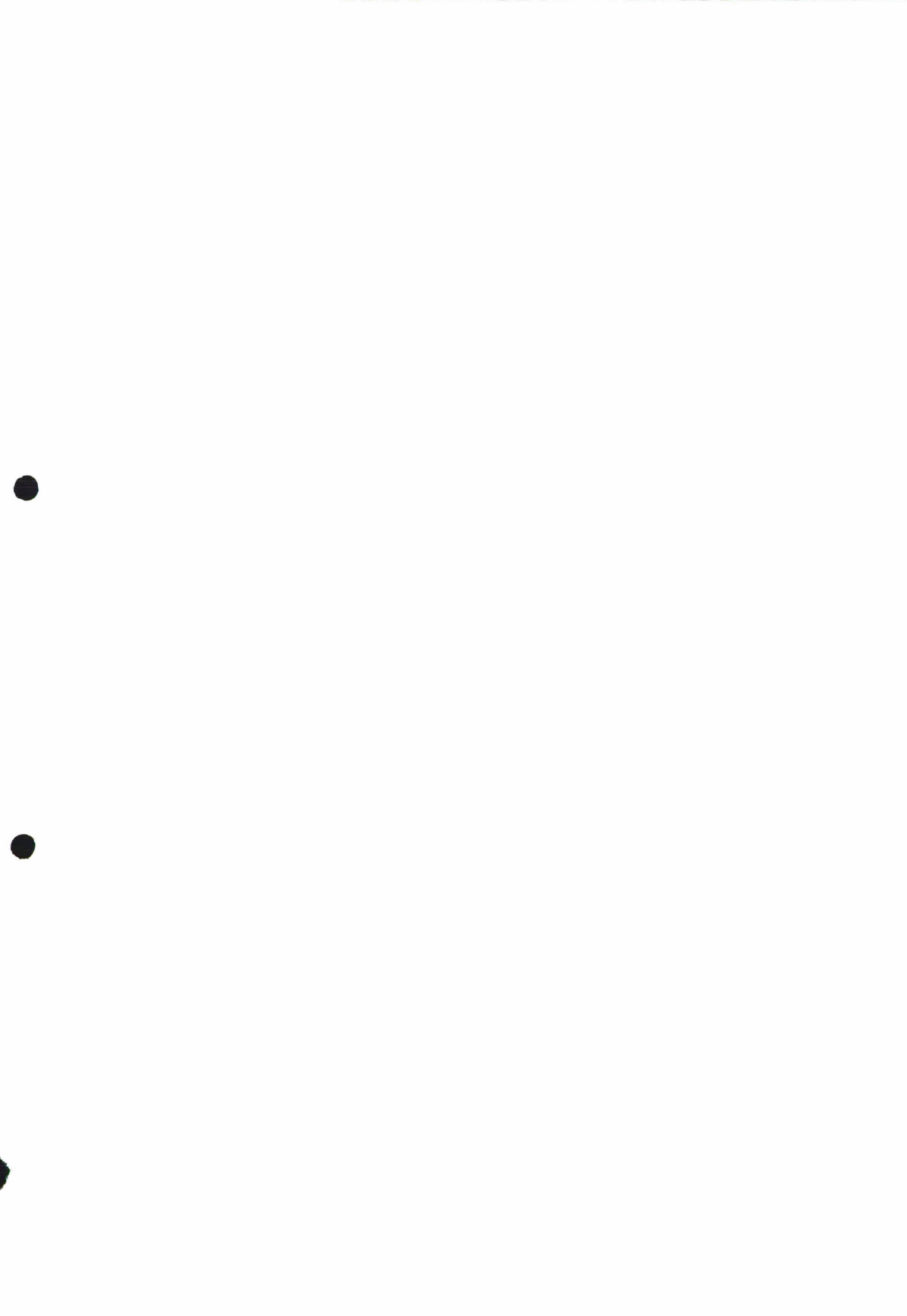


Vergelijking stijghoogtes, Inkelen2, wsm6



N.B. stijghoogte is ten opzichte van referentiehoogte NAP + 2,0 m

	Postbus 69, 2600 AB DELFT	Telefoon (015) 269 35 00 Telefax (015) 261 08 21	datum	get.
			2001/10/10	Meij
GETIJMETING OOSTINKELNPOLDER, RAAI G2			CO -400970	gez
Resultaat narekenen getijmeting, 2e variant			BIJL. 4.4	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