

Opdrachtgever

Rijkswaterstaat,
Directie Zeeland (PBZ)



Testen van Zsteen versie 1.8

Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen

rapport

december 2003

H4331

WL | Delft Hydraulics

Decisive advice: from multidisciplinary
policy studies to design and technical
assistance on all water-related issues.

Rotterdamseweg 185
p.o. box 177
2600 MH Delft
The Netherlands
telephone +31 15 285 85 85
telefax +31 15 285 85 82
e-mail info@wldelft.nl
internet www.wldelft.nl



Ministerie van Verkeer en Waterstaat



Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
Dienst Weg- en Waterbouwkunde



WL | delft hydraulics

Opdrachtgever:

Rijkswaterstaat, Directie Zeeland (PBZ)

Testen van ZSTEEN versie 1.8

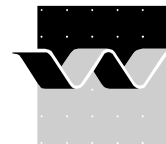
Onderzoeksprogramma

Kennisleemtes Steenbekledingen

M. Klein Breteler, B. van Vossen en C. Kuiper

rapport

december 2003



OPDRACHTGEVER:	RWS Directie Zeeland Project Bureau Zeeweringen					
TITEL:	Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen Testen van ZSTEEN versie 1.8					
SAMENVATTING:	<p>In het kader van het Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen, in 2003 opgestart door de Dienst Weg- en Waterbouwkunde, heeft voorliggend rapport betrekking op het deelonderzoek Ontwikkeling ZSTEEN, Deelplan 8.1.</p> <p>Naast het blackboxmodel en ANAMOS is in het verleden het numerieke model Steenzet ontwikkeld. In 2000 is begonnen met de ontwikkeling van ZSTEEN. Dit model is een doorontwikkeling van het Steenzetmodel. Om ZSTEEN als een volwaardig en gevalideerd toets- en ontwerp gereedschap te kunnen gebruiken zal het model eerst uitgebreid geverifieerd en gevalideerd moeten worden.</p> <p>In deze studie zijn testberekeningen gemaakt met het ZSTEEN model. Het model is op 4 punten getest:</p> <ul style="list-style-type: none">• Consistentie van de drukrandvoorwaarden• Narekenen van meetbestanden uit de Deltagoot• Bepalen invloed indikken van de databestanden op de berekende stabiliteit• Controleren van het verloop van het freatisch vlak in de granulaire laag tijdens een berekening <p>Tevens zijn enkele drukbestanden uit het standaard drukbestand van ZSTEEN verbeterd.</p>					
REFERENTIES:	contract : ZL-5755 Projectbegeleider DWW : R. 't Hart Projectbegeleider PBZ : Y. Provoost					
VER.	AUTEUR	DATUM	OPMERK.	REVIEW	GOEDKEURING	
1	B. van Vossen/ C. Kuiper	28-11-2003	concept	M. Klein Breteler	W.M.K. Tilmans	
2	M. Klein Breteler/ B. van Vossen/ C. Kuiper	9-12-2003	concept2	M.R.A. van Gent	W.M.K. Tilmans	
	M. Klein Breteler/ B. van Vossen/ C. Kuiper	15-12-2003	definitief	M.R.A. van Gent	W.M.K. Tilmans	
3						
PROJECTNUMMER	H4331					
TREFWOORDEN:	steenzetting, ZSTEEN					
AANTAL BLADZIJDEN						
VERTROUWELIJK	<input type="checkbox"/> JA, tot (datum)			<input checked="" type="checkbox"/> NEE		
STATUS:	<input type="checkbox"/> VOORLOPIG		<input type="checkbox"/> CONCEPT		<input checked="" type="checkbox"/> DEFINITIEF	

Lijst van Symbolen
Lijst van Tabellen
Lijst van Figuren

Inhoud

1	Inleiding	1
2	Consistentie van rekenresultaten	2
2.1	Invloed van de waterstand	3
2.2	De drukbestandskeuze: dimensioneren vs toetsen.....	5
2.3	Analyse van de relatie tussen blokbeweging en ξ_{op} en H_s	6
3	Vergelijking tussen gemeten en berekende blokbeweging	10
4	Invloed inkorten van drukbestanden	14
5	Afwikkeling van de freatische lijn	16
5.1	Inleiding.....	16
5.2	Analytische oplossing.....	16
5.2.1	Case 1: Hoge freatische lijn.....	18
5.2.2	Case 2: Lage freatische lijn.....	19
5.3	ZSTEEN-berekening	21
5.3.1	Case 1: Hoge freatische lijn.....	22
5.3.2	Case 2: Lage freatische lijn.....	23
5.4	Resultaat van de vergelijking met analytische oplossing.....	24
6	Kwaliteitscheck drukbestanden	25
7	Conclusies	28
A	Inputfiles ZSTEEN	A-1
B	Figuren	B-1
C	Overzicht van het onderzoeksprogramma “kennisleemtes steenbekledingen”	C-1

Lijst van Symbolen

<i>Symbol</i>	<i>Eenheid</i>	<i>Betekenis</i>
b	(m)	laagdikte van het filter
b_u	(m)	laagdikte van de uitvullaag
B	(m)	blokbreedte
D	(m)	laagdikte van de toplaag
D_{15}	(mm)	korrelgrootte inwassing
D_{f15}	(mm)	korrelgrootte filter
D_{u15}	(mm)	korrelgrootte uitvullaag
H	(m)	waterstandsverschil
h_0	(m)	waterstand
H_s	(m)	significante golfhoogte
i_f	(-)	verhang in de filterlaag
i_{max}	(-)	maximale verhang in de filterlaag
k	(m/s)	doorlatendheid van het filter
k'	(m/s)	doorlatendeheid van de toplaag
L	(m)	bloklengte
L_{op}	(m)	golflengte omgerekend naar diep water
n	(-)	porositeit van het inwassingsmateriaal
n_B	(-)	aantal blokbewegingen
n_f	(-)	porositeit van het filter
n_u	(-)	porositeit van de uitvullaag
P	(N/m ²)	druk in het filter
P_{max}	(N/m ²)	maximale verschildruk over de toplaag
q	(m ³ /s/m)	debiet door de filterlaag
Q	(m ³ /s/m)	debiet door de filterlaag
s	(mm)	spleetbreedte
s_{langs}	(mm)	spleetbreedte in langsrichting
s_{stoot}	(mm)	spleetbreedte in stoot(dwars)richting
T_p	(s)	golfperiode bij de piek van het spectrum
u_f	(m/s)	snelheid waarmee de freatische lijn verandert
y	(m)	positie langs het talud gemeten
y_w	(m)	lengte onverzadigde zone
Y_{gem}	(mm)	gemiddelde blokbeweging
Y_{max}	(mm)	maximum blokbeweging
z	(m)	verticale coördinaat
α	(-)	taludhelling
Δ	(-)	relatieve volumieke massa= $(\rho_s - \rho) / \rho$
ϕ_f	(m)	stijghoogte in het filter
ϕ_{buiten}	(m)	stijghoogte op de toplaag

<i>Symbol</i>	<i>Eenheid</i>	<i>Betekenis</i>
ϕ_{max}	(m)	maximale stijghoogteverschil over de toplaag
λ	(m)	lekhoogte
L	(m)	leklengte
ξ_{op}	(m)	brekerparameter voor onregelmatige golven
ρ	kg/m ³	volumieke massa van water
ρ_s	kg/m ³	volumieke massa van de blokken

Lijst van Tabellen

Tabel 2.1	Constructie-eigenschappen van Constructie A en B
Tabel 2.2	Uitgevoerde berekeningen ter de controle van de toetsmode van ZSTEEN
Tabel 2.3	Berekeningen voor de analyse van blokbeweging versus ξ_{op}
Tabel 3.1	Geselecteerde modelproeven die zijn uitgevoerd in de Deltagoot
Tabel 3.2	Constructie parameters
Tabel 3.3	Proefresultaat van het Deltagootonderzoek en rekenresultaten met ZSTEEN
Tabel 4.1	Gekozen proeven voor het vergelijken van de rekenresultaten met een ingedikt meetbestand t.o.v. een volledig meetbestand
Tabel 4.2	Vergelijking van maximum blokbewegingen berekend met ingedikte meetbestanden en volledige meetbestanden
Tabel 5.1	Constructie eigenschappen

Lijst van Figuren

In rapport:

- Figuur 2.1 Steenzetting met verticaal gemeten periodiciteit van $(B+s)\sin \alpha$
- Figuur 2.2 Periodiciteit in ZSTEEN-resultaten als functie van de gebruikte waterstand berekend met constructie A
- Figuur 2.3 Periodiciteit in ZSTEEN-resultaten als functie van de gebruikte waterstand berekend met constructie B
- Figuur 2.4 Stabiliteitskrommen afgeleid op basis van modelproeven in Klein Breteler & Kuiper (2000)
- Figuur 5.1 Schematische weergave gebruikte parameters
- Figuur 5.2 Maximale belasting als functie van golfhoogte en lekhoogte
- Figuur 5.3 Analytische berekening van het stijghoogteverloop in het filter bij een hoge freatische lijn
- Figuur 5.4 Analytische berekening van het stijghoogteverloop in het filter bij een lage freatische lijn
- Figuur 5.5 Stijghoogteverloop in het filter met ZSTEEN vergeleken met een analytische oplossing (hoge buitenwaterstand)
- Figuur 5.6 Stijghoogteverloop in het filter met ZSTEEN vergeleken met een analytische oplossing (lage buitenwaterstand)

In Bijlage 'Figuren':

- Figuur B.1 Maximale blokbeweging Constructie A met Talud 1:3 als functie van ξ_{op} voor verschillende H_s
- Figuur B.2 Maximale blokbeweging Constructie A met Talud 1:3.5 als functie van ξ_{op} voor verschillende H_s
- Figuur B.3 Maximale blokbeweging Constructie A met Talud 1:4 als functie van ξ_{op} voor verschillende H_s
- Figuur B.4 Maximale blokbeweging Constructie B met Talud 1:3 als functie van ξ_{op} voor verschillende H_s
- Figuur B.5 Maximale blokbeweging Constructie B met Talud 1:3.5 als functie van ξ_{op} voor verschillende H_s
- Figuur B.6 Maximale blokbeweging Constructie B met Talud 1:4 als functie van ξ_{op} voor verschillende H_s
- Figuur B.7 Maximale blokbeweging versus κ_s voor constructie A voor berekeningen met $H_s = 0.8$
- Figuur B.8 Maximale blokbeweging versus ξ_{op} voor constructie A voor berekeningen met $H_s = 1.2$
- Figuur B.9 Maximale blokbeweging versus ξ_{op} voor constructie B voor berekeningen met $H_s = 0.8$
- Figuur B.10 Maximale blokbeweging versus ξ_{op} voor constructie B voor berekeningen met $H_s = 1.2$
- Figuur B.11 Maximale blokbeweging versus significante golfhoogte voor constructie A

- met $\xi_{op} \approx 1.7$
- Figuur B.12 Maximale blokbeweging versus significante golfhoogte voor constructie A met $\xi_{op} \approx 2.2$
- Figuur B.13 Maximale blokbeweging versus significante golfhoogte voor constructie B met $\xi_{op} \approx 1.7$
- Figuur B.14 Maximale blokbeweging versus significante golfhoogte voor constructie B met $\xi_{op} \approx 2.2$
- Figuur B.15 Analyse indikken golfbestanden: Vergelijking van de maximum blokbeweging berekend met het ingedikte bestand (boven) en het volledige bestand (onder) voor proef 12cc06
- Figuur B.16 Analyse indikken golfbestanden: Vergelijking van de maximum blokbeweging berekend met het ingedikte bestand (boven) en het volledige bestand (onder) voor proef T5o05
- Figuur B.17 Vergelijking van dezelfde golfklap in het volledige en ingedikte bestand
- Figuur B.18 Stijghoogteverloop volgens ZSTEEN tijdens proef 3012, vanaf stap 6598
- Figuur B.19 Stijghoogteverloop volgens ZSTEEN tijdens proef 3012, vanaf stap 6602
- Figuur B.20 Stijghoogteverloop volgens ZSTEEN tijdens proef 3012, vanaf stap 2255
- Figuur B.21 Positie van de drukopnemers in de GEF-file t.b.v. ZSTEEN-berekening voor Case 1 en Case 2
- Figuur B.22 Maximum stijghoogteverschil berekend met ZSTEEN voor een hoge buitenwaterstand
- Figuur B.23 Maximum stijghoogteverschil berekend met ZSTEEN voor een lage buitenwaterstand

I Inleiding

Ingevolge de Wet op de Waterkering dienen steenzettingen op waterkeringen vijfjaarlijks getoetst te worden. In de praktijk kan aan veel steenzettingen geen definitief toetsoordeel toegekend worden wegens een gebrek aan wetenschappelijke kennis.

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

In het kader van dit onderzoeksprogramma heeft voorliggend rapport betrekking op het deelonderzoek “Ontwikkeling ZSTEEN, Deelplan 8.1”. Het totale overzicht van het Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen, zoals bij aanvang van dat programma gepland was, is weergegeven in Bijlage C.

Met een brief (PZDT-B-03217 d.d. 26-09-2003) heeft Rijkswaterstaat, Directie Zeeland, WL | Delft Hydraulics gevraagd een offerte in te dienen voor uitvoering van een aantal taken in het kader van dit onderzoeksprogramma. Op 10 oktober 2003 kreeg WL | Delft Hydraulics opdracht (contract ZL-5755) de volgende vijf deelonderzoeken uit te voeren:

- A. Golfaanval met grote golfperiode;
- B. Stabiliteit van basalt;
- C. Golfklappen;
- D. Invloed van scheve golfaanval;
- E. Testen van ZSTEEN.

Dit rapport beschrijft de resultaten van onderdeel E van het onderzoek. Om van ZSTEEN een volwaardig toetsings- en ontwerpgereedschap te maken is het noodzakelijk dat ZSTEEN eerst een uitgebreide test ondergaat op een aantal belangrijke functionaliteiten. In dit onderzoek zijn ZSTEEN-sommen gedaan om een aantal ZSTEEN-functionaliteiten te testen. Hierin is gebruik gemaakt van ZSTEEN Versie 1.8 (build 1.3). Er zijn 4 onderdelen te onderscheiden waarop ZSTEEN is getest:

1. Consistentie van de drukrandvoorwaarden (Hoofdstuk 2)
2. Vergelijking tussen gemeten en berekende blokbeweging (Hoofdstuk 3)
3. Bepalen invloed indikken van de databestanden op de berekende stabiliteit (Hoofdstuk 4)
4. Verifiëren van het verloop van het freatisch vlak in de granulaire laag tijdens een berekening (Hoofdstuk 5)

Bij de werking met ZSTEEN zijn enkele drukbestanden uit het standaard bestand van ZSTEEN als niet correct of ‘verdacht’ betiteld. In Hoofdstuk 6 is aangegeven om welke bestanden het gaat en hoe deze zijn verbeterd.

Tenslotte worden in Hoofdstuk 7 conclusies getrokken op basis van de uitgevoerde testen.

2 Consistentie van rekenresultaten

In dit onderdeel van het testen van ZSTEEN is de consistentie van rekenresultaten op drie onderdelen gecontroleerd:

1. Bepalen van eventuele invloed van de waterstand op berekende blokbewegingen.
2. Controle van de drukbestandskeuze die ZSTEEN maakt in de toetsmode
3. Onderzoek naar een mogelijk verband tussen berekende blokbewegingen en de waarde van de brekerparameter ξ_{op} :

$$\xi_{op} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{H_s / L_{op}}}$$

- $\tan \alpha$: taludhelling (-)
 H_s : significante golfhoogte bij de teen van het talud (m)
 L_{op} : $gT_p^2 / (2\pi) =$ golflengte, op basis van T_p (m)
 T_p : golfperiode bij de piek van het spectrum (s)

Voor het testen van deze items zijn twee basisconstructies gekozen: een Constructie A met lange leklengte, bestaande uit betonblokken met smalle spleten op een uitvullaag, en een constructie B met korte leklengte, bestaande uit betonzuilen op een dun filter. Tabel 2.1 toont de constructieparameters die voor de invoer in ZSTEEN zijn gebruikt.

	Constructie A	Constructie B
leklengte (Λ)	1.07 m	0.26 m
afmetingen (L x B)	0.5 m x 0.5 m	0.09 m ²
dikte toplaag (D)	0.25 m	0.15 m
spleetbreedte (s)	1.5 mm	- mm
% open oppervlak	-	10%
klemfactor	1	1
ρ_{steen}	2300	2400
inwassing	nee	nee
korrelgrootte filter (D_{f15})	8 mm	20 mm
laagdikte filter (b)	0.20 m	0.15 m
Porositeit filter (n)	0.35	0.40

Tabel 2.1 Constructie-eigenschappen van Constructie A en B.

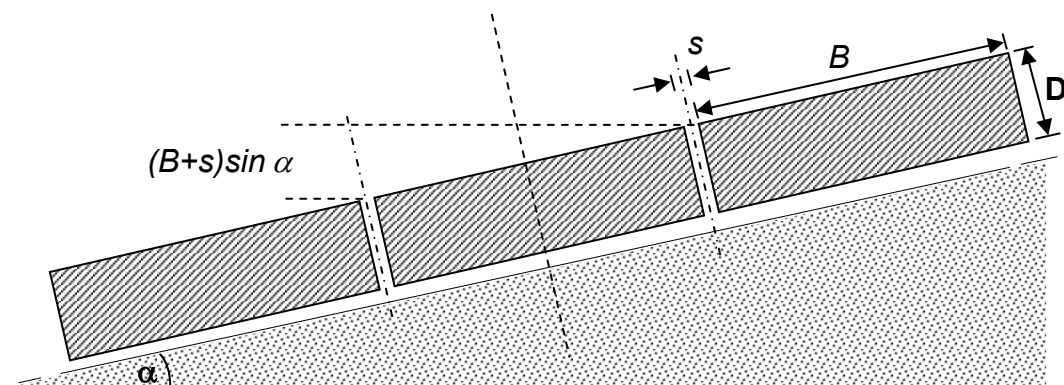
Alle berekeningen zijn uitgevoerd met een dichtheid voor water van $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$.

2.1 Invloed van de waterstand

ZSTEEN is een programma dat de steenzetting schematiseert tot een serie ondoorlatende blokken met daartussen spleten waardoor water kan stromen. Met behulp van gemeten golfdrukken in een databestand wordt de belasting en de respons van de steenzetting berekend. De discrete weergave van de steenzetting met spleten op onderlinge afstand B , maakt dat het rekenresultaat afhankelijk is van de locatie waar de golfbelasting maximaal is, ten opzichte van de locatie van de spleten. In deze paragraaf is dit nader onderzocht.

De locatie van de maximale belasting op de steenzetting is afhankelijk van de gekozen waterstand. Een kleine verandering van de waterstand, van bijvoorbeeld 1 cm, zorgt ervoor dat de belasting net anders komt te liggen t.o.v. de spleten, waardoor de berekende blokbeweging verandert. Dit is een probleem dat samenhangt met de discretisatie van de drukrandvoorwaarden op de blokken in ZSTEEN, en heeft niets te maken met de fysische realiteit, omdat een dergelijke kleine verandering van de waterstand in werkelijkheid een verwaarloosbaar invloed heeft op de blokbeweging.

De variatie van de blokbeweging als functie van de waterstand heeft waarschijnlijk een periodiciteit die evenredig is met de blokbreedte. In onderstaande figuur is aangegeven dat een waterstandsverandering ter grootte van $(B+s)\sin\alpha$ de belasting op de steenzetting zodanig verschuift dat de locatie van de maximale belasting onveranderd is t.o.v. de locatie van de spleten (alles is precies één spleet opgeschoven). Daardoor mag verwacht worden dat het rekenresultaat varieert met een periode van $(B+s)\sin\alpha$.



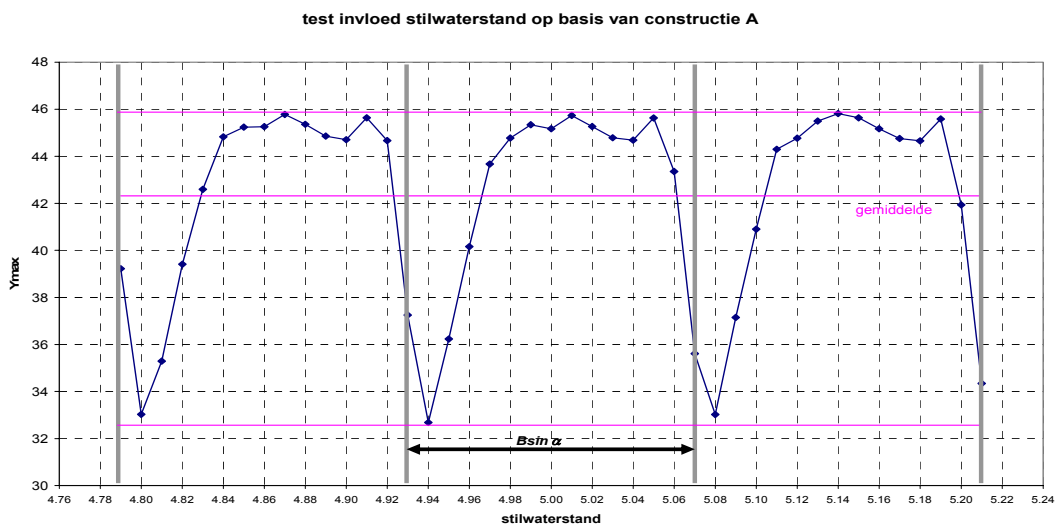
Figuur 2.1 Steenzetting met verticaal gemeten periodiciteit van $(B+s)\sin\alpha$.

Om de hypothese van periodiciteit in de ZSTEEN-resultaten te toetsen zijn met constructie A en B series berekeningen uitgevoerd met verschillende waterstanden h_0 . De berekeningen zijn uitgevoerd met:

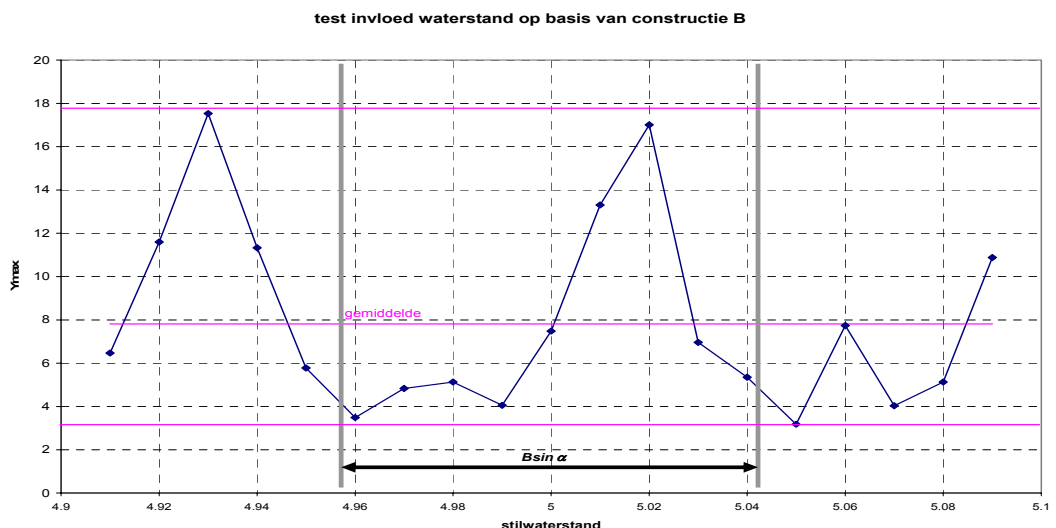
- Constructie A: een taludhelling van 1:3, significante golfhoogte van $H_s = 1,2$ m en brekerparameter van $\xi_{op} = 1,67$ (bestand van proef 3005).
- Constructie B: een taludhelling van 1:3,5, significante golfhoogte van $H_s = 1,2$ m en brekerparameter van $\xi_{op} = 1,36$ (bestand 12ao03).

De waterstand is met kleine stappen gevarieerd over 2 à 3 veronderstelde perioden. De gebruikte stapgrootte voor de waterstanden bedroeg 1 cm.

Voor constructie A met een talud van 1:3 geldt met de waarden uit Tabel 2.1: $(B+s)\sin\alpha = 0,159$ m. Voor de zuilen van constructie B is dit minder eenvoudig te berekenen. In ZSTEEN wordt een zuil omgewerkt naar een vierkant blok met brede spleten ertussen. De breedte van zo'n blok is gelijk aan de wortel uit het blokkoppervlak, in dit geval: $B = \sqrt{0,09} = 0,3$ m. De spleetbreedte wordt vervolgens zo gekozen dat het klopt met het open oppervlak, in dit geval: $s \approx 15$ mm. Er geldt derhalve voor een talud van 1:3,5: $(B+s)\sin\alpha = 0,087$ m.



Figuur 2.2 Periodiciteit in ZSTEEN-resultaten als functie van de gebruikte waterstand berekend met constructie A.



Figuur 2.3 Periodiciteit in ZSTEEN-resultaten als functie van de gebruikte waterstand berekend met constructie B.

Figuur 2.2 en Figuur 2.3 laten zien dat de ZSTEEN resultaten inderdaad periodiek variëren met de waterstand. Omdat de veronderstelde periode geen exact veelvoud is van de gebruikte stapgrootte in h_0 , lijken de resultaten niet exact periodiek. Zo is in Figuur 2.3 een

piek te zien bij de berekening met $h_0 = 5,06$ m die tussen de berekeningen met $h_0 = 4,98$ m en $h_0 = 4,97$ m wegvalt. De stapgrootte is niet kleiner te kiezen omdat 1 cm de kleinste mogelijke variatie in de waterstand is die in ZSTEEN ingevoerd kan worden.

In Figuur 2.2 valt op dat de blokbeweging voor de meeste waterstanden dicht bij het maximum ligt, terwijl in Figuur 2.3 juist bij de meeste waterstanden een blokbeweging wordt berekend die dicht bij het minimum ligt. In beide berekeningsseries bedraagt de variatie in berekende Y_{max} ongeveer 13 à 15 mm.

Om af te tasten of de geconstateerde variatie van ca 15 mm in de berekende blokbeweging ook voor andere golfcondities optreedt, zijn er nog drie berekeningen uitgevoerd met een golfhoogte van $H_s = 1,2$ m en een brekerparameter van $\xi_{op} = 1,49$ (bestand T5o03) op constructie B. Dit resulteerde in een variatie tussen de hoogste en laagste maximale blokbeweging van 16 mm. Vervolgens zijn er nog berekeningen gemaakt met constructie A, met golfhoogte van $H_s = 0,8$ m, talud van 1:4 en 5 brekerparameters van $1,06 < \xi_{op} < 2,43$. Dit leverde een variatie van blokbeweging op van gemiddeld 14 mm (kleinste waarde: 6 mm; grootste waarde: 24 mm).

Op grond van bovenstaande berekeningen kan geconcludeerd worden dat, wanneer slechts één ZSTEEN-berekening worden uitgevoerd, de maximale blokbeweging ongeveer 15 mm kan worden overschat of onderschat. Het is niet op voorhand te voorspellen bij welke waterstand de maximale blokbeweging berekend wordt. Daarom kan voorlopig geconcludeerd worden dat er rekening gehouden moet worden met een onzekerheidsmarge van ± 15 mm als slechts één berekening gemaakt wordt.

In de analyse in paragraaf 2.3, naar een mogelijk verband tussen berekende blokbewegingen en de waarde van de brekerparameter ξ_{op} , is deze onzekerheid meegenomen.

2.2 De drukbestandskeuze: dimensioneren vs toetsen

Voor de controle van de toetsmode van ZSTEEN is met een talud van 1:3,5 en Constructietype A een berekening gemaakt voor $\xi_{op} = 1.93$ in zowel de toetsmode als de dimensioneermode. Voor de toetsingberekening zal door ZSTEEN gekozen moeten worden voor de dichtstbijzijnde randvoorwaarde ($\xi_{op} = 1.92$), terwijl de dimensioneermode een conservatievere benadering kiest en dat zou het drukbestand met $\xi_{op} = 2.09$ moeten zijn. Tabel 2.2 toont het overzicht van de uitgevoerde berekeningen voor dit onderdeel.

berekening	reken mode	instel ξ	geselecteerd golfbestand	reken ξ
T5o05-10-192D	dimensioneren	1.92	T350K192.gef	1.92
T5o05-10-193D	dimensioneren	1.93	T350K209.gef	2.09
T5o05-10-193T	toetsen	1.93	T350K192.gef	1.92
T5o05-10-202T	toetsen	2.02	T350K209.gef	2.09
T5o05-10-209D	dimensioneren	2.09	T350K209.gef	2.09

Tabel 2.2 Uitgevoerde berekeningen ter controle van de toetsmode van ZSTEEN.

Uit deze berekeningen volgt dat ZSTEEN bij het dimensioneren het eerstvolgende golfbestand met hogere ξ_{op} selecteert, terwijl bij gebruik van de toetsmode het golfbestand wordt geselecteerd met de dichtstbijzijnde ξ_{op} -waarde. Dit is conform de beoogde opzet.

2.3 Analyse van de relatie tussen blokbeweging en ξ_{op} en H_s

Voor het onderzoek naar een mogelijk verband tussen berekende blokbewegingen en de waarde van de brekerparameter ξ_{op} zijn met beide constructietypen voor drie verschillende taludhellingen berekeningen uitgevoerd met oplopende ξ_{op} -waarde en een aantal gekozen waarden van de significante golfhoogte H_s . Deze berekeningen zijn gebaseerd op de brekerparameters van de drukbestanden die onderdeel uitmaken van de standaardset van ZSTEEN. De analyse richt zich op de berekende blokbeweging als functie van ξ_{op} en H_s .

Tabel 2.3 toont een overzicht van de uitgevoerde series berekeningen. Alle series in Tabel 2.3 zijn uitgevoerd voor constructie A en B met 5 verschillende significante golfhoogten, namelijk: $H_s = 0,6$ m, $H_s = 0,8$ m, $H_s = 1,0$ m, $H_s = 1,2$ m en $H_s = 1,4$ m. Het totaal aantal berekeningen voor dit onderdeel bedraagt daarmee 150. De stormduur d_s werd zo ingesteld dat het aantal golven per berekening ongeveer 1000 bedroeg door gebruikmaking van: $d_s = 1000 \cdot T_p / 1.2$ s.

De stilwaterstand bedroeg voor alle berekeningen 5,0 m. Er is niet gezocht naar de waterstand die de meeste blokbeweging oplevert, waardoor rekening gehouden moet worden met een onzekerheidsmarge van ± 15 mm in verband met de waterstandsproblematiek (zie par. 2.1).

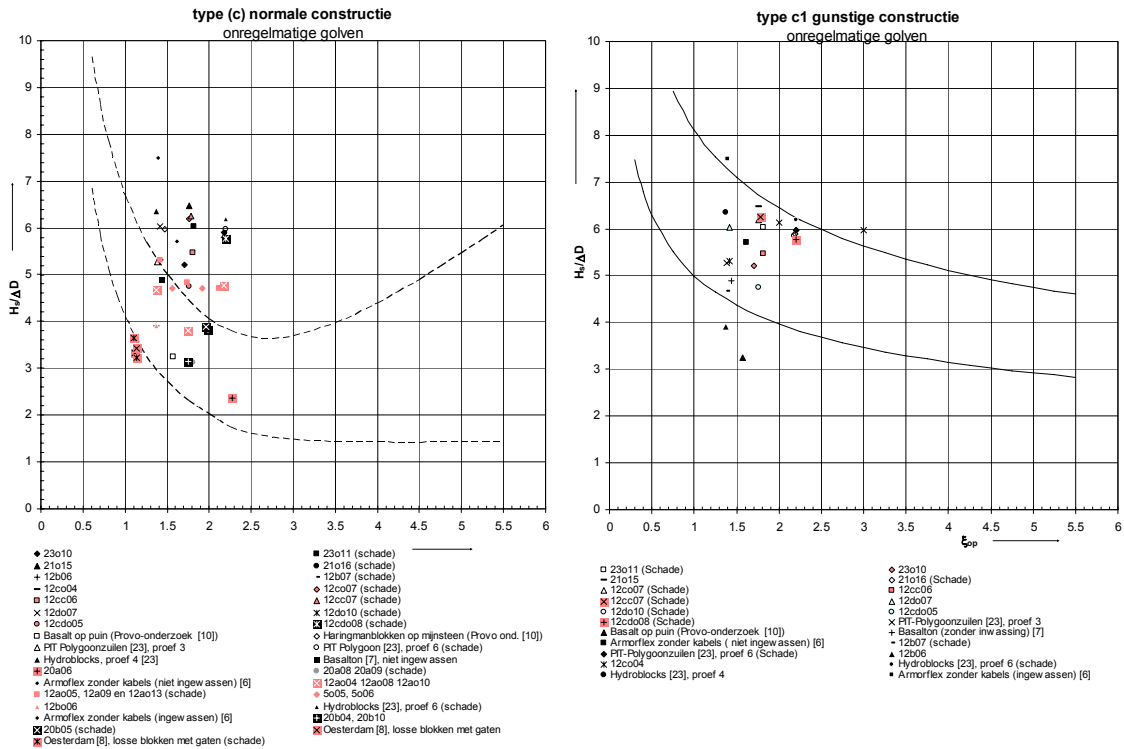
Testid	$\cot\alpha$ (-)	ξ_{op} (-)	lek lengte (m)	Constructie	reken-mode
P3005	3	1.67	1.07/0.26	A/B	dimensioneren
P3003	3	1.95	1.07/0.26	A/B	dimensioneren
P3002	3	2.41	1.07/0.26	A/B	dimensioneren
P3015	3	3.12	1.07/0.26	A/B	dimensioneren
P3001	3	3.37	1.07/0.26	A/B	dimensioneren
12ao03	3.5	1.36	1.07/0.26	A/B	dimensioneren
T5o03	3.5	1.49	1.07/0.26	A/B	dimensioneren
T5o05	3.5	1.56	1.07/0.26	A/B	dimensioneren
12ao06	3.5	1.75	1.07/0.26	A/B	dimensioneren
12ao10	3.5	2.17	1.07/0.26	A/B	dimensioneren
AS601	4	1.07	1.07/0.26	A/B	dimensioneren
P4004	4	1.33	1.07/0.26	A/B	dimensioneren
P4002	4	1.82	1.07/0.26	A/B	dimensioneren
AS603	4	2.21	1.07/0.26	A/B	dimensioneren
P4001	4	2.44	1.07/0.26	A/B	dimensioneren

Tabel 2.3 Berekeningen voor de analyse van blokbeweging versus ξ_{op} . De complete serie is voor 5 verschillende significante golfhoogten uitgevoerd.

De berekeningen zijn uitgevoerd in de dimensioneermode, waarbij is gecontroleerd of het gebruikte golfbestand overeenkwam met de gekozen ξ_{op} -waarde. Uit de berekeningsresultaten is per berekening de maximum blokbeweging bepaald.

De resultaten zijn per constructie en per taludhelling uitgezet in Figuur B.1 tot en met Figuur B.14 in Bijlage ‘Figuren’.

De analyse van deze resultaten richt zich nu op het zoeken naar een mogelijk verband tussen ξ_{op} en $H_s / (\Delta \cdot D)$ zoals dat uit eerdere onderzoeken naar voren is gekomen. De onderstaande figuren tonen stabiliteitscurves zoals in het onderzoek van Klein Breteler & Kuiper (2000) zijn afgeleid uit grootschalige modelproeven.



Figuur 2.4 Stabiliteitskrommen afgeleid op basis van modelproeven in Klein Breteler & Kuiper (2000). In beide figuren geeft de bovenste kromme de begrenzing aan tussen onvoldoende stabiliteit (boven de krommen) en twijfelachtige stabiliteit (onder), en de onderste kromme de grens tussen twijfelachtige en goede stabiliteit¹.

De krommen in de linker figuur laten zien dat voor een normale constructie de stabiliteit snel afneemt voor $\xi_{op} < 3$. Tevens is te zien dat voor $\xi_{op} > 3$ het nog niet zeker is of de stabiliteit toeneemt of niet met toenemende ξ_{op} . De krommen in de rechter figuur laten zien dat de stabiliteit minder snel afneemt voor $\xi_{op} < 3$, maar de stabiliteit blijft wel afnemen voor $\xi_{op} > 3$. Omdat de meetpunten het verloop van de krommen slechts matig ondersteunen, is het relevant te onderzoeken welke tendenzen er met ZSTEEN gevonden worden.

In figuur B.1 t/m B.6 zijn de resultaten gegeven van de berekende blokbeweging als functie van de brekerparameter ξ_{op} . Afhankelijk van de golfhoogte is een verschillend symbool gebruikt. Voor een golfhoogte van $H_s = 0,8$ en $1,2$ m zijn de berekende punten onderling verbonden en is de onzekerheidsmarge als gevolg van de waterstandsproblematiek (zie

¹ De exacte inhoud van de proeven als opgesomd in de legenda is voor dit rapport irrelevant

paragraaf 2.1) gegeven. Op grond van bovenstaande figuur 2.4-links zou men een minimale stabiliteit kunnen verwachten bij $\xi_{op} = 2$ à 3 , en dus een maximale blokbeweging in dit gebied. Maar op grond van figuur 2.4-rechts zou men juist een afnemende stabiliteit verwachten bij toenemende waarde van ξ_{op} , en dus een steeds verder toenemende blokbeweging.

Figuur B.1 (talud 1:3, constructie A) laat inderdaad een stijgende tendens zien tot $\xi_{op} = 3,1$, conform 2.4-rechts, maar bij hogere waarden van ξ_{op} neemt de blokbeweging weer af. Dit laatste sluit aan op de trend van de bovenste grafiek van figuur 2.4-links.

Figuur B.2 (talud 1:3.5) geeft slechts rekenresultaten in een smalle range van ξ_{op} -waarden. Er is geen trend te ontdekken omdat de onzekerheidsmarge als gevolg van de waterstandsproblematiek groter is dan de variatie in de rekenresultaten. De grootte van de blokbeweging sluit wel ongeveer aan op de resultaten met het talud van 1:3 in figuur B.1.

In figuur B.3 zijn de resultaten gegeven voor een talud van 1:4. Ook hier zien we een toenemende blokbeweging bij toenemende ξ_{op} -waarden in de range van $\xi_{op} = 1,5$ tot $2,5$. Verder is te zien dat de blokbeweging weer toeneemt bij afnemende waarden van ξ_{op} van $\xi_{op} = 1,3$ naar $\xi_{op} = 1$. Dit minimum in de blokbeweging, en dus maximum in de stabiliteit, in de range van $\xi_{op} = 1,3$ tot 2 is niet in overeenstemming met figuur 2.4. Dit kan echter een gevolg zijn van een fout door de waterstandsproblematiek. De stijging in figuur 2.4 van $\xi_{op} = 1,3$ naar $\xi_{op} = 1$ had, gezien de grootte van de onzekerheidsmarge, ook een daling kunnen zijn. Daarom zijn voor een golfhoogte van $H_s = 0,8$ m de berekeningen uitgevoerd met diverse waterstanden, teneinde de maximale blokbeweging bij de meest ongunstige waterstand te verkrijgen. De resultaten van de berekeningen zijn getekend in figuur B.3. Gezien het feit dat voor deze resultaten de waterstandsproblematiek geen onzekerheidsmarge meer geeft, is in de figuur ook geen onzekerheidsmarge getekend. Het blijkt dat dezelfde bijzondere trend nu nog steeds zichtbaar is.

In figuur B.7 en B.8 zijn dezelfde resultaten in een andere vorm gepresenteerd. In deze figuren zijn de resultaten bij verschillende taludhellingen met elkaar te vergelijken. Deze figuren zijn gemaakt voor respectievelijk $H_s = 0,8$ m en $1,2$ m. De getekende onzekerheidsmarge in figuur B.7 laat duidelijk zien dat deze alle trends overheerst, waardoor uit deze figuur geen conclusies te trekken zijn. In figuur B.8 is te zien dat de blokbeweging bij een bepaalde waarde van ξ_{op} niet voor alle taludhellingen gelijk is. Op grond van de figuur 2.4 zou men verwachten dat dit wel het geval zou zijn. De blokbeweging is voor een talud van 1:4 het grootst, en voor een talud van 1:3.5 het kleinst.

De figuren B.4 t/m B.6, B.9 en B.10 hebben betrekking op de berekeningen met constructie B (korte lek lengte). Als rekening gehouden wordt met de onzekerheidsmarge is er in deze figuren nauwelijks een trend te onderkennen. Het lijkt erop dat de blokbeweging ongeveer onafhankelijk is van de grootte van ξ_{op} . Het toevoegen van berekeningen met een grotere golfhoogte om een grotere blokbeweging te krijgen, is geen logische optie omdat de verhouding tussen golfhoogte en blokdikte nu al onrealistisch groot is ($F = \xi_{op}^{-2/3} \cdot H_s / (\Delta D) = 8$ à 14).

Dezelfde rekenresultaten zijn in figuur B.11 t/m B.14 gepresenteerd als functie van de golfhoogte. De figuren B.11 en B.12 hebben betrekking op constructie A met een brekerparameter van respectievelijk ongeveer $1,7$ en $2,2$ en figuur B.13 en B.14 hebben betrekking op constructie B. In de figuren is de gemiddelde trend getekend en een onder- en bovengrens die gebaseerd is op de onzekerheidsmarge m.b.t. de waterstandsproblematiek.

Het valt op dat de blokbeweging geleidelijk toeneemt met toenemende golfhoogte. Uit de ervaring met de metingen in de Deltagoot is bekend dat in werkelijkheid de blokbeweging veel sneller toeneemt met toenemende golfhoogte dan hier berekend. Door Lubbers en Klein

Breteler (2000) is gerapporteerd dat vanaf begin van beweging een golfhoogtetoenname van slechts 20 tot 25% nodig is om een blokbeweging van ten minste orde 100 mm te bereiken. Uit de ZSTEEN-berekeningen blijkt dat tenminste een factor 2 nodig is voor een dergelijke toename van de blokbeweging.

Het is denkbaar dat dit probleem verkleind wordt als gerekend wordt met een klemfactor die groter is dan 1. Eventueel moet dan ook gekeken worden naar de cumulatieve blokbeweging.

In figuur B.14 ($\xi_{op} \approx 2,2$, constructie B) is te zien dat een toenemende golfhoogte niet altijd leidt tot een toename van de blokbeweging. Dit is bijvoorbeeld te zien bij een toename van $H_s = 1,0$ m naar 1,2 m met een talud van 1:3 en 1:4. Als hier de onzekerheidsmarge in acht wordt genomen die gevonden is m.b.t. de waterstandsproblematiek, dan is dit merkwaardige resultaat verklaarbaar. Waarschijnlijk is de blokbeweging die berekend is bij $H_s = 1,0$ m bij een relatief ongunstige waterstand berekend, terwijl die bij $H_s = 1,2$ m bij een gunstige waterstand is berekend. Dit kan zo'n grote invloed hebben dat de stijgende tendens bij toenemende golfhoogte kan omklappen naar een dalende tendens.

Ook in alle andere gevallen waarin de blokbeweging afneemt bij toenemende golfhoogte kan dit verklaard worden uit de onzekerheid als gevolg van de waterstandsproblematiek.

Aan de hand van bovenstaande analyse van de rekenresultaten kan het volgende geconcludeerd worden:

- De berekeningen met een *grote* blokbeweging kunnen beter gebruikt worden voor het beoordelen van tendensen, omdat die met een *kleine* blokbeweging ernstig beïnvloed worden door de waterstandsproblematiek die beschreven staat in paragraaf 2.1.
- In alle gevallen waarin de blokbeweging afneemt bij toenemende golfhoogte kon dit verklaard worden uit de onzekerheidsmarge als gevolg van de waterstandsproblematiek
- Als de brekerparameter toeneemt van $\xi_{op} \approx 1$ tot 1,7, neemt de blokbeweging af en neemt dus de stabiliteit toe. Dit is tot nu toe nog niet geconstateerd met andere rekenmodellen of in de Deltagoot.
- Als de brekerparameter toeneemt van $\xi_{op} \approx 1,7$ tot 3, neemt de blokbeweging toe en neemt dus de stabiliteit af. Dit is in overeenstemming met ANAMOS en resultaten van Deltagootonderzoek.
- Als de brekerparameter toeneemt van $\xi_{op} \approx 3$ tot 3,5, dan neemt de blokbeweging weer af en dus neemt de stabiliteit toe. Gezien het feit dat bij grote ξ_{op} -waarden de golfklappen afnemen en de golfbelasting er minder zwaar uitziet, is dit begrijpelijk.
- Het blijkt dat de blokbeweging volgens ZSTEEN bij een bepaalde waarde van ξ_{op} niet voor alle taludhellingen gelijk is. Op grond van de 'black-box'-figuren zou men verwachten dat dit wel het geval zou zijn. De blokbeweging is voor een talud van 1:4 het grootst volgens ZSTEEN, en voor een talud van 1:3.5 het kleinst.
- De snelheid waarmee de blokbeweging toeneemt met toenemende golfhoogte ($\partial Y_{max}/\partial H_s$) is veel kleiner dan blijkt uit Deltagootresultaten.
- De onzekerheidsmarge als gevolg van de waterstandsproblematiek staat het trekken van meer gedetailleerde conclusies omtrent de berekende trends in de weg.

3 Vergelijking tussen gemeten en berekende blokbeweging

In de Deltagoot van WL | Delft Hydraulics zijn vele proeven uitgevoerd met steenzettingen waarbij de stijghoogte op het talud, de stijghoogte in het filter en de blokbewegingen zijn gemeten (Smith e.a., 2000). In dit hoofdstuk worden de rekenresultaten van ZSTEEN vergeleken met de resultaten van die metingen. Voor deze vergelijking is gebruik gemaakt van de gemeten stijghoogten op het talud tijdens de betreffende proeven (het volledige meetbestand). Met ZSTEEN is vervolgens de stijghoogte in het filter en de bijbehorende blokbeweging berekend. Hoewel tijdens de proeven is vastgesteld dat er klemming aanwezig was, is toch de klemfactor tijdens de berekeningen gelijk aan 1 gekozen.

De onderstaande tabel toont het uitgevoerde berekeningsprogramma. Alle proeven zijn uitgevoerd in de Deltagoot met een talud van 1:3,5. Uit het proevenprogramma zijn proeven geselecteerd met diverse leklengtes waarin enige blokbeweging is gemeten. Er zijn 2 proeven geselecteerd met korte leklengte en 4 met lange leklengte. De leklengte van de gebruikte constructies varieerde tussen 0,18 en 0,65 m. Als tijdens de proeven inwasmateriaal was aangebracht, dan is dat nu ook meegeteld in de berekeningen.

Om de duur van de berekeningen en de grootte van de uitvoerbestanden werkbaar te houden zijn de berekeningen beperkt tot het gedeelte van het talud dat loopt van $-2H_s$ tot $+0.5H_s$ (verticaal gemeten) ten opzichte van de stilwaterlijn.

Testnr.	cota	H_s (m)	ξ_{op}	leklengte (m)	bijzonderheid
T5o05	3.5	1.64	1.56	0.65	smalle spleten zonder inwasmateriaal
12ao09	3.5	1.27	1.74	0.42	smalle spleten zonder inwasmateriaal
23o02	3.5	0.52	1.75	0.18	brede stootvoegen zonder inwasmateriaal
23o11	3.5	1.54	1.82	0.45	brede stootvoegen met inwasmateriaal
12do07	3.5	1.59	1.42	0.42	brede stootvoegen met inwasmateriaal
12cc06	3.5	1.44	1.71	0.27	brede langsvoegen met inwasmateriaal

Tabel 3.1 Geselecteerde modelproeven die zijn uitgevoerd in de Deltagoot

Tabel 3.1 toont de belangrijkste constructieparameters zoals ingevoerd in ZSTEEN. Voor de volledigheid zijn in Bijlage A de input files van de berekeningen toegevoegd.

Uit bovenstaande tabel blijkt dat er 3 proeven zijn geselecteerd zonder inwasmateriaal, en 3 proeven met inwasmateriaal. Gezien het feit dat ZSTEEN uitgaat van losse blokken, zou het denkbaar kunnen zijn dat ZSTEEN vooral goed werkt voor het geval er weinig klemming is, dus vooral als er geen inwasmateriaal is toegepast. Tijdens proef 12ao09 en 23o02 ontstond schade die erg lijkt op datgene wat men verwacht bij een steenzetting met losse blokken: afzonderlijke blokken staken na de proef enige centimeters boven de andere blokken uit.

Juist voor het narekenen van deze proeven zou ZSTEEN geschikt kunnen zijn. Ook tijdens serie 5o is een afzonderlijk blok omhoog gekomen, vergelijkbaar met serie 12a en 23, alleen gebeurde dat tijdens proef 5o06, die voor deze analyse minder geschikt is omdat er iets mis is met de drukregistraties. Na die proef (met $H_s = 1,64$ m en $\xi_{op} = 1,92$) stak een blok 30 mm boven de anderen uit.

Hoewel proef 23o11 is uitgevoerd met inwasmateriaal, is uit het schademechanisme gebleken dat ook hier afzonderlijke blokken omhoog zijn gekomen. Ook voor het narekenen van deze proef gebruikt ZSTEEN dus de juiste schematisatie.

Proef 12do07 en 12cco06 zijn bezweken volgens het kattenrugmechanisme. Hierbij speelt de interactie tussen de blokken een zeer grote rol en mag verwacht worden dat ZSTEEN de blokbeweging overschat.

In tabel 3.2 zijn de eigenschappen van de constructies weergegeven zoals ze ingevoerd zijn in de berekeningen. Omdat ZSTEEN geen onderscheidt maakt tussen langs- en stootvoegen is de spleetbreedte s bepaald op grond van een gewogen gemiddelde van de langsvoegen en de stootvoegen:

$$s = (Ls_{\text{langsvoeg}} + Bs_{\text{stootvoeg}})/(B + L).$$

proef		T5o05	12ao09	23o02	23o11	12do07	12cc06
toplaag	D (m)	0.25	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
	B (m)	0.50	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
	L (m)	0.50	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
	s (mm)	1.8	0.8	2.7	2.7	4.1	6.3
	ρ_b (kg/m ³)	2383	2317	2279	2279	2317	2317
inwassing	D ₁₅ (mm)	-	-	-	2.6	6.0	6.0
	n (-)	-	-	-	0.6	0.6	0.6
uitvullaag	b (m)	0.05	0.05	0.06	0.06	0.05	0.05
	D ₁₅ (mm)	7.2	7.2	8.0	8.0	7.2	7.2
	n (-)	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
filter	b (m)	0.80	-	-	-	-	-
	D ₁₅ (mm)	2.6	-	-	-	-	-
	n (-)	0.25	-	-	-	-	-

Tabel 3.2 Constructie parameters (s = spleetbreedte; b = laagdikte; D_{15} = korrelgrootte; n = porositeit)

proef	gemeten		berekend met ZSTEEN		
	resulterende beweging (mm)	stijghoogteverschil $\phi_{2\%}$ (m)	maximale beweging (mm)	aantal golven met blok-bewegingen (-)	maximale stijghoogteverschil (m)
T5o05	25	1.00	20 \pm 15*	286	1.20
12ao09	200	0.90	45 \pm 15*	156	1.15
23o02	20	0.42	0 \pm 15*	0	0.40
23o11	110	0.85	30 \pm 15*	28	0.55
12do07	50	1.07	35 \pm 15*	280	1.40
12cc06	50	0.86	33	172	0,92

Tabel 3.3, Proefresultaat van het Deltagoetonderzoek en rekenresultaten met ZSTEEN (* = Geschatte onzekerheidsmarge als gevolg van de waterstandsproblematiek)

De gemeten blokbeweging en de resultaten van de ZSTEEN-berekeningen zijn in tabel 3.3 weergegeven. In alle gevallen waren slechts een paar blokken tegelijk aan het bewegen in de berekeningen, en nooit in de buurt van een overgangsconstructie.

Bij alle berekende blokbewegingen moet rekening gehouden worden met een onzekerheidsmarge als gevolg van de waterstandsproblematiek, behalve bij het narekenen van proef 12cco06. Bij het narekenen van die proef is de waterstand ten opzichte van de locatie van de spleten gevarieerd door het niveau van de ondergrens van de steenzetting te variëren en te zoeken naar het niveau waarbij de grootste blokbeweging optreedt. Als functie van dit variërende niveau varieerde de blokbeweging tussen 16 mm en 33 mm. Deze extra berekeningen zijn niet voor alle proeven uitgevoerd, omdat dit vele dagen rekentijd kost en bovendien naar verwachting geen invloed heeft op de conclusies.

In de tabel valt op dat de blokbeweging volgens ZSTEEN veel kleiner is dan gemeten is in de Deltagoot, hoewel op grond van het bezwijkmechanisme verwacht werd dat ZSTEEN voor alleen proef 12do07 en 12cco06 de beweging zou overschatten. Wel is te zien dat het aantal golven met blokbeweging in de meeste gevallen zeer groot is. In ZSTEEN zien we dat na elke beweging het blok netjes terugzakt in zijn oorspronkelijke positie. In werkelijkheid zal dit vaak niet gebeuren, omdat een deel van het filter verschuift, of omdat het blok tijdens de beweging vast raakt tussen de naastliggende blokken. Het gerapporteerde proefresultaat is de resulterende verplaatsing na afloop van de proef. In feite is de resulterende verplaatsing volgens de ZSTEEN-berekening altijd 0, omdat het blok altijd netjes terugzakt. In bovenstaande tabel zijn dus blokbewegingen vergeleken die eigenlijk niet goed vergelijkbaar zijn.

Met dit resultaat wordt het duidelijk dat de ZSTEEN-berekeningen anders uitgevoerd moeten worden dan nu gebruikelijk is. Wellicht is het zinvol om te rekenen met een klemfactor groter dan 1. Het is dan denkbaar dat ook in de ZSTEEN-berekening een blok tijdens een golf wel omhoog beweegt, maar vervolgens niet meer naar beneden tijdens dezelfde golf, omdat de neerwaarts gerichte krachten te klein zijn om de wrijving te overwinnen. Daardoor zou er een zeker cumulatief effect van de blokbewegingen kunnen ontstaan. Rekenen met klemming resulteert ook een kleiner aantal bewegingen, hetgeen ook realistischer is.

Hierdoor zal echter het grote verschil tussen de gemeten beweging en de berekende beweging tijdens proef 23o02 niet verkleinen.

Een kleine onderschatting van de berekende blokbeweging is te verklaren uit het feit dat slechts op discrete locaties de stijghoogte op het talud is gemeten. Daardoor zullen de extreme stijghoogtes mogelijk net gemist zijn, omdat ze net tussen twee drukopnemers zijn opgetreden. De geconstateerde verschillen zijn echter te groot om ze hiermee te kunnen verklaren.

Verder is in bovenstaande tabel ook het gemeten en het berekende stijghoogteverschil vermeld. Het gemeten stijghoogteverschil heeft een overschrijdingsfrequentie van 2%, terwijl het vermelde berekende resultaat een maximaal stijghoogteverschil is in 1000 golven, met een overschrijdingsfrequentie van orde 0,1%. Door dit verschil in definitie zouden de vermelde berekende stijghoogteverschillen beduidend hoger moeten zijn dan de vermelde gemeten waarden. Dit blijkt voor twee van de zes proeven niet het geval te zijn.

Uit de vergelijking tussen de Deltagootmetingen en de ZSTEEN-berekeningen kan geconcludeerd worden dat ZSTEEN de blokbeweging sterk onderschat. Daardoor zal het een onveilig resultaat voor een ontwerp of toetsing opleveren. Het aantal bewegingen is

doorgaans onrealistisch hoog. Wellicht is het rekenen met een klemfactor groter dan 1, in combinatie met het beschouwen van de cumulatieve blokbeweging, een oplossing voor dit probleem.

4 Invloed inkorten van drukbestanden

ZSTEEN maakt voor zijn berekeningen gebruik van gemeten drukken die opgeslagen zijn in een bestand. De oorspronkelijk gemeten drukbestanden zijn echter zo groot, dat de rekentijd van ZSTEEN ongewenst lang zou worden. Daarom zijn de drukbestanden met een factor 10 ingekort door alle kleine golven, die nauwelijks een golfklap of een steil golffront geven, eruit weg te laten. In het volledige meetbestand zijn de drukken opgenomen van ongeveer 1000 golven, terwijl in het ingekorte meetbestand nog slechts 100 golven aanwezig zijn.

In dit hoofdstuk worden berekeningen met het ingedikte bestand vergeleken met het volledige bestand, waarbij gerekend is met de optie ‘narekenen’. Dit is gedaan voor een constructie met een korte leklengte en één met een lange leklengte (zie tabel 4.1).

Test	$\cot\alpha$ (-)	ξ_{op} (-)	leklengte (m)
12cc06	3.5	1.71	0.27
T5o05	3.5	1.92	0.65

Tabel 4.1 Gekozen proeven voor het vergelijken van de rekenresultaten met een ingedikt meetbestand t.o.v. een volledig meetbestand.

De in ZSTEEN ingevoerde parameters zijn dezelfde als gegeven in Tabel 3.2 in Hoofdstuk 3.

De resultaten van de berekeningen zijn gegeven in tabel 4.2. De berekeningen met het ingedikte meetbestand en die met het volledige meetbestand zijn uitgevoerd met dezelfde geometrie-eigenschappen en waterstand. Daardoor speelt bij deze vergelijking de waterstandsproblematiek geen rol.

proef	maximum blokbeweging (mm) berekend met	
	ingedikt meetbestand	volledig meetbestand
12cc06	10	16
T5o05	12	20

Tabel 4.2 Vergelijking van maximum blokbewegingen berekend met ingedikte meetbestanden en volledige meetbestanden.

Uit deze resultaten blijkt dat met het volledige meetbestand een grotere blokbeweging verkregen wordt dan wanneer gebruik gemaakt wordt van het ingedikte meetbestand. De verschillen zijn echter niet erg groot.

In figuur B.15 en B.16 blijkt dat het algehele beeld van de blokbeweging die berekend is met het ingedikte golfbestand afwijkt van die van het volledige golfbestand. Daarom is ook gekeken naar de maximale stijghoogteverschillen. Deze blijken wel ongeveer gelijk te zijn.

Voor proef 12cco06 zijn de grootste vier blokbewegingen beschouwd (zie figuur B.15):

- Ingedikt: grootste, een na de grootste, etcetera respectievelijk: 10 – 6 – 5 – 4 mm
- Volledig: grootste, een na de grootste, etcetera respectievelijk: 16 – 10 – 6 – 6 mm

Hieruit blijkt dat de grootste blokbeweging met het ingedikte meetbestand gelijk is aan de één na de grootste in het volledige meetbestand. Een nadere analyse van het tijdstip waarop de grootste blokbeweging in het volledige meetbestand van 12cco06 optreedt, leerde dat dit in de laatste golf met blokbeweging plaatsvindt. Deze golf blijkt niet geselecteerd te zijn voor het ingedikte meetbestand. Tijdens deze golf treedt er een vrij langdurig opwaartse stijghoogteverschil op, dat echter niet bijzonder groot is. Het stijghoogteverschil is ongeveer de helft van het maximale stijghoogteverschil. Het is denkbaar dat de lange duur van het stijghoogteverschil heeft geresulteerd in de grote blokbeweging.

Het grootste stijghoogteverschil treedt in het volledige meetbestand op tijdens tijdstip $t = 3355,53$ s. Na veel zoekwerk hebben we kunnen vaststellen dat dit tijdstip overeenkomt met $t = 234,75$ s in het ingedikte meetbestand. Daar treedt exact hetzelfde stijghoogteverschil op. Op dat tijdstip is er volgens de berekeningen geen blokbeweging, hoewel het stijghoogteverschil ongeveer 1,0 m bedraagt. Wellicht is dit stijghoogteverschil te kortdurend en/of te lokaal om blokken in beweging te zetten.

Tenslotte is de stijghoogte op het talud tijdens de eerste grote golf in het meetbestand van proef 12cco06 bekeken (zie figuur B.17). Hieruit bleek dat gedurende de beschouwde 10 seconde de druk op het talud in het ingedikte bestand exact gelijk is aan die van het volledige meetbestand.

Geconcludeerd moet worden dat een ingedikte meetbestand een iets kleinere blokbeweging geeft dan wanneer gerekend wordt met het volledige meetbestand, terwijl het maximale stijghoogteverschil wel gelijk is. Kennelijk leidt de selectieprocedure voor het aanmaken van het ingedikte meetbestand wel tot de selectie van de golven die leiden tot een groot stijghoogteverschil, maar dit leidt niet automatisch tot alle golven die ook een extreme blokbeweging geven. Het is van belang om ook de duur van het stijghoogteverschil mee te wegen bij de keuze van de golven.

Aanbevolen wordt de software voor het maken van een ingedikt bestand zo aan te passen dat het mogelijk wordt om afzonderlijke golven uit het volledige meetbestand te vergelijken met dezelfde golven in het ingedikte meetbestand. Bovendien wordt aanbevolen om met een ZSTEEN-berekening met het volledige meetbestand te zoeken naar de golven die de grootste blokbeweging geven, en te controleren of die in het ingedikte meetbestand zijn terechtgekomen.

5 Afwikkeling van de freatische lijn

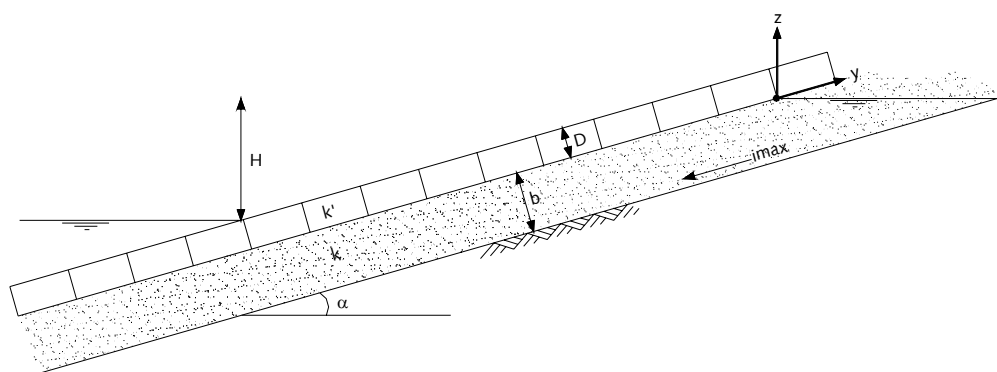
5.1 Inleiding

Dit onderdeel was gericht op de afhandeling van de freatische lijn binnen ZSTEEN. Voor de vergelijking van de ZSTEEN-resultaten is een analytische berekening gemaakt waarbij 2 cases zijn beschouwd, die gegeven zijn in figuur B.21. Case 1 bestaat uit een constructie met een vlakke buitenwaterstand en een freatische lijn in het filter die hoger is dan deze buitenwaterstand. Case 2 heeft ook een vlakke buitenwaterstand, maar dan is de freatische lijn lager dan de buitenwaterstand.

5.2 Analytische oplossing

Voor het analytisch kunnen oplossen van de vergelijkingen voor het berekenen van de stroming en de stijghoogte in het filter, is het nodig dat de doorlatendheid van de toplaag en het filter gelineariseerd worden. Gezien het feit dat we deze analytische oplossing willen vergelijken met het numeriek berekende resultaat van ZSTEEN, waarin ook rekening gehouden wordt met de turbulente doorlatendheid, zijn de cases zo ontworpen dat ook in ZSTEEN de doorlatendheid bij benadering lineair is. Dit is bereikt door de doorlatendheid van het filter zeer klein te kiezen (kleine korrelgrootte). Bij de verhangen die in het filter ontstaan tijdens golfaanval zal de stroomsnelheid dan zo klein zijn dat er bij benadering laminaire stroming optreedt.

De analytische oplossing voor een eenvoudig geval, waarin de buitenwaterstand plotseling daalt, is uitgewerkt in WL-rapport (1985). De situatie is geschetst in Figuur 5.1.



Figuur 5.1 Schematische weergave gebruikte parameters

De maximale verschildruk kan bepaald worden met Vergelijking 5.1 (WL-rapport, 1985):

$$\frac{\Delta\varphi_{\max}}{H} = \frac{1}{2} \frac{\lambda}{H} \left(1 - \exp\left(\frac{-2H}{\lambda}\right) \right) \quad (5.1)$$

waarin:

- H : waterstandsverschil (m)
 λ : lekhoogte = $\sin\alpha \cdot \sqrt{(bkD/k')}$ (m)
 α : taludhelling (-)
 y : positie langs het talud gemeten (m)
 k : doorlatendheid van het filter (m/s)
 k' : doorlatendheid van de toplaag (m/s)
 D : laagdikte van de toplaag (m)
 b : laagdikte van het filter (m)
 $\Delta\phi_{max}$: maximale stijghoogteverschil over de toplaag (m)

Dit maximale stijghoogteverschil treedt op bij het snijpunt van de buitenwaterstand en het taludoppervlak.

Het maximale verhang in de filterlaag wordt berekend met Vergelijking 5.2:

$$\frac{i_{max}}{\sin \alpha} = \exp\left(\frac{-H}{\lambda}\right) - 1 \quad (5.2)$$

Hierin is:

i_{max} : maximaal verhang in het filter (-)

$$\Delta\phi_{max} = \frac{\Delta P_{max}}{\rho g} - D \cos \alpha \quad (5.3)$$

ΔP_{max} : maximale verschilddruk over de toplaag (N/m²)

en de lekhoogte wordt bepaald met Vergelijking 5.4:

$$\lambda = \sin \alpha \sqrt{\frac{k}{k'} b D} \quad (5.4)$$

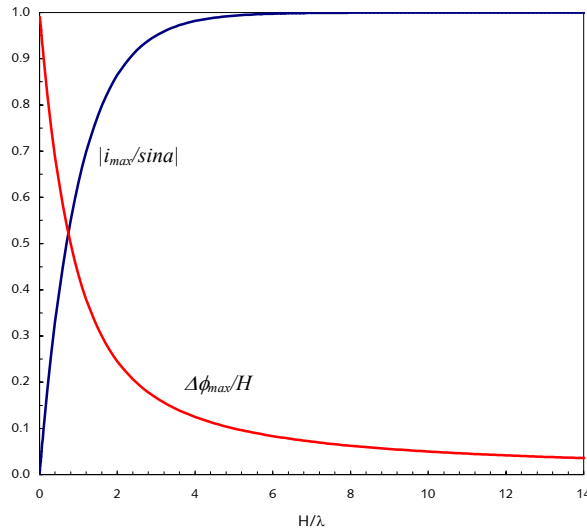
Het maximale verhang treedt op in de buurt van de freatische lijn en is bepalend voor de snelheid waarmee de freatische lijn daalt.

Voor het bepalen van een geschikte case is onderstaande figuur uit WL-rapport (1985) gebruikt (Figuur 5.2).

Deze figuur is een grafische weergave van Vergelijking 5.1 en Vergelijking 5.2. Het meest interessante gebied in deze figuur is daar waar de grafieken niet erg vlak lopen of erg steil zijn, omdat daar alle parameters een invloed hebben op het eindresultaat. Het meest interessante gebied ligt tussen $H/\lambda = 1.5$ en $H/\lambda = 5$. Gekozen is voor een waterstandsverschil tussen buitenwaterstand en freatische lijn van $H = 1$ m en een talud van 1:3.5. De gekozen lekhoogte is 0,23 m, zodat $H/\lambda = 4$. De overige eigenschappen zijn:

- Dikte van de toplaag: $D = 0,25$ m
- Talud 1:3,5
- Doorlatendheid van de toplaag: $k' = 0,25$ mm/s
- Doorlatendheid van het filter: $k = 1,4$ mm/s
- Dikte filterlaag: $b = 0,5$ m

- Porositeit van het filter: $n = 0,25$



Figuur 5.2 Maximale belasting als functie van golfhoogte en lekhoogte

5.2.1 Case I: Hoge freatische lijn

De stijghoogte in de filterlaag (t.o.v. de freatische lijn) wordt bepaald op basis van de volgende vergelijking:

$$\varphi_f = \min \left\{ \begin{array}{l} -H + \frac{1}{2} \lambda \cdot \left(\exp\left(\frac{H}{\lambda}\right) - \exp\left(-\frac{H}{\lambda}\right) \right) \cdot \exp\left(\frac{\sin \alpha}{\lambda} y\right); \\ y \sin \alpha + \frac{1}{2} \lambda \cdot \left(\exp\left(-\frac{\sin \alpha}{\lambda} y\right) - \exp\left(\frac{\sin \alpha}{\lambda} y\right) \right) \cdot \exp\left(-\frac{H}{\lambda}\right) \end{array} \right\} \quad (5.5)$$

Het resultaat van het analytische verloop van de stijghoogte in het filter is in Figuur 5.3 grafisch weergegeven. Dit is de situatie wanneer op t_0 een hoge buitenwaterstand optreedt en die op t_1 is gedaald met 1 m.

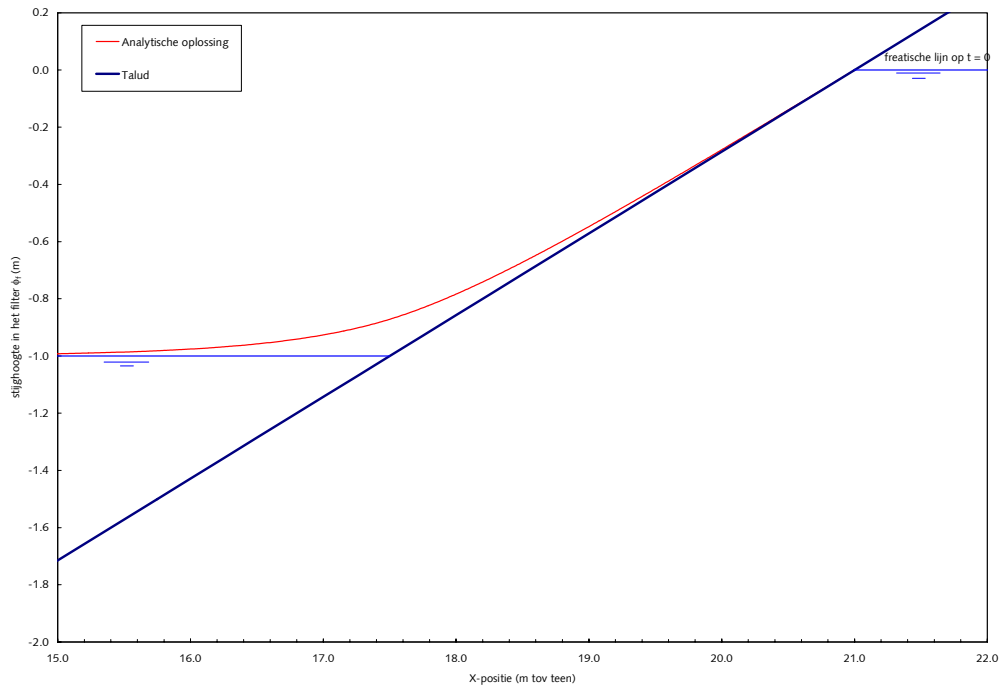
Voor het verhang $i_f = \partial \phi / \partial y$ geldt:

$$i_f = \left\{ \begin{array}{l} -\frac{1}{2} \sin \alpha \cdot \left(\exp\left(\frac{H}{\lambda}\right) - \exp\left(-\frac{H}{\lambda}\right) \right) \cdot \exp\left(\frac{\sin \alpha}{\lambda} y\right) \quad \text{als } y < y_w \\ -\frac{1}{2} \sin \alpha \cdot \left(2 \exp\left(\frac{H}{\lambda}\right) - \exp\left(-\frac{\sin \alpha}{\lambda} y\right) - \exp\left(\frac{\sin \alpha}{\lambda} y\right) \right) \cdot \exp\left(-\frac{H}{\lambda}\right) \quad \text{als } y > y_w \end{array} \right\} \quad (5.5a)$$

Hierin is:

- i_f : verhang in het filter (-)
- y_w : locatie van buitenwaterstand (m)
- y : coördinaat evenwijdig aan het talud t.o.v. de freatische lijn (zie figuur 5.1) (m)

Het maximale verhang (bij de freatische lijn) is in deze case: $i_{max} = 0.275$.



Figuur 5.3 Analytische berekening van het stijghoogteverloop in het filter bij een hoge freatische lijn

De snelheid waarmee de freatische lijn daalt kan berekend worden met de volgende formule:

$$u_f = \frac{q \sin \alpha}{n} = \frac{k \cdot i_f \sin \alpha}{n} \quad (5.6)$$

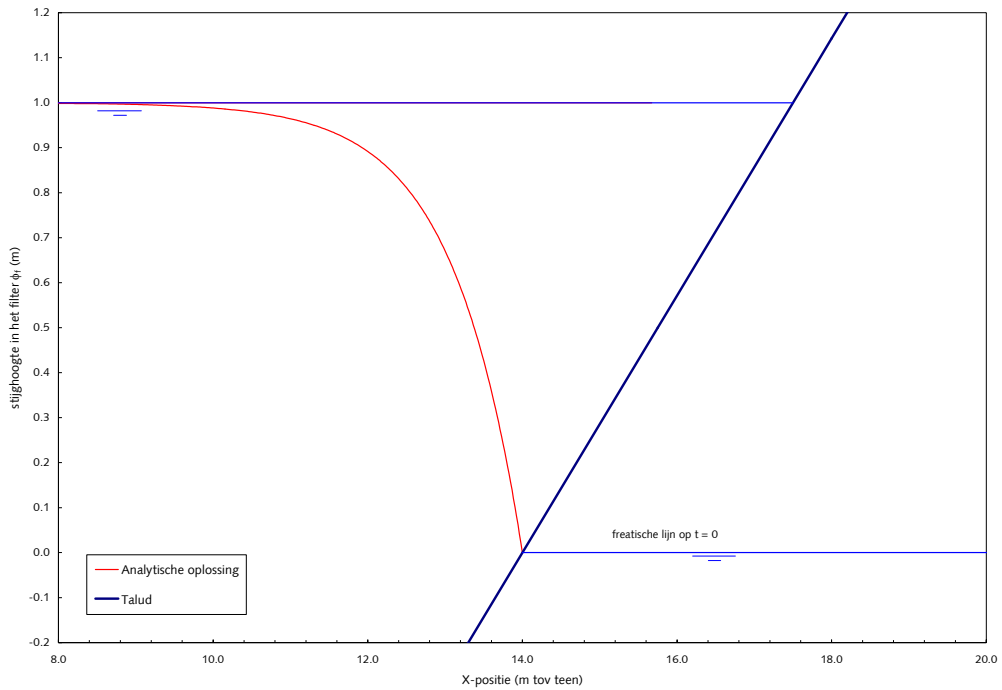
waarbij:

- n : porositeit van het filter (-)
- q : filtersnelheid in het filter, evenwijdig aan de toplaag (m/s)
- u_f : snelheid waarmee de freatische lijn daalt (verticaal)(m/s)

Met $k = 1.4$ mm/s en $n = 0.25$ volgt hieruit een daalsnelheid van: $u_f = 0.42$ mm/s.

5.2.2 Case 2: Lage freatische lijn

Als de freatische lijn juist heel laag ligt, zal er water door de steenzetting het filter instromen. In de zone onder de freatische lijn kan dit berekend worden met de formules die ook van toepassing zijn bij Case 1 met een hoge freatische lijn. Het verloop van de stijghoogte in het filter onder de freatische lijn is getekend in Figuur 5.4. Deze situatie heeft op $t_0 = 0$ een lage waterstand en wordt op $t_1 = 10$ s plotseling 1 m verhoogd.



Figuur 5.4 Analytische berekening van het stijghoogteverloop in het filter bij een lage freatische lijn

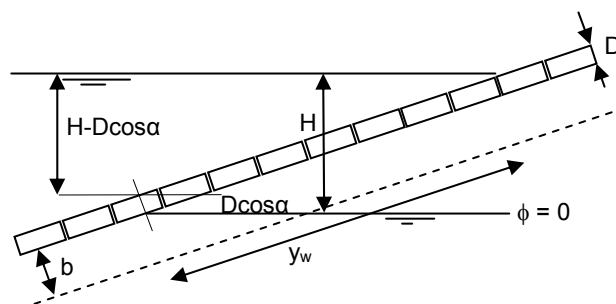
Er zal echter ook water het filter instromen in de onverzadigde zone boven de freatische lijn. In deze onverzadigde zone is de druk $p = 0$, en geldt dus voor de stijghoogte:

$$\phi = p/\rho g + z = y \sin \alpha$$

Hierin is:

p : druk in het filter (Pa)

z : verticale coördinaat ten opzichte van het niveau van de freatische lijn (m)



Figuur 5.4a Infiltratie via onverzadigde zone

De lengte van de onverzadigde zone (langs het talud gemeten) is $y_w = (H - D \cos \alpha) / \sin \alpha$. De stijghoogte in het filter in de onverzadigde zone is $\phi_f = y \sin \alpha$ en op de toplaag: $\phi_{\text{buiten}} = H$. Het gemiddelde verhang over de toplaag ter plaatse van de onverzadigde zone is:

$$i' = (\phi_{\text{buiten}} - \phi_f)/D = (H - (H - D \cdot \cos\alpha)/2)/D = H/D/2 + \cos\alpha/2$$

Hierin is:

i' : gemiddelde verhang over de toplaag in de onverzadigde zone (-)

Het debiet door de toplaag is derhalve:

$$Q = k' i' \cdot y_w = k' \cdot (H/D/2 + \cos\alpha/2) \cdot (H - D \cdot \cos\alpha) / \sin\alpha$$

Hierin is:

Q : gemiddelde debiet, per strekkende meter dijk, door de toplaag in de onverzadigde zone ($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$)

Voor dit geval met $k' = 0.25 \text{ mm/s}$, $\alpha = 15,9^\circ$, $H = 1 \text{ m}$ en $D = 0.25 \text{ m}$ geldt: $Q = 1,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$.

Voor het berekenen van de snelheid waarmee de freatische lijn omhoog gaat, moet dit debiet ook in rekening gebracht worden, samen met de bijdrage als gevolg van het opwaartse verhang net onder de freatische lijn. De snelheid waarmee de freatische lijn stijgt kan daarom berekend worden met de volgende formule:

$$u_f = \frac{k \cdot i_f \sin \alpha + Q/b}{n} \quad (5.7)$$

waarbij:

n : porositeit van het filter; voor dit geval is $n = 0.25$ aangehouden voor het ondoorlatende filter (-)

u_f : snelheid waarmee de freatische lijn stijgt (verticaal)(m/s)

Met $k = 1.4 \text{ mm/s}$ en $i_f = 1.1$ volgt hieruit een stijgsnelheid van: $u_f = 15 \text{ mm/s}$.

5.3 ZSTEEN-berekening

De ZSTEEN-berekeningen zijn uitgevoerd met dezelfde cases als de analytische berekeningen. De eigenschappen van de constructie zijn als volgt:

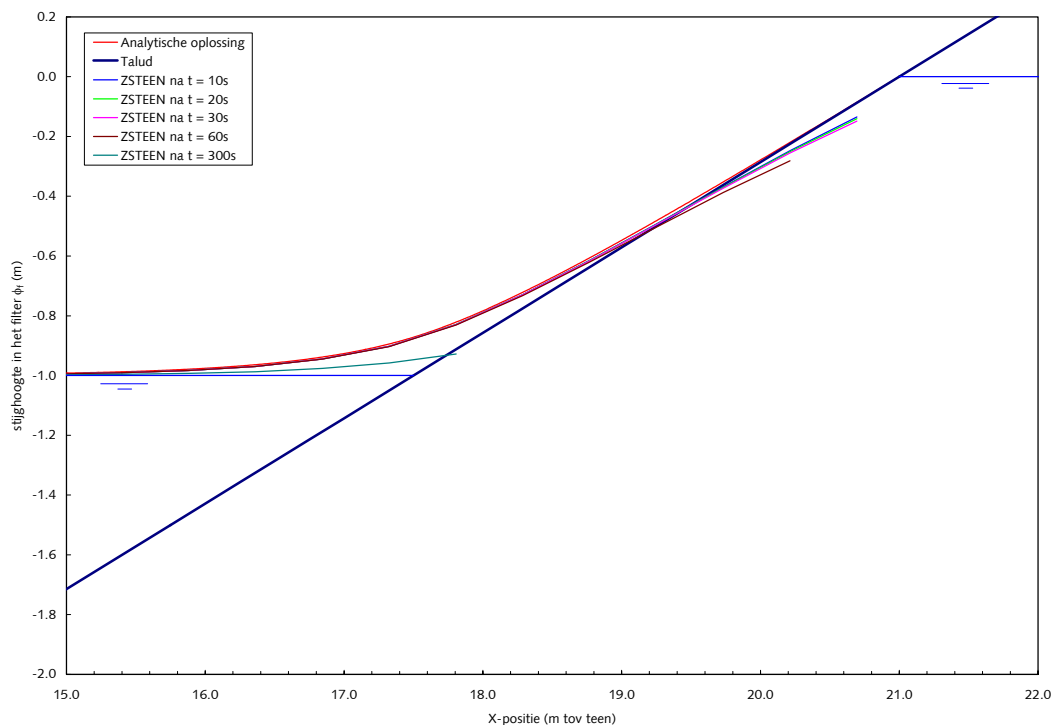
	Eigenschappen
leklengte (A)	0.84 m
lekhogte (λ)	0.23 m
afmetingen ($L \times B$)	0.5 m x 0.5 m
dikte blokken (D)	0.25
spleetbreedte (s)	0.5
klemfactor	1
ρ_{steen}	2300
inwassing	nee
korrelgrootte filter (D_{f15})	1 mm
laagdikte filter (b)	0.50 m
Porositeit filter (n)	0.25

Tabel 5.1 Constructie eigenschappen

De constructie bestaat uit betonblokken met smalle spleten, zonder inwassing.

5.3.1 Case I: Hoge freatische lijn

Om een ZSTEEN-berekening te kunnen maken, is een kunstmatig drukbestand aangemaakt volgens het GEF-formaat. In deze file is gebruik gemaakt van 23 drukopnemers op de bekleding met een onderlinge afstand van 0.25 m (horizontaal gemeten) met een tijdsinterval van 0.025 s. De locatie van de drukopnemers is grafisch weergegeven in Figuur B.21 in Bijlage 'Figuren'. Hierbij werd een beginwaarde van de freatische lijn op +6 m 10 s aangehouden. Vervolgens is de buitenwaterstand in 1 tijdsinterval verlaagd met 1 m naar +5.0 m. Deze waterstand is 300 s aangehouden. Het verloop van de stijghoogte in het filter die door ZSTEEN berekend is in de tijd is weergegeven in Figuur B.22 van Bijlage 'Figuren'. Omdat het filter weinig doorlatend is zakt de stijghoogte in het filter maar heel langzaam. Om een vergelijking te kunnen maken met de analytische case is voor enkele tijdstippen de stijghoogte in het filter getekend in Figuur 5.5.



Figuur 5.5 Stijghoogteverloop in het filter met ZSTEEN vergeleken met een analytische oplossing (hoge buitenwaterstand)

De lijn van de ZSTEEN-berekening op $t = 10$ s betreft de situatie dat de buitenwaterstand juist 1 m gezakt is. Uit deze vergelijking blijkt het resultaat van de ZSTEEN-berekening bovenop de analytische oplossing te liggen. Uit de outputfile van ZSTEEN is bepaald dat de freatische lijn als volgt zakt:

- Van $t = 10$ s tot $t = 20$ s: daling = 29 mm
- Van $t = 20$ s tot $t = 30$ s: daling = 26 mm
- Van $t = 30$ s tot $t = 60$ s: daling = 171 mm

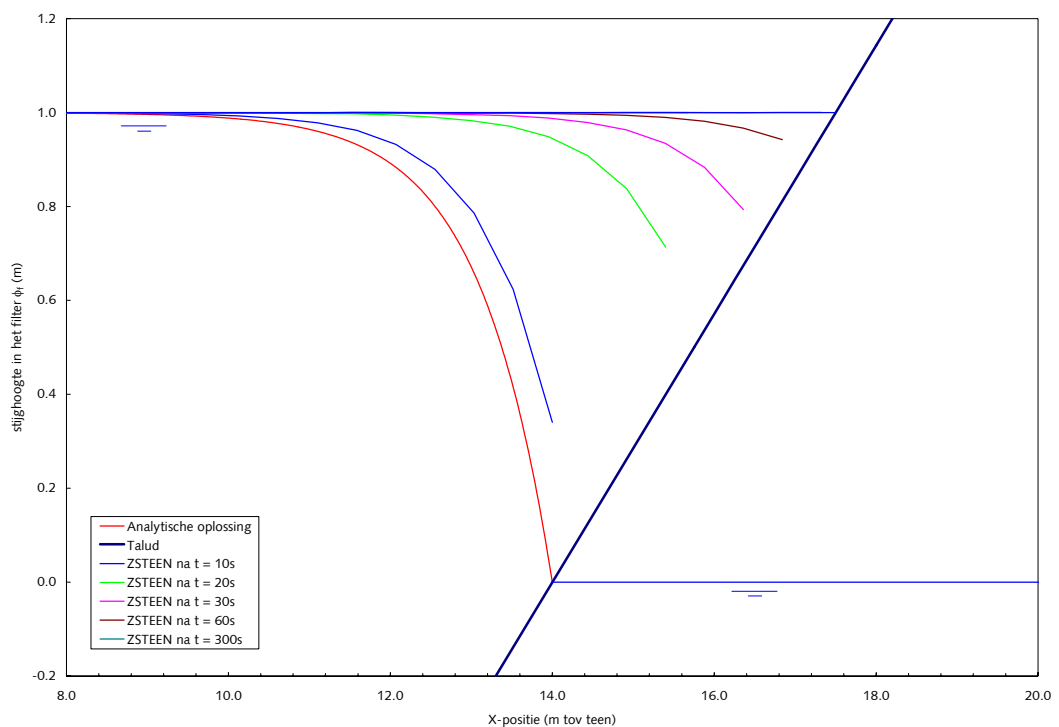
Op basis hiervan blijkt de aanvangsdaalsnelheid (op $t = 10$ à 20 s) gelijk is aan $u_f = 2.9$ mm/s. Volgens de analytische oplossing was dat $u_f = 0.42$ mm/s.

Hieruit kan geconcludeerd worden dat voor deze situatie de daling van de freatische lijn in ZSTEEN een factor 7 groter is dan bepaald met behulp van een analytische benadering.

5.3.2 Case 2: Lage freatische lijn

Voor deze berekening is een GEF-bestand gemaakt met 30 drukopnemers met een onderlinge afstand van 0.25 m (horizontaal gemeten). De locatie van de drukopnemers is weergegeven in Figuur B.21 van Bijlage 'Figuren'. Het gebruikte tijdsinterval was wederom $dt = 0.025$ s. Hierbij werd een beginwaarde van de freatische lijn op +4 m 10 s aangehouden. Vervolgens is de buitenwaterstand in 1 tijdsinterval verhoogd met 1 m naar +5.0 m. Deze waterstand is 300 s aangehouden. Het verloop van de freatische lijn die door ZSTEEN berekend is in de tijd is weergegeven in Figuur B.23 van Bijlage 'Figuren'. De stijghoogte in het filter vertoont een springerig verloop. Dit is niet realistisch en kan een aanwijzing zijn dat er een fout zit in het programma.

Om een vergelijking te kunnen maken met de analytische case is voor enkele tijdstippen de stijghoogte in het filter getekend in Figuur 5.6.



Figuur 5.6 Stijghoogteverloop in het filter met ZSTEEN vergeleken met een analytische oplossing (lage buitenwaterstand)

Voor deze situatie is te zien dat het verloop van het freatisch vlak in de tijd anders verloopt dan voor Case 1. De stijghoogte past zich sneller aan. Het stijghoogteverloop volgens ZSTEEN vertoont dezelfde trend als die ook met de analytische benadering is bepaald.

Helaas geeft ZSTEEN de locatie van de freatische lijn niet in zijn uitvoer weer. Daarom is een schatting van het niveau van de freatische lijn bepaald aan de hand van het

stijghoogteverloop in het filter. Daarvoor is gebruik gemaakt van de analytische berekening van het stijghoogteverloop in het filter als functie van het niveau van de freatische lijn. Door dat niveau zo te kiezen dat het verloop van het stijghoogte in het filter volgens de analytische oplossing gelijk is aan die van ZSTEEN is het niveau van de freatische lijn bepaald.

Van $t = 10$ s (tijdstip van verhoging buitenwaterstand) tot $t = 11$ s is de freatische lijn in het filter van $z = 0,155$ tot $z = 0,185$ m gestegen, waaruit blijkt dat $u_f = 30$ mm/s. Voor de analytische benadering is deze 15 mm/s.

Hieruit kan geconcludeerd worden dat voor deze situatie de stijging van de freatische lijn in ZSTEEN een factor 2 groter is dan bepaald met behulp van een analytische benadering.

Hoewel deze constatering kan betekenen dat de freatische lijn een verkeerd niveau zou kunnen hebben tijdens de berekeningen, heeft dit waarschijnlijk slechts een kleine invloed als er gerekend wordt met een relatief kleine lek lengte ($\Lambda < H_s$). De berekeningen die in dit verslag presenteert zijn, zijn daardoor niet door deze fout beïnvloed.

5.4 Resultaat van de vergelijking met analytische oplossing

Het vergelijken van de resultaten van ZSTEEN met een analytische oplossing heeft geleid tot de volgende conclusies:

- De stijghoogte in het filter volgens ZSTEEN komt voor een eenvoudige case met horizontale buitenwaterstand nagenoeg overeen met een analytische oplossing. Echter de snelheid waarmee de freatische lijn verandert, is in ZSTEEN een factor 7 groter vergeleken met de analytische oplossing. Voor de case met lage freatische lijn is deze overschatting een factor 2.
- Bij een lage freatische lijn en een hoge buitenwaterstand vertoont de stijghoogte in het filter een springerig verloop in de tijd (zie figuur B.23). Dit is niet realistisch en kan een aanwijzing zijn dat er een fout zit in het programma.

6 Kwaliteitscheck drukbestanden

Uit nadere analyse van de drukbestanden, die voor ZSTEEN gegenereerd, zijn blijkt dat enkele bestanden niet correct zijn of als verdacht beschreven kunnen worden. In dit hoofdstuk is beschreven welke bestanden als niet correct worden beschouwd en hoe dit is verbeterd.

Bestand van proef dgo05 en dgo21

In het verificatieonderzoek dat is uitgevoerd door GeoDelft (2000) staat beschreven dat de drukbestanden van Proef dgo05 en Proef dgo21 niet correct zijn. Dit zijn bestanden die opgenomen zijn in het verificatiebestand voor ZSTEEN. Het blijkt dat de drukken voor 1 drukopnemer in het filter zijn aangemaakt terwijl er 6 drukopnemers in het filter aanwezig waren. Tijdens het genereren van deze bestanden kwam tevens een andere fout naar boven. In WL-rapport (2000) staat vermeld dat voor proef dgo05 drukopnemer 03 op de bekleding niet gewerkt heeft. Het blijkt echter dat drukopnemer 06 niet werkte. Voor proef dgo21 blijkt dat drukopnemer 03 niet gewerkt heeft. In het rapport staat vermeld dat dit drukopnemer 06 was en dit was dus niet correct.

Bestand T350K192.gef van proef T5o06

In drukbestand T350K192.gef (proef T5o06) is niet correct; hoog op het talud, waar de fictieve golfoploop moet zijn toegevoegd is in de oploophase een steil front te zien. Bij analyse van de meting blijkt dat de drukopnemers allemaal goed gewerkt hebben. Het blijkt dat met het berekenen van de fictieve golfoploop verkeerde waarden zijn weggeschreven.

Bestand T300K199.gef van proef P3012

Drukbestand T300K199 (proef P3012) is als verdacht betiteld. De stappen volgende op nr. 6598 bleek een aantal op en neer klappende drukverlopen te bevatten. Deze verschijnselen treden ook op rond stapnummer 2254.

In figuur B.18 t/m B.20 zijn de stijghoogte op het talud, de berekende stijghoogte in het filter en de berekende blokbeweging voor diverse tijdstippen rond stap 6598 en 2254 van deze proef gegeven. De stapgrootte is in deze figuren 0,05 s. In figuur B.18 is te zien dat tijdens stap 6598 er sprake is van een stijghoogtefront op het talud dat een zodanig stijghoogteverschil geeft dat er een grote blokbeweging resulteert. Eén stap daarna is de golfklap te zien als een sterk gepiekte stijghoogte op het talud met een hoge waarde (ruim 10 m waterkolom). Ondanks dat het stijghoogteverschil toeneemt, neemt toch de blokbeweging af t.o.v. het moment met het steile golffront in stap 6598. Vervolgens zakt de stijghoogte op het talud in stap 6600 naar een hele lage waarde en slingert in stap 6601 weer omhoog. Dit slingeren blijkt uit te dempen in de volgende tijdstappen.

Deze sterk op en neer fluctuerende stijghoogte op het talud na een golfklap is een bijzonder verschijnsel, dat het drukbestand tijdens deze tijdstappen verdacht maakt. Geruststellend is

het dat de blokbeweging tijdens dit slingeren van de de stijghoogte op het talud een lagere waarde heeft dan tijdens het golffront en tijdens de golfklap.

Van een aantal golven in dit drukbestand is het verloop van de stijghoogte op het talud als functie van de plaats voor vele opeenvolgende tijdstippen bestudeerd. Uit deze analyse blijkt dat er zware golfklappen plaatsvinden tijdens deze proef, maar dat het drukverloop niet vreemd of afwijkend is. Tevens is van een aantal drukopnemers de stijghoogte op het talud als functie van de tijd bestudeerd. Daaruit blijkt dat tijdens sommige golfklappen er sprake is van een drukoscillatie met een frequentie van ongeveer 20 à 30 Hz. De frequentie was moeilijk vast te stellen omdat de bemonsteringsfrequentie tijdens deze proeven slechts 50 Hz was (door opschalen is de tijdstap in figuur B.18 t/m B.20 vergroot naar 0,05 s).

Het is denkbaar dat deze drukoscillaties een gevolg zijn van het niet stijf genoeg zijn van het talud, waardoor het talud op en neer dendert na een zware golfklap. Daarom is de stijfheid van het talud en de koker waar de drukopnemers in zitten beoordeeld. De koker is destijds van staal gemaakt en was in feite een U-profiel met hoogte van 160 mm, breedte van 120 mm en wanddikte van 6 mm. Op dit U-profiel is een aluminium deksel geplaatst met dikte van 10 mm, waarin de drukopnemers zijn geschroefd. De vrije overspanning van deze deksel was 88 mm. Het talud was verder van beton gemaakt. Geconcludeerd kan worden dat dit talud bijzonder stijf was.

Een dergelijke oscillatie is ook onlangs in de Scheldegoot geconstateerd (Kuiper 2003) bij een veel minder stijf talud van hout. In dat onderzoek is gekeken in hoeverre het stijver maken van het talud deze oscillatie beïnvloed. Gezien het feit dat er slechts een beperkte invloed te bespeuren was, is geconcludeerd dat dit geen gevolg is van een meeverend talud. Waarschijnlijk zijn deze oscillaties onverbrekkelijk verbonden met het brekerproces.

Nieuwe bestanden

Alle hier beschreven drukbestanden zijn opnieuw aangemaakt en als bijlage bij dit rapport meegestuurd. De drukbestanden op de CD-rom zijn:

- Databestand 1; volledig meetbestand met zowel de gemeten drukken op de bekleding als de gemeten drukken in het filter, eventueel aangevuld met een kunstmatig gegenereerde golfloop , voorzien van een GEF-header.
- Databestand 2; volledig meetbestand met alleen de gemeten drukken op de bekleding, eventueel aangevuld met een kunstmatig gegenereerde golfloop , voorzien van een GEF-header.
- Databestand 3; ingekorte meetfile met zowel de gemeten drukken op de bekleding als de gemeten drukken in het filter, eventueel aangevuld met een kunstmatig gegenereerde golfloop , voorzien van een GEF-header.

Indikken van bestanden

In hoofdstuk 4 is geconstateerd dat de berekeningen met een ingedikt meetbestand een kleinere blokbeweging laten zien dan wanneer het volledige meetbestand wordt gebruikt, terwijl het maximale stijghoogteverschil wel gelijk is. Kennelijk leidt de selectieprocedure voor het aanmaken van het ingedikte meetbestand wel tot de selectie van de golven die

leiden tot een groot stijghoogteverschil, maar dit leidt niet automatisch tot alle golven die ook een extreme blokbeweging geven. Het is van belang om ook de duur van het stijghoogteverschil mee te wegen bij de keuze van de golven.

Aanbevolen wordt de software voor het maken van een ingedikt bestand zo aan te passen dat het mogelijk wordt om afzonderlijke golven uit het volledige meetbestand te vergelijken met dezelfde golven in het ingedikte meetbestand. Bovendien wordt aanbevolen om met een ZSTEEN-berekening met het volledige meetbestand te zoeken naar de golven die de grootste blokbeweging geven, en te controleren of die in het ingedikte meetbestand zijn terechtgekomen.

7 Conclusies

Op basis van de in dit rapport uitgevoerde testberekeningen met ZSTEEN (Versie 1.8, build 1.3) kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- Wanneer kleine waterstandsverschillen werden toegepast (verder gelijkblijvende condities), werd een grote variatie gevonden in de berekende maximale blokbeweging. Op grond van berekeningen kan geconcludeerd worden dat, wanneer slechts één ZSTEEN-berekening wordt uitgevoerd, de maximale blokbeweging ongeveer 15 mm kan worden overschat of onderschat. Het is niet op voorhand te voorspellen bij welke waterstand de maximale blokbeweging verkregen wordt. Daarom kan voorlopig geconcludeerd worden dat er rekening gehouden moet worden met een onzekerheidsmarge van ± 15 mm als slechts één berekening gemaakt wordt.
- In alle gevallen waarin de blokbeweging afneemt bij toenemende golfhoogte kon dit verklaard worden uit de onzekerheidsmarge als gevolg van de waterstandsproblematiek.
- Als de brekerparameter toeneemt van $\xi_{op} \approx 1$ tot 1,7, neemt de blokbeweging af en neemt dus de stabiliteit toe. Dit is tot nu toe nog niet geconstateerd met andere rekenmodellen of in de Deltagoot.
- Als de brekerparameter toeneemt van $\xi_{op} \approx 1,7$ tot 3, neemt de blokbeweging toe en neemt dus de stabiliteit af. Dit is in overeenstemming met ANAMOS en resultaten van Deltagootonderzoek.
- Als de brekerparameter toeneemt van $\xi_{op} \approx 3$ tot 3,5, dan neemt de blokbeweging weer af en dus neemt de stabiliteit toe. Gezien het feit dat bij grote ξ_{op} -waarden de golfklappen afnemen en de golfbelasting er minder zwaar uitziet, is dit begrijpelijk.
- Het blijkt dat de blokbeweging bij een bepaalde waarde van ξ_{op} niet voor alle taludhellingen gelijk is. Op grond van de 'black-box'-figuren zou men verwachten dat dit wel het geval zou zijn. De blokbeweging is voor een talud van 1:4 het grootst, en voor een talud van 1:3.5 het kleinst.
- De snelheid waarmee de blokbeweging toeneemt met toenemende golfhoogte is volgens ZSTEEN veel kleiner dan blijkt uit Deltagootresultaten. Het is denkbaar dat dit probleem verkleind wordt als gerekend wordt met een klemfactor die groter is dan 1. Eventueel moet dan bovendien gekeken worden naar de cumulatieve blokbeweging.
- De grootte van de onzekerheidsmarge als gevolg van de waterstandsproblematiek staat het trekken van meer gedetailleerde conclusies omtrent de berekende trends in de weg.
- Bij het testen van de toets- en dimensioneermode van ZSTEEN blijkt bij het dimensioneren het eerstvolgende golfbestand met hogere ξ_{op} geselecteerd wordt door ZSTEEN, terwijl bij gebruik van de toetsmode het golfbestand wordt geselecteerd met de dichtstbijzijnde ξ_{op} -waarde. Dit is conform de beoogde opzet.
- Uit de vergelijking tussen de Deltagootmetingen en de ZSTEEN-berekeningen kan geconcludeerd worden dat ZSTEEN de blokbeweging sterk onderschat. Daardoor zal het een onveilig resultaat voor een ontwerp of toetsing opleveren. Het aantal bewegingen is doorgaans onrealistisch hoog. Wellicht is het rekenen met een klemfactor groter dan 1, in combinatie met het beschouwen van de cumulatieve blokbeweging, een oplossing voor dit probleem.

- Het blijkt dat het rekenen met een ingedikt meetbestand een iets kleinere blokbeweging geeft dan met het volledige meetbestand, terwijl het maximale stijghoogteverschil wel in beide gevallen gelijk is. Aanbevolen wordt de software voor het maken van een ingedikt bestand zo aan te passen dat het mogelijk wordt om afzonderlijke golven uit het volledige meetbestand te vergelijken met dezelfde golven in het ingedikte meetbestand. Vervolgens kan met een ZSTEEN-berekening met het volledige meetbestand gezocht worden naar de golven die de grootste blokbeweging geven, om te controleren of die in het ingedikte meetbestand zijn terechtgekomen.
- De stijghoogte in het filter volgens ZSTEEN komt voor een eenvoudige case met horizontale buitenwaterstand nagenoeg overeen met een analytische oplossing. Echter de snelheid waarmee de freatische lijn verandert, is in ZSTEEN een factor 7 groter vergeleken met de analytische oplossing. Voor de case met lage freatische lijn is deze overschatting een factor 2.
- Bij een lage freatische lijn en een hoge buitenwaterstand vertoont de stijghoogte in het filter een springerig verloop in de tijd (zie figuur B.23). Dit is niet realistisch en kan een aanwijzing zijn dat er een fout zit in het programma.
- Tijdens de ontwikkeling van ZSTEEN in de afgelopen jaren zijn enkele drukbestanden als verdacht gekenmerkt. Bij sommige drukbestanden was er inderdaad iets mis en is dit in het kader van dit project hersteld. Er is echter ook geconstateerd dat na een zware golfklap de stijghoogte op het talud soms een bijzondere oscillatie vertoont. Dit is tijdens meerdere onderzoeken geconstateerd. Het is aannemelijk gemaakt dat dit niet samenhangt met de stijfheid van het talud tijdens de proeven. Het is geruststellend dat de blokbeweging tijdens deze oscillaties kleiner is dan tijdens de belasting er vlak vóór. Het is denkbaar dat dit merkwaardige verschijnsel onverbreekelijk verbonden is met het brekerproces.

Referenties

GeoDelft (2000), '*Verificatieberekeningen ZSTEEN*', GeoDelft-rapport projectID CO-388501/66, november 2000

Kuiper (2003), golfdrukken op talud ten gevolge van lange golven, onderzoeksprogramma kennisleemtes steenbekledingen; WL | Delft Hydraulics, rapport H4329, december 2003

Lubbers C.L., en M. Klein Breteler (2000) Grootschalig modelonderzoek naar stabiliteit van taludbekledingen, Samenvatting van onderzoek in Deltagoot; WL | Delft Hydraulics, H3272, november 2000.

Smith, G.M., J. Wouters en M. Klein Breteler (2000), '*Grootschalig modelonderzoek naar stabiliteit taludbekledingen*', Meetverslag van Deltagootonderzoek. WL | Delft Hydraulics, H3272, februari 2000.

WL | Delft Hydraulics (1985), '*Taludbekledingen van gezette steen, belasting en sterkte van zetsteenverdedigingsconstructies op oevers en dijken*', WL | Delft Hydraulics verslag oriënterende bureaustudie M1795/M1881 deel XVI, augustus 1985

WL | Delft Hydraulics (2000), '*Databestanden ZSTEEN*', WL | Delft Hydraulics rapport H3810, november 2000

A Inputfiles ZSTEEN

INPUT FILE FOR ZSTEEN

=====

COMPANY : WL Delft Hydraulics
LICENSE : 00373
DATE : 27-11-2003
TIME : 14:49:51
FILENAME : D:\vossen\ZSTEEN\sub2LB\23o02LB.zsi
CREATED BY : ZSTEEN version 1.8

===== BEGINNING OF DATA =====

[RUN IDENTIFICATION]

[CALCULATIONTYPE]

2 = Wave file

[TOP LAYERS]

1 = number of items
betonblk op kant-23o02
255 = Kleur
0.20 = Dikte
0.20 = Lengte
0.10 = Breedte
0.0027000 = Spleetbreedte
0.00 = Percentage open oppervlak
2279 = Rho steen
1.00 = Klemfactor
0.00 = Wrijving toplagen en ondergrond
0 = No
0.000 = Oppervlakte gat
0 = Aantal gaten
0 = No
0.001 = D15 inwasmateriaal => er is geen inwasmateriaal
0.01 = n Inwasmateriaal
0 = Blok => geen zuil
0.01 = Oppervlakte zuil

[SECTIONS]

1 = number of items
1
8.65 = X-Links
16.84 = X-Rechts
2.47 = Y-Links
4.81 = Y-Rechts
23o02
1 = Closed
1.00 = Doorlatendheid onderste spleet

[BUILDYPES]

1 = number of items
23o02
betonblk op kant-23o02
0

0

Gebrokggrind8mm

[GEOTEXTILES]

0 = number of items

[FILLAYERS]

0 = number of items

[FILTERLAYERS]

1 = number of items
Gebrokggrind8mm
8421504 = Kleur
0.06 = BF
0.0080 = D15F
0.350 = nF

[BASELAYERS]

0 = number of items

[WAVECOMMON]

1000.00 = Rho Water

[WAVEDIMENSION]

0.00 = H Stil
0.50 = Hs
1.00 = Tp
10.0 = TStorm
niet van toepassing, want er is een extern bestand gebruikt

[WAVEWAVEFILE]

C:\Program Files\GeoDelft\ZSTEEN\Golfbestanden\23o02.gef
4.55 = Initial Phreatic Head

[END OF INPUT FILE]

INPUT FILE FOR ZSTEEN

=====

COMPANY : WL Delft Hydraulics
LICENSE : 00373
DATE : 04-12-2003
TIME : 15:51:05
FILENAME : D:\vossen\ZSTEEN\sub3_04\12cc06x.zsi
CREATED BY : ZSTEEN version 1.8
===== BEGINNING OF DATA =====

[RUN IDENTIFICATION]

[CALCULATIONTYPE]

2 = Wave file

[TOP LAYERS]

1 = number of items
12cc06
255 = Kleur
0.20 = Dikte
0.20 = Lengte
0.10 = Breedte
0.0063000 = Spleetbreedte
0.00 = Percentage open oppervlak
2317 = Rho steen
1.00 = Klemfactor
0.00 = Wrijving toplagen en ondergrond
0 = No
0.000 = Oppervlakte gat
0 = Aantal gaten
1 = Yes
0.006 = D15 inwasmateriaal
0.60 = n Inwasmateriaal
0 = Blok
0.01 = Oppervlakte zuil

[SECTIONS]

1 = number of items
1
7.21 = X-Links
19.90 = X-Rechts
2.06 = Y-Links
5.69 = Y-Rechts
12cc06
1 = Closed
1.00 = Doorlatendheid onderste spleet

[BUILDTYPES]

1 = number of items
12cc06
12cc06
0

0

12cc06

[GEOTEXTILES]

0 = number of items

[FILLAYERS]

0 = number of items

[FILTERLAYERS]

1 = number of items
12cc06
8421504 = Kleur
0.05 = BF
0.0072 = D15F
0.350 = nF

[BASELAYERS]

0 = number of items

[WAVECOMMON]

1000.00 = Rho Water

[WAVEDIMENSION]

0.00 = H Stil
0.50 = Hs
1.00 = Tp
10.0 = TStorm

[WAVEWAVEFILE]

C:\Program Files\GeoDelft\ZSTEEN\Golfbestanden\12cc06.dat1.gef
4.94 = Initial Phreatic Head

[END OF INPUT FILE]

INPUT FILE FOR ZSTEEN

=====

COMPANY : WL Delft Hydraulics
LICENSE : 00373
DATE : 27-11-2003
TIME : 11:30:47
FILENAME : D:\vossen\ZSTEEN\sub2LB\12do07LB.zsi
CREATED BY : ZSTEEN version 1.8

===== BEGINNING OF DATA =====

[RUN IDENTIFICATION]

[CALCULATIONTYPE]

2 = Wave file

[TOP LAYERS]

1 = number of items
12do07
255 = Kleur
0.20 = Dikte
0.20 = Lengte
0.10 = Breedte
0.0041000 = Spleetbreedte
0.00 = Percentage open oppervlak
2317 = Rho steen
1.00 = Klemfactor
0.00 = Wrijving toplagen en ondergrond
0 = No
0.000 = Oppervlakte gat
0 = Aantal gaten
1 = Yes
0.006 = D15 inwasmateriaal
0.60 = n Inwasmateriaal
0 = Blok
0.01 = Oppervlakte zuil

[SECTIONS]

1 = number of items
1
6.37 = X-Links
20.30 = X-Rechts
1.82 = Y-Links
5.81 = Y-Rechts
12do07
1 = Closed
1.00 = Doorlatendheid onderste spleet

[BUILDTYPES]

1 = number of items
12do07
12do07
0

0

12do07

[GEOTEXTILES]

0 = number of items

[FILLAYERS]

0 = number of items

[FILTERLAYERS]

1 = number of items
12do07
8421504 = Kleur
0.05 = BF
0.0072 = D15F
0.350 = nF

[BASELAYERS]

0 = number of items

[WAVECOMMON]

1000.00 = Rho Water

[WAVEDIMENSION]

0.00 = H Stil
0.50 = Hs
1.00 = Tp
10.0 = TStorm

[WAVEWAVEFILE]

C:\Program Files\GeoDelft\ZSTEEN\Golfbestanden\12do07.gef
5.00 = Initial Phreatic Head

[END OF INPUT FILE]

INPUT FILE FOR ZSTEEN

=====

COMPANY : WL Delft Hydraulics
LICENSE : 00373
DATE : 27-11-2003
TIME : 15:02:30
FILENAME : D:\vossen\ZSTEEN\sub2LB\23o11LB.zsi
CREATED BY : ZSTEEN version 1.8
===== BEGINNING OF DATA =====

[RUN IDENTIFICATION]

[CALCULATIONTYPE]

2 = Wave file

[TOP LAYERS]

1 = number of items
betonblk op kant-23o11
255 = Kleur
0.20 = Dikte
0.20 = Lengte
0.10 = Breedte
0.0027000 = Spleetbreedte
0.00 = Percentage open oppervlak
2279 = Rho steen
1.00 = Klemfactor
0.00 = Wrijving toplagen en ondergrond
0 = No
0.000 = Oppervlakte gat
0 = Aantal gaten
1 = Yes
0.003 = D15 inwasmateriaal
0.60 = n Inwasmateriaal
0 = Blok
0.01 = Oppervlakte zuil

[SECTIONS]

1 = number of items
1
6.49 = X-Links
20.13 = X-Rechts
1.85 = Y-Links
5.75 = Y-Rechts
23o11
1 = Closed
1.00 = Doorlatendheid onderste spleet

[BUILDTYPES]

1 = number of items
23o11
betonblk op kant-23o11
0
0
Gebroekengrind8mm

[GEOTEXTILES]

0 = number of items

[FILLLAYERS]

0 = number of items

[FILTERLAYERS]

1 = number of items
Gebroekengrind8mm
8421504 = Kleur
0.06 = BF
0.0080 = D15F
0.350 = nF

[BASELAYERS]

0 = number of items

[WAVECOMMON]

1000.00 = Rho Water

[WAVEDIMENSION]

0.00 = H Stil
0.50 = Hs
1.00 = Tp
10.0 = TStorm

[WAVEWAVEFILE]

C:\Program Files\GeoDelft\ZSTEEN\Golfbestanden\23o02.gef
4.94 = Initial Phreatic Head

[END OF INPUT FILE]

INPUT FILE FOR ZSTEEN

=====

COMPANY : WL Delft Hydraulics
LICENSE : 00373
DATE : 27-11-2003
TIME : 11:06:57
FILENAME : D:\vossen\ZSTEEN\sub2LB\12ao09LB.zsi
CREATED BY : ZSTEEN version 1.8

===== BEGINNING OF DATA =====

[RUN IDENTIFICATION]

[CALCULATIONTYPE]

2 = Wave file

[TOP LAYERS]

1 = number of items
12ao09
255 = Kleur
0.20 = Dikte
0.20 = Lengte
0.10 = Breedte
0.0008000 = Spleetbreedte
0.00 = Percentage open oppervlak
2317 = Rho steen
1.00 = Klemfactor
0.00 = Wrijving toplagen en ondergrond
0 = No
0.000 = Oppervlakte gat
0 = Aantal gaten
0 = No
0.006 = D15 inwasmateriaal
0.01 = n Inwasmateriaal
0 = Blok
0.01 = Oppervlakte zuil

[SECTIONS]

1 = number of items
1
8.30 = X-Links
19.69 = X-Rechts
2.37 = Y-Links
5.62 = Y-Rechts
12ao09
1 = Closed
1.00 = Doorlatendheid onderste spleet

[BUILDTYPES]

1 = number of items
12ao09
12ao09
0

0

12ao09

[GEOTEXTILES]

0 = number of items

[FILLAYERS]

0 = number of items

[FILTERLAYERS]

1 = number of items
12ao09
8421504 = Kleur
0.05 = BF
0.0072 = D15F
0.350 = nF

[BASELAYERS]

0 = number of items

[WAVECOMMON]

1000.00 = Rho Water

[WAVEDIMENSION]

0.00 = H Stil
0.50 = Hs
1.00 = Tp
10.0 = TStorm

[WAVEWAVEFILE]

C:\Program Files\GeoDelft\ZSTEEN\Golfbestanden\12ao09.gef
4.91 = Initial Phreatic Head

[END OF INPUT FILE]

```

INPUT FILE FOR ZSTEEN
=====
COMPANY   : WL Delft Hydraulics
LICENSE   : 00373
DATE      : 27-11-2003
TIME      : 12:33:51
FILENAME  : D:\wossen\ZSTEEN\sub2LBI\T5o05.zsi
CREATED BY : ZSTEEN version 1.8
===== BEGINNING OF DATA =====
[RUN IDENTIFICATION]

[CALCULATIONTYPE]
2          = Wave file

[TOP LAYERS]
1 = number of items
5o06
255 = Kleur
0.25 = Dikte
0.50 = Lengte
0.50 = Breedte
0.0017500 = Spleetbreedte
0.00 = Precentage open oppervlak
2383 = Rho steen
1.00 = Kiemfactor
0.00 = Wrijving toplagen en ondergrond
0 = No
0.000 = Oppervlakte gat
0 = Aantal gaten
0 = No
0.001 = D15 inwasmateriaal
0.01 = n Inwasmateriaal
0 = Blok
0.01 = Oppervlakte zuil

[SECTIONS]
1 = number of items
1
2.52 = X-Links
16.99 = X-Rechts
0.72 = Y-Links
4.86 = Y-Rechts
5o06
1 = Closed
1.00 = Doorlatendheid onderste spleet

[BUILDTYPES]
1 = number of items
5o06
5o06
0

1
steenslag5o06
mijnsteen5o06

[GEOTEXTILES]
0 = number of items

[FILLAYERS]
1 = number of items
steenslag5o06
12615808 = Kleur
0.05 = BU
0.00720 = D15U
0.350 = nU

[FILTERLAYERS]
1 = number of items
mijnsteen5o06
8421504 = Kleur
0.80 = BF
0.0026 = D15F
0.250 = nF

[BASELAYERS]
0 = number of items

[WAVECOMMON]
1000.00 = Rho Water

[WAVEDIMENSION]
0.00 = H Stil
0.50 = Hs
1.00 = Tp
10.0 = TStorm

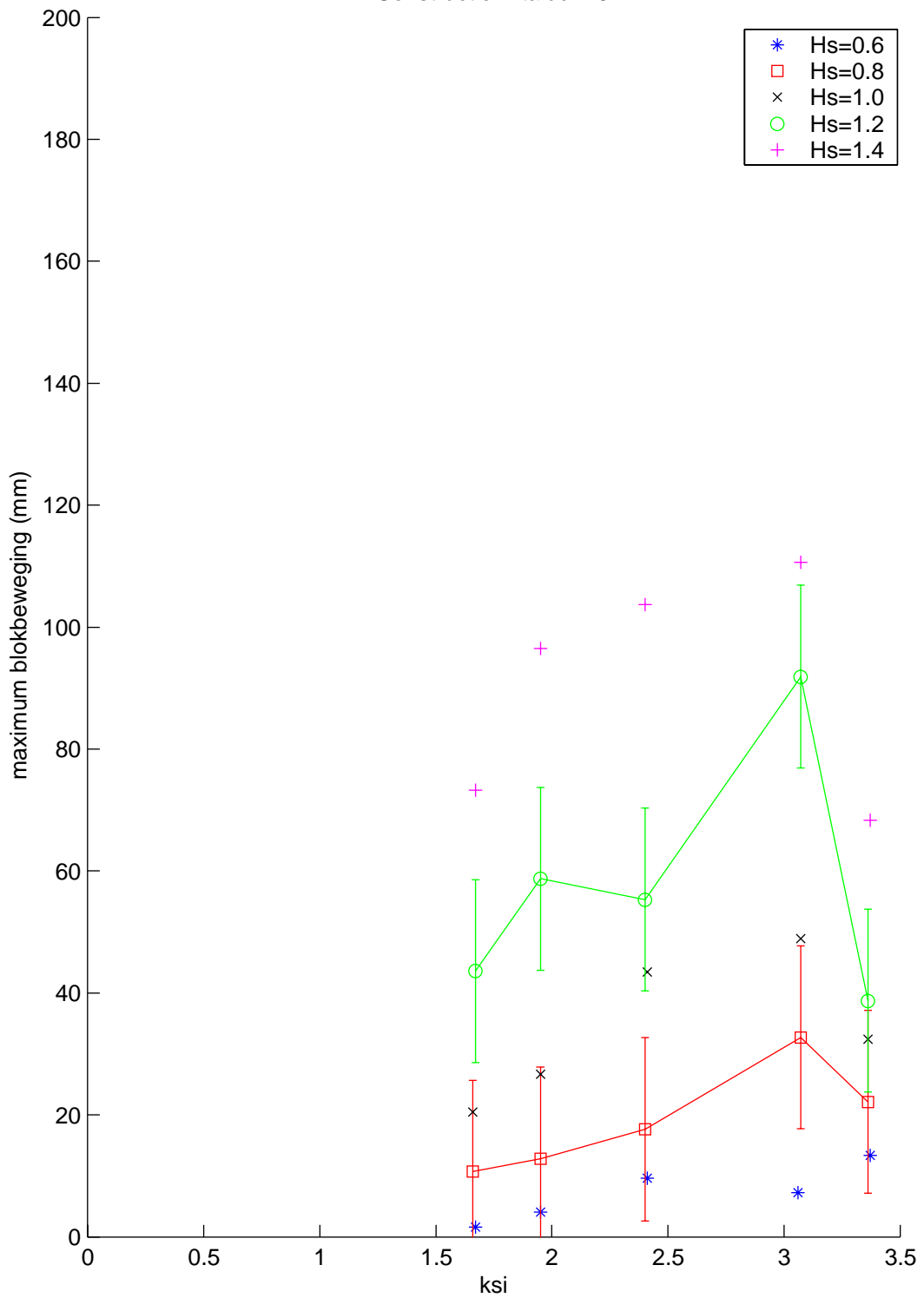
[WAVEWAVEFILE]
C:\Program Files\GeoDelft\ZSTEEN\Golfbestanden\T5o05.gef
4.02 = Initial Phreatic Head

[END OF INPUT FILE]

```

B Figuren

Constructie A talud 1:3

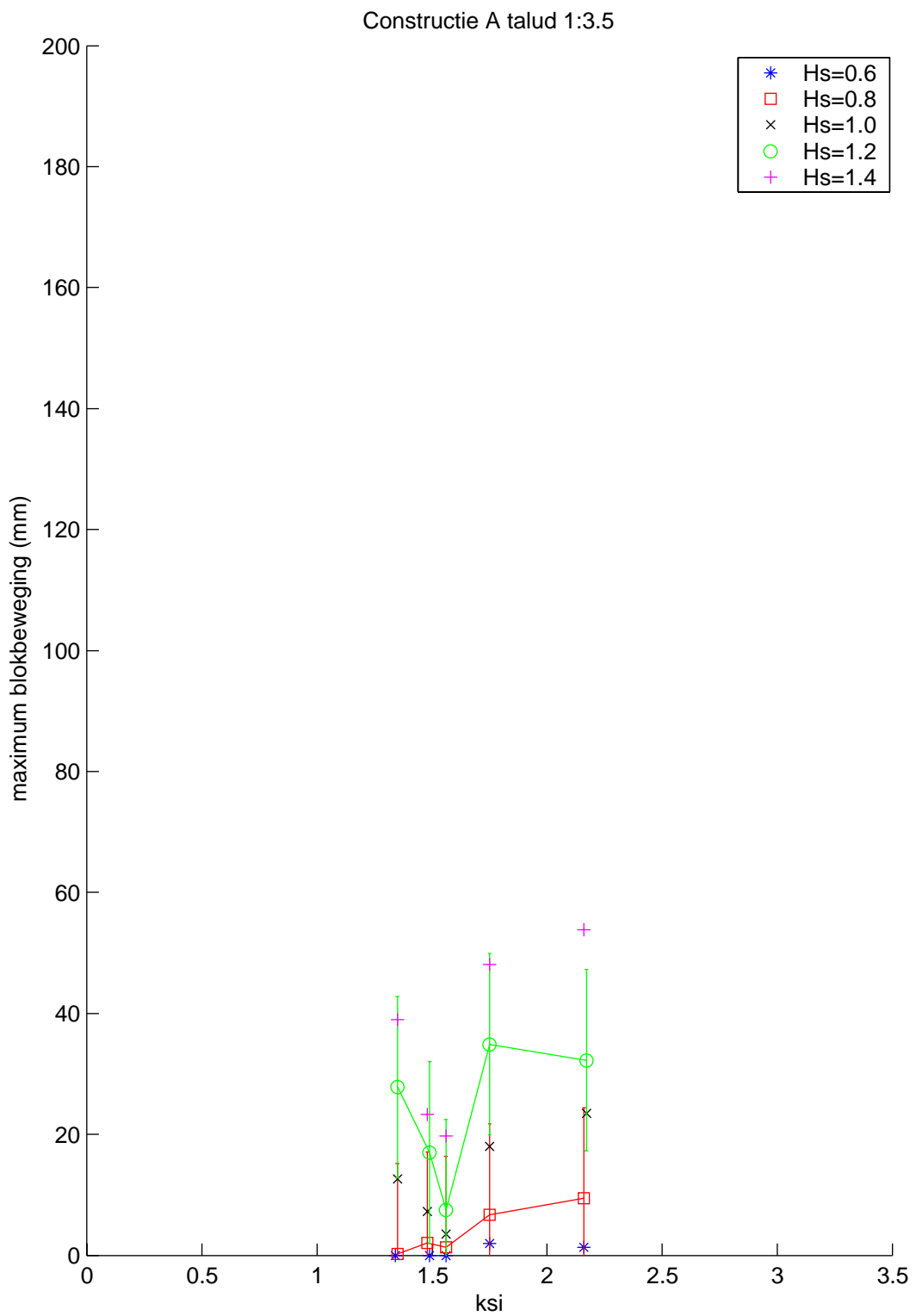


Maximale blokbeweging
Constructie A met Talud 1:3
als functie van ksi voor verschillende Hs

H4331

hfdstk 2

Zsteen Analyse



Maximale blokbeweging
 Constructie A met Talud 1:3.5
 als functie van ksi voor verschillende Hs

H4331

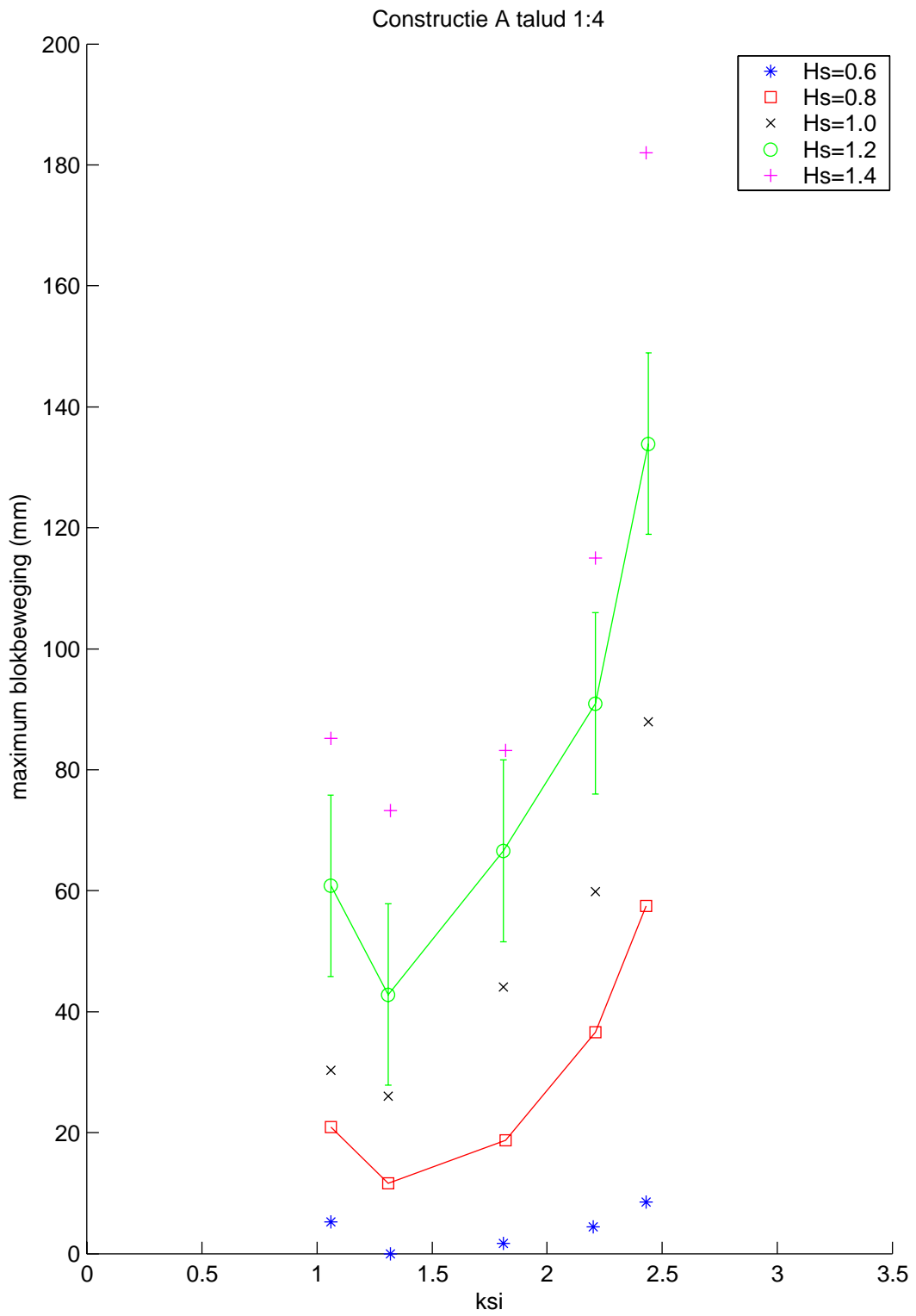
hfdstk 2

Zsteen Analyse

WL | DELFT HYDRAULICS

12-11-2003

Fig. B.2



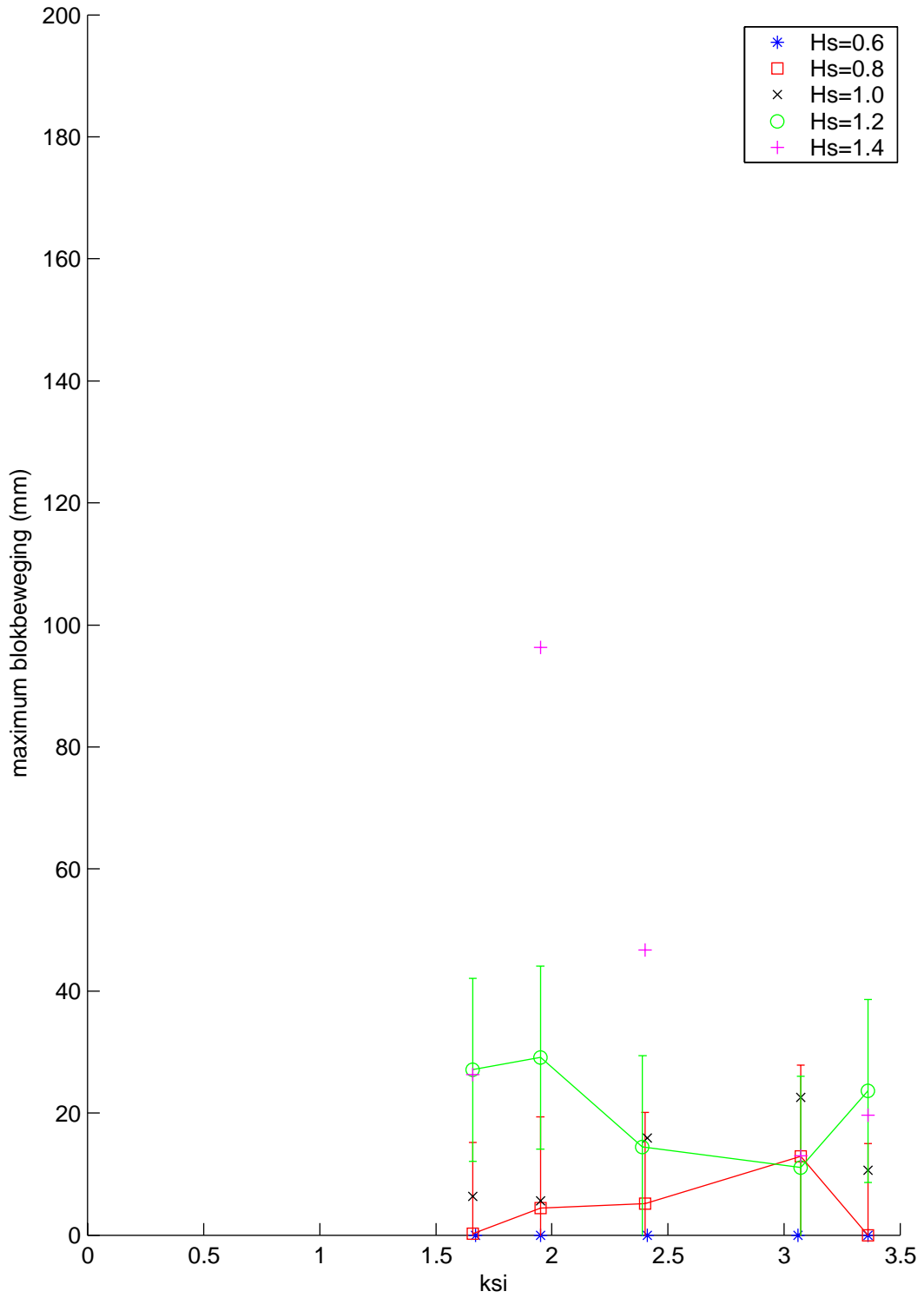
Maximale blokbeweging
 Constructie A met Talud 1:4
 als functie van ksi voor verschillende Hs

H4331

hfdstk 2

Zsteen Analyse

Constructie B talud 1:3



Maximale blokbeweging
Constructie B met Talud 1:3
als functie van ksi voor verschillende Hs

H4331

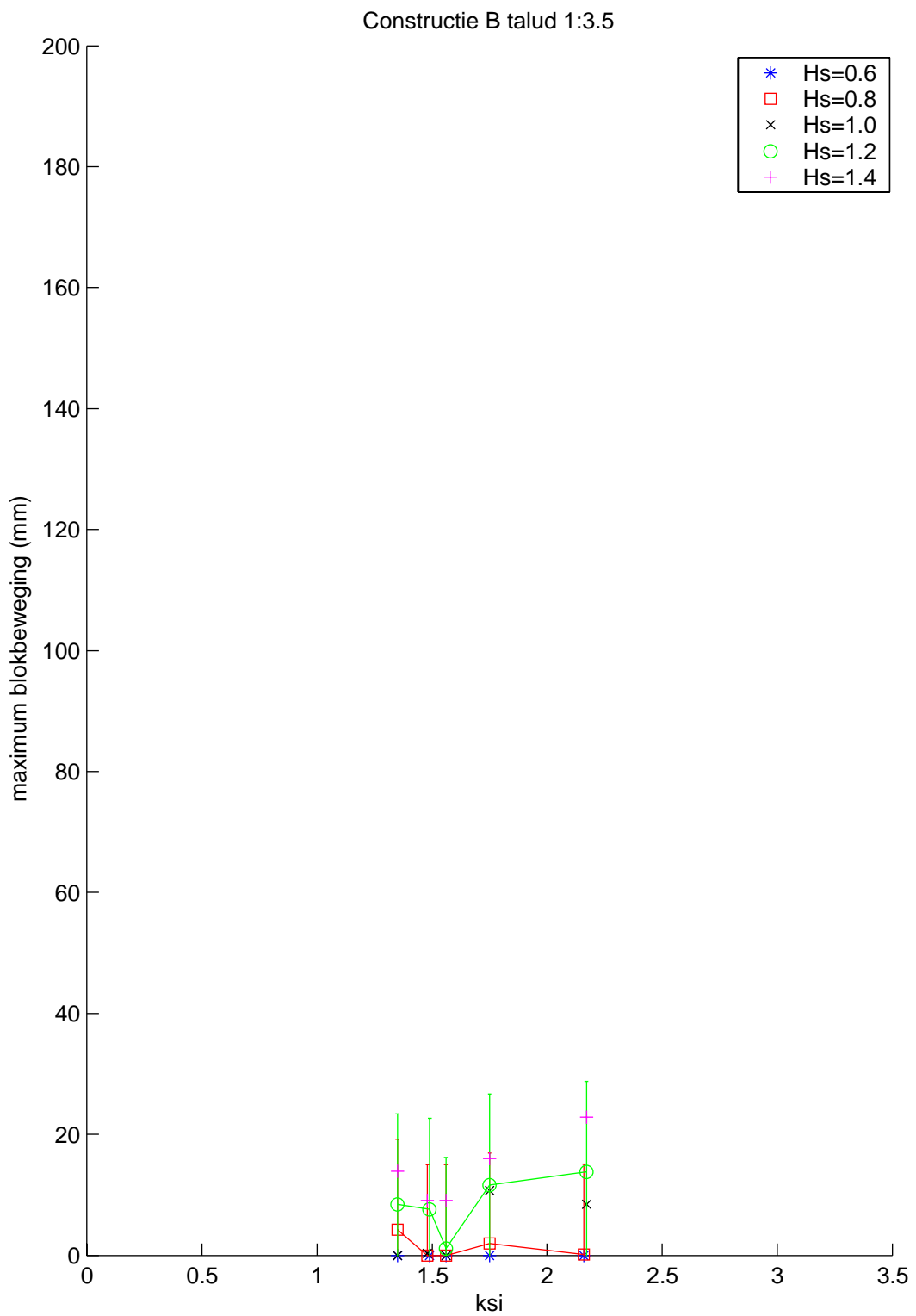
hfdstk 2

Zsteen Analyse

WL | DELFT HYDRAULICS

12-11-2003

Fig. B.4

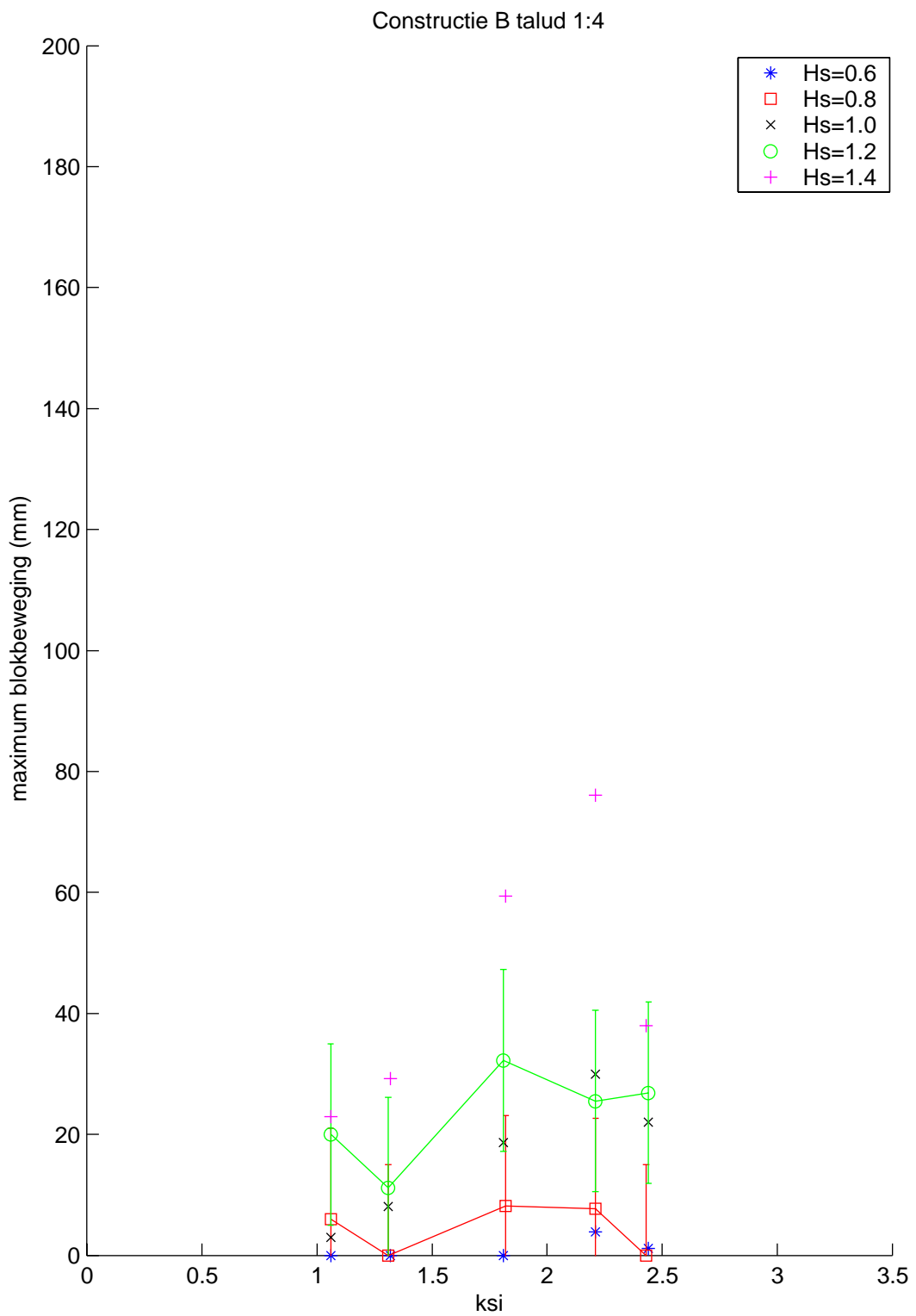


Maximale blokbeweging
 Constructie B met Talud 1:3.5
 als functie van ksi voor verschillende Hs

H4331

hfdstk 2

Zsteen Analyse



Maximale blokbeweging
 Constructie B met Talud 1:4
 als functie van ksi voor verschillende Hs

H4331

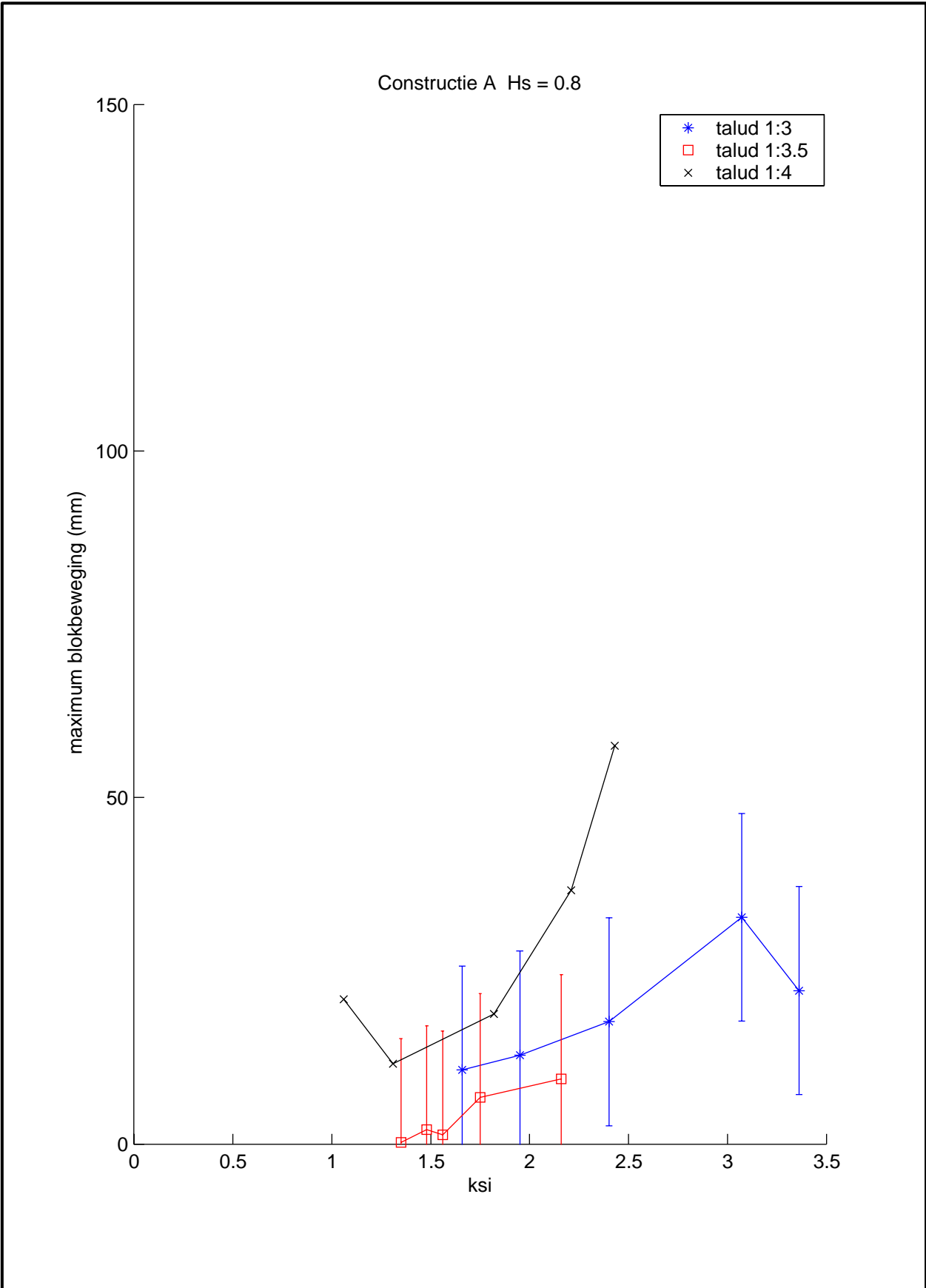
hfdstk 2

Zsteen Analyse

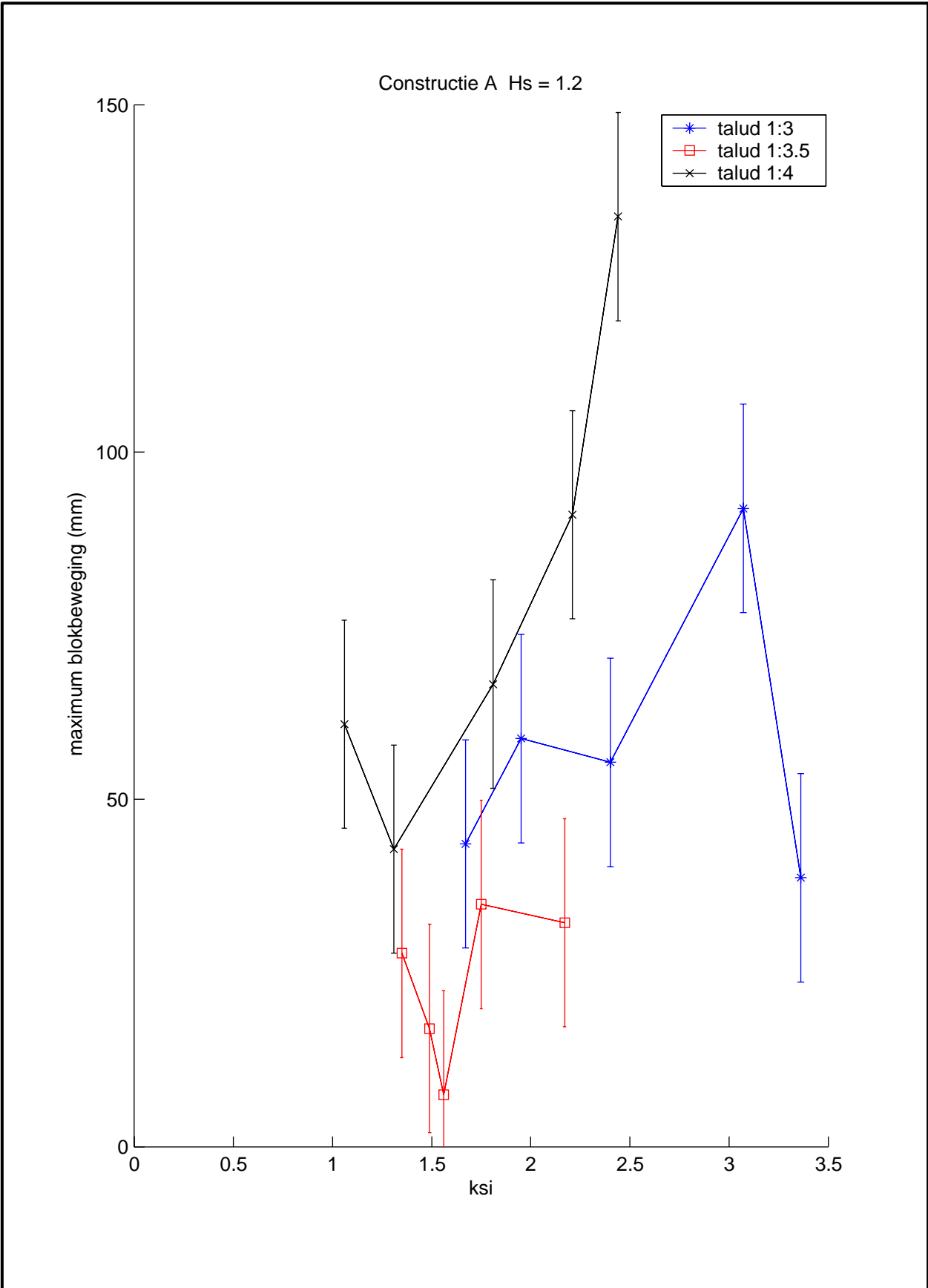
WL | DELFT HYDRAULICS

12-11-2003

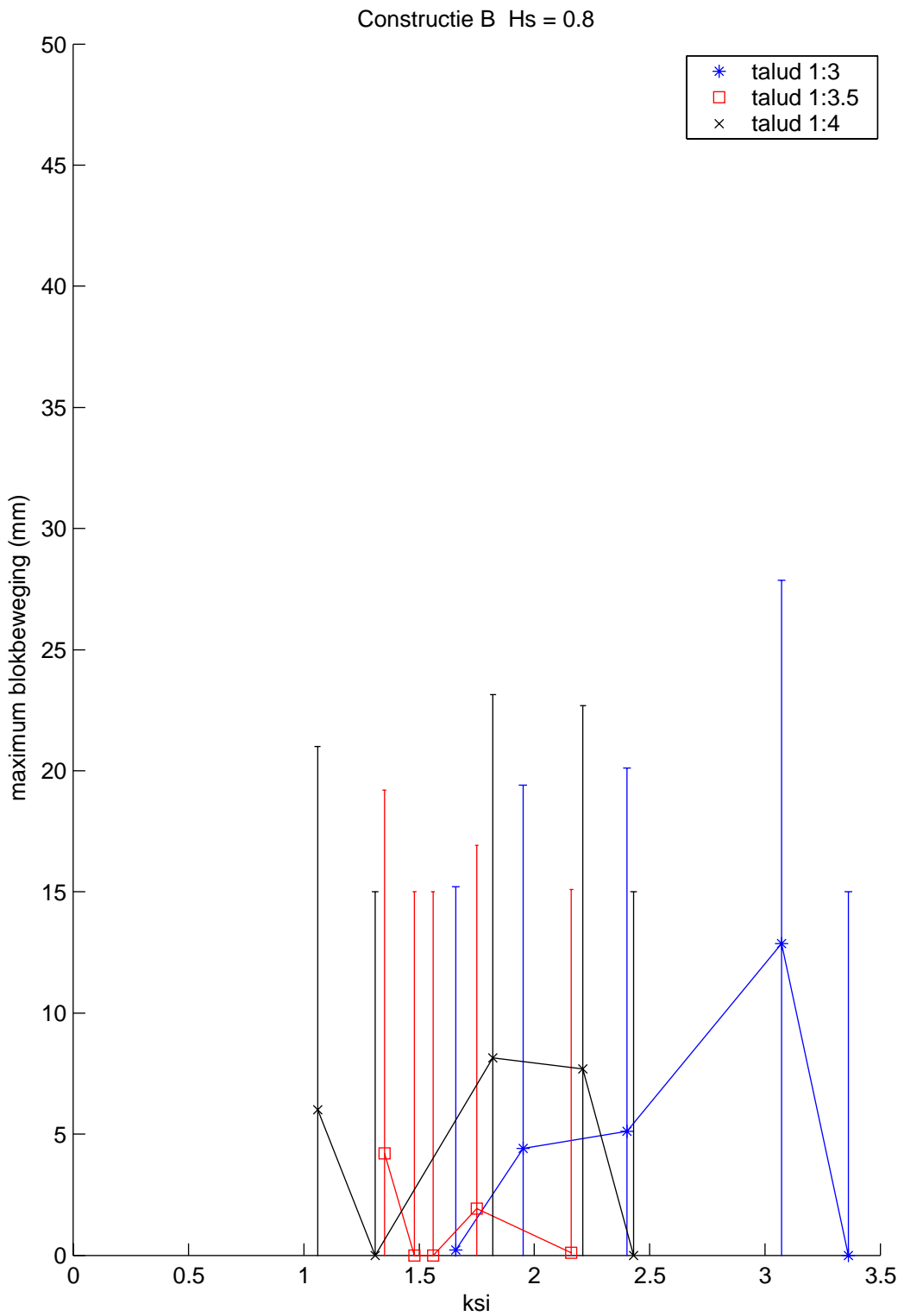
Fig. B.6



Maximale blokbeweging versus ksi voor constructie A voor berekeningen met Hs = 0.8	H4331	hfdstk 2
	Zsteen Analyse	
WL DELFT HYDRAULICS	08-12-2003	Fig. B.7



Maximale blokbeweging versus ksi voor constructie A voor berekeningen met Hs = 1.2	H4331	hfdstk 2
	Zsteen Analyse	
WL DELFT HYDRAULICS	08-12-2003	Fig. B.8



Maximale blokbeweging versus ksa voor constructie B voor berekeningen met Hs = 0.8

H4331

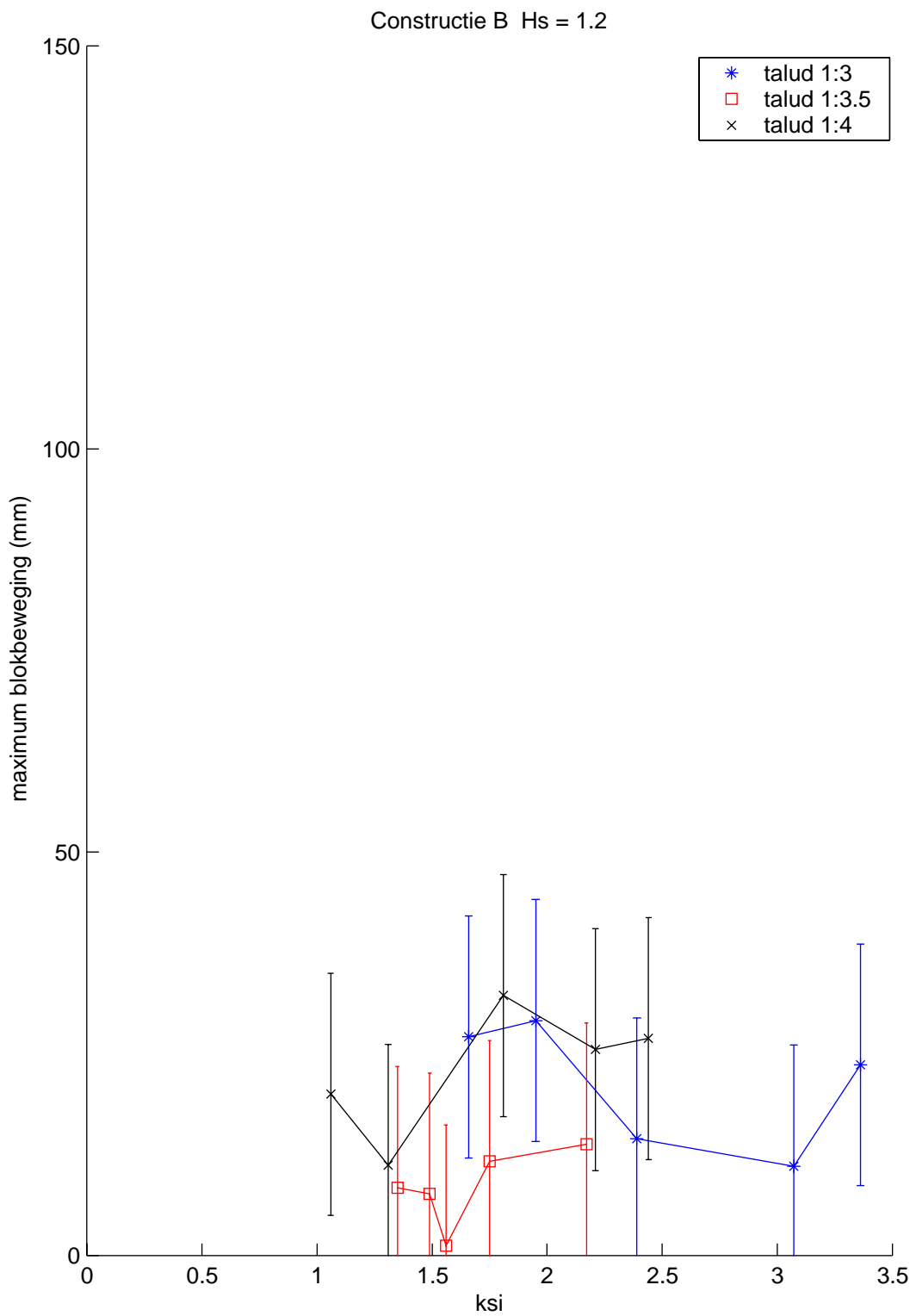
hfdstk 2

Zsteen Analyse

WL | DELFT HYDRAULICS

08-12-2003

Fig. B.9



Maximale blokbeweging versus ksi voor constructie B voor berekeningen met Hs = 1.2

H4331

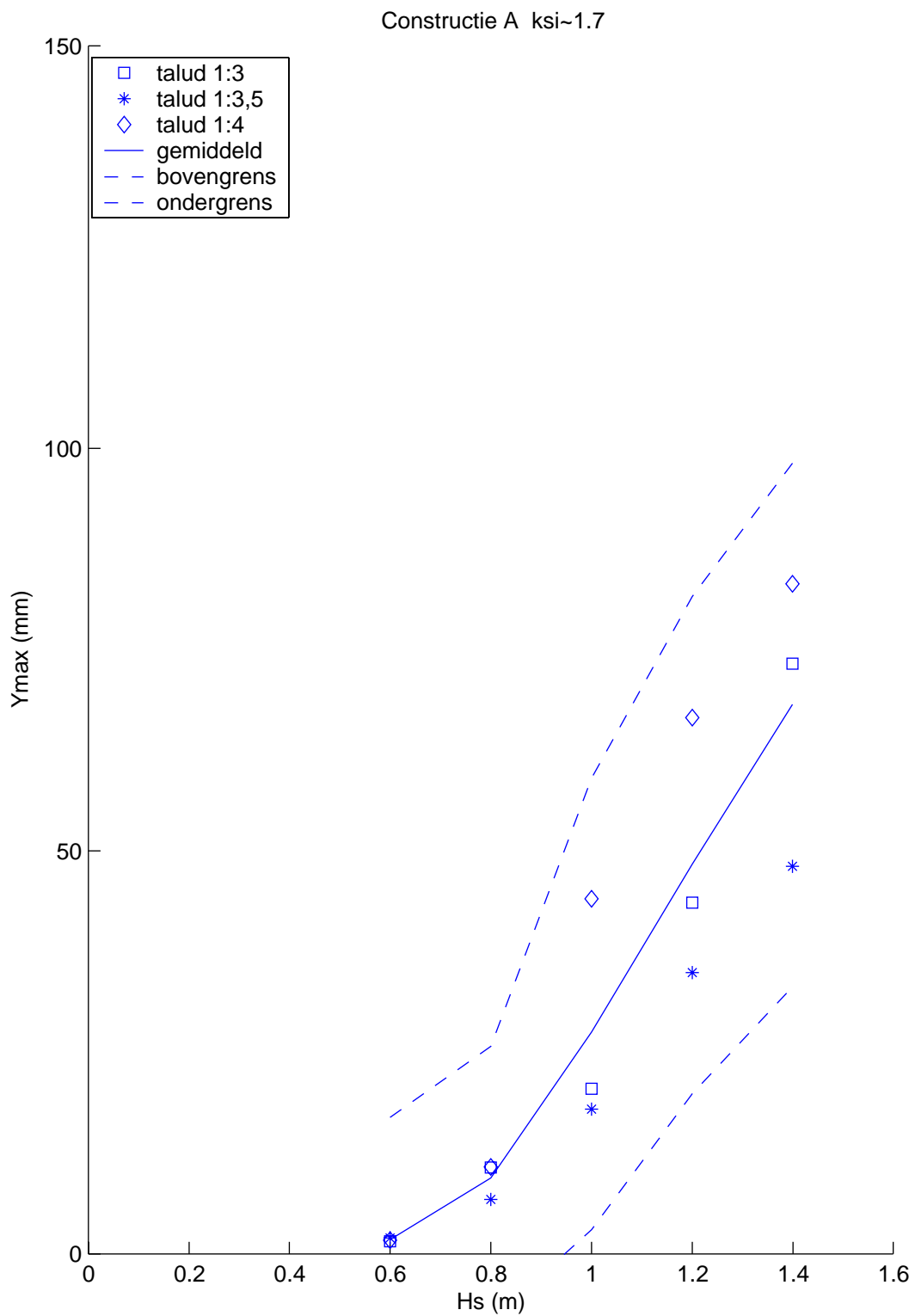
hfdstk 2

Zsteen Analyse

WL | DELFT HYDRAULICS

08-12-2003

Fig. B.10

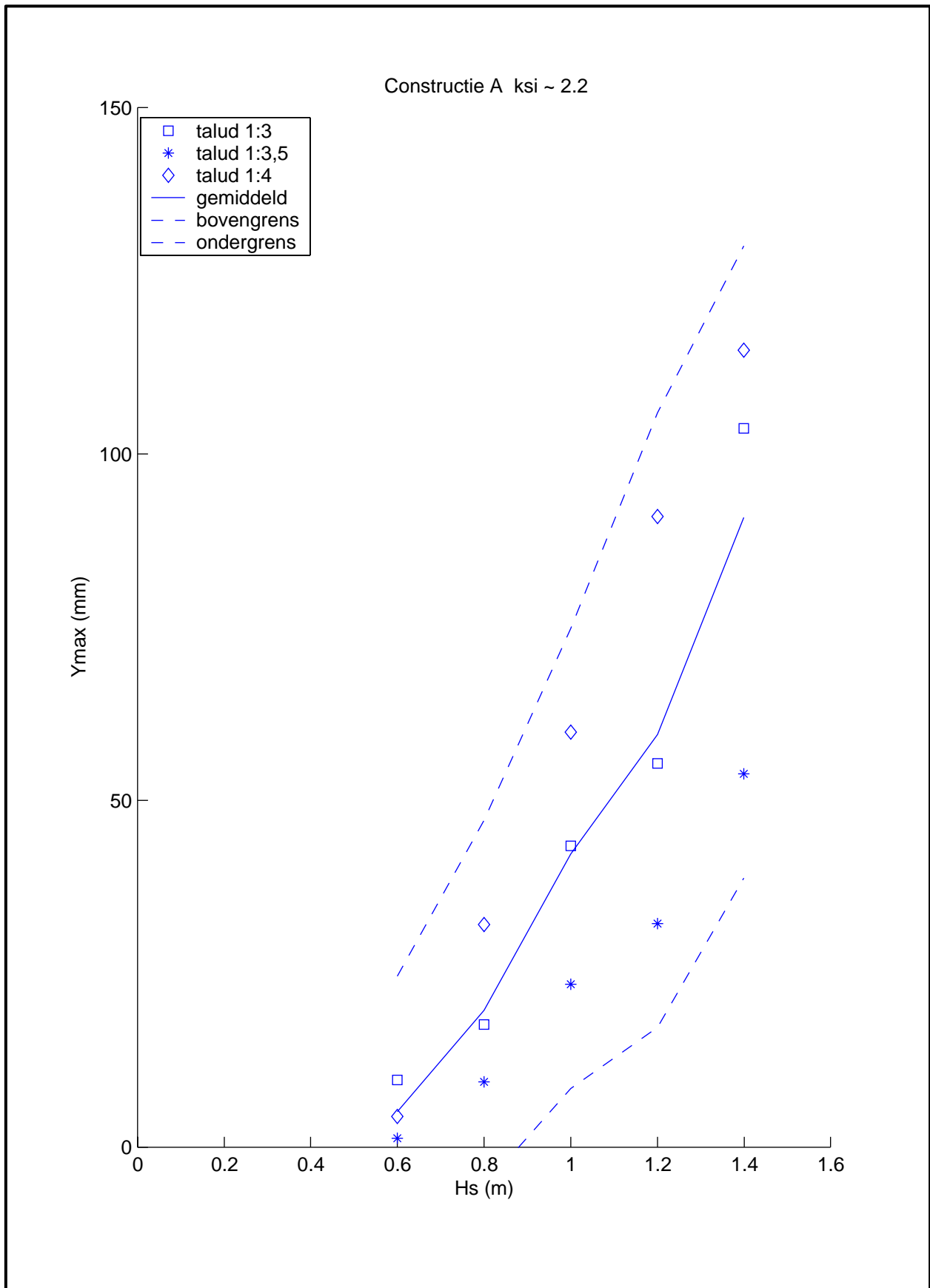


Maximale blokbeweging versus significante golfhoogte (constrA)
 tests P3005 (ksi=1.67), 12ao06 (ksi=1.75), P4002 (ksi=1.82)
 met taluds P3005 : 1:3, 12ao06 : 1:3,5, P4002 : 1:4

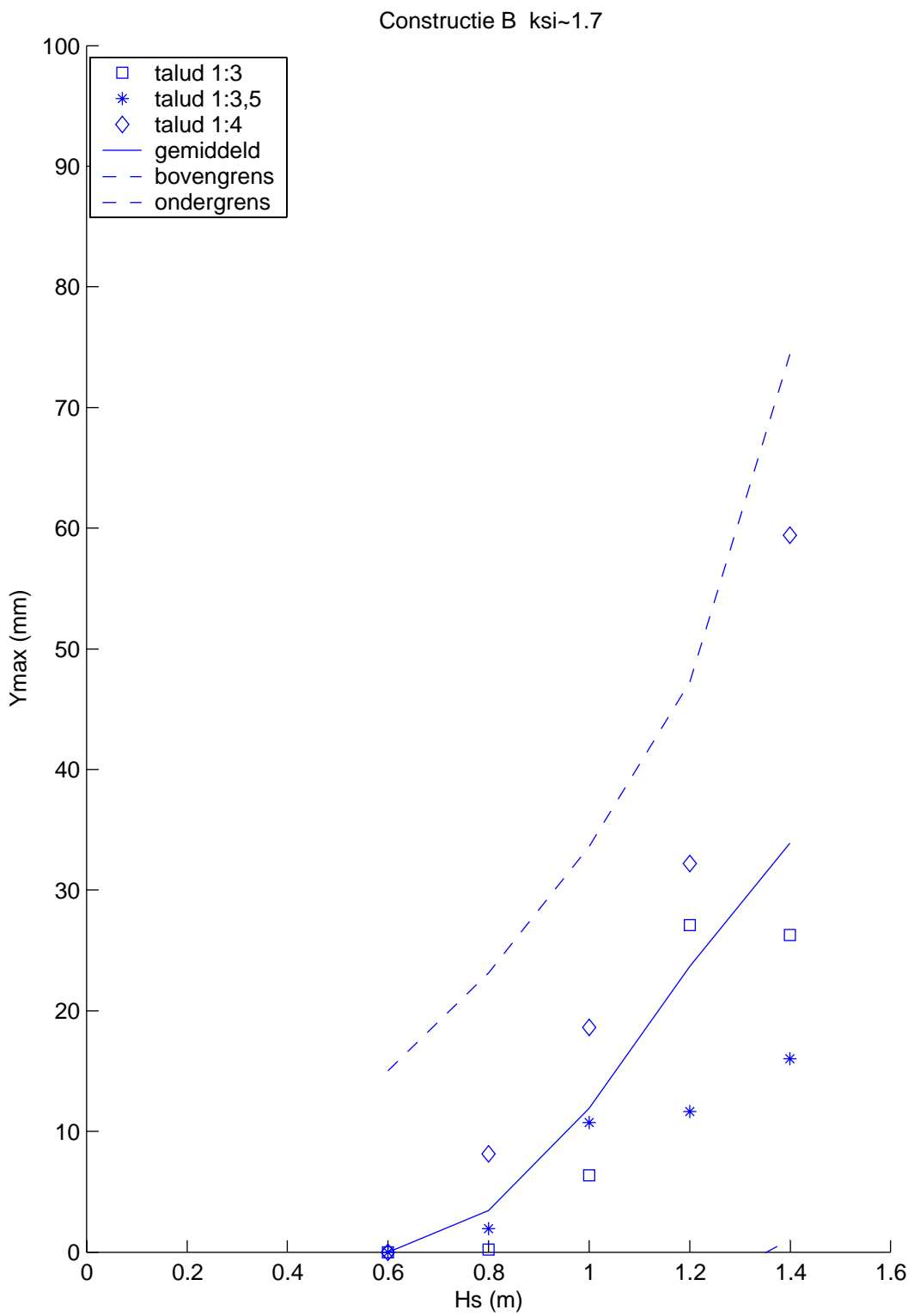
H4331

hfdstk 2.3

Test Zsteen



Maximale blokbeweging versus significante golfhoogte (constrA) tests P3002 (ksi=2.41), 12ao10 (ksi=2.17), AS603 (ksi=2.21) met taluds P3002 : 1:3, 12ao10 : 1:3,5, AS603 : 1:4	H4331	hfdstk 2.3
	Test Zsteen	
WL DELFT HYDRAULICS	08-12-2003	Fig. B.12

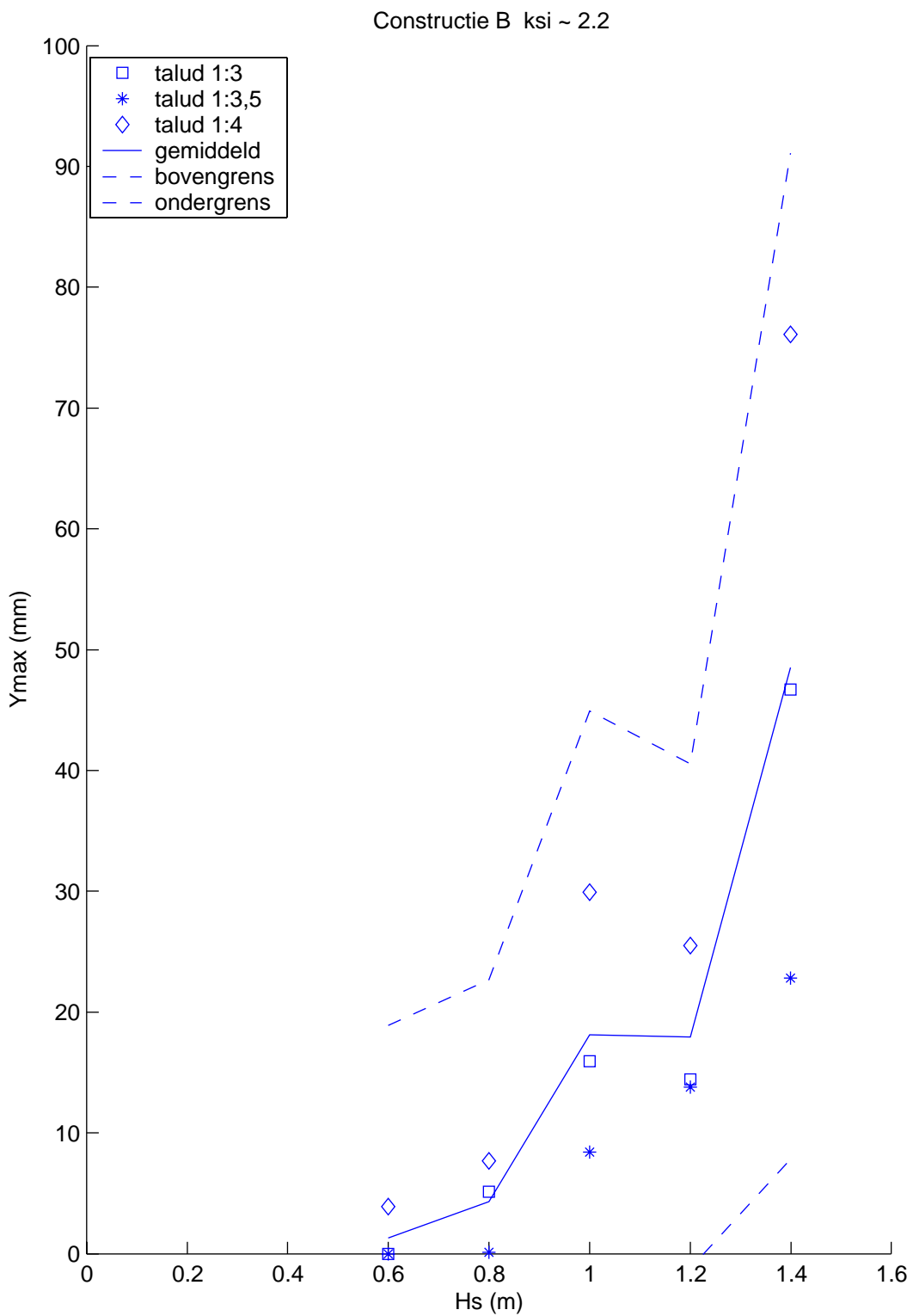


Maximale blokbeweging versus significante golfhoogte (constrB)
 tests P3005 (ksi=1.67), 12ao06 (ksi=1.75), P4002 (ksi=1.82)
 met taluds P3005 : 1:3, 12ao06 : 1:3.5, P4002 : 1:4

H4331

hfdstk 2.3

Test Zsteen

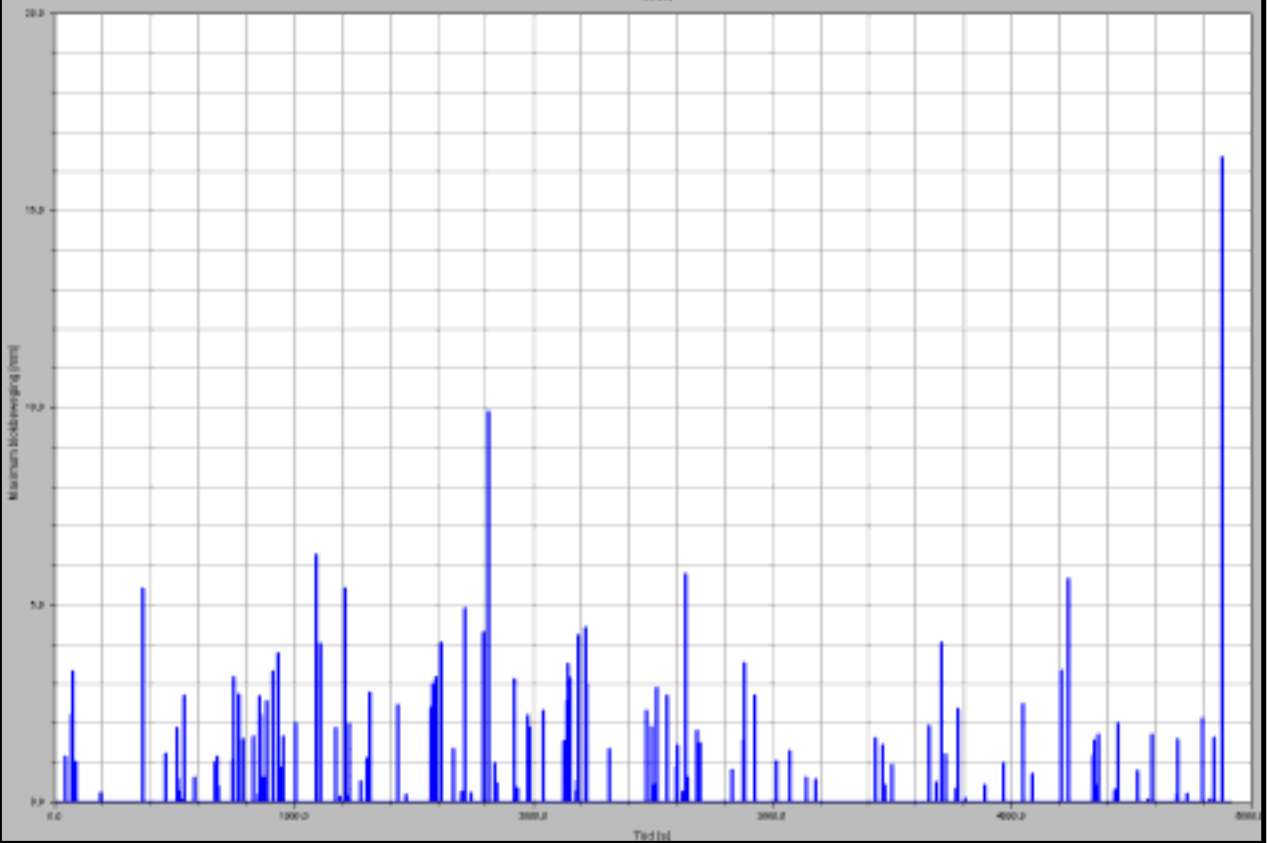
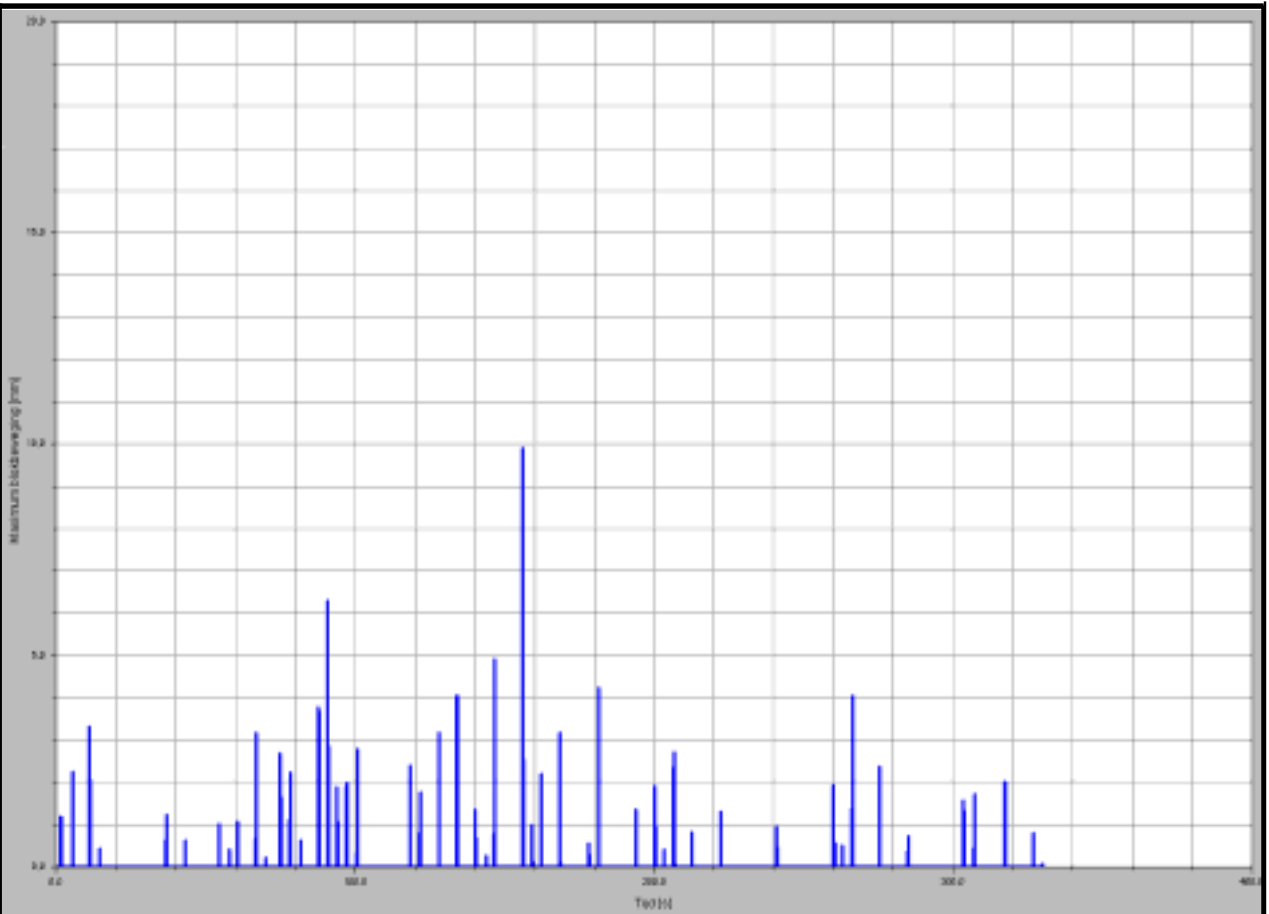


Maximale blokbeweging versus significante golfhoogte (constrB)
 tests P3002 (ksi=2.41), 12ao10 (ksi=2.17), AS603 (ksi=2.21)
 met taluds P3002 : 1:3, 12ao10 : 1:3.5, AS603 : 1:4

H4331

hfdstk 2.3

Test Zsteen

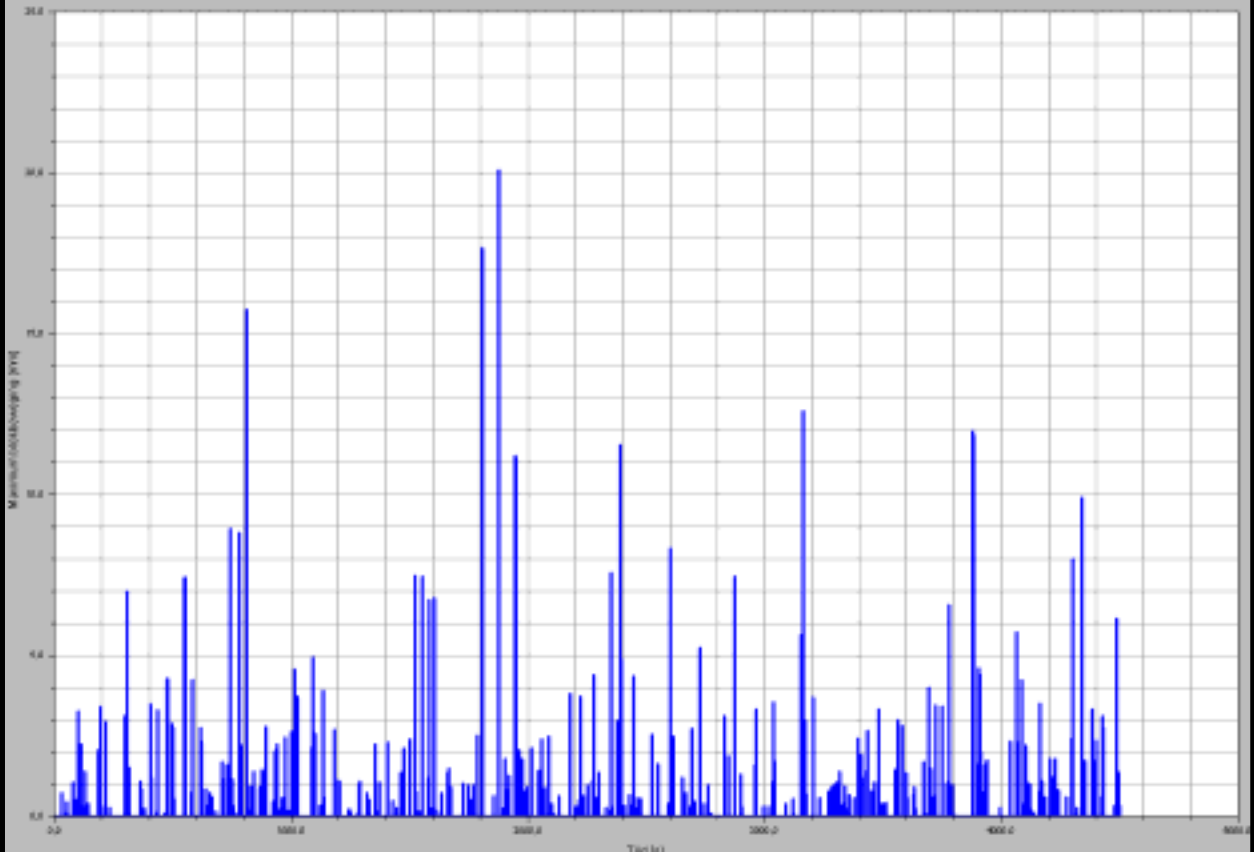
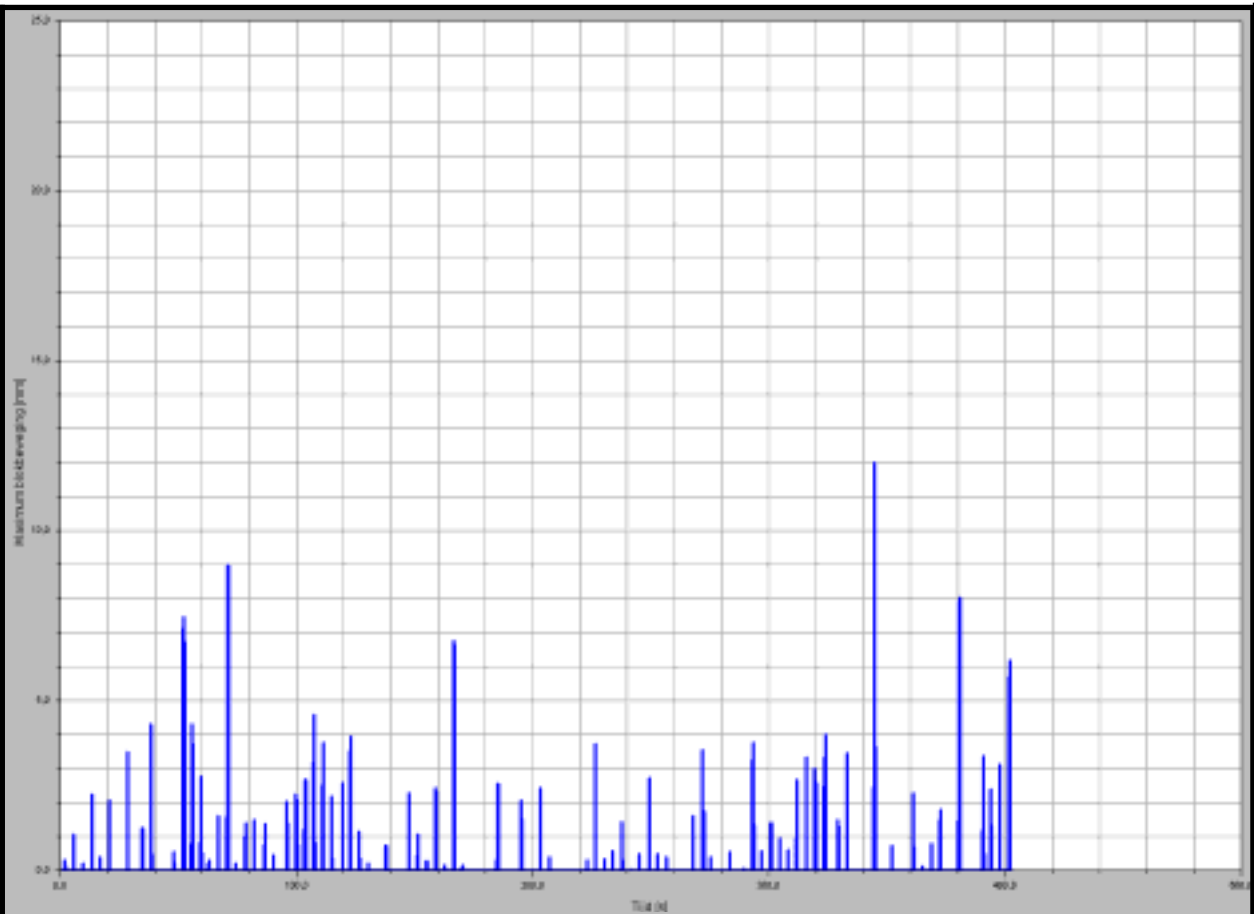


Analyse indikken golfbestanden : Vergelijking van de maximum blokbeweging berekend met het ingedikte bestand (boven) en het volledige bestand (onder) voor proef 12cc06

H4331

09-12-2003

Analyse Zsteen



Analyse indikken golfbestanden : Vergelijking van de maximum
 blokbeweging berekend met het ingedikte bestand (boven) en
 het volledige bestand (onder) voor proef T5o05

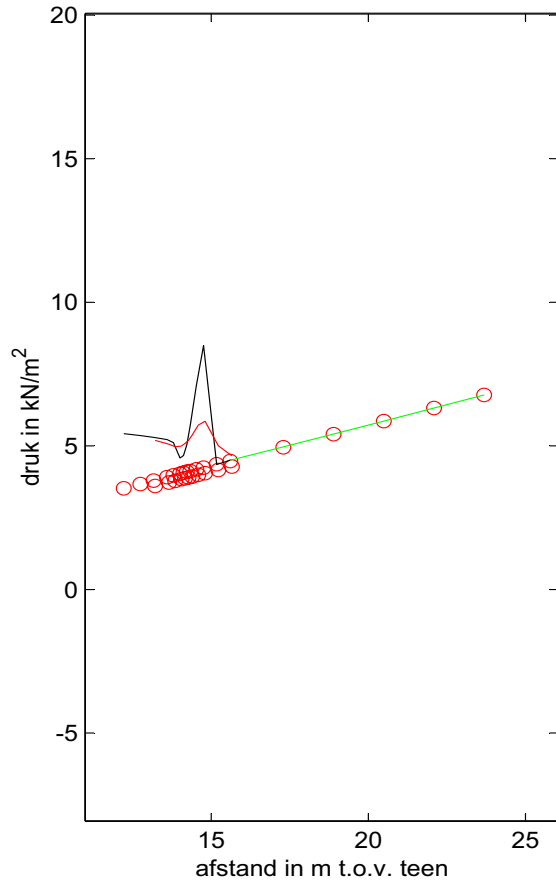
H4331

09-12-2003

Analyse Zsteen

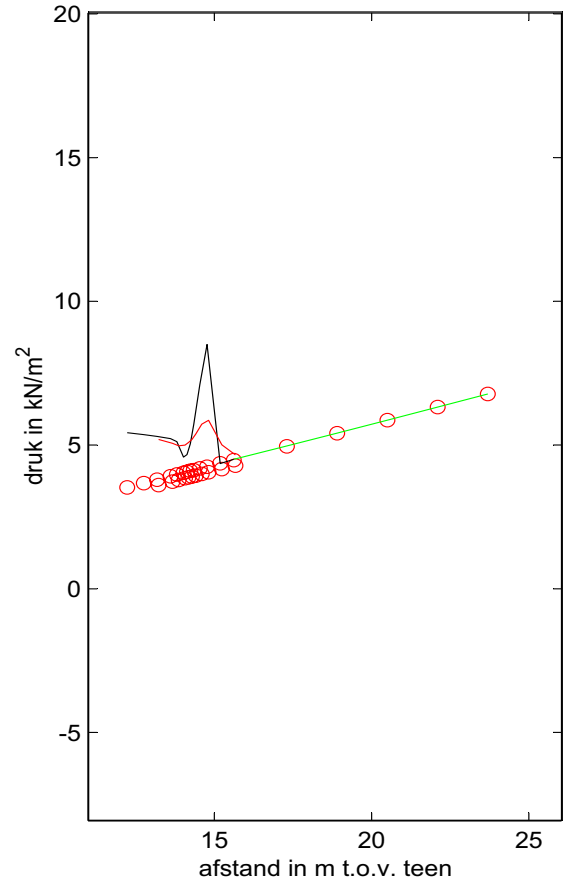
Volledig GEF-bestand

t = 42.1075 s



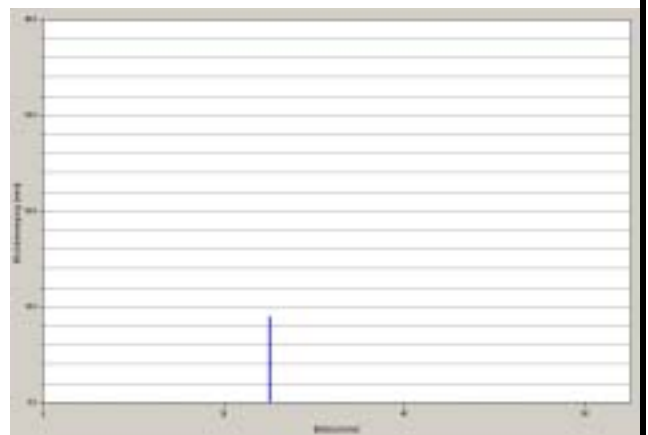
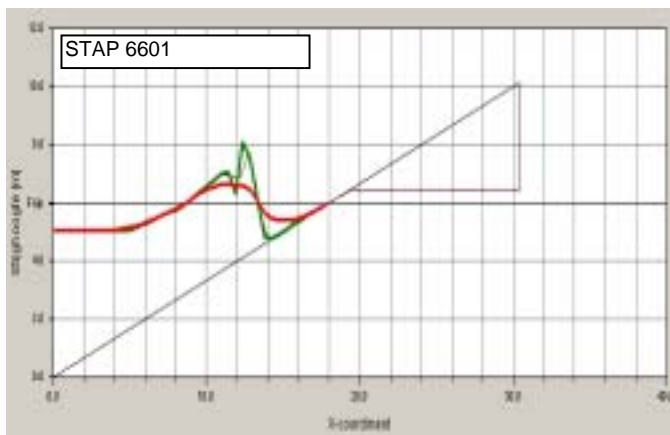
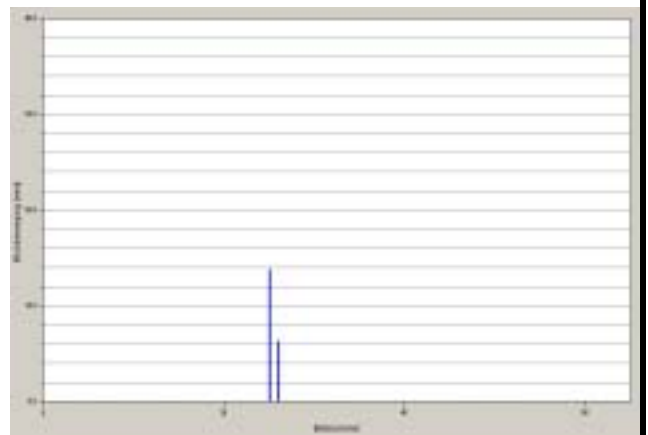
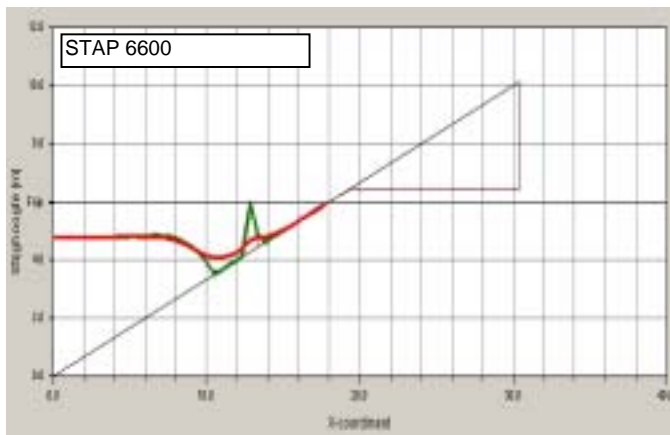
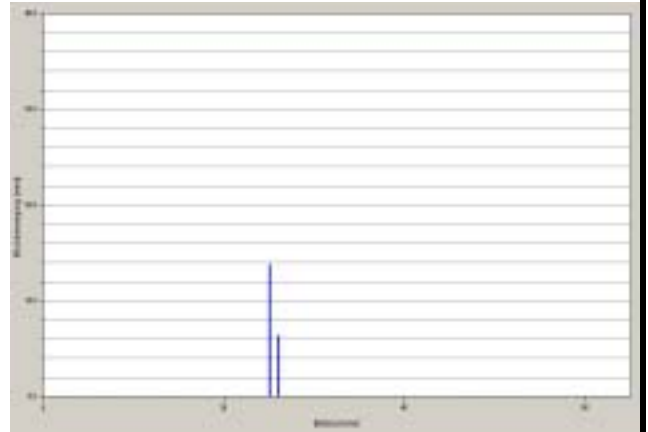
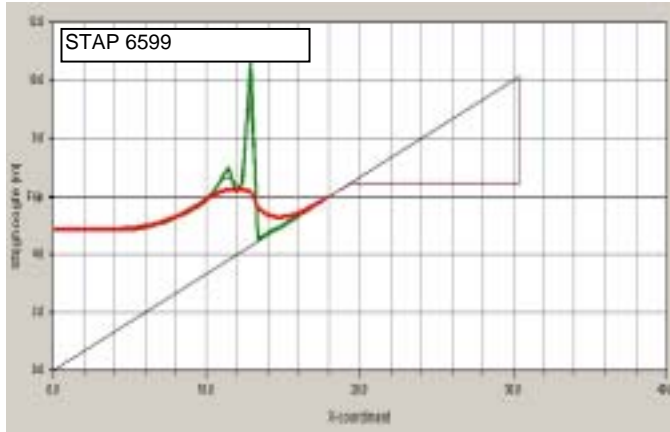
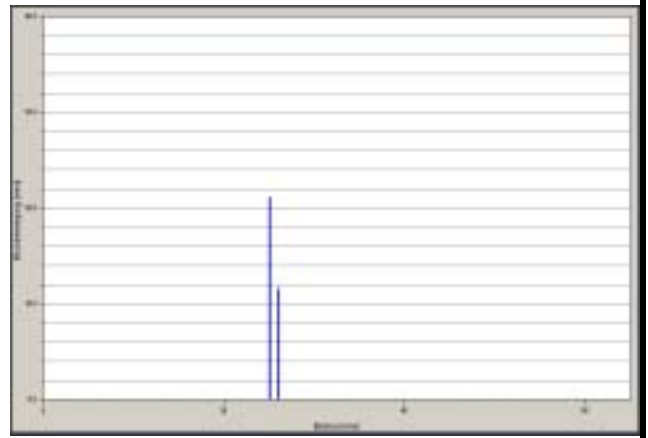
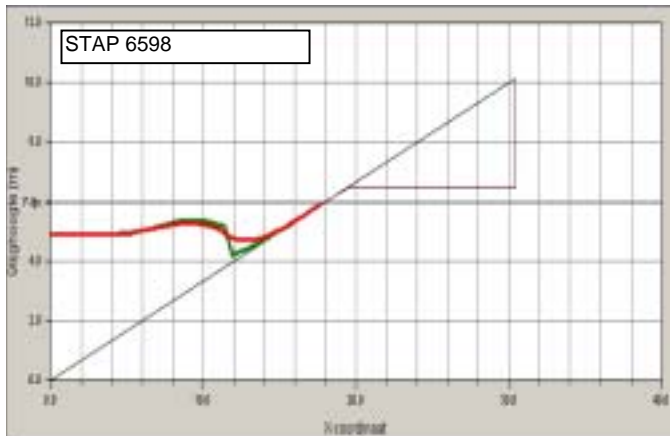
Ingedikt GEF-bestand

t = 1.4999 s



Vergelijking van dezelfde golfklap
in het volledige en ingedikte GEF-bestand

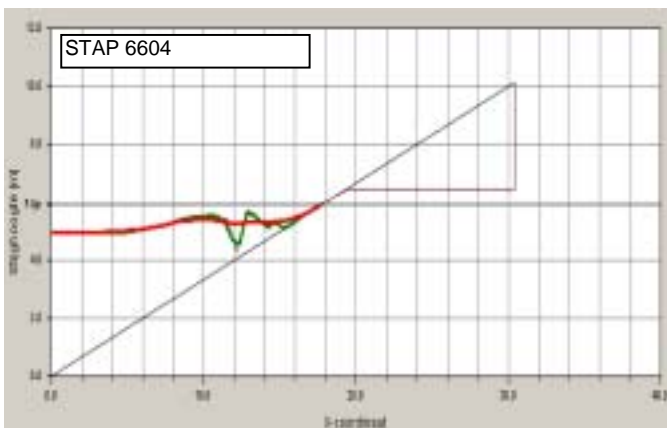
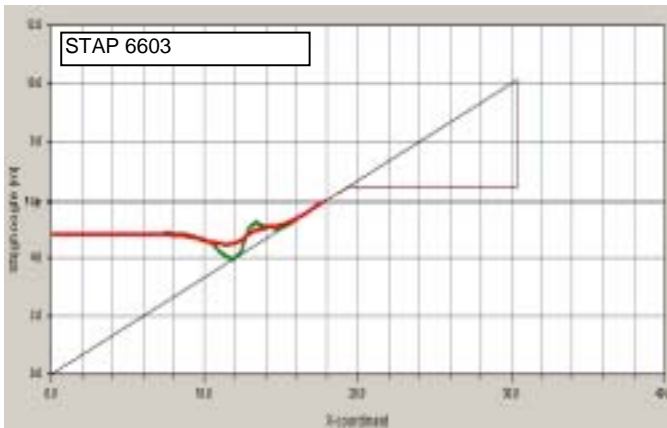
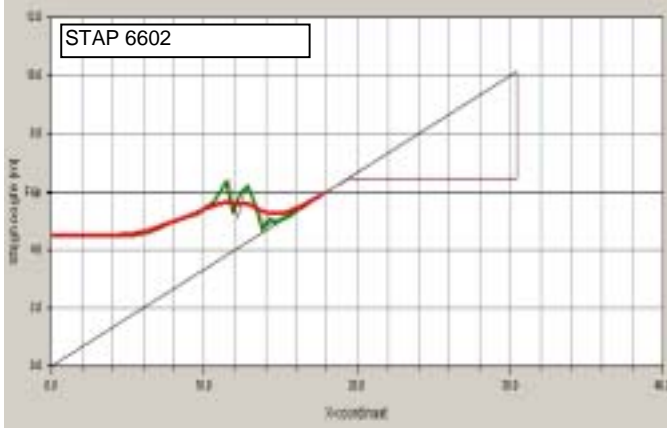
T12cco06



Stijghoogte verloop berekend met ZSTEEN
voor GEF-bestand T300k199

dt = 0.05 s

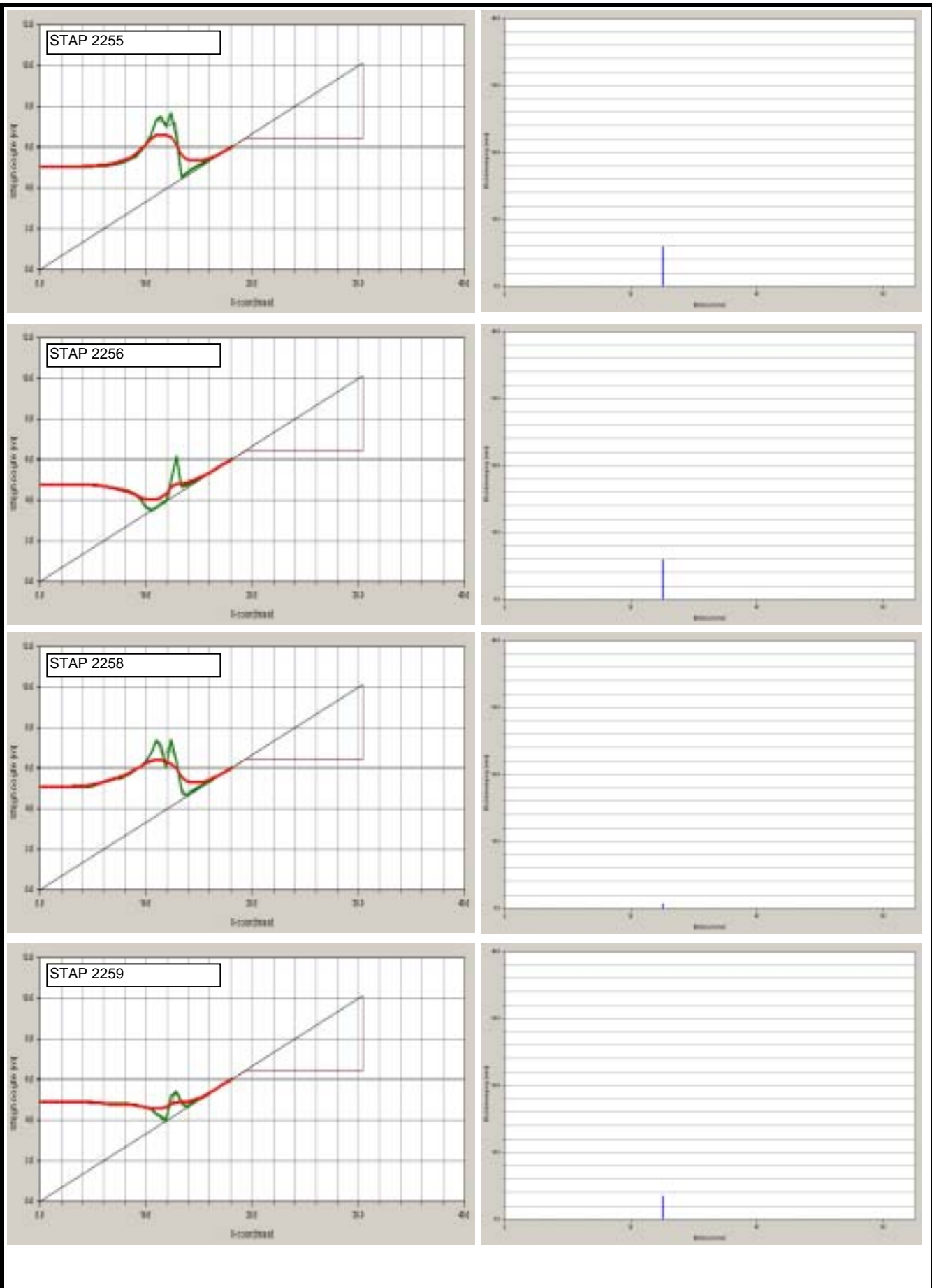
P3012



Stijghoogte verloop berekend met ZSTEEN
voor GEF-bestand T300k199

dt = 0.05 s

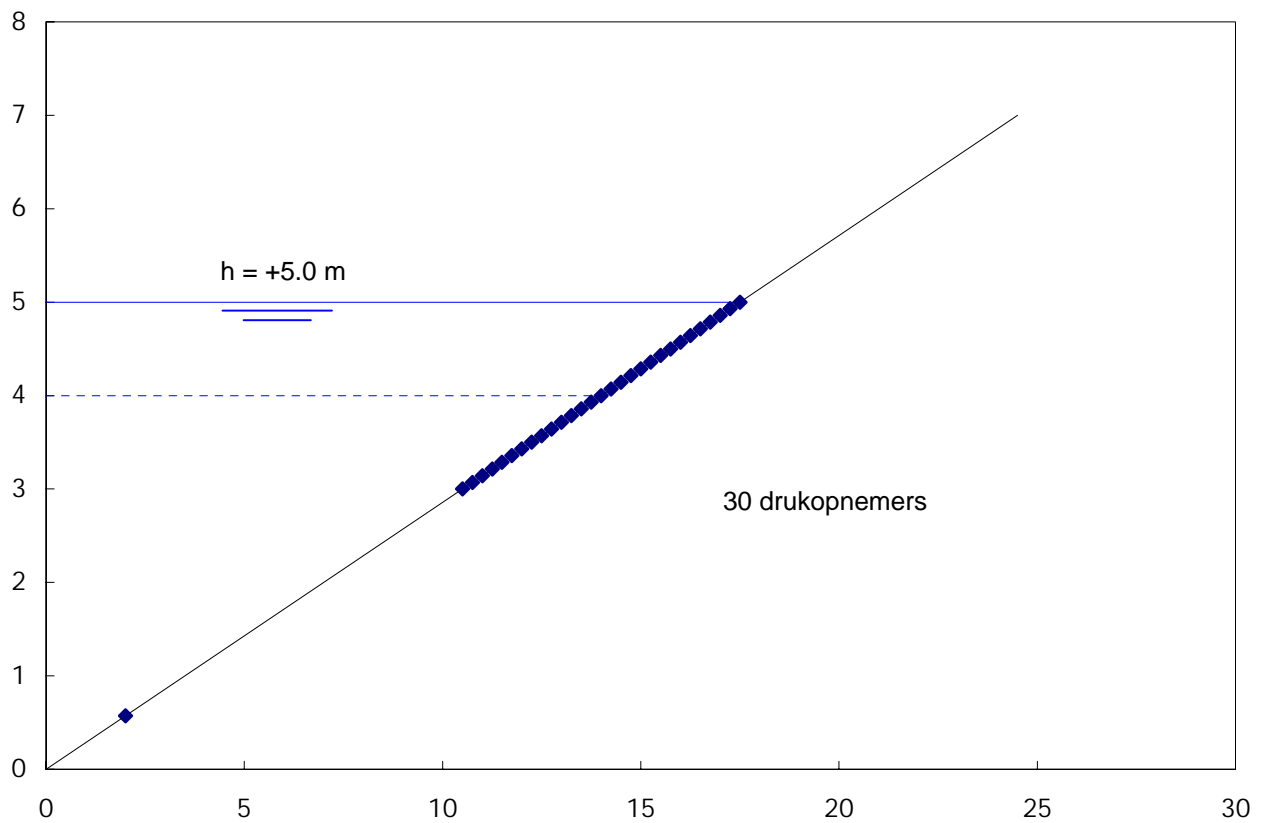
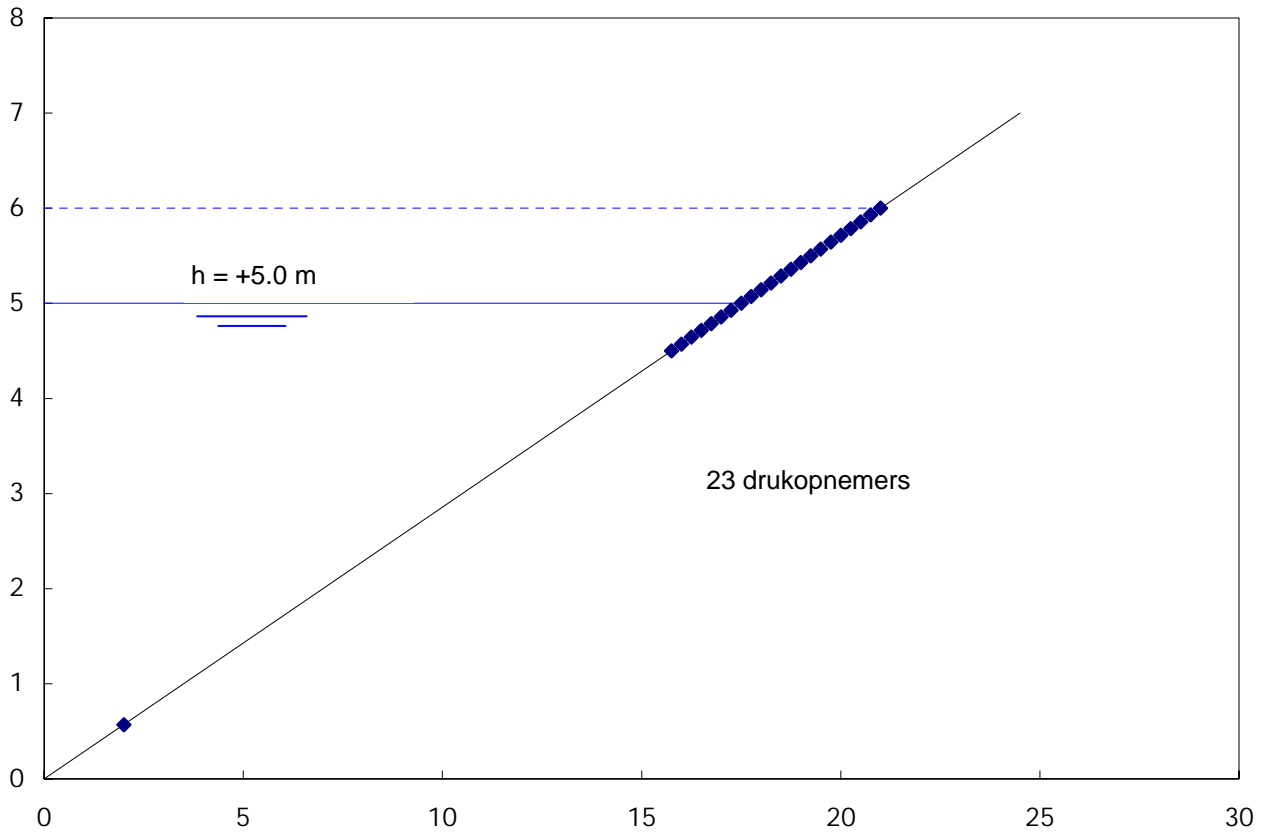
P3012



Stijghoogte verloop berekend met ZSTEEN
voor GEF-bestand T300k199

dt = 0.05 s

P3012



Positie van de drukopnemers in de GEF file

H4331

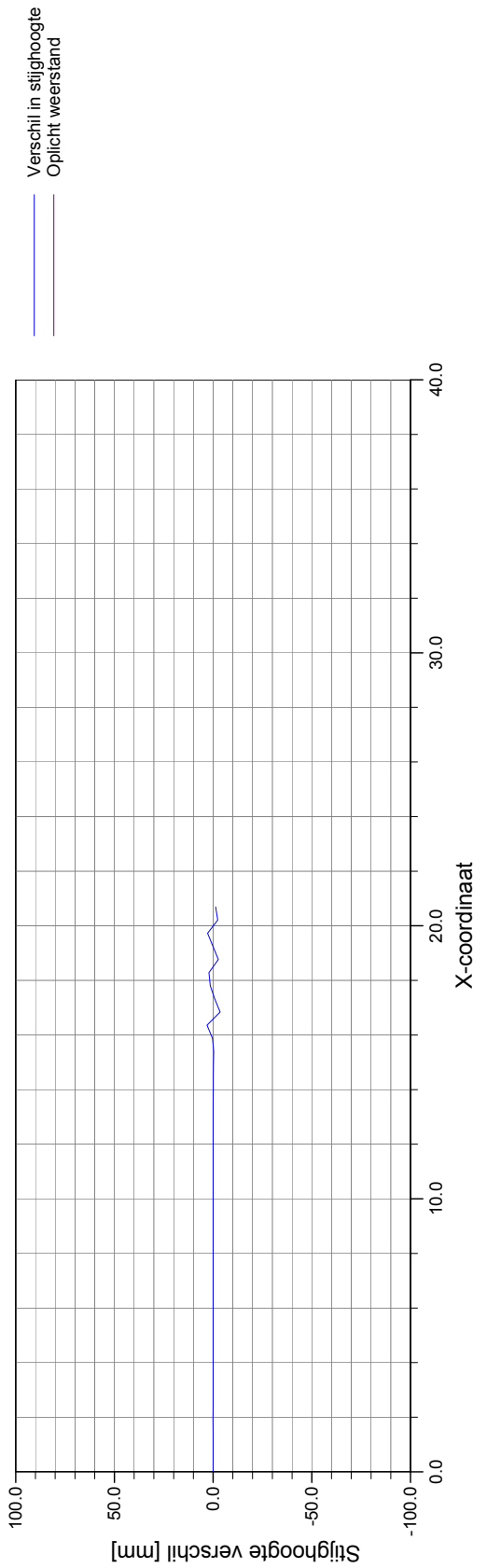
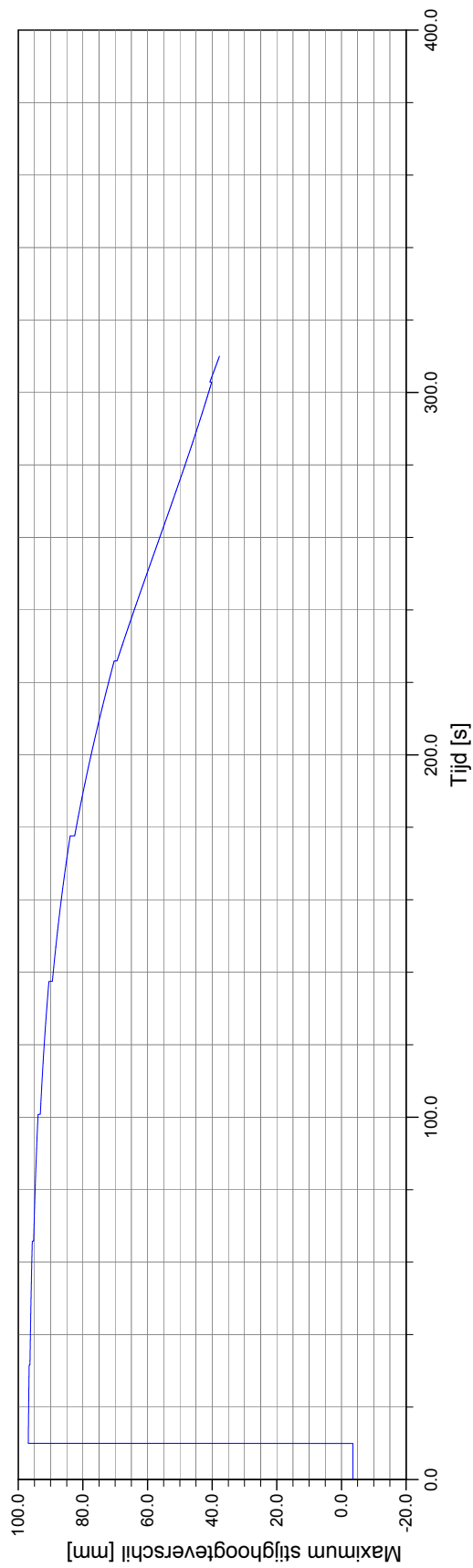
voor Case 1 en Case 2

WL | Delft Hydraulics

28-11-2003

FIG. B.21

Grafiek Maximum Stijghoogteverschil



ZSteen 1.8 : Analytische case01.zsi



WL| Delft Hydraulics

Rotterdamseweg 185
2600 MH DELFT

Tel 015 285 85 85
Fax 015 285 87 12

datum
16-12-2003

get.
CK

Maximum stijghoogteverschil berekend met ZSTEEN
voor een hoge buitenwaterstand

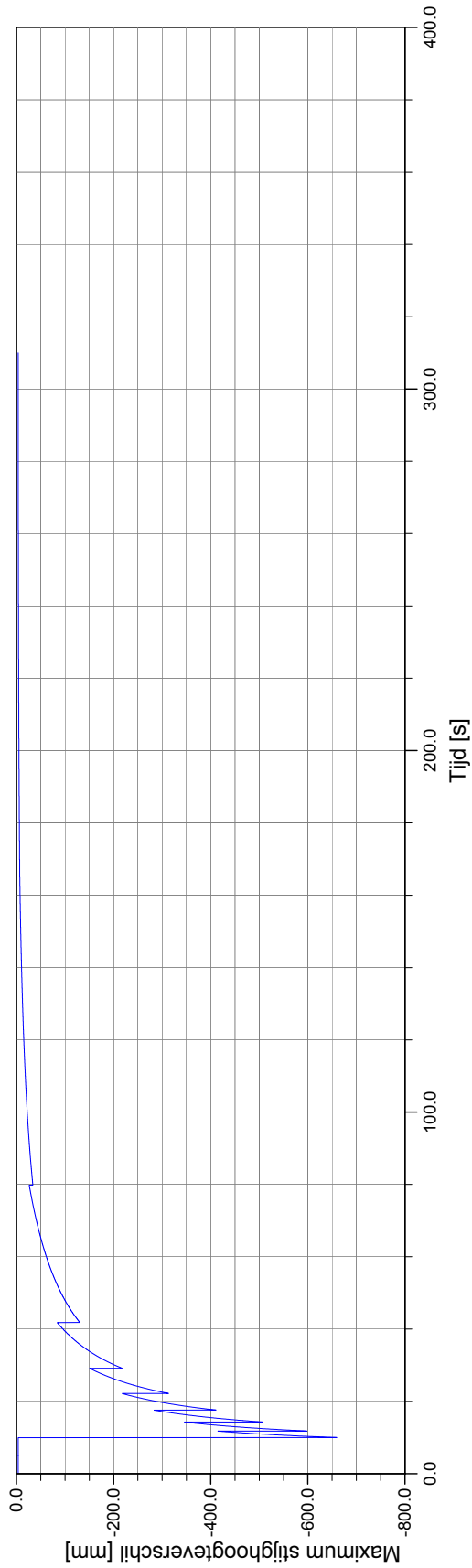
H4331

ctr.

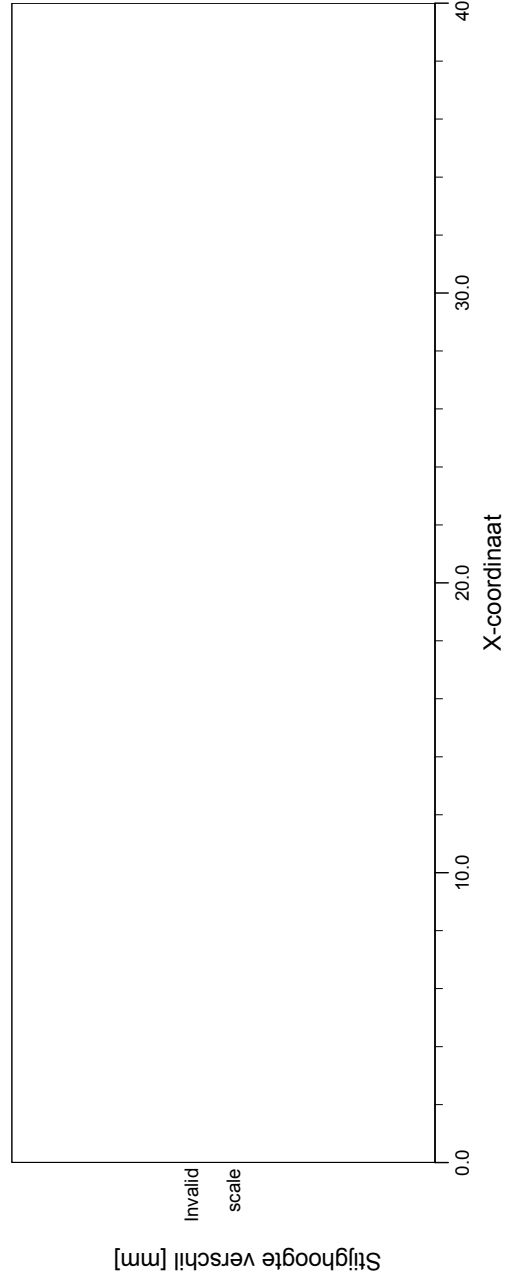
Bijl. **B.22**

form.
A4

Grafiek Maximum Stijghoogteverschil



— Verschil in stijghoogte
— Oplicht weerstand



ZSteen 1.8 : Analytische case02.zsi



WL| Delft Hydraulics

Rotterdamseweg 185
2600 MH DELFT

Tel 015 285 85 85
Fax 015 285 87 12

datum
16-12-2003

get.
CK

Maximum stijghoogteverschil berekend met ZSTEEN
voor een lage buitenwaterstand

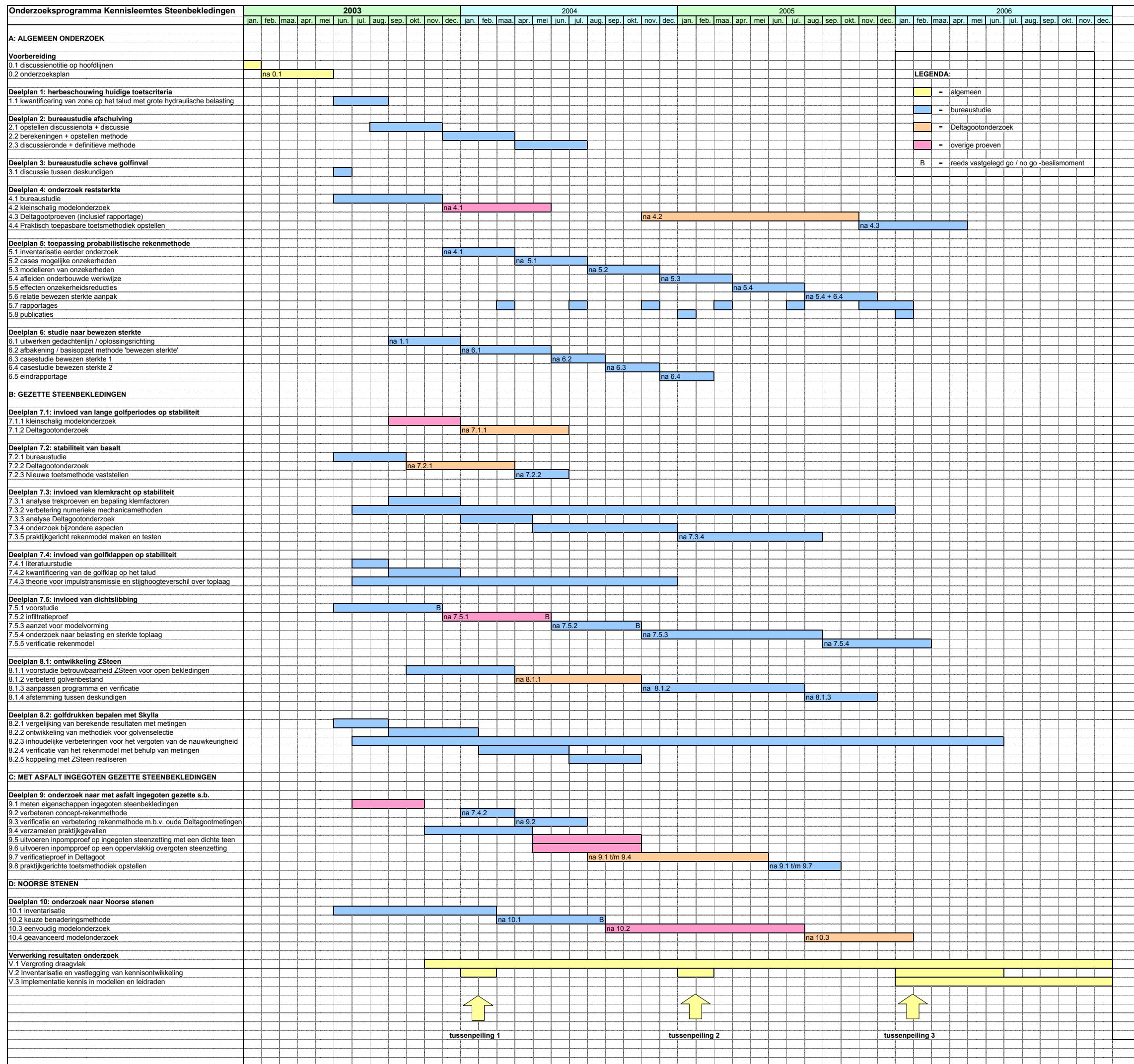
H4331

ctr.

Bijl. **B.23**

form.
A4

**C Overzicht van het onderzoeksprogramma
“kennisleemtes steenbekledingen”**



LEGENDA:

- = algemeen
- = bureaustudie
- = Deltagootonderzoek
- = overige proeven
- B = reeds vastgelegd go / no go -beslismoment