

Opdrachtgever:

Rijkswaterstaat, Directie Zeeland (PBZ)

Software-ontwikkeling en toepassing voor kwantificering van golfklappen, Fase 2

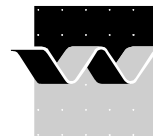
Onderzoeksprogramma

Kennisleemtes Steenbekledingen

E.M. Coeveld

Rapport

December 2003



OPDRACHTGEVER: Rijkswaterstaat, Directie Zeeland (PBZ)

TITEL: Software-ontwikkeling en toepassing voor kwantificering van golfklappen
Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen

SAMENVATTING:

In het kader van het Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen, in 2003 opgestart door de Dienst Weg- en Waterbouwkunde, heeft voorliggende bureaustudie betrekking op het deelonderzoek Gezette steenbekledingen, deelplan 7.4.2, Kwantificering van de golfklap op het talud.

Zowel voor ingegoten steenzettingen, als voor open steenzettingen speelt de golfklap een belangrijke rol bij het ontstaan van schade aan de top laag. Rekenmethodes hiervoor zijn nog nauwelijks ontwikkeld. Voor de verdere ontwikkeling van rekenmethoden is meer kwantitatieve kennis nodig over golfklappen.

Het doel van dit onderzoek is de golfklap te kwantificeren als functie van de golfcondities en de taludhelling, door de resultaten uit in het verleden uitgevoerd, grootschalig modelonderzoek in de Deltagoot te interpreteren.

Deze bureaustudie bestaat uit 4 fasen. Fase 0 is een definitiefase. In deze fase zijn onder andere de gewenste parameters die de golfklap kwantificeren gedefinieerd. In Fase 1 zijn uit eerder uitgevoerd grootschalig modelonderzoek met onregelmatige golven in de Deltagoot die proeven geselecteerd, die voor dit onderzoek het meest geschikt zijn. Tevens is de software geprogrammeerd waarmee de meetsignalen van de drukopnemers verwerkt zullen worden. De in Fase 1 ontwikkelde software is in Fase 2 ingezet om uit alle geselecteerde proeven de gewenste parameters te bepalen die de golfklap karakteriseren. In Fase 3 zullen de resultaten van Fase 2 geanalyseerd worden. Dit rapport heeft betrekking op Fase 0, Fase 1 en Fase 2

REFERENTIES: Contract nummer: ZL-5755
Projectbegeleider DWW: R. 't Hart
Projectbegeleider PBZ: Y. Provoost

VER.	AUTEUR	DATUM	OPMERK.	REVIEW	GOEDKEURING
1	E.M. Coeveld	27-11-2003	concept	M. Klein Breteler	W.M.K. Tilmans
2	E.M. Coeveld	02-12-2003	definitief	M. Klein Breteler	W.M.K. Tilmans
PROJECTNUMMER		H4328			
TREFWOORDEN:		dijkbekleding, steenzetting, golfklap, golfaanval			
AANTAL BLADZIJDEN		33			
VERTROUWELIJK		☐ JA, tot (datum)		☒ NEE	
STATUS:		☐ VOORLOPIG		☐ CONCEPT	
				☒ DEFINITIEF	

Inhoud

Lijst van Figuren

Lijst van Tabellen

Lijst van Symbolen

1	Inleiding.....	1
2	Definitie	3
2.1	Definitie golfklap.....	3
2.2	Karakteristieke parameters	3
2.3	Golfcondities en talud.....	7
2.4	Dataverwerking	7
3	Geselecteerde proeven.....	11
3.1	Deltagootonderzoek 1997/1998.....	11
3.2	Deltagootonderzoek 1992.....	12
3.3	Deltagootonderzoek 1991.....	13
4	Opzet software	15
4.1	Controle drukopnemers	15
4.2	Selectie van golven.....	16
4.3	Golfklap tijdens maximale stijghoogte.....	17
5	Resultaten.....	29
5.1	Controle drukopnemers	29
5.2	Uitvoer.....	29

Literatuur

Bijlagen

- A Uitvoer**
- B Onderzoeksprogramma**
- C Verdeling van stijghoogte en stijgtijd**

Lijst van Figuren

Figuur 2.1	Golfklap (links) of geen golfklap (rechts)	3
Figuur 2.2	Maatgevende golfbelasting voor het uitlichten van een blok bij relatief dichte steenzettingen	4
Figuur 2.3	Schematisering van de belasting als gevolg van de golfklap	5
Figuur 2.4	Definitie van trogbreedte, diepte en locatie.....	5
Figuur 2.5	Uitlichten van blok door golfklap.....	6
Figuur 2.6	Stijghoogte gemeten door drukopnemers (dro) op het talud	8
Figuur 4.1	Gemiddelde, minimale en maximale stijghoogtes in de drukopnemers.	15
Figuur 4.2	Voortschrijdend gemiddelde.....	16
Figuur 4.3	Voortschrijdend gemiddelde (zwarte, doorgetrokken lijn) gebaseerd op origineel stijghoogtesignaal (rode, doorgetrokken lijn), de begin- (verticale, groene, doorgetrokken lijn) en eindtijdstippen (verticale, zwarte, gestippelde lijn) en de opwaartse nuldoorgangen (bol).....	17
Figuur 4.4	Willekeurige golfklap in proef 23o11 waarin van links naar rechts $x_{\phi max2}$, x_{trog} , $x_{\phi max}$ en $x_{\phi minL}$ zijn weergegeven met verticale stippellijnen	18
Figuur 4.5	Definitie stijghoogteverschil	19
Figuur 4.6	Stijghoogte op het talud (gestippeld), stijghoogte onder het talud (doorgetrokken) en locatie waar maximaal verschil is geconstateerd (ruit) voor een willekeurige golfklap in proef 23o11.....	20
Figuur 4.7	Breedte B_l die hoort bij het gebied dat belast wordt door een belasting van 20 % van de maximale belasting	21
Figuur 4.8	Breedtes behorend een willekeurige golfklap in proef 23o11	21
Figuur 4.9	Bepaling van de breedtes van de trog.....	22
Figuur 4.10	Breedtes van de trog behorend een willekeurige golfklap in proef 23o11 ..	22
Figuur 4.11	Totale duur van de golfklap.....	23
Figuur 4.12	Totale golfklapduur op basis van 50 en 80 % van de druk met t_l (meest linkse stippellijn) en t_2 (meest rechtse stippellijn).....	23
Figuur 4.13	Stijgtijd van de golfklap	24
Figuur 4.14	Stijgtijd op basis van 50 en 80 % van de druk met t_3 (linker ruit op horizontale as) en t_4 (rechter ruit op horizontale as).....	25
Figuur 4.15	Gradiënten van de golfklap	26
Figuur 4.16	Locaties van maximale gradiënten in een willekeurige golfklap in proef 23o11 (ruiten op horizontale as).....	26
Figuur 4.17	Maximale kracht van de golfklap	27

Lijst van Tabellen

Tabel 3.1	Geselecteerde proeven uit het Deltagootonderzoek in 1997/1998 (*J = JONSWAP spectrum, P-M = Pierson-Moskowitz spectrum. ** Deze proef is gebruikt bij het opzetten van de software.) 12
Tabel 3.2	Geselecteerde proeven uit het Deltagootonderzoek in 1992 (*P-M = Pierson-Moskowitz spectrum) 12
Tabel 3.3	Geselecteerde proeven uit het Deltagootonderzoek in 1991 (*J = JONSWAP spectrum)..... 13
Tabel 5.1	Proeven bij welke drukopnemers geconstateerd zijn die niet of niet correct functioneerden..... 29
Tabel 5.2	De 4 waarden in de log-file voor elke proef 30
Tabel 5.3	Kolomindeling in de tabel waarin de resultaten zijn opgeslagen..... 32

Lijst van Symbolen

Symbol	Eenheid	Betekenis
B_1, B_2, B_3	m	Breedtes van de golfklap behorend bij (1) 20 %, (2) 50 % en (3) 80 % van de belasting ($p_{\phi max}$)
$B_{trog1}, B_{trog2}, B_{trog3}, B_{trog4}$	m	Breedtes van de trog zeewaarts van de golfklap behorend bij (1) 20 %, (2) 50 %, (3) 80 % en (4) 100 % van de belasting (d_{trogZ})
d_{trogL}	m	Verschil in stijghoogte tussen golfklap en trog
d_{trogZ}	m	Verschil in stijghoogte tussen golffront en trog
f	Hz	Bemonsteringsfrequentie
g	m/s ²	Zwaartekrachtsversnelling
H_s	m	Significante golfhoogte
$I_{\phi max}$	kg m/s	Impuls van de golfklap
p	m	Druk
p_{droX}	m	Druk in drukopnemer X
$p_{\phi max}$	m	Druk in drukopnemer waar ϕ_{max} optreedt
t_1	s	Tijdstip waarop de golfklap aanvangt
t_2	s	Tijdstip waarop de golfklap eindigt
t_3	s	Tijdstip waarop 0.5 $p_{\phi max}$ optreedt
t_4	s	Tijdstip waarop 0.8 $p_{\phi max}$ optreedt
t_k	s	Golfklapduur
t_{max}	s	Tijdstip waarop de stijghoogte op de toplaag, of het stijghoogteverschil over de toplaag maximaal is
T_p	s	Golfperiode bij de piek van het spectrum
x	m	Horizontale afstand evenwijdig aan de stilwaterlijn (zeewaarts van snijpunt stilwaterlijn met talud is positief)
x'	m	Afstand over het talud in de richting evenwijdig aan het talud (zeewaarts van snijpunt stilwaterlijn met talud is positief)
$x_{BL1}, x_{BL2}, x_{BL3}$	m	Landwaartse locaties waar (1) 20 %, (2) 50 % en (3) 80 % van de belasting ($p_{\phi max}$) optreden
$x_{BLtrog1}, x_{BLtrog2}, x_{BLtrog3}, x_{BLtrog4}$	m	Landwaartse locaties waar (1) 20 %, (2) 50 %, (3) 80 % en (4) 100 % van de belasting (d_{trogZ}) optreden
$x_{BZ1}, x_{BZ2}, x_{BZ3}$	m	Zeewaartse locaties waar (1) 20 %, (2) 50 % en (3) 80 % van de belasting ($p_{\phi max}$) optreden
$x_{BZtrog1}, x_{BZtrog2}, x_{BZtrog3}, x_{BZtrog4}$	m	Zeewaartse locaties waar (1) 20 %, (2) 50 %, (3) 80 % en (4) 100 % van de belasting (d_{trogZ}) optreden

Symbool	Eenheid	Betekenis
$x_{\Delta\phi}$	m	Locatie waar het maximale stijghoogteverschil optreedt
x_{trog}	m	Locatie waar de trog zich bevindt
$x_{\Delta\phi\Delta xL},$ $x_{\Delta\phi\Delta xtr},$ $x_{\Delta\phi\Delta xZ}$	m	Locaties waar de maximale gradiënten land- en zeewaarts van de golfklap en landwaarts van het golffront optreden
$x_{\phi max}$	m	Locatie waar de maximale stijghoogte optreedt
$x_{\phi max2}$	m	Locatie waar het tweede maximum in stijghoogte optreedt (zeewaarts van x_{trog})
$x_{\phi minL}$	m	Locatie waar de minimale stijghoogte optreedt (landwaarts van $x_{\phi max}$)
z	m	Verticale afstand in de richting loodrecht op de stilwaterlijn (boven stilwaterlijn is positief)
z_{droX}	m	Verticale afstand van drukopnemer X tot de stilwaterlijn (boven stilwaterlijn is positief)
$\Delta\phi\Delta x'_L,$ $\Delta\phi\Delta x'_{tr},$ $\Delta\phi\Delta x'_Z$	-	Maximale gradiënten optredend op respectievelijk $x_{\Delta\phi\Delta xL}, x_{\Delta\phi\Delta xtr},$ en $x_{\Delta\phi\Delta xZ}$
ϕ	m	Stijghoogte ten opzichte van de stilwaterlijn
ϕ_{max}	m	Maximale stijghoogte gedurende een golf
ϕ_{max2}	m	Tweede maximum in stijghoogte op locatie $x_{\phi max2}$
$\phi_{max\Delta\phi}$	m	Maximale stijghoogteverschil
ϕ_{minL}	m	Minimale stijghoogte op locatie $x_{\phi minL}$
ϕ_{trog}	m	Stijghoogte in de trog op locatie x_{trog}
ρ	kg/m ³	Dichtheid van water

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 voorliggende bureaustudie betrekking op het deelonderzoek Gezette steenbekledingen, deelplan 7.4.2, Kwantificering van de golfklap op het talud.

Golfklappen zijn van belang voor onder andere ingegoten steenzettingen en relatief open steenzettingen (met een kleine leklengte). Voor ingegoten steenzettingen is door Klein Breteler (2003) vastgesteld, dat de golfklap de belangrijkste belasting is. Hij heeft een begin gemaakt met de ontwikkeling van een mogelijke rekenmethode om de stabiliteit van de steenzetting onder golfklapbelasting te bepalen. Lubbers en Klein Breteler (2000) geven aan dat ook voor open steenzettingen de golfklap een belangrijke rol speelt bij het ontstaan van schade aan de topklaag. Een rekenmethode is nog niet ontwikkeld voor open steenzettingen.

Voor de verdere ontwikkeling van de rekenmethoden is meer kwantitatieve kennis nodig over golfklappen. Dit wordt bevestigd in Coeveld (2003), die de huidige internationale kennis geïnventariseerd heeft middels een literatuurstudie. Echter, het is momenteel nog niet helemaal duidelijk welke parameters van belang zijn om de golfklap te beschrijven. Daarom is er in onderhavige bureaustudie voor gekozen om met de meest voor de hand liggende parameters te werken. Deze zijn bepaald op basis van de toegepaste parameters in de rekenmethode voor golfklappen op relatief dichte steenzettingen en op basis van de aanzet van de mogelijke rekenmethode voor ingegoten steenzettingen van Klein Breteler (2003).

Het doel van dit onderzoek is de golfklap te kwantificeren als functie van de golfcondities en de taludhelling, door de resultaten uit in het verleden uitgevoerde grootschalig modelonderzoeken in de Deltagoot te interpreteren.

Onderhavige bureaustudie bestaat uit 4 fasen. Fase 0 is een definitiefase. In Fase 1 zijn uit eerder uitgevoerd grootschalig modelonderzoek met onregelmatige golven in de Deltagoot die proeven geselecteerd, die voor dit onderzoek het meest geschikt zijn. Tevens is de software geprogrammeerd waarmee de meetsignalen van de drukopnemers verwerkt kunnen worden. De in Fase 1 ontwikkelde software is in Fase 2 ingezet om uit alle geselecteerde proeven de gewenste parameters te bepalen die de golfklap karakteriseren. In Fase 3 zullen de resultaten van Fase 2 geanalyseerd worden teneinde conclusies te kunnen trekken over de relatie tussen de golfeigenschappen en de constructie-eigenschappen enerzijds en de golfklap anderzijds. Deze fase staat gepland voor 2004. Dit rapport heeft betrekking op Fase 0, Fase 1 en Fase 2.

In Hoofdstuk 2 is de in dit onderzoek gehanteerde definitie van de golfklap gegeven. Ook is beschreven welke parameters de golfklap karakteriseren. In Hoofdstuk 3 zijn de

geselecteerde proeven weergegeven. In Hoofdstuk 4 is de software beschreven, waarmee de karakteristieke parameters uit de geselecteerde proeven gehaald kunnen worden. In Hoofdstuk 5 zijn de resultaten van de verwerking van de geselecteerde proeven weergegeven. Het totale overzicht van het Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen, zoals bij aanvang van dat programma gepland was, is weergegeven in Bijlage B.

2 Definitie

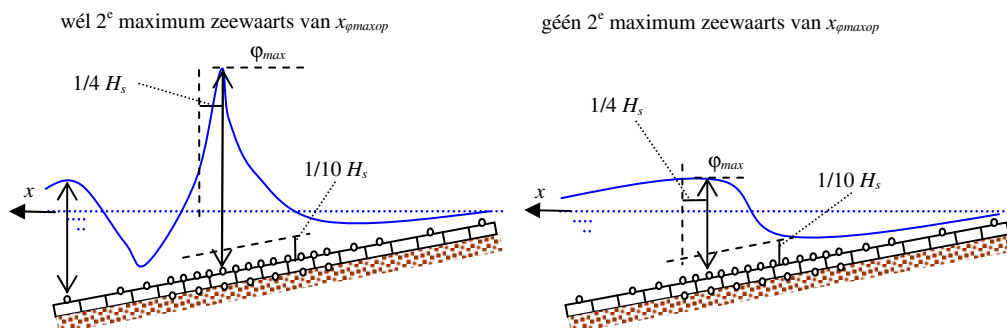
In dit hoofdstuk is de in dit onderzoek gehanteerde definitie van de golfklap gegeven. Tevens zijn de parameters beschreven die de golfklap karakteriseren en die ten behoeve van de analyse van de Deltagootproeven vastgesteld dienen te worden. Tenslotte is toegelicht op welke manier de te analyseren data uit de Deltagoot geselecteerd en vervolgens gecontroleerd is.

2.1 Definitie golfklap

Figuur 2.1 geeft de definitie van de golfklap weer. Hierin is de stijghoogte weergegeven op het talud tijdens een golf op het tijdstip dat de maximale stijghoogte φ_{max} optreedt. Wanneer er op dat tijdstip zeewaarts van de locatie ($x_{\varphi_{max}}$) waar φ_{max} optreedt nog een maximum kleiner dan φ_{max} is, dan is er sprake van een golfklap.

Aangezien er rond de golfklap schommelingen in het signaal optreden, dient het tweede maximum minstens $1/4$ van de significante golfhoogte zeewaarts van $x_{\varphi_{max}}$ te liggen. Als er geen maximum op minstens $1/4$ van de significante golfhoogte zeewaarts van $x_{\varphi_{max}}$ ligt, is er dus geen sprake van een golfklap, zie Figuur 2.1.

Een tweede criterium is dat de druk op de locatie $x_{\varphi_{max}}$ tenminste $1/10$ van de significante golfhoogte bedraagt. Dit om te voorkomen dat hoge golfoploop aangemerkt wordt als golfklap.



Figuur 2.1 Golfklap (links) of geen golfklap (rechts)

2.2 Karakteristieke parameters

Ingegoten steenzettingen

Klein Breteler (2003) heeft voor ingegoten steenzettingen een aanzet gegeven voor de berekening van de stabiliteit van deze steenzettingen onder golfklapbelasting. Hij gaat ervan uit dat een deel van de golfklapbelasting ervoor zorgt dat de bekleding doorbuigt en de rest wordt opgevangen door de verhoogde waterdruk in het waterlaagje onder de toplaag. Om de

dwarskracht tijdens de golfklap uit te rekenen, heeft Klein Breteler het dynamische gedrag van de topplaag sterk geschematiseerd.

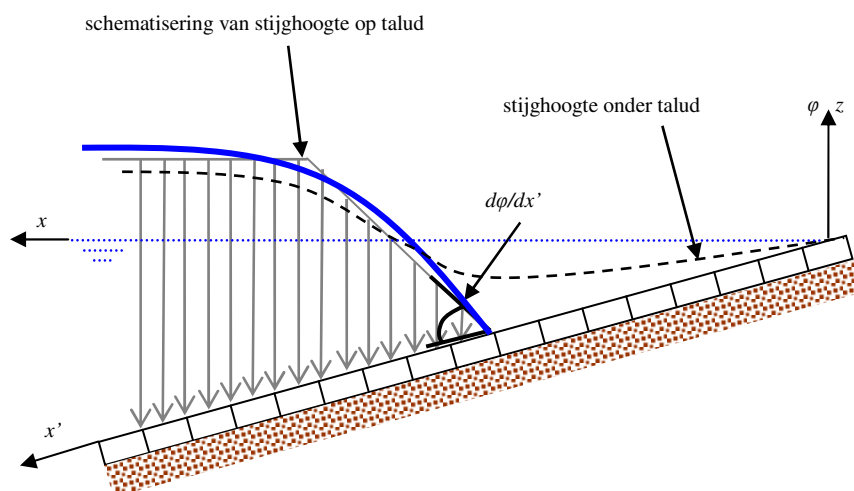
De topplaag is geschematiseerd tot een ligger op twee steunpunten met daarop twee belastingen, namelijk de stijghoogte op de topplaag en de verhoogde stijghoogte onder de topplaag. De breedte van de ligger komt overeen met de breedte van de golfklap over het talud (loodrecht op de as van de dijk).

Het verloop in de tijd van de golfklapdruk is geschematiseerd tot een driehoek, waarbij de maximale golfklapdruk optreedt op de helft van de totale duur van de golfklap. Dit is een vrij simpele benadering. Een parameter die iets toe kan voegen aan die schematisering, is de stijgtijd van de golfklapdruk. Dat is de tijd van het begin van de golfklapdruk tot het maximum.

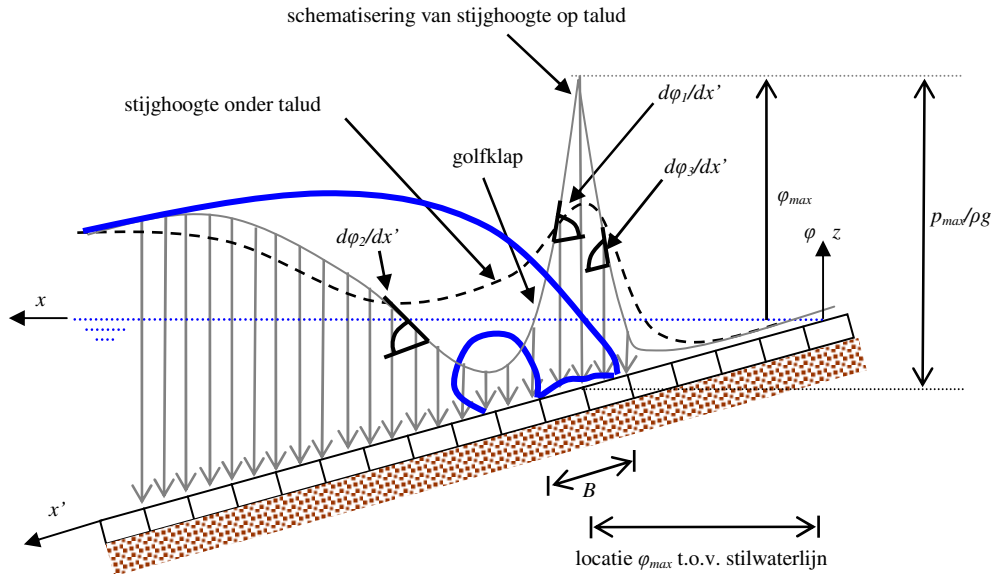
Met deze aannamen zijn er vervolgens berekeningen uitgevoerd om te bekijken wat de invloed van de parameters op de stabiliteit van de topplaag is. Een relatief grote invloed heeft de breedte van het gebied waarop de golfklap optreedt. Een relatief kleine invloed heeft de golfklapduur.

Open steenzettingen

Bij steenzettingen die niet ingegoten zijn, is er een onderscheid te maken tussen steenzettingen met een relatief open topplaag en een relatief weinig doorlatend filter (kleine lek lengte) en steenzettingen met een relatief dichte topplaag (grote lek lengte). Bij relatief dichte steenzettingen wordt uitgegaan dat de maatgevende belasting vlak vóór de golfklap optreedt, tijdens maximale golfterugloop, zie Figuur 2.2. Om de stabiliteit van relatief dichte steenzettingen te bepalen kan gebruik gemaakt worden van een methode gebaseerd op de lek lengtetheorie, zie CUR/TAW (1992). Een belangrijke parameter in deze theorie is de stijghoogte en de gradiënt van de stijghoogte ($d\phi/dx'$) op het talud in een richting over het talud, zie Figuur 2.2.



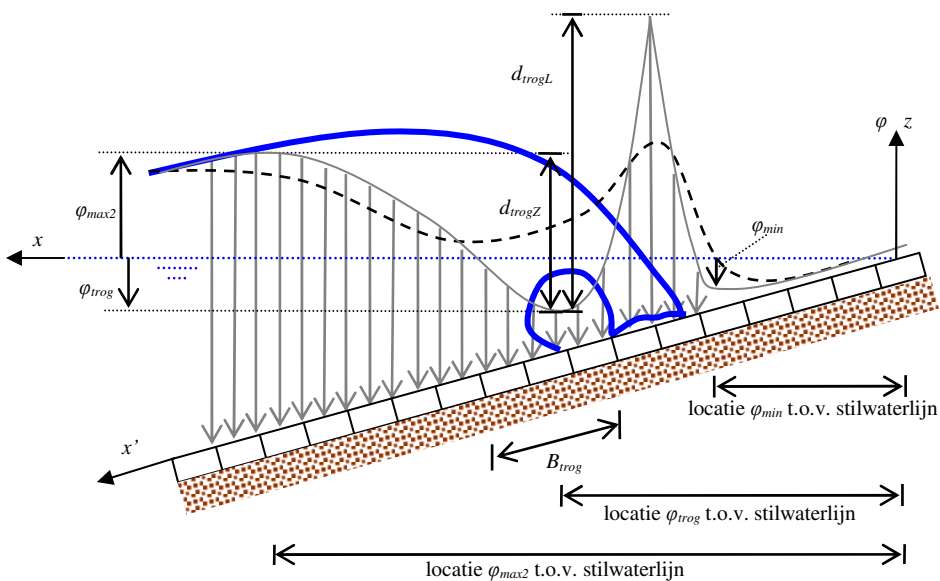
Figuur 2.2 Maatgevende golfbelasting voor het uitlichten van een blok bij relatief dichte steenzettingen



Figuur 2.3 Schematisering van de belasting als gevolg van de golfklap

In tegenstelling tot relatief dichte steenzettingen zijn de maximale stijghoogteverschillen over de toplaag bij open steenzettingen juist opgetreden tijdens de golfklap (Lubbers en Klein Breteler, 2000). Er is sprake van een andere maatgevende situatie dan de situatie waarop de formules voor relatief dichte steenzettingen zijn gebaseerd. Figuur 2.3 laat de schematisering van de golfklapbelasting zien op het moment van de golfklap.

Uit Figuur 2.3 blijkt de mogelijke invloed van de gradiënt van de stijghoogte ($d\phi_1/dx'$, $d\phi_2/dx'$ en $d\phi_3/dx'$), de locatie waar deze gradiënt optreedt, de breedte van het gebied waarop de golfklap optreedt en de locatie van maximale stijghoogte (ϕ_{max}), bijvoorbeeld ten opzichte van de stilwaterlijn.



Figuur 2.4 Definitie van trogbreedte, diepte en locatie

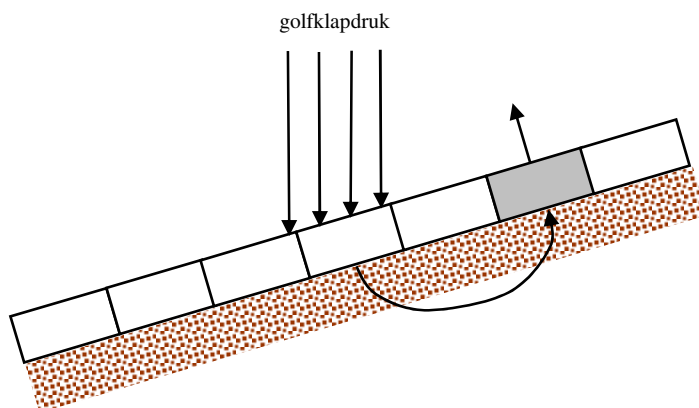
In Figuur 2.4 zijn de parameters weergegeven die de rest van de schematisering van de stijghoogte tijdens de golfklap beschrijven, namelijk de tweede maximale stijghoogte (φ_{max2}), de stijghoogte van de trog (φ_{trog}) en de minimum stijghoogte net landwaarts van de golfklap (φ_{min}) en de locaties waar deze stijghoogtes optreden. Ook zijn in de figuur de trogbreedte en trogdiepte weergegeven.

Wanneer er alleen sprake is van een golf front, zoals in Figuur 2.2, dan is de locatie van het maximale stijghoogteverschil makkelijk te bepalen, namelijk net landwaarts van het front. Wanneer er sprake is van een golfklap, dan is de locatie van het maximale stijghoogteverschil minder eenduidig. Het vindt plaats of net landwaarts van de klap of ter plaatse van de trog.

De golfklapdruk zorgt er op een bepaalde manier voor, dat een naastliggend blok uit de bekleding gedrukt wordt, zie Figuur 2.5. Echter, op wat voor manier er gerekend moet worden met de golfklapbelasting op open steenzettingen is momenteel nog niet helder. Aangezien de golfklapbelasting een korte duur heeft, speelt de traagheid van de blokken en van het meebewegende water een rol. De nog te ontwikkelen methoden om de stabiliteit van open steenzettingen onder golfklapbelasting uit te rekenen, zouden gebaseerd kunnen zijn op stijghoogteverschillen over de toplaag met een leklengtetheorie zoals voor relatief dichte steenzettingen.

Tevens zou gebruik gemaakt kunnen worden van de maximale kracht ten gevolge van de klap. Dan dient de druk over een bepaalde breedte geïntegreerd te worden.

Met het oog op het belang van de relatief korte duur van de golfklapbelasting, zou als alternatief ook gebruik gemaakt kunnen worden van de totale impuls van de golfklap.



Figuur 2.5 Uitlichten van blok door golfklap

Karakteristieke parameters

Uit het bovenstaande blijkt, dat de volgende karakteristieke parameters een belangrijke rol zouden kunnen spelen bij de kwantificering van de golfklap op open en ingegoten steenzettingen:

- Maximale stijghoogte tijdens de golfklap op het talud en de locatie
- Maximaal stijghoogteverschil tijdens de golfklap over de toplaag en de locatie

- Breedte van de belaste strook op het talud
- Totale duur van de golfklap
- Stijgtijd van de golfklap
- Totale impuls van de golfklap
- Gradiënten van de stijghoogte langs het talud en de locaties
- Maximale kracht van de golfklap op het talud

Voorlopig is getracht al deze parameters te bepalen voor elke golfklap op zowel het tijdstip waarop de maximale stijghoogte (golfklapdruk) optreedt, als op het tijdstip waarop het maximale stijghoogteverschil over de toplaag optreedt en alleen als er op dat moment sprake is van een golfklap zoals gedefinieerd in Figuur 2.1.

De manier waarop deze parameters uit de Deltagootproeven gehaald zijn, is beschreven in Hoofdstuk 4.

2.3 Golfcondities en talud

Het doel van dit onderzoek is de karakteristieke parameters van de golfklap te kwantificeren als functie van de golfcondities en de taludhelling. Hiertoe wordt geprobeerd de karakteristieke parameters te relateren aan de inkomende golven en het talud. De inkomende golven worden gekarakteriseerd door de significante golfhoogte H_s , de piek-golfperiode T_p , en het golfspectrum. Het talud wordt beschreven met een taludhelling $\tan\alpha$.

De relatie tussen de golfcondities en constructie-eigenschappen enerzijds en de golfklap anderzijds wordt pas gelegd in Fase 3 (en vormt geen onderdeel van dit rapport).

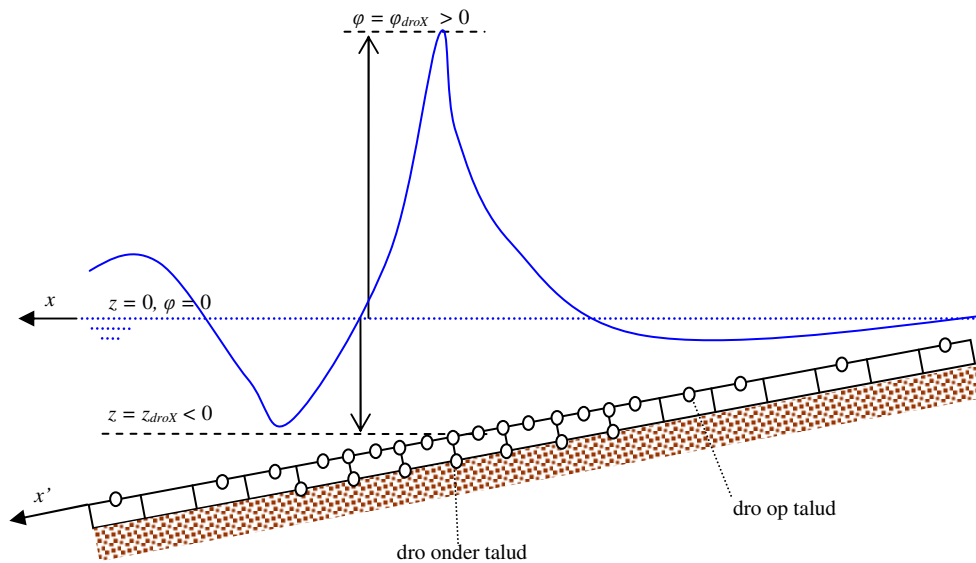
2.4 Dataverwerking

Met behulp van nieuw ontwikkelde software zijn de gewenste karakteristieke parameters bepaald uit de databestanden van in het verleden uitgevoerd Deltagootonderzoeken. Het gaat om die onderzoeken met onregelmatige golven, die het best geïstrumenteerd en bemonsterd zijn. In Hoofdstuk 3 is beschreven welke proeven geselecteerd zijn. De meetsignalen uit deze proeven zijn omgezet naar ASCII-files. Daarnaast is er voor elke proef een coördinatenfile waarin staat op welke locaties de drukopnemers geïnstalleerd zijn.

De meetsignalen zijn voor elke drukopnemer (dro) opgeslagen in een file in de vorm van een druk of in de vorm van een stijghoogte op elk tijdstip. De leklengtetheorie gaat uit van stijghoogten en gradiënten in de stijghoogte, aangezien die direct aan stroming te relateren zijn. In onderhavige bureaustudie is daarom voor de meeste karakteristieke parameters gebruik gemaakt van de stijghoogte. Voor het omrekenen van de druk p_{droX} in drukopnemer X naar een stijghoogte φ_{droX} ten opzichte van stilwaterniveau, geldt de volgende relatie:

$$\varphi_{droX} = \frac{p_{droX}}{\rho g} + z_{droX}$$

Naast de druk in een bepaalde drukopnemer dient ook de hoogte ten opzichte van stilwaterniveau (z_{droX}) bekend te zijn, zie Figuur 2.6. Deze is te vinden in de coördinatenfile. Onder het stilwaterniveau is deze hoogte negatief.



Figuur 2.6 Stijgheogte gemeten door drukopnemers (dro) op het talud

Voor sommige parameters, bijvoorbeeld de totale impuls van de golfklap en de maximale kracht van de golfklap op het talud, is juist wel gebruik gemaakt van de druk en niet van de stijgheogte.

Om op basis van de meetsignalen iets over de gewenste parameters te kunnen zeggen, is voor elke parameter een bepaalde definitie vastgesteld. Bij deze definities zijn er een aantal drempelwaarden of percentages toegepast. Zo wordt er rekening gehouden met het feit, dat de analyse gericht is op proeven met onregelmatige golven, waardoor de meetsignalen per golf sterk kunnen verschillen. Bovendien kan het signaal kleine, voor de analyse van golfklappen minder relevante slingeren vertonen, bijvoorbeeld door teruglopend water met veel luchtbellen. Zo is bijvoorbeeld de breedte van het gebied waarop de golfklap optreedt, gerelateerd aan een bepaald percentage van de maximale stijgheogte gedurende die golfklap.

Voor de meeste karakteristieke parameters zijn dit soort percentages vastgesteld. Tijdens het opzetten van de software en het testen van de eerste opzet van de software zijn deze percentages bijgesteld net zolang tot er zinnige resultaten geproduceerd werden. De definities en de uiteindelijke percentages zijn beschreven in Hoofdstuk 4. In Fase 1, waarin alle geselecteerde proeven verwerkt worden, kan het wellicht weer nodig zijn de percentages bij te stellen.

Voordat begonnen kan worden met de vertaling van de meetsignalen, dienen de geselecteerde proeven gecontroleerd te worden. Het kan namelijk voorkomen dat gedurende een proef een bepaalde drukopnemer een storing vertoont of helemaal uitvalt, wat de vertaling waarschijnlijk verstoort. Hier is verder op ingegaan in Hoofdstuk 4

De software is geprogrammeerd met Matlab, Versie 6.5, Release 13. De door de software geproduceerde resultaten worden in tabelvorm weergegeven. In Hoofdstuk 5 zijn een aantal parameters ook grafisch weergegeven. In de grafieken is de verdeling van bijvoorbeeld de maximale stijgheogte tijdens de golfklap weergegeven. Uit deze grafieken kan dan de

stijghoogte afgelezen worden die door bijvoorbeeld 10 % van de golfklappen overschreden wordt.

3 Geselecteerde proeven

In dit hoofdstuk zijn de geselecteerde proeven beschreven die verwerkt zullen worden met de ontwikkelde software. De te selecteren proeven komen uit onderzoeken met onregelmatige golven in de Deltagoot, die het best geïnstumenteed en bemonsterd zijn.

De aandacht is gericht op het onderzoek uitgevoerd in 1997/1998 (Klein Breteler, 2000) met gezette steenbekledingen met een talud van 1:3.5, op het onderzoek uitgevoerd in 1992 (Derks en Klein Breteler, 1992) met een asfaltbekleding met een talud van 1:4 en op het onderzoek uitgevoerd in 1991 (Wouters, 1991) met een gezette steenbekleding met een talud van 1:3.

De proeven die uit deze onderzoeken zijn geselecteerd, voldoen aan de volgende criteria:

- De bemonsteringsfrequentie is voldoende groot.
- Alle proeven komen uit onderzoeken met onregelmatige golven. Er zijn proeven met een JONSWAP spectrum en er zijn proeven met een Pierson-Moskowitz spectrum.
- Er is een grote range in brekerparameter. Er zijn drie verschillende taludhellingen.
- De onderlinge afstand tussen de drukopnemers is klein ten opzichte van de golfhoogte.
- De duur van de proeven is lang genoeg.

In totaal zijn er 27 proeven geselecteerd. In de volgende paragrafen zijn de geselecteerde proeven beschreven.

3.1 Deltagootonderzoek 1997/1998

Dit onderzoek in de Deltagoot (Klein Breteler, 2000) is uitgevoerd met een gezette steenbekleding met een talud van 1:3.5. De proefduur bedraagt telkens ongeveer 1000 golven. De bemonsteringsfrequentie is 40 Hz. De drukopnemers in serie 21 liggen ongeveer op dezelfde plaats als de drukopnemers in serie 23. De onderlinge afstand tussen de drukopnemers gemeten in de lengterichting van de goot is ongeveer 10 tot 50 cm. Er zijn meer proeven uit dit onderzoek beschikbaar, maar deze hebben allemaal vergelijkbare ξ -waarden. In de series 5 en 12 zijn minder drukopnemers geïnstalleerd. De onderlinge afstand van deze drukopnemers is ongeveer 50 cm. In Tabel 3.1 staan de geselecteerde proeven vermeld. In de proeven 21o02, 23o01, 23o02 en 23o04 ligt drukopnemer 34 boven de waterlijn. Het signaal van deze drukopnemer wordt niet meegenomen in de verwerking van deze proeven.

Met deze selectie van proeven kan er in een analyse van de golfklap op steenzettingen als functie van de golfcondities naar een aantal zaken gekeken worden. In de proeven 21o03, 23o11, 21o14 en 21o15 blijft de brekerparameter ongeveer gelijk en neemt de golfhoogte toe. In de proeven 21o02, 21o03 en 21o08 neemt de brekerparameter toe, terwijl de golfhoogte ongeveer gelijk blijft. In de proeven 21o03 en 21o06 zijn de golfcondities ongeveer gelijk en verschilt slechts het spectrum. In de proeven 23o02 en 23o04 zijn de golfcondities ook ongeveer gelijk, maar is er bij de eerste steenzetting wel inwasmateriaal aanwezig en bij de ander niet. Hoewel de metingen van de gerealiseerde golfcondities van de proeven 21o15 en 21o16 minder betrouwbaar zijn, zijn deze proeven toch geselecteerd, aangezien de top laag behoorlijk schade vertoonde.

Proef	h	H_s	T_p	ζ_{op}	Spectrum*	Aantal drukopnemers		Blokdikte
	(m)	(m)	(s)	(-)		op	onder	
5o05	4.02	1.640	5.60	1.56	J	12	11	0.25
5o06	4.00	1.640	6.90	1.92	J	12	11	0.25
12ao7	4.63	0.840	4.40	1.71	J	13	11	0.20
12ao9	4.91	1.270	5.50	1.74	J	13	11	0.20
21o02	4.55	0.728	3.26	1.36	J	22	11	0.20
21o03	4.80	0.761	4.29	1.75	J	23	11	0.20
21o06	4.70	0.737	4.28	1.78	P-M	23	11	0.20
21o08	4.80	0.754	5.08	2.09	J	23	11	0.20
21o11	4.85	0.939	4.83	1.78	J	23	11	0.20
21o14	4.98	1.563	6.36	1.82	J	23	11	0.20
21o15	5.01	1.699	6.43	1.76	J	23	11	0.20
21o16	5.00	1.550	7.64	2.19	J	23	11	0.20
23o01	4.55	0.430	3.16	1.72	J	22	11	0.20
23o02	4.55	0.524	3.55	1.75	J	22	11	0.20
23o04	4.55	0.530	3.56	1.75	J	22	11	0.20
23o08	4.95	0.940	4.82	1.77	J	23	11	0.20
23o10	4.97	1.334	5.53	1.71	J	23	11	0.20
23o11**	4.94	1.543	6.35	1.83	J	23	11	0.20

Tabel 3.1 Geselecteerde proeven uit het Deltagootonderzoek in 1997/1998 (*J = JONSWAP spectrum, P-M = Pierson-Moskowitz spectrum. ** Deze proef is gebruikt bij het opzetten van de software.)

Op 5 meter van de gootbodem bevindt zich een berm. Bij de series 21 en 23 is de waterstand iets lager dan deze berm, maar de berm kan wel invloed hebben op de karakteristieke parameters. Daarom is ook serie 5 geselecteerd. Daar is de waterstand een behoorlijk stuk lager dan de berm. Hier dient bij de analyse rekening mee gehouden te worden.

3.2 Deltagootonderzoek 1992

Dit onderzoek in de Deltagoot (Derks en Klein Breteler, 1992) is uitgevoerd met een asfalttalud van 1:4. De proefduur varieert tussen 3600 s tot 5400 s. De bemonsteringsfrequentie was 100 Hz. In alle proeven lagen de 28 drukopnemers op dezelfde plaats. Aangezien het om een asfaltbekleding gaat en er geen drukopnemers onder het talud geïnstalleerd zijn, kunnen geen stijghoogteverschillen over de toplaag berekend worden. De onderlinge afstand tussen de drukopnemers gemeten in de lengterichting van de goot is ongeveer 10 tot 50 cm.

Proef	h	H_s	T_p	ζ_{op}	Spectrum*	Aantal drukopnemers	
	(m)	(m)	(s)	(-)		op	onder
AS202	5.01	1.430	7.14	1.87	P-M	27	0
AS203	5.10	1.520	8.65	2.19	P-M	28	0
AS401	5.10	1.510	8.65	2.20	P-M	28	0
AS503	5.10	1.490	8.65	2.21	P-M	28	0
AS601	4.65	0.760	2.98	1.07	P-M	23	0

Tabel 3.2 Geselecteerde proeven uit het Deltagootonderzoek in 1992 (*P-M = Pierson-Moskowitz spectrum)

Er zijn nog 8 proeven beschikbaar met onregelmatige golven, maar deze hebben allemaal vergelijkbare ζ -waarden of een kortere proefduur. In Tabel 3.2 staan de geselecteerde

proeven vermeld. In proef AS202 ligt drukopnemer 1 boven de waterlijn. In proef AS 601 liggen de drukopnemers 1 t/m 5 boven de waterlijn.

3.3 Deltagootonderzoek 1991

Dit onderzoek in de Deltagoot (Wouters, 1991) is uitgevoerd met een gezette steenbekleding met een talud van 1:3. De proefduur is telkens ongeveer 4000 s. De bemonsteringsfrequentie is 50 Hz. De drukopnemers in de proeven w127 en w128 liggen op een andere plek dan bij de proeven w626 en w627. Van de drukopnemers op de zetting in de proeven w127 en w128 liggen er 3 boven de waterlijn. Bovendien ligt een aantal drukopnemers op nagenoeg dezelfde locatie ten opzichte van de gootbodem en het golfschot, terwijl de afstand ten opzichte van de gootwand wel verschilt. Ondanks dat bij het onderzoek in de Deltagoot voornamelijk variaties in twee dimensies verondersteld worden, varieert de grootte van de golfklap waarschijnlijk toch ook in de richting loodrecht op de gootwand. De drukopnemers die in een andere raai liggen, kunnen daarom niet meegenomen worden. Wanneer een stijghoogte over de toplaag uitgerekend dient te worden, mag de afstand ten opzichte van de gootwand tussen de drukopnemer op het talud en de drukopnemer onder het talud niet teveel verschillen. Effectief blijven er voor de verwerking bij de proeven w127 en w128 nog 12 drukopnemers op de zetting over en 4 onder de zetting. Bij de proeven w626 en w627 blijven er zo 9 op en 7 onder de zetting over.

De onderlinge afstand tussen de drukopnemers gemeten in de lengterichting van de goot is ongeveer 25 tot 100 cm. Er zijn nog 2 proeven beschikbaar met onregelmatige golven, maar daarin is de onderlinge afstand van de drukopnemers ten opzichte van de significante golfhoogte vrij groot. In Tabel 3.3 staan de geselecteerde proeven en het effectieve aantal drukopnemers vermeld.

Proef	h	H_s	T_p	ζ_{op}	Spectrum*	Aantal drukopnemers		Blokdikte
	(m)	(m)	(s)	(-)		op	onder	
w127	5.00	0.652	3.40	1.75	J	12	4	0.15
w128	4.99	0.729	3.90	1.90	J	12	4	0.15
w626	4.96	0.724	4.10	2.01	J	9	7	0.30
w627	4.94	1.056	3.90	1.58	J	9	7	0.30

Tabel 3.3 Geselecteerde proeven uit het Deltagootonderzoek in 1991 (*J = JONSWAP spectrum)

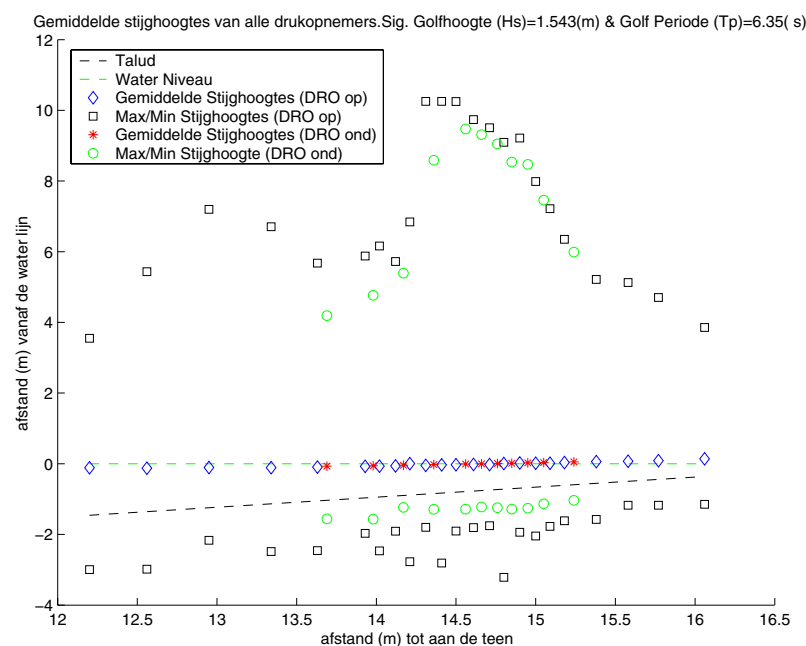
4 Opzet software

De vertaling van het geregistreerde meetsignaal van een drukopnemer in karakteristieke parameters gebeurt met behulp van software. Op wat voor manier de signalen vertaald zijn in karakteristieke parameters staat per parameter in dit hoofdstuk beschreven. Tevens worden de variabelen genoemd die hierbij een belangrijke rol spelen. Tijdens de opzet van de software wordt voortdurend getest. Dit gebeurt met behulp van proef 23o11, zie Tabel 3.1.

Aangezien momenteel nog niet helemaal duidelijk is op welk moment in een golf de belasting op de top laag als gevolg van een golfklap maatgevend is, is de software zo opgezet dat op verschillende tijdstippen in een golf de karakteristieke parameters uitgerekend zouden kunnen worden. In deze studie wordt gekeken naar twee tijdstippen, namelijk het moment waarop de stijghoogte op het talud maximaal is en het moment waarop het stijghoogteverschil over de top laag maximaal is. Door de software op deze manier op te zetten is het in de toekomst mogelijk ook met andere criteria een maatgevend moment te bepalen.

4.1 Controle drukopnemers

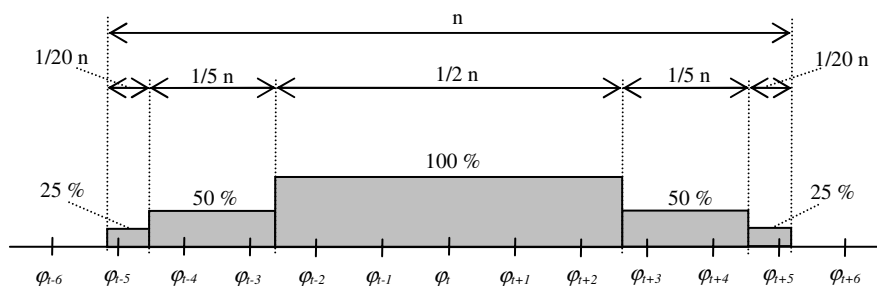
Het begin en het eind van het signaal van elke drukopnemer wordt voor elke proef visueel gecontroleerd. Hiertoe worden de meetsignalen grafisch weergegeven. Tevens wordt de gemiddelde stijghoogte van elke drukopnemer bepaald. Dit gemiddelde mag niet teveel afwijken van nul en van de gemiddelde stijghoogte van de naastliggende drukopnemer. Daarnaast worden de minimale en maximale stijghoogten voor elke drukopnemer bepaald. Voor proef 23o11 is dit weergegeven in Figuur 4.1.



Figuur 4.1 Gemiddelde, minimale en maximale stijghoogtes in de drukopnemers.

4.2 Selectie van golven

Allereerst moet vastgesteld worden vanaf welk moment tot welk volgend moment er sprake is van één golf. Er wordt aangenomen dat er per golf voor elke drukopnemer gerekend kan worden met dezelfde begin- en eindtijd. Er wordt uitgegaan van het signaal van de diepst gelegen drukopnemer. Bij deze drukopnemer zullen waarschijnlijk de minste golfklappen optreden en zal het signaal daarom het meest gelijkmatig verlopen. Toch komen er hele kleine schommelingen in het signaal voor. Om deze uit te sluiten, is het signaal bewerkt met een voortschrijdend gemiddelde. Dit voortschrijdend gemiddelde wordt berekend over een bepaald aantal tijdstappen n rond een bepaald tijdstip. Hierbij worden bepaalde tijdstappen binnen dit aantal zwaarder meegerekend dan andere tijdstappen, zoals weergegeven in Figuur 4.2.



Figuur 4.2 Voortschrijdend gemiddelde

Het aantal tijdstappen n is afhankelijk van de golfperiode T_p en van de bemonsteringsfrequentie f :

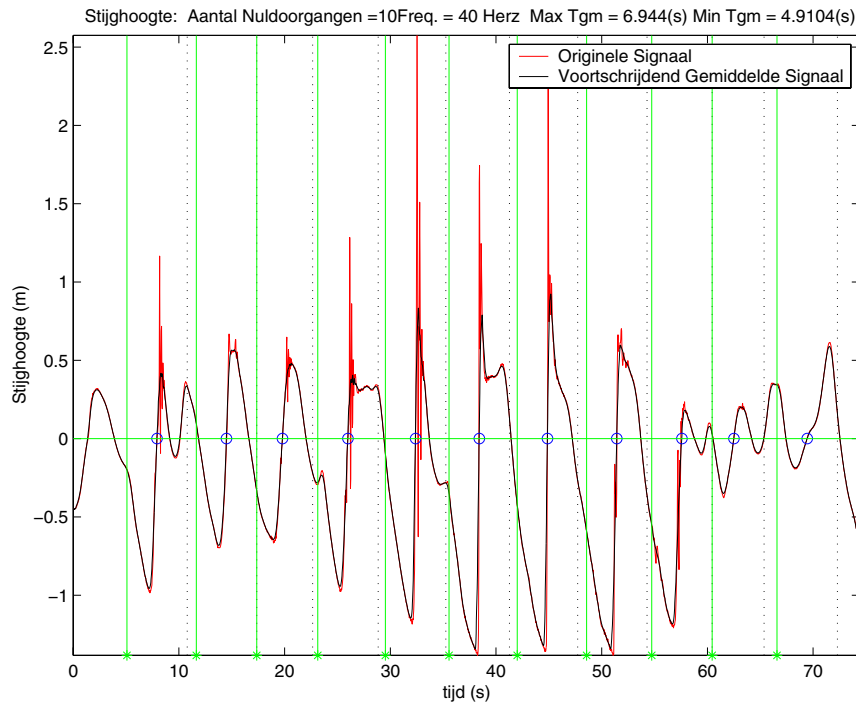
$$n = \frac{T_p f}{10}$$

Belangrijk is dat n/f groot genoeg is ten opzichte van de golfperiode. In bovenstaande formule is deze quotiënt dus gelijk aan $T_p/10$.

Op basis van het nieuwe signaal wat opgebouwd is met het voortschrijdend gemiddelde zijn de golven gedefinieerd. Hiertoe is gezocht naar het tijdstip waarop de eerste opwaartse nuldoorgang plaatsvindt. Het begintijdstip van de eerste golf is een halve gemiddelde golfperiode voor de eerste opwaartse nuldoorgang, en het eindtijdstip een halve gemiddelde golfperiode na die opwaartse nuldoorgang. Echter, wanneer het begintijdstip van een golf daarmee voor het eindtijdstip van de vorige golf komt te liggen, dan wordt voor het begintijdstip het eindtijdstip van de vorige golf genomen.

Omdat er soms na een golfklap schommelingen aanwezig zijn in het signaal, wordt pas vanaf een halve gemiddelde golfperiode na de eerste opwaartse nuldoorgang gezocht naar de tweede opwaartse nuldoorgang ter bepaling van de tweede golf. Voor proef 23o11 is dit weergegeven in Figuur 4.3.

Om te controleren of de methode goed werkt, dienen de minimale en de maximale golfperiode bekeken te worden. De golfperiode is de tijd tussen twee geregistreerde opwaartse nuldoorgangen, zie Figuur 4.3.



Figuur 4.3 Voortschrijdend gemiddelde (zwarte, doorgetrokken lijn) gebaseerd op origineel stijghoogtesignaal (rode, doorgetrokken lijn), de begin- (verticale, groene, doorgetrokken lijn) en eindtijdstippen (verticale, zwarte, gestippelde lijn) en de opwaartse nuldoorgangen (bol)

Bovendien kan door het aantal geregistreerde opwaartse nuldoorgangen te tellen, het aantal golven vastgesteld worden. Dit aantal zou ongeveer overeen moeten komen met het aantal golven zoals ze geregistreerd zijn door de golfhoogtemeters in de modelopstelling.

4.3 Golfklap tijdens maximale stijghoogte

In deze paragraaf is de vertaling van het meetsignaal naar de gewenste parameters weergegeven, waarbij ter illustratie gekozen is voor het tijdstip dat de stijghoogte maximaal is. Het is geïllustreerd met de meetsignalen uit proef 23o11, zie Tabel 3.1. Als alternatief kan er ook gekozen worden voor het tijdstip waarop het maximale stijghoogteverschil optreedt, maar dan is de vertaling van het meetsignaal naar de gewenste parameters verder vergelijkbaar.

Tijdstip waarop maximale stijghoogte plaatsvindt

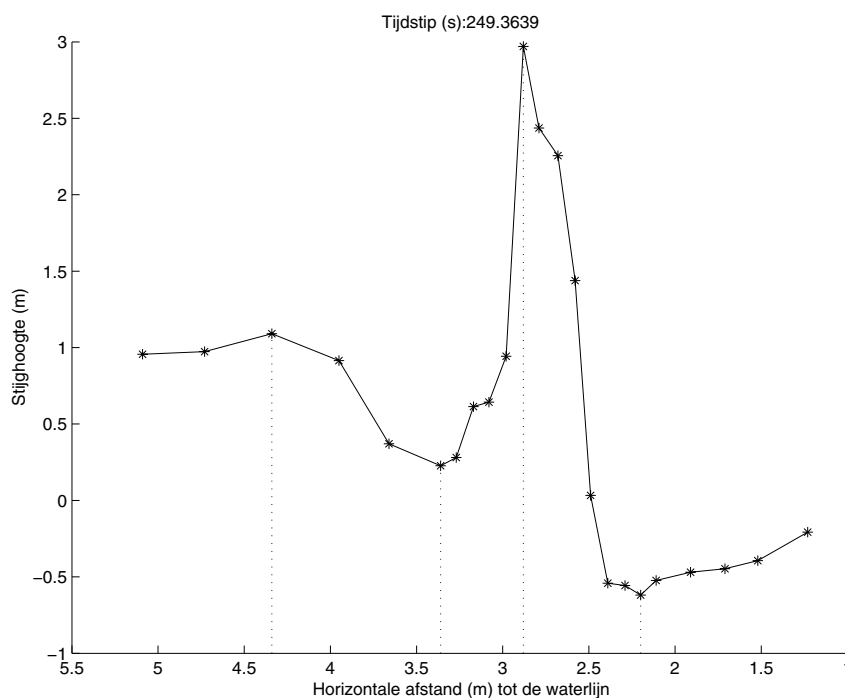
In paragraaf 2.1 is de golfklap gedefinieerd, waarbij de maximale stijghoogte in de golfklap wordt bepaald ten opzichte van het taludoppervlak. In feite is dit een drukhoogte $p_{max}/\rho g$. Voor het zoeken van het moment waarop dit maximum plaatsvindt, is ervoor gekozen om niet met deze drukhoogte te werken, maar met de stijghoogte t.o.v. de stilwaterlijn. Dit zou theoretisch een verschil kunnen geven ten opzichte van het werken met de drukhoogte, maar dat kan alleen als de drukkengradiënt kleiner is dan de taludhelling. Gezien het feit dat dit tijdens de extreme drukken in een golfklap zeer onwaarschijnlijk is, kan aangenomen worden dat het werken met de stijghoogte het juiste tijdstip oplevert.

Om de maximale stijghoogte op het talud te bepalen is gedurende elke golf (tussen eerder vastgesteld begin- en eindtijdstip) gezocht naar de grootste waarde van de maximaal optredende stijghoogten in elk van de drukopnemers op het talud: $\varphi_{max} = \text{MAX}\{\varphi_{max;dro1}, \varphi_{max;dro2}, \dots, \varphi_{max;droX}\}$. Bij hele hoge golfoploop zou deze oploop als maximum aangemerkt kunnen worden. Om deze metingen uit te sluiten, dient de druk in de drukopnemer waar de maximale stijghoogte plaatsvindt in ieder geval 1/10 van de significante golfhoogte H_s te bedragen.

Er dient vastgesteld te worden of er op het tijdstip $t_{\varphi_{max}}$, waarop de maximale stijghoogte plaatsvindt, sprake is van een golfklap zoals gedefinieerd in Figuur 2.1 of niet. Hiertoe wordt op tijdstip $t_{\varphi_{max}}$ zeewaarts van de locatie $x_{\varphi_{max}}$ gezocht naar een tweede maximum, kleiner dan φ_{max} . Voor de locatie $x_{\varphi_{max}}$ geldt de horizontale afstand van de drukopnemer waarin φ_{max} optreedt tot waar de stilwaterlijn het talud snijdt. Als dat er níet is, is er geen sprake van een golfklap. Er kan gezocht worden naar een maximale stijghoogte in de volgende golf. Als dat er wél is, dan wordt de maximale stijghoogte veroorzaakt door een golfklap. Het tijdstip $t_{\varphi_{max}}$ waarop de maximale stijghoogte plaatsvindt, wordt in dit geval opgeslagen als maatgevend tijdstip t_{max} en de karakteristieke parameters kunnen bepaald worden.

Maximale stijghoogte tijdens de golfklap op het talud en locatie

De maximale stijghoogte is opgeslagen evenals het tijdstip en de locatie. Voor het tweede maximum wordt de stijghoogte φ_{max2} en de locatie $x_{\varphi_{max2}}$ opgeslagen, evenals voor het er tussenin liggende minimum wordt de stijghoogte φ_{trog} en de locatie x_{trog} opgeslagen. Landwaarts van $x_{\varphi_{max}}$ ligt een minimum in stijghoogte, zie ook Figuur 2.4. Dit minimum φ_{minL} wordt ook vastgelegd, evenals de locatie $x_{\varphi_{minL}}$. Voor proef 23o11 is dit weergegeven in Figuur 4.4.



Figuur 4.4 Willekeurige golfklap in proef 23o11 waarin van links naar rechts $x_{\varphi_{max2}}$, x_{trog} , $x_{\varphi_{max}}$ en $x_{\varphi_{minL}}$ zijn weergegeven met verticale stippellijnen

De dieptes van de trog zoals weergegeven in Figuur 2.4, d_{trogZ} en d_{trogL} , worden ook vastgelegd. Ze zijn als volgt gedefinieerd:

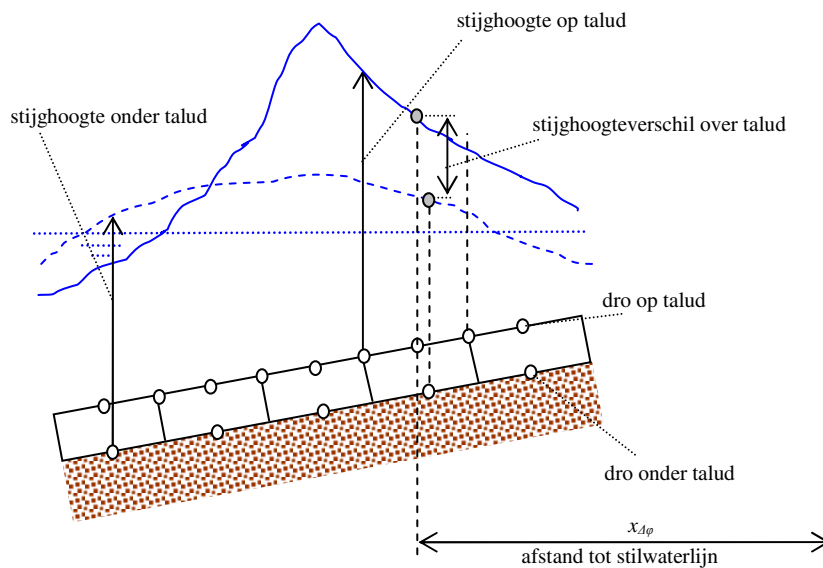
$$d_{trogZ} = \varphi_{\max 2} - \varphi_{trog}$$

en:

$$d_{trogL} = \varphi_{\max} - \varphi_{trog}$$

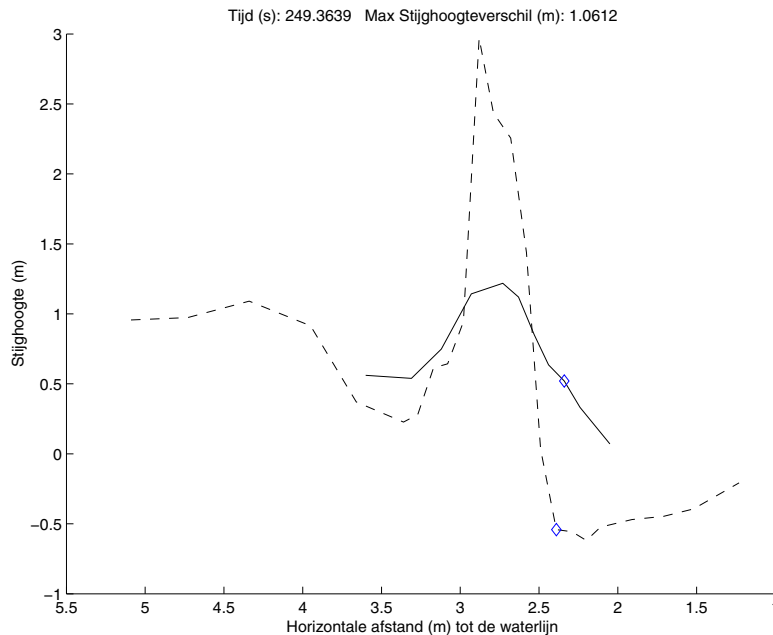
Maximaal stijghoogteverschil op tijdstip $t_{\max}$

Het maximale stijghoogteverschil op tijdstip $t_{\max}$ over de toplaag dient vastgesteld te worden. Dit kan alleen voor die proeven waar zowel onder als op de toplaag drukopnemers geïnstalleerd zijn. Het stijghoogteverschil is gelijk aan de stijghoogte van de drukopnemer onder het talud verminderd met de stijghoogte in de drukopnemer op het talud. Het gaat daarbij om drukopnemers die loodrecht ten opzichte van het talud onder elkaar liggen. Er wordt uitgegaan van de afstand van de drukopnemer op het talud tot de stilwaterlijn, zie Figuur 4.5.



Figuur 4.5 Definitie stijghoogteverschil

Het stijghoogteverschil wordt zo bepaald en vervolgens wordt het maximum $\varphi_{\max\Delta\varphi}$ vastgelegd, samen met de locatie $x_{\Delta\varphi}$. Voor de locatie $x_{\Delta\varphi}$ geldt de horizontale afstand van de drukopnemer op het talud waarin $\varphi_{\max\Delta\varphi}$ optreedt tot waar de stilwaterlijn het talud snijdt. Voor een willekeurige golfklap in proef 23o11 is dit weergegeven in Figuur 4.6.



Figuur 4.6 Stijghoogte op het talud (gestippeld), stijghoogte onder het talud (doorgetrokken) en locatie waar maximaal verschil is geconstateerd (ruit) voor een willekeurige golfklap in proef 23o11

Breedtes van de belaste strook op het talud op tijdstip t_{max}

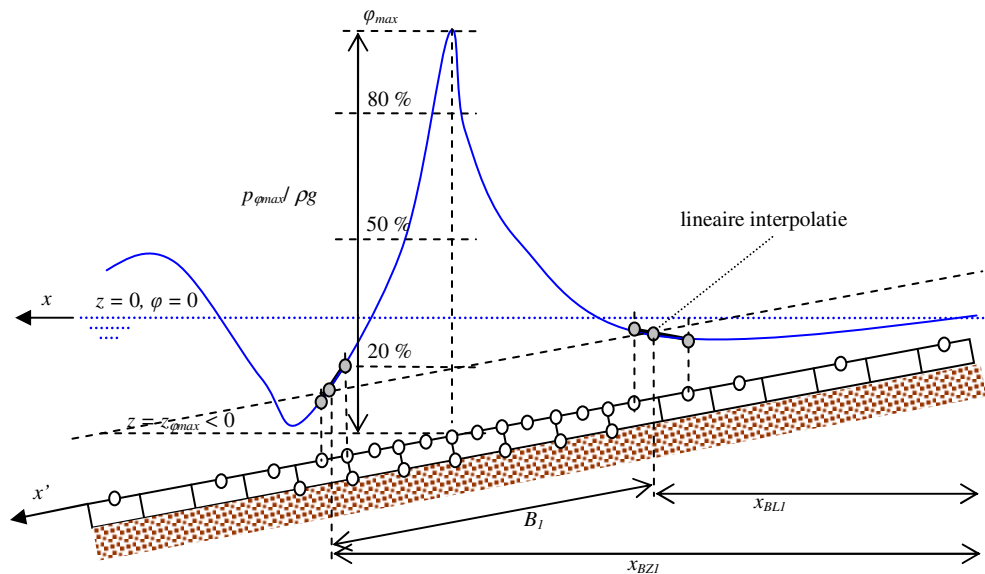
Op het tijdstip waarop de maximale stijghoogte optreedt als gevolg van een golfklap, t_{max} , wordt de breedte van de strook op het talud die belast wordt door de golfklap bepaald. Dit kan geschieden op de wijze zoals door Klein Breteler (1995) is voorgesteld. Hierbij worden verschillende breedtes vastgesteld afhankelijk van de belasting. Het gaat om de breedtes behorend bij de golfklap (maximum) en om de breedtes behorend bij de zeewaarts gelegen trog.

In het geval van het maximum wordt voor de belasting de stijghoogte vermindert met de hoogte van de drukopnemer ten opzichte van de stilwaterlijn (onder de waterlijn is die hoogte negatief), zodat de totale drukhoogte verkregen wordt:

$$\frac{p_{droX}}{\rho g} = \varphi_{droX} - z_{droX}$$

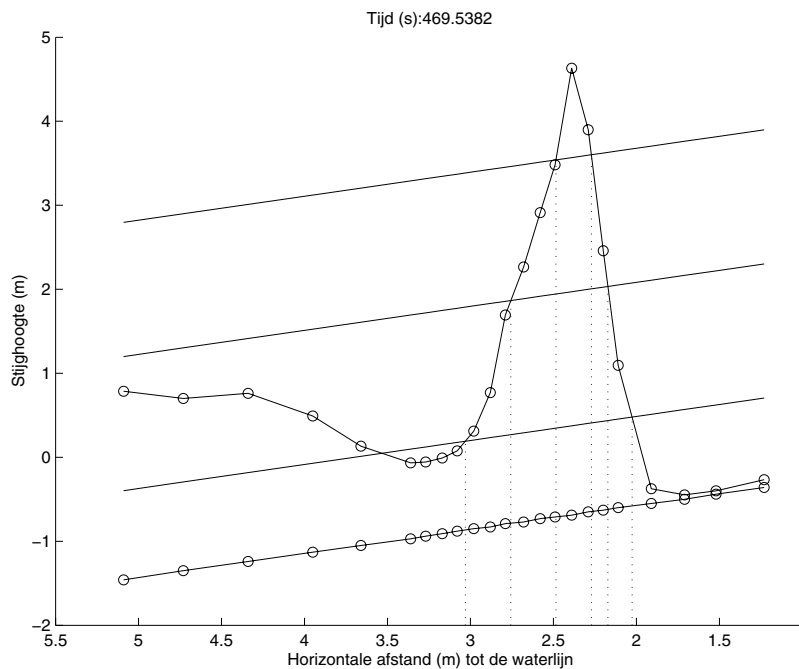
In Figuur 4.7 wordt als voorbeeld de breedte B_I weergegeven behorend bij het eerste percentage van 20 % van de belasting. Tevens worden de zeewaartse locatie x_{BZI} en de landwaartse locatie x_{BLI} opgeslagen waartussen deze breedte bepaald wordt. De breedtes bij het tweede en derde percentage van 50 en 80 % van de belasting en locaties behorend bij die breedtes worden ook opgeslagen. Deze percentages zouden bij het verwerken van alle proeven bijgesteld kunnen worden. Wellicht levert 20 % heel weinig breedtes op.

Aangezien de gekozen percentages van de belasting vaak niet precies in een drukopnemer optreden, dient er lineair geïnterpoleerd te worden tussen de twee drukopnemers waar een waarde net onder en net boven het percentage uitkomt, zie Figuur 4.7.

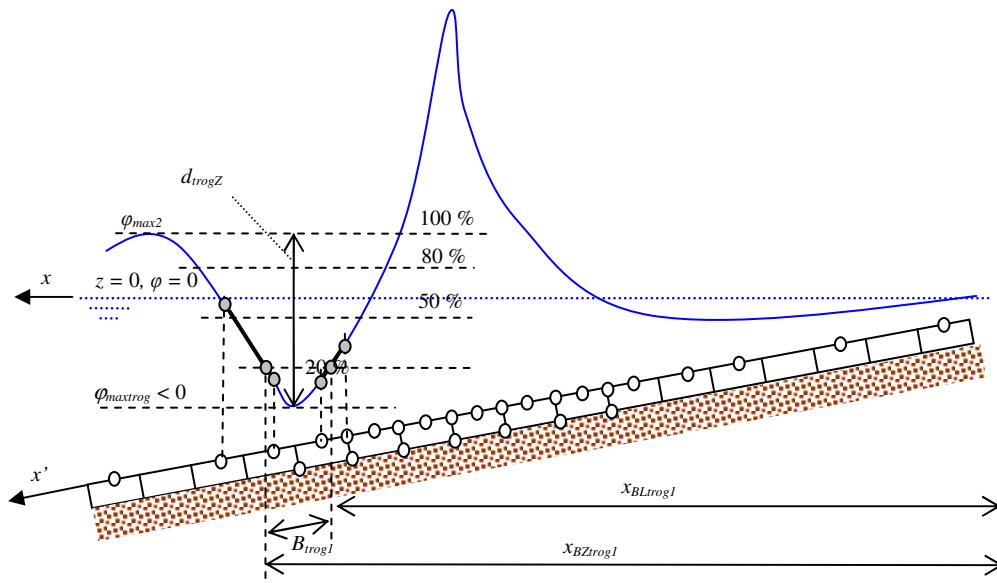


Figuur 4.7 Breedte B_l die hoort bij het gebied dat belast wordt door een belasting van 20 % van de maximale belasting

Voor een willekeurige golfklap in proef 23o11 zijn de breedtes behorend bij 20, 50 en 80 % weergegeven in Figuur 4.8.



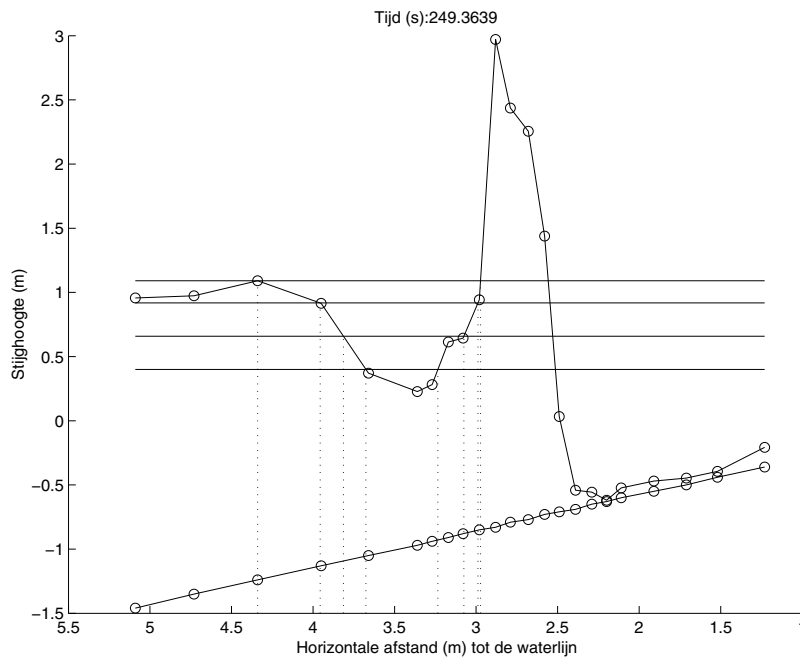
Figuur 4.8 Breedtes behorend een willekeurige golfklap in proef 23o11



Figuur 4.9 Bepaling van de breedtes van de trog

In het geval van de bepaling van de breedtes van de trog wordt uitgegaan van percentages van de trogdiepte d_{trogZ} . In Figuur 4.9 is een voorbeeld gegeven van de bepaling van de breedte behorend bij 20 % van de trogdiepte B_{trogI} . Tevens worden de zeewaartse locatie $x_{BZtrogI}$ en de landwaartse locatie $x_{BLtrogI}$ opgeslagen waartussen deze breedte bepaald wordt. De breedtes bij 50, 80 en 100 % van de belasting en locaties behorend bij die breedtes worden ook opgeslagen.

Voor een willekeurige golfklap in proef 23o11 is dit weergegeven in Figuur 4.10.

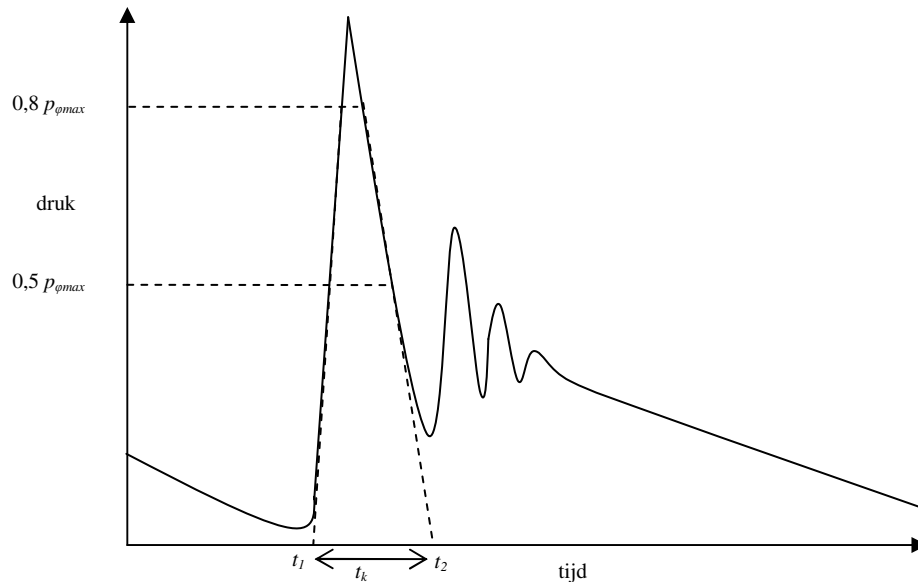


Figuur 4.10 Breedtes van de trog behorend een willekeurige golfklap in proef 23o11

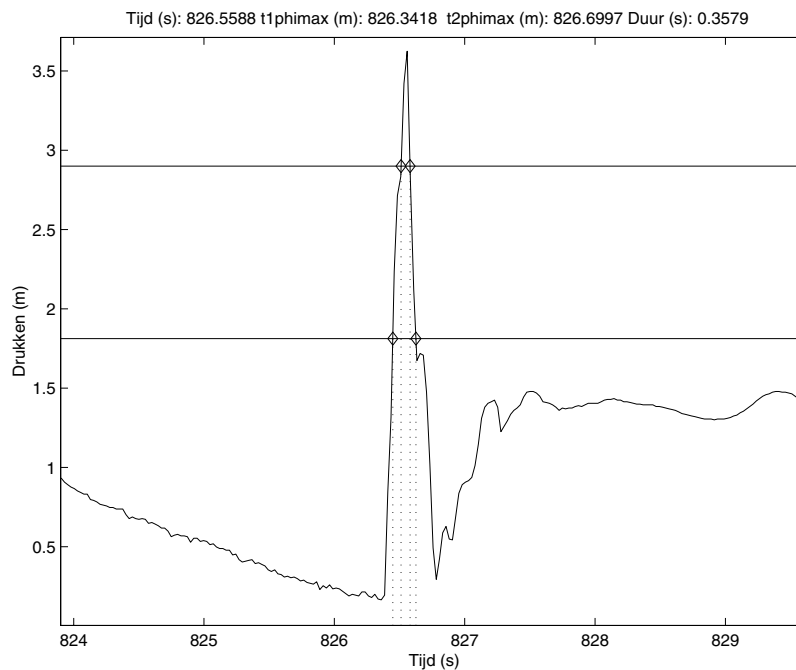
Totale duur van de golfklap rond tijdstip t_{max}

De golfklapduur, t_k , bepaald voor de drukopnemer waar φ_{max} optreedt, wordt als representatieve golfklapduur voor de golfklap aangehouden. Deze duur wordt bepaald op basis van de tijdstippen waarop de druk 80 % en 50 % van $p_{\varphi_{max}}$ bedraagt op de manier zoals is weergegeven in Figuur 4.11.

Voor een willekeurige golfklap in proef 23o11 is dit weergegeven in Figuur 4.12.



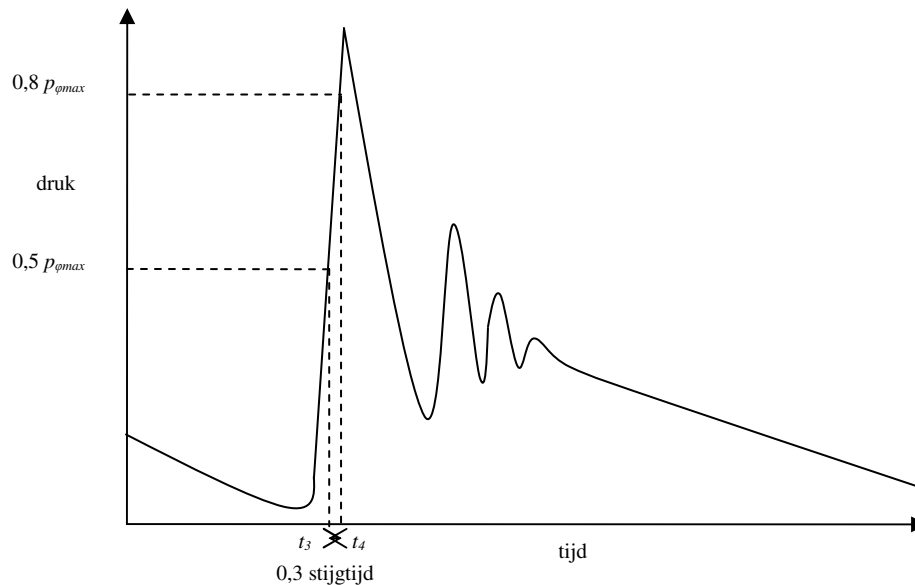
Figuur 4.11 Totale duur van de golfklap



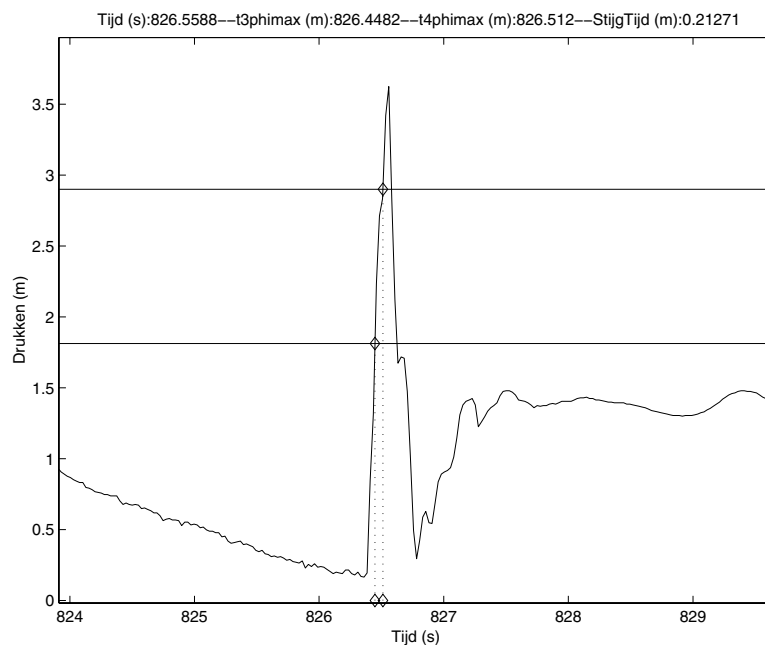
Figuur 4.12 Totale golfklapduur op basis van 50 en 80 % van de druk met t_1 (meest linkse stippellijn) en t_2 (meest rechtse stippellijn)

Stijgtijd van de golfklap rond tijdstip t_{max}

De stijgtijd van de golfklap, bepaald voor de drukopnemer waar φ_{max} optreedt, wordt als representatieve stijgtijd voor de golfklap aangehouden. Om te ontkomen aan slingeren van het meetsignaal rond de piekwaarde van de stijghoogte en nabij de laagste waarden van de stijghoogte, wordt de stijgtijd gekoppeld aan de tijdstippen waarop de stijghoogte 50 en 80 % van $p_{\varphi_{max}}$ bedraagt, zie Figuur 4.13. De tijd tussen deze twee tijdstippen wordt verondersteld overeen te komen met 30 % van de stijgtijd.



Figuur 4.13 Stijgtijd van de golfklap



Figuur 4.14 Stijgtijd op basis van 50 en 80 % van de druk met t_3 (linker ruit op horizontale as) en t_4 (rechter ruit op horizontale as)

Voor een willekeurige golfklap in proef 23o11 is de stijgtijd weergegeven in Figuur 4.14.

Totale impuls van de golfklap rond tijdstip t_{max}

De totale impuls van de golfklap wordt bepaald gedurende de golfklap op het gebied met een breedte die hoort bij het laagst gekozen percentage bij de bepaling van de belaste strook. In dit geval is dat 50 % en de bijbehorende breedte B_2 ligt tussen de zeewaartse locatie x_{BZ2} en de landwaartse locatie x_{BL2} , zie Figuur 4.7. Voor elke drukopnemer X binnen de breedte B_2 wordt afzonderlijk de druk gesommeerd over de golfklapduur, t_k . Vervolgens worden deze waarden voor elke drukopnemer binnen de breedte B_2 gesommeerd. De druk in elke drukopnemer wordt vermenigvuldigd met het representatieve oppervlak rond een drukopnemer. Het representatieve oppervlak rond een drukopnemer wordt in de breedterichting bepaald door de afstand tussen de middens van de naastliggende drukopnemers. Voor de impuls van de meest zeewaarts gelegen drukopnemer Z binnen de breedte B_2 tot de meest landwaarts gelegen drukopnemer L geldt dus:

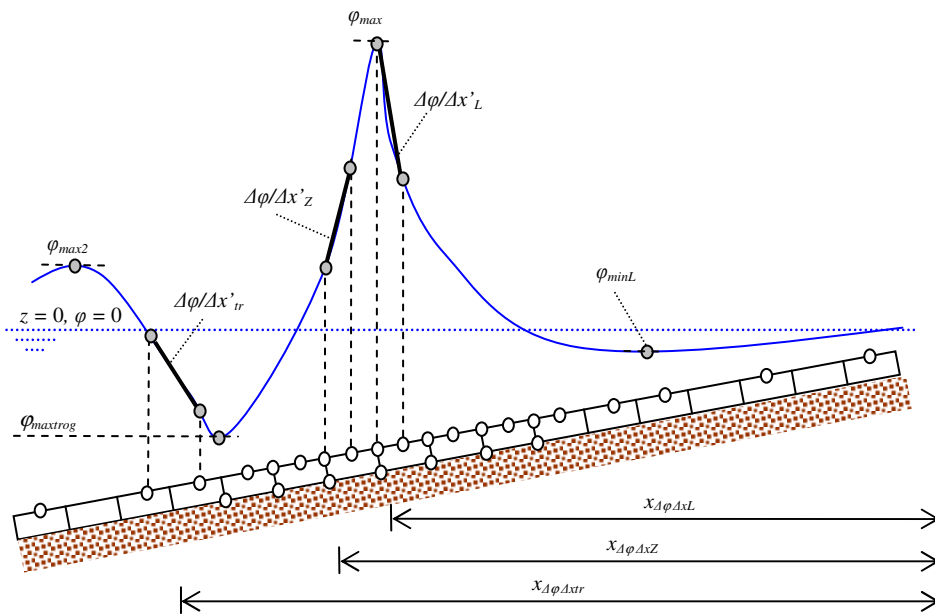
$$I_{\phi max} = \sum_{droZ}^{droL} \Delta B \sum_{t_1}^{t_2=t_1+t_k} p_{droX} \Delta t$$

waarin p_{droX} de druk in drukopnemer X is en drukopnemer X tussen drukopnemers Z en L ligt.

In de praktische uitwerking blijkt het niet eenvoudig te zijn om de golfklap geografisch op het talud af te bakenen. Het probleem dat zich voordoet is dat een golfklap vaak niet een geïsoleerde gebeurtenis op het talud is, maar dat de golfklap op de voet van het golffront neerkomt. In de zone waar de golfklap aanwezig is, was er dus vlak vóór de golfklap al een stijghoogte aanwezig van het stijghoogtefront en van de resterende waterlaag op het talud. In feite zou alleen de vermeerdering van de stijghoogte in de zone van de golfklap toegerekend moeten worden aan de impuls als gevolg van de golfklap. Dit maakt het echter zo gecompliceerd, dat daar voorlopig van af is gezien. Een praktische oplossing voor dit probleem is door te werken met de zone waarin de drukhoogte ($p/\rho g$; stijghoogte ten opzichte van het taludoppervlak) op het talud de helft van de maximale drukhoogte in de golfklap overschrijdt (50%-waarde in Figuur 4.7).

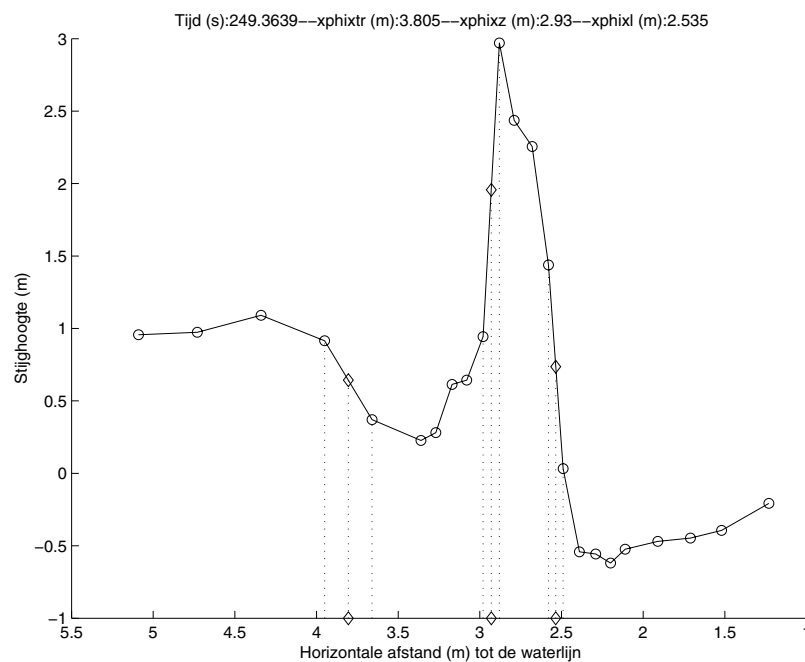
Gradiënten van de stijghoogte langs het talud op tijdstip t_{max}

Op tijdstip t_{max} worden de gradiënten van de stijghoogte langs het talud bepaald op een drietal locaties. Tussen $x_{\phi max2}$ en x_{Irog} , tussen x_{Irog} en $x_{\phi max}$ en tussen $x_{\phi max}$ en $x_{\phi minL}$ wordt gezocht naar de steilste (negatieve of positieve) gradiënten tussen 2 naast elkaar liggende drukopnemers. Deze gradiënten, respectievelijk $\Delta \phi / \Delta x'_{tr}$, $\Delta \phi / \Delta x'_Z$ en $\Delta \phi / \Delta x'_L$, worden opgeslagen, evenals de locaties waar ze optreden. Voor de locaties wordt de horizontale afstand van het midden tussen de drukopnemers waartussen de gradiënt optreedt en het snijpunt van het talud met de stilwaterlijn aangehouden, zie Figuur 4.15.



Figuur 4.15 Gradiënten van de golfklap

Voor een willekeurige golfklap in proef 23o11 is dit weergegeven in Figuur 4.16.



Figuur 4.16 Locaties van maximale gradiënten in een willekeurige golfklap in proef 23o11 (ruiten op horizontale as)

Maximale kracht van de golfklap op het talud rond tijdstip t_{max}

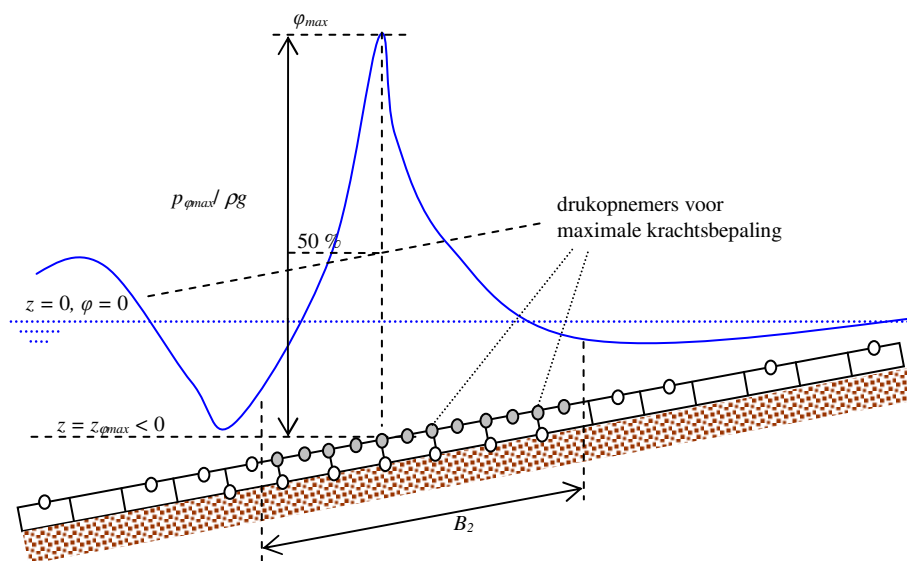
De kracht als gevolg van de golfklap wordt uitgerekend op het gebied met een breedte die hoort bij het laagst gekozen percentage bij de bepaling van de belaste strook. In dit geval is

dat 50 % en de bijbehorende breedte B_2 ligt tussen de zeewaartse locatie x_{BZ2} en de landwaartse locatie x_{BL2} , zie Figuur 4.7. De waarde van deze 50% is gekozen om dezelfde reden als bij impuls is uitgelegd, omdat hier dezelfde problematiek speelt.

De druk in elke drukopnemer in dat gebied wordt vermenigvuldigd met de representatieve oppervlakte rond die drukopnemer en gesommeerd voor al die drukopnemers, zie Figuur 4.17. Om de maximale kracht gedurende een golfklap te bepalen, dient bovenstaande bewerking uitgevoerd te worden gedurende een bepaald tijdsinterval, namelijk van t_1 tot t_2 , en dient de grootste waarde gedurende die periode als maximale kracht vastgelegd te worden.

Het representatieve oppervlak rond een drukopnemer wordt in de breedterichting bepaald door de afstand tussen de middens van de naastliggende drukopnemers.

Aangezien de metingen uit 2D Deltagootonderzoek gehaald worden, wordt voor de lengterichting (evenwijdig aan dijkas) per strekkende meter gerekend.



Figuur 4.17 Maximale kracht van de golfklap

5 Resultaten

Van de 27 geselecteerde proeven zijn er uiteindelijk 25 verwerkt met de software. De gewenste parameters zijn bepaald zowel voor het tijdstip waarop de stijghoogte maximaal is, als voor het tijdstip waarop het stijghoogteverschil maximaal is.

5.1 Controle drukopnemers

Voor elke proef is de werking van de drukopnemers gecontroleerd met behulp van een figuur vergelijkbaar met Figuur 4.1. Wanneer een drukopnemer niet of niet correct functioneerde, is de proef verwerkt met de software zonder het meetsignaal uit die drukopnemer. Tabel 5.1 laat de proeven zien waarvoor geconstateerd is, dat er drukopnemers niet of niet correct werkten:

Proef	Onjuist signaal
21o14	DRO 10
21o15	DRO 10
21o16	DRO 10
AS401	DRO 13, DRO 14, DRO 16
AS601	DRO 13, DRO 14, DRO 16

Tabel 5.1 Proeven bij welke drukopnemers geconstateerd zijn die niet of niet correct functioneerden

Proef AS203 en proef AS503 uit het Deltagootonderzoek in 1992 met de asfaltbekleding konden niet goed door de software verwerkt worden. Het is bij deze proeven niet duidelijk wat de originele meetsignalen voorstellen. Het is zeer waarschijnlijk geen druk of stijghoogte.

5.2 Uitvoer

De uitvoer is per proef naar drie files weggeschreven, namelijk een log-file (*.out), een project-file (*.prj) en een tekst-file (*.txt).

Log-file

In de log-file zijn een viertal waarden te vinden:

1. Het totaal aantal golven. Dit hangt af van het aantal nuldoorgangen van de meest zeewaartse drukopnemer, zie Paragraaf 4.2.
2. Het aantal golven waarin een golfklap is geconstateerd, zoals gedefinieerd in Paragraaf 2.1.

3. Het aantal golven waarin geen golfklap is gevonden, maar waarvan de maximale stijghoogte φ_{max} groter is dan de significante golfhoogte H_s .
4. Het totaal aantal golven zonder golfklap.

Het aantal golven met een golfklap (waarde 2) vermeerderd met het totaal aantal golven zonder golfklap (waarde 4), komt overeen met het totaal aantal golven (waarde 1). In Tabel 5.2 staat voor elke proef aangegeven wat deze 4 waarden zijn voor het tijdstip waarop de stijghoogte maximaal is.

Proef	Waarde 1: aantal golven	Waarde 2: aantal golven met golfklap	Waarde 3: aantal golven zonder golfklap maar $\varphi_{max} > H_s$	Waarde 4: aantal golven zonder golfklap
5o05	832	351	114	482
5o06	856	233	82	623
12ao07	881	355	99	526
12ao09	488	208	43	280
21o02	824	320	143	304
21o03	860	319	150	541
21o06	814	338	137	476
21o08	933	311	111	622
21o11	883	368	130	515
21o14	864	442	102	422
21o15	850	455	79	395
21o16	866	469	46	397
23o01	841	717	30	124
23o02	851	450	104	401
23o04	843	337	113	506
23o08	886	330	127	556
23o10	917	434	84	483
23o11	849	445	75	405
AS202	937	609	99	328
AS401	774	462	63	312
AS601	1099	484	170	615
w127	446	402	19	44
w128	428	302	59	126
w626	1009	202	109	807
w627	1026	294	122	732

Tabel 5.2 De 4 waarden in de log-file voor elke proef

Uit Tabel 5.2 blijkt dat het aantal golven zonder golfklap, dat wel een maximale stijghoogte heeft groter dan de significante golfhoogte (waarde 3), slechts orde 20 % is van het totaal aantal golven zonder golfklap (waarde 4). Een groot deel van de grotere stijghoogtes wordt dus kennelijk meegenomen door de software met behulp van de in Paragraaf 2.1 beschreven definitie.

In Bijlage A.1 is als voorbeeld de log-file van proef 23o11 weergegeven voor het tijdstip dat de stijghoogte maximaal is.

Project-file

In de project-file is informatie opgeslagen waarmee de resultaten van een bepaalde proef verwerkt zijn. Dit zijn onder andere:

- De naam en locatie van de invoer-files: de file met het meetsignaal van de proef en de file met de locatie van de drukopnemers en de golfcondities.
- De instellingen van bepaalde plots.
- De percentages waar bepaalde parameters mee bepaald worden.
- Het criterium waarmee het maatgevend tijdstip t_{max} bepaald is.

De project-file is voor elke proef hetzelfde, afgezien van de naam en de locatie van de invoer-files. In Bijlage A.2 is als voorbeeld de project-file van proef 23o11 weergegeven voor het tijdstip dat de stijghoogte maximaal is.

Tekst-file

In de tekst-file zijn de resultaten van de software in tabelvorm weggeschreven. Per kolom in de tabel is een parameter weergegeven, zie Tabel 5.3. Het aantal rijen in de tabel met resultaten komt overeen met het aantal geregistreerde golfklappen.

In Bijlage A.3 is een deel van de tabel weergegeven voor proef 23o11 voor het tijdstip waarop de stijghoogte maximaal is. Vóór de tabel is een figuur bijgevoegd waarin afgelezen kan worden in welke kolommen in de tabel bepaalde parameters terug te vinden zijn. Wanneer een bepaalde parameter niet kon worden bepaald voor een golfklap, dan is de waarde -99 ingevuld in de tabel.

In kolom 15 is te zien, dat een percentage van 20 % als eerste percentage voor de breedtebepaling leidt tot heel weinig breedtes. Bij de bepaling van de maximale kracht en impuls werd in eerste instantie uitgegaan van deze breedte. Aangezien dit tot heel weinig informatie over de maximale kracht en impuls leidde, zijn de maximale kracht en impuls nu gebaseerd op een breedte behorend bij 50 % van de belasting.

Kolom	Parameter	Dim	Kolom	Parameter	Dim	Kolom	Parameter	Dim
1	Golfklap nr	-	19	x_{BZ3}	m	37	$x_{\phi minL}$	m
2	Begintijd	s	20	x_{BL3}	m	38	t_1	s
3	Eindtijd	s	21	B_3	m	39	t_2	s
4	t_{max}	s	22	$x_{BZtrog1}$	m	40	Golfklapduur	s
5	ϕ_{max}	m	23	$x_{BLtrog1}$	m	41	t_3	s
6	$x_{\phi max}$	m	24	B_{trog1}	m	42	t_4	s
7	ϕ_{trog}	m	25	$x_{BZtrog2}$	m	43	Stijgtijd	s
8	x_{trog}	m	26	$x_{BLtrog2}$	m	44	$x_{\Delta\phi\Delta xtr}$	m
9	ϕ_{max2}	m	27	B_{trog2}	m	45	$\Delta\phi\Delta x_{tr}$	m/m
10	$x_{\phi max2}$	m	28	$x_{BZtrog3}$	m	46	$x_{\Delta\phi\Delta xZ}$	m
11	d_{trogL}	m	29	$x_{BLtrog3}$	m	47	$\Delta\phi\Delta x_Z$	m/m
12	d_{trogZ}	m	30	B_{trog3}	m	48	$x_{\Delta\phi\Delta xL}$	m
13	x_{BZ1}	m	31	$x_{BZtrog4}$	m	49	$\Delta\phi\Delta x_L$	m/m
14	x_{BL1}	m	32	$x_{BLtrog4}$	m	50	MaxKracht	kN
15	B_1	m	33	B_{trog4}	m	51	MaxKrachtTijd	s
16	x_{BZ2}	m	34	$x_{\Delta\phi}$	m	52	Impuls	kNs
17	x_{BL2}	m	35	$\phi_{max\Delta\phi}$	m			
18	B_2	m	36	ϕ_{minL}	m			

Tabel 5.3 Kolomindeling in de tabel waarin de resultaten zijn opgeslagen

Grafische weergave van uitvoer

In Bijlage C is voor elke proef voor het tijdstip waarop de stijghoogte maximaal is in een grafiek de verdeling van de maximale stijghoogtes weergegeven. De onderschrijdingskans op de verticale as is berekend op basis van het aantal inkomende golven. Het aantal inkomende golven hangt af van het aantal nuldoorgangen van de meest zeewaartse drukopnemer, zie Paragraaf 4.2. Bijvoorbeeld in proef 23o11 zijn dat er 849. In de bovenste grafiek in Figuur C.18 is voor proef 23o11 de verdeling van maximale stijghoogtes weergegeven. Uit die grafiek valt onder andere op te maken, dat meer dan 45 % van alle inkomende golven een golfklap heeft, omdat de kromme aan de linkerkant begint bij ruim 45 %. Tevens blijkt dat 90 % van de inkomende golven een stijghoogte heeft van minder dan ongeveer 2.6 m en dat 50 % van de inkomende golven een stijghoogte heeft van minder dan ongeveer 0.55 m.

Tevens is in Bijlage C voor elke proef voor het tijdstip waarop de stijghoogte maximaal is in een grafiek de verdeling van de stijgtijd weergegeven. Bijvoorbeeld in de onderste grafiek in Figuur C.18 is de verdeling van de stijgtijd weergegeven voor de inkomende golven in proef 23o11. Het blijkt dat 90 % van de inkomende golven een golfklap met een stijgtijd heeft van meer dan ongeveer 40 ms en dat 50 % van de inkomende golven een golfklap met een

stijgtijd heeft van meer dan ongeveer 1.5 s. Opvallend is dat er ook stijgtijden geregistreerd zijn van meer dan 2 seconde.

Literatuur

Coeveld, E.M. (2003), Invloed van golfklappen op stabiliteit: literatuurstudie. WL | Delft Hydraulics, (concept) rapport nr. H4134.

Derks, H. en M. Klein Breteler (1992), Gedrag van asfaltbekleding onder golfaanval. Verslag modelonderzoek in Deltagoot. WL | Delft Hydraulics, rapport nr. H1480.

Klein Breteler, M. (1995), Handboek belastingen op waterbouwkunde constructies. WL | Delft Hydraulics, (concept).

Klein Breteler, M. (2000), Grootschalig modelonderzoek naar stabiliteit van taludbekledingen. Meetverslag van Deltagootonderzoek. WL | Delft Hydraulics, rapport nr. H3272.

Klein Breteler, M. (2003), Dwarskracht in ingegoten basalt tijdens golfaanval. WL | Delft Hydraulics, rapport nr. H4134.

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

Wouters, J. (1991), Taludbekledingen van gezette steen. Eindverificatie onderzoek Deltagoot. WL | Delft Hydraulics, rapport nr. M1795/H195 deel XXII.

A Uitvoer

- A.1 Log-file
- A.2 Project-file
- A.3 Tekst-file

A.1 Log-file

01-Dec-2003

Aantal golven

849

Aantal golfklappen

445

Aantal golven die niet geselecteerd zijn maar waarvan Phi groter is dan Hs

75

Aantal afgekeurde golven, inclusief de golven waarvan Phi groter is dan Hs

405

END

A.2 Project-file

```
%configuratie file
D:\...\_AnalyseWave_\23o11.txt
%data file
D:\...\_AnalyseWave_\23O11.ASC
%Aantal gemeten golven

%Tm factor
5.000000e-001
%switch alle punten
1
%start punt

%aantal intervallen

%aantal punten
3.000000e+003
%aantal begin en eind punten
3.000000e+003
%methode 1 stijghoogte
1
%methode 2 stijghoogteverschil
0
%factor Hs
2.500000e-001
%factor Drukken
1.000000e-001
%plot golfklappen
1
%modulo plot
2
%blokdikte
2.000000e-001
%lijn1 phimax
2.000000e-001
%lijn2 phimax
5.000000e-001
%lijn3 phimax
8.000000e-001
%lijn1 phitrog
2.000000e-001
%lijn2 phitrog
5.000000e-001
%lijn3 phitrog
```

8.000000e-001

%lijn4 phitrog

%lijn1 duur

5.000000e-001

%lijn2 duur

8.000000e-001

%lijn1 stijgtijd

5.000000e-001

%lijn2 stijgtijd

8.000000e-001

%plot stijghoogte verschil

1

%plot phi max

0

%plot phi trog

0

%plot stijgduur

0

%plot stijgtijd

0

%plot kracht

0

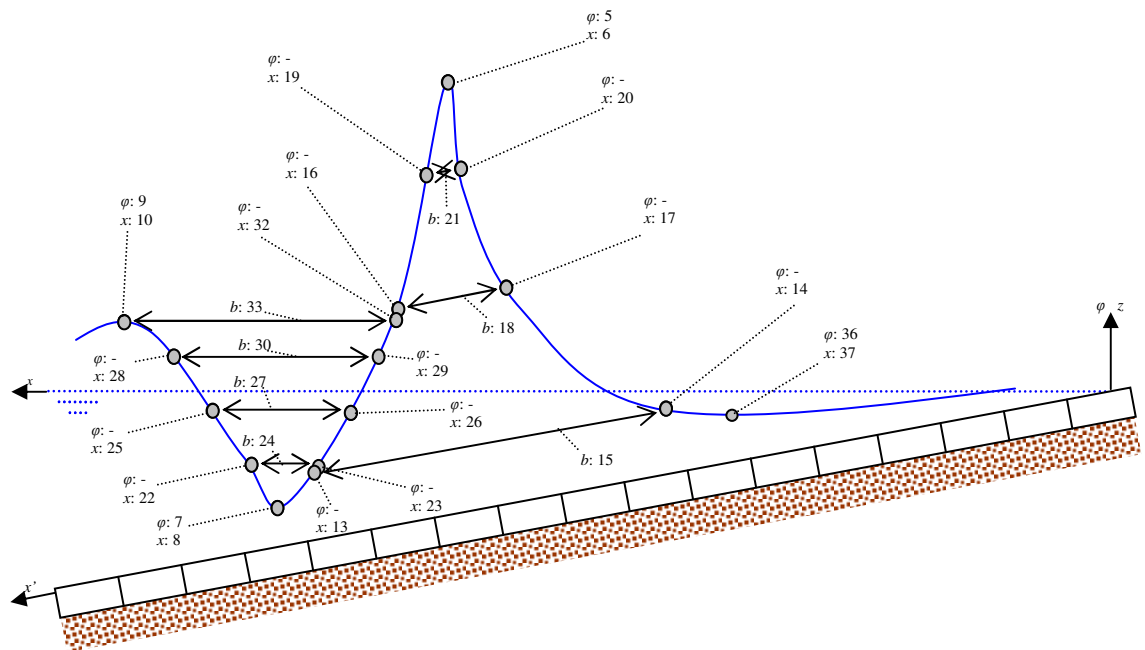
%plot gradient

0

%modulo

A.3 Tekst-file

In onderstaande figuur zijn de parameters weergegeven die de belasting beschrijven tijdens de golfklap. De getallen geven weer in welke kolom in de tabel de stijghoogte (φ), de locatie (x) en/of de breedte (b) terug te vinden zijn.

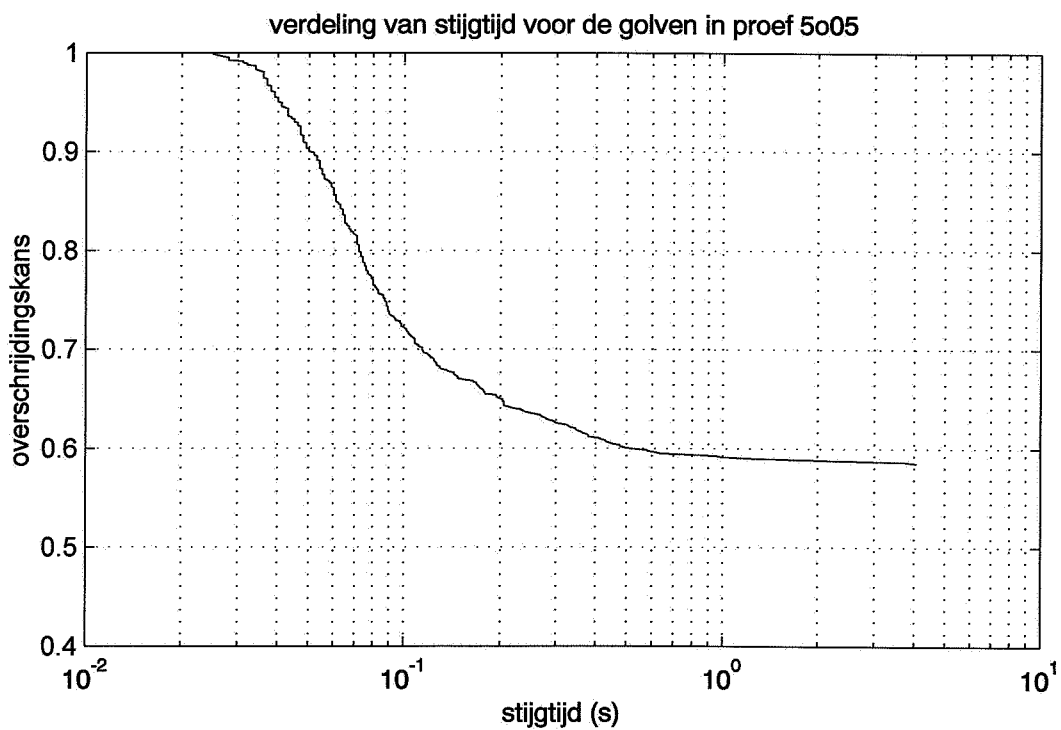
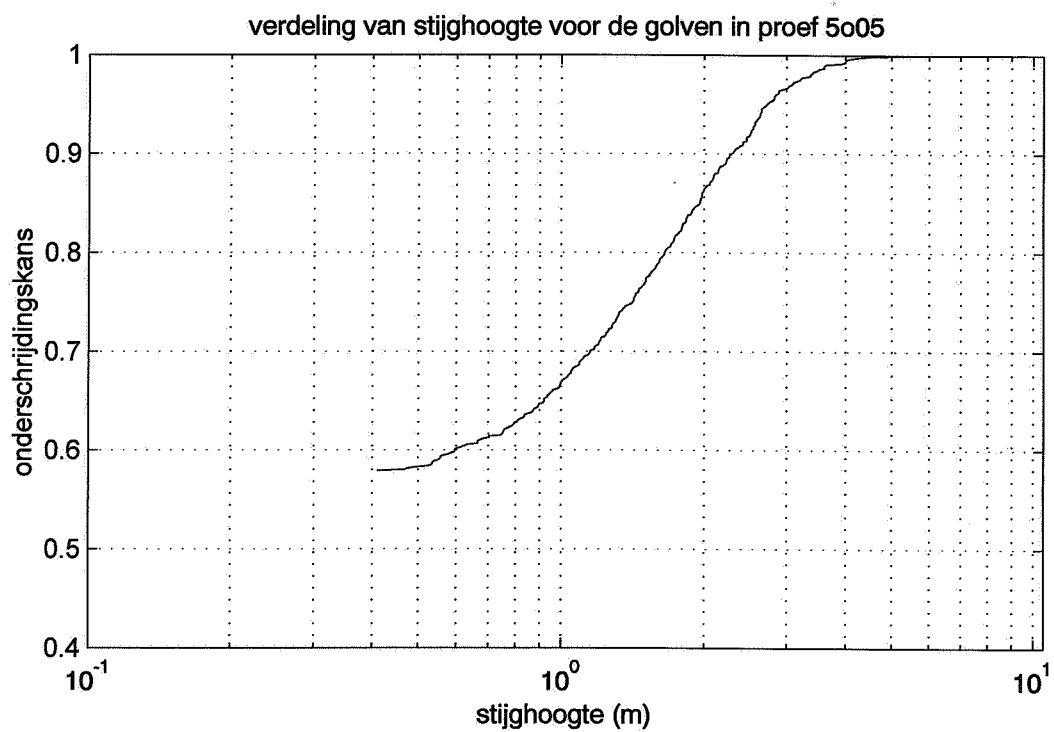


Golf	BeginnJd	EndJd	TMax	PhiMax	PhiMax2	XphiMaxTrog	PhiMax2	XphiMax2	dPhiMaxTrogL	XphiMax2	PhiMax2	XphiMax2	BphiMax1	XBLphiMax1	BphiMax1	XBLphiMax1	XBLphiMax2	BphiMax2	XBLphiMax2	XBLphiMax3	BphiMax3	XBLphiMaxTrog1	BphiMaxTrog1	XBLphiMaxTrog1	XBLphiMaxTrog2	BphiMaxTrog2	XBLphiMaxTrog2	BphiMaxTrog2	XBLphiMaxTrog3	BphiMaxTrog3	XBLphiMaxTrog3	BphiMaxTrog3	XBLphiMaxTrog4
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31			
1	506	10.81	8.16	4.40	3.08	0.37	3.66	1.14	4.34	4.03	0.77	-99.00	2.62	-99.00	3.31	2.73	0.61	3.19	2.87	0.33	3.98	3.61	0.38	4.12	3.54	0.60	3.46	0.82	4.34				
2	1163	17.39	15.50	1.29	1.52	-0.30	2.29	1.09	2.88	1.59	1.39	-99.00	-99.00	-99.00	1.93	-99.00	-99.00	1.77	1.27	0.52	2.38	2.05	0.34	2.52	1.90	0.64	2.85	1.79	1.10	2.88			
3	1736	22.67	20.24	2.14	2.79	-0.40	3.36	0.48	5.09	2.54	0.88	2.95	2.25	0.72	2.85	2.36	0.50	2.81	2.53	0.29	3.43	2.92	0.53	3.53	2.87	0.69	3.64	2.86	0.81	5.09			
4	23.11	28.87	26.16	4.21	2.88	0.89	3.95	1.48	4.73	3.32	0.59	-99.00	2.31	-99.00	3.59	2.44	1.20	3.26	2.67	0.62	4.04	3.77	0.29	4.18	3.64	0.56	4.32	3.61	0.74	4.73			
5	29.51	35.27	32.54	10.25	2.88	1.67	4.34	2.58	4.73	8.58	0.91	-99.00	1.71	-99.00	3.28	1.99	1.35	3.05	2.31	0.77	4.42	3.66	0.79	4.54	3.60	0.97	4.65	3.55	1.15	4.73			
6	35.54	41.29	38.42	2.54	3.95	0.23	4.73	1.63	5.09	2.31	1.41	-99.00	3.48	-99.00	4.50	3.71	0.83	4.12	3.85	0.28	4.80	4.53	0.28	4.91	4.31	0.63	5.02	4.21	0.84	5.09			
7	41.99	47.74	44.86	3.35	3.95	-1.05	4.73	0.17	5.09	4.40	1.22	4.49	3.36	1.17	4.22	3.53	0.73	4.06	3.72	0.36	4.80	4.64	0.17	4.91	4.51	0.42	5.02	4.38	0.67	5.09			
8	48.56	54.31	52.92	1.09	2.58	0.31	2.79	0.56	3.95	0.78	0.25	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	1.40	-99.00	2.65	2.50	0.15	2.94	2.76	0.19	3.09	2.73	0.38	3.14	2.89	0.47	3.95			
9	93.69	99.37	97.86	1.15	1.23	0.09	1.52	0.67	1.91	1.06	0.58	-99.00	-99.00	-99.00	1.46	-99.00	-99.00	1.32	-99.00	-99.00	1.56	1.49	0.08	1.63	1.44	0.19	1.69	1.39	0.31	1.91			
10	107.46	113.21	110.93	0.68	2.68	-0.19	3.08	0.36	3.66	0.87	0.55	-99.00	2.49	-99.00	2.92	2.53	0.41	2.81	2.56	0.26	3.18	2.89	0.31	3.26	2.85	0.42	3.33	2.82	0.53	3.66			
11	115.67	121.42	119.09	1.72	2.68	-0.66	3.36	0.36	5.09	2.39	1.03	2.88	2.18	0.73	2.77	2.42	0.36	2.72	2.61	0.11	3.45	3.04	0.43	3.59	2.84	0.78	2.90	1.32	5.09				
12	128.64	133.18	131.69	0.83	1.71	0.07	1.91	0.38	2.20	0.76	0.31	-99.00	-99.00	-99.00	1.90	1.35	0.57	1.79	1.60	0.19	1.95	1.89	0.06	2.02	1.87	0.15	2.08	1.85	0.25	2.20			
13	156.79	162.54	159.61	2.21	3.95	0.57	4.73	0.63	5.09	1.64	0.06	-99.00	3.65	-99.00	-99.00	3.77	-99.00	4.39	3.88	0.53	4.80	4.73	0.08	4.91	4.72	0.20	5.02	4.71	0.32	5.09			
14	163.88	169.63	166.95	1.12	1.71	-0.68	3.36	0.07	4.34	1.80	0.75	2.08	1.31	0.80	1.97	1.56	0.42	1.82	1.65	0.18	3.46	3.28	0.18	3.61	3.12	0.51	3.97	3.01	1.00	4.34			
15	173.77	179.50	177.57	0.96	2.20	-0.15	2.68	0.44	2.88	1.11	0.59	-99.00	1.94	-99.00	2.35	2.04	0.32	2.24	2.14	0.11	2.71	2.49	0.23	2.76	2.33	0.44	2.82	2.28	0.56	2.88			
16	194.33	200.09	198.00	0.63	1.23	-0.01	2.29	0.44	2.88	0.64	0.45	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	1.35	-99.00	-99.00	2.32	2.22	0.10	2.36	1.97	0.41	2.65	1.38	1.32	2.88			
17	201.18	206.93	205.67	0.97	1.52	0.25	2.20	0.63	3.27	0.71	0.38	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	1.73	1.30	0.45	2.40	2.13	0.28	2.83	1.96	0.91	3.03	1.81	1.26	3.27			
18	224.17	229.08	227.42	0.84	1.91	-0.28	2.20	1.17	3.08	1.12	0.45	-99.00	1.73	-99.00	2.05	1.80	0.26	1.97	1.87	0.11	2.23	2.11	0.11	2.23	2.27	2.08	0.19	2.42	2.06	0.38	3.08		
19	246.14	251.89	249.36	2.97	2.88	0.23	3.36	1.09	4.34	2.74	0.86	-99.00	2.49	-99.00	2.98	2.56	0.43	2.92	2.69	0.24	3.68	3.23	0.46	3.81	3.08	0.77	3.96	2.99	1.01	4.34			
20	258.34	264.10	261.39	1.76	3.36	-0.14	3.17	0.35	3.95	0.54	0.34	1.91	0.69	-99.00	3.61	2.93	0.71	3.46	3.01	0.47	4.03	3.74	0.30	4.15	3.63	0.53	4.26	3.60	0.69	4.34			
21	264.34	270.10	267.67	3.56	2.29	0.44	3.17	1.08	3.95	3.13	0.64	-99.00	2.00	-99.00	2.86	2.14	0.74	2.77	2.24	0.55	3.41	3.02	0.41	3.53	2.94	0.61	3.64	2.88	0.79	-99.00			
22	271.46	277.21	274.24	1.98	3.95	-0.47	4.73	0.08	5.09	2.44	0.55	-99.00	3.66	-99.00	4.48	3.77	0.74	4.15	3.88	0.29	4.80	4.69	0.11	4.91	4.64	0.28	5.02	4.58	0.45	5.09			
23	277.94	283.49	280.79	2.39	3.27	-0.30	3.95	0.66	4.73	2.69	0.96	-99.00	2.89	-99.00	3.59	2.98	0.63	3.39	3.14	0.26	4.03	3.85	0.19	4.15	3.70	0.47	4.26	3.62	0.67	-99.00			
24	284.90	290.66	289.22	1.03	2.20	-0.05	2.58	0.53	3.27	1.07	0.58	-99.00	-99.00	-99.00	2.53	-99.00	-99.00	2.25	2.11	0.15	2.63	2.54	0.09	2.72	2.48	0.25	2.87	2.43	0.46	-99.00			
25	296.71	301.02	299.58	1.56	1.52	-0.11	1.91	0.53	2.49	1.67	0.64	-99.00	-99.00	-99.00	1.76	1.34	0.44	1.62	1.45	0.18	2.13	1.88	0.26	2.17	1.83	0.35	2.23	1.78	0.47	2.49			
26	310.50	316.25	314.84	0.91	1.23	-0.21	1.52	0.60	1.71	1.12	0.81	1.52	-99.00	-99.00	1.41	-99.00	-99.00	1.30	-99.00	-99.00	1.56	1.48	0.08	1.62	1.42	0.21	1.67	1.35	0.33	1.71			
27	323.69	329.44	327.61	1.77	1.23	-0.38	1.71	0.84	2.20	2.15	1.22	1.62	-99.00	-99.00	1.46	-99.00	-99.00	1.32	-99.00	-99.00	1.89	1.65	0.25	1.99	1.56	0.45	2.07	1.67	0.62	2.20			
28	344.20	349.95	347.20	3.83	2.98	-0.36	3.95	0.52	4.73	4.20	0.89	3.72	2.62	1.14	3.53	2.72	0.84	3.07	2.82	0.25	4.09	3.78	0.32	4.30	3.65	0.68	4.55	3.62	0.97	4.73			
29	349.93	353.03	352.51	0.30	1.71	-0.12	1.91	0.14	2.20	0.42	0.26	-99.00	1.54	-99.00	-99.00	1.61	-99.00	1.80	1.67	0.14	1.95	1.89	0.07	2.02	1.85	0.18	2.08	1.81	0.28	2.20			
30	371.58	376.99	374.60	1.71	1.91	-0.43	3.17	0.47	5.09	2.14	0.90	2.11	1.58	0.55	2.03	1.75	0.29	1.96	1.85	0.12	3.51	2.22	1.34	3.79	2.09	1.77	4.36	2.06	2.39	5.09			
31	376.96	381.90	380.28	0.77	2.29	-0.05	2.49	0.60	2.68	0.82	0.65	-99.00	-99.00	-99.00	2.48	1.69	0.83	2.42	2.09	0.34	2.51	2.47	0.04	2.54	2.44	0.10	2.57	2.41	0.16	2.68			
32	389.34	394.00	392.14	0.80	2.20	-0.22	2.29	0.21	5.09	1.02	0.43	-99.00	1.97	-99.00	2.27	2.09	0.19	2.23	2.16	0.07	2.33	2.28	0.05	3.00	2.27	0.76	4.04	2.26	1.85	5.09			
33	395.31	401.07	398.46	2.15	2.98	0.03	3.66	0.90	4.34	2.12	0.87	-99.00	2.61	-99.00	3.31	2.71	0.62	3.20	2.79	0.43	3.76	3.40	0.37	3.90	3.32	0.60	4.14	3.28	0.90	4.34			
34	406.65	412.00	410.47	1.30	1.71	0.16	2.11	0.71	2.29	1.14	0.54	-99.00	1.54	-99.00	2.06	1.61	0.48	1.86	1.67	0.19	2.21	2.07	0.14	2.24	2.02	0.23	2.27	1.96	0.32	2.29			
35	414.98	420.73	417.88	6.16	3.27	0.33	4.73	1.33	5.09	5.83	1.00	-99.00	2.80	-99.00	3.58	2.94	0.66	3.35	3.11	0.25	4.80	3.93	0.91	4.91	3.86	1.09	5.02	3.79	1.28	5.09			
36	421.40	427.16	426.01	1.15	2.20	0.39	2.68	0.61	4.73	0.76	0.22	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	1.46	-99.00	2.42	1.93	0.51	2.79	2.66	0.13	3.26	2.63	0.66	3.35	2.61	0.78	4.73			
37	428.12	433.88	431.69	1.06	1.71	-0.02	1.91	0.55	2.11	1.08	0.57	-99.00	1.30	-99.00	1.86	1.54	0.34	1.77	1.64	0.13	1.95	1.89	0.06	2.01	1.86	0.16	2.07	1.83	0.25	2.11			
38	442.73	448.48	447.32	1.23	1.23	0.40	1.52	0.77	2.58	0.83	0.37	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	1.35	-99.00	-99.00	1.92	1.49	0.45	2.31	1.46	0.89	2.36	1.42	0.98	2.58			
39	448.95	454.71	451.91	3.32	3.36	-0.11	4.34	0.86	5.09	3.43	0.98	-99.00	3.05	-99.00	3.59	3.17	0.45	3.45	3.30	0.16	4.42	3.87	0.57	4.55	3.71	0.87	4.67	3.64	1.08	5.09			
40	460.66	466.41	464.50	1.31	1.91	0.32	2.49	0.88	3.08	0.99	0.56	-99.00	1.57	-99.00	-99.00	1.72	-99.00	2.00	1.83	0.17	2.54	2.34	0.21	2.61	2.07	0.56	2.66	2.03	0.65	3.08			
41	466.39	472.04	469.54	4.63	2.39	-0.07	3.3																										

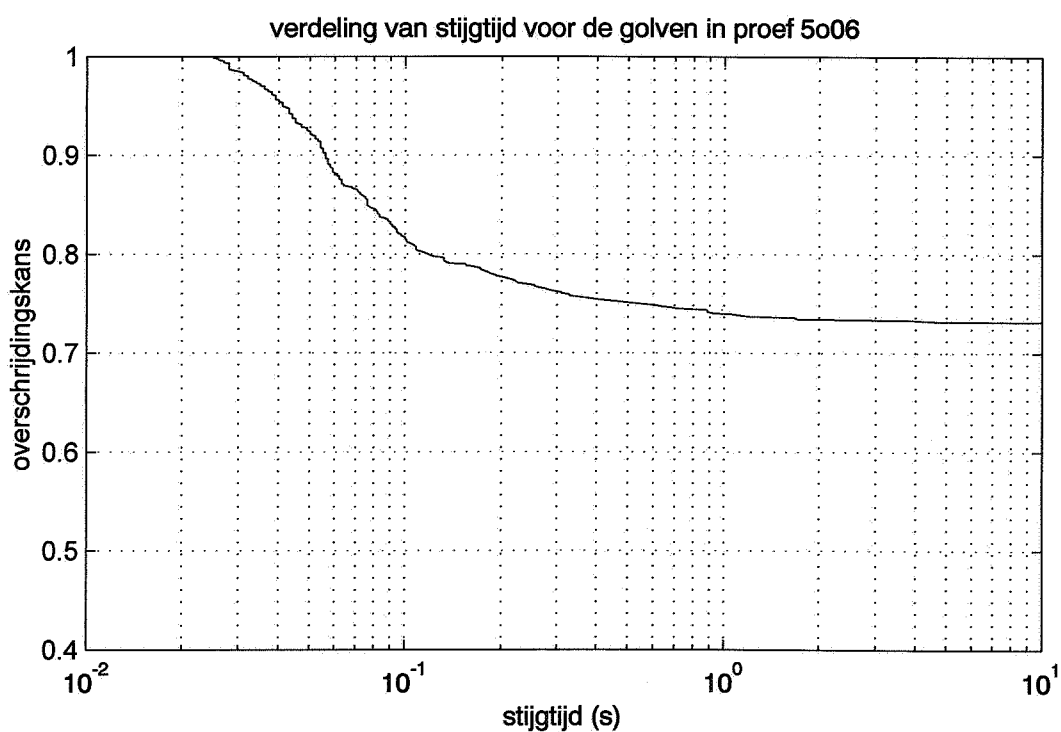
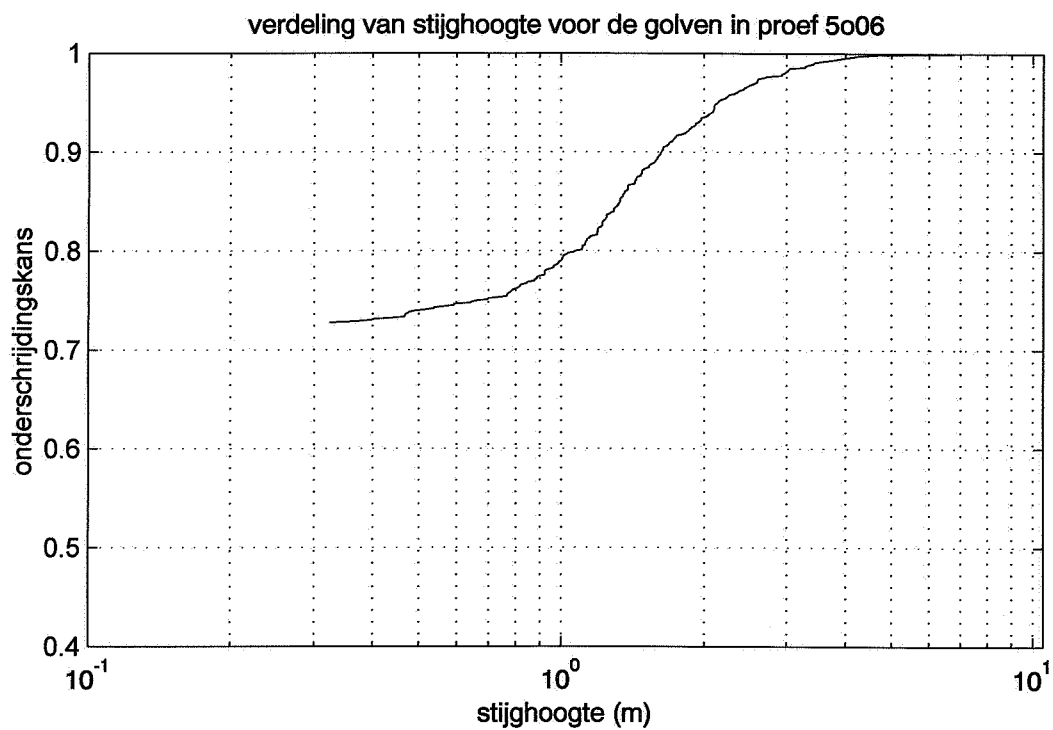
B Onderzoeksprogramma

C Verdeling van stijghoogte en stijgtijd

Figuur C.1	Verdeling van stijghoogte en stijgtijd in proef 5o05
Figuur C.2	Verdeling van stijghoogte en stijgtijd in proef 5o06
Figuur C.3	Verdeling van stijghoogte en stijgtijd in proef 12ao07
Figuur C.4	Verdeling van stijghoogte en stijgtijd in proef 12ao09
Figuur C.5	Verdeling van stijghoogte en stijgtijd in proef 21o02
Figuur C.6	Verdeling van stijghoogte en stijgtijd in proef 21o03
Figuur C.7	Verdeling van stijghoogte en stijgtijd in proef 21o06
Figuur C.8	Verdeling van stijghoogte en stijgtijd in proef 21o08
Figuur C.9	Verdeling van stijghoogte en stijgtijd in proef 21o11
Figuur C.10	Verdeling van stijghoogte en stijgtijd in proef 21o14
Figuur C.11	Verdeling van stijghoogte en stijgtijd in proef 21o15
Figuur C.12	Verdeling van stijghoogte en stijgtijd in proef 21o16
Figuur C.13	Verdeling van stijghoogte en stijgtijd in proef 23o01
Figuur C.14	Verdeling van stijghoogte en stijgtijd in proef 23o02
Figuur C.15	Verdeling van stijghoogte en stijgtijd in proef 23o04
Figuur C.16	Verdeling van stijghoogte en stijgtijd in proef 23o08
Figuur C.17	Verdeling van stijghoogte en stijgtijd in proef 23o10
Figuur C.18	Verdeling van stijghoogte en stijgtijd in proef 23o11
Figuur C.19	Verdeling van stijghoogte en stijgtijd in proef AS202
Figuur C.20	Verdeling van stijghoogte en stijgtijd in proef AS401
Figuur C.21	Verdeling van stijghoogte en stijgtijd in proef AS601
Figuur C.22	Verdeling van stijghoogte en stijgtijd in proef w127
Figuur C.23	Verdeling van stijghoogte en stijgtijd in proef w128
Figuur C.24	Verdeling van stijghoogte en stijgtijd in proef w626
Figuur C.25	Verdeling van stijghoogte en stijgtijd in proef w627



Verdeling van stijghoogte en stijgtijd in proef 5o05	H4328	
	Kwantificering golfklap	
WL DELFT HYDRAULICS	27-11-2003	Fig. C.1



Verdeling van stijghoogte en stijgtijd in proef 5o06

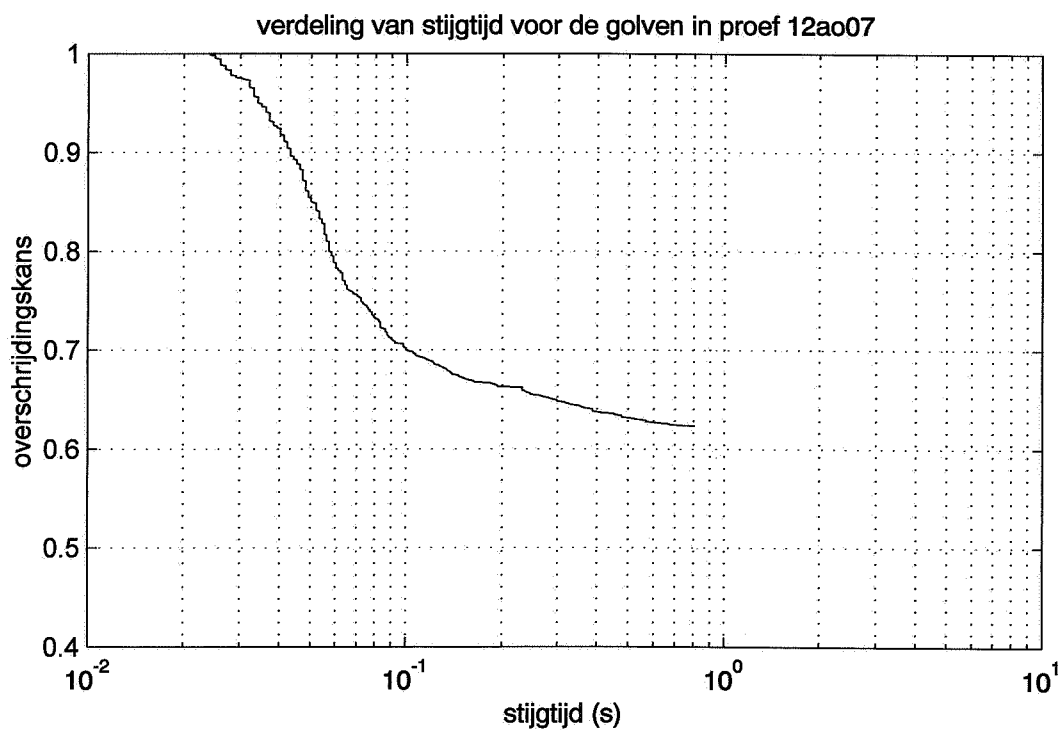
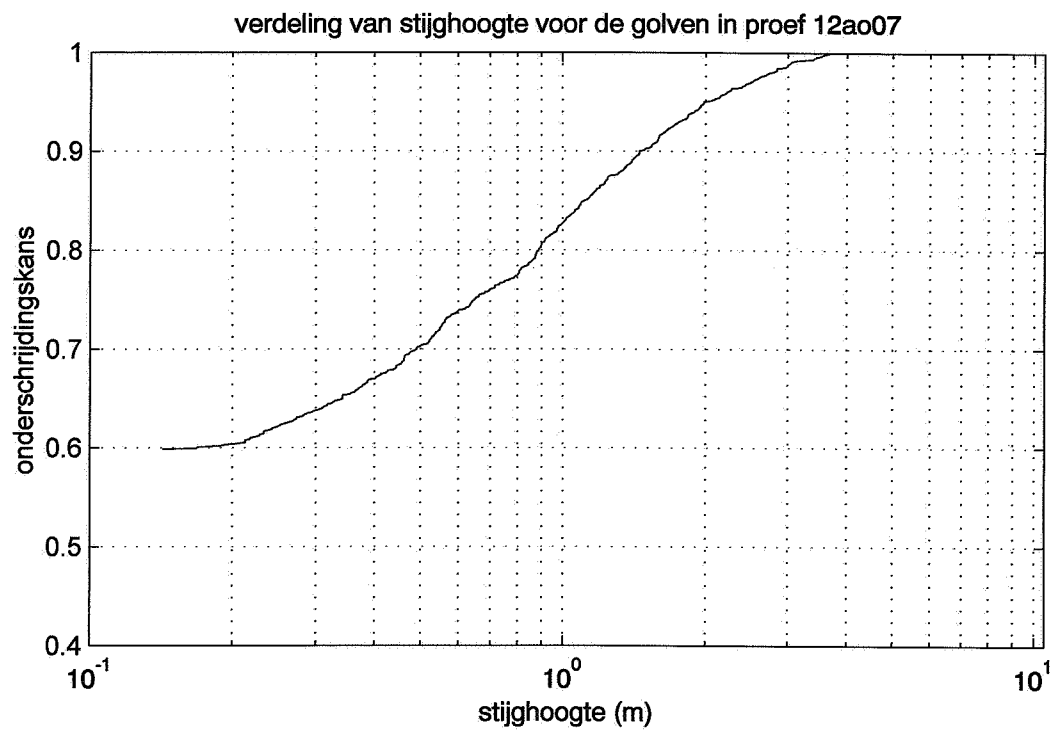
H4328

Kwantificering golfklap

WL | DELFT HYDRAULICS

27-11-2003

Fig. C.2



Verdeling van stijghoogte en stijgtijd in proef 12ao07

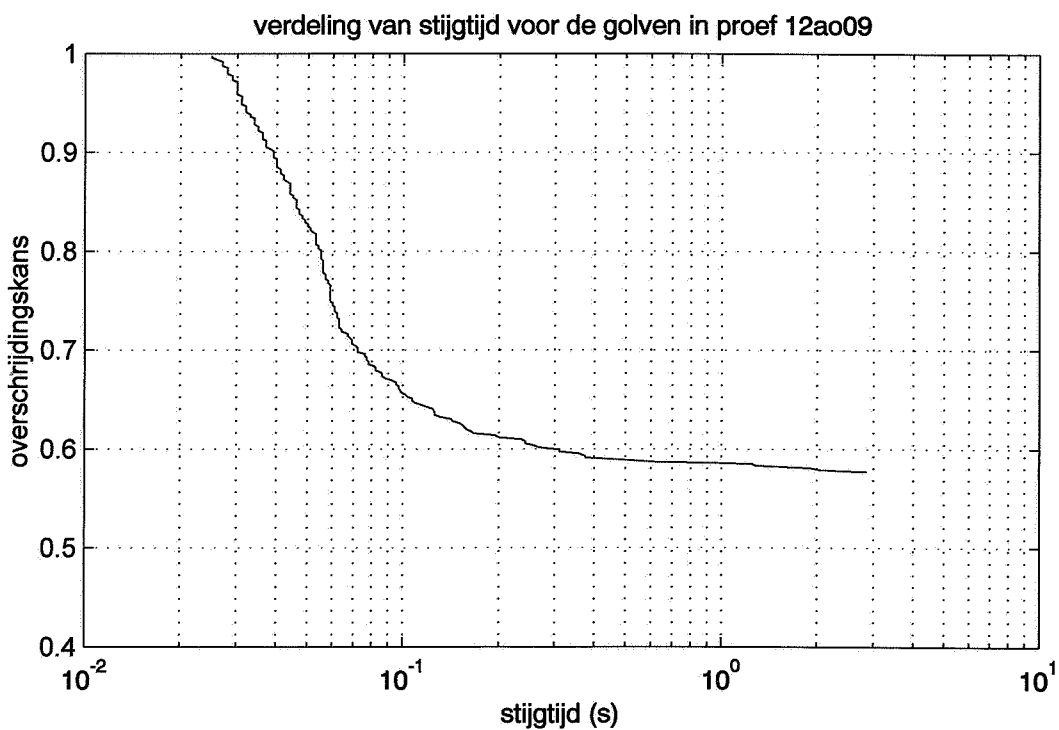
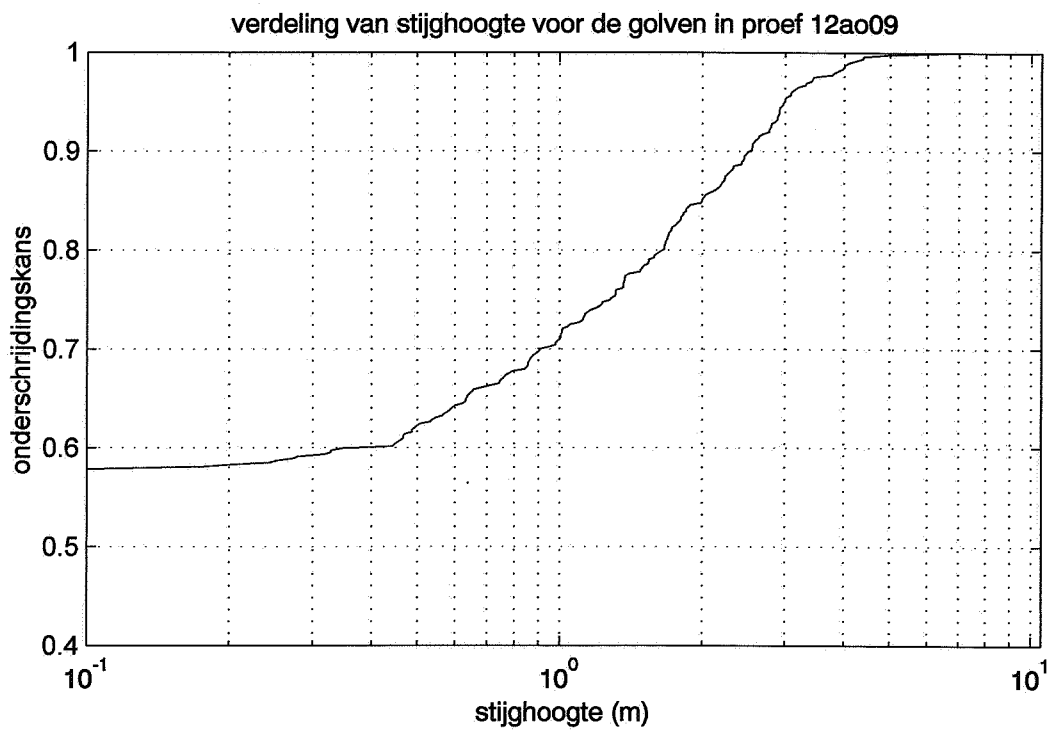
H4328

Kwantificering golfklap

WL | DELFT HYDRAULICS

27-11-2003

Fig. C.3



Verdeling van stijghoogte en stijgtijd in proef 12ao09

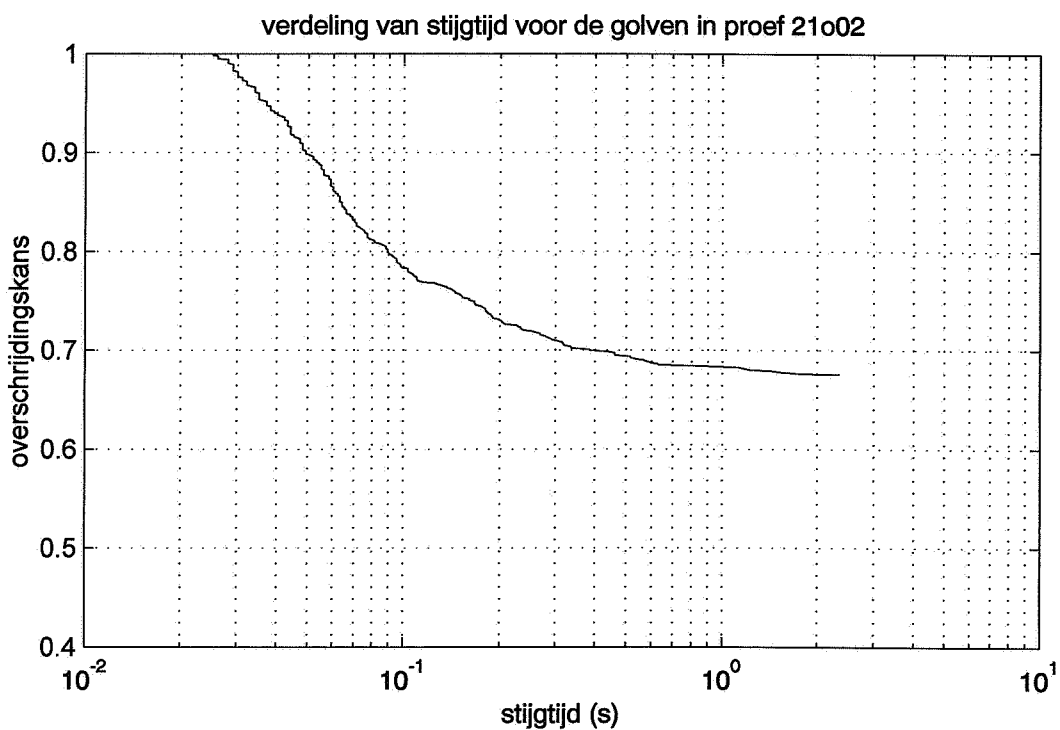
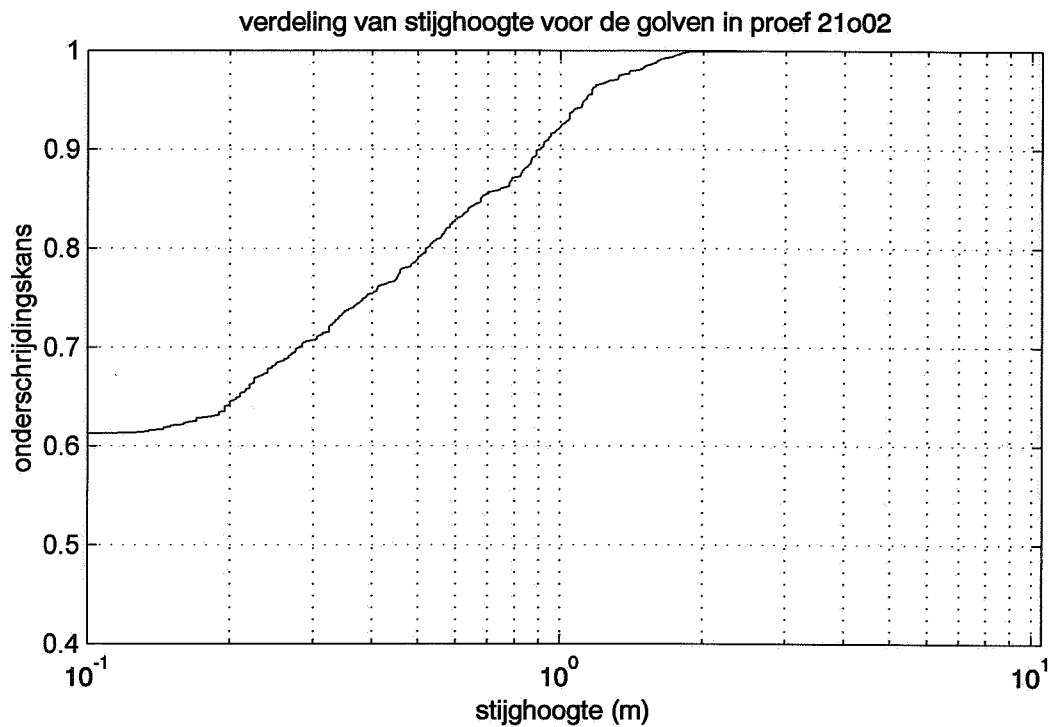
H4328

Kwantificering golfklap

WL | DELFT HYDRAULICS

27-11-2003

Fig. C.4



Verdeling van stijghoogte en stijgtijd in proef 21o02

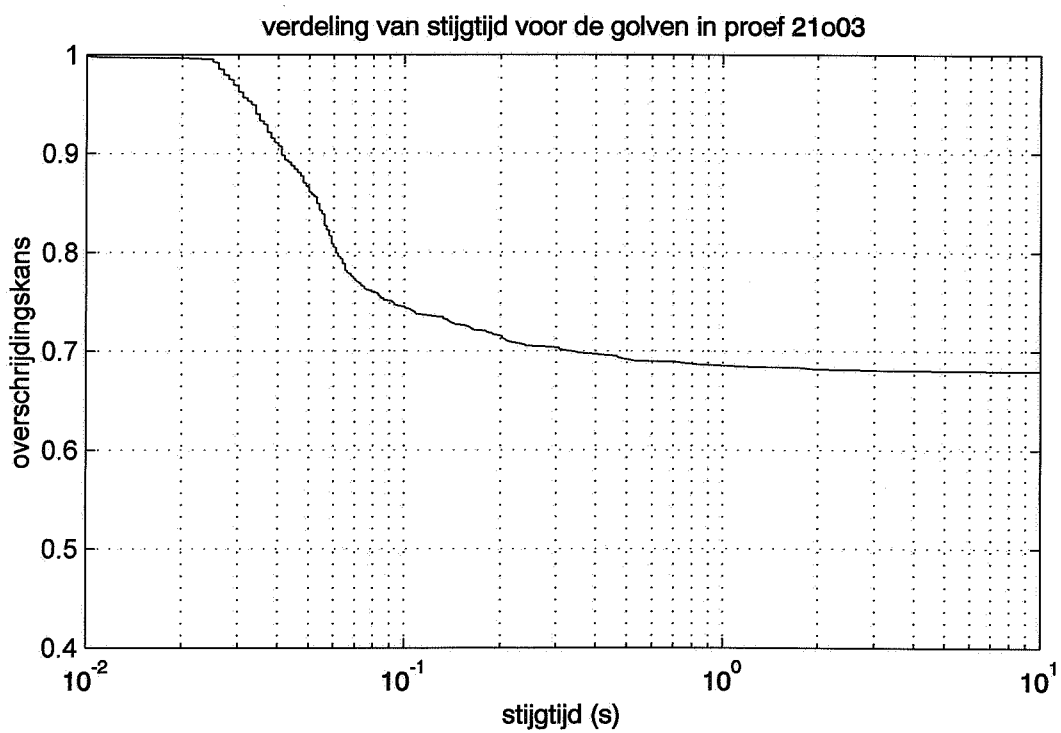
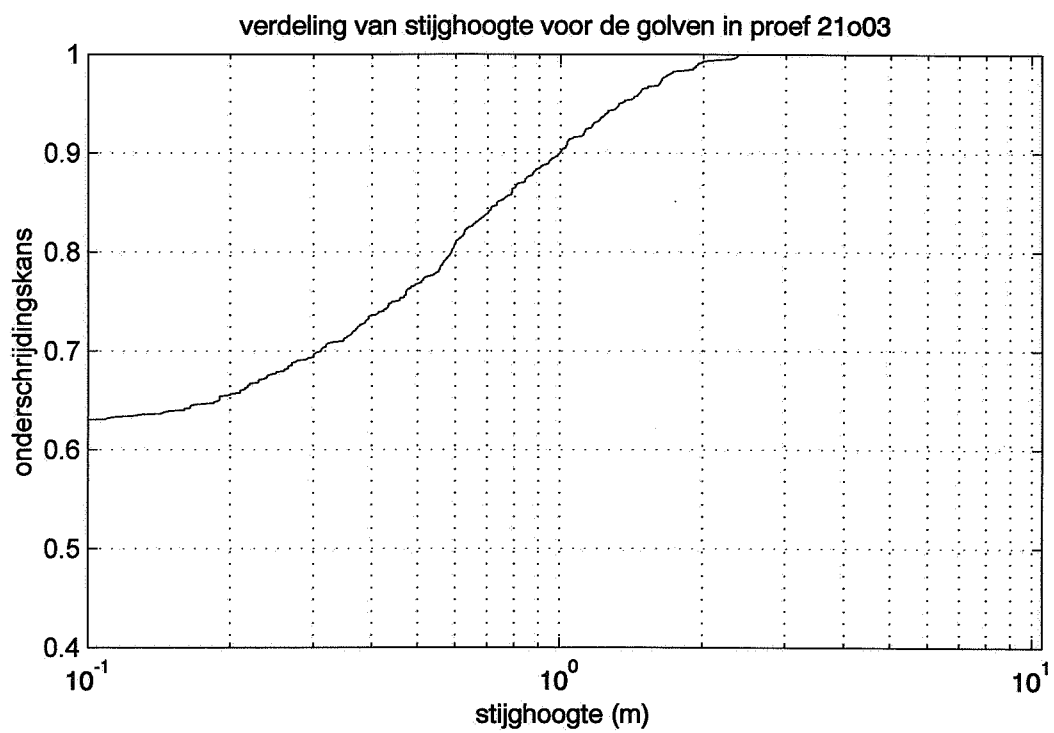
H4328

Kwantificering golfklap

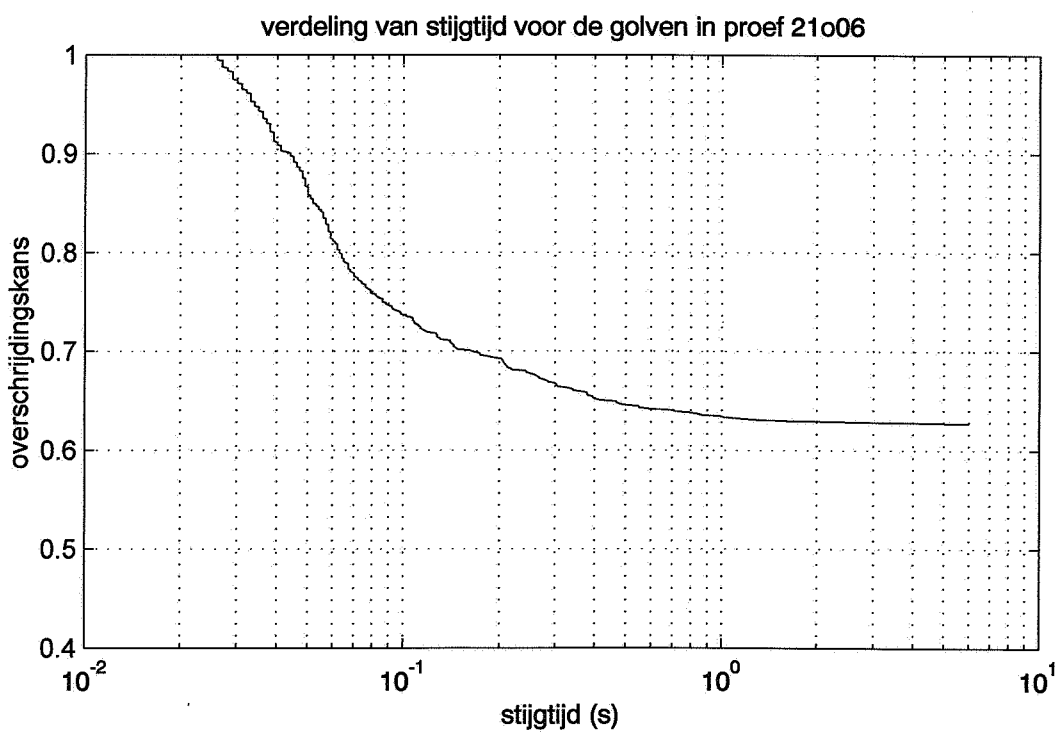
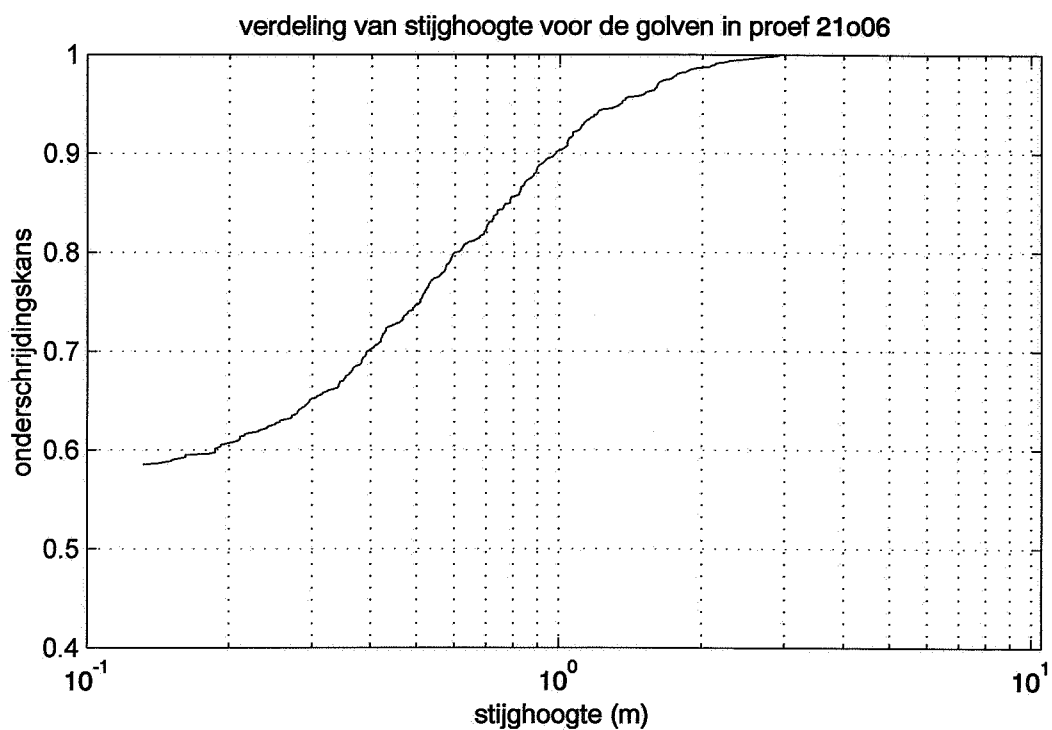
WL | DELFT HYDRAULICS

27-11-2003

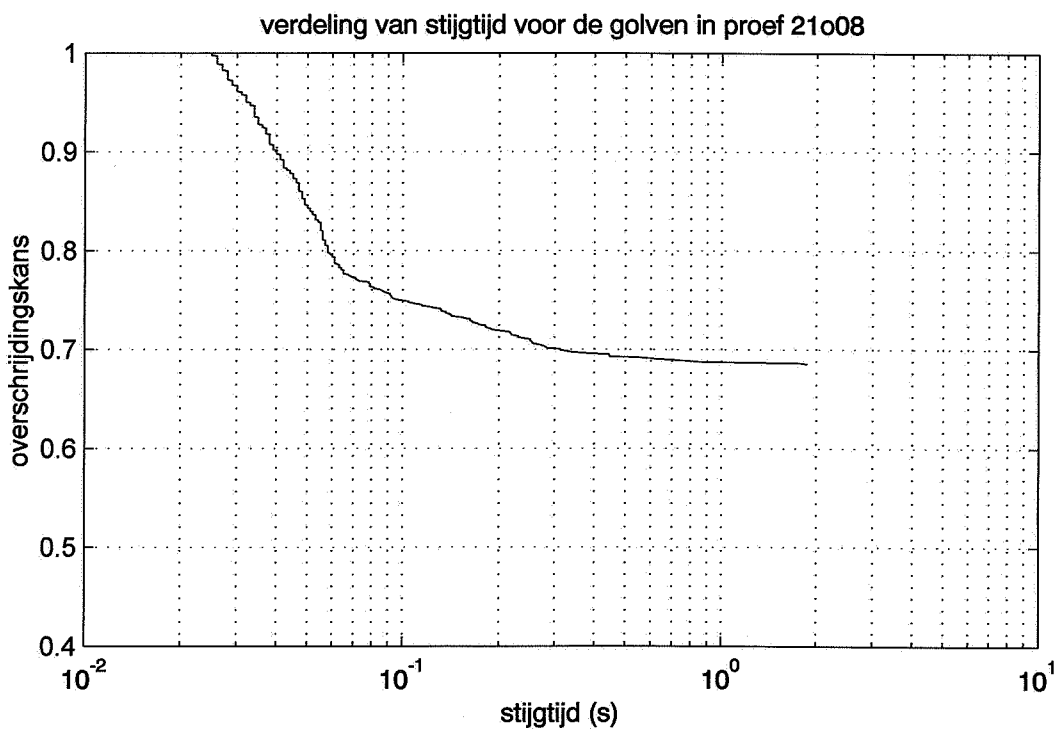
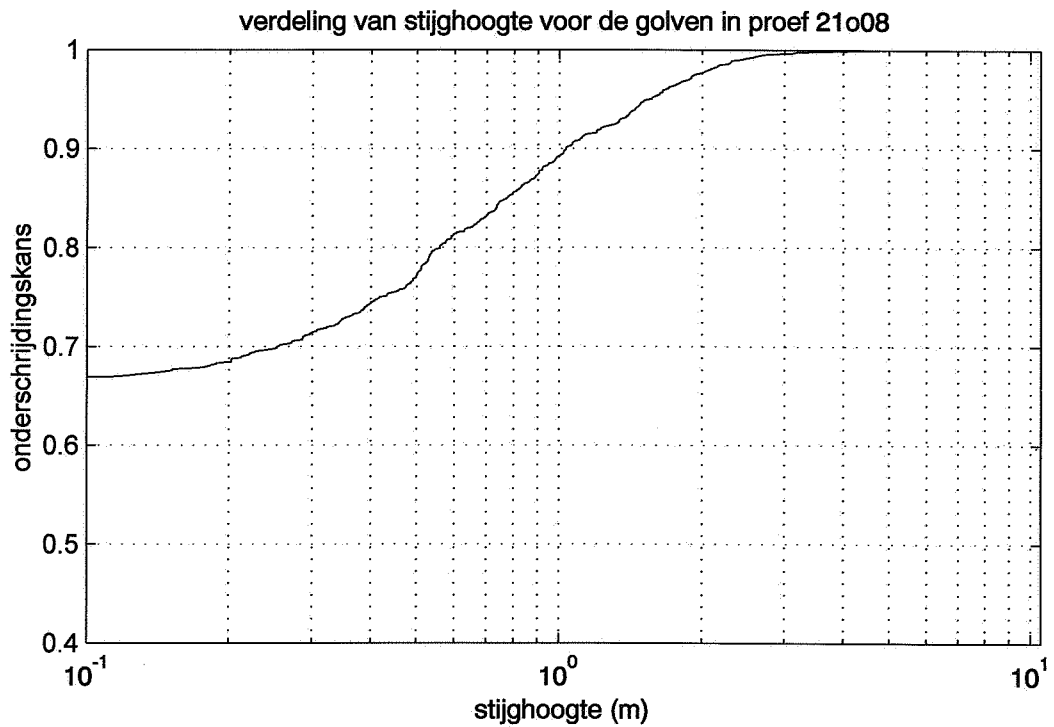
Fig. C.5



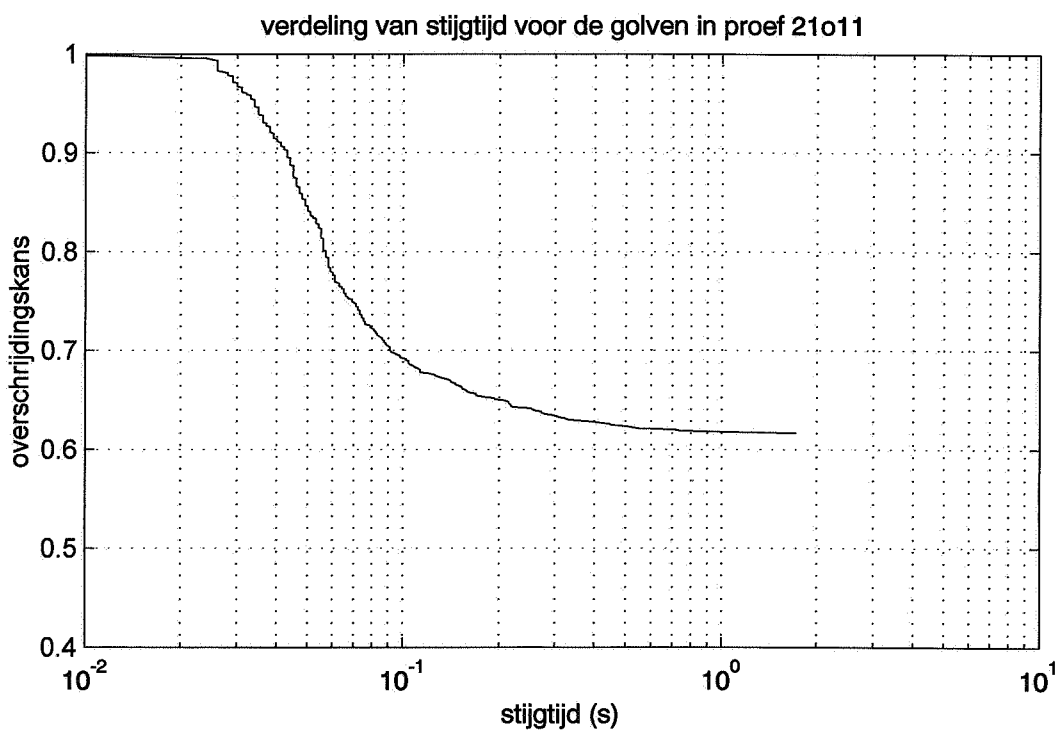
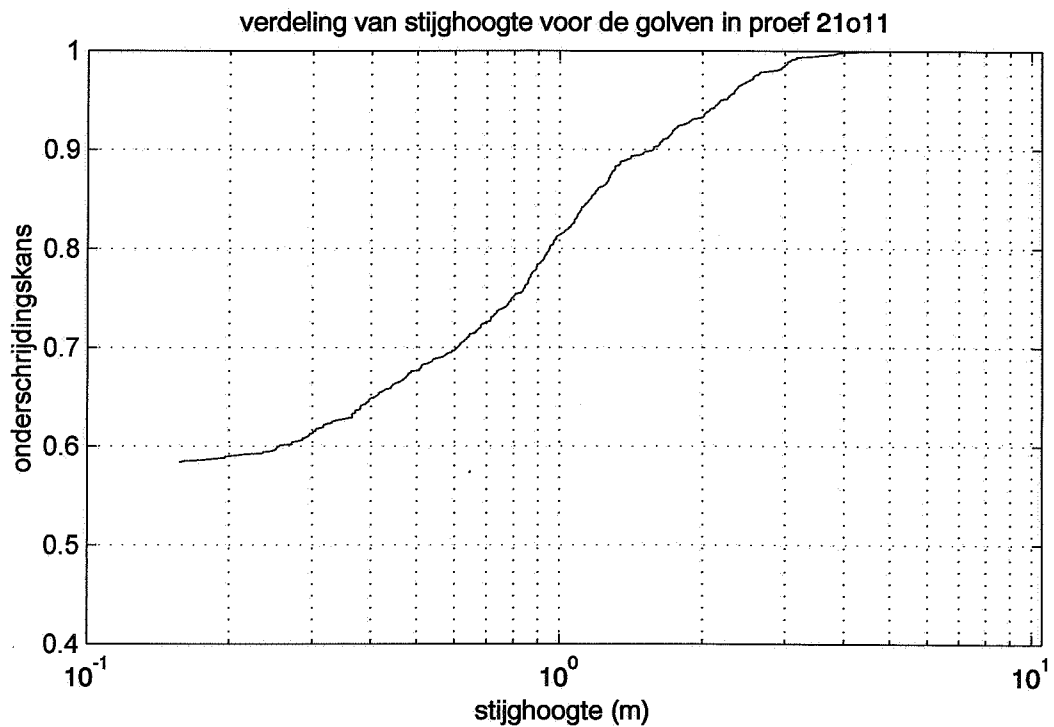
Verdeling van stijghoogte en stijgtijd in proef 21o03	H4328	
	Kwantificering golfklap	
WL DELFT HYDRAULICS	27-11-2003	Fig. C.6



Verdeling van stijghoogte en stijgtijd in proef 21o06	H4328	
	Kwantificering golfklap	
WL DELFT HYDRAULICS	27-11-2003	Fig. C.7



Verdeling van stijghoogte en stijgtijd in proef 21o08	H4328	
	Kwantificering golfklap	
WL DELFT HYDRAULICS	27-11-2003	Fig. C.8



Verdeling van stijghoogte en stijgtijd in proef 21o11

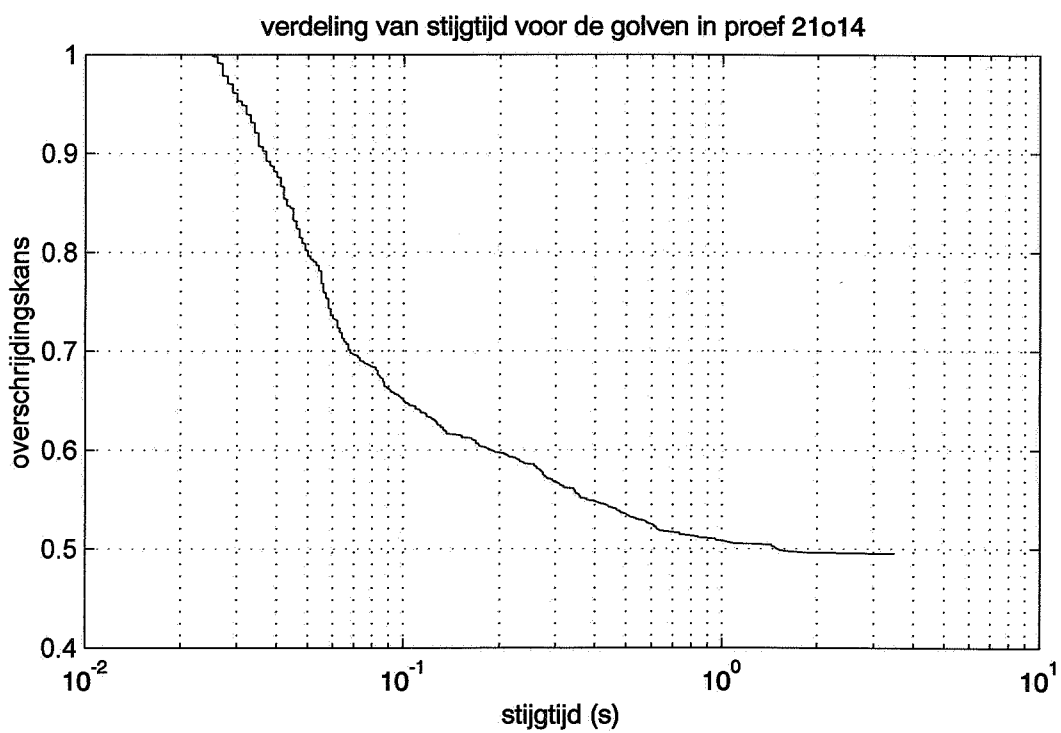
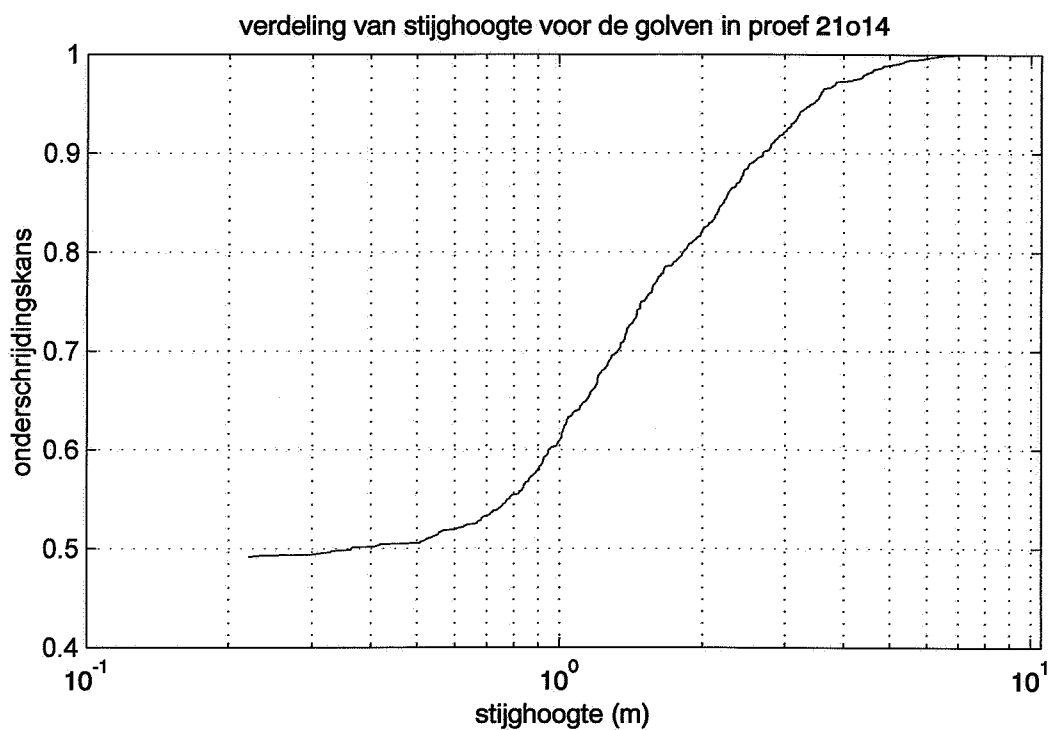
H4328

Kwantificering golfklap

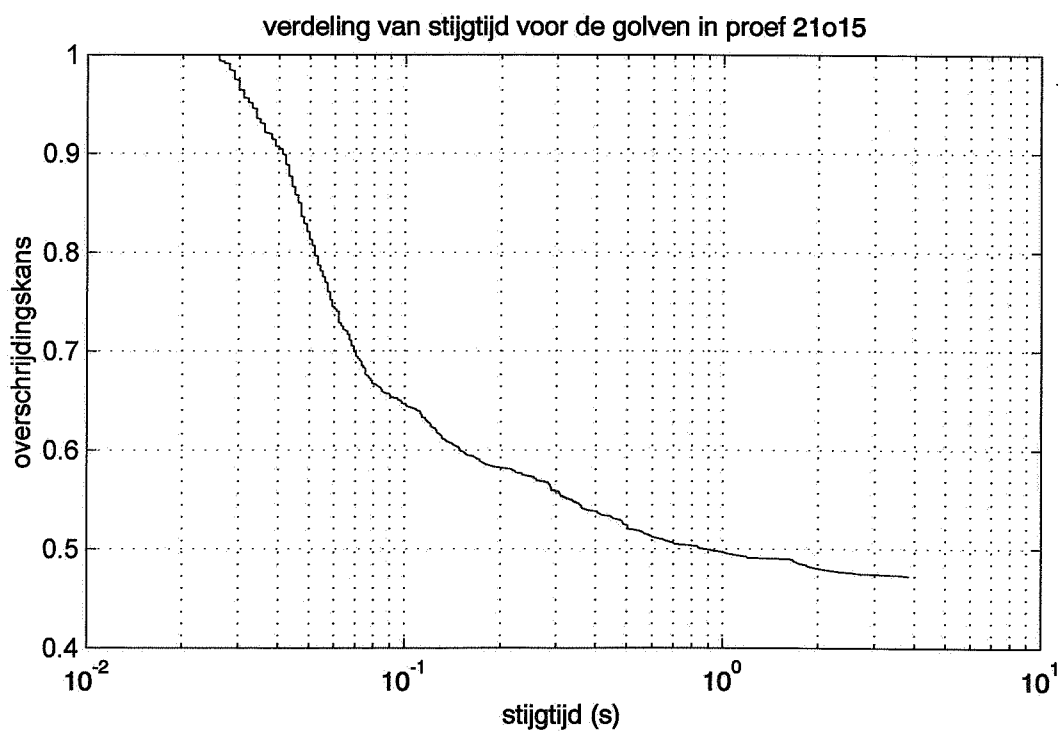
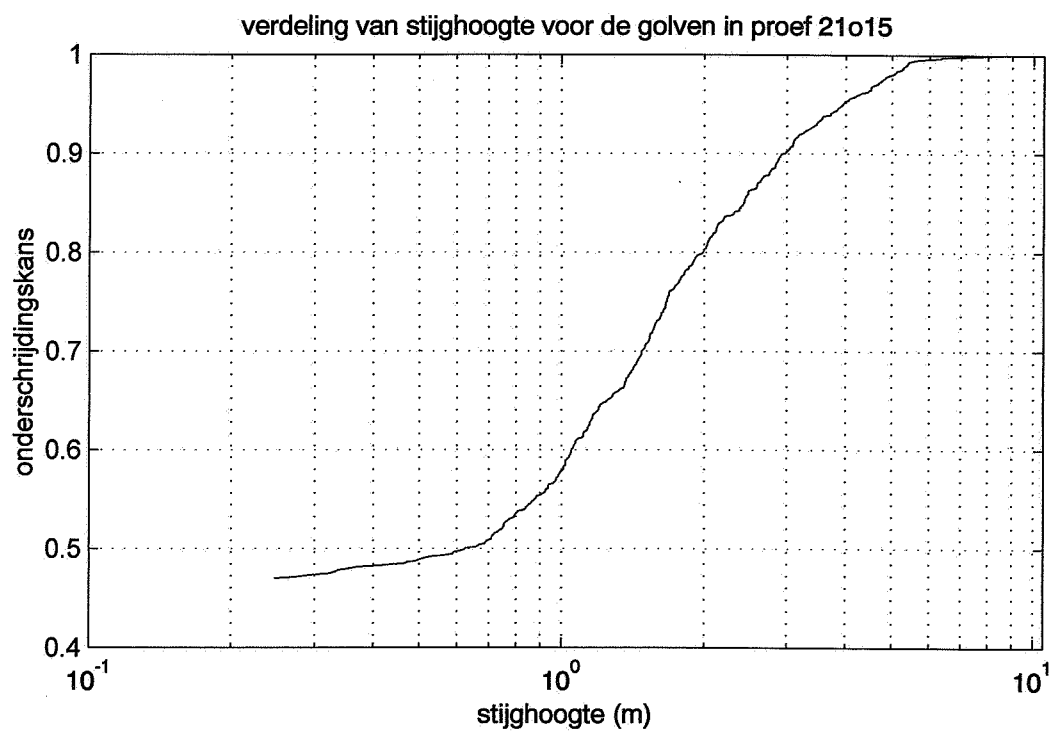
WL | DELFT HYDRAULICS

27-11-2003

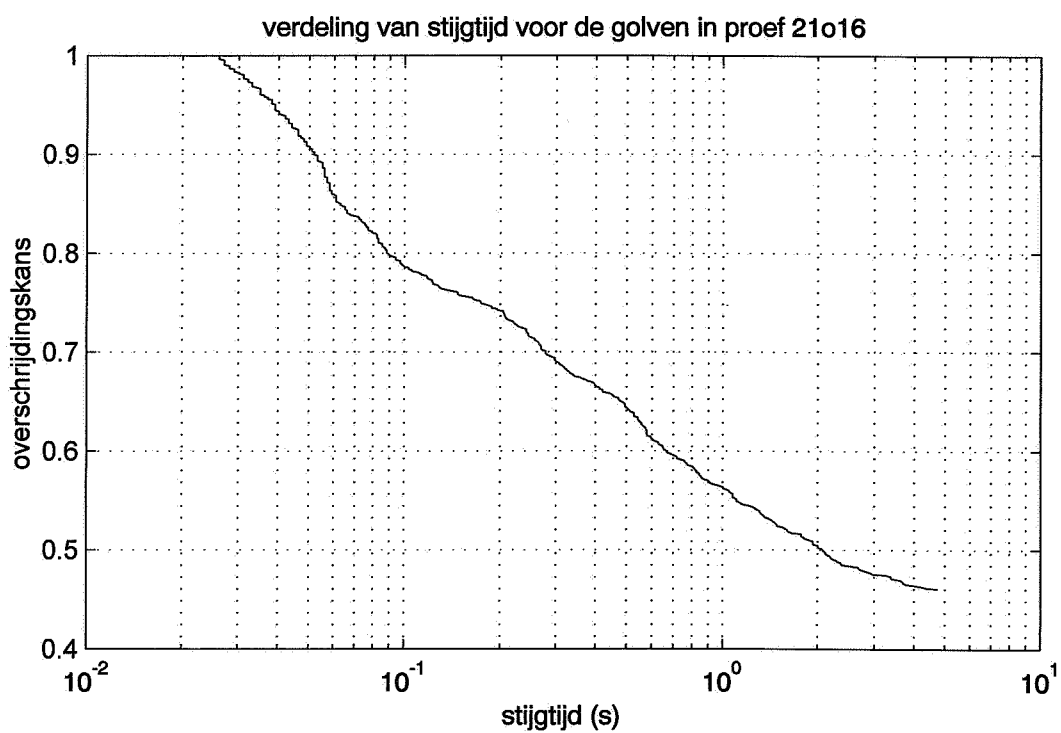
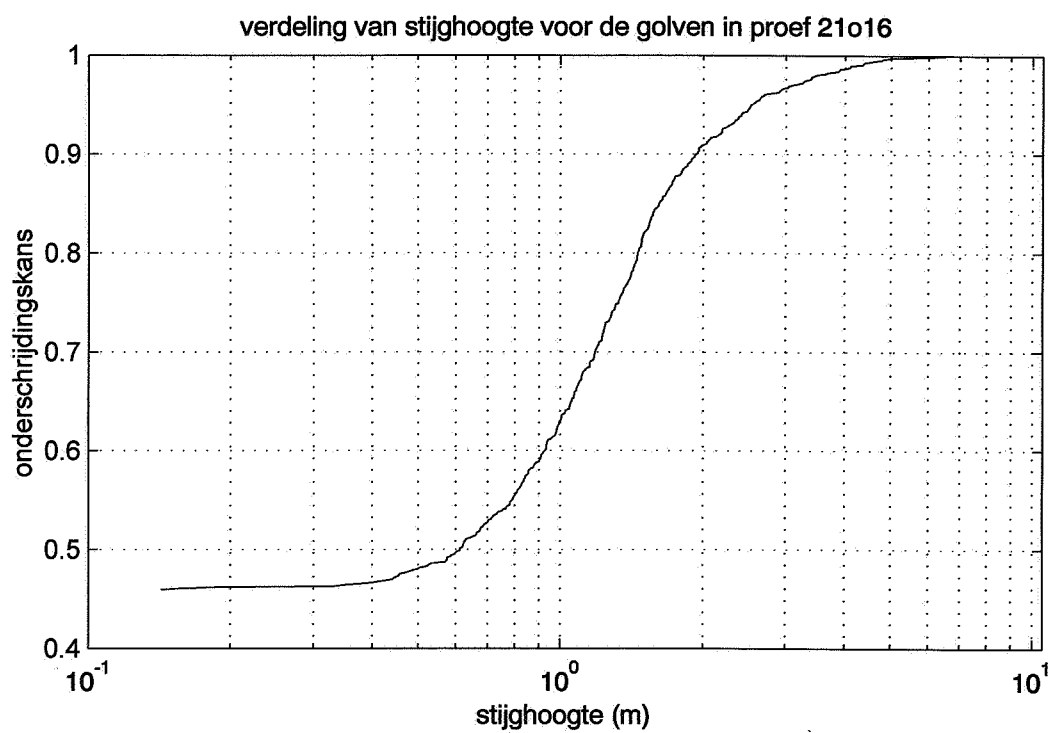
Fig. C.9



Verdeling van stijghoogte en stijgtijd in proef 21o14	H4328	
	Kwantificering golfklap	
WL DELFT HYDRAULICS	27-11-2003	Fig. C.10



Verdeling van stijghoogte en stijgtijd in proef 21o15	H4328	
	Kwantificering golfklap	
WL DELFT HYDRAULICS	27-11-2003	Fig. C.11



Verdeling van stijghoogte en stijgtijd in proef 21o16

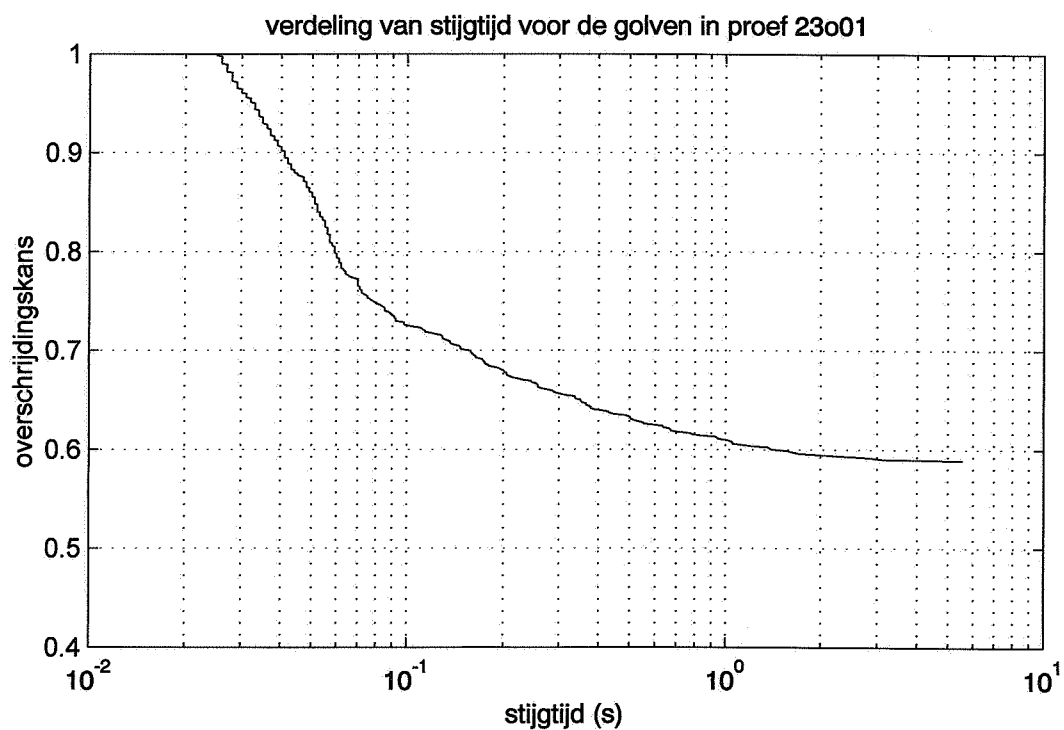
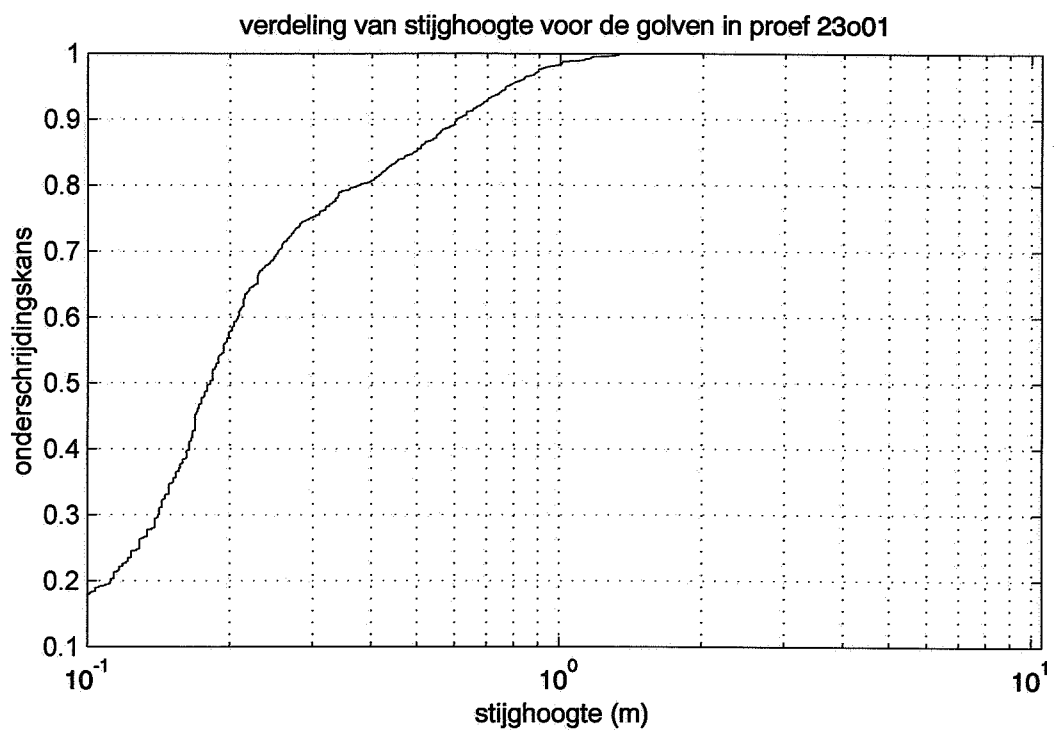
H4328

Kwantificering golfklap

WL | DELFT HYDRAULICS

27-11-2003

Fig. C.12



Verdeling van stijghoogte en stijgtijd in proef 23o01

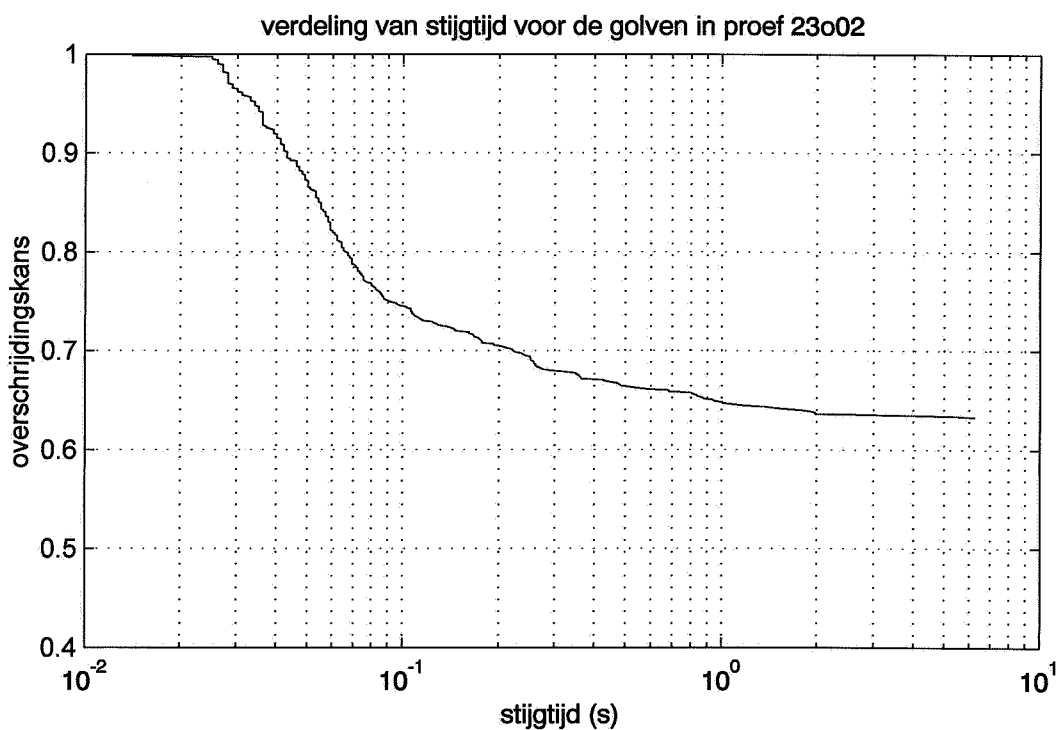
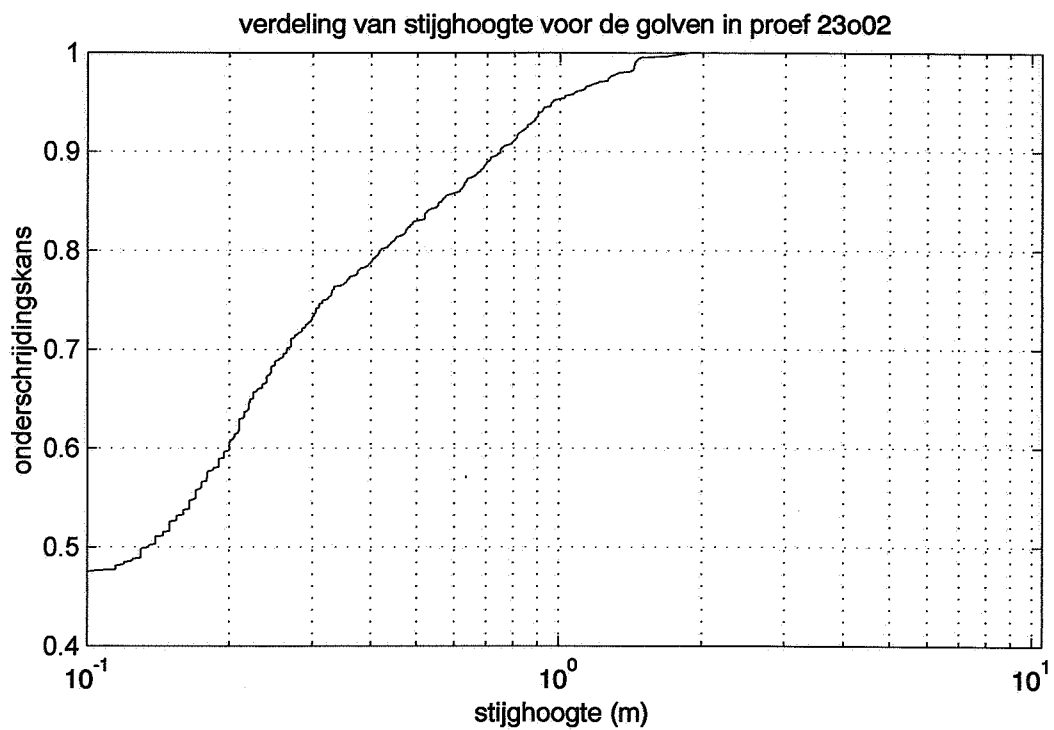
H4328

Kwantificering golfklap

WL | DELFT HYDRAULICS

27-11-2003

Fig. C.13



Verdeling van stijghoogte en stijgtijd in proef 23o02

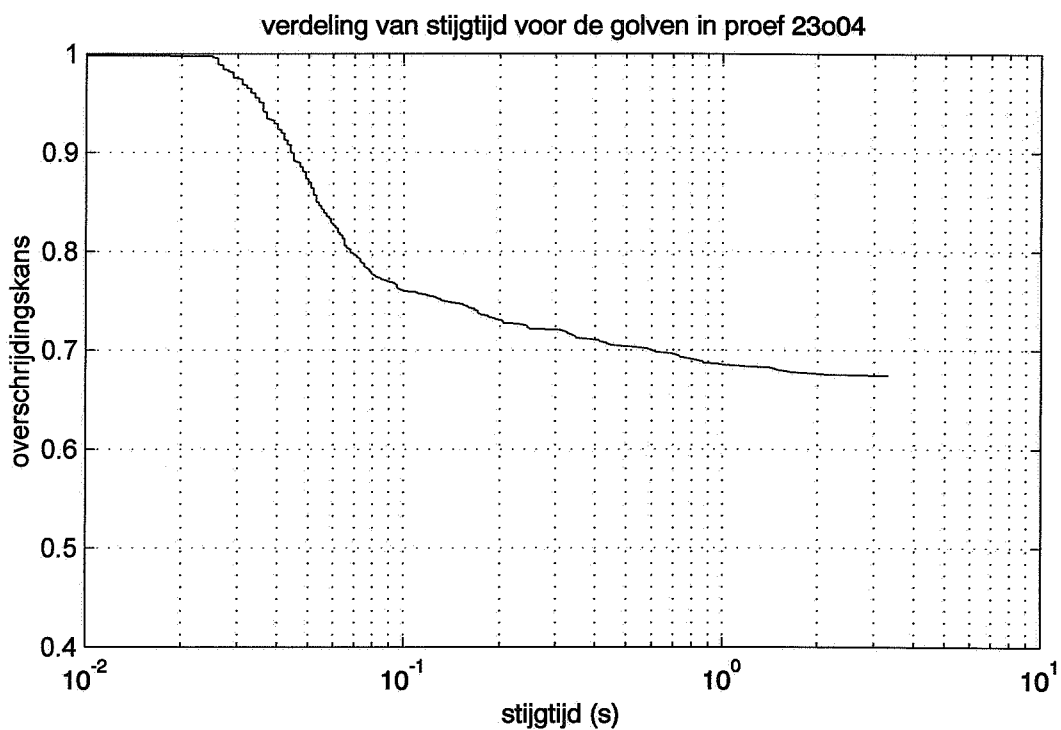
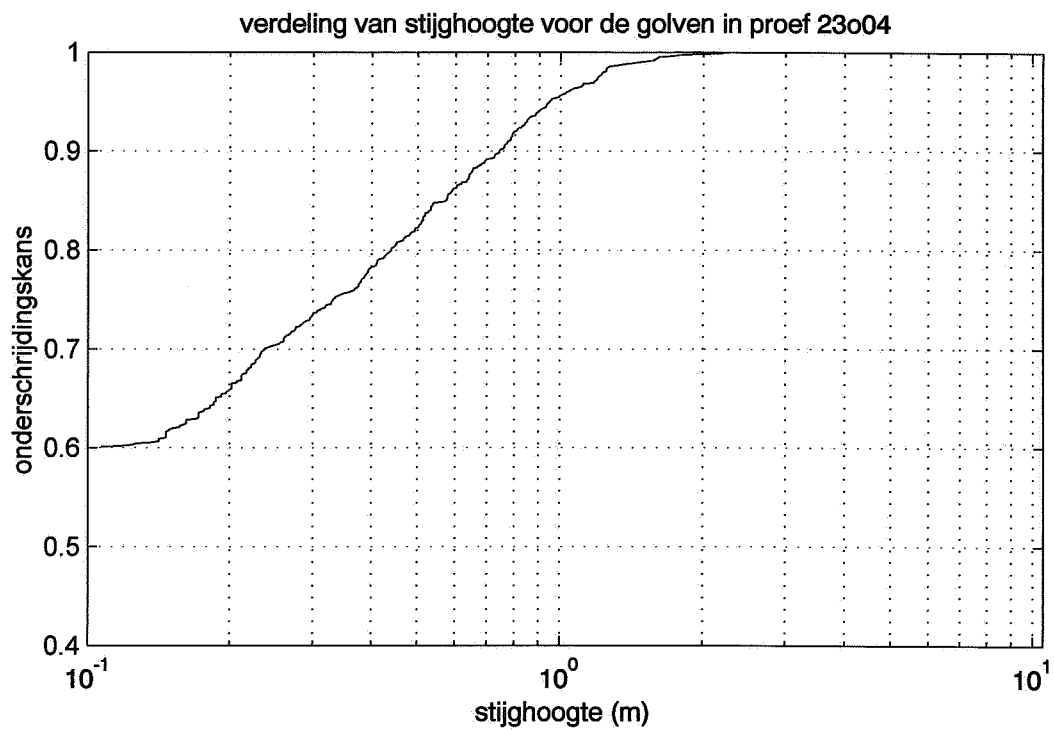
H4328

Kwantificering golfklap

WL | DELFT HYDRAULICS

27-11-2003

Fig. C.14



Verdeling van stijghoogte en stijgtijd in proef 23o04

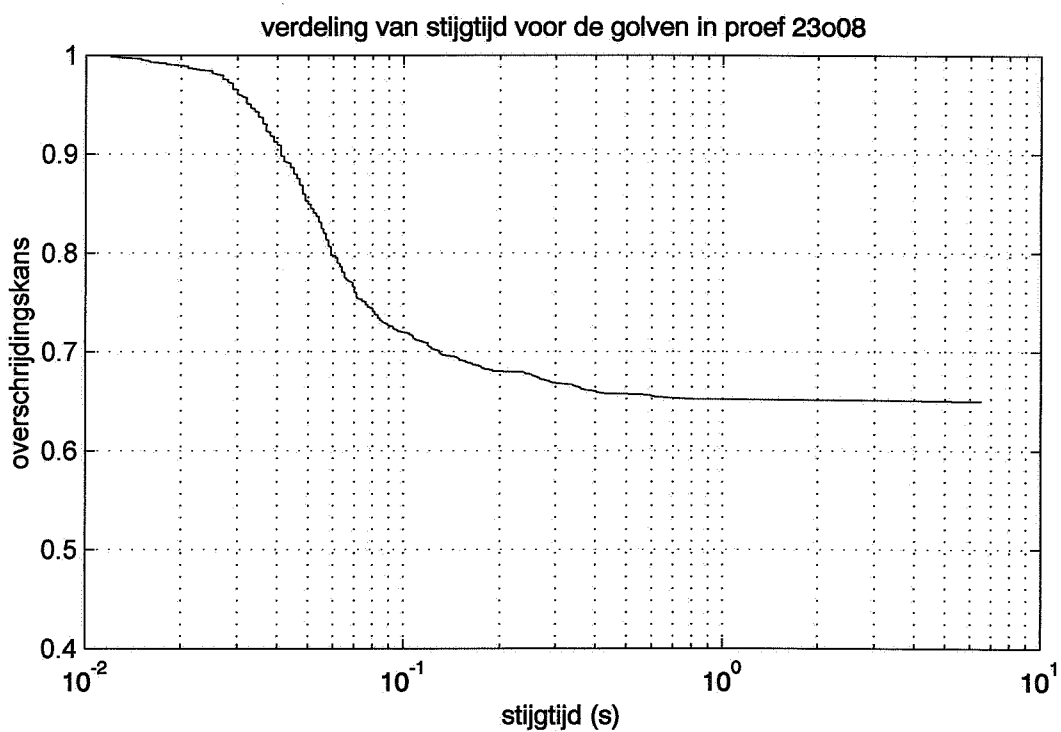
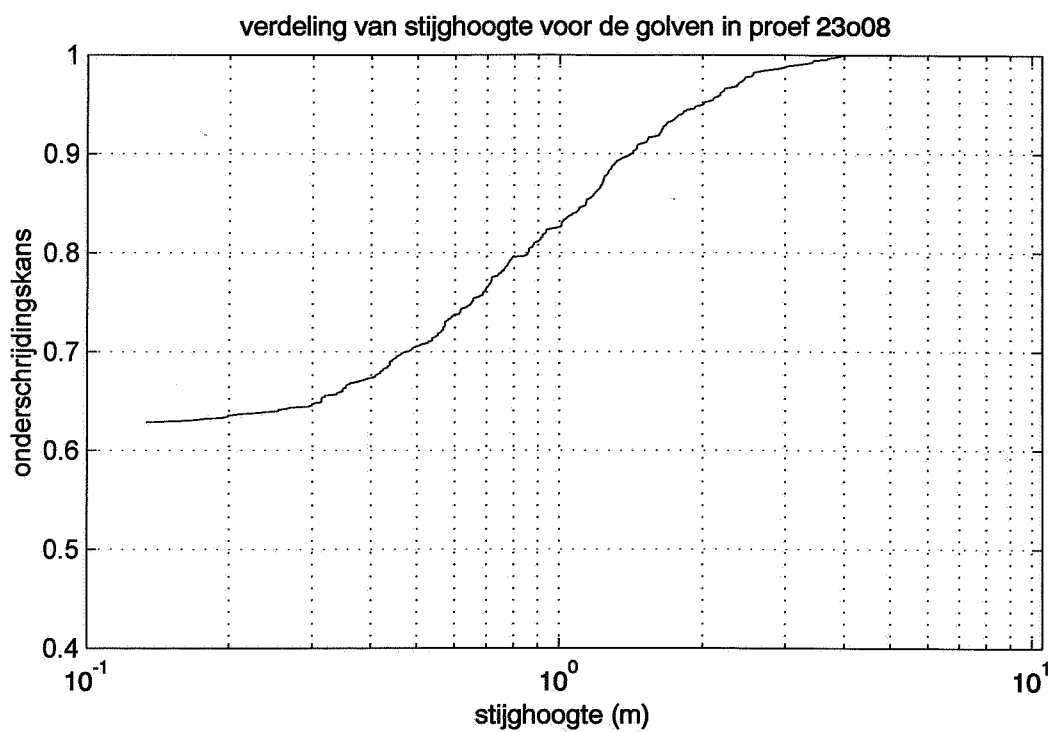
H4328

Kwantificering golfklap

WL | DELFT HYDRAULICS

27-11-2003

Fig. C.15



Verdeling van stijghoogte en stijgtijd in proef 23o08

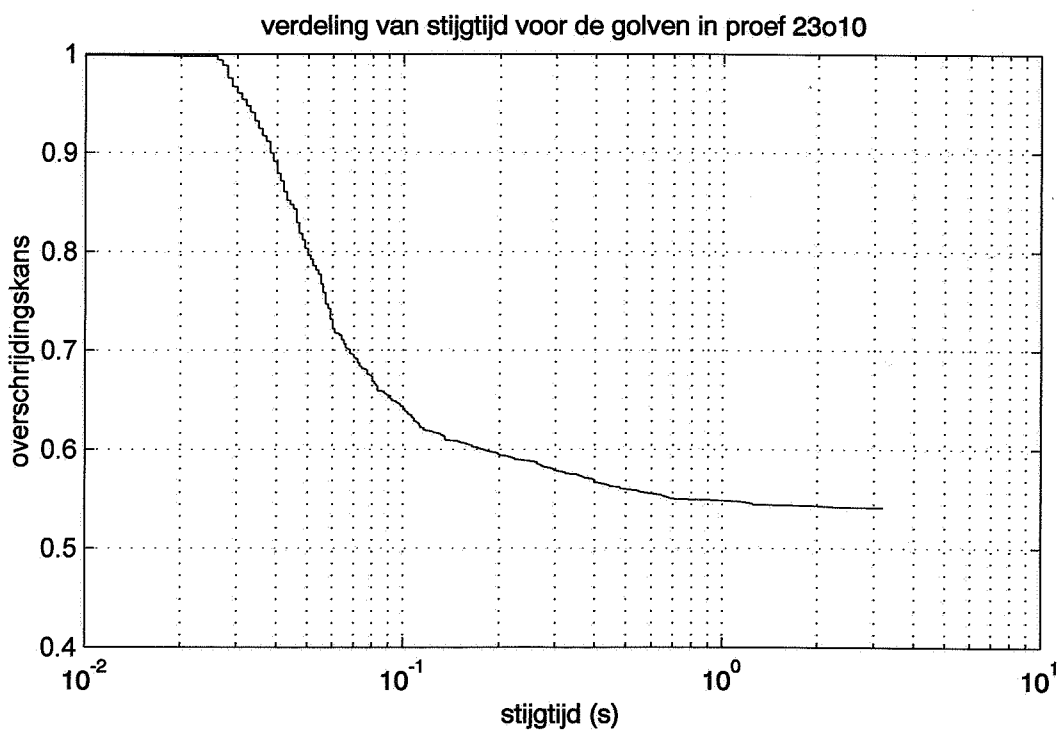
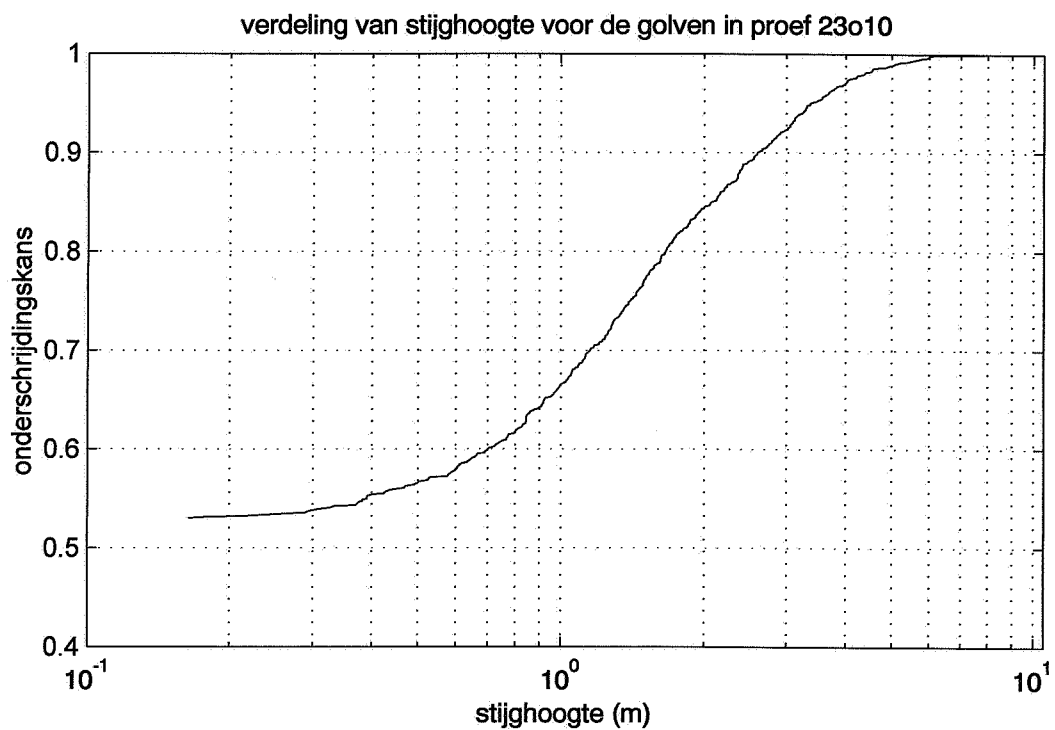
H4328

Kwantificering golfklap

WL | DELFT HYDRAULICS

27-11-2003

Fig. C.16



Verdeling van stijghoogte en stijgtijd in proef 23o10

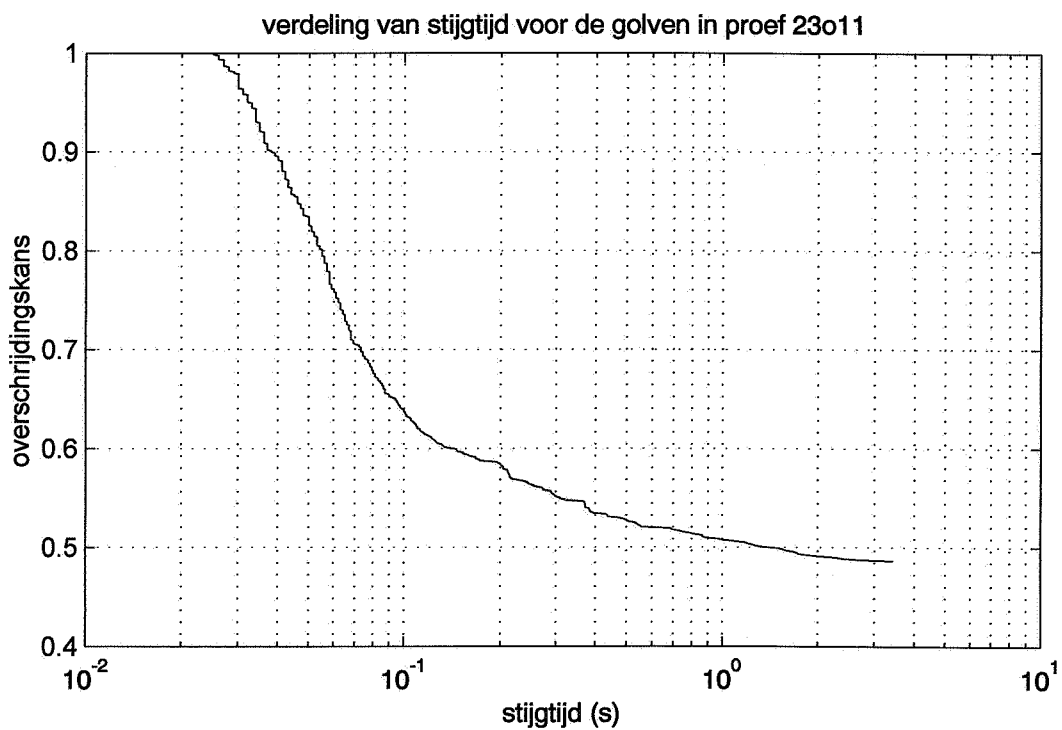
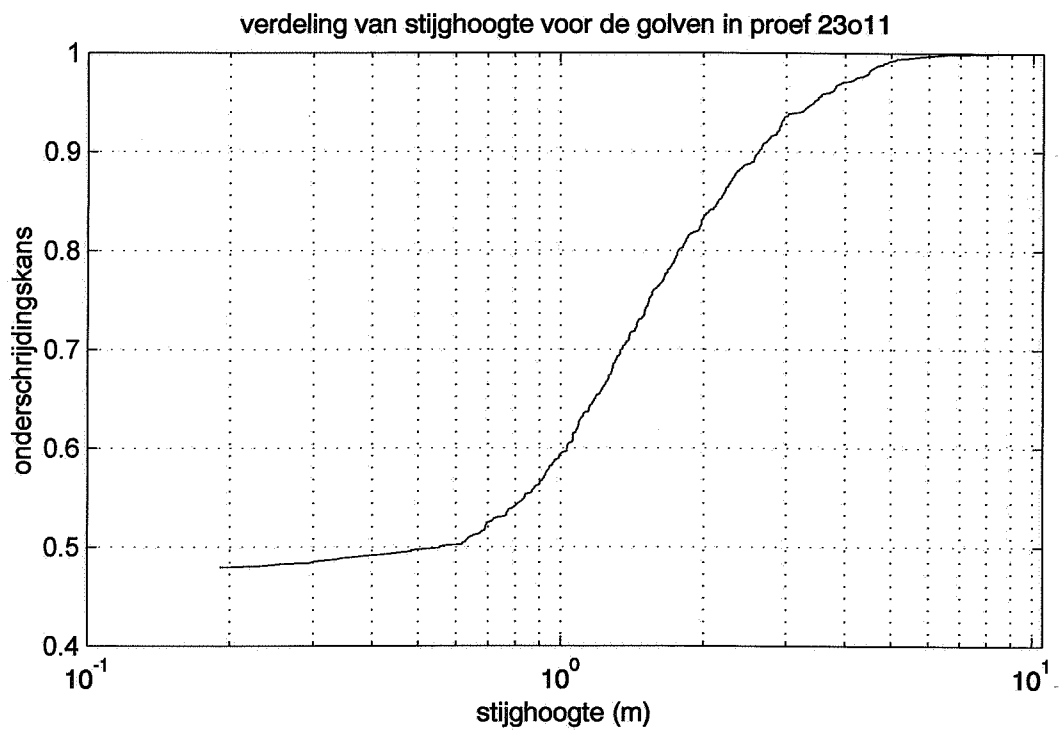
H4328

Kwantificering golfklap

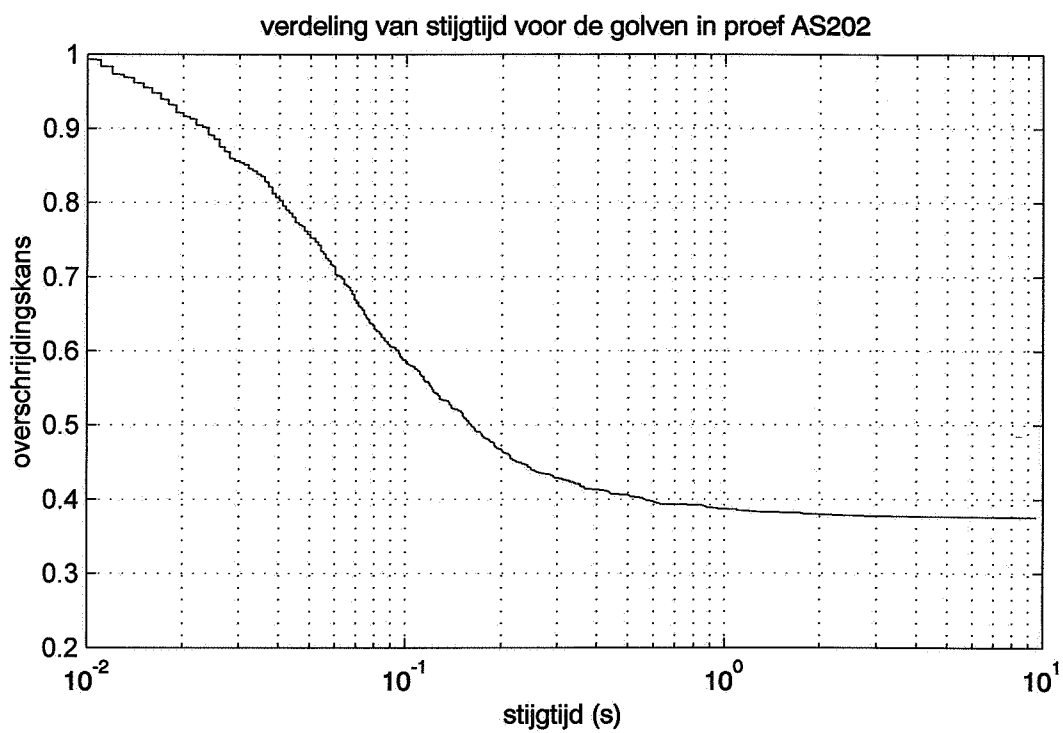
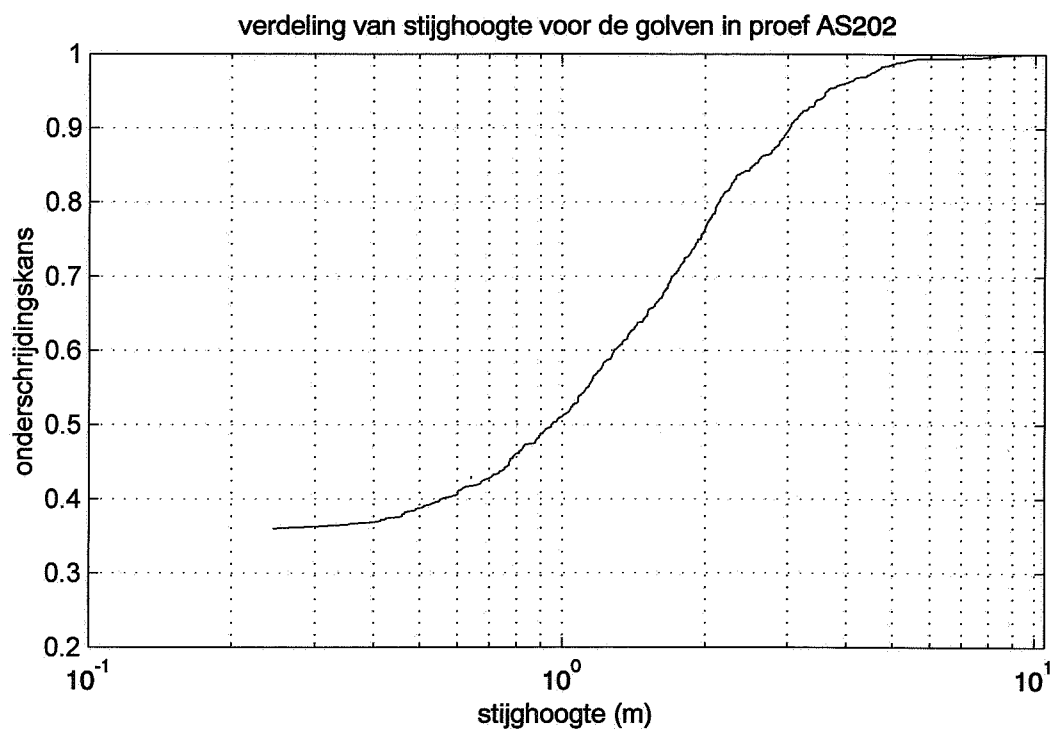
WL | DELFT HYDRAULICS

27-11-2003

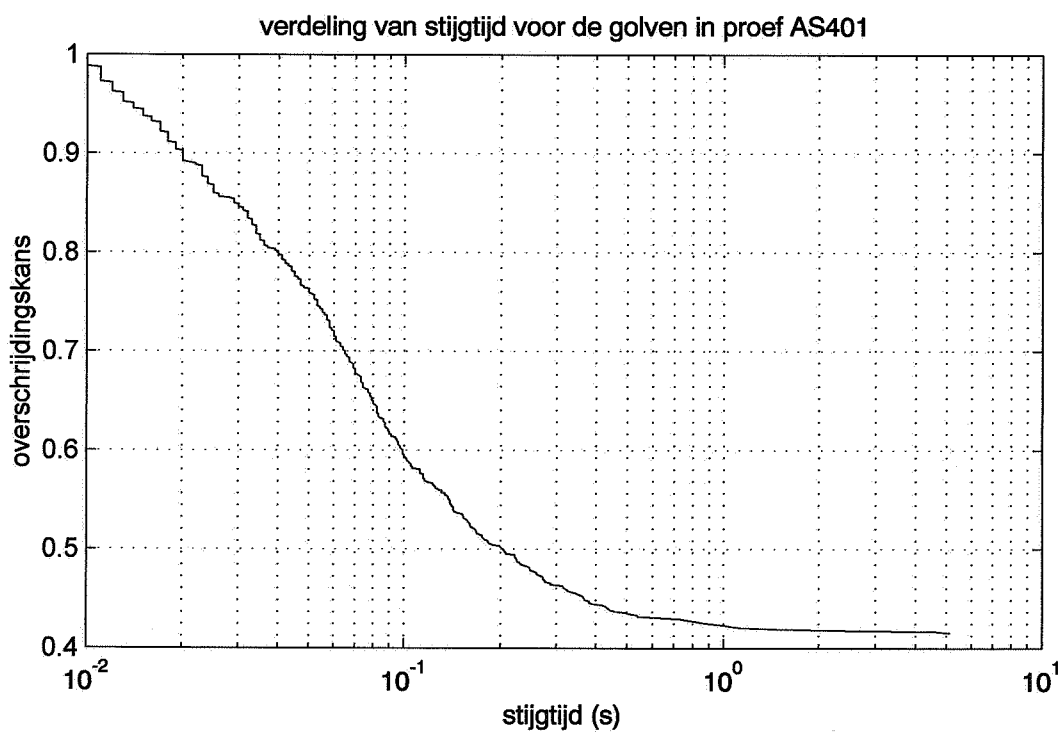
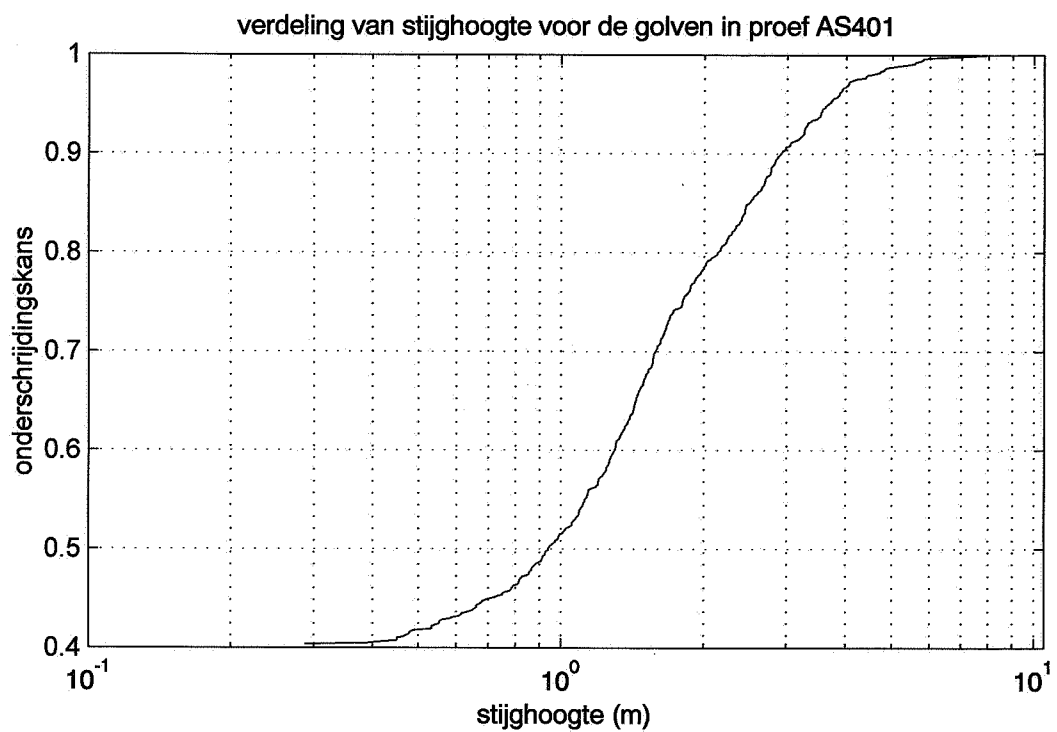
Fig. C.17



Verdeling van stijghoogte en stijgtijd in proef 23o11	H4328	
	Kwantificering golfklap	
WL DELFT HYDRAULICS	27-11-2003	Fig. C.18



Verdeling van stijghoogte en stijgtijd in proef AS202	H4328	
	Kwantificering golfklap	
WL DELFT HYDRAULICS	27-11-2003	Fig. C.19



Verdeling van stijghoogte en stijgtijd in proef AS401

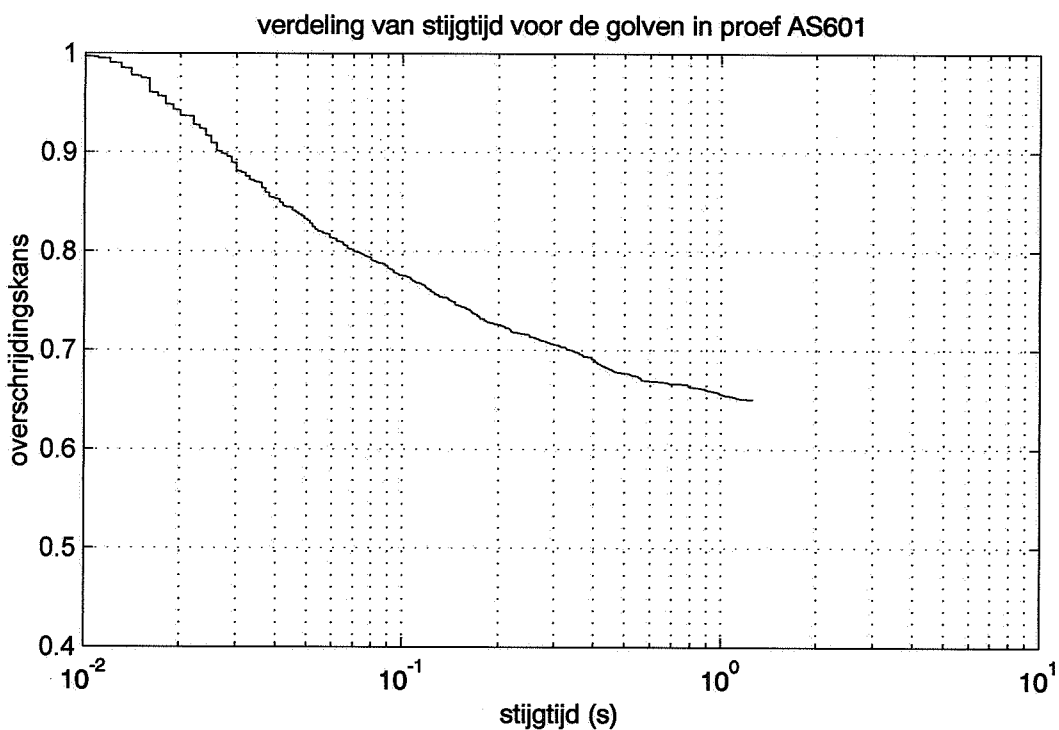
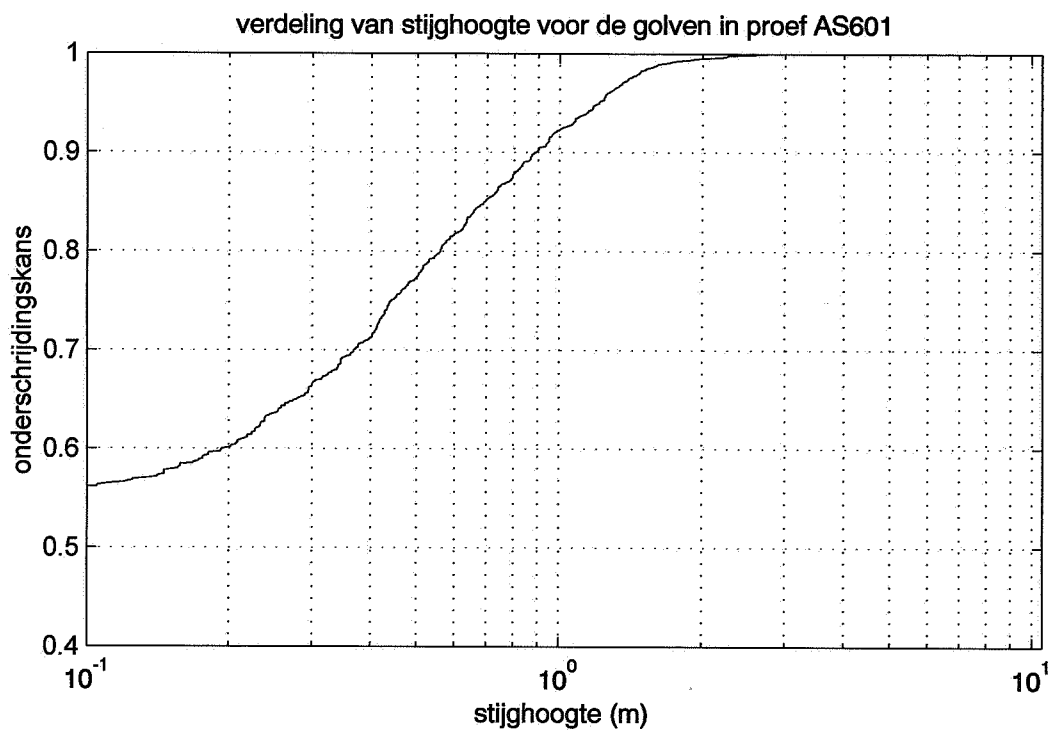
H4328

Kwantificering golfklap

WL | DELFT HYDRAULICS

27-11-2003

Fig. C.20



Verdeling van stijghoogte en stijgtijd in proef AS601

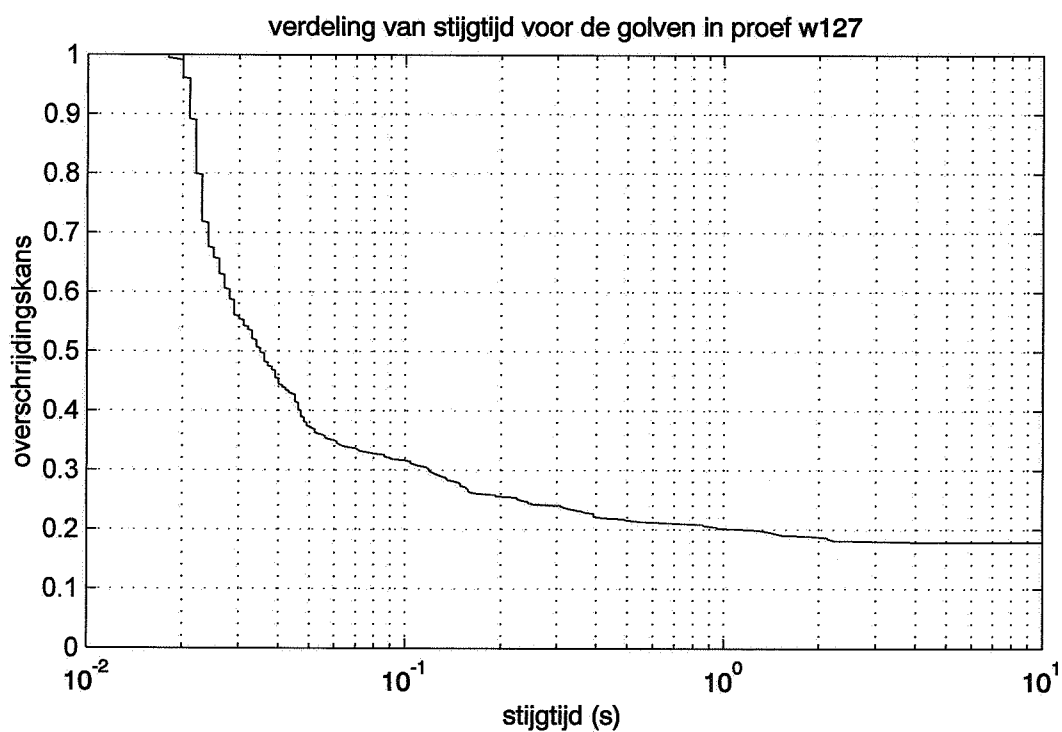
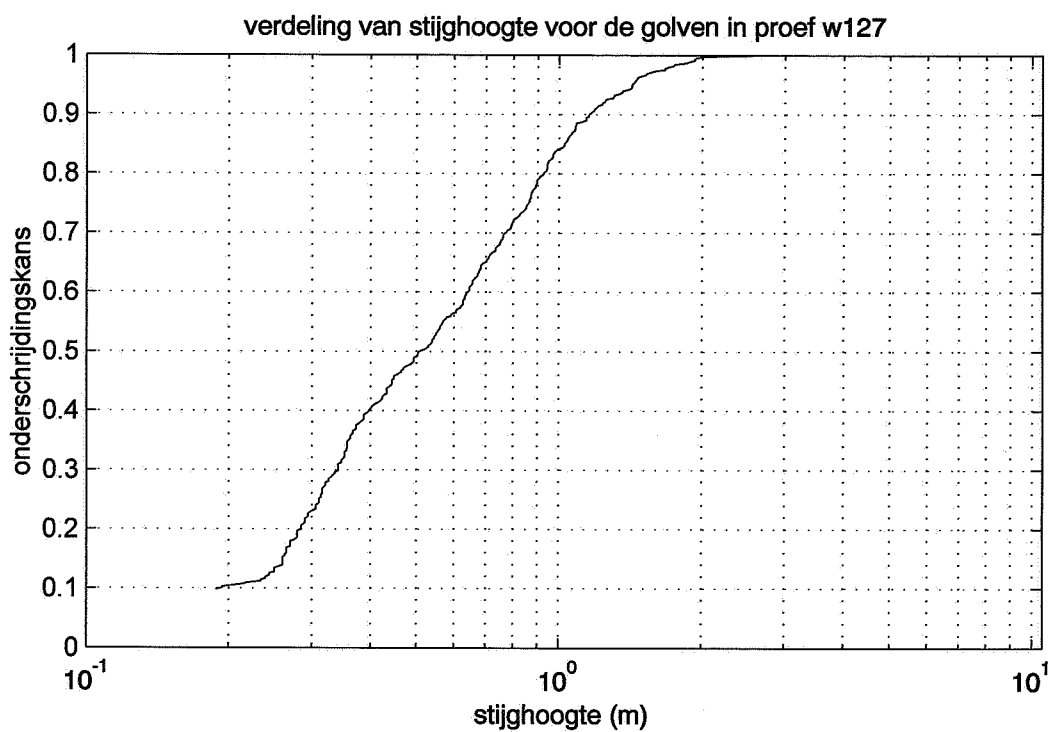
H4328

Kwantificering golfklap

WL | DELFT HYDRAULICS

27-11-2003

Fig. C.21



Verdeling van stijghoogte en stijgtijd in proef w127

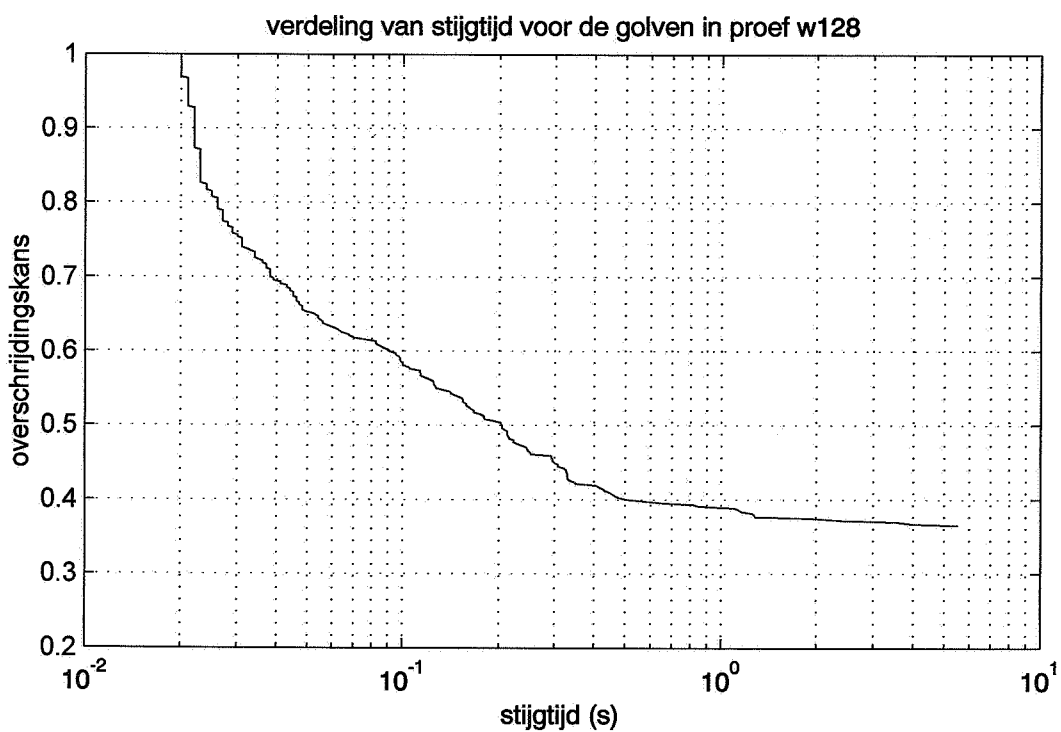
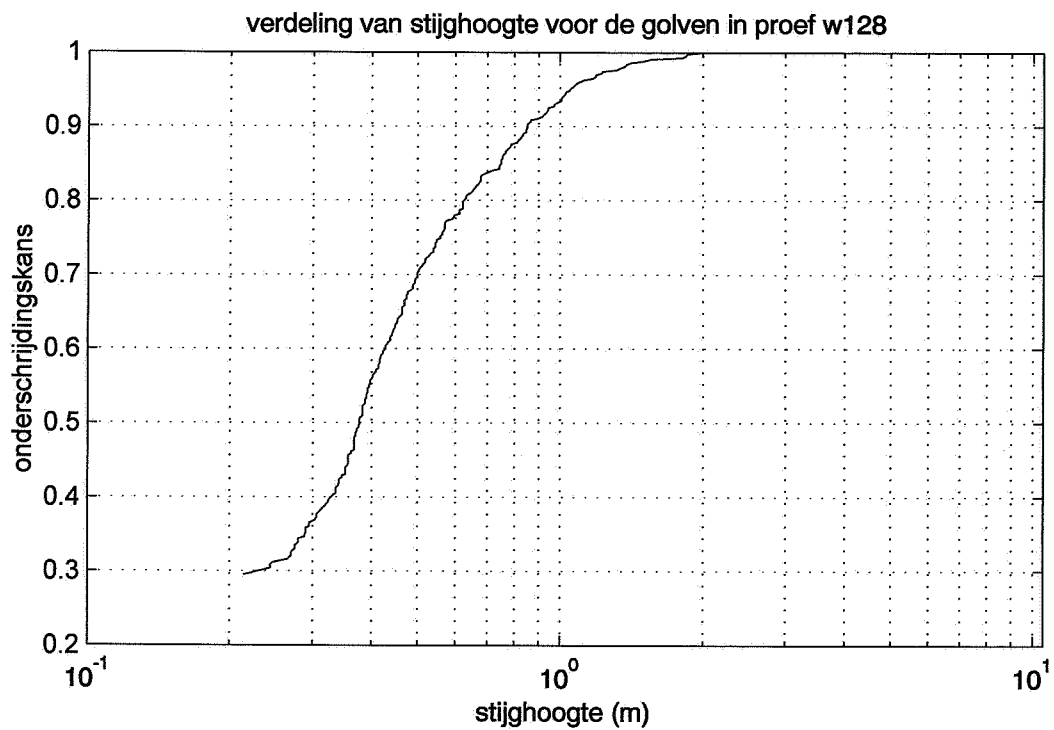
H4328

Kwantificering golfklap

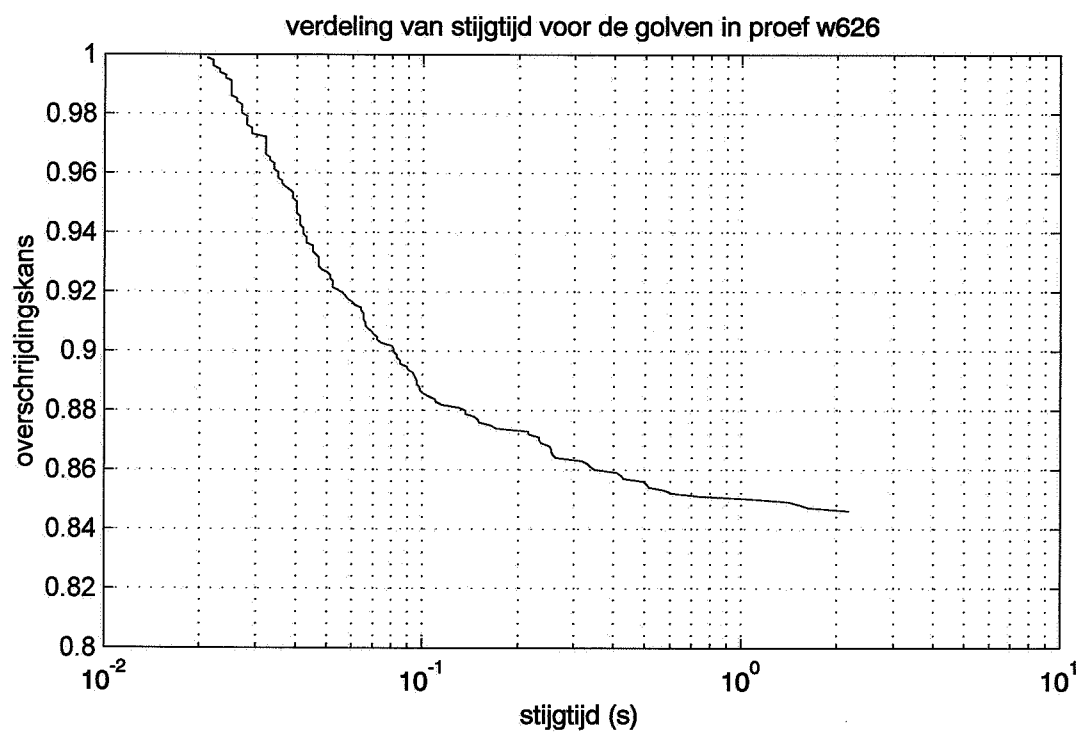
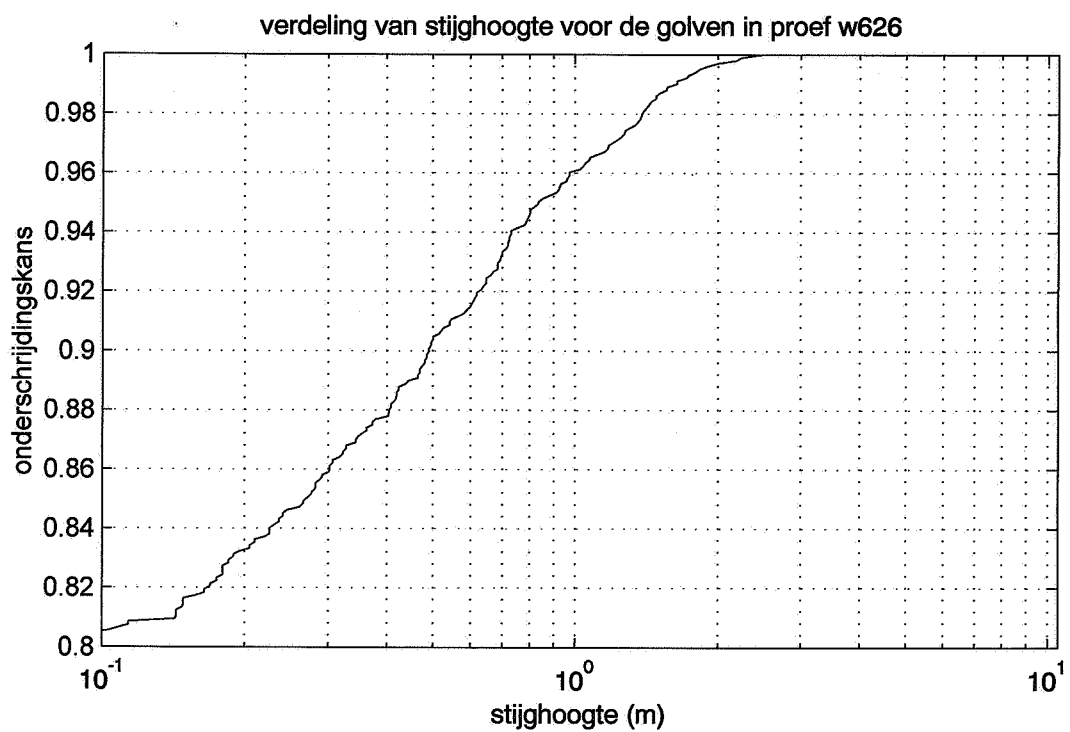
WL | DELFT HYDRAULICS

27-11-2003

Fig. C.22



Verdeling van stijghoogte en stijgtijd in proef w128	H4328	
	Kwantificering golfklap	
WL DELFT HYDRAULICS	27-11-2003	Fig. C.23



Verdeling van stijghoogte en stijgtijd in proef w626

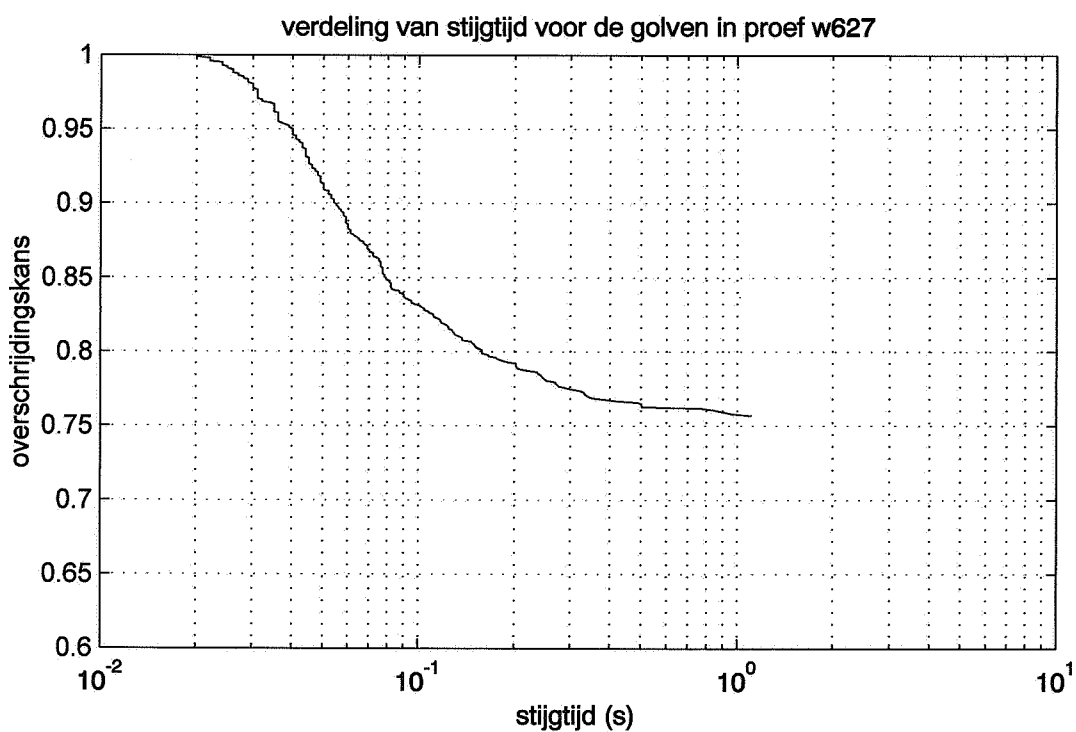
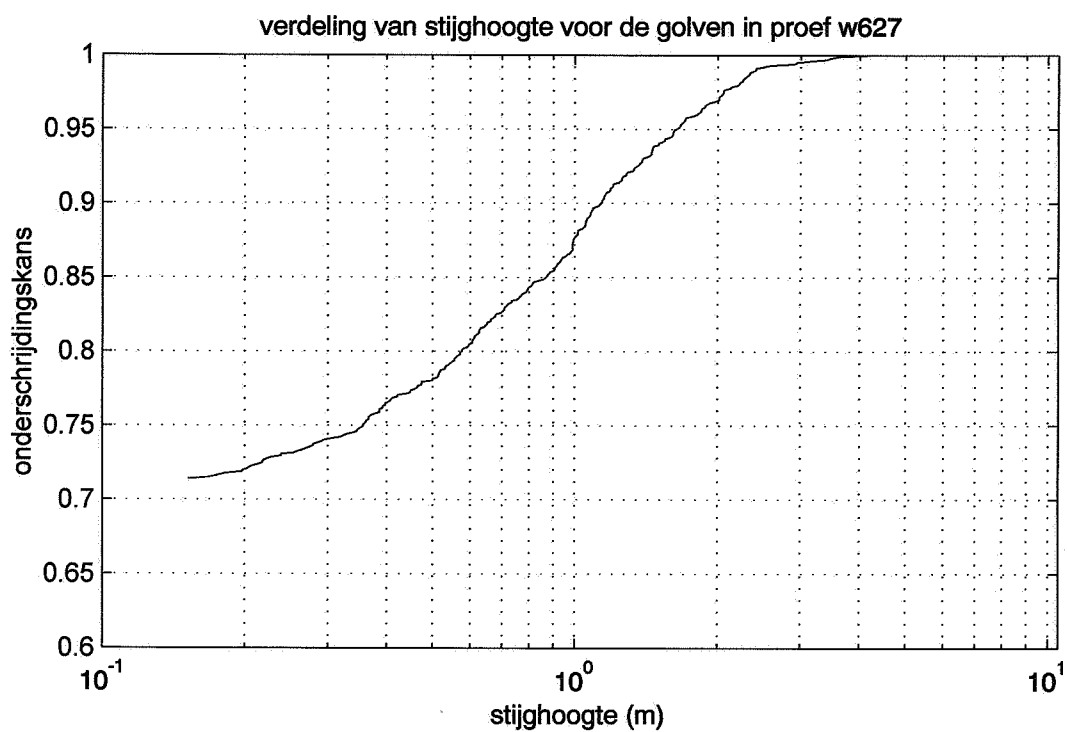
H4328

Kwantificering golfklap

WL | DELFT HYDRAULICS

27-11-2003

Fig. C.24



Verdeling van stijghoogte en stijgtijd in proef w627

H4328

Kwantificering golfklap

WL | DELFT HYDRAULICS

27-11-2003

Fig. C.25