

Title:	Laboratory testing of clamped placed revetments		
Author:	Ir. D.J. Peters	Institute:	TUDelft
November 2004			
Number of pages	:	170	
Keywords (3-5)	:	Revetments, clamping forces, test design	
DC-Publication-number	:	DC2-710-1	
Institute Publication-number (optional)	:	9P0669/R001	Royal Haskoning
Report Type	:	<input checked="" type="checkbox"/>	Intermediary report or study
	:	<input type="checkbox"/>	Final projectreport
DUP-publication Type	:	<input checked="" type="checkbox"/>	DUP Standard
	:	<input type="checkbox"/>	DUP-Science

Acknowledgement

This research has been sponsored by the Dutch Government through the Bsik programme.

Conditions of (re-)use of this publication

The full-text of this report may be re-used under the condition of an acknowledgement and a correct reference to this publication.

Other Research project sponsor(s):

	Ministerie van Verkeer en Waterstaat		Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde	
---	--------------------------------------	---	---	--

Abstract

This report belongs to the research programme on unknown aspects of Block Revetment systems. The stability of block revetments under wave loading is presumed to benefit from clamping forces.

In this study laboratory tests are carried out for validation of a previously developed designed model is used. A series of friction tests is performed with 37 tests in total. Validation of the physical model has been carried out with a series of 61 pull tests. The pull test results gave a fair compliance with the model calculations. The magnitudes of the test results could be explained and back analysed with logical model refinements.

PROJECT NAAM:	Steenzettingen	PROJECT CODE:	07.10
BASISPROJECT NAAM:	Steenzettingen	BASISPROJECT CODE:	07

Executive Summary

This report belongs to the research programme on unknown aspects of Block Revetment systems. The stability of block revetments under wave loading is presumed to benefit from clamping forces.

In this study an existing, previously developed model is used. The model starts from the proposition of existence of normal force in the top layer of the revetment due to gravity. The steeper the slope, the bigger the normal force. The level of normal force also depends on friction between the blocks and the base layers of gravel or broken stone. The normal force clamps the blocks together and provides capacity for friction forces on the interface of the blocks (shear force in the top layer) and for bending moments in the top layer. These traditional section forces of structural mechanics govern the capacity of the clamped structure to survive uplift loads that exceed the top layers self weight.

These phenomena are investigated with laboratory tests. This report contains the test set up and test results, as well as some back analysis.

A series of friction tests is performed with 37 tests providing 368 measurements in total. The test results allow for conclusions on magnitude and dependencies with statistically sufficient confidence. The average friction coefficient is approx 0.6. This finding complies with literature. The parameters length of the sliding path, gravel particle size, block size and change of direction have significant effect on the friction coefficient.

Validation of the physical model has been carried out with a series of pull tests, where 49 tests are performed on a sliding base, and 12 tests on a gravel base. The test specimen consists of a 1.5 m wide and 5 m long horizontal piece of block revetment. A uniform in-plane pre load was applied, representing normal force. A vertical uplift load was applied using a sinus shape load pattern, where the length of the sinus wave was varied per test. Trend wise the pull test results gave a fair compliance with the model calculations. The magnitudes of the test results could be explained and back analysed with logical model refinements.

The study provides a sound basis for further desktop study and for future application of the model in the design and stability estimates of block revetments.

PROJECT NAAM:	Steenzettingen	PROJECT CODE:	07.10
BASISPROJECT NAAM:	Steenzettingen	BASISPROJECT CODE:	07



Laboratoriumonderzoek betreffende klemming van gezette steenbekledingen

Onderdeel van 7.3.2. van het Onderzoeksprogramma
Kennisleemtes Steenbekledingen

Ministerie van Verkeer en Waterstaat



Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat

Dienst Weg- en Waterbouwkunde

18 november 2004

Definitief rapport

9P0669

SAMENVATTING

Dit rapport is een onderdeel van het Onderzoekprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen. Het betreft onderzoek op deelplan 7.3 naar de kennisleemte omtrent de bijdrage van klemming aan de stabiliteit van steenbekledingen onder golfaanval.

Er is een mechanicamodel beschikbaar voor de bijdrage van klemming. Dit model gaat uit van de aanwezigheid van normaalkracht in de toplaag. De wrijving van de toplaag over de onderlaag beïnvloedt deze normaalkracht. De normaalkracht is bepalend voor de moment- en dwarskrachtcapaciteit van de toplaag, en daarmee voor de stabiliteit onder waterdrukken die groter zijn dan het effectieve gewicht van de bekleding.

Deze fenomenen zijn onderzocht middels laboratoriumproeven. Dit rapport is het meet- en analyseverslag van de proeven.

Er is een wrijvingsproevenserie uitgevoerd met 37 proefnemingen met intotaal 368 meetwaarden. Het blijkt dat over de grootte en over de beïnvloedende factoren relevante en statistisch betrouwbare uitspraken kunnen worden gedaan. De gemiddelde wrijving blijkt ca. 0.6. Deze bevinding is in overeenstemming met de literatuur. De lengte van de glijweg, de korrelgrootte, de elementgrootte en de verandering van richting van de beweging blijken van significante invloed.

De validatie van het mechanicamodel is uitgevoerd middels trekproeven (49 stuks op een wrijvingsloze bedding en 12 stuks op een bedding van steenslag), waarbij een strook van 1.5 m breedte in breedterichting uniform belast is. In lengterichting is de belasting sinusvormig met variabele lengte. De belasting representeert de druk die onder de bekledingen optreedt bij golfbelasting. Het blijkt dat de trekproefresultaten trendmatig goed overeenkomen met de predicties volgens het model. De kwantitatieve resultaten laten zich verklaren met verfijningen in het model.

Het onderzoek biedt een goede basis voor bureaustudie en mogelijk ook voor toekomstige toepassing van een stabiliteitsbijdrage van klemming in ontwerp en toetsing van steenbekledingen.

LIJST VAN SYMBOLEN:

A	[m ²]	oppervlak toplaagelement
α	[°]	hellingshoek talud dijk
β	[1/m]	parameter ligger op elastische bedding
B	[m]	dwarsafmeting toplaagelement
d	[m]	dikte filterlaag
D	[m]	dikte toplaag / dwarskracht
δ	[m]	maximale verplaatsing
Δ	[-]	verhouding onderwater gewicht bekledingsmateriaal t.o.v. gewicht water
E	[Pa]	E-modulus: stijfheidsmodulus
E _f	[Pa]	fictieve E-modulus ligger van toplaagelementen
EI	[Nm ²]	buigstijfheid: E-modulus × traagheidsmoment I
ε	[-]	rek
Φ_b	[m]	hoogte brekertop
Φ_w	[m]	verschilddruk over toplaag
ϕ	[°]	hoek van inwendige wrijving
g	[m/s ²]	gravitatie versnelling
h	[m]	hoogte contactvlak toplaagelement
H	[m]	golfhoogte (op open water)
κ	[1/m]	kromming
L	[m]	belaste lengte geschematiseerde golfbelasting
L ₀	[m]	golflengte (op open water)
Λ	[m]	leklengte
M	[Nm]	buigend moment
M _{ext}	[Nm]	extreme waarde buigend moment (belasting)
M _u	[Nm]	uiterste waarde buigend moment (sterkte)
μ	[-]	wrijvingsfactor gemiddelde
n	[-]	aantal waarnemingen
N	[N]	normaalkracht
ρ	[kg/m ³]	soortelijke massa
ρ_w	[kg/m ³]	soortelijke massa (zee)water
ρ_s	[kg/m ³]	soortelijke massa steen
σ	[Pa]	spanning standaardafwijking
t	[s]	belastingduur
u	[m]	verplaatsing
V	[N]	dwarskracht
V _{ext}	[N]	extreme waarde dwarskracht (belasting)
V _u	[N]	uiterste waarde dwarskracht (sterkte)
x	[m]	coördinaat
X	[m]	hoogte drukzone
X ₀	[m]	randafstand evenwichtsmodel, halve lengte opgelicht deel toplaag
ξ	[-]	brekerparameter
y	[m]	coördinaat
z	[m]	coördinaat



ROYAL HASKONING

INHOUDSOPGAVE

	Blz.	
1	INLEIDING	1
1.1	Onderzoeksprogramma	1
1.2	Klemming in gezette steenbekledingen	1
1.3	Aanleiding voor dit onderzoek	1
1.4	Scope en doel van dit onderzoek	2
1.5	Organisatie onderzoek	2
2	BESCHRIJVING VAN HET MODEL	3
2.1	Constructie steenbekledingen	3
2.2	Belastingmodel	3
2.3	Responsie bekledingsconstructie	5
2.4	Faalmodel toplaag	6
2.5	Evenwichtsmodel	6
2.5.1	Belastingmodel met 'halve' sinusgolf	7
2.5.2	Belastingmodel met 'anderhalve' sinus-golf	11
3	BESCHRIJVING VAN HET ONDERZOEK	14
3.1	Aanleiding en opzet proeven	14
3.2	Opzet proevenserie 1	15
3.2.1	Literatuurgegevens	15
3.2.2	Doel van het onderzoek en onderzochte parameters	16
3.2.3	Beschrijving uitvoering proeven	17
3.2.4	Proevenprogramma	20
3.3	Opzet proevenserie 2	22
3.3.1	Beschikbare gegevens	22
3.3.2	Doel en onderzochte parameters	23
3.3.3	Beschrijving proefopstelling en proefstukken	24
3.3.4	Beschrijving wijze van belasten	27
3.3.5	Beschrijving meetmethode verplaatsingen	27
3.3.6	Beschrijving uitvoering herhalingsproeven	27
3.3.7	Overzicht proevenprogramma	27
3.4	Predictie resultaten proef 2 met evenwichtsmodel	27
3.4.1	Bovengrens moment- en dwarskrachtcapaciteit	27
3.4.2	Predictieschema resultaten	27
4	ONDERZOEKSRESULTATEN PROEVENSERIE 1	27
4.1	Beschrijving typerend resultaat	27
4.2	Resultaten elementtypen en type granulaire laag	27
4.2.1	Resultaten elementtypen	27
4.2.2	Invloed van de voeglengte en onvlakheid onderzijde	27
4.2.3	Korrelgrootte onderlaag	27
4.2.4	Korrelvorm rond vs. hoekig	27
4.3	Resultaten ingewassen voegen	27
4.4	Resultaten inzanding en droog vs. nat glijvlak	27
4.5	Effect losse vs. samengeklemd elementen	27
4.6	Effect van de snelheid van beweging	27

4.7	Effect van de bewegingsrichting en de herhaling van beweging over een verstoord bed	27
4.8	Effect van de lengte van de glijweg	27
4.8.1	Glijweg en verstoord vs. onverstoord bed	27
4.8.2	Glijweg vs. positie t.o.v. start proef	27
5	ONDERZOEKSRESULTATEN PROEVENSERIE 2	27
5.1	Typierend verloop en resultaat beproeving	27
5.2	Trekproefresultaten	27
5.3	Kracht verplaatsingsdiagrammen	27
5.4	Vervormingsgedrag proefstukken	27
5.5	Overige waarnemingen	27
6	ONDERZOEKSRESULTATEN PROEVENSERIE 3	27
6.1	Beschrijving uitvoering en typerend resultaat proeven	27
6.2	Resultaten vervorming ten gevolge van voorspanning	27
6.2.1	Beschrijving resultaten	27
6.2.2	Discussie en modelberekeningen	27
6.3	Resultaten trekkrachten	27
7	CONCLUSIES EN CONSEQUENTIES	27
7.1	Samenvatting van de bevindingen	27
7.2	Bijstelling model	27
7.3	Praktische relevantie en toepassingsmogelijkheden	27
7.4	Aanbevelingen	27
8	VERTALING NAAR TOETSREGELS	27
9	REFERENTIES	27

INHOUDSOPGAVE BIJLAGEN

Bijlage 1	
Overzicht steenzettingenonderzoek	103
Bijlage 2	
Proevenprogramma wrijvingsproeven	105
Bijlage 3	
Overzicht meetdata wrijvingsproeven	107
Bijlage 4	
Predictie trekproeven	27
Bijlage 5	
Tekeningen proefopstelling trekproeven	130
Bijlage 6	
Programma en samenvatting resultaten trekproeven	136
Bijlage 7	
Meetdata en logboek trekproeven	141

1 INLEIDING

1.1 Onderzoeksprogramma

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

In 2003 is daarom door de Dienst Weg- en Waterbouw van Rijkswaterstaat het Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen opgestart. Het doel van dit programma is het reduceren van kennisleemtes ten einde te komen tot scherpere toetsingsregels en daarmee sneller en vaker tot definitieve toetresultaten.

Binnen dit onderzoeksprogramma heeft het voorliggende rapport betrekking op deelplan 7.3: Invloed van klemkracht op stabiliteit, onderdeel 7.3.2: Verbetering numerieke mechanica methoden.

Het totale onderzoeksprogramma is weergegeven in bijlage 1.

1.2 Klemming in gezette steenbekledingen

In de huidige toetsmethoden voor de steenbekledingen wordt de bekledingsconstructie getoetst aan een aantal faalmechanismen. Eén daarvan is toplaaginstabiliteit, veroorzaakt door een opwaarts waterdrukverschil over de toplaag. Deze belasting treedt op bij terugtrekking van de golf op het dijktalud en ook tijdens een golfklap.

In alle gevallen wordt slechts een beperkt deel van de toplaag op deze wijze belast. In de huidige toetsmethoden wordt niet op systematische wijze gebruik gemaakt van het feit dat de belaste toplaagelementen geklemd zitten tussen de naburige elementen. De belaste elementen kunnen stabiliteit ontlenen aan het gewicht van de niet of minder zwaar belaste elementen, en hoeven daardoor als gevolg van een opwaartse belasting die gelijk is aan hun gewicht nog niet instabiel te zijn.

Daar waar de ontwerpformules in de huidige toetsmethoden afgeleid zijn uit resultaten van proefnemingen in de Deltagoot is het effect van klemming mogelijk wel impliciet verdisconteerd.

De theoretische achtergrond van klemming is een kennisleemte. Voorts is het niet duidelijk of de beïnvloedende factoren van het fenomeen klemming voldoende betrouwbaarheid hebben om uiteindelijk te komen tot benutting van klemming in toetsing of ontwerp van steenzettingen.

1.3 Aanleiding voor dit onderzoek

In opdracht van DWW werd en wordt in het kader van het Delft Cluster project 03.02.05 studie verricht naar het fenomeen klemming. [Peters, 2002].

Daarbij wordt de toplaag van de bekleding beschouwd als een plaat, waarin, al dan niet na enige verplaatsing van de elementen, een normaaldrukkracht heerst die veroorzaakt dat het samenstel van toplaagelementen buigende momenten en dwarskrachten kunnen opnemen.

Er kunnen inwendige drukbogen ontstaan. De sterkte van de bekleding is dan gelijk aan de sterkte van de drukbogen. Het faalmechanisme 'toplaaginstabiliteit' is bij falen ten gevolge van een te groot buigend moment in mechanica termen te omschrijven als 'doorslag van de drukboog'.

Er wordt verondersteld dat de sterkte van een geklemde steenzetting wordt ontleend aan normaalkracht. Deze normaalkracht is deels mogelijk initieel aanwezig doordat het dijktaalud een helling heeft, en doordat de zetting geklemd gelegd is en/of in de loop der tijd is gaan klemmen. Voor een ander deel wordt verondersteld dat er normaalkracht wordt ontleend aan vervorming. Een geringe opwaartse vervorming van de bekleding veroorzaakt verschuiving van de elementen in het vlak van de bekleding. Dit gaat gepaard met wrijving van de toplaag over de granulaire laag en met een toename van de normaalkracht.

1.4 Scope en doel van dit onderzoek

Het doel van het onderzoek is om de hypothesen in de werking van de klemming met een aantal proeven onder geconditioneerde omstandigheden te verifiëren en relevante parameters te bepalen.

Het onderzoek bestaat uit drie proeven.

1. Wrijvingsproeven
De bedoeling van deze proeven is om te kijken hoe groot de wrijvingscoëfficiënt is, bij hoeveel verplaatsing er kracht wordt opgewekt en wat de invloed van de belasting snelheid en herhaald belasten is.
2. Trekproeven op een in zijn vlak voorgespannen toplaag
Het doel van deze proeven is om het mechanisme van de toename van de sterkte van de zetting onder invloed van de normaalkracht te testen en daarmee het mechanicamodel te valideren.
3. Trekproeven op een toplaag op een granulaire laag
De bedoeling van deze proeven is het toetsen van de hypothese dat de zetting door wrijving over de onderliggende lagen een vergroting van de normaalkracht genereert.

1.5 Organisatie onderzoek

Het onderzoek is als volgt georganiseerd.

Initiatie en begeleiding: commissie Rekenregels Inklemming Steenzettingen, bestaande uit: R. 't Hart (DWW), prof. H. Vrijling (TU Delft), M. Klein Breteler (WL|Delft Hydraulics), A. Bezuijen (GeoDelft) en D.J. Peters (TU Delft, Royal Haskoning)

Vorbereiding, modelvorming, predicties, rapportage: D.J. Peters (Royal Haskoning)

Uitvoering proef 1: WL|Delft Hydraulics, C. Kuijper, Stijn Schoen (student TU Delft)

Uitvoering proef 2 en 3: TU Delft, Stevin II laboratorium, J. den Uijl, G. Nagtegaal en Stijn Schoen (student TU Delft)

Back-analysis proef 2: Bianca Derkzen (student TU Delft)

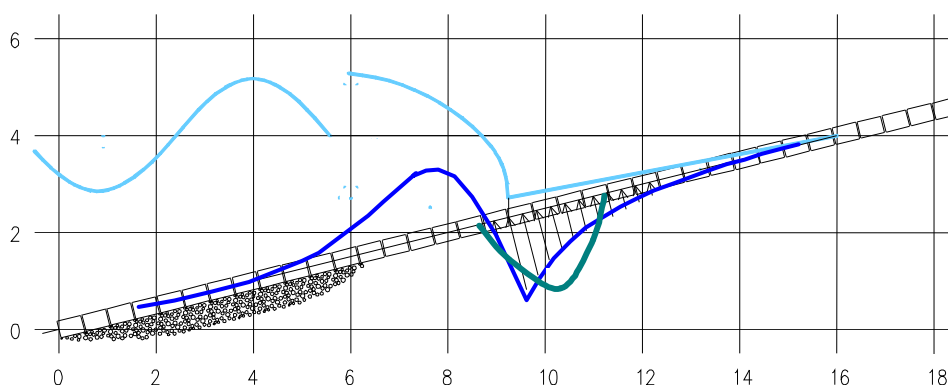
2 BESCHRIJVING VAN HET MODEL

2.1 Constructie steenbekledingen

Er zijn in de loop der jaren diverse ontwerpconcepten voor steenbekledingen ontwikkeld en toegepast. Dit onderzoek richt zich op de gezette steenbekledingen op een granulaire laag. De toplaag van moderne gezette steenbekledingen is relatief open. Daardoor ontstaat er een zeer kleine lek lengte. Oudere zettingen hebben een minder open structuur of zijn ook door vervuiling minder doorlatend geworden. Indien de doorlatendheid van de granulaire laag niet minstens evenredig afgenomen is, zal de lek lengte van deze bekledingen groter zijn.

Bij golfterugtrekking treedt er een opwaarts gericht drukverschil over de toplaag op dat instabiliteit kan veroorzaken. Hoe groter de lek lengte, hoe groter de piek van dit drukverschil, en hoe groter ook de langs het talud gemeten lengte waarover de druk aanwezig is. Bij ontwerpen met een kleine lek lengte zijn de opwaarste drukken klein, ze zijn over een kleine lengte aanwezig en ze zijn ook slechts kortdurend aanwezig.

Bij dijk taluds en golfcondities waarbij $\xi < 1$ à 2.5 kunnen golfklappen optreden. Bij constructies met een lek lengte $\Lambda < 0.5$ à 0.7 kunnen deze drukverschillen veroorzaken die groter zijn dan de op basis van golfterugtrekkingsmodellen berekende drukken. Buiten de genoemde condities kunnen ook golfklappen optreden. Deze zijn echter minder krachtig en zorgen niet voor maatgevende stijghoogte verschillen over de toplaag.



Figuur 2-1: Weergave van de golfhoogte H (golflengte verschaald), de golfbelasting op het talud Φ_b (licht blauw), het verloop van de verschildruk bij golfterugtrekking (exponentionele functie, functiewaarden uitgezet loodrecht op het talud; blauw) en een cosinusvormige schematisering daarvan (groen); maten in [m]

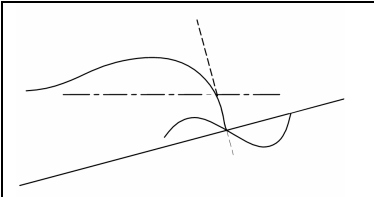
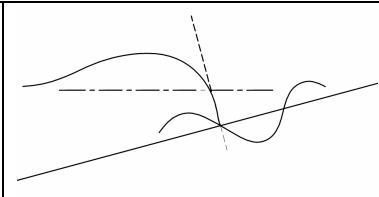
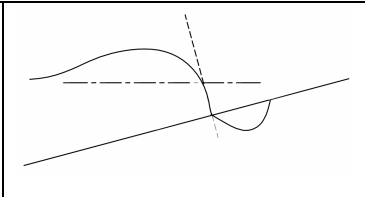
2.2 Belastingmodel

In het liggermodel werken de elementen in de toplaag samen en ontlenen stabiliteit aan elkaar. In het model zijn zowel het maximale opwaartse drukverschil, als het verloop van het drukverschil langs het talud van belang. Bij zeer kort durende belastingen is ook het verloop in de tijd van belang.

Er zijn twee gevallen waarbij een opwaarts gerichte verschildruk ontstaat: tijdens golfterugtrekking en direct na een (eventuele) golfklap. Van beide gevallen zijn er meetdata beschikbaar van verschildrukken langs het talud en in de tijd. Deze vertonen bij benadering het beeld van een 'hele' sinusgolf: een 'halve' golf met overdruk op de toplaag en een 'halve' golf met overdruk onder de toplaag (tabel 2-1, variant 1).

In het golfterugtrekkingsmodel [Klein Breteler, 2000] is het verloop op basis van stromingsformules beschreven met exponentionele functies (zie fig. 2-1). In het liggermodel [Peters, 2002] is dit verloop gebruikt om voor berekening van de buigende momenten in de toplaag. Nadat in de berekening enige vervorming optreedt en na mederekening van gaping tussen de elementen ontstaat een momentenlijn met 'anderhalve' golf, twee 'negatieve' pieken van buigende momenten aan de randen van het opgelichte veld en één 'positieve' piek in het midden van het opgelichte veld.

Redenerend vanuit a) de waarnemingen bij golfproeven en b) het resultaat van de berekeningen met liggertheorie [Peters 2002], wordt in dit rapport de belasting geschematiseerd als een sinusvormige belasting. Er zijn hierbij drie varianten denkbaar. Zie tabel 2-1.

		
<p>1. Stemt qua beeld overeen met meetdata</p>	<p>2. Verdisconteert golfklap druk op het talud; Bij zeer grote leklengtes kan de meest rechtse 'halve' golf de toename van het gewicht van de toplaag boven water representeren.</p>	<p>3. Symmetrische schematisering van 1.</p>

Tabel 2-1: Schematisering van verschildruk over toplaag bij golfterugtrekking, zie ook figuur 2-1, de golfhoogte op het talud en de geschematiseerde verschildruk zijn weergegeven

Voor de proeven is gekozen om te belasten met symmetrische belastinggevallen. De varianten 2 en 3 worden daartoe verder geanalyseerd.

In het liggermodel kan met alle mogelijke belastingsfuncties $q_w(x)$ worden gerekend. Met alle drie de in tabel 2-1 voorgestelde schematische belastingen, en passend gekozen parameters, is het mogelijk om een momentenverdeling uit te rekenen die overeenkomt met de momentenlijn die behoort bij een belasting volgens een willekeurig theoretisch of werkelijk drukverloop. De resultaten van de proefnemingen kunnen met het liggermodel altijd vertaald worden naar een respons op de werkelijke belastingsfunctie.

De 'golflengte' L van het opwaartse drukverschil en de amplitude $A = q_w$ moeten volgen uit de hydraulische belastingen. De juiste keuze van deze parameters is niet het onderwerp van deze studie, maar vooralsnog wordt de volgende werkwijze voorgesteld:

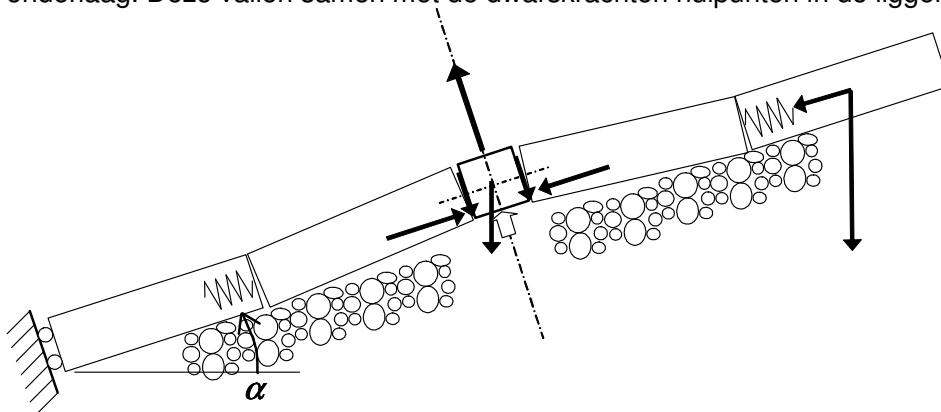
- De piekwaarde $\Phi_{w\uparrow}$ wordt bepaald uit het werkelijk gemeten of met de Wolsink-formules berekende verloop

- De totale opwaartse belasting langs het talud wordt geïntegreerd: $\int \rho \Phi_w \uparrow ds$
- Een equivalente sinusbelasting $q_w(x) = q_w \cos(\pi x / L)$ voor $-1/2L < x < 1/2L$ met de piekwaarde $q_w = \rho \Phi_w \uparrow$ wordt gehanteerd. Dat is geval 3 uit de tabel.
- De belastinglengte L wordt bepaald zodanig dat de som van de belasting $\frac{\pi}{2} q_w L$ gelijk is aan $\int \rho \Phi_w \uparrow ds$

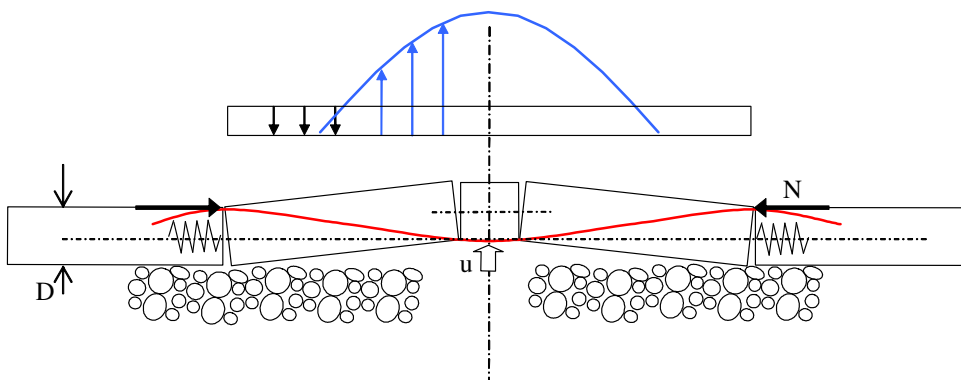
2.3 Responsie bekledingsconstructie

In [Peters, 2002] wordt de toplaag geanalyseerd als een geklemde 1D-ligger op een verende bedding. De normaalkracht, benodigd voor de samenhang, wordt aanwezig verondersteld in de richting van het talud van de dijk. De toplaag rust op een granulaire onderlaag en steunt zo nodig ook tegen een stijf veronderstelde teenconstructie. De verschilddruk grijpt aan op de elementen en wordt geanalyseerd als een liggerbelasting. Er ontstaan dwarskrachten en buigende momenten en daar waar de belasting het gewicht van de toplaag overschrijdt, laat deze los van de bedding. In het midden van het opgebogen veld en aan de randen (ter plaatse van de loslaatpunten) ontstaan bij grote belasting gapingen (zie figuur 2-3). De buigvervorming van de ligger is daardoor sterk niet-lineair. Er ontstaat een situatie die vergelijkbaar is met het optreden van plastische scharnieren in een constructie van staal of van gewapend beton.

De conclusies van de berekeningen aan het liggermodel waren dat er in alle gevallen een momentenverloop ontstaat dat zich goed laat beschrijven met een cosinus-functie. De momenten zijn maximaal ter plaatse van de loslaatpunten van de toplaag en de onderlaag. Deze vallen samen met de dwarskrachten nulpunten in de ligger.



Figuur 2-2: Evenwicht van krachten in een geklemde toplaag belast met $\phi_w > \Delta D$



Figuur 2-3: Evenwicht van krachten bij belasting van een ligger van geklemde toplaag-elementen met een belastingfunctie $q(x) = q_w(x) - q_s$

2.4 Faalmodel toplaag

De sterkte van de toplaag wordt bepaald door de dwarskracht- en de momentcapaciteit van de ligger.

De uiterst opneembare dwarskracht

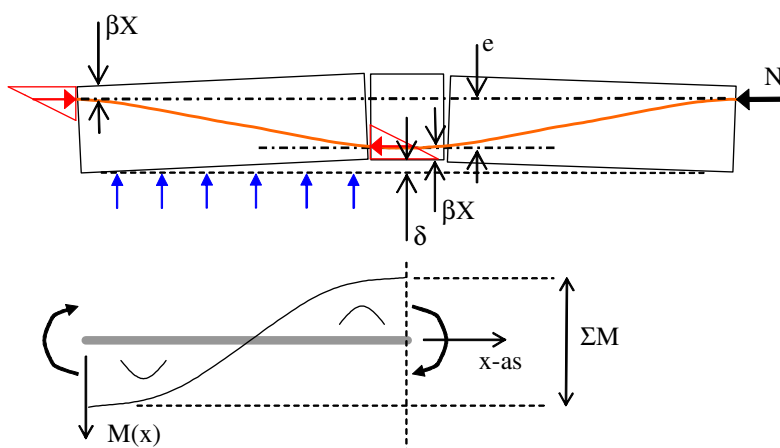
$$V_u = \mu \times N$$

Met N = normaalkracht
 μ = wrijvingscoëfficiënt

De momentcapaciteit van de ligger wordt bepaald door de momentensom, betrokken op de vervormde geometrie:

$$\Sigma M_u = N \times e = N \times (D - 2\beta X - \delta),$$

met D = element hoogte
 X = drukzonehoogte
 β = zwaartepuntsfactor drukzone vanaf de rand
 δ = maximale verticale opbuiging van de ligger



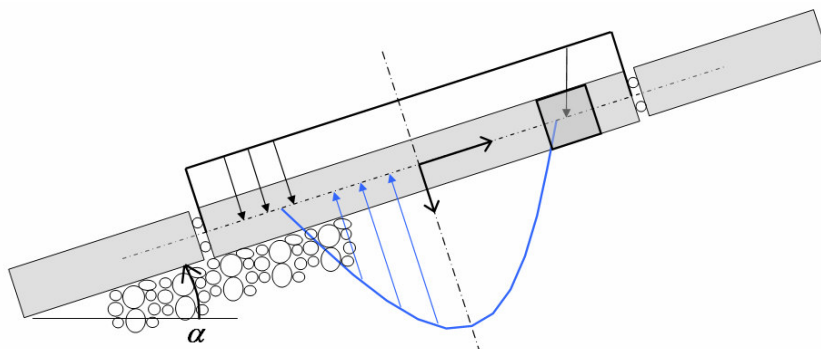
Figuur 2-4: Inwendig buigend moment $N \times e$ maakt evenwicht met ΣM

2.5 Evenwichtsmodel

De sinusvormige belasting door waterdruk $q_w(x)$ op een toplaagdeel met een gelijkmatig verdeeld eigen gewicht q_s laat zich analytisch vertalen in een respons. De respons moet representatief zijn voor de respons op de werkelijke belasting. Daartoe is van belang dat de aangenomen belasting tot dezelfde momenten en dwarskrachten leidt als de werkelijk aanwezige hydraulische belasting. L en q_w kunnen hierop worden aangepast. Ook een juiste positie van het equivalente maximale moment is van belang omdat de normaalkracht niet overal langs het talud constant is. Hier zal nog een separate vergelijkende analyse op moeten worden verricht.

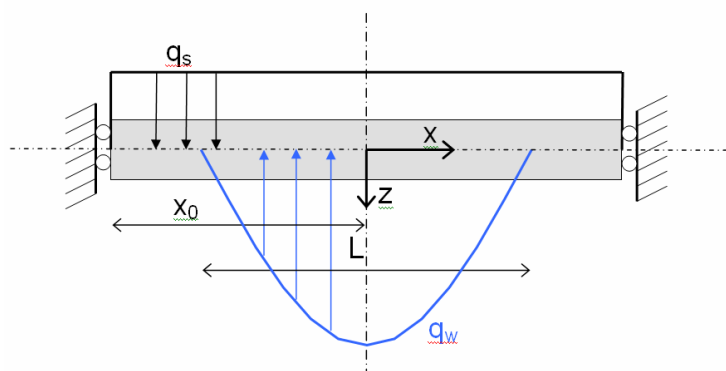
Het evenwichtsmodel heeft betrekking op het van de bedding losgekomen deel. Dit 'zwevende' deel wordt begrensd door elementen die juist geen liftkrachten meer onder vinden van de belasting, dan wel van de naburige elementen in de drukboog.

De lengte van het evenwichtsmodel wordt berekend aan de hand van het verticaal evenwicht van het opgelichte deel. De randen van het model zijn gedefinieerd op de dwarskrachten nulpunten en liggen op een afstand X_0 van het midden.



Figuur 2-5: Constructie en belasting schema. Het gewicht van het geschematiseerde deel van de toplaag maakt evenwicht met de verschildruk

2.5.1 Belastingmodel met 'halve' sinusgolf



Figuur 2-6: Geschematiseerd deel toplaagconstructie. De lengte $2X_0$ volgt uit berekening van het evenwicht van krachten

De opwaartse waterbelasting $q_w(x) = q_w \cos \frac{\pi x}{L}$ voor $-\frac{1}{2}L < x < \frac{1}{2}L$

Integratie van de opwaarts gerichte belasting geeft voor $x > 0$:

$$\int_0^{\frac{1}{2}L} q_w \cos \frac{\pi x}{L} = \left[-\frac{q_w L}{\pi} \sin \frac{\pi x}{L} \right]_0^{\frac{1}{2}L} = -\frac{1}{\pi} q_w L$$

De lengte van het deel van de toplaag tussen de dwarskrachten nulpunten wordt nu gevonden uit:

$$\frac{X_0}{L} = \frac{1}{\pi} \frac{q_w}{q_s} \text{ voor } x_0 > \frac{1}{2}L$$

met q_s = het gewicht van de toplaag

$$q_s = (\rho_s - \rho_w)g \cos \alpha D = \rho_w g \cos \alpha \Delta D$$

Voor $x_0 < \frac{1}{2}L$, dat wil zeggen $\frac{q_w}{q_s} < \frac{\pi}{2} = 1.57$, volgt X_0 uit:

$$\int_0^{X_0} q_w \cos \frac{\pi x}{L} = \left[-\frac{q_w L}{\pi} \sin \frac{\pi x}{L} \right]_0^{X_0} = q_s X_0$$

Het buigend moment wordt berekend uit:

$$M(x) = \int V(x)dx = \frac{q_w L^2}{\pi^2} \left(1 - \cos \frac{\pi x}{L} \right) - \frac{1}{2} q_s x^2 + C \text{ voor } x < \frac{1}{2}L$$

en

$$= \frac{q_w L^2}{\pi^2} \left(1 + \pi \left(\frac{x}{L} - \frac{1}{2} \right) \right) - \frac{1}{2} q_s x^2 + C \text{ voor } x > \frac{1}{2}L$$

Voor de 'momentensom' $M(0) - M(x_0)$ wordt voor $x > \frac{1}{2}L$ gevonden:

$$\text{som } M = \frac{q_w L^2}{\pi^2} \left(1 + \pi \left(\frac{x_0}{L} - \frac{1}{2} \right) \right) - \frac{1}{2} q_s x_0^2$$

Bij gaping van de elementen en opbuiging van betekenis volgt uit kinematische en compatibiliteits-overwegingen dat de momentensom gelijk verdeeld wordt over het veldmidden en de ingeklemde randen. Zie [Peters, 2002].

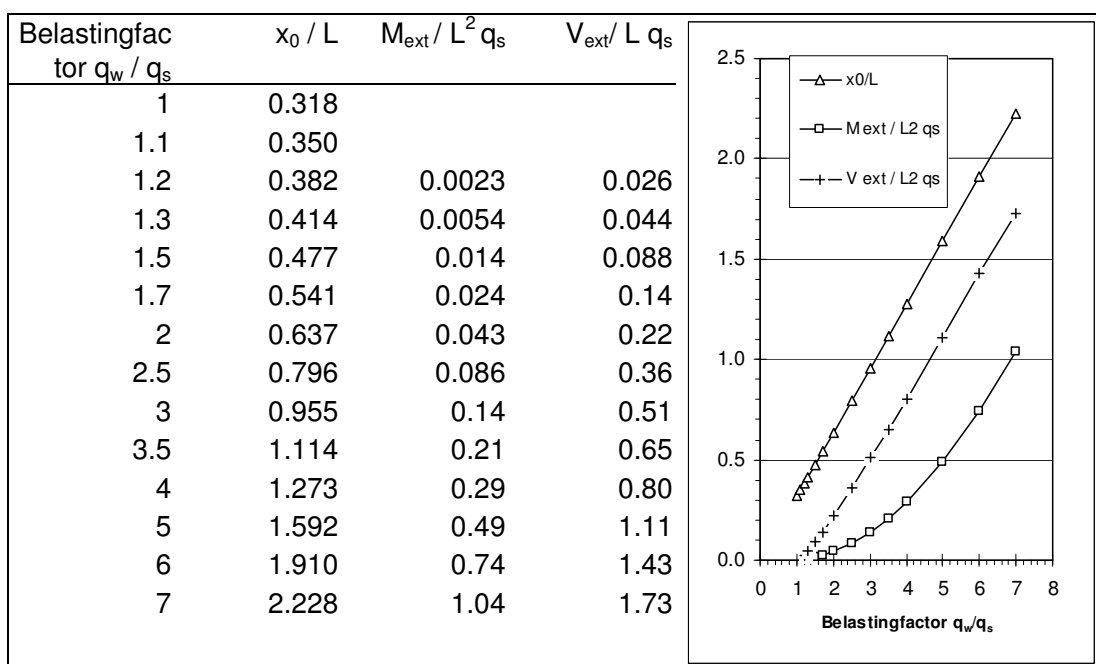
De extreme waarde van het moment bedraagt dan:

$$M_{ext} = \frac{1}{2\pi^2} q_w L^2 \left(1 + \pi \left(\frac{x_0}{L} - \frac{1}{2} \right) \right) - \frac{1}{4} q_s x_0^2$$

of:

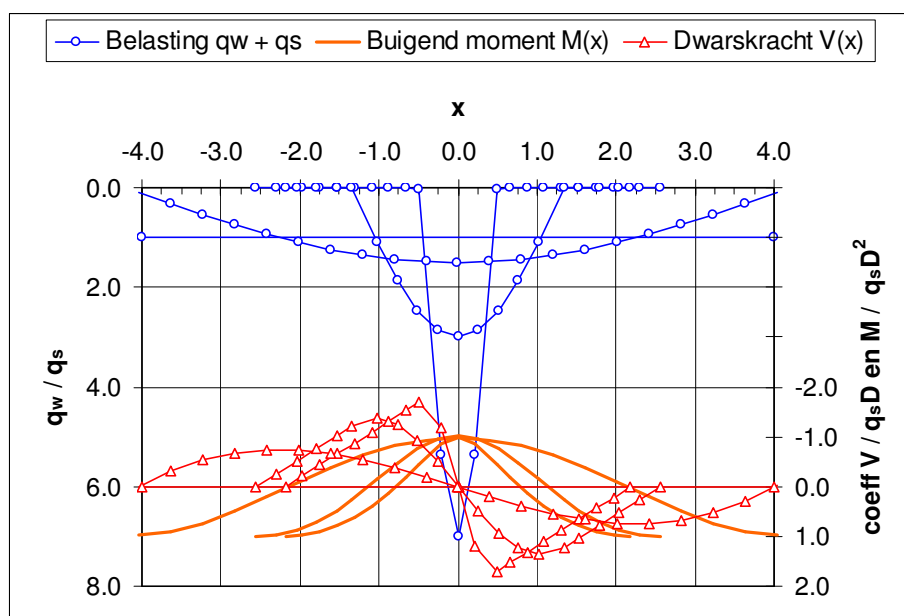
$$\frac{M_{ext}}{q_s L^2} = \left(\frac{1}{2\pi^2} - \frac{1}{4\pi} \right) \frac{q_w}{q_s} + \frac{1}{4\pi^2} \left(\frac{q_w}{q_s} \right)^2$$

Voor $x < \frac{1}{2}L$ kunnen de vergelijkingen ook worden uitgewerkt en worden in tabel 2-2 gepresenteerde resultaten gevonden.

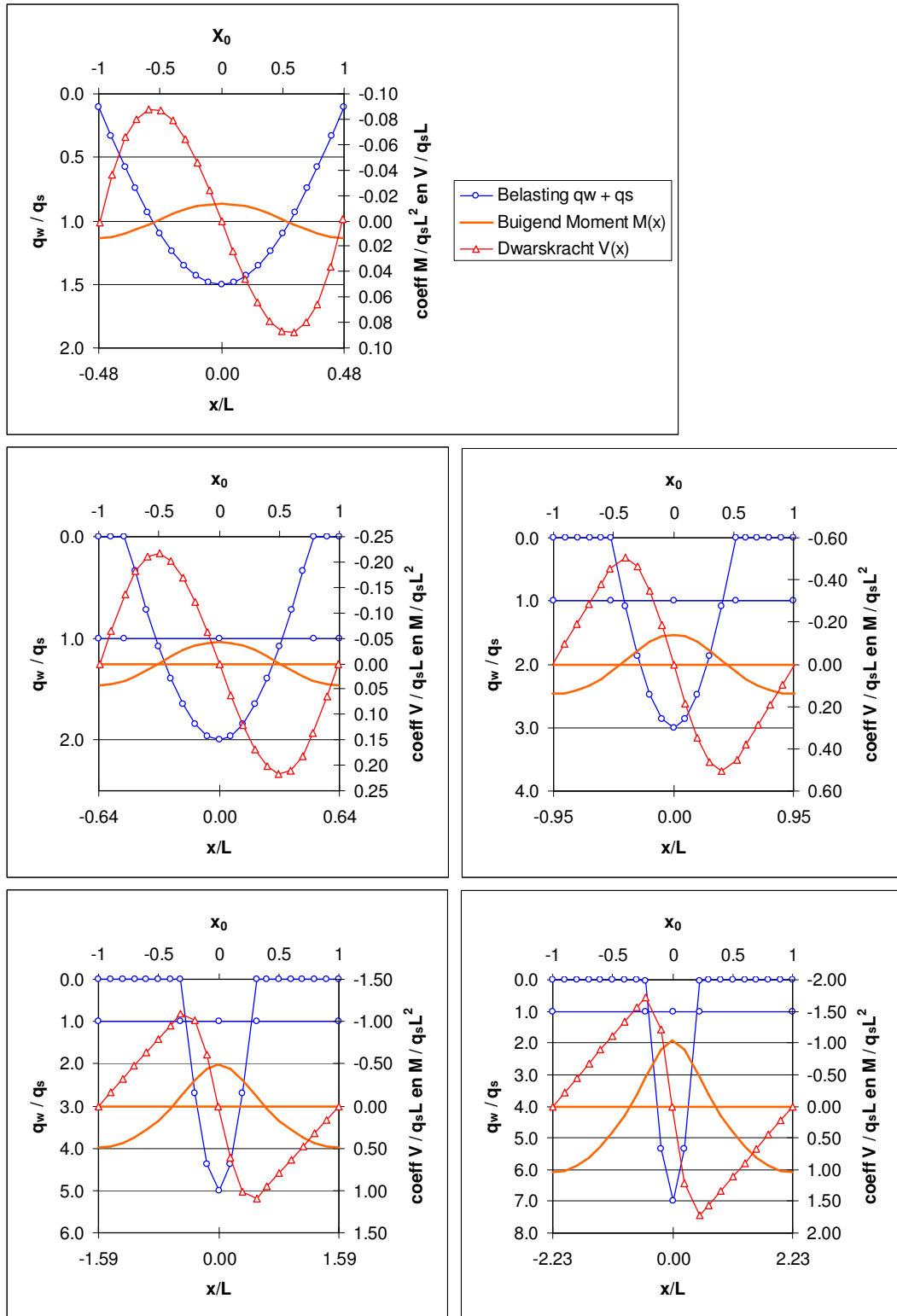


Tabel 2-2: Waarden van buigend moment M en dwarskracht V als functie van de belastingfactor q_w/q_s

De sterkte van een geklemde steenzetting kan worden uitgedrukt in M_U . Indien $M_{ext} < M_U$ dan is de zetting stabiel. De grootte van M_{ext} hangt af van q_w/q_s en van L . Dit wordt gedemonstreerd door een aantal gevallen door te rekenen. Gebruik makend van de bekende parameter ρ_s worden M en V worden uitgedrukt in het gewicht q_s en dikte D van de toplaag.

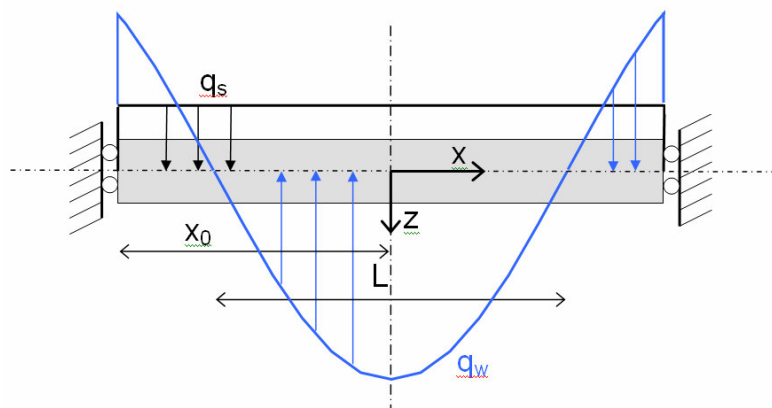


Figuur 2-7: Verschillende belastingen met parameters q_w/q_s en L (figuur 2-6) leiden tot een even groot buigend moment en tot dwarskrachten van verschillende grootte



Figuur 2-8: Belasting, moment- en dwarskrachtgrafieken voor resp. $q_w/q_s = 1.5, 2, 3, 5$ en 7 ; Hoewel tegengesteld van richting zijn q_w en q_s beide weergegeven als positieve waarden, uitgetzet als q_w/q_s en 1 ; In alle figuren is te zien dat $\int(q_w/q_s)dx = 2X_0$

2.5.2 Belastingmodel met 'anderhalve' sinusgolf



Figuur 2-9: Geschematiseerd deel toplaagconstructie. De lengte $2X_0$ volgt uit berekening van het evenwicht van krachten

Voor de belasting met uitbreiding naar neerwaartse verschildrukken geldt:

$$q_w(x) = q_w \cos \frac{\pi x}{L} \text{ voor } -x_0 < x < x_0$$

$$D(x) = -\int q(x) dx = -\frac{q_w L}{\pi} \sin \frac{\pi x}{L}$$

De dwarskracht ten gevolge van het eigen gewicht van het gelifte deel is:

$$D(x) = q_s x$$

De positie van het dwarskrachtennulpunt volgt uit:

$$-\frac{q_w L}{\pi} \sin \frac{\pi x_0}{L} + q_s x_0 = 0$$

Het buigend moment wordt berekend uit:

$$M(x) = \int D(x) dx$$

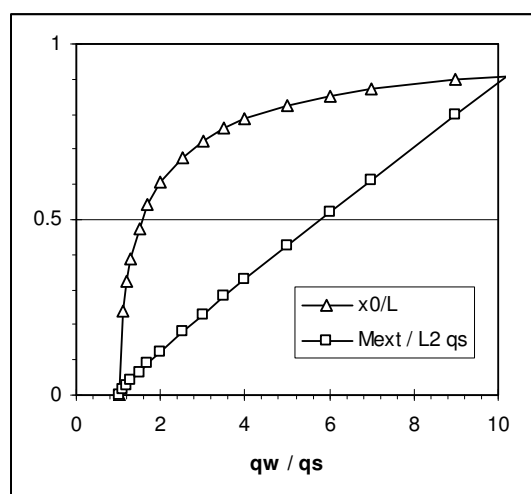
$$= \frac{q_w L^2}{\pi^2} \cos \frac{\pi x}{L} - \frac{1}{2} q_s x^2 + C$$

Voor de 'momentensom' $M(0) - M(x_0)$ wordt gevonden:

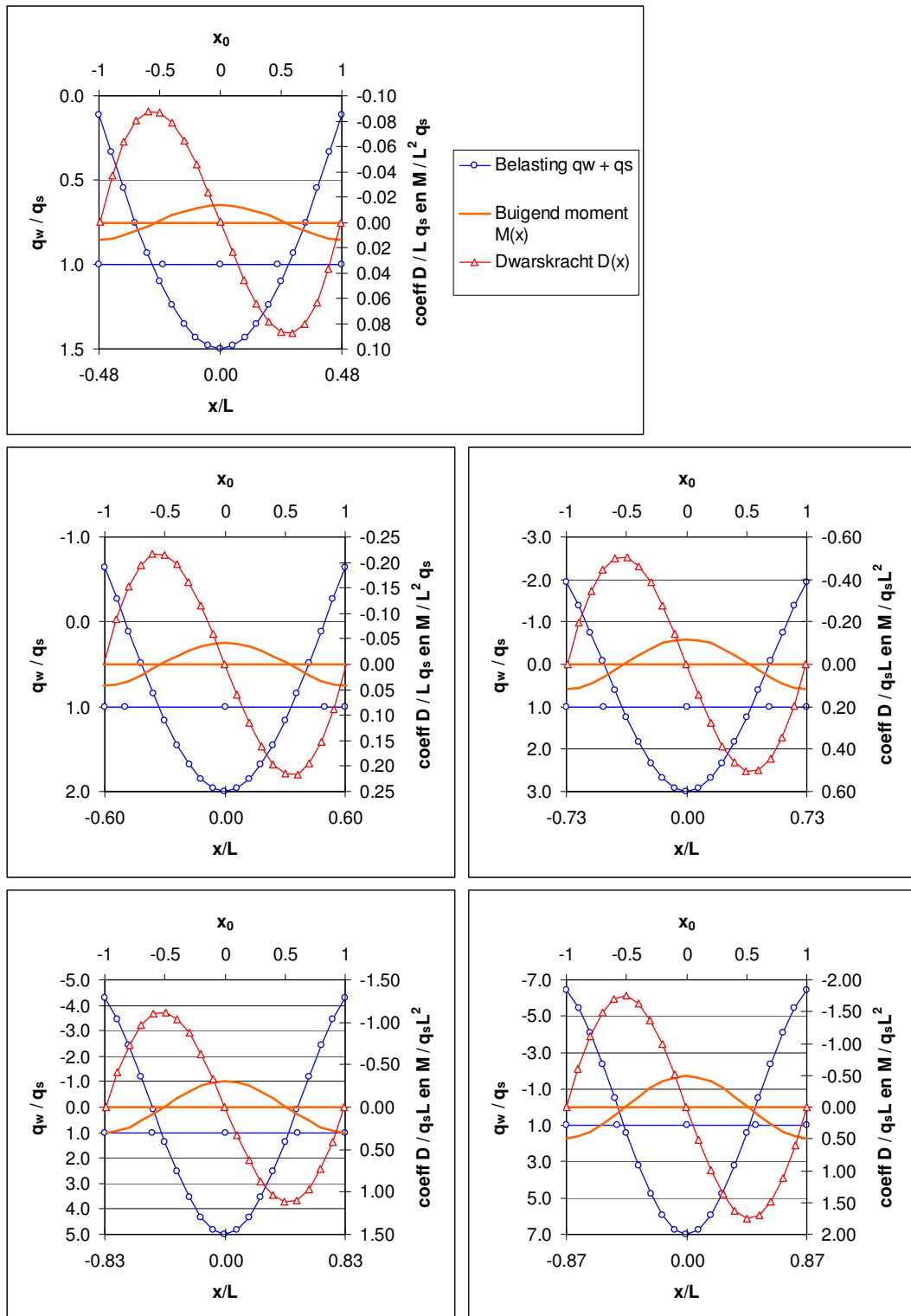
$$\text{som } M = \frac{q_w L^2}{\pi^2} \left(1 - \cos \frac{\pi x_0}{L} \right) - \frac{1}{2} q_s x_0^2$$

De extreme waarde van het moment bedraagt dan:

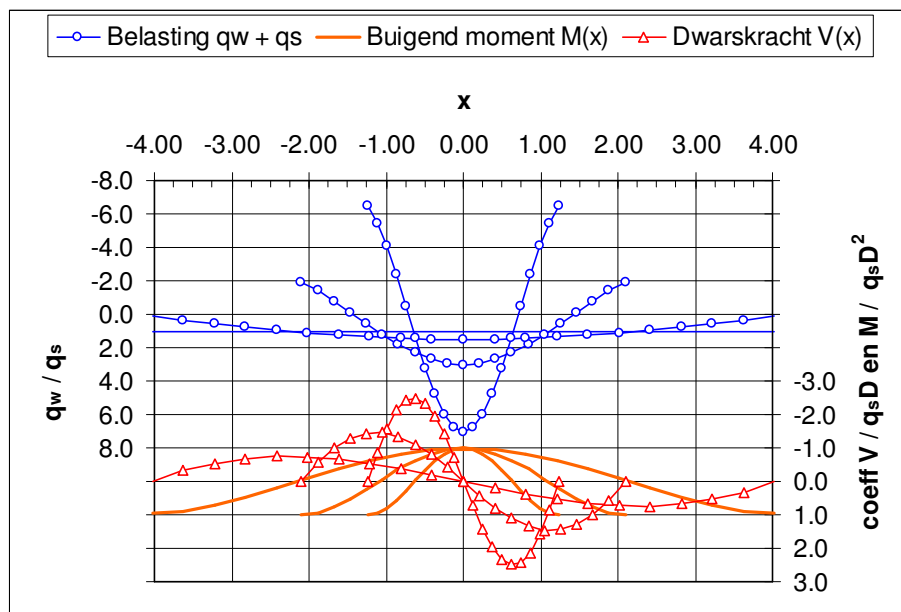
$$M_{ext} = \frac{1}{2\pi^2} q_w L^2 \left(1 - \cos \frac{\pi x_0}{L} \right) - \frac{1}{4} q_s x_0^2$$



Figuur 2-10: X_0 en M als functie van q_w/q_s voor constructie in figuur 2-9



Figuur 2-11: Belasting, moment- en dwarskrachtgrafieken voor resp. $q_w/q_s = 1.5, 2, 3, 5$ en 7



Figuur 2-12: Voorbeelden van belastingen op constructie van figuur 2-9 die leiden tot een even groot buigend moment, maar tot dwarskrachten van verschillende grootte

q_w / q_s	1.5	3	7
$M / q_s L^2$	0.014	0.12	0.49
Stel L / D	8.45	2.89	1.41
$M / q_s D^2$	1.0	1.0	1.0
$V / q_s L$	0.088	0.5	1.75
$V / q_s D$	0.75	1.46	2.50

Tabel 2-3: Numerieke data voorbeelden figuur 2-12

Bij geconcentreerde belasting met een hoge piekwaarde treedt de grootste dwarskracht op. Zie voor verdere uitwerking van dit voorbeeld ook par. 7.2.

Een vergelijking van de resultaten voor beide belastingschema's is gegeven in tabel 2-4. Het blijkt dat er alleen in de waarden van de momentcoëfficiënten verschillen ontstaan. Boven de $q_w/q_s = 3$ zijn deze significant.

q_w/q_s	Belasting vlg. figuur 2-6		Belasting vlg. figuur 2-9	
	$M / q_s L^2$	$V / q_s L$	$M / q_s L^2$	$V / q_s L$
1.5	0.014	0.088	0.014	0.088
3	0.14	0.51	0.12	0.50
7	1.04	1.73	0.49	1.75

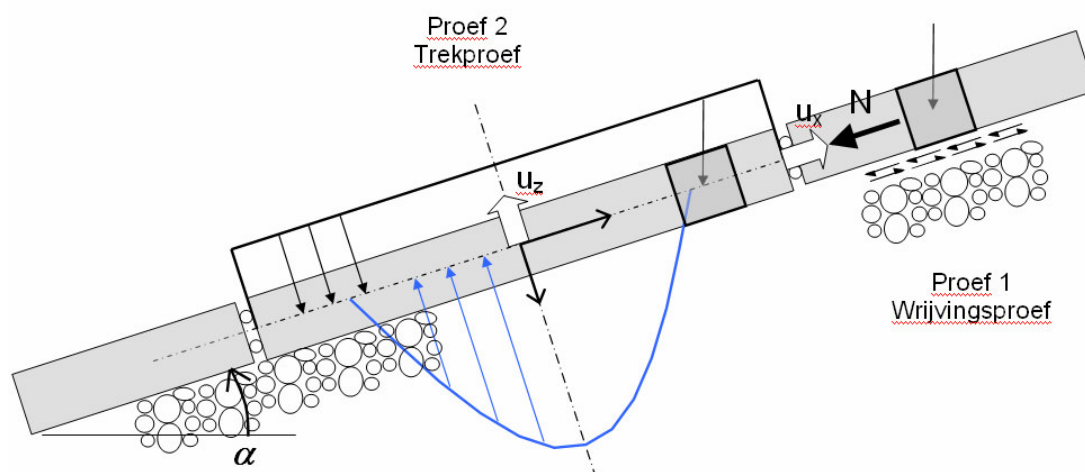
Tabel 2-4: Vergelijking resultaten belastingschema's met 'halve' en 'anderhalve' sinus

3 BESCHRIJVING VAN HET ONDERZOEK

3.1 Aanleiding en opzet proeven

Het principe van het beoordelen van de capaciteit van een geklemde toplaag als ligger en het ontlenen van extra stabiliteit aan de aanwezige normaalkracht is nieuw. Het principe behoeft daarom validatie alvorens het in ontwerp- en toetsmethodes toepassing kan vinden.

Er is een proevenprogramma opgezet dat bedoeld is als een 'triviale' validatie - Werkt het liggermodel? - en tevens bedoeld is voor bepaling van de relevante parameters en de mate van extra stabiliteit die te ontlenen is aan klemming.



Figuur 3-1: Model van de toplaag met daarin aangegeven het principe van de proefstukken behorende bij de proevenseries 1 en 2

Er is een trekproevenprogramma (proevenserie 2) gedefinieerd waarbij de sterkte van een veld uit de toplaag wordt getest. Het veld ligt daarbij horizontaal op een wrijvingsloze tafel. De aangebrachte trekbelasting is sinusvormig en varieert in lengte en piekwaarde. De grootte van de aangebrachte normaalkracht in de toplaag is gevarieerd.

Het is de bedoeling om in vervolg onderzoek een antwoord te krijgen op de vraag of er wel normaalkracht aanwezig is, en of er op kan worden vertrouwd.

Er wordt nu reeds voorzien dat het al dan niet aanwezig zijn van normaalkracht sterk kan worden beïnvloed door de wrijvingskrachten tussen de toplaag en de bedding. De dijkellingen zijn zo flauw dat de steenbekleding niet vanzelf naar beneden glijdt. Er is dan sprake van een negatief effect op de normaalkracht. De praktijk leert dat de bekledingen van het type dat hier bestudeerd wordt wel altijd geklemd liggen [Klein Breteler, 2003]. Een van de hypothesen in [Peters, 2002] is dat het aangevallen en opgetilde deel van de bekleding ook vervorming in het vlak van de bekleding genereert. Het opgetilde gedeelte van de toplaag duwt het bovenliggende veld omhoog. De richting van de wrijvingskrachten draait dan om en op deze wijze kan de normaalkracht toenemen.

Omdat de wrijvingseigenschappen de grootte van de normaalkracht sterk beïnvloeden is er ook een wrijvingsproevenprogramma opgesteld (proevenserie 1).

Vervolgens is er ook een proevenserie 3 opgezet waarbij de trekproef van serie 2 wordt herhaald op een toplaag op een granulaire laag. De bedoeling van deze proef is om te bezien of er extra sterkte is ten opzichte van de proeven uit serie 2.

3.2 Opzet proevenserie 1

3.2.1 Literatuurgegevens

In proevenserie 1 wordt de wrijving tussen de toplaag en de onderliggende granulaire laag onderzocht. Uit de literatuur [OCDI 1991] is bekend dat de wrijvingsfactor tussen gladde (beton-)oppervlakken en stortsteen (rubble) ongeveer 0.6 bedraagt. Over de kwantitatieve verschillen binnen beschikbare meetseries en over de toepasbaarheid van de beschikbare resultaten op steenzettingen is te weinig bekend. Over de kwalitatieve invloed van verschillende variabelen op de wrijvingscoëfficiënt is enige kennis beschikbaar (zie tabel 3-1).

De wrijvingscoëfficiënt is gedefinieerd als de verhouding tussen de horizontale kracht, benodigd voor het verplaatsen, en de verticale kracht gelijk aan het eigen gewicht van het boven het schuifvlak liggende materiaal.

Bij wrijving wordt onderscheid gemaakt in statische wrijving en dynamische wrijving. Statische wrijving is de wrijving waarbij juist bewegen zal optreden. Dynamische wrijving is de wrijving die optreedt bij doorgaande beweging na overwinnen van de statische wrijving. De waarde voor dynamische wrijving ligt doorgaans lager dan die van statische wrijving. Dit verschijnsel is ook bekend als stick-slip. Bij wrijving over granulair materiaal wordt waargenomen dat dit verschijnsel voortdurend optreedt. De wrijvingscoëfficiënt neemt steeds toe tot een maximale waarde waarbij oneffenheden in de filterlaag bezwijken.

Bij de aanleg van de Oosterscheldkering is onderzoek gedaan [Van Staverden, 1983] naar verschillende aspecten van wrijving van een betonnen constructie op een granulaire ondergrond en van diverse materialen over elkaar. Vooral de kwalitatieve uitspraken over effecten op de wrijvingscoëfficiënt blijken een goed uitgangspunt voor dit wrijvingsonderzoek te vormen. Waarbij overigens wel steeds de relevantie met betrekking tot het geval van wrijving op een talud in de gaten gehouden moet worden. In de tabel staan gegevens voor wrijving tussen vaste materialen.

Factor	Effect op de wrijvingscoëfficiënt
Snelheid van belasten	Bij een hogere snelheid wordt de dynamische wrijving bij een kortere verplaatsing bereikt en is iets lager
Oppervlaktestructuur	Een hoekiger structuur van de filterlaag geeft een hogere statische wrijvingscoëfficiënt
Bovenbelasting	De wrijvingscoëfficiënt neemt iets af bij hogere belasting
Glijmiddelen	Een nat grensvlak leidt tot een lagere wrijvingscoëfficiënt

Tabel 3-1: In de literatuur bekende invloeden van wrijving

Tussen korrels onderling blijkt bovendien dat bij een toename van de ruwheid, dichtheid en korrelgrootte de inwendige wrijvingshoek toeneemt. Bij een bredere gradering neemt de interne wrijvingshoek ook toe. Mogelijk zijn de hier genoemde korreleigenschappen ook van invloed op de hoogte van de wrijvingscoëfficiënt bij wrijving van een steenbekleding op een granulaire filterlaag.

3.2.2 Doel van het onderzoek en onderzochte parameters

Het doel van het onderzoek is inzicht te krijgen in het effect dat diverse factoren hebben op de wrijving van steenbekledingselementen over een granulaire filterlaag.

Het gaat daarbij om de vraag wat de invloed van verschillende wijzen van belasten van de zetting is en de invloed van ontwerpparameters en omgevingsomstandigheden. Bij de gekozen variaties is getracht zoveel mogelijk aan te sluiten bij de praktijk.



Tabel 3-2: Elementen van een zetting van resp. natuurbasalt, Basalton en Hydroblocks

De invloed van de volgende parameters is onderzocht. De testvariabelen zijn opgesplitst in ontwerp, omgevings- en belastingvariabelen (tabel 3-3 en 3-4).

Parameter	Toegepaste variaties / opmerking				Ontwerp-variabelen	
Type toplaagelement	Type	Hoogte [cm]	Dichtheid [kg/m ³]	Proefstuk [m ²]		Aantal elementen
	Hydroblock	15	2350	1.02×1.03		16
	Basalton	15	2650	1.18×1.20		38
	Basalton	25	2350	1.18×1.20		16
	Basalt	20	2950	1.00×1.03		42
Samenstelling granulaire laag	Materiaal	Korrelgrootte [mm]		Opm.		
	Steenslag	22 – 40		Basis (hoekig)		
	Steenslag	8 – 11		Kleinere korrel		
	Grind	15 – 40		Rondere korrel		
	Metselzand	0.1 – 4		Zeer kleine korrel		
Voegvulling	Grove steenslag Fijne steenslag Geen inwasmateriaal					
Klemming van de elementen	Variatie van de onderlinge bewegingsmogelijkheid van de elementen middels een uitwendig frame. Bij afwezigheid van het frame beweegt de belaste rand eerder dan de tegenoverliggende rand.					
Verandering van de verplaatsingsrichting	Onderzocht is of de glijweerstand in twee richtingen gelijk is.					

Tabel 3-3: Overzicht toegepaste ontwerpvariabelen in proevenserie 1

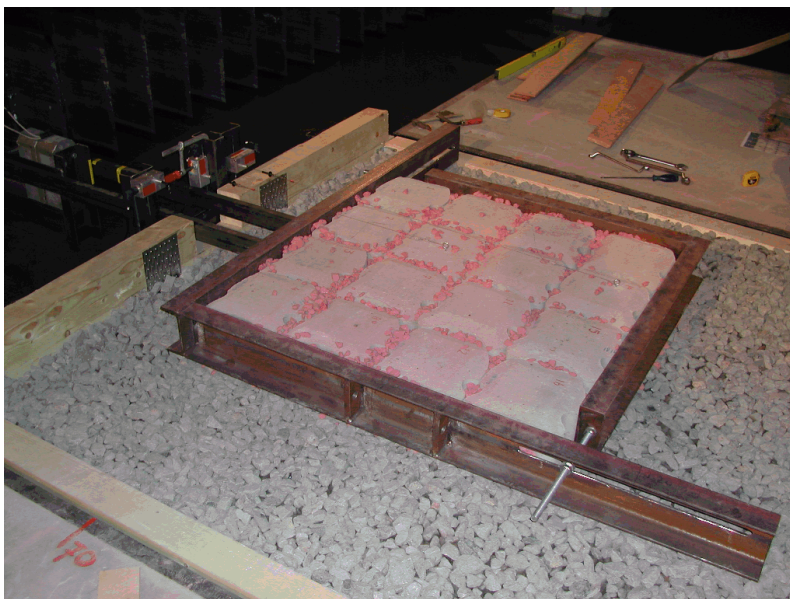
Water	Droog filtermateriaal Nat (vochtig) filtermateriaal Grensvlak (en filter) onder water					Omgevingsvariabelen
Inzanding	Zowel de granulaire laag als de voegvulling is 'vervuild' met een zand-bentoniet mengsel. Er is sprake van toevoeging van a) fijnere korrel, b) water en c) cohesie.					
Lengte van het bewegende deel van de zetting	Om het effect van klemming en 'rek' in de zetting zelf beter te kwantificeren is ook een beperkt aantal proeven met een langer proefstuk uitgevoerd.					
	Basalton	15 cm	2650 kg/m ³	1.0×3.0 m ³	80 elementen	
Belastingsnelheid	De snelheid van golfbelasting varieert en verschilt van de snelheid van bewegen bij zetting. Er wordt een effect verondersteld vanwege het al dan niet snel kunnen optreden van herschikking van de korrels. De onderzochte variaties zijn: 1, 2, 5, 10, 20 en 30 mm/s					Belastingvariabelen
Grootte van de glijweg	De grootte van de korrel van het granulaire materiaal wordt verondersteld hierop van invloed te zijn. Er zijn verplaatsingen onderzocht met een glijweg van 10, 20, 30, 40 en 100 mm.					
Bovenbelasting	Er is onderzocht of bovenbelasting invloed heeft op de grootte van de wrijvingscoëfficiënt. Op deze wijze kan het eventuele effect van een zwaardere bekleding worden getest. 300 kg extra (= 60 à 100% extra gewicht op proefstukken)					
Herhaling van de verplaatsing	Zowel een herhaalde doorgaande verplaatsing als een herhaling van een cyclus waarbij het proefstuk eerst weer in zijn uitgangspositie wordt gebracht.					
Verandering van de verplaatsingsrichting	Onderzocht is of de glijweerstand in twee richtingen gelijk is.					

Tabel 3-4: Overzicht toegepaste omgevings- en belastingvariabelen in proevenserie 1

3.2.3 Beschrijving uitvoering proeven

De wrijvingsmetingen zijn uitgevoerd voor verschillende typen bekledingen en verschillende onderlagen om een uitgebreid inzicht te verkrijgen in de invloed van deze parameters. De proefstukken bestaan uit een gedeelte van de toplaag van ca. 1 x 1 m² op een granulaire onderlaag in een daarvoor ingerichte bak met een oppervlak van circa 1.5 x 1.5 m² en 0.15 m hoog. De verificatie-testen voor de invloed van de lengte zijn uitgevoerd met een groter proefstuk waarbij het oppervlak van de toplaag 1 x 3 m² bedroeg. De granulaire onderlaag had een oppervlak van 1.5 x 3.5 m².

Als locatie voor de proeven is de Scheldebak van het WL|Delft Hydraulics gebruikt. Hiervoor is gekozen omdat een deel van de proeven onderwater uitgevoerd moet worden en tevens kan voor het verplaatsingsgestuurd verschuiven van de steenzettingen gebruik gemaakt worden van de golfschotten van de Scheldebak.



Figuur 3-2: Proefopstelling met proefstuk bestaande uit 16 Hydroblocks

Voor het inbouwen van de steenzetting zijn alle elementen voorzien van een stalen oog, waaraan het element kan worden opgehesen om het herplaatsen van de zuilen te vergemakkelijken. De elementen werden geplaatst in een stalen frame. Dit frame zorgt ervoor dat de blokken gemakkelijk geplaatst kunnen worden. Tevens wordt het frame gebruikt om de steenzetting in te klemmen, zodat deze zich gedraagt als een plaat.

Bij het inbouwen is de volgende werkwijze worden toegepast:

- Plaatsen van de onderlaag
- Egaliseren van de onderlaag
- Plaatsen van de toplaag in het frame
- Inklemmen van de steenzetting met behulp van het frame
- Aanbrengen van de inwassing; met de hand inbezemen en licht aandrukken in de voegen
- 'Inzanden'; kleimengsel bestaande uit 20 delen inwasmateriaal steenslag 5–11 mm, 10 delen zand, 1 deel bentoniet, gemengd met ongeveer 5 delen water; aangebracht als aparte laag van 5 cm onder de toplaag en in de voegen.
- Aansluiten verplaatsingsmeters
- Waterpeil instellen; de situatie 'nat' is gesimuleerd door het waterpeil te verhogen tot juist boven de onderzijde van de toplaag en vervolgens te laten zakken; de situatie 'onder water' is het niveau gehandhaafd op de hoogte van de bovenzijde van de granulaire laag.
- Aanbrengen van de belasting volgens schema's in bijlage 3.

Om bij de herhalingsproeven gelijke omstandigheden te creëren is na elke proef de filterlaag opnieuw geëgaliseerd en is de steenzetting opnieuw geplaatst. Om het inwasmateriaal beter te kunnen onderscheiden van de onderlaag is het inwasmateriaal geverfd.



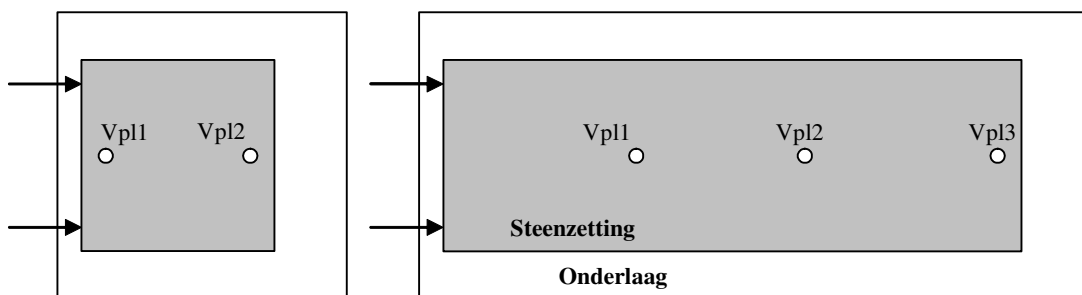
Figuur 3-3: Inwasmateriaal steenslag (5-11): geverfd Noors graniet

Voor elk type steenzetting is dezelfde werkwijze toegepast. Voor de steenzetting van basaltzuilen geldt dat deze steenzetting normaal uitgevoerd wordt door professionele steenzetters. Om planningstechnische redenen was dit voor deze proeven niet haalbaar. De modelassistenten van het WL hebben ook ervaring in het plaatsen van steenzettingen en zij hebben de basaltsteenzetting zelf geplaatst.

Voor het verplaatsingsgestuurd verschuiven van de steenzetting is, na gebleken geschiktheid, gebruik gemaakt van het golfschot van de Scheldebak. Om het golfschot geschikt te maken voor deze testopstelling is een constructie op de golfmachine gemonteerd, die ervoor zorgt dat de kracht rechtstreeks op de steenzetting overgebracht wordt. Het golfschot kan een maximale kracht leveren van circa 20 kN (trek- of drukkracht). Met het golfschot is het mogelijk om de verplaatsingsgestuurde kracht op te bouwen in een vooraf op te geven tijdsduur.

De verplaatsing van het golfschot wordt via een pendel overgebracht op het frame en de elementen. De hiervoor benodigde kracht wordt gemeten via drukopnemers tussen het golfschot en de pendel (capaciteit 10 ton). Van twee elementen, halverwege en aan het eind van de zetting, wordt de verplaatsing gemeten. Bij de lange zetting wordt op drie plaatsen de verplaatsing gemeten, om eventuele verschillen in verplaatsing vast te kunnen leggen. Binnen het meetbereik van de verplaatsingsopnemers is een verplaatsing van 50 mm mogelijk. Bewegingen kunnen tot 0,001 mm nauwkeurig geregistreerd worden. Zonder verplaatsingsopnemers kan binnen de mogelijkheden van het golfschot en de afmetingen van het filterveld een verplaatsing van ongeveer 100 mm gemaakt worden. De aansturing van het golfschot is mogelijk in millimeters. De tijd moet in veelvouden van hele seconden opgegeven worden.

Van de mogelijkheid om een krachtgestuurde beweging op te leggen is geen gebruik gemaakt. Hiervoor waren aanpassingen nodig aan de bestaande programmatuur van de golfschot installatie. Gezien het verwachte stick-slip gedrag is er geen meerwaarde van krachtgestuurd belasten. De praktische uitvoerbaarheid van een zuiver krachtsgestuurd experiment is ook twijfelachtig.



Figuur 3-4: Proefstukken, bewegingsrichting en aantal verplaatsingsopnemers

Bij de proefnemingen zijn alle gegevens van het verloop van de kracht en de verplaatsing in de tijd geregistreerd. Het verloop geeft inzicht in de beïnvloedende factoren en beantwoordt daarmee aan het doel van de proef.

De maximaal optredende kracht wordt gebruikt om de wrijvingscoëfficiënt te berekenen. De statische wrijvingscoëfficiënt is gedefinieerd als:

$$f = \frac{\max H}{\Sigma V},$$

waarin

ΣV = de massa van de toplaagelementen, het inwasmateriaal en het frame dat op het proefstuk rust $\times g$

3.2.4 Proevenprogramma

Er zijn 37 series experimenten uitgevoerd. Na elke serie wordt de proefzetting steeds opnieuw opgebouwd; de elementen worden weggehaald en het bed wordt opnieuw geprepareerd of vervangen.

Een serie bestaat uit een aantal verplaatsingen over de filterlaag in verschillende richtingen, met verschillende snelheden en grootte van de verplaatsingen en eventueel met extra bovenbelasting, trillen of een los frame. Een andere variatiemogelijkheid is het doorbewegen in een richting met of juist zonder aflaten van de kracht.

Omdat niet bekend is of metingen na de eerste keer schuiven nog representatief en vergelijkbaar zijn, is voor de eerste twee verschuivingen van elke proef een standaard gekozen. Na deze verschuivingen zijn dan vervolgens nog enkele variaties mogelijk. Als standaard voor de eerste twee proeven uit elke serie is gekozen voor een verschuiving van 10 mm in 2 seconden.



Eerst als drukkracht voor het golfschot, gevolgd door een identieke beweging in andere richting. Proeven die daarna plaatsvinden variëren in snelheid van 1 tot 40 mm/s, terwijl de verplaatsingen tussen de 10 en 100 mm liggen, eventueel met toepassing van bovengenoemde variaties.

Als uitgangspunt fungeren de proeven met Hydroblocks op een grove onderlaag. Hiervan worden eerst onder droge omstandigheden met en zonder inwassing en onder water met inwassing 4 experimenten gedaan. Onder droge condities, maar met inwassing worden vervolgens op dezelfde onderlaag de andere typen elementen verschoven. Daarna wordt de betekenis van inzanding en inslibbing bekeken. Af en toe worden hiervoor ook Basalton-zuilen benut om eventuele verschillen afhankelijk van het steentype ook te kunnen meten. Van al deze experimenten worden steeds twee stuks



uitgevoerd. Ten slotte vinden variaties met de onderlaag plaats. Van deze experimenten wordt nog maar een identiek experiment uitgevoerd.

onderlaag toplaag (proefstuk 1 × 1 m ²)	steenslag				rond grind			zand	
	grof		fijn		droog	nat	onder water	nat	onder water
aantallen i.v.m. onderzoek spreiding	droog	nat	onder water	nat					
Hydroblocks 15 cm	4								
idem ingewassen met basaltsplit	4		4	2	1		1		1
idem vervolgens ingezand /modder/schelpen		2	2					1	1
Basalton 15 cm									
ingewassen met basaltsplit	2								
idem vervolgens ingezand /modder/schelpen		2	2	1					1
Basalton 15 cm (proefstuk 1 × 3 m ²) ingewassen met basaltsplit	2								
Basalton 25 cm ingewassen met basaltsplit	2								
Natuurbasalt ingewassen met basaltsplit	2								

Tabel 3-5: Opzet van het onderzoek

	
Hydroblocks 2350 kg/m ³ 295 kg 1.02 m ²	Basalton 15 cm 2650 kg/m ³ 488 kg 1.42 m ²

Tabel 3-6: Gegevens proefstukken, soortelijke massa elementen, totale massa en oppervlakte proefstuk

	
natuurbasalt 2950 kg/m^3 461 kg 1.03 m^2	Basalton 25 cm 2350 kg/m^3 575 kg 1.42 m^2
Lang proefstuk Basalton 15 cm (zie figuur 3-4 rechts) 981 kg 3.4 m^2	
Massa pendel: 9 kg Massa frame (standaard): $35.1 + 46.6 = 81.7 \text{ kg}$ Massa frame (lang proefstuk): $65.5 + 74.8 = 140.3 \text{ kg}$	

Tabel 3-7: Gegevens proefstukken, soortelijke massa elementen, totale massa en oppervlakte proefstuk (vervolg)

3.3 Opzet proevenserie 2

3.3.1 Beschikbare gegevens

Er zijn geen literatuur gegevens van trekproeven op steenbekledingen bekend waarbij systematisch aan meerdere elementen tegelijk getrokken wordt. Wel zijn er diverse publicaties, o.a. [Klein Breteler, 2003], over de ca. tienduizend praktijk trekproeven die in de jaren '80 en '90 zijn uitgevoerd. Deze proeven hadden tot doel a) bepaling van de sterkte van een enkel element in geklemde zettingen en b) het beoordelen van de kans op een los element. Voor de voorbereiding op de onderhavige proevenserie zijn de resultaten van deze trekproeven niet bruikbaar omdat de normaalkrachtswerking bij deze proeven onbekend is.

RWS DWW beschikt al jaren over een houten schaalmodel van een geklemde blokkenrij. De rij kan worden vastgewigd tussen twee kopschotten en vervolgens kan er door aan een koord te trekken een trekproef worden gedaan op het middelste blok. De trekcapaciteit bedraagt een veelvoud van het blokgewicht. Het belangrijkste verschil tussen het schaalmodel en de proeven in dit rapport is de begrenzing van de klemkracht, de normaalkracht in de blokkenrij.

Voorafgaand aan de proevenserie 2 is in het voorjaar van 2003 een testmodel ontwikkeld om het principe van de proef en de boogwerking van een geklemde rij elementen te testen. Daarvoor is gebruik gemaakt van waalformaat straatstenen. De

proefopstelling bestaat uit een gedeelde houten plaat op rollers (stukken bezemsteel) als onderlaag, een houten statief met een trekrichting met evenaren, waardoor 4 of 6 naast elkaar liggende stenen kunnen worden belast, bijvoorbeeld met krachten in de verhouding 0.5 : 1.0 : 1.0 : 0.5. In de rij stenen wordt een normaalkracht aangebracht, die ingesteld kan worden op een bepaalde waarde.



**Figuur 3-5: Links: Testopstelling voor proevenserie 2 met rij waalformaat straatstenen
Rechts: Belasting proefstuk met krachten op 6 elementen in onderlinge verhouding van 0.4 : 0.6 : 1.0 : 1.0 : 0.6 : 0.4**

De resultaten waren veelbelovend; de factor C_{klem} (= grootste kracht / steengewicht) bedroeg ca. 3.5 voor $L/D = 6$ en 7.0 voor $L/D = 2$.

De opstelling voor de trekproef 2 is gebaseerd op deze testopstelling.

3.3.2 Doel en onderzochte parameters

Het doel van de experimenten is het valideren van het opgestelde model voor liggerwerking en doorslag in een geïdealiseerde situatie. Het belangrijkste verschil met de werkelijkheid is dat er een proefstuk wordt gecreëerd waarin in het vlak van de toplaag een constante, bekende normaalkracht in één richting heerst. In de andere richting in het vlak is er praktisch geen normaalkracht. De proef representeert daarmee een strook steenzetting tegen het talud van de dijk. De denkbeeldige belasting bestaat uit een golf met een oneindig lange kam. De golfdruk wordt geschematiseerd als een sinusvormig verlopende trekbelasting loodrecht op de bekleding. De proeven worden uitgevoerd bij verschillende grootte van de normaalkracht.

Het doel is inzicht te krijgen in het bezwijkmechanisme doorslag van de toplaag.

Belangrijke aspecten daarbij zijn:

- de sterkte als functie van de beïnvloedende variabelen
- de verticale verplaatsing waarbij de sterkte wordt bereikt
- de voegstijfheid, de afschuifsterkte en de vervormingscapaciteit van de voegen
- de horizontale verplaatsingen en rotaties van de elementen

De horizontale verplaatsingen van de randen van het belaste en opgetilde gebied zijn van belang om in te kunnen schatten hoe de geëlimineerde strook inpast in het grotere

geheel. De samenhang van het belaste gedeelte en de naburige bekledingselementen hangt onder meer af van de neiging van het proefstuk om al dan niet horizontaal uit te zetten.

De onderzochte variabelen zijn:

Parameter	Toegepaste variaties / opmerking								
Elementtype	Hydroblocks 15 cm, oriëntatie 'vis' dwars op proefstuk 2350 kg/m ³ , proefstuk 1.5 × 5 m ²								Ontwerpvariabele
	Basalton 15 cm, type 'Talud' *) 2350 kg/m ³ , proefstuk 1.1 × 4.4 m ²								
Inwassing voegen	Voegen koud tegen elkaar								
	Inwassing met Noors graniet 5-11 mm Ook is gevarieerd met a) eerst voorspannen, dan inwassen en b) eerst inwassen, dan voorspannen								
Ingezande voegen	Verwering en vervuiling van het voegmateriaal met een zand/bentoniet mengsel								Omgevings-variabele
Normaalkracht	Laag / middel / hoog niveau voorspanning, overeenkomend met 1, 2 en 4 m ² /m gewicht steenbekleding								
Belaste lengte	L = lengte 'halve' sinus D = elementdikte Onderzocht is een grote range van L / D = 1.5 – 13 Voor de Hydroblocks 15 cm geldt B / D = 1.67 Voor de Basalton 15 cm geldt B / D ≈ 1.15								Belastingvariabele
	L / D	1.67	2.3	3.33	6.67	6.9	10.0	13.3	
	rijen Hydrobl.	1		2	4		6	8	
	rijen Basalton		2			6			

*) Dit is niet het type dat gebruikelijk op dijken wordt toegepast. Het wordt toegepast op taluds onder viaducten en op rotondes e.d. Dit type heeft bij 15 cm hoogte de laagste B/D verhouding en is daarmee het meest zuil-achtig.

Tabel 3-8: Overzicht testvariabelen, onderverdeeld in ontwerp, omgevings- en belastingvariabelen

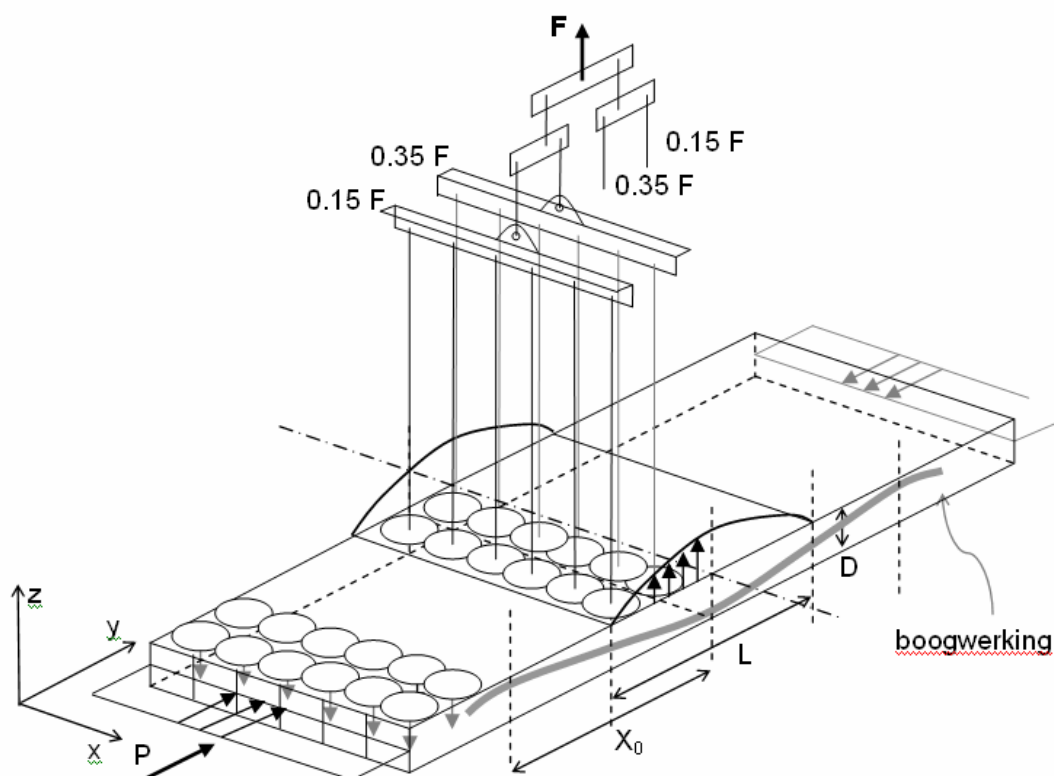
De elementdikte, en daarmee de blok vs. zuil-variabele B/D, is in deze proevenserie niet als variabele beproefd. Het beproeven van dikkere bekleding dan 15 cm was te kostbaar. Het beproeven van een schaalmodel van de elementen, waarin een 'zuil' van 15 cm hoogte kan worden beproefd, is uitgesteld en behoort niet tot de scope van dit rapport.

3.3.3 Beschrijving proefopstelling en proefstukken

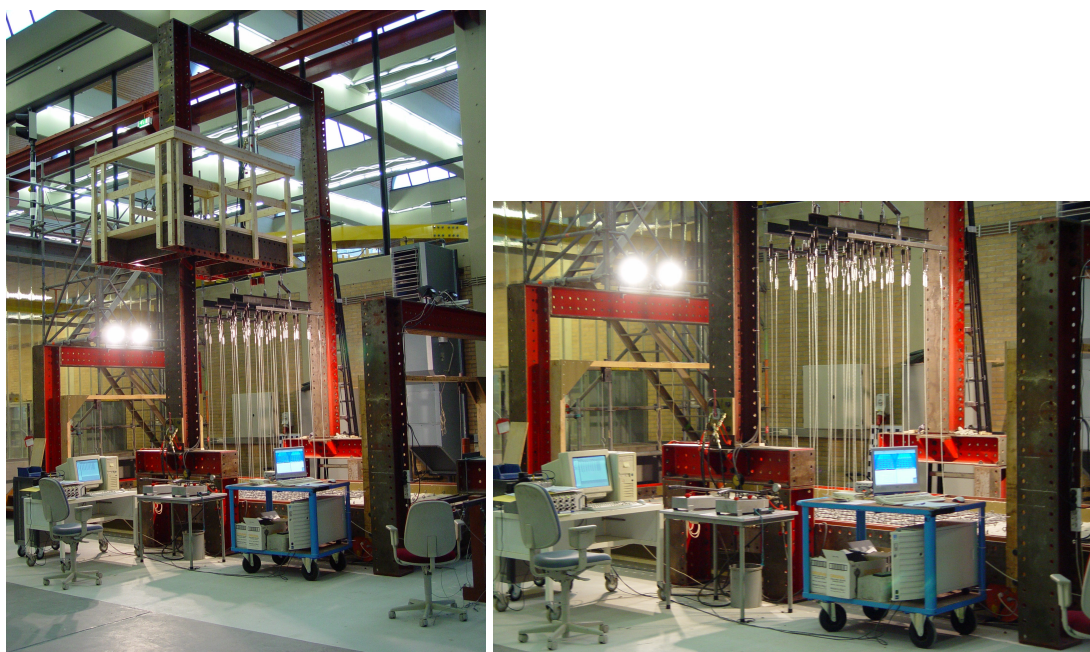
Het principe van de proefopstelling is dat het proefstuk op een wrijvingsloze tafel horizontaal wordt voorgespannen en vervolgens verticaal belast met een trekrichting die een sinusvormige belasting simuleert. De trekrichting wordt beschreven in paragraaf 3.3.4.

Er zijn proeven gedaan op proefstukken van twee typen elementen. Voor de Hydroblocks is gekozen voor een veld dat 6 elementen breed is en 20 elementen lang.

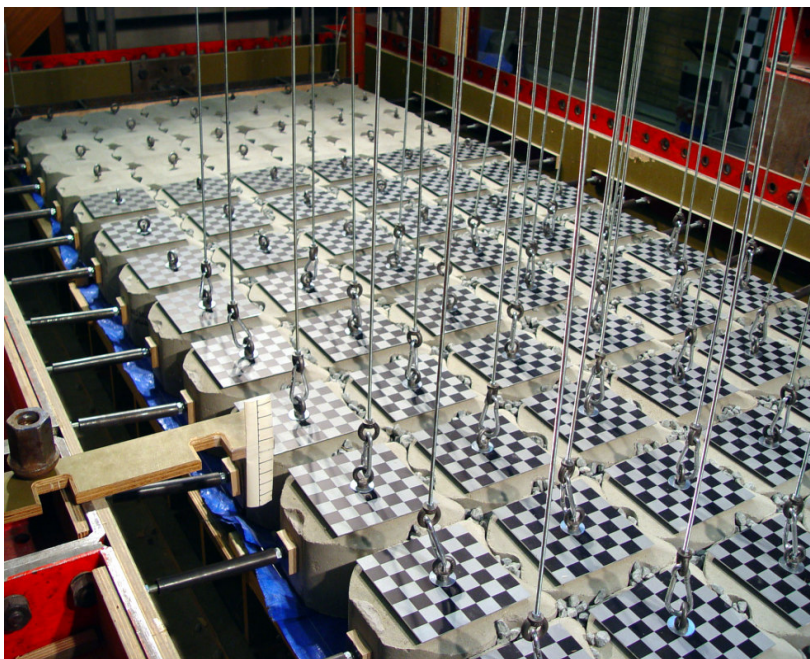
De afmetingen hiervan bedragen 1.5×5.0 m. Voor Basalton is eveneens voor een breedte van 6 elementen gekozen, omdat dit de standaard pakketbreedte is. In de lengte zijn 4 pakketen gebruikt; dat zijn 24 rijen. De afmetingen van het proefstuk bedragen dan 1.1×4.4 m. Bij de Basaltonzetting zijn de rijen in lengterichting aangestort met een betonstrook om de voorspankracht goed aan te kunnen brengen.



Figuur 3-6: Principe proefstuk en proefopstelling proevenserie 2



Figuur 3-7: Foto's overzicht opstelling; ter vergelijking met de key-figures 5-1 en 5-7 wordt vermeld dat de kijkrichting op deze foto's naar het Noordwesten is



Figuur 3-8: Hydroblock-proefstuk gereed voor beproeving; in alle elementen zijn draadeinden ingeboord en verlijmd met hijsogen daarop geschroefd; de elementen in het opgetilde deel zijn voorzien van markers ten behoeve van de verplaatsingsmeting

De positionering van de elementen van de zetting gebeurt door de elementen, die elk met een oog in een frame met staalkabeltjes hangen, tegen een verdeelbalk en een uitlijnplank neer te zetten. De overige stenen kunnen hier tegen aan geplaatst worden, zodat ze steeds op dezelfde positie staan.

	Hydroblocks 15 cm	Basalton 15 cm
vorm	'vis'-vormig	polygoon
afmeting elementen	0.25 × 0.25 m	klein: 0.15 × 0.15 m middel: 0.17 × 0.17 m groot: 0.19 × 0.19 m
aantal elementen in proefstuk	6 × 20	4 × 24
afmeting proefstuk	1.5 × 5.0 m	1.1 × 4.4
soortelijk gewicht elementen	2350 kg/m ³	2350 kg/m ³
Gewicht elementen /stuk	18.6 kg	7.7, 10.3 en 13.4 kg

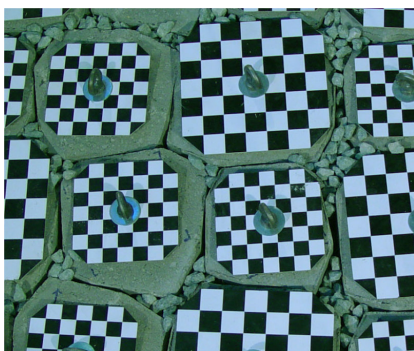
Tabel 3-9: Eigenschappen elementen

	Hydroblocks	Basalton
Gewicht proefstuk, kaal [kg/m ²]	300	312
% open ruimte	15%	12%
Idem, ingewassen [kg/m ²]	325	332

Tabel 3-10: Eigenschappen proefstukken

Als inwasmateriaal wordt het in de praktijk vaak toegepaste Noors graniet met een gradering van 5-22 mm gebruikt. Met een schep en met de hand worden de voegen tussen de elementen gevuld, zodanig dat enige verdichting van de korrels plaatsvindt. Sommige voegen zijn te klein om te kunnen vullen met steenslag. Er wordt geen speciale aandacht besteed aan het vullen van deze voegen met kleine steentjes. Deze worden dus deels opengelaten. Het inwasmateriaal wordt geregeld vervangen om te voorkomen dat slijtage en afronding van de ‘scherpe kantjes’ de resultaten van de proeven ten opzichte van elkaar kunnen beïnvloeden. Tussen de onderplaat en de toplaag is een plastic doek aangebracht dat voorkomt dat het inwasmateriaal tussen de platen door kan vallen. Het verwijderen van het steenslag na een proef is daarmee ook gemakkelijker.

Het materiaal dat gebruikt is voor het inzanden is een mengsel dat bestaat uit 20 (volume)delen steenslag, 10 delen zand, 1 deel bentoniet en 12 delen water. Door dit goed te mengen ontstaat een klei-achtig mengsel dat niet erg viskeus, maar wel cohesief is.



Figuur 3-9: Foto links: ingewassen toplaag, foto rechts: inzanding met klei-zand mengsel

Voor het aanbrengen van de normaalkracht is gebruik gemaakt van vijzels en van een wrijvingsloze tafel op scharnierende houten schragen. Op deze wijze verliest het proefstuk geen normaalkracht door wrijving op de ondergrond. De vloerplaat onder de elementen is op drie plaatsen doorgezaagd, waardoor deze uit vier horizontale schijven bestaat die ten opzichte van elkaar kunnen verplaatsen in de y-richting. De voorspanvijzels P2 en P3 worden handmatig opgepompt. Om de kracht constant te houden onder vervorming van het proefstuk in y-richting moet de druk handmatig worden aangepast. Aan de andere zijde van het proefstuk wordt de kracht met een verdeelbalk naar twee krachtopnemers geleid, waarmee de reactiekracht geregistreerd wordt.

voorspanning proefstukken [kN]	Middel	hoog
Hydroblocks	10.4	20.7
Basalton	7.6	15.2

Tabel 3-11: Tabel voorspankrachten

In breedterichting zorgen verende pendels voor een zijdelingse druk tegen de randen van het proefstuk. In het midden zijn de pendels onder een kleine hoek omlaag geplaatst, zodat ze horizontaal staan als het proefstuk ca. 30 mm omhoog getrokken is. Op deze wijze is er op het moment van bezwijken geen beïnvloeding van het verticale

evenwicht van krachten. Bij de Hydroblocks is een pendelkracht van ca. 2% van de voorspankracht aangebracht. Bij de Basalton elementen, die de neiging hebben om zijdelings weg te wijken onder eenzijdig druk, is minimaal 5% van de voorspankracht aangehouden. De kracht in de pendels is in te stellen met door de indrukking van de veer in te stellen. Bij het hoge niveau voorspanning komt 2% overeen met $0.02 \times 13300 \text{ N/m} \times 0.25 \text{ m} = 67 \text{ N}$. De veerstijfheid van de pendels bedraagt 13.5 N/mm.

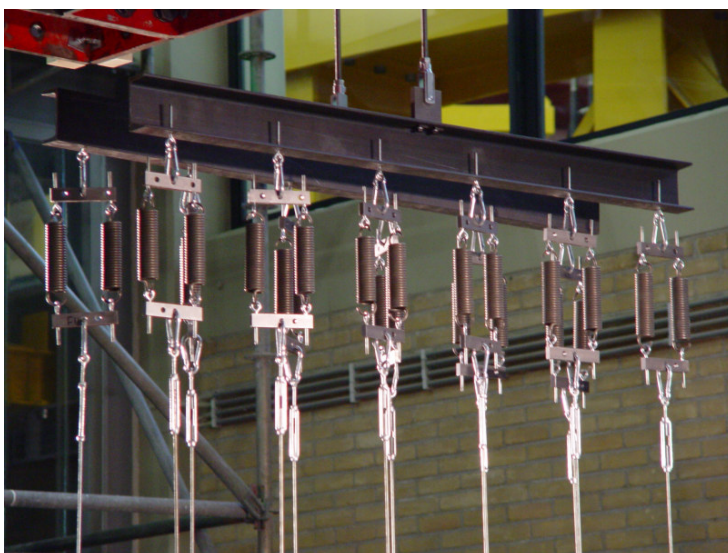


Figuur 3-10: Foto verende pendels

Met verplaatsingsopnemers wordt de verkorting of verlenging van het proefstuk in lengterichting tussen de buitenste rijen elementen gemeten. Dit gebeurt aan beide zijden (lvdt1 en lvdt2), zodat ook ongelijke veranderingen van de lengte geregistreerd kunnen worden. Zie voor de positie hiervan figuur 6-2.

3.3.4 Beschrijving wijze van belasten

Idealiter wordt de trekbelasting verplaatsingsgestuurd aangebracht. Alleen dan is het mogelijk om doorslag goed te testen. De trekbelasting is aangebracht met één hydraulische vijzel met daaraan verbonden een stelsel van evenaren dat de kracht volgens de sinusfunctie verdeelt over de rijen.



Figuur 3-11: Foto trekrichting voor twee rijen Hydroblocks

In dwarsrichting wordt telkens aan 6 elementen met gelijke kracht getrokken. Als de elementen enigszins ten opzichte van elkaar verplaatsen mag de trekkracht van een bewegend element niet gelijk terugvallen naar nul, maar moet zich deze zich binnen

zekere marges herverdelen over de andere elementen in de rij. Om deze reden is er gekozen voor een rij veren in dwarsrichting. Het criterium voor het ontwerp van de veren is dat het proefstuk in zijn vervormde toestand (bij vervormingsverschillen van ca. 20 mm omhoog) de distributie van de krachten met niet meer dan ca. 20% verstoort. De distributie van krachten in langsrichting, volgens de sinus-functie is altijd gewaarborgd, omdat de evenaren niet beïnvloed worden door de vervorming van het proefstuk.

Voor Hydroblocks is de kracht voor elk element in een rij gelijk, maar voor Basalton, waarbij de zuilen in drie zwaarteklassen zijn te verdelen, moeten verschillende krachten worden aangebracht. Deze differentiatie in krachten wordt gerealiseerd door verschillende veercombinaties te gebruiken, zodat bij gelijke uitrekking verschillende krachten worden doorgegeven.

Doordat de trekvoorziening is voorzien van veren is de wijze van aanbrengen van belasting niet zuiver verplaatsingsgestuurd. Tijdens de proefnemingen bleek het echter goed mogelijk om in een dalende belastingtak op tijd druk van de vijzel te halen.

Het systeem van evenaren dat de vijzelkracht verdeelt, moet in onbelaste toestand zelf in evenwicht zijn. Dit is gedaan door de evenaren deels lichter uit te voeren, te voorzien van contragewichtjes en deels door de evenaren bij aanvang al iets schuin te hangen. Daardoor is er bij aanvang van de proef een afwijking van de gewenste situatie, maar deze wordt gedurende de proef kleiner.

3.3.5 Beschrijving meetmethode verplaatsingen

Klemming heeft het effect dat als je een steen (of betonelement) uit de steenzetting wil trekken de steen de naburige elementen meetrekt. Er ontstaat een wat grillig verlopend vervormingspatroon en bij grote vervormingen is de situatie instabiel, waardoor er snelle veranderingen van de verplaatsingen kunnen optreden.

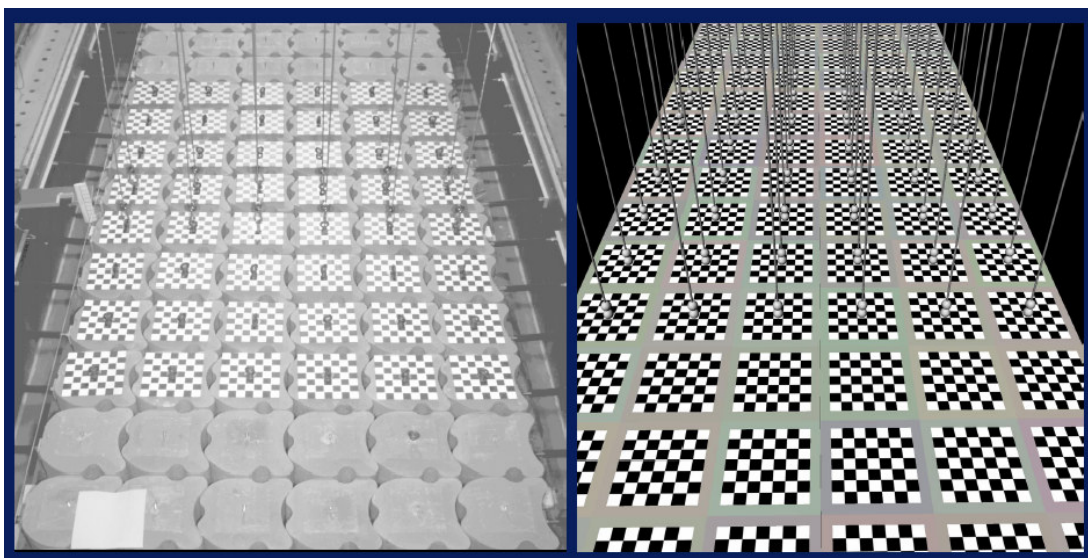
Het meten van de verplaatsingen is om die reden gedaan met een optische techniek. In het verleden is door het WL wel gemeten aan verplaatsingen van steen zettingen met laser en met spiegelende markers. Voor deze experimenten zijn twee alternatieven onderzocht. Een laserscan en een meetmethode met stereo fotografie. De laserscan bleek te traag. Er is gekozen voor stereo fotografie.

De methode met stereo fotografie is voorbereid en uitgevoerd door TNO-TPD. Met twee camera's aan beide lengtezijden van de zetting zijn gedurende een experiment telkens enkele tientallen digitale foto's van het proefstuk gemaakt. De elementen zijn voorzien van markers met een schaakbord patroon van reflecterend materiaal. Deze beelden zijn vervolgens geanalyseerd en bewerkt. Met deze methode was het mogelijk zijn stenen in opeenvolgende fotobeelden te volgen en zo een verplaatsingspad van elke steen te krijgen. De verplaatsingen en rotaties worden in 3 richtingen geregistreerd. Er is specifiek voor deze opstelling (in het kader van de TNO doelsubsidie regeling) ook software ontwikkeld om dit resultaat te bereiken.

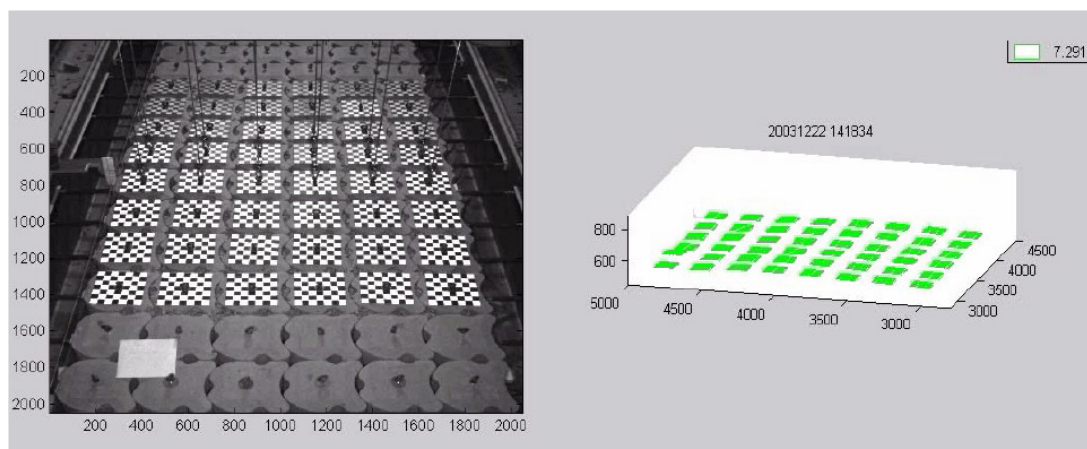
Voor de metingen gelden de volgende specificaties.

- Te meten: 3 verplaatsingen en 3 rotaties
- Aantal te volgen elementen: maximaal ca. $3 \text{ à } 5 \text{ m}^2 = \text{ca. } 150$ elementen
- Bereik: verplaatsing te meten tot maximaal ca. 100 mm verticaal en ca. 20 mm horizontaal

- Nauwkeurigheid: ± 1.0 mm
- Snelheid registratie: verplaatsingen van geheel veld op te meten in ca. 0,1 tot 0,5 sec, dat telkens herhalend om de minimaal ca. 5 sec.
- Output per meettijdstep: een tabel met de relatieve positie van de stenen ten opzichte van de startsituatie en/of ten opzichte van de voorafgaande meting.



Figuur 3-12: Foto meetcamera en simulatie beeld voor beeldherkenning markers



Figuur 3-13: Resultaat postprocessing verplaatsingsmetingen

3.3.6 Beschrijving uitvoering herhalingsproeven

Om een beeld te krijgen van de betrouwbaarheid van de sterkte van een steenzetting zijn veel proeven nodig. Hierin is voorzien door proeven meerder malen op exact dezelfde wijzen uit te voeren. Een aantal proeven is vier maal uitgevoerd, een aantal twee maal. Zie hiervoor tabel 3-13 in de volgende paragraaf. Binnen één proef is er ook getracht de herhaling te maximaliseren.

Een proef op een proefstuk zonder inwassing kan bijna onbeperkt herhaald worden, omdat de elementen elke keer als ze getrokken worden ook weer in hun startpositie kunnen zakken. Bij ingewassen proefstukken zijn de herhalingsmogelijkheden beperkt, omdat bij grote verplaatsingen inwasmateriaal uit de voegen zal vallen. Het proefstuk is dan niet langer helemaal ingewassen en kan bovendien niet in de oorspronkelijke positie terugvallen omdat er steenslag op de onderplaat ligt. Toch is geprobeerd om per proefstuk zoveel mogelijk herhalingsproeven te doen met verschillende verplaatsingen van de middelste rijen. Bij proeven met inwassing is de proef hiervoor steeds in twee delen gesplitst, waarbij tussentijds de hele steenzetting van het bed gehaald is en weer opnieuw is neergezet. Eigenlijk is zijn deze proeven dus te beschouwen als twee aparte proeven, maar om de hoeveelheid data per proef ongeveer gelijk te houden zijn de data behandeld alsof het één proef betreft.

Een proef begint met een gemiddelde verplaatsing van 1 cm van de middelste rijen. Daarna worden de niet-ingewassen proefstukken weer neer gelaten. De ingewassen proefstukken worden niet neergelaten, maar doorbelast naar een hogere waarde van de verplaatsing. De verplaatsingen nemen steeds stapsgewijs toe totdat uiteindelijk bezwijken van de zetting optreedt. Voor een overzicht van een typerend gepland proefverloop zie tabel 3-12. In veel gevallen zijn variaties op de opzet uitgevoerd. Zie bijlage 7 voor een weergave van het werkelijke proefverloop.

Na een experiment worden de elementen in een frame gehangen en opgetild zodat alle oneffenheden en eventueel het inwasmateriaal weggehaald kunnen worden. Ook kan hiermee het effect een toevallig ontstane oriëntatie of verplaatsing geëlimineerd worden. Daarnaast is het vaak nodig de ondersteunende platen weer in de juiste positie te brengen. Het proefstuk wordt geprepareerd voor de volgende proef.

Bij alle proeven alle krachten en verplaatsingen meten	
- eerst tot 1 cm verticale verplaatsing	→ bij enkele proeven in
- kracht terug tot 0	direct één keer
- 6 keer herhalen (1 sec; 0,5 sec; 0,2 sec; 1 sec; etc)	doorgaand tot bezwijken
- dan tot 2 cm verplaatsing	(in 0,5 sec)
- kracht terug tot 0	↓
- 6 keer herhalen (1 sec; 0,5 sec; 0,2 sec; 1 sec; etc)	
- voorspanning resetten	
- Idem tot 1 cm etc.	
- vervolgens belasten tot 5 cm	
- aflaten tot 0 cm (indien mogelijk)	
- 2 x herhalen (indien mogelijk)	
- belasten tot bezwijken (in 0,5 sec)	→ resultaat vergelijken

Tabel 3-12: Beschrijving typerende belastingcyclus binnen één proef

3.3.7 Overzicht proevenprogramma

Oorspronkelijk voorstel planning voor proef 2															
Aantallen proeven type toplaag en inwassing vs. belasting															
	8 rijen			6 rijen			4 rijen			2 rijen			één rij		
belaste lengte L	2.5			1.5			1			0.5			0.25		
normaalkracht (gewicht van x m ²)	1.0	2.0	4.0	1.0	2.0	4.0	1.0	2.0	4.0	1.0	2.0	4.0	1.0	2.0	4.0
hydroblocks 15 cm (16/m²)	1			4			1			2			2		
idem ingewassen met basaltsplit	1						1			1			4		
idem vervolgens ingezand/modder/schelpen				2						2					
	9 rijen			5 rijen			3 rijen			één rij					
belaste lengte L	2.5			1.5						0.8			0.3		
normaalkracht (gewicht van x m ²)	1.0	2.0	4.0	1.0	2.0	4.0				1.0	2.0	4.0	1.0	2.0	4.0
basalton 15 cm (19/m²)	2									1			1		
idem ingewassen met basaltsplit	2			2						2			2		
	7 rijen*			7 rijen			5 rijen			één rij					
belaste lengte L				1.5			1.0			0.5			0.15		
normaalkracht (gewicht van x m ²)				1.0	2.0	4.0	1.0	2.0	4.0	1.0	2.0	4.0	1.0	2.0	4.0
schaalmodel basalton 15 cm (60/m²)	2														
idem ingewassen met basaltsplit				4			2			1			1		
Totaal	66														
		breedte													
Aantal getrokken	16/m ²	1.5 m	60	36	24	12	6								
blokken	19/m ²	1.5 m		43		14									
	60/m ²	1.0 m		45 *	60	30	15								
In totaal 13 arrangementen													gemiddeld aantal getrokken blokken	31	
* Beperking aantal ophangpunten door de elementen om en om op te hangen															

Tabel 3-13: Overzicht oorspronkelijk voorstel programma proevenserie 2

Uitgevoerde planning voor proef 2															
Aantallen proeven type toplaag en inwassing vs. belasting															
	8 rijen			6 rijen			4 rijen			2 rijen			één rij		
belaste lengte L [m]	2			1.5			1			0.5			0.25		
normaalkracht (gewicht van x m ²)	1.0	2.0	4.0	1.0	2.0	4.0	1.0	2.0	4.0	1.0	2.0	4.0	1.0	2.0	4.0
hydroblocks 15 cm (16/m²)	1			4			1			2			2		
idem ingewassen met basaltsplit	1						1			1			4		
idem vervolgens ingezand/modder/schelpen				2						2					
	6 rijen			2 rijen											
belaste lengte L				1.1						0.37					
normaalkracht (gewicht van x m ²)				1.0	2.0	4.0				1.0	2.0	4.0			
basalton 15 cm, type talud (30/m²)	2									1			1		
idem ingewassen met basaltsplit	2			2						2			2		
Totaal	49														
		breedte													
Aantal getrokken	16/m ²	1.5 m	48	36	24	12	6								
blokken	30/m ²	1.1 m		36		12									
In totaal 7 arrangementen													gemiddeld aantal getrokken blokken	25	

Tabel 3-14: Overzicht programma uitgevoerde projectplan

3.4 Predictie resultaten proef 2 met evenwichtsmodel

3.4.1 Bovengrens moment- en dwarskrachtcapaciteit

Het evenwichtsmodel zoals beschreven in paragraaf 2.5 berekent de onder invloed van een bepaalde belasting optredende inwendige krachten. Welke belasting het proefstuk op kan nemen, hangt af van de moment- en dwarskrachtcapaciteit. Deze capaciteit is afhankelijk van de opgelegde normaalkracht.

Voor de capaciteit van het buigend moment M en de dwarskracht V is een realistische bovengrens berekend en vervolgens is deze voor het ontwerp van de sterkte van de proefopstelling vermenigvuldigd met een veiligheidsfactor 2.

De normaalkracht N wordt uitgedrukt in het gewicht van het aantal vierkante meters steenbekleding dat zich in de denkbeeldige werkelijke situatie boven het proefstuk op de dijk bevindt. Er is 1, 2 en 4 m²/m aangehouden, voor een laag, middel en hoog voorspanniveau. De proeven zijn gedaan met het niveau middel en hoog. Het hoge niveau is onrealistisch als initiële waarde van de normaalkracht. De capaciteit bij dit niveau is onderzocht om te kunnen interpoleren en ook om te anticiperen op het fenomeen dat de bekleding zich ruimtelijk opsluit en zelf in staat is grote normaalkrachten te genereren.

De dwarskracht $V_u = \mu \times N$ met $\mu =$ wrijving beton op beton (stoffig) = 0.55.

Het moment $M_{u,max} = e \times N = (0.5D - \beta X - 0.5\delta) \times N$. Hoe groter N is, hoe groter de drukzone X zal zijn en hoe kleiner de excentriciteit e . Er is gekozen voor een bovengrens van $e = 0.48 D$ voor de meest geconcentreerde belasting tot $e = 0.40 D$ voor de meest gespreide belasting. Ook is er voor de momentcapaciteit in de voegen een extra reductie aangenomen van 15% voor niet-ingewassen voegen en 10% voor ingezande voegen.

Met deze berekeningen en veronderstellingen ontstaat het schema op de volgende bladzijde.

Aantal rijen belast	1	2	4	6	10
L/D	0.25/0.15 = 1.67	3.33	6.67	10.0	16.7
Reductie op excentriciteit	0.96	0.92	0.88	0.84	0.80

Tabel 3-15: In predictie optioneel aangehouden reductiefactor op de excentriciteit $e = 0.5 D$

Conditie voegen	ingewassen	ingezand	koud op elkaar
Reductie op excentriciteit	1.0	0.90	0.85

Tabel 3-16: In predictie optioneel aangehouden reductie factor op M_u

3.4.2 Predictieschema resultaten

De in tabel 3-17 vermelde waarden zijn voor een ingewassen proefstuk, met mederekening van de reductie als functie van L/D uit tabel 3-15. Voor de predictiewaarden zonder deze reductie zie bijlage 4.

Belastingfactor q_w/q_s [-]

belaste lengte [m]	Voorspanniveau		
	1	2	4
1 rij 0.25	7.3	10.0	14.0
2 rijen 0.5	3.9	5.2	7.2
4 rijen 1.0	2.3	2.9	3.8
6 rijen 1.5	1.8	2.2	2.7
8 rijen 2.0	1.5	1.8	2.3

Trekkraft [kN] op een 1.5 m breed proefstuk
waarden voor 345 kg/m^2

belaste lengte [m]	Voorspanniveau		
	1	2	4
1 rij 0.25	6.0	8.3	11.5
2 rijen 0.5	6.4	8.6	11.8
4 rijen 1.0	7.5	9.6	12.6
6 rijen 1.5	8.7	10.6	13.5
8 rijen 2.0	10.0	12.0	14.9

Opgetilde lengte proefstuk $2 X_0$ [m]

belaste lengte [m]	Voorspanniveau		
	1	2	4
1 rij 0.25	1.2	1.6	2.2
2 rijen 0.5	1.2	1.7	2.3
4 rijen 1.0	1.4	1.9	2.4
6 rijen 1.5	1.7	2.1	2.6
8 rijen 2.0	1.9	2.3	2.9

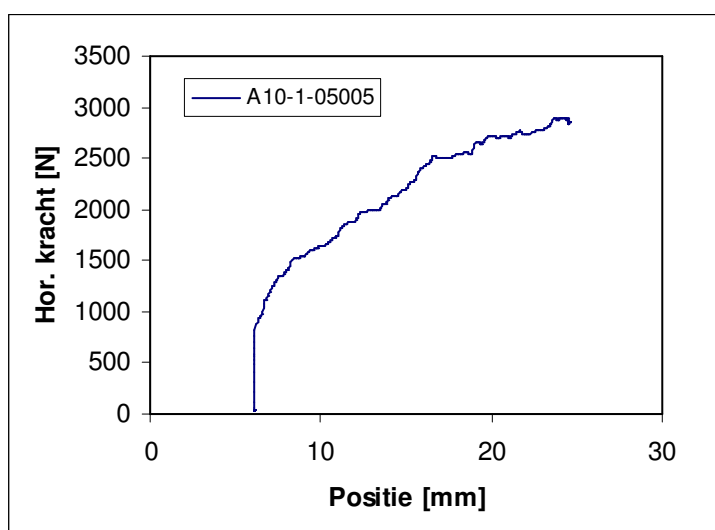
Tabel 3-17: Predictie resultaten voor belastingfactor, trekkraft en opgetilde lengte

4 ONDERZOEKSRISULTATEN PROEVENSERIE 1

4.1 Beschrijving typerend resultaat

De wrijvingsproeven hebben als belangrijkste output een kracht-verplaatsingsdiagram, waarbij de horizontale opgelegde kracht wordt uitgezet tegen de verplaatsing. Beide zijn uitgelezen met een frequentie van 100 Hz.

In figuur 4-1 is als voorbeeld het resultaat weergegeven van proef A10-1-05, een proefstuk Hydroblocks op steenslag 22-40 met in de voegen steenslag 11-22 met een droog grensvlak. De maximale kracht is 2900 N. Het gewicht van het proefstuk is 422 kg. De maximale statische wrijvingscoëfficiënt komt daarmee voor deze proef op $2900 / (9.81 \times 422) = 0.701$.



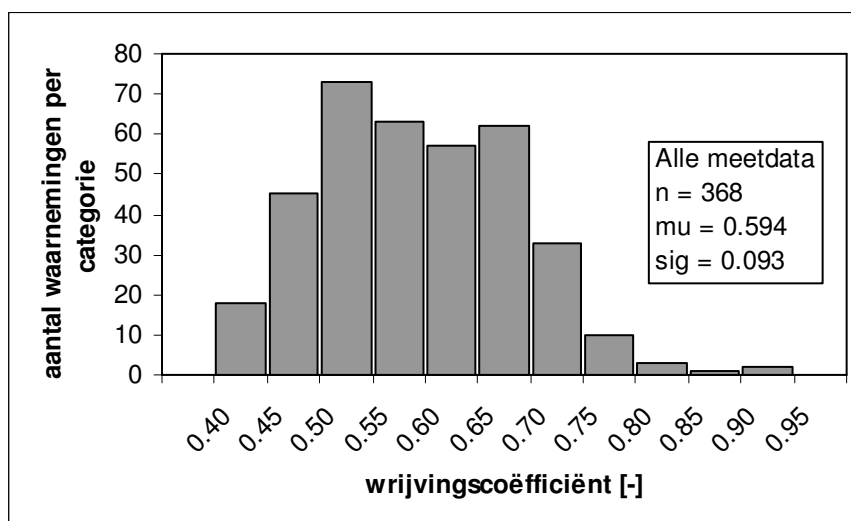
Figuur 4-1: Voorbeeld gemeten kracht-verplaatsingsdiagram proefstuk 1

Tabellen met het gehele programma en de bewerkte meetresultaten in de vorm van statische wrijvingscoëfficiënten zijn opgenomen in de bijlage 3 van dit rapport. De proeven zijn gecodeerd en ook de afzonderlijke meetdata zijn alle van een unieke code voorzien. De in de tabellen en grafieken gebruikte resultaten zijn gebaseerd op meetdata waarvan de code's vermeld zijn in bijlage 2.

De resultaten in de vorm van wrijvingscoëfficiënten voor alle meetdata samen zijn weergegeven in de figuur 4-2. De resultaten kunnen worden geïnterpreteerd als zijnde normaal verdeeld. De variatiecoëfficiënt van het totaal bedraagt 0.16. De 5 en 95% percentielen (confidence bounds) liggen op 0.441 en 0.747.

De standaardafwijking σ wordt berekend met:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$



Figuur 4-2: Histogram met alle meetdata

In de navolgende paragrafen worden de resultaten voor de wrijvingscoëfficiënt voor verschillende deelpopulaties met elkaar vergeleken. Bijvoorbeeld om te onderzoeken of Hydroblocks een significant hogere wrijving ondervinden dan Basalton zuilen.

De verschillen tussen (deel)populaties worden onderzocht door de twee normaal verdeelde populaties te vergelijken met de Student t-test. Deze onderzoekt de kans dat het verschil van twee willekeurige trekkingen uit een populatie met een bekend verschil in ligging ($\mu_x - \mu_y$) kleiner is dan 0. Het resultaat is een kans (P) die feitelijk de kans is dat er geen verschil, dan wel een verschil < 0 is. De grootte van P geeft de betrouwbaarheid van het berekende verschil weer.

De standaardafwijking van de verschilpopulatie wordt berekend met:

$$\sigma_{\bar{x}-\bar{y}} = \sqrt{\frac{\sigma_x^2}{n_x} + \frac{\sigma_y^2}{n_y}}$$

De kans dat de verschilpopulatie kleiner dan nul is, is dan te berekenen uit $P(\mu / \sigma)$.

Achtereenvolgens worden nu onderzocht de afhankelijkheid van

- het elementtype en het type granulaire laag, korrelgrootte en vorm
- het al dan niet ingewassen zijn van de voegen
- inzanding en het droog vs. nat glijvlak
- het los dan wel samengeklemd zijn van de elementen
- de snelheid van bewegen
- de bewegingsrichting en de herhaling van beweging
- de lengte van de glijweg

4.2 Resultaten elementtypen en type granulaire laag

4.2.1 Resultaten elementtypen

Het grootste aantal proeven is uitgevoerd op proefstukken met Hydroblocks. De bedoeling was om een populatie van voldoende omvang te verkrijgen waarbinnen er

telkens met een parameter kan worden gevarieerd, om zo correlaties te kunnen onderzoeken.

Met de andere steentypen, Basalton 15 cm, Basalton 25 cm en natuurbasalt 20 cm, is een beperkter aantal proeven gedaan.

	proevenseries n	meetdata n
alle meetdata	37	368
Hydroblocks	23	229
Basalton 15 cm	8	82
idem op 1 × 3 m ²	2	19
Basalton 25 cm	2	19
natuurbasalt	2	19

Tabel 4-1: Overzicht hoeveelheden maatdata

Vergelijking van resultaten

μ = gemiddelde

n = aantal waarnemingen

σ = standaardafwijking

alle meetdata	Alle meetdata	Hydro-blocks	Basalton 15 cm	Basalton 25 cm	natuurbasalt
μ	0.594	0.584	0.595	0.544	0.741
n	368	229	82	19	19
σ	0.093	0.087	0.085	0.082	0.085

Tabel 4-2: Populatie: alle meetdata

Ingewassen	Alle meetdata	Hydro-blocks	Basalton 15 cm	Basalton 25 cm	natuurbasalt
μ	0.606	0.582	0.612	0.544	0.741
n	145	69	19	19	19
σ	0.105	0.092	0.081	0.082	0.085

Tabel 4-3: Populatie: ingewassen en op onderlaag steenslag 22-40 mm

1 ^e waarde	Alle meetdata	Hydro-blocks	Basalton 15 cm	Basalton 25 cm	natuurbasalt
μ	0.576	0.570	0.588	0.461	0.714
n	35	23	8	2	2
σ	0.072	0.055	0.072	0.076	0.017

Tabel 4-4: Populatie: eerste meetwaarde van serie, op standaard proefstukken

positieve bewegings-richting	Alle meetdata	Hydro-blocks	Basalton 15 cm	Basalton 25 cm	natuurbasalt
μ	0.636	0.603	0.648	0.578	0.772
n	89	41	12	12	12
σ	0.107	0.100	0.075	0.079	0.086

Tabel 4-5: Populatie: positieve richting, ingewassen en op onderlaag steenslag 22-40 mm

negatieve bewegings-richting	Alle meetdata	Hydro-blocks	Basalton 15 cm	Basalton 25 cm	natuurbasalt
μ	0.559	0.551	0.550	0.486	0.689
n	56	28	7	7	7
σ	0.080	0.070	0.045	0.048	0.056

Tabel 4-6: Populatie: negatieve richting, ingewassen en op onderlaag steenslag 22-40 mm

De gevonden gemiddelde waarden van de wrijvingscoëfficiënten van de verschillende typen steenzetting vertonen significante verschillen. De Hydroblocks en de lage Basaltonzuilen verschillen licht. De hoge Basaltonzuilen en natuurbasalt geven resp. een lager en een hoger gemiddelde.

De gevonden spreiding van $\sigma = 0.08$ à 0.09 en de variatiecoëfficiënt van 13 à 16% treedt in alle categorieën in ongeveer gelijke mate op. Slechts in de gevallen waarin de n laag wordt worden andere waarden voor de spreiding gevonden. Deze waarden zijn echter niet representatief.

De significantie van de verschillen in ligging is objectief gemaakt door de normale verdeling van het verschil te onder zoeken. P is de kans dat het verschil kleiner dan 0 is. Bij een kans van 0.05 of kleiner wordt het verschil significant geacht.

$\mu_X - \mu_Y$ P-waarde	Hydroblocks n = 69	Basalton 15 cm n = 19	Basalton 25 cm n = 19	natuurbasalt n = 19
Hydroblocks		$\Delta\mu = 0.030$ P = 0.08	0.038 0.04	0.159 10^{-12}
Basalton 15 cm			0.068 0.005	0.129 10^{-6}
Basalton 25 cm				0.197 10^{-13}
natuurbasalt				

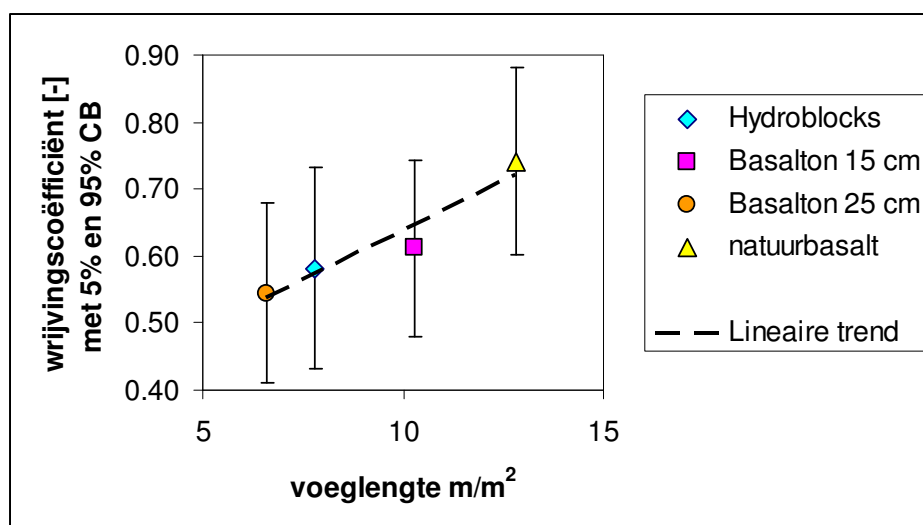
Tabel 4-7: Vergeleken populaties: ingewassen en op onderlaag steenslag 22-40 mm

Hieruit blijkt dat het verschil tussen Hydroblocks en lage Basalton theoretisch niet significant is. Er is wel een voldoende duidelijk waarneembaar verschil. De verschillen van de hoge Basalton blokken ten opzichte van de rest en ook die van natuurbasalt ten opzichte van de rest zijn wel significant. De verschillen worden kennelijk niet primair veroorzaakt door de elementvorm, maar meer door de elementgrootte en het al dan niet vlak zijn van de onderlaag.

4.2.2 Invloed van de voeglengte en onvlakheid onderzijde

De beproefde typen elementen verschillen onder meer door de voeglengte per m^2 zetting. Hoe kleiner de elementen, hoe meer voeglengte er is per m^2 . De voegen veroorzaken haakweerstand, zeker als de voegen goed gevuld zijn met inwasmateriaal dat reikt tot in de granulaire onderlaag. De wrijvingscoëfficiënt blijkt toe te nemen bij een toenemende voeglengte per m^2 .

Andere fenomenen die de haakweerstand van de elementen op de onderlaag beïnvloeden zijn de afronding van de Hydroblocks en de onvlakheid van de onderzijde van natuurbasalt. Door de afronding in de bewegende randen van de Hydroblocks worden bij verschuiven de korrels van de granulaire laag loodrecht op de bewegingsrichting naar elkaar toegedrukt, hetgeen weerstandverhogend werkt. Ook de onvlakheid van natuurbasalt werkt weerstandsverhogend. Hierdoor ontstaat het verschijnsel dat een deel van de onderlaag gaat meebewegen. Het glijvlak ligt dan dieper. Op deze grotere diepte is de verticale druk hoger. Eigenlijk is het hier gepresenteerde quotiënt van H en V niet de werkelijke wrijvingsfactor. De werkelijke wrijvingsfactor is die van het granulaire materiaal en zal maximaal ca. 0.75 bedragen.



Figuur 4-3: Resultaten wrijvingscoëfficiënten per elementtype uitgezet tegen totale voeglengte per m²

Uitgezet in de figuur blijkt de wrijving bij de kleinere elementen zich te begeven richting de waarde van de wrijving van de granulaire laag zelf. Bij een hoek van inwendige wrijving ϕ van 37.5° bedraagt de coëfficiënt 0.77.

4.2.3 Korrelgrootte onderlaag

In vervolg op de gevonden invloed van het aantal voegen per m² is ook gekeken naar het eventuele schaafeffect in relatie met de onderlaag. De lage Basalton met veel voegen op een onderlaag van steenslag 8-11 en de hoge met minder voegen op steenslag 22-40 zouden mogelijk identiek gedrag kunnen vertonen. Uit de onderstaande vergelijking van alle beschikbare meetdata blijkt hiervan niet duidelijk sprake te zijn. Bij rubricering van de data naar glijweg blijkt de veronderstelde overeenstemming wel aanwezig. De grijsgemaakte vakjes in de onderstaande tabellen tonen goed overeenstemmende resultaten. Het blijkt dat Hydroblocks en lage Basalton op steenslag 8-11 mm met een glijweg van 10 mm en hoge Basalton op steenslag van 22-40 mm met een glijweg van 20 mm en groter een wrijvingscoëfficiënt hebben van vergelijkbare grootte (ca. 0.55).

μ n		Onderlaag	
		steenslag 8-11	steenslag 22-40
Toplaag	Hydro-blocks	$\mu = 0.590$ n = 22	0.582 69
	Basalton 15 cm	0.614 12	0.612 19
	Basalton 25 cm	0	0.544 19

Tabel 4-8: Populatie: Ingewassen en voor steenslag 8-11 ingewassen en ingezand

μ n		Onderlaag			
		steenslag 8-11		steenslag 22-40	
Glijweg		10	20>	10	20>
Toplaag	Hydro-blocks	0.550 5	0.591 15	0.543 35	0.590 73
	Basalton 15 cm	0.536 2	0.610 8	0.530 15	0.587 42
	Basalton 25 cm			0.468 2	0.572 14

Tabel 4-9: Populatie: Ingewassen en ingezand

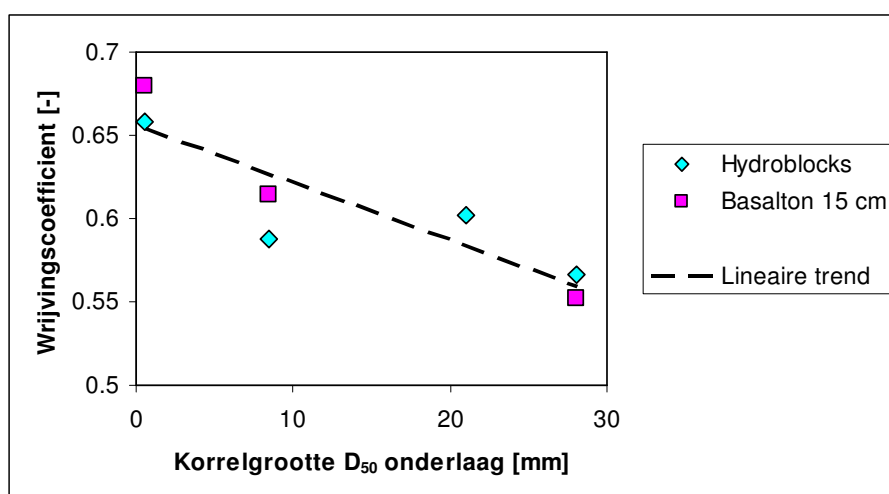
Een vergelijking van de korrelgrootte als onafhankelijke parameter kan worden uitgevoerd voor de Hydroblocks. Er zijn 4 categorieën voorhanden. In verband met de mogelijke beïnvloeding van de gegevens met de parameter nat /droog glijvlak zijn de data hiervoor opgesplitst.

μ N σ		metzelzand <1 mm	steenslag 8-11 mm	rond grind 15-40 mm	steenslag 22-40 mm
D ₅₀		0.5	8.5	21	28
Hydroblocks	Alle meetdata	0.658 22	0.588 22	0.608 20	0.575 112
	Droog glijvlak			0.613 11	0.597 33
	Nat / onder water	0.658 22 0.032	0.588 22 0.052	0.602 9 0.102	0.566 78 0.094
Basalton 15 cm	Nat / onder water	0.680 13 0.035	0.614 12 0.079		0.552 38 0.075

Tabel 4-10: Populatie: Hydroblocks, ingewassen, onderste rij: Basalton 15 cm, ingewassen

Om een eventuele trend inzichtelijk te maken zijn de resultaten voor nat / onder water uitgezet tegen de korrelgrootte. Het blijkt dat er sprake is van een lichte daling bij een toename van de korrelgrootte. Voor de categorieën steenslag fijn en steenslag grof is de betrouwbaarheid van dit verschil nog gecontroleerd. Hydroblocks: $\mu = 0.022$, $P = 0.07$.

Basalton 15 cm: $\mu = 0.062$, $P = 0.008$. Het verschil is daarmee duidelijk aanwezig, maar voor de Hydroblocks onvoldoende betrouwbaar.



Figuur 4-4: Wrijvingscoëfficiënt als functie van de korrelgrootte

In de figuur is te zien dat de verschillen in de voor de praktijk relevante range klein zijn. Wel is duidelijk te zien dat de resultaten voor een onderlaag van zeer fijn materiaal hoger zijn. Dit kan van belang zijn voor volledig ingezandde bekledingen.

Zie voor discussie over de invloed van de korrelgrootte ook de resultaten gevarieerd naar lengte van de glijweg in paragraaf 4.8.

4.2.4 Korrelvorm rond vs. hoekig

De ronde korrelvorm geeft gemiddeld een iets hogere wrijving. Het verschil is klein ($\mu = 0.032$) en uit de meetdata kan het niet als theoretisch significant worden beoordeeld ($P = 0.07$). Het verschil is mogelijk te verklaren uit een groter contactoppervlak van de korrel met het glijvlak. Het is ook denkbaar dat een onderlaag van ronde korrels initieel compacter gestapeld is en daardoor minder herschikingsmogelijkheid en dus meer wrijvingsweerstand heeft.

	Rond grind (grof)	Steenslag (grof)
μ	0.608	0.576
n	20	112

Tabel 4-11: Populatie: Hydroblocks, ingewassen

4.3 Resultaten ingewassen voegen

Inwassing van de voegen blijkt de wrijving te verhogen (verschil: $\mu = 0.049$), wat ook de verwachting was. Het verschil is significant: $P = 0.003$. Het inwasmateriaal geeft extra haakweerstand op het glijvlak tussen de toplaag en de onderlaag.

	inwassing	geen inwassing
μ	0.597	0.548
n	33	44

Tabel 4-12: Populatie: Hydroblocks op steenslag grof

4.4 Resultaten inzanding en droog vs. nat glijvlak

Van water werd verwacht dat het als glijmiddel werkt. Bij het toegepaste inzandingsmengsel was de verwachting onbestemd, omdat het gemakkelijker glijden door de cohesie teniet kan worden gedaan.

Het effect parameter water is beproefd met de categorieën droog, nat (dat wil zeggen: vochtig, heeft onder water gestaan) en onder water. Bij deze laatste categorie is het glijvlak onder water, de toplaagelementen zelf niet, waardoor er geen correctie op het gewicht hoeft worden toegepast. De resultaten voor de categorie 'nat' blijken een wisselend beeld te geven. Bij de Hydroblocks verschillen ze nauwelijks van 'droog' en bij de Basalton verschillen ze nauwelijks van 'onder water'. Omdat de n niet te klein te maken, en omdat de categorie 'nat' het totale beeld niet verstoort, zijn de categorieën 'nat' en 'onder water' samen genomen. Het blijkt dat de wrijving van de droge proefstukken significant hoger is. Voor de Hydroblocks en Basalton samen geldt voor het verschil: $\mu = 0.042$, $P = 0.002$.

Het water functioneert als glijmiddel. Deze bevinding is in overeenstemming met de literatuur [Van Staverden, 1983].

μ n σ	droog	nat / onder water	nat	onder water
Hydroblocks	0.597 33 0.086	0.566 78 0.094	0.604 21 0.096	0.551 57 0.089
Basalton 15 cm	0.612 19 0.081	0.552 38 0.075	0.559 19 0.088	0.546 19 0.062
Hydroblocks + Basalton 15 cm	0.603 52 0.084	0.561 116 0.088		

Tabel 4-13: Populatie: onderlaag steenslag grof, ingewassen

Inzanding en inslibbing blijken geen weerstandsverlagend of verhogend effect te hebben. Het is moeilijk om het effect van deze parameter onafhankelijk van het effect van het water te beoordelen. Daartoe zijn een aantal Hydroblock-proeven bruikbaar voor

vergelijking. Deze geven geen verschil in μ . Aannemende dat voor de Basalton het effect van 'onder water' de wrijving met ca. 0.04 zal verminderen, zal ook daar geen significant effect van inzanding of inslibbing aanwezig zijn.

μ n σ	ingezand / ingeslibd	onder water	droog
Hydroblocks	0.568 42 0.095	0.568 36 0.096	0.597 33 0.086
Basalton 15 cm	0.552 38 0.075	0	0.612 19 0.081

(NB. Ook de ingezande voegen bevatten steenslag voegvulling.)

Tabel 4-14: Populatie: onderlaag steenslag grof, ingewassen

4.5 Effect losse vs. samengeklemd elementen

Er zijn ook enkele proeven uitgevoerd op proefstukken waarbij het frame is losgemaakt alvorens met belasten te starten. De elementen hebben dan een vrije bewegingsmogelijkheid in het vlak en kunnen zich herschikken. De proeven waarbij het frame afwezig is, zijn alle telkens als laatste van een serie uitgevoerd. De daarbij toegepaste verplaatsingen zijn 30 of 40 en soms 100 mm.

De resultaten zijn vergeleken met twee daarvoor samengestelde controle sets.

	elementen proefstuk los	elementen samengeklemd	
		glijweg 20, 30 en 40 mm	glijweg 30 en 40 mm
μ	0.658	0.599	0.609
n	12	38	14
σ	0.120	0.096	0.100

Tabel 4-15: Populatie controle sets: alle meetdata uit een proevenserie waar een geval 'proefstuk los' in voorkomt, verstoord bed, positieve richting.

Uit berekening blijkt dat er ten opzichte van de eerste controle set een (min of meer) significante verhoging van de wrijvingscoëfficiënt is. $\mu = 0.059$, $P = 0.06$. Bij eliminatie van de data voor een glijweg van 20 mm wordt het verschil kleiner en blijkt het verschil niet meer betrouwbaar. In de set 'proefstuk los' zijn ook twee metingen met 20 mm glijweg. Elimineren geeft $\mu = 0.664$, $N = 10$ en $\sigma = 0.113$. Het verschil wordt dan $\mu = 0.055$, $P = 0.11$. Dat kan aan de grootte van de populatie liggen, maar de indruk bestaat ook dat de lengte van de glijweg van grotere invloed is dan de parameter los vs. samengeklemd.

Er kan worden vastgesteld dat het samenklemd elementen een licht wrijvingsverlagend effect heeft. De indruk bestaat dat in de praktijk bij een goed in het gelid staand, geklemd zuilenveld de (licht weerstandsverhogende) vrijheidsgraad van het bewegen van de elementen in het vlak van de bekleding ontbreekt. De proefneming met een geklemd proefstuk zou dan representatief zijn voor de praktijk.

4.6 Effect van de snelheid van beweging

Er zijn bewegingen met diverse snelheden opgelegd. De variatie in snelheid is niet onafhankelijk van de bewegingsrichting en de lengte van de glijweg uitgevoerd. Niettemin bleek het wel goed mogelijk de data te filteren en vergelijkbare gevallen te vergelijken.

Het blijkt dat de snelheid van bewegen als onafhankelijk gemaakte variabele geen significant effect heeft op de grootte van de wrijvingscoëfficiënt. Ook trendmatig zijn er moeilijk steekhoudende conclusies te trekken. Ten opzichte van de basissnelheid van 5 mm/s blijken zowel hogere als lagere snelheden gemiddeld tot een lichte verhoging van de wrijving te leiden.

Dit strookt niet helemaal met de verwachting dat hogere snelheden tot hogere wrijvingskrachten zouden kunnen leiden.

4.7 Effect van de bewegingsrichting en de herhaling van beweging over een verstoord bed

In de onderstaande tabel is een typerend verloop van de beproeving weergegeven. Er is gevarieerd met snelheid, glijweg en bewegingsrichting.

Code	richting / positie	snelheid [mm/s]	glijweg [mm]	pos/neg	onverstoord bed
001	→	5	10	+	J
002	←	5	10	-	N
003	→	10	20	+	J
004	→	20	20	+	J
005	←	20	20	-	N
006	←	10	20	-	N
007	→	2	20	+	N
008	→	1	20	+	N
009	←	10	40	-	N

Tabel 4-16: Typerend verloop bewegingsrichtingen tijdens beproeving

De waarnemingen en interpretaties uit deze variaties zijn als volgt:

- Het blijkt uit de waarnemingen dat er door de richting van de eerste beweging er een oriëntatie in het bed ontstaat. Een beweging in negatieve richting geeft een significant lagere wrijvingscoëfficiënt: verschil: $\mu = 0.07$, ($N = 89$ en 56), $P = 10^{-7}$. Zie tabel (par. 4.2).
- Daar waar de tweede beweging in positieve richting een langere glijweg heeft dan de eerste blijkt de wrijvingscoëfficiënt beduidend hoger dan de eerste. Het lijkt erop dat er een hobbel wordt genomen die met meer weerstand gepaard gaat.
- Herhaalde beweging op een reeds 'ingegleden' bed geeft een lichte daling van de wrijvingscoëfficiënt ten opzichte van de eerste beweging in positieve richting: verschil $\mu = 0.02$.

- Een daling van opvallende grootte blijkt telkens bij de negatieve verplaatsing juist na een snelle positieve verplaatsing. Mogelijk is het bed te abrupt verstoord en beweegt het nog enigszins mee terug, waardoor de weerstand aanzienlijk lager is.
- Doorgestarte bewegingen in dezelfde richting, waarbij dan telkens een stukje onverstoord bed voor het eerst belast wordt, geven een cumulatieve toename van de wrijving te zien. Er lijkt sprake van een soort oppomp-effect, waarbij de wrijvingscoëfficiënt per stapje van 10 mm glijweg tot 3 à 4 maal met 0.05 à 0.07 toeneemt. (Zie ook: effect van de lengte van de glijweg in paragraaf 4.8.)

4.8 Effect van de lengte van de glijweg

4.8.1 Glijweg en verstoord vs. onverstoord bed

De resultaten van de variatie van de lengte van de glijweg zijn niet onafhankelijk van de parameter verstoord / onverstoord / deels onverstoord bed.

Op basis van de volgorde-schema's van alle proevenseries is een selectie gemaakt op het criterium van het raken van een onverstoord bed. Ook de bewegingen die bijvoorbeeld 10 mm over een ingegleden bed gaan en daarna 10 mm over een maagdelijk bed gelden als onverstoord.

	onverstoord	verstoord (ingegleden)
μ	0.638	0.569
n	129	238
σ	0.084	0.087

Tabel 4-17: Populatie: alle meetdata

Het verschil $\mu = 0.069$, $P = 10^{-14}$. Dit verschil is zodanig sterk significant dat ook onderzocht is of dit niet dominant is ten opzichte van het eerder geconstateerde verschil in positieve en negatieve bewegingsrichting. Het aantal negatieve bewegingen op een onverstoord bed is namelijk beperkt, waardoor niet op voorhand duidelijk is wat bepalend is.

	onverstoord pos. richting	verstoord pos. richting	onverstoord neg. richting	verstoord neg. richting
μ	0.635	0.594	0.704	0.547
n	123	99	6	140
σ	0.084	0.112	0.032	0.074
verschil in ligging μ P-waarde				
Onverstoord pos. richting		$\mu = 0.040$ $P = 0.001$	0.070 10^{-6}	0.088 0
Verstoord pos. richting			0.110 10^{-10}	0.048 0.0001
Onverstoord neg. richting				0.158 0
Verstoord neg. richting				

Tabel 4-18: Populatie: alle meetdata

Er is nog gekeken of het beeld wijzigt door bijvoorbeeld alleen naar de Hydroblocks te kijken, maar dat blijkt niet het geval.

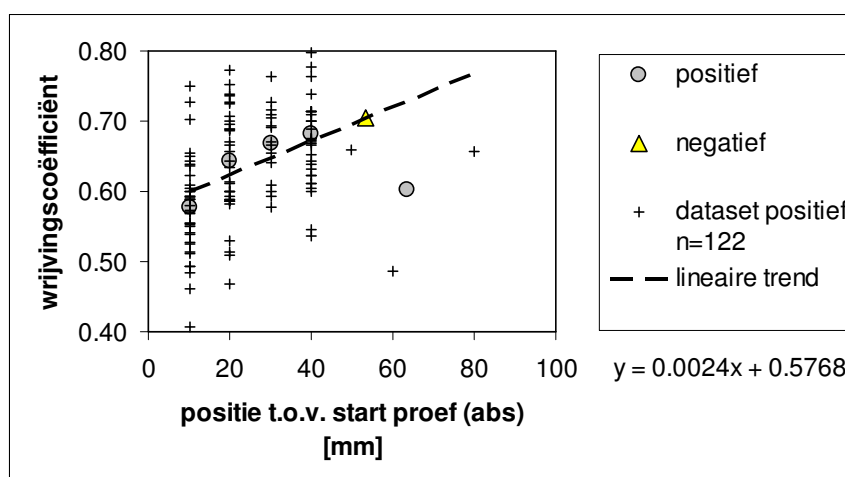
Het blijkt dat alle verschillen relevant zijn. De eerder getrokken conclusie over de negatieve bewegingsrichting voor het ingegleden vlak is juist en heeft een zeer hoge betrouwbaarheid. Opmerkelijk is dat de negatieve bewegingsrichting over een onverstoord bed een zodanig groot verschil met de positieve beweging op een onverstoord bed te zien geeft. Daarvoor kan een verklaring worden gevonden door de lengte van de glijweg bij de vergelijking te betrekken.

Daartoe is het begrip glijweg ingewisseld voor de bereikte positie ten opzichte van de startpositie. Het idee daarbij is dat de korrels ten opzichte van die positie georiënteerd raken en dat bij een glijweg terug er pas weer een verandering van invloed is als de beweging de nulstand passeert. De negatieve bewegingen die de nulstand passeren zijn alle bewegingen met een lange glijweg, 40 of 100 mm. Als deze meetdata ingepast worden in de positieve bewegingen gedifferentieerd naar positie, dan blijkt dat de negatieve bewegingen in het geheel geen afwijkend beeld geven.

onverstoord bed	bewegingsrichting positief					negatief
	10	20	30	40	>40 gem. 63	gem. 53
μ	0.578	0.643	0.668	0.681	0.601	0.704
n	37	34	15	33	3	6
σ	0.071	0.081	0.055	0.076	0.099	0.032

Tabel 4-19: Populatie: onverstoord bed, gesorteerd naar lengte glijweg

Statistische analyse levert geen goed beeld op, maar uitzetten van de trend blijkt wel inzicht te geven. Het blijkt dat de data van de negatieve beweging passen in de trend van de totale set. De data van de positieve beweging met een grote glijweg vallen enigszins buiten de trend. Het gaat echter maar om $n = 3$.



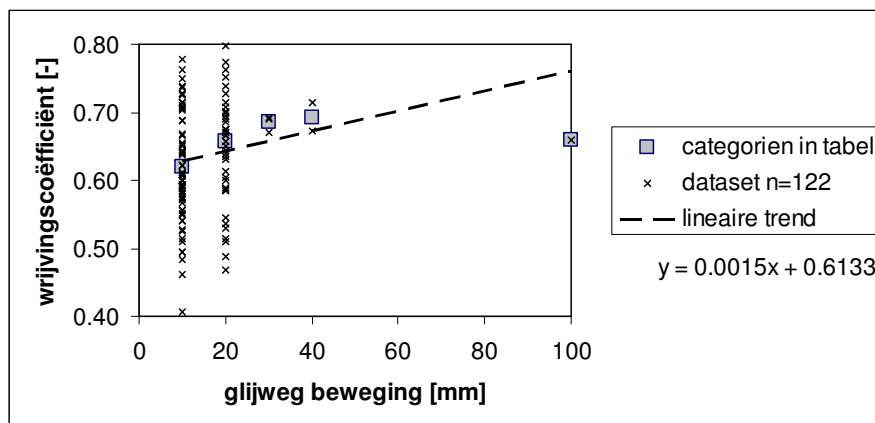
Figuur 4-5: Effect bewegingsrichting op onverstoord bed, gesorteerd naar lengte glijweg

4.8.2 Glijweg vs. positie t.o.v. start proef

In vervolg op deze bevinding moet worden vastgesteld of de glijweg van de beweging sec, dan wel de (eind)positie van de beweging ten opzichte van start proef de meest bepalend factor is. Dit is gedaan met lineaire regressie. In de onderstaande tabel en figuur is dezelfde dataset uitgezet als in de bovenstaande figuur, echter nu tegen de glijweg van de beweging waar de wrijving van gemeten is. Het blijkt dat de wrijvingscoëfficiënt sterker afhankelijk is van de positie t.o.v. start proevenserie dan van de glijweg van de proef zelf. De richtingscoëfficiënten zijn 0.0024 en 0.0015 /mm resp.

Glijweg [mm]	10	20	30	40	>40
μ	0.619	0.657	0.685	0.693	0.660
n	73	43	3	2	1
σ	0.079	0.091	0.012	0.029	

Tabel 4-20: Populatie; onverstoord bed, positieve richting

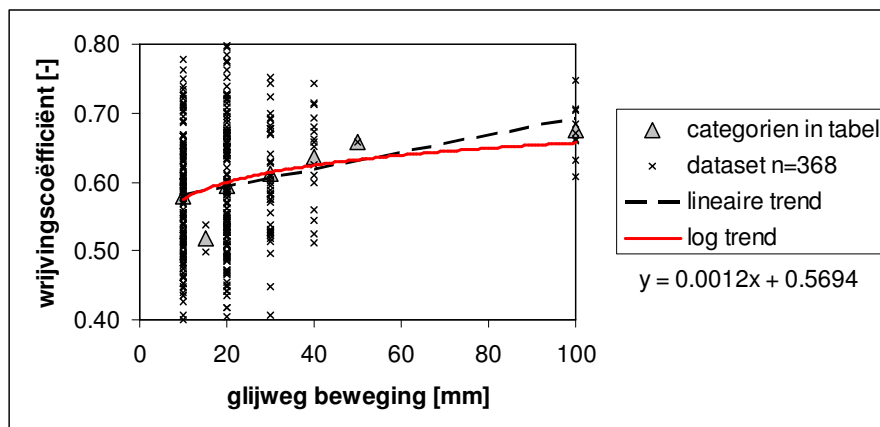


Figuur 4-6: Resultaten uitgezet tegen glijweg

De trend boven de 20 mm is in deze dataset slechts op 6 metingen gebaseerd. Daarom wordt de afhankelijkheid van de glijweg ook nog onderzocht voor alle meetdata.

glijweg [mm]	10	15	20	30	40	50	100
μ	0.579	0.518	0.596	0.611	0.635	0.657	0.675
N	149	2	147	44	16	1	9
σ	0.088	0.029	0.100	0.094	0.071		0.042

Tabel 4-21: Populatie: alle meetdata



Figuur 4-7: Als figuur 4-6, maar nu voor alle meetdata

glijweg [mm]	20 t.o.v. 10	40 t.o.v 10	40 t.o.v 20	100 t.o.v 40
verschil μ	0.017	0.056	0.040	0.040
P-waarde	0.06	0.002	0.02	0.04
verschil per mm glijweg	$1.7 \cdot 10^{-3}$	$1.9 \cdot 10^{-3}$	$2.0 \cdot 10^{-3}$	$0.7 \cdot 10^{-3}$

Tabel 4-22: Overzicht toename van wrijvingscoëfficiënt per mm glijweg

Het blijkt dat langere glijwegen significant hogere wrijving opwekken. Een praktische bovengrens wordt bereikt bij 40 mm. Een glijweg van 100 mm geeft weliswaar een statistisch significante verdere toename van de wrijving, maar per eenheid van glijweg gerekend is dit verschil aanzienlijk kleiner dan de stijging tussen de 10 en 40 mm. Dit resultaat lijkt samen te hangen met de korrelgrootte van het bed van de meeste proeven (steenslag 22-40 mm). Na een glijweg van 40 mm blijkt er geen weerstandsverhogende herschikking meer op te treden.

Een selectie van de data op grof filter (steenslag en rond grind) geeft resultaten die deze stelling ondersteunen. De enige significante sprong ligt tussen de 10 en 40 mm.

Glijweg [mm]	10	15	20	30	40	50	100
μ	0.573	0.518	0.588	0.614	0.624		0.657
n	123	2	118	33	10	0	4
σ	0.091	0.029	0.105	0.105	0.072		0.045

Tabel 4-23: Populatie: onderlaag steenslag grof (22-44) en rond grind (15-40)

glijweg [mm]	20 t.o.v. 10	40 t.o.v 10	40 t.o.v 20	100 t.o.v 40
verschil μ	0.016	0.052	0.036	0.032
P-waarde	0.11	0.02	0.07	0.15
verschil /mm glijweg	$1.6 \cdot 10^{-3}$	$1.7 \cdot 10^{-3}$	$1.8 \cdot 10^{-3}$	$0.5 \cdot 10^{-3}$

Tabel 4-24: Als tabel 4-22, maar nu voor populatie grof filter

De hypothese wordt ook onderbouwd met de waarneming bij proef A32, op een onderlaag van steenslag 5-11 mm. Een beweging van 4×10 mm achter elkaar doorgestart geeft wrijvingscoëfficiënten van resp. 0.524, 0.600, 0.610 en 0.600. Hierbij treedt dus reeds na een glijweg van 20 mm geen weerstandsverhoging van betekenis meer op.

Naar aanleiding van de hypothese dat Natuurbasalt vanwege de ongelijke onderzijde mogelijk afwijkende resultaten geeft bij kleine verplaatsingen is een vergelijking van data gemaakt in tabel 4-25. Het blijkt dat Natuurbasalt marginaal stijver reageert en eerder op het maximum is.

	Hydro-blocks	Basalton 15 cm	Basalton 25 cm	Natuurbasalt
μ	0.560	0.567	0.518	0.730
n	71	24	8	8
σ	0.086	0.064	0.079	0.057
factor μ bij 10 / μ max	0.96	0.93	0.95	0.98

Tabel 4-25: Overzicht invloed elementtype op wrijvingscoëfficiënt bij kleine glijweg

5 ONDERZOEKSRISULTATEN PROEVENSERIE 2

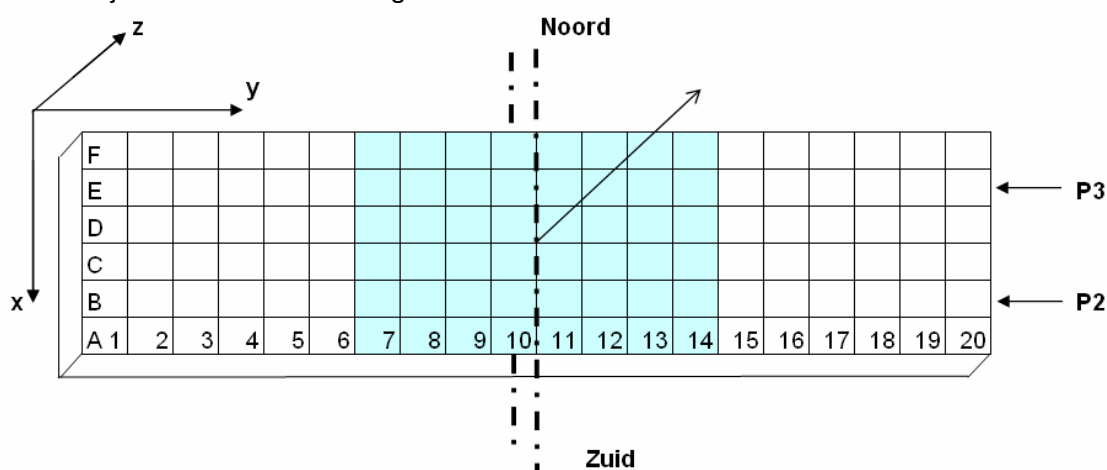
De resultaten van de trekproeven worden beschreven en vergeleken met de predicties. Aan de predicties liggen veronderstellingen ten grondslag die aan de hand van de resultaten kunnen worden getoetst. Relevant aspecten van de resultaten zijn:

- de sterkte van het proefstuk,
- de stijfheid, vastgelegd in kracht-ervormingsdiagrammen en
- het vervormingsgedrag van de elementen in het vlak van het proefstuk.

Deze aspecten komen in de achtereenvolgende paragrafen aan de orde. In paragraaf 5.1 wordt een typerend proefresultaat beschreven.

5.1 Typerend verloop en resultaat beproeving

De trekproeven zijn conform het plan uitgevoerd, waarbij getracht is de proeven met gelijk steentype en gelijke belastinggeometrie zoveel mogelijk te clusteren. De volgorde waarin de proeven zijn uitgevoerd is af te leiden uit de in bijlage 6 vermelde datum. De waarnemingen zijn beschreven in een logboek dat is bijgevoegd in bijlage 7. Verder zijn alle meetdata ook digitaal beschikbaar.



Figuur 5-1: Overzicht benaming assen en rijen proefstuk zoals gebruikt in bijlage 7

Een proevenserie, bijvoorbeeld S01, bestaat uit meerdere belastingsgangen, S01A t/m S01H. Per proef (lees: per belastingsgang) is de kracht aangebracht en is deze gecontroleerd opgevoerd totdat een zekere verplaatsing, van bijvoorbeeld 10 of 20 mm, was bereikt. Deze verplaatsing werd globaal vastgesteld met een maatlat naast het proefstuk. Een volgende proef startte vanuit de verplaatste toestand, óf vanuit een weer afgelaten toestand. Beide belastingswijzen zijn bewust gehanteerd, met de bedoeling zowel het bezwijkgedrag bij grotere verplaatsingen, als de mogelijkheid van het repeterend belasten te onderzoeken.

De wijze van aanbrengen van de krachten was handmatig, middels een vijzel met handpomp. Doordat de vijzel bij grote verplaatsing zijn druk niet vasthoudt, is er gezien de schaal en snelheid van belasten sprake van een intentioneel verplaatsingsgestuurde proef. Van alle proeven zijn automatische registraties (ca. 2.5 Hz) van de krachtopnemers en de horizontale verplaatsingsopnemers beschikbaar in xls-files van de TU Delft. Bij de opname van de verticale kracht is het meetsignaal bij elke proef

gekalibreerd zodat het gewicht van het trekmechanisme correspondeert met de nulwaarde.

Van alle proeven zijn tevens scans gemaakt met het stereo camerameetsysteem. Aan het begin van een serie, maar ook bij aanvang van alle proeven binnen een serie is telkens een nulmeting gedaan. Ten opzichte van deze nulmetingen zijn de verplaatsingen dx, dy en dz, als mede de rotaties E1, E2 en E3 beschikbaar in txt-files en in figuren in diverse formats van TNO-TPD. Bij deze dataregistratie liep ook het signaal van de verticale kracht mee. Dit signaal is echter niet gekalibreerd, zodat de verplaatsingsdata moeten worden gecombineerd met krachtdata uit de files van de TU Delft.

In het algemeen was de kwalitatieve gedraging van het proefstuk conform verwachting. Opvallend was dat er nauwelijks neiging was tot het uittrekken van losse blokken. Hierop was te voren wel geanticipeerd. De zettingen lagen kennelijk goed uniform geklemd. Dit geldt zowel voor de Hydroblocks als voor de Basalton.

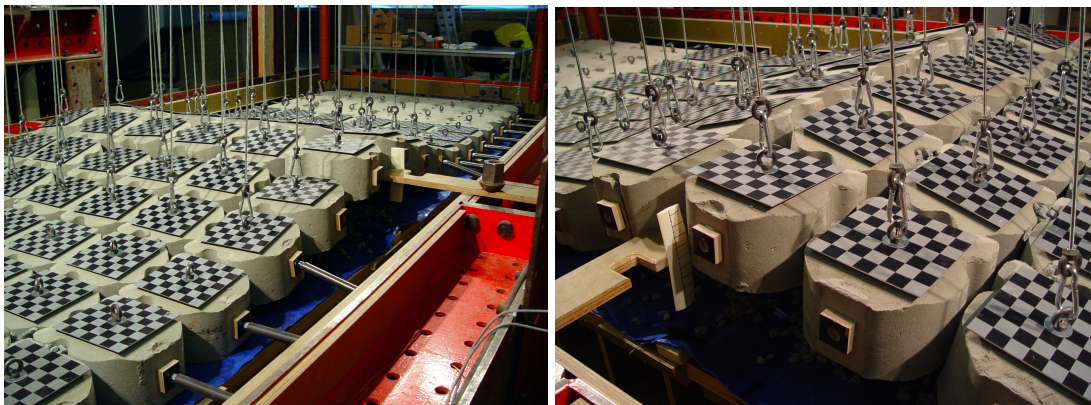
Er trad in een groot aantal gevallen scheef bezwijken van het proefstuk op. De scheve verdeling van de opwaartse verplaatsingen deed zich in de meeste gevallen reeds voor bij het initiëren van de verplaatsing, maar nam pas na het bereiken van het bezwijkpunt progressief toe in scheefheid.

Het gedrag van het proefstuk tot aan het bezwijkpunt was ook in die zin conform verwachting dat er zich geen afschuiving tussen de rijen voordeed als bezwijkmechanisme. Bij doorgaand verplaatsingsgestuurd belasten trad wel afschuiving op. De gehele geometrie is dan echter reeds zo sterk vervormd, dat dit als zondanig geen relevante informatie over de afschuifsterkte geeft.

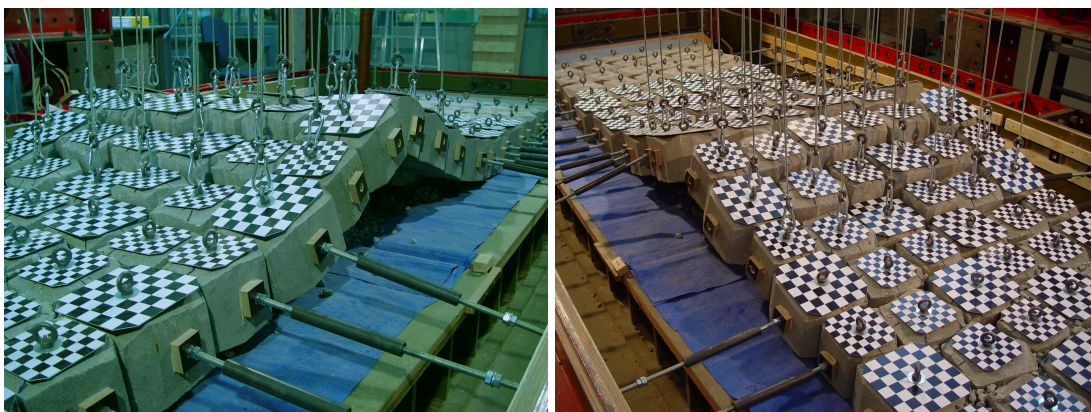
Als typerend voor de gehele populatie worden hierbij foto's en (bewerkte) data getoond van enige proeven.



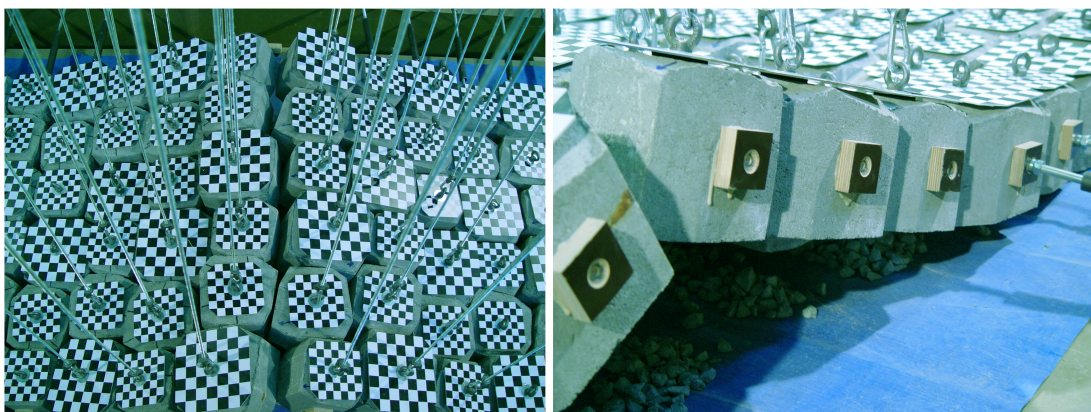
Figuur 5-2: Proefstuk van Hydroblocks onbelast en belast



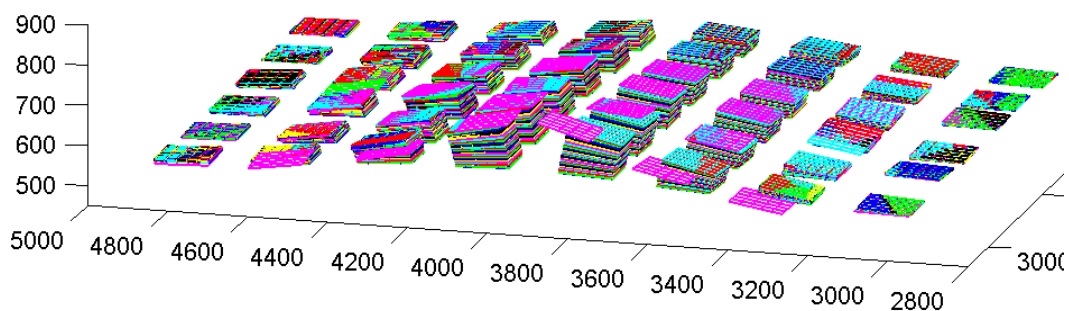
Figuur 5-3: Proefstuk Hydroblocks belast, rechts met maatlat voor stopcriterium



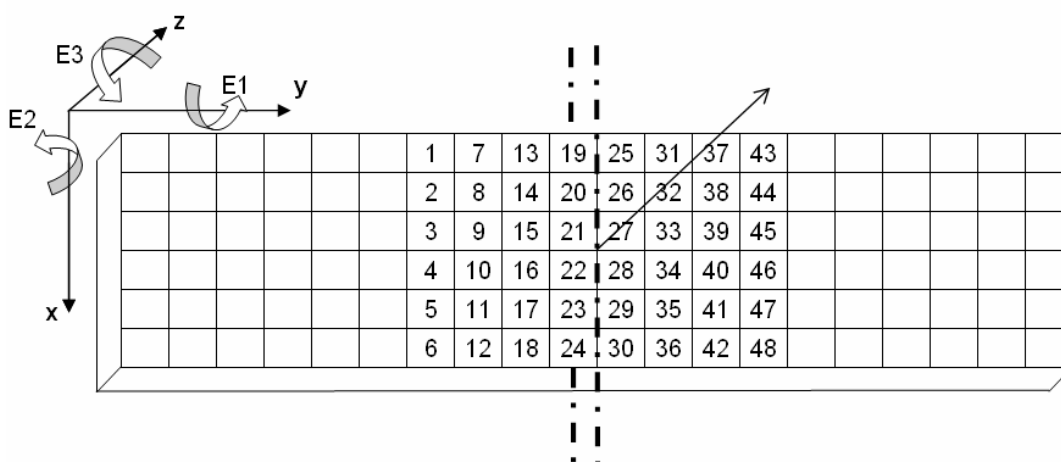
Figuur 5-4: Proefstuk Basalton in vergaand belaste toestand, in de middelste rijen treedt afschuiving van de elementen op, in de buitenste (nog) niet.



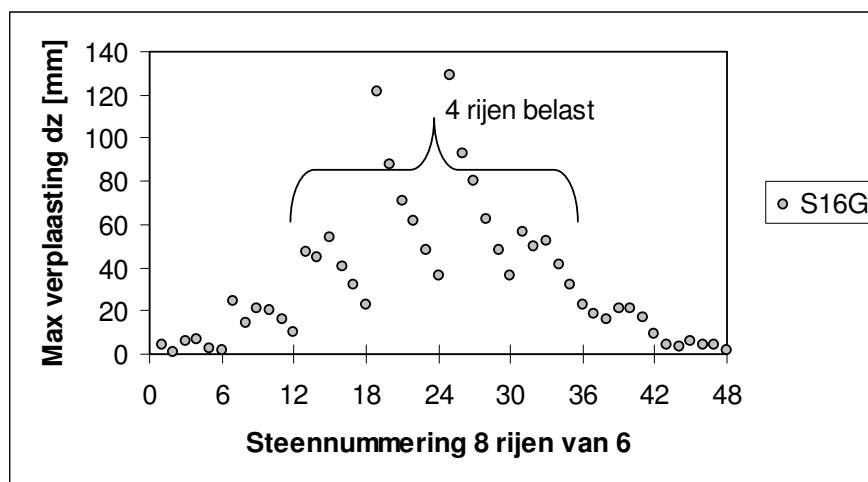
Figuur 5-5: Proefstuk Basalton, bovenaanzicht en detailfoto met uitgevallen voegvulling



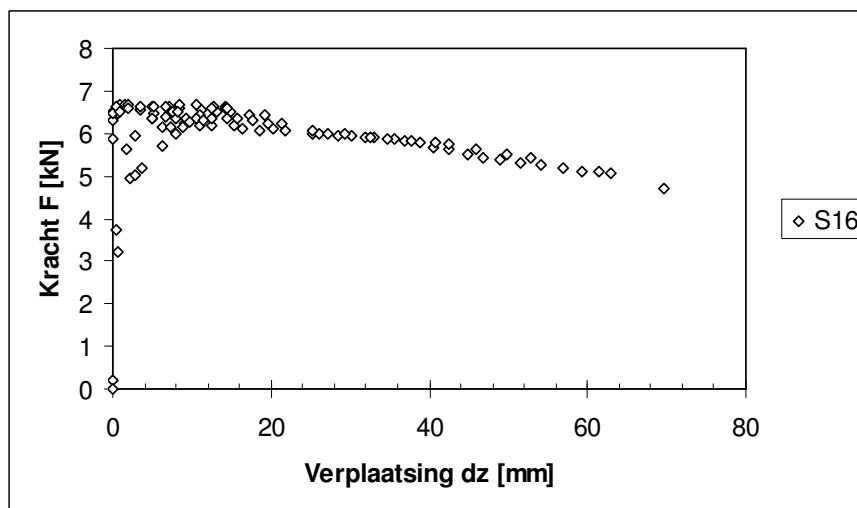
Figuur 5-6: Figuur met bewerkte scans van verplaatste toestand stenen (S16G)



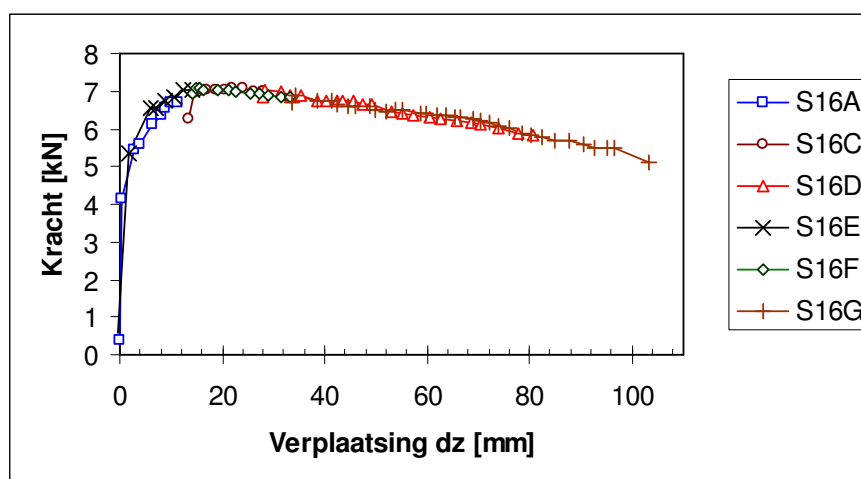
Figuur 5-7: Overzicht assenstelsel en elementnumering zoals gehanteerd door TNO-TPD. Let op dat de y-as hier in de lengterichting van het proefstuk is, afwijkend van het model (daar was het de x-as). Voor proeven met 2 en meer rijen is de symmetrieas tussen element 19 en 25. Voor proeven met 1 belaste rij midden door element 19.



Figuur 5-8: z-verplaatsing van de afzonderlijke stenen in de eind toestand, laatste scan proef S16G, correspondeert met de bovenste (paarse) plaatjes uit figuur 5-6



Figuur 5-9: Kracht-verplaatsingsdiagram met z-verplaatsingen per scan gemiddeld over middelste 12 stenen

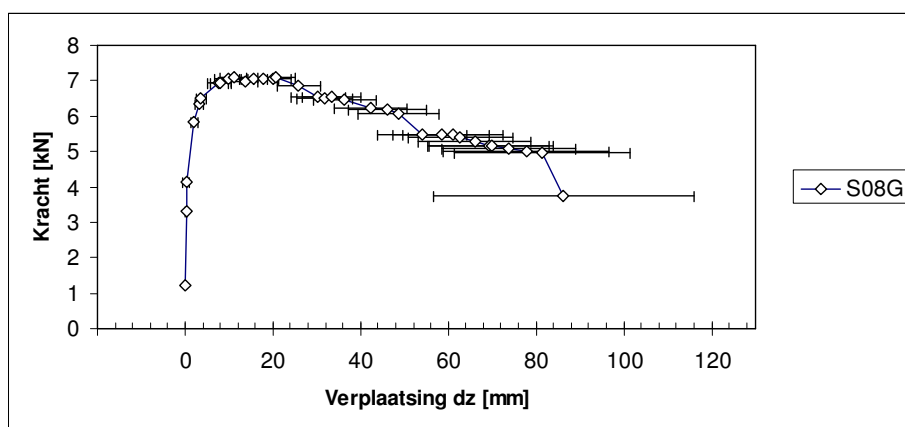


Figuur 5-10: Kracht-verplaatsingsdiagram als figuur 5-9, maar nu met kalibratie van alle proeven ten opzichte van nulmeting van S16A

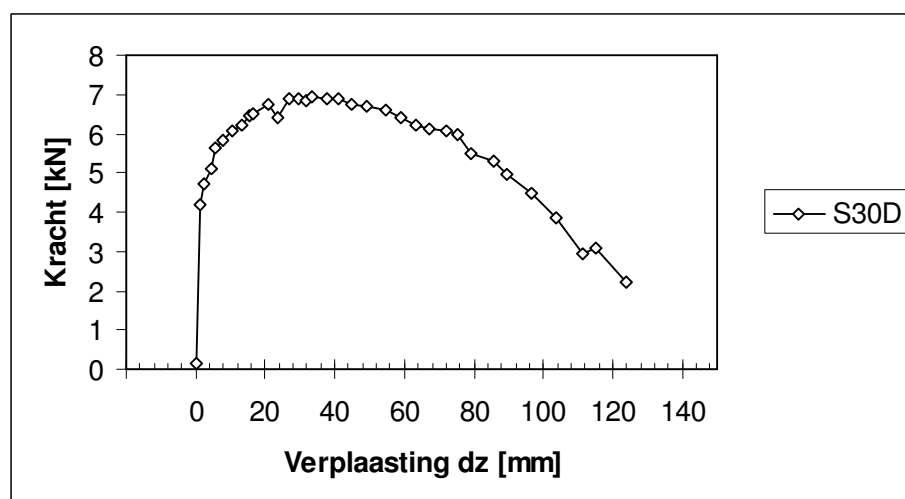
Het voor S16 gevonden kracht-verplaatsingsverloop is in grote lijnen conform de verwachtingen. In de stijgende tak van de figuur treedt softening op door gaping en mogelijk ook door verlies van voegmateriaal. Nadat het maximum bereikt is bij ca. 20 mm volgt een vrijwel lineair dalende tak. Het kracht verplaatsingsdiagram is congruent met doorslag grafieken uit de literatuur. Zie hiervoor [Peters, 2002].

De figuur van S16 is gecompileerd uit meerdere proeven. De figuren 5-11, 5-12 en 5-13 tonen weergaven van telkens één proef. Het beeld is min of meer gelijk. De dalende tak is steiler en in sommige gevallen ook grillig. Dit is het gevolg van het verschijnsel dat de elementen bij grote verticale vervorming en navenant grote rotaties alleen op de elementranden contact maken en daardoor af en toe wat schokkerig over enige mm of cm afschuiven ten opzichte van elkaar. Figuur 5-13 toont een diagram waarbij de kracht nadat deze stabiliseert op een bepaalde waarde bij doorgaand verplaatsen weer toeneemt. Ook dit kan duiden op afschuiving. Het gaat dan om verplaatsingen van

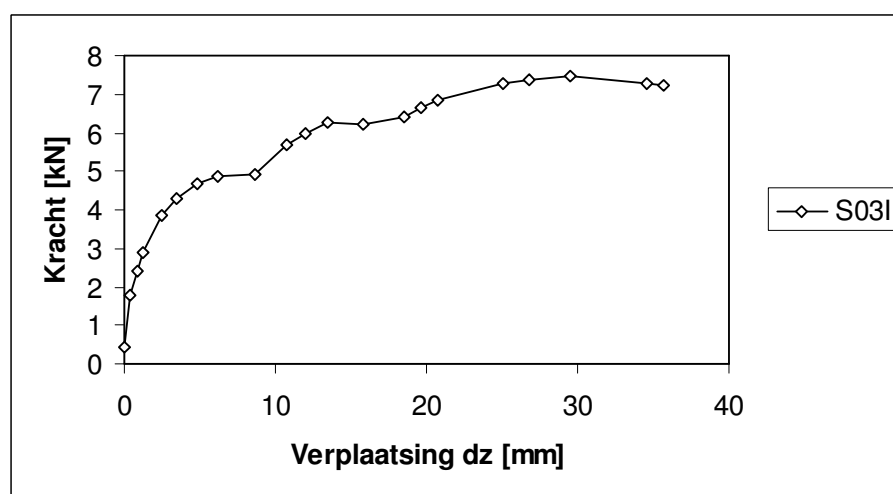
gemiddeld 2 à 4 mm. Het blijkt mogelijk het proefstuk nog verder te belasten tot bezwijken door doorslag.



Figuur 5-11: Kracht verplaatsingsdiagram, met weergave van 1 × standaardafwijking in de z-verplaatsing van de middelste 12 stenen



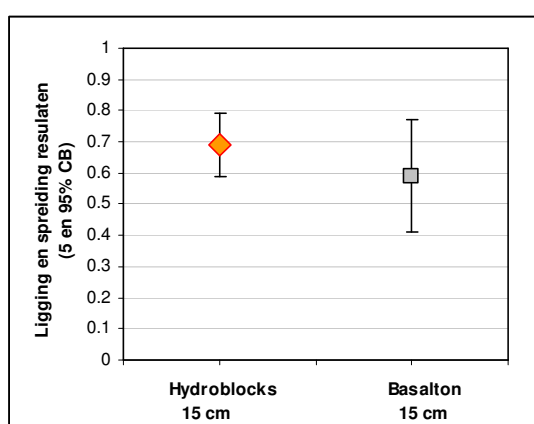
Figuur 5-12: Kracht verplaatsingsdiagram met ideaal verlopende stijgende en dalende tak in een belastingsgang



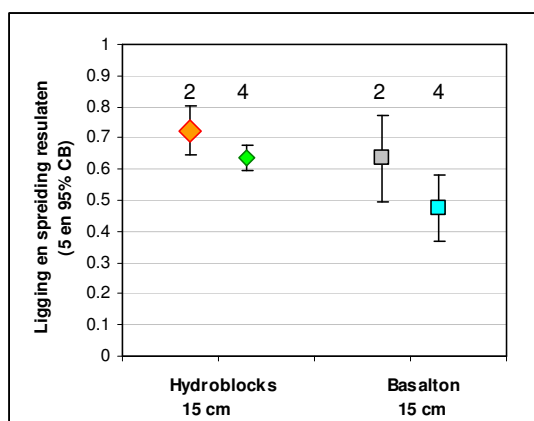
Figuur 5-13: Kracht verplaatsingsdiagram met step-up beeld

5.2 Trekproefresultaten

De gemeten maximale trekkrachten stroken in het algemeen goed met de verwachtingen. De predicties voor de trekkrachten waren geformuleerd als bovengrens. De gemiddelde ligging van de resultaten is dan ook onder de predictie. De resultaten gedeeld door de predictie leveren een gemiddelde $\mu = 0.69$ en $\sigma = 0.059$ voor de Hydroblocks ($n = 37$) en $\mu = 0.59$ en $\sigma = 0.11$ voor de Basalton ($n = 12$). Deze waarden zijn uitgezet in figuur 5-14. Bij een vergelijking ten opzichte van predicties die identiek zijn voor Hydroblocks en Basalton zijn de resultaten voor Basalton aanmerkelijk lager. Opvallend is dat de 95% bovengrens voor beide typen ongeveer even hoog ligt. Nadere verdeling van de data in groepen met gelijke normaalkracht laat zien dat de resultaten van de Basalton voornamelijk achterblijven voor het hogere voorspanniveau (figuur 5-15 en tabel 5-1). Dit geldt in mindere mate voor de Hydroblocks.



Figuur 5-14: Gemiddelde en spreiding van de maximale trekkracht gedeeld door de model predictie



Figuur 5-15: Gemiddelde en spreiding van de maximale trekkracht gedeeld door de model predictie, uitgesplitst naar tijdens de proef aangebracht normaalkracht, resp. het gewicht van 2 en van 4 m² (toplaag) / m (breedte van het proefstuk)

Normaalkracht	Hydroblocks		Basalton	
	middel 2 m ² /m 6.7 kN/m	hoog 4 m ² /m 13.4 kN/m	middel	hoog
Gemiddelde μ	0.724	0.637	0.635	0.475
Aantal proeven n	24	13	5	7
Standaardafw. σ	0.049	0.025	0.085	0.065

Tabel 5-1: Vergelijking resultaten trekkrachten gedeeld door predicties (waarden gelijk aan figuur 5-15)

Er zijn verschillende predicties gemaakt. De basispredictie is een berekening van het verticaal evenwicht en de momentcapaciteit van de ligger met lengte $2 X_0$ conform het model en een gewicht van 345 kN/m^2 . Vervolgens is een correctie met het werkelijke gewicht van de verschillende proefstukken gemaakt: Hydroblocks 300 kg/m^2 , Basalton 312 kg/m^2 , met resp. 325 en 323 voor ingewassen proefstukken.

Ook zijn er, zoals beschreven in par. 3.4, verfijningen in de predictie geïmplementeerd voor de reductie van de inwendige hefboomsarm als functie van L. Ook is er een veronderstelde verkleining van de momentcapaciteit door het al dan niet ingewassen zijn geïmplementeerd (zie paragraaf 3.4.1). Deze reducties kunnen ook met elkaar gecombineerd worden.

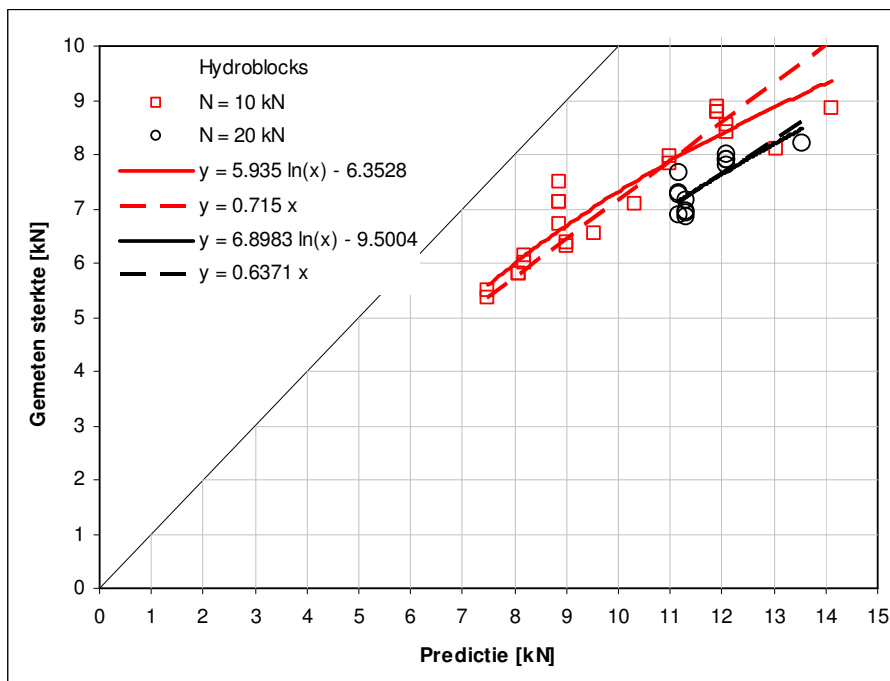
De proefresultaten worden eerst vergeleken met de basispredictie gecorrigeerd voor het gewicht, en vervolgens wordt gekeken of de andere predicties trendmatig beter zijn.

In de figuren 5-16 en 5-17 zijn de resultaten van de Hydroblocks uitgesplitst naar a) voorspanniveau en b) wel/geen inwassing.

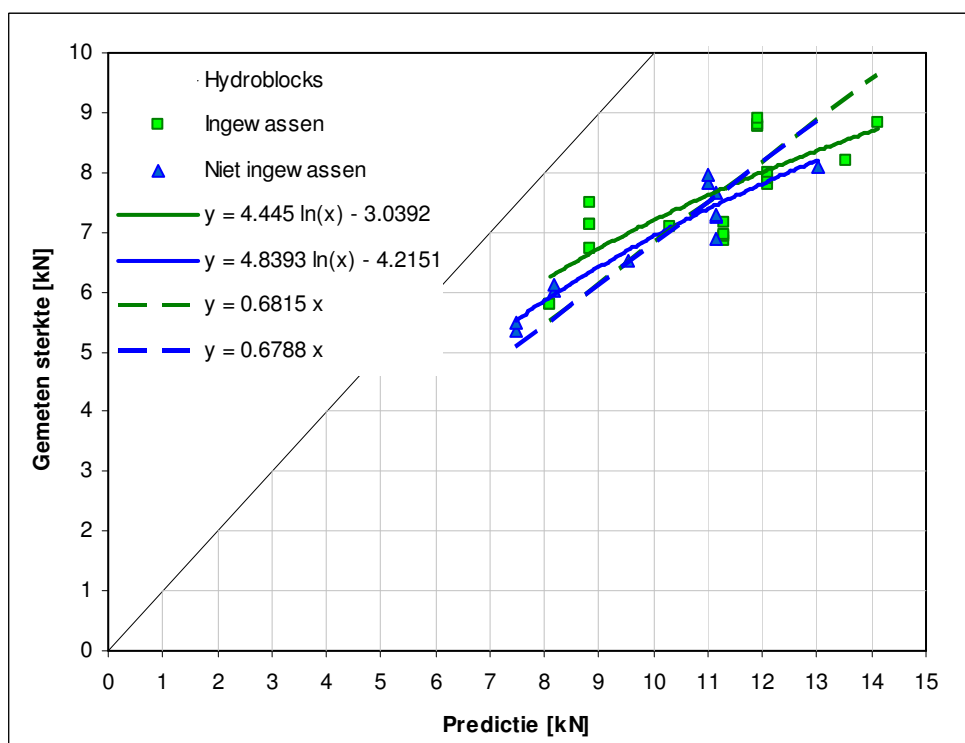
Ad a): De gemiddelde ligging ten opzichte van de predictie is voor middel en hoog voorgespannen proefstukken duidelijk verschillend. Voor Hydroblocks bedragen deze 0.72 en 0.64 respectievelijk (zie tabel 5-1, en zie helling van de rechte in figuur 5-16). De spreiding is niet bijzonder groot. Het verschil is niet toevallig. Voor een verschil < 0 geldt $P = 10^{-12}$. Voor Basalton is het verschil in gemiddelde ligging even duidelijk, doch de spreiding is groter. Voor een verschil < 0 bij Basalton geldt $P = 10^{-4}$, het geen nog steeds significant is.

Door middel van plots van de meetresultaten tegen de predictie is zichtbaar te maken dat de gemeten waarden bij de hogere trekkrachten wat sterker afwijken. De trendmatige afwijking van de rechte lijn is zichtbaar gemaakt met een log-trendlijn. De keuze voor een log is willekeurig. Het is te zien dat de afwijking van de rechte van het model niet bijzonder groot is.

Ad b): Op dezelfde wijze wordt de invloed van inwassing zichtbaar gemaakt. Het is te zien dat de ingewassen proefstukken een iets hogere sterkte halen. De trendlijn van de ingewassen populatie ligt hoger dan die van de niet-ingewassen. In de ligging van de rechte volgens het model is er echter geen invloed. De lineaire fits voor beide populaties liggen exact op elkaar, op 0.68. Voor de maximale trekkracht kan er dus geen significant effect van het al dan niet aanwezig zijn van voegmateriaal worden aangetoond.



Figuur 5-16: Trekproef resultaten uitgesplitst naar normaalkrachtsniveau's middel en hoog

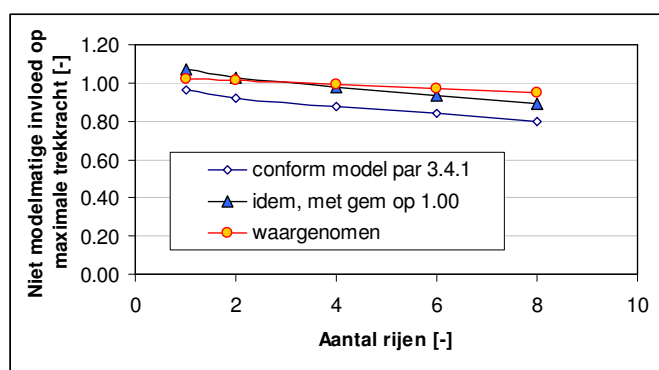


Figuur 5-17: Trekproef resultaten uitgesplitst naar wel en niet ingewassen proefstukken

Er is vervolgens onderzocht of bijstellingen in het model en in de modelparameters de ligging van de resultaten ten opzichte van de (bijgestelde) predictie kunnen verbeteren. Het gaat daarbij vooral om de vraag in hoeverre de reeds gevonden gemiddelde afwijking van de resultaten met de predictie verbetert indien deze gecombineerd wordt met correcties voor een (veronderstelde) afhankelijkheid van L/D. Hierbij moet vooral worden gedacht aan de opwaartse verplaatsing δ , vermeld in par. 2.4, maar niet als variabele opgenomen in de predictie.

De predictieverbeteringen zijn grafisch weergegeven in tabel 5-2 met figuren daarin figuren à la figuur 5-16 en 5-17. Daarbij is telkens de totale populatie Hydroblocks weergegeven. De grijze solids tonen de ligging ten opzichte van de basispredictie gecorrigeerd voor gewicht. De open icoontjes tonen de ligging van de trekproefresultaten ten opzichte van de verbeterde predictie.

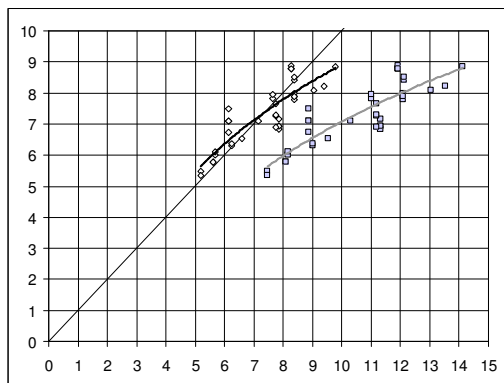
De aangenomen en in par. 3.4.1 geïntroduceerde verfijningen spelen een rol, maar ze zijn minder relevant dan de nieuw geobserveerde afhankelijkheid van het voorspanniveau. Er was reeds een modelmatige afhankelijkheid van het voorspanniveau. De extra invloed is mogelijk gerelateerd aan de voegsterkte. De eindige voegsterkte limiteert de hoogte van de drukzone in de voeg, waardoor de ligging van de resultante kracht zich bevindt op een positie meer naar het midden van de ligger. Dit fenomeen heeft bij een hogere normaalkracht een grotere invloed. Zie hiervoor paragraaf 5.6. Het blijkt dat naast de gevonden correcties 0.72 en 0.64 voor het hoge en lage voorspanniveau, er een lichte afhankelijkheid van L/D waarneembaar is. Deze afhankelijkheid is geringer dan in de predictie aangenomen. Uitgedrukt als factor op de kracht varieert de invloed tussen de 1.02 en 0.95. Zie figuur 5-20. De standaardafwijking in het resultaat neemt ten opzichte van de respectievelijk zonder en met invloed van L/D verbeterde predicties af van 0.059 naar 0.055. De betrouwbaarheid van de geconstateerde invloed is daarmee gering. De conclusie kan zijn dat de invloed verwaarloosbaar klein is.



Figuur 5-18: Grafiek met in predictie (par. 3.4.1) opgenomen afhankelijkheid van L/D en waargenomen cq. berekende afhankelijkheid van L/D

Basispredictie, gecorrigeerd voor gewicht

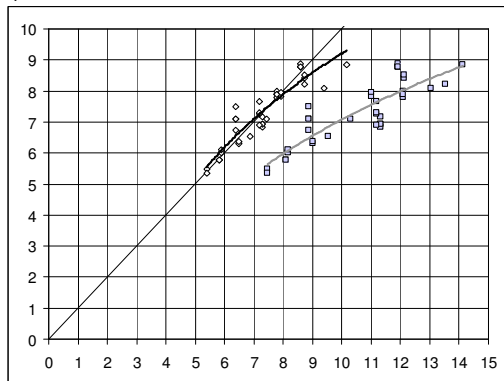
De onderste vier correcties resulteren opzettelijk in een ligging op de rechte lijn. De weergegeven log-trend is slechts getoond om de trendmatige afwijking van de rechte te laten zien.



Sterkte correctie

De basispredictie gecorrigeerd met een factor 0.69 op de momentcapaciteit. De standaardafwijking blijkt 0.085.

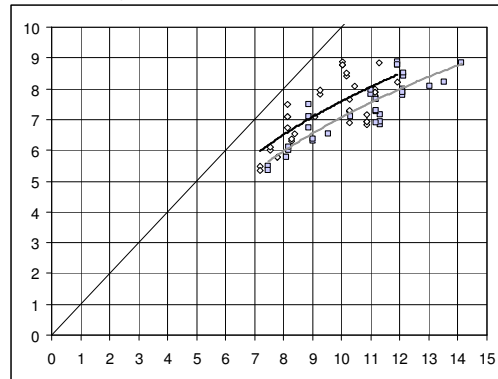
*) komt overeen met 0.059/0.69, tabel 5-1



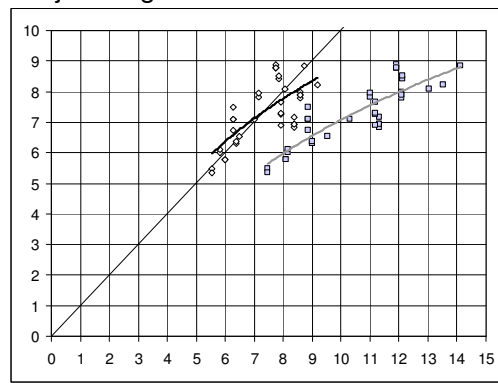
Afhankelijkheid van voorspanniveau

De basispredictie gecorrigeerd voor gewicht uitgesplitst voor middel en hoog voorspanniveau en gecorrigeerd met resp. 0.72 en 0.64 (conform fig. 5-16). De standaardafwijking is nu 0.059.

Afhankelijkheid van L/D

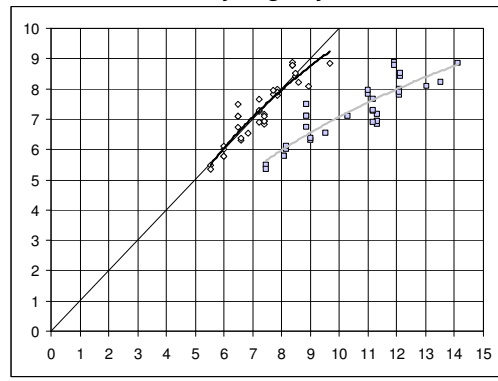


De predictie met reductie van de inwendige excentriciteit van de normaalkracht als functie van L/D vlg. par. 3.4.1. Deze geeft over de gehele populatie een verbetering. De correctie is bij de hoge waarden te klein.



Reductie afh. L/D als bovenstaand, maar nu met een factor 0.77 op de momentcapaciteit.

De standaardafwijking blijkt 0.110.

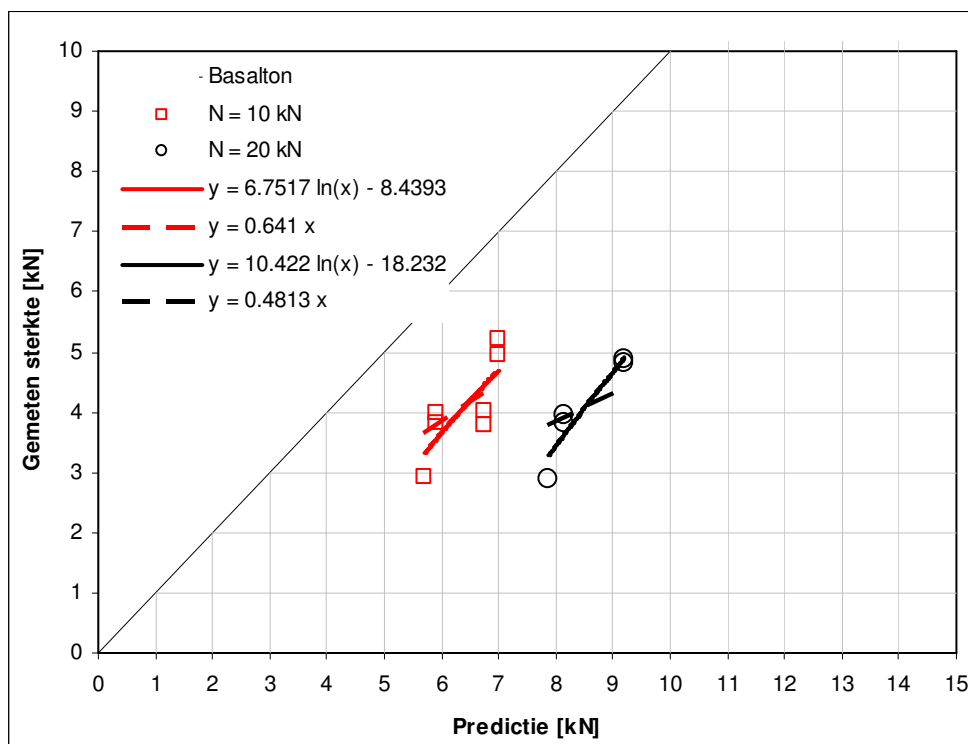


Idem, gecombineerd met een berekende lineair van L/D afhankelijke correctiefactor.

De geminimaliseerde standaardafwijking is 0.055.

Tabel 5-2: Verkenning predictieverbeteringen

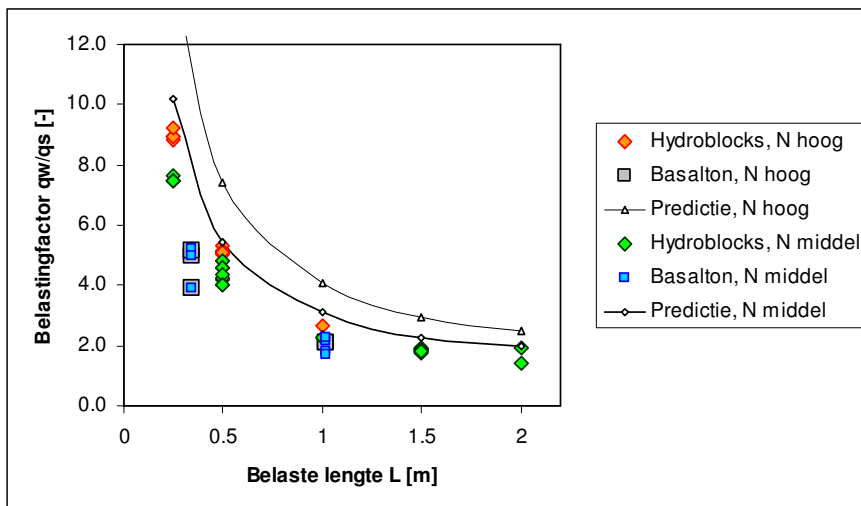
Evaluatie van de resultaten van Basalton laat ook een sterke afhankelijkheid van het voorspanniveau zien. Hier zijn de afwijkfactoren, 0.64 en 0.48, respectievelijk voor middel en hoog voorspanniveau. De standaardafwijking van de resultaten ten opzicht van de verbeterde predictie is dan 0.13. Deze is beduidend hoger dan voor de Hydroblocks. De standaardafwijking verbetert niet bij toepassing van een correctie afhankelijk van L/D. Hiervoor is de populatie mogelijk te klein (n = 12). Aan de afwijkende richting van de trendlijnen ten opzicht van de rechte door de oorsprong wordt gezien de kleine range en het kleine aantal geen waarde gehecht.



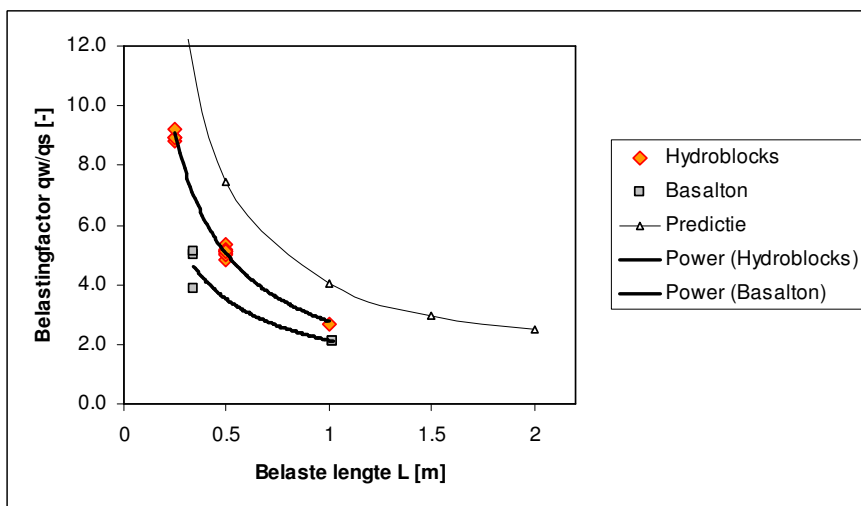
Figuur 5-19: Vergelijking van trekproefresultaten met de basispredictie gecorrigeerd voor gewicht. De richtingscoëfficiënten van de rechte door de oorsprong corresponderen met de waarden in tabel 5-1.

Een voorlopige conclusie is dat het model trendmatig goed is, dat er duidelijke verschillen in sterkte van Hydroblocks en Basalton zijn en dat er relevante verfijningen in de afhankelijkheid van het voorspanniveau kunnen worden aangebracht en dat een niet-modelmatige invloed van variabelen die afhankelijk zijn van de belaste lengte L of L/D verwaarloosbaar is.

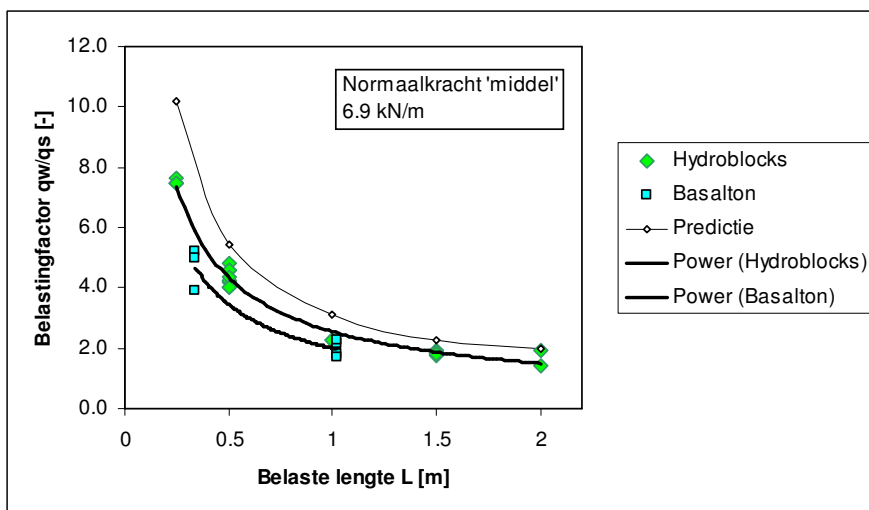
Gezien de relevantie van het model lijkt het zinvol de resultaten uit te zetten tegen de belaste lengte L. Zowel de resultaten voor de Hydroblocks en de Basalton zijn weergegeven in de figuren 5-20 t/m 5-23.



Figuur 5-20: Trekproefresultaten omgerekend naar q_w/q_s , uitgezet tegen L

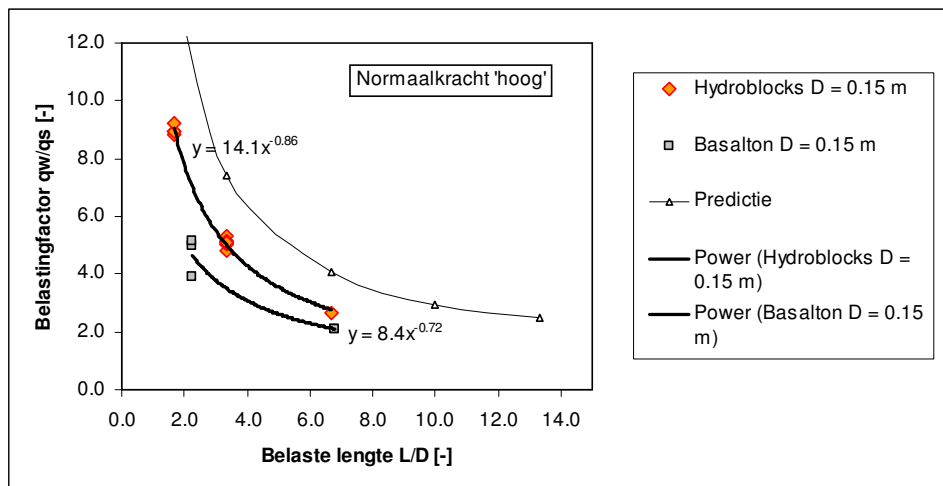


Figuur 5-21: Trekproefresultaat omgerekend naar q_s/q_w uitgezet tegen L, voor hoog niveau normaalkracht

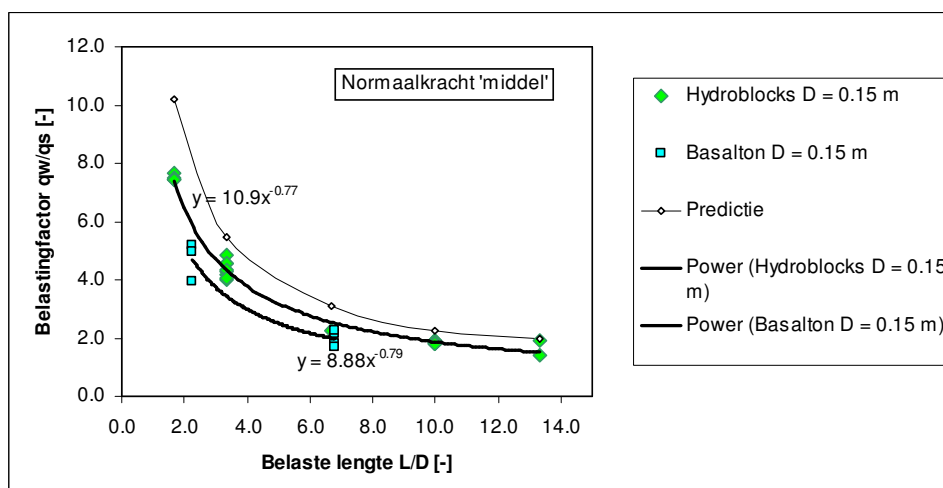


Figuur 5-22: Trekproefresultaat omgerekend naar q_s/q_w uitgezet tegen L, voor middel niveau normaalkracht

Deze figuren zijn dimensieloos te maken door de belaste lengte L te delen door de bekledingdikte D . Hiermee moet enigszins voorzichtig worden omgegaan omdat niet de suggestie moet worden gewekt dat er meerdere bekledingsdiktes zijn beproefd.



Figuur 5-23: Trekproefresultaten uitgezet tegen L/D , voor hoog niveau normaalkracht

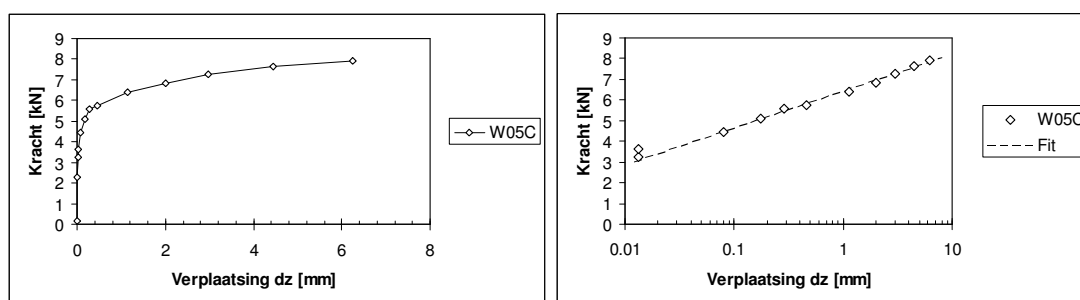


Figuur 5-24: Trekproefresultaten uitgezet tegen L/D , voor middel niveau normaalkracht

5.3 Kracht verplaatsingsdiagrammen

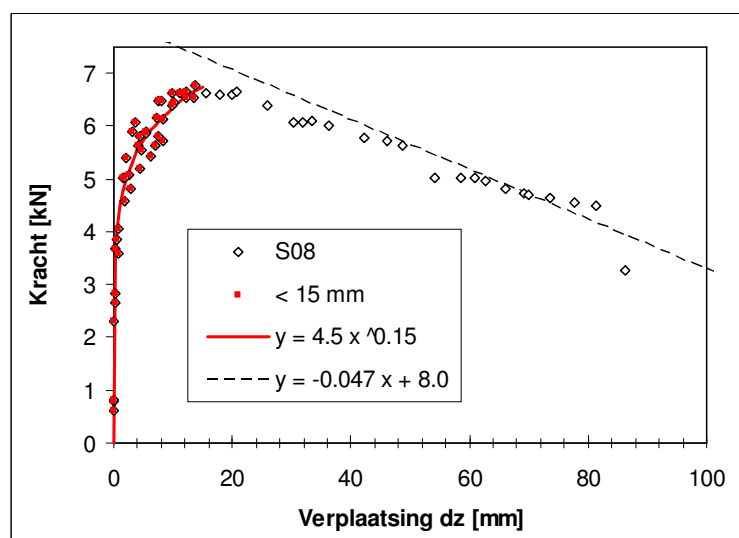
In paragraaf 5.1 zijn reeds een aantal typerende kracht-verplaatsingsdiagrammen getoond. De analyse en bespreking van de resultaten in deze paragraaf wordt gesplitst in a) de stijgende tak, b) de grootte van de bezwijkverplaatsing en c) de dalende tak.

Het algemene beeld van de stijgende tak vertoont een sterk afnemende stijfheid gedrag boven ca. 0.7 maal de maximale kracht. In veel gevallen is de geregistreerde grafiek vrijwel perfect te beschrijven met een machts-functie. Van onderstaande proef W05C is de kracht uitgezet tegen de verticale verplaatsing op lineaire en op logaritmische schaal.

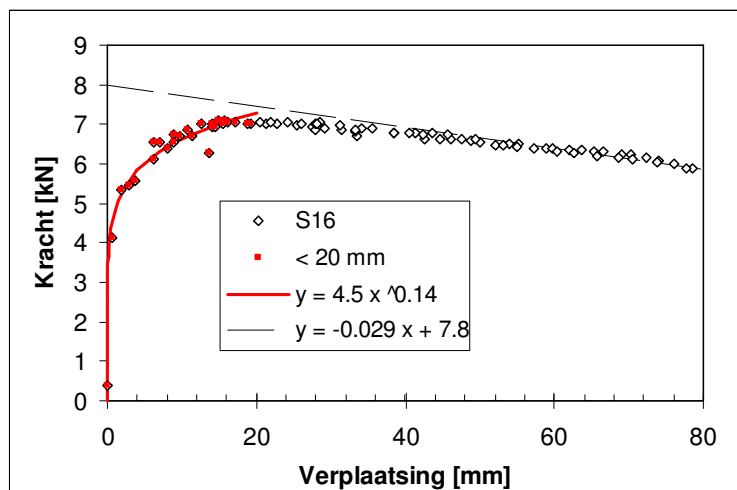


Figuur 5-25: Kracht-verplaatsingsdiagram proef W05C, verplaatsing lineair en logaritmisch uitgezet vanwege opmerkelijke fit met machts-functie

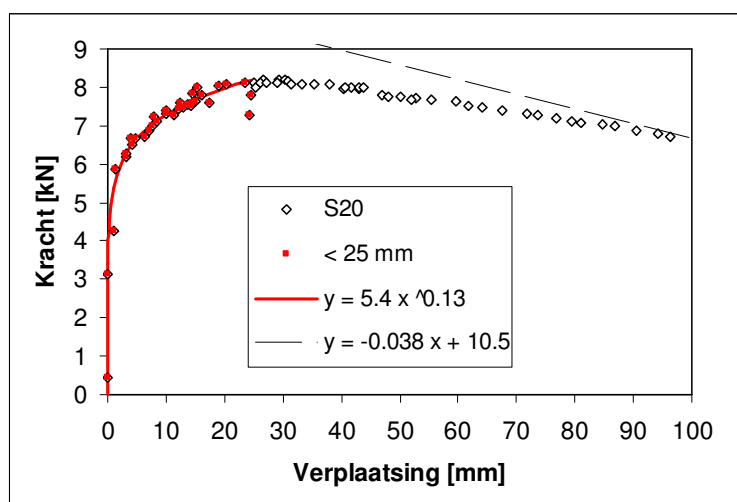
Van alle meetdata zijn fits berekend in de vorm $y = a x^b$. Daarbij zijn telkens twee punten gebruikt, te weten het bezwijkpunt en een punt waar de grafiek het sterkst kromt. In het geval dat het bezwijkpunt pas optrad bij een zeer grote verplaatsing, is een punt gebruikt behorend bij bijvoorbeeld $0.95 F_{max}$. Op deze wijze wordt voor bijvoorbeeld proef S031 (figuur 5-13) een meer representatief verloop gevonden.



Figuur 5-26: Typerend kracht-verplaatsingsdiagram met bezwijkverplaatsing op 15 mm, samengesteld uit proeven S08A t/m S08G, stijgende tak fit met machtsfunctie en dalende tak is lineair



Figuur 5-27: Typierend kracht-verplaatsingsdiagram met bezwijkverplaatsing op 20 mm, samengesteld uit proeven S16A t/m S16G



Figuur 5-28: Typierend kracht-verplaatsingsdiagram met bezwijkverplaatsing op 20 mm, samengesteld uit proeven S20A t/m S20G

	Belaste lengte	F_{\max} [kN]	q_w/q_s	Bezwijk-verplaatsing [mm]
S08	2 rijen	7.11	6.9	15
S16	4	7.08	3.2	20
S20	6	8.77	2.8	25

Tabel 5-3: Overzicht typerende data van proeven getoond in figuren 5-26 t/m 5-28

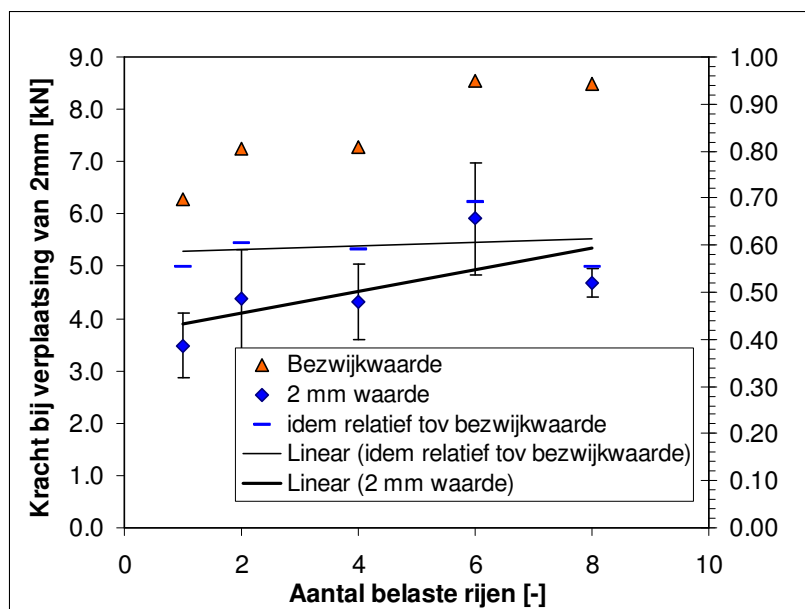
De resultaten van de parameter bepaling van de machts-functies zijn weergegeven in de onderstaande tabel. De resultaten blijken onderhevig aan forse spreiding.

Hydroblocks		a		B	
Rijen	n	μ	σ	μ	σ
1	8	2.92	0.67	0.27	0.10
2	14	3.74	0.97	0.24	0.08
4	3	3.65	0.79	0.25	0.09
6	6	5.33	1.17	0.16	0.08
8	2	4.02	0.22	0.22	0.01

Basalton		a		B	
Rijen	n	μ	σ	μ	σ
2	6	2.08	0.87	0.20	0.10
6	6	3.07	0.70	0.14	0.07

Tabel 5-4: Gemiddelde en standaardafwijking van parameters a en b van functie $y=a x^b$

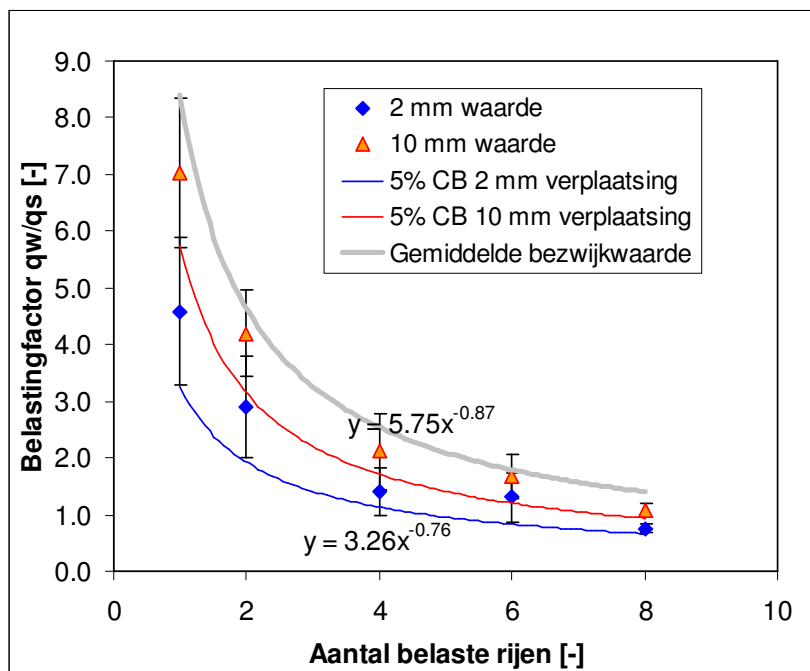
De gegevens geven blijk van een lichte trend in de zin dat de sterkere proefstukken ook iets stijver reageren. Dit kan worden getoond door de trekkracht die wordt behaald bij een kleine verplaatsing van bijvoorbeeld voor 2 mm uit te zetten tegen de belaste lengte. Het blijkt dat naarmate de bezwijkwaarde hoger is, ook de 2 mm waarde hoger is. Het quotiënt van deze waarden laat geen afhankelijkheid van de belaste lengte zien.



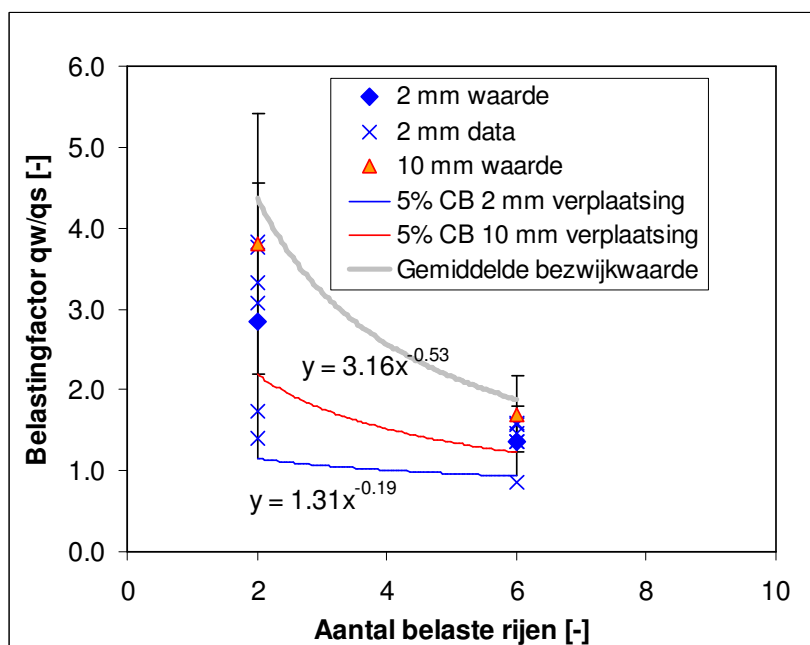
Figuur 5-29: Bezwijkpunt en punt van 2 mm verplaatsing uitgezet tegen belaste lengte

De 2 mm verplaatsing is niet zo sterk onderhevig aan spreiding. Dat geldt nog sterker voor de nog kleinere verplaatsingen, maar deze hebben als criterium niet veel praktische waarde. Door krachten die optreden bij 2 mm verplaatsing om te rekenen naar belastingfactoren q_w/q_s is dit criterium uit te zetten in de modelgrafieken.

In figuur 5-30 en 5-31 zijn de 5% betrouwbaarheidsgrenzen van de 2 en 10 mm verplaatsingen uitgezet. Het blijkt dat ook bij deze verplaatsingen een significante bijdrage van klemming kan worden vastgesteld. De grafiek voor de 2 mm verplaatsing gaat als gevolg van de statistische bewerking boven de ca. 6 rijen belastingbreedte onder de 1.0. Dat is theoretisch uiteraard niet correct. Dit verschijnsel treedt ook op bij de presentatie van dezelfde bewerking op de data van de Basaltonelementen. Dit wordt veroorzaakt door de grote spreiding en het geringere aantal proeven op Basalton.

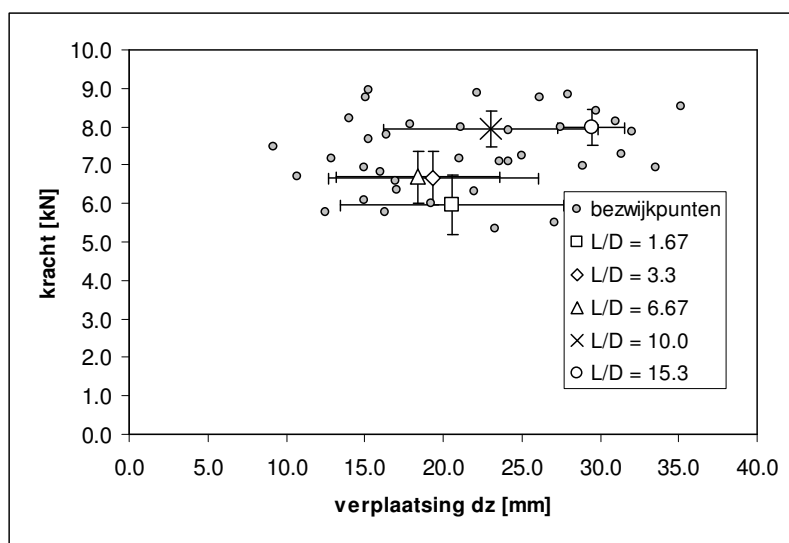


Figuur 5-30: 5% ondergrenswaarden van de belastingfactor bij 2 en 10 mm verplaatsing gebaseerd op de proefresultaten voor Hydroblocks

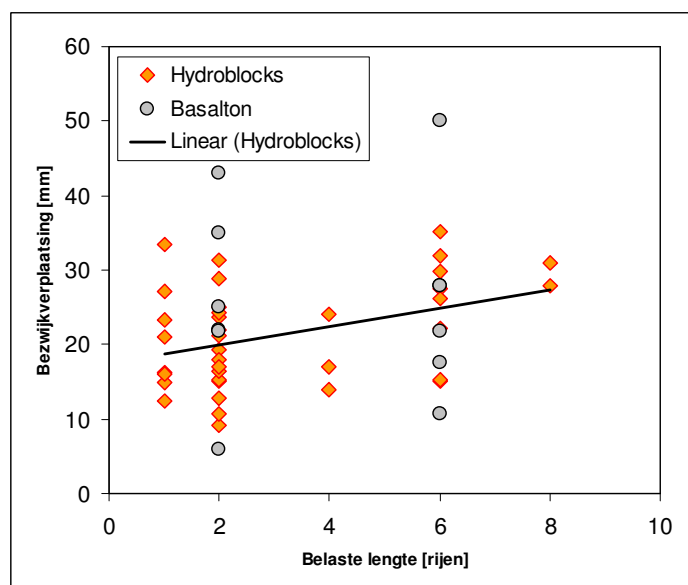


Figuur 5-31: 5% ondergrens waarden van de belastingfactoren bij 2 en 10 mm verplaatsing gebaseerd op de proefresultaten voor Basalton

De grootte van de maximale kracht is besproken in paragraaf 5.2. Hier volgt bespreking van de grootte van de bezwijkverplaatsing. In de figuur 5-29 is een trend te zien waarbij grotere belastingen, grotere belaste lengtes en bijbehorende kleinere waarden voor q_w/q_s , samen op gaan met een toename van de bezwijkverplaatsing. Dit beeld wordt wat meer diffuus voor de totale populatie. De bezwijkverplaatsing vertoont veel spreiding. Alle waarden liggen onder de waarde van 50 à 60 mm. Bij toename van de belaste lengte blijkt er een lichte trend naar een grotere bezwijkverplaatsing (figuur 5-33). Door de grote spreiding lijkt deze nauwelijks relevant. Al hoewel de bezwijkverplaatsingen niet buitensporig groot zijn, zullen deze in het algemeen voor ontwerp-toepassingen te groot zijn. Het is van groter belang om betrouwbare uitspraken te kunnen doen van de krachten bij kleinere verplaatsingen. Zie hiervoor de vorige paragraaf.



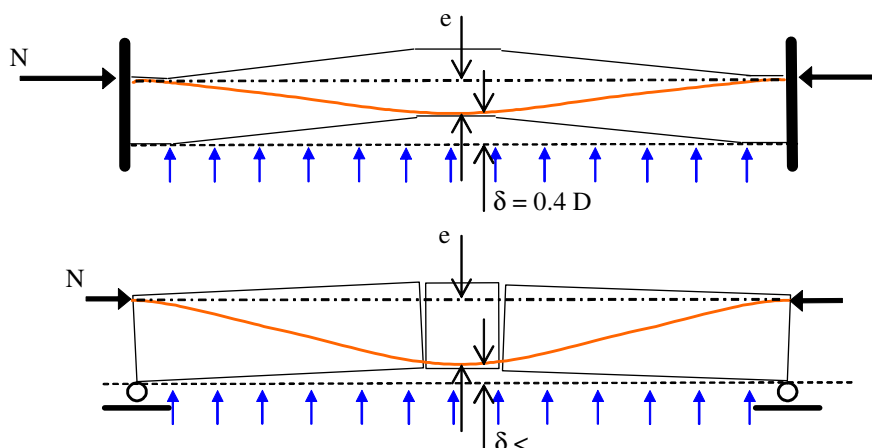
Figuur 5-32: Gemiddelde en spreiding van de ligging van het bezwijkpunt; getoond zijn alle gemeten bezwijkpunten, alsmede de gemiddelden (met $1 \times$ standaardafwijking in x en y) gegroepeerd naar L/D



Figuur 5-33: Grafiek bezwijkverplaatsingen tegen L/D

De vorm van de dalende tak van het kracht-verplaatsingsdiagram laat zich verklaren uit het uit de literatuur bekende doorslag fenomeen (zie ook [Peters 2002]).

In het theoretisch elastische doorslaggeval van starre opsluiting van een elastische balk waarin de normaalkracht onbepaald is, heeft het doorslagpunt bij $\delta = 0.4 D = 60$ mm. Bij de onderhavige proeven is de normaalkracht eindig en constant. Dat betekent dat de maximale trekkracht bereikt wordt bij een kleinere verplaatsing. Alle verplaatsing gaat immers ten koste van de pijl van de drukboog die zich in moet stellen en daarmee ten koste van het opneembare moment $N \times e$, met $e = D - 2\beta X - \delta$. Het is daarmee verklaarbaar dat de gemeten bezwijkverplaatsing in alle gevallen kleiner is dan 60 mm.



Figuur 5-34: Vergelijking bezwijkpunt van axiaal ingeklemd en statisch bepaald proefstuk.

De dalende tak gaat bij de proeven, anders dan in de doorslaggrafieken in de literatuur, niet naar nul, maar zal blijven steken op de waarde van minimaal het steengewicht van de getrokken rijen. De eindwaarde kan groter zijn als de stenen van de nevenliggende rijen niet teruggevallen zijn maar nog op dwarskracht blijven hangen.

Voor de getoonde dalende takken in de diagrammen van figuur 5-13, 5-26 en 5-27 zijn de data weergegeven in tabel 5-5.

Code	Rijen	gewicht getrokken rijen inwasmateriaal [kN]		gemeten eindwaarde [kN]		[rijen]
		zonder	Met			
S30	1	1.13	1.22	2.24	+84%	0.8
S08	2	2.25	2.44	3.73	+53%	1.1
S16	4	4.50	4.88	5.07	+4%	0.1

Tabel 5-5: Vergelijking eindwaarde dalende tak kracht-verplaatsingsdiagram met gewicht van door afschuiving geïsoleerde getrokken rijen; de rechter kolom geeft het aantal extra rijen aan dat in de eindtoestand nog aan de trekrichting hangt

De overeenkomst is goed te noemen. Bij alle getoonde proeven hangt er in de eindtoestand maximaal 1 rij nog op wrijving aan de getrokken rijen.

De theorie van het verloop waarbij de kracht van het maximum terugloopt naar de eindwaarde van het gewicht van de getrokken rijen (+1) impliceert dat de dalende tak bij een geconcentreerde belasting relatief steil is, en bij belasting van een groter aantal rijen relatief slap. Dit komt overeen met de metingen. Zie de samengevatte data in tabel 5-6.

Code	rijen	maximale kracht [kN]		eindwaarde gemeten [kN]	daling
		predictie	gemeten		
S30	1	11.30 *)	6.93	2.24	4.69
S08	2	8.86	7.11	3.73	3.38
S16	4	10.32	7.08	5.07	2.01

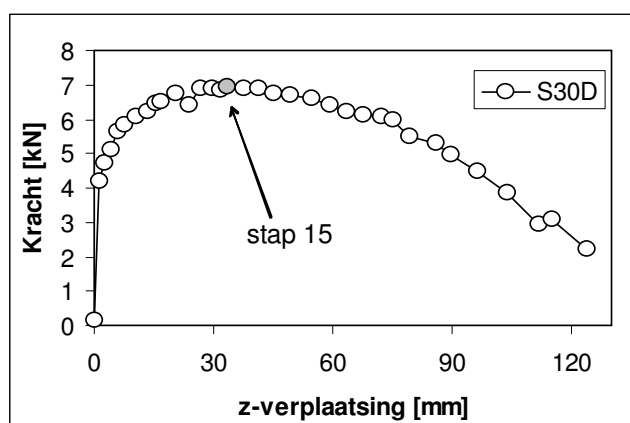
*) Afwijkend voorspanniveau (4 m²/m)

Tabel 5-6: Data steilheid dalende tak krachtverplaatsingsdiagrammen

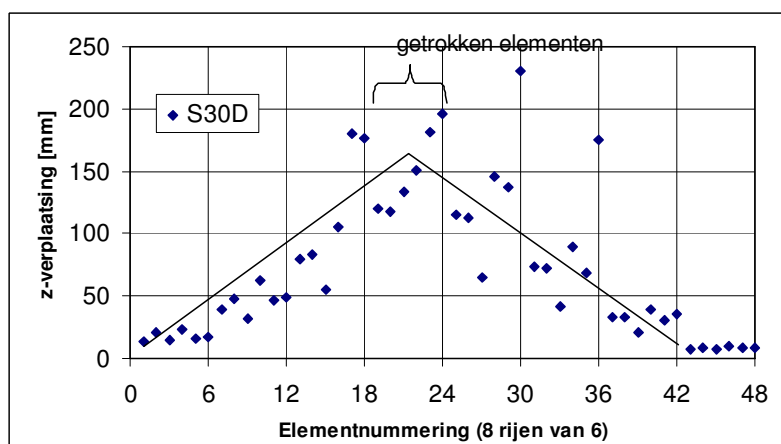
5.4 Vervormingsgedrag proefstukken

In een reeks van figuren is voor twee gevallen, te weten proef S30D op Hydroblocks met 1 belaste rij en proef S08G op Hydroblocks met twee belaste rijen, weergegeven hoe de vervorming van de proefstukken plaatsvindt.

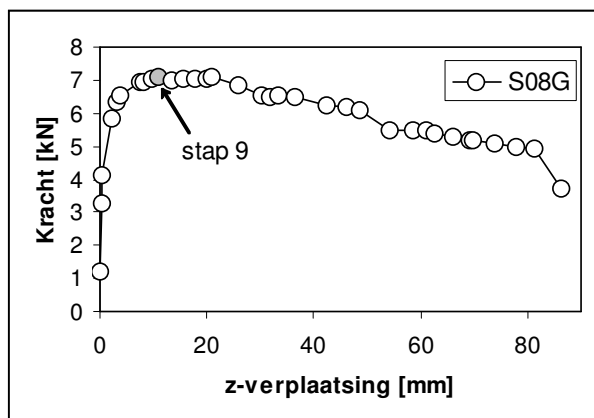
Het verschil tussen één en twee belaste rijen uit zich in de plaats van de symmetrieas. Zie hiervoor figuur 5-7. Dit is weergegeven in de figuren 5-35 en 5-36. Uit deze figuren blijkt tevens dat beide proefstukken in de eindtoestand scheef vervormd zijn.



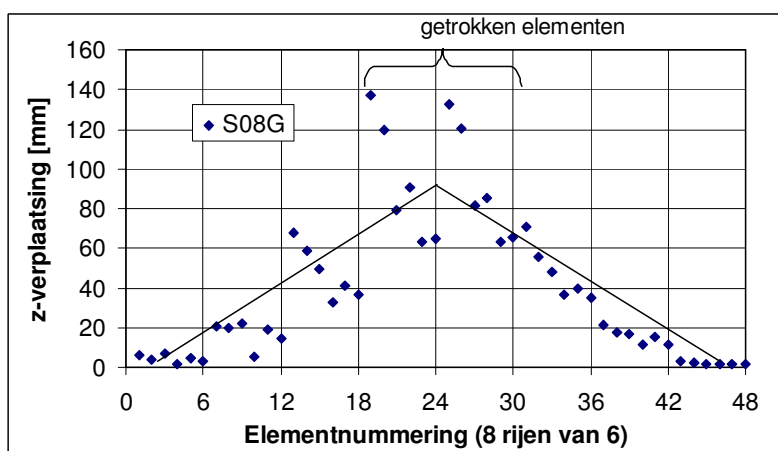
Figuur 5-35: Kracht-verplaatsingsdiagram; 1 belaste rij; stap 15 geeft bezwijklast



Figuur 5-36: Scan met z-verplaatsing van de ingemeten 48 elementen (zie figuur 5-7) in de eindsituatie; rij 10 (element 19-24) is belast, rij 14 (element 43-48) valt in het vlakke gedeelte



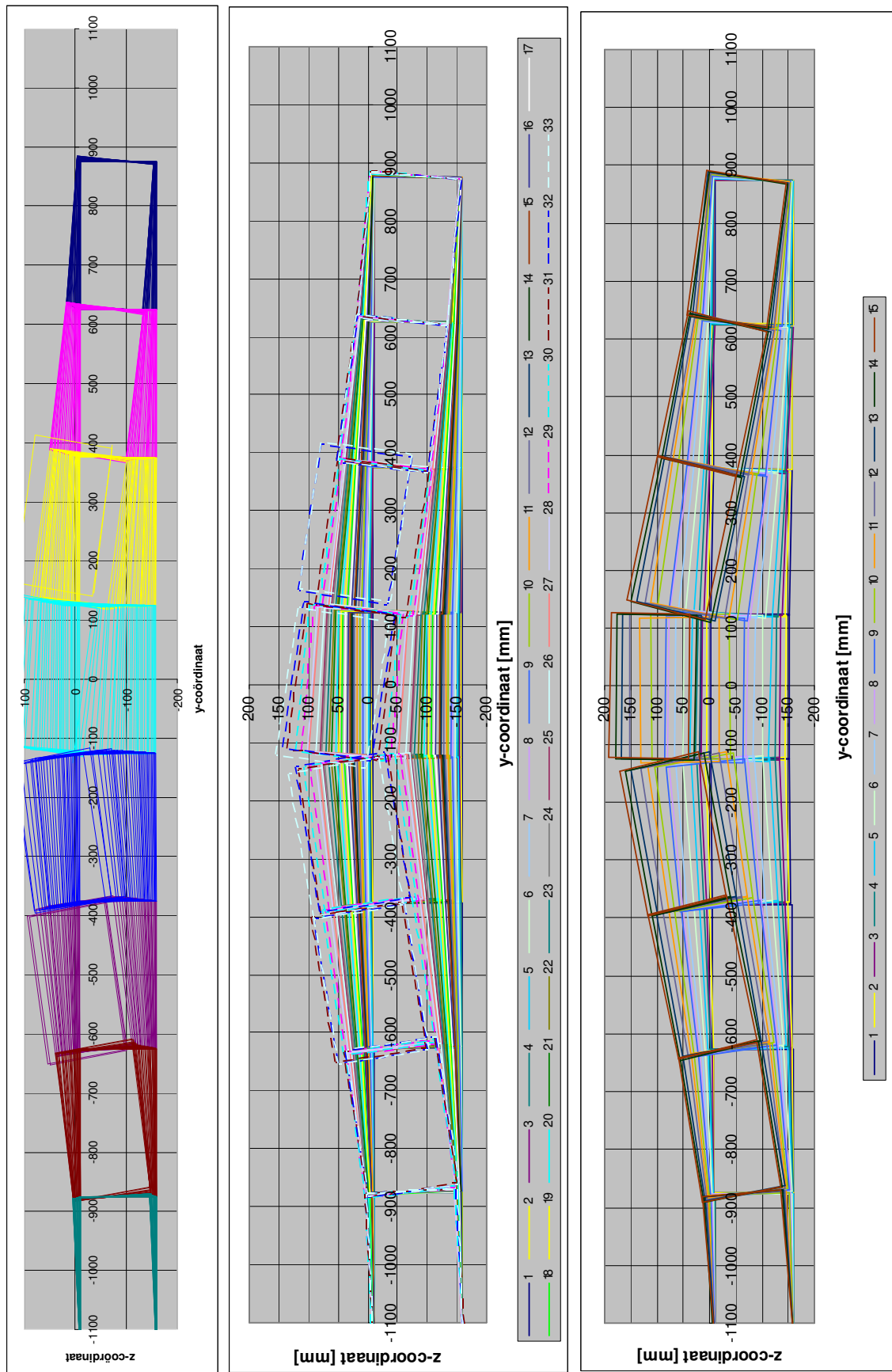
Figuur 5-37: Kracht-verplaatsingsdiagram, 2 rijen belast, stap 9 geeft bezwijklast



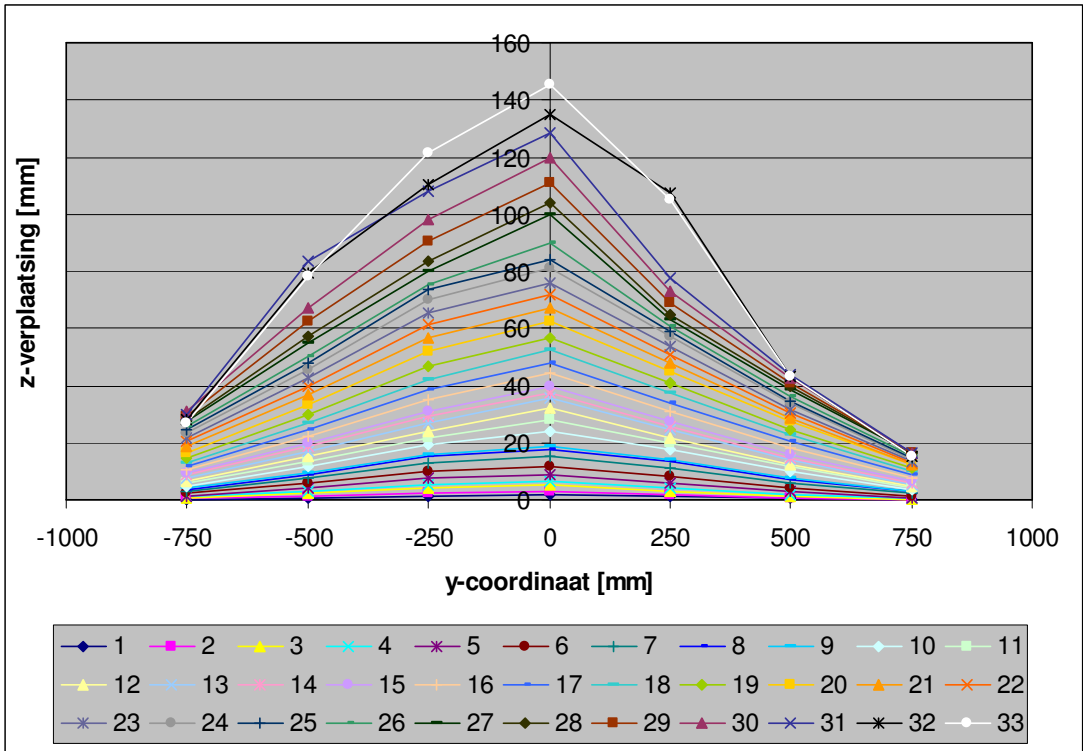
Figuur 5-38: Scan met z-verplaatsing van de 48 elementen; rij 10 en 11 (element 19-30) zijn belast

De scheve vervorming is in de belastingstappen voorafgaand aan respectievelijk stap 9 en stap 15 relatief gering. In de nu volgende figuren van proef S30D en S08G wordt de verplaatsing van de elementen op een dwarsrij van 6 elementen gemiddeld. Door de gemeten verplaatsing in het YZ-vlak, bestaande uit dy , dz en $E2$, om te rekenen naar een ruimtelijke elementpositie ontstaan de figuren 5-39 en 5-42. In deze figuren is te zien dat de elementen bij hun opwaartse beweging zijdelings verplaatsen en roteren van het midden van het proefstuk vandaan. In de meeste rechter grafiek van figuur 5-39 en 5-42 is de vervorming van de belastingstappen tot aan de maximale kracht weergegeven. De vervormingen zijn dan nog vrij klein. Om het vervormingsgedrag goed zichtbaar te maken, zijn de verplaatste posities berekend met $z_i' = z_i + 5$ ($dz + y_i E2$), waarin de 5 een vergrotingsfactor op de verplaatsing is. Voor proef S08G is een vergrotingsfactor 10 gehanteerd. De rotaties van de ribben zijn in dit geval theoretisch niet correct weer te geven.

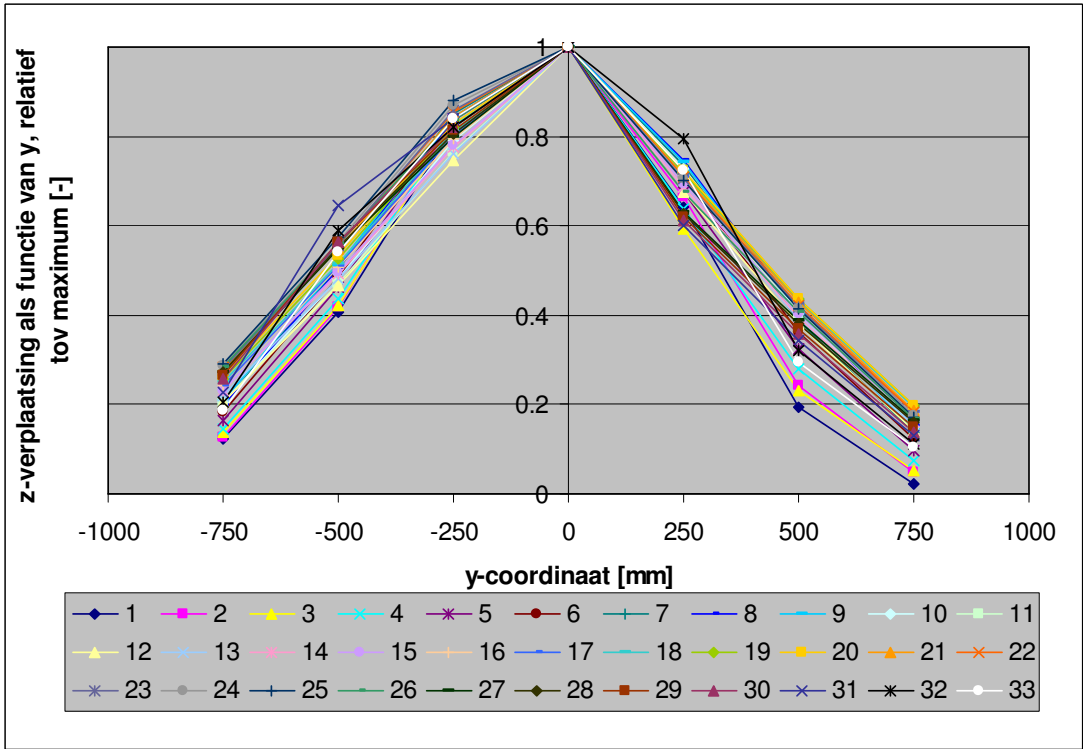
In de figuren 5-40, 5-41, 5-43 en 5-44 is de z-verplaatsing weergegeven met de bedoeling de vervormde geometrie te onderzoeken. Het idee is dat er voordat sterke gaping in de voegen ontstaat de vervorming een 'klok'-vorm heeft, en daarna tendeeft naar een 'dak'-vorm. Individuele punten met hun waarde in de opeenvolgende vormfuncties zijn uitgezet in de figuren 5-47, 5-48 en 5-49. Deze waarden worden vergeleken met waarden uit theoretische vormfuncties zoals getoond in figuur 5-46 en tabel 5-7.



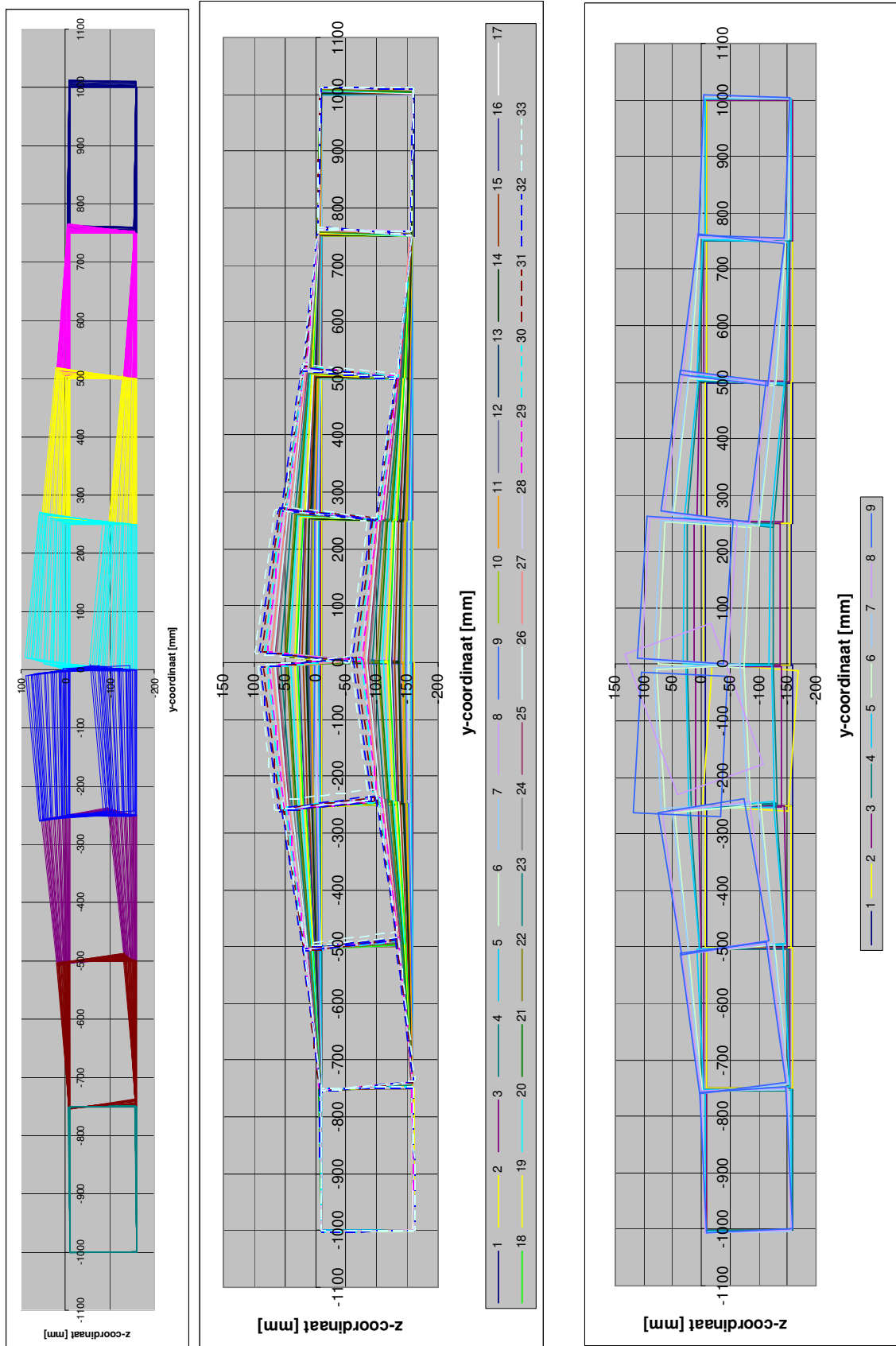
Figuur 5-39: S30D: verplaatste elementen geometrie, a) per blok, b) per stap, c) per stap tot aan stap 15 (met vervormingen maal factor 5); $z = 0$ op 10 mm boven bk blok



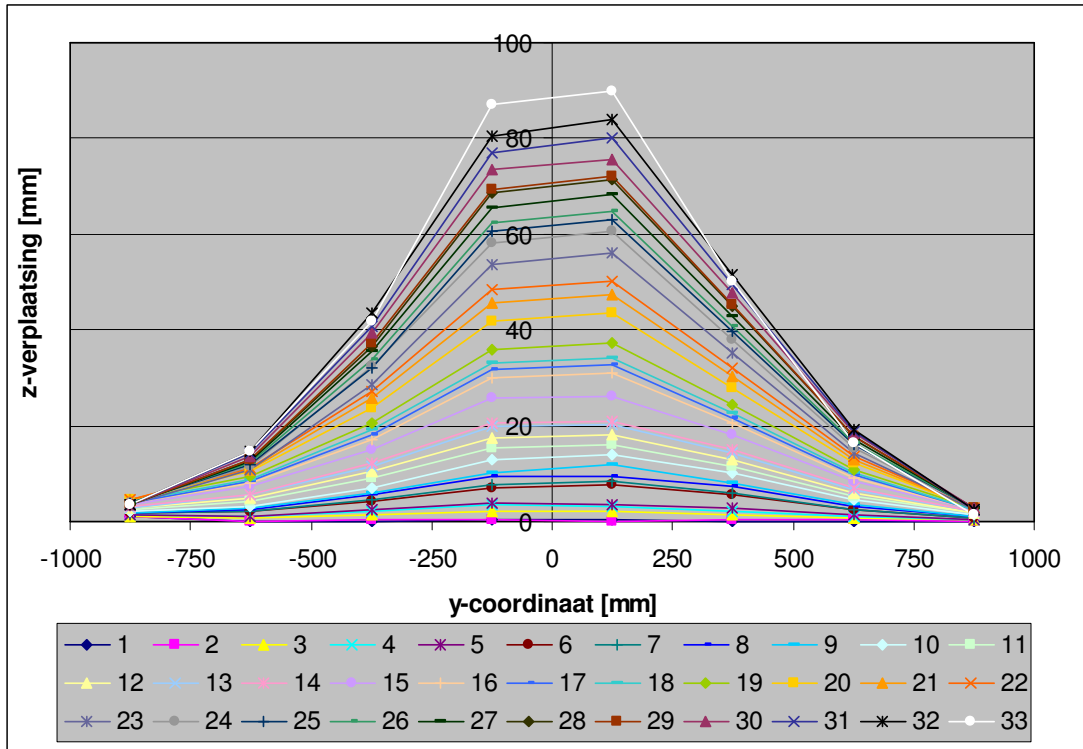
Figuur 5-40: S30D: z-verplaatsing als functie van y, per stap



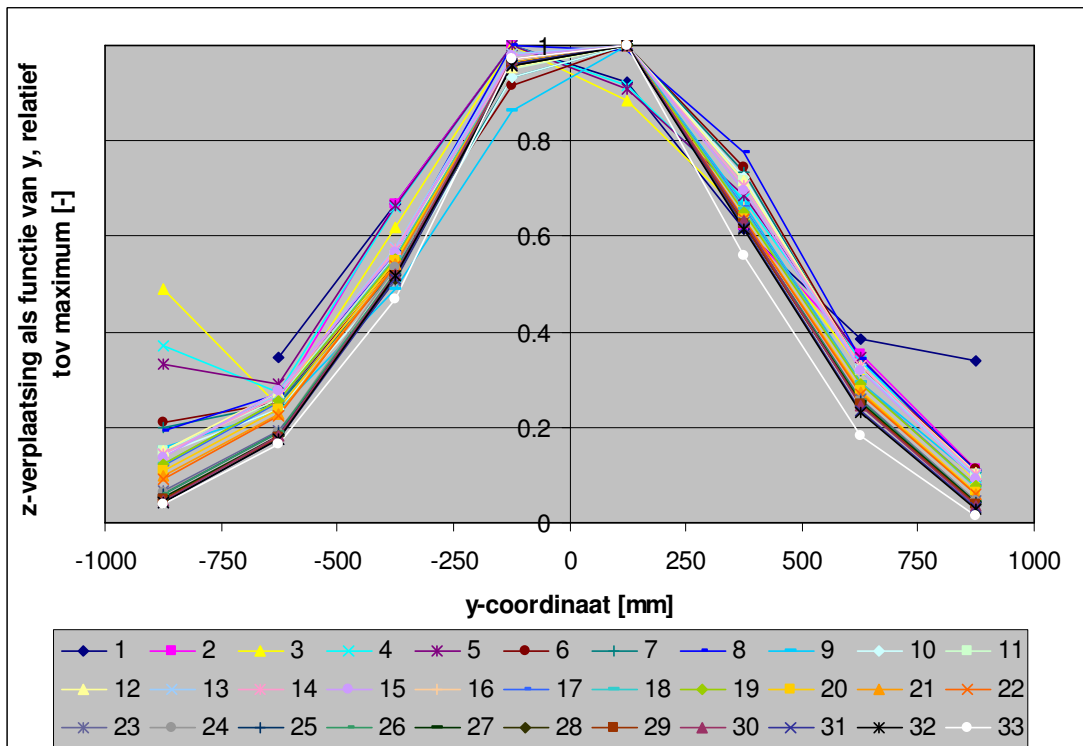
Figuur 5-41: S30D: z-verplaatsingen gedeeld door maximum per stap (vormfuncties)



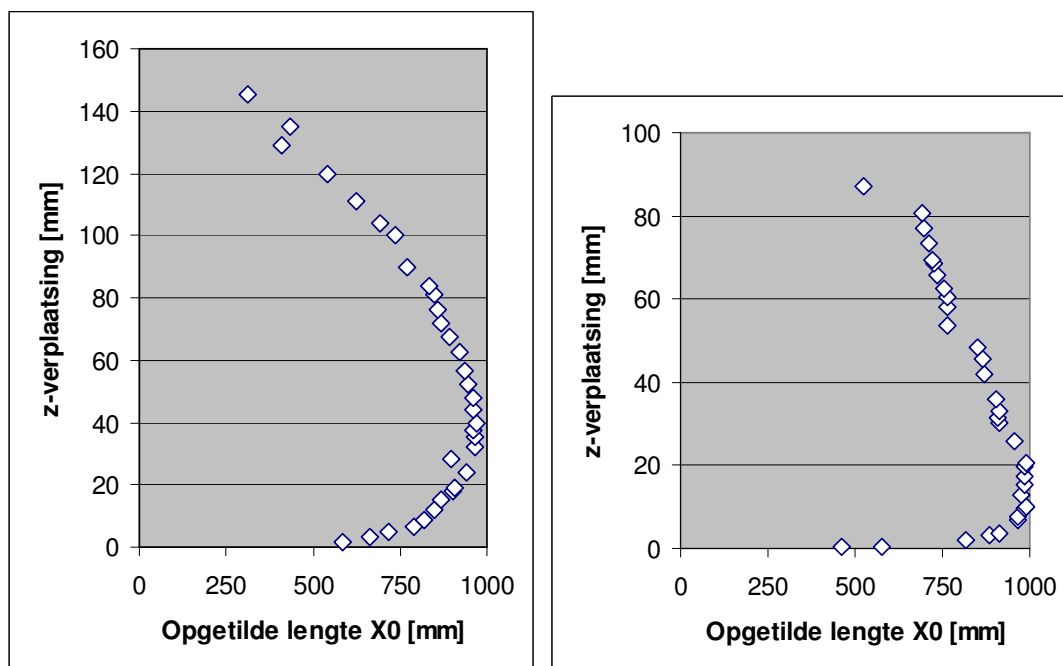
Figuur 5-42: S08G: verplaatste elementen geometrie, a) per blok, b) per stap, c) per stap tot aan stap 6 (met vervormingen maal factor 10); z = 0 op 10 mm boven bk blok



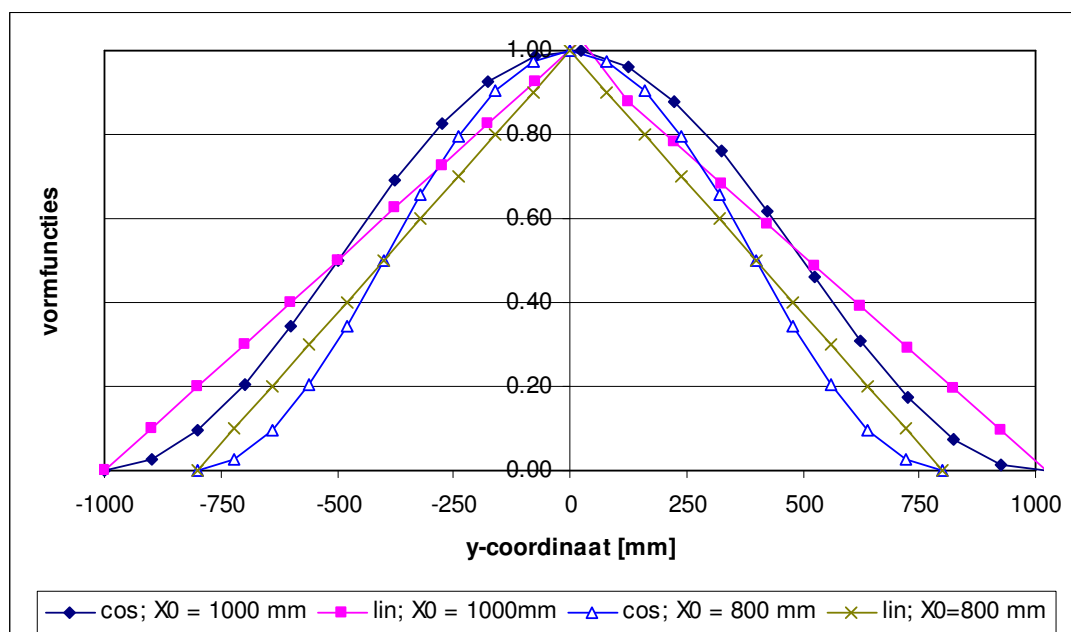
Figuur 5-43: S08G: z-verplaatsing als functie van y, per stap



Figuur 5-44: S08G: z-verplaatsingen gedeeld door maximum per stap (vorm functies)



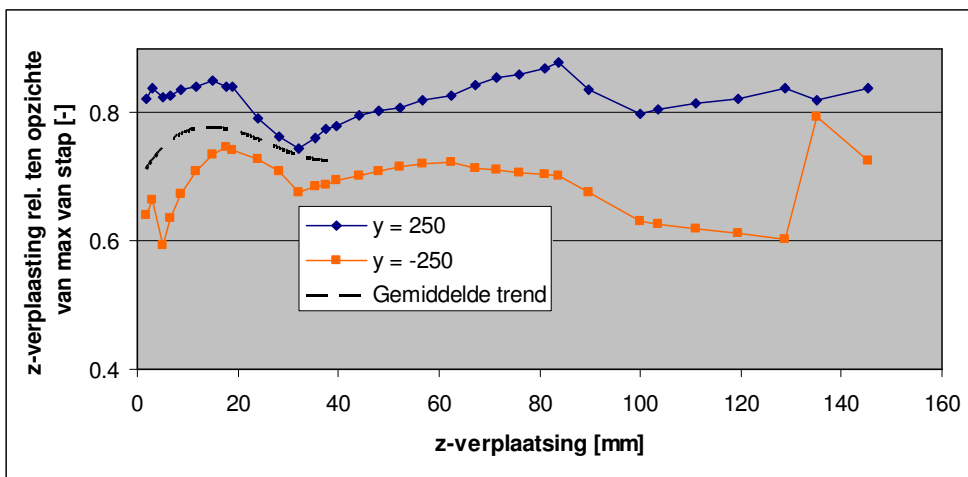
Figuur 5-45: Ontwikkeling van de opgetilde lengte X_0 gedurende de proefneming; voor S30D en S08G resp.



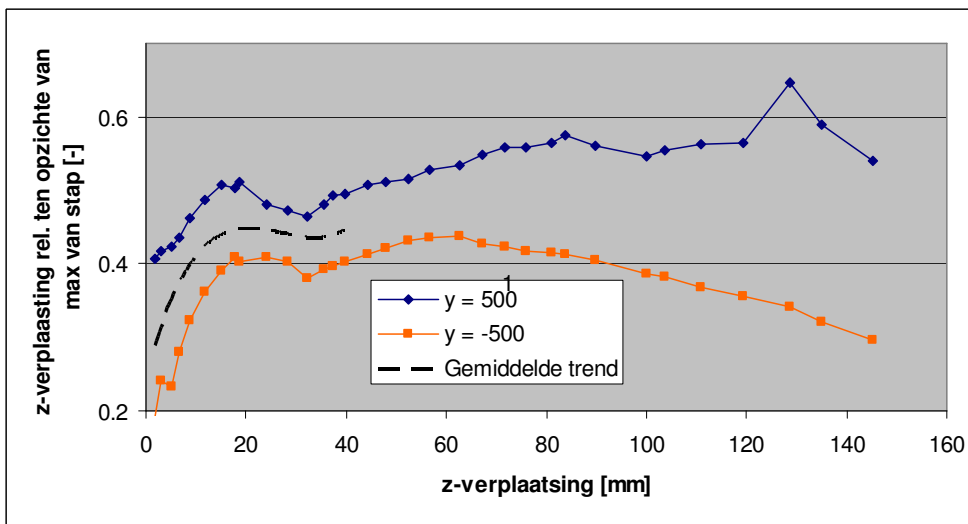
Figuur 5-46: Vormfuncties voor cosinus en 'dak'-vorm (lineair)

X_0	S30D				S08G	
	$y = 250$		500		375	
	cos	lin	cos	lin	cos	lin
800	0.78	0.69	0.31	0.38	0.55	0.53
1000	0.85	0.75	0.50	0.50	0.69	0.63

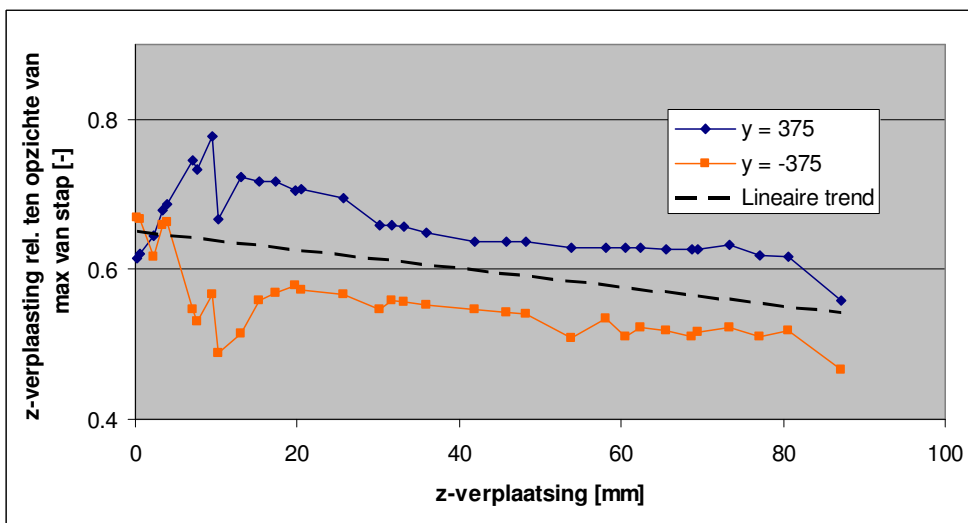
Tabel 5-7: Waarden vormfuncties voor specifieke waarden van y



Figuur 5-47: S30D: waarde in vormfunctie voor specifieke y-coördinaat voor alle stappen



Figuur 5-48: S30D: waarde vormfunctie voor specifieke y-coördinaat voor alle stappen



Figuur 5-49: S08G: waarde vormfunctie voor specifieke y-coördinaat voor alle stappen

Het overall vervormingsbeeld van de proef S30D is dat de middenrij heel lang redelijk horizontaal blijft. Dat is opmerkelijk omdat dat theoretisch een instabiele positie is. De rij, dan wel de individuele blokken in de rij hebben de neiging om te roteren en zich aan te passen aan de geroteerde positie van de elementen ter linker- of ter rechterzijde. Stabiliserende kracht en momenten ontstaan zeer waarschijnlijk doordat de Hydroblocks van de rij in elkaar grijpen en elkaars neiging om ofwel linksom ofwel rechtsom te roteren compenseren. De stappen 30 t/m 33 vertonen sterke zijdelingse verplaatsing. Omdat er slechts aan één rij getrokken wordt kan dit niet worden veroorzaakt doordat er een element uit de rij getrokken is en er los boven en/of half naast hangt. Waarschijnlijk is er sprake van een fout in de beeld herkenning. Deze fouten traden op bij te grote rotaties. Tot aan stap 15 is het beeld sterk regelmatig. In de rechter grafiek is duidelijk zichtbaar dat er afschuiving tussen het middenelementen en de elementen ter weerszijden optreedt. Dit is waarneembaar vanaf stap 6, en treedt in dit geval op vanaf een waarde van ca. 0.85 maal de maximale kracht.

We kunnen daarmee vaststellen dat er hier bij contact tussen een min of meer verticaal vlak en een rand van een geroteerd element glijdende wrijving optreedt bij een relatief kleine verhouding van de verticale en de horizontale kracht.

$$\mu = \frac{\frac{1}{2} 0.85 \times F_{\max}}{N} = \frac{\frac{1}{2} 0.85 \times 6.93}{20.7} = 0.15$$

Deze onderlinge verschuiving van de elementen van ca. 5 mm is geen onderdeel van een afschuifvalen. Het lijkt meer op een herschikking van de verticale positie van individuele elementen alvorens deze weer nieuwe grip vinden en hun naburige elementen mee omhoog trekken.

Proef S08G geeft een soortgelijk beeld. Het overall beeld blijft vrijwel perfect symmetrisch. Ook bij deze proef blijkt dat in de stappen voorafgaand aan de maximale kracht (vanaf stap 6) er zich verticale verschuiving van de getrokken blokken ten opzichte van hun burens voordoet. Hier gaat het om ca. 3 mm. Stap 9 geeft op de overtrokken vervormingsschaal een wat afwijkend beeld. Er is sprake van twee elementen die uittreden (zie ook logboek bijlage 7). Stap 8 geeft de indruk van een registratie-fout van de verplaatsingen.

Ook in de foto's van de figuren 5-3 en 5-4 is te zien dat de getrokken rijen de daaraan grenzende rijen mee omhoogtrekken, maar zelf wel een enigszins verheven positie hebben. Het gaat dan, in de eindtoestand van de proef, om maximaal 10 à 20 mm.

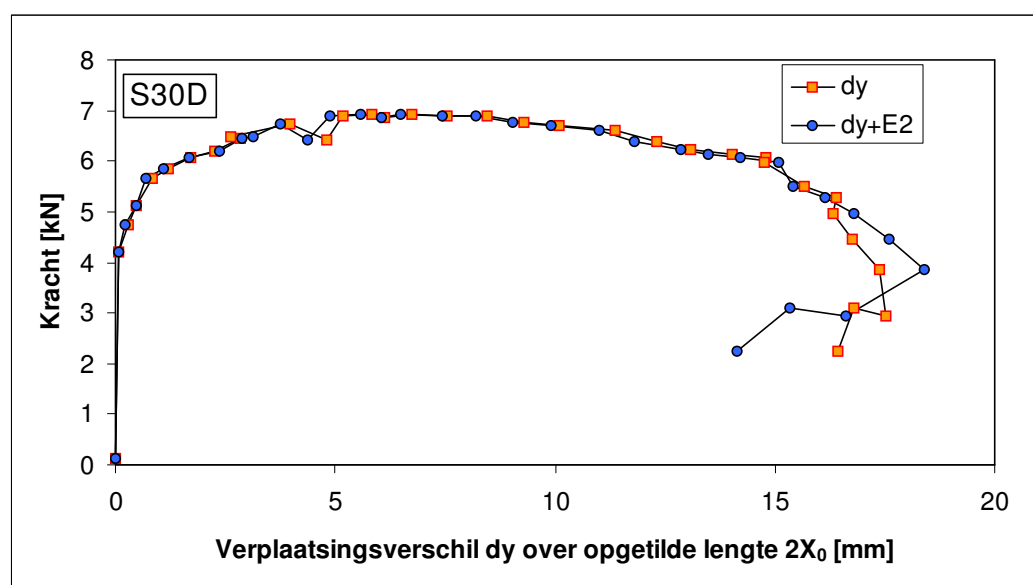
De vormfuncties van de figuren 5-41, 5-44 en 5-47 t/m 5-49 vertonen een wat grillig beeld. De waarden in de figuren 5-47 t/m 5-49 worden vergeleken met de waarden in tabel 5-6, die zijn afgeleid van de theoretische vormfuncties zoals getoond in figuur 5-46. In proef S30D duidt de in de figuren weergegevens tendens er vrij duidelijk op dat er aanvankelijk (stap 3 t/m 7, let op $X_0 = \text{ca. } 800 \text{ mm}$) sprake is van een cosinusvorm en bij het punt van de maximale kracht (stap 12 t/m 15, $X_0 = \text{ca. } 1000 \text{ mm}$) van een 'dak'-vorm. Deze vorm handhaaft zich bij verdere toename van de z-verplaatsing. Voor de proef S08G is de trend wat minder duidelijk te interpreteren. Nabij het bezwijkpunt (stap 9) is de gemiddelde waarde wel duidelijk dichter bij de 0.63 voor de 'dak'-vorm dan bij de 0.69 voor de cosinusvorm.

De algemene conclusie kan zijn dat de vormfunctie bij start cosinusvorming is, maar dat deze reeds zeer snel, namelijk voor het bereiken van het bezwijkpunt, dat in de onderhavige gevallen resp. bij 34 en 12 mm ligt, de 'dak'-vorm krijgt waarbij alle rotatie is geconcentreerd in het midden en aan de randen van het opgetilde deel. De verschillen zijn door de sterke discretisering bij het geval van 8 opgetilde rijen elementen

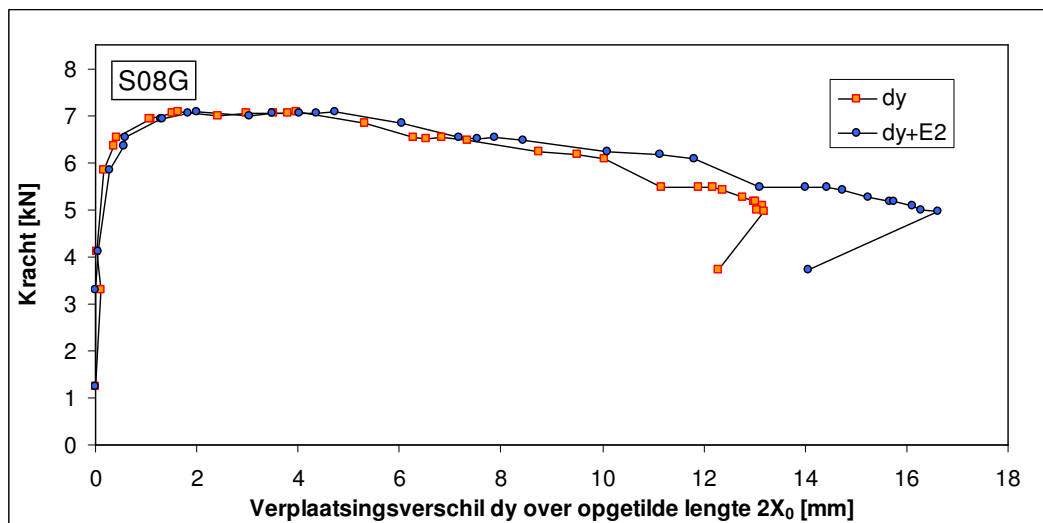
echter subtiel. Ook voordat er gaping optreedt, concentreert de vervorming zich namelijk in de voegen. De aldus ontstane 'hoekige' cosinusvorm onderscheidt zich niet duidelijk van de 'dak'-vorm.

De verticale vervorming van het proefstuk blijkt gepaard te gaan met horizontale vervormingen in de lengterichting. Zie de figuren 5-39 en 5-42. Aanvankelijk wordt het proefstuk korter en heeft de voerspankracht de neiging om af te nemen en nadien, bij toename van de verticale verplaatsing wordt het proefstuk langer. Dit verschijnsel is geregistreerd in afname van de voerspankracht en ook in de Eindige Elementen simulaties in [Derkzen, 2004]. In de verplaatsingsmetingen van de proeven is dit 'krimpen' niet terug te zien. Het 'uitzetten' van het model is dominant. Het verplaatsingsverschil tussen de linker en de rechterraand is uitgezet in de figuren 5-50 en 5-51. Bij proef S30D gaat het om de dy van rij 1-6 en rij 37-42. Bij proef S16G om rij 1-6 vs. rij 43-48. Het verschil tussen de dy en de $dy + z_i \times E2$ is gering omdat de dy reeds aan de bovenzijde van de elementen is gemeten. Bij beide proeven blijkt er pas bij zeer grote rotaties een verschil op te treden. Duidelijk is te zien dat bij na het eigenlijke doorslaan (ca. stap 30) de randen weer naar elkaar toe bewegen.

Bij het bezwijkpunt is een verplaatsing dy van 5 resp. 4 mm opgetreden. Het is een belangrijk resultaat dat deze verplaatsing bij het bezwijkpunt duidelijk een waarde heeft waarmee je de steenzetting in zijn vlak opspant. Als we kijken naar het 2 mm punt van de dz verplaatsing (stap 3 voor S30D en stap 4 voor S08G), dan blijkt deze te corresponderen met een zeer geringe dy . Een waarde van dy van 0.5 of 1 mm heeft slechts zeer beperkte praktische waarde.

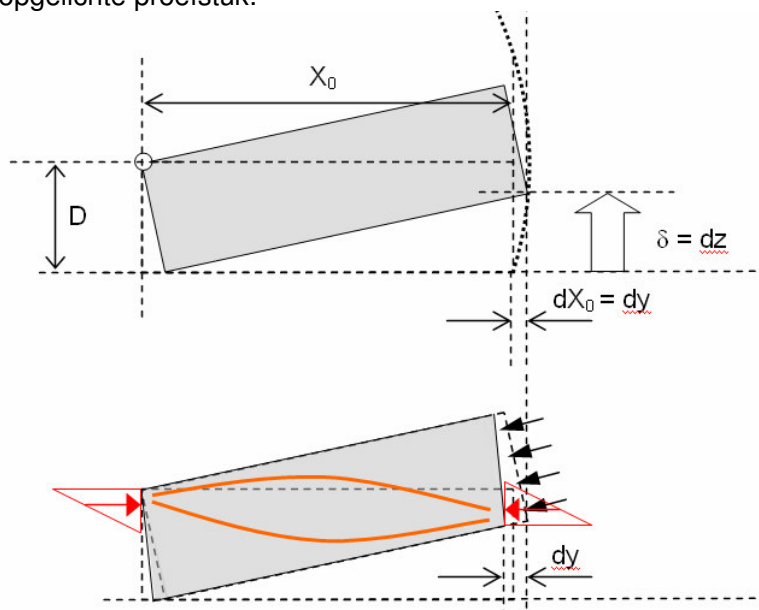


Figuur 5-50: Verlenging dy van het opgetilde deel van het proefstuk, exclusief en inclusief rotaties E2



Figuur 5-51: Verlenging dy van het opgetilde deel van het proefstuk, exclusief en inclusief rotaties E2

De dy verplaatsing wordt bepaald door twee fenomenen. Door de geometrische verlenging door rotatie en door een verkorting ten gevolge van lokale spanningsverhoging. De normaalkracht neemt tijdens de proef niet toe, maar concentreert zich wel. Dit geeft spanningsverhoging, rek en verkorting van de diagonaal van het opgelichte proefstuk.



Figuur 5-52: Principe van verlenging door geometrische verplaatsing (rotatie) en elastische verkorting door concentratie van spanningen

De berekening van de verlenging uit de rotatie in algemene symbolen genoteerd:

$$dX_0 = \sqrt{X_0^2 + D^2} \cos\left(\arctan\left(\frac{D - \delta}{X_0}\right)\right) - X_0,$$

waarin X_0 = halve opgetilde lengte, bijvoorbeeld 3B

$\delta = dz$ = maximale z-verplaatsing

$dX_0 = \frac{1}{2}dy$ = halve lengte verschil opgetilde en originele proefstuk

X_0 / D		3.3		5.0		6.7	
		2B		3B		4B	
δ / D	δ	dX_0	dX_0 / δ	dX_0	dX_0 / δ	dX_0	dX_0 / δ
0.067	10	2.7	0.27	1.9	0.19	1.4	0.14
0.13	20	5.2	0.26	3.6	0.18	2.7	0.14
0.20	30	7.6	0.25	5.2	0.17	4.0	0.13
0.33	50	11.9	0.24	8.1	0.16	6.2	0.12

Tabel 5-8: Theoretisch lengte verschil dX_0 ten gevolge van rotatie van halve proefstuk

Zowel voor S30D als voor S08G wordt op basis van het vervormingsbeeld in de figuren 5-39 en 5-42 de berekening gebaseerd op rotatie van een rij van 3 stenen. Bij een rij van 3 stenen van 0.25 breed en 0.15 hoog, is de halfzijdige 'verlenging' dy 5.8 mm bij een dz = 34 mm (S30D). Bij dz = 12 mm geldt dy = 2.2 mm (S08G).

Het effect van spanningsconcentratie is te berekenen uit $\sigma = E \varepsilon$. Uitgangspunten zijn:

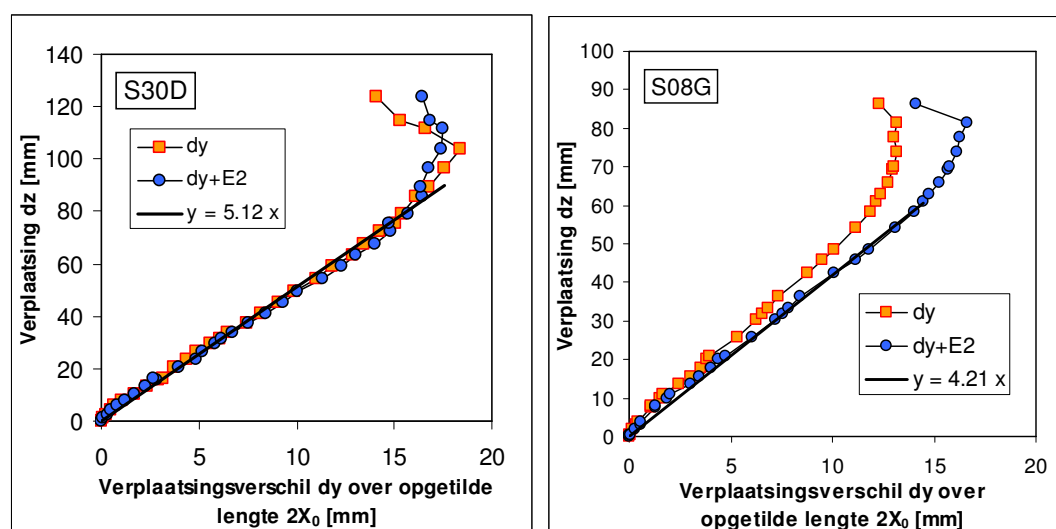
- initieel een uniforme spanningsverdeling over de dikte en de breedte van de toplaag,
- een concentratie door buiging in een strook van 20 mm en
- een E-modulus (na voorspanning) van 300 MPa.
- Lengte waarover verkorting gerekend wordt: 3B voor S30D en 3.5B voor S08G

Dan volgt voor proef S30D (N = 20.7 kN): 2.0 mm en voor S08G (N = 10.3 kN): 1.3 mm.

In tabel 5-9 zijn de berekende effecten gepresenteerd. Het geometrische effect blijkt dominant, maar de elastische verkorting geeft ook een significante bijdrage.

dy	berekend (helft proefstuk)			× 2	gemeten	afwijking
	Rotatie	elastische verkorting	Som			
S30D	5.2	-2.0	3.2	6.4	5.8	+10%
S08G	2.2	-1.3	0.9	1.8	2.1	-15%

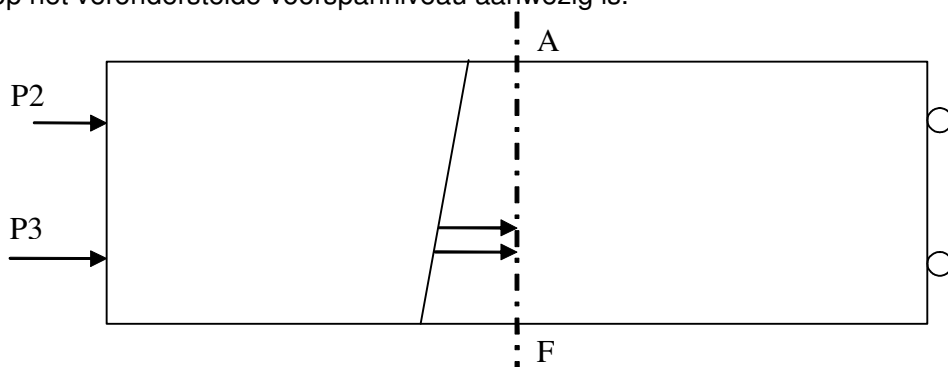
Tabel 5-9: Overzicht berekende en gemeten verlenging dy van het proefstuk, in [mm]



Figuur 5-53: dy uitgezet tegen dz; de reciproke relatie geeft dy = 0.20 resp. 0.24 dz

5.5 Overige waarnemingen

In een behoorlijk aantal gevallen had het proefstuk de neiging om 'scheef' te bezwijken. Aanvankelijk was de gedachte de trekrichting niet exact centrisch belaste, maar nu bestaat de indruk dat het moeilijk was het proefstuk centrisch voor te spannen. Zowel de verplaatsingsmetingen in het vlak, als ook de data van de twee drukopnemers laten dit zien. De voorspanning gaat gepaard met weinig rek en zeer geringe rek verschillen kunnen dus reeds veroorzaken dat het geheel iets zijdelings beïnvloed wordt. De drukopnemers geven bijvoorbeeld krachten in de verhouding 0.4 : 0.6. In het midden van het proefstuk zijn de verschillen naar verwachting geringer, maar het is goed mogelijk dat er in de middendoorsnede in breedte richting een variatie van +/- 10 à 15% op het veronderstelde voorspanniveau aanwezig is.



Figuur 5-54: Bovenanzicht proefstuk met niet-uniforme voorspanning over de breedte

Als gevolg hiervan is in figuur 5-54 de A-zijde minder sterk. Deze zal eerder opbuigen, wat gepaard gaat met vervorming in het vlak. Daar door spant het proefstuk zich aan de A-zijde enigszins op en loopt de vjzelkracht P2 op. Daardoor heeft de normaalkracht distributie in de fase voor het bereiken van het bezwijkpunt de neiging om meer uniform te worden. Hierdoor is het verklaarbaar dat het scheef bezwijken, dat ettelijke malen is waargenomen, zich aanvankelijk stabiliseert en pas na het bereiken van het bezwijkpunt progressief toeneemt.

Bij het inwassen is er ook gevarieerd door eerst in te wassen en dan voor te spannen. Standaard werd er eerste voorgespannen en daarna ingewassen. Er is geen significante invloed van deze andere werkwijze op de hoogte van de trekkrachten waargenomen.

6 ONDERZOEKSRESULTATEN PROEVENSERIE 3

In aanvulling op proevenserie 2 is ook een beperkte serie trekproeven uitgevoerd op een toplaag die op een bedding van steenslag rust.

Het doel van deze proeven is vast te stellen of door het bewegen van het proefstuk over de bedding (in y-richting) wrijvingskrachten, en als gevolg daarvan hogere normaalkrachten en bezwijkwaarden van de trekkracht kunnen optreden.

De uitvoering van de eigenlijke trekproef is identiek aan de proeven van proevenserie 2. De resultaten staan in de tabellen van bijlage 6 en 7, achter proevenserie 2.

6.1 Beschrijving uitvoering en typerend resultaat proeven

De procedure bij de uitvoering van de proeven was er op gericht om voorafgaand aan het aanbrengen van de verticale trekkracht een onbepaalde spanningstoestand in het vlak van de steenzetting aan te brengen. Dit is gebeurd door de zetting enige malen enige cm in de lengterichting heen en weer te verschuiven.

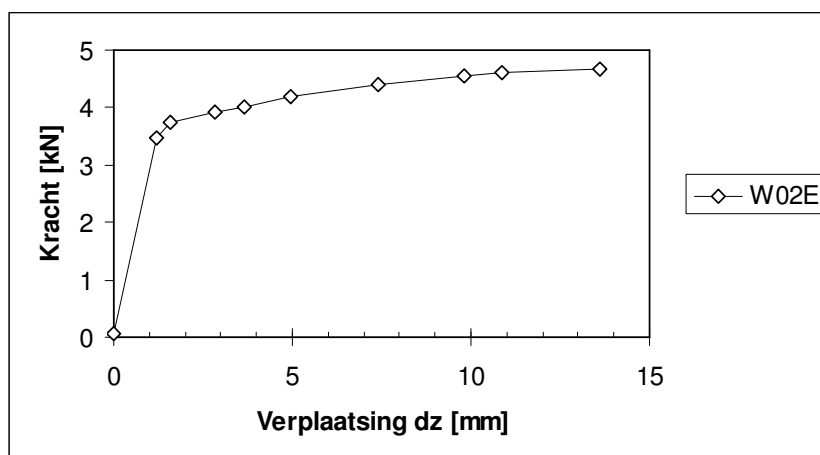
Het proefstuk was bij deze proeven, afwijkend van proevenserie 2, aan beide kopse zijden voorzien van twee vizels (nr. 2 en 3 aan de zijde 'Oost' en nr. 4 en 5 aan de zijde 'West'). Ook waren er in het vlak van het proefstuk verlengingsmeetdraden aangebracht. Er zijn 6 proeven gedaan. Het programma is opgenomen in bijlage 6. Feitelijk zijn er 12 onafhankelijke proevenseries gedaan, omdat bij alle proeven de zetting tussentijds opnieuw is gezet. Zie daarvoor bijlage 7.

	Elementen	Afmeting proefstuk	Gewicht proefstuk [kN]
W01 – W04	Basalton	1.1 × 4.4	16.3 **)
W05 en W06	Hydroblocks	1.5 × 4.5 *)	19.9

*) Aan beide kopse zijden is ten opzichte van het Hydroblock-proefstuk van proef 2 één rij elementen vervangen door een balk ten behoeve van het aan beide zijden kunnen voorspannen en verschuiven.

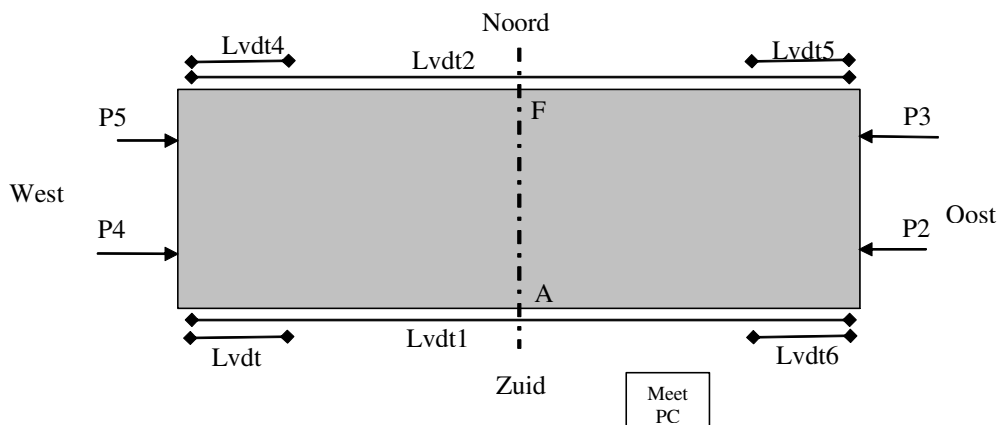
**) Inclusief betonnen balk

Tabel 6-1: Overzicht proeven proevenserie 3

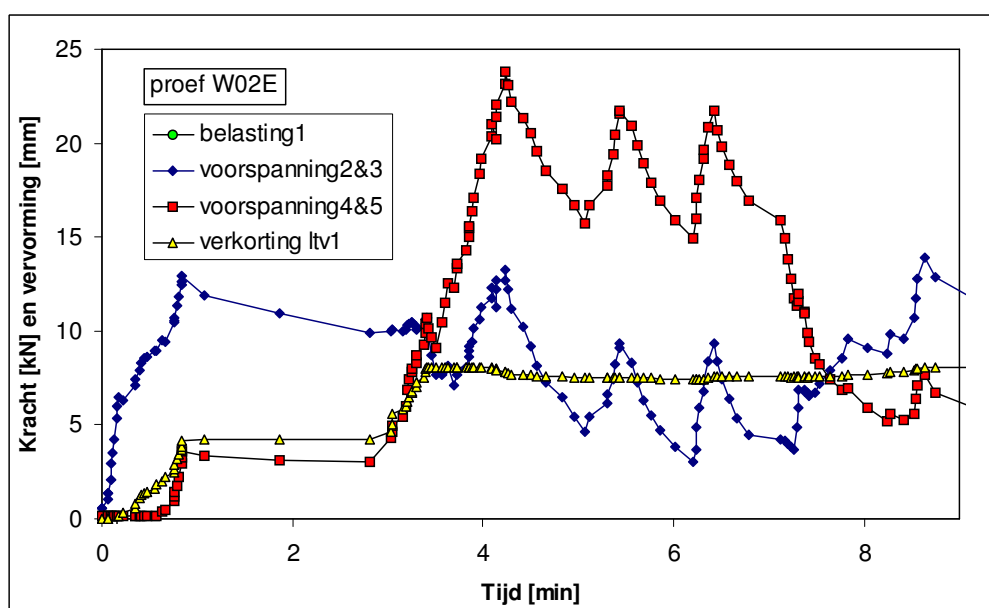


Figuur 6-1: Kracht-verplaatsingsdiagram typerende proef proevenserie 3

In de figuren 6-1, 6-3 en 6-4 zijn resultaten van proef S02E als representatieve proef getoond. Het kracht verplaatsingsdiagram van figuur 6-1 is kwalitatief identiek aan dat van proeven uit proevenserie 2. De figuren 6-3 en 6-4 laten op een tijdsas zien wat er voorafgaand aan de trekproef is uitgevoerd en gemeten. De eigenlijke trekproef wordt tussen minuut 22 en 23 uitgevoerd (figuur 6-4).



Figuur 6-2: Bovenaanzicht opstelling proevenserie 3 met benaming vizels en verplaatsingsopnemers TU Delft

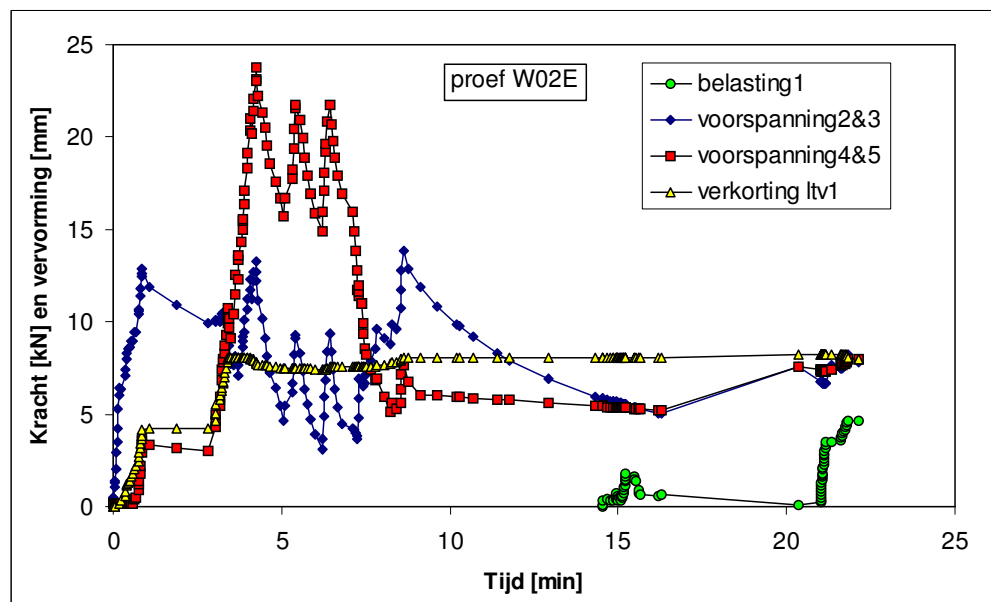


Figuur 6-3: Verloop proef W02E (eerste fragment)

Vanaf minuut 0 worden eerst de vizels 2 en 3 op een (gezamenlijke) kracht van 13 kN gebracht. De zetting verkort ca. 4 mm en vanaf ca. 10 kN begint de kracht aan de andere zijde op te lopen. Vervolgens loopt de kracht iets terug (passief).

Vanaf minuut 3 worden de vizels aan de andere zijde op druk gebracht. De kracht loopt op van 3 naar 11 kN en de verkorting neemt toe van 4 naar ca. 8 mm. De kracht loopt vervolgens verder op tot 24 kN. Nadat de verkorting voltooid is, geeft dit een reactie op de andere zijde. Vervolgens wordt het proefstuk in drie slagen in zijn geheel 5 cm

verschoven, waarbij de druk op 2 en 3 niet geheel afgelaten wordt. Na minuut 8 wordt het proefstuk nog een stukje terug geschoven (2 cm volgens bijlage 7). Het voorspanniveau wordt na enig inregelen tijdens de eigenlijke trekproef (minuut 22 en 23) op het niveau van 7.4 kN gehouden.



Figuur 6-4: Verloop proef W02E (compleet)

Het is duidelijk te zien dat er na minuut 4 geen verkorting en of verlenging meer optreedt maar dat het proefstuk in zijn geheel verschuift. Het proefstuk moet eerst vanaf beide zijden op spanning worden gebracht en blijft daarna op de wrijving van de bedding liggen.

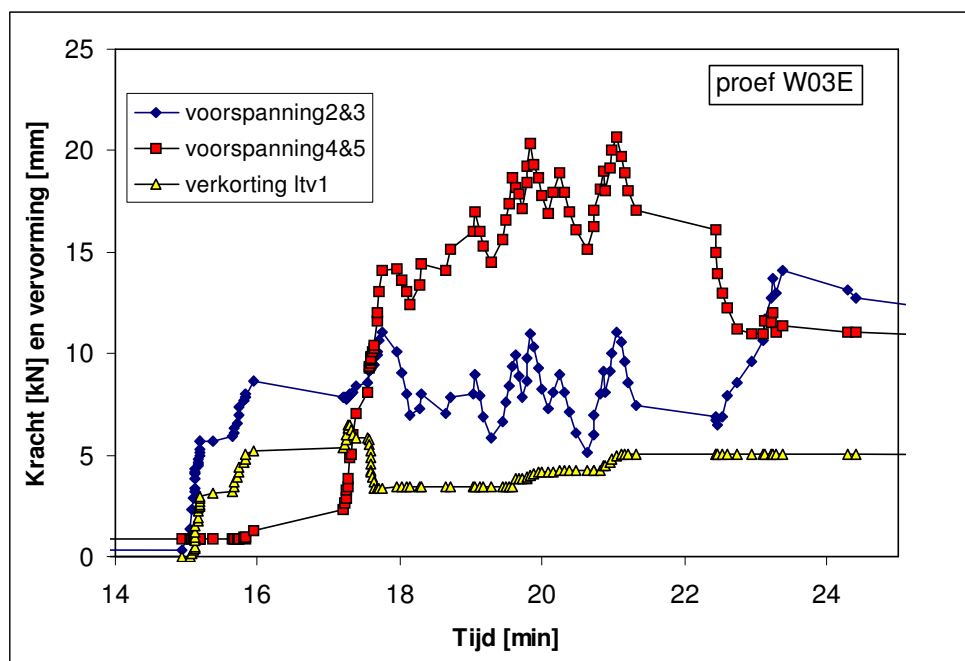
6.2 Resultaten vervorming ten gevolge van voorspanning

6.2.1 Beschrijving resultaten

Het in paragraaf 6.1 beschreven verloop van proef W02E is typerend voor een aantal proeven. Alvorens de resultaten te evalueren en na te rekenen, worden de waargenomen fenomenen en meetgegevens van de overige proeven van serie 3 besproken.

Proef	Beschikbaarheid belasting en vervorming in het vlak
W01A	Niet gemeten
W01E	Niet gemeten
W02A	Niet gemeten
W02E	Zie figuur 6-3 en 6-4
W03A	ltv1 en ltv2 sterk afwijkend; proef niet gebruikt
W03E	Zie figuur 6-5
W04A	Zie figuur 6-5 en 6-6
W04E	Zie figuur 6-7
W05A	ltv 2 defect; geen respons ltv1 op belasten met kracht 4 en 5; proef niet getoond
W05G	geen respons ltv1 op belasten; proef niet getoond
W06A	Zie figuur 6-8

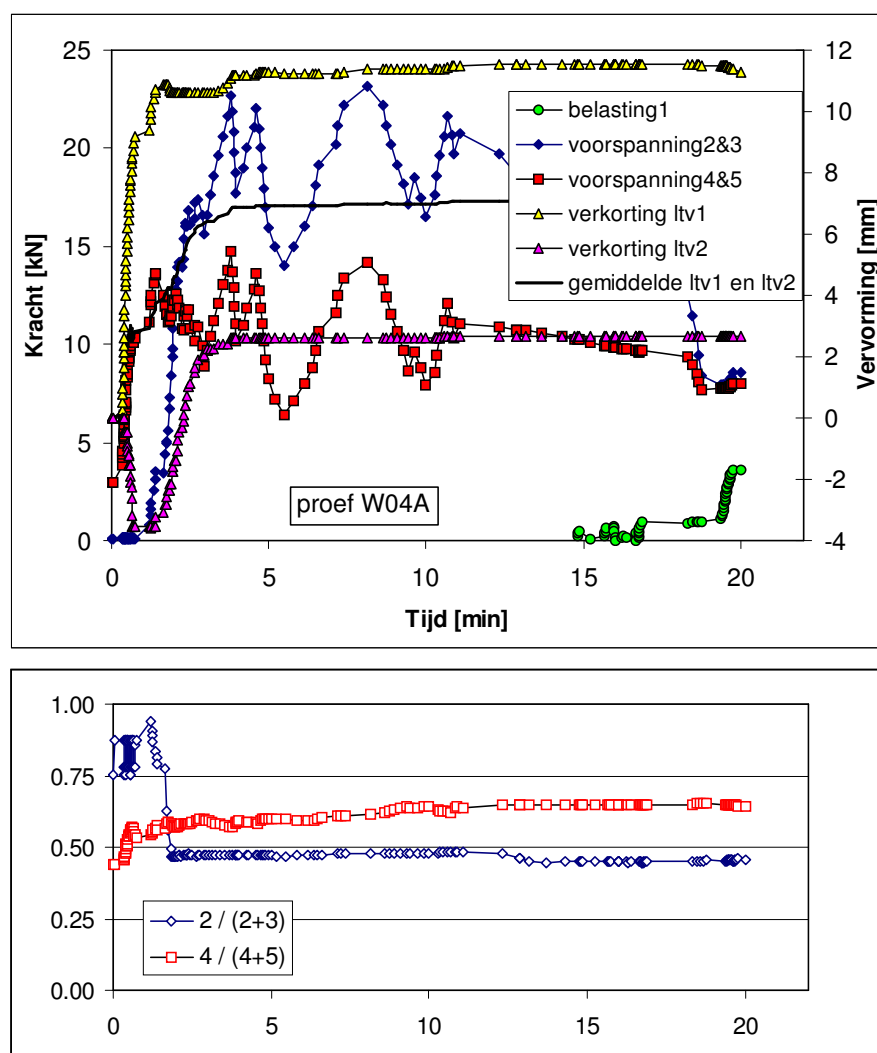
Tabel 6-2: Overzicht meetfiles voorspanning en beweging proefstuk over bedding



Figuur 6-5: Verloop voorspannen proef W03E (fragment)

Bij proef W03E wordt waargenomen dat het proefstuk onder invloed van voorspanning van één zijde ca. 5 mm verkort en vervolgens bij inkomen van de vijzels aan de andere

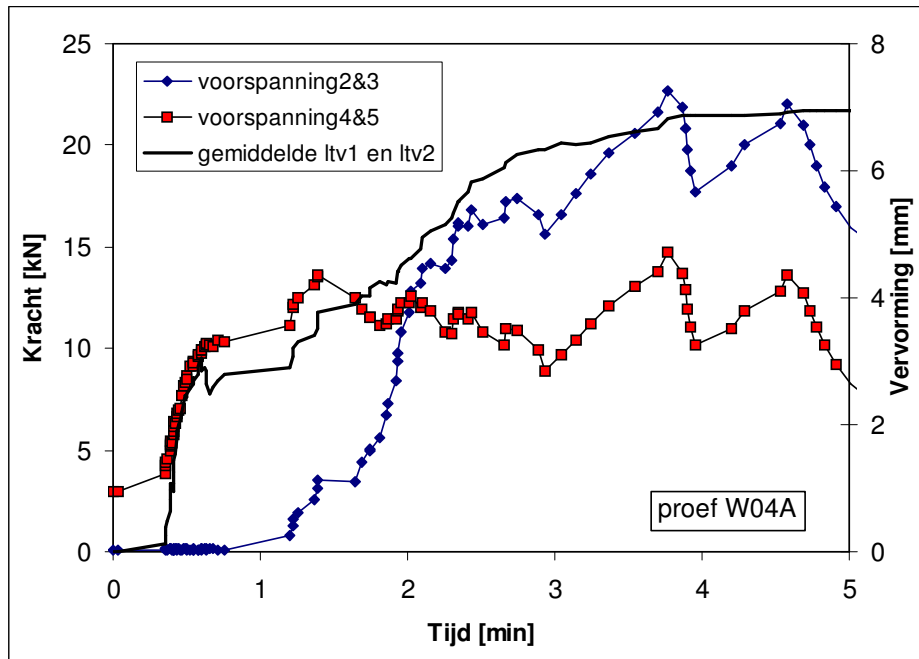
zijde (minuut 17) aanvankelijk verder verkort tot 6 mm, maar daarna weer langer wordt. Lvt2 geeft hetzelfde beeld (niet weergegeven).



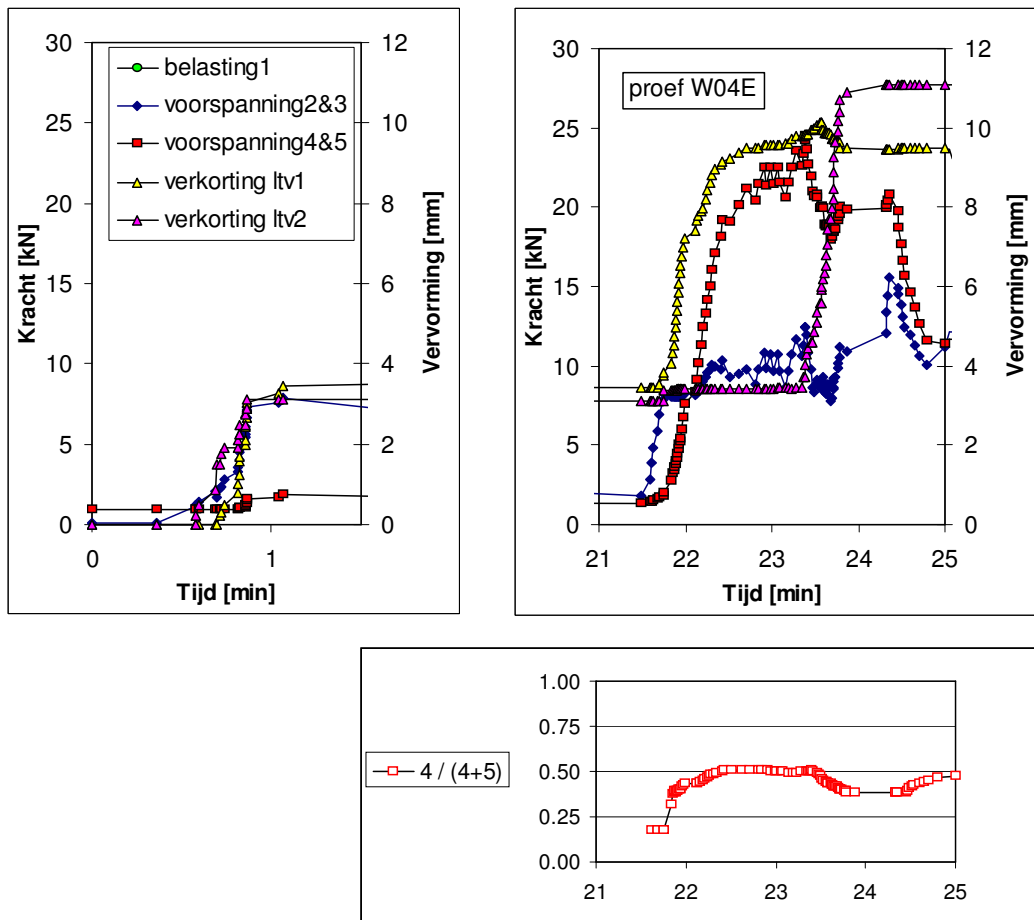
Figuur 6-6: Verloop voorspannen proef W04A (compleet) met onder: weergave excentriciteit vijzelbelasting

Proef W04A geeft een afwijkend beeld in de zin dat ltv1 verkorting en ltv2 verlenging vertoont. Dit treedt op in de eerste 1.5 minuten en kan worden verklaard uit het feit dat de verdeling van de krachten P2 en P3 ongelijk is. Ca. 85% van P2 en P3 zit in vijzel P2. Dit geeft een kracht buiten de kern van de doorsnede een geeft 'trek' aan de zijde ltv2. De proef kan worden geïnterpreteerd aan de hand van het gemiddelde van de verplaatsingen ltv1 en ltv2. Deze is ook weergegeven in de figuren 6-6 en 6-7.

Het blijkt dan dat proef W04A onder invloed van kracht P2 en P3 ca. 3 mm verkort en vervolgens nadat P4 en P5 inkomt geleidelijk nog ca. 4 mm verkort tot een totaal van 7 mm.



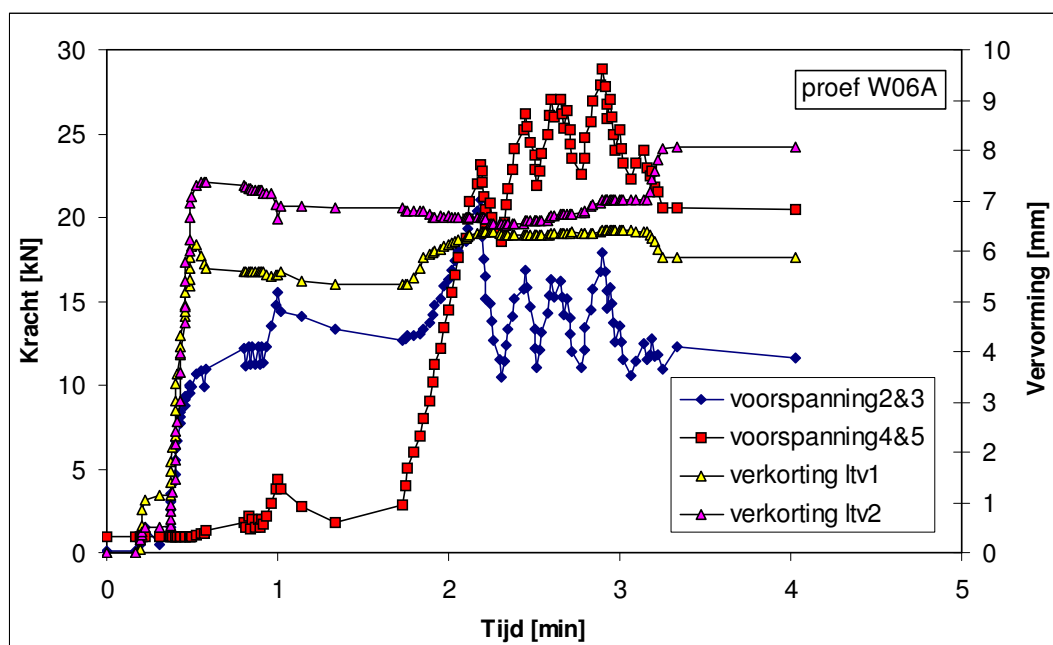
Figuur 6-7: Verloop voorspannen proef W04A (eerste fragment)



Figuur 6-8: Verloop proef W04E (fragmenten) met onder: weergave excentriciteit P4 en P5

De meting van proef W04E is interessant in de tijdsfasen tot minuut 1.5 en tussen minuut 21 en 25. Onder invloed van P2 en P3 is de verkorting van ltv1 en ltv2 identiek

en 3 à 3.5 mm groot. Na inkomen van P4 en P5 verkort ltv1 sterk tot ca. 9.5 mm. Pas na de piekwaarde van P4 en P5 (ca. 25 kN) reageert ltv2. De vervorming van ltv2 trekt helemaal bij, terwijl de kracht P4 en P5 licht afneemt. Dit zou kunnen duiden op het overwinnen van een lokaal sterkere wrijvingsweerstand aan de zijde van ltv2. Het aanvankelijk achterblijven van de vervorming ltv2 wordt ook beïnvloed door het scheef belasten. Tot aan minuut 22 is kracht P4 duidelijk kleiner dan P5.



Figuur 6-9: Verloop voorspannen proef W06A

Proef W06A geeft voornamelijk reactie op P2 en P3. Bij belasting tot ruim 10 kN is de verkorting ca. 6.5 mm. Onder een kracht van 10 à 15 kN treedt vervolgens bewegen op. Na inkomen van P4 en P5 geeft ltv1 nog ca. 1.5 mm extra verkorting. De waarde van ltv2 verandert niet noemenswaard. Na minuut 3 lijkt het proefstuk nog wat te krommen; ltv1 verlengt en ltv2 verkort.

Proef	[kN] en [mm]	Kracht bij schuiven met		Verkorting onder	
		P2 en P3	P4 en P5	P2 en P3	P4 en P5
W02E	Basalton	12	10	4	4
W03E		8	10	5	1
W04A		10	8	3	4
W04E		8	11	4	6
W06A		Hydroblocks	11	11	5
Gemiddelde	Basalton	9.5	9.8	4	3.8
Wrijvings-coëfficiënt		0.58	0.60		
Gemiddelde	Hydroblocks	11	11	5	1
Wrijvings-coëfficiënt		0.55	0.55		

Tabel 6-3: Overzicht resultaten voorspannen, verkorten en bewegen proefstukken

De in paragraaf 6.1 besproken proef W02E blijkt representatief voor een Basalton proef. De Hydroblock proef valt niet buiten de orde van de overige waarnemingen. Eén proef is te weinig om een uitspraak over de verschillen met de Basaltonproeven te doen.

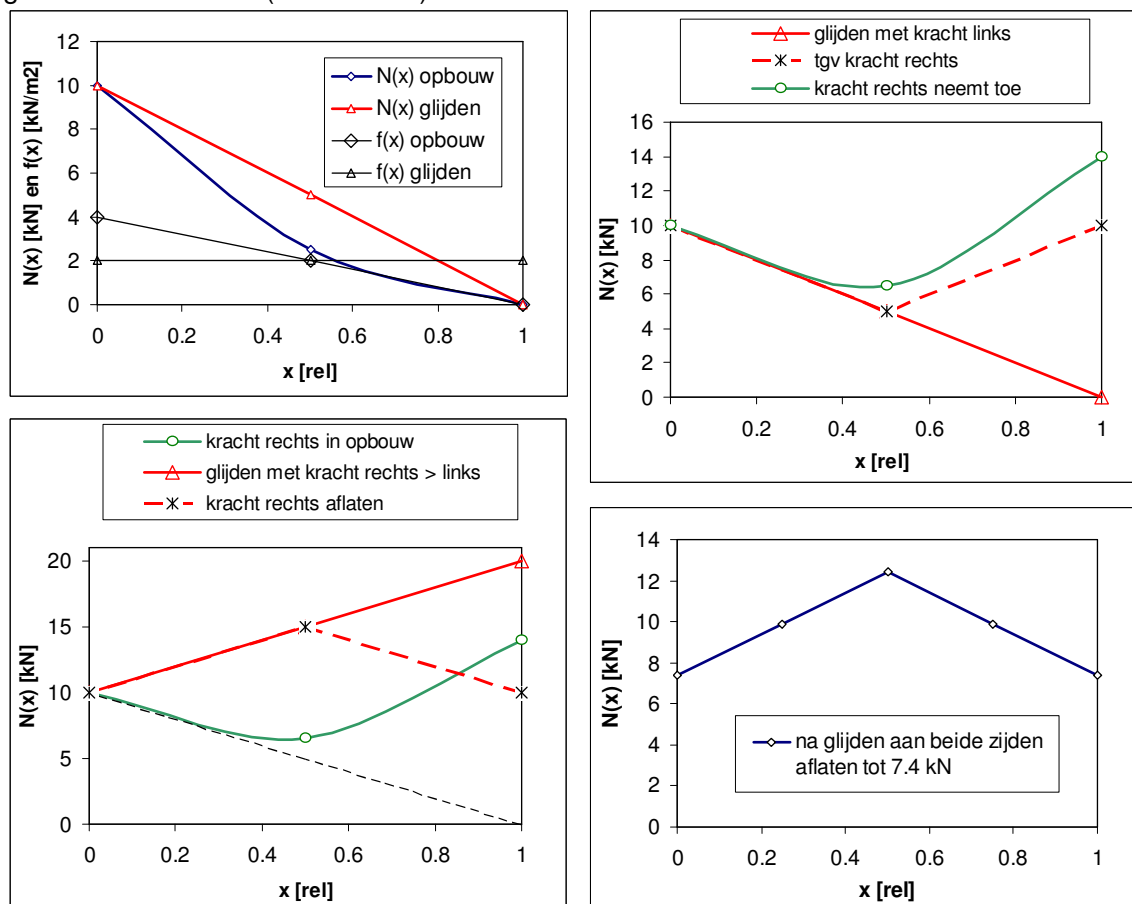
6.2.2 Discussie en modelberekeningen

Het model voor deze axiale belasting en verplaatsing van de toplaag is een in zijn vlak belaste plaat met indrukkingsstijfheid E op een wrijvingsbedding. Na indrukking door normaalkracht en aflaten van de uitwendige kracht, blijkt de indrukking niet reversibel omdat de elementen van het proefstuk op de wrijvingsbedding hun positie behouden. In een strook langs de randen van de plaat moet de normaalkracht worden afgedragen aan de bedding. De indrukkingsstijfheid van de plaat E kan worden berekend uit het normaalkrachtsverloop en de indrukking.

$$E = 0.33 \text{ à } 0.5 \frac{N}{A} \frac{L}{\Delta L} = 0.33 \text{ à } 0.5 \frac{10 \times 10^3}{0.15 \times 1.10} \frac{4.4}{0.004} \approx 30 \times 10^6 \text{ N/mm}^2$$

Deze berekende stijfheid is in de orde van relatief stijve grondsoorten. Beton is bijna 500 maal zo stijf. Een spanning van 30 kPa (0.03 N/mm^2) veroorzaakt 1 ‰ rek. Dit lijkt wat weinig maar is mogelijk representatief voor een los gezette, ingewassen en vervolgens voorgespannen zetting.

Uit de proef is af te leiden dat er ca. 10 kN wrijving over de ondergrond opgebouwd wordt. Dit is gemiddeld $10 \times 10^3 / (1.1 \times 4.4) = 2.1 \text{ kN/m}^2$. Aangezien het proefstuk 323 kg/m^2 weegt, komt overeen met een wrijvingsfactor van 0.64. Dit is conform de eerder gevonden resultaten (hoofdstuk 4).



Figuur 6-10: Principe van distributie wrijvingskrachten en normaalkracht. Van links naar rechts en van boven naar onder. Rechtsonder komt overeen met startsituatie trekproef proevenserie 3.

Op het moment dat er aan één zijde met 10 kN is voorgespannen en de andere zijde juist merkt dat er een kracht 'aankomt', is de normaalkracht in het midden kleiner dan 5 kN, theoretisch 2.5 kN. Indien de verplaatsing andere zijde star verhinderd is, neemt de normaalkracht toe bij verdere toename van de voorspankracht. Deze opbouw van normaalkracht kan ook geschieden vanaf de andere rand. Bij verschuiven van het proefstuk als geheel kan de normaalkracht in het midden toenemen. Dit is weergegeven in figuur 6-10 linksboven met de blauwe ($N(x)$) opbouw) en de rode lijn ($N(x)$ glijden).

Door vervolgens van de andere zijde te gaan belasten neemt $N(x)$ toe en treedt er ook nog verkorting op. Verdere toename van $N(x)$ leidt niet meer tot verkorting. Het proefstuk verschuift in zijn geheel. Door echter de kracht aan de linkerzijde op bijv. 10 kN te houden, moet de rechterkracht oplopen tot ca. 20 kN voor dat er bewegen mogelijk is. Bij glijden naar links verloopt de normaalkracht bij benadering lineair (figuur 6-10 rechtsonder). Bij vervolgens aflaten van de uitwendige krachten op de randen blijft de normaalkracht uitgaande van een wrijvingscoëfficiënt van ca. 0.64 in het midden maximaal 2.5 à 5 kN hoger dan aan de randen.

Juist voor het eerste bewegen treedt er bij de representatieve proef W02E ca. 4 mm indrukking op. Daarna stuiten de elementen op en neemt de verkorting bij verhoging van de normaalkracht niet verder toe. De 'rek' van 4 mm behoort bij het lineaire verloop van $N(x)$ in figuur 6-10 linksboven (rood). Er zijn bij W02E, een Basalton proefstuk van 4.4 m, 24 elementen en 23 voegen. Per voeg is dat gemiddeld $4.0 / 23 = 0.17$ mm per voeg. Voor meest linker voeg 0.33 mm en voor rechter 0.01 mm.

In paragraaf 6.3 wordt het effect van de mogelijk aanwezige grotere normaalkracht op de sterkte beschreven.

6.3 Resultaten trekkrachten

De trekkracht op proefstukken van serie 3 is in alle gevallen groter dan de waarde voor vergelijkbare gevallen uit serie 2. In de gevallen met grotere L/D (6 rijen) is de toename van de trekkracht beperkt (4 en 6%), voor het geval met kleinere L/D (2 rijen) is de toename 15%. De betrouwbaarheid van het verschil is niet bijzonder groot. De in tabel 6-4 vermelde P-waarde drukt de kans uit dat het verschil er niet is, dan wel slechts toevallig is vastgesteld omdat bijvoorbeeld het aantal metingen beperkt is. In het bijzonder de vaststelling van het verschil voor Basalton, 6 belaste rijen (de onderste tabelwaarde) is niet betrouwbaar.

type	belaste rijen	serie	voorspan-niveau	aantal n	μ [kN]	σ	verschil μ [kN]	P-waarde
Hydro-blocks	6	S ¹	2	6	8.54	0.48	0.34 (+4%)	0.05
		W ²	2	2	8.88	0.09		
Basalton	2	S ³	2	3	3.58	0.58	0.55 (+15%)	0.08
			4	3	3.60	0.51		
		W ⁴	2	2	4.13	0.26		
	6	S ⁵	2	4	4.52	0.68	0.28 (+6%)	0.23
			4	2	4.84	0.03		
		W ⁶	2	2	4.79	0.20		

¹ S18-S23, ² W5, W6, ³ S38-S43, ⁴ W3, W4, ⁵ S44-S49 ⁶ W1, W2

Tabel 6-4: Overzicht uitgevoerde proeven en resultaten trekkrachten

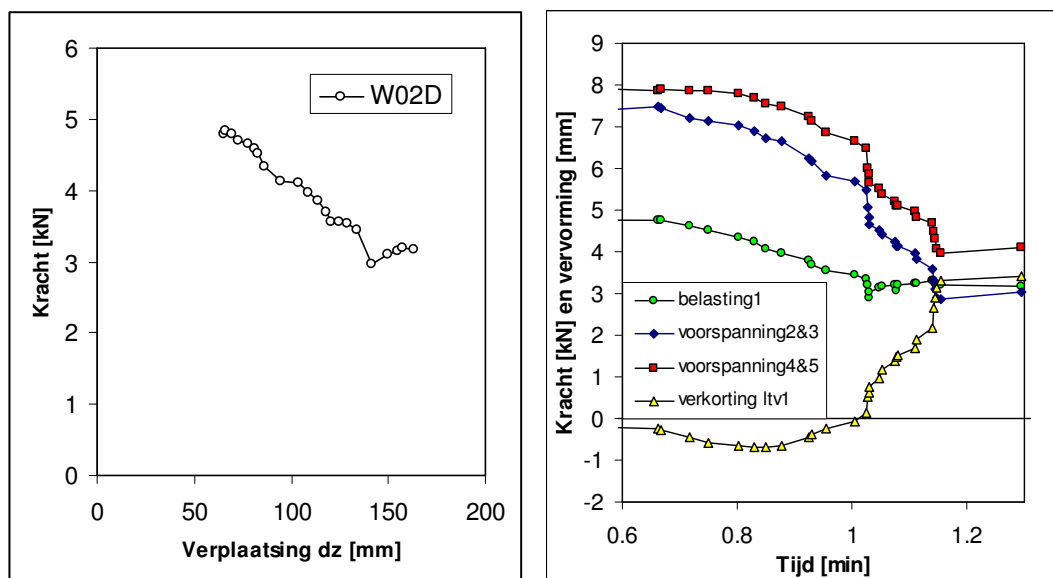
Het algemene beeld is dat de zetting op de granulaire laag sterker is dan een zetting op de wrijvingsloze tafel. Dit is conform de verwachting op grond van de resultaten van de proeven 1 en 2. Gezien het in par. 6.1 en 6.2 beschreven verloop van de proef 3 kan de grotere capaciteit op verschillende manieren veroorzaakt worden:

- De normaalkracht in het midden van het proefstuk is initieel hoger (zie paragraaf 6.2.2), geeft een grotere momentcapaciteit en leidt tot een grotere sterkte.
- De normaalkracht is initieel min of meer gelijk aan de proeven op een wrijvingsloze bedding, maar neemt toe doordat het belasten van het proefstuk gepaard gaat met verplaatsing dy die wrijvingskracht opwekt in het grensvlak van proefstuk en granulaire laag.

Ad b): De mogelijkheid dat de wrijving de normaalkracht tijdens de proef doet toenemen, kan bestudeerd worden door proef W02 nader te bezien. De maximale kracht treedt op in proef W02B, bij een bezwijkverplaatsing dz van 17 mm. Van deze proef is er geen goede weergave van de verplaatsing in het vlak (lvdt1 of lvdt2). Uit de bij andere proeven gemeten verhoudingen van dy en dz mag worden aangenomen dat deze gelijk is aan $dy = 0.20 \text{ à } 0.24 \text{ dz}$. Hieruit volgt dat $dy = 3.5 \text{ mm}$. Bij deze verschuiving kan er opbouw van wrijving zijn tot een coëfficiënt van ca. 0.40. Voor dat proefstuk zou dat een kracht geven van $ca. 0.40 \times 1.1 \times 1.65 \times 3.25 = 2.4 \text{ kN}$. Deze kracht is ongeveer gelijk aan de kracht die er tengevolge van voorspannen en heen en weer bewegen in kan komen.

De conclusie kan zijn dat het er niet zo veel toe doet of de normaalkracht reeds is toegenomen door voorbereiden, of dat deze wordt opgewekt door het uittrekken van de elementen. In beide gevallen is in het onderhavige geval een toename met 2.5 kN te

verklaren. Deze waarde komt overeen met een toename met ca. 33% van de uitwendig aangebracht horizontale voorspankracht op het tijdstip van verticaal belasten.



Figuur 6-11: Kracht-verplaatsingsdiagram en tijdsverloop krachten F1, P2&3 en P4&5 en verkorting lvt1

In figuur 6-11 is zichtbaar dat bij de op W02B volgende proef W02D de verplaatsing lvt1 negatief is op het moment dat de kracht maximaal is. Dit duidt op verlenging Weliswaar van 1 mm in plaats van 3.5 mm, maar het is onduidelijk of het op nul zetten van de lvt waarde per proef hier niet debet aan is. Op het tijdstip dat de verticale kracht ca. 3.5 kN bedraagt wordt lvt1 weer positief. Dit tijdstip correspondeert met een dz verplaatsing van ruim 100 mm. Dan slaat het proefstuk reeds door, wat klopt met het feit dat het proefstuk onder invloed van de aanwezige normaaldrukkracht weer wil verkorten.

Berekeningen met het model wijzen uit dat het 15% hogere trekkrachtresultaat voor de gevallen met 2 rijen samenhangt met een 35% hogere normaalkracht gemiddeld over de drie buigpunten. Dat komt overeen met 2.5 kN. Voor de 6% hogere kracht voor de 6 rijen zijn deze getallen 17% en 1.3 kN. (Zie tabel 6-6).

Proef [kN]	Predictie F Bij N = 6.9 kN/m ¹	Gemeten gemiddelde		N corresponderend met % verhoogde predictie		Theoretisch verklaarbare bovengrens
		in serie 2	In serie 3			
Basalton 2 rijen	4.46	3.58	4.13 (+15%)	9.2	2.5 (+35%)	2.5
Basalton 6 rijen	5.60	4.52	4.79 (+6%)	8.1	1.3 (+17%)	

Tabel 6-5: Overzicht waarden metingen en nacalculatie

De gemeten en middels berekening gecorrigeerde waarden komen goed overeen.

Naculculatie resultaten trekproef 3								
	<i>z / D</i>	0.23		0.23				
	belaste lengte L	1.02		0.34				
	voorspanniveau [m]	2	2.3	4	2	2.7	4	
	voorspankracht [N/m ¹]	6900	8100	13800	6900	9200	13800	
	momentcapaciteit	279		476				
	belastingfactor qw/qs	1		1.17				
	1	1.17		1.33				
	1.1							
	1.2							
	buigend							
	1.3							
	moment [Nm]							
	1.5							
	1.7							
	2	154						
	2.5	309						
	3	503						
	3.5	754	754					
	4	1041						
	5			195				
	6			295				
	7			415				
	9			714	714			
	12			1316				
	15							
	belastingfactor qw/qs bij bezwijken	2.41	3.02	6.22		7.82		
	controle dwarskracht	1.2	1.9	1.7		2.3		
	wrijvingsfactor	0.35	2.8	4.8	3.2		4.8	
	0.55	4.5	7.6	5.1		7.6		
optredende krachten bij bezwijken [kN]								
	1.0	voersp	8.1	13.8	9.2	13.8		
	breed	vert	5.4	6.8	4.6	5.8		
	1.1	voersp	8.9	15.2	10.1	15.2		
	breed	vert	5.60	5.93	7.43	4.46	5.11	6.42

Tabel 6-6: Modelberekening met afwijkende normaalkracht

7 CONCLUSIES EN CONSEQUENTIES

7.1 Samenvatting van de bevindingen

Het wrijvingsonderzoek geeft inzicht in de van invloed zijnde factoren en geeft ook een goede indicatie voor grootte van de wrijvingsfactoren tussen de toplaag en de onderlaag.

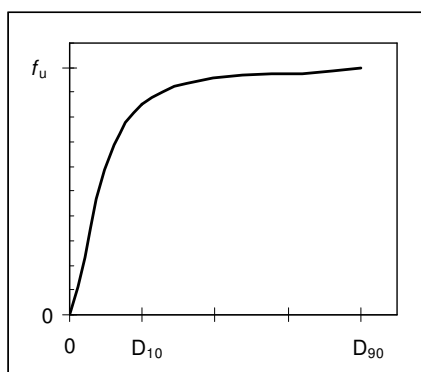
De waarden voor het geval waarvan de meeste data voorhanden zijn, Hydroblocks op een onderlaag van grof steenslag, ingewassen met fijn steenslag zijn gegeven in de tabel.

	Hydroblocks op grof steenslag Ingewassen
gemiddelde μ	0.58
5%-CB	0.43
95%-CB	0.73

Tabel 7-1: Indicatie grootte en spreiding wrijvingscoëfficiënten

De belangrijkste bepalende factoren voor de grootte van de bij beweging van de toplaag opgewekte wrijving zijn:

- Grootte blok vs. korrelgrootte onderlaag
Hoe groter de blokken, hoe minder voegen per m². De wrijving neemt dan af.
- Glijweg ten opzichte van onverstoorde positie vs. korrelgrootte onderlaag
De wrijving is pas volledig ontwikkeld bij verplaatsingen ter grootte van de grootste korrel van de onderlaag. Er moet rekening gehouden worden met het feit dat de wrijvingsfactor bij verplaatsingen van 10 mm op een bed van steenslag 11-40 ongeveer 90% van de uiteindelijke waarde haalt en bij 40 mm zijn maximale.



Figuur 7-1: Principe wrijvingscoëfficiënt als functie van korrelgrootte onderlaag

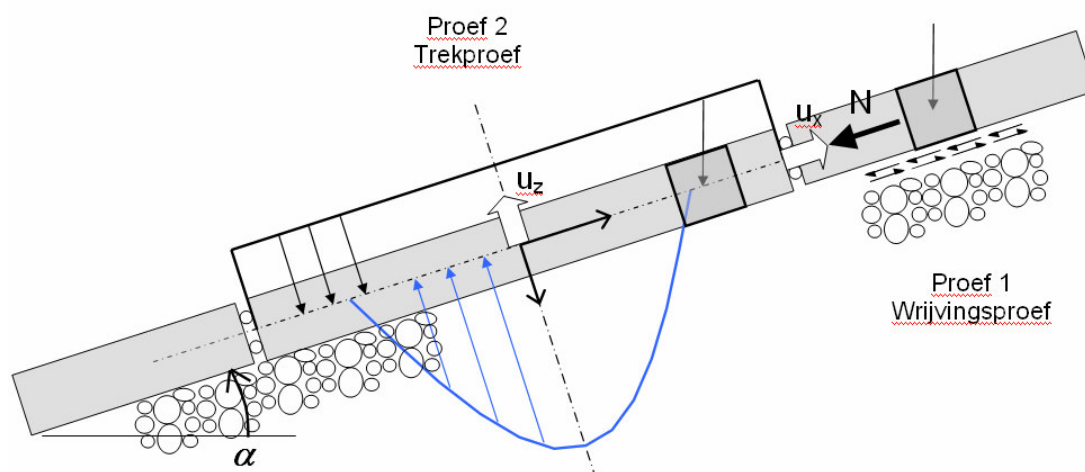
- Het al dan niet goed ingewassen zijn van de voegen
Ontbreken van inwassing vermindert de vertanding in de onderlaag. Dit uit zich in een 0.05 lagere factor, dat wil zeggen een reductie van ca. 10%.

- Oriëntatie bed door de richting eerste verplaatsing

De eerste verplaatsing geeft een oriëntatie in de korrelstapeling en bij gevolg een richtingsafhankelijkheid in de wrijving. Omdat in de praktijk nooit bekend zal zijn in welke richting de toplaag het eerst bewogen heeft, moet rekening gehouden worden met een reductie van de wrijving. Ten opzichte van de gemiddelde data (overwegend op een verstoord bed) betekent dat een verlaging van de wrijvingsfactor met van 0.05 (= ca. 10%).

De wrijving van de toplaag over de bedding speelt in meerdere processen een rol. Bij flauwe dijktafsluitingen blijven de elementen op wrijving staan. Pas nadat elementen zijn opgeschud kan de wrijving (a) overwonnen zijn en liggen de elementen tegen elkaar en is er sprake van klemming. Bij grote verschildrukken en begin van bewegen van de elementen ontstaat verplaatsing in het vlak, waarna wrijving (b) een rol kan spelen in verhoging van de normaalkracht.

In de genoemde gevallen a en b dient resp. een boven- en een ondergrens van de wrijving te worden gehanteerd.



Figuur 7-2: Principe van aspecten liggerwerking (proef 2) en axiale opsluiting (proef 1) in model klemming; proef 3 is een combinatie van 1 en 2 in één opstelling

Het trekproeven onderzoek (proevenserie 2) betrof de validatie van het evenwichtsmodel, waarbij de normaalkracht verantwoordelijk is voor de vergroting van de stabiliteit van de bekleding. Deze validatie is geslaagd. De proefresultaten kloppen trendmatig zeer goed met het model. Dit betekent dat de vormfunctie van de belasting naast de piekwaarde bepalend is voor de stabiliteit. Een belangrijk resultaat is ook dat de stabiliteit van de toplaag bij vervormingscriteria van 2, 5 of 10 mm reeds een significante bijdrage van klemming ondervindt.

Voor een goede kwantitatieve overeenstemming tussen testresultaten en model is een verfijning van het model nodig. Hiervoor wordt in paragraaf 7.2 een voorstel gedaan.

In het algemene zijn de resultaten voor sterkte van Basalton lager dan die voor Hydroblocks. Dit strookt niet met de verwachting. Basalton presteert bij beproeving in de Deltagoor niet slechter dan Hydroblocks. Een verklaring kan mogelijk gevonden worden in de grilligheid van de contactvlakken in combinatie met de voorspanning in één richting. De sterkte toename door normaalkracht is dan niet optimaal. Ook kunnen de kleinere contactvlakken de sterkte uit klemming limiteren.

De verticale vervorming van het proefstuk gaat aanvankelijk gepaard met horizontaal verkorten van het model. Bij toename van de verticale verplaatsing wordt het proefstuk weer langer. Dit fenomeen is nader onderzocht, o.m. in [Derkzen, 2004] en de eerste indruk is dat het niet van invloed lijkt te zijn op de hoogte van de bezwijkbelasting. Het fenomeen blijft een aandachtspunt bij toekomstige proefnemingen en ook bij (numerieke) modellering van bekledingen.

De trekproeven van serie 3 bevestigen de daaraan ten grondslag liggende veronderstelling dat de wrijving tussen de toplaag en de bedding positief kan bijdragen aan de hoogte van de bezwijkbelasting van de trekproef. De resultaten van proevenserie 3 zijn in lijn met de deelresultaten van proevenserie 1 en 2. Daarmee wordt de hypothese dat het belastte en het daarboven liggende deel van de toplaag beide een bijdrage hebben in het systeem van klemming bevestigd.

Voor de trekproeven is gebruik gemaakt van verplaatsingsregistratie met een stereo camerameetsysteem. Deze methode is in laboratorium omstandigheden een succesvolle meetmethode gebleken. TNO-TPD heeft een algoritme geschreven dat op een object dat een bepaalde baan volgt automatische beeldherkenning toepast. De waargenomen baan wordt vertaald in coördinaten, die relatief ten opzichte van de oorspronkelijke positie, de verplaatsingen weergeven. Het blijkt mogelijk om op meetafstanden van ca. 3 m verplaatsingen met een nauwkeurigheid van 1 mm te registreren. De bewegingen en rotaties zijn beschreven in 3 richtingen.

7.2 Bijstelling model

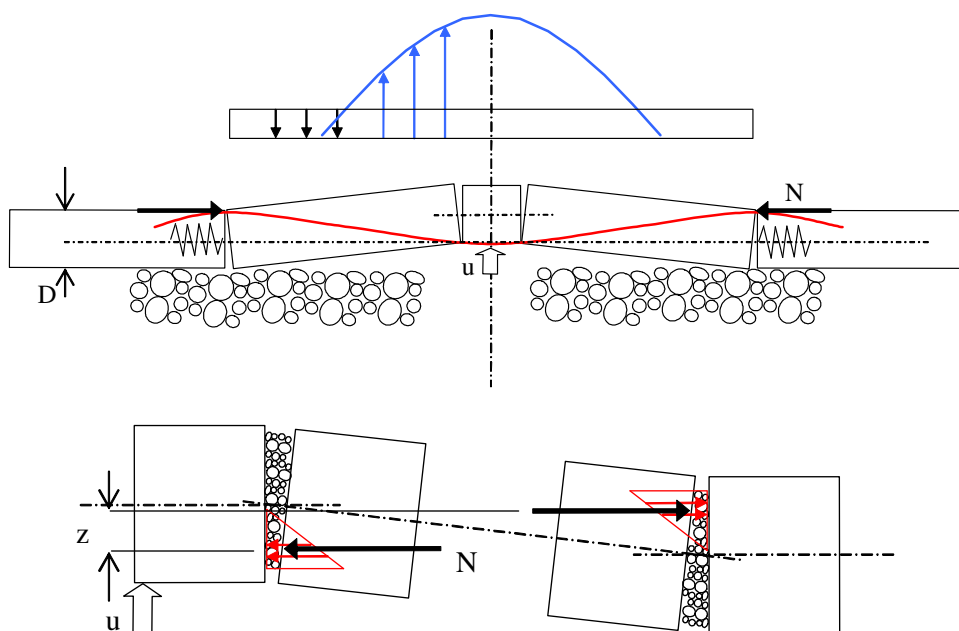
De resultaten van de trekproeven kunnen goed worden verklaard door te rekenen met een gereduceerde uitkomst van het model van 0.72 resp. 0.64 voor de verschillende voorspanniveaus.

De fysische achtergrond van deze bijstelling kan worden gevonden in

- de eindige druksterkte van de voeg,
- in een randafstand die in acht genomen moet worden ten gevolge van uitvallen en uitdrukken van voegmateriaal (zie o.a. figuur 5-5) en in
- het effect van de verplaatsing en de rotaties op de momentcapaciteit.

Deze bijstelling is nader onderzocht en ook verklaard uit andere fenomenen in [Derkzen, 2004].

De genoemde effecten hebben alle tot gevolg dat de resultante normaalkracht zich op een positie bevindt dicht bij het midden van het element.



Figuur 7-3: Principe van beïnvloeding positie van de normaalkracht door ontbreken voegmateriaal en door eindige normaalspanning in voegen

Globale berekeningen met het model wijzen uit dat voor de Hydroblocks een input voor de voegsterkte gekozen zou moeten worden van 3.5 N/mm^2 (uniform verdeeld over de breedte en lineair afnemend met de indrukking van de voeg over de dikte). Verder is er een niet effectieve randafstand van ca. 15 mm aan beide zijden. Voor Basalton is de waarde van de voegsterkte iets lager. De voegsterkte moet worden gezien als een sommatie van de sterkte op de contactpunten. Zo beschouwd is een sterkte die ca. 0.1 maal de sterkte van de steen bedraagt niet verwonderlijk.

De hier beschreven verfijning van het model is nog niet in volledig uitgewerkt en geverifieerd.

7.3 Praktische relevantie en toepassingsmogelijkheden

De praktische bruikbaarheid van de gevonden resultaten voor de wrijvingscoëfficiënten is onderzocht in [Derkzen, 2004]. Het tegen de belaste bekleding rustende bovenliggende gedeelte van de bekleding kan worden gemodelleerd als een verende randvoorwaarde met een initiële voorspanning. Op deze theorie moeten nog betrouwbaarheidsberekeningen worden losgelaten om de echte bruikbaarheid in te kunnen schatten.

q_w / q_s	1.5	3	7
L [m]	3.0	1.0	0.5
$M / q_s L^2$	0.014	0.12	0.49
Kies D [m]	0.35	0.35	0.35
L / D	8.57	2.89	1.43
$M / q_s D^2$	1.0	1.0	1.0
$M_u / q_s D^2$ met $M_u = N \times 0.7 \times \frac{1}{2}D$ $N = q_s \times 5D$ (bijv)	1.75	1.75	1.75
$q_s = \rho_w g \Delta D$ [kPa]	4.6	4.6	4.6
q_w [kPa]	6.9	13.8	32.2
$\phi_{w\uparrow}$ [m]	0.69	1.38	3.22
vuistregel	0.3 H	0.4 H	0.7 H
H [m]	2.3	3.5	4.6
H/ΔD	5.0	7.6	10
$V / q_s L$	0.088	0.5	1.75
$V / q_s D$	0.75	1.46	2.50
$V_u / q_s D$ met $V_u = 0.55 \times N$	2.75	2.75	2.75

Tabel 7-2: Voorbeeldberekening verwerking resultaten klemming in stabiliteit H/ ΔD

Voor de trekproeven zijn in tabel 7-2 getallenvoorbeelden uitgewerkt van denkbeeldige belastingsituaties op een bekleding met $D = 0.35$ m, $\rho_s = 2350$ kg/m³. De omrekening van de druk onder de bekleding naar de golfhoogte H op open water gebeurt met vuistregels. De berekening dient om de sterktes gebaseerd op klemming te refereren aan de ontwerpgetallen van de enkele steen berekeningen uit de huidige toetsmethoden.

Op de momentcapaciteit is er voor alle drie de gevallen een reserve van 75%.
 Op de dwarskracht V is er voor het rechter geval een reserve van 10%.
 Voor het rechter geval zal falen op dwarskracht als eerste op kunnen treden, voor de overige twee gevallen falen op buigend moment.

7.4 Aanbevelingen

Alvorens de theorie en resultaten van het klemmingsonderzoek toepassing kunnen vinden in ontwerp en toetsing van steenzettingen, worden de volgende activiteiten aanbevolen.

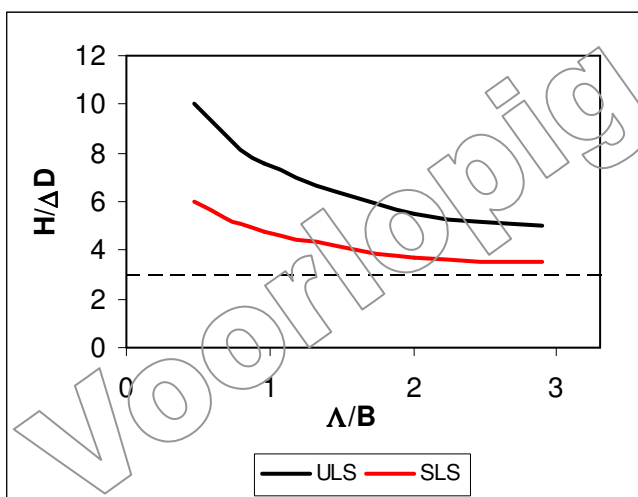
- Proefneming op dijken om aanwezigheid en effect van normaalkracht te meten.
- Bureaustudie met gebruikmaking van Z-steen naar het effect van een golfcyclus op de beweging van de elementen in het vlak en het effect op de normaalkracht.
- Bureaustudie naar beïnvloeding initiële voorspanning door elementvorm en voegvullingsgraad, door tonrondte en kromtestralen van talud naar berm en door kromming ten gevolge van bochten in dijken.
- Proefneming in de Deltagoot (grootschalig) naar herhaalde belasting en naar effect golven op het geklemd liggen van de elementen.
- Ontwikkeling van een eenvoudige test voor de betrouwbaarheid van in de praktijk aanwezige klemming. Mogelijk volstaat een interpretatie slag van het huidige trekproevenbestand.
- Numeriek onderzoek naar 2D situaties en naar zuil-achtige elementen.
- Overall probabilistische beschouwing van belasting en sterkte van de bekleding. Daartoe moet met name ook de kennisleemte omtrent de golfklapdrukken worden ingevuld. Deze drukken worden momenteel in veel gevallen maatgevend geacht.

8 VERTALING NAAR TOETSREGELS

Voor een concrete vertaling naar toetsregels is het resultaat te prematuur. Het is niet met zekerheid aan te geven wat de betrouwbaarheid van het onderzochte systeem is. Vast staat wel dat klemming onder ideale condities een forse bijdrage aan de stabiliteit kan hebben. Het zal juist aan de condities liggen in welke mate deze bijdrage in de praktijk van ontwerp- en toetsing kan worden benut.

Het gedachtemodel voor een toekomstige bijdrage van klemming in de stabiliteit is weergegeven in figuur 8-1. Uitgaande van een piekwaarde van de verschildruk van $\Phi/H = 0.3$, is de stabiliteit $H/\Delta D$ ca. 3. Indien deze verschildruk over een beperkt gebied van de steenzetting aanwezig is, is de stabiliteit als gevolg van de bijdrage van klemming veel groter dan 3. De grootte van het gebied staat op de horizontale as. Dit is indicatief weergegeven met de leklengte Δ gedeeld door de elementbreedte B .

Het ULS criterium duidt op de bezwijksterkte. Het SLS criterium duidt op een sterkte bij een toelaatbare blokbeweging van bijvoorbeeld $0.03 D$.



Figuur 8-1: Principe mogelijke ontwerpgrafiek stabiliteit toplaagelementen; uitgaande van het belastinggeval golfterugtrekking en uitgaande van het verworven inzicht in klemming; ULS = ultimate limit state; SLS = serviceability limit state

Bij toekennen van meer sterkte aan de toplaag zal ook de wijze waarop met de kans van optreden van maatgevende golfhoogtes in de ontwerp- en toetsmethodes wordt gerekend moeten worden bijgesteld.

9 REFERENTIES

[Derkzen, 2004]

afstudeerverslag Bianca Derkzen, juli 2004

[Klein Breteler, 2000]

Grootschalig modelonderzoek naar stabiliteit van taludbekledingen; analyse van resultaten van Deltagoor proeven, rapport WL|Delft Hydraulics (2 banden), mei 2000

[Klein Breteler, 2003]

Invloed van klemming; statistische analyse trekproeven, rapport WL|Delft Hydraulics, M. Klein Breteler, oktober 2003

[OCDI, The overseas Coastal area Development Institute of Japan, Technical standards for Port and Harbour Facilities in Japan, ed. 1991]

[Peters, 2002]

Gezette steenbekledingen onder golfaanval, mechanicastudie liggerwerking Rijkswaterstaat – Royal Haskoning, D.J. Peters, 2002

[Schoen(1), 2004]

Wrijvingsproeven van steenzetting op filter, afstudeerverslag Stijn Schoen, april 2004

[Schoen(2), 2004]

Liggerwerkingsonderzoek van steenzetting op wrijvingsloze bedding, afstudeerverslag Stijn Schoen, april 2004

[Van Staverden, 1983]

Rapport Wrijving en Wrijvingscoëfficiënten (ONW-R-83068) van de Deltadienst van Rijkswaterstaat uit 1983, geschreven door J.H. van Staverden

Bijlage 1

Overzicht steenzettingenonderzoek

Pagina vervangen door A3-tijdschema

Bijlage 2

Proevenprogramma wrijvingsproeven



Proevenprogramma Wrijvingsproeven

serienr.	codering	toplaag	filterlaag	inwassing	grensvlak
1	A10.0.01	hydroblocks	steenslag 22-40 mm	geen	droog
2	A10.0.02	hydroblocks	steenslag 22-40 mm	geen	droog
3	A10.0.03	hydroblocks	steenslag 22-40 mm	geen	droog
4	A10.0.04	hydroblocks	steenslag 22-40 mm	geen	droog
5	A10.1.05	hydroblocks	steenslag 22-40 mm	steenslag 11-22 mm	droog
6	A10.1.06	hydroblocks	steenslag 22-40 mm	steenslag 11-22 mm	droog
7	A10.1.07	hydroblocks	steenslag 22-40 mm	steenslag 11-22 mm	droog
8	A10.1.08	hydroblocks	steenslag 22-40 mm	steenslag 11-22 mm	droog
9	B10.1.09	basalton 15 cm	steenslag 22-40 mm	steenslag 11-22 mm	droog
10	B10.1.10	basalton 15 cm	steenslag 22-40 mm	steenslag 11-22 mm	droog
11	C10.1.11	basalton 25 cm	steenslag 22-40 mm	steenslag 11-22 mm	droog
12	C10.1.12	basalton 25 cm	steenslag 22-40 mm	steenslag 11-22 mm	droog
13	D10.1.13	basalt	steenslag 22-40 mm	steenslag 11-22 mm	droog
14	D10.1.14	basalt	steenslag 22-40 mm	steenslag 11-22 mm	droog
15	A11.1.15	hydroblocks	steenslag 22-40 mm	steenslag 11-22 mm	onder water
16	A11.1.16	hydroblocks	steenslag 22-40 mm	steenslag 11-22 mm	onder water
17	A11.1.17	hydroblocks	steenslag 22-40 mm	steenslag 11-22 mm	onder water
18	A11.1.18	hydroblocks	steenslag 22-40 mm	steenslag 11-22 mm	onder water
19	E10.1.19	basalton 15 cm	steenslag 22-40 mm	steenslag 11-22 mm	droog
20	E10.1.20	basalton 15 cm	steenslag 22-40 mm	steenslag 11-22 mm	droog
21	A22.4.21	hydroblocks	steenslag 22-40 mm	steenslag 5-22 mm, i	nat
22	A22.4.22	hydroblocks	steenslag 22-40 mm	steenslag 5-22 mm, i	nat
23	A21.4.23	hydroblocks	steenslag 22-40 mm	steenslag 5-22 mm, i	onder water
24	A21.4.24	hydroblocks	steenslag 22-40 mm	steenslag 5-22 mm, i	onder water
25	B22.4.25	basalton 15 cm	steenslag 22-40 mm	steenslag 5-22 mm, i	nat
26	B22.4.26	basalton 15 cm	steenslag 22-40 mm	steenslag 5-22 mm, i	nat
27	B21.4.27	basalton 15 cm	steenslag 22-40 mm	steenslag 5-22 mm, i	onder water
28	B21.4.28	basalton 15 cm	steenslag 22-40 mm	steenslag 5-22 mm, i	onder water
29	A32.1.29	hydroblocks	steenslag 8-11 mm	steenslag 11-22 mm	nat
30	A32.1.30	hydroblocks	steenslag 8-11 mm	steenslag 11-22 mm	nat
31	B42.4.31	basalton 15 cm	steenslag 8-11 mm, i	steenslag 5-22 mm, i	nat
32	A50.1.32	hydroblocks	rond grind 15-40 mm	steenslag 11-22 mm	droog
33	A51.1.33	hydroblocks	rond grind 15-40 mm	steenslag 11-22 mm	onder water
34	A62.0.34	hydroblocks	metselzand	geen	nat
35	A62.4.35	hydroblocks	metselzand	steenslag 5-22 mm, i	nat
36	A61.4.36	hydroblocks	metselzand	steenslag 5-22 mm, i	onder water
37	B62.4.37	basalton 15 cm	metselzand	steenslag 5-22 mm, i	nat

Filter	droog	onder water	nat
steenslag 22-40 mm	10	11	12
steenslag 22-40 mm, ingezand/slibd	20	21	22
steenslag 8-11 mm	30	31	32
steenslag 8-11 mm, ingezand/slibd	40	41	42
rond grind, ca 15-40 mm	50	51	52
metselzand	60	61	62

Toplaag	Code
Hydroblocks 0.15m	A
Basalton 0.15 m (1 m ²)	B
Basalt 0.20 m	C
Basalton 0.25 m	D
Basalton 0.15 m (3 m ²)	E

inwassing	
geen	0
steenslag 11-22 mm	1
steenslag 5-22 mm, i	4

Bijlage 3

Overzicht meetdata wrijvingsproeven

codenummer	onderlaag grof / fijn steenslag / rond grind / metselzand	inwassing / ingezand	droog / nat / onder water	proefstuk vierkant / Lang	beweging	pos / neg richting	snelheid bewegen	lengte glijweg	bijzonderheid	doorstart	positie tov start	onverstoord = y verstoord = n	max horizontale kracht	verticale belasting	wrijvings- coëfficiënt
A10_0_01											0				0.528
A10_0_01000A	g				1ste	1	5 mm/s	10 mm			10	y	2046	3784	0.541
A10_0_01000B	g				1ste terug	-1	5 mm/s	10 mm			0	n	1950	3784	0.515
A10_0_01001	g				2de	1	5 mm/s	15 mm			15	y	2037	3784	0.538
A10_0_01002	g				2de terug	-1	5 mm/s	15 mm			0	n	1884	3784	0.498
A10_0_01003	g				3de	1	10 mm/s	10 mm			10	n	1976	3784	0.522
A10_0_01004	g				3de terug	-1	10 mm/s	10 mm			0	n	1757	3784	0.464
A10_0_01005	g				4de	1	20 mm/s	20 mm			20	y	2319	3784	0.613
A10_0_01006	g				4de terug	-1	20 mm/s	20 mm			0	n	1928	3784	0.510
A10_0_01007	g				5de	1	10 mm/s	30 mm			30	y	2614	3784	0.691
A10_0_01008	g				5de terug	-1	10 mm/s	30 mm			0	n	2007	3784	0.530
A10_0_01009	g				6de	1	2 mm/s	20 mm			20	n	1668	3784	0.441
A10_0_01010	g				6de terug	-1	1 mm/s	20 mm			0	n	1790	3784	0.473
A10_0_02											0				0.556
A10_0_02001	g				1ste	1	5 mm/s	10 mm			10	y	1998	3784	0.528
A10_0_02002	g				1ste terug	-1	5 mm/s	10 mm			0	n	1774	3784	0.469
A10_0_02003	g				2de	1	5 mm/s	10 mm			10	n	1822	3784	0.482
A10_0_02004	g				2de terug	-1	5 mm/s	10 mm			0	n	1860	3784	0.492
A10_0_02005	g				3de	1	5 mm/s	10 mm	doorstart	1	10	n	1883	3784	0.498
A10_0_02006	g				3de	1	5 mm/s	10 mm	doorstart	2	20	y	2228	3784	0.589
A10_0_02007	g				3de	1	5 mm/s	10 mm	doorstart	3	30	y	2481	3784	0.656
A10_0_02008	g				3de	1	5 mm/s	10 mm	doorstart	4	40	y	2604	3784	0.688

codenummer	onderlaag grof / fijn steenslag / rond grind / metseizand	inwassing / ingezand	droog / nat / onder water	proefstuk vierkant / Lang	beweging	pos / neg richting	snelheid bewegen	lengte glijweg	bijzonderheid	doorstart	positie tov start	onverstoord = y verstoord = n	max horizontale kracht	verticale belasting	wrijvings- coëfficiënt
A10_0_02009	g				3de terug	-1	40 mm/s	40 mm			0	n	2120	3784	0.560
A10_0_02010	g				4de	1	5 mm/s	20 mm	165,8 kg		20	n	2741	5410	0.507
A10_0_02011	g				4de	1	10 mm/s	20 mm	165,8 kg		40	n	3482	5410	0.644
A10_0_02012	g				4de terug	-1	5 mm/s	20 mm	sprong: v		20	n	2012	3784	0.532
A10_0_02013	g				4de terug	-1	5 mm/s	20 mm	sprong: t		0	n	2218	3784	0.586
A10_0_03											0				0.562
A10_0_03001	g				1ste	1	5 mm/s	10 mm			10	y	1868	3784	0.494
A10_0_03002	g				1ste terug	-1	5 mm/s	10 mm			0	n	2038	3784	0.539
A10_0_03003	g				2de	1	5 mm/s	10 mm			10	n	1794	3784	0.474
A10_0_03004	g				2de terug	-1	5 mm/s	10 mm			0	n	1843	3784	0.487
A10_0_03005	g				3de	1	2 mm/s	20 mm			20	y	1947	3784	0.515
A10_0_03006	g				3de	1	1 mm/s	20 mm			40	y	2285	3784	0.604
A10_0_03007	g				3de terug	-1	5 mm/s	10 mm	doorstart	1	30	n	1748	3784	0.462
A10_0_03008	g				3de terug	-1	5 mm/s	10 mm	doorstart	2	20	n	2092	3784	0.553
A10_0_03009	g				3de terug	-1	5 mm/s	10 mm	doorstart	3	10	n	2242	3784	0.592
A10_0_03010	g				3de terug	-1	5 mm/s	10 mm	doorstart	4	0	n	2338	3784	0.618
A10_0_03011	g				4de	1	10 mm/s	20 mm	sprong: t		20	n	3476	3784	0.919
A10_0_03012	g				4de	1	5 mm/s	20 mm	los		40	n	1838	3784	0.486
A10_0_04											0				0.591
A10_0_04001	g				1ste	1	5 mm/s	10 mm			10	y	2090	3784	0.552
A10_0_04002	g				1ste terug	-1	5 mm/s	10 mm			0	n	1875	3784	0.496
A10_0_04003	g				2de	1	5 mm/s	20 mm			20	y	2400	3784	0.634
A10_0_04004	g				2de terug	-1	5 mm/s	20 mm			0	n	2202	3784	0.582
A10_0_04005	g				3de	1	5 mm/s	30 mm			30	y	2538	3784	0.671

codenummer	onderlaag grof / fijn steenslag / rond grind / metseizand	inwassing / ingezand	droog / nat / onder water	proefstuk vierkant / Lang	beweging	pos / neg richting	snelheid bewegen	lengte glijweg	bijzonderheid	doorstart	positie tov start	onverstoord = y verstoord = n	max horizontale kracht	verticale belasting	wrijvings- coëfficiënt
A10_0_04006	g				3de terug	-1	5 mm/s	30 mm			0	n	1974	3784	0.522
A10_0_04007	g				4de	1	5 mm/s	40 mm			40	y	2546	3784	0.673
A10_0_04008	g				4de terug	-1	5 mm/s	40 mm			0	n	2265	3784	0.599
A10_1_05											0				0.595
A10_1_05001	g	i			1ste	1	5 mm/s	10 mm			10	y	2369	4137	0.573
A10_1_05002	g	i			1ste terug	-1	5 mm/s	10 mm			0	n	2027	4137	0.490
A10_1_05003	g	i			2de	1	5 mm/s	10 mm			10	n	2233	4137	0.540
A10_1_05004	g	i			2de terug	-1	5 mm/s	10 mm			0	n	2226	4137	0.538
A10_1_05005	g	i			3de	1	5 mm/s	20 mm			20	y	2900	4137	0.701
A10_1_05006	g	i			3de	1	10 mm/s	20 mm			40	y	3345	4137	0.809
A10_1_05007	g	i			3de terug	-1	10 mm/s	20 mm			20	n	2213	4137	0.535
A10_1_05008	g	i			3de terug	-1	5 mm/s	20 mm			0	n	2765	4137	0.668
A10_1_05009	g	i			4de	1	5 mm/s	10 mm	doorstart	1	10	n	1858	4137	0.449
A10_1_05010	g	i			4de	1	5 mm/s	10 mm	doorstart	2	20	n	2262	4137	0.547
A10_1_05011	g	i			4de	1	5 mm/s	10 mm	doorstart	3	30	n	2525	4137	0.610
A10_1_05012	g	i			4de	1	5 mm/s	10 mm	doorstart	4	40	n	2839	4137	0.686
A10_1_06											0				0.595
A10_1_06001	g	i			1ste	1	5 mm/s	10 mm			10	y	2644	4137	0.639
A10_1_06002	g	i			1ste terug	-1	5 mm/s	10 mm			0	n	2096	4137	0.507
A10_1_06003	g	i			2de	1	10 mm/s	20 mm			20	y	2873	4137	0.694
A10_1_06004	g	i			2de	1	20 mm/s	20 mm			40	y	2953	4137	0.714
A10_1_06005	g	i			2de terug	-1	20 mm/s	20 mm			20	n	2036	4137	0.492
A10_1_06006	g	i			2de terug	-1	10 mm/s	20 mm			0	n	2024	4137	0.489
A10_1_06007	g	i			3de	1	2 mm/s	20 mm			20	n	2243	4137	0.542

codenummer	onderlaag grof / fijn steenslag / rond grind / metseizand	inwassing / ingezand	droog / nat / onder water	proefstuk vierkant / Lang	beweging	pos / neg richting	snelheid bewegen	lengte glijweg	bijzonderheid	doorstart	positie tov start	onverstoord = y verstoord = n	max horizontale kracht	verticale belasting	wrijvings- coëfficiënt
A10_1_06008	g	i			3de	1	1 mm/s	20 mm			40	n	2773	4137	0.670
A10_1_06009	g	i			3de terug	-1	10 mm/s	40 mm			0	n	2519	4137	0.609
A10_1_07											0				0.520
A10_1_07001	g	i			1ste	1	5 mm/s	10 mm			10	y	2133	4066	0.525
A10_1_07002	g	i			1ste terug	-1	5 mm/s	10 mm			0	n	2094	4066	0.515
A10_1_08											0				0.617
A10_1_08001	g	i			1ste	1	5 mm/s	10 mm			10	y	2393	4066	0.589
A10_1_08002	g	i			1ste terug	-1	5 mm/s	10 mm			0	n	2126	4066	0.523
A10_1_08003	g	i			2de	1	15 mm/s	30 mm			30	y	2818	4066	0.693
A10_1_08004	g	i			2de terug	-1	5 mm/s	10 mm	doorstart	1	20	n	2103	4066	0.517
A10_1_08005	g	i			2de terug	-1	5 mm/s	10 mm	doorstart	2	10	n	2465	4066	0.606
A10_1_08006	g	i			2de terug	-1	5 mm/s	10 mm	doorstart	3	0	n	2660	4066	0.654
A10_1_08007	g	i			3de	1	5 mm/s	20 mm			20	n	2255	4066	0.555
A10_1_08008	g	i			3de terug	-1	5 mm/s	20 mm			0	n	2677	4066	0.658
A10_1_08009	g	i			4de	1	5 mm/s	30 mm			30	n	2844	4066	0.699
A10_1_08010	g	i			4de terug	-1	5 mm/s	30 mm			0	n	2752	4066	0.677
A11_1_15											0				0.551
A11_1_15001	g	i	w		1ste	1	5 mm/s	10 mm			10	y	2008	4066	0.494
A11_1_15002	g	i	w		1ste terug	-1	5 mm/s	10 mm			0	n	1887	4066	0.464
A11_1_15003	g	i	w		2de	1	10 mm/s	20 mm			20	y	2385	4066	0.587
A11_1_15004	g	i	w		2de	1	5 mm/s	20 mm			40	y	2729	4066	0.671
A11_1_15005	g	i	w		2de terug	-1	10 mm/s	20 mm			20	n	2015	4066	0.496
A11_1_15006	g	i	w		2de terug	-1	20 mm/s	20 mm			0	n	2404	4066	0.591
A11_1_15007	g	i	w		3de	1	5 mm/s	30 mm			30	n	2154	4066	0.530

codenummer	onderlaag grof / fijn steenslag / rond grind / metseizand	inwassing / ingezand	droog / nat / onder water	proefstuk vierkant / Lang	beweging	pos / neg richting	snelheid bewegen	lengte glijweg	bijzonderheid	doorstart	positie tov start	onverstoord = y verstoord = n	max horizontale kracht	verticale belasting	wrijvings- coëfficiënt
A11_1_15008	g	i	w		3de terug	-1	5 mm/s	20 mm	sprong: t		10	n	2453	4066	0.603
A11_1_15009	g	i	w		4de	1	5 mm/s	30 mm	los		40	n	2139	4066	0.526
A11_1_16											0				0.576
A11_1_16001	g	i	w		1ste	1	5 mm/s	10 mm			10	y	1879	4066	0.462
A11_1_16002	g	i	w		1ste terug	-1	5 mm/s	10 mm			0	n	2125	4066	0.523
A11_1_16003	g	i	w		2de	1	5 mm/s	10 mm	doorstart	1	10	n	1873	4066	0.461
A11_1_16004	g	i	w		2de	1	5 mm/s	10 mm	doorstart	2	20	y	2362	4066	0.581
A11_1_16005	g	i	w		2de	1	5 mm/s	10 mm	doorstart	3	30	y	2908	4066	0.715
A11_1_16006	g	i	w		2de	1	5 mm/s	10 mm	doorstart	4	40	y	2904	4066	0.714
A11_1_16007	g	i	w		2de terug	-1	5 mm/s	20 mm			20	n	2375	4066	0.584
A11_1_16008	g	i	w		2de terug	-1	10 mm/s	20 mm			0	n	2528	4066	0.622
A11_1_16009	g	i	w		3de	1	2 mm/s	20 mm			20	n	2762	4066	0.679
A11_1_16010	g	i	w		3de	1	1 mm/s	20 mm			40	n	1698	4066	0.418
A11_1_17											0				0.503
A11_1_17001	g	i	w		1ste	1	5 mm/s	10 mm			10	y	2194	4066	0.540
A11_1_17002	g	i	w		1ste terug	-1	5 mm/s	10 mm			0	n	1772	4066	0.436
A11_1_17003	g	i	w		2de	1	10 mm/s	20 mm			20	y	2153	4066	0.530
A11_1_17004	g	i	w		2de	1	5 mm/s	20 mm			40	y	2219	4066	0.546
A11_1_17005	g	i	w		2de terug	-1	10 mm/s	20 mm			20	n	1829	4066	0.450
A11_1_17006	g	i	w		2de terug	-1	20 mm/s	20 mm			0	n	2308	4066	0.568
A11_1_17007	g	i	w		3de	1	5 mm/s	30 mm			30	n	1656	4066	0.407
A11_1_17008	g	i	w		3de terug	-1	15 mm/s	30 mm			0	n	2129	4066	0.524
A11_1_17009	g	i	w		4de	1	30 mm/s	30 mm			30	n	2140	4066	0.526
A11_1_18											0				0.651

codenummer	onderlaag grof / fijn steenslag / rond grind / metseizand	inwassing / ingezand	droog / nat / onder water	proefstuk vierkant / Lang	beweging	pos / neg richting	snelheid bewegen	lengte glijweg	bijzonderheid	doorstart	positie tov start	onverstoord = y verstoord = n	max horizontale kracht	verticale belasting	wrijvings- coëfficiënt
A11_1_18001	g	i	w		1ste	1	5 mm/s	10 mm			10	y	2439	4066	0.600
A11_1_18002	g	i	w		1ste terug	-1	5 mm/s	10 mm			0	n	1942	4066	0.478
A11_1_18003	g	i	w		2de	1	5 mm/s	10 mm	doorstart	1	10	n	2432	4066	0.598
A11_1_18004	g	i	w		2de	1	5 mm/s	10 mm	doorstart	2	20	y	2951	4066	0.726
A11_1_18005	g	i	w		2de	1	5 mm/s	10 mm	doorstart	3	30	y	2958	4066	0.727
A11_1_18006	g	i	w		2de	1	5 mm/s	10 mm	doorstart	4	40	y	3001	4066	0.738
A11_1_18007	g	i	w		2de terug	-1	20 mm/s	40 mm			0	n	2542	4066	0.625
A11_1_18008	g	i	w		3de	1	5 mm/s	40 mm			40	n	2904	4066	0.714
A21_4_23											0				0.509
A21_4_23001	g	z	w		1ste	1	5 mm/s	10 mm			10	y	2528	4066	0.622
A21_4_23002	g	z	w		1ste terug	-1	5 mm/s	10 mm			0	n	1628	4066	0.400
A21_4_23003	g	z	w		2de	1	10 mm/s	20 mm			20	y	1900	4066	0.467
A21_4_23004	g	z	w		2de	1	20 mm/s	20 mm			40	y	2179	4066	0.536
A21_4_23005	g	z	w		2de terug	-1	10 mm/s	20 mm			20	n	1793	4066	0.441
A21_4_23006	g	z	w		2de terug	-1	5 mm/s	20 mm			0	n	2001	4066	0.492
A21_4_23007	g	z	w		3de	1	5 mm/s	30 mm			30	n	2334	4066	0.574
A21_4_23008	g	z	w		3de terug	-1	5 mm/s	30 mm			0	n	2090	4066	0.514
A21_4_23009	g	z	w		4de	1	30 mm/s	30 mm			30	n	2190	4066	0.539
A21_4_24											0				0.550
A21_4_24001	g	z	w		1ste	1	5 mm/s	10 mm			10	y	2309	4066	0.568
A21_4_24002	g	z	w		1ste terug	-1	5 mm/s	10 mm			0	n	1811	4066	0.445
A21_4_24003	g	z	w		2de	1	5 mm/s	10 mm	doorstart	1	10	n	1731	4066	0.426
A21_4_24004	g	z	w		2de	1	5 mm/s	10 mm	doorstart	2	20	y	2380	4066	0.585
A21_4_24005	g	z	w		2de	1	5 mm/s	10 mm	doorstart	3	30	y	2345	4066	0.577

codenummer	onderlaag grof / fijn steenslag / rond grind / metseizand	inwassing / ingezand	droog / nat / onder water	proefstuk vierkant / Lang	beweging	pos / neg richting	snelheid bewegen	lengte glijweg	bijzonderheid	doorstart	positie tov start	onverstoord = y verstoord = n	max horizontale kracht	verticale belasting	wrijvings- coëfficiënt
A21_4_24006	g	z	w		2de	1	5 mm/s	10 mm	doorstart	4	40	y	2533	4066	0.623
A21_4_24007	g	z	w		2de terug	-1	5 mm/s	20 mm			20	n	1647	4066	0.405
A21_4_24008	g	z	w		2de terug	-1	20 mm/s	20 mm			0	n	2189	4066	0.538
A21_4_24009	g	z	w		3de	1	2 mm/s	20 mm			20	n	2317	4066	0.570
A21_4_24010	g	z	w		3de	1	1 mm/s	20 mm			40	n	2142	4066	0.527
A21_4_24011	g	z	w		3de terug	-1	10 mm/s	100 mm			-60	y	2862	4066	0.704
A21_4_24012	g	z	w		4de	1	10 mm/s	100 mm			40	n	2571	4066	0.632
A22_4_21											0				0.582
A22_4_21001	g	z	n		1ste	1	5 mm/s	10 mm			10	y	2416	4066	0.594
A22_4_21002	g	z	n		1ste terug	-1	5 mm/s	10 mm			0	n	2054	4066	0.505
A22_4_21003	g	z	n		2de	1	10 mm/s	20 mm			20	y	2707	4066	0.666
A22_4_21004	g	z	n		2de	1	20 mm/s	20 mm			40	y	2747	4066	0.676
A22_4_21005	g	z	n		2de terug	-1	10 mm/s	20 mm			20	n	1818	4066	0.447
A22_4_21006	g	z	n		2de terug	-1	10 mm/s	20 mm			0	n	2255	4066	0.555
A22_4_21007	g	z	n		3de	1	30 mm/s	30 mm			30	n	2387	4066	0.587
A22_4_21008	g	z	n		3de terug	-1	5 mm/s	20 mm			10	n	1853	4066	0.456
A22_4_21009	g	z	n		4de	1	5 mm/s	30 mm	los		40	n	3053	4066	0.751
A22_4_22											0				0.621
A22_4_22001	g	z	n		1ste	1	5 mm/s	10 mm			10	y	2641	4066	0.650
A22_4_22002	g	z	n		1ste terug	-1	5 mm/s	10 mm			0	n	2075	4066	0.510
A22_4_22003	g	z	n		2de	1	5 mm/s	10 mm	doorstart	1	10	n	2568	4066	0.632
A22_4_22004	g	z	n		2de	1	5 mm/s	10 mm	doorstart	2	20	y	2990	4066	0.735
A22_4_22005	g	z	n		2de	1	5 mm/s	10 mm	doorstart	3	30	y	2866	4066	0.705
A22_4_22006	g	z	n		2de	1	5 mm/s	10 mm	doorstart	4	40	y	2900	4066	0.713

codenummer	onderlaag grof / fijn steenslag / rond grind / metseizand	inwassing / ingezand	droog / nat / onder water	proefstuk vierkant / Lang	beweging	pos / neg richting	snelheid bewegen	lengte glijweg	bijzonderheid	doorstart	positie tov start	onverstoord = y verstoord = n	max horizontale kracht	verticale belasting	wrijvings- coëfficiënt
A22_4_22007	g	z	n		2de terug	-1	5 mm/s	20 mm			20	n	2119	4066	0.521
A22_4_22008	g	z	n		2de terug	-1	10 mm/s	20 mm			0	n	2433	4066	0.598
A22_4_22009	g	z	n		3de	1	2 mm/s	20 mm			20	n	2116	4066	0.520
A22_4_22010	g	z	n		3de	1	1 mm/s	20 mm			40	n	2951	4066	0.726
A22_4_22011	g	z	n		4de	1	5 mm/s	20 mm	165,8 kg		60	y	2771	5692	0.487
A22_4_22012	g	z	n		4de	1	5 mm/s	20 mm	308,8 kg		80	y	4667	7096	0.658
A32_1_29											0				0.613
A32_1_29001	f	i	n		1ste	1	5 mm/s	10 mm			10	y	2473	4066	0.608
A32_1_29002	f	i	n		1ste terug	-1	5 mm/s	10 mm			0	n	2124	4066	0.522
A32_1_29003	f	i	n		2de	1	10 mm/s	20 mm			20	y	2669	4066	0.656
A32_1_29004	f	i	n		2de	1	20 mm/s	20 mm			40	y	2711	4066	0.667
A32_1_29005	f	i	n		2de terug	-1	10 mm/s	20 mm			20	n	2158	4066	0.531
A32_1_29006	f	i	n		2de terug	-1	5 mm/s	20 mm			0	n	2415	4066	0.594
A32_1_29007	f	i	n		3de	1	30 mm/s	30 mm			30	n	2560	4066	0.630
A32_1_29008	f	i	n		3de terug	-1	5 mm/s	30 mm			0	n	2471	4066	0.608
A32_1_29009	f	i	n		3de terug	-1	10 mm/s	50 mm			-50	y	2672	4066	0.657
A32_1_29010	f	i	n		4de	1	10 mm/s	100 mm			50	y	2683	4066	0.660
A32_1_30											0				0.567
A32_1_30001	f	i	n		1ste	1	5 mm/s	10 mm			10	y	2324	4066	0.572
A32_1_30002	f	i	n		1ste terug	-1	5 mm/s	10 mm			0	n	2126	4066	0.523
A32_1_30003	f	i	n		2de	1	5 mm/s	10 mm	doorstart	1	10	n	2132	4066	0.524
A32_1_30004	f	i	n		2de	1	5 mm/s	10 mm	doorstart	2	20	y	2441	4066	0.600
A32_1_30005	f	i	n		2de	1	5 mm/s	10 mm	doorstart	3	30	y	2481	4066	0.610
A32_1_30006	f	i	n		2de	1	5 mm/s	10 mm	doorstart	4	40	y	2441	4066	0.600

codenummer	onderlaag grof / fijn steenslag / rond grind / metseizand	inwassing / ingezand	droog / nat / onder water	proefstuk vierkant / Lang	beweging	pos / neg richting	snelheid bewegen	lengte glijweg	bijzonderheid	doorstart	positie tov start	onverstoord = y verstoord = n	max horizontale kracht	verticale belasting	wrijvings- coëfficiënt
A32_1_30007	f	i	n		2de terug	-1	5 mm/s	20 mm			20	n	2061	4066	0.507
A32_1_30008	f	i	n		2de terug	-1	10 mm/s	20 mm			0	n	2346	4066	0.577
A32_1_30009	f	i	n		3de	1	2 mm/s	20 mm			20	n	2061	4066	0.507
A32_1_30010	f	i	n		3de	1	1 mm/s	20 mm			40	n	2616	4066	0.643
A32_1_30011	f	i	n		3de terug	-1	5 mm/s	30 mm	165,8 kg		10	n	3311	5692	0.582
A32_1_30012	f	i	n		4de	1	5 mm/s	30 mm	los		40	n	2258	4066	0.555
A50_1_32											0				0.613
A50_1_32001	r	i			1ste	1	5 mm/s	10 mm			10	y	2421	4084	0.593
A50_1_32002	r	i			1ste terug	-1	5 mm/s	10 mm			0	n	1850	4084	0.453
A50_1_32003	r	i			2de	1	10 mm/s	20 mm			20	y	2817	4084	0.690
A50_1_32004	r	i			2de	1	20 mm/s	20 mm			40	y	2753	4084	0.674
A50_1_32005	r	i			2de terug	-1	10 mm/s	40 mm			0	n	2222	4084	0.544
A50_1_32006	r	i			3de	1	30 mm/s	30 mm			30	n	2424	4084	0.594
A50_1_32007	r	i			3de terug	-1	5 mm/s	30 mm			0	n	2461	4084	0.603
A50_1_32008	r	i			4de	1	5 mm/s	20 mm	165,8 kg		20	n	3320	5710	0.581
A50_1_32009	r	i			4de	1	2 mm/s	20 mm			40	n	2938	4084	0.719
A50_1_32010	r	i			4de terug	-1	10 mm/s	100 mm			-60	y	2793	4084	0.684
A50_1_32011	r	i			5de	1	10 mm/s	100 mm	los		40	n	2481	4084	0.607
A51_1_33											0				0.602
A51_1_33001	r	i	w		1ste	1	5 mm/s	10 mm			10	y	2403	4084	0.588
A51_1_33002	r	i	w		1ste terug	-1	5 mm/s	10 mm			0	n	1849	4084	0.453
A51_1_33003	r	i	w		2de	1	10 mm/s	20 mm			20	y	2740	4084	0.671
A51_1_33004	r	i	w		2de	1	20 mm/s	20 mm			40	y	2862	4084	0.701
A51_1_33005	r	i	w		2de terug	-1	10 mm/s	20 mm			20	n	1922	4084	0.471

codenummer	onderlaag grof / fijn steenslag / rond grind / metseizand	inwassing / ingezand	droog / nat / onder water	proefstuk vierkant / Lang	beweging	pos / neg richting	snelheid bewegen	lengte glijweg	bijzonderheid	doorstart	positie tov start	onverstoord = y verstoord = n	max horizontale kracht	verticale belasting	wrijvings- coëfficiënt
A51_1_33006	r	i	w		2de terug	-1	20 mm/s	20 mm			0	n	2224	4084	0.545
A51_1_33007	r	i	w		3de	1	30 mm/s	30 mm			30	n	2736	4084	0.670
A51_1_33008	r	i	w		3de terug	-1	5 mm/s	30 mm			0	n	2351	4084	0.576
A51_1_33009	r	i	w		4de	1	5 mm/s	40 mm			40	n	3037	4084	0.744
A61_4_36											0				0.652
A61_4_36001	z	z	w		1ste	1	5 mm/s	10 mm			10	y	2657	4066	0.653
A61_4_36002	z	z	w		1ste terug	-1	5 mm/s	10 mm			0	n	2342	4066	0.576
A61_4_36003	z	z	w		1ste terug	-1	10 mm/s	20 mm			-20	y	2959	4066	0.728
A61_4_36004	z	z	w		2de	1	20 mm/s	20 mm			0	n	2671	4066	0.657
A61_4_36005	z	z	w		2de	1	5 mm/s	20 mm			20	y	2788	4066	0.686
A61_4_36006	z	z	w		2de terug	-1	2 mm/s	20 mm			0	n	2417	4066	0.594
A61_4_36007	z	z	w		2de terug	-1	1 mm/s	20 mm			-20	n	2605	4066	0.641
A61_4_36008	z	z	w		3de	1	30 mm/s	30 mm			10	n	2754	4066	0.677
A61_4_36009	z	z	w		3de terug	-1	5 mm/s	30 mm			-20	n	2562	4066	0.630
A61_4_36010	z	z	w		4de	1	10 mm/s	40 mm			20	n	2762	4066	0.679
A62_0_34											0				0.558
A62_0_34001	z		n		1ste	1	5 mm/s	10 mm			10	y	1831	3784	0.484
A62_0_34002	z		n		1ste terug	-1	5 mm/s	10 mm			0	n	2103	3784	0.556
A62_0_34003	z		n		2de	1	10 mm/s	20 mm			20	y	2216	3784	0.586
A62_0_34004	z		n		2de	1	20 mm/s	20 mm			40	y	2419	3784	0.639
A62_0_34005	z		n		2de terug	-1	5 mm/s	20 mm			20	n	2019	3784	0.534
A62_0_34006	z		n		2de terug	-1	10 mm/s	20 mm			0	n	2461	3784	0.650
A62_0_34007	z		n		3de	1	30 mm/s	30 mm			30	n	1877	3784	0.496
A62_0_34008	z		n		3de terug	-1	5 mm/s	30 mm			0	n	2162	3784	0.571

codenummer	onderlaag grof / fijn steenslag / rond grind / metseizand	inwassing / ingezand	droog / nat / onder water	proefstuk vierkant / Lang	beweging	pos / neg richting	snelheid bewegen	lengte glijweg	bijzonderheid	doorstart	positie tov start	onverstoord = y verstoord = n	max horizontale kracht	verticale belasting	wrijvings- coëfficiënt
A62_0_34009	z		n		4de	1	10 mm/s	40 mm			40	n	1932	3784	0.511
A62_4_35											0				0.663
A62_4_35001	z	z	n		1ste	1	5 mm/s	10 mm			10	y	2625	4084	0.643
A62_4_35002	z	z	n		1ste terug	-1	5 mm/s	10 mm			0	n	2720	4084	0.666
A62_4_35003	z	z	n		2de	1	10 mm/s	20 mm			20	y	2890	4084	0.708
A62_4_35004	z	z	n		2de	1	2 mm/s	20 mm			40	y	2758	4084	0.675
A62_4_35005	z	z	n		2de terug	-1	10 mm/s	40 mm			0	n	2709	4084	0.663
A62_4_35006	z	z	n		3de	1	5 mm/s	10 mm	doorstart	1	10	n	2632	4084	0.644
A62_4_35007	z	z	n		3de	1	5 mm/s	10 mm	doorstart	2	20	n	2656	4084	0.650
A62_4_35008	z	z	n		3de	1	5 mm/s	10 mm	doorstart	3	30	n	2686	4084	0.658
A62_4_35009	z	z	n		3de	1	5 mm/s	10 mm	doorstart	4	40	n	2687	4084	0.658
A62_4_35010	z	z	n		3de terug	-1	20 mm/s	20 mm			20	n	2701	4084	0.661
A62_4_35011	z	z	n		3de terug	-1	1 mm/s	20 mm			0	n	2761	4084	0.676
A62_4_35012	z	z	n		4de	1	2 mm/s	40 mm			40	n	2691	4084	0.659
B10_1_09											0				0.640
B10_1_09001	g	i			1ste	1	5 mm/s	10 mm			10	y	3607	5956	0.606
B10_1_09002	g	i			1ste terug	-1	5 mm/s	10 mm			0	n	3286	5956	0.552
B10_1_09003	g	i			2de	1	10 mm/s	20 mm			20	y	4480	5956	0.752
B10_1_09004	g	i			2de	1	5 mm/s	20 mm			40	y	4544	5956	0.763
B10_1_09005	g	i			2de terug	-1	10 mm/s	20 mm			20	n	3233	5956	0.543
B10_1_09006	g	i			2de terug	-1	20 mm/s	20 mm			0	n	3781	5956	0.635
B10_1_09007	g	i			3de	1	5 mm/s	30 mm			30	n	3739	5956	0.628
B10_1_09008	g	i			3de terug	-1	5 mm/s	20 mm	sprong: t		10	n	3228	5956	0.542
B10_1_09009	g	i			4de	1	5 mm/s	30 mm	los		40	n	4421	5956	0.742

codenummer	onderlaag grof / fijn steenslag / rond grind / metseizand	inwassing / ingezand	droog / nat / onder water	proefstuk vierkant / Lang	beweging	pos / neg richting	snelheid bewegen	lengte glijweg	bijzonderheid	doorstart	positie tov start	onverstoord = y verstoord = n	max horizontale kracht	verticale belasting	wrijvings- coëfficiënt
B10_1_10											0				0.587
B10_1_10001	g	i			1ste	1	5 mm/s	10 mm			10	y	3271	5956	0.549
B10_1_10002	g	i			1ste terug	-1	5 mm/s	10 mm			0	n	3043	5956	0.511
B10_1_10003	g	i			2de	1	5 mm/s	10 mm	doorstart	1	10	n	3331	5956	0.559
B10_1_10004	g	i			2de	1	5 mm/s	10 mm	doorstart	2	20	y	3837	5956	0.644
B10_1_10005	g	i			2de	1	5 mm/s	10 mm	doorstart	3	30	y	3969	5956	0.666
B10_1_10006	g	i			2de	1	5 mm/s	10 mm	doorstart	4	40	y	3977	5956	0.668
B10_1_10007	g	i			2de terug	-1	5 mm/s	20 mm			20	n	2970	5956	0.499
B10_1_10008	g	i			2de terug	-1	10 mm/s	20 mm			0	n	3397	5956	0.570
B10_1_10009	g	i			3de	1	2 mm/s	20 mm			20	n	3294	5956	0.553
B10_1_10010	g	i			3de	1	1 mm/s	20 mm			40	n	3879	5956	0.651
B21_4_27											0				0.521
B21_4_27001	g	z	w		1ste	1	5 mm/s	10 mm			10	y	3051	5973	0.511
B21_4_27002	g	z	w		1ste terug	-1	5 mm/s	10 mm			0	n	2603	5973	0.436
B21_4_27003	g	z	w		2de	1	10 mm/s	20 mm			20	y	3041	5973	0.509
B21_4_27004	g	z	w		2de	1	20 mm/s	20 mm			40	y	3840	5973	0.643
B21_4_27005	g	z	w		2de terug	-1	5 mm/s	20 mm			20	n	3284	5973	0.550
B21_4_27006	g	z	w		2de terug	-1	10 mm/s	20 mm			0	n	2779	5973	0.465
B21_4_27007	g	z	w		3de	1	30 mm/s	30 mm			30	n	3580	5973	0.599
B21_4_27008	g	z	w		3de terug	-1	5 mm/s	30 mm			0	n	2682	5973	0.449
B21_4_27009	g	z	w		4de	1	5 mm/s	40 mm	los		40	n	3138	5973	0.525
B21_4_28											0				0.568
B21_4_28001	g	z	w		1ste	1	5 mm/s	10 mm			10	y	3319	5973	0.556
B21_4_28002	g	z	w		1ste terug	-1	5 mm/s	10 mm			0	n	3068	5973	0.514

codenummer	onderlaag grof / fijn steenslag / rond grind / metseizand	inwassing / ingezand	droog / nat / onder water	proefstuk vierkant / Lang	beweging	pos / neg richting	snelheid bewegen	lengte glijweg	bijzonderheid	doorstart	positie tov start	onverstoord = y verstoord = n	max horizontale kracht	verticale belasting	wrijvings- coëfficiënt
B21_4_28003	g	z	w		2de	1	5 mm/s	10 mm	doorstart	1	10	n	3401	5973	0.569
B21_4_28004	g	z	w		2de	1	5 mm/s	10 mm	doorstart	2	20	y	3647	5973	0.611
B21_4_28005	g	z	w		2de	1	5 mm/s	10 mm	doorstart	3	30	y	3547	5973	0.594
B21_4_28006	g	z	w		2de	1	5 mm/s	10 mm	doorstart	4	40	y	3715	5973	0.622
B21_4_28007	g	z	w		2de terug	-1	20 mm/s	20 mm			20	n	2975	5973	0.498
B21_4_28008	g	z	w		2de terug	-1	5 mm/s	20 mm			0	n	3262	5973	0.546
B21_4_28009	g	z	w		3de	1	1 mm/s	20 mm			20	n	3142	5973	0.526
B21_4_28010	g	z	w		3de	1	2 mm/s	20 mm			40	n	3835	5973	0.642
B22_4_25											0				0.556
B22_4_25001	g	z	n		1ste	1	5 mm/s	10 mm			10	y	3329	5991	0.556
B22_4_25002	g	z	n		1ste terug	-1	5 mm/s	10 mm			0	n	2836	5991	0.473
B22_4_25003	g	z	n		2de	1	10 mm/s	20 mm			20	y	3531	5991	0.589
B22_4_25004	g	z	n		2de	1	20 mm/s	20 mm			40	y	3903	5991	0.651
B22_4_25005	g	z	n		2de terug	-1	10 mm/s	20 mm			20	n	2823	5991	0.471
B22_4_25006	g	z	n		2de terug	-1	20 mm/s	20 mm			0	n	3127	5991	0.522
B22_4_25007	g	z	n		3de	1	30 mm/s	30 mm			30	n	3439	5991	0.574
B22_4_25008	g	z	n		3de terug	-1	5 mm/s	30 mm			0	n	3107	5991	0.519
B22_4_25009	g	z	n		4de	1	5 mm/s	40 mm	los		40	n	3905	5991	0.652
B22_4_26											0				0.560
B22_4_26001	g	z	n		1ste	1	5 mm/s	10 mm			10	y	3593	5991	0.600
B22_4_26002	g	z	n		1ste terug	-1	5 mm/s	10 mm			0	n	2842	5991	0.474
B22_4_26003	g	z	n		2de	1	5 mm/s	10 mm	doorstart	1	10	n	2940	5991	0.491
B22_4_26004	g	z	n		2de	1	5 mm/s	10 mm	doorstart	2	20	y	3598	5991	0.601
B22_4_26005	g	z	n		2de	1	5 mm/s	10 mm	doorstart	3	30	y	3843	5991	0.641

codenummer	onderlaag grof / fijn steenslag / rond grind / metseizand	inwassing / ingezand	droog / nat / onder water	proefstuk vierkant / Lang	beweging	pos / neg richting	snelheid bewegen	lengte glijweg	bijzonderheid	doorstart	positie tov start	onverstoord = y verstoord = n	max horizontale kracht	verticale belasting	wrijvings- coëfficiënt
B22_4_26006	g	z	n		2de	1	5 mm/s	10 mm	doorstart	4	40	y	3663	5991	0.611
B22_4_26007	g	z	n		2de terug	-1	5 mm/s	20 mm			20	n	2802	5991	0.468
B22_4_26008	g	z	n		2de terug	-1	20 mm/s	20 mm			0	n	3150	5991	0.526
B22_4_26009	g	z	n		3de	1	5 mm/s	20 mm	165,8 kg		20	n	3174	7617	0.417
B22_4_26010	g	z	n		3de	1	5 mm/s	20 mm	los		40	n	4651	5991	0.776
B42_4_31											0				0.614
B42_4_31001	f	z	n		1ste	1	5 mm/s	10 mm			10	y	3475	5991	0.580
B42_4_31002	f	z	n		1ste terug	-1	5 mm/s	10 mm			0	n	2948	5991	0.492
B42_4_31003	f	z	n		2de	1	10 mm/s	20 mm			20	y	4421	5991	0.738
B42_4_31004	f	z	n		2de	1	20 mm/s	20 mm			40	y	3783	5991	0.631
B42_4_31005	f	z	n		2de terug	-1	5 mm/s	20 mm			20	n	3151	5991	0.526
B42_4_31006	f	z	n		2de terug	-1	10 mm/s	20 mm			0	n	3604	5991	0.602
B42_4_31007	f	z	n		3de	1	30 mm/s	30 mm			30	n	3496	5991	0.584
B42_4_31008	f	z	n		3de terug	-1	5 mm/s	30 mm			0	n	3659	5991	0.611
B42_4_31009	f	z	n		4de	1	2 mm/s	20 mm			20	n	3214	5991	0.536
B42_4_31010	f	z	n		4de	1	1 mm/s	20 mm			40	n	3907	5991	0.652
B42_4_31011	f	z	n		4de terug	-1	10 mm/s	100 mm			-60	y	4478	5991	0.747
B42_4_31012	f	z	n		5de	1	10 mm/s	100 mm			40	n	4016	5991	0.670
B62_4_37											0				0.680
B62_4_37001	z	z	n		1ste	1	5 mm/s	10 mm			10	y	4492	5991	0.750
B62_4_37002	z	z	n		1ste terug	-1	5 mm/s	10 mm			0	n	3771	5991	0.629
B62_4_37003	z	z	n		2de	1	10 mm/s	40 mm			40	y	4275	5991	0.714
B62_4_37004	z	z	n		2de terug	-1	5 mm/s	20 mm			20	n	3820	5991	0.638
B62_4_37005	z	z	n		2de terug	-1	10 mm/s	20 mm			0	n	4324	5991	0.722

codenummer	onderlaag grof / fijn steenslag / rond grind / metseizand	inwassing / ingezand	droog / nat / onder water	proefstuk vierkant / Lang	beweging	pos / neg richting	snelheid bewegen	lengte glijweg	bijzonderheid	doorstart	positie tov start	onverstoord = y verstoord = n	max horizontale kracht	verticale belasting	wrijvings- coëfficiënt
B62_4_37006	z	z	n		3de	1	5 mm/s	10 mm	doorstart	1	10	n	3861	5991	0.644
B62_4_37007	z	z	n		3de	1	5 mm/s	10 mm	doorstart	2	20	n	3990	5991	0.666
B62_4_37008	z	z	n		3de	1	5 mm/s	10 mm	doorstart	3	30	n	3997	5991	0.667
B62_4_37009	z	z	n		3de	1	5 mm/s	10 mm	doorstart	4	40	n	4008	5991	0.669
B62_4_37010	z	z	n		3de terug	-1	5 mm/s	40 mm			0	n	4146	5991	0.692
B62_4_37011	z	z	n		4de	1	30 mm/s	30 mm			30	n	4055	5991	0.677
B62_4_37012	z	z	n		4de terug	-1	10 mm/s	100 mm			-70	y	4232	5991	0.706
B62_4_37013	z	z	n		5de	1	10 mm/s	100 mm			30	n	3968	5991	0.662
C10_1_13											0				0.766
C10_1_13001	g	i			1ste	1	5 mm/s	10 mm			10	y	4267	5874	0.726
C10_1_13002	g	i			1ste terug	-1	5 mm/s	10 mm			0	n	4077	5874	0.694
C10_1_13003	g	i			2de	1	10 mm/s	20 mm			20	y	4267	5874	0.726
C10_1_13004	g	i			2de	1	5 mm/s	20 mm			40	y	5379	5874	0.916
C10_1_13005	g	i			2de terug	-1	10 mm/s	20 mm			20	n	3813	5874	0.649
C10_1_13006	g	i			2de terug	-1	20 mm/s	20 mm			0	n	4668	5874	0.795
C10_1_13007	g	i			3de	1	5 mm/s	30 mm			30	n	4976	5874	0.847
C10_1_13008	g	i			3de terug	-1	5 mm/s	20 mm	sprong: t		10	n	3930	5874	0.669
C10_1_13009	g	i			4de	1	5 mm/s	30 mm	los		40	n	5135	5874	0.874
C10_1_14											0				0.719
C10_1_14001	g	i			1ste	1	5 mm/s	10 mm			10	y	4162	5927	0.702
C10_1_14002	g	i			1ste terug	-1	5 mm/s	10 mm			0	n	3754	5927	0.633
C10_1_14003	g	i			2de	1	5 mm/s	10 mm	doorstart	1	10	n	4279	5927	0.722
C10_1_14004	g	i			2de	1	5 mm/s	10 mm	doorstart	2	20	y	4862	5927	0.820
C10_1_14005	g	i			2de	1	5 mm/s	10 mm	doorstart	3	30	y	4526	5927	0.764

codenummer	onderlaag grof / fijn steenslag / rond grind / metseizand	inwassing / ingezand	droog / nat / onder water	proefstuk vierkant / Lang	beweging	pos / neg richting	snelheid bewegen	lengte glijweg	bijzonderheid	doorstart	positie tov start	onverstoord = y verstoord = n	max horizontale kracht	verticale belasting	wrijvings- coëfficiënt
C10_1_14006	g	i			2de	1	5 mm/s	10 mm	doorstart	4	40	y	4612	5927	0.778
C10_1_14007	g	i			2de terug	-1	5 mm/s	20 mm			20	n	3905	5927	0.659
C10_1_14008	g	i			2de terug	-1	10 mm/s	20 mm			0	n	4310	5927	0.727
C10_1_14009	g	i			3de	1	2 mm/s	20 mm			20	n	3542	5927	0.598
C10_1_14010	g	i			3de	1	1 mm/s	20 mm			40	n	4656	5927	0.786
D10_1_11											0				0.564
D10_1_11001	g	i			1ste	1	5 mm/s	10 mm			10	y	3521	6848	0.514
D10_1_11002	g	i			1ste terug	-1	5 mm/s	10 mm			0	n	3102	6848	0.453
D10_1_11003	g	i			2de	1	10 mm/s	20 mm			20	y	4107	6848	0.600
D10_1_11004	g	i			2de	1	5 mm/s	20 mm			40	y	4793	6848	0.700
D10_1_11005	g	i			2de terug	-1	10 mm/s	20 mm			20	n	3382	6848	0.494
D10_1_11006	g	i			2de terug	-1	20 mm/s	20 mm			0	n	3842	6848	0.561
D10_1_11007	g	i			3de	1	5 mm/s	30 mm			30	n	3984	6848	0.582
D10_1_11008	g	i			3de terug	-1	5 mm/s	20 mm	sprong: t		10	n	3349	6848	0.489
D10_1_11009	g	i			4de	1	5 mm/s	30 mm	los		40	n	4672	6848	0.682
D10_1_12											0				0.527
D10_1_12001	g	i			1ste	1	5 mm/s	10 mm			10	y	2788	6848	0.407
D10_1_12002	g	i			1ste terug	-1	5 mm/s	10 mm			0	n	3016	6848	0.440
D10_1_12003	g	i			2de	1	5 mm/s	10 mm	doorstart	1	10	n	3612	6848	0.527
D10_1_12004	g	i			2de	1	5 mm/s	10 mm	doorstart	2	20	y	4065	6848	0.594
D10_1_12005	g	i			2de	1	5 mm/s	10 mm	doorstart	3	30	y	4111	6848	0.600
D10_1_12006	g	i			2de	1	5 mm/s	10 mm	doorstart	4	40	y	4180	6848	0.610
D10_1_12007	g	i			2de terug	-1	5 mm/s	20 mm			20	n	2978	6848	0.435
D10_1_12008	g	i			2de terug	-1	10 mm/s	20 mm			0	n	3645	6848	0.532

codenummer	onderlaag grof / fijn steenslag / rond grind / metseizand	inwassing / ingezand	droog / nat / onder water	proefstuk vierkant / Lang	beweging	pos / neg richting	snelheid bewegen	lengte glijweg	bijzonderheid	doorstart	positie tov start	onverstoord = y verstoord = n	max horizontale kracht	verticale belasting	wrijvings- coëfficiënt
D10_1_12009	g	i			3de	1	2 mm/s	20 mm			20	n	3515	6848	0.513
D10_1_12010	g	i			3de	1	1 mm/s	20 mm			40	n	4175	6848	0.610
E10_1_19											0				0.651
E10_1_19001	g	i		L	1ste	1	5 mm/s	10 mm			10	y	7562	11881	0.636
E10_1_19002	g	i		L	1ste terug	-1	5 mm/s	10 mm			0	n	6332	11881	0.533
E10_1_19003	g	i		L	2de	1	10 mm/s	20 mm			20	y	9190	11881	0.774
E10_1_19004	g	i		L	2de	1	5 mm/s	20 mm			40	y	9470	11881	0.797
E10_1_19005	g	i		L	2de terug	-1	10 mm/s	20 mm			20	n	6527	11881	0.549
E10_1_19006	g	i		L	2de terug	-1	20 mm/s	20 mm			0	n	7678	11881	0.646
E10_1_19007	g	i		L	3de	1	5 mm/s	30 mm			30	n	7618	11881	0.641
E10_1_19008	g	i		L	3de terug	-1	5 mm/s	20 mm	sprong: t		10	n	6684	11881	0.563
E10_1_19009	g	i		L	4de	1	5 mm/s	30 mm	los		40	n	8599	11881	0.724
E10_1_20											0				0.584
E10_1_20001	g	i		L	1ste	1	5 mm/s	10 mm			10	y	7017	11881	0.591
E10_1_20002	g	i		L	1ste terug	-1	5 mm/s	10 mm			0	n	5859	11881	0.493
E10_1_20003	g	i		L	2de	1	5 mm/s	10 mm	doorstart	1	10	n	7225	11881	0.608
E10_1_20004	g	i		L	2de	1	5 mm/s	10 mm	doorstart	2	20	y	8184	11881	0.689
E10_1_20005	g	i		L	2de	1	5 mm/s	10 mm	doorstart	3	30	y	8434	11881	0.710
E10_1_20006	g	i		L	2de	1	5 mm/s	10 mm	doorstart	4	40	y	8420	11881	0.709
E10_1_20007	g	i		L	2de terug	-1	5 mm/s	20 mm			20	n	5765	11881	0.485
E10_1_20008	g	i		L	2de terug	-1	10 mm/s	20 mm			0	n	6111	11881	0.514
E10_1_20009	g	i		L	3de	1	2 mm/s	20 mm			20	n	6106	11881	0.514
E10_1_20010	g	i		L	3de	1	1 mm/s	20 mm			40	n	6300	11881	0.530



ROYAL HASKONING

Bijlage 4 Predictie trekproeven

Predictie resultaten trekproef 2 28-jul-03 DJP



z / D	0.4			0.42			0.44			0.46			0.48				
belaste lengte L	2	2	4	1.5	2	4	1	2	4	0.5	2	4	0.25	2	4		
voerspanniveau [m]	1	2	4	1	2	4	1	2	4	1	2	4	1	2	4		
voerspankracht [N/m1]	3450	6900	13800	3450	6900	13800	3450	6900	13800	3450	6900	13800	3450	6900	13800		
momentcapaciteit	207	414	828	217	435	869	228	455	911	238	476	952	248	497	994		
belastingfactor qw/qs																	
1																	
1.1																	
1.2																	
buigend	1.3	75															
moment [Nm]	1.5	193	193														
	1.7		331	331	186												
	2			593	334	334	148										
	2.5				668	668	297	297									
	3					1087		483									
	3.5								725	181							
	4								1001	250							
	5										423						
	6										638						
	7											897	224				
	9											1544	386	386			
	12													712	712		
	15														1136		
belastingfactor qw/qs bij bezwijken	1.52	1.82	2.27	1.76	2.15	2.74	2.27	2.93	3.84	3.91	5.25	7.17	7.30	10.0	14.0		
controle dwarskracht	0.5	1.2	2.1	0.8	1.4	2.3	1.1	1.7	2.7	1.4	2.1	3.0	1.6	2.2	3.3		
wrijvingsfactor	0.35	1.2	2.4	4.8	1.2	2.4	4.8	1.2	2.4	4.8	1.2	2.4	4.8	1.2	2.4		
	0.55	1.9	3.8	7.6	1.9	3.8	7.6	1.9	3.8	7.6	1.9	3.8	7.6	1.9	3.8		
opredende krachten bij bezwijken [kN]																	
1.0	voersp	3.5	6.9	13.8	3.5	6.9	13.8	3.5	6.9	13.8	3.5	6.9	13.8	3.5	6.9	13.8	
	breed	vert	6.7	8.0	10.0	5.8	7.1	9.0	5.0	6.4	8.4	4.3	5.8	7.9	4.0	5.5	7.7
1.1	voersp	3.8	7.6	15.2	3.8	7.6	15.2	3.8	7.6	15.2	3.8	7.6	15.2	3.8	7.6	15.2	
	breed	vert	7.4	8.8	11.0	6.4	7.8	9.9	5.5	7.1	9.3	4.7	6.3	8.7	4.4	6.1	8.5
1.5	voersp	5.2	10.4	20.7	5.2	10.4	20.7	5.2	10.4	20.7	5.2	10.4	20.7	5.2	10.4	20.7	
	breed	vert	10.0	12.0	14.9	8.7	10.6	13.5	7.5	9.6	12.6	6.4	8.6	11.8	6.0	8.3	11.5
opgetilde lengte [m1]																	
2 x 0	1.9	2.3	2.9	1.7	2.1	2.6	1.4	1.9	2.4	1.2	1.7	2.3	1.2	1.6	2.2	2.9	

max
20.7
14.9

Predictie resultaten trekkkrachten proef2 op hydroblocks; krachten in [N]

per blok	rijen voersp	8 middel	6 middel	4 middel	4 hoog	2 middel	2 hoog	1 middel	1 hoog
	5								
	4	77							
	3	218	120						
	2	326	328	241	317				
	1	385	448	583	764	720	984		
								1376	1921
	1	385	448	583	764	720	984		
	2	326	328	241	317				
	3	218	120						
	4	77							
	5								
per rij	5								
	4	459							
	3	1308	720						
	2	1958	1968	1449	1900				
	1	2309	2688	3497	4587	4322	5906		
								8254	11524
	1	2309	2688	3497	4587	4322	5906		
	2	1958	1968	1449	1900				
	3	1308	720						
	4	459							
	5								
		12069	10753	9892	12974	8645	11812	8254	11524

Predictie resultaten trekproef 2

DJP

z / D		0.5			0.5			0.5			0.5			0.5			
belaste lengte L		2			1.5			1			0.5			0.25			
voorspanniveau [m]		1	2	4	1	2	4	1	2	4	1	2	4	1	2	4	
voorspankracht [N/m ¹]		3450	6900	13800	3450	6900	13800	3450	6900	13800	3450	6900	13800	3450	6900	13800	
momentcapaciteit		259	518	1035	259	518	1035	259	518	1035	259	518	1035	259	518	1035	
belastingfactor qw/qs																	
1																	
1.1																	
1.2																	
buigend																	
moment [Nm]		75															
1.5		193	193														
1.7			331	331	186												
2				593	334	334	148										
2.5					668	668	297	297									
3						1087		483									
3.5									725	181							
4									1001	250							
5											423						
6											638						
7												897	224				
9												1544	386	386			
12														712	712		
15															1136		
belastingfactor qw/qs bij bezwijken		1.61	1.97	2.51	1.85	2.28	2.94	2.37	3.09	4.06	4.06	5.44	7.43	7.43	10.2	14.3	
controle dwarskracht		0.5	1.5	2.6	1.0	1.6	2.6	1.2	1.9	2.9	1.4	2.2	3.2	1.6	2.3	3.3	
wrijvingsfactor		0.35	1.2	2.4	4.8	1.2	2.4	4.8	1.2	2.4	4.8	1.2	2.4	4.8	1.2	2.4	
0.55		1.9	3.8	7.6	1.9	3.8	7.6	1.9	3.8	7.6	1.9	3.8	7.6	1.9	3.8	7.6	
optredende krachten bij bezwijken [kN]																	
1.0	voersp	3.5	6.9	13.8	3.5	6.9	13.8	3.5	6.9	13.8	3.5	6.9	13.8	3.5	6.9	13.8	
	breed	vert	7.1	8.7	11.0	6.1	7.5	9.7	5.2	6.8	8.9	4.5	6.0	8.2	4.1	5.6	7.8
1.5	voersp	5.2	10.4	20.7	5.2	10.4	20.7	5.2	10.4	20.7	5.2	10.4	20.7	5.2	10.4	20.7	
	breed	vert	10.6	13.0	16.5	9.1	11.2	14.5	7.8	10.2	13.4	6.7	9.0	12.2	6.1	8.4	11.8
opgetilde lengte [m1]																	
2 x0		2.1	2.5	3.2	1.8	2.2	2.8	1.5	2.0	2.6	1.3	1.7	2.4	1.2	1.6	2.3	3.2

max

20.7

16.5

Predictie resultaten trekproef 2

DJP

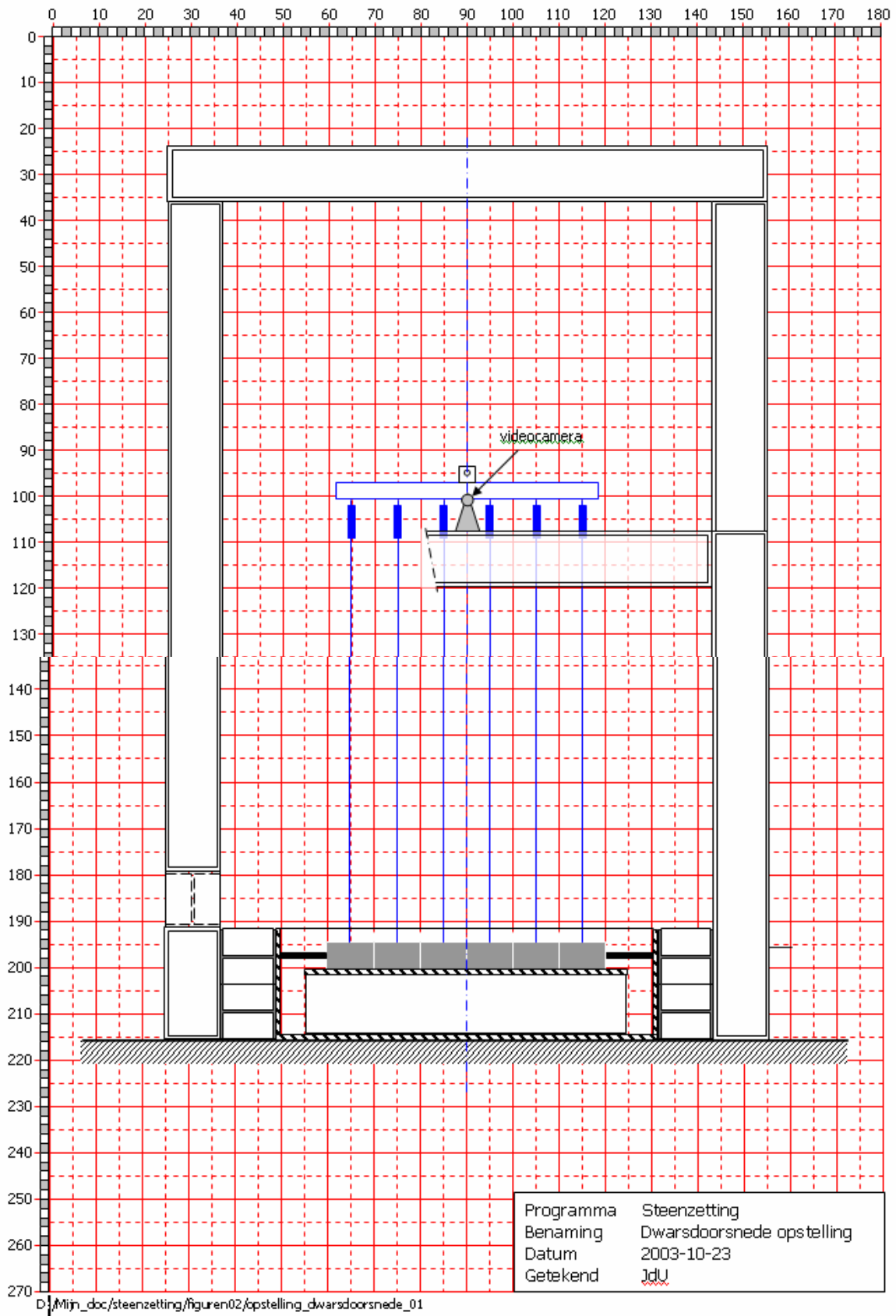
		0.5			0.5		
z / D							
belaste lengte L		1.02		0.34			
voerspanniveau [m]		1	2	4	1	2	4
voerspankracht [N/m1]		3450	6900	13800	3450	6900	13800
momentcapaciteit		259	518	1035	259	518	1035
belastingfactor qw/qs							
	1						
	1.1						
	1.2						
buigend	1.3						
moment [Nm]	1.5						
	1.7						
	2						
	2.5						
	3		503				
	3.5		754	754			
	4			1041			
	5						
	6						
	7				415		
	9				714	714	
	12					1316	
	15						
belastingfactor qw/qs bij bezwijken							
		3.03	3.99		7.69	10.60	
controle dwarskracht		1.9	2.9		2.2	3.3	
wrijvingsfactor 0.35		2.4	4.8		2.4	4.8	
0.55		3.8	7.6		3.8	7.6	
optreedende krachten bij bezwijken [kN]							
1.0	voersp	6.9	13.8		6.9	13.8	
breed	vert	6.8	8.9		5.7	7.9	
1.1	voersp	7.6	15.2		7.6	15.2	max
breed	vert	7.47	9.83		6.31	8.71	15.2
opgetilde lengte [m1]							9.8
2 x0		2.0	2.6		1.7	2.3	2.6



ROYAL HASKONING

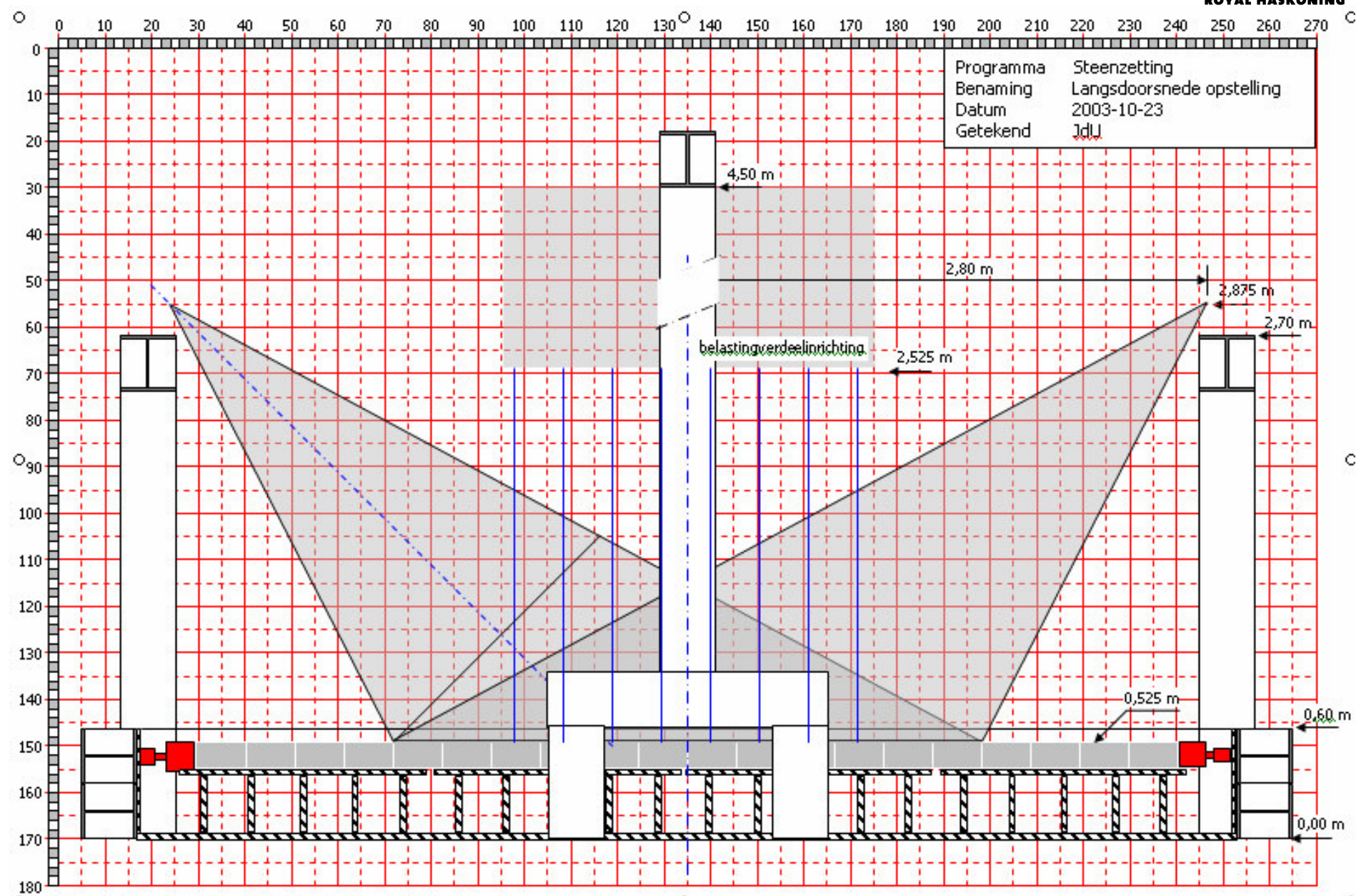
Bijlage 5

Tekeningen proefopstelling trekproeven (tekeningen: ir. J.A. den Uijl, TU Delft)

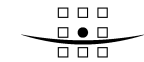




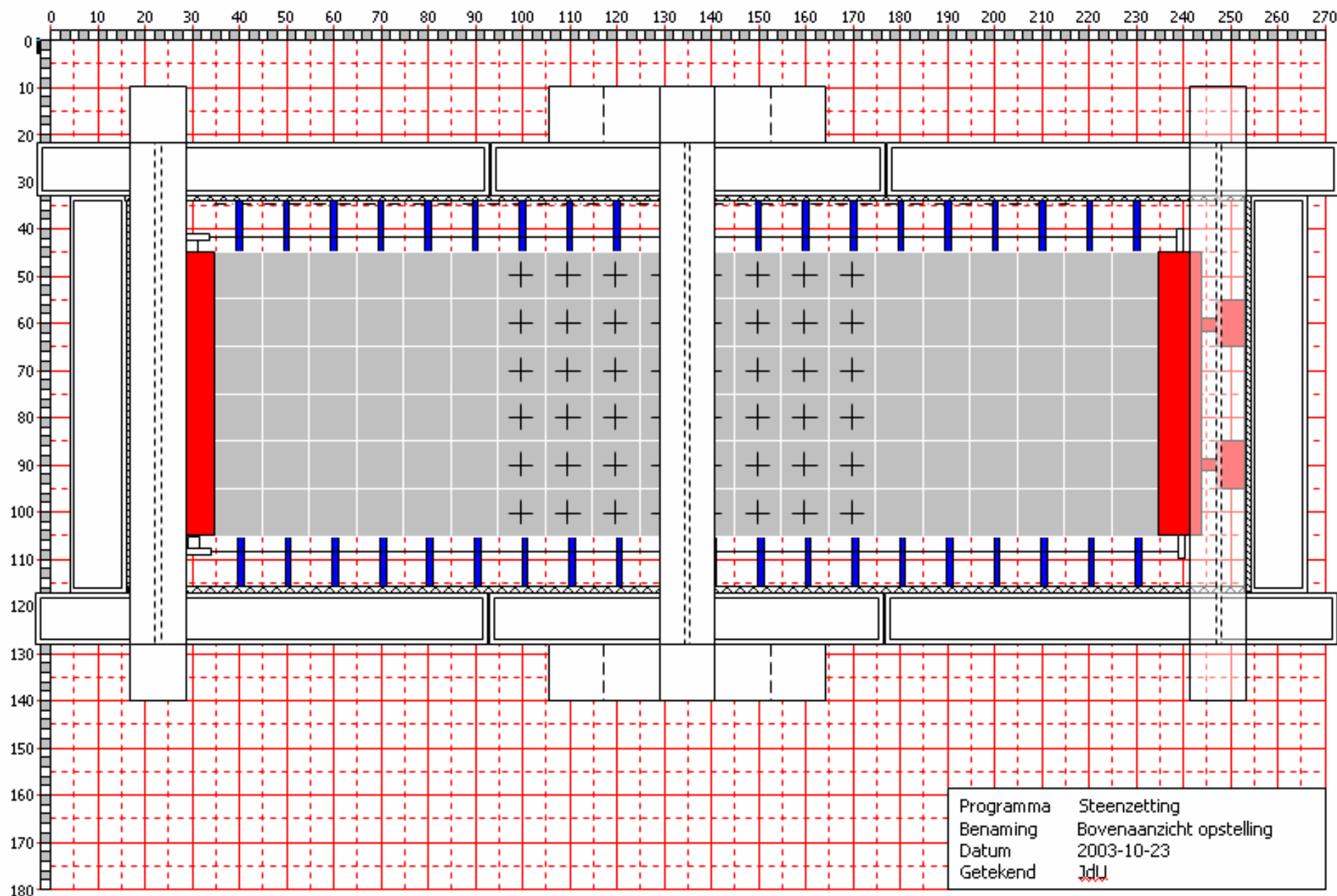
ROYAL HASKONING

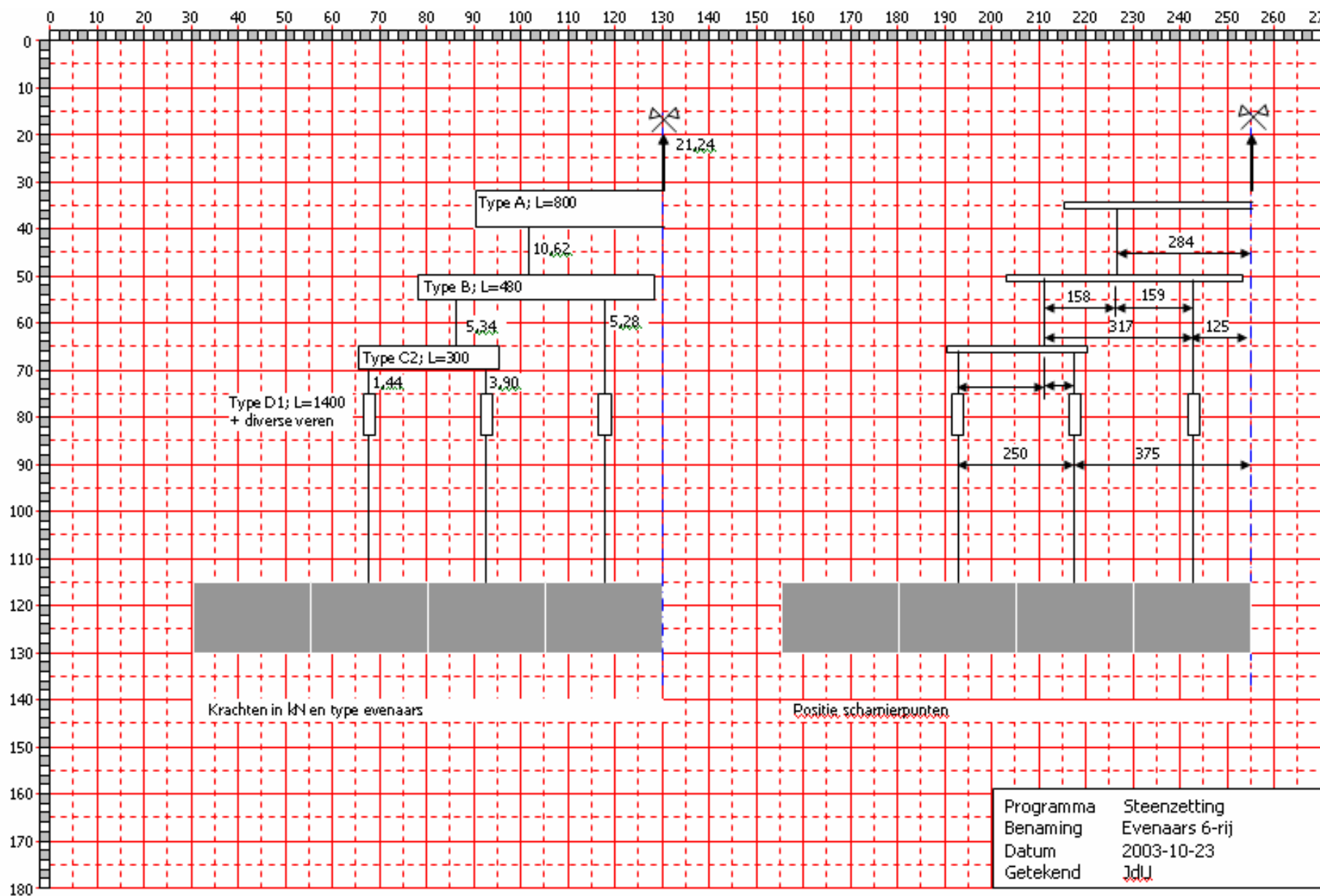


Programma	Steenzetting
Benaming	Langsdoorsnede opstelling
Datum	2003-10-23
Getekend	IdU



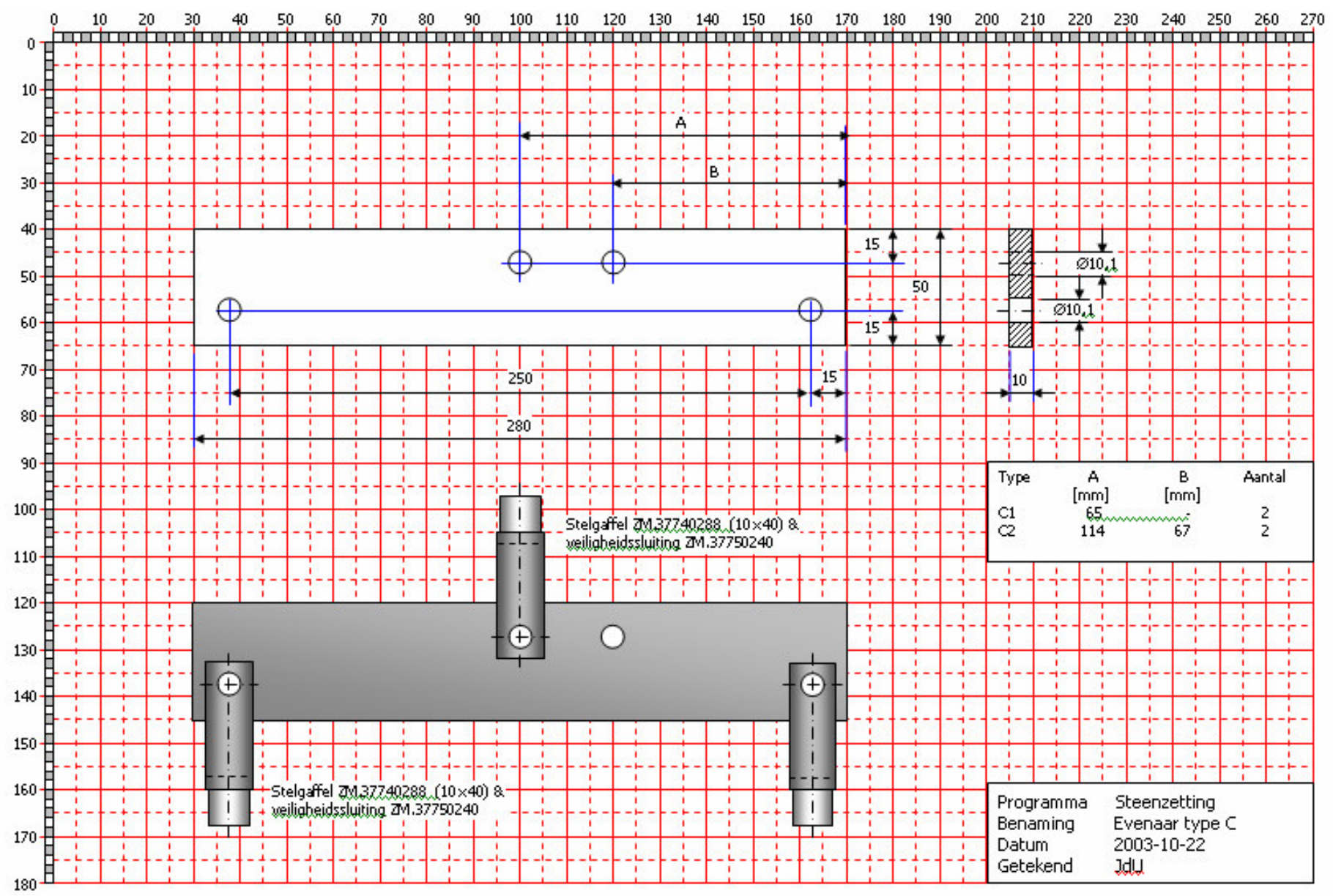
ROYAL HASKONING







ROYAL HASKONING





ROYAL HASKONING

Bijlage 6

Programma en samenvatting resultaten trekproeven



code	Elementen	aantal rijen	inwassing	normaal-kracht	eerst inwassen, dan voorspannen	datum uitvoering	predictie clean	gewicht	predictie corr voor gew	maximale kracht
S24	Hydroblocks	1	geen	2		21-jan	8.60	300	7.48	5.49
S25	Hydroblocks	1	geen	2		21-jan	8.60	300	7.48	5.36
S26	Hydroblocks	1	ingewassen	2		21/22-jan	8.60	325	8.10	5.79
S27	Hydroblocks	1	ingewassen	2		22/23-jan	8.60	325	8.10	5.78
S28	Hydroblocks	1	ingewassen	4		23-jan	12.00	325	11.30	6.94
S29	Hydroblocks	1	ingewassen	4		23/26-jan	12.00	325	11.30	6.84
S30	Hydroblocks	1	ingewassen	4	ja	26-jan	12.00	325	11.30	6.93
S31	Hydroblocks	1	ingewassen	4	ja	27-jan	12.00	325	11.30	7.15
S01	Hydroblocks	2	geen	2		15-dec	9.40	300	8.17	6.01
S02	Hydroblocks	2	geen	2		15-dec	9.40	300	8.17	6.12
S03	Hydroblocks	2	geen	4		15-dec	12.84	300	11.17	7.25
S04	Hydroblocks	2	geen	4		15-dec	12.84	300	11.17	7.30
S05	Hydroblocks	2	geen	4		16-dec	12.84	300	11.17	6.89
S06	Hydroblocks	2	geen	4		16-dec	12.84	300	11.17	7.66
S07	Hydroblocks	2	ingewassen	2		16-dec	9.40	325	8.86	7.49
S08	Hydroblocks	2	ingewassen	2		18-dec	9.40	325	8.86	7.11
S09	Hydroblocks	2	ingewassen	4		22-dec	12.84	325	12.10	8.00
S10	Hydroblocks	2	ingewassen	4		23-dec	12.84	325	12.10	7.90
S11	Hydroblocks	2	ingewassen	2	ja	24-dec	9.40	325	8.86	7.11
S12	Hydroblocks	2	ingewassen	2	ja	24-dec	9.40	325	8.86	6.72
S13	Hydroblocks	2	ingewassen	4		6-jan	12.84	325	12.10	7.78
S14	Hydroblocks	2	ingewassen	4		6-jan	12.84	325	12.10	7.90
S36	Hydroblocks	2	ingezand	2		4-feb	9.40	330	8.99	6.31
S37	Hydroblocks	2	ingezand	2		4-feb	9.40	330	8.99	6.36
S15	Hydroblocks	4	geen	2		8-jan	10.95	300	9.52	6.53
S16	Hydroblocks	4	ingewassen	2		9-jan	10.95	325	10.32	7.08
S17	Hydroblocks	4	ingewassen	4		12-jan	14.37	325	13.54	8.21
S18	Hydroblocks	6	geen	2		14-jan	12.66	300	11.01	7.83
S19	Hydroblocks	6	geen	2		14-jan	12.66	300	11.01	7.95
S20	Hydroblocks	6	ingewassen	2		15-jan	12.66	325	11.93	8.77
S21	Hydroblocks	6	ingewassen	2		15/19-jan	12.66	325	11.93	8.79
S22	Hydroblocks	6	ingewassen	2	ja	19-jan	12.66	325	11.93	8.89
S23	Hydroblocks	6	ingewassen	2	ja	20-jan	12.66	325	11.93	8.77
S34	Hydroblocks	6	ingezand	2		2-feb	12.66	330	12.11	8.41
S35	Hydroblocks	6	ingezand	2		3-feb	12.66	330	12.11	8.53
S32	Hydroblocks	8	geen	2		29-jan	14.99	300	13.03	8.09
S33	Hydroblocks	8	ingewassen	2		29-jan	14.99	325	14.12	8.84
S38	Basalton	2	geen	2		24-feb	6.31	312	5.71	2.91
S39	Basalton	2	geen	4		25-feb	8.71	312	7.88	2.89
S40	Basalton	2	ingewassen	2		25-feb	6.31	323	5.91	4.00



code	Elementen	aantal rijen	inwassing	normaal-kracht	eerst inwassen, dan voorspannen	datum uitvoering	predictie clean	gewicht	predictie corr voor gew	maximale kracht
S41	Basalton	2	ingewassen	2		26-feb	6.31	323	5.91	3.83
S42	Basalton	2	ingewassen	4		27-feb	8.71	323	8.15	3.83
S43	Basalton	2	ingewassen	4		27-feb	8.71	323	8.15	3.95
S44	Basalton	6	geen	2		2-feb	7.47	312	6.76	4.02
S45	Basalton	6	geen	2		2-feb	7.47	312	6.76	3.78
S46	Basalton	6	ingewassen	2		3-feb	7.47	323	6.99	4.96
S47	Basalton	6	ingewassen	2		3-feb	7.47	323	6.99	5.23
S48	Basalton	6	ingewassen	4		4-feb	9.83	323	9.20	4.82
S49	Basalton	6	ingewassen	4		4-feb	9.83	323	9.20	4.87
W01	Basalton	6	ingewassen	2	ja	23-jun	7.47	323	6.99	4.65
W02	Basalton	6	ingewassen	2		23/24-jun	7.47	323	6.99	4.94
W03	Basalton	2	ingewassen	2	ja	24-jun	6.31	323	5.91	3.95
W04	Basalton	2	ingewassen	2		25-jun	6.31	323	5.91	4.31
W05	Hydroblocks	6	ingewassen	2	ja	28-jun	12.66	325	11.01	8.94
W06	Hydroblocks	6	geen	2		29-jun	12.66	300	11.93	8.82

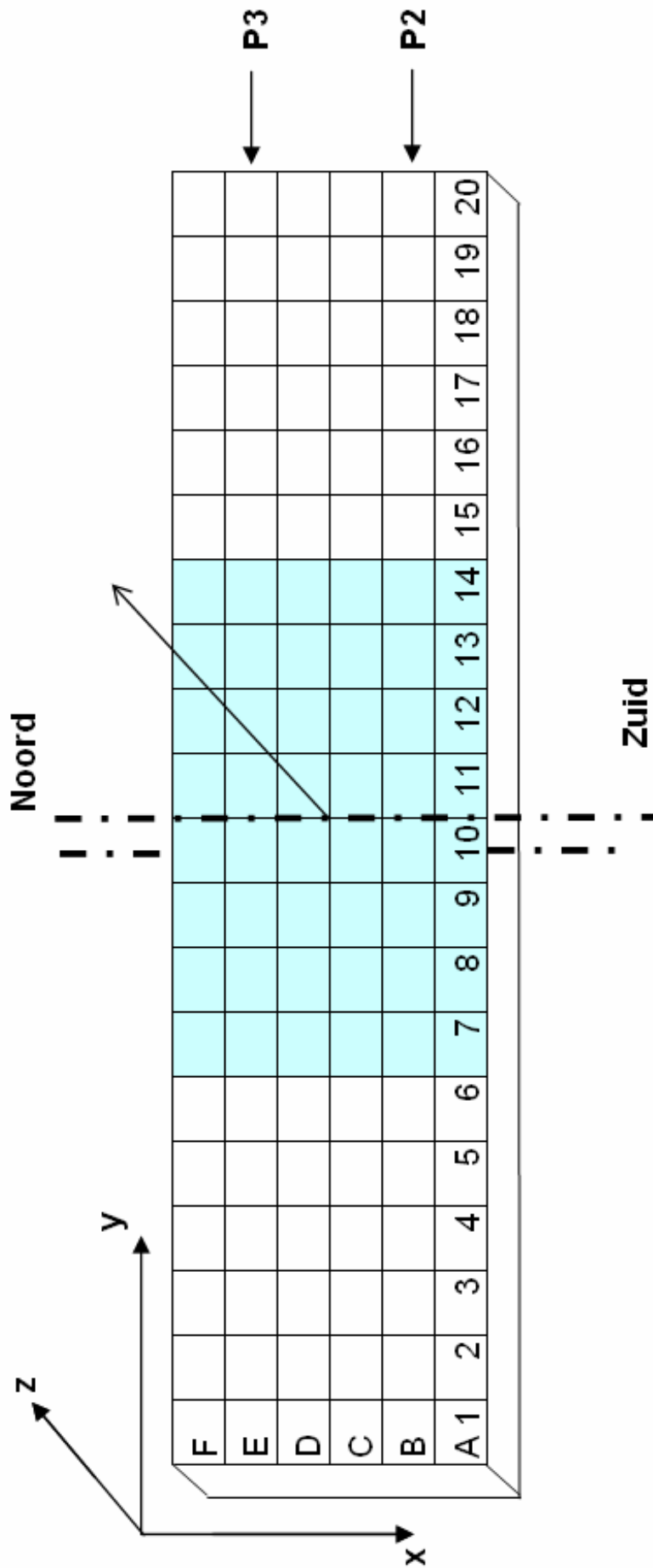
code	Hydroblocks, Basalton	rijen	inwassing, geen, inzanding	voorspanning [m ² /m bekleding]	max F [kN]	uit file:	bijbehorende verplaatsing u [mm]	uit file:	typ pt (F,u) [kN] [mm]		$y = a x^b$	
									a	b		
S01	H	2	g	2	6.09	S01E	15.0		2.52	1.62	2.08	0.40
S02	H	2	g	2	6.02	S02I	19.2		3.58	2.28	2.93	0.24
S03	H	2	g	4	7.25	S03I	25.0		2.29	1.21	2.12	0.38
S04	H	2	g	4	7.30	S04I	31.4		2.74	0.52	3.21	0.24
S05	H	2	g	4	6.99	S05J	28.9		3.01	1.38	2.75	0.28
S06	H	2	g	4	7.66	S06I	15.3		4.38	2.06	3.58	0.28
S07	H	2	i	2	7.49	S07E	9.2		3.18	0.51	3.89	0.30
S08	H	2	i	2	7.15	S08F	12.9		4.72	1.70	4.23	0.21
S09	H	2	i	4	8.00	S09G	21.2		4.51	0.82	4.68	0.18
S10	H	2	i	4	8.07	S10G	17.9		4.88	1.44	4.54	0.20
S11	H	2	i	2	7.11	S11F	23.6		4.69	1.00	4.69	0.13
S12	H	2	i	2	6.72	S12B	10.7		5.04	1.30	4.86	0.14
S13	H	2	i	4	7.78	S13C	16.4		5.11	2.06	4.41	0.20
S14	H	2	i	4	7.90	S14C	24.2		5.11	2.21	4.42	0.18
S15	H	4	g	2	6.58	S15G	17.0		3.88	2.77	2.88	0.29
S16	H	4	i	2	7.08	S16C	24.1		4.80	1.66	4.46	0.15
S17	H	4	i	4	8.21	S17G	14.0	S17D	5.99	5.11	3.60	0.31
S18	H	6	g	2	7.88	S18G	32.0		4.86	0.90	4.93	0.14
S19	H	6	g	2	7.97	S19B	27.5		5.64	1.26	5.49	0.11
S20	H	6	i	2	8.77	S20G	15.1		7.40	2.76	6.69	0.10
S21	H	6	i	2	8.96	S21D	15.3		4.25	0.54	4.87	0.22
S22	H	6	i	2	8.89	S22B	22.1		6.33	0.78	6.49	0.10
S23	H	6	i	2	8.77	S23F	26.1		3.86	1.39	3.52	0.28
S24	H	1	g	2	5.49	S24D	27.1		3.25	1.86	2.88	0.20
S25	H	1	g	2	5.36	S25D	23.4		2.89	1.15	2.81	0.20
S26	H	1	i	2	5.79	S26C	12.5	S26B	1.83	0.76	2.04	0.41
S27	H	1	i	2	5.78	S27F	16.3	S27B	3.24	0.81	3.37	0.19
S28	H	1	i	4	6.94	S28C	15.0	S28B	3.71	1.10	3.63	0.24
S29	H	1	i	4	6.84	S29C	16.0	S29C	2.30	0.86	2.44	0.37
S30	H	1	i	4	6.93	S30D	33.5		3.60	0.59	3.92	0.16
S31	H	1	i	4	7.15	S31G	21.0	S31B	2.21	0.91	2.29	0.37
S32	H	8	g	2	8.14	S32I	31.0		4.28	1.59	3.87	0.22
S33	H	8	i	2	8.84	S33C	28.0		3.44	0.42	4.18	0.23
S34	H	6	z	2	8.53	S34G	35.2		3.54	1.55	3.12	0.28
S35	H	6	z	2	8.41	S35F	29.7		5.89	1.58	5.57	0.12
S36	H	2	z	2	6.31	S36C	22.0		2.95	3.35	1.81	0.40
S37	H	2	z	2	6.36	S37C	17.1		4.94	2.79	4.29	0.14
S38	B	2	g	2	2.91	S38E	25.0		1.04	1.67	0.86	0.38
S39	B	2	g	4	3.01	S39H	35.0		1.40	2.04	1.16	0.27
S40	B	2	i	2	4.00	S40D	43.0	S40C	2.62	1.35	2.53	0.12



code	Hydroblocks, Basalton	rijen	inwassing, geen, inzanding	voorspanning [m ² /m bekleding]	max F [kN]	uit file:	bijbehorende verplaatsing u [mm]	uit file:	typ pt (F,u) [kN] [mm]		$y = a x^b$	
											a	b
S41	B	2	i	2	3.83	S41D	22.0	S41C	2.03	0.53	2.26	0.17
S42	B	2	i	4	3.83	S42E	6.0	S42A	3.10	1.79	2.80	0.18
S43	B	2	i	4	3.95	S43B	21.7		2.97	1.26	2.90	0.10
S44	B	6	g	2	4.02	S44E	50.0	S44C	1.79	0.96	1.80	0.21
S45	B	6	g	2	3.85	S45H	27.9		3.17	1.38	3.11	0.06
S46	B	6	i	2	4.96	S46C	10.8	S46A	1.92	0.17	2.88	0.23
S47	B	6	i	2	5.23	S47C	27.9		3.67	1.02	3.66	0.11
S48	B	6	i	4	4.82	S48E	21.9		3.61	0.82	3.67	0.09
S49	B	6	i	4	4.87	S49B	17.6		3.37	1.09	3.33	0.13
W01	B	6	i	2	4.65	W01G	31.7	W01C	2.31	0.07	3.12	0.12
W02	B	6	i	2	4.94	W02B	17.3		3.05	0.53	3.33	0.14
W03	B	2	i	2	3.95	W03C	26.0	W03B	2.35	0.28	2.72	0.12
W04	B	2	i	2	4.31	W04F	13.6		2.17	0.11	2.98	0.14
W05	H	6	i	2	8.94	W05I	32.1		3.87	0.15	5.22	0.16
W06	H	6	g	2	8.82	W06D	25.6		3.82	0.78	4.05	0.24

Bijlage 7

Meetdata en logboek trekproeven 2 & 3



Resultaten proeven met hydroblocks

Experiment S01: 2 rijen, 10,4 kN voorspanning, geen inwassing			
proef	verplaat-sing (mm)	kracht (kN)	beschrijving
S01A	10	4.58	veel losse stenen. een paar schieten tot 5 cm omhoog
S01B	10	5.85	twee stenen los en hoger dan de anderen, schuin getrokken: noordkant meer omhoog
S01C	10	4.99	
S01D	10	5.01	
S01E	20	6.01	
S01F	20	5.60	weer schuin getrokken: 2 cm aan zuidkant, 6 cm aan noordkant
S01G	20	5.46	
S01H	20	4.99	
S01I	50	5.42	tijdens de hele proef heeft er een schot tussen de eindplaat en de bak gestaan, waardoor de
S01J	50	5.47	werkelijke voorspanning in de zetting wellicht hoger was.

Experiment S02: 2 rijen, 10.4 kN voorspanning. geen inwassing			
	verplaat-sing (mm)	kracht (kN)	Beschrijving
S02A	10	4.70	stenen vooraf van plaats verwisseld om losse stenen eruit te halen, 1 losse steen komt ver omhoog
S02B	10	4.60	zelfde blok komt omhoog
S02C	10	4.50	B11 los
S02D	10	4.53	D11 los
S02E	20	5.13	
S02F	20	5.01	
S02G	20	5.01	B10 en D11 omhoog,
S02H	20	5.30	groot verschil in noord en zuid kant
S02I	50	6.02	B11, B10, D10 en D11 gaan meer omhoog dan de rest.
S02J	50	5.90	
S02K	50	6.12	bogen D en B zijn niet doorgezet. noordkant meer omhoog
S02L	50	6.09	

Experiment S03: 2 rijen, 20.7 kN voorspanning. Geen inwassing			
	verplaat-sing (mm)	kracht (kN)	Beschrijving
S03A	10	4.60	
S03B	10	4.87	
S03C	10	4.82	
S03D	10	4.58	
S03E	20	5.25	
S03F	20	5.44	
S03G	20	5.42	
S03H	20	5.35	
S03I	50	7.25	
S03J	50	6.58	
S03K	50	7.08	
S03L	50	6.79	

Experiment S04: 2 rijen, 20.7 kN voorspanning. geen inwassing			
	verplaat-sing (mm)	kracht (kN)	beschrijving
S04A	10	4.72	Langzaam, B10 komt als eerst omhoog. ondanks verwisselen stenen E10/11 en B10/11 voor de proef
S04B	10	4.55	Snel, terugzakken gaat goed en zelfde steen komt op
S04C	10	4.22	Langzaam
S04D	10	4.72	snel
S04E	20	6.19	Langzaam. ook B11 en D10 komen snel omhoog
S04F	20	5.71	Snel
S04G	20	6.48	Langzaam, D11 ook
S04H	20	5.90	Snel
S04I	50	7.30	Beide zijden (A en F) worden gelijkmatig opgelicht
S04J	50	7.06	Bij snellere verplaatsing A kant meer omhoog (7cm <-> 3 cm). pendels A10/11 vallen
S04K	50	7.15	Bij ong. 10 cm vallen drie pendels bij F.
S04L	50	7.08	

Experiment S05: 2 rijen, 20.7 kN voorspanning. geen inwassing			
	verplaat-sing (mm)	kracht (kN)	beschrijving
S05A	10	5.18	
S05B	10	5.44	
S05C	10	4.74	
S05D	10	5.59	
S05E	20	5.76	
S05F	20	5.49	
S05G	20	5.97	
S05H	20	5.59	
S05I	50	6.77	
S05J	50	6.89	
S05K	50	6.84	

Experiment S05: 2 rijen, 20.7 kN voorspanning. geen inwassing			
	verplaat-sing (mm)	kracht (kN)	beschrijving
S06A	10	6.38	A-kant meer omhoog. maar geen losse stenen
S06B	10	6.84	vooraf: rij B en rij D in belaste gebied verwisseld, B was er moeilijk in te krijgen
S06C	10	6.50	
S06D	10	7.20	
S06E	20	7.49	
S06F	20	7.49	
S06G	20	7.11	
S06H	20	6.82	
S06I	50	7.66	echt mooi gelijk omhoog overal
S06J	50	7.66	lange boog van ongeveer 8 stenen
S06K	50	7.64	
S06L	50	7.71	

Experiment S07: 2 rijen, 10.4 kN voorspanning, ingewassen			
	verplaat-sing (mm)	kracht (kN)	Beschrijving
S07A	10	7.06	veel gekraak van de inwassing
S07B	10	7.42	
S07C	10	6.99	2 stenen aan buitenkant eruit doordat de inwassing er aan de binnenkant tussen zat
S07D	10	7.08	
S07E	20	7.49	Er valt veel inwasmateriaal tussen. de middelste twee breedterijen liggen 1 cm hoger.
S07F	20	6.79	A10 en A11 erg omhoog
S07G	50	7.00	door naar 5 cm. zonder zakken
S07H	10	6.67	F10 en F11 schieten eruit
S07I	20	7.11	
S07J	50	6.28	Aan F-kant de meeste stenen omhoog

Experiment S08: 2 rijen, 10.4 kN voorspanning, ingewassen			
	verplaat-sing (mm)	kracht (kN)	Beschrijving
S08A	10	6.17	B10 en B11 hoger
S08B	10	6.09	A10 en A11 beetje schuin
S08C	10	6.96	A rijen meest omhoog
S08D	20	7.11	verschil tussen A en F zet zich door. Voegen in het midden zijn leeg, afnemend naar de zijkant.
S08E	50	7.03	
S08F	50	7.15	
S08G	50	7.03	evenaar omgedraaid. gelijk bezwijken langs de middellijn

Experiment S09: 2 rijen, 20.7 kN voorspanning, ingewassen			
	verplaat-sing (mm)	kracht (kN)	beschrijving
S09A	10	6.70	nog geen losse stenen, opkomen gaat schoksgewijs
S09B	10	7.54	teruggezakt naar 0
S09C	40	7.78	zonder teruzakken, rij A komt het sterkst op.
S09D	100	7.80	
S09E	10	6.67	
S09F	20	7.23	de haak van E10 schoot los, meting gestopt, volgende vanaf 0 meten
S09G	30	8.00	gelijkmatig omhoog. na de proef niet zakken
S09H	100	7.78	voorspanning twee keer bijgesteld, redelijk gelijk bezwijken

Experiment S10: 2 rijen. 20.7 kN voorspanning. Ingewassen			
	verplaat-sing (mm)	kracht (kN)	Beschrijving
S10A	10	6.79	langdurig geen uitwijking en daarna opeens snel. Regelmatig
S10B	10	6.87	na A weer zakken, A-kant meer omhoog.
S10C	15	7.01	na B zakken
S10D	30	7.90	niet gezakt na C, A-kant meest omhoog, vsp afgelaten ivm te hoog
S10E	100	7.87	A bezwijkt, de stenen lijken eerst iets uit de zetting getrokken te worden en daarna met de
S10F	10	6.96	anderen een boog te vormen, lengte bed gelijk, evenaars

			omgedraaid
S10G	20	8.07	er valt materiaal uit, A-kant omhoog
S10H	100	8.09	erg schuin aan A-kant

Experiment S11: 2 rijen, 10.4 kN voorspanning, ingewassen, pakkingsrek			
	verplaat-sing (mm)	kracht (kN)	Beschrijving
S11A	10	6.77	evenaarsysteem nagelopen en rechter gehangen op het oog
S11B	30		zonder zakken. E10 en E11 iets eruit getrokken
S11C	100	6.96	rij B bezwijkt
S11D	10	6.60	F 3 mm langer dan A, vsp gelijk, door voorspannen 1.6 mm verkorting, A-kant meest. zak na proef
S11E	10	6.60	1 cm niet zakken erna
S11F	20	7.11	lengte voegen blijven vol
S11G	50	6.99	

Experiment S12: 2 rijen, 10.4 kN voorspanning, ingewassen, pakkingsrek			
	verplaat-sing (mm)	kracht (kN)	beschrijving
S12A	10	6.48	
S12B	10	6.72	
S12C	20	6.43	
S12D	50	6.31	
S12E	10	4.63	
S12F	20	6.36	
S12G	50	6.50	

Experiment S13: 20.7 kN voorspanning, 2 rijen, ingewassen			
	verplaat-sing (mm)	kracht (kN)	beschrijving
S13A		7.10	2 mm lengteverschil (F langer) A-kant omhoog, zakken
S13B		7.30	A-kant omhoog, niet zakken
S13C		7.78	geen losse stenen nog, A-kant meer omhoog
S13D		7.68	A10 en A11 eruit
S13E		6.91	evenaars omgedraaid, voorspanningsverschil gecorrigeerd
S13F		7.68	A meer omhoog, geen losse steen
S13G		7.66	A10, B10, A11 en B11 schieten los. uitwijking 180 mm

Experiment S14: 20.7 kN voorspanning, 2 rijen, ingewassen			
	verplaat-sing (mm)	kracht (kN)	Beschrijving
S14A	10	7.80	lengte gelijk, voorspanning gelijk. zakken na proef
S14B	10	7.66	steenslag valt, niet zakken
S14C	20	7.90	A hoger
S14D	50	7.49	A10 en A11 bezwijken
S14E	10	6.86	A meer omhoog
S14F	20	7.54	niet zakken
S14G	50	7.64	

Experiment S15: 4 rijen, 10.4 kN voorspanning, geen inwassing			
	verplaat-sing (mm)	kracht (kN)	beschrijving
S15A	10	6.48	A10 en A11 hangen iets te strak, zakken vsp eraf
S15B	10	6.19	Gelijkmatig, zakken, vsp behouden
S15C	10	6.38	A meer omhoog. zakken. vsp behouden
S15D	10	6.48	D10 zit los, A meer omhoog. zakken. vsp eraf
S15E	20	6.46	zakken en vsp behouden
S15F	20	6.53	Zakken, vsp hersteld
S15G	20	6.48	Zakken, vsp gezakt tot 8, hersteld
S15H	50	6.50	zakken
S15I	50	6.09	D11 en E11 los, F komt bij
S15J	100	6.48	A kapot

Experiment S16: 4 rijen. 10.4 kN voorspanning. inwassing			
	verplaat-sing (mm)	kracht (kN)	Beschrijving
S16A	10	6.67	laten zakken
S16B	10	6.89	regelmatig omhoog, trekkracht iets laten zakken na proef
S16C	20	7.08	A meer omhoog, trek niet laten zakken
S16D	50	6.99	zetting trekt gelijk, geen losse elementen
S16E	10	7.01	vsp corrigeren, evenaars recht gehangen. niet zakken
S16F	20	7.06	vsp 2 is groter
S16G	50	6.86	

Experiment S17: 4 rijen, 10.4 kN voorspanning, inwassing			
	verplaat-sing (mm)	kracht (kN)	beschrijving
S17A	60	6.58	elementen alleen in breedterichting gestuurd, geen lengteverschil, F iets lossier, gelijk omhoog
S17B	10	6.43	gelijke lengte, F11 en C11 los, boog E valt neer
S17C	10	7.68	gelijke lengte
S17D	20	7.93	trek iets laten zakken, gelijk omhoog
S17E	50	7.73	niets aflatendoog E valt neer, boog D, E en F bezwijken
S17F	10	8.14	
S17G		8.21	

Experiment S18: 6 rijen, 10.4 kN voorspanning, geen inwassing			
	verplaat-sing (mm)	kracht (kN)	beschrijving
S18A	10	7.14	evenaar hangt iets schuin door gewicht pennen etc. krachten gelijk E10 E11 los, iets meer omhoog
S18B	10	6.79	Zakken, A10 en A11 liggen los en komen schuin omhoog, trekken bed mee later
S18C	10	7.15	zakken en vsp zakken, vsp gecorrigeerd, A10 en A11 en daarna A9 rn A12 omhoog, schuin
S18D	10	7.68	zakken en vsp eraf, E11 en E12 3 cm omhoog, later ook B11, verder gelijk, zakken, vsp behouden
S18E	20	7.83	draad B10 en E11 iets lossier gezet, rij E los, B10 later ook, veel vsp weg bij zakken
S18F	20	7.80	E10 en E11 en B10 los, onder E11 lag een steentje!

S18G	50	7.88	vsp eraf, bezwijken van alle rijen gelijk
------	----	------	---

Experiment S19: 6 rijen, 10.4 kN voorspanning, geen inwassing			
	verplaat-sing (mm)	kracht (kN)	beschrijving
S19A	10	7.32	vsp verschil gecorrigeerd, zakken en vsp eraf
S19B	20	7.97	E11 iets hoger, maar niet los, gelijkmatig, zakken, vsp eraf
S19C	20	7.90	E11 hoger
S19D	10	7.88	vsp gecorrigeerd, B11 en meer B omhoog, zakken en vsp eraf
S19E	20	7.90	B10 en E11 los, gelijk omhoog
S19F	50	7.88	zakken vsp bijpompen, er springen stenen een stukje omhoog, zonder dat het verband verloren gaat
S19G	50	7.95	vsp bijpompen A10 A11 en B10 B11 bezwijken, A kant hoger, veel verschil in hoogte stenen

Experiment S20: 6 rijen. 10.4 kN voorspanning. inwassing			
	verplaat-sing (mm)	kracht (kN)	beschrijving
S20A	10	8.17	rijen verwisseld ivm slijtage contactvlakken zakken, gelijk
S20B	10	8.41	niet zakken
S20C	20	8.32	niet zakken
S20D	50	8.24	kapot op 6 rijen tegelijk
S20E	10	8.05	
S20F	20	8.74	A meer omhoog
S20G	50	8.77	zetting rechter getrokken, maar bezwijken bij A en B

Experiment S21: 6 rijen. 10.4 kN voorspanning. inwassing			
	verplaat-sing (mm)	kracht (kN)	Beschrijving
S21A	10	8.12	
S21B	20	8.62	
S21C	50	8.50	E11 schiet eruit, A hoger, maar rechtgetrokken, A11 en B11 kapot
S21D	10	8.62	rij F schiet stukje omhoog, gelijkmatig verder
S21E	20	8.79	trek iets laten zakken, F hoger
S21F	50	8.58	E en F kapot

Experiment S22: 6 rijen, 10.4 kN voorspanning, inwassing met pakkingsrek			
	verplaat-sing (mm)	kracht (kN)	Beschrijving
S22A	10	8.60	f iets hoger, beetje laten zakken
S22B	20	8.89	
S22C	50	8.89	gelijkmatig getrokken, nadat A hoger was
S22D	10	7.95	evenaars op nul gesteld (gewicht)
S22E	10	8.41	zakken en voorspanning opvoeren
S22F	20	8.60	trek iets zakken, gelijkmatig op
S22G	50	8.62	D10 en D11 schieten stukje los, later D12 ook, boog blijft in stand, bezwijken bij A

Experiment S23: 6 rijen. 10.4 kN voorspanning. inwassing met pakkingsrek			
	verplaat-sing (mm)	kracht (kN)	beschrijving
S23A	10	8.38	bij grote uitwijking doen de buitenste draden niets meer door scheefstand, zakken
S23B	10	8.58	niet zakken
S23C	20	8.55	niet zakken, gelijk
S23D	50	8.12	uiterste evenaarpositie bereikt, bezwijken bij A en B
S23E	10	7.90	voorspanning bijgesteld, zakken
S23F	50	8.77	

Experiment S24: 1 rij, 10.4 kN voorspanning, geen inwassing			
	verplaat-sing (mm)	kracht (kN)	Beschrijving
S24A	10	5.02	steen F10 wordt scheef getrokken F en vsp laten zakken
S24B	10	4.48	steen D10 iets hoger, F10 weer scheef, F en vsp eraf. Foto 8 is de laatste
S24C	10	5.42	veer B10 te slap, te laat omhoog, F10 scheef, na proef F10 en F11 omgewisseld
S24D	20	5.49	F en vsp eraf. boog B valt neer, A kant meer omhoog
S24E	20	5.44	Gelijkmatig, geen losse stenen
S24F	20	5.32	D10 zette zich, daarna A10 meer omhoog, zakken en vsp terug
S24G	50	5.31	boog D valt weg
S24H	50	5.24	bezwijken bij F, A zakt weer terug

Experiment S25: 1 rij, 10.4 kN voorspanning, geen inwassing			
	verplaat-sing (mm)	kracht (kN)	Beschrijving
S25A	10	4.91	er is een verschil in lengte van 6 mm (rechts langer). D10 ligt al los, na proef zakken F
S25B	10	5.15	boog D laag valt terug
S25C	10	5.07	B12 valt weg, D te veel omhoog, F en vsp eraf
S25D	20	5.36	A kant iets hoger, blok F10 lag hoger, F en vsp zakken
S25E	20	5.17	
S25F	20	5.07	geen vsp eraf, boog B blijft omhoog
S25G	50	5.19	vsp eraf, boog D laag valt weg
S25H	50	5.31	heet I bi TPD file, V zakken, F10 schuin, D9 blijft liggen

Experiment S26: 1 rij, 10.4 kN voorspanning, ingewassen			
	verplaat-sing (mm)	kracht (kN)	Beschrijving
S26A	10	5.15	4 rijen vanaf het midden ingewassen. na proef kracht laten zakken
S26B	10	5.68	kracht iets laten zakken
S26C	50	5.79	heel gelijkmatig, kapot bij E en F
S26D	10	5.42	F10 schiet schuin, D10 ook iets te veel omhoog
S26E	20	5.68	
S26F	50	5.50	A kant trekt gelijk, F en E en D gaan kapot

Experiment S27: 1 rij, 10.4 kN voorspanning, ingewassen			
	verplaat-sing (mm)	kracht (kN)	beschrijving
S27A	10	4.89	5 mm lengte verschil (rechts langer), E10 omhooggetrokken. V laten zaken tot 2 kN
S27B	20	5.66	
S27C	50	5.50	boog E valt terug
S27D	kapot	5.34	kapot bij D E en F
S27E	10	5.62	4 mm lengteverschil, E10 eerst omhoog, boog F daarna
S27F	20	5.78	gelijkmatic maar boog E blijft achter
S27G	50	5.66	F omhoog en bezweken, geen opnames gemaakt

Experiment S28: 1 rij, 20.7 kN voorspanning, ingewassen			
	verplaat-sing (mm)	kracht (kN)	Beschrijving
S28A	10	5.59	4 mm lengte verschil, na proef F en vsp zakken
S28B	10	6.46	na proef iets zakken van F, vsp bijpompen
S28C	20	6.94	geen zakken, F10 schuin (laten staan)
S28D	50	6.89	gelijk op, A kapot
S28E	10	5.66	lengteverschil: 5 mm, niet zakken na proef
S28F	20	6.88	
S28G	50	6.82	gelijk omhoog, dan A even hoger, maar bezweken op F

Experiment S29: 1 rij, 20.7 kN voorspanning, ingewassen			
	verplaat-sing (mm)	kracht (kN)	beschrijving
S29A	10	6.07	lengteverschil 3 mm, F zakken
S29B	10	6.66	niet zakken
S29C	20	6.84	A kant meer omhoog
S29D	50	6.76	bezwijken bij A
S29E	10	6.21	verschil: 7 mm, E10 2 cm te hoog getrokken, kracht F iets laten zakken
S29F	20	6.82	Gekraak, brekende steen
S29G	50	6.75	boog B valt terug, bezwijken bij B en A

Experiment S30: 1 rij, 20.7 kN voorspanning, ingewassen, pakkingsrek			
	verplaat-sing (mm)	kracht (kN)	Beschrijving
S30A	10	5.91	lengteverschil: 7 mm. E iets te veel omhoog. F iets laten zakken na proef
S30B	20	6.62	rij E valt terug, rij F ligt hoger
S30C	50	6.61	F bezwijkt, schuin omhoog
S30D	50	6.93	steen E10 en C10 te veel omhoog bezwijken ook

Experiment S31: 1 rij, 20.7 kN voorspanning, ingewassen, pakkingsrek			
	verplaat-sing (mm)	kracht (kN)	beschrijving
S31A	10	6.12	
S31B	20	7.05	
S31C	50	7.08	
S31D	10	5.64	

S31E	10	6.58	
S31F	20	7.05	
S31G	50	7.15	

Experiment S32: 8 rijen, 10.4 kN voorspanning, geen inwassing			
	verplaat-sing (mm)	kracht (kN)	beschrijving
S32A	10	7.37	evenaar trekt rechter bij verplaatsing
S32B	10	7.42	
S32C	10	7.47	
S32D	10	7.49	
S32E	20	8.07	E10 te ver omhoog, vsp zakken
S32F	20	8.07	vsp eraf na proef
S32G	20	8.09	
S32H	20	8.09	voorspanning eraf na proef
S32I	50	8.14	

Experiment S33: 8 rijen, 10.4 kN voorspanning, ingewassen			
	verplaat-sing (mm)	kracht (kN)	Beschrijving
S33A	10	7.76	
S33B	20	8.68	
S33C	50	8.84	kapot bij 30 cm, gelijkmatig bezweken
S33D	10	7.61	na proef zakken, inwassen gedaan voor voorspannen (dus pakkingsrek proef)
S33E	10	8.12	
S33F	20	8.84	Scheef, A hoger
S33G	50	8.65	A en B eruit, rest nog niet bezweken, waardoor de rij recht getrokken wordt.

Experiment S34: 6 rij, 10.4 kN voorspanning, ingezand			
	verplaat-sing (mm)	kracht (kN)	Beschrijving
S34A	10	7.61	ingezand met mengsel van 20 delen steenslag, 10 delen zand, 1 deel bentoniet en 12 delen water, het mengsel blijft in de voegen zitten, valt er niet uit en is kleverig met grotere brokken ertussen, tussen vingers weg te knijpen
S34B	10	7.42	
S34C	10	7.35	
S34D	10	7.59	enkele stenen iets hoger
S34E	20	8.07	A meer omhoog
S34F	20	8.50	gelijk omhoog
S34G	20	8.53	niet helemaal teruggezakt, na proef niet laten zakken
S34H	50	8.24	steen D11 eruit, tegelijk bezwijken andere rijen

Experiment S35: 6 rijen, 10.4 kN voorspanning, ingezand			
	verplaat-sing (mm)	kracht (kN)	beschrijving
S35A	10	6.72	snelle uitwijking
S35B	10	7.27	A kant meer omhoog, geen losse elementen
S35C	10	7.76	
S35D	10	7.88	inzandmateriaal is iets vloeibaarder door iets te veel water

S35E	20	8.12	
S35F	20	8.41	
S35G	50	8.12	rij F bezwijkt

Experiment S36: 2 rijen, 10.4 kN voorspanning, ingezand			
	verplaat-sing (mm)	kracht (kN)	Beschrijving
S36A	10	5.81	de klei was iets te vloeibaar
S36B	10	6.02	F rechter getrokken, inzandmateriaal zakt al een beetje
S36C	20	6.31	max kracht bereikt
S36D	50	6.24	trekt recht omhoog en bezwijkt op rijen A t/m D tegelijk

Experiment S37: 2 rijen, 10.4 kN voorspanning, ingezand			
	verplaat-sing (mm)	kracht (kN)	Beschrijving
S37A	10	5.54	
S37B	10	6.19	de voegen in het midden beginnen leeg te lopen, 2 cm
S37C	20	6.36	nu 4 cm
S37D	20	6.26	F10 en F11 te veel omhoog
S37E	50	6.09	

Resultaten proeven met basalt

Experiment S38: 2 rijen, 7.6 kN voorspanning, geen inwassing			
proef	verplaat-sing (mm)	kracht (kN)	Beschrijving
S38A	10	2.70	E12 + E13 los, zakken, klein boogje
S38B	10	2.75	A meer omhoog, boog van ongeveer 4 elementen zakken na proef
S38C	10	2.65	D+E12/13 los, A omhoog, zakken+ vsp
S38D	20	2.84	veel los: D en E 12/13 en B12, wel gelijk omhoog (rijen)
S38E	20	2.91	losse stenen worden weer in geheel opgenomen, dat kan niet
S38F	20	2.24	A meer, alleen A, hoge boog blijft staan
S38G	50	2.31	meting begint bij beeld 3, A en b los
S38I	50	2.51	A en B los
S38J	50	3.01	A en B en dan D bezwijken, boog C, E en F blijven intact

Experiment S39: 2 rijen, 15.2 kN voorspanning, geen inwassing			
proef	verplaat-sing (mm)	kracht (kN)	Beschrijving
S39A	10	2.94	losse stenen, A omhoog (zakken, vsp eraf)
S39B	10	2.79	A kant: kleine en grote steen los (zakken, vsp eraf)
S39C	10	2.89	vsp loopt weg tijdens de proef, A-kant meer omhoog (zakken, vsp eraf)
S39D	10	2.87	
S39E	20	2.84	er is een verschil tussen klein-groot rijen en middel rijen
S39F	20	2.79	
S39G	20	2.70	kleine stenen staan soms schuin aan zijkant
S39H	50	3.01	A kapot

Experiment S40: 2 rijen, 7.6 kN voorspanning, inwassing			
proef	verplaat-sing (mm)	kracht (kN)	Beschrijving
S40A	10	3.52	B12 en B13 los, stukje omhoog, vsp neemt toe bij zakken
S40B	10	3.69	B12 en B13 niet helemaal gezakt, liggen iets hoger
S40C	20	3.89	ook steen E13 iets hoger, geen zakken meer
S40D	50	4.00	redelijk recht, kapot bij A en B, andere bogen nog intact
S40E	10	3.66	enkele stenen schieten iets omhoog
S40F	20	3.88	B en E rij nog steeds los
S40G	50	3.93	A en B kapot

Experiment S41: 2 rijen, 7.6 kN voorspanning, inwassing			
proef	verplaat-sing (mm)	kracht (kN)	Beschrijving
S41A	10	3.25	groot gat in rij B op 8 rijen vh midden, rij A zakt niet terug
S41B	20	3.52	A en B erg ver omhoog, B12 en 13 stuk los geschoten. overige rijen laag
S41C	50	3.78	A en B snel kapot, daarna C, terwijl F laag blijft, slechte proef?
S41D	10	3.37	A hoger en B er 2 cm uit
S41E	20	3.83	B hangt los, F komt ook op
S41F	50	3.76	A en B kapot, er lijken minder rijen omhoog te komen dan zonder inwassing

Experiment S42: 2 rijen, 15.2 kN voorspanning, ingewassen			
proef	verplaat-sing (mm)	kracht (kN)	Beschrijving
S42A	10	3.69	B nog maar een beetje los
S42B	20	3.83	F trekt gelijk, inwassing zakt sneller weg, ongeveer 5 rijen va midden opgetild
S42C	50	3.83	trekt gelijk en verder dan anders omhoog
S42D	100	3.64	eerst bezwijken de rijen E en B doordat de niet getrokken stenen wegvallen, daarna A
S42E	10	3.59	door grote voorspanning worden buitenste en binnenste rijen naar buiten geduwd, B iets hoger
S42F	20	3.78	E ook iets hoger
S42G	50	3.73	
S42H	100	3.40	boog E valt weg, daarna nog door omhoog

Experiment S43: 2 rijen, 15.2 kN voorspanning, ingewassen			
proef	verplaat-sing (mm)	kracht (kN)	Beschrijving
S43A	10	3.83	het zwaartepunt van de boog lijkt verschoven
S43B	20	3.69	geen losse stenen
S43C	50	3.49	computerstoring, kwartier niet gemeten, steeds rechter
S43D	100	3.13	ongeveer 15 cm uitwijking
S43E	10	3.95	F eerst omhoog, daarna ook E
S43F	20	3.95	E en B meer omhoog
S43G	50	3.66	

Experiment S44: 6 rijen, 7.6 kN voorspanning, geen inwassing			
proef	verplaat-sing (mm)	kracht (kN)	Beschrijving
S44A	10	3.64	A snel omhoog, zakken na proef
S44B	10	3.69	zakken na proef
S44C	20	3.81	A meer, Zakken na proef
S44D	20	3.76	A, maar F komt ook, weinig losse elementen
S44E	20	3.71	ongeveer 5 rijen vanaf het midden omhoog
S44F	20	3.76	
S44G	50	3.85	
S44H	50	3.85	rechter getrokken op eind
S44I	50	4.02	bezwijken bij A, B en C

Experiment S45: 6 rijen, 15.2 kN voorspanning, geen inwassing			
proef	Verplaat-sing (mm)	kracht (kN)	Beschrijving
S45A	10	3.54	gelijk omhoog, geen losse elementen
S45B	10	3.61	
S45C	10	3.66	4 rijen omhoog va midden
S45D	10	3.64	vsp er even af omdat rij A scheef staat voor vsp
S45E	20	3.66	Schuin, A meer omhoog
S45F	20	3.54	Schuin, A, vsp eraf
S45G	20	3.78	
S45H	50	3.85	kapot bij A en B, daarna doorgetrokken.. lang en hoog

Experiment S46: 6 rijen, 7.6 kN voorspanning, ingewassen			
proef	Verplaat-sing (mm)	kracht (kN)	Beschrijving
S46A	10	4.48	A omhoog
S46B	20	4.91	rechter getrokken, steeds meer stenen mee omhoog
S46C	50	4.96	stenen in voegen knappen
S46D	100	4.62	steenslag tussen twee stenen weg -> stenen spanningsloos
S46E	10	4.53	meer recht omhoog, 3 rijen va midden. gekraak. noggeen gevallen steenslag
S46F	20	4.84	in rij E een losse steen, bij pauze soort relaxatie
S46G	50	4.89	vallende steentjes, rij E gaat zich rechtekken (oriëntatie stenen horizontaal ipv schuin)
S46H	100	4.67	spanning weg -> veel ruimte voor zetten

Experiment S47: 6 rijen, 7.6 kN voorspanning, ingewassen			
proef	verplaat-sing (mm)	kracht (kN)	Beschrijving
S47A	10	4.75	rechter getrokken, steeds meer stenen mee omhoog
S47B	20	5.11	rechter getrokken, steeds meer stenen mee omhoog
S47C	50	5.23	stenen in voegen knappen
S47D	100	4.84	A en B kapot
S47E	10	4.65	A meer omhoog
S47F	20	4.89	
S47G	50	4.87	
S47H	100	4.65	

Experiment S48: 6 rijen, 15.2 kN voorspanning, ingewassen			
proef	Verplaat-sing (mm)	kracht (kN)	Beschrijving
S48A	10	4.53	
S48B	20	4.75	
S48C	50	4.58	
S48D	10	4.67	
S48E	20	4.82	
S48F	50	4.75	
S48G	100	4.34	rij E bezwijkt eerst, zakt recht, daarna bezwijken D en B

Experiment S49: 6 rijen, 15.2 kN voorspanning, ingewassen			
Proef	verplaat-sing (mm)	kracht (kN)	Beschrijving
S49A	10	4.77	
S49B	20	4.87	
S49C	50	4.60	
S49D	100	4.31	
S49E	10	4.53	
S49F	20	4.77	
S49G	50	4.65	rij E bezwijkt eerst, zakt recht, daarna bezwijken D en B

Proef W01: Basalton, 6 rijen, voorspanning 7.6 kN, ingewassen na voorspannen			
Proef	Verplaat-sing [mm]	Kracht [kN]	Beschrijving
W01A	10	4.41	
W01B	20	4.50	zuid meer omhoog
W01C	50	4.48	
W01D	100	4.48	bezwijken 3 rijen zuid
Opnieuw zetten, noordkant is langer, moeilijk zetten			
W01E	10	4.34	uitvulbalk gebroken (misschien wrijving)
W01F	20	4.62	2 stenen los omhoog
W01G	50	4.65	
W01H	100	4.41	3 zuidelijke rijen omhoog
Bij deze serie gaan de lvd't's na elke proef weer naar 0, dus totale verkorting is optelling totaal			

Proef W02: Basalton, 6 rijen, voorspanning 7.6 kN, ingewassen voor voorspannen			
Proef	Verplaat-sing [mm]	Kracht [kN]	Beschrijving
W02A	10 mm	4.79	zuid meer omhoog, ook enkele losse stenen
W02B	20 mm	4.94	bij bezwijken rechter getrokken
W02C	50 mm	4.94	de zetting is meer even lang door omgewisselde stenen
W02D	100 mm	4.79	
Opnieuw zetten			

Voorspannen:		3 cm west totdat aan de andere zijde druk opgebouwd wordt; 5 cm terug met aanhouden druk aan oostkant; vervolgens 2 cm terug met ook aanhouden druk; is meegemeten (file W02E)	
W02E	10	4.67	netjes omhoog
W02F	20	4.84	
W02G	50	4.75	noord bezwijkt eerst
W02H	100	4.60	
Ivdt6 heeft niets gemeten door vastgezeten schroefje			

Proef W03: Basalton, 2 rijen, voorspanning 7.6 kN, ingewassen na voorspannen			
Ivdt4 is losgeschoten tijdens spannen, opnieuw gemonteerd			
Voorspannen:		5 cm west tot aan andere zijde druk opgebouwd wordt; 5 cm terug met aanhouden druk aan oostzijde; 3 cm west met aanhouden druk; inwassen na spannen zorgt voor spanningsverlies	
Proef	Verplaatsing [mm]	Kracht [kN]	Beschrijving
W03A	10	3.64	meer losse stenen
W03B	20	3.85	
W03C	50	3.95	schuin, zuid bijna kapot naar derde proef
W03D	100	3.49	
Opnieuw zetten			
Voorspannen:		zelfde procedure, vsp na inwassen vrijwel verdwenen	
W03E	10	3.37	
W03F	20	3.59	
W03G	50	3.54	
W03H	100	3.18	

Proef W04: Basalton, 2 rijen, voorspanning 7.6 kN, ingewassen voor voorspanning			
Voorspannen:		5 cm oostwaarts totdat aan andere zijde druk opgebouwd wordt, 5 cm terug met aanhouden druk 3 cm oostwaarts met aanhouden druk Aan zuidkant rijen beetje uit elkaar gedrukt door hoge spanning	
Proef	Verplaatsing [mm]	Kracht [kN]	Beschrijving
W04A	10	3.64	zuid eerst omhoog
W04B	20	4.05	
W04C	50	4.02	computer vastgelopen; geen plaatjes
W04D	100	3.61	
Voorspannen:		eerst ri. west bewegen, daarna oost en weer west volgens bekende procedure	
W04E	10	4.22	
W04F	20	4.31	
W04G	50	4.17	
W04H	100	3.93	

Proef W05: Hydroblocks, 6 rijen, voorspanning 10.4 kN, ingewassen			
positie lvd'ts:		1-4, 14-18	
Voorspannen:		3 cm naar westen totdat er druk opgebouwd wordt; 3 cm terug; inwassen; 1,5 cm naar west met vasthouden druk	
lampen kapot, camera-afstelling niet ideaal, belichting ook niet na een uur weer verder, vasthouden voorspanning onbekend			
Proef	Verplaatsing [mm]	Kracht [kN]	Beschrijving
W05A		1.73	file met gegevens voorspannen
W05B		0.22	file met gegevens voorspannen
W05C	10	7.90	schuin naar zuiden
W05D	20	8.82	
W05E	50	8.86	
W05F	100	8.36	
Opnieuw opbouwen			
Voorspannen:		5 cm naar westen totdat druk opgebouwd wordt; 4 cm terug met vasthouden spanning; inwassen; 2 cm naar west met vasthouden druk; de eerste verplaatsing is in een stap gemeten in file W05G (scan 1-2)	
W05G	10	6.91	
W05H	20	8.38	
W05I	50	8.94	
W05J	100	8.58	

Proef W06: Hydroblocks, 6 rijen, voorspanning 10.4 kN, ingewassen			
Opbouw spanning volgens bekende procedure; opgeslagen in file 6A, ook met camera's vastgelegd			
Proef	Verplaatsing [mm]	Kracht [kN]	Beschrijving
W06A		0.07	verplaatsen
W06B	10	8.02	zakken na proeven
W06C	20	8.55	zakken na proeven
W06D	20	8.82	zakken na proeven
W06E	20	8.62	zakken na proeven
W06F	20	8.50	zakken na proeven
W06G	20	8.53	
W06H	50	8.70	
W06I	100	8.29	opname laatste proef mislukt door vastgelopen pc

General Appendix: Delft Cluster Research Programme Information

This publication is a result of the Delft Cluster II research-program (Bsik) that consists of 7 research themes:

► Leefbaarheid in de druk bevolkte delta, ► ondergronds bouwen, ► Betaalbaarheid van de infrastructuur ► Duurzame inrichting van onze delta, ► Drinkwater, ► Veiligheid tegen overstromingen, ► Steenzettingen.

This publication is part of:

Base project name	:	Steenzettingen		
Project name	:	Steenzettingen		
Projectleader/Institute		Ir. D.J. Peters	TUDelft	
Project number	:	CT 07.10		
Project duration	:	01-01-2004	-	31-06-2009
Financial sponsor(s)	:	Delft Cluster		
		Rijkswaterstaat - DWW		
		Royal Haskoning		
Projectparticipants	:	TU Delft		
		Royal Haskoning		
Total Project-budget	:	€ 240.300		
Number of involved PhD-students	:	1		
Number of involved PostDocs	:	0		



Delft Cluster is an open knowledge network of five Delft-based institutes for long-term fundamental strategic research focussed on the sustainable development of densely populated delta areas.



Keverling Buismanweg 4
Postbus 69
2600 AB Delft
The Netherlands

Tel: +31-15-269 37 93
Fax: +31-15-269 37 99
info@delftcluster.nl
www.delftcluster.nl

Projectgroup

During the execution of the project the research team included:

Name	Organisation
1 Ir. D.J. Peters	Royal Haskoning
2 Prof. Drs. Ir. J.K. Vrijling	TU Delft
3 Ir. M. Klein Breteler	WL Delft
4 Ir. A. Bezuijen	GeoDelft
5 Ir. R. 't Hart	Rijkswaterstaat – DWW

Other Involved personnel

The realisation of this report involved:

Name	Organisation
1 Ir. D.J. Peters	Royal Haskoning