

Opdrachtgever:

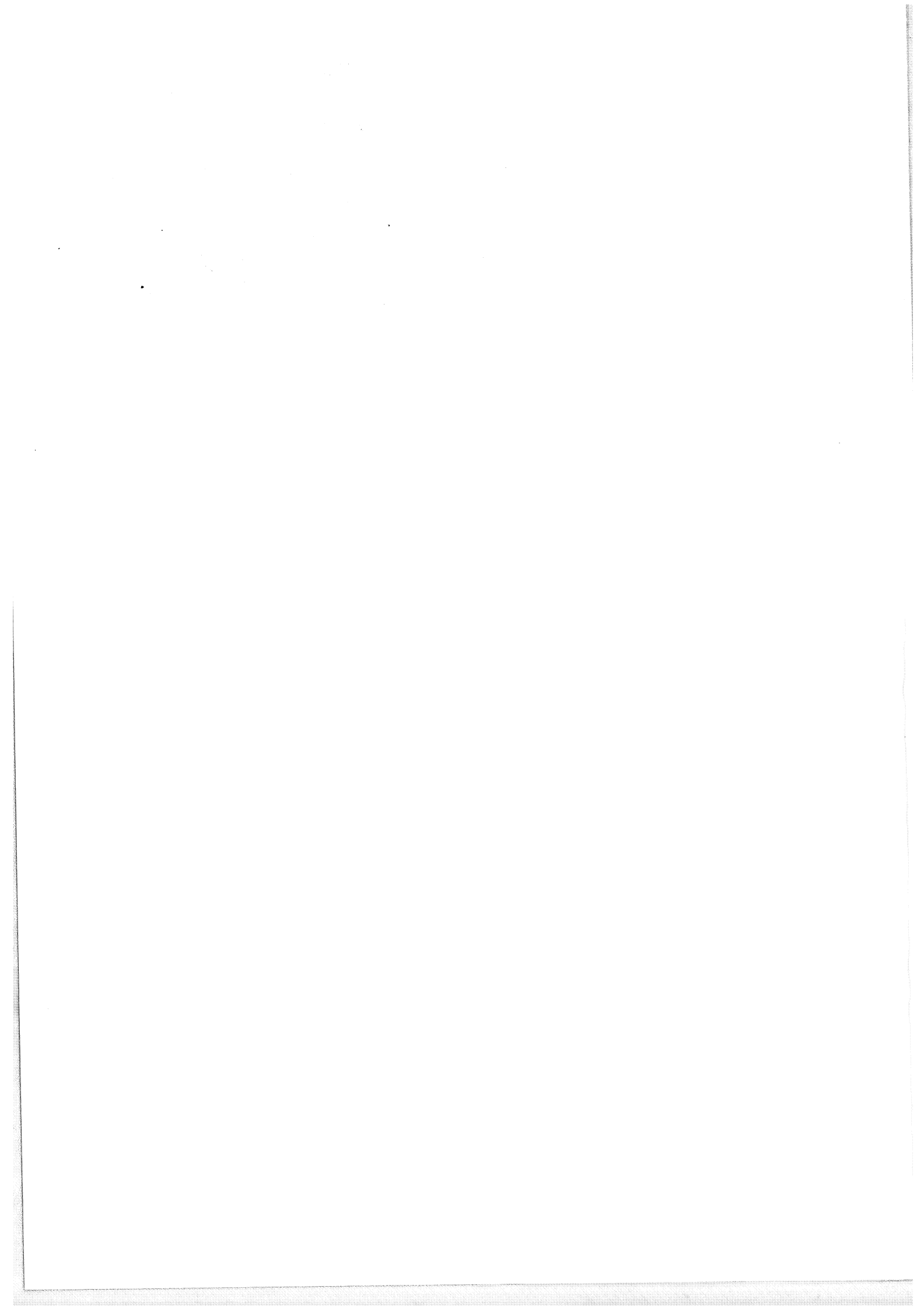
Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde



## Open taludbekledingen

~~AFGEHANDELD~~

Invloedsfactor van minimale klemkracht, AS.98.25

mei 1998

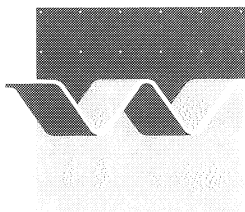


	<b>bibliotheek</b> postbus 177 - 2600 MH Delft waterloopkundig laboratorium/WL
<b>BB</b>	
<b>WL</b>	
<b>EXPL</b>	 R0004068

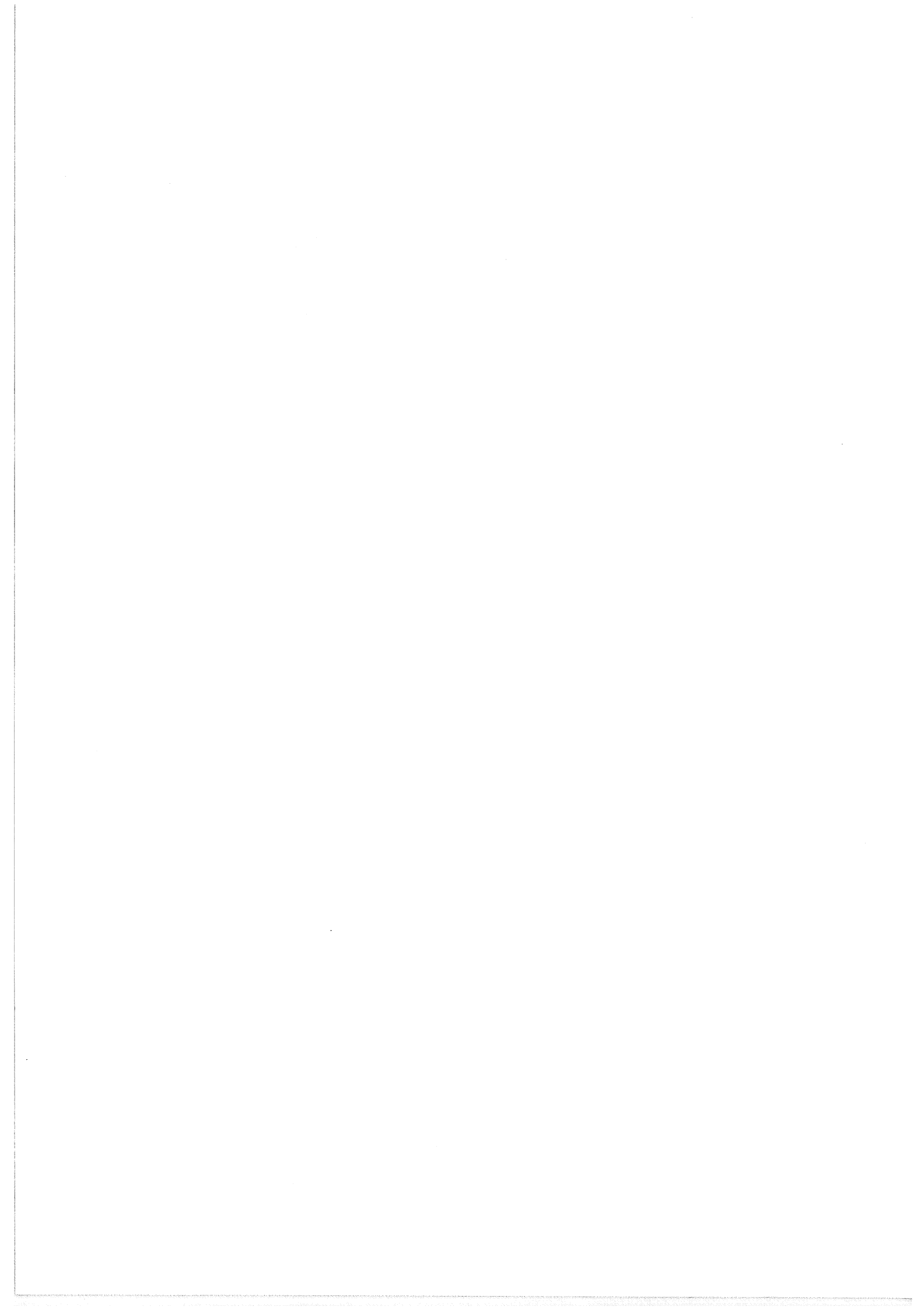
## Open taludbekledingen

Invloedsfactor van minimale klemkracht, AS.98.25

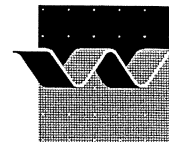
M. Klein Breteler



**wl | delft hydraulics**







OPDRACHTGEVER : Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde

TITEL: Open Taludbekledingen  
Invloedsfactor van minimale klemkracht

## SAMENVATTING:

In het kader van het onderzoek naar stabiliteit van open taludbekledingen is uit de resultaten van de uitgevoerde trekproeven een minimale wrijvingsfactor  $\Gamma_k$  afgeleid. Deze factor kan worden toegepast in het bestaande stabiliteitsmodel

REFERENTIES: contractnummer: 3100/0036

REV.	AUTEUR	DATUM	OPMERKINGEN	REVIEW	GOEDKEURING
	M. Klein Breteler	<del>MKB</del> mei 1998		TAW-steenzettingen	<del>MKB</del> W.M.K. Tilmans
TREFWOORDEN			INHOUD		STATUS
trekproeven, dijkbekleding, steenzetting, stabiliteit, klemming			TEKST:	21	<input type="checkbox"/> VOORLOPIG <input type="checkbox"/> CONCEPT <input checked="" type="checkbox"/> DEFINITIEF
			TABELLEN:	10	
			FIGUREN:		
			APPENDICES:	1	
PROJECTNUMMER: H2530					



# Inhoud

**Samenvatting en conclusies**

**Lijst van tabellen**

**Lijst van figuren**

**Lijst van symbolen**

<b>1</b>	<b>Inleiding</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Overzicht van de trekproeven</b> .....	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Bewerking van de proefresultaten</b> .....	<b>5</b>
3.1	Invloedsfactor voor stabiliteitsberekeningen .....	5
3.2	Als er wel trekproeven zijn met $F_n < 2G$ .....	6
3.3	Als er geen trekproeven zijn met $F_n < 2G$ .....	8
<b>4</b>	<b>Analyse van de resultaten</b> .....	<b>11</b>
<b>5</b>	<b>Consequenties voor het Black-Box model</b> .....	<b>15</b>
5.1	Inleiding .....	15
5.2	Analyse van Basaltonconstructies .....	15
5.3	Analyse van Haringmanblokkenglooingen .....	18
5.4	Gevolgen voor het black-box model .....	19

**Referenties**

**Tabellen**

**Figuren**

## Samenvatting en conclusies

In het kader van het onderzoek naar de stabiliteit van steenzettingen zijn er sinds 1990 duizenden trekproeven op dijken uitgevoerd teneinde inzicht in de klemkrachten tussen de blokken te verkrijgen. De proeven zijn uitgevoerd op Haringmanblokken, Basaltonzuilen en Pit-polygoonzuilen op totaal 5 lokaties:

1. Haringmanblokken bij Colijnsplaat (Plooster, 1990 en Van Zandwijk, 1995);
2. Basalton op de Afsluitdijk (Fugro, 1991);
3. Basalton bij Breskens (Fugro, 1992);
4. Basalton bij Maassluis (Nieuwenhuis, 1994);
5. Pit-polygoonzuilen (Fugro, 1993).

De toegepaste trekkracht  $F_t$  om een blok een verplaatsing van 25 mm te geven is in de analyse verminderd met het eigen gewicht  $G$  om zo de netto trekkracht (klemkracht)  $F_n$  te krijgen. Voor iedere trekproefserie is een karakteristieke netto trekkracht  $F_{n(0.1\%)}$  bepaald: de kracht waarbij minder dan 0.1% van de blokken kan worden opgelicht. Hiervoor is gebruik gemaakt van de aanname dat de trekkrachten Rayleigh verdeeld zijn.

Er is wegens vermeende boogvorming geen gebruik gemaakt van de resultaten waarbij  $F_n$  groter dan twee keer het eigen gewicht  $G$  is, zodat de trekkracht te klein is om naast het eigen gewicht twee naastliggende blokken op te lichten. Aangenomen is dat beneden dat criterium geen boogvorming kan optreden.

De invloed van klemming kan in het analytische rekenmethode (Figuren 129, 132 en 133 in CUR/TAW, 1992) ingebracht worden door  $\Gamma_1$  te vervangen door  $\Gamma_k$ :

$$\phi_w = (\Gamma_k + \Gamma_2 + \Gamma_3) \Delta D \cos \alpha \quad (1)$$

met:

$\phi_w$	=	maximaal toelaatbare stijghoogteverschil over de toplaag	(m)
$\Gamma_1$	=	invloedsfactor voor de wrijving die een volledig los blok ondervindt doordat het wrijving ondervindt met het onderliggende blok als gevolg van de gewichtsc component van het blok evenwijdig aan het talud (zonder klemming)	(-)
$\Gamma_2$	=	invloedsfactor voor de massa traagheid van het blok	(-)
$\Gamma_3$	=	invloedsfactor voor de toestroming naar het bewegende blok	(-)
$\Delta$	=	relatieve volumieke massa van het blok = $(\rho_s - \rho)/\rho$	(-)
$\rho$	=	volumieke massa van water	(kg/m <sup>3</sup> )
$\rho_s$	=	volumieke massa van betonblok	(kg/m <sup>3</sup> )
$D$	=	dikte van de toplaag	(m)
$\alpha$	=	taludhelling	(°)
$\Gamma_k$	=	invloedsfactor voor de wrijving die een geklemd blok ondervindt	(-)

Voor de kwantificering van  $\Gamma_k$  wordt gebruik gemaakt van de trekproeven ( $\rho_s = 2300 \text{ kg/m}^3$ ,  $\rho = 1030 \text{ kg/m}^3$  en  $\cos \alpha = 0,97$ ):

$$\Gamma_k = 1 + 1,86 \frac{F_{n0,1\%}}{G} \quad (2)$$

Bij de trekproefseries op Basalton, Pit-polygoonzuilen en één serie bij Colijnsplaat zijn er geen blokken geconstateerd met  $F_n < 2G$ , ondanks dat de series uit vele honderden trekkingen bestonden. Voor die gevallen is een formule afgeleid voor de minimale  $\Gamma_k$ , waarbij ook gebruik is gemaakt van de Rayleigh verdeling (als  $\rho = 2300 \text{ kg/m}^3$  en  $\cos\alpha = 0,97$ ):

$$\Gamma_k = 1 + \sqrt{\frac{0,014 N}{-\ln(1 - P_B)}} \quad (3)$$

Met deze formule kan men de minimale waarde van  $\Gamma_k$  bepalen met een bepaalde betrouwbaarheid  $P_B$ , gegeven een trekproefserie van  $N$  trekkingen die geen van alle loskwamen bij  $F_n = 2G$ . De formule is grafisch weergegeven in Figuur 13.

## Resultaten

Als alle resultaten bij elkaar worden gezet, dan valt er een duidelijke invloed op van het type toplaag (zuil of blok) en het niveau ten opzichte van hoogwater (in tijzone of er ruim boven):

Bekleding	Specificatie	Niveau op dijk	$\Gamma_k$
Basalton	Breskens	Boven tijzone	$\geq 2,5$
Basalton	Maassluis	Boven tijzone	$\geq 2,5$
Basalton	Afsluitdijk	Boven tijzone	$\geq 2,5$
Pit-polygoonzuilen	Maassluis	Boven tijzone	$\geq 2,5$
Haringmanblokken	Serie I (rij 36)	Tijzone	$\geq 1,5$
Haringmanblokken	Serie col04 (rij 19)	Net boven tijzone	2,0
Haringmanblokken	Rij 6 t/m 11	Boven tijzone	1,1 à 1,3
Haringmanblokken	Serie col01 (rij 3)	Boven tijzone, bovenste rij	1,1

Overzicht proefresultaten per type bekleding en niveau op dijk

In de tabel is te zien dat de zuilen (Basalton en Pit-polygoonzuilen) veel beter geklemd liggen dan de Haringmanblokken. De Haringmanblokken liggen in en net boven de tijzone redelijk goed geklemd. Boven de tijzone is de klemming gering.

## Invloed van de temperatuur

De trekproeven bij Colijnsplaat lenen zich goed om de invloed van de gemiddelde luchttemperatuur ( $T$ ) tijdens de trekproefserie te analyseren. De verwachting is dat de waarde van  $\Gamma_k$  stijgt bij stijgende temperatuur. De blokken zetten immers uit en komen beter geklemd te liggen.

Mede door de theoretische verwachting van een invloed van de temperatuur is de gemiddelde trend in de metingen in de volgende formule weergegeven:

$$\Gamma_k = 1 + 0,1 \cdot e^{-\frac{T}{10}} \quad (4)$$

met:

$$T = \text{gemiddelde luchttemperatuur tijdens de trekproefserie (°C)}$$

De spreiding in de metingen is helaas zodanig dat de formule als zeer voorlopig gezien moet worden (zie Figuur 14).

### Invloed van voorgaande trekkingen

Het is de verwachting dat een blok losser zit als er al eens aan getrokken is. Om dit te onderzoeken zijn er series bij Colijnsplaat op dezelfde blokken of naastliggende blokken herhaald. De waarde  $i$  geeft aan om de hoeveelste trekking van de blokken het gaat. De waarde van  $i$  is bij de eerste keer trekken aan het blok gelijk aan 1, tenzij het naastliggende blok in dezelfde rij al een keer is getrokken, dan is tijdens de eerste trekking  $i = 1,5$ . De waarde van  $i$  geeft aan in hoeverre er een invloed verwacht mag worden van eerdere trekkingen op het talud.

De globale tendens wordt benaderd door:

$$\Gamma_k = 1 + \frac{0,2}{i} \quad (5)$$

De spreiding in de metingen is helaas zodanig dat de formule als zeer voorlopig gezien moet worden (zie Figuur 15).

### Invloed van wijze van trekken

Er zijn ook een paar series bij Colijnsplaat uitgevoerd met een meetframe dat de naastliggende blokken tijdens het trekken op z'n plaats hield. Dit voorkomt het opbollen van de zetting. Het is de verwachting dat de trekkracht met frame lager is dan zonder, omdat het opbollen van de zetting extra normaalspanningen geeft.

De metingen in rij 6 laten een wat hogere  $\Gamma_k$  zien en in rij 10 wat lager dan zonder frame. Op grond hiervan wordt geconcludeerd dat het frame geen invloed heeft op  $\Gamma_k$ .

### Relatie tussen visuele kenmerken en klemming

Voor de trekproeven bij Colijnsplaat is een visuele beoordeling van het blok vastgelegd. Er blijkt echter geen relatie te zijn tussen een lage trekkracht en de visuele beoordeling van het blok.

### Black-box model

De resultaten van de trekproeven geven aanleiding om het black-box model voor het bepalen van de stabiliteit van steenzettingen te herzien:

#### 1) *Basalton*

Goed ingewassen Basalton kan gerekend worden tot de categorie "gunstige constructie", omdat de stabiliteit groter is dan niet ingewassen Basalton. Voorwaarde is echter dat de kwaliteit van de inwassing met een voldoende groot aantal trekproeven is aangetoond.

Op dit punt zou het black-box model aangepast kunnen worden, omdat nu de goed ingewassen Basalton nog tot de categorie 'normale constructies' behoort.

2) *Haringmanblokken*

De stabiliteit van de Haringmanblokkenglooïing waarop de trekproeven zijn uitgevoerd (Colijnsplaat, boven GHW) is slechts weinig groter dan een zetting met losse blokken. Het verschil in  $H_s/\Delta D$ -waarde was slechts ongeveer 10%.

Deze conclusie geldt voor blokken op een filter en op klei voor zover er een klemfactor  $\Gamma_k < 1,2$  is vastgesteld, zoals bij Colijnsplaat. In dat geval is een wijziging van het black-box model niet nodig.

## Lijst van tabellen

- 1 Detailinformatie trekproeven Colijnsplaat
- 2 Overzicht resultaten trekproeven bij Colijnsplaat
- 3 Detailinformatie over trekproeven op de Afsluitdijk
- 4 Detailinformatie over trekproeven bij Breskens
- 5 Detailinformatie over trekproeven op Pit-polygoonzuilen bij Maassluis
- 6 Detailinformatie over trekproeven op Basalton bij Maassluis
- 7 Enkele meetresultaten van trekproeven op Basalton en Pit-polygoonzuilen
- 8a De 5 meest losse blokken in de diverse meetseries bij Colijnsplaat in 1990
- 8b De 5 meest losse blokken in de diverse meetseries bij Colijnsplaat in 1990
- 9a De 5 meest losse blokken in de diverse meetseries bij Colijnsplaat in 1994
- 9b De 5 meest losse blokken in de diverse meetseries bij Colijnsplaat in 1994
- 10 De 20 blokken uit tabel 8 en 9 die het meest los lagen in volgorde van trekkracht



## Lijst van figuren

- 1 Situatie meetlocatie en dwarsprofiel Colijnsplaat
- 2 Situatie meetlocatie en dwarsprofiel Afsluitdijk
- 3 Situatie meetlocatie en dwarsprofiel Breskens
- 4 Situatie meetlocatie en dwarsprofiel Maassluis (PIT)
- 5 Situatie meetlocatie en dwarsprofiel Maassluis
- 6 Karakteristieke trekkrachten  $F_{n(0.1\%)}$  Colijnsplaat; 1990
- 7 Karakteristieke trekkrachten  $F_{n(0.1\%)}$  Colijnsplaat; Serie C, D; 1990
- 8 Karakteristieke trekkrachten  $F_{n(0.1\%)}$  Colijnsplaat; Serie E, F; 1990
- 9 Karakteristieke trekkrachten  $F_{n(0.1\%)}$  Colijnsplaat; Serie F; 1990
- 10 Karakteristieke trekkrachten  $F_{n(0.1\%)}$  Colijnsplaat; Serie C; 1994
- 11 Karakteristieke trekkrachten  $F_{n(0.1\%)}$  Colijnsplaat; Serie F; 1994
- 12 Karakteristieke trekkrachten  $F_{n(0.1\%)}$  Colijnsplaat; Serie S, T, R, E; 1994
- 13 Ondergrens  $\Gamma_k$  als er geen blokken met  $F_t < 2G$  zijn
- 14 Invloed van temperatuur
- 15 Invloed voorgaande trekkingen
- 16 Stabiliteit van steenzetting op filter (normale constructie); Type 3b
- 17 Stabiliteit van steenzetting op filter (gunstige constructie); Type 3a
- 18 Stabiliteit van steenzetting op filter (ongunstige constructie); Type 3c

## Lijst van symbolen

B	breedte steen	(m)
b	laagdikte van filter	(m)
c	Factor	(N <sup>-1</sup> )
D	dikte steen	(m)
D <sub>fi5</sub>	karacteristieke korrelgrootte van filter (onderschreden door 15 gewichtsprocenten)	(m)
f <sub>w</sub>	Wrijving tussen zuilen	(-)
F <sub>eg</sub>	kracht als gevolg van het eigen gewicht	(N)
F <sub>n</sub>	F <sub>t</sub> - G, netto trekkracht	(N)
F <sub>n(0.1%)</sub>	de karakteristieke netto trekkracht waarbij minder dan 0.1% van de blokken wordt opgelicht	(N)
F <sub>r</sub>	relatieve netto trekkracht = F <sub>n</sub> /G	(-)
F <sub>r(0.1%)</sub>	de karakteristieke relatieve netto trekkracht waarbij minder dan 0.1% van de blokken wordt opgelicht	(-)
F <sub>t</sub>	toegepaste trekkracht bij 2.5 cm verplaatsing	(N)
F <sub>w</sub>	kracht als gevolg van het stijghoogteverschil	(N)
P{ $\overline{F}_n < F_n$ }	Onderschrijdingskans van F <sub>n</sub>	(-)
g	zwaartekrachtsversnelling	(m/s <sup>2</sup> )
G	eigen gewicht steen boven water = M.g	(N)
i	zoveelste keer dat aan blok wordt getrokken (herhalingsfactor)	(-)
L	lengte steen	(m)
M	massa steen	(kg)
n	porositeit van filter	(-)
N	aantal trekproeven	(-)
	met: P <sub>B</sub> = betrouwbaarheid van de steekproef	(-)
P <sub>O</sub>	kans om geen enkele zuil met F <sub>r</sub> < 2 te vinden = onbetrouwbaarheid van de steekproef	(-)
p	deel van de zuilen waarvoor geldt F <sub>r</sub> < 2	(-)
T	Gemiddelde luchttemperatuur tijdens de serie	(°C)
T <sub>p</sub>	golfperiode bij de piek van het spectrum	(s)
v	maximale verplaatsing van het blok tijdens de trekproef	(m)
α	taludhelling	(°)
Δ	(ρ <sub>s</sub> - ρ)/ρ relatieve volumieke massa	(-)
ρ	volumieke massa water	(kg/m <sup>3</sup> )
ρ <sub>s</sub>	volumieke massa steen	(kg/m <sup>3</sup> )
φ <sub>w</sub>	maximaal toelaatbare stijghoogteverschil over de toplaat	(m)
Γ <sub>1</sub>	invloedsfactor voor de wrijving die een volledig los blok ondervindt doordat het wrijving ondervindt met het onderliggende blok als gevolg van de gewichtscomponent van het blok evenwijdig aan het talud (zonder klemming)	(-)
Γ <sub>2</sub>	invloedsfactor voor de massatraagheid van het blok	(-)
Γ <sub>3</sub>	invloedsfactor voor de toestroming naar het bewegende blok	(-)
Γ <sub>k</sub>	invloedsfactor voor de wrijving die een geklemd blok ondervindt	(-)
ξ <sub>op</sub>	brekerparameter (= tanα/√(1,56H <sub>s</sub> /T <sub>p</sub> <sup>2</sup> ))	(-)
Ω	Relatief open oppervlak	(-)

# 1 Inleiding

In het kader van het onderzoek naar de stabiliteit van steenzettingen zijn er sinds 1990 duizenden trekproeven op dijken uitgevoerd teneinde inzicht in de klemkrachten tussen de blokken te verkrijgen. De proeven zijn uitgevoerd op Haringmanblokken, Basaltonzuilen en Pit-polygoonzuilen op totaal 5 lokaties:

1. Haringmanblokken bij Colijnsplaat (Plooster, 1990 en Van Zandwijk, 1995);
2. Basalton op de Afsluitdijk (Fugro, 1991);
3. Basalton bij Breskens (Fugro, 1992);
4. Basalton bij Maassluis (Nieuwenhuis, 1994);
5. Pit-polygoonzuilen (Fugro, 1993).

Bij de proeven is geprobeerd om blokken tot maximaal 25 mm uit de bekleding te trekken met trekkrachten tot ca. 9 kN. Als een blok de maximale verplaatsing onderging bij een kracht kleiner dan 9 kN, wordt in de genoemde meetrappen het blok als 'los' bestempeld. De maximale trekkracht wordt  $F_t$  genoemd.

Een van de meest opvallende resultaten van de proeven was dat  $F_t$  gemiddeld veel groter was dan werd verwacht. Behalve bij de Haringmanblokken bedroeg  $F_t$  zelfs voor de meest loszittende blokken wel tien maal het eigen gewicht. Verondersteld is dat bij deze hoge krachten in het vlak van de zetting boogvorming tijdens de trekproeven is opgetreden. Met tien maal de kracht van het eigen gewicht kan men immers een aantal omliggende blokken volledig optillen.

Het doel van dit onderzoek is om de proefresultaten nader te analyseren en zo mogelijk op statistische gronden tot enige kantallen te komen betreffende minimale klemkrachten en wat de kans op voorkomen is. Deze kantallen kunnen dan in een stabiliteitsmodel worden toegepast.

Daarnaast blijft het voor een goede modellering van klemming nodig de fundamentele onderzoekslijn van GD en TNO voort te zetten. Dit fundamentele onderzoek op het gebied van klemkrachten richt zich op het kwantificeren van de gemiddelde sterkte van een zetting met behulp van het numerieke model DIANA. Deze gemiddelde sterkte is afhankelijk van de gemiddelde wrijving tussen de blokken en de neiging tot boogvorming tijdens een opwaartse verschildruk. Naast deze kwantificering wordt hiermee inzicht nagestreefd, gericht op maatregelen waarmee zettingen in de praktijk sterker gemaakt kunnen worden.

Er kan in dit verband ook genoemd worden dat er gewerkt is aan een eenvoudige modellering van een kolom blokken haaks op de waterlijn (langs het talud omhoog). Deze kolom is door Gerressen (1997) doorgerekend alsof het een verend ondersteunde ligger is. Hij concludeert dat geklemde blokken aanzienlijk stabiel zijn dan los liggende blokken.

In het onderhavige onderzoek van WL is juist niet naar de gemiddelde sterkte gekeken, maar naar een karakteristieke sterkte. De aandacht is geconcentreerd op die paar blokken per kilometer dijk die gemakkelijk uit de zetting gelicht kunnen worden. Daardoor wordt aangesloten op de gebruikelijke ontwerpmethodologie die uitgaat van een "los blok", zoals in ANAMOS en het Handboek (CUR/TAW 1992). Aan de hand van de trekproeven is nu aannemelijk gemaakt dat gerust uitgegaan kan worden van enige klemming. De grootte van de klemming is gekwantificeerd.

Een netto trekkkracht  $F_n$  is een toegepaste trekkkracht  $F_t$  minus eigen gewicht  $G$ . Voor ieder bloktype is een karakteristieke netto trekkkracht  $F_{n(0.1\%)}$  bepaald. Per definitie is  $F_{n(0.1\%)}$  de kracht waarbij minder dan 0.1% van de blokken kan worden opgelicht. Er zal wegens vermeende boogvorming geen gebruik worden gemaakt van de resultaten waarbij  $F_n$  groter dan twee keer het eigen gewicht  $G$  is. Het selectiecriteria is dus  $F_n < 2G$ , zodat de trekkkracht te klein is om naast het eigen gewicht twee naastliggende blokken op te lichten. Aangenomen is dat beneden dat criterium geen boogvorming kan optreden.

In Hoofdstuk 2 wordt een overzicht gegeven van de belangrijkste kenmerken van de uitgevoerde trekproeven. In Hoofdstuk 3 wordt de statistische bewerking behandeld, waarna in Hoofdstuk 4 de resultaten worden geanalyseerd, gericht op de invloed van de temperatuur, het aantal voorgaande trekproeven op het betreffende blok en constructie-eigenschappen.

## 2 Overzicht van de trekproeven

Er zijn op vijf lokaties trekproeven uitgevoerd. Op iedere locatie zijn in een aantal lengte- en breedte-varianten op de dijk willekeurig verdeeld een aantal stenen getrokken. Op sommige lokaties is meerdere keren aan dezelfde blokken getrokken met kleine tussentijd (dagen) of grote tussentijd (half jaar tot 5 jaren).

De vijf lokaties zijn:

1. Haringmanblokken bij Colijnsplaat (Plooster, 1990 en Van Zandwijk, 1995);
2. Basalton op de Afsluitdijk (Fugro, 1991);
3. Basalton bij Breskens (Fugro, 1992);
4. Basalton bij Maassluis (Nieuwenhuis, 1994);
5. Pit-polygoonzuilen (Fugro, 1993).

In het volgende schema wordt een overzicht gegeven van de belangrijkste kenmerken van de dijk en de bekleding op iedere locatie.

Kenmerk	Colijnsplaat	Afsluitdijk	Breskens	Maassluis	Maassluis
bloktype	Haringman	Basalton	Basalton	Basalton	Pit-polygoon
blokkoppervlak (m <sup>2</sup> )	0.50x0.50	0.20-0.29 (breedte)	0.20-0.29 (breedte)	0.20-0.29 (breedte)	0.25 (diameter)
dikte (m)	0.25	0.40	0.35	0.27	0.27
massa (kg)	145	35-77	28-61	21-45	30-35
voegvulling	geen	staalslakken 7/40 mm	staalslakken 7/40 mm	gebroken basalt 16/32	staalslakken 5/40 mm
onderlaag	steenslag fijn op mijnsteen	steenslag 30/50 mm	fosforslakken 0/40 mm	gebroken basalt 16/32	20 cm silex 30/90 mm
kruinhoogte (m)	8-8.25	7.75	10.60-11.25	3.40-3.70	3.39
talud	1:4	1:3/1:3.5	1:4/1:5	1:3.5/1:4	1:3.5/1:4
lengte sectie (m)	390	150	250	6x50	100
HW (m)	1.50	0.70	2.10	1.05	1.05
HW (spring) (m)			2.50	1.15	1.15
tabellen met details	1, 2, 8 en 9	3 en 7	4 en 7	5 en 7	6 en 7

De afmeting van een Basaltonzuil is aangeduid met de breedte van het vierkant waarbinnen de zuilvorm zich bevindt.

Bij de Pit-polygoon bevindt de vorm zich binnen een zeshoek. De afmeting is aangeduid met de diameter van de cirkel die door de vorm kan worden getrokken.

In Tabel 1 t/m 10 zijn nadere bijzonderheden van de trekproefseries gegeven, alsmede enkele resultaten. In de Figuren 1 t/m 5 wordt de situatie van de meetlocatie gegeven en een dwarsprofiel van de meetsectie. Deze figuren zijn ontleend aan Plooster (1990), Van Zandwijk (1995), Fugro (1991) en Fugro (1992), Nieuwenhuis (1994) en Fugro (1993).

## 3 Bewerking van de proefresultaten

### 3.1 Invloedsfactor voor stabiliteitsberekeningen

Met het analytische model voor het dimensioneren van gezette taludbekledingen, zoals beschreven in CUR/TAW (1992) en geprogrammeerd in ANAMOS, kan de sterkte van en de belasting op de toplaag worden berekend. Er wordt uitgegaan van het benodigde stijghoogteverschil om het eigen gewicht van de toplaag te compenseren (potentiële stabiliteit) en dit eigen gewicht wordt vervolgens vermenigvuldigd met enkele invloedsfactoren:

$$\phi_w = (\Gamma_1 + \Gamma_2 + \Gamma_3) \Delta D \cos \alpha \quad (6)$$

met:

$\phi_w$	=	maximaal toelaatbare stijghoogteverschil over de toplaag	(m)
$\Gamma_1$	=	invloedsfactor voor de wrijving die een volledig los blok ondervindt doordat het wrijving ondervindt met het onderliggende blok als gevolg van de gewichtscomponent van het blok evenwijdig aan het talud (zonder klemming)	(-)
$\Gamma_2$	=	invloedsfactor voor de massa traagheid van het blok	(-)
$\Gamma_3$	=	invloedsfactor voor de toestroming naar het bewegende blok	(-)
$\Delta$	=	relatieve volumieke massa van het blok = $(\rho_s - \rho)/\rho$	(-)
$\rho$	=	volumieke massa van water	(kg/m <sup>3</sup> )
$\rho_s$	=	volumieke massa van betonblok	(kg/m <sup>3</sup> )
$D$	=	dikte van de toplaag	(m)
$\alpha$	=	taludhelling	(°)

De grootte van de invloedsfactoren zijn af te lezen in de Figuren 129, 132 en 133 in CUR/TAW (1992). De waarde van  $\Gamma_1$  is altijd groter dan 1, terwijl  $\Gamma_2$  en  $\Gamma_3$  doorgaans tussen 0 en 0,3 liggen.

De invloed van klemming kan in de rekenmethode ingebracht worden door  $\Gamma_1$  te vervangen door  $\Gamma_k$ , waarbij geldt dat  $\Gamma_1 \leq \Gamma_k$ :

$$\phi_w = (\Gamma_k + \Gamma_2 + \Gamma_3) \Delta D \cos \alpha \quad (7)$$

met:

$$\Gamma_k = \text{invloedsfactor voor de wrijving die een geklemd blok ondervindt (-)}$$

Voor de kwantificering van  $\Gamma_k$  wordt gebruik gemaakt van de trekproeven. Deze zijn boven water uitgevoerd, en moeten dus vertaald worden naar een kracht ten opzichte van het onder water gewicht van de blokken.

We beschouwen daartoe het evenwicht van krachten tijdens golfbelasting, echter zonder de invloed van traagheid en toestroming ( $\Gamma_2 = 0$  en  $\Gamma_3 = 0$ ):

$$F_w = F_{eg} + F_n \quad (8)$$

met:

$$\begin{aligned} F_w &= \text{kracht als gevolg van het stijghoogteverschil (N)} \\ F_{eg} &= \text{kracht als gevolg van het eigen gewicht (N)} \\ F_n &= \text{netto trekkracht (trekkracht minus eigen gewicht) (N)} \end{aligned}$$

De netto trekkracht is in het krachtenevenwicht opgenomen omdat deze gelijk is aan de interactiekracht als gevolg van klemming en dus gelijk is aan de extra opwaartse verschuldruk die vanwege de klemming toelaatbaar is.

Uitschrijven levert:

$$\phi_w BL \rho g = (\rho_s - \rho) g DBL \cos \alpha + F_n \quad (9)$$

met:

$$\begin{aligned} BL &= \text{oppervlak van het blok} && (\text{m}^2) \\ g &= \text{versnelling van de zwaartekracht} && (\text{m/s}^2) \\ M &= \text{massa van het blok (=DBL } \rho_s) && (\text{kg}) \end{aligned}$$

Met de substitutie van  $\phi_w = \Gamma_k \Delta D \cos \alpha$  en  $F_r = F_n / (Mg)$  vinden we:

$$\Gamma_k = 1 + \frac{F_r \rho_s}{(\rho_s - \rho) \cos \alpha} \quad (10)$$

met:

$$F_r = \text{relatieve netto trekkracht (N)}$$

Voor de meeste steenzettingen geldt dat  $\rho_s = 2300 \text{ kg/m}^3$ ,  $\rho = 1030 \text{ kg/m}^3$  en  $\cos \alpha = 0,97$ . Invullen in de formule levert:

$$\Gamma_k = 1 + 1,86 F_r \quad (11)$$

In deze formule moet uiteraard niet de gemiddelde netto trekkracht gebruikt worden, maar een waarde die een zeer geringe onderschrijdingskans heeft. Hoewel hierover nog geen kennis beschikbaar is, wordt voorlopig aangenomen dat de netto trekkracht met onderschrijdingskans van 0,1% geschikt is:  $F_{n0,1\%}$ .

Bij de analyse van de trekproeven is het doel derhalve het vaststellen van  $F_{n0,1\%}$  om hiermee vervolgens  $\Gamma_k$  te bepalen.

### 3.2 Als er wel trekproeven zijn met $F_n < 2G$

Voor de statistische bewerking van de proefresultaten moet er onderscheid gemaakt worden tussen proefseries waarbij de trekkrachten hoog waren en series waarin ook een aantal lage trekkrachten zijn gemeten. Zoals in de inleiding is vermeld zijn alleen de trekproeven voor de analyse bruikbaar waarvoor geldt dat de netto trekkracht minder dan 2 maal het eigen gewicht was ( $F_n < 2G$ ). Was de netto trekkracht groter, dan is de kans groot dat boogvor-



ming optrad, waardoor de trekkracht om het blok eruit te trekken zeer hoog oploopt.

Alleen tijdens de trekproeven bij Colijnsplaat (Haringmanblokken) is in vrijwel iedere serie een aantal malen  $F_n < 2G$  gemeten.

Bij de statistische analyse van de metingen is gebleken dat de onderschrijdingskans van een bepaalde trekkracht redelijk goed kan worden beschreven met de Rayleigh verdeling (rechte lijnen in Figuur 6 t/m 12). Deze verdeling is enkelzijdig, hetgeen betekent dat alleen positieve netto trekkrachten een kans van voorkomen hebben. Dit is uiteraard voor de analyse van de trekproeven belangrijk. De Rayleigh-verdeling is een bijzondere Weibull-verdeling met vormparameter gelijk aan 2 en locatieparameter gelijk aan nul.

De onderschrijdingsfunctie van de Rayleigh-verdeling luidt:

$$P\{\bar{F}_n < F_n\} = 1 - e^{-cF_n^2} \quad (12)$$

met:

$$\begin{aligned} P\{\bar{F}_n < F_n\} &= \text{Onderschrijdingskans van } F_n & (-) \\ c &= \text{Factor} & (N^{-2}) \end{aligned}$$

De verwerking van de proefresultaten is gestart met het tellen van het aantal trekkingen per klasse van netto trekkracht, waarbij een klassebreedte van 490 N is aangehouden.

In Figuur 6 tot en met 12 zijn de resultaten van de trekproeven weergegeven. De assen in deze figuren zijn zo gekozen dat een Rayleigh verdeelde variabele op een rechte lijn komt die door de oorsprong gaat. Het blijkt dat de meeste trekproeven redelijk tot goed op rechte lijnen aansluiten, wat een ondersteuning is van de veronderstelling dat de Rayleigh-verdeling een geschikte keus is.

Op basis van de figuren is voor elke serie de waarde van  $F_{n0,1\%}$  en  $\Gamma_k$  bepaald. Alleen bij Serie D1, CA, D2 en I was dit niet goed mogelijk door het geringe aantal proeven met  $F_n < 2G$ . De eerste 4 series zijn daarom twee aan twee samengevoegd, waarbij gelet is op de temperatuur tijdens de trekproeven: Serie C1 en D1 zijn uitgevoerd bij ongeveer 10°C en Serie CA en D2 bij ongeveer 19°C. Serie I, die getrokken is in de tijzone, wordt uitgewerkt in de volgende paragraaf.

De resultaten zijn samengevat in Tabel 2.

De tabel geeft tevens de gemiddelde luchttemperatuur tijdens de proeven (T) en informatie over de hoeveelste keer er aan het betreffende blok is getrokken (i). De waarde van i geeft aan in hoeverre er een invloed verwacht mag worden van eerdere trekkingen op het talud. De waarde van i is bij de eerste keer trekken aan het blok gelijk aan 1, tenzij het naastliggende blok in dezelfde rij al een keer is getrokken, dan is tijdens de eerste trekking  $i = 1,5$ .

Is het blok er schuin onder of schuin boven al eens getrokken, dan is  $i = 1,25$  tijdens de eerste trekking. Zijn 2 schuin onder of bovenliggende blokken al eens getrokken, dan wordt  $i = 1,5$ . Is zowel een schuin onder of bovenliggend blok en een naastliggend blok getrokken, dan wordt  $i = 1,75$ . Als alle blokken rondom het blok al eens getrokken zijn, dan is  $i = 2$  tijdens de eerstvolgende trekking. Na een tussentijd van minstens een half jaar wordt weer met  $i = 1$  begonnen.

Het is duidelijk in de tabel te zien dat de klemming in rij 19 (net boven HW) veel groter is dan elders. Verder valt op dat Serie CA + D2, die bij een erg hoge temperatuur is getrokken, ook een vrij hoge waarde voor  $\Gamma_k$  heeft.

In Hoofdstuk 4 zijn de verschillende invloeden nader geanalyseerd.

### 3.3 Als er geen trekproeven zijn met $F_n < 2G$

Bij de trekproefseries op Basalton, Pit-polygoonzuilen en één serie bij Colijnsplaat zijn er geen blokken geconstateerd met  $F_n < 2G$ , ondanks dat de series uit vele honderden trekkingen bestonden:

- Basalton op de Afsluitdijk (Fugro 1991) : totaal 784 trekkingen
- Basalton bij Breskens (Fugro 1992) : totaal 1205 trekkingen
- Basalton bij Maassluis (Nieuwenhuis 1994) : totaal 1159 trekkingen
- Pit-polygoonzuilen (Fugro 1993) : totaal 396 trekkingen
- Haringmanblokken in Serie I bij Colijnsplaat in tijzone (Plooster '90) : totaal 50 trekkingen

De benodigde trekkracht voor de 5 meest losse stenen is weergegeven in Tabel 7, behalve voor Serie I bij Colijnsplaat omdat deze nauwelijks een verplaatsing te zien gaven bij een trekkracht van 900 kgf.

Hoewel er honderden zuilen op deze lokaties zijn getrokken en er geen één met  $F_n < 2G$  is geconstateerd, kan men toch niet met zekerheid stellen dat voor alle zuilen op die dijken geldt  $F_n > 2G$ . Er is immers een kans dat de losse zuilen net gemist zijn. De betrouwbaarheid van de stelling dat voor alle zuilen  $F_n > 2G$  is dus niet groot.

Bij de verdere bewerking van deze proefresultaten wordt de aandacht gericht op het bepalen van een ondergrens voor  $\Gamma_k$ , gebaseerd op  $F_{r,0,1\%} = F_{n,0,1\%}/G$ . De keuze van het percentage (namelijk 0,1%) is in feite arbitrair. Wellicht zou dit percentage afhankelijk gesteld moeten worden van bijvoorbeeld het oppervlak van het blok of zuil, of het aantal blokken of zuilen in een dwarsdoorsnede van de dijk, etc. Voorlopig wordt hier eenvoudigheidshalve van af gezien.

De genoemde ondergrens moet zo gekozen worden dat we met voldoende zekerheid weten dat de werkelijke  $\Gamma_k$  (te bepalen door alle zuilen op een dijk te trekken) groter is. Het zal duidelijk zijn dat naarmate we meer trekproeven hebben uitgevoerd, de betrouwbaarheid van uitspraken omtrent de ondergrens van  $\Gamma_k$  groeit.

We stellen nu dat voor een deel van de zuilen geldt  $F_n < 2G$ , ofwel  $F_r < 2$ . Dit deel is gelijk aan  $p$ . Vervolgens gaan we trekproeven doen en zijn geïnteresseerd in de kans dat we geen enkele zuil treffen met  $F_r < 2$ . De kans hierop is  $P_0$ :

$$P_0 = (1 - p)^N \quad (13)$$

met:

$P_0$	= kans om geen enkele zuil met $F_r < 2$ te vinden	(-)
	= onbetrouwbaarheid van de steekproef	(-)
$N$	= aantal trekproeven	(-)
$p$	= deel van de zuilen waarvoor geldt $F_r < 2$	(-)

Het liefst doen we zoveel trekproeven dat de kans  $P_0 = 0$ , zodat we geen risico lopen om geen enkele zuil te treffen met  $F_r < 2$ , terwijl ze er wel zijn. Uit de formule blijkt dat we dan alle zuilen moeten trekken. Is onze steekproef echter beperkt, dan moeten we een onbetrouwbaarheid ervan accepteren. De grootte van die onbetrouwbaarheid is  $P_0$ .

De betrouwbaarheid van de aanname dat het deel van de zuilen met  $F_r < 2$  kleiner is dan  $p$ , terwijl er tijdens  $N$  trekproeven geen één wordt geconstateerd, is:

$$P_B = 1 - P_0 = 1 - (1 - p)^N \quad (14)$$

met:

$$P_B = \text{betrouwbaarheid van de steekproef (-)}$$

Dit is een bruikbare benadering voor als  $P_B > 0,8$ .

Als er bijvoorbeeld aangenomen wordt dat voor 1% van de zuilen geldt dat  $F_r < 2$  (dus  $p = 0,01$ ) en er zijn  $N = 200$  trekproeven, dan is de betrouwbaarheid  $P_B = 0,87$ . De uitspraak dat voor maximaal 1% van alle zuilen geldt  $F_r < 2$  heeft een betrouwbaarheid van 87%.

Uitgaande van een gewenste betrouwbaarheid kan nu voor elke steekproefgrootte waarin geen een blok met  $F_r < 2$  is geconstateerd, het maximale onderschrijdingspercentage  $p$  bepaald worden. In Figuur 6 hebben we dan een punt met coördinaten  $(p, 2G)$ . Aannemende dat de Rayleigh verdeling nog steeds van toepassing is (zie vorige paragraaf), kan een rechte lijn naar de oorsprong van de figuur worden getrokken. Tevens kan de waarde van  $F_{n0,1\%}$  afgelezen worden. Tenslotte kan met formule 11 de waarde van  $\Gamma_k$  berekend worden. Met enig rekenwerk kan worden aangetoond dat deze hele procedure is samen te vatten in de volgende formule (als  $\rho = 2300 \text{ kg/m}^3$  en  $\cos\alpha = 0,97$ ; zie appendix A):

$$\Gamma_k = 1 + \sqrt{\frac{0,014 N}{-\ln(1 - P_B)}} \quad (15)$$

Met deze formule kan men de minimale waarde van  $\Gamma_k$  bepalen met een bepaalde betrouwbaarheid, gegeven een trekproefserie van  $N$  trekkingen die geen van alle loskwamen bij  $F_r = 2$ . De formule is grafisch weergegeven in Figuur 13.

De te analyseren trekproefseries verschillen sterk in omvang. Hiermee kan op twee manieren worden omgegaan:

1. Een vaste waarde voor  $\Gamma_k$  kiezen voor zuilen en een andere (lagere waarde) voor blokken. De betrouwbaarheid voor Basaltonzuilen zal dan groter zijn van Pit-Polygoonzuilen, omdat er voor Basalton meer trekproeven zijn uitgevoerd.
2. Een vaste waarde voor de gewenste betrouwbaarheid kiezen en vervolgens uitrekenen welke waarde van  $\Gamma_k$  hier bijhoort. De waarde zal voor Basalton groter zijn dan voor Pit-Polygoonzuilen.

Voorstanders van de eerste methode redeneren als volgt:

Het zou niet juist zijn om bij een vast gekozen betrouwbaarheid de verschillende waarden van  $\Gamma_k$  te bepalen, omdat het verschil in verworven informatie over de series gedomineerd wordt door de grootte van het aantal trekkingen. Een zuivere vergelijking tussen de verschillende lokaties is daardoor slechts mogelijk door een vaste waarde van  $\Gamma_k$  te kiezen en vervolgens per serie de betrouwbaarheid te bepalen. Het resulteert in verschillende betrouwbaarheden per locatie, hetgeen aansluit op het verschil in seriegrootte. Pas als de betrouwbaarheden erg laag worden, is er reden tot het kiezen van een andere waarde van  $\Gamma_k$ .

Voor Basalton en Pit-polygoonzuilen wordt  $\Gamma_k = 2,5$  gekozen. De bijbehorende betrouwbaarheden zijn:

- Basalton op de Afsluitdijk (N = 784) :  $P_B = 99,2\%$
- Basalton bij Breskens (N = 1205) :  $P_B = 99,9\%$
- Basalton bij Maassluis (N = 1159) :  $P_B = 99,9\%$
- Pit-polygoonzuilen (N = 396) :  $P_B = 91,2\%$

We kunnen de gekozen  $\Gamma_k$  van Basalton als zeer betrouwbaar omschrijven. Die van Pit-polygoonzuilen is redelijk betrouwbaar. Passen we dezelfde  $\Gamma_k$  toe op Serie I bij Colijnsplaat (50 trekkingen), dan vinden we  $P_B = 26,4\%$  en dat is te onbetrouwbaar. Daarom moet voor deze serie een lagere waarde gekozen worden:  $\Gamma_k = 1,5$  geeft  $P_B = 93,7\%$  en is dus wel betrouwbaar ( $\Gamma_k = 2,0$  geeft  $P_B = 49,8\%$ ).

Voorstanders van de tweede methode redeneren als volgt:

Naarmate er meer informatie wordt verworven (door middel van trekproeven) kan men met minder risico scherp ontwerpen of toetsen. In dit verband zouden bij oneindig veel trekproeven wellicht de Pit-Polygoonzuilen even goed blijken te klemmen als de Basalton-zuilen, maar voorlopig weten we meer over Basalton omdat we hier meer trekproeven op hebben uitgevoerd. Omdat we meer kennis over Basalton hebben, kunnen we zonder zorgen een grotere waarde van  $\Gamma_k$  toepassen. Dit pleit ervoor een gelijke waarde van de betrouwbaarheid  $P_B$  te kiezen, bijvoorbeeld 99%. Met formule (15) vinden we dan:

- Basalton op de Afsluitdijk (N = 784) :  $\Gamma_k = 2,5$
- Basalton bij Breskens (N = 1205) :  $\Gamma_k = 2,9$
- Basalton bij Maassluis (N = 1159) :  $\Gamma_k = 2,9$
- Pit-polygoonzuilen (N = 396) :  $\Gamma_k = 2,1$

Het is nu nog niet duidelijk welke methode de voorkeur zou moeten hebben.

## 4 Analyse van de resultaten

### Invloed van de temperatuur

De proefseries bij Colijnsplaat zijn bij verschillende temperaturen gemeten en zijn daarom bij uitstek geschikt om te gebruiken voor het afschatten van een temperatuurinvloed. De verwachting is dat de waarde van  $\Gamma_k$  stijgt bij stijgende temperatuur. De blokken zetten immers uit en komen beter geklemd te liggen.

Alle series waarin de blokken voor het eerst zijn getrokken zijn in Figuur 14 uitgezet tegen de temperatuur.

In de figuur is te zien dat de temperatuurinvloed heel duidelijk is in rij 6, maar veel minder in de rijen 9, 10 en 11.

Mede door de theoretische verwachting van een invloed van de temperatuur is de gemiddelde trent in de metingen in de volgende formule weergegeven:

$$\Gamma_{k,i=1} = 1 + 0,1 \cdot e^{-\frac{T}{10}} \quad (16)$$

met:

$T$  = gemiddelde luchttemperatuur tijdens de trekproefserie (°)

$\Gamma_{k,i=1}$  = waarde van  $\Gamma_k$  bij de eerste trekking (zie invloed voorgaande trekkingen)

Deze formule is ook in Figuur 14 ingetekend. De spreiding in de metingen is helaas zodanig dat de formule als zeer voorlopig gezien moet worden.

De trekproeven op Basalton en Pit-polygoonzuilen geven geen informatie over de invloed van de temperatuur.

### Invloed van voorgaande trekkingen

Het is de verwachting dat een blok losser zit als er al eens aan getrokken is. Om dit te onderzoeken zijn er series herhaald (bijvoorbeeld Serie FA t/m FH), of is er eerst aan naastliggende blokken getrokken (Serie E, R, S en T). Het beschouwen van afzonderlijke blokken is in dit verband minder zinvol dan het analyseren van de series. De klemkracht is een sterk stochastische variabele, waardoor afzonderlijke trekkingen erg van toeval afhankelijk zijn.

De waarde  $i$  geeft aan om de hoeveelste trekking van de blokken het gaat. De waarde van  $i$  is bij de eerste keer trekken aan het blok gelijk aan 1, tenzij het naastliggende blok in dezelfde rij al een keer is getrokken, dan is tijdens de eerste trekking  $i = 1,5$ . De waarde van  $i$  geeft aan in hoeverre er een invloed verwacht mag worden van eerdere trekkingen op het talud. Is het blok er schuin onder of schuin boven al eens getrokken, dan is  $i = 1,25$  tijdens de eerste trekking. Zijn 2 schuin onder of bovenliggende blokken al eens getrokken, dan wordt  $i = 1,5$ . Is zowel een schuin onder of bovenliggend blok en een naastliggend blok getrokken, dan wordt  $i = 1,75$ . Als alle blokken rondom het blok al eens getrokken zijn, dan is  $i = 2$  tijdens de eerstvolgende trekking. Na een tussentijd van minstens een half jaar wordt weer met  $i = 1$  begonnen.

Helaas zijn de opeenvolgende series met verschillende temperaturen uitgevoerd, waardoor de invloed van de temperatuur en die van voorgaande trekkingen moeilijk te scheiden zijn. Daarom zijn alle resultaten met formule 16 eerst vertaald naar 5°C en vervolgens in een grafiek tegen  $i$  uitgezet (zie Figuur 15).

Het valt op dat de spreiding wederom enorm is.

Er worden twee groepen meetpunten onderscheiden:

- metingen met  $\Gamma_k < 1,1$  tijdens de eerste trekking ( $i = 1$ ):  
bij deze metingen is de klemkracht al zo klein dat er nauwelijks een invloed van de voorgaande trekkingen te verwachten is.
- metingen met  $\Gamma_k > 1,1$  tijdens de eerste trekking ( $i = 1$ ):  
bij deze metingen is de klemkracht duidelijk aanwezig en kan een invloed verwacht worden.

In de figuur is te zien dat de waarde van  $\Gamma_k$  inderdaad duidelijk afneemt voor de tweede groep metingen. De globale tendens wordt benaderd door (temperatuur  $T = 5^\circ\text{C}$ ):

$$\Gamma_{k,T=5} = 1 + \frac{0,2}{i} \quad (17)$$

Deze formule is ook in Figuur 15 ingetekend. De spreiding in de metingen is helaas zodanig dat de formule als zeer voorlopig gezien moet worden.

### Invloed van de wijze van trekken

De meeste trekproefseries zijn uitgevoerd met een trekapparaat dat aan één blok trekt, maar de omliggende blokken de vrijheid geeft om ook mee omhoog te komen. In veel gevallen leidde dat tot het opbollen van de hele zetting, waardoor de normaalkracht in het vlak van de zetting enorm opliep. In de inleiding is gesteld dat in deze analyse alleen gekeken wordt naar trekproeven waarvoor geldt dat  $F_n < 2G$ , om te voorkomen dat de analyse beïnvloed wordt door dit opbollen en de overeenkomstige hoge trekkrachten.

Er zijn ook een paar series uitgevoerd met een meetframe dat de naastliggende blokken tijdens het trekken op z'n plaats hield, namelijk Serie CC, CE en FG. De resultaten van deze series waren:

Serie	Datum		Rij	Aantal	Fn0,1%	$\Gamma_k$	T	i
	van	tot						
CC	941115	941116	6	48	378	1.49	12	1
CE	941128	941128	6	50	146	1.19	10	3
FG	941122	941122	10	50	66	1.09	7	2

Overzicht resultaten trekproeven bij Colijnsplaat met frame

In Figuur 15 zijn deze proeven met aparte symbolen weergegeven (gecorrigeerd naar  $T = 5^\circ\text{C}$ ).

Het is de verwachting dat de trekkracht met frame lager is dan zonder, omdat het opbollen van de zetting extra normaalspanningen geeft. In de figuur is te zien dat de metingen in rij 6 een wat hogere  $\Gamma_k$  geven en in rij 10 wat lager dan zonder frame. Op grond hiervan wordt geconcludeerd dat het frame geen invloed heeft op  $\Gamma_k$ .

### Invloed van type bekleding en niveau boven HW

Als alle resultaten bijelkaar worden gezet, dan valt er een duidelijke invloed op van het type toplaag (zuil of blok) en het niveau ten opzichte van hoogwater (in tijzone of er ruim boven). In onderstaande tabel zijn alle resultaten nog eens bijelkaar gezet:

Bekleding	Specificatie	Niveau op dijk	$\Gamma_k$
Basalton	Breskens	Boven tijzone	$\geq 2,5$
Basalton	Maassluis	Boven tijzone	$\geq 2,5$
Basalton	Afsluitdijk	Boven tijzone	$\geq 2,5$
Pit-polygoonzuilen	Maassluis	Boven tijzone	$\geq 2,5$
Haringmanblokken	Serie I (rij 36)	Tijzone	$\geq 1,5$
Haringmanblokken	Serie col04 (rij 19)	Net boven tijzone	2,0
Haringmanblokken	Rj 6 t/m 11	Boven tijzone	1,1 à 1,3
Haringmanblokken	Serie col01 (rij 3)	Boven tijzone, bovenste rij	1,1

Overzicht proefresultaten per type bekleding en niveau op dijk

In de tabel is te zien dat de zuilen (Basalton en Pit-polygoonzuilen) veel beter geklemd liggen dan de Haringmanblokken. De Haringmanblokken liggen in en net boven de tijzone redelijk goed geklemd. Boven de tijzone is de klemming gering.

### Relatie tussen de visuele kenmerken en de klemming

In Tabel 9 zijn ook gegevens opgenomen over het uiterlijk van de spleten rondom het te trekken blok. In de kolom b-z-o zijn drie cijfers geplaatst die 1 of 2 kunnen zijn:

- eerste cijfer is 1 : aan de bovenzijde zou er klemming kunnen zijn (vast)
- eerste cijfer is 2 : aan de bovenzijde zou het blok los kunnen liggen
- tweede cijfer is 1 : aan de zijkanten zou er klemming kunnen zijn (vast)
- tweede cijfer is 2 : aan de zijkanten zou het blok los kunnen liggen
- derde cijfer is 1 : aan de onderzijde zou er klemming kunnen zijn (vast)
- derde cijfer is 2 : aan de onderzijde zou het blok los kunnen liggen

Vervolgens is er een kolom "los?" met de volgende code (gebaseerd op kolom b-z-o):

- 1 = blok lijkt alzijdig vast te liggen;
- 2 = blok lijkt alleen in de rij vast te liggen (weinig klemming van boven en onder);
- 3 = blok lijkt alleen in de rij los te liggen (alleen klemming van boven en onder);
- 4 = blok lijkt alzijdig los te liggen.

Als we van alle series de 5 meest losse blokken nemen, dan vinden we de volgende verdeling van visuele constateringingen:

37%	categorie 4	:	los
57%	categorie 2 en 3	:	deels los
6%	categorie 1	:	vast

Selecteren we uit die groep de 20 meest losse stenen (die alle met  $F_n < G$  eruit gingen), dan vinden we de volgende verdeling (zie Tabel 10):

35%	categorie 4	:	los
60%	categorie 2 en 3	:	deels los
5%	categorie 1	:	vast

Deze twee verdelingen zijn ongeveer gelijk. Bovendien is het aantal als los beoordeelde blokken vrij laag.

Hieruit wordt geconcludeerd dat de relatie tussen een lage trekkracht en de visuele beoordeling ontbreekt.



## 5 Consequenties voor het Black-Box model

### 5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt bekeken of het black-box model (Klein Breteler, 1994) aangepast zou moeten worden op basis van de resultaten van de trekproeven. Het black-box model is opgezet op basis meetresultaten van grootschalig modelonderzoek en theoretische relaties uit het analytische model. Doordat er in belangrijke mate gebruik is gemaakt van resultaten van modelonderzoek, dat soms met losse en soms met geklemde blokken is uitgevoerd, is een zekere mate van klemming reeds in het black-box model opgenomen.

In de huidige analyse wordt uitsluitend gekeken naar drie constructies:

- 1) Basalton op uitvullaag op mijnsteen;
- 2) Haringmanblokken op uitvullaag op mijnsteen;
- 3) Haringmanblokken op klei.

Van deze constructies zijn zowel trekproefresultaten als metingen in de Deltagoot van WL beschikbaar en lenen zich daarom goed voor deze analyse. De analyse richt zich vooral op de eerste twee constructies omdat ook het analytische model hierop toepasbaar is.

### 5.2 Analyse van Basaltonconstructies

In de praktijk wordt Basalton altijd ingewassen met granulair materiaal teneinde de klemming en samenhang tussen de verschillende zuilen te verkrijgen. Uit de analyse van de trekproeven blijkt duidelijk dat dit goed lukt. In paragraaf 3.3 is een invloedsfactor ( $\Gamma_k$ ) van 2,5 vastgesteld. Teneinde aan de veilige (conservatieve) kant te blijven wordt in dit hoofdstuk gerekend met  $\Gamma_k = 2,0$ .

#### Analytisch model

Het analytische model (en ANAMOS) gaat uit van losse blokken zonder klemming en rekent derhalve altijd conservatief (veilige ontwerpen). Voor een constructie van ingewassen Basalton is echter de benadering overdreven conservatief, omdat:

- de inwassing leidt tot een minder doorlatende toplaag, waardoor de stabiliteit volgens het analytische model lager is dan een niet ingewassen zetting;
- het positieve effect van de inwassing, namelijk dat de klemming toeneemt, wordt niet in rekening gebracht.

Het positieve effect (verhoging sterkte door klemming) is belangrijker dan het negatieve effect (verhoging belasting door kleinere toplaagdoorlatendheid). Op grond hiervan is voor de praktijk geadviseerd de stabiliteit te bepalen van een niet ingewassen zetting, ook al wordt de zetting ingewassen.

Nu de grootte van de klemming middels een factor  $\Gamma_k$  is gekwantificeerd, is het mogelijk om de stabiliteit van al dan niet ingewassen Basalton te bepalen. Er zijn berekeningen gemaakt met het analytische model (CUR/TAW 1992) voor de volgende constructie:

- *Toplaag van Basalton:*
  - Dikte :  $D = 0,25$  m
  - Gemiddeld zuiloppervlak :  $BL = 0,3 \times 0,3$  m<sup>2</sup>
  - Relatief open oppervlak :  $\Omega = 0,10$  (geschematiseerd door spleten met breedte van 14 mm)
  - Relatieve volumieke massa :  $\Delta = 1,233$
  - Wrijving tussen zuilen :  $f_w = 0,5$
  - Eventuele inwassing :  $D_{15} = 5$  mm;  $n = 0,5$
- *Uitvullaag:*
  - Laagdikte :  $b = 0,1$  m
  - Karakteristieke korrelgrootte :  $D_{f15} = 9$  mm
  - Porositeit :  $n = 0,40$
- *Mijnsteen:*
  - Laagdikte :  $b = 0,5$  m
  - Karakteristieke korrelgrootte :  $D_{f15} = 2$  mm
  - Porositeit :  $n = 0,30$
- *Talud:*
  - taludhelling :  $\tan\alpha = 0,25$

Voor deze constructie is op drie manieren met het analytische model de stabiliteit berekend:

- 1) rekening houdend met de aanbeveling om net te doen of er geen inwasmateriaal aanwezig is;
- 2) rekening houdend met de verlaging van de doorlatendheid van de toplaag als gevolg van de inwassing, maar zonder te rekenen op klemming;
- 3) rekening houdend met de verlaging van de doorlatendheid van de toplaag als gevolg van de inwassing en rekening houdend met een conservatieve waarde voor de klemming:  $\Gamma_k = 2$ .

Enkele resultaten zijn gegeven in onderstaande tabel:

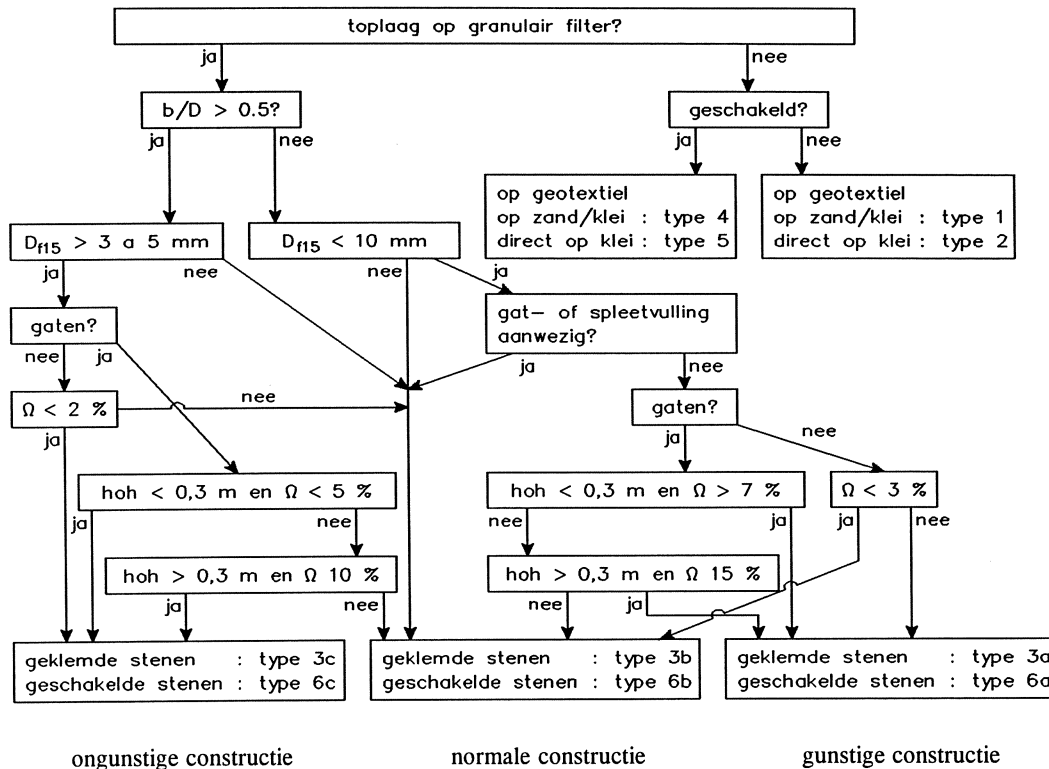
	Zonder inwassing Met losse zuilen	Met inwassing Met losse zuilen	Met inwassing Met klemming
$\xi_{op} = 1,25$	$H_s/\Delta D = 5,7$	$H_s/\Delta D = 2,9$	$H_s/\Delta D = 8,5$
$\xi_{op} = 1,40$	$H_s/\Delta D = 5,3$	$H_s/\Delta D = 2,8$	$H_s/\Delta D = 7,9$
$\xi_{op} = 2,00$	$H_s/\Delta D = 4,2$	$H_s/\Delta D = 2,4$	$H_s/\Delta D = 6,2$

Rekenresultaten met analytisch model (Basalton)

In de tabel valt op dat de stabiliteit van een losse zuil sterk vermindert door de aanwezigheid van inwasmateriaal, maar het positieve effect (de klemwerking) is dominant.

## Black-box model

Het black-box model (Klein Breteler, 1994) maakt onderscheid tussen 3 verschillende soorten zettingen op een filter, namelijk de "gunstige", de "normale" en de "ongunstige" constructie. Met behulp van onderstaand stroomschema kan men het type constructie bepalen.



Stroomschema ter bepaling van het constructietype

We zien in het schema dat de onderhavige constructie van zuilen op een dunne uitvullaag vanwege de spleetvulling (inwasmateriaal) op type 3b uitkomt: normale constructie (zie Figuur 16). Zonder inwasmateriaal zou de constructie gunstig zijn: type 3a (Figuur 17). Het stroomschema is op deze manier opgezet, omdat het deels gebaseerd is op het analytische model. Dat model laat een verlaging van de stabiliteit zien als er inwassing is (verlaging van de toplaagdoorlatendheid door inwassing, maar toch losse zuilen).

Nu uit de trekproeven is gebleken dat goed ingewassen Basalton geen losse zuilen kent en er rekening gehouden zou mogen worden met een belangrijke klemwerking, is een heroverweging van het black-box model van belang geworden.

Uit de eerder in dit hoofdstuk gepresenteerde berekeningen met het analytische model blijkt dat het black-box model kan worden gewijzigd: goed ingewassen Basalton kan gerekend worden tot de categorie "gunstige constructie", omdat de stabiliteit groter is dan niet ingewassen Basalton. Voorwaarde is echter:

- dunne filterlaag:  $b/D < 0,5$
- vrij fijne filterlaag:  $D_{f15} < 10$  mm
- de kwaliteit van de inwassing moet met een voldoende groot aantal trekproeven zijn aangetoond.

Het is onverstandig om de eerste twee voorwaarden te vergeten, omdat constructies met dikke en/of grove filterlagen een grote lek lengte hebben. Hierdoor is niet alleen de verschillendruk tijdens de golfaanval groot, maar is ook het oppervlak waarover een grote verschillendruk werkt groot. Naarmate dit oppervlak groter wordt, is het stabiliteitsverhogende effect van de klemming minder.

Het is de vraag of de wijziging van het black-box model ook ondersteund wordt door de beschikbare meetresultaten. De stabiliteit van Basalton is gemeten in de Deltagoot van WL (Visser en vd Weide, 1983). Tijdens de proeven zijn twee belangrijke constateringingen gedaan:

1. Tijdens onregelmatige golfaanval met  $\xi_{op} = 1,44$  op een niet ingewassen glooiing trad voor het eerste schade op bij  $H_s/\Delta D = 4,88$ .

De situatie kan als volgt omschreven worden:

- a. geringe klemming (niet ingewassen)
- b. hoge toplaagdoorlatendheid (brede spleten zonder inwassing)

Hierdoor is de vrij hoge stabiliteit, die is gemeten, verklaarbaar.

Deze proef kan ook nagerekend worden met ANAMOS. We zien dan dat bij  $H_s/\Delta D = 4,6$  de constructie volgens ANAMOS instabiel wordt.

Volgens het black-box model is dit een "normale constructie" vanwege de grove filterlaag ( $D_{f15} \approx 20$  mm) en is de stabiliteit daarom  $2,8 < H_s/\Delta D < 5,1$ .

2. Tijdens onregelmatige golfaanval met  $\xi_{op} = 1,93$  op een zorgvuldig ingewassen glooiing trad geen schade op bij  $H_s/\Delta D = 9,94$ .

De situatie kan als volgt omschreven worden:

- a. grote klemming (enerzijds door inwassing en anderzijds is er invloed van gootwanden)
- b. lage toplaagdoorlatendheid (spleten zijn goed gevuld)

De klemming kan tussen de gootwanden op een relatief kort dijkvak gigantisch hoog worden. Dit overtreft ruimschoots de invloed van de kleinere toplaagdoorlatendheid en de relatief grove filterlaag ( $D_{f15} \approx 20$  mm). Hierdoor is de gemeten zeer hoge stabiliteit verklaarbaar.

In werkelijkheid zal de tweede situatie wellicht soms optreden, maar is niet maatgevend. De dijksecties met redelijke klemming zijn maatgevend (veilig te karakteriseren met  $\Gamma_k = 2,0$ ). De eerste situatie kan helaas ook niet gebruikt worden ter verificatie van de wijziging in het black-box model. Immers: er was geen inwassing en bovendien was de filterlaag te grof.

In figuur 17 zijn daarom de resultaten van het Basaltononderzoek niet ingetekend.

Overigens zijn er in Figuur 16 ook metingen getekend van Basalt op een filter. Gezien de lage stabiliteit moet er ernstige twijfel rijzen over de mate van klemming in deze toplaag. Uiteraard sluit dit nog niet uit dat er Basaltzettingen zijn die wel goed geklemd zijn.

### 5.3 Analyse van Haringmanblokkenglooiingen

De analyse van de klemkrachten bij Haringmanblokken geeft aan dat de klemming in de toplaag (boven gemiddeld hoogwater) gering is, gemiddeld:  $\Gamma_k = 1,2$ . De stabiliteit van een geklemd Haringmanblokkenglooiing is daardoor weinig groter dan die met losse blokken.

In onderstaande tabel zijn enkele rekenresultaten gegeven voor een toplaag op een uitvullaag op mijnsteen. De constructie-eigenschappen zijn:

- *Toplaag van Haringmanblokken:*
  - Dikte :  $D = 0,25 \text{ m}$
  - Blokafmetingen :  $BL = 0,5 \times 0,5 \text{ m}^2$
  - Relatief open oppervlak :  $\Omega = 0,008$  (spleetbreedte van 2 mm)
  - Relatieve volumieke massa :  $\Delta = 1,233$
  - Wrijving tussen zuilen :  $f_w = 0,5$
  
- *Uitvullaag:*
  - Laagdikte :  $b = 0,05 \text{ m}$
  - Karakteristieke korrelgrootte :  $D_{f15} = 5 \text{ mm}$
  - Porositeit :  $n = 0,35$
  
- *Mijnsteen:*
  - Laagdikte :  $b = 0,5 \text{ m}$
  - Karakteristieke korrelgrootte :  $D_{f15} = 2 \text{ mm}$
  - Porositeit :  $n = 0,30$
  
- *Talud:*
  - taludhelling :  $\tan\alpha = 0,25$

	Met losse blokken	Met klemming $\Gamma_k = 1,2$
$\xi_{op} = 1,25$	$H_s/\Delta D = 3,7$	$H_s/\Delta D = 4,2$
$\xi_{op} = 1,40$	$H_s/\Delta D = 3,5$	$H_s/\Delta D = 3,8$
$\xi_{op} = 2,00$	$H_s/\Delta D = 2,7$	$H_s/\Delta D = 3,0$

Rekenresultaten met analytisch model (Haringmanblokken)

Ook uit deze berekeningen blijkt slechts een geringe invloed van de klemming.

Het is te verwachten dat de invloed van klemming op de stabiliteit van Haringmanblokken op klei ook gering zal zijn.

## 5.4 Gevolgen voor het black-box model

Op basis van bovenstaande analyse kan het volgende geconcludeerd worden:

### 1) *Basalton*

Goed ingewassen Basalton kan gerekend worden tot de categorie "gunstige constructie", omdat de stabiliteit groter is dan niet ingewassen Basalton. Voorwaarde is echter dat de kwaliteit van de inwassing met een voldoende groot aantal trekproeven is aangetoond.

Op dit punt zou het black-box model aangepast kunnen worden, omdat nu de goed ingewassen Basalton nog tot de categorie "normale constructies" behoort.

### 2) *Haringmanblokken*

De stabiliteit van de Haringmanblokkenglooiing waarop de trekproeven zijn uitgevoerd (Colijnsplaat, boven GHW) is slechts weinig groter dan een zetting met losse blokken. Het verschil in  $H_s/\Delta D$ -waarde was slechts ongeveer 10%.

Deze conclusie geldt voor blokken op een filter en op klei voor zover er een klemfactor  $\Gamma_k < 1,2$  is vastgesteld, zoals bij Colijnsplaat. In dat geval is een wijziging van het black-box model niet nodig.

## Referenties

- CUR/TAW 1992. Handboek voor dimensionering van gezette taludbekledingen Rapport 155, ISBN 90 376 0017 4.
- FUGRO, 1991. Natuurmetingen op de afsluitdijk ten behoeve van steenzetonderzoek. Basaltonzuilen. FUGRO b.v. M-0067. Oktober 1991.
- FUGRO, 1992. Natuurmetingen op de zeedijk nabij Breskens ten behoeve van steenzetonderzoek. Basaltonzuilen. FUGRO b.v. M-0067. April 1992.
- FUGRO, 1993. Natuurmetingen aan PIT-polygoonzuilen aan de Nieuwe waterweg te Maassluis ten behoeve van steenzetonderzoek. FUGRO b.v. M-0111. Augustus 1993.
- Gerresen, B., Stabiliteit van steenzettingen, beschouwing van een dijkbekleding als een verend ondersteunde buigligger, TU-Delft, aug. 1997 (A2.97.74)
- Klein Breteler, 1994, Open taludbekledingen, Deel D, Vernieuwd Black-box model, rapport A2.94.26, H1770, april '94.
- Nieuwenhuis, 1994. Natuurmetingen aan Basaltonzuilen aan de Nieuwe waterweg te Maassluis ten behoeve van steenzetonderzoek. FUGRO b.v. M-0103. Oktober 1994.
- Plooster, A., 1990. Tussentijdse rapportage eerste meetcampagne op meetlocatie Noord Beveland. April t/m juli 1990. DWW. Juli 1990.
- Visser, P.J. en J vd Weide, Basalton, Stabiliteit onder golfaanval, WL rapport M1900, febr. '83
- Zandwijk, R. van, 1995, Natuurmetingen op meetlocatie Colijnsplaat, Fugro, 25 mei '95, TAW-A2.95.71.









Rij	Rij 3	Rij 6	Rij 9	Rij 10	Rij 11	Rij 19	Rij 36
datum	9-25 april 1990	11 april-15 mei '90 28 nov. '90 15-28 nov. '94	23-24 nov. 1994	3-29 april '90 14 nov - 1 dec 1994	21 - 25 nov 1994	5-19 april '90	
aantal blokken	185	376	100	698	99	193	99
hoogte (NAP)	4.35	4.00	3.63	3.50	3.37	2.50	0.25
opmerkingen	afgeschuinde kant (134kg ipv 145)			proef herhaald in mei			

Tabel 1 Detailinformatie trekproeven Colijnsplaat

Serie	Datum		Rij	Aantal	Fn0,1% (N)	Γk (-)	T (°)	i (-)
	van	tot						
col01	900409	900509	3	185	110	1.16	10	1
col04	900405	900419	19	193	780	2.02	7	1
C1+D1	900411	900411	6	86	298	1.39	10	1
CA+D2	900515	900515	6	92	500	1.65	19	1
EA	900403	900403	10	49	129	1.17	9	1
E2	900418	900418	10	49	117	1.15	7	1
F2	900419	900419	10	50	171	1.22	6	1
FA	900404	900404	10	50	207	1.27	7	1
FB	900410	900410	10	50	122	1.16	10	2
FC	900416	900416	10	50	254	1.33	17	3
FD	900429	900429	10	50	373	1.49	18	4
CB	901128	901128	6	50	146	1.19	5	1
FE	901128	901128	10	50	51	1.07	5	1
CC	941115	941116	6	48	378	1.49	12	1
CD	941121	941121	6	50	102	1.13	10	2
CE	941128	941128	6	50	146	1.19	10	3
FF	941114	941114	10	50	122	1.16	12	1
FG	941122	941122	10	50	66	1.09	7	2
FH	941201	941201	10	50	37	1.05	4	3
S1	941116	941117	10	50	112	1.15	11	1
R0	941121	941123	11	49	112	1.15	10	1
T0	941123	941123	9	50	224	1.29	9	1
S0	941123	941123	10	50	154	1.20	10	1.5
T1	941124	941124	9	50	268	1.35	10	1.75
R1	941124	941125	11	50	151	1.20	10	1.75
EB	941129	941129	10	50	76	1.10	9	2

Tabel 2 Overzicht resultaten trekproeven bij Colijnsplaat

Kenmerk	AFS01	AFS02	AFS03	AFS04
Code	AB	CD	EF	GH
datum	16-25 april '91	4-24 april '91	17-24 april '91	18-24 april '91
aantal blokken	199	191	198	196
hoogte (NAP)	4.00-4.25	3.50	2.75-3.00	2.00

Tabel 3 Detailinformatie over trekproeven op de Afsluitdijk

Kenmerk	BRK01	BRK02	BRK03	BRK04	BRK01A
Code	ABC	DEF	GHI	JKL	MN
datum	31 okt. - 21 nov. '91	28 nov. - 19 dec. '91	17 dec. '91 - 23 jan. '92	13-19 dec. '91	4-10 dec. '91
aantal blokken	249	248	254	254	200
hoogte (NAP)	3.80	3.30	2.80	2.30	3.60
opmerkingen					

Tabel 4 Detailinformatie over trekproeven bij Breskens

Kenmerk	Pit01	Pit02	Pit03	Pit04
Code	W	X	Y	Z
datum	30 maart - 1 april '93	31 maart - 2 april '93	6-7 april '93	6-7 april '93
aantal blokken	98	99	100	99
hoogte (NAP)	3.05	2.45	1.90	1.30
opmerkingen	machinaal gezet	machinaal gezet	deels machinaal, deels handmatig gezet	handmatig gezet

Tabel 5 Detailinformatie over trekproeven op Pit-polygoonzuilen bij Maassluis

Kenmerk	MSL01	MSL02	MSL03	MSL04
Code	<b>C, D, E</b>	<b>H, I, J</b>	<b>M, N, O</b>	<b>R, S, T</b>
datum	16 dec. '92 - 12 nov. '93	16 dec. '92 - 11 nov. '93	16 dec. '92 - 11 nov. '93	15 dec. '92 - 8 sept. '93
aantal blokken	294	296	296	273
hoogte (NAP)	3.00	2.25	1.50	0.75
opmerkingen	Van dec. '92 tot nov. '93 6 campagnes van 50 stenen			

Tabel 6 Detailinformatie over trekproeven op Basalton bij Maassluis

Raai	Aantal trekkingsen	F <sub>i</sub> van 5 meest losse stenen					Aantal losse stenen		G (N)
		(N)					F <sub>i</sub> =9,2 KN	F <sub>i</sub> = 3G	
AFS01	199	7828	8692	8613	8966	9143	5	0	343
AFS02	191	6975					1	0	343
AFS03	198						0	0	343
AFS04	196						0	0	343
BRK01	249	5592	6553	7220	7436	7495	15	0	274
BRK02	248						0	0	274
BRK03	254						0	0	274
BRK04	254						0	0	274
BRK01A	200	8358	8564	9045			3	0	274
MSL01	294	3728	3806	3973	4208	4277	19	0	205
MSL02	296	2914	3090	3296	3483	3689	73	0	205
MSL03	296	2217	2914	3198	3237	3375	69	0	205
MSL04	273	2031	4081	5131	5288	5474	73	0	205
Pit01	98	2914	2982	3120	3178	3218	92	0	294
Pit02	99	2815	2855	2982	3306	3326	90	0	294
Pit03	100	2970	3770	4210	4238	4258	85	0	294
Pit04	99	4159	4238	4336	4532	4817	64	0	294

AFS = Afsluitdijk

BRK = Breskens

MSL = Maassluis

PIT = Pit-polygoonzuilen)

Tabel 7 Enkele meetresultaten van trekproeven op Basalton en Pit-polygoonzuilen

Serie	Datum	Tijd	Steen	Ft (kg)	v (mm)
C1	900411	845	8	266	25.2
C1	900411	838	1	278	28.3
C1	900411	849	14	281	26.6
C1	900411	949	95	906	14.7
C1	900411	934	88	907	16.3
CA	900515	1112	56	908	13.7
CA	900515	1320	360	908	8.0
CA	900515	1052	11	908	6.9
CA	900515	1105	47	909	11.1
CA	900515	1128	99	909	10.3
COL01	900417	1400	378	154	26.2
COL01	900507	1449	381	189	25.8
COL01	900418	851	678	192	28.2
COL01	900409	1524	0	197	27.7
COL01	900418	854	684	200	26.1
COL04	900418	1246	676	349	28.6
COL04	900418	1137	606	461	25.8
COL04	900418	1248	683	466	29.0
COL04	900419	1320	84	466	27.0
COL04	900418	1133	599	517	25.9
D1	900411	1633	693	318	28.3
D1	900411	1529	606	436	29.0
D1	900411	1311	388	907	19.7
D1	900411	1609	661	907	9.8
D1	900411	1352	449	907	6.0
D2	900515	1624	690	273	30.3
D2	900515	1648	769	759	30.2
D2	900515	1422	473	909	8.5
D2	900515	1603	671	909	5.2
D2	900515	1502	589	909	4.3
E2	900418	1419	79	231	30.8
E2	900418	1414	64	231	29.7
E2	900418	1417	73	234	25.3
E2	900418	1353	7	240	31.4
E2	900418	1356	16	280	25.1
EA	900403	1345	103	212	27.3
EA	900403	1225	41	221	27.9
EA	900403	1158	11	256	25.9
EA	900403	1405	130	280	25.5
EA	900403	1318	69	290	32.5
F2	900419	1103	625	281	26.1
F2	900419	1057	603	287	29.0
F2	900419	1124	701	305	27.4
F2	900419	904	473	314	26.1
F2	900419	1119	687	315	30.8
FA	900404	1249	478	234	26.2
FA	900404	1301	494	299	32.4
FA	900404	1458	622	309	26.6
FA	900404	1452	614	309	25.3
FA	900404	1531	691	329	31.1
FB	900410	1344	606	231	27.5
FB	900410	1354	628	238	29.3
FB	900410	1142	380	248	27.5
FB	900410	1444	691	258	25.4
FB	900410	1346	614	267	27.5
FC	900516	1044	614	306	26.2
FC	900516	1137	698	326	26.3
FC	900516	1135	691	338	29.3
FC	900516	1104	669	389	27.6
FC	900516	1048	622	429	27.2
FD	900529	1420	622	253	26.1
FD	900529	1417	614	376	29.3
FD	900529	1524	698	421	29.4
FD	900529	1522	691	503	26.6
FD	900529	1425	636	908	11.8

v = verplaatsing tijdens maximale trekkracht

Tabel 8a De 5 meest losse blokken in de diverse meetseries  
bij Colijnsplaat in voorjaar 1990

Serie	Datum	Tijd	Steen	Ft (kg)	v (mm)
CB	901128	944	47	196	26.6
CB	901128	954	69	228	26.0
CB	901128	937	31	250	25.8
CB	901128	934	24	261	28.2
CB	901128	930	17	274	27.9
FE	901128	1530	478	190	27.2
FE	901128	1603	622	194	26.0
FE	901128	1617	684	198	26.8
FE	901128	1619	691	200	27.1
FE	901128	1604	628	202	26.7

v = verplaatsing tijdens maximale trekkracht

Tabel 8b De 5 meest losse blokken in de diverse meetseries  
bij Colijnsplaat in najaar 1990



Serie	Datum	Tijd	Steen	Ft (kg)	v (mm)	b-z-o	los?
CC	941115	1056	24	323	28.0	112	2
CC	941115	1139	56	387	28.0	122	4
CC	941115	1035	11	419	25.6	112	2
CC	941115	1131	47	454	26.8	212	2
CC	941115	1046	17	463	25.8	222	4
CD	941121	1114	38	181	26.8	221	4
CD	941121	1119	56	215	27.0	122	4
CD	941121	1022	31	221	26.5	212	2
CD	941121	1117	47	223	27.0	212	2
CD	941121	1013	11	244	26.6	112	2
CE	941128	944	47	196	26.6	212	2
CE	941128	954	69	228	26.0	211	2
CE	941128	937	31	250	25.8	212	2
CE	941128	934	24	261	28.2	112	2
CE	941128	930	17	274	27.9	222	4
EB	941129	923	95	199	27.8	122	4
EB	941129	916	82	201	25.2	212	2
EB	941129	913	76	207	25.6	121	3
EB	941129	853	27	224	26.5	211	2
EB	941129	1520	190	225	27.7	222	4
FF	941114	1556	628	252	28.1	221	4
FF	941114	1630	714	265	26.4	111	1
FF	941114	1553	622	267	25.1	212	2
FF	941114	1622	691	274	25.6	221	4
FF	941114	1558	636	278	25.9	221	4
FG	941122	1124	486	190	26.6	112	2
FG	941122	1314	614	196	25.9	211	2
FG	941122	1329	636	199	26.3	221	4
FG	941122	1320	622	202	25.1	212	2
FG	941122	1310	606	204	26.7	122	4
FH	941201	939	486	160	26.0	112	2
FH	941201	1028	622	177	26.0	212	2
FH	941201	1030	628	178	25.6	221	4
FH	941201	1120	755	179	27.2	112	2
FH	941201	914	424	183	27.6	221	4
RO	941121	1523	50	193	25.0	121	3
RO	941121	1459	10	216	26.7	112	2
RO	941121	1456	1	236	25.6	121	3
RO	941121	1501	18	246	26.6	121	3
RO	941121	1539	81	279	25.6	222	4
R1	941124	1144	11	264	27.6	111	1
R1	941125	923	282	292	27.9	212	2
R1	941124	1224	118	296	27.6	222	4
R1	941125	951	364	298	26.0	122	4
R1	941125	917	260	330	25.4	222	4
SO	941123	1441	81	193	26.0	112	2
SO	941123	1418	10	277	27.3	112	2
SO	941123	1450	110	289	26.8	211	2
SO	941123	1436	68	291	28.4	122	4
SO	941123	1433	58	316	27.6	122	4

v = verplaatsing tijdens maximale trekkracht (mm)  
b-z-o = boven-zijkant-onder visuele indicatie of spleet open is  
1 = vast  
2 = los  
los? = visuele indicatie of blok los ligt  
1 = alzijdig vast  
2 = in de rij vast  
3 = in de rij los  
4 = alzijdig los

Tabel 9a De 5 meest losse blokken in de diverse meetseries bij Colijnsplaat in 1994

Serie	Datum	Tijd	Steen	Ft (kg)	v (mm)	b-z-o	los?
S1	941116	1513	112	215	26.2	111	1
S1	941116	1500	83	222	28.0	212	2
S1	941116	1457	77	241	25.8	211	2
S1	941117	834	291	264	27.8	211	0
S1	941116	1515	119	281	27.3	112	2
T0	941123	1121	10	250	26.0	111	1
T0	941123	1155	110	275	25.5	112	2
T0	941123	1150	94	280	25.2	211	2
T0	941123	1138	58	340	25.4	211	2
T0	941123	1251	266	401	25.9	122	4
T1	941124	852	59	250	27.6	221	4
T1	941124	833	2	277	27.0	122	4
T1	941124	846	41	374	26.6	122	4
T1	941124	849	51	378	28.3	121	3
T1	941124	1037	274	413	25.8	212	2

v = verplaatsing tijdens maximale trekkracht (mm)

b-z-o = boven-zijkant-onder visuele indicatie of spleet open is

1 = vast

2 = los

los? = visuele indicatie of blok los ligt

1 = alzijdig vast

2 = in de rij vast

3 = in de rij los

4 = alzijdig los

Tabel 9b De 5 meest losse blokken in de diverse meetseries  
bij Colijnsplaat in 1994

Serie	Datum	Tijd	Steen	Ft (kg)	v (mm)	b-z-o	los?	T	i
FH	941201	939	486	160	26.0	112	2	4	3
FH	941201	1028	622	177	26.0	212	2	4	3
FH	941201	1030	628	178	25.6	221	4	4	3
FH	941201	1120	755	179	27.2	112	2	4	3
CD	941121	1114	38	181	26.8	221	4	10	2
FH	941201	914	424	183	27.6	221	4	4	3
FG	941122	1124	486	190	26.6	112	2	7	2
SO	941123	1441	81	193	26.0	112	2	10	1,5
RO	941121	1523	50	193	25.0	121	3	10	1
CE	941128	944	47	196	26.6	212	2	10	3
FG	941122	1314	614	196	25.9	211	2	7	2
EB	941129	923	95	199	27.8	122	4	9	2
FG	941122	1329	636	199	26.3	221	4	7	2
EB	941129	916	82	201	25.2	212	2	9	2
FG	941122	1320	622	202	25.1	212	2	7	2
FG	941122	1310	606	204	26.7	122	4	7	2
EB	941129	913	76	207	25.6	121	3	9	2
S1	941116	1513	112	215	26.2	111	1	11	1
CD	941121	1119	56	215	27.0	122	4	10	2
RO	941121	1459	10	216	26.7	112	2	10	1

Tabel 10 De 20 blokken uit tabel 8 en 9 die het meest los lagen in volgorde van trekkracht

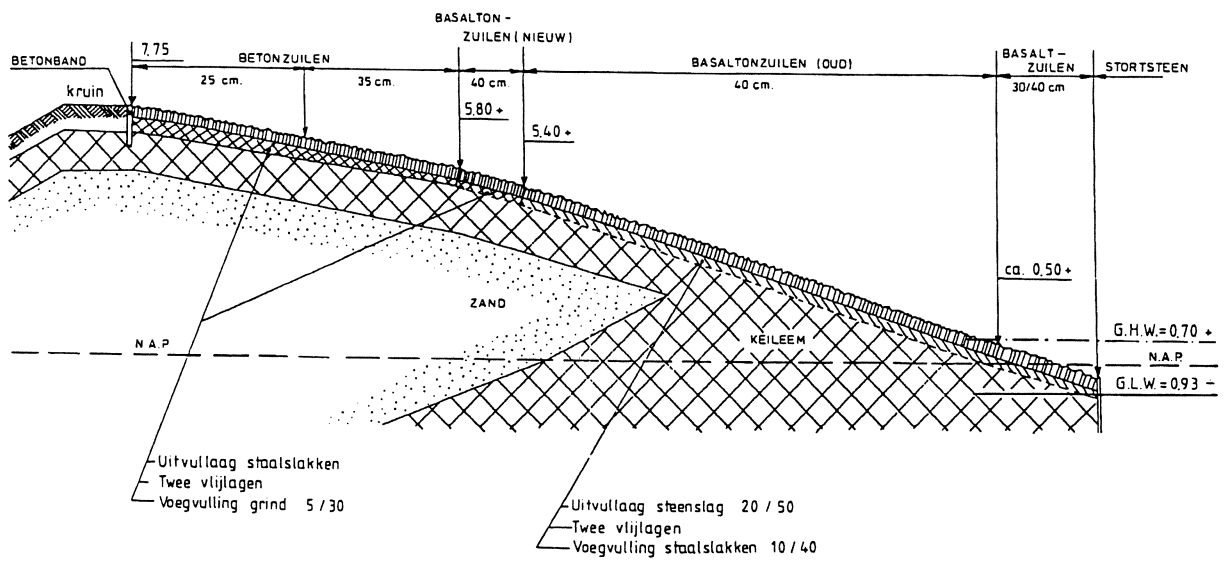
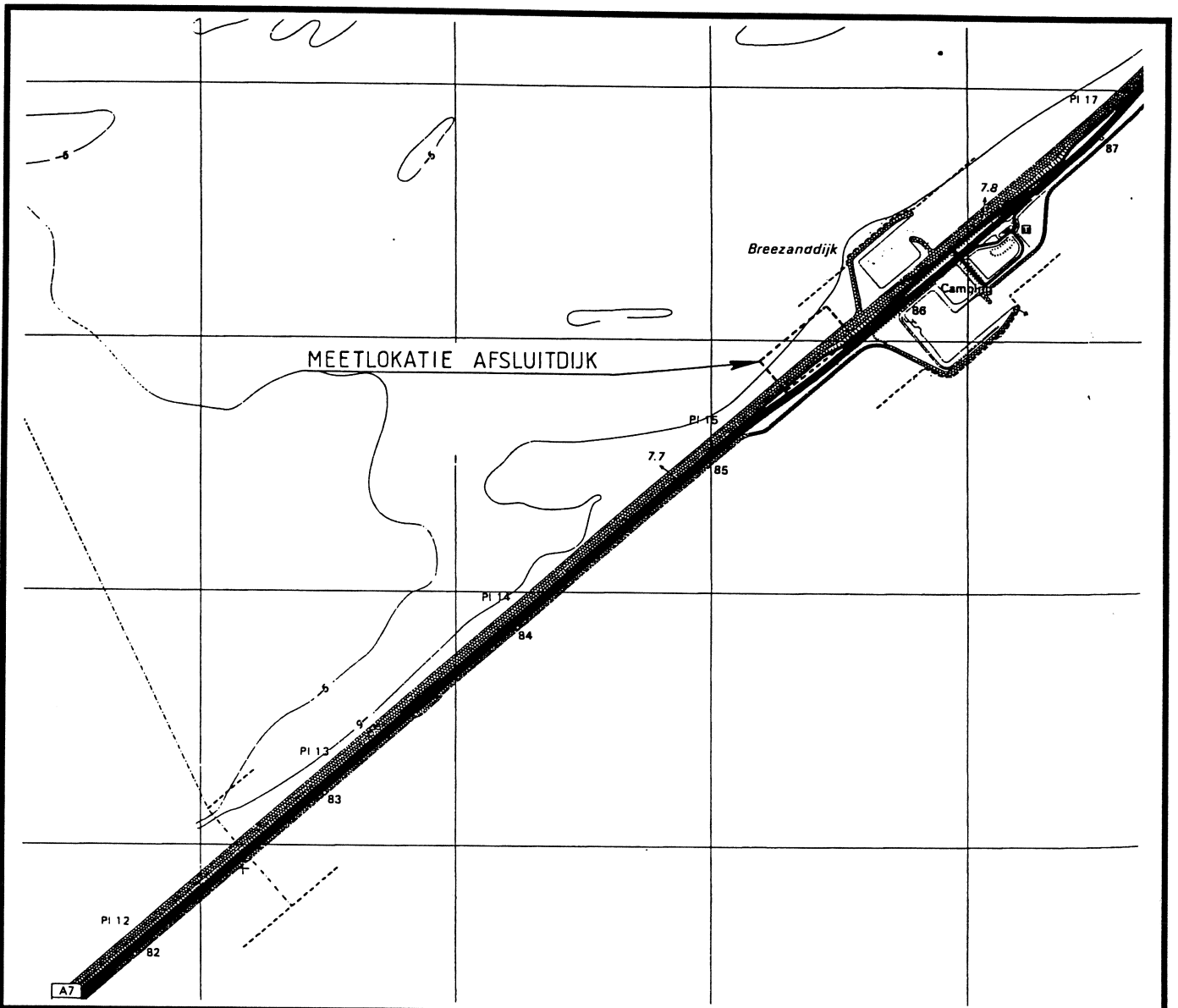


# **Appendix A**

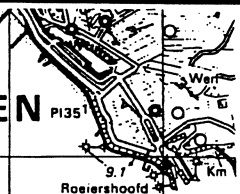
**M. Klein Breteler**

mei 1998

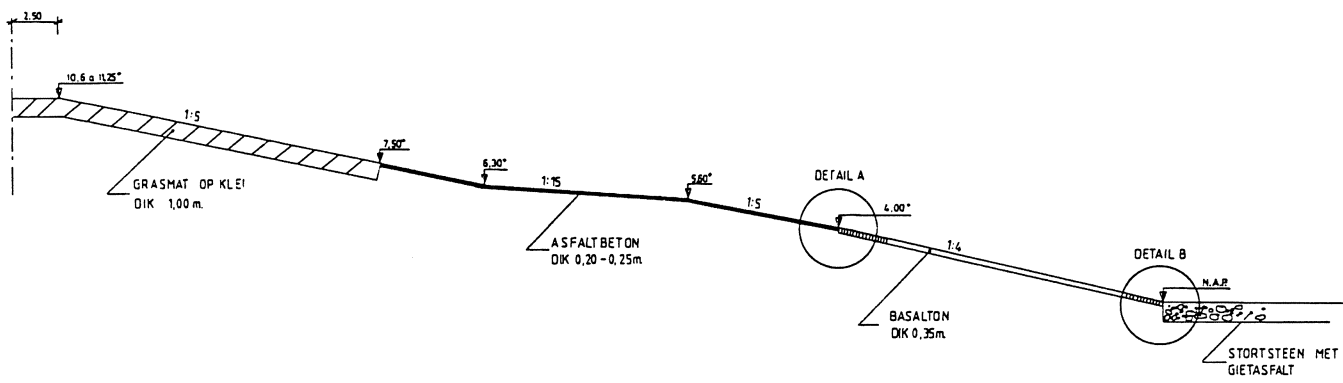
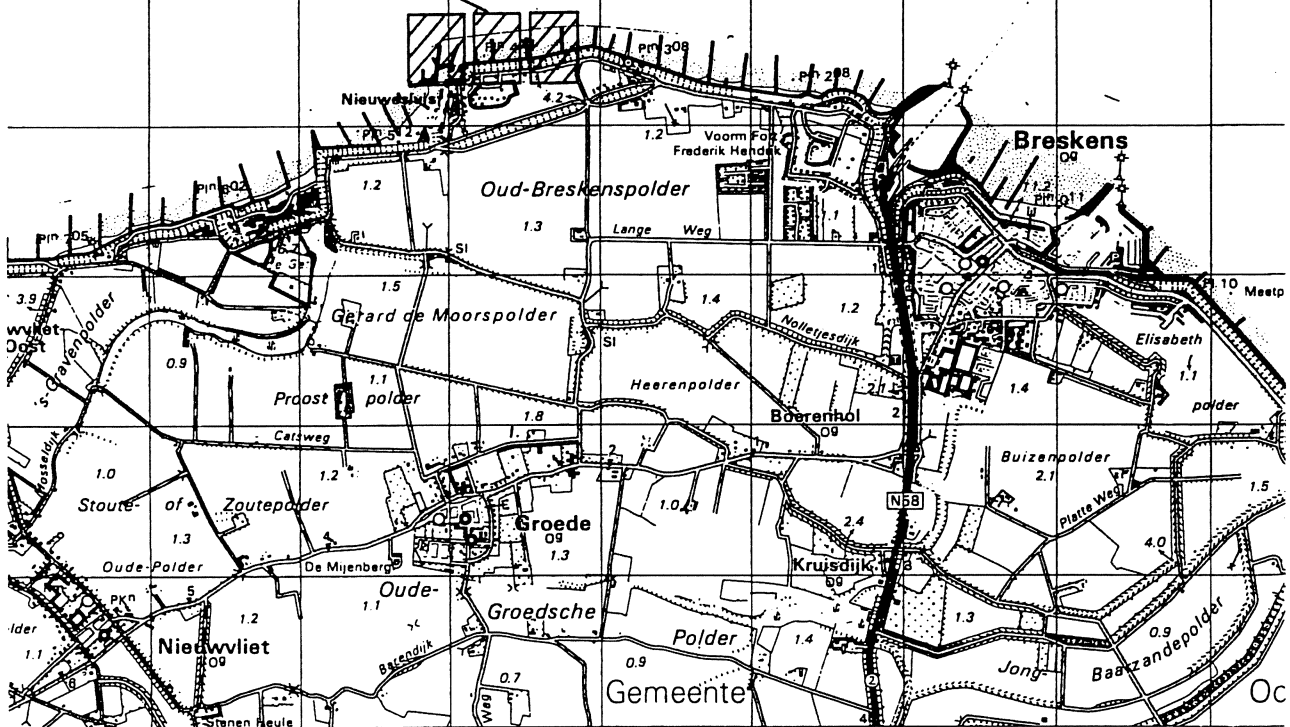




SITUATIE MEETLOCATIE EN DWARSPROFIEL  
AFSLUITDIJK

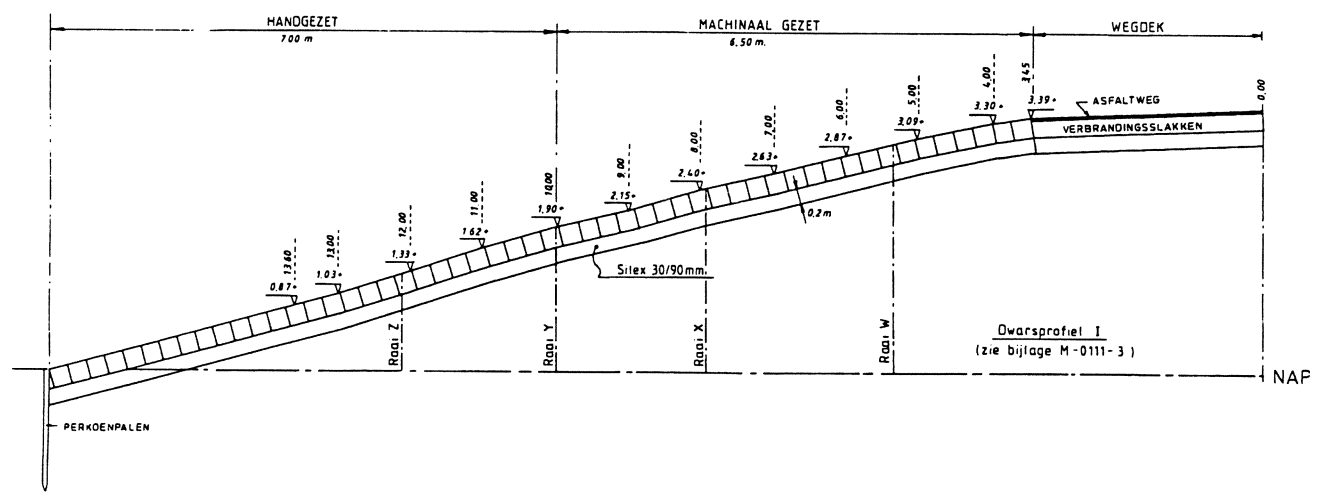


+ Meetlocaties

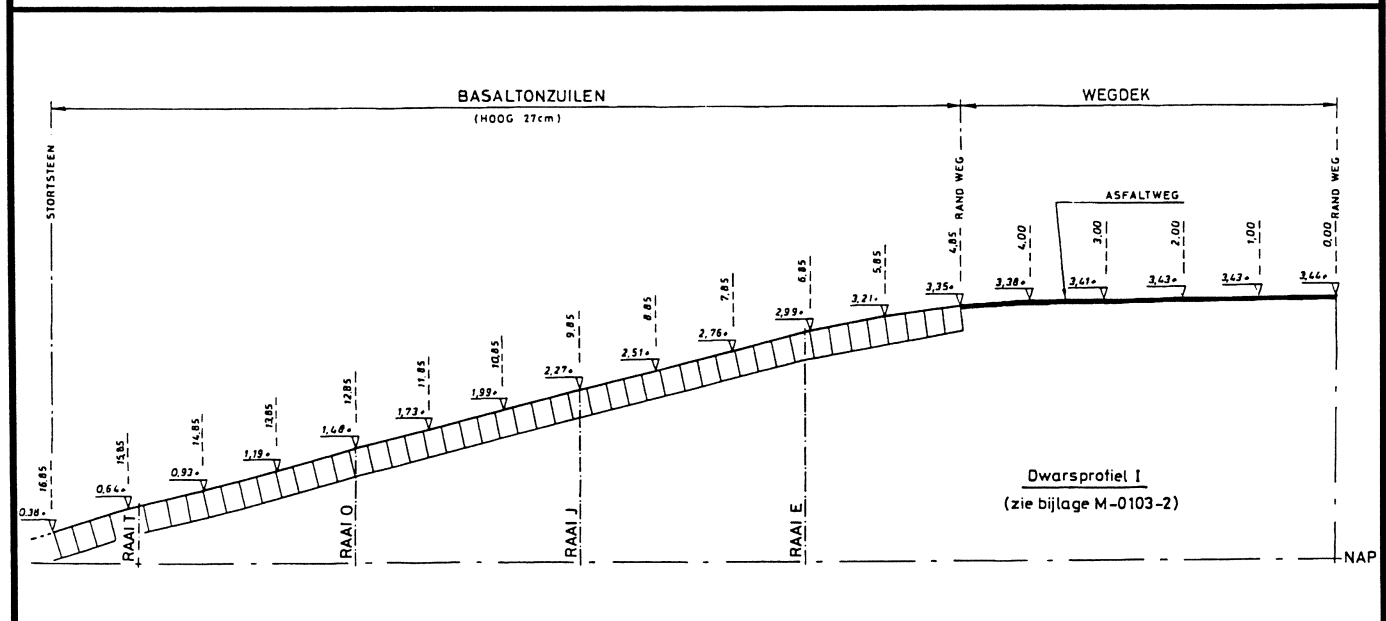
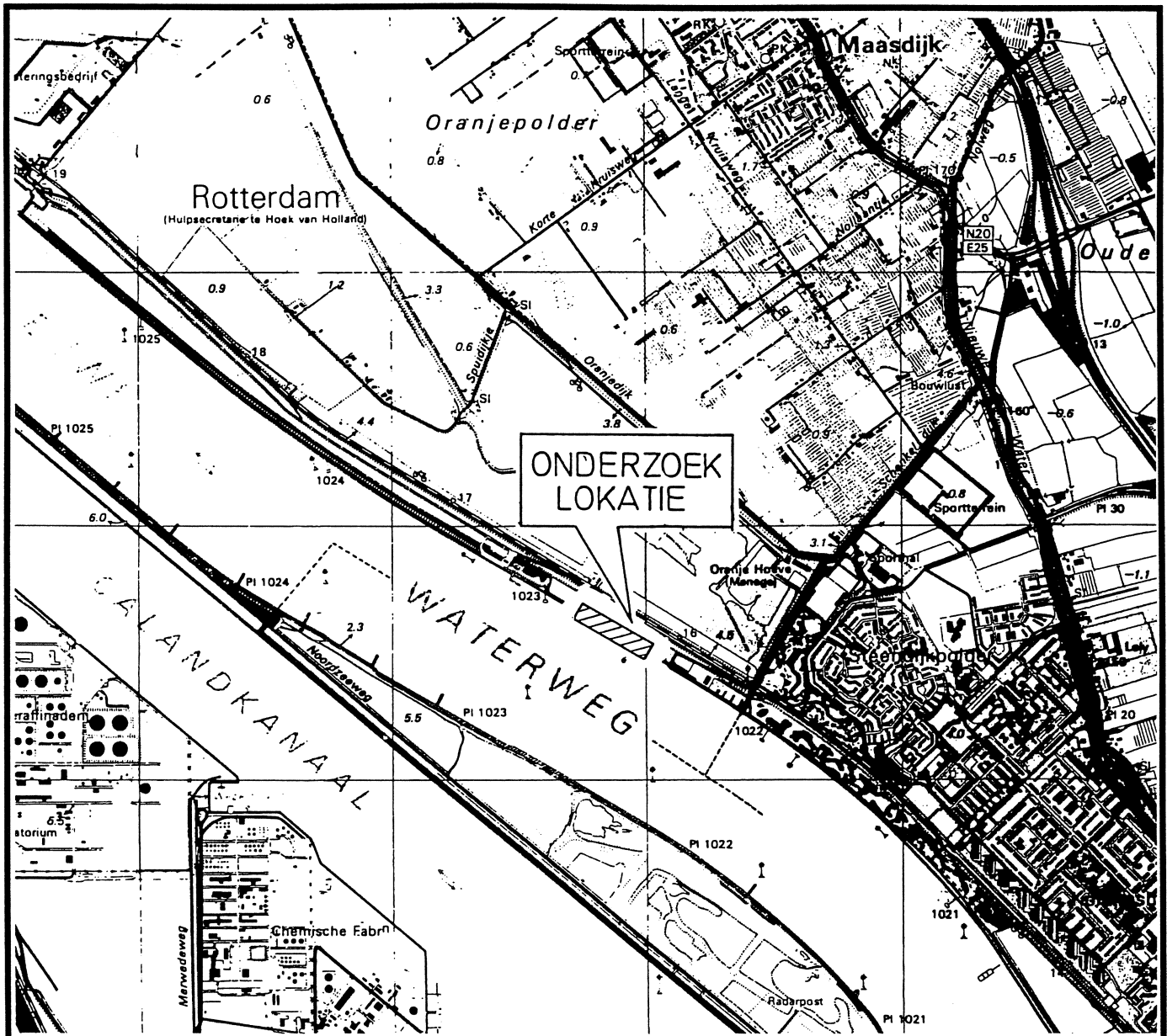


SITUATIE MEETLOCATIE EN DWARSPROFIEL BRESKENS





SITUATIE MEETLOCATIE EN DWARSPROFIEL  
MAASSLUIS (PIT)



SITUATIE MEETLOCATIE EN DWARSPROFIEL  
MAASSLUIS

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H 2530

FIG. 5

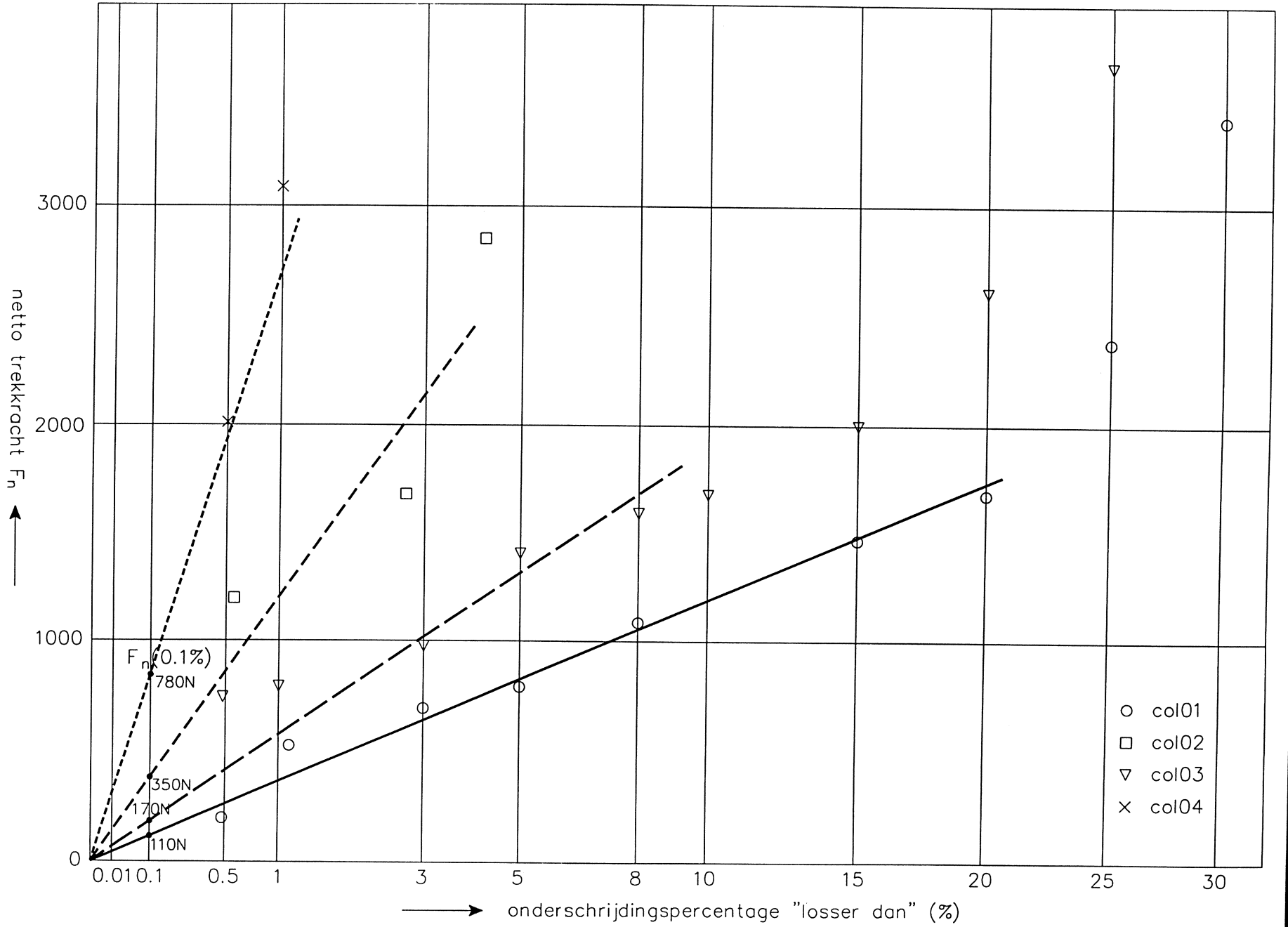
KARAKTERISTIEKE TREKKRACHTEN  $F_n$  (0,1%)  
COLIJNSPLAAT

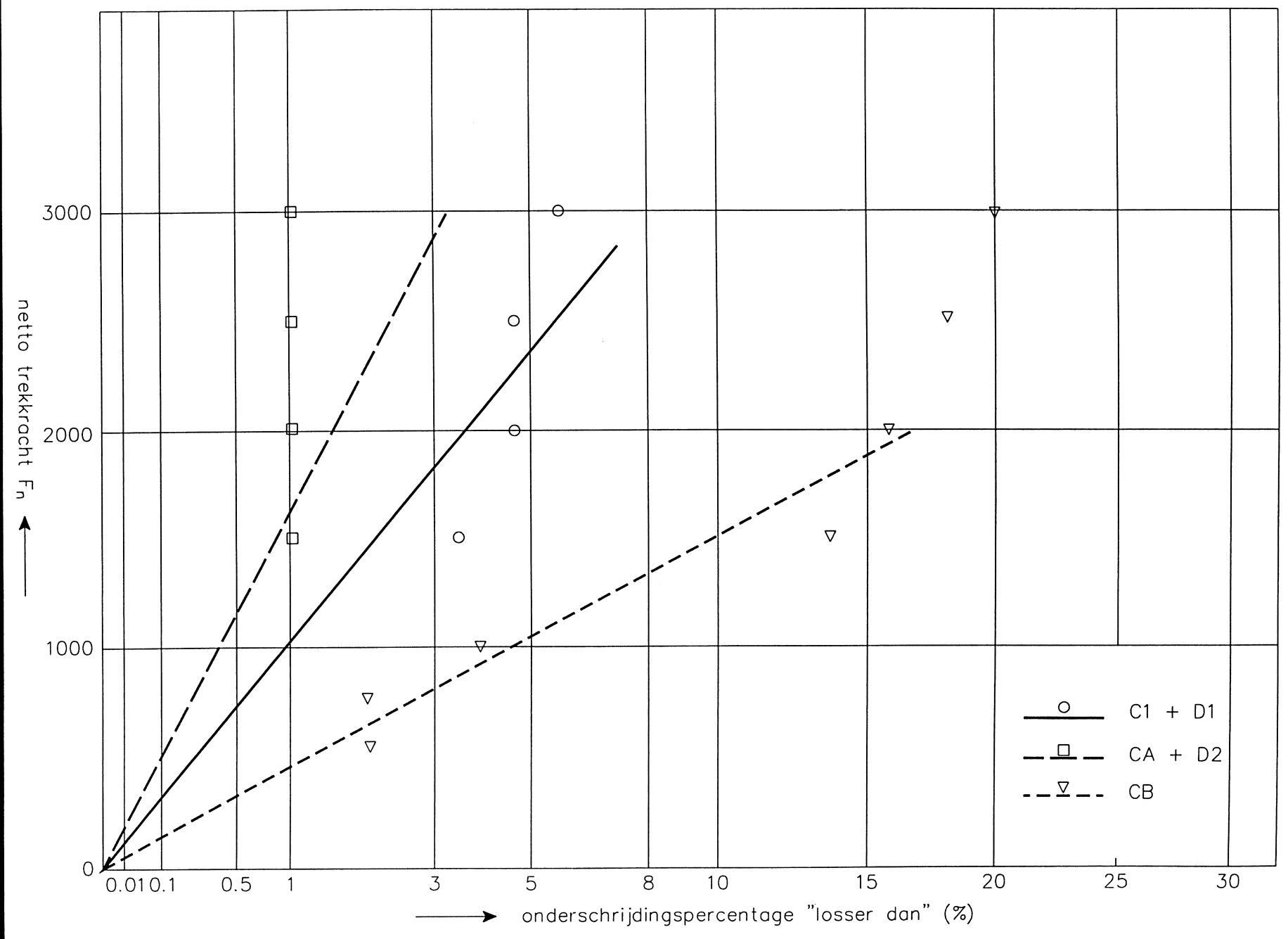
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H 2530

FIG. 6

1990





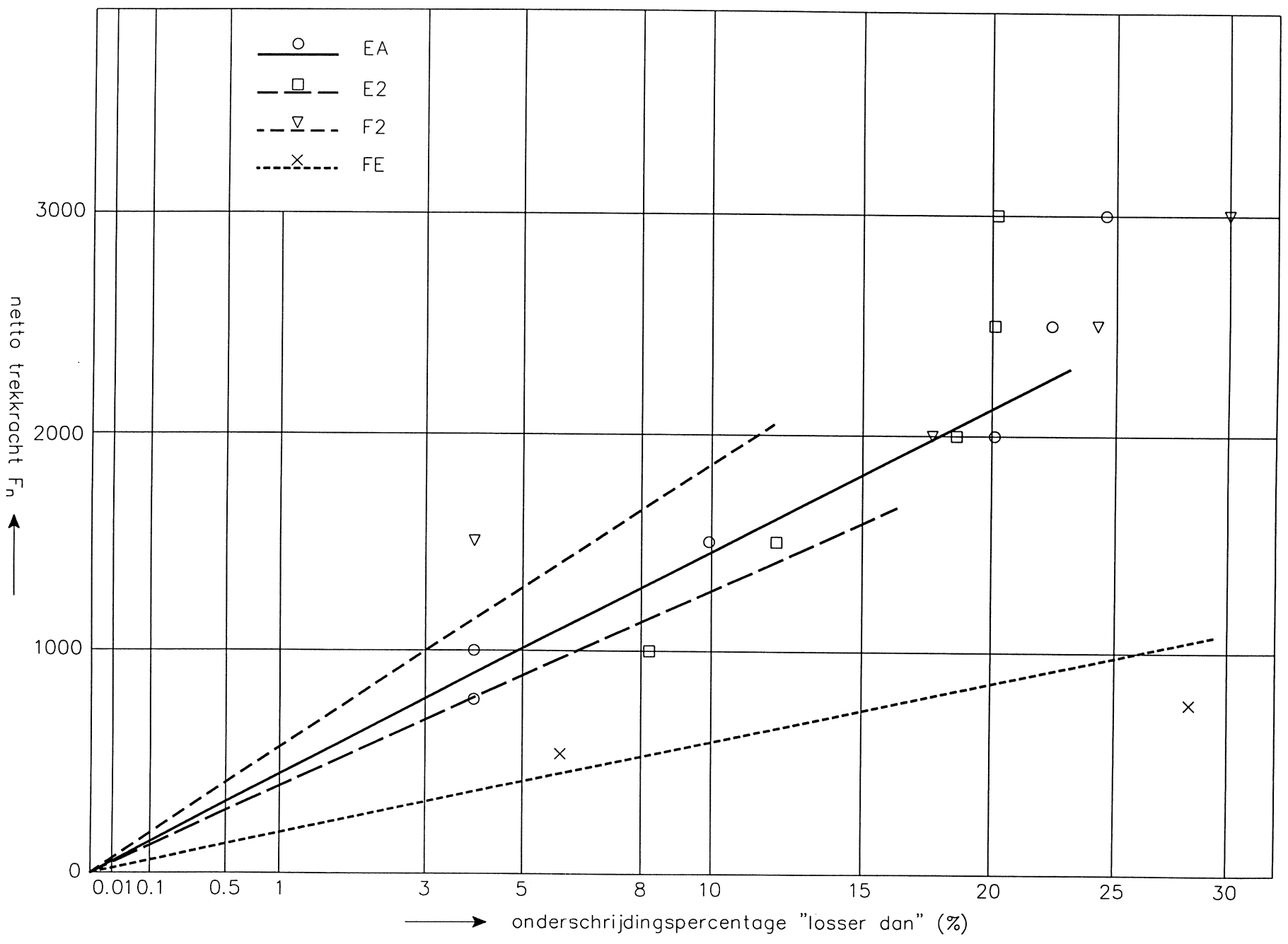
KARAKTERISTIEKE TREKKRACHTEN  $F_n$  (0,1%)  
COLIJNSPLAAT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

SERIE E,F 1990

H 2530

FIG. 8

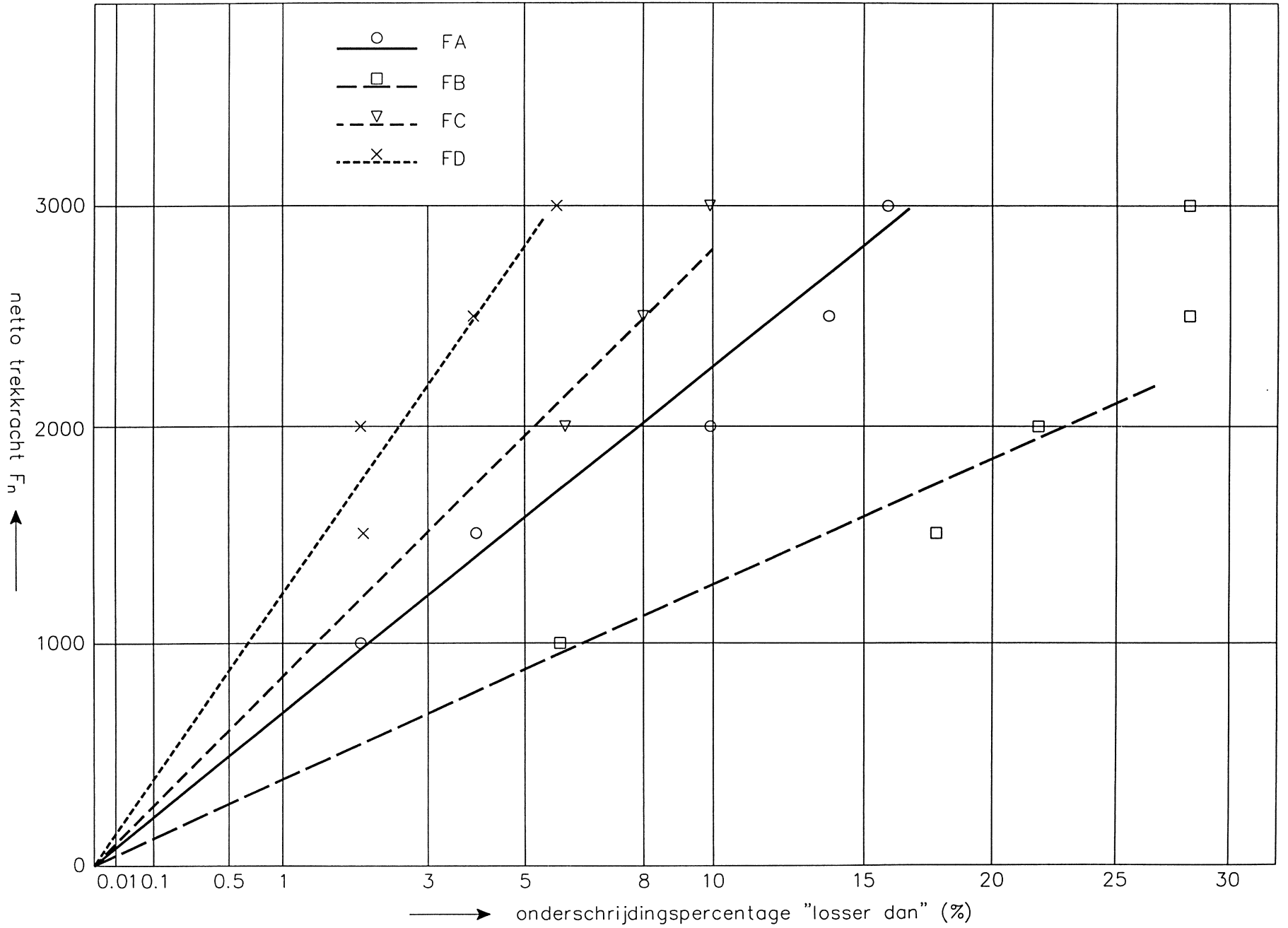


KARAKTERISTIEKE TREKKRACHTEN  $F_n$  (0,1%)  
COLIJNSPLAAT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

SERIE F 1990

H 2530 FIG. 9

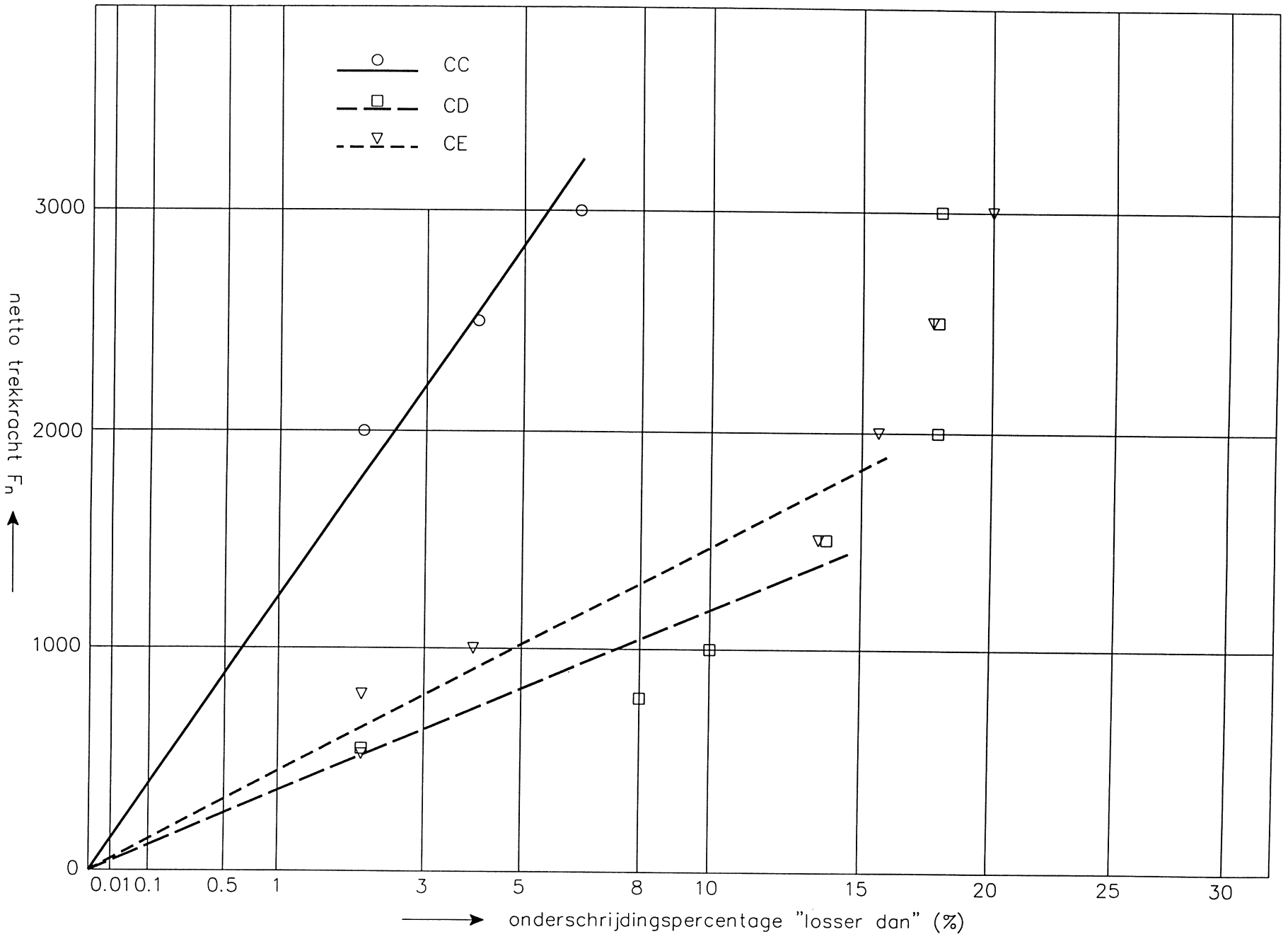


KARAKTERISTIEKE TREKKRACHTEN  $F_n$  (0,1%)  
COLIJNSPLAAT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

SERIE C 1994

H 2530 FIG. 10

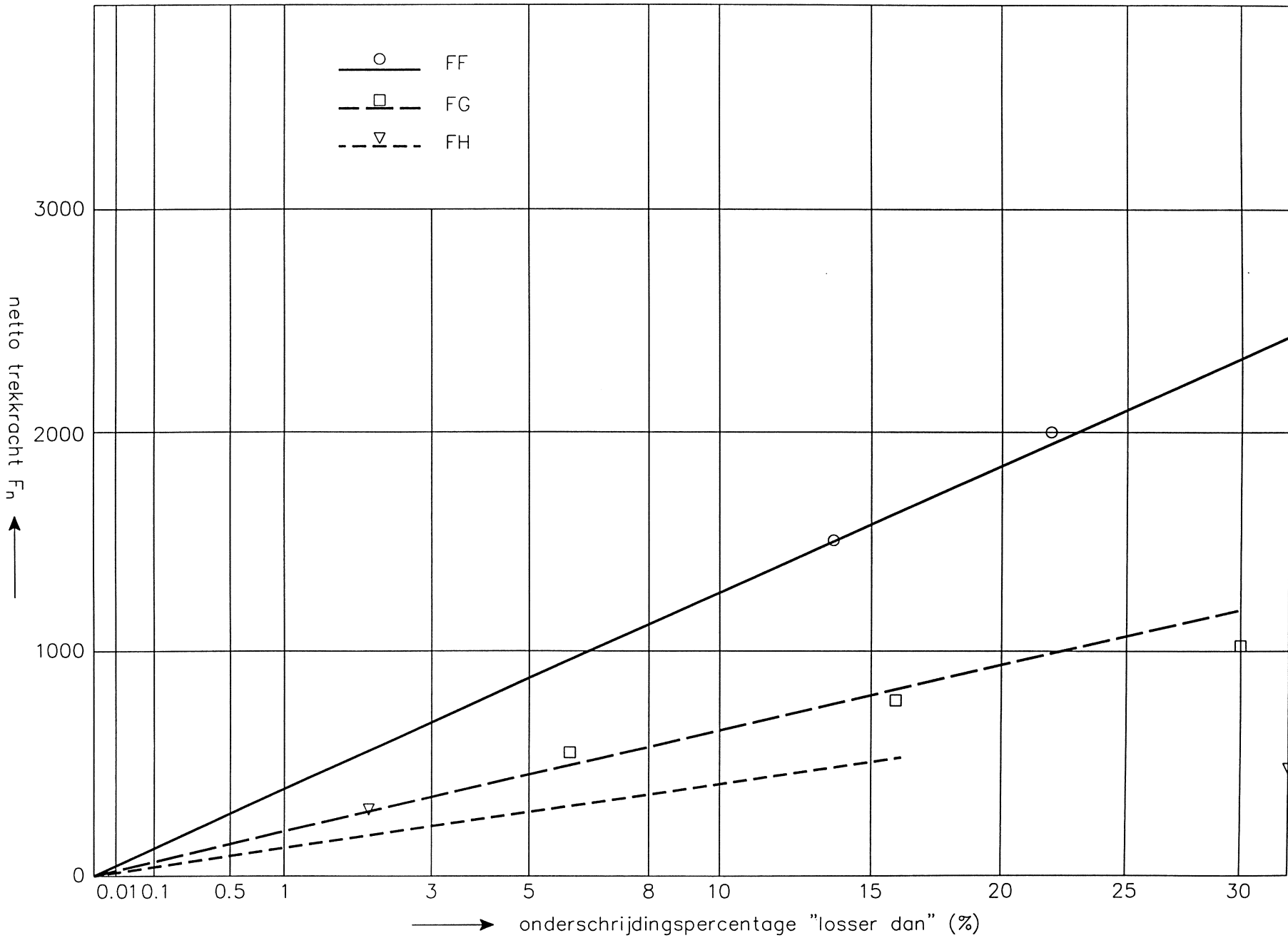


KARAKTERISTIEKE TREKKRACHTEN  $F_n$  (0,1%)  
COLJNSPLAAT

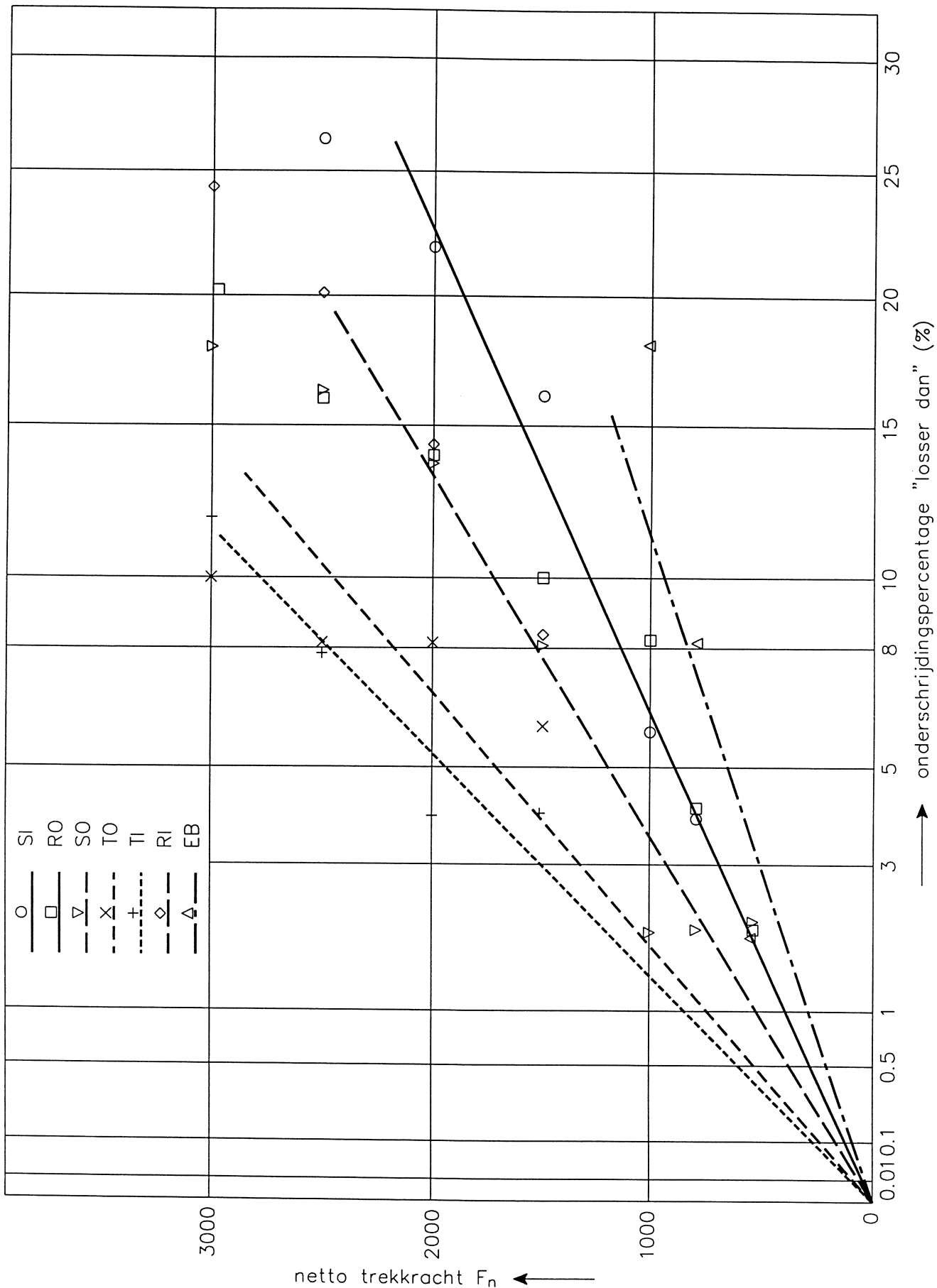
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

SERIE F 1994

H 2530 FIG. 11







KARAKTERISTIEKE TREKKRACHTEN  $F_n$  (0,1%)  
COLIJNSPLAAT

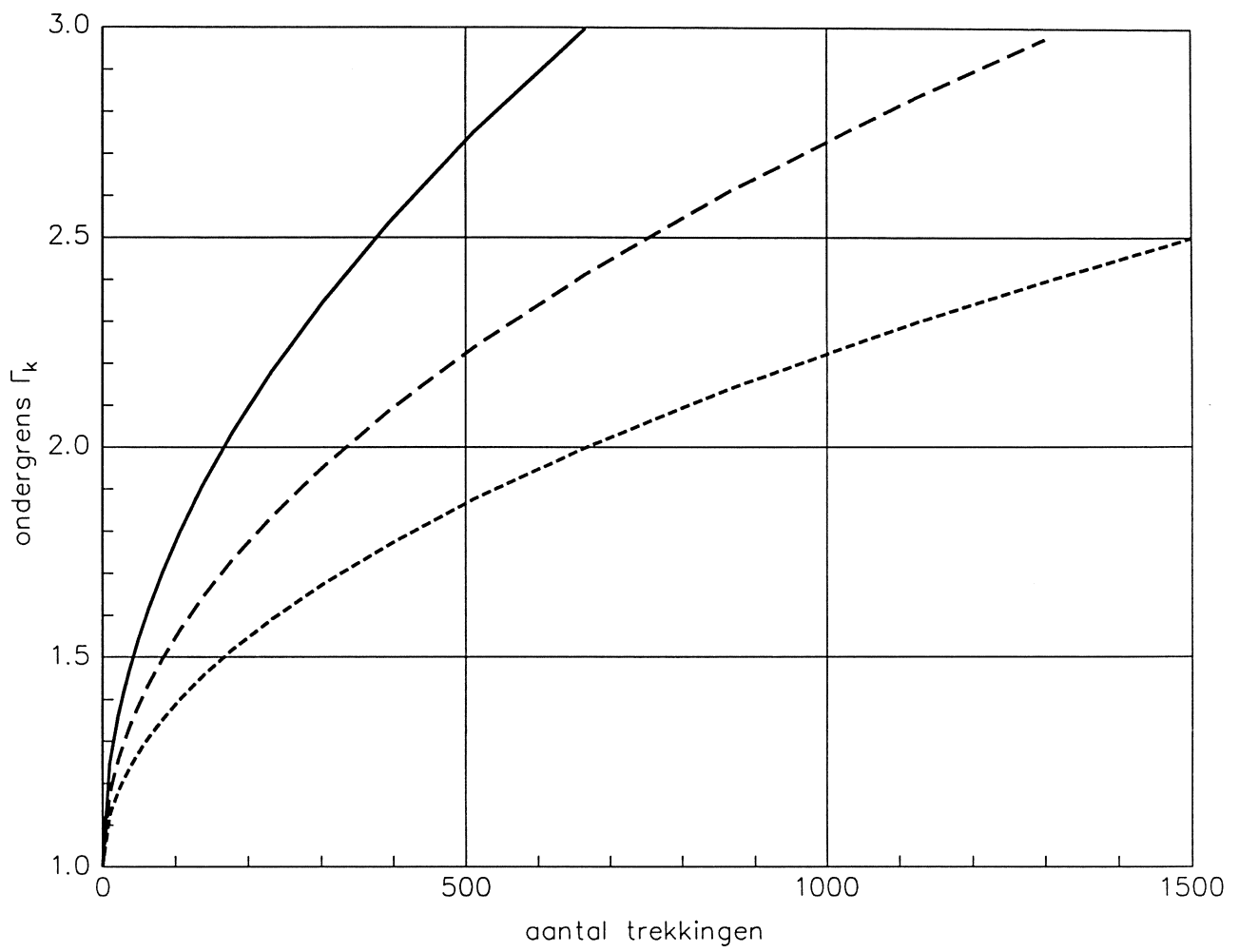
1994

SERIE S,T,R,E

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

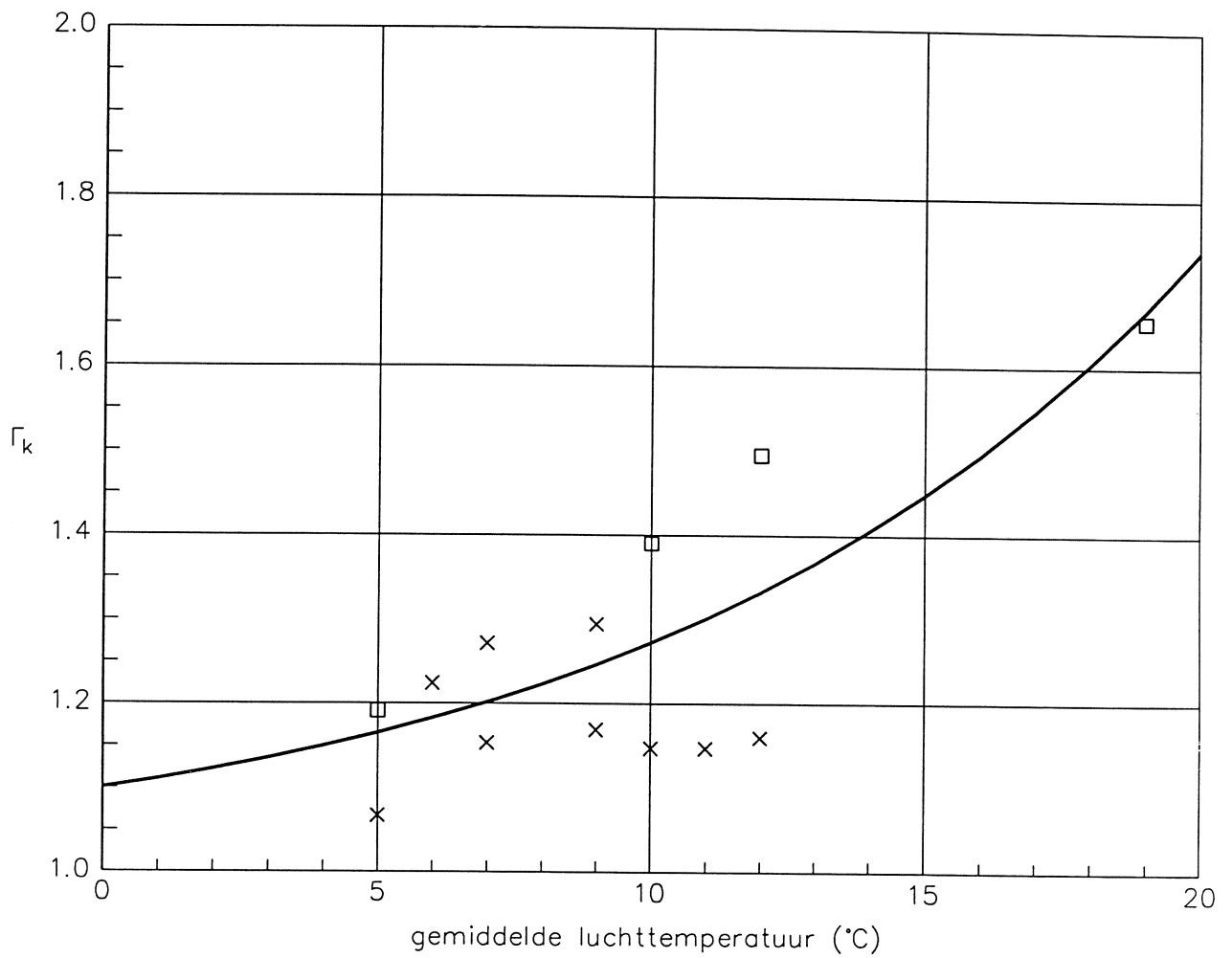
H 2530

FIG. 12



- redelijk betrouwbaar,  $P_B = 90\%$
- - - betrouwbaar,  $P_B = 99\%$
- · - · zeer betrouwbaar,  $P_B = 99,99\%$

ONDERGRENS  $\Gamma_k$  ALS ER GEEN BLOKKEN  
 MET  $F_t < 2G$  ZIJN



- rij 6
- × rij 9, 10 en 11
- formule

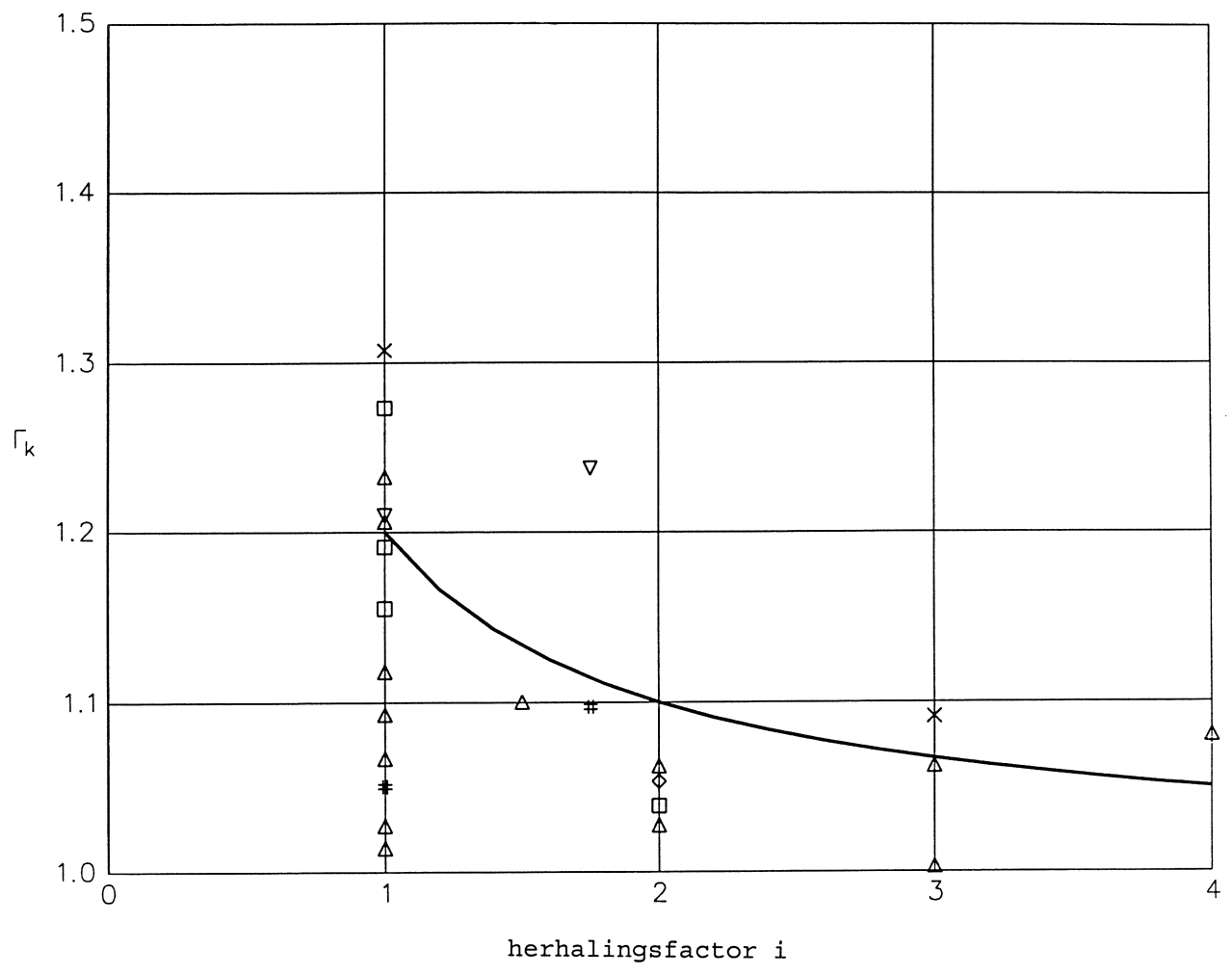
(alle metingen betreffen trekproeven met herhalingsfactor  $i = 1$ )

INVLOED VAN TEMPERATUUR

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H 2530

FIG. 14



alle metingen zijn gecorrigeerd naar 5°C

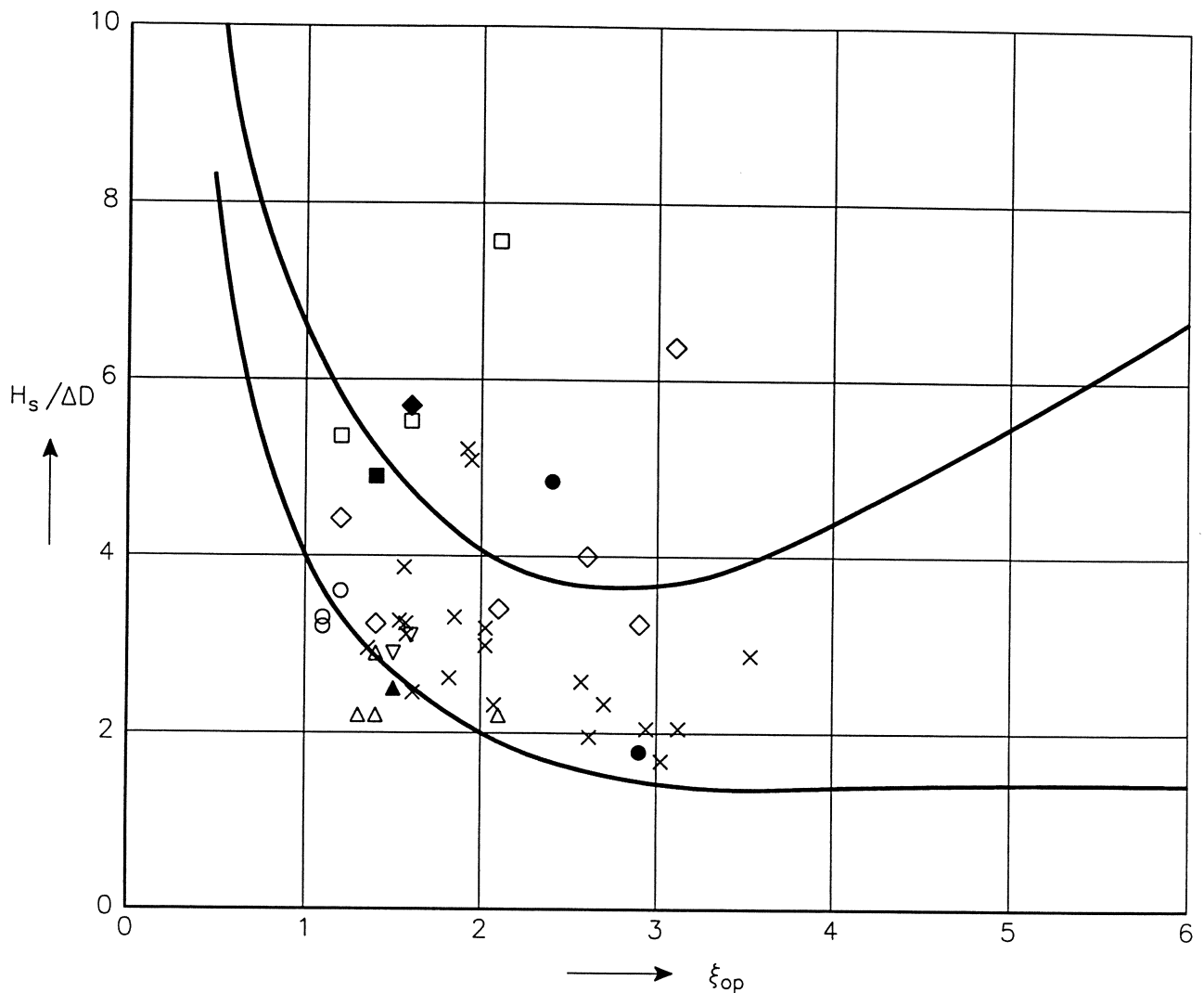
- rij 6
- × rij 6 met frame
- ▽ rij 9
- △ rij 10
- ◇ rij 10 met frame
- # rij 11
- formule

INVLOED VOORGAANDE TREKKINGEN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

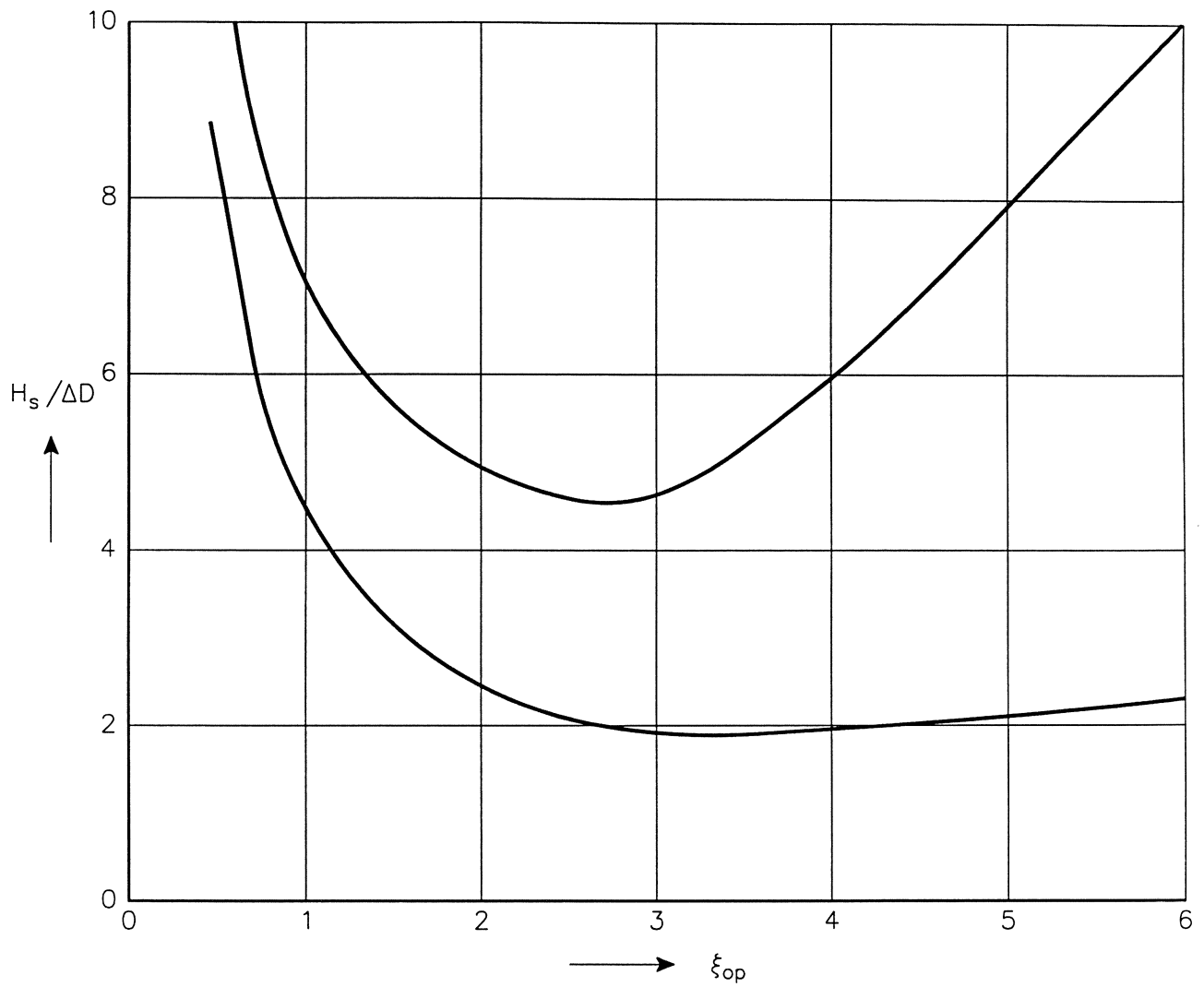
H 2530

FIG. 15



- serie f en g: blokken met brede spleten (Gidsonderzoek [5])
  - serie h: blokken met gaten en berm (Oesterdam [8])
  - serie i: niet ingewassen Basalton [7]
  - ◆ serie j: niet ingewassen Armorflex zonder kabels [6]
  - ◇ serie k, l en m: Gobi-blokken op geotextiel [9]
  - △ serie n: Vilvoortse steen (niet meegewogen bij bepaling lijnen) [10]
  - ▽ serie o: Basalt op puin [10]
  - ▲ serie s: Haringmanblokken [10]
  - × serie ac: losse blokken op filter [15]
- □ ◇ × regelmatige golven  
 ○ ■ ◆ △ ▽ ▲ onregelmatige golven

STABILITEIT VAN STEENZETTING OP FILTER  
 (NORMALE CONSTRUCTIE) (TYPE 3b)

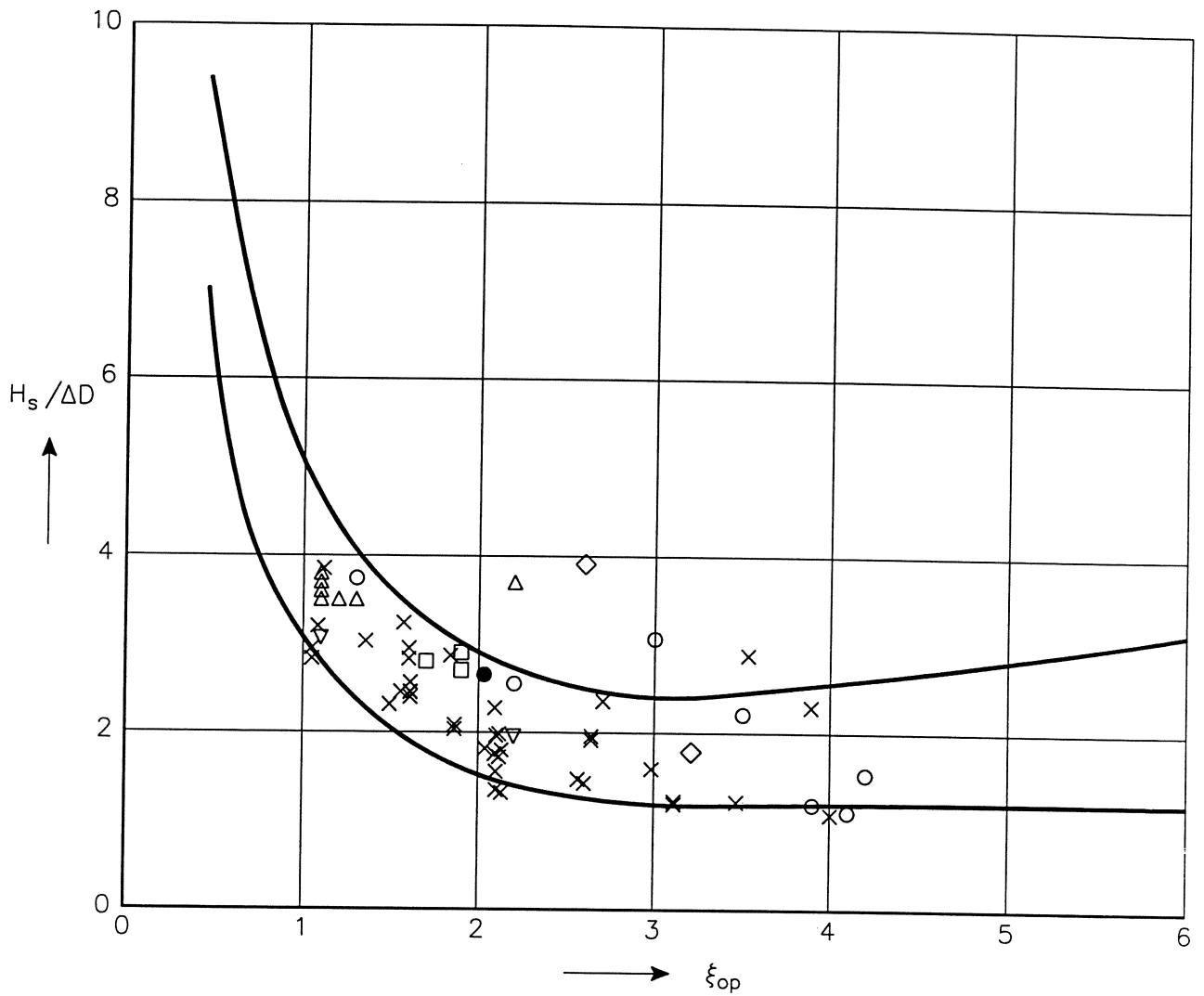


STABILITEIT VAN STEENZETTING OP FILTER  
(GUNSTIGE CONSTRUCTIE) (TYPE 3a)

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H 2530

FIG. 17



- × serie ac: losse blokken op filter [15]
- □ serie p: niet ingewassen dichte blokken [5]
- ◇ serie q: ingewassen dichte blokken [5]
- △ ▽ serie r: losse blokken en berm (Oesterdam) [8]
- serie y: blokken op filter (GWK) [16]
- × ○ ◇ ▽ ● regelmatige golven
- △ onregelmatige golven

STABILITEIT VAN STEENZETTING OP FILTER  
(ONGUNSTIGE CONSTRUCTIE) (TYPE 3c)

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H 2530

FIG. 18

# A Relatie tussen betrouwbaarheid en $\Gamma_k$

In paragraaf 3.3 is uitgelegd hoe er omgegaan kan worden met trekproefseries met geen enkele trekking met  $F_r < 2$ . In deze appendix wordt deze gecompliceerde materie nog eens op een andere wijze toegelicht.

Gestart wordt met formule (14):

$$P_B = 1 - (1 - p)^N \quad (\text{A1})$$

Het gaat hierbij om de betrouwbaarheid ( $P_B$ ) van de stelling dat de frequentie van voorkomen van zuilen met  $F_r < 2$  maximaal gelijk is aan  $p$ , gegeven het feit dat er  $N$  trekkingen zijn verricht die geen van allen  $F_r < 2$  opleverden.

Met deze formule zien we dat meer trekproeven ( $N$ ) leidt tot betrouwbaardere uitspraken ( $P_B$ ). Ook als we een minder risicovolle stelling poneren en dus  $p$  groot stellen, blijkt dat de betrouwbaarheid toeneemt.

In de praktijk wordt een bepaalde betrouwbaarheid nagestreefd en zijn er een bepaald aantal trekproeven uitgevoerd. Met formule (A1) kan met deze gegevens de waarde van  $p$  berekend worden:

$$p = 1 - (1 - P_B)^{1/N} \quad (\text{A2})$$

Deze frequentie  $p$  correspondeert met  $F_r = 2$  in een figuur zoals figuur 6. Het is een punt op de onderschrijdingsfrequentielijn met een Rayleighverdeling. Dit kan gebruikt worden om de waarde van de constante te berekenen in de algemene formule voor de Rayleighverdeling (zie formule 12):

$$p = 1 - e^{-aF_r^2} = 1 - e^{-4a} \quad (\text{A3})$$

Formule (A2) invullen in formule (A3) geeft:

$$a = -\frac{1}{4} \ln((1 - P_B)^{1/N}) \quad (\text{A4})$$

Hiermee is de verdeling van  $F_r$  vastgesteld en kan de waarde van  $F_r$  bepaald worden met onderschrijdingskans van 0,1%:





$$\text{Rayleighverdeling: } kans = 1 - e^{-a \cdot F_r^2} \Rightarrow \quad (A5)$$

$$0,001 = 1 - e^{\frac{1}{4} \ln(1 - P_B)^{1/N} F_r^2} \Rightarrow \quad (A6)$$

$$F_{r0,1\%} = \sqrt{\frac{4 \cdot N \cdot \ln(0,999)}{\ln(1 - P_B)}} \quad (A7)$$

De relatie tussen  $F_r$  en  $\Gamma_k$  is afgeleid in paragraaf 3.1, namelijk  $\Gamma_k = 1 + 1,86 \cdot F_r$  (formule 11).  
 Ingevuld in formule (A7) verkrijgen we het eindresultaat (formule 15):

$$\Gamma_k = 1 + 1,86 \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot N \cdot \ln(0,999)}{\ln(1 - P_B)}} \quad (A8)$$

