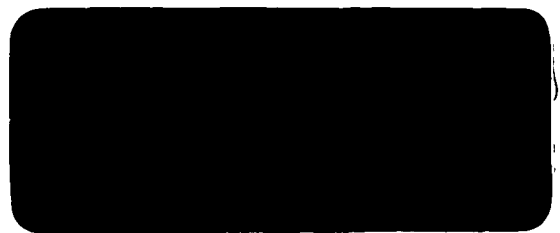


B6 78.10

laboratorium voor

grondmechanica

delft



DB 98-35

laboratorium voor grondmechanica

delft



stieltjesweg 2
postbus 69
telefoon: (015)-56 92 23*
telex: solab nl 33326
postgiro: 234342
bank: mees en hope nv delft

Erosiegevoeligheid van klei-
bekledingen van dijken

Rapport: 235360/I
78-10-01



Erosiegevoeligheid van kleibekledingen van dijken

Rapport 235360:I

In dit rapport, samengesteld door Ir. W.J. Heijnen, worden de resultaten besproken van een serie proefnemingen, die in opdracht van het Centrum Onderzoek Waterkeringen zijn uitgevoerd op klei uit enkele dijkbekledingen in verband met de vaststelling van criteria met betrekking tot de erosiegevoeligheid voor snelstromend water.

Op basis van de verkregen inzichten zullen eventueel verdere proeven worden uitgevoerd.

september 1978

Laboratorium voor Grondmechanica

DELFT

1. September



Inhoud

	<u>Blz.</u>
1. Inleiding	1
2. Onderzochte kleibekledingen	4
3. Erosietoestel	11
4. Plaatsing van de monsters in het erosietoestel	13
5. Metingen tijdens de erosieproef	15
5.1. Meetgrootheden	17
5.1.1. Massa-afname	17
5.1.2. Torsiemeteruitslag en ijking	17
5.1.3. Toerental van de trommel	21
6. Preparatie van de monsters en procedure van de erosieproef	22
6.1. Preparatie van de monsters	22
6.2. Beproevingprocedures van de erosieproef	22
7. Resultaten van de erosieproeven	25
7.1. Basisgegevens	25
7.2. Resultaten erosieproeven	42
8. Interpretatie van de resultaten	52
8.1. Watersnelheid bij de erosieproeven	52
9. Erosie-onderzoek op monsters uit kleidepots	57
10. Conclusies en aanbevelingen	69



1. Inleiding

Erosie van de kleibekleding van een dijk ten gevolge van snelstromend water over de taluds, is een van de belangrijkste factoren die aanleiding kan zijn tot het geheel of gedeeltelijk bezwijken van een aan extreme stormcondities blootgestelde dijk.

In verband hiermee is het van groot belang dat naast criteria met betrekking tot de verwerkbaarheid, grasbegroeiing en stabiliteit ook normen worden gesteld aan de zogenaamde erosiegevoeligheid.

Tot nu toe worden in ons land door verschillende instanties criteria toegepast die op bepaalde punten onderling van elkaar afwijken. In deze criteria zouden de van belang zijnde factoren impliciet zijn vervat.

Het in dit rapport behandelde onderzoek is een eerste oriëntatie op dat deel van de problematiek dat betrekking heeft op de erosiegevoeligheid van de onbegroeide kleibekleding.

Aan het onderzoek heeft de nota van het LGM van 76-06-01 "Erosiegevoeligheid van kleibekledingen voor dijken" ten grondslag gelegen.

Het mechanisme van de erosie grond onder invloed van erover stromend water is bijzonder gecompliceerd. Onderzoekers die dit probleem bestuderen, komen over het algemeen tot de conclusie dat in het mechanisme bijzonder complexe chemische en fysische interacties werkzaam zijn, die meestal niet in eenvoudig te bepalen parameters zijn uit te drukken.

Bij de problemen die met snel stromend water over dijkstaluds te maken hebben, is de tijd voor de interactie meestal dusdanig kort dat op z'n minst getwijfeld moet worden aan de belangrijkheid van de chemische interactie.



Het lijkt dan ook alleszins redelijk te veronderstellen dat in het geval van het snel stromende water over de grond van de dijkbekleding het fenomeen van erosie voornamelijk wordt bepaald door mechanische acties.

In verband hiermee is voor het oriënterende onderzoek gekozen voor een pragmatische onderzoeksmethodiek, waarbij met betrekkelijk eenvoudige proefnemingen op verschillende kleimonsters uit dijken eenvoudig te bepalen grondparameters werden opgezocht, die mogelijk enige kwalitatieve aanduiding geven van de erosiegevoeligheid.

De watersnelheden die bij golfoploopen en overslag optreden, zouden volgens verkregen informatie kunnen liggen in de buurt van 10 m/s. Het Reynolds-getal is daarbij in de orde van 10^{-5} .

Als eerste aanzet van het oriënterende onderzoek werd een literatuuronderzoek uitgevoerd waarvan de resultaten zijn neergelegd in het rapport van Ir. P. Ruijgrok van het LGM "Inleidende overwegingen met betrekking tot erosie van kleitaluds door snelstromend water", dat in augustus 1976 werd uitgebracht.

Over het algemeen hebben de onderzoeken uit de literatuur betrekking op betrekkelijk "langzame" waterstromingen over homogene beddingen. Het is dus zeer de vraag of de daaruit getrokken conclusie, die overigens niet erg éénduidig zijn, van toepassing zijn op de situaties bij dijkstaluds met snel overstromend water. Klimatologische invloeden die langdurig op de grond van een talud inwerken, zullen over het algemeen veranderingen van structuur en sterkte tengevolge hebben die van invloed zijn op het erosiegedrag.

Dit betekent dat voor het onderzoek van de erosiegevoeligheid in het laboratorium bij voorkeur gebruik moest worden gemaakt van zo min mogelijk geroerde kleimonsters uit taluds van dijken. In verband hiermee zijn door het COW, in samenwerking met de Delta-dienst, monsters gestoken uit het talud van een aantal dijken.



Deze monsters zijn ter beschikking gesteld van het Laboratorium voor Grondmechanica voor het erosie-onderzoek.

De erosiegevoeligheid is onderzocht in een speciaal voor dit onderzoek vervaardigd erosietoestel waarmee het proces van snelstromend water over de grond werd nabootst op een redelijk goed gecontroleerde manier.

Daarnaast zijn op dezelfde kleimonsters nog de volgende proefnemingen gedaan voor de bepaling van een aantal parameters die mogelijk met de erosiegevoeligheid in verband staan:

a. korrelverdelingsbepalingen

b. bepaling van de consistentiegrenzen door middel van de:

- vloeigrensbepaling
- uitrolgrensbepaling
- krimpproef
- valconusproef, eveneens voor de vaststelling van de vloeigrens en de schuifweerstand
- torvane- en penetrometerproeven, eveneens voor de bepaling van de schuifweerstand
- een beperkt aantal celproeven, eveneens voor de vaststelling van de schuifweerstandsparementers
- mineralogisch en chemisch onderzoek voor de bepaling van de samenstelling van de kleigrond en het poriënwater.



2. Onderzochte kleibekledingen

Het nemen van de monsters werd op 29 en 30 juni 1976 uitgevoerd door het Centrum Onderzoek Waterkeringen in samenwerking met de Boorafdeling van de Meetdienst Zierikzee van de Deltadienst.

In totaal werden monsters genomen van 11 bekledingen van dijken in Zeeland. Gestreefd is een zo groot mogelijke verscheidenheid van kleisoorten te verkrijgen.

In het volgende overzicht zijn plaatsen en bijzonderheden vastgelegd. De gestoken "ongeroerde monsters" zijn verkregen met stalen buizen van 66 mm diameter, die in lengte varieerden van 0,60 tot 0,77 m. Deze buizen werden met een zware hamer in de grond gedreven en daarna met een tang al draaiende getrokken. Bij het indrijven van de buizen is de grond in de buizen enigermate samengedrukt. De grootte van deze samendrukking is opgemeten. De resultaten hiervan zijn in het overzicht opgenomen.

- Soort monsters: a) bekledingen nos. 1 en 2: monsters van ca 200 kg met spade geschept en in plastic zakken verpakt.
- b) bekledingen nos. 3 t/m 11: per bekleding 5 monsters gestoken met stalen buizen met diameter van 66 mm en lengte variërend van 600 tot 770 mm. De buizen werden met een zware hamer de grond ingeslagen en met tang al draaiende getrokken.

Bekleding nr. 1

Plaats : buitentalud van kleibekleding van pas verbeterde dijk te Borredamme.

Soort klei : Maasklei, meer dan 40% deeltjes < 16 μ .

Soort monster: ca 200 kg met spade opgeschept, verpakt in plastic zakken.



Bekleding nr. 2

Plaats : binnentalud van kleibekleding van pas verbeterde dijk te Borredamme.
Soort klei : klei uit bouwland (Ouwkerk) met ca 20% deeltjes < 16 µ.
Soort monster: ca 200 kg met spade opgeschept, verpakt in plastic zakken.

Bekleding nr. 3

Plaats : kruin van pas verbeterde zeedijk in de Jonkvrouwe
: Annapolder van D.P. 7 (trajekt Zandkreekdam - Kats).
Soort klei : landbouwgrond + klei uit werk (oude dijk en ondergrond)
Soort monster: 5 met stalen buizen gestoken monsters.

Opmerking:

Bussen moeilijk in de grond te krijgen en ook moeilijk te trekken.
Bus 3 - 3 was aan onderzijde opengebarsten daar hij waarschijnlijk op een steen stuitte.

Bekleding nr. 4

Plaats : buitenberm van pas verbeterde zeedijk in de Jonkvrouwe
Annapolder ter plaatse van D.P. 10 + 40 m (trajekt
Zandkreekdam - Kats).
Soort klei : schor klei van schor direkt voor de zeedijk gelegen.
Soort monster: 5 met stalen buizen gestoken monsters.

Opmerking:

Monsters nog vochtig aan onderzijde. De bussen zijn er makkelijk in te slaan; kunnen zelfs gedeeltelijk met de hand erin gedrukt worden.
Bus 4-4 ging tot op zand, ca 2 cm zand is eruit gevallen.

Bekleding nr. 5:

Plaats : kruin van Oud Noord-Beveland Polder, ter plaatse van
D.P. 86 + 15 m (85 m ten Noorden van Havendam Kats).
Thans is dit dijkvak in uitvoering voor verzwaring door het Bureau Dijkversterkingen Oosterschelde.



Soort klei : deze bekleding wordt als zeer goed ervaren; goede grasmatt ondanks steil binnentalud; beweiding door schapen.

Soort monster: 5 met stalen buizen gestoken monsters.

Opmerking:

Bussen zijn makkelijk te trekken.

Bekleding nr. 6

Plaats : buitenberm van Kruiningenpolder (in verlengde van Sandeeweg) ter plaatse van D.P. 32 + 45 m (ca 10 - 15 jaar geleden op Deltahoogte gebracht).

Soort bekleding : Maasklei.

bijzonder harde bekleding, goede grasmatt.

Soort monster: 5 met stalen buizen gestoken monsters.

Opmerking:

Bussen waren er moeilijk in te krijgen; één bus was geheel ovaal geworden van onderen. Deze bus vertoonde bovendien een grote klink ca 24 cm. Deze bus is buiten beschouwing gelaten.

Bekleding nr. 7

Plaats : teen van binnentalud van Jonkvrouw Annapolder, ter plaatse van D.P. 22 (Veerse Meer).

Soort

bekleding : de ervaringen met deze bekleding zijn slecht; er laat zich geen goede grasmatt op ontwikkelen, alleen maar onkruid (kattestaarten).

Monsters : 5 met stalen buizen gestoken monsters.

Opmerking:

De bussen zijn makkelijk te trekken onderkant van buis op zand.



Bekleding nr. 8

Plaats : buitentalud van 1^e Bathpolder, gedeelte Paviljoen -
Kreekrakpolder.
100 m uit Zuidhofweg (richting paviljoen).

Soort klei : schorklei.

De ervaringen met deze klei zijn slecht, d.w.z. sterk
gescheurd. Denscheuren zijn ca 2-3 cm wijd.

Dijk heeft thans geen functie meer, schor ervoor is nu
in cultuur gebracht. Dijk is voorzien van een kistdam
op de kruin.

Soort monster: 5 met stalen buizen gestoken monsters.

Bekleding nr. 9

Plaats : buitentalud (halverwege kruin/buitenberm) van Citters-
polder. Begin van oude dijk, komende uit richting kern-
centrale. Dijk heeft thans geen functie meer.

Soort klei : schorklei.

Ervaringen met deze schorklei zijn goed.

Soort monster: 5 met stalen buizen gestoken monsters.

Bekleding nr. 10

Plaats : kruin van zeedijk van Borssele Polder. Dijk is op
Deltahoogte gebracht.

D.P. 49 + 50 m (7 m van betontrap).

Soort klei : klei uit bouwland + werk.

Goede grasmats.

Monsters : 5 met stalen buiten gestoken monsters.

Opmerking:

Bekleding helemaal droog, zeer harde klei, bussen moeilijk erin te
krijgen, maar wel makkelijk te trekken.

Bekleding nr. 11

Plaats : buitenberm van zeedijk van Boone Polder (nabij Oosterzwake
polder), ter plaatse van D.P. 3.



Schor voor de dijk wordt Biezelingsche-ham genoemd.

Dijk is op Deltahoogte gebracht.

Soort klei : zeer slappe schorklei. Toch goede grasmat.

Opmerking:

Bussen worden er gemakkelijk ingeslagen en ook gemakkelijk getrokken.



no.	inklinking (cm)	lengte monster (cm)	lengte buis (cm)
3-1	6	60	76,5
3-2	3,5	61	76,5
3-3	3	61,5	76,5
3-4	9	57,5	76,5
3-5	4,5	65	76,5

no.	inklinking (cm)	lengte monster (cm)	lengte buis (cm)
4-1	ca 15	-	67
4-2	-	-	77
4-3	ca 18	-	77
4-4	18	50	76
4-5	12	52,5	76

5-1	9	57	77
5-2	2,5	64,5	77
5-3	7	61,5	77
5-4	3	67,5	77
5-5	2	66	77

6-1	9	57	77
6-2	9	52	72
6-3	12,5	48	60
6-4	12	55	77
6-5	24	47	77



no.	inklinking (cm)	lengte monster (cm)	lengte buis (cm)
7-1	1	65	77
7-2	3	62,5	77
7-3	3	63	77
7-4	4	61,5	77
7-5	1,5	66	77
8-1	7	57	77
8-2	10	54	71
8-3	5	56,5	64,5
8-4	11	54,5	71,5
8-5	15	50	71,5
9-1	3,5	66	77
9-2	5	61	77
9-3	5	63,5	76,5
9-4	1	68	77
9-5	2	62,5	71,5
10-1	4	60	71,5
10-2	5	61,5	76,5
10-3	3	56,5	76,5
10-4	4	61,5	76,5
10-5	10,5	50	71
11-1	9,5	53	72
11-2	8	58,5	77
11-3	6,5	53	65
11-4	3	54	65
11-5	12	55,5	76,5

De monsters werden genomen in een periode van droogte waardoor een aantal monsters, als gevolg van uitdroging, uit betrekkelijk weinig samenhangende brokken was samengesteld.



3. Erosietoestel

In principe bestaat het erosietoestel uit een met water gevulde draaiende trommel waarin het monster van de kleibekleding door middel van een torsiemeeetinrichting wordt belet onder invloed van het stromende water mee te draaien.

Het water in de trommel wordt meegenomen door de draaiende trommel en oefent daardoor een sleepkracht uit op het stilstaande monster.

De grootte van de sleepkracht werd globaal met de torsiemeter bepaald.

De mate van erosie of afslijping van de monsters door de door het water uitgeoefende eroderende werking werd bepaald door regelmatig tijdens de proef het gewichtsverlies van het monster te bepalen. Hiervoor moest de trommel worden stilgezet.

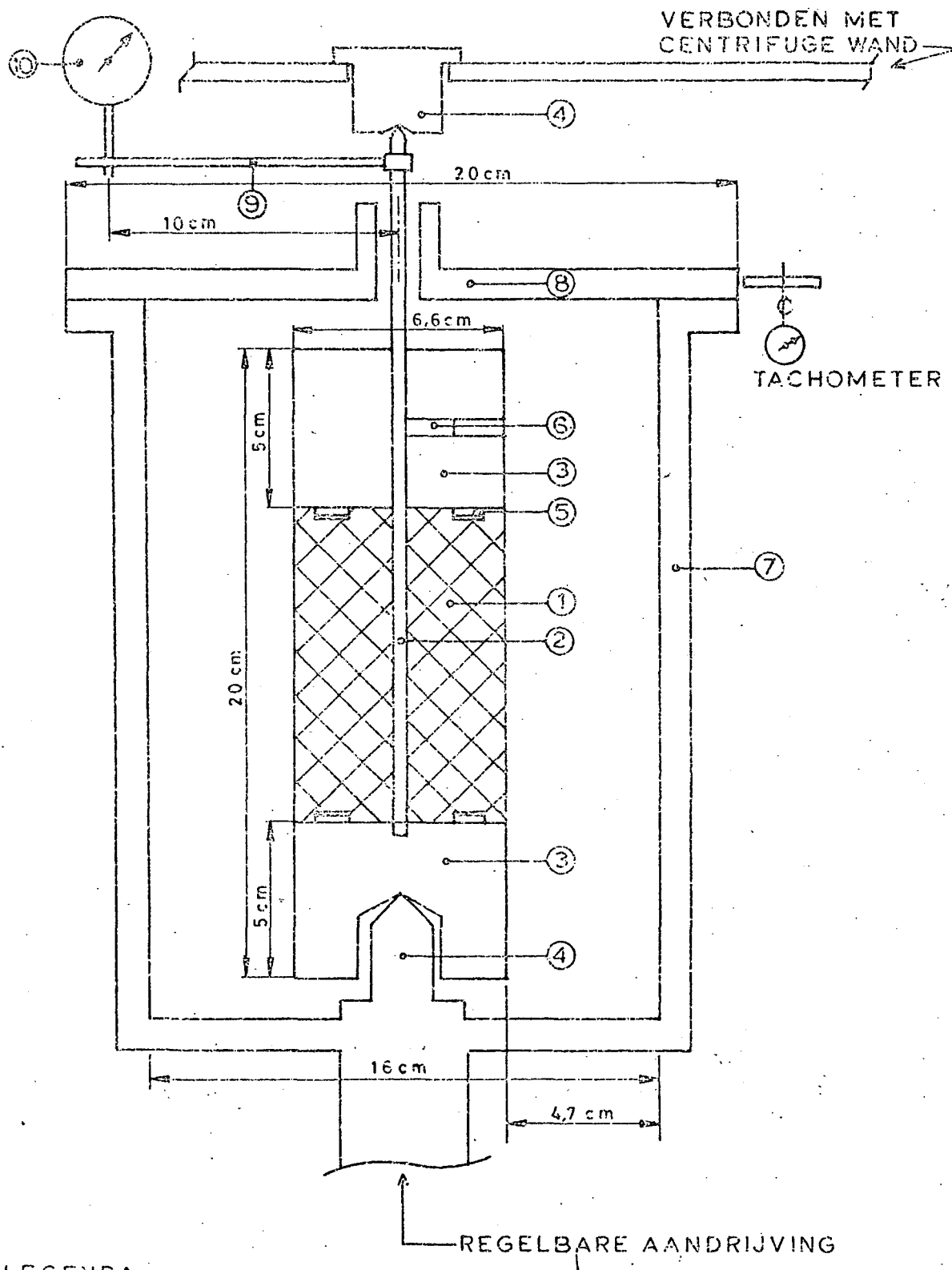
In figuur 1 is het erosietoestel schetsmatig weergegeven.

Het erosietoestel is geconstrueerd van een normale huishoudcentrifuge.

Het monster ($h = 10 \text{ cm}$; $d = 6,6 \text{ cm}$) wordt in een monsterhouder in het midden van de rotor geplaatst. Dit geheel is onafhankelijk draaibaar t.o.v. de rotor opgesteld tussen twee taatspunten in de as van de rotor. Draaiing van de monsterhouder met monster wordt tegengewerkt door een torsiemeeetinstrument met een veerconstructie.

De monsterhouder bestaat uit een pen (2) en 2 metalen klossen ($h = 5 \text{ cm}$; $d = 6,6 \text{ cm}$) (3). Om een goede verbinding tussen klos en monster te verkrijgen, is elke klos voorzien van 16 mesvormige uitsteeksels (6) die in het monster worden gedrukt.

De rotor van de centrifuge is gevuld met water.



LEGENDA

- | | |
|--------------------------|------------------------------|
| 1 = MONSTER | 6 = INBUSBOUTJE |
| 2 PEN v.d. MONSTERHOUDER | 7 METALEN ROTOR |
| 3 KLOSSEN | 8 PERSPEX DEKSEL |
| 4 TAATSEN | 9 ARM OM MOMENT OVER TE |
| 5 MESJES | BRENGEN OP TORSIEMETER (=10) |

Figuur 1 - Erosietoestel



4. Plaatsing van de monsters in het erosietoestel (zie figuur 2)

De monsters bevinden zich in stalen bussen van 150 mm hoogte en een inwendige diameter van 66 mm. In deze bus zijn de monsters onder water voorbelast met een kracht van 125 'N. De bovenste klos werd daarna op het monster geplaatst. Via het gat in deze klos is een holle buis, voorzien van een snijrand, door het monster geboord, zodat een gat in het centrum van het monster ontstaat.

Hierna wordt het geheel van monster en holle buis 10 cm uit de stalen bus geperst en afgesneden.

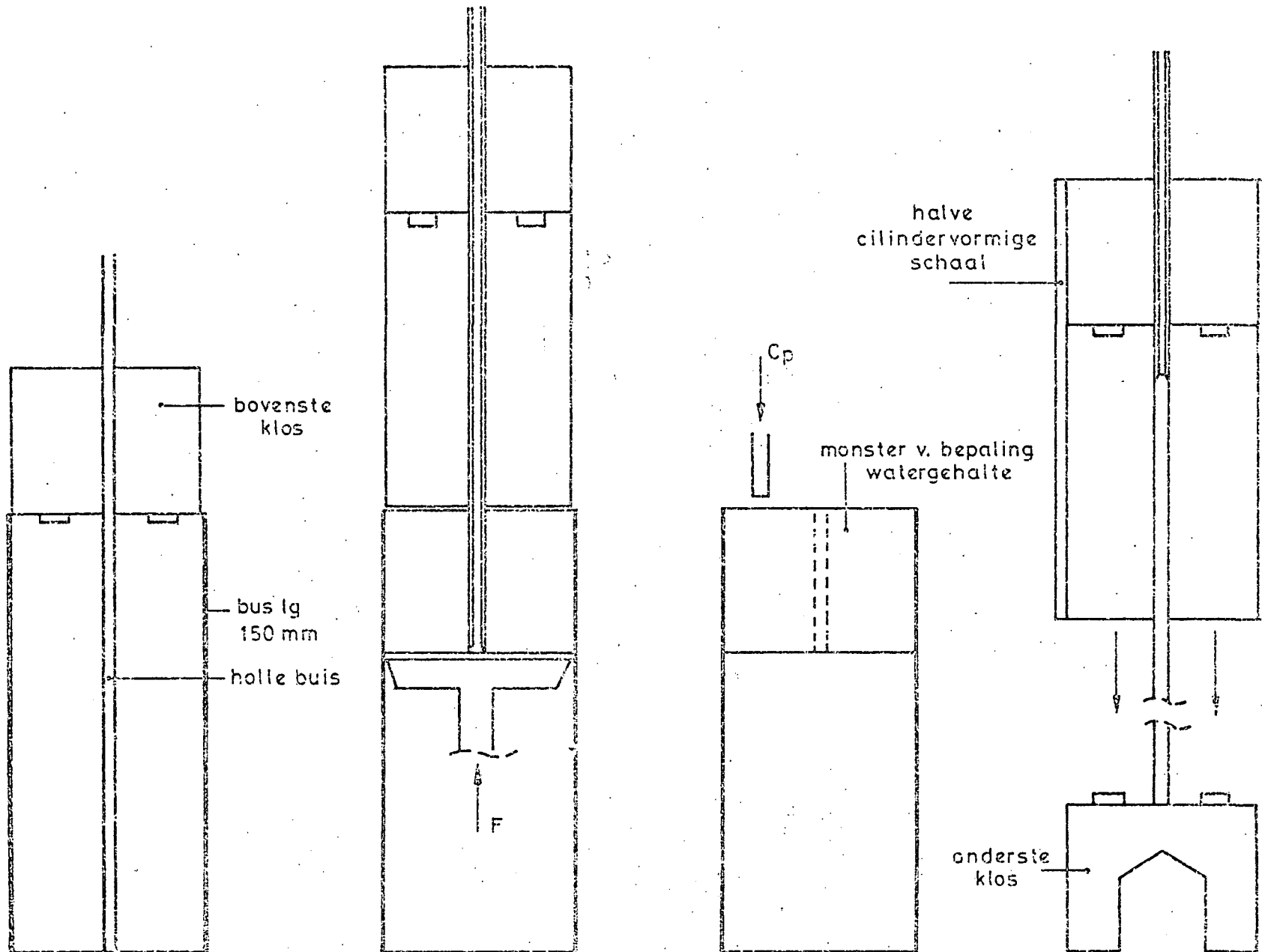
Twee halve cilinders worden rond het monster aangebracht. Deze voorkomen deformatie als de rest van de monsterhouder met enige kracht (de mesjes moeten in het monster dringen) aangebracht wordt.

Dit geschiedt door het monster over de pen van de houder te laten zakken, waarbij de pen de holle buis uit het monster duwt.

Door het inbushoutje (7) aan te draaien, wordt de bovenste klos aan de pen vastgemaakt en het geheel wordt in het erosie-apparaat geplaatst.

In de stalen bus bevindt zich nog 5 cm van het monster. Hierop worden met de penetrometer 4 waarden bepaald voor de schijnbare cohesie c_p . Tevens wordt dit stukje van het monster gebruikt voor het bepalen van het watergehalte ($w\%$).

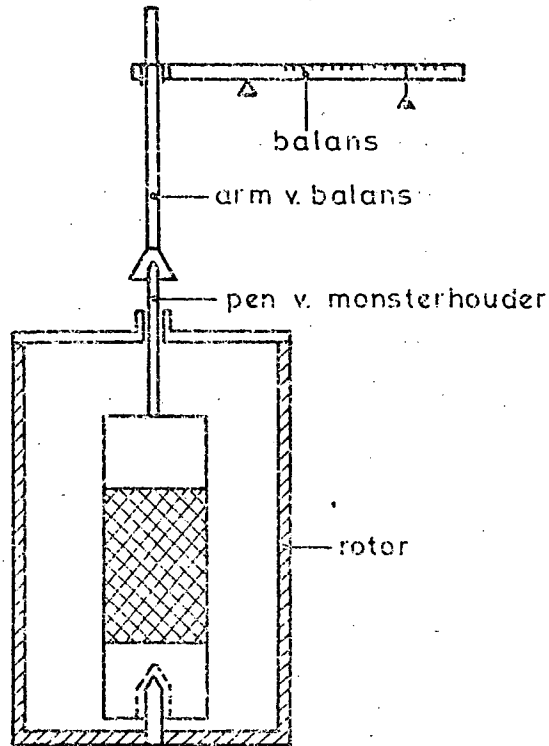
Figuur 2 - Reparatie van een monster voor de erosieproef





5. Metingen tijdens de erosieproef

Als het monster in de centrifuge is gebracht, wordt het boven water gewogen (zie figuur 3).



Figuur 3 - Weeginrichting

Een weging wordt uitgevoerd door de bovenste taats te verwijderen en het monster aan een balans te hangen, die zich recht boven de as bevindt.

Na de weging boven water wordt de rotor met water gevuld en het deksel geplaatst.

Het monster wordt dan onder water gewogen.

De volumieke massa kan uit de twee gewichtsmetingen als volgt bepaald worden:



$$\rho = \frac{M_b}{M_b - M_o} \cdot \rho_w$$

hierin is : M_b = massa boven water

M_o = massa onder water

ρ = volumieke massa grond

ρ_w = volumieke massa van water

Gedurende het 1e kwartier, dat het monster zich onder water bevindt, blijft het aan de balans hangen, zodat eventuele massa-afname in stilstaand water gemeten kan worden.

Als hierna de bovenste taats weer op zijn plaats gebracht is, kan begonnen worden met draaien. Het water in de rotor gaat langs het monster stromen en oefent een schuifkracht uit op het monsteroppervlak. Deze schuifkracht levert een draai(end) moment op de pen van de monsterhouder.

Aan de bovenzijde van de pen is een arm van 100 mm bevestigd waarmee via een veeroverbrenging het torsiemoment gemeten wordt.

Om een bepaalde gewenste torsie-uitslag te bereiken, moet de centrifuge draaien met een bepaald toerental (ω). Dit toerental wordt bepaald met behulp van een snelheidsmeter, die de omtreksnelheid (v) van de rotor meet.

De omtrek van de rotor = 0.66 m, zodat voor het toerental (ω) geldt:

$$\omega = \frac{v}{0.66} \quad \begin{array}{l} (v \text{ in m/min}) \\ (\omega \text{ in rpm}) \end{array}$$

Na 5 minuten draaien bij een bepaalde torsie-uitslag wordt de centrifuge gestopt en vindt een gewichtsmeting plaats.

Vervolgens wordt weer 5 minuten gedraaid bij eenzelfde of andere torsie-uitslag en vindt wederom een gewichtsmeting plaats.

Deze procedure wordt herhaald totdat verder meten niet meer mogelijk is.



Wat betreft het variëren van de torsie-uitslag zijn verschillen-
de procedures gevolgd, waarop later dieper wordt ingegaan.

5.1. Meetgrootheden

Tijdens de proef in het erosietoestel werden de volgende groot-
heden gemeten: - massa-afname

- torsiemeteruitslag

- toerental van de centrifugetrommel

5.1.1. Massa-afname

Massa-afname van het monster als functie van de tijd.

De gewichtsafname wordt berekend als percentage van de gemiddel-
de massa tussen twee metingen:

$$E = \frac{\Delta M}{M_n + \frac{1}{2} \Delta M} * 100 [\%]$$

hierin is: E = procentuele afname van de massa

$$\Delta M = M_{n-1} - M_n$$

M_n = massa (onder water) * na de n^e meting

M_{n-1} = massa (onder water) na de $(n-1)^e$ meting

* Aangezien E een relatieve waarde is tussen twee metingen
onder water, heeft het feit, dat er onder water wordt ge-
wogen, geen invloed.

5.1.2. De torsiemeteruitslag en iking

De torsie-uitslag, zoals deze in de proefresultaten vermeld
staat, is slechts een relatieve maat voor het moment dat door
de pen van de monsterhouder overgebracht wordt.

Het is wel mogelijk om deze waarden uit te drukken in werke-
lijke moment-eenheden, maar er moet in dat geval wel rekening
mee gehouden worden, dat vanwege een onbekende systematische



afwijking in de meetapparatuur deze waarden het werkelijke moment slechts globaal benaderen.

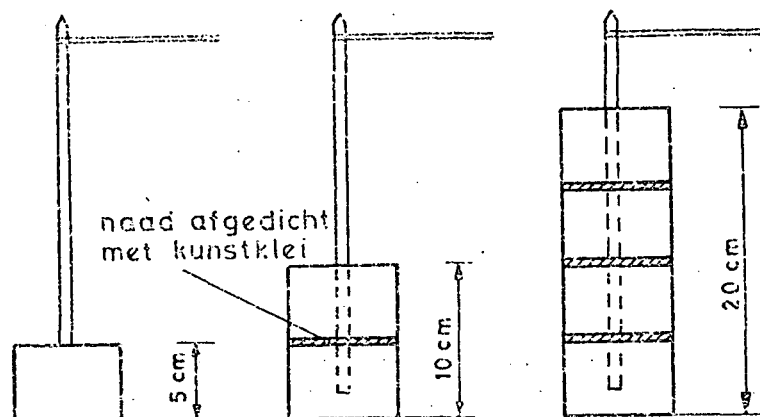
Van de meetinrichting is bepaald, dat een schaaldeel ongeveer overeenkomt met een kracht van 0.01 N. Deze kracht wordt geleverd door een arm van 100 mm die bevestigd is aan de pen van de monsterhouder. Eén schaaldeel (ofwel torsie-uitslag = 1) komt dus overeen met een moment van 1 Nmm ofwel 10^{-3} Nm.

Naast de schuifkracht tussen water en monster zijn er nog de volgende krachten, die een bijdrage tot de gemeten torsie leveren:

- a) De kracht van het stromende water op de monsterhouder.
- b) De wrijving in de taatsconstructie tussen de stilstaande monsterhouder en de draaiende rotor.

Om het effect van deze krachten op de torsie te elimineren, is een ijklijn opgesteld voor de torsiewaarden zonder monster. Daartoe werd de torsie als functie van het toerental op drie verschillende manieren gemeten:

- 1) In de rotor bevindt zich de pen van de monsterhouder met daaraan bevestigd 1 klos van 5 cm hoogte en een diameter van 6,6 cm (zie figuur 4).
- 2) Bij de volgende meting werd een tweede klos op de 1e bevestigd.
- 3) Vervolgens werden 4 klossen aan de houder bevestigd, zodat de monsterhouder dezelfde vorm had als tijdens een proef met een monster. Het monster was daarbij a.h.w. vervangen door twee klossen van 5 cm hoogte.



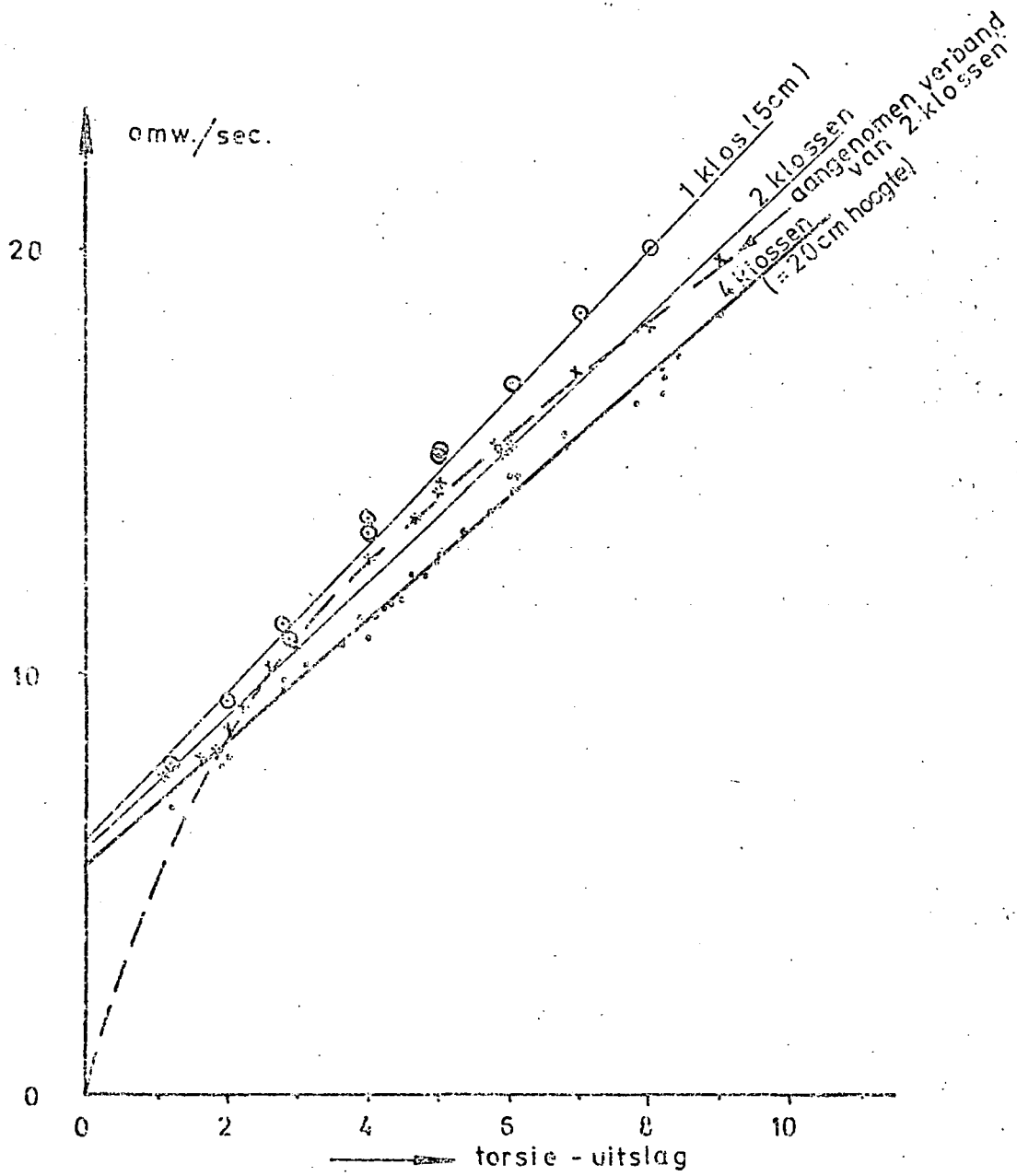
Figuur 4 - Torie-ijking

De resultaten van deze ijkingen zijn uitgezet in het diagram van figuur 5.

Bij deze 2e meting werd gemeten met een monsterhouder met 2 klossen. Dit is dus de houder, zoals hij ook gebruikt wordt bij het beproeven van de monsters. De ijklijn, opgesteld bij de 2e meting, zou op grond hiervan de juiste correctie geven op de torsie.

Verschil met de situatie bij beproeving van een monster is bij de meting met 2 klossen dat de totale hoogte van de klossen niet gelijk is aan de hoogte van monster + klossen. Door deze vormverandering kan het stromingsbeeld van het water in de centrifuge worden beïnvloed. Uit een controleberekening volgt echter dat deze invloed onbeduidend is.

Bijgevolg is dat de ijklijn, gevonden bij de 2e meting (monsterhouder + 2 klossen), als correctie op de gevonden torsiewaarden in te voeren.



Figuur 5 - Torsie-ijklijnen



5.1.3. Toerental van de trommel

Het toerental, dat nodig is om een bepaalde torsie te bereiken, wordt bepaald uit een snelheidsmeting van de omtrek van de trommel met een tachometer. Dit toerental wordt gemeten in verband met het aanbrengen van de hiervoor beschreven correctie op de torsie-uitslag.



6. Preparatie van de monsters en procedure van de erosieproef

6.1. Preparatie van de monsters

Om de erosietest te kunnen uitvoeren op de monsters werden de volgende voorbehandelingen toegepast:

a) Monsters uit depot.

- 1) Verdichting met behulp van het Proctor-verdichtingsapparaat.
- 2) Het aldus verkregen monster werd gedurende enige dagen onder water geplaatst. Het doel hiervan was het monster met water te verzadigen en enigszins te laten "rijpen".
- 3) Daarna werd het monster overgebracht in de houder van het erosie-apparaat op de eerder beschreven wijze.

b) Gestoken monsters.

- 1) De steekbus met daarin het monster (lengte \pm 1 m, diameter 66 mm) werd gedurende ca 1 week in 15 cm water geplaatst om de onderste 150 mm te verzadigen.
- 2) Dit stuk van 150 mm werd vervolgens overgeperst in een bus (\varnothing 66 mm ; h = 150 mm). In deze bus kreeg het onder water gehouden monster gedurende enige tijd een voorbelasting van 125 N.
- 3) Daarna werd het monster in de houder van het erosie-apparaat gebracht.

6.2. Beproevingprocedures van de erosieproef

De test werd uitgevoerd door, zoals eerder beschreven, telkens 5 minuten te draaien, waarbij de torsie-uitslag op een bepaalde waarde constant gehouden werd. Na 5 minuten werd het apparaat gestopt en vond de meting van de massa-afname plaats. Dezelfde procedure werd daarna herhaald bij een andere torsie-uitslag.

Deze werkwijze is voor alle beproefde monsters aangehouden.



Alleen omtrent het veranderen van de torsie-uitslag tussen twee draaicycli zijn verschillende procedures gevolgd.

Proefprocedure A

Hierbij werd geprobeerd om de gehele proef uit te voeren bij gelijkblijvende torsie-uitslag met als doel de massa-afname als functie van de tijd te meten.

Gebleken is dat sommige monsters daarbij volledig werden geërodeerd, terwijl bij andere monsters alleen in het begin van de proef een relatieve massa-afname optrad die snel tot nihil verminderde.

De monsters die volgens procedure A werden getest, zijn:

- 5-2 Hier werd bij een constante torsie-uitslag van 5 de relatieve massa-afname steeds geringer.
- 8-2 In stilstaand water vertoonde zich het beeld van geleidelijke afname van E tot ongeveer $E = 0$

Proefprocedure B (voorheen procedure II genoemd)

Bij de 2e procedure werd bij een constante torsie-uitslag gemeten tot geen relatieve massa-afname meer optrad. Dit gebeurde gemiddeld na 4 à 5 maal 5 minuten draaien.

Daarna werd overgeschakeld op een hogere torsie-uitslag en werd dezelfde procedure herhaald. Nu bleek, dat bij een bepaalde torsie-uitslag de erosie een sterke toename ging vertonen.

Deze torsie-uitslag wordt als kritieke torsie aangeduid.

Monsters op deze wijze beproefd, zijn:

- 6-3 Bij torsie = 3 en 5 trad slechts een geringe relatieve massa-afname op.
Bij torsie = 7 duurde het langer voordat de erosie afnam tot nul, terwijl bij torsie = 9 de relatieve massa-afname sterk toenam.
- 6-4 Bij torsie = 3 vertoonde het monster al direct een sterke relatieve massa-afname. De erosie nam daarna



echter toch weer af tot nul. Bij torsie = 5 ging het monster definitief kapot.

7-1 Dit monster gaf een zeer regelmatig beeld. Het ging bij een torsie-uitslag van 11 plotseling kapot.

10-1 Ook dit monster gaf een regelmatig beeld.

11-2 Idem als 7-1 en 10-1.

Proefprocedure C

Uitgaande van het idee, dat het interessant was om metingen te doen bij een torsie-uitslag, die iets beneden de kritieke torsie lag, werd een iets afwijkende procedure op enkele monsters toegepast. Hierbij werd de torsie snel opgevoerd tot een waarde die een eenheid beneden de te verwachten kritieke torsie lag. Deze methode bleek echter moeilijk uitvoerbaar, omdat een schatting van de kritieke torsie niet erg betrouwbaar was te maken.

Monsters die op deze wijze beproefd zijn, zijn:

5-3, 8-3, 10-2, 11-5.

Proefprocedure D (voorheen procedure III genoemd)

Om de kritieke torsie wat nauwkeuriger te bepalen, werden bij deze procedure kleinere intervallen tussen opeenvolgende torsie-uitslagen genomen. Bovendien werd niet meer gewacht tot de relatieve massa-afname = 0 geworden was, zoals het geval is bij procedure B. In plaats hiervan werd telkens 2 maal 5 minuten gedraaid alvorens de torsie te verhogen.

Monsters, op deze wijze beproefd, zijn:

5-1, 5-4, 6-1,
6-2, 6-5, 8-4, 8-5,
10-3, 10-4 en 11-1.



7. Resultaten van de erosieproeven

Tengevolge van de slechte toestand van een aantal van de gestoken monsters uit de kleibekledingen konden op een aantal monsters geen erosieproeven worden uitgevoerd. De slechte toestand hing vooral samen met een sterke onsamenhangende brokkeligheid van de monsters die het gevolg moet zijn geweest van sterke uitdroging van de kleibekleding op de dijk.

Deze monsters worden danook verder buiten beschouwing gelaten, alhoewel het geconstateerde verschijnsel op zich reden tot bezorgheid ten aanzien van de kwaliteit van een dergelijke bekleding zou kunnen zijn en zeker ook verder dient te worden onderzocht.

7.1. Basisgegevens

De kwaliteitsbeoordeling van de niet voorbehandelde monsters werd bepaald op grond van visuele waarneming en een beperkt aantal bepalingen zoals:

- volumieke massabepaling (ρ_{nat})
- watergehaltebepaling (w%)
- bepaling van de verzadigingsgraad (S_r)

Na de voorbehandeling ten behoeve van de erosieproeven werden de volgende bepalingen gedaan:

- bepalingen voor de volumieke massa (ρ_{nat})
- watergehaltebepaling (w%)
- bepaling van de verzadigingsgraad (S_r)
- schuifweerstandsbepaling (c) door middel van:
 - a) penetrometer
 - b) valconus
 - c) laboratorium vane-proef
 - d) celproef op 1 monster per groep
- Atterbergse grenzen
 - a) viceigrens (L.L)
 - b) uitrolgrens (P.L)



c) krimpgrens (S.L)

- korrelverdelingsbepalingen (1 per groep)

In de volgende tabel 7.1 is een deel van de uit deze bepalingen verkregen basisgegevens verzameld.

Tabel 7.1 - Basisgegevens van de monsters van de erosieproeven.

1 kgf cm⁻² ~ 100 kN m⁻²

Bus no.	Monster no.	droog (oorspronkelijk)				na verzadigen					
		lengte in bus [m]	ρ_{nat} [t/m ³]	W %	S _r %	ρ_{nat} [t/m ³]	W %	S _r %	penetrometer C [kN m ⁻²]	valcone C [kN m ⁻²]	lab. vane C [kN m ⁻²]
5 1	13	0,45	1,78	11,29	45,6	1,78	33,81	90,8	73	61	71
5 2	14	0,50	1,66	21,32	60,4	1,74	34,46	86,7	34	28	23
5 3	15	0,60	1,69	21,65	63,2	1,78	39,45	97,2	46	29	10
5 4	16	0,55	1,74	19,69	63,4	1,78	35,28	92,1	36	14	21
5 5	17	0,57	1,63	21,47	58,1	1,75	36,38	90,2	22	25	7
6 1	18	0,41 ⁵	1,88	25,14	87,2	1,87	29,25	93,3	67	87	> 70
6 2	19	0,43	1,70	19,46	59,8	1,82	34,28	94,6	45	31	30
6 3	20	0,37	1,86	24,31	83,5	1,86	27,54	89,3	134	177	162
6 4	21	0,37	1,78	25,13	77,2	1,78	33,95	90,7	51	28	43
6 5	22	0,32	1,88	21,95	80,4	1,82	41,49	103,7	174	173	110
7 1	23	0,43	1,74	13,84	49,6	1,81	25,26	80,3	45	33	8,8
7 2	24	0,60	1,65	14,78	46,5	1,77	28,85	82,2	48	8,9	6,0
7 3	25	0,40	1,76	16,53	57,7	1,80	27,40	83,1	89	62	27
7 4	26	0,07	1,72	12,91	46,2	1,82	25,64	81,8	43	17	20
7 5	27	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8 1	28	0,09	1,15	25,38	35,6	1,41	49,71	72,5	11	11	5
8 2	29	0,44	1,50	25,50	55,7	1,59	52,87	90,1	28	28	11
8 3	30	0,57	1,28	28,48	45,5	1,42	51,76	74,8	27	21	14
8 4	31	0,41	1,53	27,58	60,1	1,61	48,34	88,8	16,8	9,4	11,0
8 5	32	0,37	1,58	32,40	70,2	1,63	50,79	92,5	36	24	20
10 1	38	0,41	1,73	10,03	38,7	1,82	32,38	92,6	15	10	7
10 2	39	0,51	1,62	11,30	35,7	1,82	29,3	87,5	1,8	1,5	2,0
10 3	40	0,20	1,50	10,94	30,1	1,73	29,2	79,0	11	8,3	5,5
10 4	41	0,42	1,77	9,74	40,0	1,87	27,83	91,4	21	8,8	15,5
10 5	42	0,10	1,71	10,15	38,3	1,81	24,58	78,7	63	37	26
11 1	43	0,40	1,59	35,84	75,0	1,63	55,03	96,9	50	68	49
11 2	44	0,44	1,69	32,24	79,5	1,71	47,35	98,5	34	16	29,5
11 3	45	0,37	1,56	20,20	51,4	1,59	50,23	88,7	39	27,2	39
11 4	46										
11 5	47	0,40	1,64	44,62	88,7	1,68	57,72	102,41	40	19	8,4



De resultaten van de korrelverdelingsbepalingen en de Atterbergse grenzen zijn gegeven in de figuren 6 t/m 11.

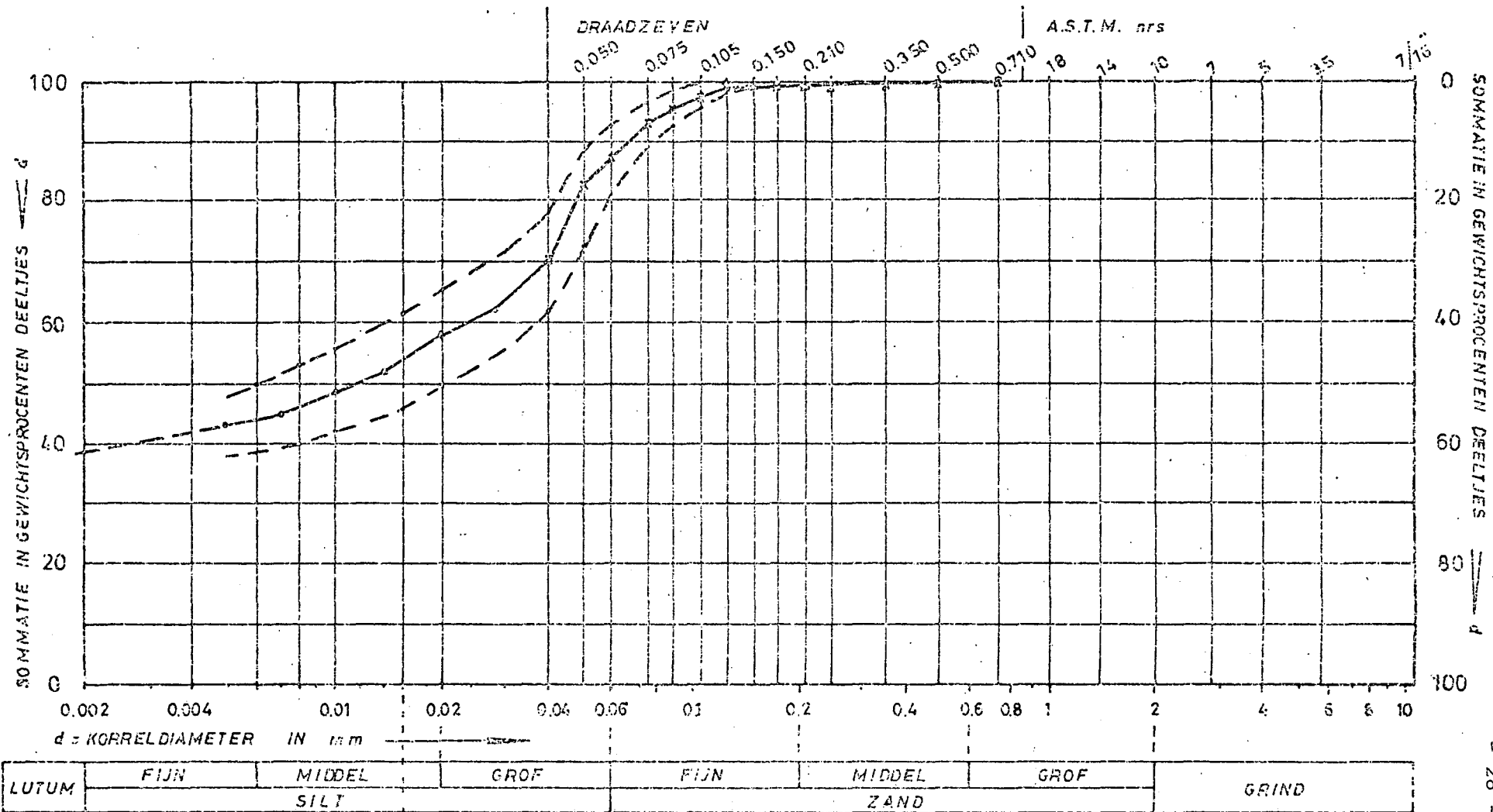
De resultaten van de celproeven zijn uitgezet in de figuren 12 t/m 17.

De foto van figuur 18 geeft een indruk van de toestand van de onderzochte monsters. Hierna wordt een korte beschrijving van deze toestand op grond van de visuele beoordeling gegeven.

<u>Monster</u>	<u>Beoordeling</u>
5-1	Vrij veel krimpscheuren na uitdroging, niet erg brokkelig, glad oppervlak, humusvlekjes egaal verspreid, kleurenvariatie.
5-3	Brokkeliger dan 5-1, vrij veel krimpscheuren, grote humusconcentraties, weinig kleurvariaties.
5-4	Niet brokkelig, vrij veel krimpscheurtjes, humusvlekjes egaal verdeeld, wat sterkere kleurvariatie dan 5-1.
6-1	Zeer inhomogeen, glad oppervlak, weinig krimpscheurtjes na uitdroging, humusvlekjes.
6-2	Vrij goed homogeen, vrij veel krimpscheurtjes, kleurvariatie, beetje humus homogeen verdeeld, niet brokkelig, glad oppervlak, gele vlekjes.
6-3	Veel scheurtjes, weinig kleurvariatie in kleigedeelte, grote zandinsluiting, beetje humus homogeen verdeeld, weinig geruwd oppervlak.
6-4	Goed homogeen, vrij weinig scheurtjes, weinig geruwd oppervlak, beetje humus homogeen verdeeld, gele vlekjes.
6-5	Vrij weinig scheurtjes, afwisselend glad en geruwd oppervlak, matig homogeen.



Figuur 6 - Korrelverdelingsdiagram - groep 5



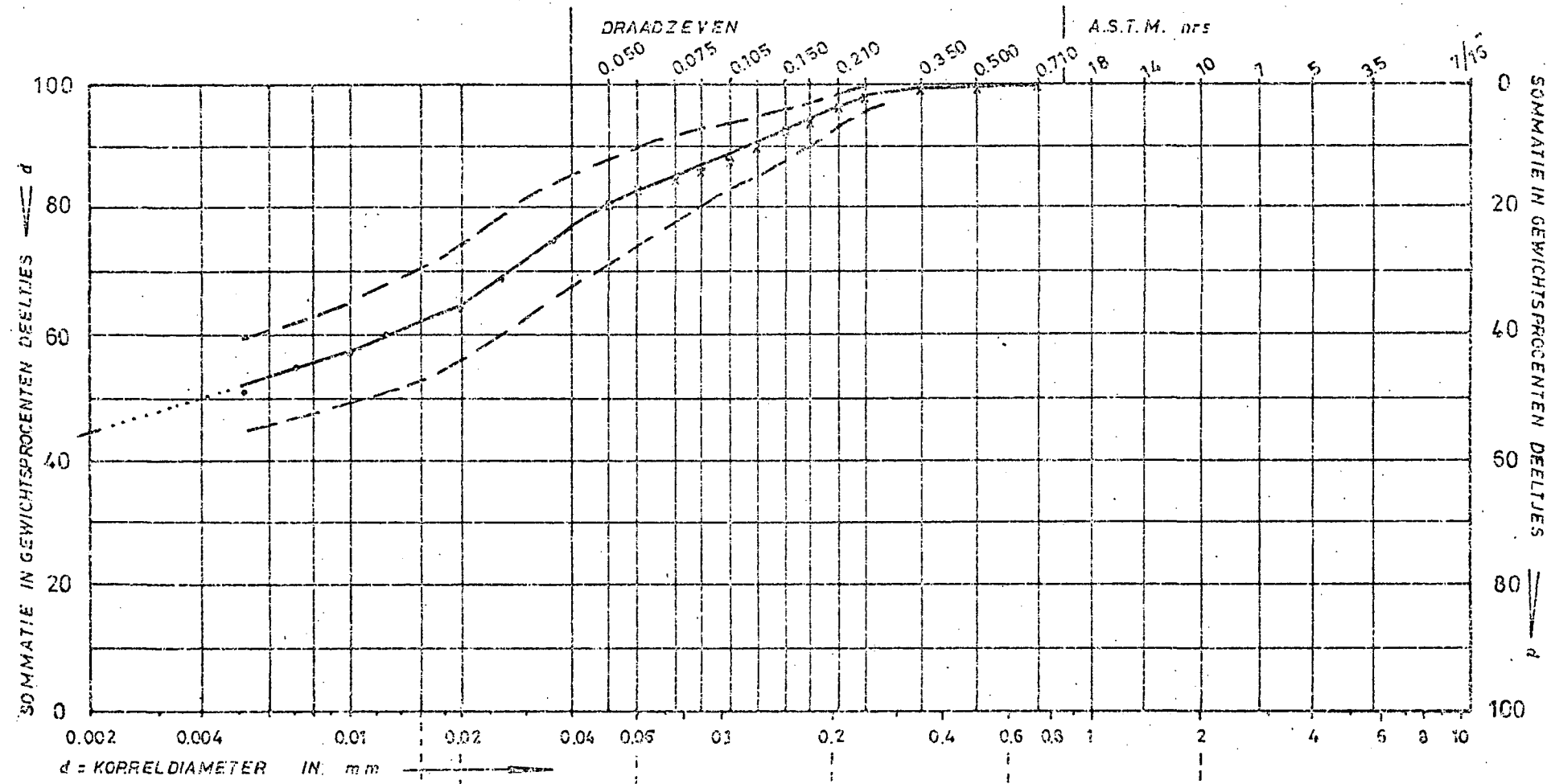
L.L. = 53,8% ± 6,4
 P.L. = 18,6% ± 3,1
 P.I. = 35,2% ± 5,4
 S.L. = 18,4% ± 0,5

————— Gem. korrelverdeling
 - - - - - Standaardafwijking
 Extrapolatie naar 2U

x resultaten zieving
 o resultaten areometer
 a slijpbeurt



Figur 7 - Korrelverdelingsdiagram - groep 6

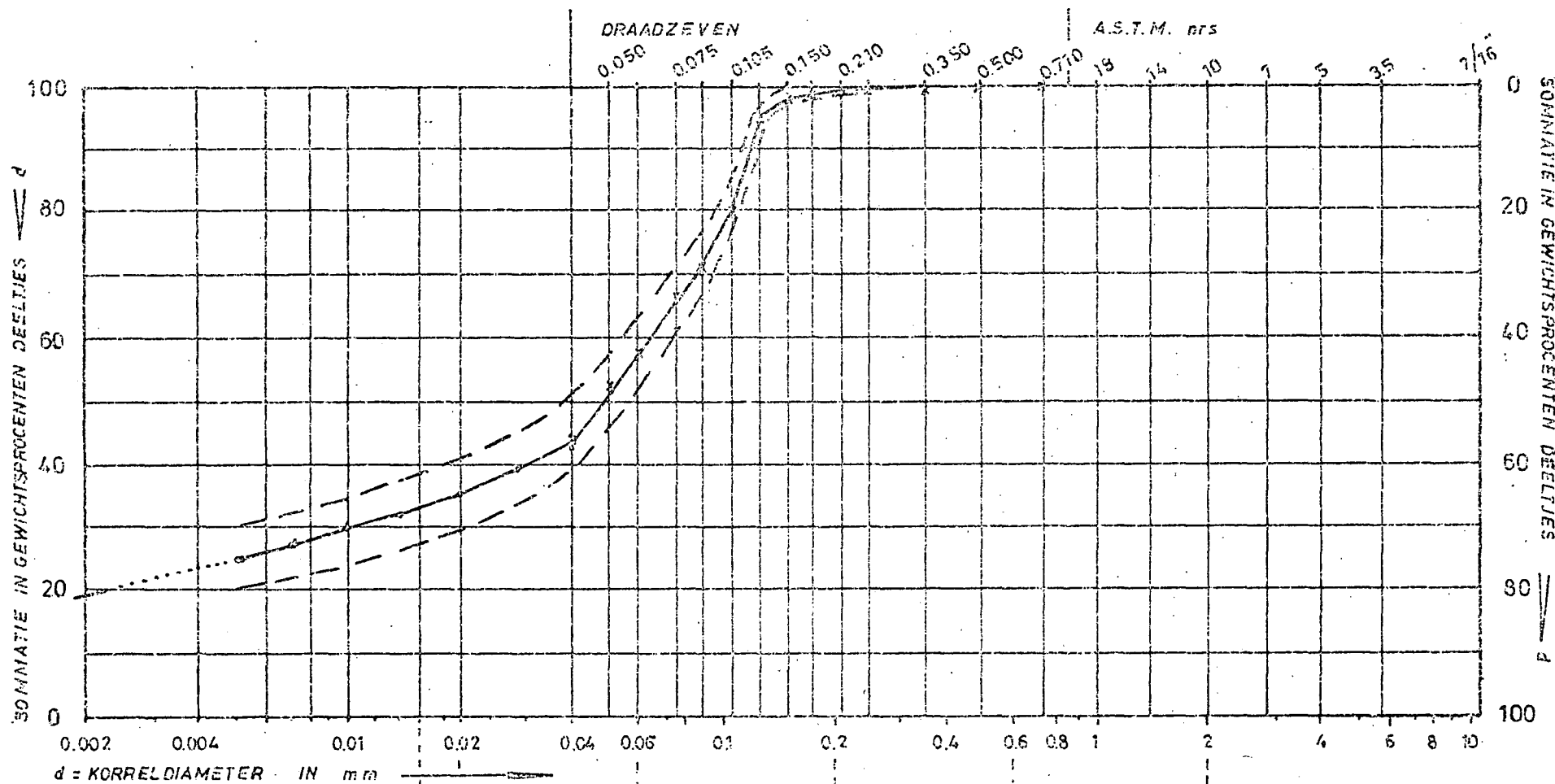


LUTUM	FIJN	MIDDEL	GROF	FIJN	MIDDEL	GROF	GRIND
	SILT		ZAND				

- L.L. = 56,0% ± 11,2
- P.L. = 18,6% ± 1,5
- P.I. = 38,0% ± 11,0
- S.L. = 17,4% ± 1,3



Figuur 3 - Korrelverdelingsdiagram - groep 7

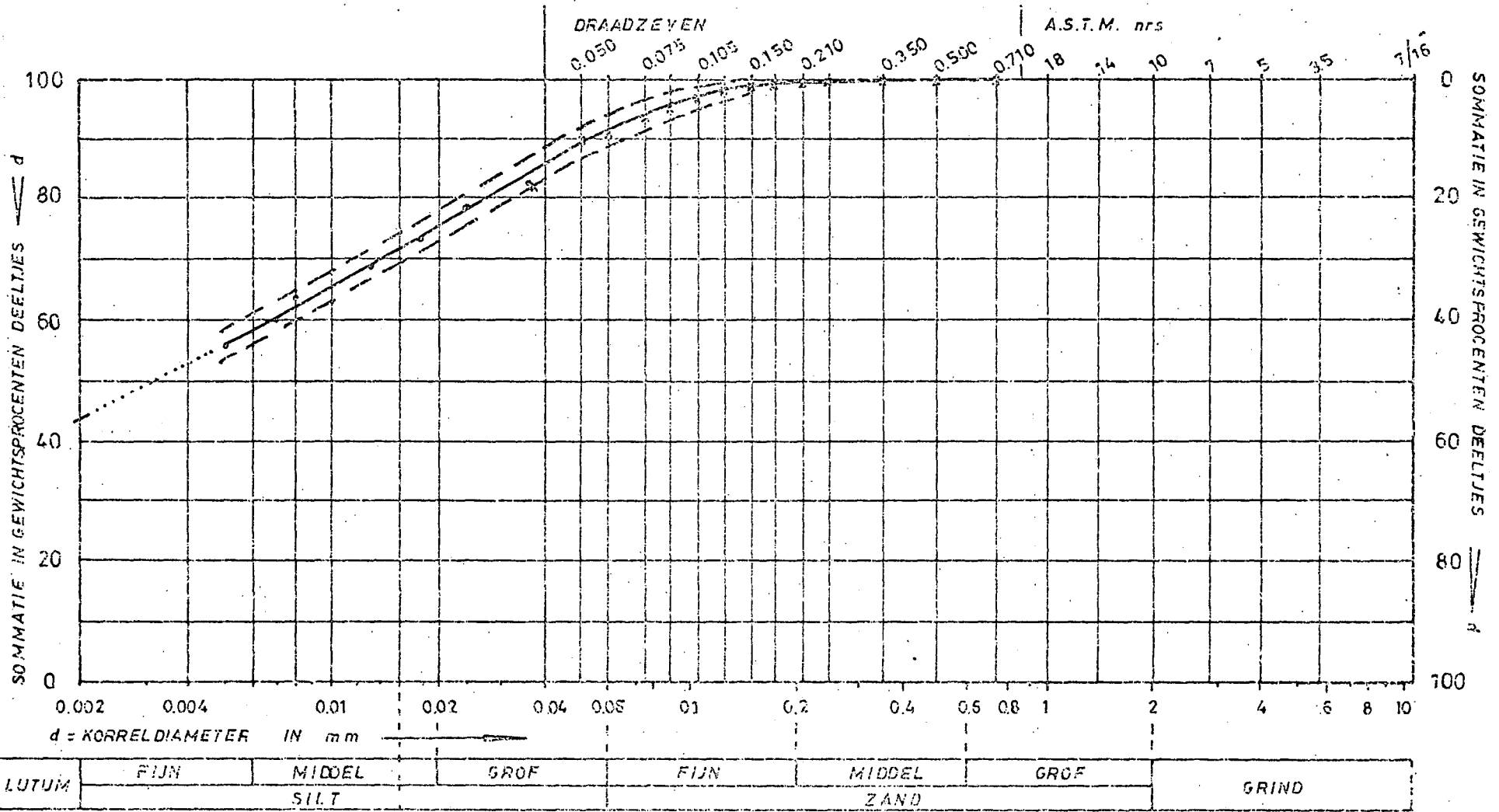


LUTUM	FIJN	MIDDEL	GROF	FIJN	MIDDEL	GROF	GRIND
		SILT			ZAND		

L.L. = 37,5% ± 2,5
 P.L. = 15,8% ± 1,0
 P.I. = 18,8% ± 2,4
 S.L. = 17,3% ± 2,6



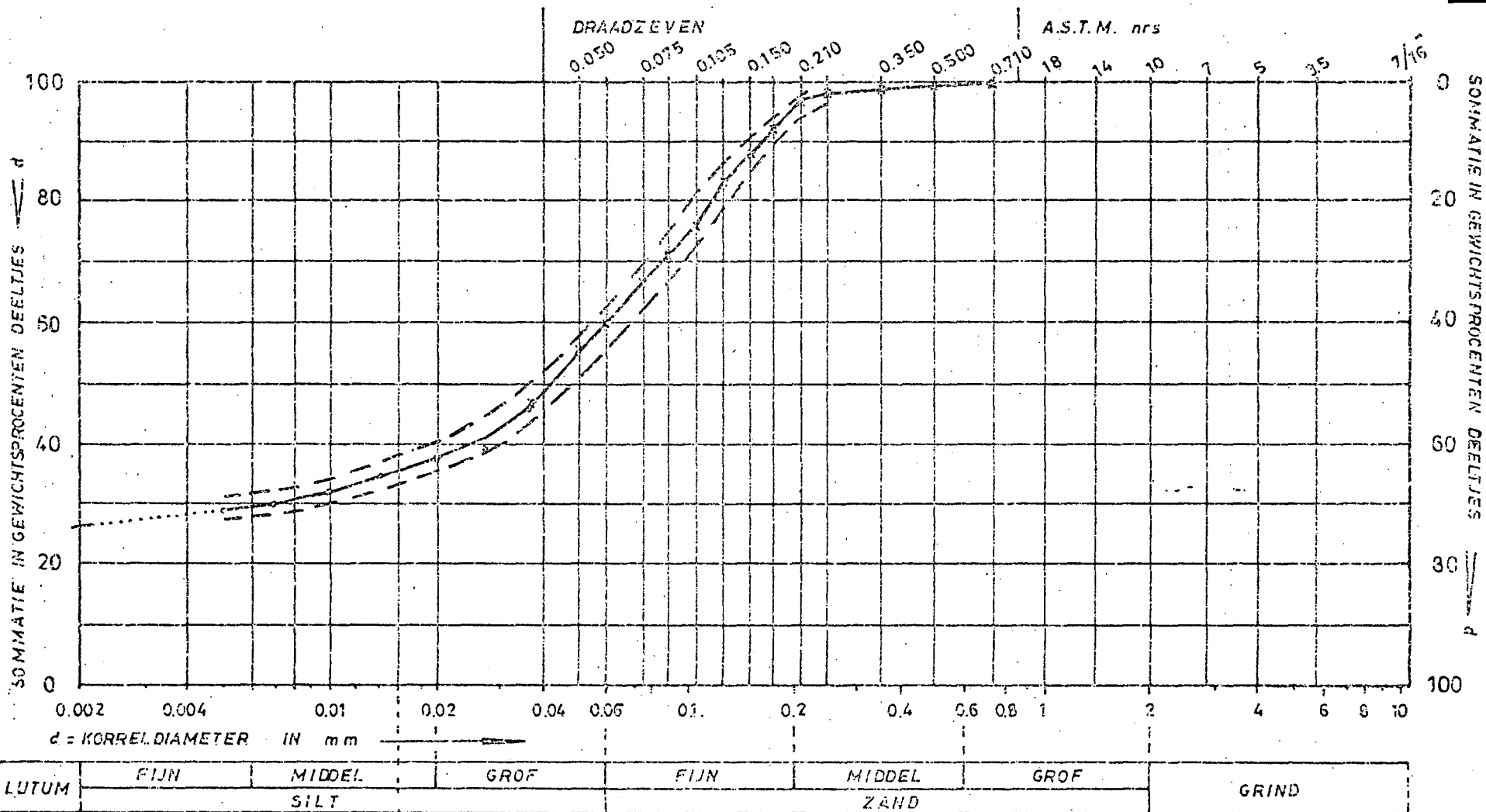
Figuur 9 - Korrelverdelingsdiagram - Groep 8



L.L. = 66,6% + 3,4
 P.L. = 25,4% + 3,4
 P.I. = 41,0% + 5,4
 S.L. = 19,2% + 1,3



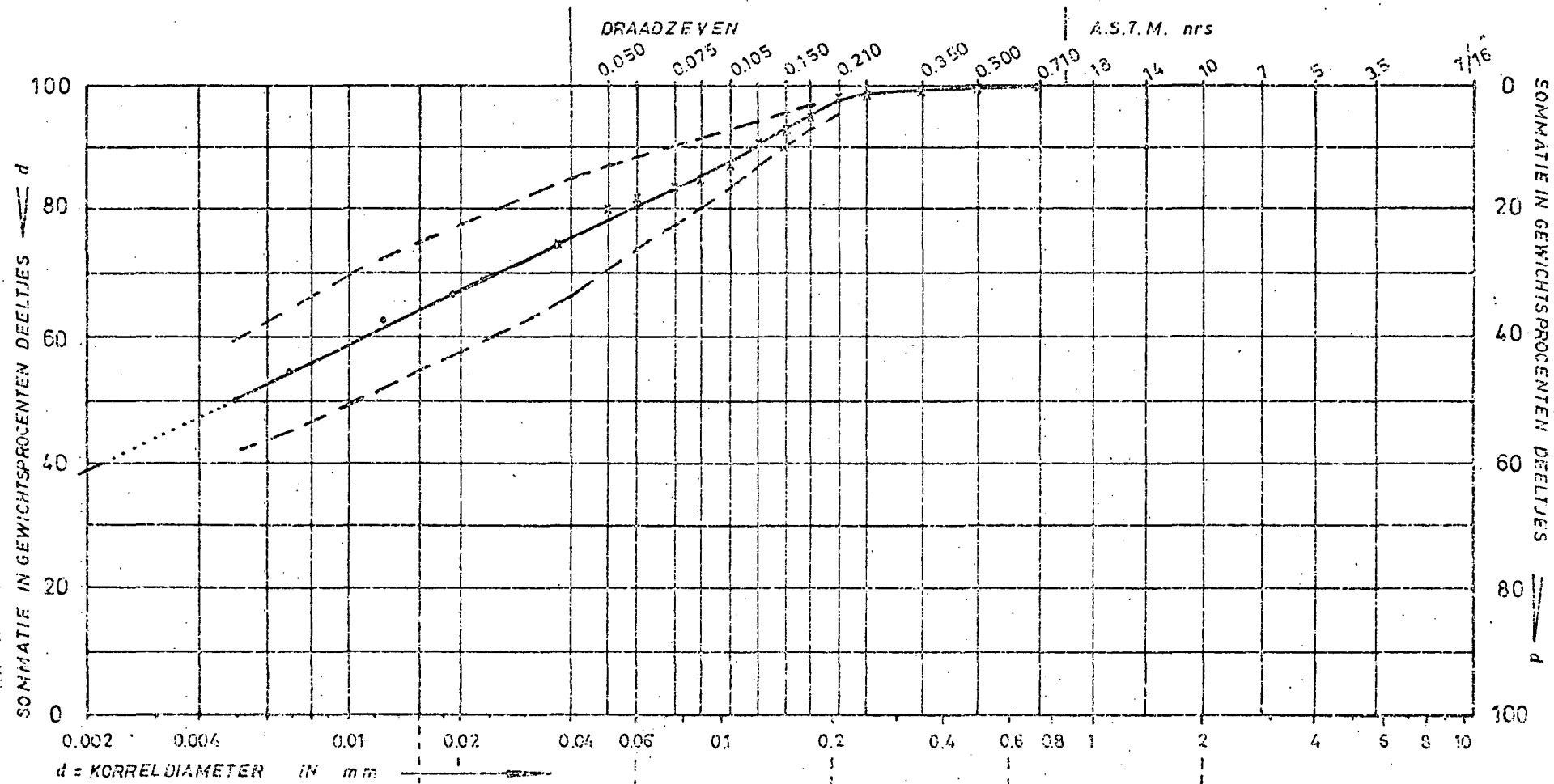
Figuur 10 - Korrelverdelingsdiagram - groep 10



L.L. = 31,8% + 2,4
 P.L. = 14,4% + 1,1
 F.I. = 17,4% + 3,4
 S.L. = 15,8% + 1,5



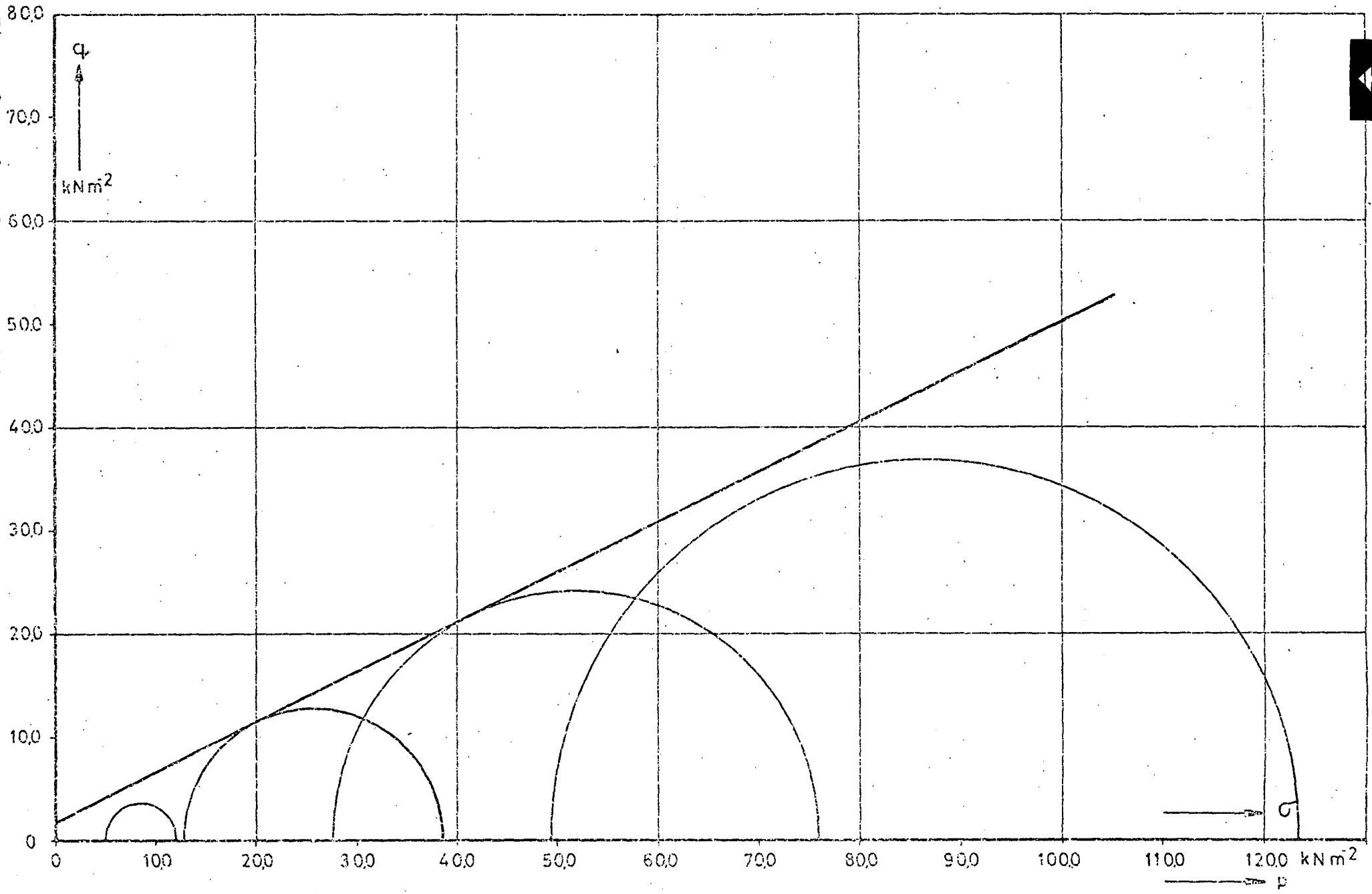
Figuur 11 - Korrelverdelingsdiagram - groep 11



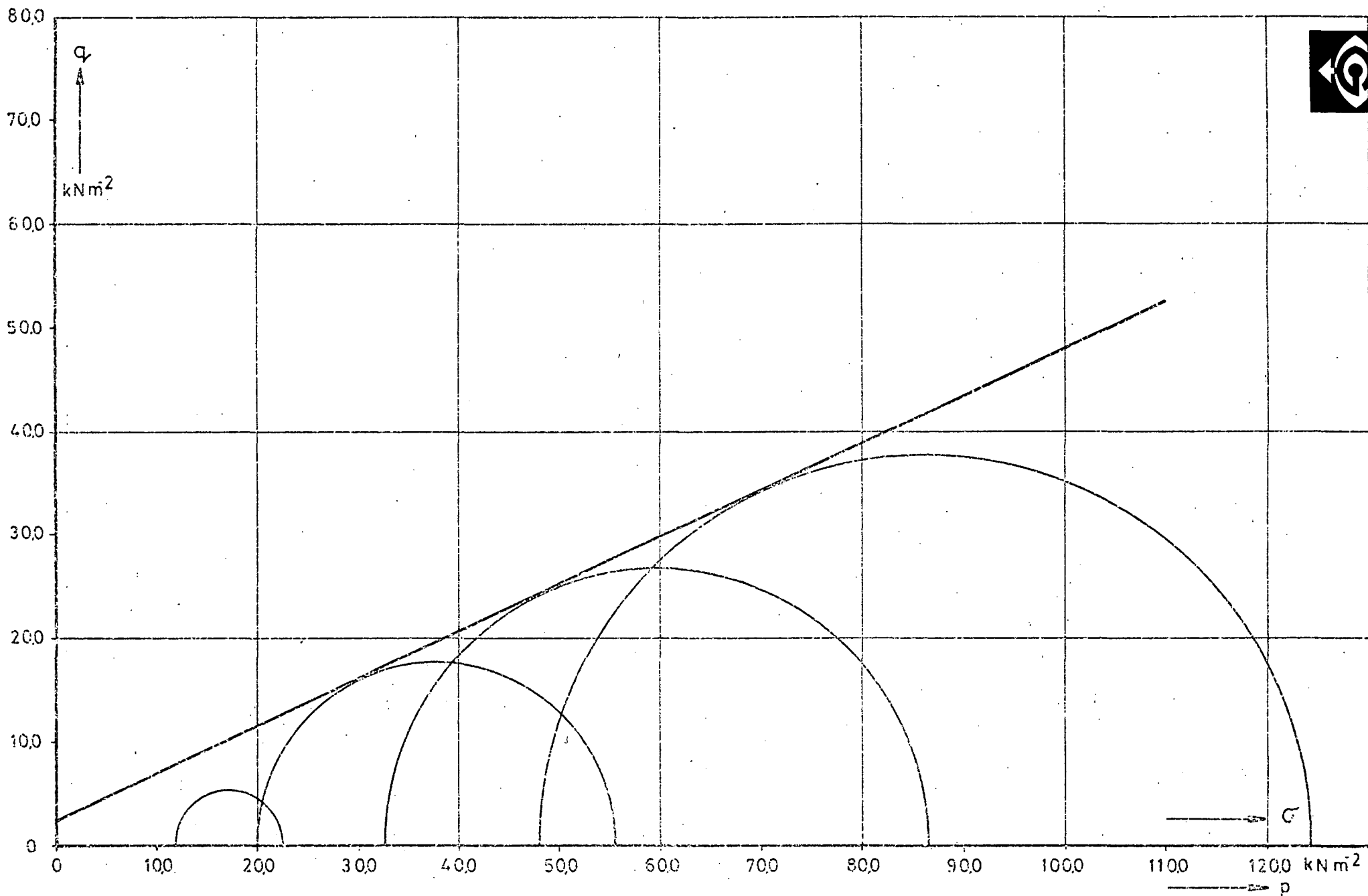
LUTUM	FIJN	MIDDEL	GROF	FIJN	MIDDEL	GROF	GRIND
		SILT			ZAND		

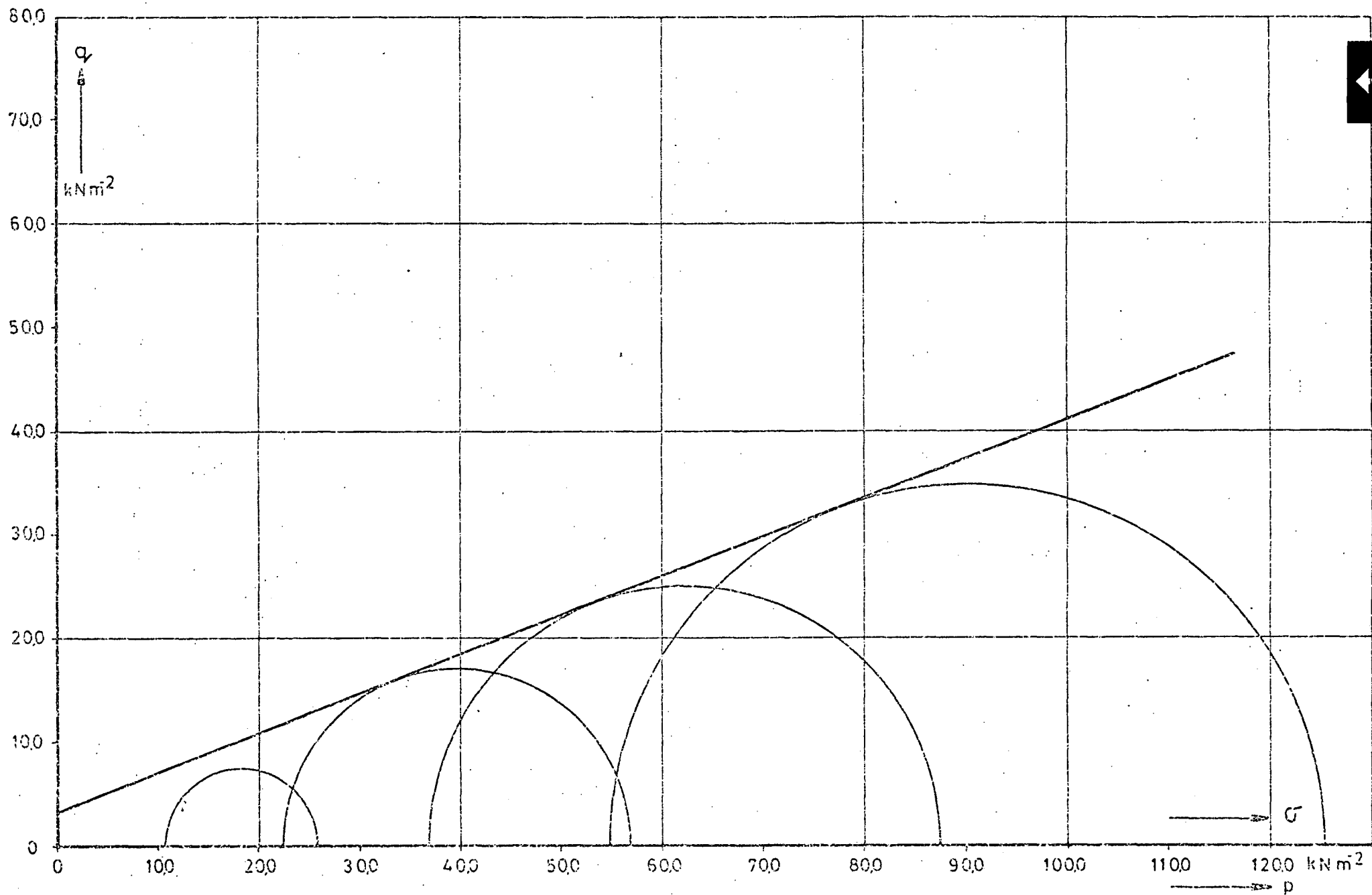
L.L. = 74,5% ± 8,6
P.L. = 26,2% ± 1,7
P.I. = 47,2% ± 7,1
S.I. = 20,2% ± 1,7

Figur 2 - Celiproef - monster 5-3



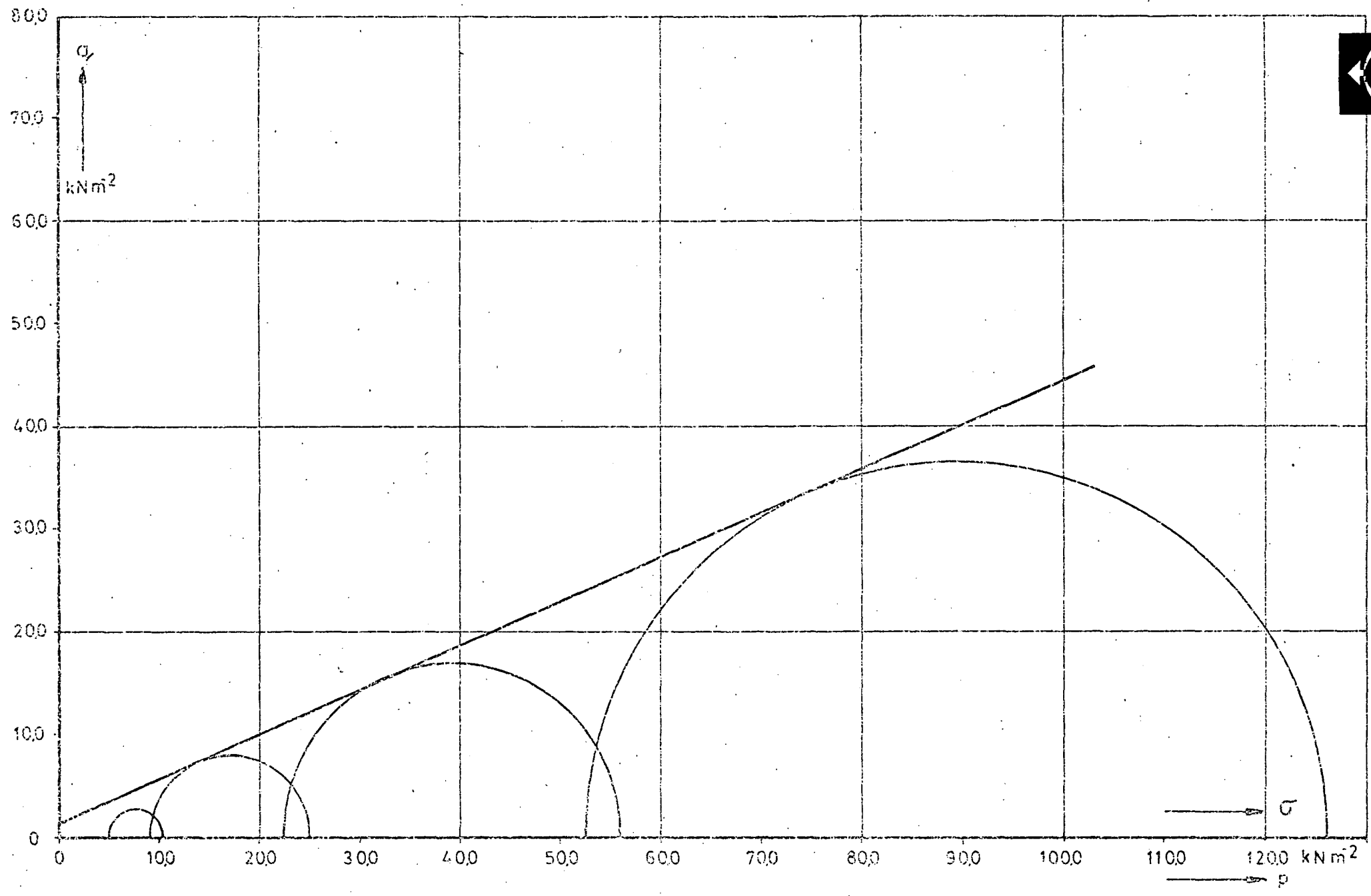
Figur 13 - Celproef - monster 6-1





Figur 14 - Celproef - monster 7-2

Figuur 15 - Celproef - monster 8-4



Figuur 16 - Celproef - monster 10-2

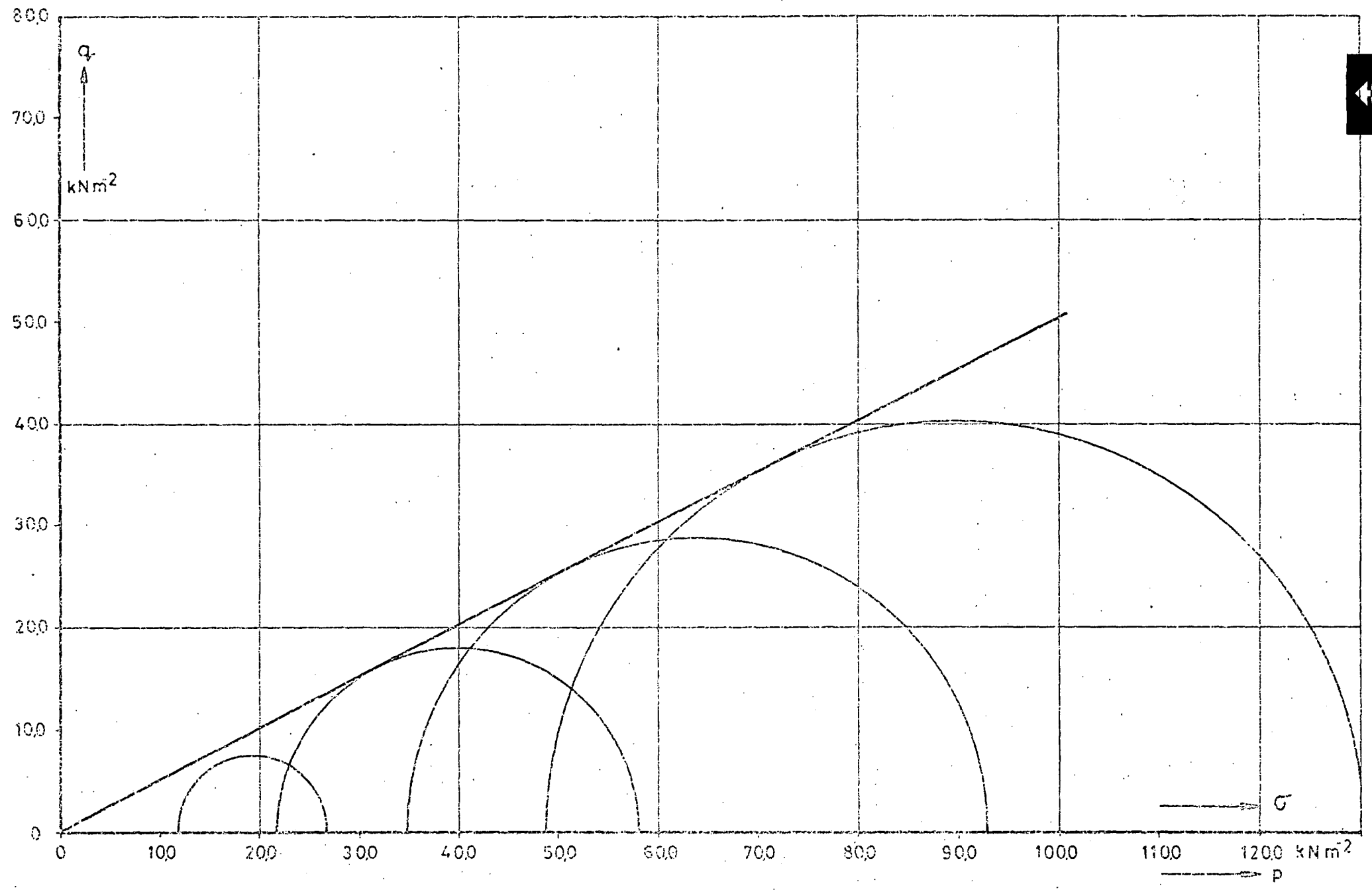
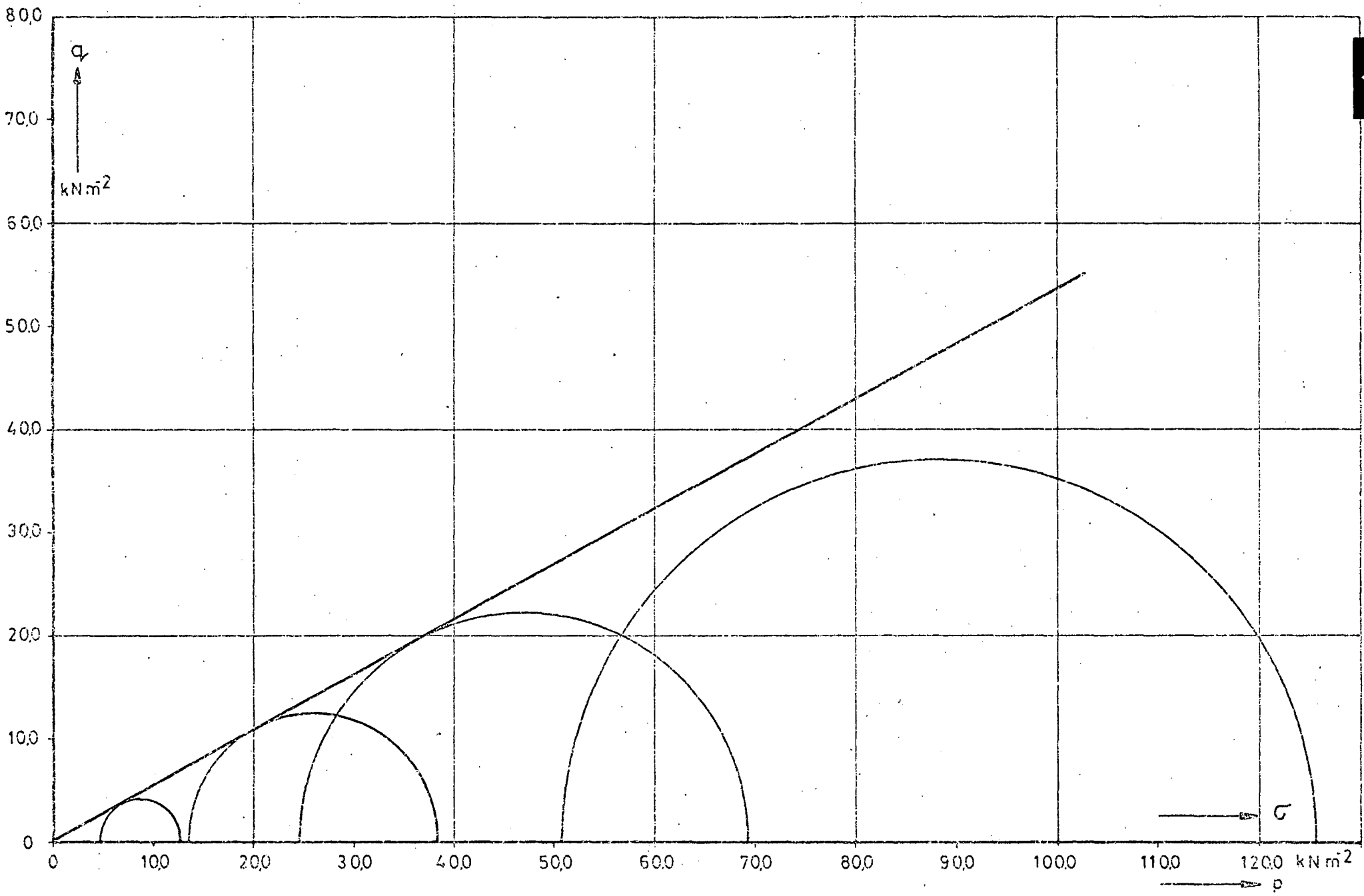
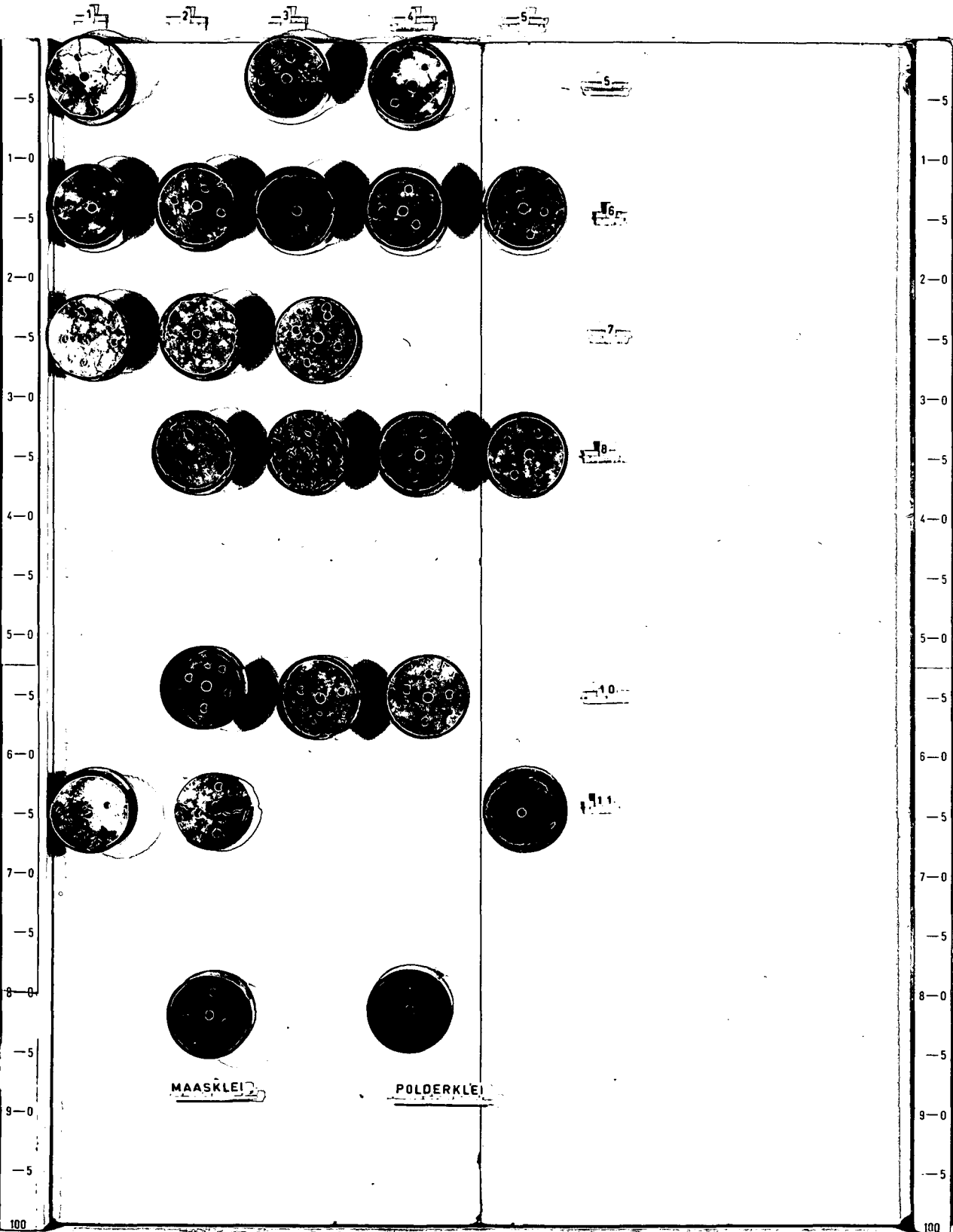


Figure 17 - Celidproef - monster 11-3





col 235360



Figuur 18 - Toestand van de monsters



<u>Monster</u>	<u>Beoordeling</u>
7-1	Sterk zandig met gedeeltes die iets kleiiger zijn, verder vrij homogeen, brokkelig.
7-2	Sterk zandig, idem 7-1.
7-3	Sterk zandig, idem 7-1, dikke wortels te zien.
8-2	Zeer losse, brokkelige structuur.
8-3	Idem 8-2, valt bijna spontaan uit elkaar.
8-4	Zelfde structuur als 8-2, iets compacter en steviger, sterk geruwd oppervlak.
8-5	Andere structuur dan de rest van groep 8, veel scheurtjes, gladder oppervlak, nog wel sterk geruwd, minder brokkelig (toont meer overeenkomst met groep 5).
10-2	Goed homogeen, zandig, vrij weinig geruwd.
10-3	Iets kleurverschil, zandig, kleine zandinsluiting, sterk geruwd oppervlak.
10-4	Iets kleurverschil, enkele stenen, scheurtjes, zonedig matig geruwd.
11-1	Egaal, compact, glad, weinig scheurtjes, grote insluiting van zand dat geen cohesie heeft.
11-2	Egaal, compact, glad, scheurtjes.
11-5	Totaal anders dan 11-1 en 2: brokkelig als groep 8, inhomogeen, dikke wortels, door drogen zeer sterk gekrompen.

Bij de beoordeling valt op dat bij de verschillende groepen de volgende monsters op het oog afwijken van de rest van de groep:

groep 5 monster 5-3



groep 6	monster 6-3
groep 7	geen afwijkende monsters
groep 8	monster 8-5
groep 10	geen afwijkende monsters
groep 11	monster 11-5

7.2. Resultaten erosieproeven

Op de monsters die in het erosietoestel werden beproefd, zijn wederom een aantal basisgegevens van de grond bepaald (zie tabel 7.3). De resultaten van de proeven in het erosie-apparaat zijn verzameld in tabel 7.2.

In deze tabel zijn naast waargenomen gegevens ook de resultaten van de door het water op het monster uitgeoefende schuifspanning T en de relatieve hoeveelheid materiaal die per tijdseenheid van 1 min. van het monster wordt afgeslepen: $\frac{E}{\Delta t}$ opgenomen.

Bij de berekening van T uit de gecorrigeerde torsie-uitslag (voor gebruikte correctielijn: zie figuur 19) werd voor de afnemende diameter van het monster gecorrigeerd op de volgende wijze:

$$\text{Torsiemoment: } T_m = \text{Torsie-uitslag } T \times 10^{-3} \quad [\text{Nm}]$$

Dus is:

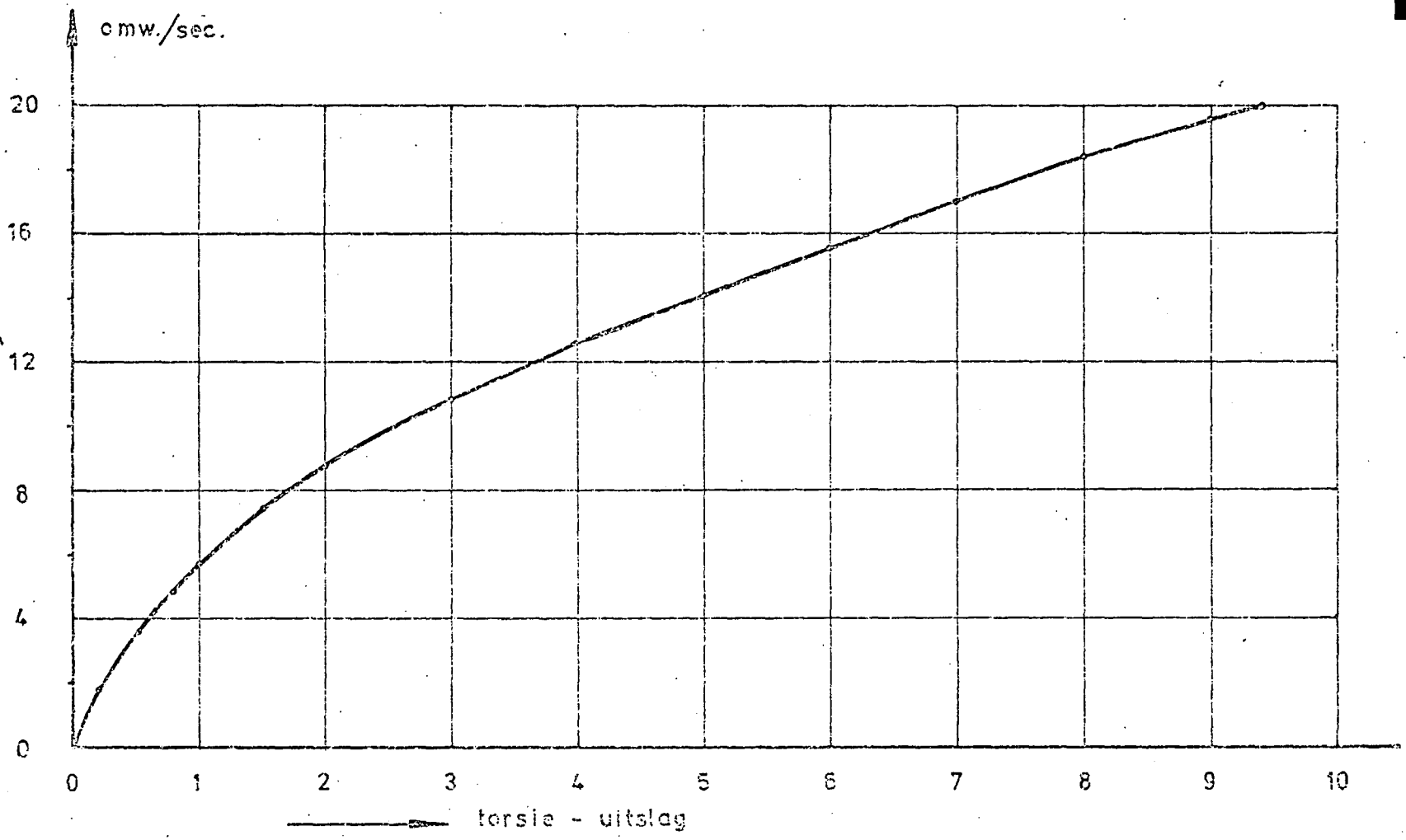
$$T = \frac{T \times 10^{-3}}{2\pi r \cdot h \cdot r} = \frac{T \times 10^3}{2\pi r^2 h} \quad [\text{N/m}^2]$$

waarin: r = momentane straal van het monster

h = hoogte monster



Figuur 19 - Gebruikte ijklijn voor 2 klassen ten behoeve van correctie





Verder geldt:

$$M = \pi r^2 \cdot \rho_b \cdot h \cdot 10^3$$

waarin: M = Massa van het monster onder water [Kg]

ρ_b = dichtheid onder water [t/m³]

Hieruit volgt:

$$\tau = \frac{T \cdot 10^{-3} \cdot \rho_b \cdot 10^3}{2M}$$

$$\tau = \frac{T \cdot \rho_b}{2M} \quad [\text{N/m}^2]$$



TABEL 7.2: Resultaten erosieproeven

Monster	M [kg]	ΔM [kg]	E [t]	v _{ontrek} [m/s]	Toeren [rps]	Torsieuitslag	Gecorrig. torsieuitslag	Δt [min]	$\frac{E}{\Delta t}$ [s]	$\times 10^3$ [N/m ²]	
5-1 $\rho_n = 1,86 \text{ t/m}^3$ $\rho_b = 0,86 \text{ t/m}^3$	0,292										
	0,293	0,005	1,69	6,5/6,17	9,67	3	0,57	5	0,34	836	
	0,291	0,002	0,68	6,83/6,17	9,83	3	0,47	5	0,14	694	
	0,289	0,002	0,69	6,33	9,67	4	1,55	5	0,14	2306	
	0,289	0	0	6,67	10,17	4	1,31	5	0	1949	
	0,246	0,043	16,07	5,83	8,83	5	2,97	5	3,22	5192	
	0,234	0,012	5,00	5,83	8,83	5	2,97	5	1,00	5457	
	kapot	-	200	-	-	6	-	-	5	40	>>
5-2 $\rho_n = 1,84 \text{ t/m}^3$ $\rho_b = 0,84 \text{ t/m}^3$	0,303										
	0,295	0,008	2,67	6/5,5	8,72	5	3,02	5	0,53	4300	
	0,287	0,008	2,75	5,83/5,33	8,45	5	3,12	5	0,55	4566	
	0,285	0,002	0,70	5,5	8,33	5	3,17	5	0,14	4672	
	0,284	0,001	0,35	5,33	8,08	5	3,26	5	0,07	4821	
	0,282	0,002	0,71	5,5/5	7,95	5	3,31	5	0,14	4929	
	0,281	0,001	0,36	5,33/5	7,83	5	3,34	5	0,07	4992	
	0,280	0,001	0,36	5	7,57	5	3,44	5	0,07	5160	
	0,264	0,016	5,83	6,83/6,17	9,85	7	4,48	5	1,18	7127	
	0,260	0,004	1,53	6	9,08	7	4,86	5	0,31	7651	
	0,249	0,011	4,32	6,17	9,35	7	4,78	5	0,86	8063	
	0,246	0,003	1,21	6,17	9,35	7	4,78	5	0,24	8163	
	0,199	0,047	21,12	6,17	9,35	7	4,78	2	4,22	10083	
5-3 $\rho_n = 1,82 \text{ t/m}^3$ $\rho_b = 0,82 \text{ t/m}^3$	0,286										
	0,282	0,004	1,41	2,5/3,33	4,33	3	2,32	5	0,28	3373	
	0,279	0,003	1,07	4,33	6,5	3	1,75	5	0,21	2572	
	0,273	0,006	2,17	5,83/5,5	8,67	5	3,04	5	0,43	4565	
	0,255	0,018	6,82	5,17/4,67	7,5	5	3,45	5	1,36	5547	
	0,242	0,013	5,23	4,83	7,33	5	3,51	5	1,05	5947	
	0,239	0,003	1,25	4,5/4	6,5	5	3,75	5	0,25	6433	
	0,231	0,008	3,40	4,5	6,83	5	3,65	5	0,68	6478	
	0,230	0,001	0,43	5/4,5	7,17	5	3,56	5	0,09	6346	
	0,226	0,004	1,75	5/4,67	7,33	5	3,51	5	0,35	6453	
	0,222	0,004	1,78	4,67	7	5	3,62	5	0,36	6686	
	0,219	0,003	1,36	4,67	7	5	3,62	5	0,27	6777	
	0,216	0,003	1,38	4,67	7	5	3,62	5	0,28	6871	
	0,211	0,005	2,34	5	7,5	5	3,46	5	0,47	6723	
	0,210	0,001	0,47	5	7,5	5	3,46	5	0,09	6755	
	0,199	0,011	5,38	4,67	7	5	3,61	5	1,08	7438	
	stilstand										
	0,196	0,003	1,52	5,17	7,83	5	3,33	5	0,30	6966	
	0,193	0,003	1,54	5,83	8,67	5	3,04	5	0,31	6458	
0,155	0,038	21,84	6,5	9,83	6	3,48	5	4,37	9205		
0,073	0,082	71,93	6,17	9	6	3,90	5	14,38	21904		
5-4 $\rho_n = 1,87$ $\rho_b = 0,87$	0,204										
	0,300	0,004	1,32	5,33/5	7,83	3	1,34	5	0,26	1943	
	0,299	0,001	0,33	5,17/5	7,83	3	1,34	5	0,007	1949	
	0,298	0,001	0,34	5,5	8,58	4	2,08	5	0,07	3036	
	0,296	0,002	0,67	5,83/5,5	8,58	4	2,03	5	0,13	3057	
	0,295	0,001	0,34	6,5/6,17	9,58	5	2,61	5	0,07	3849	
	0,295	0	0	6,33	9,58	5	2,61	5	0	3249	
	0,284	0,011	3,80	6,83	10,17	6	3,31	5	0,76	5070	
	0,277	0,007	2,50	6,67	10,17	6	3,31	5	0,50	5193	
	0,275	0,002	0,72	7,17	10,5	7	4,15	5	0,14	6565	
	0,267	0,008	2,95	7,17/6,67	10,5	7	4,15	5	0,59	6761	
	<0,045	0,222	142	7,33	11,17	8	4,85	5	28	46883	
	6-1 $\rho_n = 1,95$ $\rho_b = 0,95$	0,320									
0,310		0,010	3,17	5,00	7,50	3	1,48	5	0,63	2267	
0,305		0,005	1,63	5,17	7,67	3	1,42	5	0,33	2211	
0,301		0,004	1,32	5,50	8,33	4	2,17	5	0,26	3424	
0,298		0,003	1,00	5,50	8,33	4	2,17	5	0,20	3458	
0,293		0,005	1,69	5,17	9,33	5	2,75	5	0,34	4458	
0,287		0,006	2,07	6,00	9,17	5	2,85	5	0,41	4717	



TABEL 1.2 (vervolg): Resultaten erosieproeven

Monster	M [kg]	ΔM [kg]	E [t]	V _{onttrek} [m/s]	Voeren [xps]	Torsie-uitslag	Gecorrig. torsie-uitslag	Δt [min.]	$\frac{E}{\Delta t}$ [t]	$\frac{E}{\Delta t} \times 10^3$ [N/m]
	0,285	0,002	0,70	6,67	10,17	6	3,33	5	0,14	5550
	0,294	0,001	0,36	6,50	10,00	6	3,40	5	0,07	5687
	0,277	0,007	2,50	7,17	10,83	7	3,90	5	0,50	6688
	0,275	0,002	0,72	7,17	10,83	7	3,90	5	0,14	6736
	0,275	0	0	7,50	11,33	8	4,08	5		8083
	0,271	0,004	1,47	7,50	11,33	8	4,08	5	0,29	8203
	0,286	0,003	1,11	7,83	11,83	9	5,46	5	0,22	9677
	0,264	0,004	1,50	7,83	11,83	9	5,46	5	0,30	9824
	0,005	0,259	192,50	8,00	12,00	10	6,35	5	38,5	603250
6-2	0,260									
	0,220	0,040	16,67	3,16	4,83	3	2,23	5	3,33	4308
$\rho_n = 1,85 \text{ t/m}^3$	0,170	0,050	25,64	2,5/3,33	4,33	3	2,32	5	5,13	5800
$\rho_b = 0,85 \text{ t/m}^3$	0,086	0,084	65,62	2,5	3,83	4	2,97	5	13,12	21892
6-3	0,303									
	0,303	0	0	4,83	7,33	3	1,51	5	0	2218
$\rho_n = 1,89 \text{ t/m}^3$	0,301	0,002	0,66	3,67	6,5	3	1,75	5	0,13	2587
$\rho_b = 0,89 \text{ t/m}^3$	0,301	0	0	3,83	5,83	3	1,95	5	0	2883
	0,298	0,003	1,00	4,5	6,23	3	1,66	5	0,2	2479
	0,298	0	0	4,33	6,5	3	1,75	5	0	2613
	0,297	0,001	0,34	5,5	8,33	5	3,17	5	0,07	4750
	0,295	0,002	0,67	5,83	8,83	5	2,98	5	0,13	4495
	0,295	0	0	5,67	8,67	5	3,05	5	0	4600
	0,295	0	0	5	7,5	5	3,46	5	0	4219
	0,294	0,001	0,34	5,83	8,83	5	2,98	5	0,07	4511
	0,293	0,001	0,34	7,17	10,83	7	4,00	5	0,07	6075
	0,292	0,001	0,34	6,67	10,17	7	4,31	5	0,07	5568
	0,292	0	0	6,67	10,17	7	4,31	5	0	5568
	0,288	0,004	1,38	6,67	10,17	7	4,31	5	0,28	6660
	0,276	0,012	4,26	6,67	10,17	7	4,31	5	0,85	6949
	0,273	0,003	1,09	6,67	10,17	7	4,31	5	0,22	7025
	0,272	0,001	0,37	5,83	8,83	7	4,98	5	0,07	8147
	0,271	0,001	0,37	6,17	9,33	7	4,73	5	0,07	7767
	0,260	0,011	4,14	7,5	11,33	9	5,8	5	0,83	9927
	0,238	0,022	8,84	7,17	10,83	9	6,00	5	1,77	11218
	0,238	0	0	5	7,5	5	3,46	5	0	6469
	0,238	0	0	5	7,5	5	3,46	15	0	6469
	0,237	0,001	0,42	5	7,5	5	3,46	25	0	6497
	0,237	0	0	(5)	(7,5)	5	(3,46)	30	0	6497
	0,237	0	0	(5)	(7,5)	5	(3,46)	60	0	6497
	0,236	0,001	0,42	3,33	5,05	3	2,15	5	0,08	4054
	0,236	0	0	3,33	5,05	3	2,15	5	0	4054
	0,235	0,001	0,42	4,67	7,08	5	3,59	5	0,08	6798
	0,231	0,004	1,72	4,16	6,32	5	3,81	5	0,34	7340
	0,226	0,005	2,19	4,16	6,32	5	3,81	5	0,44	7502
	0,222	0,004	1,79	4,16	6,32	5	3,81	5	0,36	7637
6-4	0,306									
	0,298	0,008	2,65	4,83	7,33/8,83	3	1,3	5	0,53	1941
$\rho_n = 1,89 \text{ t/m}^3$	0,248	0,050	18,32	5,83	7,5	3	1,46	5	3,66	2620
$\rho_b = 0,89 \text{ t/m}^3$	0,246	0,002	0,81	5	6	3	1,9	5	0,16	3437
	0,245	0,001	0,41	4	5,5	3	2,04	5	0,08	3705
	0,218	0,027	11,66	3,67	7	5	3,62	5	2,33	7389
	0,209	0,009	4,22	3,67	6,83	5	3,66	5	0,84	7793
	0,182	0,027	13,81	4,5	7,5	5	3,46	5	2,76	8460
	0,173	0,009	5,07	4,5	7,5	5	3,46	5	1,01	8900
	0,006	0,167	187	-	-	5	-	1	37	-
6-5	0,318									
	0,305	0,013	4,17		4,33	3	2,32	5	0,83	3499
$\rho_n = 1,92 \text{ t/m}^3$	0,304	0,001	0,33		4,50	3	2,28	5	0,07	3450
$\rho_b = 0,92 \text{ t/m}^3$	0,299	0,005	1,66		7,00	4	2,62	5	0,33	4031
	0,297	0,002	0,67							



TABEL 7.2 (vervolg): Resultaten erosieproeven

Monster	M [kg]	AM [kg]	F [°]	V.onttrek [m/s]	Toeren [rps]	Torsie-uitslag	Gecorrig. torsie-uitslag	At [min.]	$\frac{E}{At}$ [i]	$\times 10^3$ [N/m ²]
	0,292	0,005	1,70	433	6,50	4	2,76	5	0,34	4348
	0,289	0,003	1,05	4,83	7,33	5	3,55	5	0,21	5651
	0,298	0,001	1,04	5,00	7,50	5	3,48	5	0,21	5558
	0,287	0,001	0,35	5,83	8,83	6	3,98	5	0,07	6379
	0,282	0,005	1,76	5,83	8,83	6	3,98	5	0,35	6492
	0,266	0,016	5,84	6,50/5,67	9,33	7	4,75	5	1,17	8214
	0,258	0,008	3,05	5,50	8,33	7	5,17	5	0,61	9218
	0,213	0,045	19,11	6,67	10,00	8	5,40	5	3,82	11662
	0,096	0,117	75,73	5,83	8,83	8	6,17	5	15,15	29565
7-1	0,333									
$\rho_n = 1,99 \text{ t/m}^3$	0,326	0,07	2,12	1,67/2,83	3,33	3	2,53	5	0,42	3842
$\rho_b = 0,99 \text{ t/m}^3$	0,325	0,01	0,31	2,33/2,83	3,83	3	2,43	5	0,06	3701
	0,323	0,02	0,62	2,83	4,33	3	2,32	5	0,12	3555
	0,323	0	0	2,83	4,33	3	2,32	4	-	3555
	0,323	0	0	2,83	4,33	3	2,32	5	-	3535
	0,320	0,03	0,33	4,00/5,00	6,67	5	3,72	5	0,19	5754
	0,316	0,04	1,26	5,33	8,00	5	3,30	5	0,25	5013
	0,314	0,02	0,63	5,00	7,50	5	3,47	5	0,13	5470
	0,313	0,01	0,32	4,67	7,00	5	3,62	5	0,06	5725
	0,313	0	0	4,67	7,00	5	3,62	5	0,06	5725
	0,308	0,05	1,61	7,00	10,67	7	4,10	5	0,32	6589
	0,306	0,02	0,65	7,00	10,67	7	4,10	5	0,13	6532
	0,305	0,01	0,33	6,50	9,83	7	4,50	5	0,07	7303
	0,304	0,01	0,33	6,33	9,67	7	4,50	5	0,07	7327
	0,303	0,01	0,33	7,00	10,67	7	4,10	5	0,07	6698
	0,302	0,01	0,33	7,00	10,67	7	4,10	5	0,07	6720
	0,295	0,07	2,35	8,67	13,17	9	4,85	5	0,47	8138
	0,295	0	0	8,50	12,83	9	5,00	5	0,47	8390
	0,293	0,02	0,68	6,67	13,17	9	4,85	5	0,14	8194
	0,292	0,01	0,34	8,67	13,17	9	4,85	5	0,07	8222
	0,292	0	0	8,67	13,17	9	4,85	5	0,07	8222
	0,290	0,02	0,63	9,67/9,17	14,17	11	6,25	5	0,14	10668
	0,286	0,04	1,39	9,33	14,17	11	6,25	5	0,28	10817
	0,285	0,01	0,35	9,83	15,00	11	6,00	5	0,07	10421
	0,016	2,69	178,74	9,83	15,00	11	6,00	5	35,75	18562
7-2	0,244									
$\rho_n = 1,98 \text{ t/m}^3$	0,005	0,288	192,0	4,00	6,00	3	1,9	5	38,4	155166
$\rho_b = 0,98 \text{ t/m}^3$										
7-3	0,320									
$\rho_n = 1,93 \text{ t/m}^3$	0,197	0,123	47,58	5,17/4,33	7,83/5,56	3	1,35/1,75	5	9,5	3659
$\rho_b = 0,93 \text{ t/m}^3$										
	0,045	0,152	125,62	4,50/4,83	6,81/7,31	3	1,65/1,52	5	25,1	16327
8-2	0,236									
$\rho_n = 1,71 \text{ t/m}^3$	0,173	0,063	30,8	3,50/3,33	5,17	3	2,12	5	6,16	4350
$\rho_b = 0,71 \text{ t/m}^3$	0,170	0,003	1,75	2,67/3,00	4,33	3	2,32	5	0,35	4844
	0,168	0,002	1,18	2,83	4,33	3	2,32	5	0,24	4902
	0,143	0,025	16,08	3,17	4,83	3	2,20	5	3,22	5461
8-4	0,346									
$\rho_n = 1,74 \text{ t/m}^3$	0,264	0,018	6,59	6,0/5,5	8,67	3	1,05	5	1,32	1472
$\rho_b = 0,74 \text{ t/m}^3$	0,263	0,001	0,38	5,83	8,83	3	0,98	5	0,07	1379
	0,262	0,001	0,38	6,67/6,17	9,67	4	1,68	5	0,07	2382
	0,261	0,001	0,38	6,33/6,67	9,83	4	1,48	5	0,07	209808
	0,258	0,003	1,16	6,67	10,00	5	2,40	5	0,23	3442
	0,257	0,001	0,39	6,67	10,00	5	2,40	5	0,07	3455
	0,251	0,006	2,36	7,67	11,67	6	2,60	5	0,47	3833
	0,244	0,007	2,83	7,67	11,67	6	2,6	5	0,57	3942
	0,233	0,011	4,61	8,17	12,33	7	3,22	5	0,92	5113
	0,180	0,053	25,67	8,17/7,67	12,33	7	3,22	5	5,13	6619



TABEL 7,2 (vervolg): Resultaten erosieproeven

Monster	M [kg]	AM [kg]	F [%]	V onttrek [m/s]	Toeren [rpm]	Torsie- uitslag	Gecorrig. torsie- uitslag	At [min.]	$\frac{E}{At}$ [g]	$\tau \cdot 10^3$ [N/m ²]
	0,161 0,095	0,019 0,066	11,14 51,56	6,67 6,67	10,00 10,00	7 8	4,4 5,4	5 5	2,23 10,31	10112 21032
8-5 $\rho_n = 1,74 \text{ t/m}^3$ $\rho_b = 0,74 \text{ t/m}^3$	0,252 0,259 0,258 0,257 0,254 0,249 0,239 0,229 0,095	0,003 0,001 0,001 0,003 0,005 0,01 0,01 0,134	1,15 0,39 0,39 1,17 1,99 4,10 4,27 82,72	6,00 5,67 6,17 6,17 6,33/5,83 6,00/5,33 5,67/5,83 5,67	9,17 8,67 9,33 9,17 9,17 8,67 8,83 8,83	3 3 4 4 5 5 6 6	0,86 1,05 1,75 1,82 2,82 3,05 3,02 3,02	5 5 5 5 5 5 5 5	0,23 0,08 0,08 0,23 0,40 0,82 0,85 16,54	1228 1505 2519 2651 4190 4722 4880 11762
10-1 $\rho_n = 2,00 \text{ t/m}^3$ $\rho_b = 1,00 \text{ t/m}^3$	0,346 0,324 0,322 0,314 0,313 0,312 0,303 0,300 0,298 0,296 0,291 0,284 0,279 0,277 0,271 0,189 0,190 0,188 0,189 0,185 0,183 0,178 0,161	0,022 0,002 0,008 0,001 0,001 0,009 0,003 0,004 0,002 0,005 0,007 0,005 0,004 0,006 0,082 0,004 0,002 0,006 0,004 0,002 0,008 0,017	6,57 0,62 2,52 0,32 0,32 2,93 1,00 1,33 0,67 1,70 2,43 1,78 1,43 2,19 35,65 2,08 1,06 3,13 2,14 1,09 4,40 10,03	4,17 4,17 4,33 4,17 4,17 5,00 5,17 5,00 5,00 5,00 6,17 5,84 6,33 7,67 7,67 5,84 5,34 5,50 5,84 5,34 5,67 5,67	6,33 6,07 6,57 6,33 6,33 7,60 7,83 7,60 7,60 7,60 9,33 8,83 9,58 9,00 11,66 8,33 8,08 8,20 8,33 8,08 8,20 8,20	3 3 3 3 3 5 5 5 5 5 7 7 7 10 10 7 7 7 7 7 7 7	1,8 1,88 1,74 1,80 1,80 3,42 3,34 3,42 3,42 3,42 4,80 4,96 4,62 7,90 6,50 5,20 5,26 5,23 5,20 5,26 5,23 5,23	5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5	1,32 0,12 0,50 0,06 0,06 0,59 0,20 0,27 0,13 0,34 0,48 0,36 0,28 0,44 7,13 0,42 0,21 0,63 0,43 0,22 0,88 2,00	2778 2919 2770 2875 2804 5643 5566 5738 5777 5876 8450 8888 8339 14575 17195 13680 13989 13835 14054 14371 14691 16242
10-2 $\rho_n = 2,08 \text{ t/m}^3$ $\rho_b = 1,08 \text{ t/m}^3$	0,372 0,370 0,369 0,368 0,367 0,365 0,363 0,361 0,359 0,358 0,356 0,355 0,343 0,337 0,303 0,300 0,214	0,002 0,001 0,001 0,001 0,002 0,002 0,002 0,002 0,001 0,001 0,002 0,001 0,012 0,006 0,034 0,003 0,081	0,54 0,27 0,27 0,27 0,55 0,55 0,55 0,55 0,56 0,28 0,56 0,28 3,44 1,76 10,63 1,00 31,21	4,50 4,50 6,67 5,83 7,67 8,00 8,50 8,33 8,33 8,33 8,50 8,33 8,33 8,32 7,50 7,50 7,50	6,83 6,83 10,00 8,83 11,67 12,17 12,83 12,67 12,67 12,67 12,83 12,67 12,67 12,67 11,33 11,33 11,33	3 3 5 5 7 7 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8	1,46 1,46 3,00 3,00 3,56 3,31 3,96 4,01 4,01 4,01 4,00 4,01 4,01 4,01 4,74 4,7 4,7	5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 10 5 5 5 5	0,11 0,054 0,054 0,054 0,110 0,110 0,110 0,112 0,056 0,112 0,056 0,344 0,352 2,130 0,200 6,24	2131 2137 4414 5267 4924 5924 6032 6033 6067 6100 6312 6426 8448 8460 11860



EL 7.2 () Resultaten erosieproeven

Monster	M [kg]	ΔM [kg]	E [t]	v _{contrek} [m/s]	Toeren [rps]	Torsie-uitslag	Gecorrig. torsie-uitslag	At [min.]	$\frac{E}{At}$ [t]	$\frac{E}{At} \cdot 10^3$ [N/m ²]
-3 ρ _n = 2,02 t/m ³ ρ _b = 1,02 t/m ³	0,359									
	0,353	0,006	0,17	6,17	9,17	3	0,86	5	0,03	1242
	0,349	0,004	0,11	6,00	9,17	3	0,86	5	0,02	1257
	0,345	0,004	0,12	6,83	10,17	4	1,38	5	0,02	2049
	0,343	0,002	0,06	6,50	10,17	4	1,38	5	0,01	2052
	0,331	0,012	0,36	7,00	10,33	5	2,24	5	0,07	3451
	0,324	0,007	0,21	6,67	10,33	5	2,24	5	0,04	3526
	0,290	0,034	1,11	7,00	10,67	6	3,02	5	0,22	5311
	0,287	0,003	0,10	7,17	10,67	6	3,02	5	0,02	5367
	0,284	0,003	0,11	8,00	12,17	7	3,28	5	0,02	5890
	0,281	0,003	0,11	8,00	12,17	7	3,28	5	0,02	5953
	0,277	0,004	0,14	8,33	12,67	8	4,01	5	0,03	7383
	0,275	0,004	0,14	8,50	12,67	8	4,01	5	0,03	7437
	0,258	0,007	0,26	9,00	13,50	9	4,60	5	0,05	8754
	0,266	0,002	0,07	8,83	13,50	9	4,60	5	0,01	8820
	0,216	0,050	2,07	9,50	14,33	10	5,20	5	0,41	12278
0,173	0,043	2,21	9,33	14,33	10	5,20	5	0,44	15329	
-4 ρ _n = 2,03 t/m ³ ρ _b = 1,03 t/m ³	0,362									
	0,355	0,007	1,95	5,83	8,83	3	0,98	5	0,39	1422
	0,353	0,002	0,56	5,83	8,83	3	0,98	5	0,11	1430
	0,350	0,003	0,85	6,83	10,17	4	1,34	5	0,17	1972
	0,338	0,012	3,49	6,50	10,17	4	1,34	5	0,70	2042
	0,336	0,002	0,59	6,83	10,17	5	2,34	5	2,12	3587
	0,334	0,002	0,60	6,67	10,17	5	2,34	5	0,12	3608
	0,328	0,006	1,81	7,17	11,17	6	2,80	5	0,35	4396
	0,324	0,004	1,23	7,50	11,50	6	2,80	5	0,25	4451
	0,321	0,003	0,93	7,83	11,83	7	3,25	5	0,19	5214
	0,315	0,006	1,89	7,83	11,83	7	3,25	5	0,38	5312
	0,305	0,010	3,23	8,17	12,33	8	4,30	5	0,55	7261
	0,251	0,054	14,42	8,17	12,33	8	4,30	5	3,88	9823
	0,015	0,236	177,44	8,67	13,17	9	4,80	5	3,49	164800
-1 ρ _n = 1,76 t/m ³ ρ _b = 0,76 t/m ³	0,267									
	0,258	0,009	3,43	5,00	7,50	3	1,46	5	0,69	2150
	0,256	0,002	0,78	5,00	7,50	3	1,46	5	0,16	2167
	0,253	0,003	1,18	5,17	7,83	4	2,36	5	0,24	3545
	0,250	0,003	1,19	5,33	8,00	4	2,30	5	0,24	3496
	0,248	0,002	0,80	5,67	8,50	5	3,10	5	0,16	4750
	0,245	0,003	1,22	5,67	8,50	5	3,10	5	0,24	4808
	0,242	0,003	1,23	6,17	9,17	6	3,84	5	0,25	6030
	0,240	0,002	0,83	6,00	9,17	6	3,84	5	0,17	6080
	0,195	0,045	20,69	6,67	10,17	7	4,34	5	4,14	8457
-2 ρ _n = 1,73 t/m ³ ρ _b = 0,73 t/m ³	0,250									
	0,249	0,001	0,40	3,17	4,83	3	2,22	5	0,08	3254
	0,249	0,000	0	2,83	4,33	3	2,32	5	0	3400
	0,248	0,001	0,40	2,67	4,00	3	2,40	5	0,08	3532
	0,247	0,001	0,40	4,50	6,83	5	3,67	5	0,08	5423
	0,247	0,000	0	4,67	7,00	5	3,60	5	0	5320
	0,247	0,000	0	5,00	7,50	5	3,46	5	0	5113
	0,245	0,002	0,81	6,67	10,17	7	4,33	5	0,16	6451
	0,244	0,001	0,41	7,00	10,67	7	4,02	5	0,08	6014
	0,243	0,001	0,41	6,50	9,83	7	4,50	5	0,08	6759
	0,243	0,000	0	6,83	10,33	7	4,25	5	0	6384
	0,242	0,001	0,41	7,00	10,67	7	4,04	5	0,08	6093
	0,242	0,000	0	8,33	12,67	9	5,08	5	0	7562
	0,241	0,001	0,41	8,00	12,17	9	5,35	5	0,08	8103
	0,241	0,000	0	8,17	12,50	9	5,27	5	0	7982
	0,241	0,000	0	8,17	12,50	9	5,27	5	0	7982
	0,240	0,001	0,42	8,00	12,17	9	5,35	5	0,08	8136



TABEL 7.2 (vervolg): Resultaten en erosieproeven

Monster	M [kg]	AM [kg]	E [%]	V _{ontrek} [m/s]	Toeren [cps]	Torsie-uitslag	Gecorrig. torsie-uitslag	Δt [min.]	$\frac{E}{\Delta t}$ [t]	$\tau \times 10^3$ [N/m ²]
	0,245							60		
	0,244	0,001	0,41	7,67	11,33	9	5,72	5	0,08	8557
	0,243	0,001	0,41	7,50	11,17	9	5,76	5	0,08	8652
	0,243	0,000	0	7,67	11,33	9	5,72	5	0	8592
	0,242	0,001	0,41	7,50	11,33	9	5,72	5	0,08	8627
11	0,255									
$\rho_s = 1,71 \text{ t/m}^3$	0,243	0,012	0,48	5,00	7,50	3	1,46	5	0,10	2133
$\rho_b = 0,71 \text{ t/m}^3$	0,241	0,002	0,03	5,07	8,50	3	1,10	5	0,02	1620
	0,240	0,001	0,04	5,67	8,50	5	3,10	5	0,01	4585
	0,240	0	0	6,00	9,17	5	2,84	5	0	4200
	0,238	0,002	0,08	7,67	11,67	7	3,58	5	0,02	5340
	0,237	0,001	0,04	8,50	12,83	8	3,86	5	0,01	5782
	0,237	0	0	8,17	12,33	8	4,30	5	0	6441
	0,236	0,001	0,04	8,33	12,67	8	4,08	5	0,01	6137
	0,236	0	0	8,33	12,67	8	4,08	5	0	6137
	0,147	0,089	4,65	8,33	12,67	8	4,08	5	0,93	9853
	0,137	0,010	0,70	5,17	7,83	6-10	4,34/8,34	5	0,14	16426
	0,136	0,001	0,07	6,00	9,09	6-10	3,85/7,85	5	0,01	15270
	0,136	0	0	5,83	8,83	6-10	4/8	5	0	15662
	0,135	0,001	0,07	6,50	9,65	6-10	3,5/7,5	5	0,01	14463
	0,132	0,003	0,22	6,50	9,85	6-10	3,5/7,5	5	0,04	14792
	0,130	0,002	0,15	6,50	9,85	6-10	3,5/7,5	5	0,03	15019
	0,134	0,004	0,29							
	0,130	0,004	0,30	5,83	8,83	6-10	4/8	5	0,06	16385
	0,108	0,022	1,85	6,33	9,59	6-10	3,6/7,6	5	0,37	18407
	0,108	0	0	5,00	7,58	6-10	4,44/8,44	5	0	21169

kleine w

ca



Tabel 7.3 - Overzicht van de basisgegevens van de monsters voor de erosieproeven.

Bus nr.	Monster nr.	W %	volumieke massa		1) S_r %	2) c_u [kNm ⁻²]	korrelverdeling		Atterbergse cijfers			3) Erosie-procedure	Kritieke τ [N/m ²]
			ρ_{nat} [tm ⁻³]	ρ_{droog} [tm ⁻³]			< 2 μ m %	> 60 μ m %	LL	PL	PI		
5-1	13	31,8	1,86	1,41	96	110	37	7	61	49	12	D	5 - 5,5
5-2	14	29,3	1,85	1,43	91	100	31	14	57	17	40	A	~ 10
5-3	15	30,4	1,82	1,40	90	94	37	10	57	24	33	C	~ 9
5-4	16	27,6	1,87	1,46	90	131	29	22	46	16	20	D	~ 8
6-1	18	30,2	1,95	1,50	104	72	41	20	44	18	26	D	~ 11,5
6-2	19	35,0	1,82	1,35	96	85	36	27	50	15	35	D	~ 4
6-3	20	25,3	1,90	1,52	90	168	45	20	55	18	37	B	10 - 11
6-4	21	29,8	1,90	1,46	98	143	42	16	57	21	36	B	~ 8,5
6-5	22	30,2	1,92	1,48	100	85	56	3	74	18	56	D	~ 11,5
7-1	23	25,8	1,99	1,58	100	68	23	46	32	15	17	B	> 11
7-2	24	22,4	1,98	1,62	93	131	21	44	34	17	17	-	(1)
7-3	25	24,1	1,91	1,54	89	50	28	34	38	16	22	-	(1)
8-2	29	39,2	1,71	1,23	90	53	46	5	68	23	45	A	(1)
8-3	30	40,4	1,68	1,20	88	32	39	9	64	22	42	C	(1)
8-4	31	43,3	1,74	1,21	96	78	48	9	65	28	37	D	~ 6,5
8-5	32	39,6	1,74	1,25	94	100	56	6	72	25	47	D	~ 5
10-1	38	20,8	2,01	1,66	92	-	27	36	32	14	18	B	14 - 15
10-2	39	18,8	2,08	1,75	97	192	27	38	29	16	13	C	~ 8,5
10-3	40	22,2	2,02	1,65	97	82	29	43	33	13	20	D	12 à 15
10-4	41	21,2	2,03	1,67	96	68	23	44	30	15	15	D	~ 7,5
11-1	43	44,6	1,76	1,22	100	129	57	8	95	29	56	D	~ 7
11-2	44	42,6	1,73	1,21	95	182	47	24	68	27	41	B	> 8,5
11-5	47	73,3	1,69	0,98	114	91	36	19	78	28	50	C	~ 20 (2)

(1) direkt kapot
 (2) liep nog op tot ca 16

1) verzadigingsgraad
 2) undrained shear strength
 3) zie pag. 23 en 24

51 -



8. Interpretatie van de resultaten

8.1. Watersnelheid bij de erosieproeven

Door de draaiende trommel van de centrifuge wordt aan het water een snelheid opgelegd die een zeker verband zal hebben met de omtrekssnelheid van de trommel. Door de eenvoudige opzet van het erosie-apparaat kan de watersnelheid niet direct worden gemeten. Voor deze serie oriënterende proeven is dit ook niet bezwaarlijk. Doel van de proeven was immers een vergelijking van het erosiegedrag van een aantal kleisoorten uit dijksbekledingen.

Voor een beoordeling van de resultaten op zich is het echter nodig wel over enige indicaties te beschikken van de snelheid van het water.

Hiervoor kan gebruik gemaakt worden van de gemeten torsie op de klossen tijdens het ijken.

Door het stromende water om de klossen wordt hierop een schuifspanning τ_0 uitgeoefend, waarvoor het volgende verband geldt:

$$\tau_0 = \frac{f}{4} \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2}$$

waarin: f = wandwrijvingscoëfficiënt

v = de gemiddelde snelheid van de waterstroom

ρ = dichtheid van het water

De stalen klossen kunnen als hydraulisch glad worden beschouwd.

Bij een bekende waarde van het Reynolds-getal Re kan de waarde van f uit de grafieken van Nikuradse worden afgeleid:

$$Re = \frac{v \cdot R}{\nu}$$

waarin: R = hydraulische straal

ν = kinematische viscositeit van water



In het geval van de draaiende trommel zal de hydraulische straal ongeveer gelijk zijn aan de dikte van de bewegende cilinder water om het monster. Dit betekent dat:

$$R \approx 0.05 \quad [\text{m}]$$

Bij een snelheid van $V = 1$ m/s van het water volgt dan voor het geval van Reynolds:

$$Re = \frac{1 \cdot 0.05}{10^{-6}} = 5 \times 10^4$$

Hierbij hoort een wandwrijvingscoëfficiënt $f \approx 0.02$.

Uit een en ander volgt:

$$\tau_o = \frac{0,02}{4} \cdot \frac{1000 \cdot v^2}{2} = 2,5 v^2 \quad [\text{N/m}^2]$$

Als gesteld wordt dat de watersnelheid V evenredig is met de omtreksnelheid van de trommel dan wil dit zeggen dat de ijklijn een parabolisch verloop heeft. Dit blijkt ook enigszins het geval te zijn (zie figuur 19).

Het torsiemoment op de 4 klossen ($h = 0,2$ m ; $\phi = 65$ mm) wordt dan:

$$T_m = 2\pi r h \cdot r \cdot \tau_o$$

$$T_m = T \cdot 10^{-3} \quad [\text{Nm}] \quad \text{waarin: } T = \text{Torsiemeter-uitslag}$$

Dus wordt:

$$T \cdot 10^{-3} = 2\pi r^2 h \cdot 2,5 v^2$$

ofwel:

$$v^2 = \frac{T \cdot 10^{-3}}{5\pi r^2 h}$$



Bij een torsie-uitslag $T = 6$ geldt dan:

$$v^2 = \frac{6 * 10^{-3}}{5\pi * 0,0325^2 * 0,2} = 1,8$$

ofwel:

$$v = 1,34 \quad [\text{m/s}]$$

Tevens werd bij $T = 6$ een toerental van de trommel gemeten van 14 omw/s [rps], hetgeen een omtrekssnelheid van de trommel betekent van ca 7 m/s.

Hieruit zou volgen dat de snelheid van het water in de trommel $v \approx \frac{1}{4} v_{\text{omtrek}}$ is.

Dit resultaat is ook nog getoetst aan een enkele erosieproef op een kleimonster. De moeilijkheid hierbij is dat de ruwheid van het monster onbekend is en bovendien gedurende de proef variabel zal zijn geweest.

Toch blijkt bij een nadere analyse dat de watersnelheid bij de erosieproeven in het stadium dat de sleepkracht van het water ongeveer 10 N/m^2 bedroeg naar verwachting niet belangrijk zal hebben afgeweken van de bij de ijking afgeleide waarde

$$v \approx \frac{1}{4} v_{\text{omtrek}}.$$

Bij vrijwel alle monsters werd bij de sleepkracht van ca 10 N/m^2 ernstige erosie geconstateerd. De omtreksnelheid van de centrifugetrommel varieerde daarbij van 6-8 m/s.

De conclusie hieruit is dat alle onderzochte kleibekledingen bij een watersnelheid van 1,5-2 m/s sterk eroderen. Deze watersnelheid is beduidend kleiner dan de verwachte watersnelheden op de dijktafsluitingen.

Hierbij dient wel te worden opgemerkt dat bij de erosieproeven in het erosietoestel de zwaartekracht met de sleepkracht samenwerkt en daardoor erosie bevorderend werkt. Op het talud van een dijk werkt de zwaartekracht daarentegen het erosieproces tegen. Gezien echter de grootte van de cohesie c' van de onderzochte kleigronden die volgens de celproeven tenminste 1 kN/m^2 bedraagt



zal het effect van de zwaartekracht in het algemeen niet van noemenswaardige invloed op de resultaten van de erosieproeven geweest zijn.

In de laatste kolom van tabel 7.3 zijn de waarden van de sleepkracht van het stromende water opgenomen zoals die worden afgeleid uit de erosieproeven op het moment dat de relatieve erosie $E/\Delta t$ sterk ging toenemen. Deze waarden zijn over het algemeen niet scherp afgetekend.

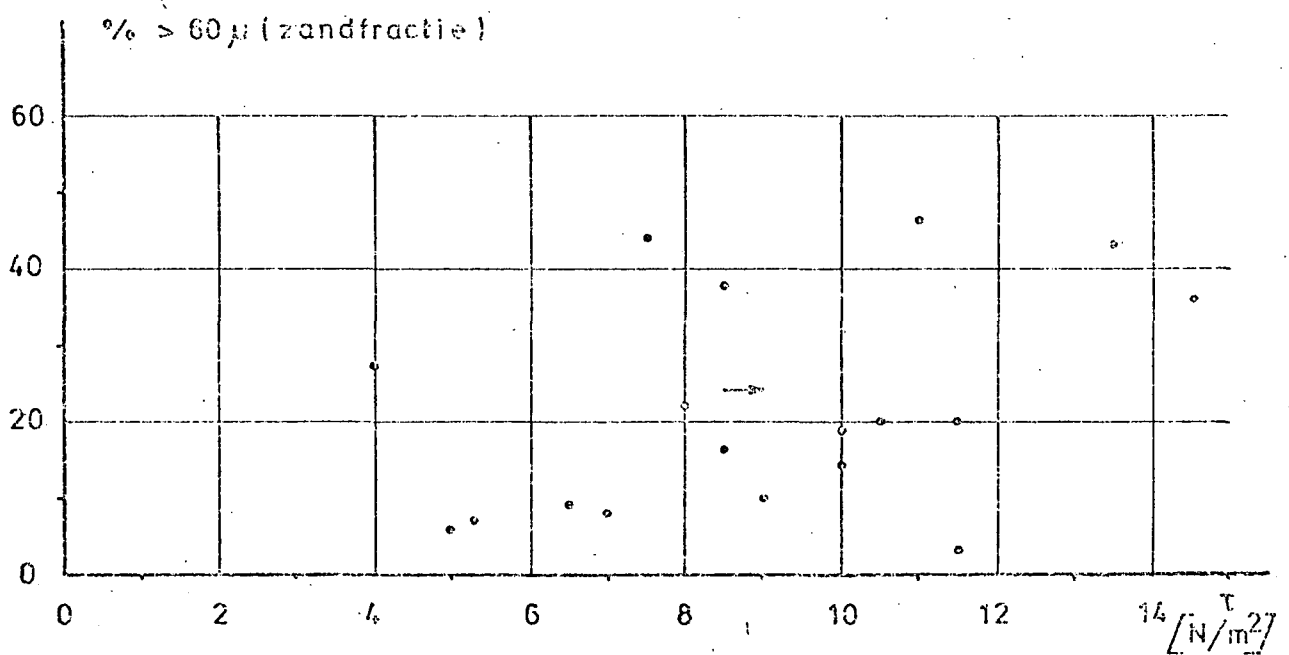
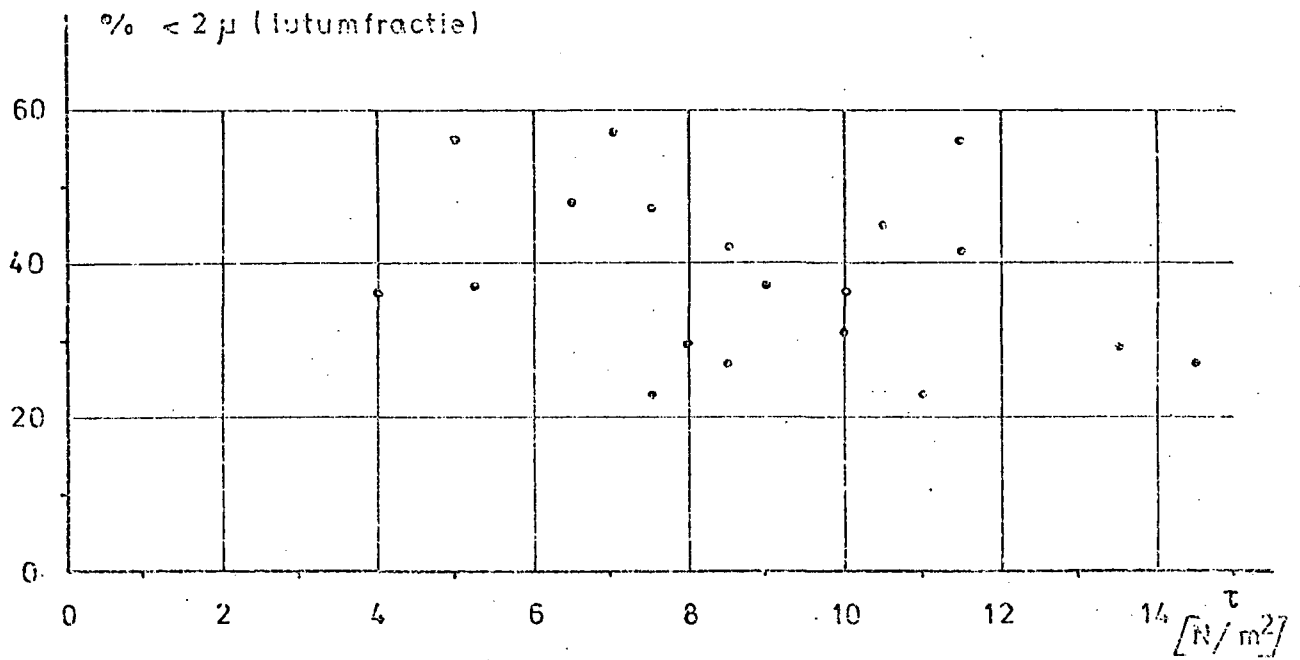
Bij enkele proeven werd deze "kritische" waarde niet bereikt, terwijl bij een aantal erosieproeven al direct bij het begin van de proef een zodanig sterke erosie optrad dat geen betrouwbare waarnemingen konden worden gedaan. De kwaliteit van de monsters was kennelijk zodanig slecht dat ze bij een geringe beroering onder water al direct in brokken uit elkaar vielen.

Uit de verschillende kolommen van tabel 7.3 valt duidelijk de grote spreiding op tussen de onderzochte kenmerkende parameters van de monsters van iedere bekleding. Het is dan ook begrijpelijk dat de waarden van de kritieke τ per onderzochte bekleding, eveneens een grote spreiding vertonen.

Uit het onderzoek naar mogelijke korrelatie tussen de kritieke τ -waarden en de respektievelijke "kenmerkende" eigenschappen levert geen resultaten op.

In figuur 20 is het verband tussen de lutumfractie ($\% < 2 \mu\text{m}$) en de kritieke τ en de relatie zandfractie ($\% > 60 \mu\text{m}$) en de kritieke τ uitgezet. Uit de gevonden puntenwolken blijkt duidelijk geen korrelatie aanwezig te zijn. Hoogstens is er een zeer lichte tendens aanwijsbaar dat bij toenemend zandgehalte ook de kritieke τ toeneemt. Vanzelfsprekend dient hiervoor tevens voldaan te zijn aan voorwaarden met betrekking tot het lutumgehalte van de grond. Dit was bij de onderzochte monsters nooit kleiner dan 20%.

Een voorzichtige konklusie is dat een grond met een hoog lutumgehalte en een laag zandpercentage, na te zijn blootgesteld geweest aan uitdroging respektievelijk bevochtiging, slecht bestand is tegen erosie door overstromend water.



Figuur 20 - Verband tussen τ , lutumfractie en zandfractie



9. Erosie-onderzoek op monsters uit kleidepots

De resultaten van dit onderzoek worden in dit hoofdstuk apart behandeld, omdat een directe vergelijking met de monsters uit de kleibekledingen niet zinvol is. De monsters van de kleidepots werden kunstmatig in het laboratorium gemaakt. Daartoe werd de klei uit de depots in het z.g. Proctorapparaat laagsgewijze opgebouwd en verdicht.

Onderzocht werd:

- a) een polderklei,
- b) een maasklei.

Ten behoeve van de identificatie werden de volgende proeven uitgevoerd:

- 1) Atterbergse grenzen,
- 2) korrelverdelingsbepalingen.

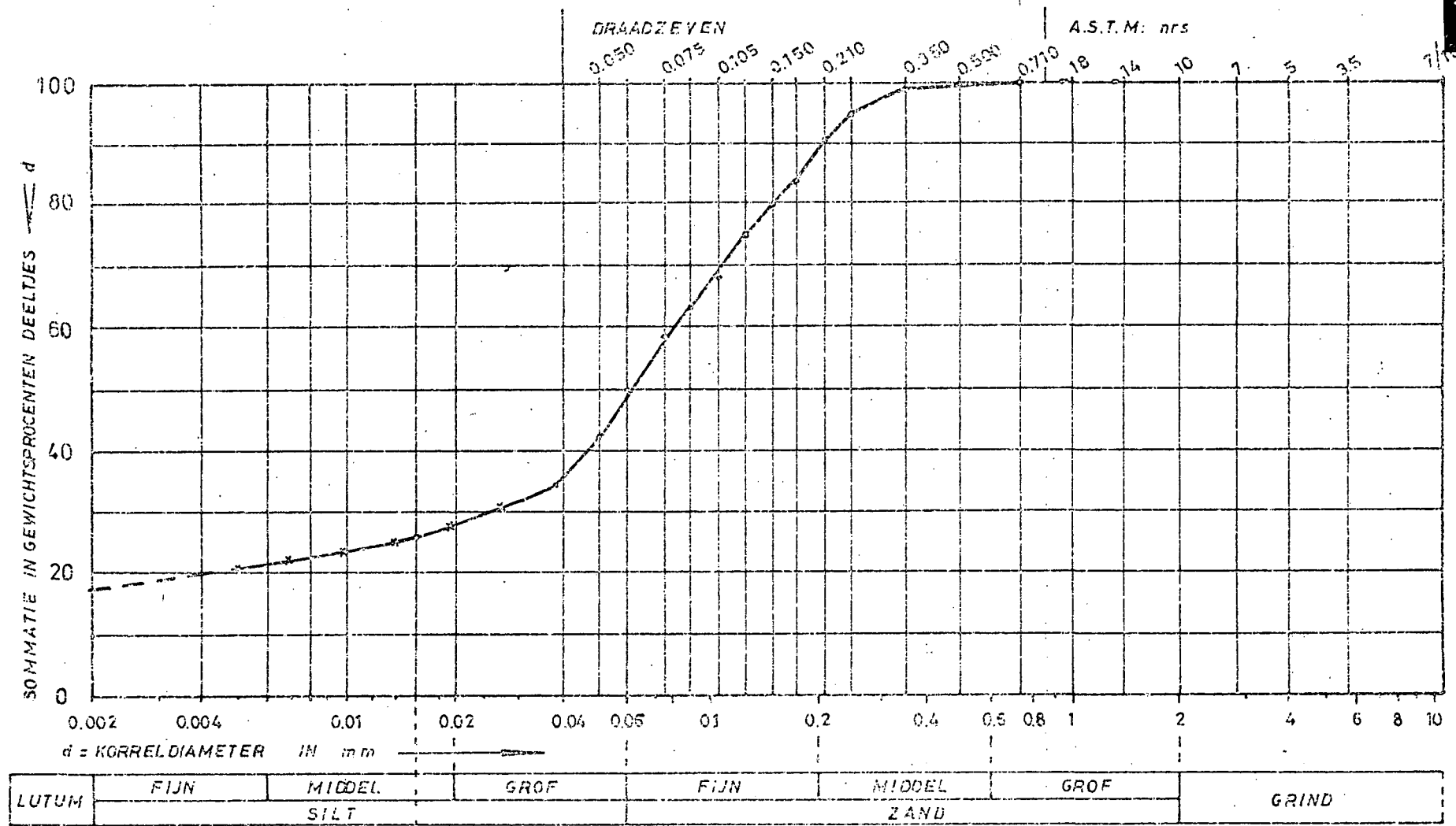
De volgende tabel geeft de resultaten:

Tabel 9.1 Resultaten identificatieproeven

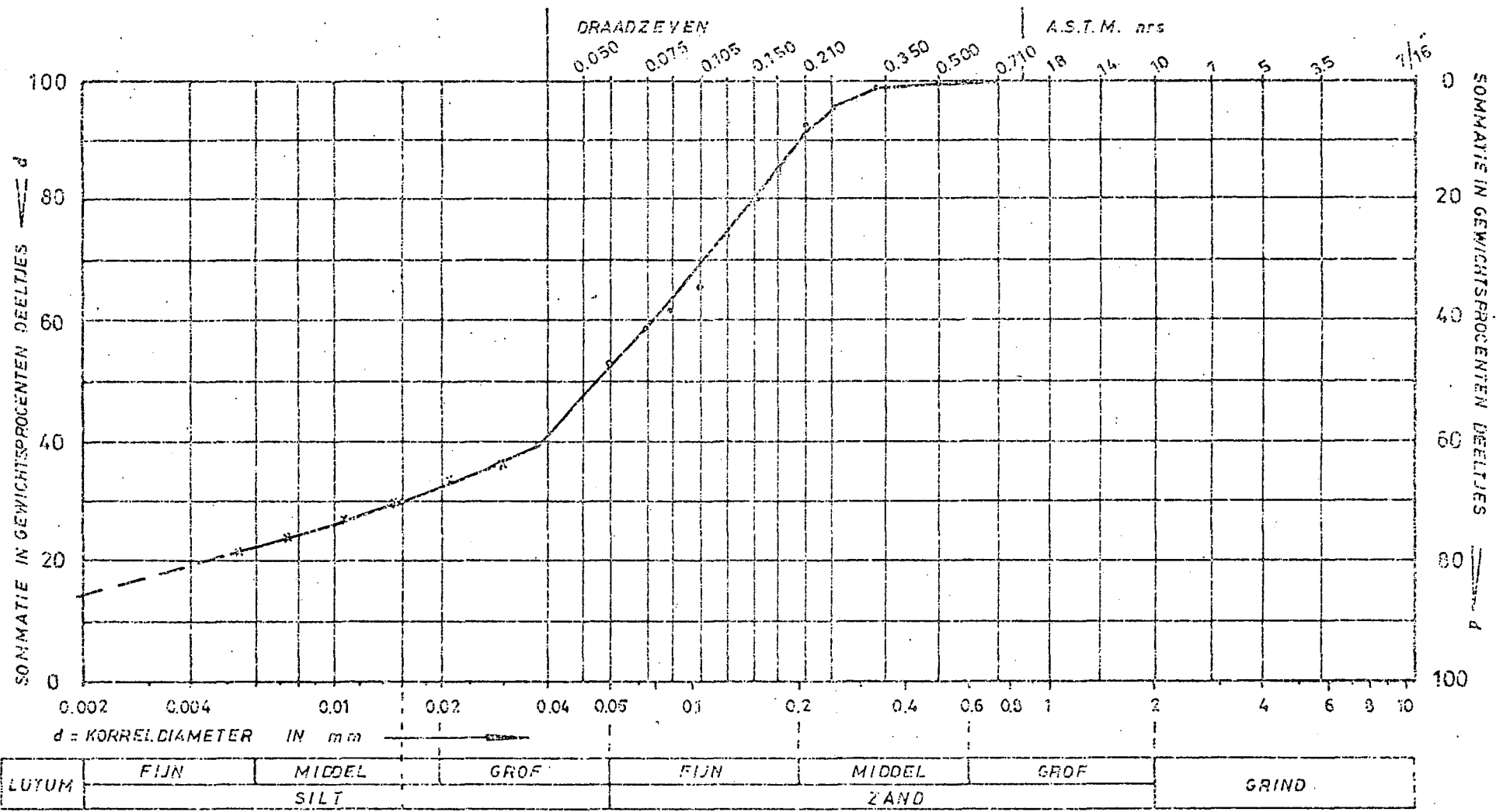
	Polderklei	Maasklei
vloeigrens (LL) [%]	32,6	29,2
uitrolgrens (PL) [%]	19,5	13,6
P.I. [%]	13,1	15,6
krimprens [%]	20,6	17,0
% 2 μ m (lutumfractie) [%]	17,5	14,5
% 60 μ m (zandfractie) [%]	51,0	47,0

In vergelijking met de klei uit de bekledingen valt op dat de klei uit beide depots een beduidend lager lutumgehalte en een hoger zandgehalte heeft. De korrelverdelingskrommen zijn uitgezet in de figuren 21 en 22. Het is duidelijk dat de benaming klei voor beide gronden onjuist is.

Figuur 21 - Korrelverdelingsdiagram - Polderklei



Figuur 22 - Korrelverdelingsdiagram - Maasklei





Ten behoeve van de fabricage van de monsters voor de erosieproeven werden 2 proctorproeven uitgevoerd volgens de normale procedure (valhoogte 12 inch, valgewicht 5 lbs, verdicht in 5 lagen met 7 slagen per laag).

De resultaten van deze proctorproeven zijn uitgezet in figuur 23.

In tabel 9.2 zijn de gegevens van de depot-monsters gebruikt voor de erosieproeven samengevat.

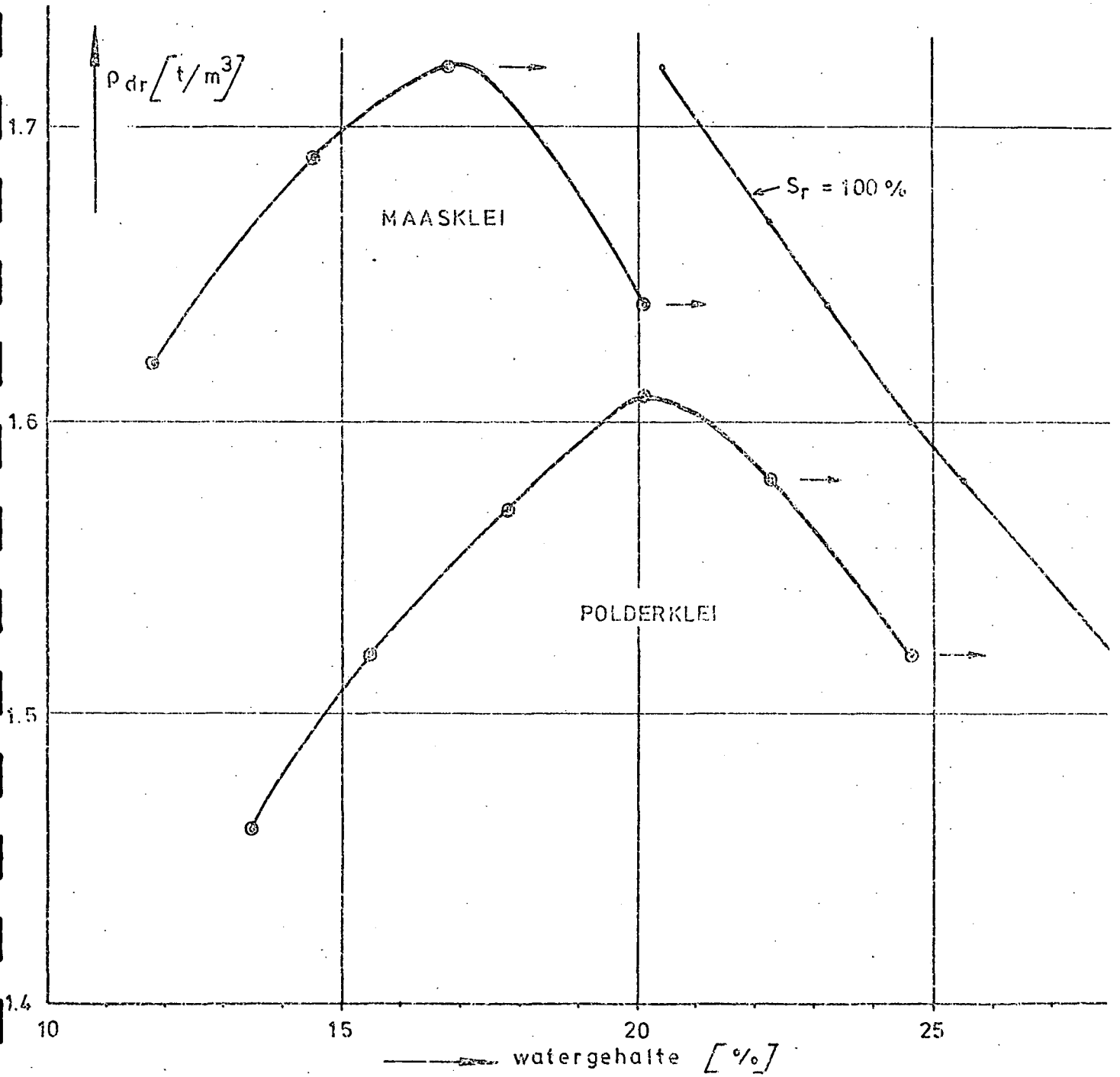
De resultaten van de erosieproeven zijn per onderzocht monster verzameld in tabel 9.3. In de laatste kolom is de uit de gecorrigeerde torsiemeting berekende sleepkracht van het stromend water te vinden.

Een opvallend verschil met de proeven op de monsters uit de dijksbekledingen is de aanmerkelijk grotere relatieve erosie $E/\Delta t$ al direkt bij het begin van de erosieproeven op de polder- en maasklei. Verder is het verloop van de relatieve erosie $E/\Delta t$ bij deze proeven veel regelmatig.

Een en ander komt overeen met de verwachtingen. De polder- en maasklei bevat een gering percentage klei waardoor de binding van de silt- en zandkorrels aan de grond betrekkelijk zwak zal zijn. Bij gevolg is dit type grond meer erosiegevoelig dan de gronden van de onderzochte kleibekledingen die een veel groter percentage lutum bevatten.

Het onregelmatig verloop van de erosie bij de proeven op de bekledingsmonsters is het gevolg van de structuur van de grond die door afwisselende uitdroging en bevochtiging sterk brokkelig is geworden. De in het laboratorium vervaardigde monsters van de polder- en maasklei zijn niet aan dergelijke klimatologische invloeden blootgesteld geweest waardoor de grond geen brokkelige structuur heeft. Bovendien is de grond zo sterk zanderig dat bij uitdroging nauwelijks krimpscheuren zijn te verwachten.

Uit de vergelijking van de resultaten van de erosieproeven op de



Figuur 23 - Verdichting kleiputmonsters

Tabel 9.2 - Resultaten erosietest op depotmonsters

	Datum test	w% na Proctor	Datum test	[kN/m ²] C _{pen}	w%	ρ _{nat}	ρ _{dr.}	S _r	Bezwijktraject (torsie-uitslag) τ _{kritiek} N/m ²	Verdichtingsprocedure
POLDERKLEI	11- 1-77	20,9%	25- 1-77	80	21,3	1,97	1,62	89,0	8 - 11	7 lagen à 25 slagen valhoogte 18 inch valgewicht 5 lbs
	11- 1-77	20,9%	26- 1-77	85	21,8	1,98	1,63	92,2	12 - 17	
	26- 1-77	23,3%	21- 2-77	90	24,2	1,92	1,55	90,1	9 - ± 15	
	8-12-76	24,7%	13-12-76	75	23,2	1,88	1,53	84,1	0 - ?	10 lagen à 8 slagen valhoogte 18 inch valgewicht 5 lbs
	18- 1-77	22,7%	31- 1-77	75	23,4	1,96	1,59	93,0	9 - 12	7 lagen à 25 slagen valhoogte 18 inch valgewicht 5 lbs
	18- 1-77	22,6%	1- 2-77	65	20,9	1,95	1,61	86,1	13 - 15	
	21- 1-77	24,1%	15- 2-77	50	25,4	1,91	1,52	90,5	9 - 11	
	21- 1-77	24,5%	16- 2-77	60	24,9	1,90	1,52	88,8	7 - 8	
MAASKLEI	19- 1-77	17,2%	4- 2-77	105	17,61	2,08	1,77	93,6	10 - 12	7 lagen à 25 slagen valhoogte 18 inch valgewicht 5 lbs
	19- 1-77	17,0%	7- 2-77	115	17,41	2,08	1,77	93,0	8 - 9	
	20- 1-77	19,5%	10- 2-77	50	19,94	1,98	1,65	87,3	0 - 5	
	20- 1-77	19,5%	11- 2-77	50	19,55	2,02	1,69	91,2	0 - 7	
	8-12-76	19,1%	13-12-76	55	19,23	2,04	1,71	92,8	9 - ?	10 lagen à 25 slagen valhoogte 28 inch valgewicht 5 lbs



TABEL 9.3 (1): Resultaten erosieproeven

Monster	M [kg]	AM [kg]	F [s]	V _{entrek} [m/s]	Toeren [rps]	Torsie-uitslag	Gecorrig. torsie-uitslag	Δt [min.]	$\frac{E}{\Delta t}$ [s]	$\frac{E}{\Delta t} \cdot 10^3$ [N/m ²]
Polderklei 25-1-77 $\rho_n = 1,97 \text{ t/m}^3$ $\rho_b = 0,97 \text{ t/m}^3$	0,334									
	0,320	0,014	4,28	7,83/7,50	11,7	3	0	5	0,86	-----
	0,314	0,006	1,89	7,50	11,33	3	0	5	0,38	-----
	0,309	0,005	1,61	8,17/8,00	12,17	4	0,2	5	0,32	313,92
	0,304	0,005	1,63	7,83	12,00	4	0,3	5	0,33	478,62
	0,298	0,006	1,99	8,67	13,17	5	0,65	5	0,40	1057,89
	0,288	0,01	3,41	-----	-----	-----	-----	-----	0,68	-----
	0,275	0,013	4,62	8,67	13,17	5	0,65	5	0,92	1146,36
	0,269	0,006	2,21	9,17	13,83	6	1,25	5	0,44	2253,72
	0,266	0,003	1,12	9,33	14,17	6	1,00	5	0,22	1823,31
	0,257	0,009	3,44	9,83	14,83	7	1,50	5	0,69	2830,74
	0,260	luchtbel	--	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	0,254	0,003	1,17	9,83	14,83	7	1,50	5	0,23	2864,17
	0,243	0,011	4,43	10,50	15,83	8	1,85	5	0,89	3692,39
	0,232	0,011	4,63	10,83	16,33	8	1,50	5	0,93	3135,78
	0,235	luchtbel	--	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	0,221	0,011	4,86	11,30/11,83	17,67	9	1,65	5	0,97	3621,04
	0,212	0,009	4,16	11,83	17,83	9	1,35	5	0,83	3088,44
	0,200	0,012	5,83	12,50	19,00	10	1,50	5	1,17	3637,5
	0,184	0,016	8,33	12,67	19,17	10	1,40	5	1,67	3690,72
	0,168	0,016	9,09	13,83	21,00	11	0,70	5	1,82	2020,83
	0,155	0,013	8,05	13,83	21,00	11	0,70	5	1,61	2190,32
	Polderklei 26-01-77 $\rho_n = 1,93 \text{ t/m}^3$ $\rho_b = 0,93 \text{ t/m}^3$	0,334								
0,331		0,003	0,90	7,67	11,67	3	0	5	0,18	-----
0,330		0,001	0,30	7,50	11,33	3	0	5	0,06	-----
0,328		0,002	0,61	8,17	12,33	4	0,15	5	0,12	224,09
0,328		0	0	8,17	12,33	4	0,15	5	0	224,09
0,327		0,002	0,61	9,00	13,67	5	0,30	5	0,12	449,54
0,325		0,002	0,61	8,83	13,33	5	0,55	5	0,12	829,23
0,324		0,001	0,31	9,50	14,33	6	0,85	5	0,06	1285,49
0,322		0,002	0,62	9,50	14,33	6	0,85	5	0,12	1293,48
0,319		0,003	0,94	10,17	15,33	7	1,25	5	0,19	1920,65
0,317		0,002	0,63	10,17	15,33	7	1,25	5	0,13	1932,18
0,314		0,003	0,95	10,67	16,17	8	1,65	5	0,19	2574,84
0,310		0,004	1,28	10,67	16,17	8	1,65	5	0,26	2608,06
0,305		0,005	1,63	11,50	17,50	9	1,65	5	0,33	2650,82
0,302		0,003	0,99	11,67	17,67	9	1,60	5	0,20	2596,03
0,299		0,003	1,00	11,67	17,67	10	2,60	5	0,20	4260,87
0,297		0,002	0,67	11,67	17,67	10	2,60	5	0,13	4289,56
0,292		0,005	1,70	11,83	18,00	11	3,25	5	0,34	5453,77
0,290		0,002	0,69	12,00	18,17	11	3,15	5	0,14	5322,41
0,283		0,007	2,44	12,50	19,00	12	3,50	5	0,49	6060,07
0,279		0,004	1,45	12,50	19,00	12	3,50	5	0,29	6259,12
0,274		0,005	1,81	13,17	20,00	13	3,60	5	0,36	6437,96
0,272		0,002	0,73	13,00	19,67	13	3,90	5	0,15	7025,74
0,259	0,013	4,99	13,50/13,83	20,67	14	3,95	5	1,00	7472,97	
0,250	0,004	1,59	13,67	20,67	14	3,95	5	0,32	7742,00	
0,240	0,010	4,08	14,17	21,50	15	4,15	5	0,82	8472,92	
0,228	0,012	5,13	14,17	21,50	15	4,15	5	1,03	18918,85	
0,200	0,028	13,08	14,70	22,00	16	4,50	5	2,62	11025,00	
0,178	0,022	11,64	14,00	21,17	16	5,55	5	2,33	15278,09	
0,150	0,028	17,07	14,67	22,17	17	5,40	5	3,41	17640,00	



Tabel 9.3 (2): Resultaten erosieproeven.

Monster	M [kg]	AM [kg]	E [%]	V _{centrek} [m/s]	Toeren [rps]	Torsie-uitslag	Gecorrig. torsie-uitslag	At [min.]	$\frac{E}{\Delta t}$ [%]	$\tau \times 10^3$ [N/m ²]
Polderklei 21-02-77 $\rho_n = 1,92 \text{ t/m}^3$ $\rho_b = 0,92 \text{ t/m}^3$	0,325									
	0,298	0,027	8,67	5,00/4,83	7,33	3	1,55	5	1,73	2392,62
	0,291	0,007	2,38	5,00	7,50	3	1,50	5	0,48	2371,13
	0,282	0,009	3,14	5,83	8,83	4	2,00	5	0,63	3262,41
	0,278	0,004	1,43	5,83	8,83	4	2,00	5	0,29	3309,35
	0,272	0,004	1,46	6,67	10,17	5	2,35	5	0,29	3974,26
	0,268	0,004	1,48	6,67	10,17	5	2,35	5	0,30	4033,58
	0,260	0,008	3,03	7,50	11,33	6	2,7	5	0,61	4776,92
	0,254	0,006	2,33	7,33	11,17	6	2,75	5	0,47	4980,31
	0,249	0,005	1,99	8,00	12,17	7	3,25	5	0,40	6004,02
	0,240	0,009	3,68	8,17	12,33	7	3,15	5	0,74	6037,50
	0,234	0,006	2,53	8,83	13,33	8	3,60	5	0,51	7076,92
	0,227	0,007	3,04	8,83	13,33	8	3,60	5	0,61	7295,15
	0,221	0,006	2,68	9,33	14,17	9	3,95	5	0,54	8221,72
	0,207	0,014	6,54	9,33/9,67	14,33	9	3,90	5	1,31	8666,67
	0,195	0,012	5,97	10,33	15,67	10	3,95	5	1,19	9317,95
	0,184	0,011	5,80	10,33	15,67	10	3,95	5	1,16	9875,00
	0,171	0,013	7,32	11,00	16,67	11	4,20	5	1,46	11298,25
	0,163	0,008	4,79	11,00	16,67	11	4,20	5	0,96	11852,76
	0,152	0,011	6,98	11,50	17,50	12	4,65	5	1,40	14072,37
0,139	0,013	8,93	11,50	17,50	12	4,65	5	1,79	15388,49	
0,132	0,007	5,17	12,00	18,17	13	5,20	5	1,03	18121,21	
0,116	0,016	12,90	12,00	18,17	13	5,20	5	2,58	20620,69	
Polderklei 13-12-76 $\rho_b = 1,89 \text{ t/m}^3$ $\rho_n = 0,89 \text{ t/m}^3$	0,302									
	0,244	0,058	21,25	3,67	5,50	3	1,05	5	4,25	1914,96
	0,224	0,020	8,55	4,50	6,83	3	1,7	5	1,71	3377,23
	0,206	0,018	8,37	5,00	7,50	3	1,55	5	1,67	3348,30
	0,187	0,019	9,67	5,83/5,00	8,17	3	1,25	5	1,93	2974,60
	0,164	0,023	13,11	5,50	8,33	3	1,2	5	2,62	3256,10
	0,150	0,014	8,92	5,33	8,00	3	1,3	5	1,78	3655,67
	0,136	0,014	9,79	7,83	11,83	5	1,4	5	1,96	4580,88
	0,124	0,012	9,23	7,83	11,83	5	1,4	5	1,85	5024,19
	0,108	0,016	13,79	7,83	11,83	5	1,4	5	2,76	5768,52
Polderklei 31-01-77 $\rho_n = 1,96 \text{ t/m}^3$ $\rho_b = 0,96 \text{ t/m}^3$	0,321									
	0,291	0,030	9,80	4,83	7,33	3	1,55	5	1,96	2556,70
	0,290	0,001	0,34	4,83	7,33	3	1,55	5	0,07	2565,52
	0,284	0,006	2,09	5,50/6,17	8,83	4	2,00	5	0,42	3380,28
	0,283	0,001	0,35	5,50	8,50	4	2,15	5	0,07	3646,64
	0,275	0,008	2,87	6,50/6,80	10,17	5	2,35	5	0,57	41,01,82
	0,267	0,008	2,95	6,67/7,00	10,33	5	2,3	5	0,59	4123,83
	0,268	luchtbel	---	7,67/7,83	11,67	6	2,5	5	0	4477,61
	0,260	0,008	3,03	7,67/7,80	11,67	6	2,5	5	0,61	4615,38
	0,253	0,007	2,73	7,33	12,67	7	2,9	5	0,55	5501,98
	0,250	0,003	1,19	8,50	12,83	7	2,8	5	0,24	5376,00
	0,247	0,007	2,79	9,17	13,83	8	3,15	5	0,56	6121,46
	0,242	0,005	2,04	9,50	14,33	8	2,85	5	0,41	5652,89
	0,235	0,007	2,94	10,17	15,33	9	3,25	5	0,59	6638,30
	0,226	0,009	3,90	10,00	15,17	9	3,30	5	0,78	7008,85
	0,221	0,005	2,24	10,83/11,33	16,67	10	3,25	5	0,45	7058,82



TABEL 9.3 (3): Resultaten erosieproeven

Monster	M [kg]	ΔM [kg]	E [%]	V _{onttrek} [m/s]	Toeren [rps]	Torsie-uitslag	Gecorrig. torsie-uitslag	Δt [min.]	$\frac{E}{\Delta t}$ [%]	$\tau \times 10^3$ [N/m ²]	
Polderklei 1-2-77 $\rho_{nat} = 1,95$ $\rho_b = 0,95$	0,323										
	0,311	0,012	3,79	4,83	7,33	3	1,55	5	0,76	2367,36	
	0,309	0,002	0,65	4,83/5,17	7,50	3	1,50	5	0,13	2305,83	
	0,303	0,006	1,96	6,17	9,33	4	1,80	5	0,39	2821,78	
	0,299	0,004	1,33	5,83	8,83	4	2,00	5	0,27	3177,26	
	0,291	0,008	2,71	7,00	10,67	5	2,10	5	0,54	3427,84	
	0,286	0,005	1,73	7,17	10,83	5	2,00	5	0,35	3321,68	
	0,284	0,002	0,70	8,17	12,33	6	2,20	5	0,14	3679,58	
	0,281	0,003	1,06	8,17	12,33	6	2,20	5	0,21	3718,86	
	0,274	0,007	2,52	9,00	13,67	7	2,30	5	0,50	3987,23	
	0,270	0,004	1,47	8,83	13,33	7	2,55	5	0,29	4486,11	
	0,267	0,003	1,12	9,67	14,67	8	2,60	5	0,22	4625,47	
	0,261	0,006	2,27	9,50	14,33	8	2,80	5	0,45	5298,8	
	0,254	0,007	2,72	10,17	15,33	9	3,2	5	0,54	5984,25	
	0,252	0,002	0,79	10,17	15,33	9	3,2	5	0,16	6031,75	
	0,248	0,004	1,60	10,67	16,17	10	3,6	5	0,32	6895,16	
	0,241	0,007	2,86	10,83/ 10,67	16,33	10	3,45	5	0,57	6799,79	
	0,232	0,009	3,81	11,17	17,00	11	4	5	0,76	8188,66	
	0,229	0,003	1,30	11,33	17,17	11	3,9	5	0,26	8059,52	
	0,226	0,002	1,32	12,00	18,17	12	4,2	5	0,26	8827,43	
0,220	0,006	2,69	11,00	17,67	12	4,6	5	0,54	9931,82		
0,216	0,004	1,83	12,50	19,00	13	4,5	5	0,37	9885,83		
Polderklei 15-2-77 $\rho_{nat} = 1,91$ $\rho_b = 0,91$	0,327										
	0,304	0,023	7,29	5,00/4,83	7,33	3	1,55	5	1,46	2319,90	
	0,297	0,007	2,33	4,83	7,33	3	1,55	5	0,47	2374,53	
	0,291	0,006	2,04	5,83	8,83	4	2,00	5	0,41	3127,15	
	0,290	0,001	0,34	5,83	8,83	4	2,00	5	0,07	3137,93	
	0,280	0,010	3,51	6,67	10,17	5	2,4	5	0,70	3900,00	
	0,273	0,007	2,53	6,50	9,83	5	2,6	5	0,51	4333,33	
	0,267	0,006	2,22	7,00	10,67	6	3,10	5	0,44	5282,77	
	0,266	0,001	0,38	7,17	10,83	6	3,00	5	0,08	5131,58	
	0,259	0,007	2,67	7,83	11,83	7	3,40	5	0,53	5972,97	
	0,249	0,010	3,94	8,00	12,17	7	3,25	5	0,79	5988,76	
	0,241	0,008	3,27	8,67	13,17	8	3,65	5	0,65	6891,08	
	0,230	0,011	4,67	9,00	13,67	8	3,30	5	0,93	6523,26	
	0,213	0,027	11,92	9,83	14,83	9	3,45	5	2,38	7369,72	
	0,197	0,026	12,38	9,67	14,67	9	3,60	5	2,48	8314,72	
	0,178	0,019	10,13	10,00	15,17	10	4,3	5	2,03	10991,57	
	0,160	0,018	10,65	10,00	15,17	10	4,3	5	2,13	12228,13	
	0,130	0,030	20,69	10,83/ 11,17	16,67	11	4,25	5	4,14	14875,00	
	Polderklei 16-2-77 $\rho_{nat} = 1,90$ $\rho_b = 0,90$	0,313									
		0,300	0,013	4,24	5,17	7,83	3	1,40	5	0,85	2100
0,295		0,005	1,68	5,33	8,00	3	1,35	5	0,34	2059,32	
0,288		0,007	2,40	6,33/6,00	9,33	4	1,8	5	0,48	2812,50	
0,282		0,006	2,11	6,17	9,33	4	1,8	5	0,42	2872,34	
0,275		0,007	2,51	7,17	10,83	5	2,0	5	0,50	3272,73	
0,270		0,005	1,83	7,17	10,83	5	2,0	5	0,37	3333,33	
0,260		0,010	3,77	7,67	11,67	6	2,55	5	0,75	4413,46	
0,248		0,012	4,72	7,67	11,67	6	2,59	5	0,94	4627,02	
0,214		0,034	14,72	8,17/8,33	12,50	7	3,05	5	2,94	6413,55	
0,189		0,025	12,41	8,33	12,67	7	2,90	5	2,48	6904,76	
0,155		0,034	19,77	9,00	13,67	8	3,30	5	3,95	9580,65	
0,120		0,035	25,45	9,33	14,33	8	2,90	5	5,09	10875,00	



TABEL 9.3 (4) : Resultaten erosieproeven

Monster	M [kg]	AM [kg]	E [t]	V [m/s]	Toeren [rps]	Torsie- uitslag	Gecorrig. torsie- uitslag	Δt [min.]	$\frac{E}{\Delta t}$ [t]	$\tau_{cr} \cdot 10^3$ [N/m ²]
Maasklei 4-2-77 $\rho_{nat} = 2,09$ $\rho_b = 1,09$	0,372									
	0,353	0,019	5,24	4,83/4,33	7,00	3	1,65	5	1,05	2547,45
	0,346	0,007	2,00	4,83/4,33	7,00	3	1,65	5	0,40	2593,99
	0,338	0,008	2,34	5,83	8,83	4	2,0	5	0,47	3224,85
	0,325	0,003	0,92	5,50	8,33	4	2,0	5	0,18	3353,85
	0,319	0,006	1,86	6,50/6,67	10,00	5	2,45	5	0,37	4185,74
	0,310	0,009	2,86	6,50	9,83	5	2,50	5	0,57	4395,16
	0,303	0,007	2,28	7,33	11,17	6	2,8	5	0,46	5035,3
	0,295	0,008	2,68	7,50	11,33	6	2,7	5	0,54	4988,14
	0,286	0,009	3,10	8,50/8,33	12,67	7	2,95	5	0,62	5621,5
	0,282	0,004	1,41	8,50	12,83	7	2,90	5	0,28	5604,61
	0,274	0,008	2,88	9,17	13,83	8	3,15	5	0,58	6265,51
	0,266	0,008	2,96	9,17	13,83	8	3,15	5	0,59	6453,95
	0,254	0,012	4,62	9,33	14,83	9	4,5	5	0,92	9655,51
	0,248	0,006	2,39	9,83	14,83	9	4,5	5	0,48	9689,11
	0,233	0,015	6,24	10,67/10,83	16,33	10	3,6	5	1,25	8420,60
	0,219	0,014	6,19	11,17/10,83	16,67	10	3,2	5	1,24	7963,47
0,207	0,012	5,63	12,00	18,17	11	3,2	5	1,13	8425,12	
0,191	0,016	8,04	12,00	18,17	11	3,2	5	1,61	9130,89	
0,162	0,029	16,43	12,50	19,00	12	3,5	5	3,29	11774,69	
Maasklei 7-2-77 $\rho_{nat} = 2,08$ $\rho_b = 1,08$	0,381									
	0,347	0,034	9,34	5,00	7,50	3	1,6	5	1,87	2489,91
	0,332	0,015	4,42	5,00	7,50	3	1,6	5	0,88	2602,41
	0,314	0,013	3,99	6,17	9,33	4	1,8	5	0,80	3047,02
	0,304	0,010	3,18	6,00	9,17	4	1,85	5	0,64	3233,01
	0,295	0,014	4,64	7,00	10,67	5	2,1	5	0,93	3844,07
	0,287	0,008	2,75	7,00	10,67	5	2,1	5	0,55	3951,22
	0,275	0,012	4,27	8,00	12,17	6	2,75	5	0,85	5400,00
	0,260	0,015	5,61	8,33	12,67	6	1,9	5	1,12	3946,15
	0,248	0,012	4,72	9,33	14,17	7	1,95	5	0,94	4245,97
	0,241	0,007	2,86	9,33	14,17	7	1,95	5	0,57	4369,29
	0,224	0,017	7,31	9,83	14,83	8	2,50	5	1,46	6026,79
	0,199	0,025	11,82	10,00	15,00	8	2,40	5	2,36	6512,56
	0,148	0,051	29,39	10,50	15,83	9	2,9	5	5,88	10581,08
Maasklei 10-2-77 $\rho_{nat} = 1,98$ $\rho_b = 0,98$	0,347									
	0,279	0,069	21,73	5	7,5	3	1,45	5	4,35	2546,59
	0,251	0,028	10,57	5	7,5	3	1,45	5	2,11	2830,68
	0,220	0,031	13,16	6,33	9,67	3	0,6	5	2,63	1336,36
	0,195	0,025	12,05	6,33/6,67	9,83	4	1,5	5	2,41	3769,23
	0,161	0,034	19,10	7,33	11,17	4	0,8	5	3,82	2434,78
	0,135	0,026	17,57	7,50	11,33	5	1,75	5	3,51	6351,85
Maasklei 11-2-77 $\rho_{nat} = 2,02$ $\rho_b = 1,02$	0,365									
	0,306	0,059	17,59	4,67	7,17	3	1,65	5	3,52	2750
	0,279	0,027	9,23	4,83	7,17	3	1,60	5	1,85	2924,73
	0,259	0,020	7,43	6,17	9,33	4	1,8	5	1,49	3544,40
	0,240	0,019	7,62	6,83	10,33	4	1,3	5	1,52	2762,50
	0,223	0,017	7,34	7,67	11,67	5	1,55	5	1,47	3544,84
	0,199	0,024	11,37	7,83	11,83	5	1,45	5	2,27	3716,09
	0,173	0,026	13,98	8,67	13,17	6	1,65	5	2,80	4864,16
	0,155	0,018	10,98	9,00	13,67	6	1,25	5	2,20	4112,90
	0,134	0,021	14,53	9,67	14,67	7	1,60	5	2,91	6029,55
	0,090	0,044	39,29	9,67	14,67	7	1,60	5	7,86	9066,67



TABEL 9.3 (5): Resultaten erosieproeven

Monster	M ¹ [kg]	ΔM [kg]	E [t]	v onttrek [m/s]	Toeren [rps]	Torsie- uitslag	Gecorrig. torsie- uitslag	Δt [min.]	$\frac{E}{\Delta t}$ [t]	$\tau \times 10^3$ [N/m ²]
Maasklei	0,350									
13-12-76.	0,359	0,001	0,28	7,00/6,67	10,33	3	0,3	5	0,06	426,12
	0,359	0	0	8,33	12,67	5	0,95	5	0	1349,50
$\rho_{nat} = 2,04$	0,359	0	0	8,33	12,67	5	0,95	5	0	1226,58
$\rho_b = 1,04$	0,356	0,003	0,84	9,83/9,50	14,67	7	1,6	5	0,17	2292,13
	0,355	0,001	0,28	9,50	14,33	7	1,9	5	0,06	2729,58
	0,352	0,003	0,85	10,83	16,67	9	2,25	5	0,17	3259,94
	0,350	0,002	0,57	11,00	16,67	9	2,25	5	0,11	3278,57
	0,341	0,009	2,60	10,83	16,67	9	2,25	5	0,52	3365,1
	0,336	0,005	1,48	11,00	16,67	9	2,25	5	0,30	3415,18
	0,326	0,010	3,02	10,67	16,17	9	2,60	5	0,60	4067,48
	0,305	0,021	6,66	11,00	16,67	9	2,25	5	1,33	3762,3



depotmonsters blijkt dat de goed verdichte polderklei meer resistent tegen erosie is dan de goed verdichte maasklei. Dit ondanks de iets grotere dichtheid van de maasklei. Mogelijk houdt dit verband met het wat geringere lutumpercentage van de grond uit het maasklei-depot.

Zowel bij de polderklei als bij de maasklei is gevonden dat de weerstand tegen erosie toeneemt bij toenemende dichtheid. Hoe dichter de grond hoe vaster zijn de korrels gebonden aan het totale korrelstelsel. Dit is ook te verwachten omdat het effect van de bindende werking zelfs bij een laag lutumgehalte in belangrijke mate toeneemt naarmate de grovere korrels dichter bij elkaar komen te liggen.



10. Conclusies en aanbevelingen

Uit het oriënterende onderzoek met betrekking tot de erosiebestendigheid van gronden voor dijksbekledingen kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

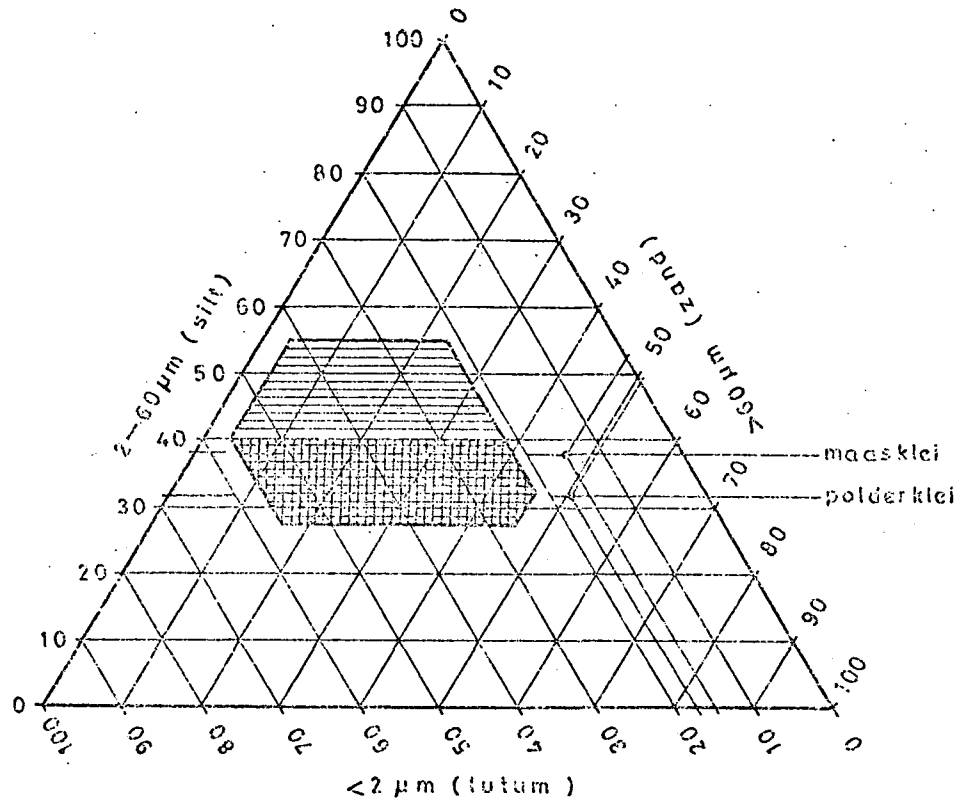
a. Ten aanzien van de monsters uit bestaande bekledingen:

- Bij watersnelheden van ca 1,5 m/s is in alle gevallen sterke erosie te verwachten indien de kale grond direct aan het stromend water wordt blootgesteld.

Voor een belangrijk deel is deze geringe weerstand tegen erosie het gevolg van de "brokkelige structuur" van de grond die wordt veroorzaakt door herhaaldelijke uitdroging (krimp) en bevochtiging. Bij afwezigheid van beworteling is de binding tussen deze "brokken" gering en gedraagt de grond zich min of meer als onsaamhangend.

- Uit de resultaten van de proeven zijn geen duidelijke verschillen naar voren gekomen tussen de gronden van de verschillende bekledingen. In figuur 24 is in een korrelverdelingsdriehoek het gebied aangegeven waarin de onderzochte monsters uit de bekledingen liggen. Uit de proefresultaten volgt een geringe indicatie dat grond in het dubbel gearceerde onderste deel van dit gebied iets meer erosieresistent is dan grond in het bovenste enkel gearceerde deel.

In de driehoek is ook de plaats van de monsters uit de depots aangegeven. Ze liggen dus duidelijk buiten het gebied van de monsters van de kleibekledingen (lager lutumgehalte). Gevonden werd dat de relatieve erosie van deze gronden bij lage watersnelheden aanzienlijk hoger was dan bij de gronden uit de bekledingen die een hoger lutumgehalte hadden.



Figuur 24 - Korrelverdelingsdriehoek

- Uit de erosieproeven op de grond uit de depots polderklei en maasklei met een laag lutumgehalte is gebleken dat een hogere dichtheid de resistentie tegen erosie versterkt. Dit effect zal bij gronden met een hoger lutumgehalte naar alle waarschijnlijkheid minder sprekend worden.

Het is duidelijk dat de oriënterende erosieproeven op een aantal bekleedingsgronden van dijken nauwelijks enig licht hebben geworpen op de mogelijke invloed van de samenstelling of van bepaalde eigenschappen van de grond op de erosiebestendigheid. Daarvoor zou een meer systematisch onderzoek nodig zijn geweest. Het is echter zeer de vraag of een dergelijk systematisch onderzoek zin heeft omdat uit de proeven wel is gebleken dat de voor een dijksbekleding in aanmerking komende gronden bij afwezigheid



van een grasmat of andere begroeiing onvoldoende erosie-resistent zijn bij watersnelheden van $> 1,5$ à 2 m/s, terwijl in werkelijkheid veel grotere watersnelheden worden verwacht.

Vooralsnog wordt danook aanbevolen een eventuele verdere studie te richten op de verkrijging van een kwantitatieve indruk van het "wapenend" effect van beworteling.

Beworteling zal invloed kunnen uitoefenen op de mate van de brokkenvorming bij uitdroging. Bovendien zal bij aanwezigheid van een goede grasmat een veel betere vochtverdeling over de hoogte van de bekleding aanwezig zijn dan bij een kale aan uitdroging onderworpen kleibekleding.

Bij snel over het talud stromend water houden de wortels eventuele losse brokken bij elkaar en belemmeren daardoor de erosie.

Daarnaast wordt aanbevolen om door middel van een gericht onderzoek vast te stellen of het dubbel gearceerde gebied in de korrelverdelingsdriehoek van figuur 24 op adequate wijze gehanteerd zou kunnen worden als kwaliteitseis voor een bekledingsgrond voor een dijk.

laboratorium voor grondmechanica

delft



stieltjesweg 2
postbus 69
telefoon: (015)-56 92 23*
telex: solab nl 33326
postgiro: 234342
bank: mees en hope nv delft

25/5/78

EROSIEGEVOELIGHEID
VAN KLEIBEKLEDINGEN
VAN DIJKEN.

Nota: 235360/78-05-25



Doel : Onderzoek naar erosiebestendigheid bij snelstromend water over een kleibekleding.

1e Fase : Oriënterend onderzoek in het laboratorium op aantal monsters van bestaande kleibekledingen.

- a) Erosieproeven in een erosietoestel.
- b) Bepaling van kenmerkende eigenschappen van de kleigrond (korrelverdeling, plasticiteitsgrenzen, schuifweerstandseigenschappen).
- c) Nagaan of er relatie bestaat tussen: erosiegevoeligheid bepaald met het erosietoestel en een of meer kenmerkende eigenschappen.

2e Fase : Onderzoek naar effect van grasbegroeiing e.d.

3e Fase : De vaststelling van criteria voor kleibekledingen waarvoor eventueel aanvullend onderzoek noodzakelijk is.

Stand van zaken

De proeven van de 1e fase zijn reeds geruime tijd geleden afgesloten. Het rapport met de bevindingen is nagenoeg gereed en zal binnen enkele weken aan de leden van TAW-werkgroep 4 worden toegezonden.

Voorlopige conclusies

- 1) Op de taluds in werkelijkheid worden watersnelheden verwacht van ca 10 m/s.
- 2) Bij de erosieproeven op de "ongeroderde" kleimonsters is gebleken dat snelle erosie optrad bij aanzienlijk lagere watersnelheden. Dit was voor alle onderzochte monsters het geval. De snelheid van het water in het erosietoestel is niet exact bekend. Het is echter waarschijnlijk dat deze maximaal ongeveer 2 m/s heeft bedragen. De onderzochte monsters zijn gestoken in een zeer droge periode. De monsters waren daardoor over het algemeen brokkelig en zijn in verband hiermee vóór de uitvoering van de erosieproeven gedurende enige tijd onder water onder een voorbelasting gehouden.



Hierdoor zal de macroscopische sterkte mogelijk wat hoger zijn geworden dan in werkelijkheid.

- 3) De correlaties tussen de gemeten erosiegevoeligheid (uitgedrukt in een zgn. Torsiegetal) en een of meer kenmerkende eigenschappen zijn zwak of afwezig.

Er is een geringe tendens dat zandgehalte wel een belangrijke parameter is (zie figuur 3).

Uitvoering erosieproeven

Figuur 1 geeft een schets van het erosietoestel.

Gedurende de proef kan de torsie op het stilstaande monster worden gemeten.

De gewichtsafname van het monster werd telkens na tijdsintervallen van ca 5 min. vastgesteld door een direkte weging in het apparaat. Deze gewichtsvermindering is als functie van de tijd en het uitgeoefende torsiemoment bepaald.

De gewichtsvermindering is uitgedrukt als een relatief getal E:

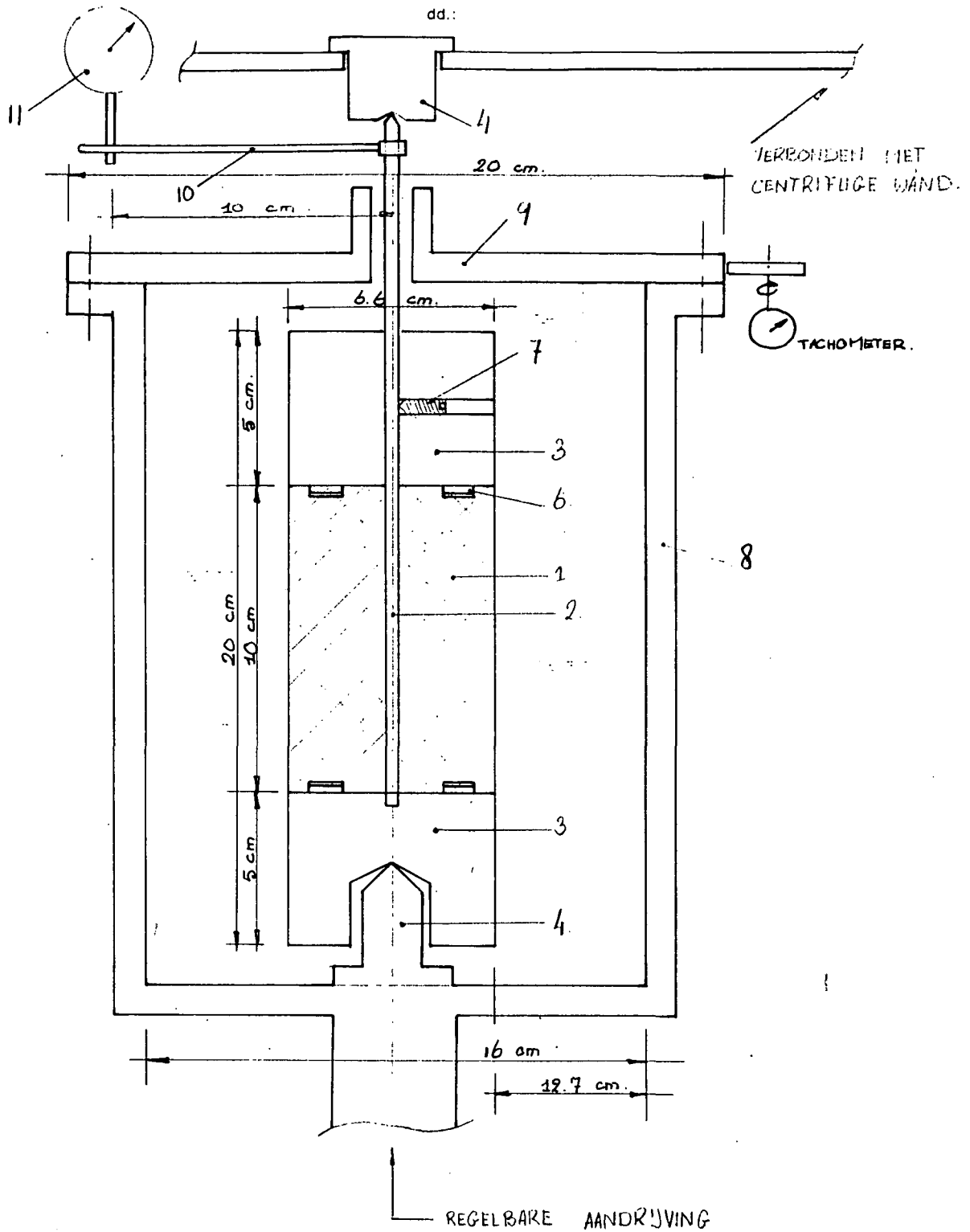
$$E = \frac{\Delta G}{G_{\text{totaal}} - G_{\text{monsterhouder}} + \frac{1}{2}\Delta G}$$

In figuur 2 is een resultaat van een proef in een grafiek uitgezet.

In dit geval de gemiddelde gewichtsvermindering per tijdseenheid bij de verschillende uitgeoefende torsiemomenten.

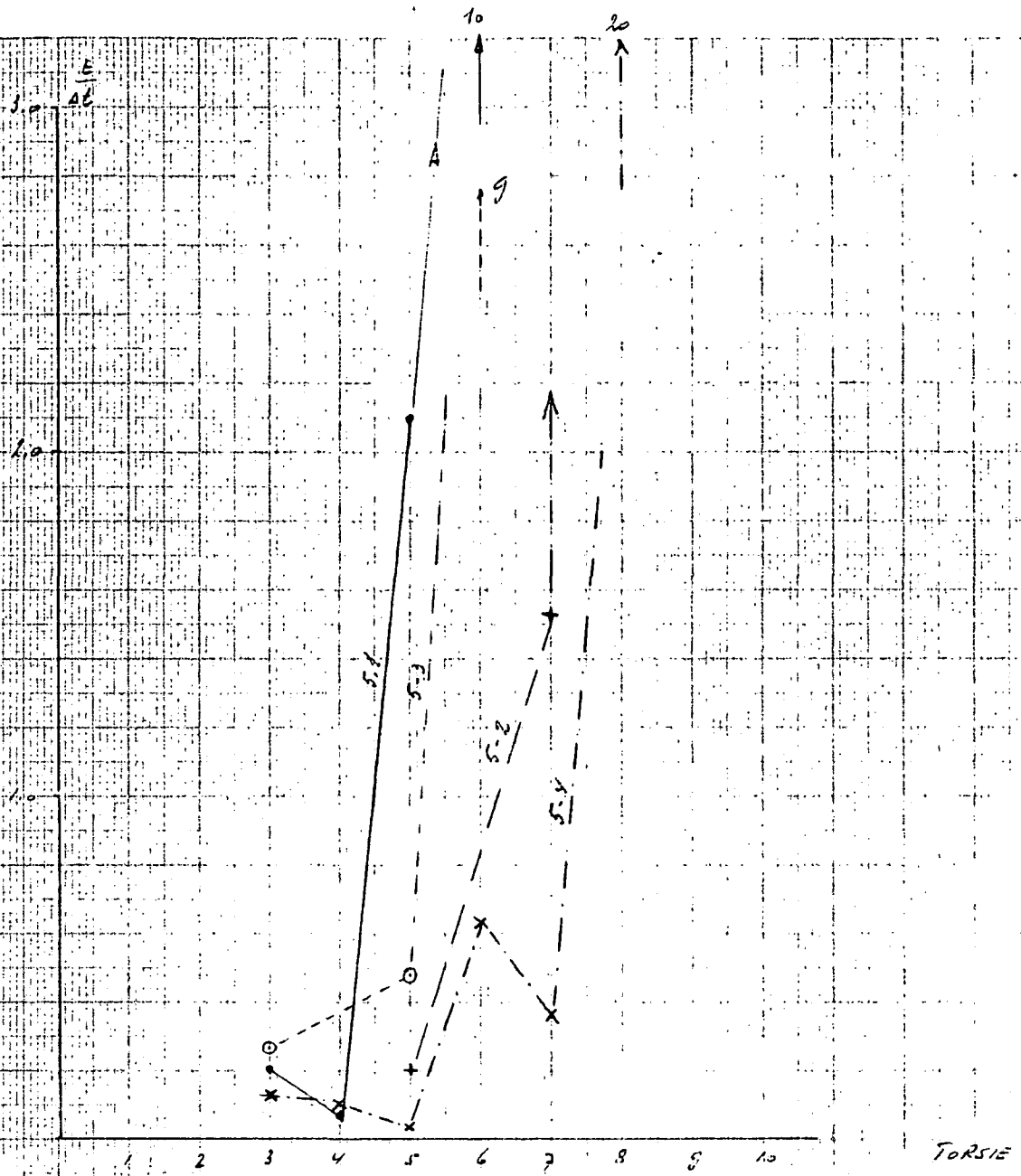
In figuur 3 is het gevonden verband uitgezet tussen torsiemoment waarbij de erosie zeer snel toenam en het percentage zand (> 60µm) van de monsters.

Met de statistische toetsingsmethode van Kendall werd een zwakke significatie van het gevonden verband aangetoond.



LEGENDA :

- 1 = monster
- 2 = pen van de monsterhouder.
- 3 = klossen
- 4 = taatsen
- 6 = mesjes
- 7 = inbusboutje
- 8 = metalen rotor
- 9 = perspex deksel
- 10 = arm om moment over te brengen op torsiemeter (= 11)



mmsteu	P_a	S %
5-1	1.86	95.85
5-2	1.84	90.38
5-3	1.82	90.04
5-4	1.87	89.26

FIGURE 2

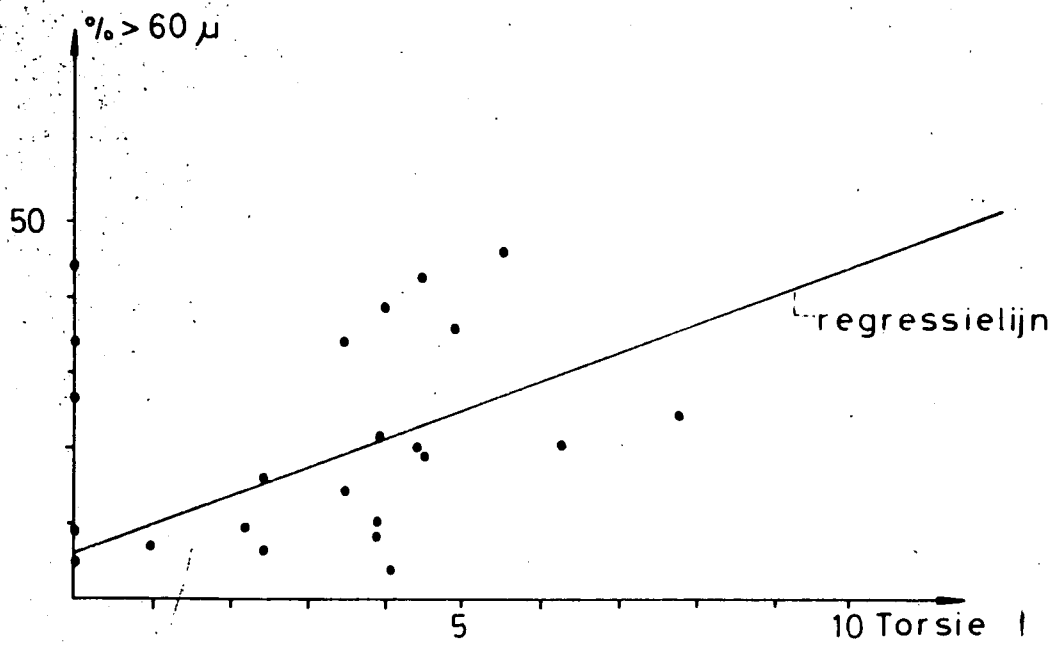


Fig. 3