

OEVERVALLEN IN ZEELAND.OPDRACHT.

Op 5 Januari 1949 werd door de Rijkswaterstaat, Directie Algemene Dienst aan het Laboratorium voor Grondmechanica de opdracht verleend tot het verrichten van een aantal onderzoekingen i.v.m. het door de R.W. ingestelde meer omvattende onderzoek inzake de oevervallen in Zeeland. Deze onderzoekingen zouden zijn:

A. Bestudering van methoden tot het nemen van ongeroerde zandmonsters.

B. Oriënterend onderzoek op geroerd zand uit Zeeland. De kosten zouden een bedrag groot fls. 7.000,-- niet te boven gaan.

Op 16 Februari 1950 werd de opdracht die door ziekte van ir A.W. Koppejan nog niet was uitgevoerd, nader gepreciseerd. A zou omvatten:

a) Het onderzoek naar de mogelijkheid om ongeroerde zandmonsters te steken.

b) Het vervaardigen van een daartoe te gebruiken steekapparaat.

c) Bij negatief resultaat van het onder a) genoemde onderzoek, de mogelijkheid van injectie-methoden na te gaan.

Het voor B benodigde zand, afkomstig uit een boring te Hoofdplaat (Z.Vl.), was intussen te Delft aangekomen. Het onderzoek hierop zou inhouden:

a) Bepaling van het korreldiagram.

b) Bepaling van de kritieke dichtheid.

c) Bepaling van de doorlatendheid bij de beide uitersten van dichtheid.

d) Bepaling van de elastische eigenschappen, in het bijzonder bij geringe wijzigingen van de spanning.

Toegevoegd werden nog C een terreinonderzoek en D een theoretisch onderzoek. Intussen was in December 1949 het onderzoek C reeds uitgevoerd, bestaande uit:

a) Het verrichten van een boring nabij Hoofdplaat (Z.Vl.).

b) Het verrichten van een diepsondering nabij genoemde boring.

Het punt D zou tenslotte omvatten een globale berekening van het verloop der inwendige wrijvingshoek met de diepte, aan de hand der met de diepsonderingen verkregen weerstandsbedragen.

UITVOERING PUNT C.

De uitvoering van een boring en een diepsondering vond in begin December 1949 plaats vlakbij paal 40 aan de binnenzijde van de bandijk in de Hoofdplaatpolder nabij Hoofdplaat (Z.Vl.). Zie bijlage 1. Het resultaat van de boring geeft bijlage 2 aan; van de sondering geeft bijlage 3 de gesommeerde wrijvingsweerstand en bijlage 4 de conusweerstand. De plaats

38?

van de boring was gekozen aan de Westerschelde, waar de rechte dijk een sterke vloed- en ebstroom begrensd, tussen een recente dijkval bij paal 26 (en een dijkbraak bij paal 50. Tussen 15 en 20 m - N.A.P. werd in de boring het gezochte zand gevonden, waarvan het geroerde monster no 80 diende voor de onder B genoemde proeven. Voor de diepsondering liep de wrijvingsweerstand spoedig zo hoog op dat op 11 m - N.A.P. overgegaan moest worden op een vleugelsondering, waarbij alleen nog de conusweerstand gemeten kan worden.

UITVOERING PUNT D.

Een globale rekenwijze van het verloop der inwendige wrijvingshoek met de diepte aan de hand van de met de diepsondering verkregen weerstandsbedragen geeft ir E.E. de Beer aan in zijn publicatie:

"Resultaten van twee diepsonderingen verricht achter den kaaimuur van de visschershaven te Oostende" (Brussel - 1940, Uittreksel van het Tijdschrift der Openbare Werken van België, Juni 1940). De schijnbare inwendige wrijvingshoek wordt aangegeven met de letter φ' . De diepte conusweerstand is $C_{k,d}$, en is een functie van φ' en de korrelspanning σ_k volgens de formule

$$C_{k,d} = 1,3 \cdot \sigma_k \cdot e^{2 \operatorname{tg} \varphi' \cdot \operatorname{tg}^2 (45^\circ + \varphi' \cdot \frac{1}{2})}.$$

Berekenen we de korrelspanning en lezen we uit de grafiek van de diepsondering de conusweerstand af dan is dus φ' te berekenen. De zo berekende waarde van φ' is in bijlage 5 uitgezet tegenover de diepte. De aldus gevonden waarden van φ' blijken vrijwel volledig te liggen tussen de grenzen van 25° en 30° .

UITVOERING PUNT A.

Het monsternemen van zand m.b.v. een steekbus behoorde tot voor kort tot de onmogelijkheden, omdat het zand steeds weer uit de bus viel bij het omhoogtrekken hiervan. De pogingen om deze moeilijkheid te ondervangen resulteerden allen in een apparaat dat sterk geroerde monsters aan de oppervlakte bracht. Het ontwerp van A.W. Bishop (M.A., A.M.I.C.E.) gepubliceerd in Géotechnique, Vol. I, no 2, Dec. 1948: "A new sampling tool for use in cohesionless sands below groundwater level" bracht onderin de boorbuis een cilindrische duikerklok, waarin de monstersteekbus zich bevond. Nadat het monster gestoken is wordt bovenin de steekbus gecomprimeerde lucht toegelaten, totdat het gehele monster capillair is. Dan wordt de monsterbus in de duikerklok opgetrokken en worden klok en steekbus tezamen aan de oppervlakte gebracht. Het LGM vereenvoudigde dit principe door

de duikerklok weg te laten en de monstersteekbus als klok te gebruiken. Om de wrijvingskrachten op te heffen werd boven in de monsterbus tijdens de neerwaartse beweging bij het monstersteken, een onderdruk ingesteld. De grote moeilijkheid was om deze onderdruk precies zo groot te maken dat de buswrijving opgeheven werd.

Bij de proeven werd dus een van boven afgesloten monsterbus met regeling voor over- en onderdruk van de lucht, in zand van een bepaald poriënvolume gedrukt onder gelijktijdige meting van de weerstand bij het indrukken en van de waterspanning in het zandlichaam naast de bus. Van het gestoken monster werden lengte en poriënvolume bepaald. De resultaten van twaalf proeven worden in bijgevoegde tabel I, bijlage 6, gegeven.

Hoewel voor het steken van zandmonsters de daarin vermelde resultaten beter waren dan de tot dusver verkregen uitkomsten, was voor het gestelde doel de te bereiken nauwkeurigheid in het vaststellen van het poriënvolume van het bemonsterde zandpakket niet groot genoeg. De proeven volgens deze methode werden daarom niet voortgezet en er werd overgegaan op punt A.c.

De bevriezingsmethode gaf niet de gewenste resultaten. Hoewel de toepassing in het terrein een vrij omvangrijke apparatuur zal vereisen blijkt de methode der chemische injectie nog de beste. Onderzocht werd de mogelijkheid van injectie met waterglas en zoutzuur in verschillende monsterverhoudingen, waardoor de tijdsduur van de versteviging beïnvloed wordt. Het schijnt mogelijk uit een chemisch geïnjecteerde zandmassa monsters te steken met een normaal steekapparaat. Een proefboring en monstername in het terrein zou nog uitgevoerd moeten worden. Teneinde te verhinderen dat de dichtheid van het zand te zeer wordt beïnvloed door het maken van de boring, zal het noodzakelijk zijn de te injecteren zandmassa uit te breiden tot een voldoende diepte onder de verstoorte zône. Over de omvang van deze zône valt, gezien de uiteenlopende omstandigheden waaronder boringen worden verricht, weinig met zekerheid te zeggen.

UITVOERING PUNT B.

ad a. Bepaling van het korreldiagram.

Van de monsters aangegeven in de boring, bijlage 2, met de nummers 72 tot 84 en 87 zijn korrelverdelingen gemaakt welke in de bijlagen 7, 8, 9 en 10 hierbij gaan.

ad b. Bepaling van de kritieke dichtheid.

De kritieke dichtheidsproeven vonden plaats op zand van het monster 80 uit genoemde boring.

De resultaten worden gegeven in de bijlagen 11 tot 15.

Bijlage 11:

De metingen van de volume-veranderingen werden verricht op 8 zand-prisma's, die aanvankelijk aan een alzijdig gelijke spanning van 0,5 kg/cm² waren onderworpen. De dichtheid van deze prisma's varieerde van $n = 40,2\%$ tot $n = 49,3\%$. De vol. veranderingen werden opgewekt door een toenemend verschil der hoofdspansingen tot aan de grens van het inwendigevenwicht. De bedragen zijn aangegeven in eenheden van volume.

Bijlage 12:

De resultaten zijn hier aangegeven als het bedrag van de grootste volumeverandering t.o.v. de aanvankelijke dichtheid.

Bijlage 13:

Met behulp van de maximale dichtheidsveranderingen werden de alsdan optredende dichtheden aangegeven t.o.v. de resp. aanvankelijke dichtheden.

Bijlage 14:

Bij iedere proef afzonderlijk werd het verloop van de deformaties met toenemend hoofdspansingsverschil, uitgedrukt in de karakteristieke deformatie-grootte, aangegeven t.o.v. de uit het hoofdspansingsverschil afgeleide schijnbare hoek van inwendige wrijving.

Bijlage 15:

Deze grafische voorstelling geeft het verband tussen de aanvankelijke dichtheid en de bij iedere proefneming bepaalde optimale waarde van de schijnbare hoek van inwendige wrijving.

ad c. Bepaling van de doorlatendheid bij de beide uitersten van dichtheid.

De gevonden k-waarden geven we in bijgaande tabel II, bijlage 16.

ad d. Bepaling van de elastische eigenschappen, in het bijzonder bij geringe wijzigingen van de spanning.

Uit de gegevens van de boring (bijlage 2) werd berekend dat de verticale spanning in de terreinlaag van het zandmonster 81 ongeveer 2 kg/cm² bedraagt. Daar de dwarsdoorsnede van de proefcilinders een oppervlak van ongeveer 33 cm² hebben gekregen werd de statische belasting bepaald op 65 kg. Bij deze belasting werden twee proefcilinders uit het zand van monsters 81 gemaakt - één met losse en één met vaste pakking, \varnothing 6,6 cm en hoog 15 cm, onderworpen aan een sinusvormige wisselbelasting met

een amplitude van 3 kg totaal of ongeveer 0,9 kg/cm².

Het losgepakte monster had een watergehalte van 17,6% en een poriënvolume van 48,4%. Dit monster werd 2800 maal aan een belastingsvariatie onderworpen.

Het vastgepakte monster had een watergehalte van 13,7% en een poriënvolume van 41,9%. Dit tweede monster werd 9440 maal belast en ontlast.

De resultaten van deze proefnemingen zijn uitgezet op bijlage 17, waarop de zetting van de monsters is aangegeven in mm, zoals deze bij een toename van het aantal belastingswisselingen verandert.

Uit het verloop van de grafische voorstelling van bijlage 17 blijkt, dat de zetting van het zandprisma met het aantal belastingswisselingen toeneemt. De zetting per belastingswisseling neemt echter met het verloop van de tijd af.

Uit deze gegevens van de proeven dient nu te worden berekend de orde van grootte der samendrukkingsconstante, zoals deze zich met verloop van de tijd wijzigt.

De E van een metaal bijvoorbeeld, wordt gevonden door de spanning te delen door de daarbijbehorende relatieve rek. Bij zanden is het niet wel mogelijk op geheel dezelfde wijze E te berekenen. We gaan daarom hier uit van een gelijke formule, maar met gewijzigde betekenis der factoren:

$$\frac{\Delta Z}{h} = \frac{\sigma_a}{E}$$

waarin:

ΔZ = de zakking na één wisseling der toegevoegde belasting;

h = hoogte monster = 15 cm;

σ_a = het amplitudo der belastingsvariatie = 0,9 kg/cm².

Voor de berekening wordt de formule:

$$E = \frac{\sigma_a \cdot h \cdot n}{\sum \Delta Z}$$

waarin n het aantal wisselingen waarover ΔZ gesommeerd wordt.

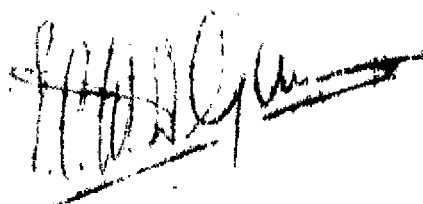
We vinden dan voor

vastgepakt	zand	bij 3000 maal bel. variatie	E = 5.000.000	kg/cm ²
"	"	" 9000 "	E = 8.000.000	"
"	"	van 7000 tot 9000 "	E = 9.000.000	"
losgepakt	"	bij 2800 maal "	E = 2.500.000	"

JSt/KL

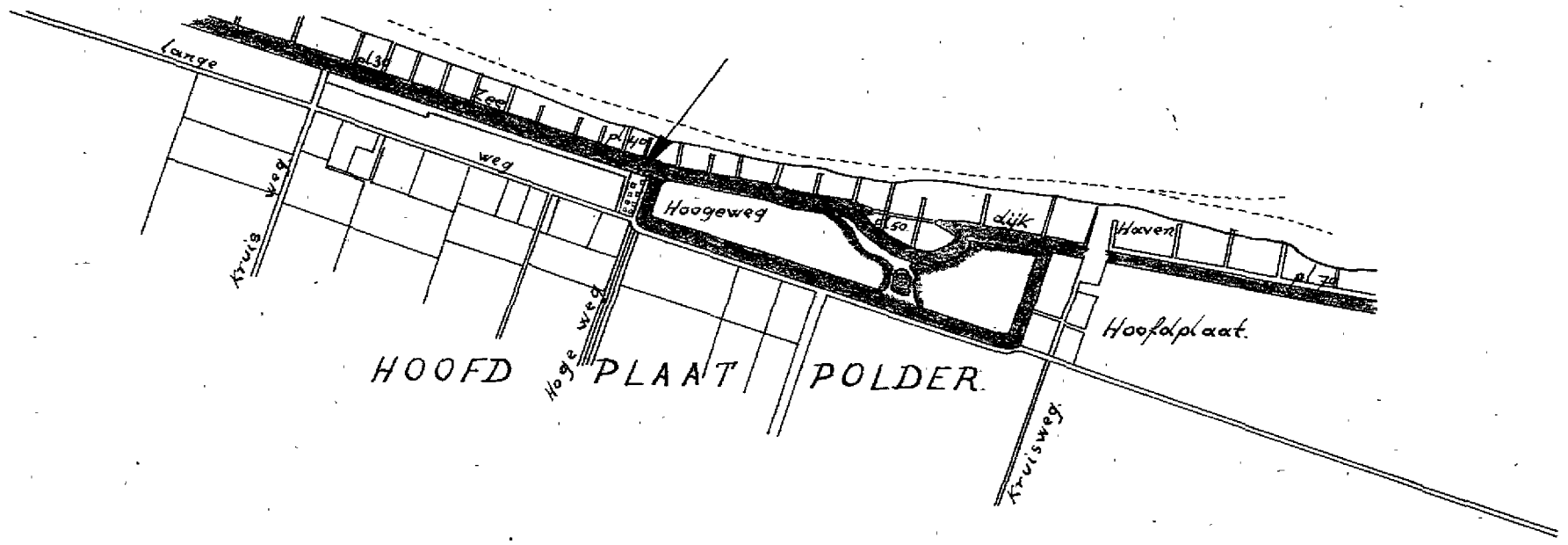
Delft, September 1951.

De waarnemende directeur van het
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA
prof. ir E.C.W.A. Geuze



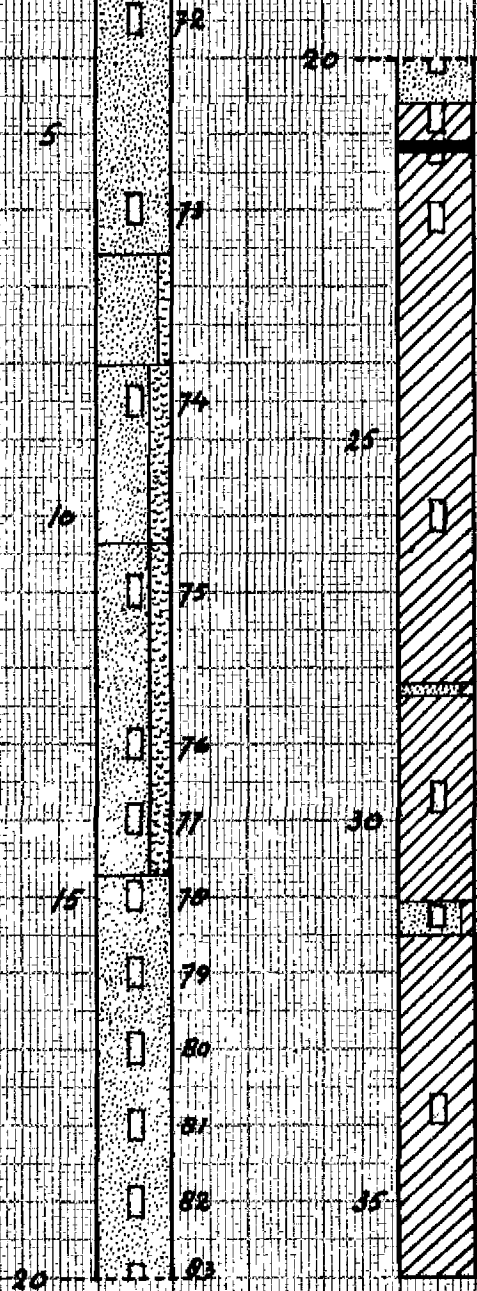


Schaal 1:25000.



MW=150 cm

NAP



VERSTEENDE LAAG

- BEROERD MONSTER
- ▨ ZAND
- ▩ GRIND
- ▧ KLEI
- ▨ SCHELPEM
- ▩ KOOLAS

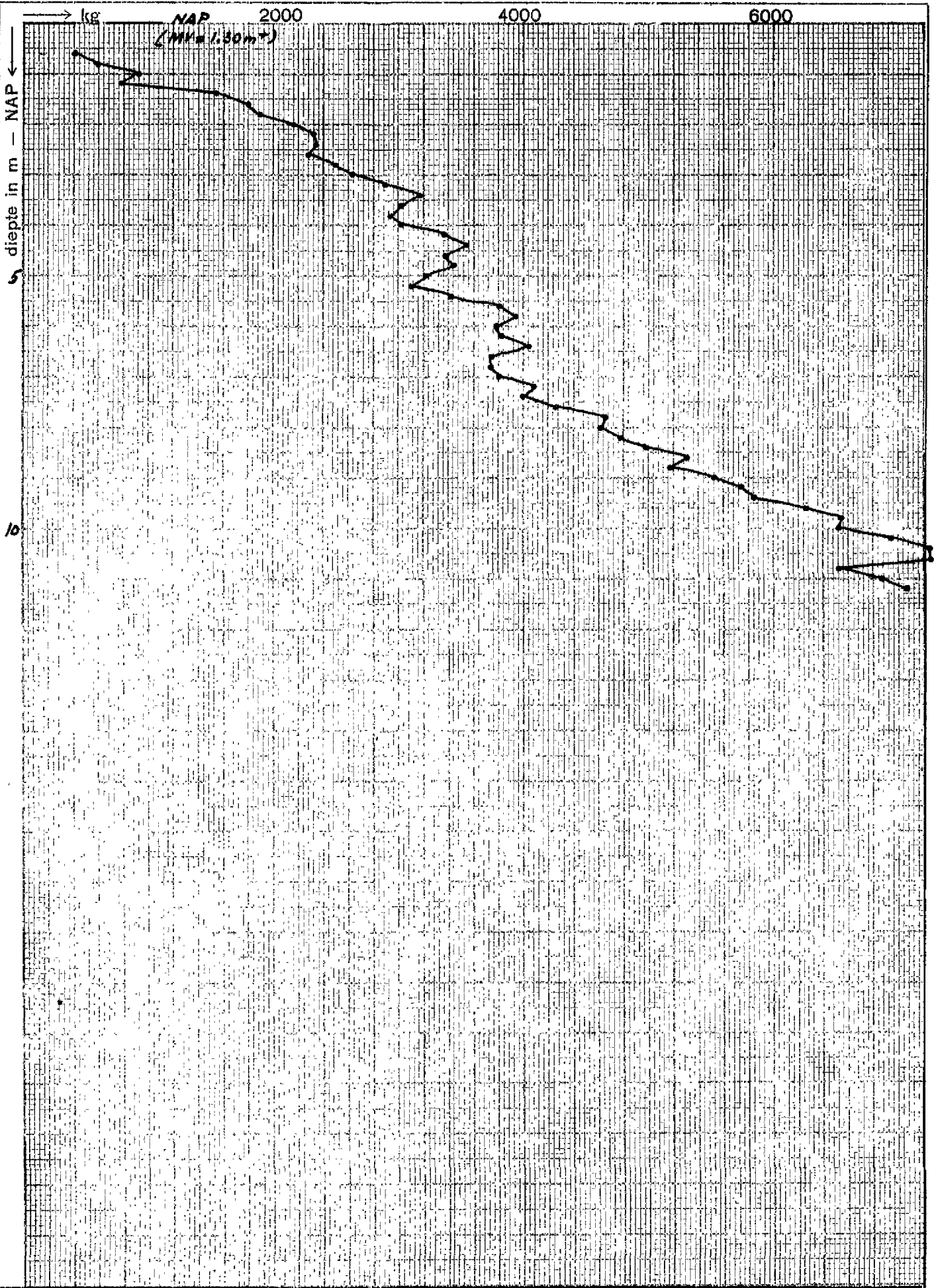
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELEFT

BORING TE HOOFDPLAAT

19-11-49
A. A. J.

BIJLAGE 2

1540-8



LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT

DIEPSONDERING: 6014-1540-1 TE HOOFDPLAAT

No. OPORACHTGEVER:

GESOMMEERDE WRIJVINGS-WEERSTAND

d.d. 9-12-49

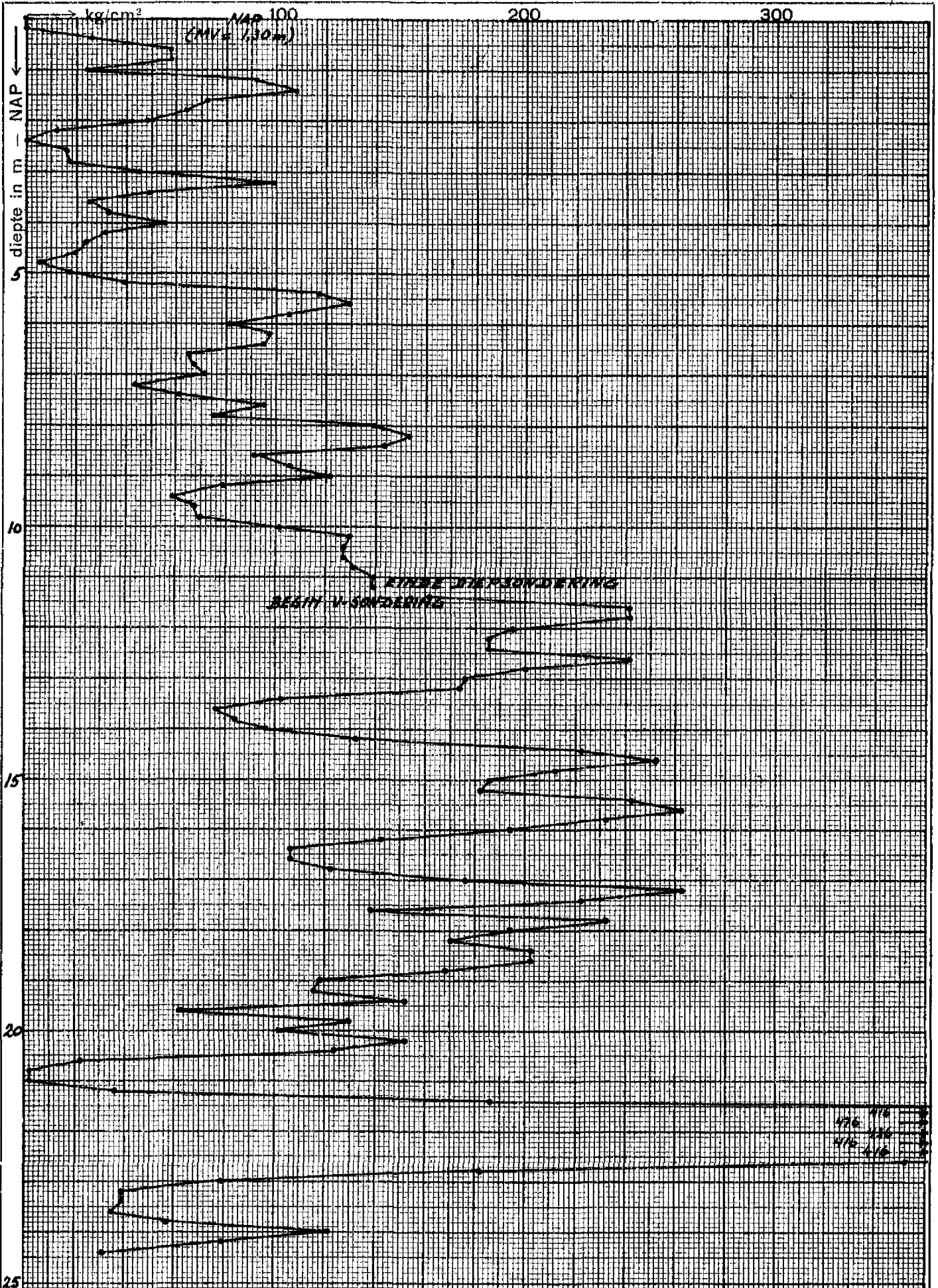
17.12.49

7-11

BIJLAGE-3

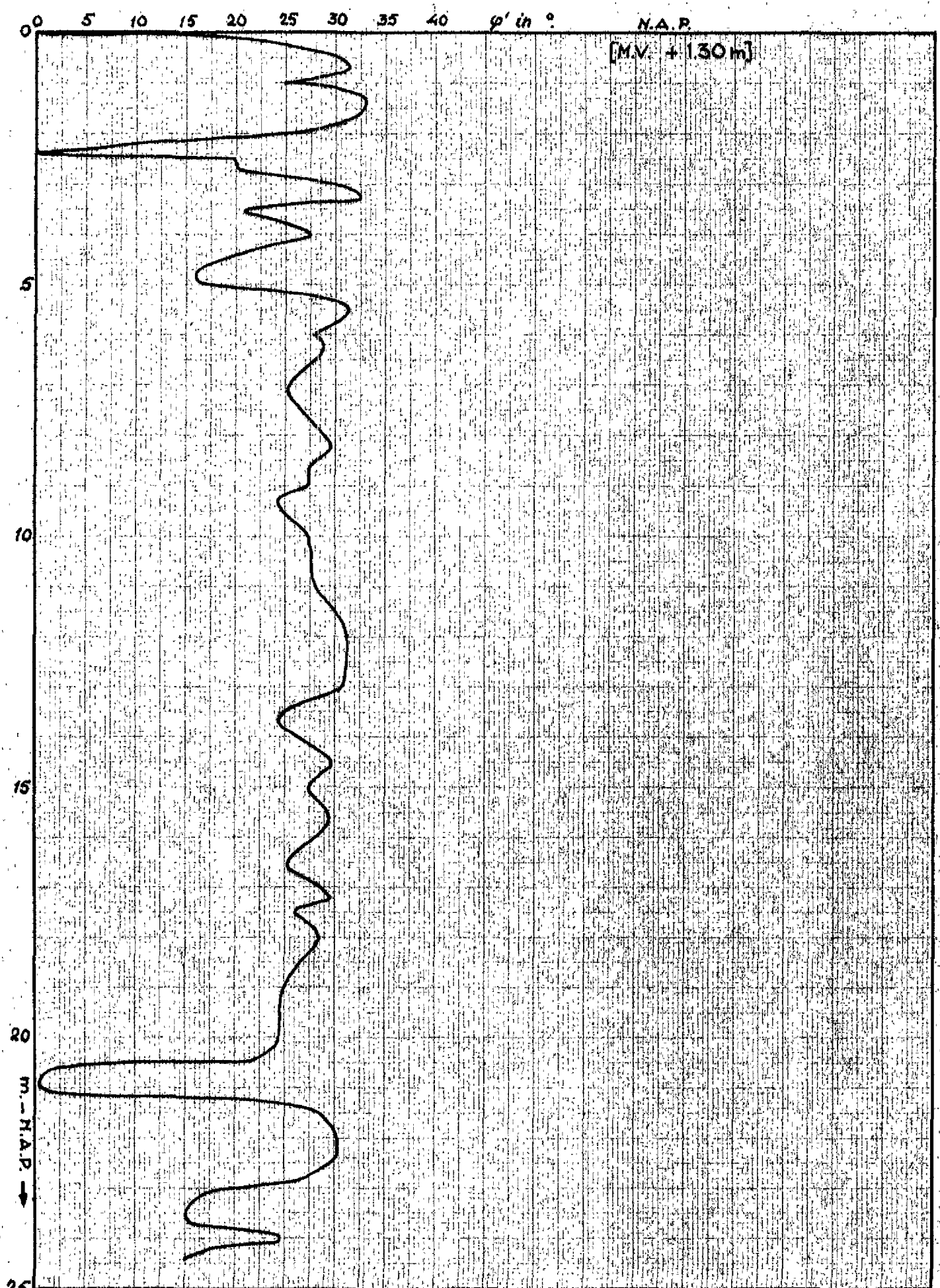
A 4

1540-7



LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT

DIEPSONDERING: 6014-1540-1	DE HOOFDPLAAT	203	7-1	BIDLAGE 4
NR. OPDRACHTGEVER:		0724		
CONUSWEERSTAND	d.d. 9-10-49	A.S.		1540-7



LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT

OEVERVALLEN IN ZEELAND.

VERLOOP VAN ϕ' MET DE DIEPTE.

<i>18</i> 14.3.30	BULAGE 5
A4	1540-13

Tabel I, bijlage 6.

Proefresultaten.

No	Oorspr. por. vol. in %	Por. vol. in monsterbus in %	Versch. in %	Zand opp. in de bus t.o.v. het vat in cm	Zakking van opp. in de bus door trekken in cm	Max. water sp. in om water	Monst. lengte in cm	Kracht op bus in kg
14	42,0	40,9	- 1,1	- 0,45	0,0	0,2	19	
15	42,5	41,3	- 1,2	- 0,1	0,0	0,2	19	
16	41,9	41,8	- 0,1	niet gemeten	0,0	0,3	17,5	
17	41,3	43,3	+ 2,0	0,0	0,0	0,4	17,9	
18	40,9	42,5	+ 1,6	- 0,3	omhoog 0,3	0,3	17,4	
19	38,8	46,8	+ 8,0	0,0	omhoog 0,1	0,0	13,0	
20	41,6	42,4	+ 0,8	- 0,5	0,0	0,1	16,7	
21	40,3	40,5	+ 0,2	0,0	omhoog 0,2	0,4	11,1	
22	39,3	60,8 en 42,7	--	+ 0,3	0,3	0,2	26,9	
23	37,3	37,5	+ 0,2	+ 0,1	uitgegraven	0,0	11,5	19
24	38,8	37,3	- 1,5	- 0,05	"	0,0	12,1	18
25	39,1	37,5	- 1,6	+ 0,05	"	0,0	10,4	8

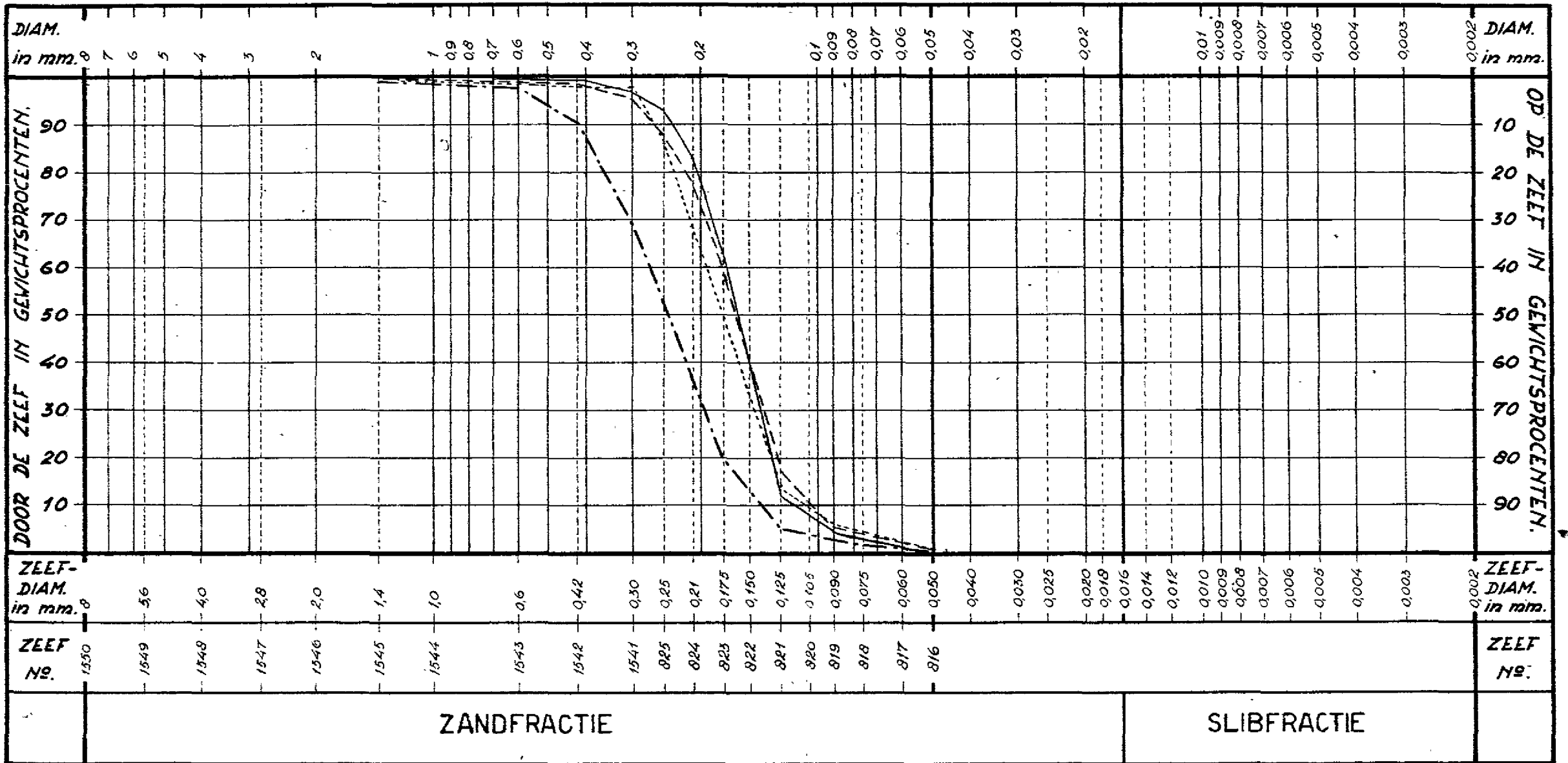
Opmerkingen:

No 19 de grote verschillen zijn onverklaarbaar.

No 22 in monster zijn holten ontstaan,
(door te grote onderdruk?)

No 23 t/m 25 iets andere methode.

De aflezing van de lengte monster in monsterbus eist grote nauwkeurigheid. Een aflezing met een fout van 3 mm geeft een fout van 1% in het por. vol.



LOG. EENHEID = 8 cm

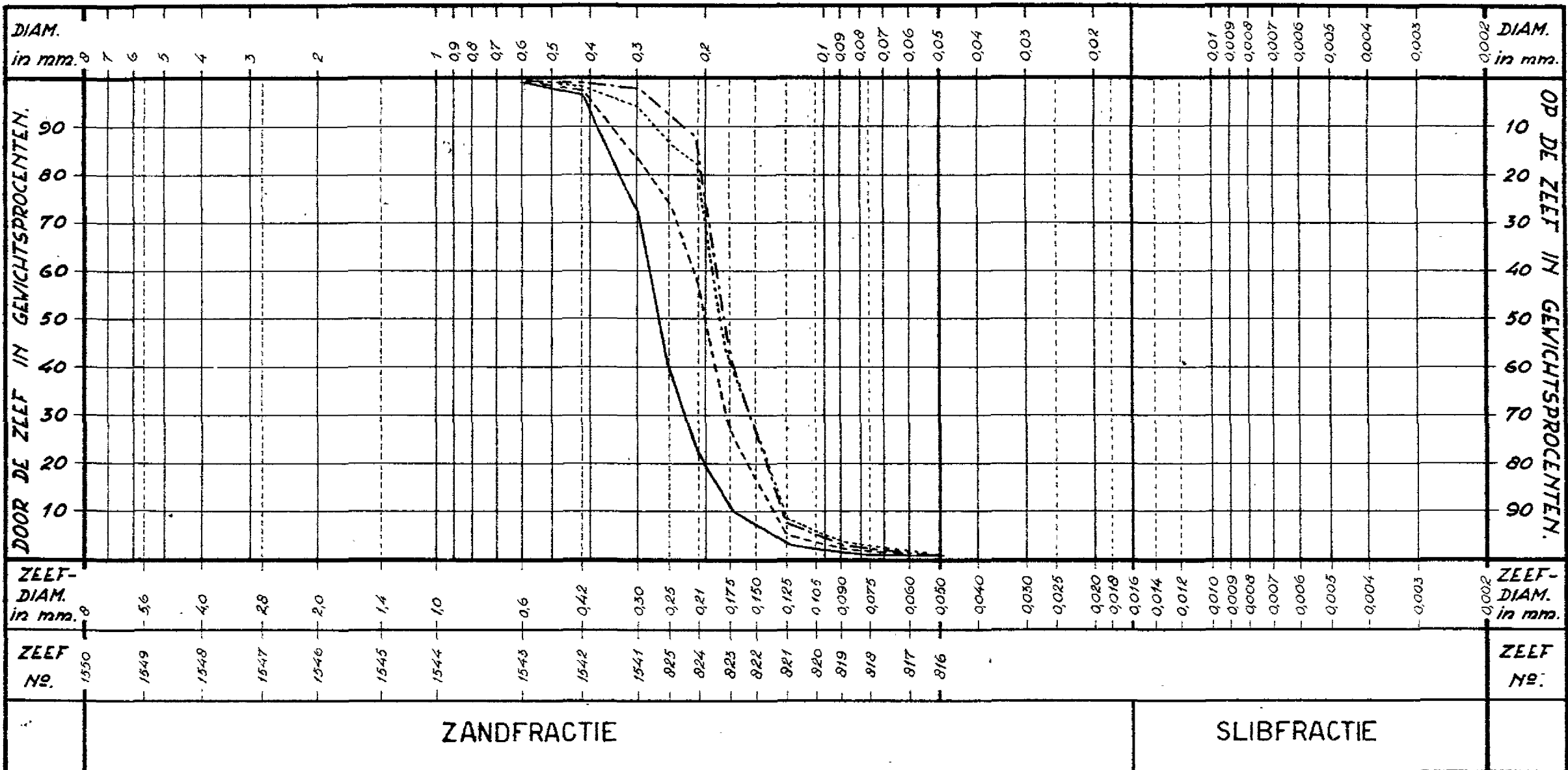
_____ MONSTER n^o 1540-72
 - - - - - " n^o 1540-73
 " n^o 1540-74
 - - - - - " n^o 1540-75

LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT.

OEVERVALLEN IN ZEELAND.

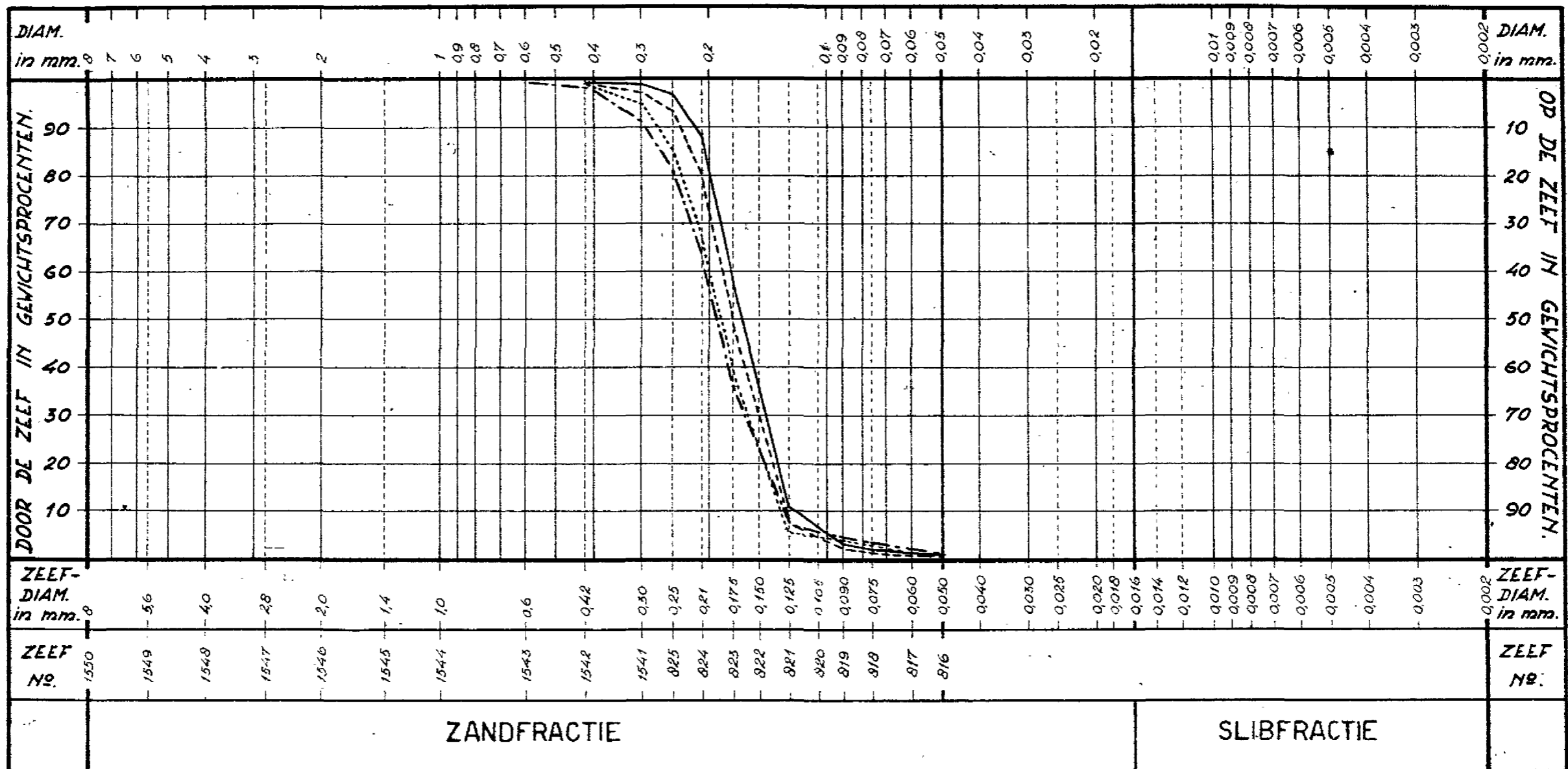
KORRELVERDELINGSDIAGRAM.

Gr. N ^o 30	BJLAGE 7
30-40	S1540-9



LOG. EENHEID = 8 cm

——— MONSTER n^o 1540-76
 - - - - - " n^o 1540-77
 ······ " n^o 1540-78
 - - - - - " n^o 1540-79



LOG. EENHEID = 8 cm

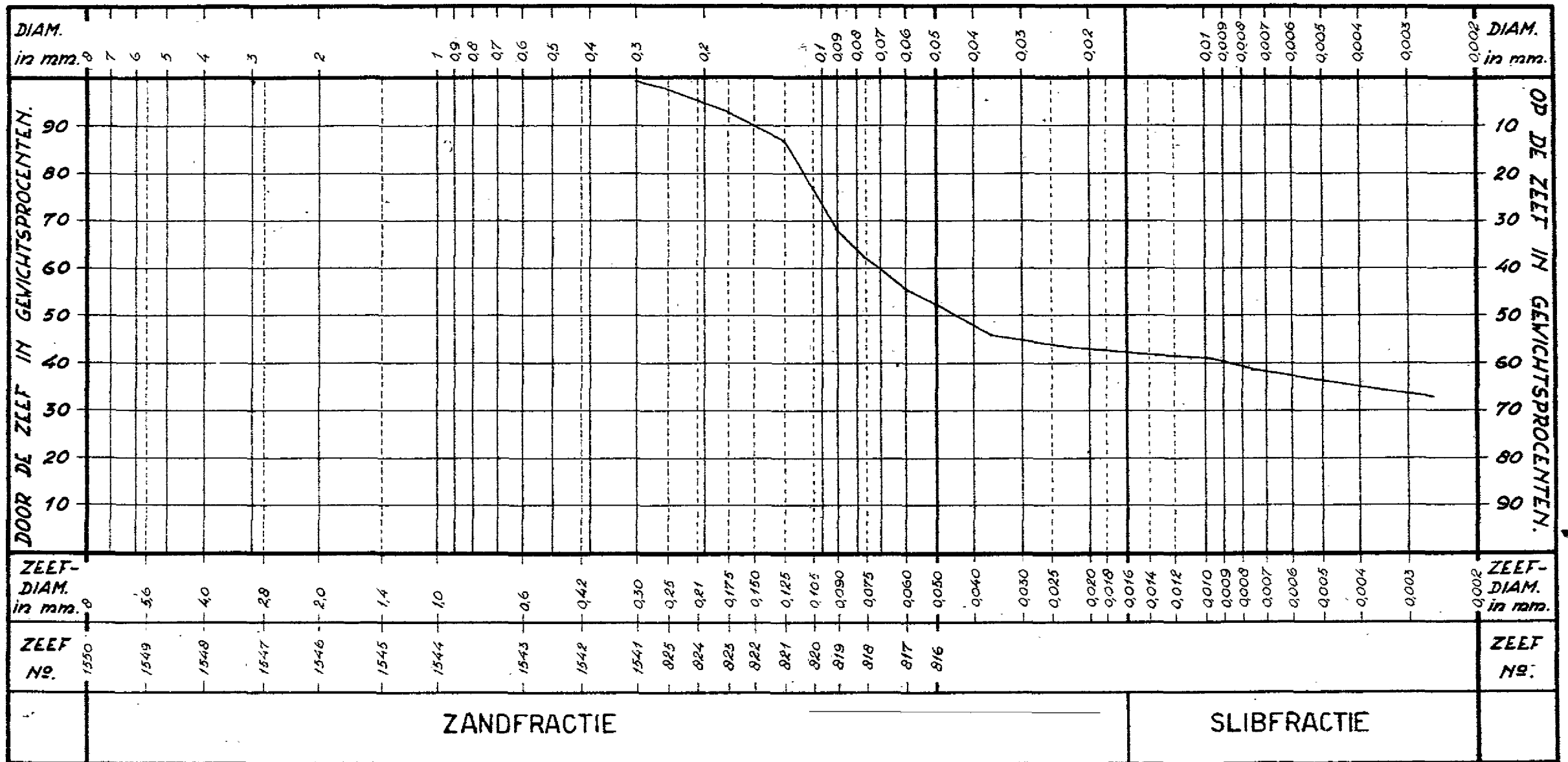
- MONSTER n^o 1540-80
- - - - - " n^o 1540-81
- " n^o 1540-82
- - - - - " n^o 1540-83

LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT.

OEVERVALLEN IN ZEELAND.

KORRELVERDELINGSDIAGRAM.

G&M 5%	BULAGE 9
30-40	S1540-11
	Y6

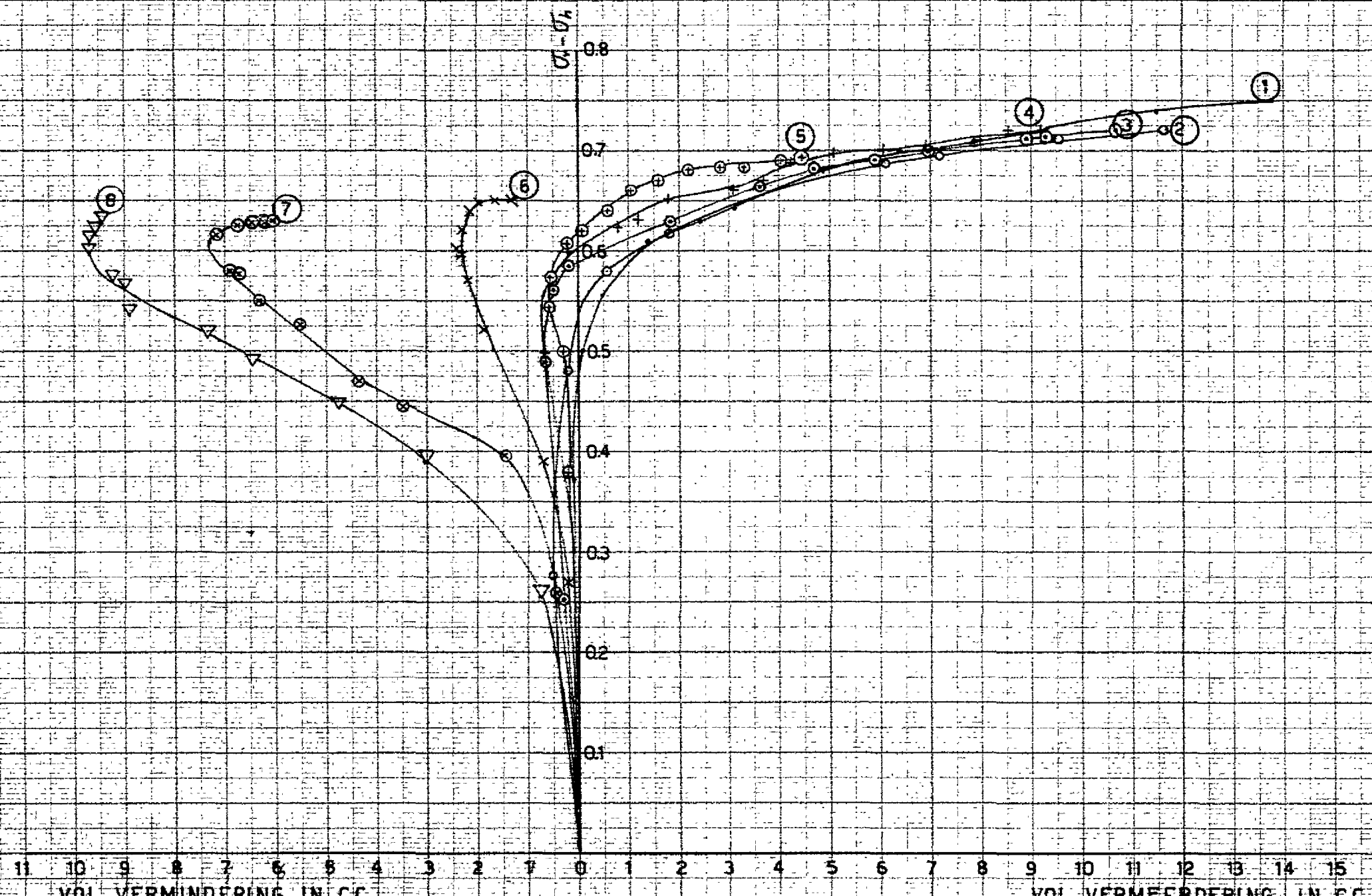


LOG. EENHEID = 8 cm

MONSTER n^o 1540-87

LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT.
 OEVERVALLEN IN ZEELAND.
 KORRELVERDELINGSDIAGRAM.

Ged. M.F.S.
 30-40
 BIJLAGE 10
 S1540-12.
 1/6



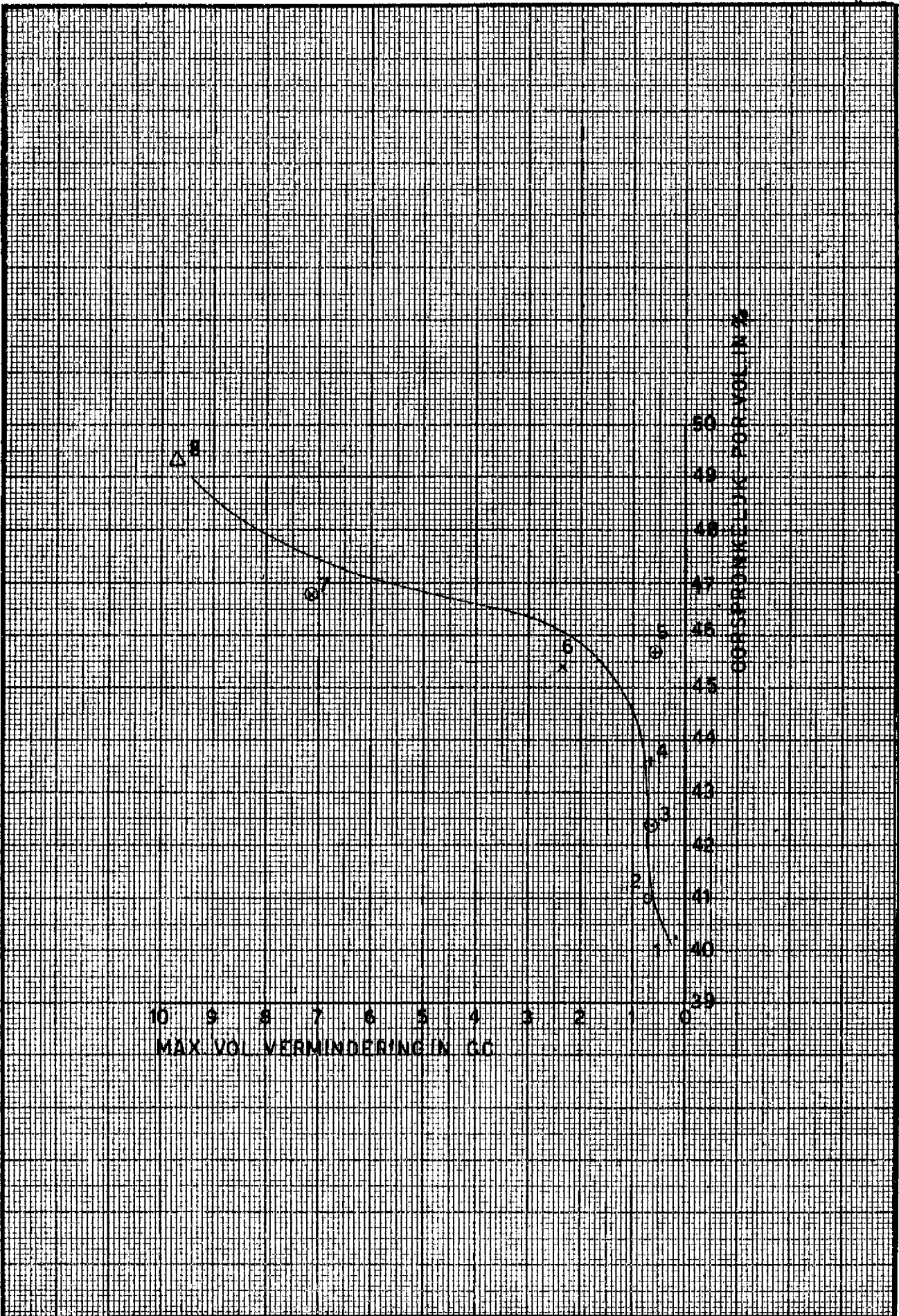
11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
 VOL. VERMINDERING IN CC. VOL. VERMEERDERING IN CC.

- 1 - 402 %
- 2 ○ 410 %
- 3 ⊙ 424 %
- 4 + 436 %
- 5 ⊕ 459 %
- 6 × 453 %
- 7 ⊗ 469 %
- 8 ∇ 493 %

LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT
 OEVERVALLEN ZEELAND
 VERBAND TUSSEN VOL. VERANDERING EN $\sigma_v - \sigma_h$

$\frac{B_1}{16/30}$
 $\frac{30x}{40}$

BIJLAGE 11
 1540-14-V



LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT

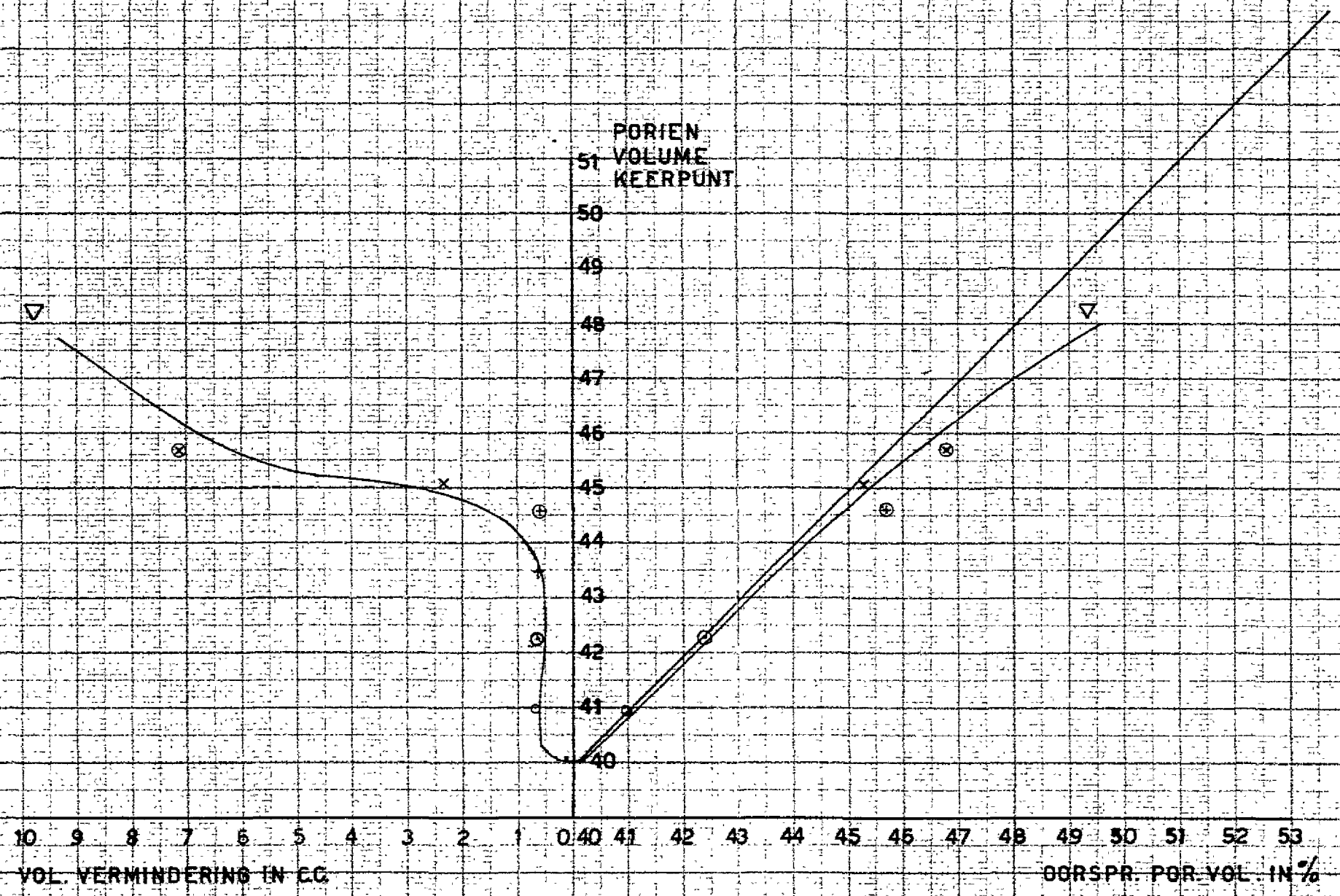
OEVERVALLEN ZEELAND
 VERBAND TUSSEN POR.VOL. EN
 MAX. VOL.VERMINDERING

24-
11/50

A₄

BIJLAGE 12

1540-16

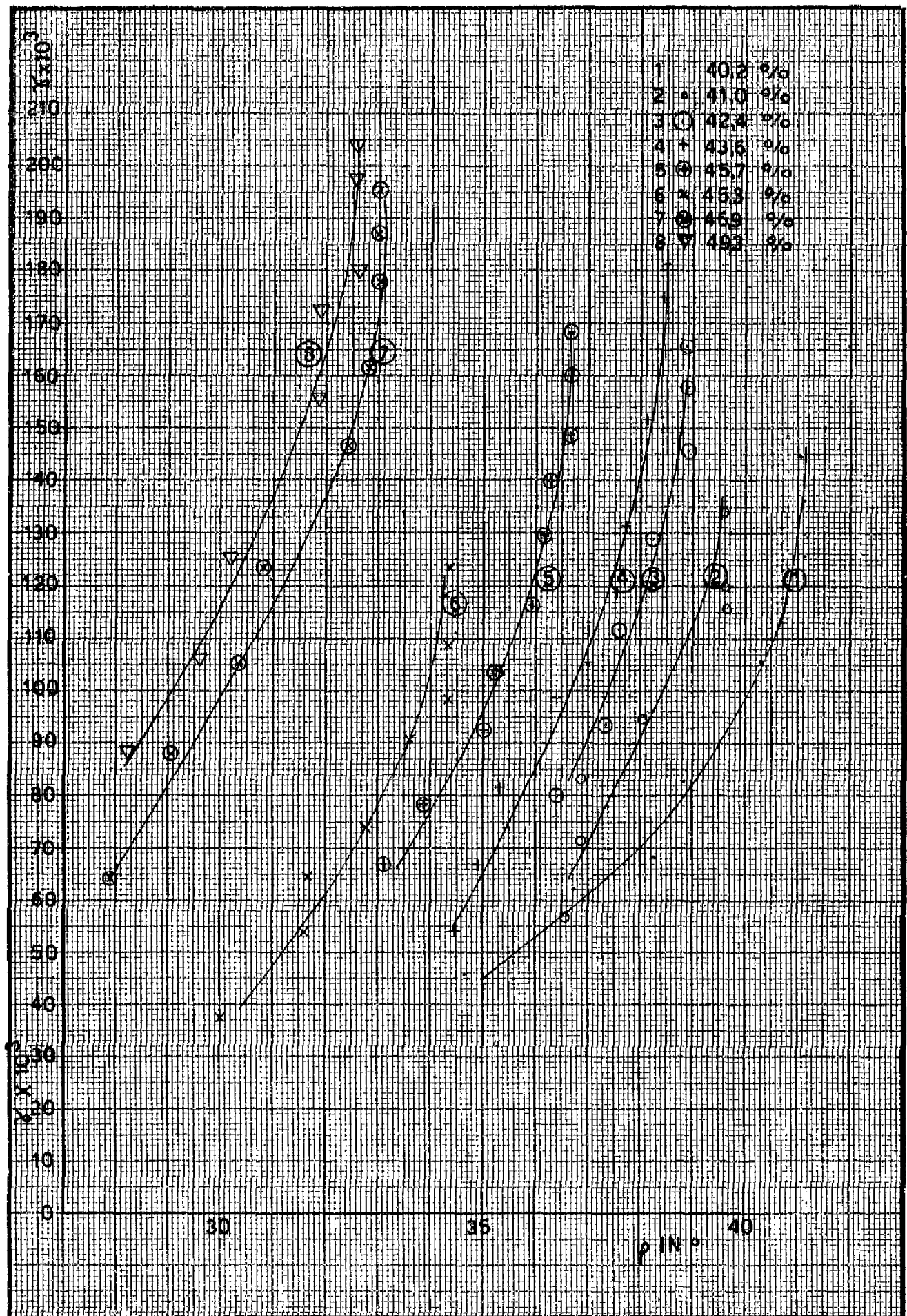


LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT

OEVERVALLEN ZEELAND
 VERBAND TUSSEN VOL. VERMINDERING,
 OORSPR. POR. VOL. EN POR. VOL. KEERPUNT

27
 11/50
 30x
 40

BIJLAGE: 13
 1540-17



LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT

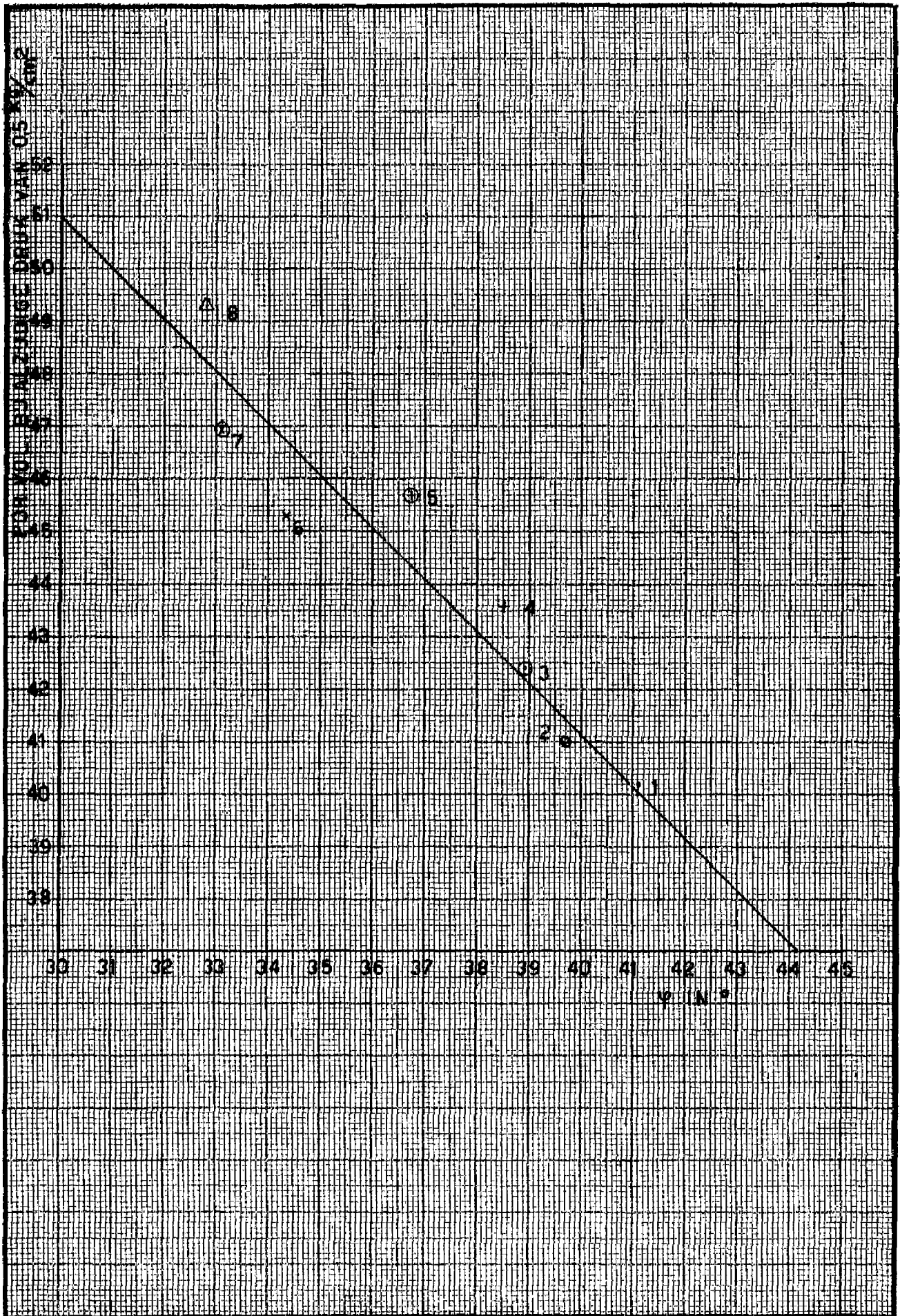
OEVERVALLEN ZEELAND
 VERBAND TUSSEN α EN φ

B.V.
 14/54

BIJLAGE 14

A4

1540-15



LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT

OEVERVALLEN ZEELAND

VERBAND TUSSEN POR.VOL. EN ψ

B.F.
17/50

BIJLAGE 15

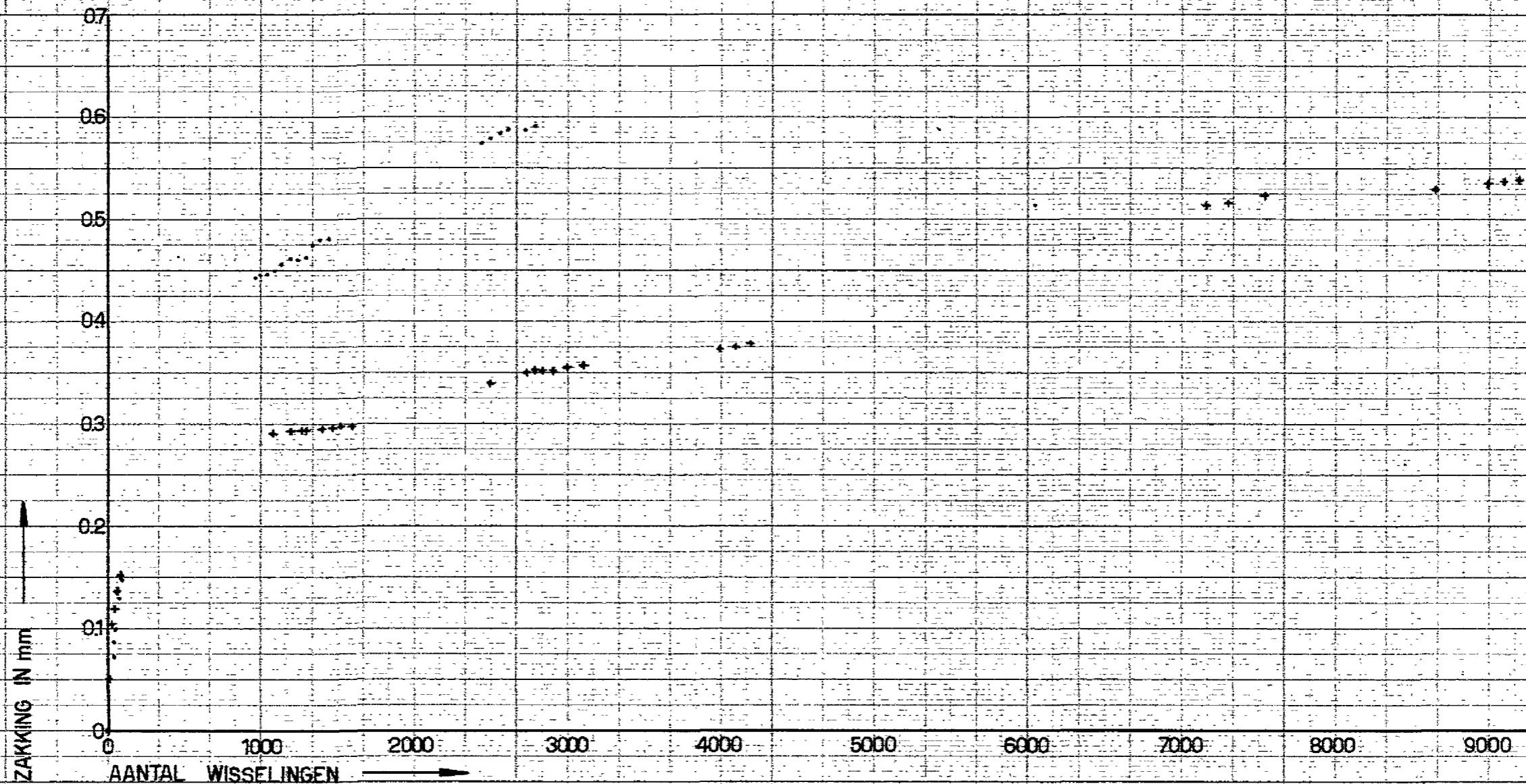
A4

1540-18

Tabel II, bijlage 16.

Bepaling der k-waarde.

Mon- ster no	Por. vol.	Berekende waarden			Gemiddelde k-waarde
75	43 %	$1,06 \times 10^{-2}$	$1,32 \times 10^{-2}$	$1,17 \times 10^{-2}$	$1,18 \times 10^{-2}$
	38,5%	$7,98 \times 10^{-3}$	$6,74 \times 10^{-3}$	$7,27 \times 10^{-3}$	$7,33 \times 10^{-3}$
76	44,9%	$2,98 \times 10^{-2}$	$2,58 \times 10^{-2}$	$2,75 \times 10^{-2}$	$2,77 \times 10^{-2}$
	40,7%	$1,58 \times 10^{-2}$	$1,62 \times 10^{-2}$	$1,53 \times 10^{-2}$	$1,58 \times 10^{-2}$
79	46 %	$1,75 \times 10^{-2}$	$1,68 \times 10^{-2}$	$1,69 \times 10^{-2}$	$1,71 \times 10^{-2}$
	42,2%	$8,19 \times 10^{-3}$	$8,78 \times 10^{-3}$	$8,42 \times 10^{-3}$	$8,46 \times 10^{-3}$
80	39,7%	$1,26 \times 10^{-3}$	$1,50 \times 10^{-3}$	$1,38 \times 10^{-3}$	$1,38 \times 10^{-3}$
	31,2%	$1,00 \times 10^{-3}$	$1,01 \times 10^{-3}$	$1,01 \times 10^{-3}$	$1,01 \times 10^{-3}$
82	44,9%	$2,07 \times 10^{-2}$	$1,81 \times 10^{-2}$	$1,91 \times 10^{-2}$	$1,93 \times 10^{-2}$
	39,6%	$8,18 \times 10^{-3}$	$8,67 \times 10^{-3}$	$8,43 \times 10^{-3}$	$8,43 \times 10^{-3}$



ZAND VAN HOOFDPLAAT S0 1540 MONSTER N° 81

++++ VASTE PAKKING
 WATERGEHALTE 13.7 PORIENVOLUME 41.9
 STATISCHE BELASTING 65 kg
 AMPLITUDE 3 kg
 9140 WISSELINGEN IN 8640 MINUTEN
 Ø MONSTER 6.6 cm
 HOOGTE MONSTER BIJ DE AANVANG 15 cm

.... LOSSE PAKKING
 WATERGEHALTE 17.6 PORIENVOLUME 48.4
 STATISCHE BELASTING 65 kg
 AMPLITUDE 3 kg
 2800 WISSELINGEN IN 2750 MINUTEN
 Ø MONSTER 6.6 cm
 HOOGTE MONSTER BIJ DE AANVANG 15 cm

LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELET

OEVERVALLEN IN ZEELAND

VERBAND TUSSEN ZAKKINGEN EN WISSELINGEN VAN DE BELASTING

17.4/31
 30/40

BIJLAGE 17

1540-20