

STROOMBESTENDIGHEID
SLUITGATDREMPEL

IV

STABILITEIT LOS MATERIAAL ACHTER
EEN DAM MET BREDE KRUIN

RAPPORT MODELONDERZOEK

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
DELFT M 711

M 711 4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM.

Stroombestendigheid sluitgatrempel.

Deel IV.

Stabiliteit los materiaal achter een dam met brede kruin.

Rapport modelonderzoek.

M 711.
juni 1966.

INHOUD.

	blz.
<u>1. Inleiding en opdracht</u>	1
<u>2. Opzet van het onderzoek</u>	
2.1. Eisen	2
2.2. De meetopstelling	3
2.3. Meetmethode	6
2.3.1. Inleiding	6
2.3.2. Bepaling van het "begin van beweging"	7
2.3.3. Bepaling van de snelheidsverdeling	9
2.3.4. Bepaling van de waterstand	10
2.3.5. Bepaling van de turbulentie	10
2.3.6. Bepaling van de schuifspanning	10
2.3.7. Bepaling van de plaats en de mate van aantasting	11
<u>3. Metingen</u>	
3.1. Overzicht van de proeven	12
3.2. Beschrijving van de proeven	12
3.3. Meetresultaten	13
3.4. Nadere beschouwing van de meetresultaten	14
3.4.1. Bepaling van de invloed van de kruinbreedte op het stroombeeld benedenstrooms van de dam	14
3.4.2. Bepaling van de invloed van de ruwheid van de dam op het stroombeeld benedenstrooms van de dam	15
3.4.3. Bepaling van de reproduceerbaarheid van de proeven	16
3.4.4. Het critieke debiet als criterium voor de stromings- weerstand van stenen achter een dam	17
3.4.5. Schaaleardeffect	17
3.4.6. Dimensie-analyse	18
3.4.7. Het verband tussen $\frac{q_{cr}}{h\sqrt{\Delta g d_n}}$, $\frac{h}{d_n}$, $\frac{h}{D}$, $tg \alpha$ en Δ	20
3.4.8. Het verband tussen $\frac{q_{cr}^2}{\Delta g d_n^3}$, $\frac{h}{d_n}$, $\frac{h}{D}$, $tg \alpha$ en Δ	21

3.4.9. Het verband tussen $\frac{q_{cr}^2}{\Delta g d_n^3}$, $\frac{h_2}{d_n}$, $\frac{h_2}{D}$, $\text{tg } \alpha$ en Δ	22
3.4.10. Bepaling van de afvoercoëfficiënten	23
3.4.11. Beschouwing van de berekende schuifspanning	24
<u>4. Conclusies</u>	25

FIGUREN.

1. Overzicht meetopstelling proefserie I (T1 tot en met T14).
2. Schema van de opbouw van een dam in proefserie I.
3. Overzicht meetopstelling proefserie II (T15 tot en met T18).
4. Overzicht meetopstelling proefserie II (T19 tot en met T38).
5. Schema van de opbouw van een dam in proefserie II.
6. Gewichtsanalyse basaltslag op en voor de dam.
7. Zeefanalyse basaltslag op en voor de dam (1^o methode).
8. Zeefanalyse basaltslag op en voor de dam (2^o methode).
9. Gewichtsanalyse onderzochte steenslag achter de dam.
10. Zeefanalyse onderzochte steenslag achter de dam (1^o methode).
11. Zeefanalyse onderzochte steenslag achter de dam (2^o methode).

Snelheidsverdeling, waterstandsverloop, erosie, schuifspanning;
snelheidsverticalen.

12 t/m 39. T1 t/m T14.

40. Invloed van de kruinbreedte op het critieke debiet.
41. Invloed van de ruwheid van de dam op het critieke debiet.

Snelheidsverdeling, waterstandsverloop, erosie, schuifspanning;
snelheidsverticalen.

42 t/m 89. T15 t/m T38.

90. Gewichtsanalyse van de verplaatste stenen.
91. Verband tussen $\frac{q_{cr}}{h \sqrt{\Delta g d_n}}$, $\frac{h}{d_n}$, $\frac{h}{D}$, $tg \alpha$ en Δ
92. Verband tussen $\frac{q_{cr}^2}{\Delta g d_n^3}$, $\frac{h}{d_n}$, $\frac{h}{D}$, $tg \alpha$ en Δ
93. Verband tussen $\frac{q_{cr}^2}{\Delta g d_n^3}$, $\frac{h_2}{d_n}$, $\frac{h_2}{D}$, $tg \alpha$ en Δ
94. Waarden van τ_{12} voor $tg \alpha = 1/2$.
95. Waarden van τ_{12} voor $tg \alpha = 1/8$.
96. Overzicht van de onderzochte dammen.

TABELLEN.

- I. Overzicht van de proeven van proefserie I.
- II. Overzicht van de proeven van proefserie II.

LIJST VAN GEBRUIKTE SYMBOLEN.

	dimensie
d = korreldiameter welke door 50 gewichtsprocenten van het materiaal wordt overschreden.	[m]
d' = korreldiameter welke door 50% van het totaal aantal stenen wordt overschreden.	[m]
d ₅₀ = de mediaan van de korrelverdeling. Deze is bepaald als de diameter van een bol waarvan het gewicht door 50% van het totale aantal stenen wordt overschreden.	[m]
d _n = de nominale diameter.	[m]
g = versnelling van de zwaartekracht (9,81 m/sec ²)	[m/sec ²]
h = de hoogte van de waterstand benedenstrooms ten opzichte van de bodem.	[m]
h ₁ = de hoogte van de waterstand bovenstrooms ten opzichte van de kruin.	[m]
h ₂ = de hoogte van de waterstand benedenstrooms ten opzichte van de kruin.	[m]
H = de energiehoogte bovenstrooms ten opzichte van de kruin.	[m]
m = de afvoercoëfficiënt voor een volkomen overlaat.	
μ = de afvoercoëfficiënt voor een onvolkomen overlaat.	
q = het debiet per eenheid van breedte.	[m ² /sec]
q _{cr} = het critieke debiet per eenheid van breedte. Dit is het debiet waarbij het moment van "begin van beweging" voor de steentjes achter de dam wordt geconstateerd.	[m ² /sec]
\bar{V} = de gemiddelde snelheid	[m/sec]
σ = de standaardafwijking van de gemiddelde snelheid in de stroomrichting.	[m/sec]
r = $\frac{\sigma}{\bar{V}}$ = relatieve turbulentie.	
V _y = de snelheid op een diepte y	[m/sec]
V _* = de schuifspanningssnelheid.	[m/sec]
y = de diepte, gemeten vanaf de bodem.	[m]

k	= de constante van von Karman ($\approx 0,4$)	
τ_0	= de schuifspanning boven de bodem.	$[N/m^2]$
ρ_m	= de dichtheid van het materiaal	$[kg/m^3]$
ρ_w	= de dichtheid van het water.	$[kg/m^3]$
Δ	= $(\rho_m - \rho_w)/\rho_w$	
k	= de ruwheid van de bodem c.q. de dam.	$[m]$
b	= de kruinbreedte van de dam.	$[m]$
$tg \alpha$	= de tangens van de hellingshoek van het benedenstroomse talud van de dam.	
c	= een coëfficiënt welke afhankelijk is van $tg \alpha$.	
D	= de hoogte van de dam.	$[m]$
z	= $h_1 - h_2$ = verval, gemeten als verschil tussen de waterstanden boven- en benedenstrooms van de dam.	$[m]$
h_g	= de grensdiepte, dit is de diepte waarbij de energiehoogte minimaal is.	$[m]$

Stroombestendigheid sluitgatdrempel.

Stabiliteit los materiaal achter een dam met brede kruin.

1. Inleiding en opdracht

In het kader van het onderzoek naar de stroombestendigheid van sluitgatdempels (verslag M 711 - deel I tot en met III) kwam het gewenst voor een onderzoek in te stellen naar de stromingsweerstand van steenachtig materiaal benedenstrooms van een dam. Dit onderzoek is mede van direct belang voor het ontwerpen van de dammen in het Brouwershavense Gat en de Oosterschelde.

Door de Waterloopkundige Afdeling van de Deltadienst werd de opdracht tot het verrichten van dit onderzoek gegeven in maart 1963.

In een brief d.d. 19 maart 1963 werd door de opdrachtgever het onderzoek nader gedetailleerd.

Onderzocht dienden te worden:

- a. criteria van de stromingstoestand voor de stromingsweerstand van stenen achter een dam.
- b. het verband tussen deze criteria en een voor de stenen kenmerkende grootte.
- c. de plaats waar de grootste aantasting optreedt.

Ter inleiding op deze proeven werd een onderzoek wenselijk geacht naar de invloed van de kruinbreedte op de stromingstoestand benedenstrooms van de dam voor verschillende waarden van de taludhelling, de damhoogte en de benedenstroomse waterstand.

Tijdens een bespreking op 12 september 1963 werd nog gevraagd dit inleidende onderzoek uit te breiden met het bepalen van de invloed van de ruwheid van de dam op de stromingstoestand benedenstrooms van de dam. Bovendien werd tijdens deze bespreking besloten een der proeven enkele malen te herhalen om de reproduceerbaarheid van de proeven na te gaan.

Het onderzoek vond plaats in de grote stroomgoot van het Waterloopkundig Laboratorium "de Voorst" in de periode van augustus 1963 tot januari 1964. De proeven werden uitgevoerd door de heer J. Kuipers onder leiding van ir A. van der Werf, welke laatste tevens dit rapport samenstelde.

2. Opzet van het onderzoek.

2.1. Eisen.

Er wordt verondersteld dat de volgende grootheden bepalend zijn voor het gedrag van steenachtig materiaal achter een dam met vlakke kruin onder invloed van het over de dam stromende water:

$$\bar{v}(\text{of } q); D; k; b; \alpha; d; (q_m - q_w); q_w; h; r; g.$$

Voor de betekenis wordt verwezen naar de lijst van symbolen.

Teneinde een zo goed mogelijk inzicht te verkrijgen in het verschijnsel, dienen de volgende grootheden gevariëerd te worden:

1. de vorm van de dam
 - a) de kruinbreedte (b)
 - b) de damhoogte (D)
 - c) de helling van het talud (α)
2. de ruwheid van de dam en de aanloopstrook voor de dam (k)
3. de benedenwaterstand (h_2, h)
4. het steenachtig materiaal achter de dam
 - a) de diameter (d_n, d, d', d_{50})
 - b) de dichtheid (q_m)

Daar het aantal variabelen groot is, is het onderzoek gesplitst in de volgende twee proevenseries:

1. proevenserie I (T1 tot en met T14).

Deze had aanvankelijk alleen tot doel:

- a) het bepalen van de invloed van de kruinbreedte (b) op de stromingstoestand benedenstrooms van de dam voor verschillende waarden van de damhoogte (D), de taludhelling (α) en de benedenstroomse waterstand (h, h_2).

Tijdens een bespreking op 11 september 1963 zijn hieraan nog toegevoegd:

- b) het bepalen van de invloed van de ruwheid van de dam (k) en de aanloopstrook bovenstrooms van de dam op de stromingstoestand

benedenstrooms van de dam voor verschillende waarden van de damhoogte (D) en de benedenstroomse waterstand (h_2).

c) het nagaan van de reproduceerbaarheid van de metingen door een der proeven (T6) in totaal driemaal te stromen.

2. proevenserie II (T15 tot en met T38).

Het doel hiervan is geweest het bepalen van de in paragraaf 1.1. genoemde punten a t/m c voor verschillende waarden van de hiervoor opgesomde variabelen uitgezonderd de kruinbreedte en de ruwheid van de dam en de aanloopstrook bovenstrooms van de dam. De kruinbreedte en de ruwheid welke hier zijn toegepast zijn gekozen aan de hand van de resultaten van proevenserie I.

De keuze van de verticalen waarin de snelheidsprofielen zijn gemeten wordt bepaald door de plaats van aantasting en het stroombeeld. Mede in verband met andere onderzoeken zijn echter, op speciaal verzoek van de opdrachtgever bij iedere proef de snelheidsverdelingen in de volgende verticalen gemeten:

- bovenstrooms van de dam.
- ter plaatse van de bovenstroomse kruinlijn.
- ter plaatse van de benedenstroomse kruinlijn.
- benedenstrooms van de dam, op een plaats waar het snelheidsprofiel niet meer beïnvloed wordt door de dam.

2.2. De meetopstelling.

In de figuren 1, 3 en 4 is een overzicht gegeven van de meetopstelling welke bij deze proeven in de stroomgoot is aangebracht. Het onderzoek naar het begin van aantasting heeft plaats gevonden in de eerste 3,5 m vlakke bodem benedenstrooms van de dam. Het moment van begin van beweging van het materiaal is steeds vastgesteld voor de ruiten van de observatieruimte van de stroomgoot. Om echter ook de plaats en de kwantiteit van de aantasting te kunnen bepalen zijn een zevental stroken gekleurd materiaal aangebracht. De breedte van elke strook bedraagt 0,50 m.

Als steenachtig materiaal is eerst basaltslag gekozen, later zijn nog enkele proeven (T35 tot en met T38) uitgevoerd met porfierslag. De gegevens van deze materialen zijn vermeld in de figuren 9, 10 en 11. De dichtheid (ρ_m) van het basalt bedraagt ongeveer 3000 kg/m^3 en van het porfier 2650 kg/m^3 .

In figuur 9 is de korreldiameter op de volgende twee manieren gedefiniëerd:

- a) als de diameter van een bol, waarvan het gewicht door 50% van het totale aantal stenen wordt overschreden (d_{50}).
- b) als de nominale diameter $d_n = (\text{volume})^{1/3}$; dit komt overeen met de lengte van de ribbe van een kubus, waarvan het gewicht door 50% van het totaal aantal stenen wordt overschreden.

In het onderzoek naar de invloed van de vorm en gradering op de stabiliteit van stortsteen (M 731 - deel VI) is gevonden dat de invloed van de vorm van de stortsteen en de invloed van de gradering voldoende tot uitdrukking komen als de nominale diameter van de stenen wordt gebruikt als maatgevende diameter. De op deze wijze gedefiniëerde diameter is dan ook steeds toegepast bij het verwerken van de resultaten.

Er zijn echter nog verschillende andere mogelijkheden om de gemiddelde diameter te definiëren. Om vergelijking met vroegere onderzoeken mogelijk te maken zijn twee van deze mogelijkheden ook in dit verslag opgenomen:

In figuur 10 is de korreldiameter (d) gedefiniëerd als die diameter welke door 50 gewichtsprocenten van het materiaal wordt overschreden.

In figuur 11 is de korreldiameter (d') gedefiniëerd als die diameter welke door 50% van het totaal aantal stenen wordt overschreden.

In onderstaande tabel zijn de op verschillende wijze gedefiniëerde diameters van het materiaal achter de dam opgenomen:

materiaal	d_{50} (in m)	d_n (in m)	d (in m)	d' (in m)
fijn basalt ($\rho_m = 2950 \text{ kg/m}^3$)	$0,8 \cdot 10^{-2}$	$0,65 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$0,84 \cdot 10^{-2}$
grof basalt ($\rho_m = 3050 \text{ kg/m}^3$)	$2,5 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$2,9 \cdot 10^{-2}$	$2,9 \cdot 10^{-2}$
porfier ($\rho_m = 2650 \text{ kg/m}^3$)	$1,9 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$2,2 \cdot 10^{-2}$	$2,2 \cdot 10^{-2}$

De verklaring voor de in verhouding vrij kleine d' van het fijn basalt moet worden gezocht in de meer afgeplatte vorm van de steentjes en de relatief grotere spreiding in het materiaal.

De kern van de dam wordt gevormd door een laag maingrind, waarop een bekleding van basaltslag is aangebracht. De laagdikte van deze bekleding bedraagt ongeveer 10 cm. Ook bovenstrooms van de dam is de gootbodembodem over een bepaalde lengte met een dunne laag van dit basaltslag bedekt (zie figuur 1). De functie van deze aanloopstrook is de stroom gelegenheid te geven zich aan de ruwheid van de steenlaag aan te passen.

Om de invloed van deze ruwheid op het stroombeeld benedenstrooms van de dam na te kunnen gaan is met 2 verschillende steengraderingen gewerkt. De verschillende diameters van dit materiaal zijn in onderstaande tabel aangegeven:

materiaal bovenstrooms	d_{50} (in m)	d_n (in m)	d (in m)	d' (in m)
fijn basalt ($\rho_m = 3050 \text{ kg/m}^3$)	$2,3 \cdot 10^{-2}$	$1,8 \cdot 10^{-2}$	$2,6 \cdot 10^{-2}$	$2,5 \cdot 10^{-2}$
grof basalt ($\rho_m = 3000 \text{ kg/m}^3$)	$4,3 \cdot 10^{-2}$	$3,4 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$	$4,8 \cdot 10^{-2}$

De diameter van dit materiaal is zodanig gekozen, dat er zekerheid bestond dat de stenen benedenstrooms van de dam het eerst zouden gaan verplaatsen. Indien namelijk de stenen op de dam of op de aanloopstrook zouden gaan verplaatsen dan zou ook de ruwheid van het gehele aanloopvak gewijzigd zijn.

Om absoluut zeker te zijn dat de snelheidsverdeling in verticaal 1 niet meer beïnvloed wordt door de versmalling van het gootprofiel bij het begin van de meetopstelling is bij de aanvang van proefserie II de scheidingsmuur met 5 m verlengd (zie figuur 1, 3 en 4).

Als breedte van de meetopstelling is 1,5 m gekozen. In de eerste plaats is dit gedaan om modeltechnische redenen. Het resterende gedeelte van de goot is namelijk gebruikt om buiten de meetopstelling om de goot sneller te kunnen vullen respectievelijk leeg te laten lopen. Tijdens het onderzoek werd dit gedeelte dan afgesloten met behulp van een schuif.

Daar de stroomgoot 3 m breed is, betekende de gekozen breedte voor de meetopstelling in de tweede plaats een aanzienlijke besparing op de te gebruiken hoeveelheden water.

Er is nu echter een controlemeting noodzakelijk geweest om vast te stellen dat de snelheidsverdeling wordt bepaald door het op de bodem liggend materiaal en dat deze niet wordt beïnvloed door de zijdelingse begrenzing. Uit de meting bleek dat de snelheidsverdeling in een punt gelegen op 0,25 m uit de wand gelijk is aan die in een punt midden boven de meetopstelling.

2.3. Meetmethode.

2.3.1. Inleiding.

In paragraaf 2.1 zijn de grootheden genoemd welke bepalend zijn voor het gedrag van het steenachtig materiaal achter de dam.

Als onafhankelijk variabelen kunnen worden beschouwd:

$$D; b; \alpha; k; d_n; (q_m - q_w); q_w \text{ en } g.$$

Als afhankelijk variabelen, dat wil zeggen als grootheden welke moeten worden gemeten tijdens de proef, blijven over:

$$\bar{v}(\text{of } q); h \text{ en } r.$$

Ook kunnen als zodanig worden beschouwd:

- de schuifspanning (τ_0)
- de ligging van de stenen na de proef.

De wijze waarop de afhankelijk variabelen zijn bepaald wordt, in de volgende paragrafen uiteengezet.

2.3.2. Bepaling van het "begin van beweging".

Het moment van het "begin van beweging" is steeds visueel vastgesteld voor de ruiten van de observatieruimte in de stroomgoot. Om dit moment zo nauwkeurig mogelijk te kunnen bepalen is nagegaan wat er met de steentjes gebeurt indien de stroomsnelheid geleidelijk wordt verhoogd.

Hierbij moet onderscheid worden gemaakt tussen de proeven waarbij de helling van het benedenstroomse talud van de dam 1:8 bedraagt en de proeven waarbij dit 1:2 is.

Bij de proeven waarbij deze helling 1:8 bedraagt en waarbij de hoogte van de benedenwaterstand ten opzichte van de kruin (h_2) groot is treedt geen neer achter de dam op. Als h_2 kleiner wordt treedt een kleine neer op, deze is echter van weinig betekenis en de stroomsnelheden in de neer zijn gering. In dit geval is het beeld van de aantasting bij het opvoeren van de snelheid nagenoeg gelijk aan dat wat zich voordoet bij de aantasting van materiaal op een dam met brede kruin (zie verslag M 711 - deel II). Reeds in een vrij vroeg stadium gaan enkele stenen verplaatsen over korte afstand. Dit zijn de stenen welke in labiel evenwicht verkeren en die reeds bij geringe stroomsnelheid iets gaan verplaatsen. Bij het verder opvoeren van de snelheid worden vrijwel geen stenen meer verplaatst tot een snelheid wordt bereikt, waarbij een groot aantal stenen in trilling geraakt. Dit gebeurt vrijwel gelijktijdig in alle gekleurde stroken achter de dam, maar is toch het sterkst merkbaar direct achter de neer of indien deze niet aanwezig is direct achter de teen van het talud van de dam. Dit is de plaats waar de hoofdstroom de bodem weer

bereikt. Een geringe verdere verhoging van de snelheid heeft tot gevolg dat de in trilling geraakte stenen omhoog worden gewipt en wegrollen. Dit moment is aangenomen als het moment van "begin van beweging".

Bij de proeven waarbij de helling van het benedenstroomse talud 1:2 bedraagt treedt vrijwel steeds een neer achter de dam op. Deze is goed ontwikkeld en de stroomsnelheden in de neer zijn vrij groot vooral bij de lage benedenwaterstanden ten opzichte van de kruin. Ook nu treedt reeds in een vrij vroeg stadium enige verplaatsing op van de steentjes welke in labiel evenwicht verkeren. Bij het geleidelijk verder verhogen van de snelheid blijven de steentjes echter voortdurend in trilling tengevolge van de grote turbulentie. Ook nu is er een bepaald moment waarop de snelheid zo groot wordt dat meerdere steentjes omhoog worden gewipt en wegrollen. Dit moment is weer aangenomen als het moment van "begin van beweging". De grootste aantasting treedt nu duidelijk op in de zone aan het eind van de neer op de plaats waar de hoofdstroom de bodem weer bereikt. Het begrip "eind van de neer" is echter vrij vaag daar uit de proeven blijkt dat dit punt vrij sterk varieert tijdens de proef.

Bij lage benedenwaterstand ten opzichte van de kruin en een taludhelling 1:2 is een verplaatsing van materiaal in bovenstroomse richting geconstateerd. Deze verplaatsing is een gevolg van de grote snelheden en hoge turbulentie-intensiteit in de neer.

In het algemeen kan worden opgemerkt dat het tengevolge van de grote turbulentie achter de dam zeer moeilijk is nauwkeurig het moment van het "begin van beweging" te bepalen. Na afloop van een proef bleek de verplaatsing vaak groter dan op grond van waarneming door de ruiten van de observatieruimte was verwacht. De oorzaak moet naast de verplaatsing van de in labiel evenwicht verkerende steentjes ook worden geweten aan de zeldzaam optredende zeer hoge snelheidspieken.

Het moeilijke instellen blijkt ook uit het resultaat van een der proeven (T6) welke in totaal 3 maal is herhaald. De resultaten van deze drie proeven zijn in onderstaande tabel weergegeven:

Proef	q_{cr} (in m^2/sec)	aantal verplaatste steentjes
T6 (1 ^e meting)	0,381	2300
T6 (2 ^e meting)	0,330	280
T6 (3 ^e meting)	0,342	740

De spreiding in het critiek debiet bedraagt hier maximaal ongeveer 14%, waarbij opgemerkt moet worden dat de verplaatsing van 280 op 2 na het laagste aantal is van alle proeven met kleine steentjes, terwijl de verplaatsing van 2300 steentjes op 2 na het hoogste aantal is. Bij een nog grotere aantasting in een bepaalde proef is de proef meestal herhaald.

2.3.3. Bepaling van de snelheidsverdeling.

Voor het meten van de snelheden is gebruik gemaakt van in totaal 11 pitotbuizen, welke verspringend ten opzichte van elkaar zijn geplaatst (zie de figuren 1, 3 en 4).

In het gebied waar de aantasting optreedt is midden boven elk gekleurd vak een snelheidsverticaal gemeten. Het onderste meetpunt ligt 0,01 m boven de bodem, terwijl het hoogste punt ongeveer 0,05 m onder de oppervlakte is gemeten. In totaal werd in 11 tot 13 punten van iedere verticaal de snelheid bepaald.

Daar de grenslaag benedenstrooms van de neer nog slechts weinig ontwikkeld is, zijn in het onderste deel van de verticaal de meetpunten dicht bij elkaar genomen. Het meten in de grenslaag is noodzakelijk om de berekening van de schuifspanning mogelijk te maken.

Tussen het meten van de snelheden in twee opeenvolgende punten van de verticaal is steeds een tijdsruimte van ruim 20 minuten aangehouden daar bij vorige onderzoeken is gebleken dat een betrouwbare meting met pitotbuizen slechts mogelijk is indien deze aanpassingstijd in acht wordt genomen.

2.3.4. Bepaling van de waterstand.

Ook het verloop van de waterstand is bepaald met de pitotbuizen, welke voor het bepalen van de snelheidsverdeling zijn opgesteld. In verband met de gekromde stroombanen boven de kruin en achter de dam is voor het bepalen van de waterstand alleen de aflezing van de statische buis in het bovenste meetpunt van een verticaal aangehouden. Als de afstand van de pitotbuizen onderling te groot werd om met enige nauwkeurigheid het verloop van de waterstand te kunnen aangeven, zijn een aantal tussenliggende punten bepaald door het meten van de waterspiegel ten opzichte van een vast punt op de wand van de goot.

2.3.5. Bepaling van de turbulentie.

Daar vermoedelijk de turbulentie een belangrijke rol speelt bij het "begin van beweging" lag het aanvankelijk in de bedoeling ook deze grootheid te meten. Tijdens het onderzoek stond echter nog geen instrument ter beschikking waarmee een betrouwbare meting van de turbulentie in de stroomgoot mogelijk was. Derhalve moest worden volstaan met het meten van de snelheden.

2.3.6. Bepaling van de schuifspanning.

In het rapport van het onderzoek betreffende de stroombestendigheid van los materiaal (M 598 - deel V) is een formule afgeleid welke het mogelijk maakt op eenvoudige wijze de turbulente schuifspanning uit de gemeten snelheidsverticaal te berekenen.

Via de formule voor de snelheidsverdeling van von Karmàn:

$$v_y = \frac{v_*}{K} \ln \frac{33y}{k} \quad [m/sec]$$

is daar voor de bodemschuifspanning gevonden:

$$\tau_0 = 30 (v_{0,1} - v_{0,01})^2 \quad [N/m^2]$$

Voor de snelheden op 0,1 m en 0,01 m gelden de snelheden welke bij een logaritmisch snelheidsverloop op die punten worden gevonden. Dit logaritmisch verloop treedt op in de grenslaag welke zich achter de neer geleidelijk weer ontwikkelt. Het berekenen van de schuifspanning is dan ook alleen mogelijk gebleken bij de meest benedenstroomse snelheidsverticalen.

2.3.7. Bepaling van de plaats en de mate van aantasting.

Door het aanbrengen van een zevental vakken met gekleurde steenslag is het mogelijk gebleken een indruk te verkrijgen over de plaats waar de steentjes door de stroming zijn opgenomen en de plaats waar ze zich weer afzetten.

Onder het bruto transport wordt daarbij verstaan het totale aantal uit een bepaald vak verdwenen exemplaren (respectievelijk het totaal verdwenen gewicht uit een bepaald vak).

Met het netto transport wordt bedoeld het totale aantal uit een bepaald vak verdwenen exemplaren verminderd met het aantal uit andere vakken aangevoerde exemplaren. Ook is het netto transport wel in steengewichten uitgedrukt.

Uit het verloop van het netto transport kan de plaats van de grootste aantasting worden bepaald.

Na afloop van elke proef zijn de verplaatste exemplaren weer in het eigen vak teruggelegd.

3. Metingen.

3.1. Overzicht van de proeven.

In de tabellen I en II is een overzicht gegeven van de verrichte proeven.

Proefserie I

(T1 tot en met T14; tabel I en de figuren 12 tot en met 39).

Deze proefserie is uitgevoerd met dammen met taluds 1:2 en 1:8 en damhoogten 0,20 en 0,30 m.

De wijze waarop de opbouw van een dam is gedacht is aangegeven in figuur 2. Hieruit volgt ook direct de minimale kruinbreedte afhankelijk van de benedenwaterstand. Buiten de minimale kruinbreedte is bij elke benedenwaterstand met nog een andere kruinbreedte gestroomd en wel met $b = 4$ m.

Het doel van deze serie proeven werd reeds in paragraaf 2.1 aangegeven.

Proefserie II

(T15 tot en met T38; tabel II en de figuren 42 tot en met 89).

Deze serie is uitgevoerd met dammen met taluds 1:2 en 1:8 en damhoogten 0,10 m; 0,133 m; 0,20 m en 0,40 m. De wijze waarop een dam is opgebouwd gedacht is aangegeven in figuur 5.

Het doel van deze serie proeven werd in paragraaf 2.1 reeds genoemd.

3.2. Beschrijving van de proeven.

De uitvoering van de proeven is bij proefserie I volkomen identiek geweest aan die bij proefserie II. Er is steeds begonnen met een debiet, dat beneden het critieke ligt. Langzaam is het debiet daarna verhoogd door het verval over de dam te laten toenemen bij constante benedenwaterstand tot het moment dat een begin van beweging optreedt (zie paragraaf 2.3.2). Op dit tijdstip is met de metingen begonnen.

In iedere verticaal is gelijktijdig in een der meetpunten de statische en de dynamische hoogte met een pitotbuis bepaald. Het eerste is een maat voor de hoogte van de waterspiegel, terwijl uit het verschil van beide ($= \frac{v^2}{2g}$) de snelheid in het meetpunt volgt. Direct na het aflezen zijn de pitotbuizen in hoogte veresteld naar het volgende meetpunt. Na een wachttijd van ruim 20 minuten is weer afgelezen. Nadat alle verticalen geheel zijn doorgemeten kan de goot worden geledigd en de aantasting bepaald op de in paragraaf 2.3.7 omschreven wijze.

3.3. Meetresultaten.

Van elke proef zijn de meetresultaten steeds in twee figuren weergegeven.

De eerste figuur geeft:

- a. een overzicht van het gehele stroombeeld waarin o.a. de damvorm, de vorm van de snelheidsverticalen en het verloop van de waterstand zijn aangegeven. Ook de vorm van de neer is hierin geschetst. Daar echter met pitotbuizen geen betrouwbare snelheidsmeting in de neer mogelijk is, is het verloop van de snelheden in de neer gedeeltelijk geschat.
- b. het onderste gedeelte van de snelheidsverticalen, waarbij de hoogte van de meetpunten boven de boven logaritmisch is uitgezet. Het blijkt dat pas op enige afstand achter de neer het logaritmisch snelheidsverloop zich weer langzaam gaat ontwikkelen.
- c. het verloop van de erosie en de schuifspanning.

De tweede figuur geeft de gehele snelheidsverticalen, maar nu lineair en op grotere schaal uitgezet.

In het overzicht van de meetopstelling van proefserie II (figuren 3 en 4) is aangegeven dat op enige afstand bovenstrooms van de dam een horizontaal golfdempend schot is aangebracht. Dit schot, samengesteld uit baddingen welke met een onderlinge afstand van ruim 5 cm gekoppeld zijn door latten, is bedoeld om het oppervlak van het water rustiger te maken. Uit de snelheidsverticalen van de

proeven van proefserie II blijkt duidelijk dat bij de hoge benedenwaterstanden de snelheidsverdeling in verticaal 1 nog wordt beïnvloed door dit schot. Voor het resultaat van de proeven is dit van geen belang daar ter plaatse van de benedenstroomse kruinlijn van de dam deze invloed geheel verdwenen is.

Bij de lage benedenwaterstanden is de invloed van het schot op de snelheidsverdeling in verticaal 1 al weer opgeheven door de zich ontwikkelende grenslaag.

In figuur 90 is een gewichtsanalyse gegeven van de verplaatste stenen in de proeven. Hieruit blijkt dat de gewichts-frequentielijnen van het verplaatste en het ingebrachte materiaal nagenoeg overeenstemmen. De d_n van het verplaatste materiaal is echter steeds iets groter. De reden hiervan moet vermoedelijk gezocht worden in het feit dat de kleinere stenen tussen de grotere liggen, waardoor deze minder snel door de stroom worden verplaatst.

3.4. Nadere beschouwing van de meetresultaten.

3.4.1. Bepaling van de invloed van de kruinbreedte op het stroombeeld benedenstrooms van de dam.

De eerste proevenserie diende ondermeer om de invloed van de kruinbreedte op het stroombeeld benedenstrooms van de dam te bepalen. Aanvankelijk is dit alleen gedaan voor een damhoogte van 0,20 m (T1 tot en met T11), later is dit onderzoek uitgebreid met enkele proeven bij een damhoogte van 0,30 m (T12 tot en met T14).

De minimale kruinbreedte is zodanig dat nog duidelijk van een brede kruin gesproken kan worden.

Bij de volgende proeven is steeds onderlinge vergelijking mogelijk daar de enige variabele de kruinbreedte is:

T1 en T2; T3 en T4; T5 en T6; T7 en T8; T10 en T11; T12 en T13.

Onderlinge vergelijking van deze proeven leert dat het stroombeeld benedenstrooms nauwelijks door de kruinbreedte wordt beïnvloed. In

het algemeen is de toename van het verval (z) bij een bredere kruin duidelijk merkbaar. Dit is een logisch gevolg van het grotere energieverlies (wrijvingsverlies) bij de bredere kruin.

De belangrijkste conclusie van dit inleidende onderzoek volgt echter uit figuur 40 waarin de kruinbreedte (b) tegen het critieke debiet (q_{cr}) is uitgezet. We zien hieruit dat binnen de grenzen van het onderzoek het critieke debiet onafhankelijk is van de kruinbreedte. De geringe afwijkingen welke voorkomen liggen binnen de grenzen van de meetnauwkeurigheid (zie paragraaf 3.4.3).

Op grond van deze conclusie is bij proefserie II de kruinbreedte als variabele komen te vervallen. In deze proefserie is voor verschillende damhoogten wel een variërende kruinbreedte toegepast; dit is echter uitsluitend om modeltechnische redenen gedaan, namelijk om de nodige verbouwingen steeds zo gering mogelijk te houden.

3.4.2. Bepaling van de invloed van de ruwheid van de dam op het stroombeeld benedenstrooms van de dam.

De invloed van de ruwheid van de dam op het stroombeeld benedenstrooms van de dam is eveneens uit een aantal proeven van proefserie I te bepalen. Bij elke combinatie van de volgende proeven is de ruwheid van de dam steeds de enige variabele:

T7 en T9; T6 en T10; T11 en T5; T13 en T14.

Vergelijken van deze proeven leert dat het stroombeeld benedenstrooms van de dam nauwelijks wordt beïnvloed door de ruwheid van de dam. Wel neemt het verval bij grotere ruwheid van de dam toe. Dit is weer volledig in overeenstemming met het grotere energieverlies (wrijvingsverlies) boven de dam.

Een belangrijke conclusie volgt uit figuur 41, waarin de ruwheid van de dam (k) is uitgezet tegen het critieke debiet (q_{cr}). Daaruit blijkt dat binnen de grenzen van het onderzoek het critieke debiet ook onafhankelijk is van de ruwheid van de dam. De geringe afwijkingen welke voorkomen liggen binnen de grenzen van de meetnauwkeurigheid (zie paragraaf 3.4.3.). Dit is zeer duidelijk waar te nemen aan

proef T6, welke bij herhaling van de proef als critiek debiet 330 en 342 l/sec gaf. Dit laatste is gelijk aan dat van proef T10. Op grond van deze conclusie is besloten voor proefserie II de ruwheid van de dam niet te variëren en de grootste stenen op de dam te leggen ($k = 3,4 \cdot 10^{-2} \text{ m}$). Deze keus is uitsluitend bepaald om modeltechnische redenen, namelijk om te voorkomen dat bij de hogere dammen in proefserie II het materiaal van de dam zou gaan verplaatsen voordat het moment van "begin van beweging" voor het materiaal benedenstrooms van de dam zou zijn aangebroken.

3.4.3. Bepaling van de reproduceerbaarheid van de proeven.

In paragraaf 2.3.2. is er reeds op gewezen dat proef T6 enkele malen is herhaald om de reproduceerbaarheid van de proeven te bepalen. Hierbij werd steeds opnieuw het moment van "begin van beweging" opgezocht, wat met zich bracht dat de schuifstanden van de goot niet bij elke proef gelijk waren en dus ook het debiet en daarmee het aantal verplaatste steentjes bij iedere herhaling kon afwijken van de vorige proef.

De belangrijkste resultaten van deze proeven zijn in onderstaande tabel weergegeven:

proef	q_{cr} (m^2/sec)	aantal verplaatste steentjes
T6	0,381	2314
T6'	0,330	279
T6''	0,342	740

Uit deze gegevens blijkt dat in het totaal aantal verplaatste stenen een aanzienlijke spreiding kan optreden. Vergeleken met de andere proeven met kleine stenen is de verplaatsing van 2314 stenen hoog en die van 279 laag. Het verschil tussen het bijbehorende grootste en kleinste debiet bedraagt ongeveer 14%.

Gezien het moeilijk in te stellen juiste moment van "begin van beweging" (zie paragraaf 2.3.2) mag toch worden gesteld dat het critieke debiet redelijk goed reproduceerbaar is.

3.4.4. Het critieke debiet als criterium voor de stromingsweerstand van stenen achter de dam.

Uit de beschouwingen in de paragrafen 3.4.1 en 3.4.2 blijkt dat binnen de grenzen van het onderzoek het debiet, waarbij de stenen achter de dam gaan verplaatsen, onafhankelijk is van de kruinbreedte en de ruwheid van de dam. Bovendien blijkt uit paragraaf 3.4.3 dat dit debiet vrij goed reproduceerbaar is.

In verband met deze conclusies is het debiet gekozen als criterium voor de stromingsweerstand van stenen benedenstrooms van een dam.

Er is ook getracht om de snelheid op de dam (in verticaal 3) als criterium te kiezen, daar het aannemelijk lijkt dat de grootte van deze snelheid een rol speelt bij de aantasting van de steen, terwijl dit bovendien beter zou aansluiten bij de resultaten van M 711 - deel II en deel III. In dat geval wordt de spreiding in de resultaten echter aanzienlijk groter, terwijl bij het verder verwerken van de resultaten conclusies vrijwel onmogelijk worden.

3.4.5. Schaaleardeffect.

Om na te kunnen gaan of er bij de proeven sprake was van schaal-effect is een der proeven (T34) uitgevoerd op schaal 1:3 ten opzichte van een andere proef (T19).

De verschillende schalen zijn dan:

$$n_l = 3; n_h = 3; n_v = \sqrt[3]{3} \text{ en } n_d = n_h \cdot n_v = 3\sqrt[3]{3}$$

bij beschouwing van het debiet per m breedte.

Daar het debiet van T19: $0,950 \text{ m}^3/\text{sec}$ bedroeg, zou het debiet van T34 $\frac{0,950}{3\sqrt[3]{3}} = 0,182 \text{ m}^3/\text{sec}$ moeten bedragen, terwijl gemeten is $0,177 \text{ m}^3/\text{sec}$.

De afwijking is zo gering dat hieruit geconcludeerd mag worden dat er bij de bepaling van het critieke debiet geen sprake is van schaal-effecten.

3.4.6. Dimensie-analyse.

In paragraaf 2.1. wordt verondersteld dat de volgende grootheden bepalend zijn voor het gedrag van steenachtig materiaal achter een dam met brede kruin onder invloed van het over de dam stromende water:

$$\bar{v}(\text{of } q); D; k; b; \text{tg } \alpha; d_n; (q_m - q_w); q_w; h; r; g.$$

Voor de betekenis van deze grootheden wordt verwezen naar de lijst van symbolen.

De resultaten van proefserie I tonen aan dat b (zie paragraaf 3.4.1) en k (zie paragraaf 3.4.2) geen invloed uitoefenen op het verschijnsel. Er is reeds aangegeven dat het tijdens dit onderzoek nog niet mogelijk was de turbulentie (r) te meten (zie paragraaf 2.3.5). De functie welke het verschijnsel beschrijft kan als volgt worden omschreven:

$$f(q, D, \text{tg } \alpha, d_n, (q_m - q_w), q_w, h, g, r) = 0.$$

Met behulp van dimensie-analyse kunnen nu de variabelen welke in deze functie voorkomen worden gegroepeerd tot een aantal dimensieloze grootheden welke het verschijnsel beschrijven. Daar $\text{tg } \alpha$ en r dimensieloos zijn spelen deze geen rol bij de verdere bewerkingsmethode. Aan het einde van de bewerking zal $\text{tg } \alpha$ weer in beschouwing worden genomen. Iedere dimensieloze grootheid (π) is als volgt samengesteld:

$$\pi = q^{x_1} \cdot D^{x_2} \cdot d_n^{x_3} \cdot (q_m - q_w)^{x_4} \cdot q_w^{x_5} \cdot h^{x_6} \cdot g^{x_7} \quad (1)$$

of in dimensies:

$$\pi = [l^2 \cdot t^{-1}]^{x_1} \cdot [l]^{x_2} \cdot [l]^{x_3} \cdot [l^{-3} \cdot m]^{x_4} \cdot [l^{-3} \cdot m]^{x_5} \cdot [l]^{x_6} \cdot [l \cdot t^{-2}]^{x_7} = [m]^0 \cdot [l]^0 \cdot [t]^0.$$

De dimensie-matrix is dan als volgt:

	1	2	3	4	5	6	7
	q	D	d _n	(e _m -e _w)	e _w	h	g
l(engte)	2	1	1	-3	-3	1	1
t(ijd)	-1	0	0	0	0	0	-2
m(assa)	0	0	0	1	1	0	0

Daar de waarde van de determinant $\begin{vmatrix} -3 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & 0 \end{vmatrix} = -2 \neq 0$ is, is de rang van de matrix 3, terwijl het aantal variabelen 7 is. Dit houdt in dat het verschijnsel kan worden beschreven door $7 - 3 = 4$ dimensieloze grootheden.

Uit de dimensie-matrix volgen 3 vergelijkingen, te weten:

$$\left. \begin{aligned} 2x_1 + x_2 + x_3 - 3x_4 - 3x_5 + x_6 + x_7 &= 0 \\ -x_1 & & -2x_7 &= 0 \\ & + x_4 + x_5 & & \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Hieruit volgt:

$$\begin{aligned} x_5 &= -x_4 \\ x_7 &= -\frac{1}{2}x_1 \\ x_6 &= -\frac{3}{2}x_1 - x_2 - x_3 \end{aligned}$$

Dit gesubstitueerd in (1) geeft:

$$\begin{aligned} \pi &= q^{x_1} \cdot D^{x_2} \cdot d_n^{x_3} \cdot (e_m - e_w)^{x_4} \cdot e_w^{-x_4} \cdot h^{-3/2 x_1 - x_2 - x_3} \cdot g^{-1/2 x_1} = \\ &= (q \cdot h^{-3/2} \cdot g^{-1/2})^{x_1} \cdot (D \cdot h^{-1})^{x_2} \cdot (d_n \cdot h^{-1})^{x_3} \cdot \left\{ (e_m - e_w)^1 \cdot e_w^{-1} \right\}^{x_4} . \end{aligned}$$

Hieruit volgt:

$$\pi_1 = \frac{q}{h \sqrt{gh}} ; \pi_2 = \frac{D}{h} ; \pi_3 = \frac{d_n}{h} ; \pi_4 = \frac{e_m - e_w}{e_w} = \Delta$$

Ook hadden we nog $\pi_5 = \text{tg } \alpha$.

Door π_1 te vermenigvuldigen met $\frac{1}{\sqrt{\pi_3 \cdot \pi_4}}$ wordt de volgende combinatie van dimensieloze grootheden gevonden:

$$\pi_1 = \frac{q}{h\sqrt{\Delta g d_n}}; \pi_2 = \frac{h}{d_n}; \pi_3 = \frac{h}{D}; \pi_4 = \frac{q_m - q_w}{q_w} = \Delta; \pi_5 = \text{tg } \alpha, \pi_6 = r$$

Door het oplossen van x_1 , x_3 en x_5 uit (2) kan de volgende combinatie van dimensieloze grootheden worden gevonden:

$$\pi_1 = \frac{q^2}{g d_n^3}; \pi_2 = \frac{h}{d_n}; \pi_3 = \frac{h}{D}; \pi_4 = \frac{q_m - q_w}{q_w}; \pi_5 = \text{tg } \alpha; \pi_6 = r$$

Het is mogelijk door het oplossen van andere combinaties van de waarden x_1 tot x_7 uit (2) ook andere complete stelsels van dimensieloze grootheden te vinden. Bij het verwerken van de resultaten bleken deze echter geen duidelijke correlatie te bezitten. Bespreking hiervan blijft verder dan ook achterwege.

3.4.7. Het verband tussen $\frac{q_{cr}}{h\sqrt{\Delta g d_n}}$, $\frac{h}{d_n}$, $\frac{h}{D}$, $\text{tg } \alpha$ en Δ .

In figuur 91 is $\frac{q_{cr}}{h\sqrt{\Delta g d_n}}$ uitgezet tegen $\log \frac{h}{d_n}$.

Hoewel er wel enige spreiding in de resultaten optreedt blijkt het toch mogelijk binnen de grenzen van de onderzochte toestanden lijnen te trekken voor gelijke $\frac{h}{D}$ en $\text{tg } \alpha$. De invloed van Δ komt bij het op deze manier verwerken van de resultaten niet tot uitdrukking.

In het verslag M 711 - deel II is aangetoond dat bij een critieke stroming over een vlakke bodem de meetpunten zullen voldoen aan de formule:

$$\frac{\bar{v}_{cr}}{\sqrt{\Delta g d_n}} = 1,4 \log c \cdot \frac{h}{d_n}.$$

Uit de verslagen M 711 - deel II en deel III blijkt dat dit verband ook geldt bij het onderzoek van de stroombestendigheid van materiaal op een brede of een scherpe kruin van een sluitgatrempel, mits voor h de waterstand op de kruin wordt aangehouden. De waarde van de factor c bedraagt dan 3,5 respectievelijk 1,5.

In figuur 91 is in wezen hetzelfde verband aangetoond, waarbij voor \bar{v}_{cr} de snelheid ter plaatse van verticaal 12 is aangehouden, immers $\frac{q_{cr}}{h} = \bar{v}_{12}$. Het blijkt nu echter dat de lijnen een andere helling hebben en daarmee verandert ook de waarde van de factor 1,4. Deze wordt in figuur 91: 0,78. Bovendien is, in tegenstelling tot de resultaten van M 711 - deel II en deel III de waarde van de factor c nog afhankelijk van de parameters $\frac{h}{D}$ en $tg \alpha$.

Binnen de grenzen van de onderzochte toestanden is het verband dan als volgt:

$$\frac{q_{cr}}{h \sqrt{\Delta g d_n}} = \frac{\bar{v}_{12}}{\sqrt{\Delta g d_n}} = 0,78 \log c \cdot \frac{h}{d_n}, \text{ waarin } c = f\left(\frac{h}{D}, tg \alpha\right)$$

De waarde van de factor c varieert van 0,75 - 18,5 voor $tg \alpha = \frac{1}{2}$ en van 1,35 - 31,5 voor $tg \alpha = 1/8$. De bij een bepaalde $\frac{h}{D}$ en $tg \alpha$ behorende waarde van c is gegeven in figuur 91.

3.4.8. Het verband tussen $\frac{q_{cr}^2}{\Delta g d_n^3}$, $\frac{h}{d_n}$, $\frac{h}{D}$, $tg \alpha$ en Δ .

In figuur 92 is de dimensieloze grootheid $\log \frac{q_{cr}^2}{\Delta g d_n^3}$ uitgezet tegen de eveneens dimensieloze grootheid $\log \frac{h}{d_n}$. Het blijkt mogelijk lijnen te trekken voor gelijke $\frac{h}{D}$ en $tg \alpha$.

Bovendien zijn in deze figuren ook de resultaten van M 711 - deel II en deel III op gelijke wijze bewerkt.

Het blijkt dat in al deze gevallen een lineair verband bestaat tussen $\log \frac{q_{cr}^2}{\Delta g d_n^3}$ en $\log \frac{h}{d_n}$, afhankelijk van $\frac{h}{D}$ en $tg \alpha$. Het is echter niet mogelijk gebleken voor het gevonden verband ook een theoretische ver-

klaring te geven. Met nadruk wordt hier dan ook vastgesteld dat hieruit geen relatie mag worden afgeleid voor q_{cr} als functie van de overige variabelen. De mogelijkheid bestaat dat dan gebruik wordt gemaakt van een verband dat niet blijkt te bestaan (zie [5]). De aangetoonde correlatie bestaat uitsluitend tussen de genoemde dimensieloze grootheden.

3.4.9. Het verband tussen $\frac{q_{cr}^2}{\Delta g d_n^3}$, $\frac{h_2}{d_n}$, $\frac{h_2}{D}$, $tg \alpha$ en Δ .

In de paragrafen 3.4.6 en 3.4.8 is als variabele voor de benedenstroomse waterspiegel de hoogte van de waterstand ten opzichte van de bodem (=h) aangehouden. Het is echter ook mogelijk in plaats hiervan de hoogte van de benedenwaterstand ten opzichte van de kruin van de dam (=h₂) te nemen. Dit betekent geen nieuwe onafhankelijk variabele daar $h_2 = h - D$.

In figuur 93 zijn de dimensieloze grootheden op dezelfde wijze uitgezet als in figuur 92, echter is nu $\frac{h}{d_n}$ vervangen door $\frac{h_2}{d_n}$ en $\frac{h}{D}$ door $\frac{h_2}{D}$. Het blijkt nu dat de parameters $\frac{h_2}{D}$ en Δ geen invloed hebben op het verband tussen $\log \frac{q_{cr}^2}{\Delta g d_n^3}$ en $\log \frac{h_2}{d_n}$. Dit verband is uitsluitend afhankelijk van $tg \alpha$.

Voor de proeven T12, T13, T14, T16, T22 en T27 geldt $\frac{h_2}{D} \sim 0,67$ en hier is sprake van een volkomen overlaat. Het blijkt dat in deze gevallen niet aan het lineaire verband tussen $\log \frac{q_{cr}^2}{\Delta g d_n^3}$ en $\log \frac{h_2}{d_n}$ wordt voldaan. Ook bij de proeven T21, T23, T26 en T28 waarvoor geldt $\frac{h_2}{D} \sim 1,5$, treedt een volkomen overlaat op; echter voldoen deze proeven nog redelijk goed aan het gevonden verband.

Bovendien zijn in figuur 93 de resultaten van M 711 - deel II en deel III op dezelfde wijze verwerkt. Het blijkt mogelijk ook nu het gevonden verband tussen de genoemde dimensieloze grootheden te vinden, hoewel de spreiding in de resultaten aanzienlijk groter is dan bij de in dit verslag beschreven proevenseries.

Voor het overige gelden voor het gevonden verband dezelfde opmerkingen als die welke werden gemaakt in paragraaf 3.4.8.

3.4.10. Bepaling van de afvoercoëfficiënten.

Voor elk van de onderzochte dammen is de afvoercoëfficiënt bepaald met behulp van de volgende definities:

a. voor een onvolkomen overlaat:

$$\mu = \frac{q}{h_2 \sqrt{2g(H-h_2)}}$$

b. voor een volkomen overlaat:

$$m = \frac{q}{2/3H \sqrt{2/3 \cdot g \cdot H}}$$

De betekenis van de diverse grootheden is aangegeven in de lijst van symbolen.

In een aantal gevallen is het moeilijk te bepalen of van een onvolkomen dan wel van een volkomen overlaat moet worden gesproken. Het criterium dat bij een volkomen overlaat de waterstand op de dam gelijk is aan 2/3 van de bovenstroomse energiehogte ten opzichte van de kruin kan niet worden gebruikt in verband met de grote ruwheid van de dam. De grensdiepte ($=h_g$) is dan ook bepaald als 2/3 van de energiehogte boven de benedenstroomse kruinlijn. De energiehogte in dit punt is berekend uit de op die plaats gemeten snelheidsverticaal (= verticaal β). In die gevallen waarbij de waterstand in het gebied rond de benedenstroomse kruinlijn gelijk aan of lager is dan de grensdiepte moet worden gesproken van een volkomen overlaat.

De waarde van μ of m is vermeld bij het overzicht van iedere proef en in de tabellen I en II. In sommige gevallen, welke op de grens van volkomen en onvolkomen overlaat liggen is zowel μ als m vermeld; deze zijn dan ook nagenoeg gelijk.

De waarde van μ varieert van 0,85 tot 1,19, terwijl de waarde van m tussen 0,83 en 1,02 ligt. Dit laatste is theoretisch niet mogelijk (m altijd kleiner dan 1). De afwijking die in dit ene geval (T27) optreedt moet worden geweten aan de meetnauwkeurigheid.

3.4.11. Beschouwing van de berekende schuifspanning.

In het algemeen kan worden gesteld dat het moeilijk is de snelheidsverdeling te meten op de plaats waar de grootste aantasting optreedt en dus is het ook moeilijk de schuifspanning op die plaats te definiëren.

In de figuren 94 en 95 is een overzicht gegeven van de schuifspanningen, welke zijn berekend in een verticaal waar de snelheidsverdeling niet meer beïnvloed wordt door de dam (verticaal 12). Hieruit blijkt dat de daar optredende schuifspanning groter is naarmate de waarde h/D groter wordt. Ook is de schuifspanning voor $\text{tg } \alpha = 1/8$ groter dan voor $\text{tg } \alpha = \frac{1}{2}$. Dit stemt overeen met de conclusies uit de paragrafen 3.4.7 en 3.4.8.

In alle gevallen is de schuifspanning echter aanzienlijk lager dan de critieke schuifspanning welke in het onderzoek betreffende de stroombestendigheid van los materiaal op een vlakke bodem (M 598 - deel V) werd bepaald. Voor aantasting van het materiaal op de plaats van verticaal 12 bestaat dan ook nog geen gevaar. Daar echter op de plaatsen waar, direct achter de dam, wel aantasting optreedt de schuifspanning veelal nog lager is, blijkt hieruit dat naast deze schuifspanning ook de turbulentie een belangrijk rol speelt.

4. Conclusies.

De resultaten van de proeven kunnen als volgt worden samengevat:

1. Het critieke debiet (q_{cr}) wordt binnen de grenzen van de onderzochte toestanden niet beïnvloed door de kruinbreedte van de dam.
2. Het critieke debiet wordt binnen de grenzen van de onderzochte toestanden niet beïnvloed door de ruwheid van de dam en de aanloopstrook bovenstrooms van de dam.
3. Het critieke debiet is vrij goed reproduceerbaar.
4. Uit een schaalproef is gebleken dat bij de bepaling van het critieke debiet geen sprake is van schaalears-acten.
5. Het critieke debiet blijkt een goed criterium voor de stromingsweerstand van stenen benedenstrooms van de dam.
6. Als kenmerkende grootheid voor het steenachtig materiaal is de nominale diameter $d_n = (\text{volume})^{1/3}$ aangehouden, daar hierin zowel de vorm als de gradering van de steen voldoende worden weergegeven (zie verslag M 731 - deel VI).
7. Het critieke debiet (respectievelijk de critieke gemiddelde snelheid in verticaal $12 = \bar{v}_{12}$) kan binnen de grenzen van de onderzochte toestanden worden voorgesteld als een functie van de logaritmische van de waterdiepte benedenstrooms van de dam:

$$\frac{q_{cr}}{h} = \bar{v}_{12} = 0,78 \sqrt[3]{\Delta g d_n} \log c \cdot \frac{h}{d_n}$$

De waarde van de factor c is afhankelijk van de dimensieloze grootheden $\frac{h}{D}$ en $\text{tg } \alpha$.

8. Tussen de grootheden $\log \frac{q_{cr}^2}{\Delta g d_n^3}$ en $\log \frac{h}{d_n}$ bestaat binnen de grenzen van de onderzochte toestanden een rechtlijnig verband, hetwelk nog afhankelijk is van de waarden van de grootheden $\frac{h}{D}$ en $\text{tg } \alpha$.

9. Tussen de grootheden $\log \frac{q_{cr}^2}{\Delta g d_n^3}$ en $\log \frac{h_2}{d_n}$ bestaat een rechtlijnig verband. Dit verband is voor $\frac{h_2}{D} \geq 1,5$ onafhankelijk van $\frac{h_2}{D}$ en Δ , maar uitsluitend afhankelijk van $\text{tg } \alpha$. De proeven met $\frac{h_2}{D} = \text{circa } 0,67$ voldoen niet meer aan dit verband.

10. Bij de proeven met $\text{tg } \alpha = \frac{1}{2}$ vindt de grootste aantasting plaats in het gebied aan het einde van de bodemneer achter de dam.
Bij de proeven met $\text{tg } \alpha = \frac{1}{8}$ ontstaat deze bodemneer meestal niet en daar treedt de grootste aantasting op in de zone direct achter benedenstrooms van de dam.
In het algemeen kan worden gesteld dat de grootste aantasting optreedt op de plaats waar de hoofdstroom de bodem weer bereikt.
11. In het gebied rond de plaats van de grootste aantasting is de turbulente schuifspanning aanzienlijk lager dan de critieke schuifspanning, welke als criterium voor het begin van erosie bij vlakke bodem was gevonden (M 598 - deel V). Behalve de schuifspanning speelt ook de turbulentie een belangrijke rol bij het begin van beweging.
12. Het is aan te bevelen bij verdere proevenseries op dit gebied de relatieve turbulentie te meten.

LITERATUUR.

- [1] Waterloopkundig Laboratorium, Delft.
M 711. Deel II
Stroombestendigheid sluitgatrempel met brede kruin.
- [2] Waterloopkundig Laboratorium, Delft.
M 711. Deel III.
Stroombestendigheid sluitgatrempel met scherpe kruin.
- [3] Waterloopkundig Laboratorium, Delft.
M 731. Deel VI.
Geleidelijke sluiting. Invloed van de vorm en gradering op de stabiliteit van stortsteen.
- [4] Langhaar, H.L.
Dimensional Analysis and Theory of Models.
January 1951.
- [5] Benson, M.A.
Spurious correlation in hydraulics and hydrology.
Proceedings of the American Society of Civil Engineers.
Volume 91 no. HY 4, part 1, pp. 35 - 42. July 1965.
- [6] Waterloopkundig Laboratorium, Delft.
M 598 - deel V.
Stroombestendigheid los materiaal.

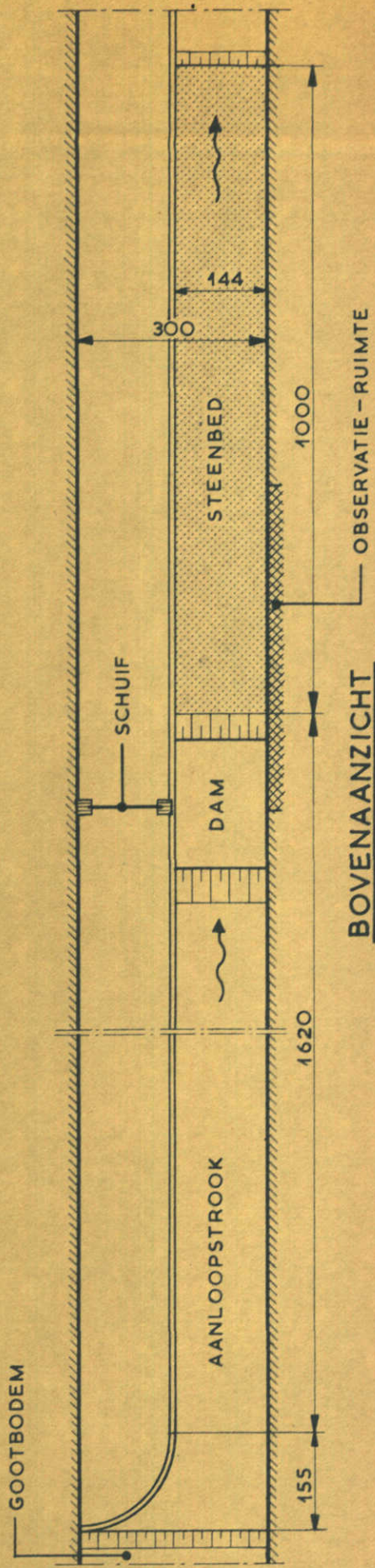
TABEL I: OVERZICHT VAN DE PROEVEN VAN PROEFSERIE I.

P	D in cm	b in cm	h' in cm	tg α	gegevens steenachtig materiaal										waterstand		debit q in m ² /sec	afvoer coëfficiënt		verval z in cm	aantal uren critisch gestroomd	totale verplaatsing					
					vóór en op dam					achter dam					dichtheid in kg/m ³	vóór en op dam		q _m achter dam	boven stroms in cm			beneden stroms (h) in cm	μ	m	in	in gram	Gemiddeld gewicht in gram
					d in cm	d' in cm	d ₅₀ in cm	d _n in cm	d in cm	d' in cm	d ₅₀ in cm	d _n in cm	d in cm	d' in cm													
1	20	200	100	1/2	2,6	2,5	2,3	1,8	1,0	0,84	0,8	0,65	3050	2950	102,1	99,3	1,025	1,09	-	2,8	5	2439	-	-			
2	20	400	100	1/2	2,6	2,5	2,3	1,8	1,0	0,84	0,8	0,65	3050	2950	103,7	101,2	0,992	1,08	-	2,5	5	1132	-	-			
3	20	400	50	1/2	2,6	2,5	2,3	1,8	1,0	0,84	0,8	0,65	3050	2950	54,8	50,3	0,323	0,98	-	4,5	5	1051	1772	1,68			
4	20	80	50	1/2	2,6	2,5	2,3	1,8	1,0	0,84	0,8	0,65	3050	2950	53,6	49,8	0,339	1,09	-	3,8	5	3542	6081	1,72			
5	20	80	50	1/8	2,6	2,5	2,3	1,8	1,0	0,84	0,8	0,65	3050	2950	54,1	50,2	0,366	1,16	-	3,9	5	1928	2738	1,42			
6	20	400	50	1/8	2,6	2,5	2,3	1,8	1,0	0,84	0,8	0,65	3050	2950	55,2	49,4	0,381	1,06	-	5,8	5	2314	3255	1,40			
6'	20	400	50	1/8	2,6	2,5	2,3	1,8	1,0	0,84	0,8	0,65	3050	2950	54,3	50,2	0,330	1,04	-	4,1	5	279	447	1,60			
6"	20	400	50	1/8	2,6	2,5	2,3	1,8	1,0	0,84	0,8	0,65	3050	2950	54,5	49,4	0,342	1,02	-	5,1	5	740	1087	1,47			
7	20	400	100	1/8	2,6	2,5	2,3	1,8	1,0	0,84	0,8	0,65	3050	2950	103,3	100,0	1,105	1,05	-	3,3	5	1708	2699	1,57			
8	20	200	100	1/8	2,6	2,5	2,3	1,8	1,0	0,84	0,8	0,65	3050	2950	103,0	99,5	1,072	1,06	-	3,5	5	2086	3223	1,54			
9	20	400	100	1/8	5	4,8	4,3	3,4	1,0	0,84	0,8	0,65	3000	2950	104,3	100,7	1,076	1,02	-	3,6	5	3007	4960	1,65			
10	20	400	50	1/8	5	4,8	4,3	3,4	1,0	0,84	0,8	0,65	3000	2950	56,4	49,6	0,341	0,91	-	6,8	5	1084	1845	1,70			
11	20	80	50	1/8	5	4,8	4,3	3,4	1,0	0,84	0,8	0,65	3000	2950	53,3	49,4	0,337	1,09	-	3,9	5	1279	2240	1,75			
12	30	80	50	1/8	2,6	2,5	2,3	1,8	1,0	0,84	0,8	0,65	3050	2950	58,2	50,1	0,251	0,94	-	8,1	5	1215	2459	2,02			
13	30	400	50	1/8	2,6	2,5	2,3	1,8	1,0	0,84	0,8	0,65	3050	2950	60,4	49,7	0,274	0,93	-	10,7	5	1847	3184	1,73			
14	30	400	50	1/8	5	4,8	4,3	3,4	1,0	0,84	0,8	0,65	3000	2950	61,4	48,9	0,287	-	-	12,5	5	1746	2685	1,54			

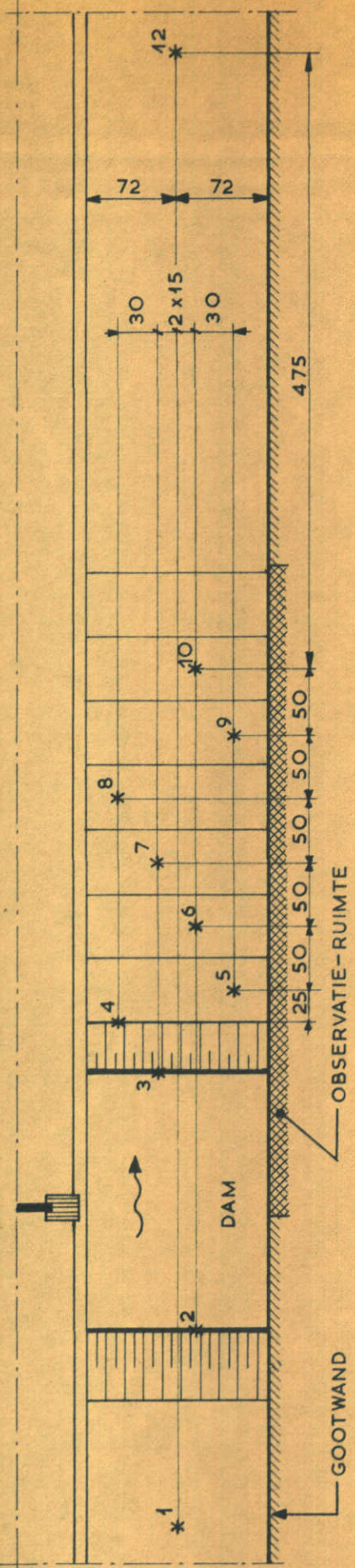
Proef
 Dam hoogte
 Kruinbreedte
 Waterdiepte
 Helling draagel

TABEL II: OVERZICHT VAN DE PROEVEN VAN PROEFSERIE II.

N	D in cm	b in cm	h' in cm	tg α	Gegevens steenachtig materiaal										waterstand		debiet q in m ² /sec	afvoer coëfficiënt		verval z in cm	aantal uren critisch gestroomd	totale verplaatsing					
					vóór en op dam					achter dam					dichtheid in kg/m ³	vóór en achter dam		boven stroms in cm	beneden stroms (h) in cm			μ	m	in cm	in aantal steentjes	in gewicht in gram	gemiddeld gewicht in gram
					d in cm	d' in cm	d ₅₀ in cm	d _n in cm	d in cm	d' in cm	d ₅₀ in cm	d _n in cm	vóór en op dam	achter dam													
15	10	440	50	1/2	5	4,8	4,3	3,4	1,0	0,84	0,8	0,65	3000	2950	52,7	48,4	0,467	0,87	-	4,3	6	2248	3737	1,6			
16	30	360	50	1/2	5	4,8	4,3	3,4	1,0	0,84	0,8	0,65	3000	2950	55,9	48,6	0,211	0,92	0,92	7,3	6	564	1057	1,9			
17	30	360	100	1/2	5	4,8	4,3	3,4	1,0	0,84	0,8	0,65	3000	2950	101,3	98,8	0,784	1,15	-	2,5	7	905	1816	2,0			
18	40	320	100	1/2	5	4,8	4,3	3,4	1,0	0,84	0,8	0,65	3000	2950	102,0	98,6	0,710	1,19	-	3,4	7	1235	2437	2,0			
19	40	320	100	1/2	5	4,8	4,3	3,4	2,9	2,9	2,5	2,0	3000	3050	106,8	96,7	0,950	1,03	-	10,1	7	457	10954	24,0			
20	30	360	100	1/2	5	4,8	4,3	3,4	2,9	2,9	2,5	2,0	3000	3050	105,0	96,7	1,182	1,08	-	8,3	6	469	11528	24,6			
21	30	360	75	1/2	5	4,8	4,3	3,4	2,9	2,9	2,5	2,0	3000	3050	84,6	73,1	0,702	-	0,94	11,5	6	214	4737	22,1			
22	30	360	50	1/2	5	4,8	4,3	3,4	2,9	2,9	2,5	2,0	3000	3050	66,7	48,4	0,333	-	0,84	18,3	6	97	2342	24,2			
23	20	400	50	1/2	5	4,8	4,3	3,4	2,9	2,9	2,5	2,0	3000	3050	60,7	48,9	0,440	-	0,92	11,8	6	64	1622	25,4			
24	20	400	100	1/2	5	4,8	4,3	3,4	2,9	2,9	2,5	2,0	3000	3050	104,9	99,1	1,352	1,04	-	5,8	7	78	1890	24,7			
25	20	520	100	1/8	5	4,8	4,3	3,4	2,9	2,9	2,5	2,0	3000	3050	107,0	99,8	1,518	0,99	-	7,2	7	193	4722	24,4			
26	20	520	50	1/8	5	4,8	4,3	3,4	2,9	2,9	2,5	2,0	3000	3050	64,5	49,8	0,502	-	0,92	14,7	6	122	2993	24,5			
27	30	420	50	1/8	5	4,8	4,3	3,4	2,9	2,9	2,5	2,0	3000	3050	65,2	49,9	0,383	-	1,02	15,3	6	37	908	24,5			
28	30	420	75	1/8	5	4,8	4,3	3,4	2,9	2,9	2,5	2,0	3000	3050	85,7	75,8	0,766	-	0,99	9,9	6	82	2068	25,2			
29	30	420	100	1/8	5	4,8	4,3	3,4	2,9	2,9	2,5	2,0	3000	3050	107,6	99,7	1,263	1,10	-	7,9	7	121	3008	24,8			
30	40	320	100	1/8	5	4,8	4,3	3,4	2,9	2,9	2,5	2,0	3000	3050	108,3	101,1	1,092	1,19	-	7,2	7	97	2215	22,8			
31	40	320	100	1/8	5	4,8	4,3	3,4	1,0	0,84	0,8	0,65	3000	2950	103,2	100,2	0,719	1,17	-	3,0	7	267	308	1,5			
32	30	420	100	1/8	5	4,8	4,3	3,4	1,0	0,84	0,8	0,65	3000	2950	102,4	99,5	0,895	1,10	-	2,9	7	838	1114	1,3			
33	10	620	50	1/8	5	4,8	4,3	3,4	1,0	0,84	0,8	0,65	3000	2950	55,0	51,5	0,424	0,94	-	3,5	6	351	530	1,5			
34	13,3	106,7	35,3	1/2	5	4,8	4,3	3,4	1,0	0,84	0,8	0,65	3000	2950	38,0	33,7	0,177	0,85	-	4,3	6	217	2807	12,9			
35	10	440	50	1/2	5	4,8	4,3	3,4	2,2	2,2	1,9	1,5	3000	2650	55,1	49,0	0,526	0,95	-	6,1	6	185	2094	11,3			
36	20	400	50	1/2	5	4,8	4,3	3,4	2,2	2,2	1,9	1,5	3000	2650	58,0	50,7	0,380	1,00	-	7,3	6	157	1648	10,5			
37	20	400	100	1/2	5	4,8	4,3	3,4	2,2	2,2	1,9	1,5	3000	2650	104,2	100,7	1,187	0,90	-	3,5	7	218	2357	10,8			
38	43	308	100	1/2	5	4,8	4,3	3,4	2,2	2,2	1,9	1,5	3000	2650	104,3	100,0	0,795	1,19	-	4,3	7	131	1415	10,8			



BOVENAANZICHT
SCHAAL 1:100



BOVENAANZICHT
SCHAAL 1:50

* PITOTBUIS
ALLE MATEN IN CM

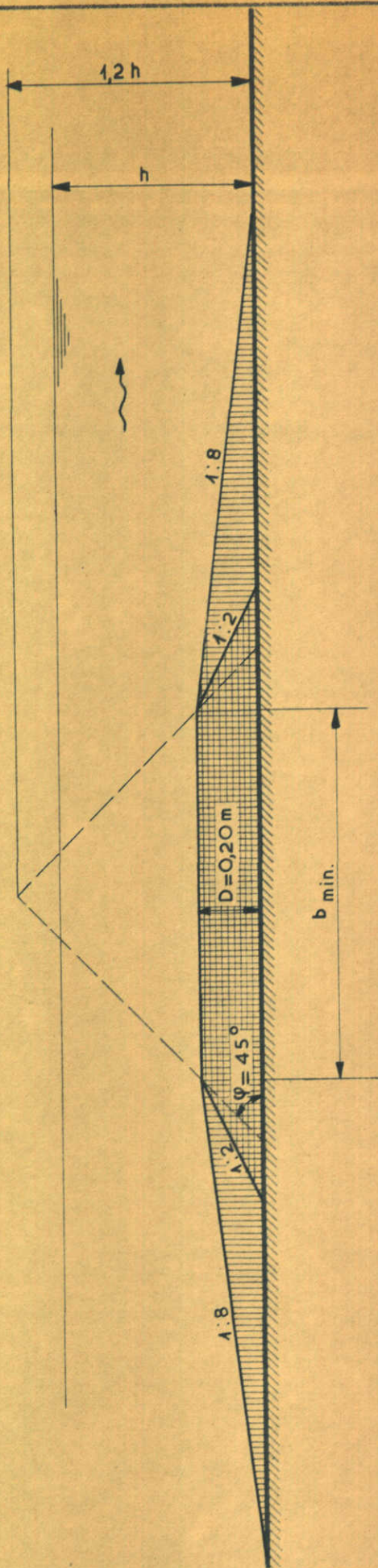
OVERZICHT MEETOPSTELLING PROEFSERIE I

M. 711 - DEEL IV

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

T1 $\frac{1}{m}$ T14

FIG. 1



UIT DE FIGUUR BLIJKT DAT $b_{\min} = 2(1,2h - 0,2)$

voor $h = 0,50\text{ m}$ → $b_{\min} = 0,80\text{ m}$, verder gewerkt met $b = 4,00\text{ m}$

voor $h = 1,00\text{ m}$ → $b_{\min} = 2,00\text{ m}$, verder gewerkt met $b = 4,00\text{ m}$

DEZE KRUINBREEDTEN ZIJN OOK AANGEHOUDEN VOOR $D = 0,30\text{ m}$

SCHEMA VAN DE OPBOUW VAN EEN DAM
IN PROEFSERIE I

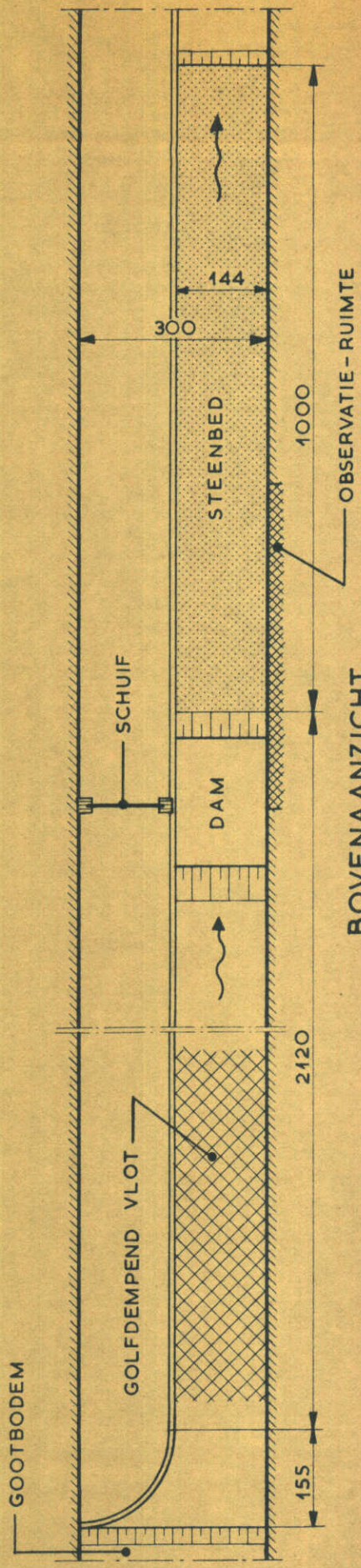
M. 711-DEEL IV

SCHAAL 1:20

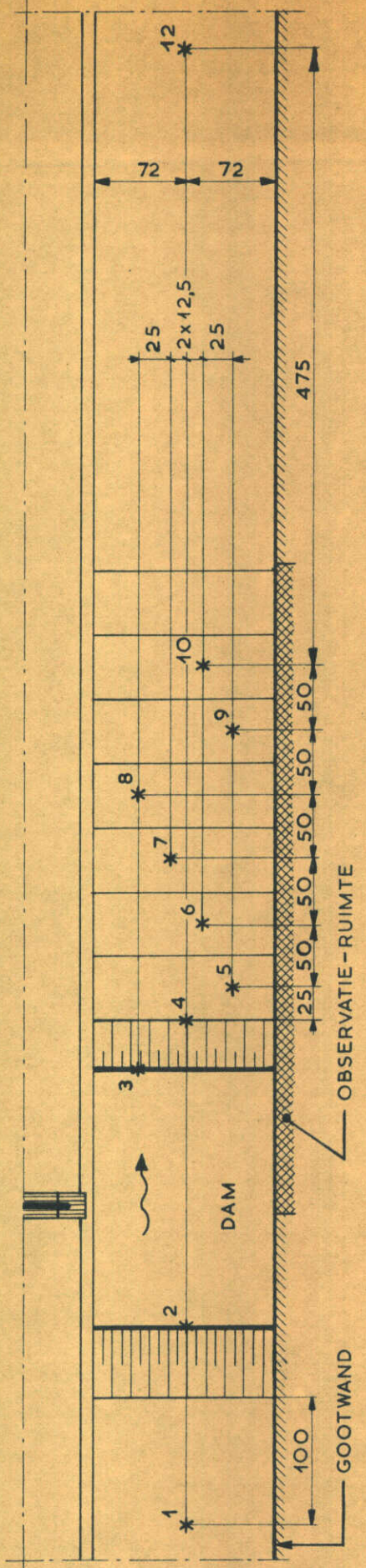
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

T 1 $\frac{1}{m}$ T 14

FIG 2

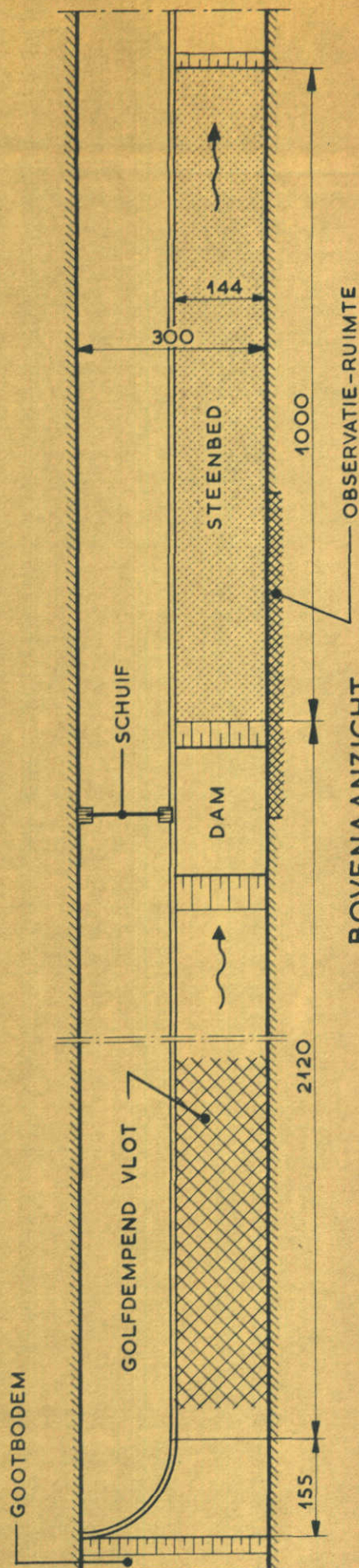


BOVENAANZICHT
SCHAAL 1:100



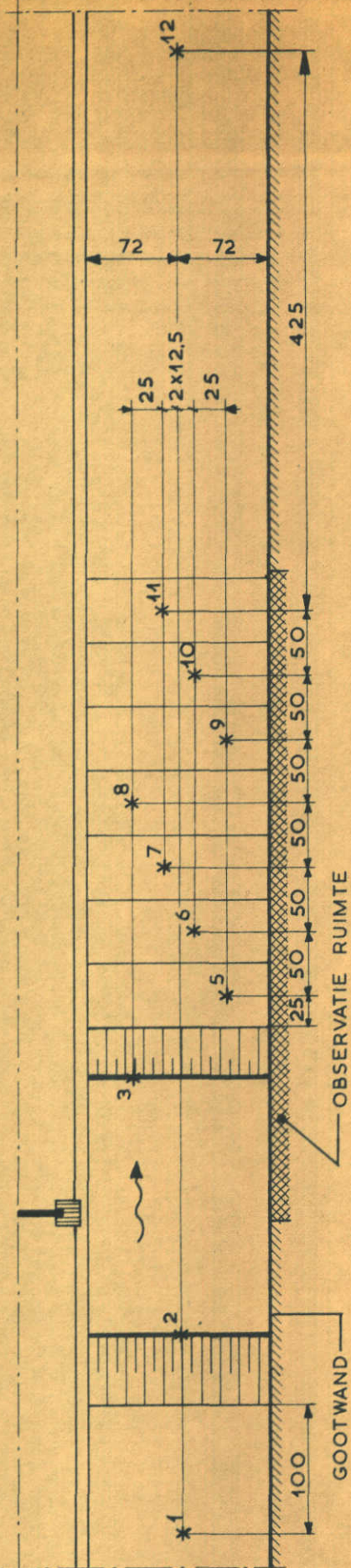
BOVENAANZICHT
SCHAAL 1:50

* PITOTBUIS
ALLE MATEN IN CM



BOVENAANZICHT

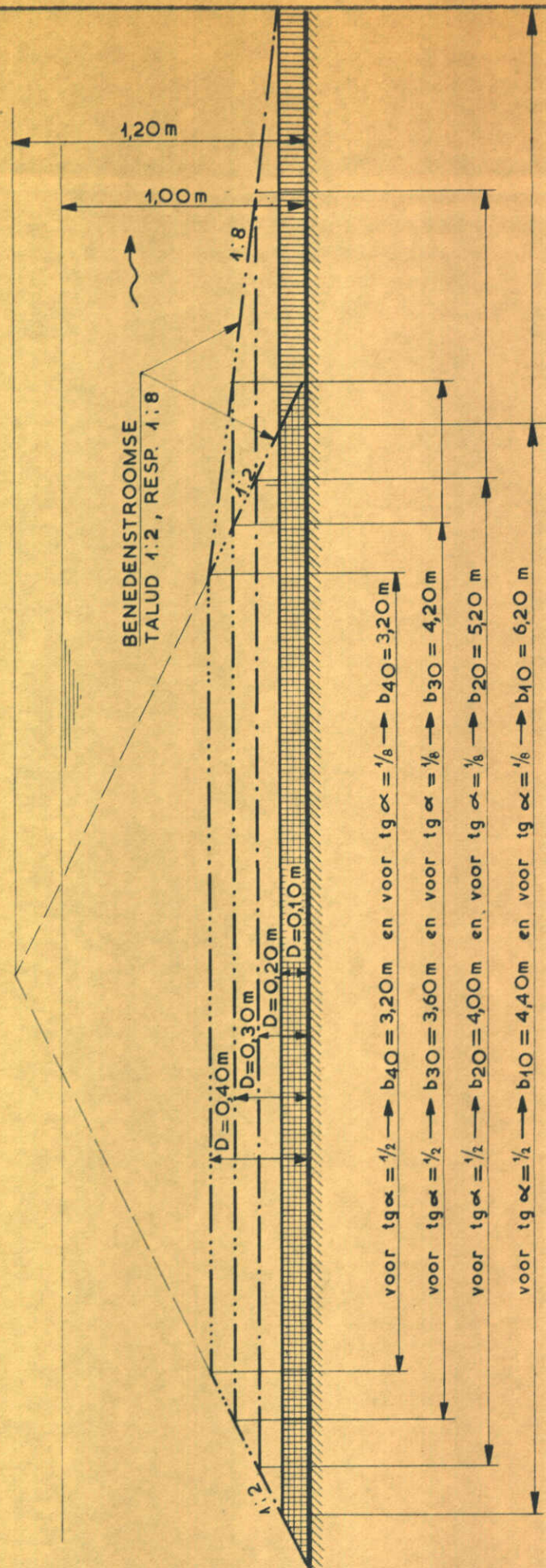
SCHAAL 1:100



BOVENAANZICHT

SCHAAL 1:50

* PITOTBUIS
ALLE MATEN IN cm



SCHEMA VAN DE OPBOUW VAN EEN DAM
IN PROEFSERIE II

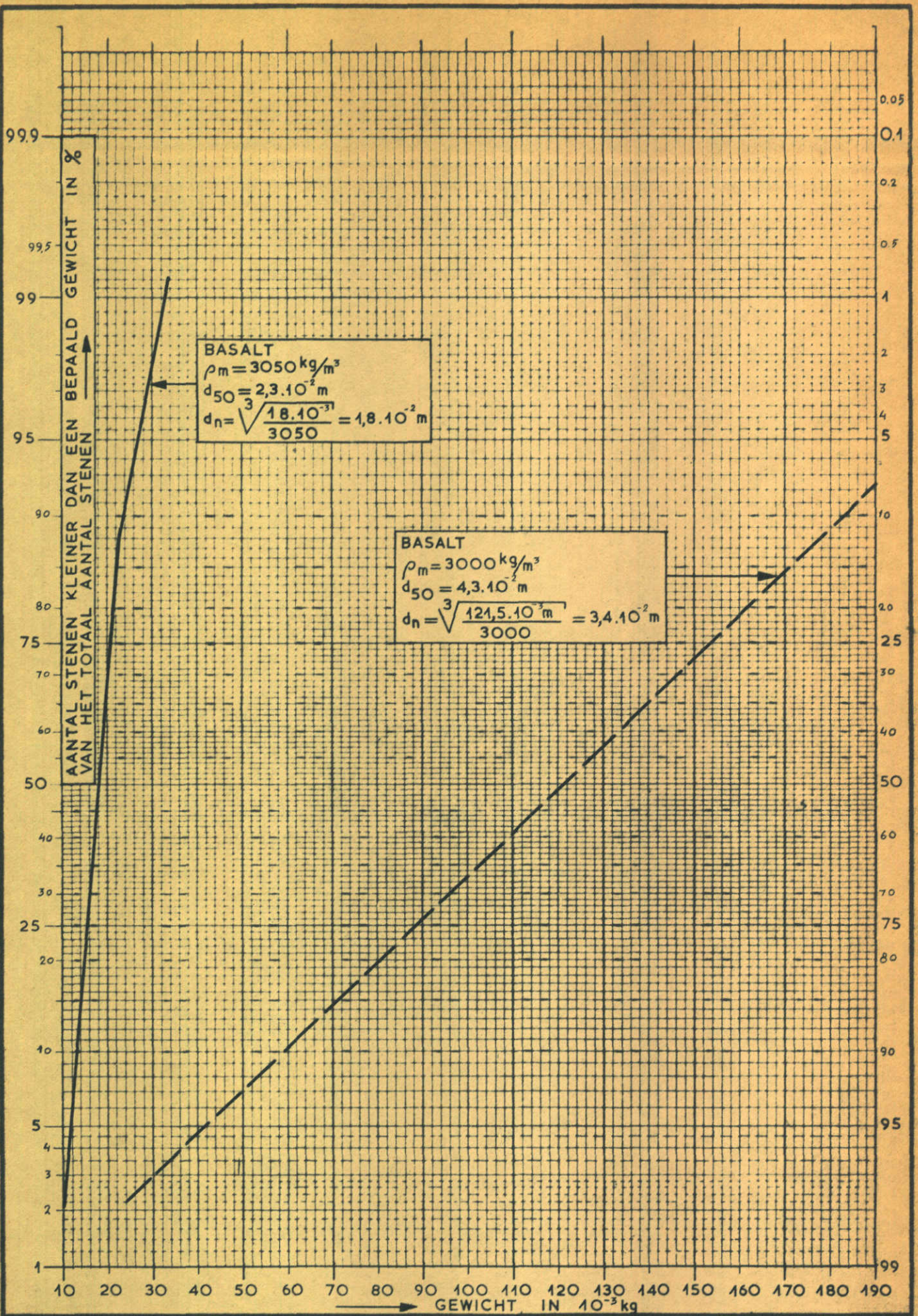
M. 711-DEEL IV

SCHAAL 1:25

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

T15 $\frac{1}{m}$ T18

FIG. 5

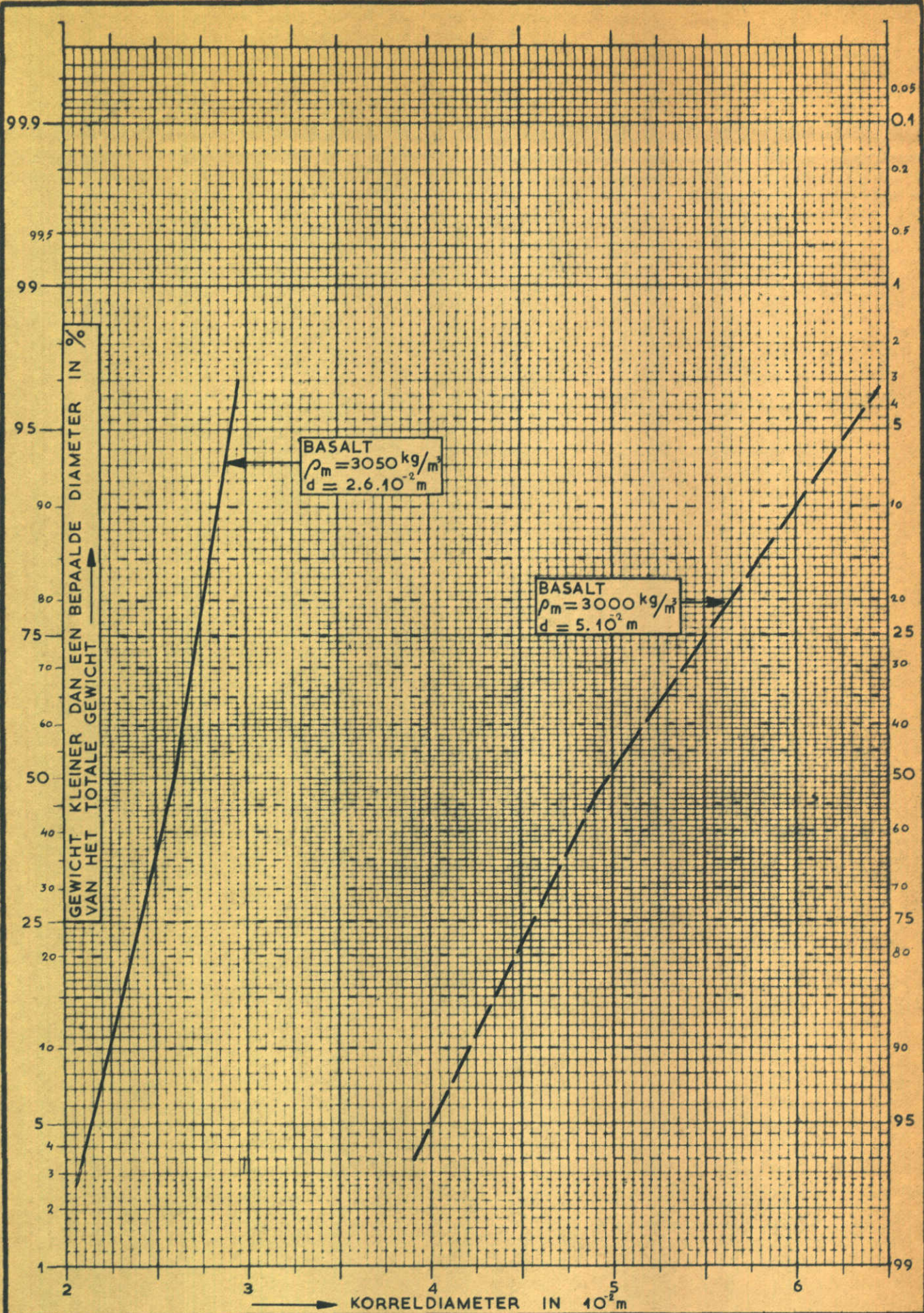


GEWICHTSANALYSE BASALTSLAG OP EN
 VOOR DE DAM.

M. 711-DEEL IV

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

FIG. 6

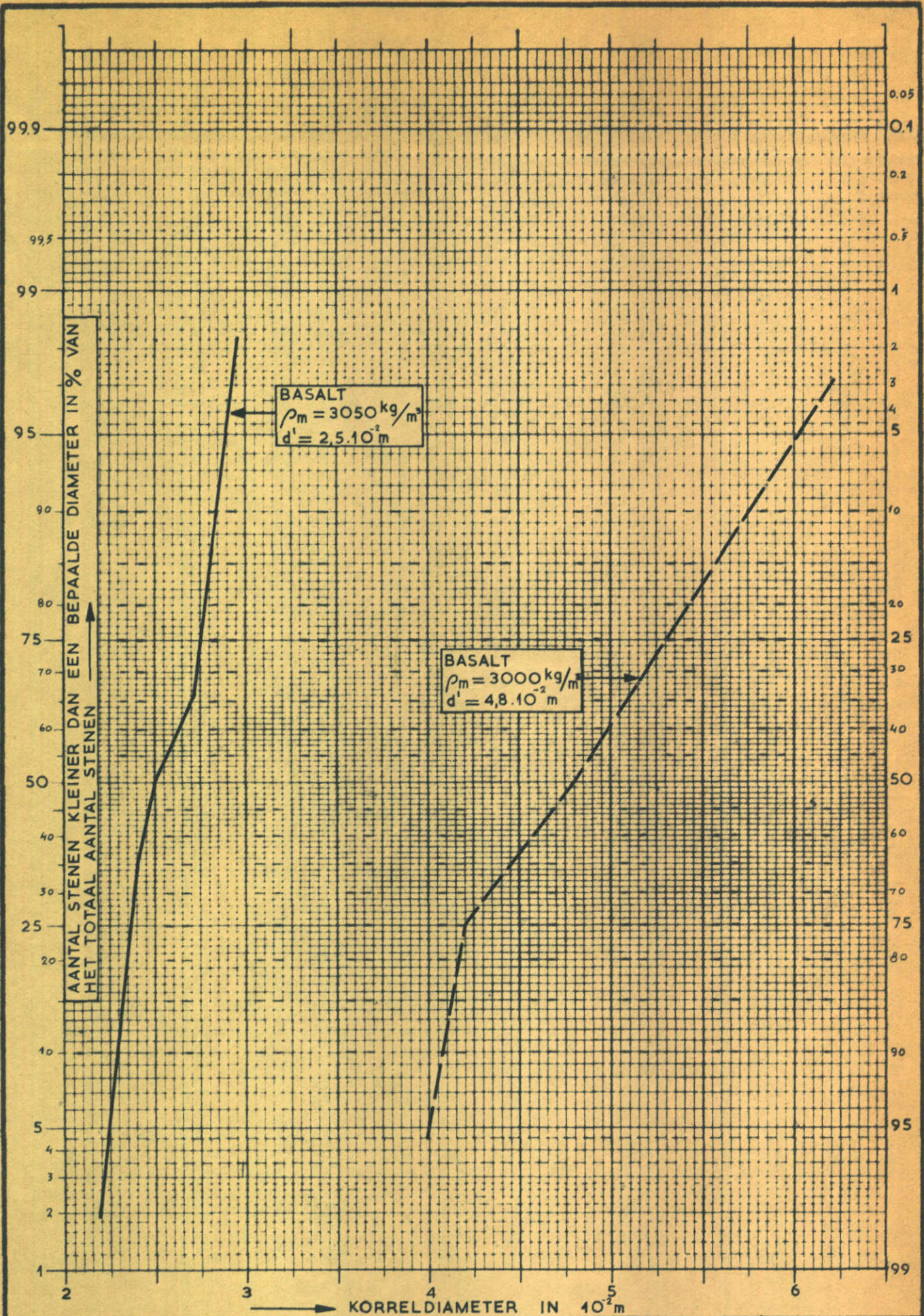


ZEEFANALYSE BASALTSLAG OP EN VOOR
 DE DAM. (1^e methode)

M.711-DEEL IV

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

FIG. 7

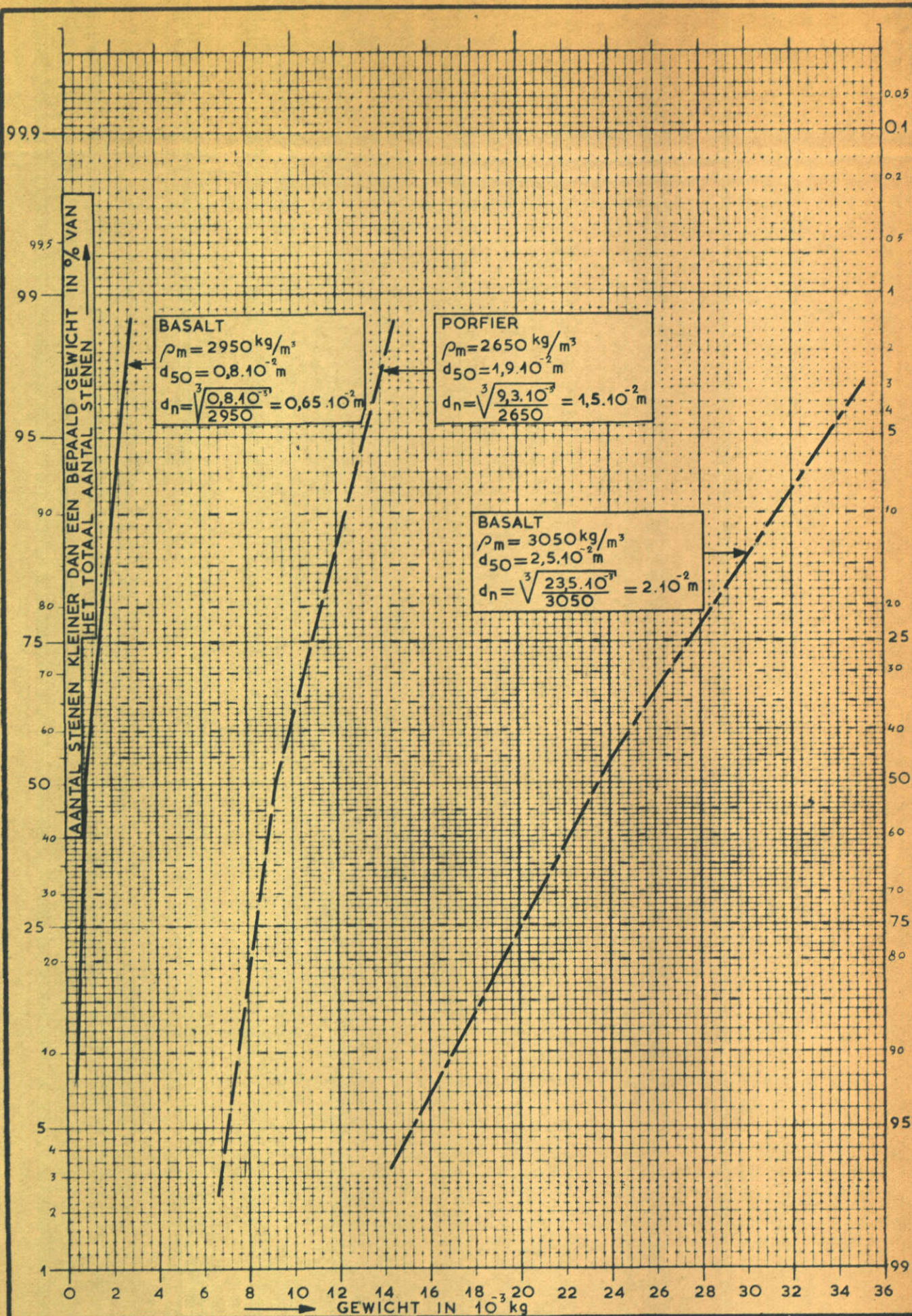


ZEEFANALYSE BASALTSLAG OP EN VOOR DE DAM. (2^e methode)

M.711-DEEL IV

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

FIG. 8

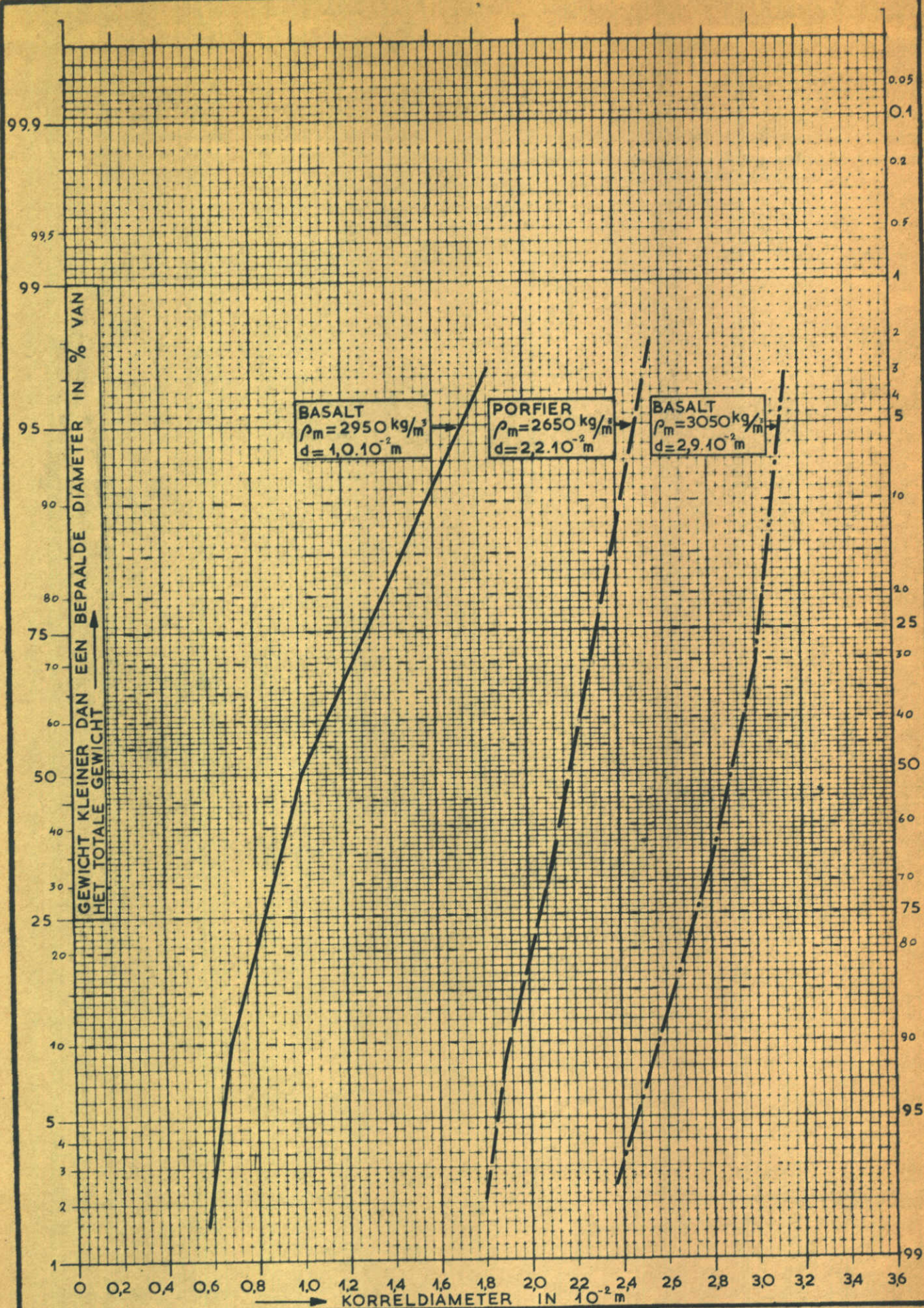


GEWICHTSANALYSE ONDERZOCHE STEEN -
 SLAG ACHTER DE DAM.

M. 711-DEEL IV

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

FIG. 9

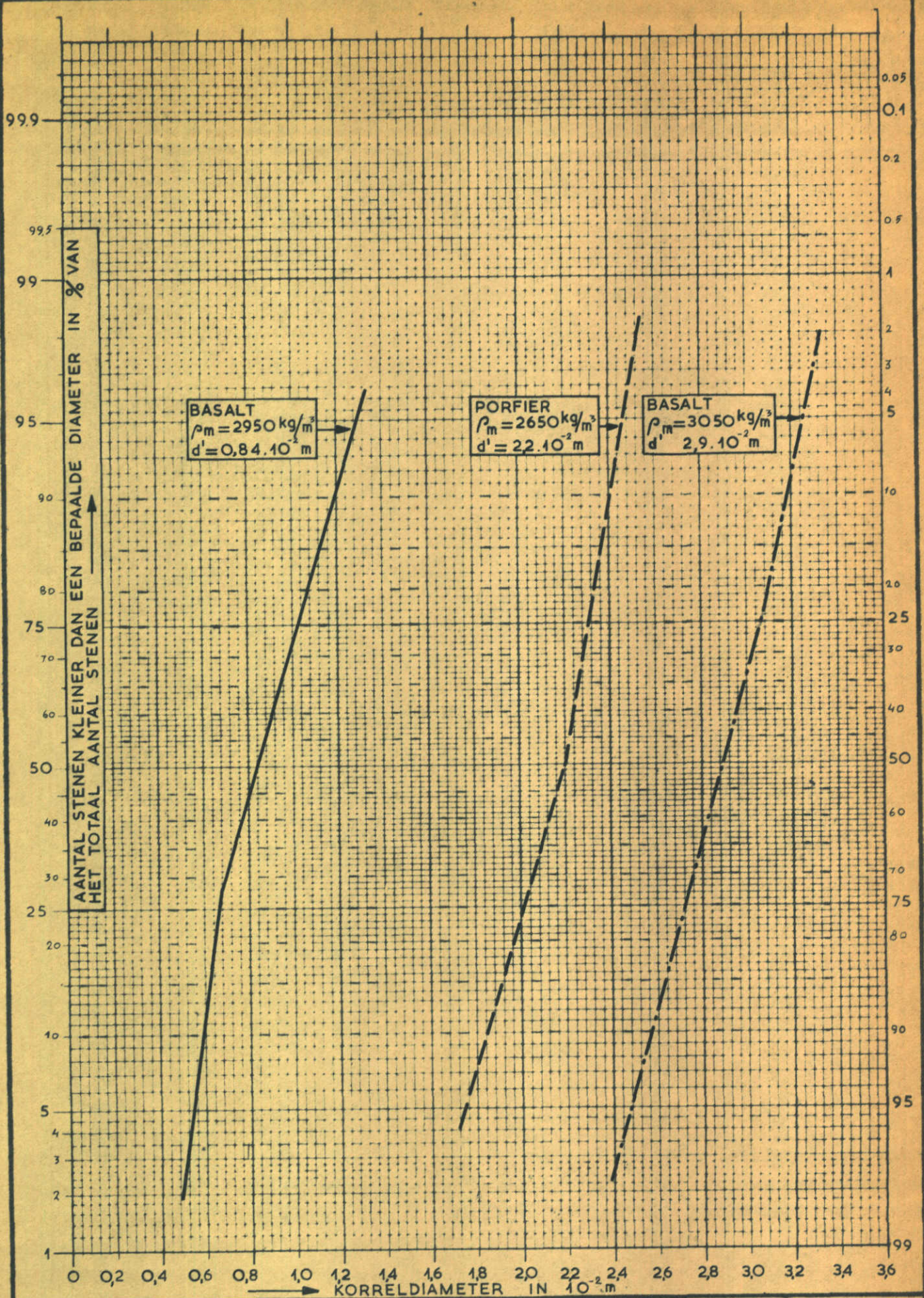


ZEEFANALYSE ONDERZOCHE STEENSLAG
 ACHTER DE DAM. (1^e methode)

M. 711-DEEL IV

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

FIG. 10

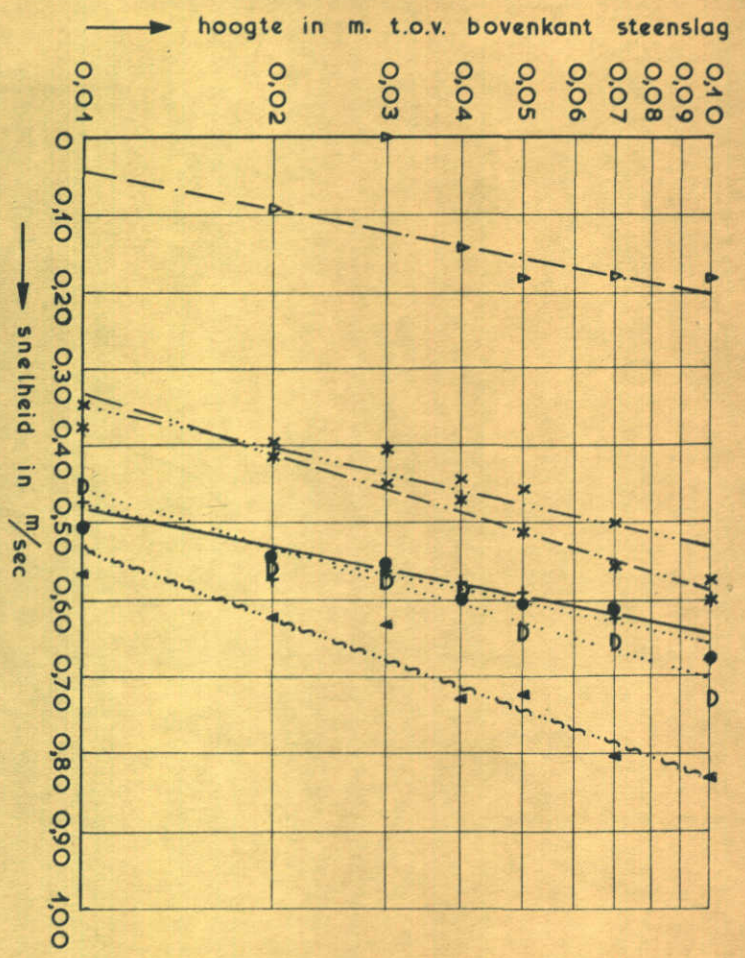
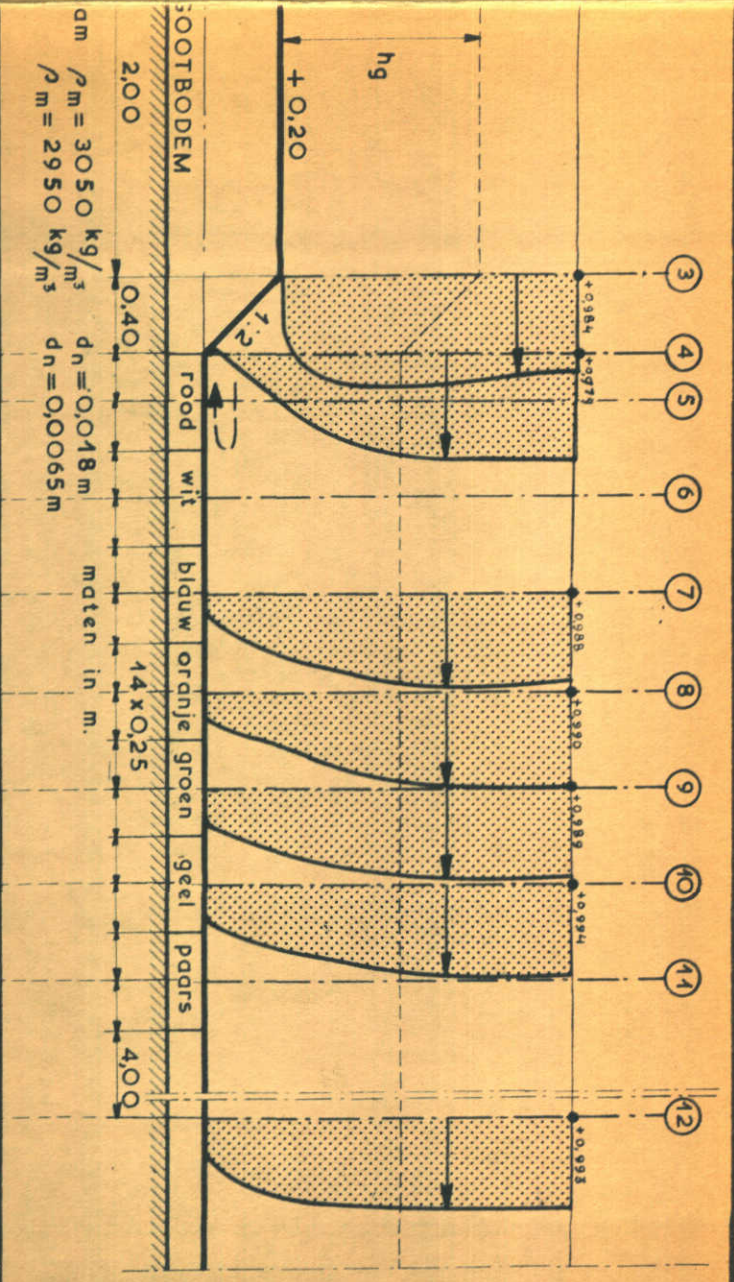
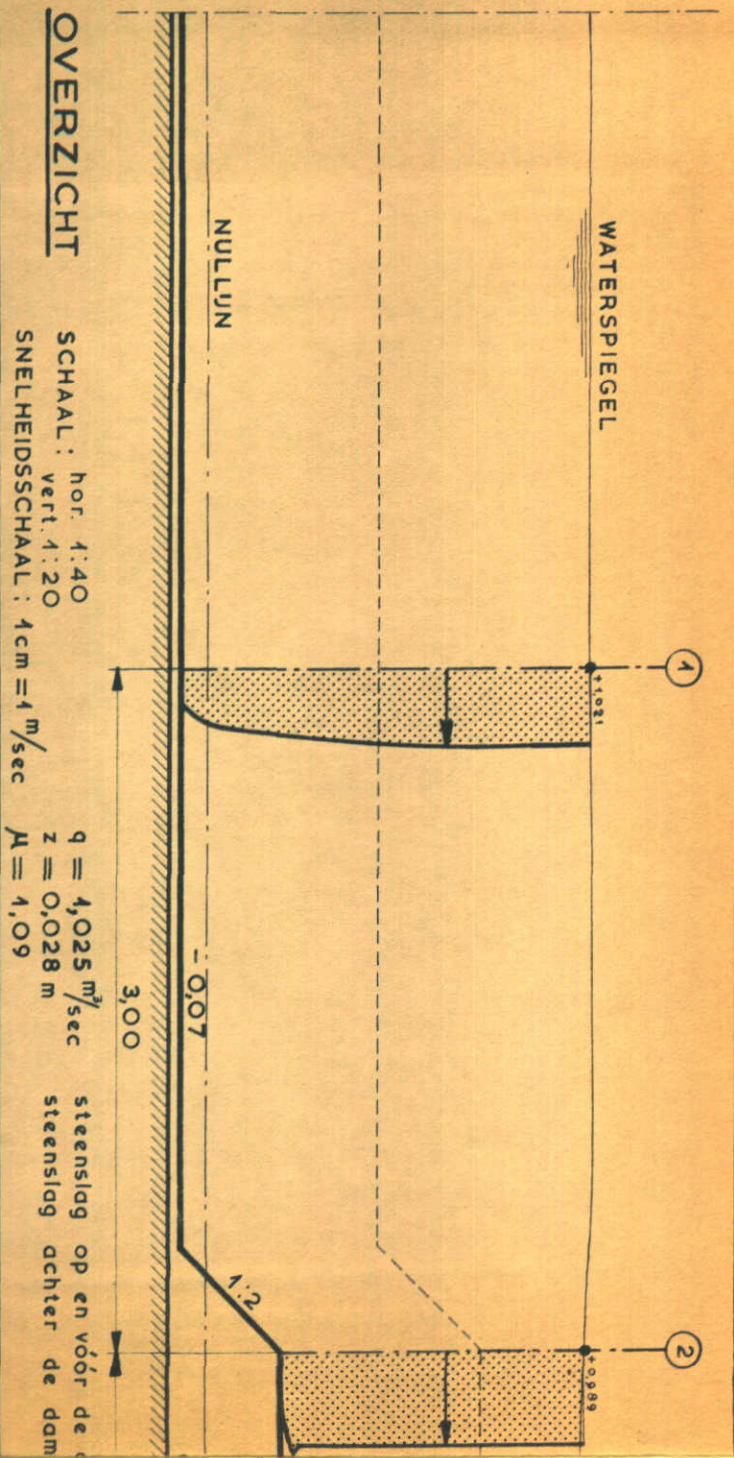


ZEEFANALYSE ONDERZOCHE STEENSLAG
 ACHTER DE DAM. (2^e methode)

M. 711-DEEL IV

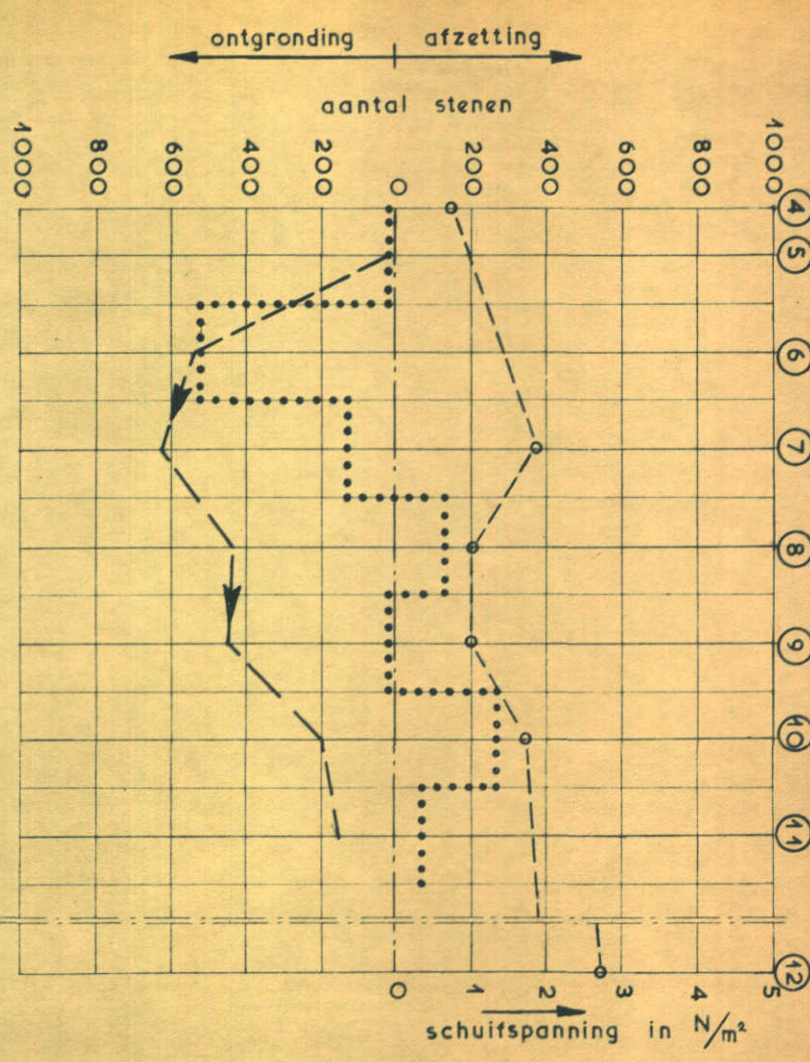
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

FIG. 41



SNELHEIDSVERDELING EN SCHUIFSPANNING

- + ————— vert. ① $T_0 = 0,77 \text{ N/m}^2$
- Δ ————— vert. ④ $T_0 = 0,77 \text{ N/m}^2$
- * ————— vert. ⑦ $T_0 = 1,88 \text{ N/m}^2$
- x ————— vert. ⑧ $T_0 = 0,97 \text{ N/m}^2$
- ————— vert. ⑨ $T_0 = 0,97 \text{ N/m}^2$
- ————— vert. ⑩ $T_0 = 1,73 \text{ N/m}^2$
- ∴ ————— vert. ⑫ $T_0 = 2,70 \text{ N/m}^2$



VERLOOP EROSIE EN SCHUIFSPANNING

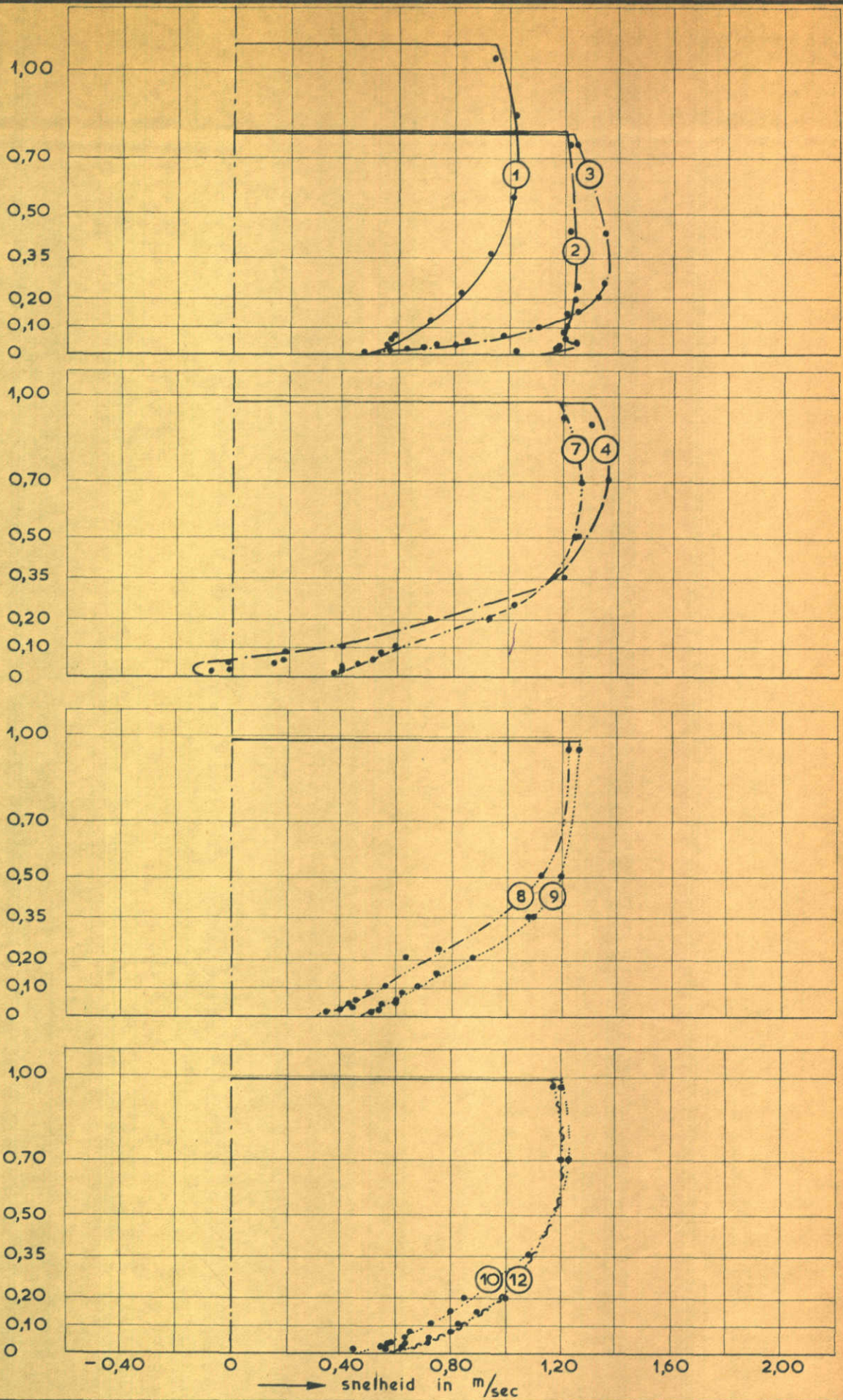
- } bruto transport in richting en grootte (aantal stenen)
- } bruto transport in richting en grootte (totaal steengewicht)
- } netto transport (aantal stenen)
- } netto transport (totaal steengewicht)
- } schuifspanning

SNELHEIDSVERDELING, WATERSTANDSVERLOOP, EROSIE EN SCHUIFSPANNING.

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 711-DEEL IV
 PROEFSERIE I
 T 1 FIG. 12

↑ hoogte in m t.o.v. bovenkant steenslag



SNELHEIDSVERTICALEN

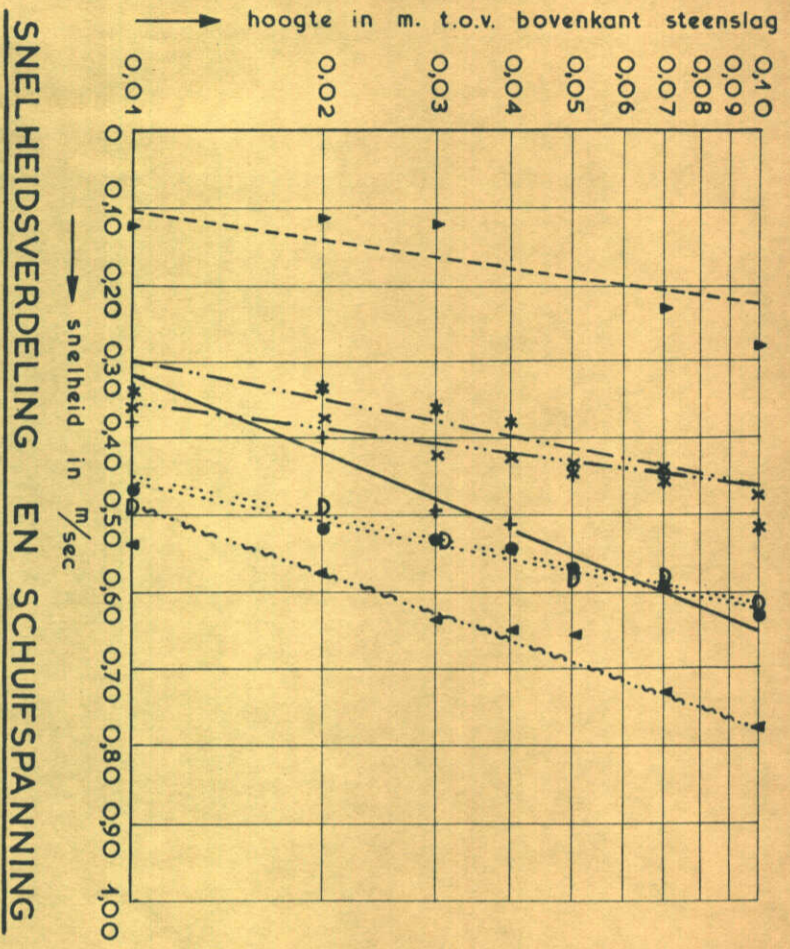
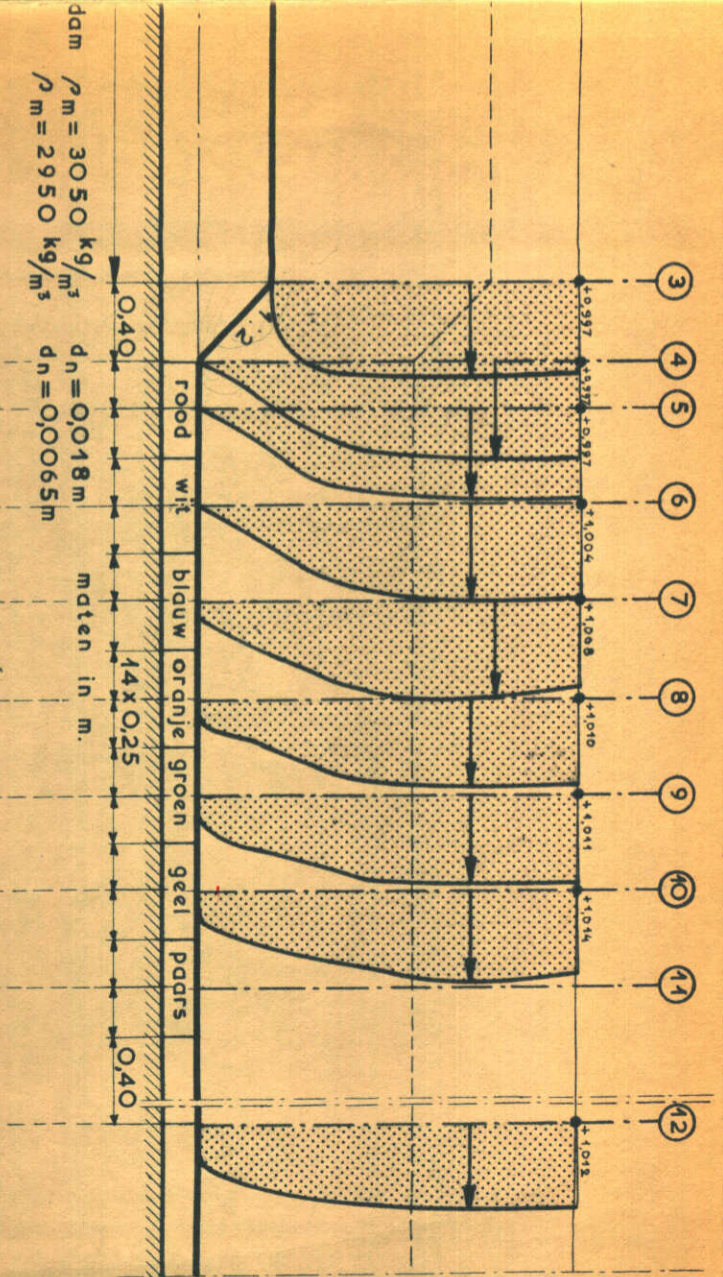
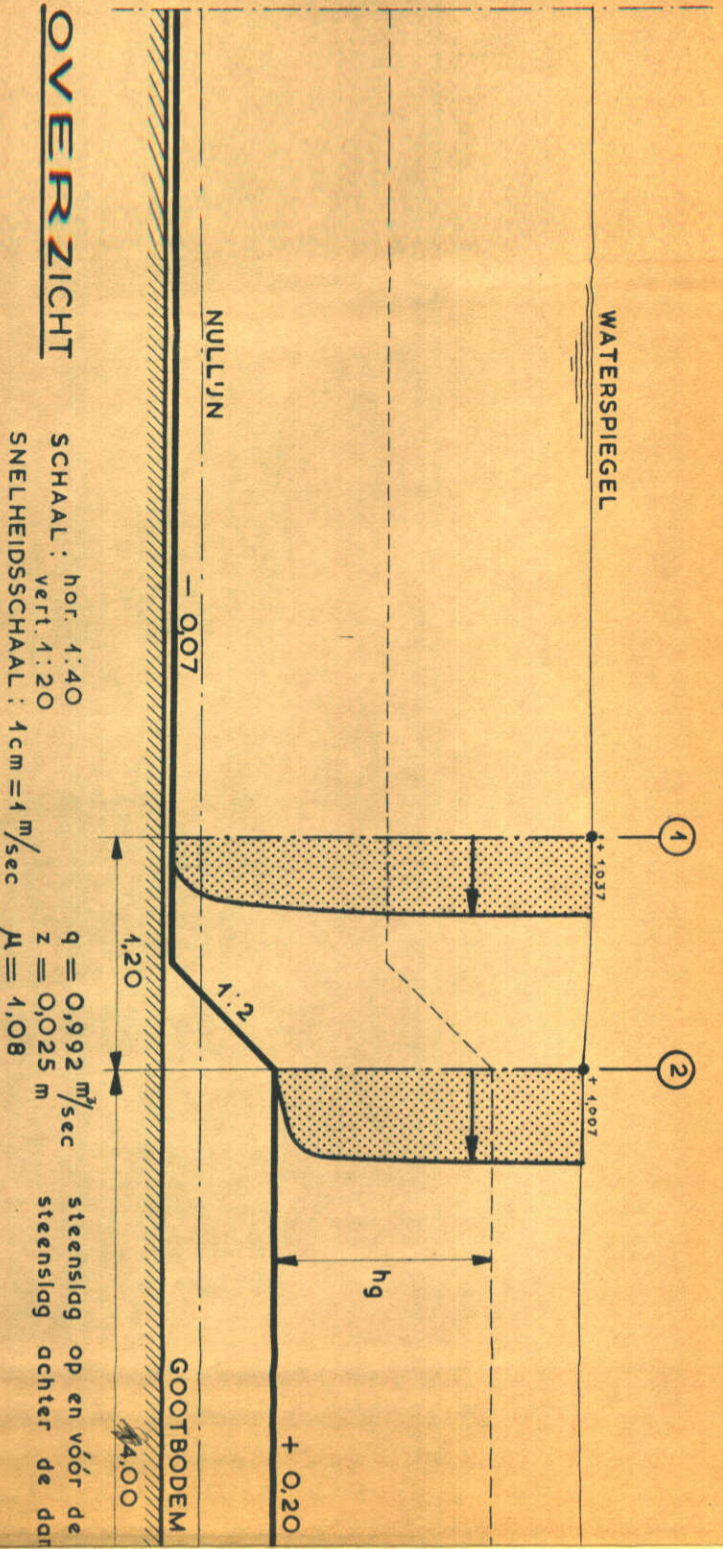
M. 711-DEEL IV

PROEFSERIE I

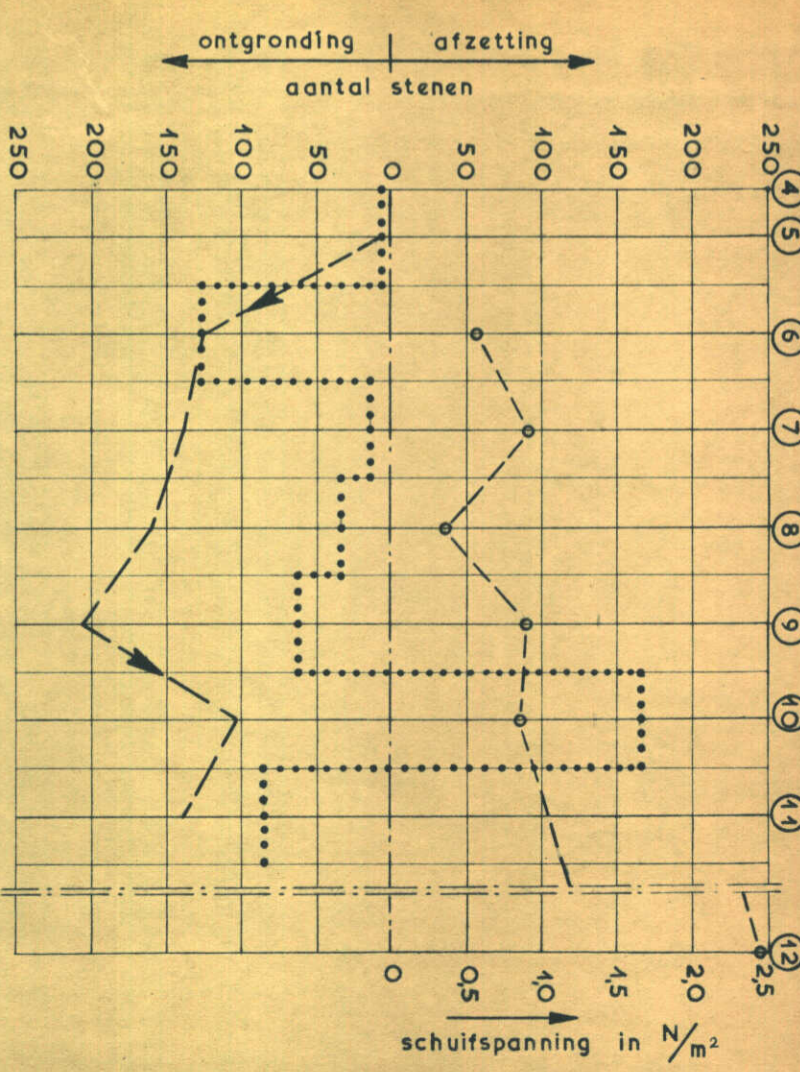
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

T 1

FIG. 13



- + ————— vert. ① $T_o = 3,47 \text{ N/m}^2$
- Δ ————— vert. ⑥ $T_o = 0,51 \text{ N/m}^2$
- * ————— vert. ⑦ $T_o = 0,87 \text{ N/m}^2$
- x ————— vert. ⑧ $T_o = 0,33 \text{ N/m}^2$
- ————— vert. ⑨ $T_o = 0,87 \text{ N/m}^2$
- ————— vert. ⑩ $T_o = 0,82 \text{ N/m}^2$
- ▽ ————— vert. ⑫ $T_o = 2,52 \text{ N/m}^2$



SNELHEIDSVERDELING, WATERSTANDSVERLOOP,
 EROOSIE EN SCHUIFSPANNING.

M. 711-DEEL IV
 PROEFSERIE I

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

T 2 FIG. 14

bruto transport in richting en grootte (aantal stenen)

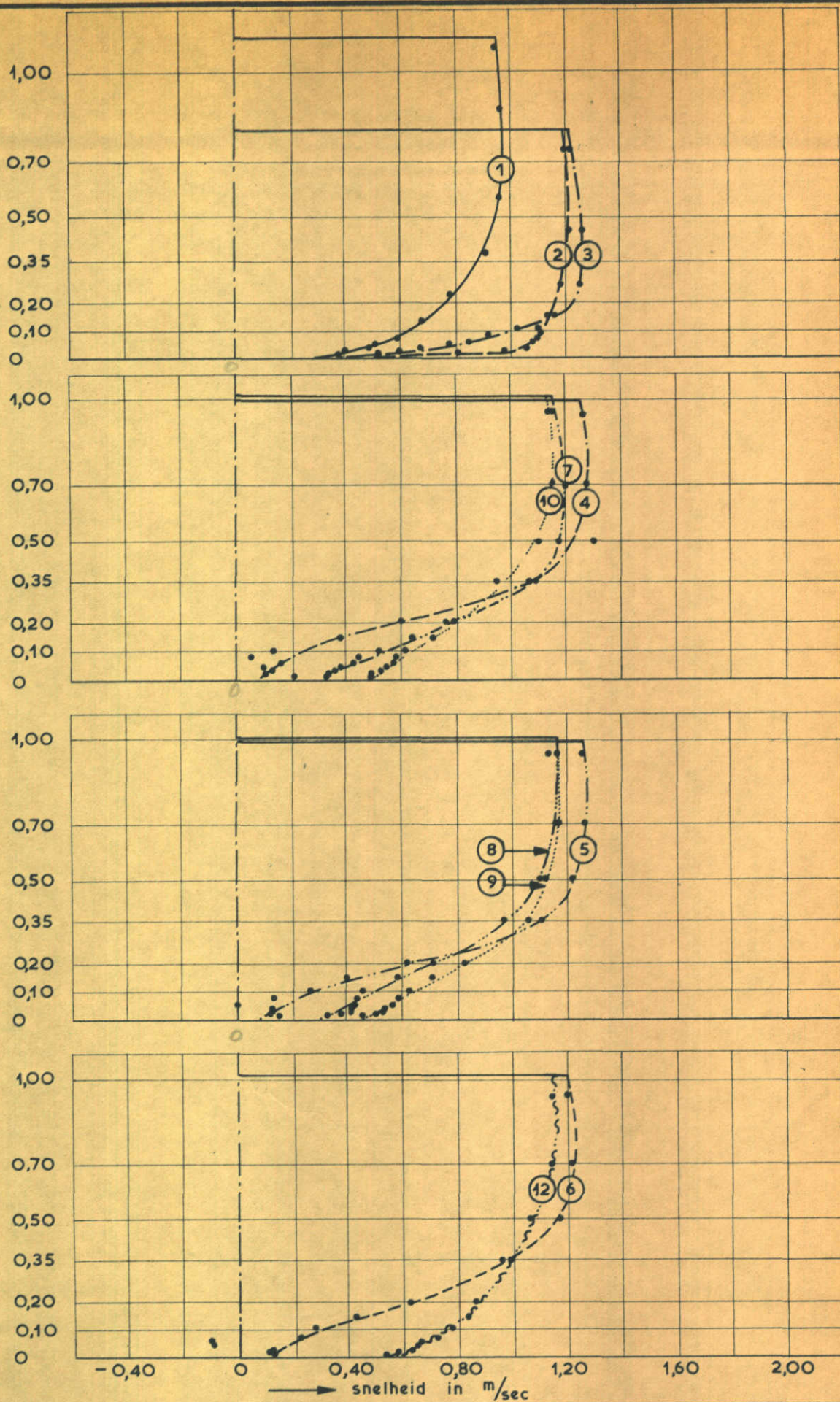
bruto transport in richting en grootte (totaal steengewicht)

netto transport (aantal stenen)

netto transport (totaal steengewicht)

schuifspanning

↑ hoogte in m t.o.v. bovenkant steenslag



SNELHEIDSVERTICALALEN

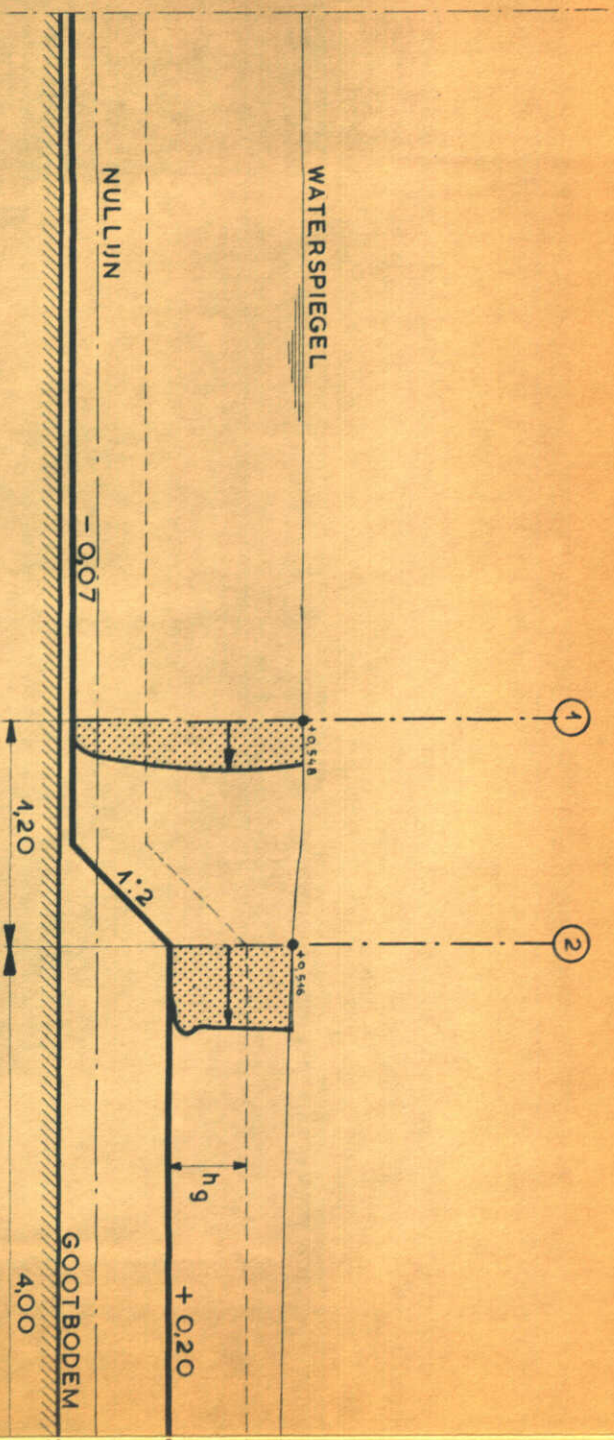
M. 711-DEEL IV

PROEFSERIE I

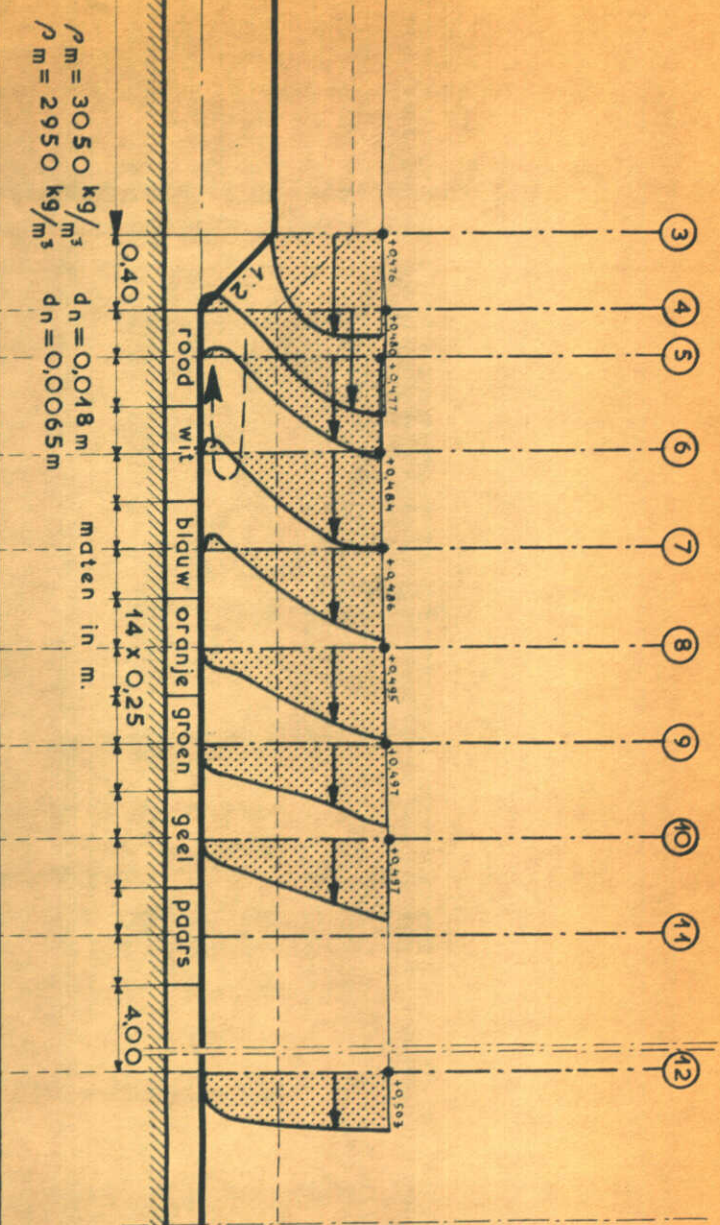
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

T 2

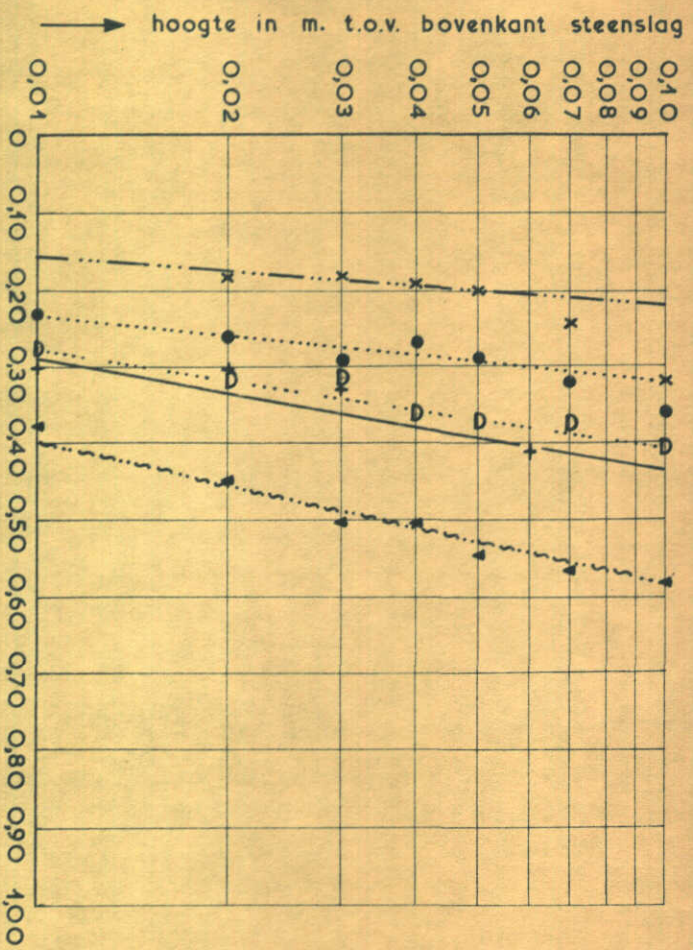
FIG. 15



OVERZICHT
 SCHAAL: hor. 1:40
 SNELHEIDSSCHAAL: 1cm = 1 m/sec



steenslag op en vóór de dam
 steenslag achter de dam
 $\rho_m = 3050 \text{ kg/m}^3$
 $\rho_m = 2950 \text{ kg/m}^3$
 $d_n = 0.048 \text{ m}$
 $d_n = 0.0065 \text{ m}$



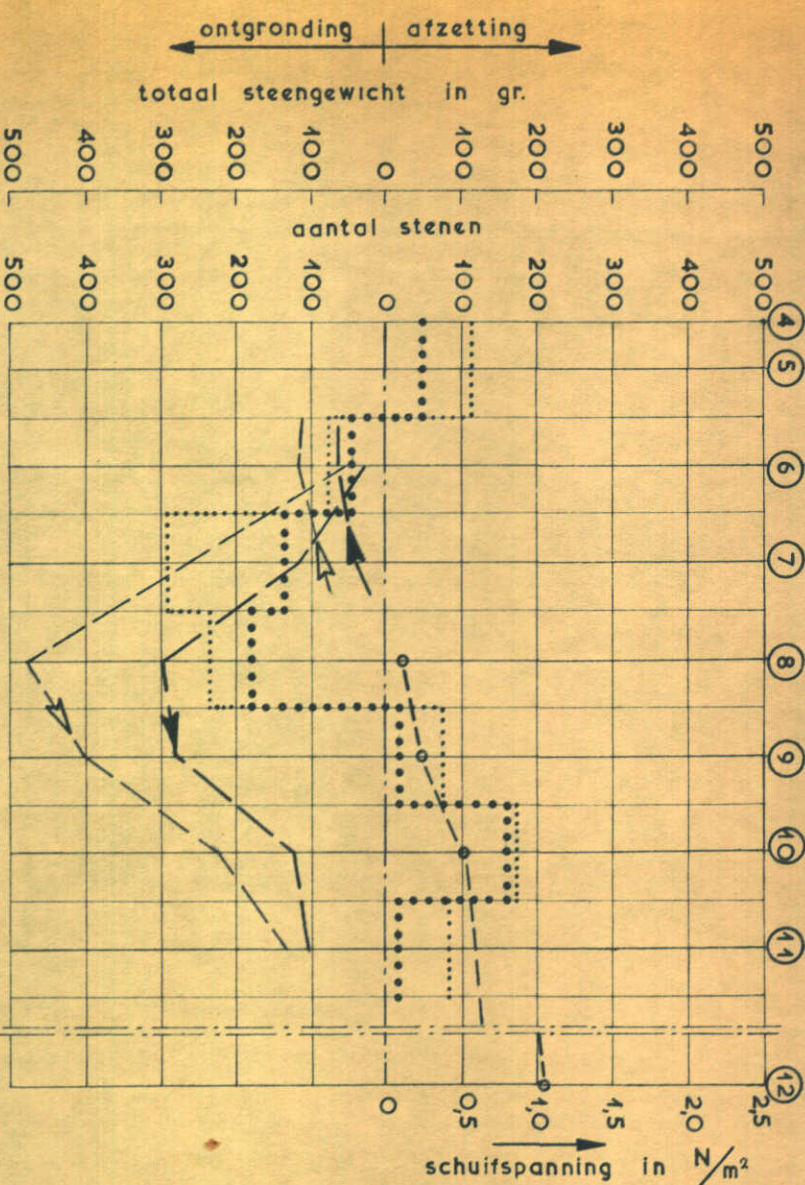
SNELHEIDSVERDELING EN SCHUIFSPANNING

- + vert. ① $T_0 = 0,59 \text{ N/m}^2$
- x vert. ⑧ $T_0 = 0,14 \text{ N/m}^2$
- vert. ⑨ $T_0 = 0,24 \text{ N/m}^2$
- vert. ⑩ $T_0 = 0,51 \text{ N/m}^2$
- vert. ⑫ $T_0 = 1,03 \text{ N/m}^2$

SNELHEIDSVERDELING, WATERSTANDSVERLOOP,
 EROOSIE EN SCHUIFSPANNING.

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

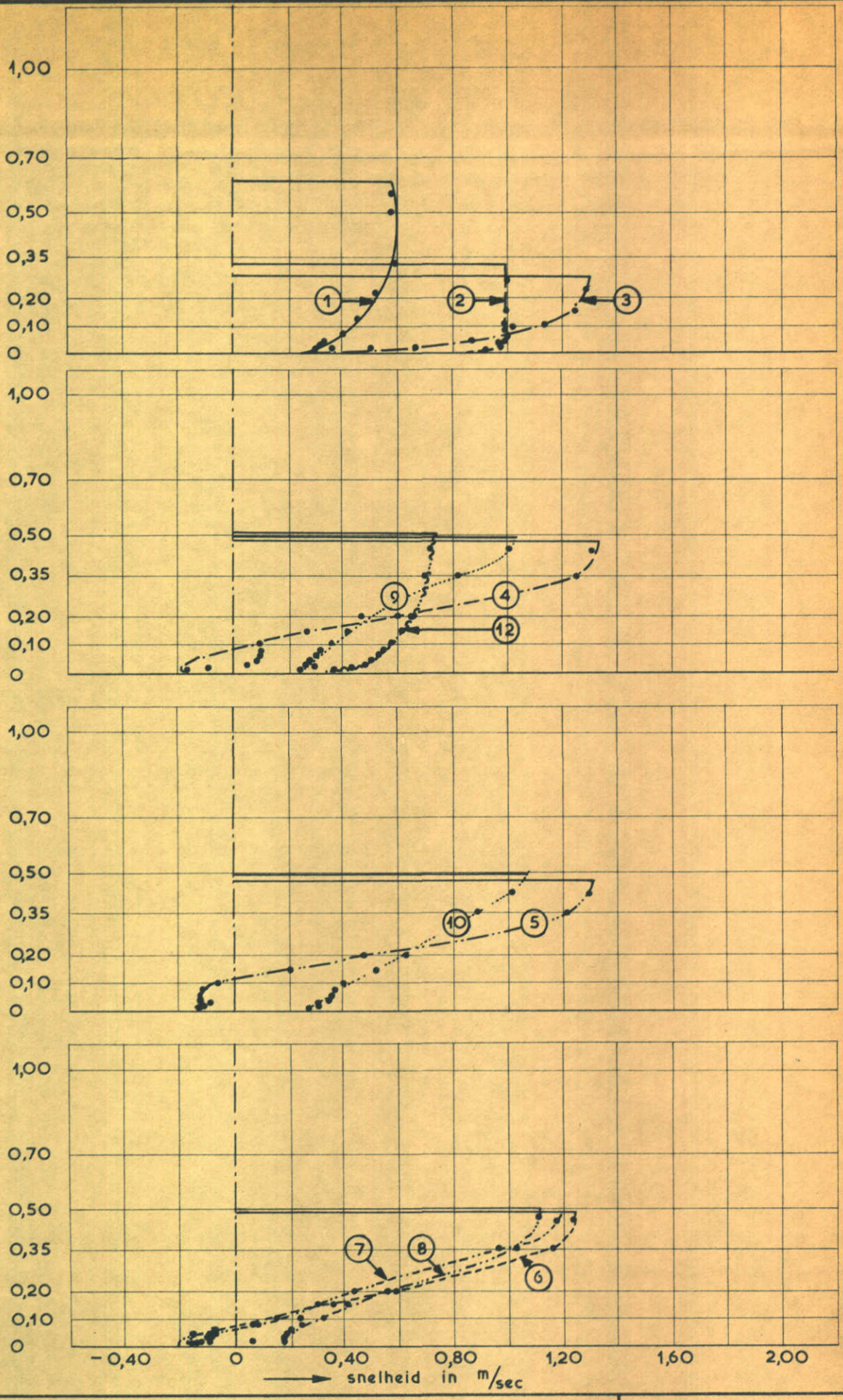
M. 711-DEEL IV
 PROEFSERIE I
 T 3 FIG. 16



VERLOOP EROOSIE EN SCHUIFSPANNING

- bruto transport in richting en grootte (aantal stenen)
- bruto transport in richting en grootte (totaal steengewicht)
- netto transport (aantal stenen)
- netto transport (totaal steengewicht)
- schuifspanning

hoogte in m t.o.v. bovenkant steenslag



SNELHEIDSVERTICALEN

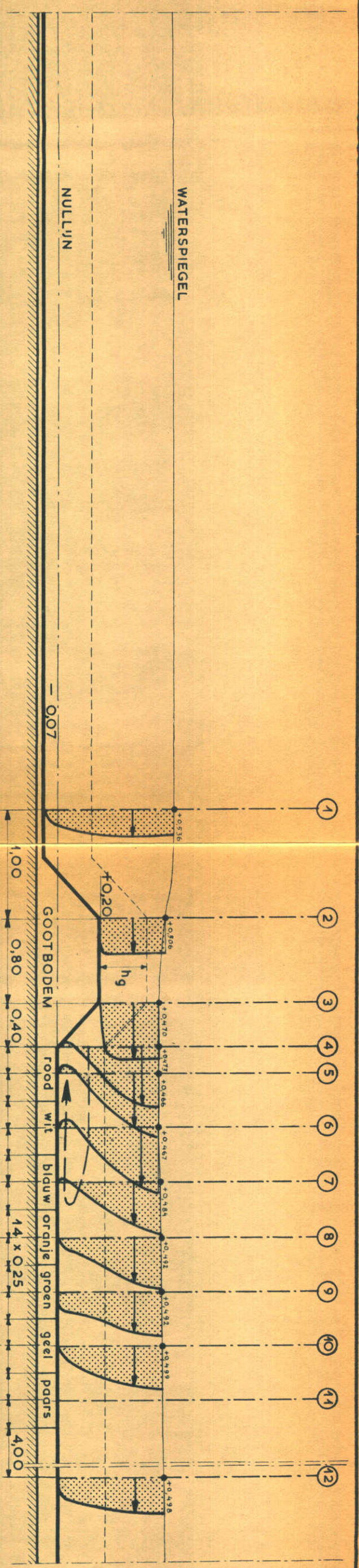
M. 711-DEEL IV

PROEFSERIE I

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

T 3

FIG. 17



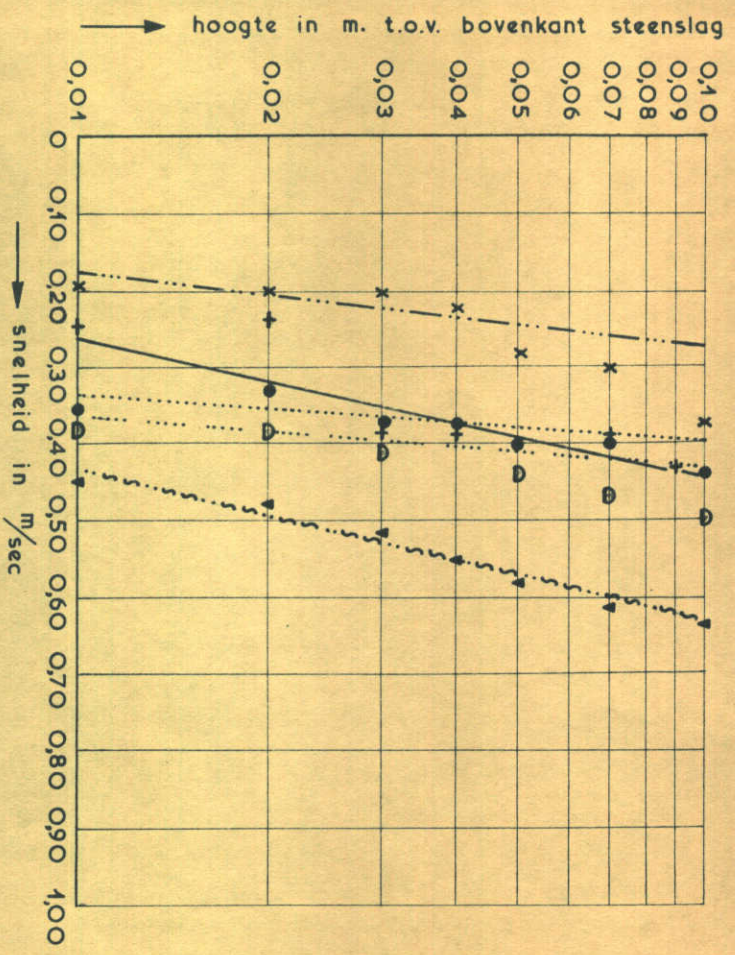
OVERZICHT

SCHAAL: hor. 1:40
 vert. 1:20

SNELHEIDSSCHAAL: 1 cm = 1 m/sec

$q = 0,339 \text{ m}^3/\text{sec}$
 $z = 0,038 \text{ m}$
 $\mu = 1,09$

steenslag op en vóór de dam
 steenslag achter de dam



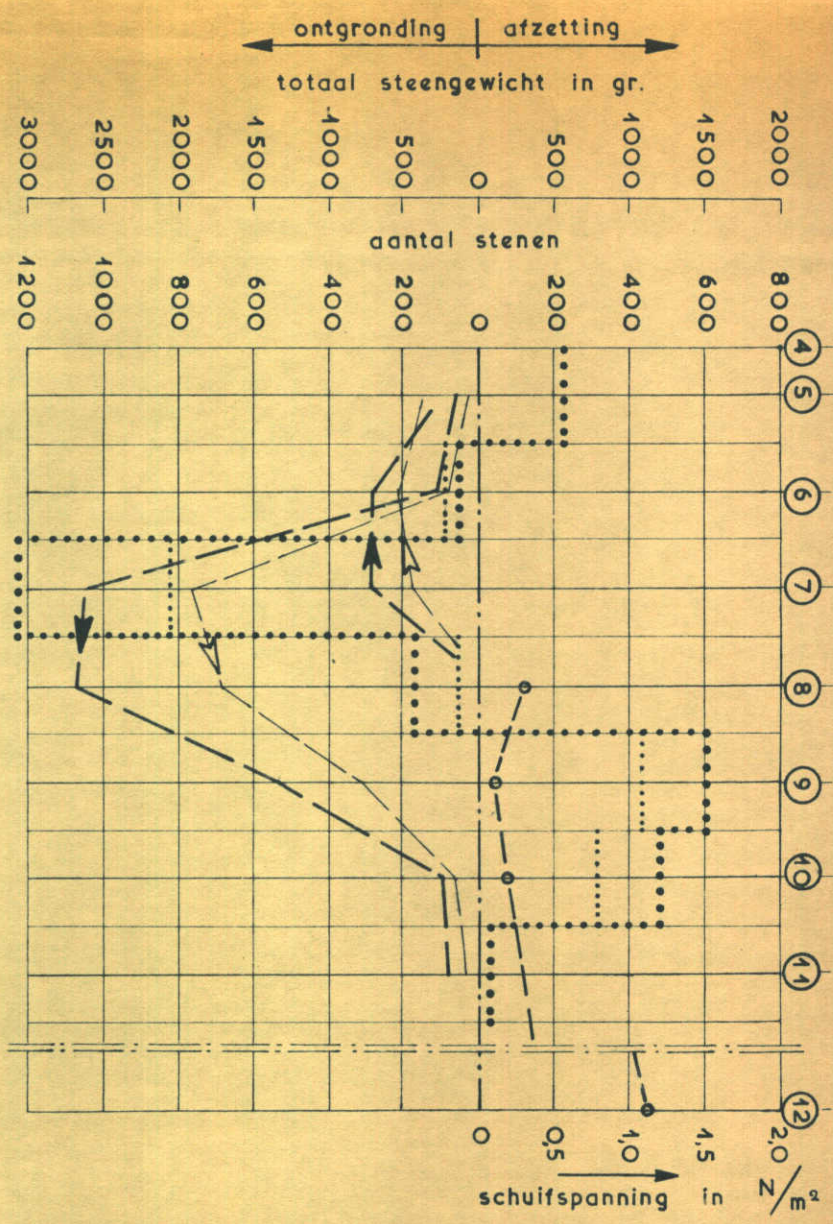
- + ————— vert. (1) $T_0 = 0,97 \text{ N/m}^2$
- x - - - - - vert. (8) $T_0 = 0,30 \text{ N/m}^2$
- vert. (9) $T_0 = 0,11 \text{ N/m}^2$
- vert. (10) $T_0 = 0,17 \text{ N/m}^2$
- ∇ vert. (12) $T_0 = 1,14 \text{ N/m}^2$

SNELHEIDSVERDELING, WATERSTANDSVERLOOP, EROOSIE EN SCHUIFSPANNING.

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 711-DEEL IV
 PROEFSERIE I

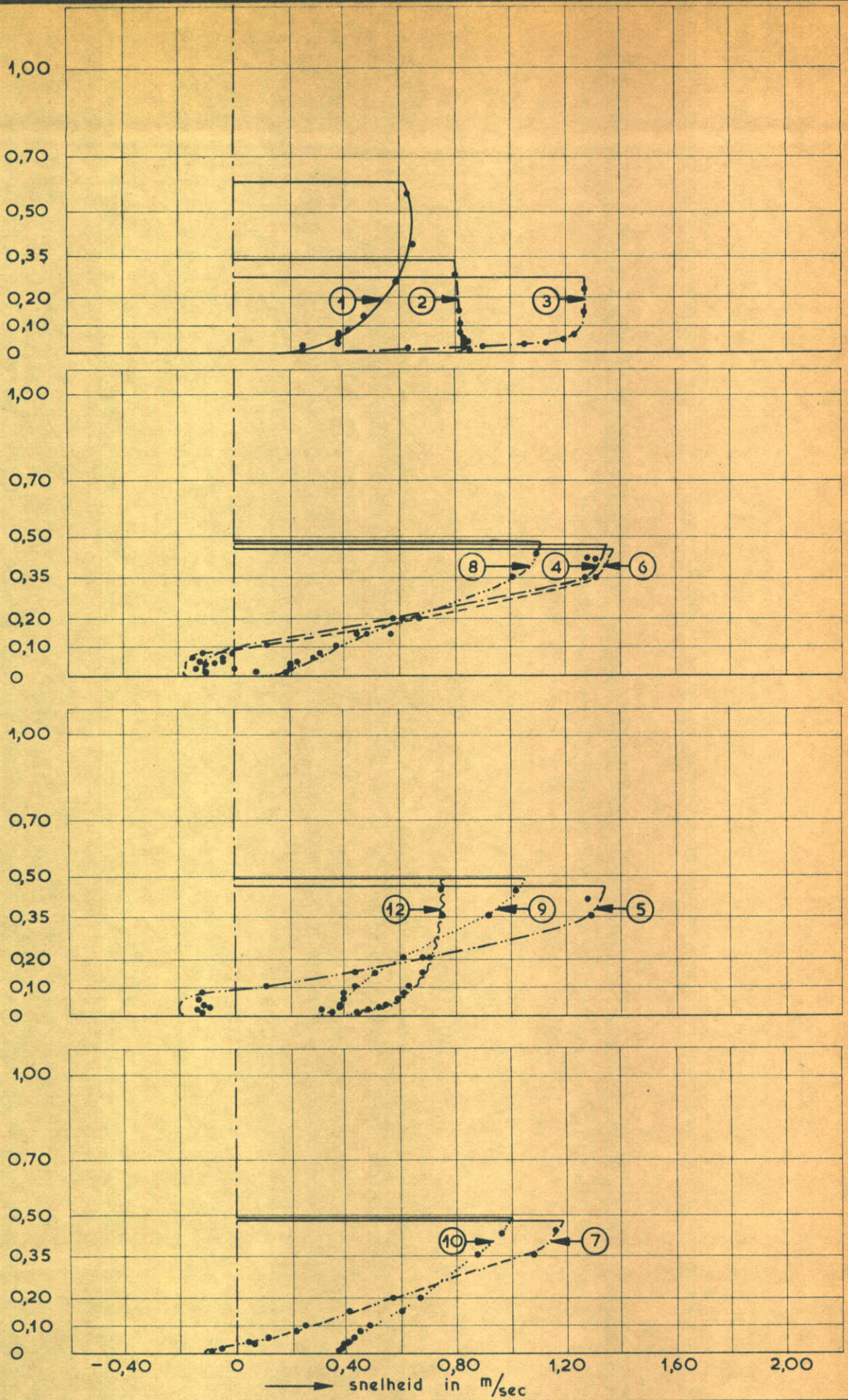
T4 FIG. 18



VERLOOP EROOSIE EN SCHUIFSPANNING

- } bruto transport in richting en grootte (aantal stenen)
- } bruto transport in richting en grootte (totaal steengewicht)
- } netto transport (aantal stenen)
- } netto transport (totaal steengewicht)
- } schuifspanning

↑ hoogte in m t.o.v. bovenkant steenslag



SNELHEIDSVERTICALEN

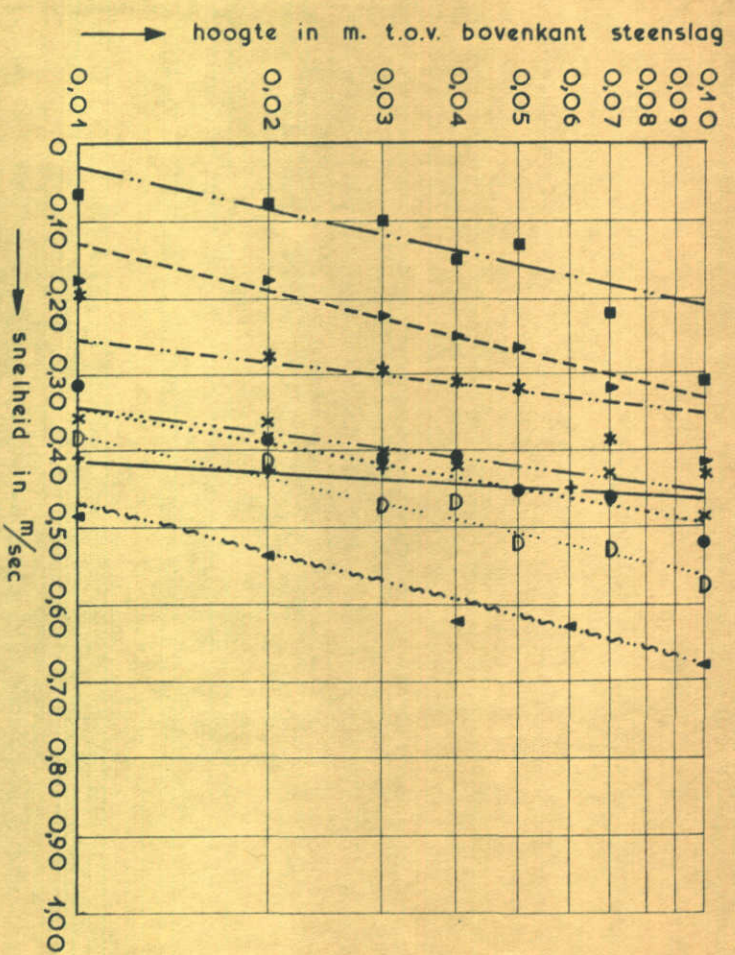
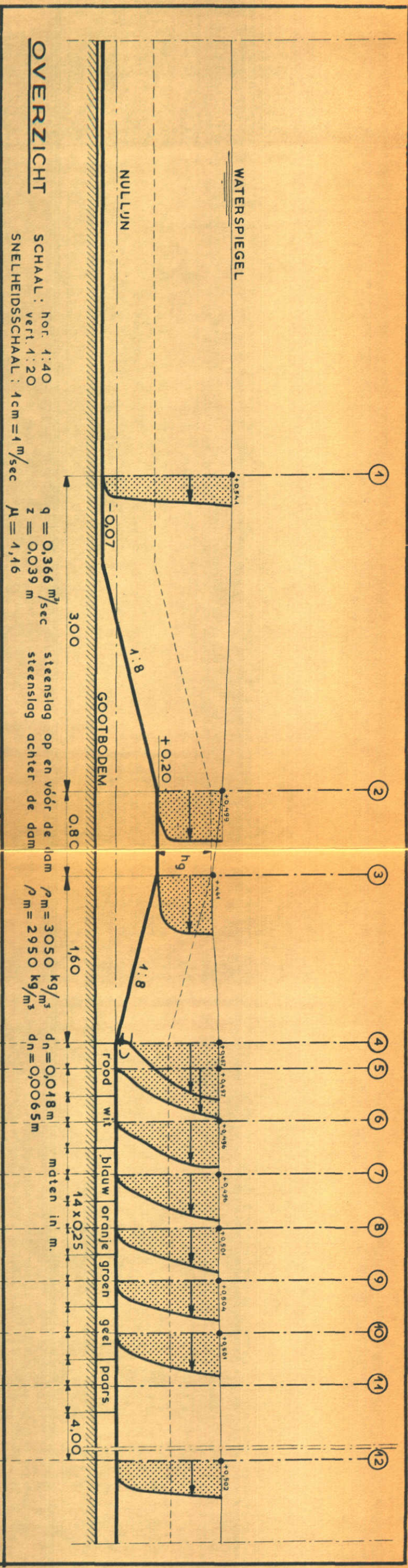
M. 711-DEEL IV

PROEFSERIE I

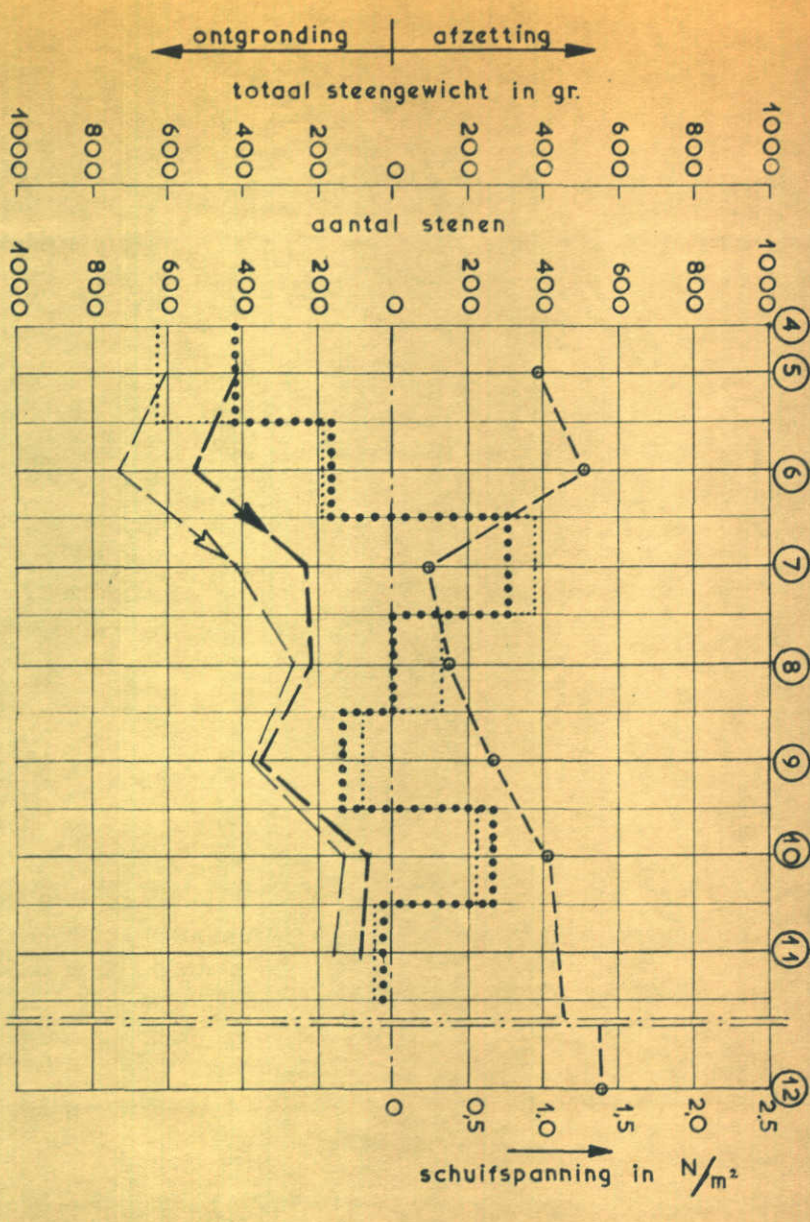
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

T4

FIG. 19



- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> + ————— vert. ① $T_0 = 0,08 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$ ——— vert. ⑤ $T_0 = 0,97 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$ - - - - - vert. ⑥ $T_0 = 4,27 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$ * - - - - - vert. ⑦ $T_0 = 0,24 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$ | <ul style="list-style-type: none"> x - - - - - vert. ⑧ $T_0 = 0,36 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$ ● ········· vert. ⑨ $T_0 = 0,67 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$ ○ ········· vert. ⑩ $T_0 = 1,03 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$ v ········· vert. ⑫ $T_0 = 1,39 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$ |
|--|--|



- } brutotransport in richting en grootte (aantal stenen)
- } brutotransport in richting en grootte (totaal steengewicht)
- · · · ·} nettotransport (aantal stenen)
- · · · ·} nettotransport (totaal steengewicht)
- o - - - -} schuifspanning

SNELHEIDSVERDELING, WATERSTANDSVERLOOP, EROISIE EN SCHUIFPANNNING.

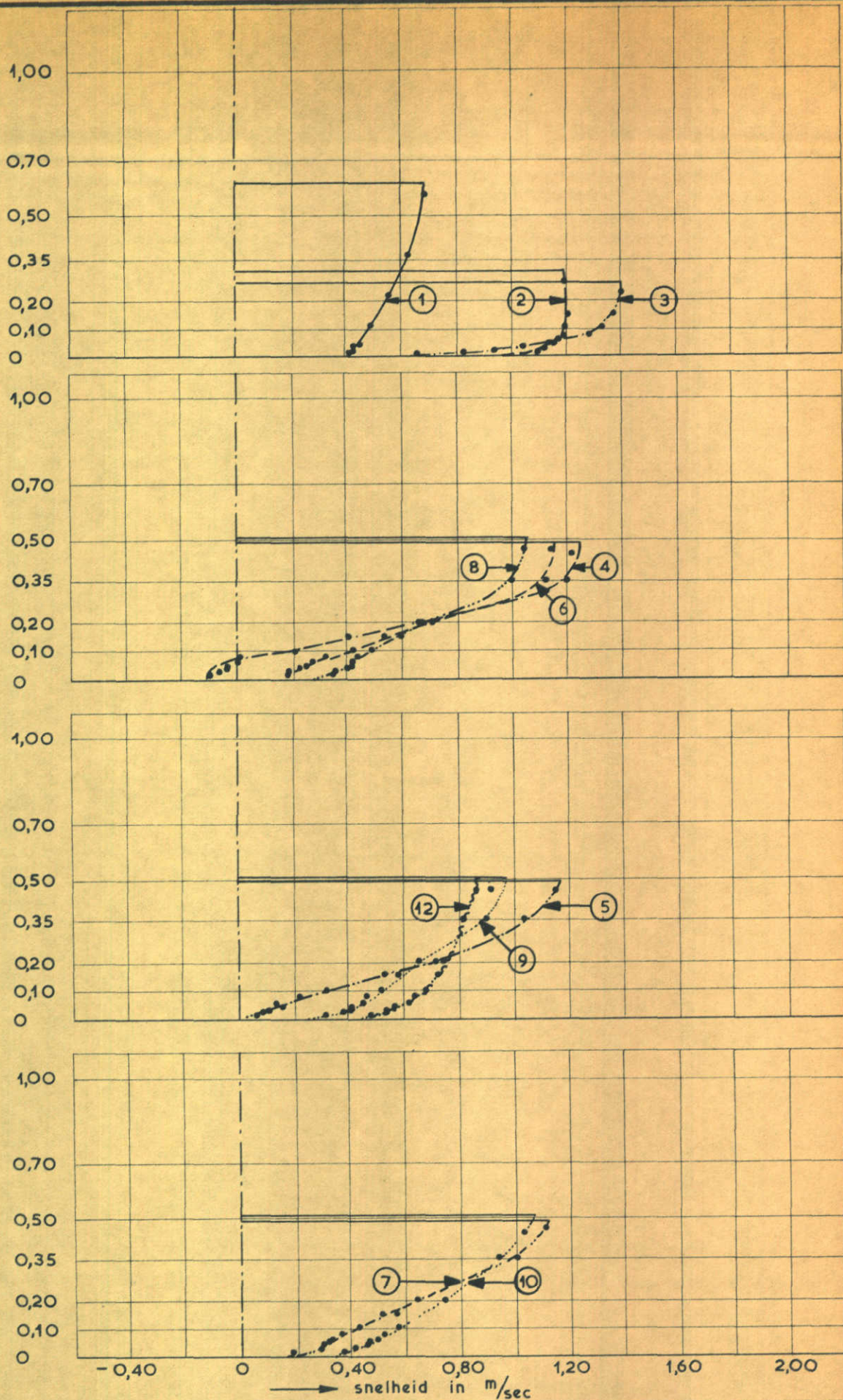
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 711-DEEL IV

PROEFSERIE I

T5 FIG. 20

↑ hoogte in m t.o.v. bovenkant steenslag



SNELHEIDSVERTICALEN

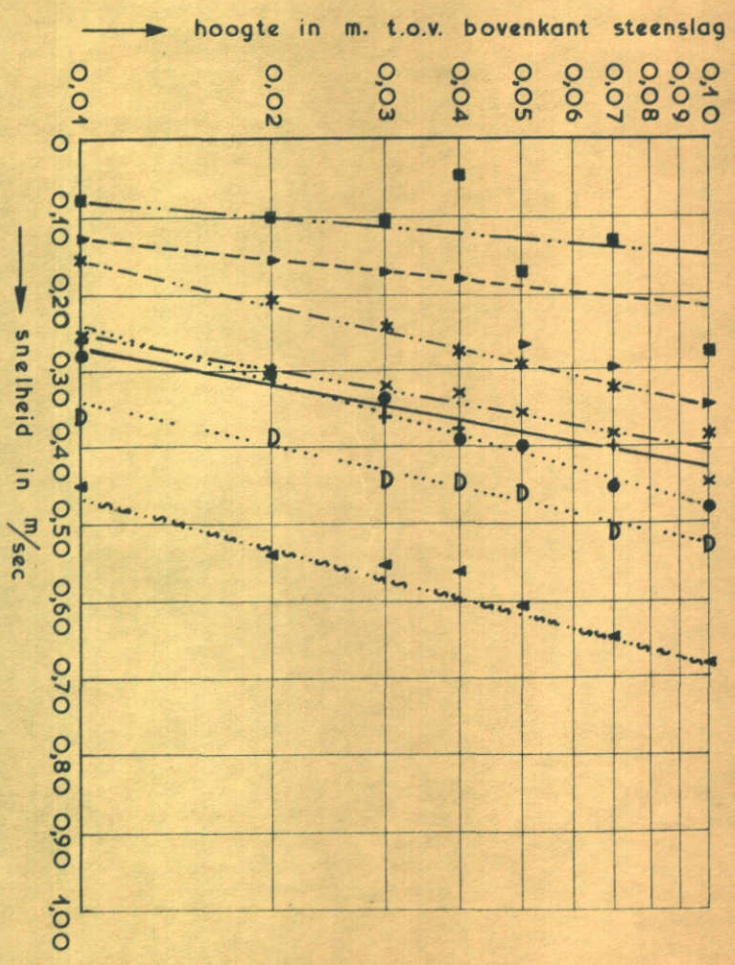
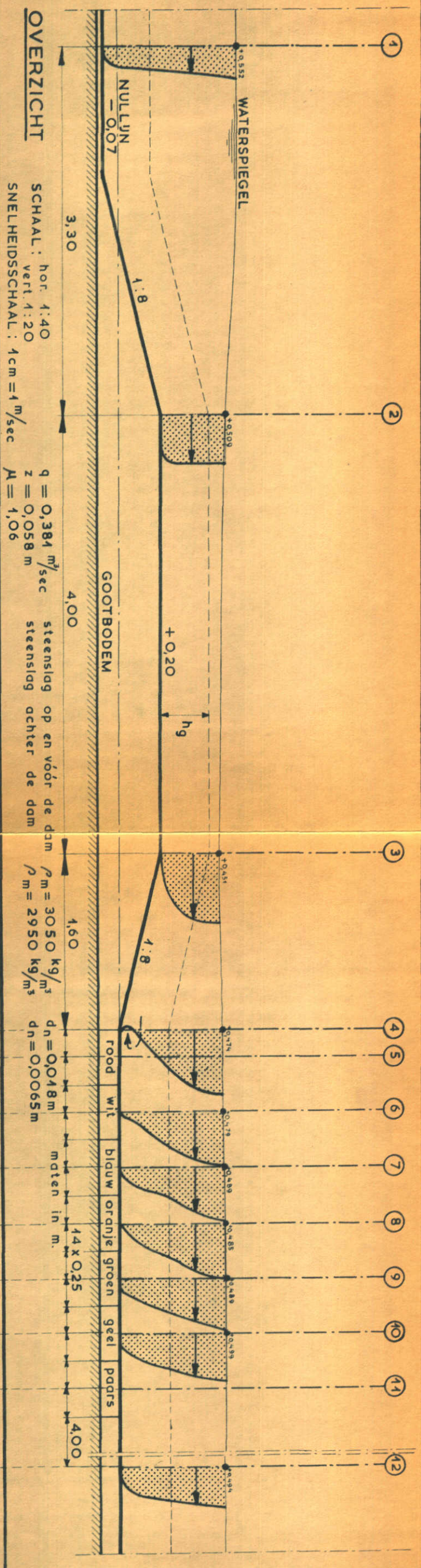
M. 711-DEEL IV

PROEFSERIE I

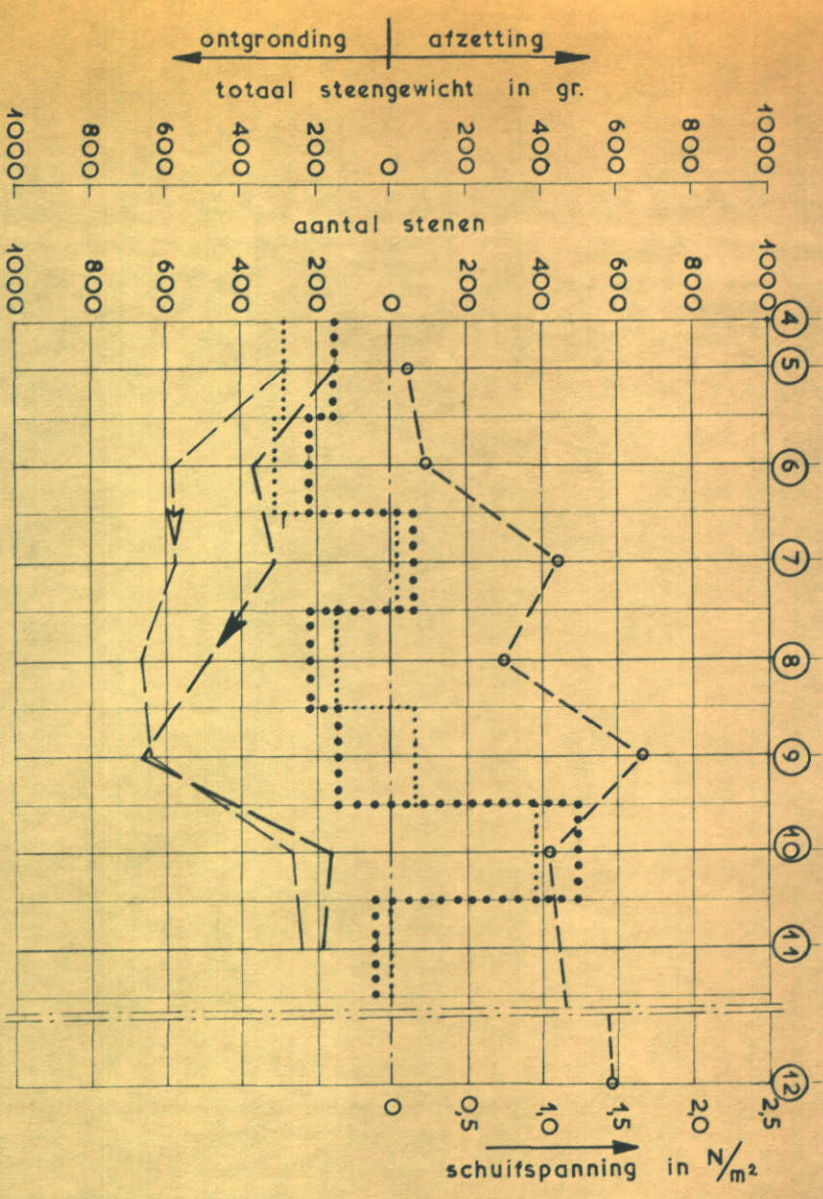
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

T5

FIG. 21



- | | | | | | |
|---|---------|----------------------------|---|---------|----------------------------|
| + | vert. ④ | $T_0 = 0,77 \text{ N/m}^2$ | x | vert. ⑧ | $T_0 = 0,72 \text{ N/m}^2$ |
| ■ | vert. ⑤ | $T_0 = 0,13 \text{ N/m}^2$ | ● | vert. ⑨ | $T_0 = 1,66 \text{ N/m}^2$ |
| ▲ | vert. ⑥ | $T_0 = 0,24 \text{ N/m}^2$ | ○ | vert. ⑩ | $T_0 = 1,03 \text{ N/m}^2$ |
| x | vert. ⑦ | $T_0 = 1,09 \text{ N/m}^2$ | ▽ | vert. ⑫ | $T_0 = 1,45 \text{ N/m}^2$ |



SNELHEIDSVERDELING, WATERSTANDSVERLOOP, EROOSIE EN SCHUIFSPANNING.

M. 711-DEEL IV

PROEFSERIE I

bruto transport in richting en grootte (aantal stenen)

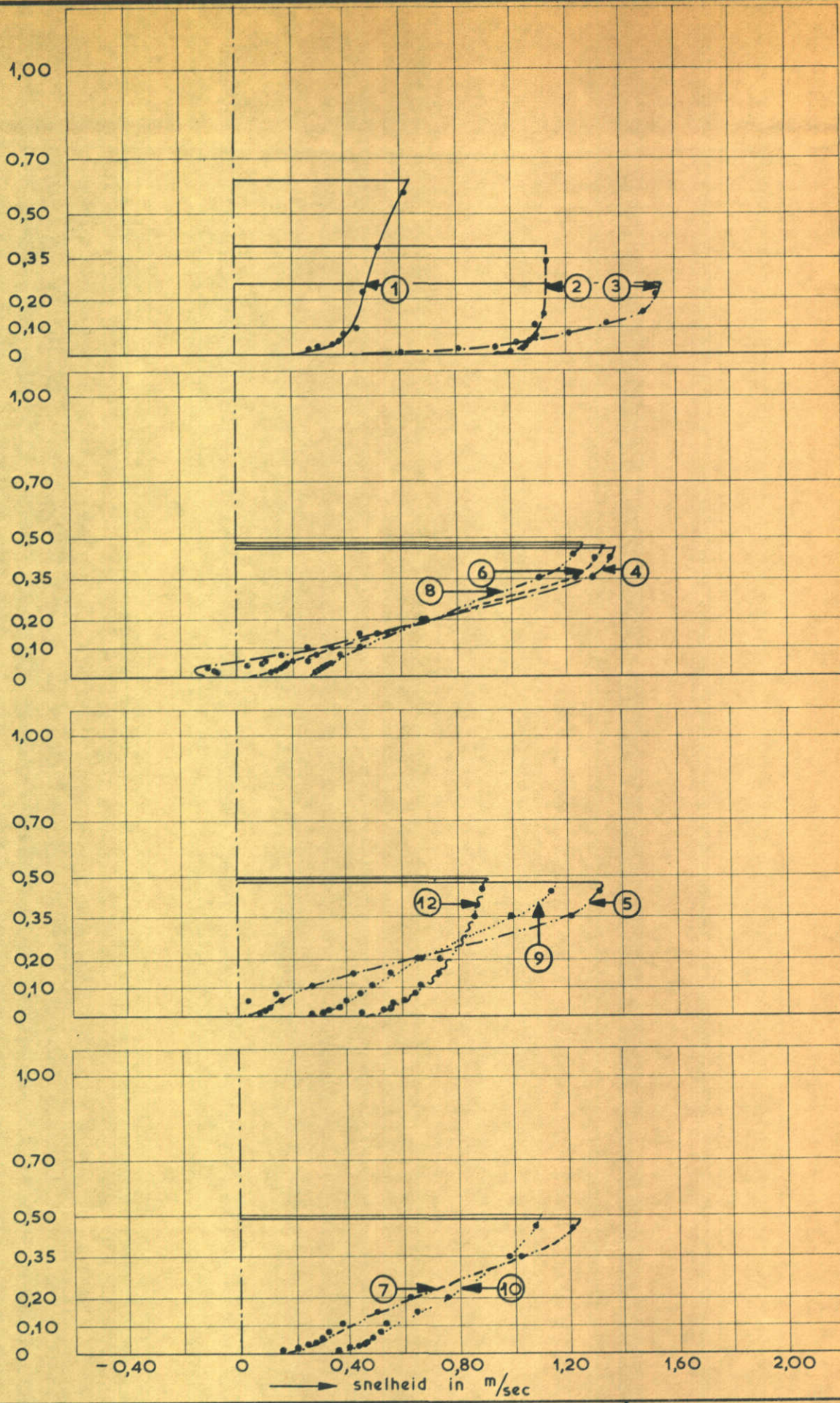
bruto transport in richting en grootte (totaal steengewicht)

netto transport (aantal stenen)

netto transport (totaal steengewicht)

schuifspanning

↑ hoogte in m t.o.v. bovenkant steenslag



SNELHEIDSVERTICALEN

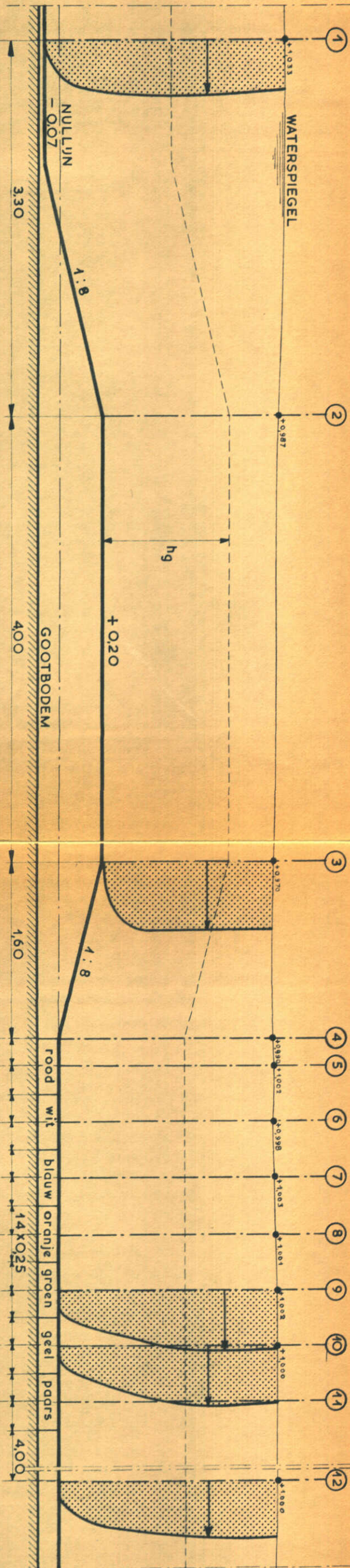
M. 711-DEEL IV

PROEFSERIE I

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

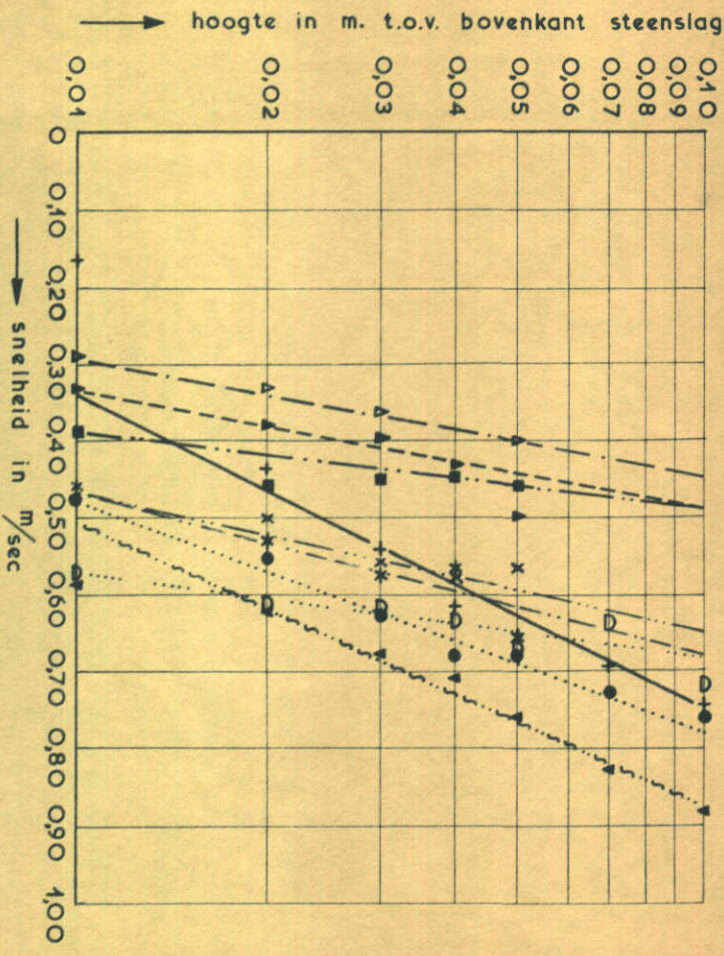
T 6

FIG. 23



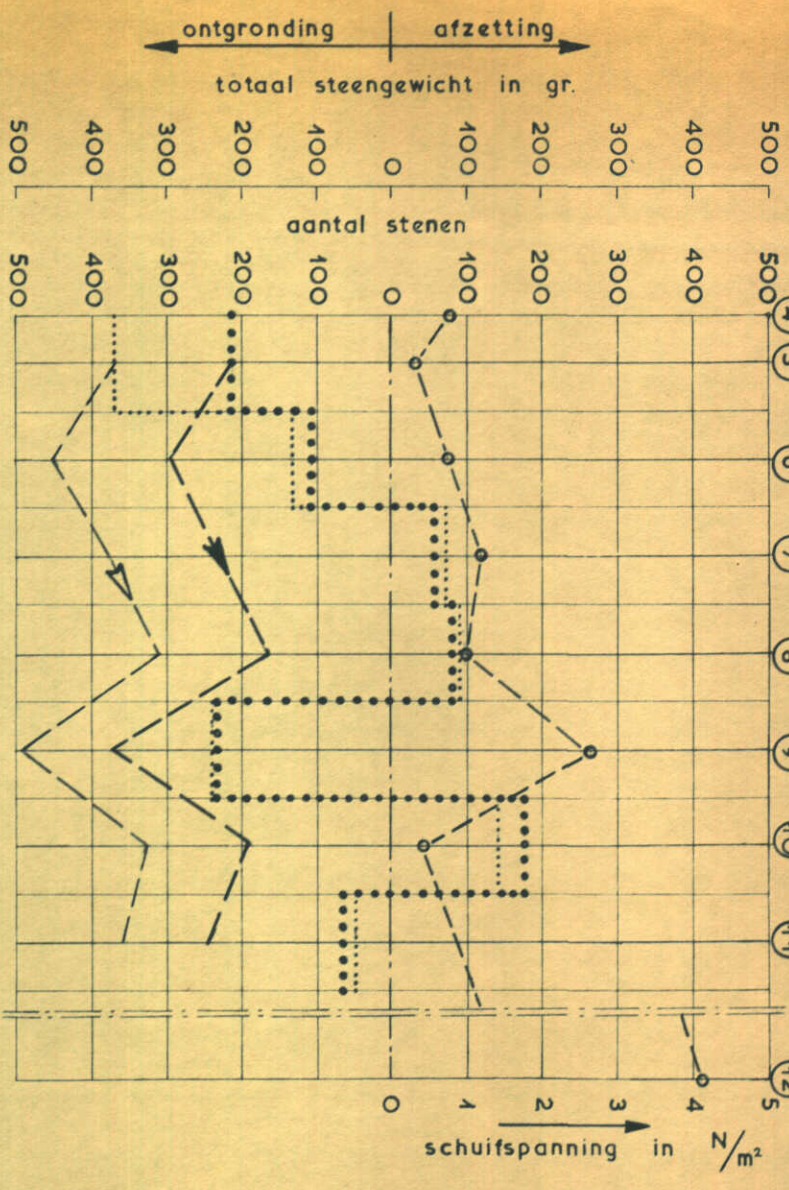
OVERZICHT
 SCHAAL: hor. 1:40
 SNELHEIDSSCHAAL: 1 cm = 1 m/sec
 q = 4,105 m³/sec
 z = 0,033 m
 μ = 1,05
 steenslag op en vóór de dijk
 steenslag achter de dam

$\rho_m = 3050 \text{ kg/m}^3$
 $\rho_m = 2950 \text{ kg/m}^3$
 $d_n = 0,018 \text{ m}$
 $d_n = 0,0065 \text{ m}$
 maten in m.



SNELHEIDSVERDELING EN SCHUIFSPANNING

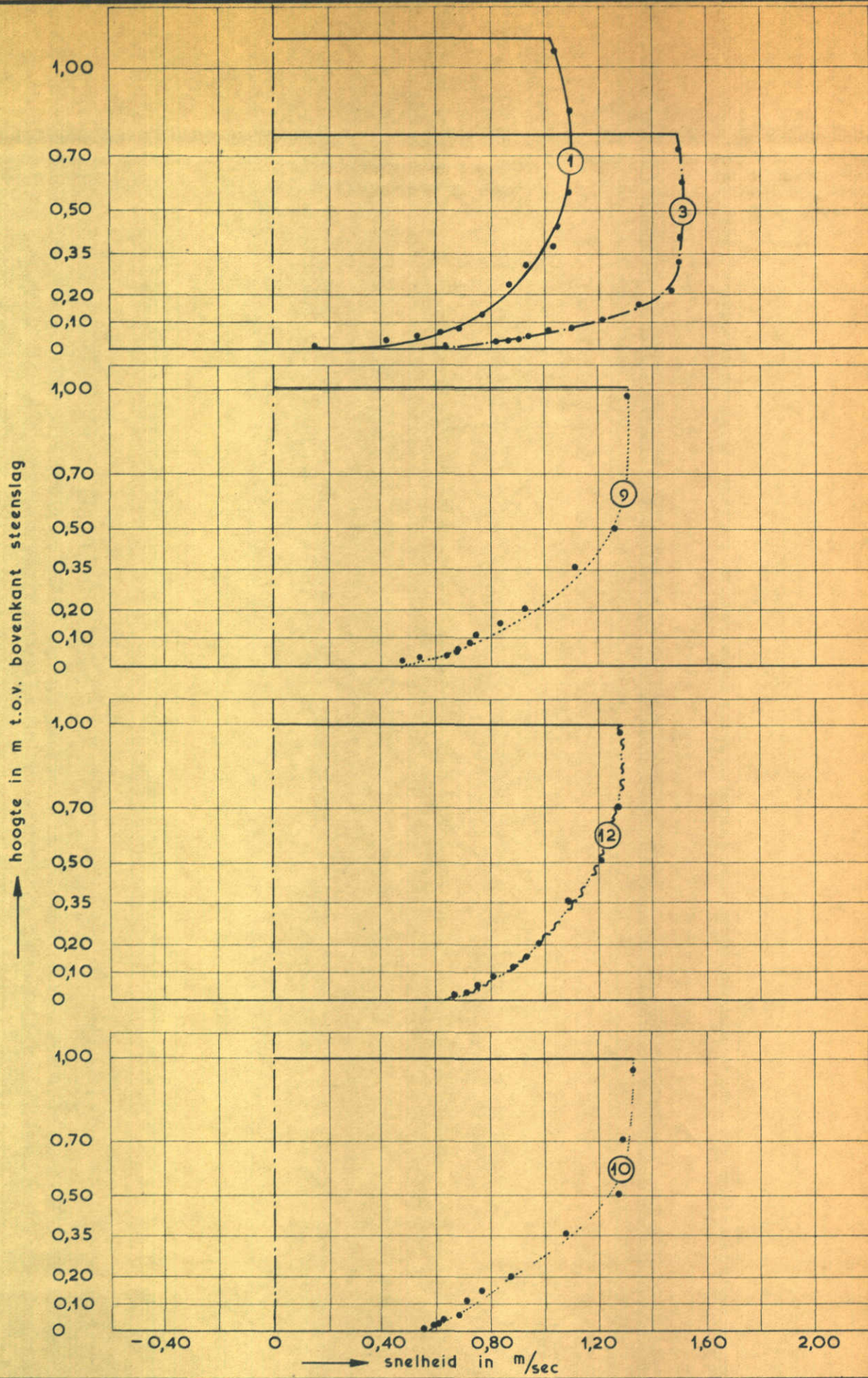
- | | | | | | |
|-------------|---------|----------------------------|--------|---------|----------------------------|
| + ————— | vert. ① | $T_o = 4,80 \text{ N/m}^2$ | x ———— | vert. ⑧ | $T_o = 0,97 \text{ N/m}^2$ |
| Δ ———— | vert. ④ | $T_o = 0,77 \text{ N/m}^2$ | ● ———— | vert. ⑨ | $T_o = 2,69 \text{ N/m}^2$ |
| — ····· | vert. ⑤ | $T_o = 0,27 \text{ N/m}^2$ | ○ ———— | vert. ⑩ | $T_o = 0,40 \text{ N/m}^2$ |
| ▲ ———— | vert. ⑥ | $T_o = 0,77 \text{ N/m}^2$ | ∇ ———— | vert. ⑫ | $T_o = 4,10 \text{ N/m}^2$ |
| * - - - - - | vert. ⑦ | $T_o = 4,20 \text{ N/m}^2$ | | | |



VERLOOP EROSIIE EN SCHUIFSPANNING

- | | |
|---------|--|
| → | } bruto transport in richting en grootte (totaal steengewicht) |
| ← | |
| → | } bruto transport in richting en grootte (aantal stenen) |
| ← | |
| ····· | } netto transport (aantal stenen) |
| ····· | |
| ····· | } netto transport (totaal steengewicht) |
| ····· | |
| — ····· | } schuifspanning |
| — ····· | |

SNELHEIDSVERDELING, WATERSTANDSVERLOOP, EROSIIE EN SCHUIFSPANNING.



SNELHEIDSVERTICALEN

M. 711-DEEL IV

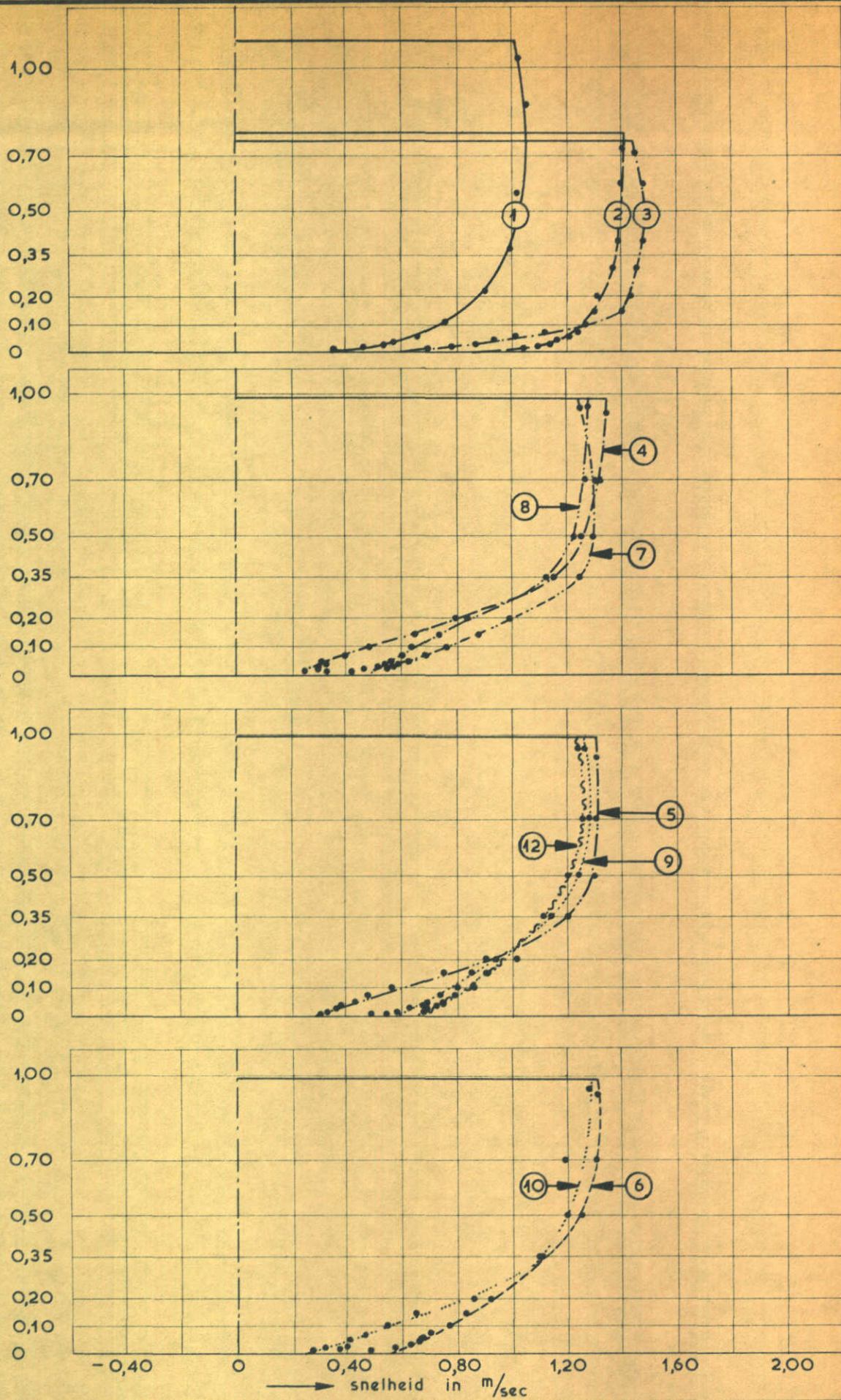
PROEFSERIE I

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

T 7

FIG. 25

↑ hoogte in m t.o.v. bovenkant steenslag



SNELHEIDSVERTICALEN

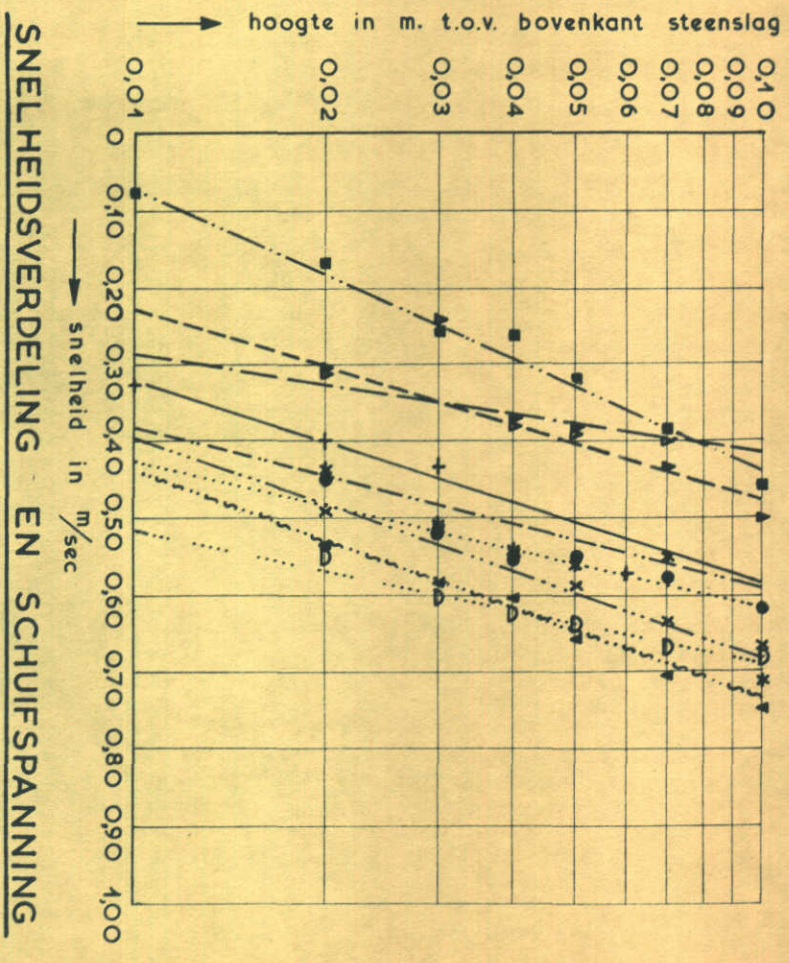
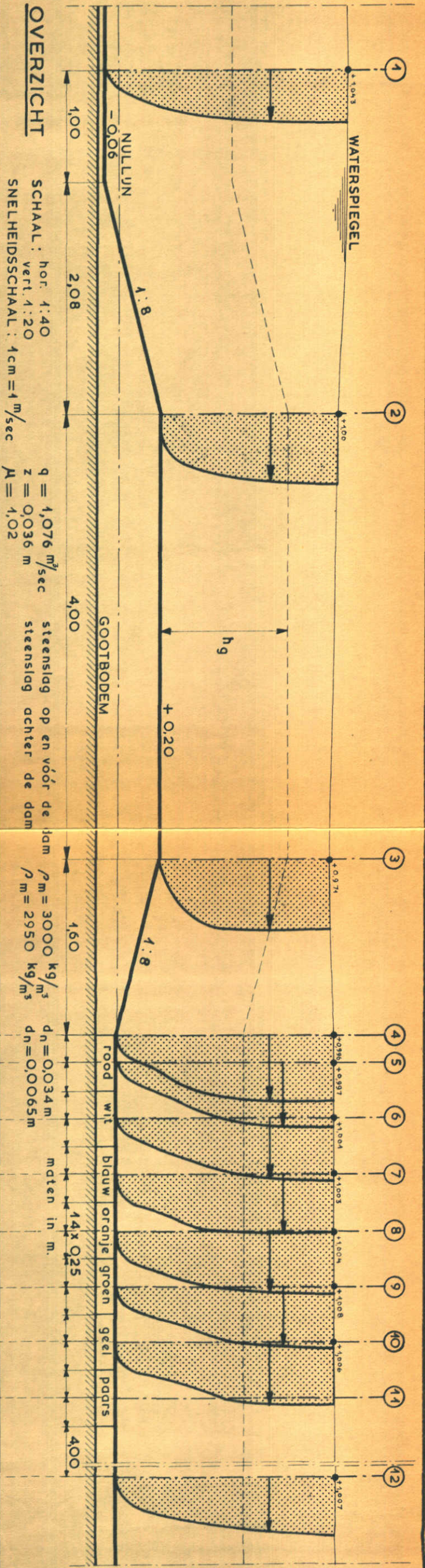
M. 711-DEEL IV

PROEFSERIE I

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

T 8

FIG. 27

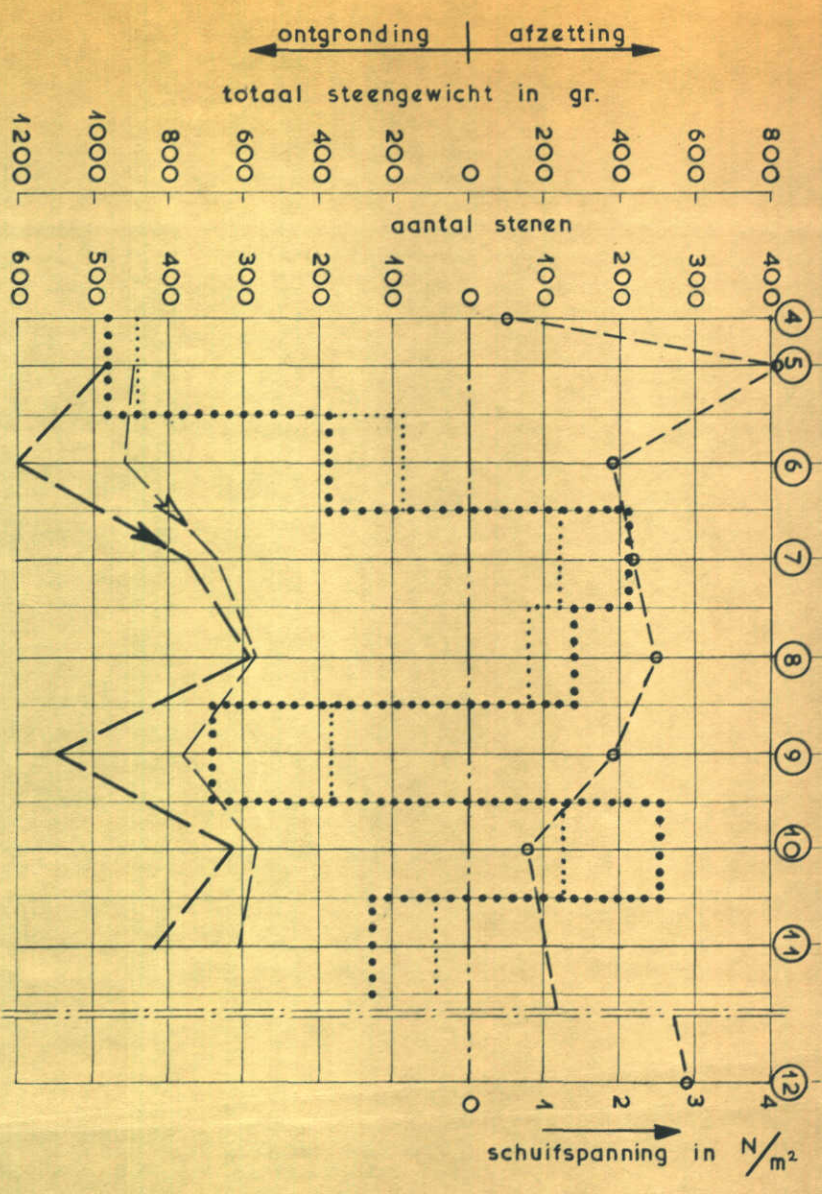


- | | | | | | |
|---|---------|----------------------------|---|---------|----------------------------|
| + | vert. ① | $T_0 = 2,04 \text{ N/m}^2$ | x | vert. ⑧ | $T_0 = 2,44 \text{ N/m}^2$ |
| Δ | vert. ④ | $T_0 = 0,54 \text{ N/m}^2$ | ● | vert. ⑨ | $T_0 = 1,89 \text{ N/m}^2$ |
| ■ | vert. ⑤ | $T_0 = 4,10 \text{ N/m}^2$ | ○ | vert. ⑩ | $T_0 = 0,82 \text{ N/m}^2$ |
| ▲ | vert. ⑥ | $T_0 = 1,88 \text{ N/m}^2$ | ▽ | vert. ⑫ | $T_0 = 2,88 \text{ N/m}^2$ |
| * | vert. ⑦ | $T_0 = 2,11 \text{ N/m}^2$ | | | |

SNELHEIDSVERDELING, WATERSTANDSVERLOOP,
EROSIE EN SCHUIFSPANNING.

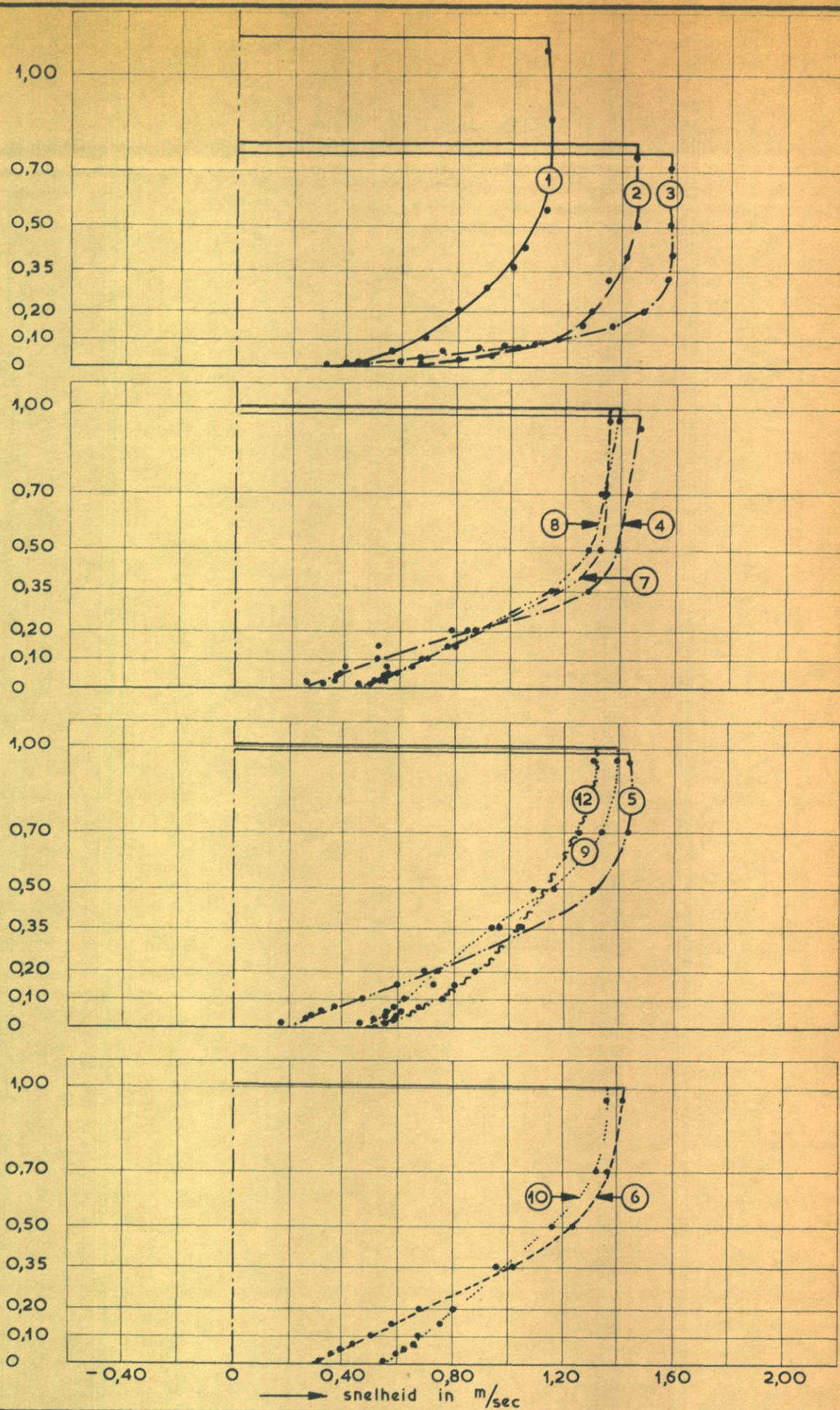
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 711-DEEL IV
PROEFSERIE I
T 9 FIG. 28



- VERLOOP EROSIE EN SCHUIFSPANNING
- bruto transport in richting en grootte (aantal stenen)
- bruto transport in richting en grootte (totaal steengewicht)
- netto transport (aantal stenen)
- netto transport (totaal steengewicht)
- schuifspanning

hoogte in m t.o.v. bovenkant steenslag



SNELHEIDSVERTICALEN

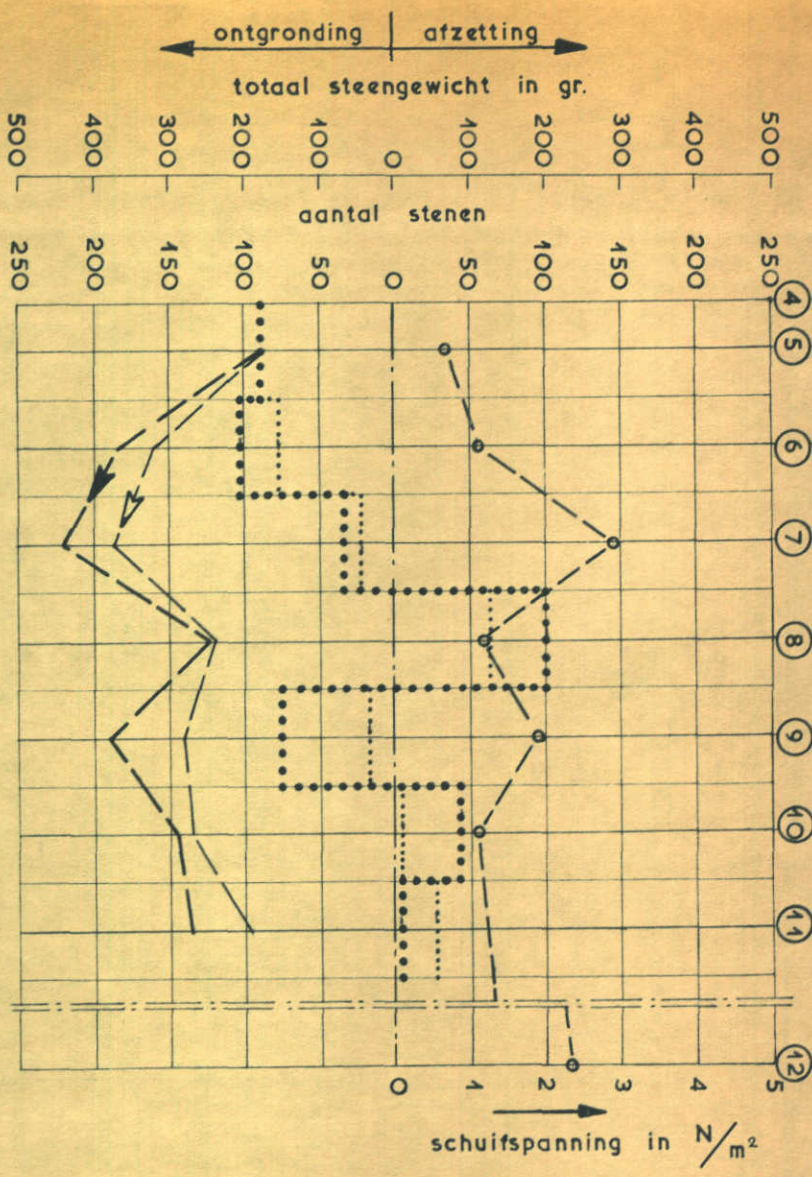
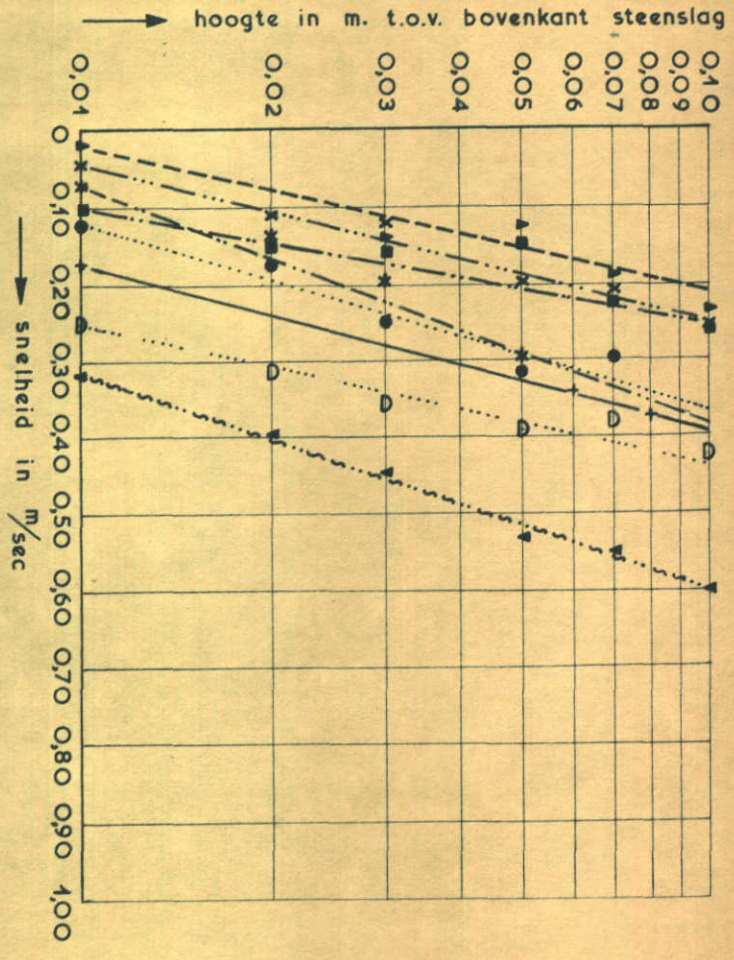
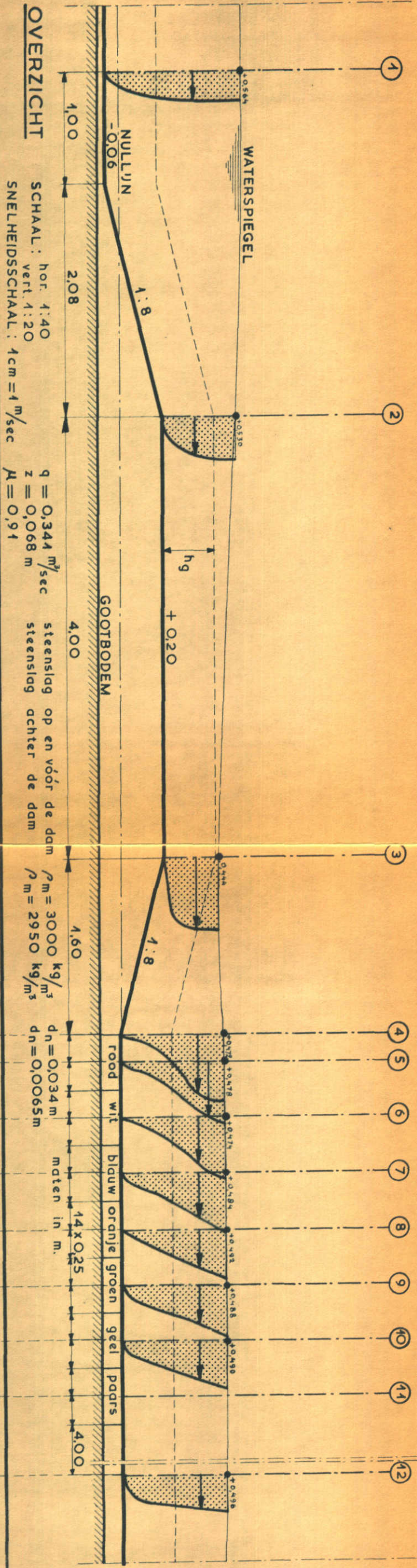
M. 711-DEEL IV

PROEFSERIE I

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

T 9

FIG. 29



- | | | | | | | | |
|---|-------|---|----------------------------|---|-------|---|----------------------------|
| + | vert | ① | $T_o = 1,45 \text{ N/m}^2$ | x | vert. | ⑧ | $T_o = 1,20 \text{ N/m}^2$ |
| ■ | vert | ⑤ | $T_o = 0,67 \text{ N/m}^2$ | ● | vert. | ⑨ | $T_o = 1,88 \text{ N/m}^2$ |
| ▲ | vert. | ⑥ | $T_o = 1,09 \text{ N/m}^2$ | ○ | vert. | ⑩ | $T_o = 1,09 \text{ N/m}^2$ |
| * | vert. | ⑦ | $T_o = 2,89 \text{ N/m}^2$ | ∇ | vert. | ⑫ | $T_o = 2,35 \text{ N/m}^2$ |

SNELHEIDSVERDELING, WATERSTANDSVERLOOP, EROOSIE EN SCHUIFSPANNING.

M. 711-DEEL IV

PROEFSERIE I

T 10 FIG. 30

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

VERLOOP EROSIE EN SCHUIFSPANNING

bruto transport in richting en grootte (aantal stenen)

bruto transport in richting en grootte (totaal steengewicht)

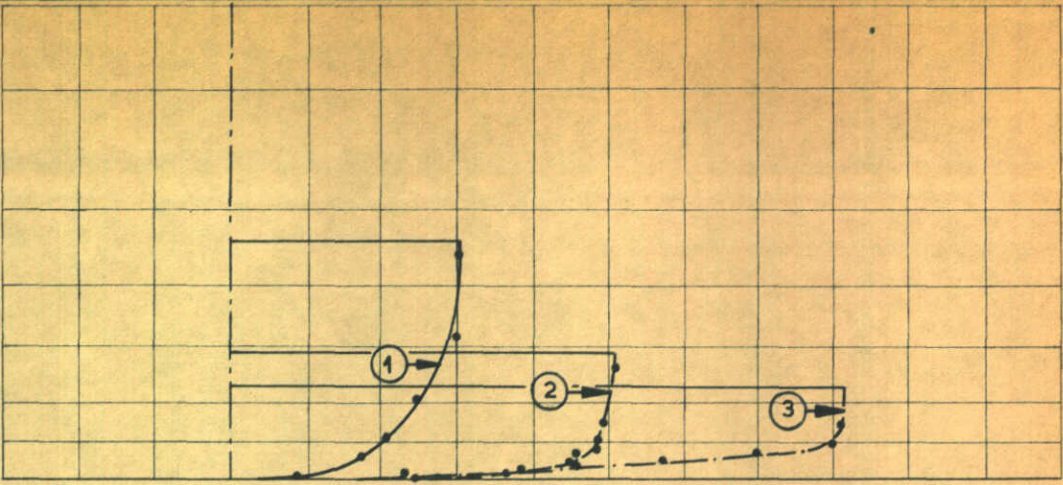
netto transport (aantal stenen)

netto transport (totaal steengewicht)

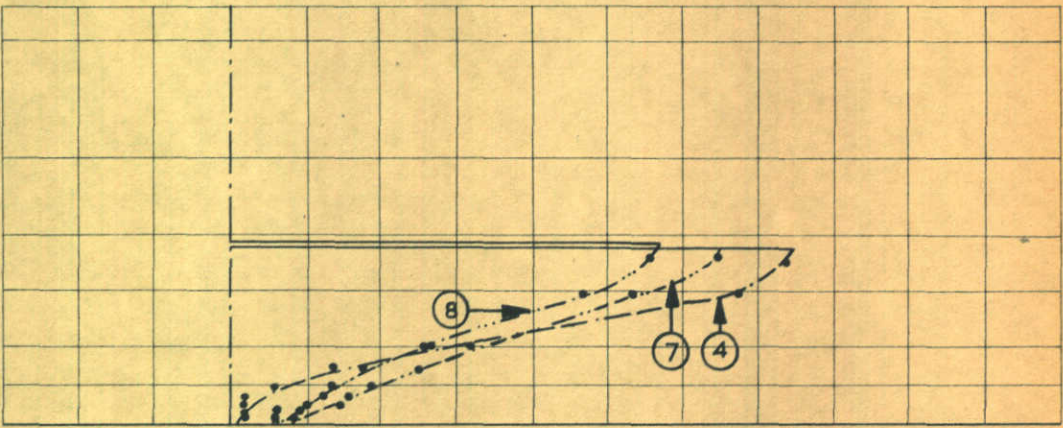
schuifspanning

↑ hoogte in m t.o.v. bovenkant steenslag

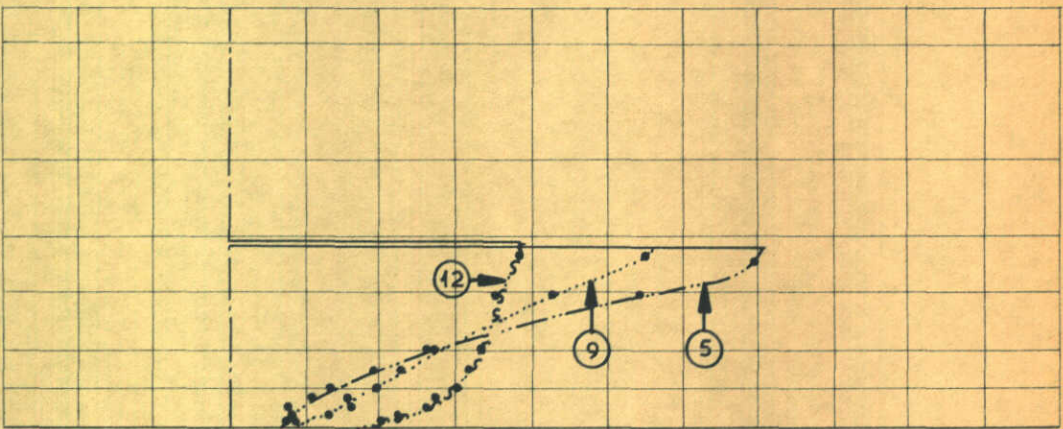
1,00
0,70
0,50
0,35
0,20
0,10
0



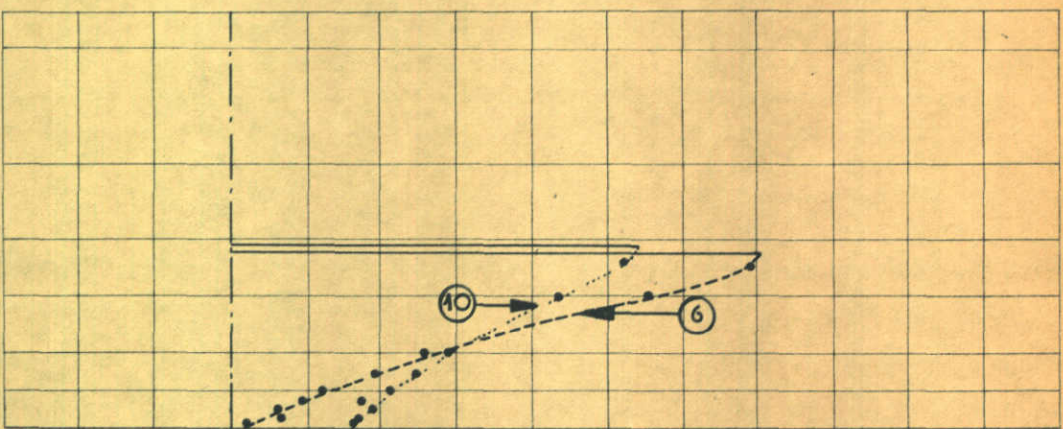
1,00
0,70
0,50
0,35
0,20
0,10
0



1,00
0,70
0,50
0,35
0,20
0,10
0



1,00
0,70
0,50
0,35
0,20
0,10
0



-0,40 0 0,40 0,80 1,20 1,60 2,00
→ snelheid in m/sec

SNELHEIDSVERTICALEN

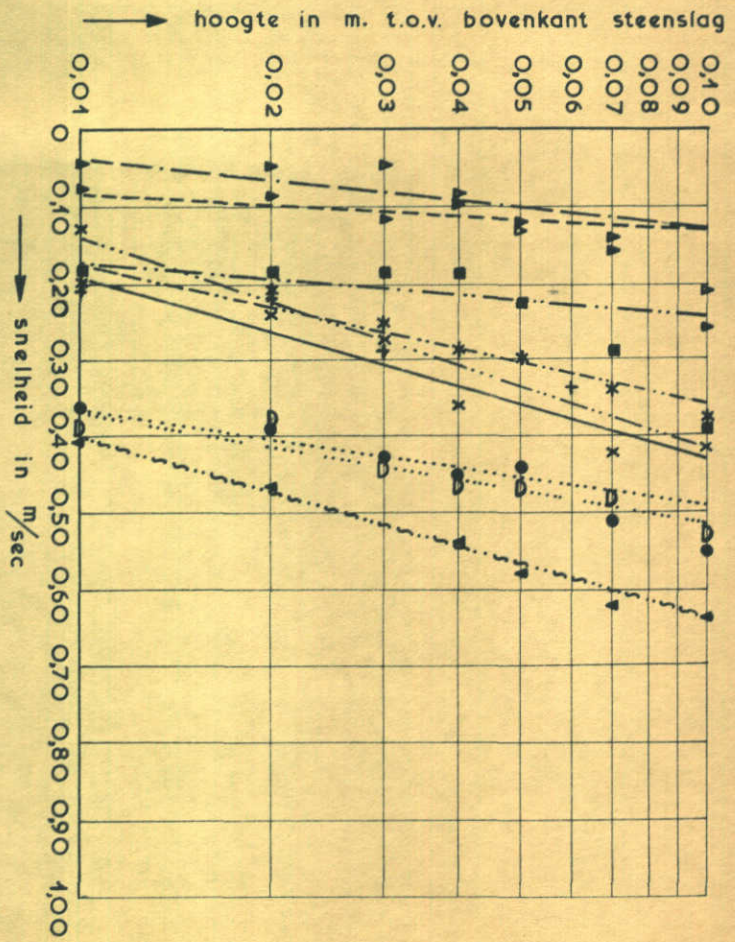
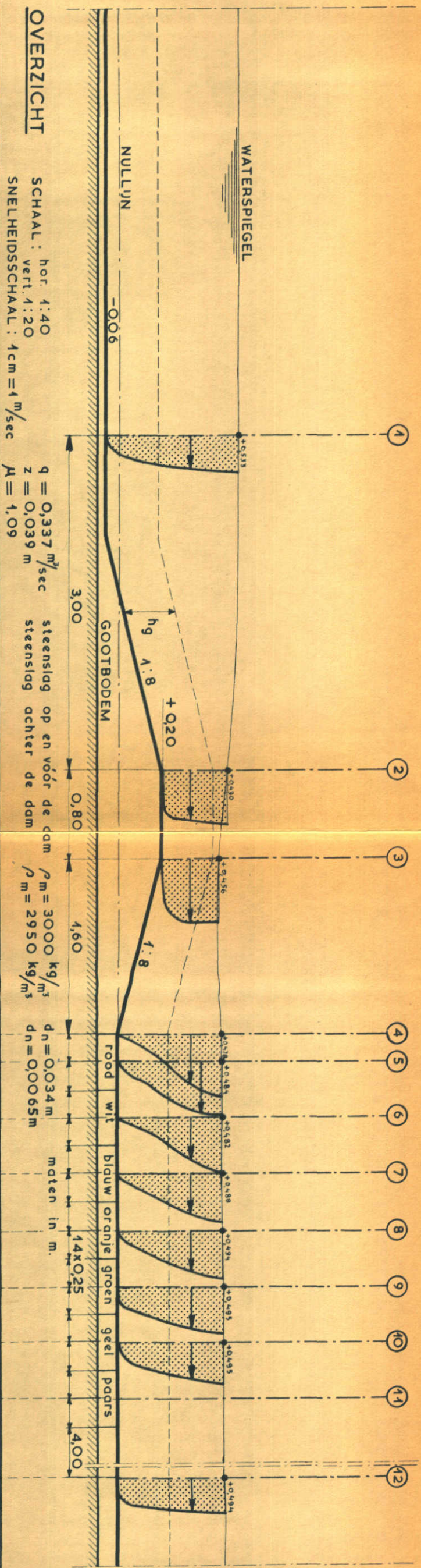
M. 711-DEEL IV

PROEFSERIE I

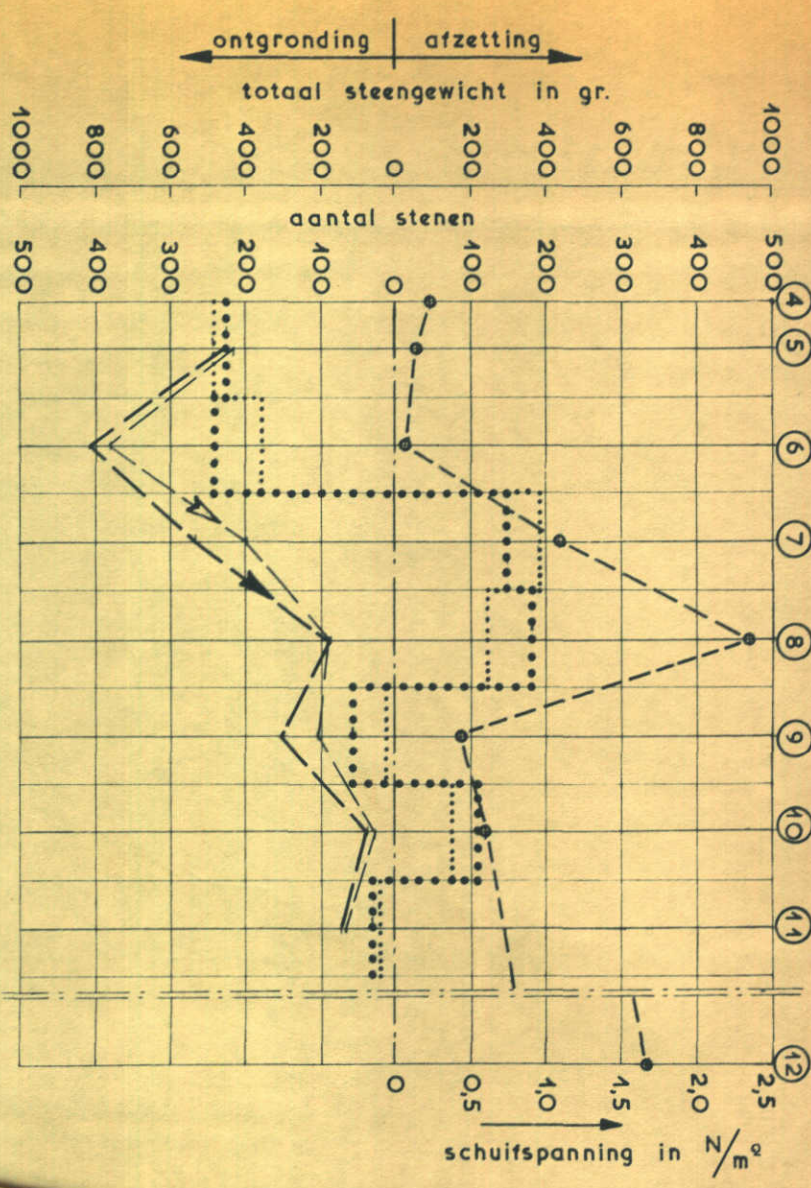
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

T 10

FIG. 31



- + ————— vert. ① $T_0 = 1,80 \text{ N/m}^2$
- Δ ————— vert. ④ $T_0 = 0,24 \text{ N/m}^2$
- ————— vert. ⑤ $T_0 = 0,15 \text{ N/m}^2$
- ▲ ————— vert. ⑥ $T_0 = 0,08 \text{ N/m}^2$
- * - - - - - vert. ⑦ $T_0 = 1,09 \text{ N/m}^2$
- x ————— vert. ⑧ $T_0 = 2,35 \text{ N/m}^2$
- ————— vert. ⑨ $T_0 = 0,43 \text{ N/m}^2$
- ————— vert. ⑩ $T_0 = 0,59 \text{ N/m}^2$
- v - - - - - vert. ⑫ $T_0 = 1,66 \text{ N/m}^2$



SNELHEIDSVERDELING, WATERSTANDSVERLOOP, EROSIE EN SCHUIFSPANNING.

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 711-DEEL IV

PROEFSERIE I

T111 FIG. 32

VERLOOP EROSIE EN SCHUIFSPANNING

bruto transport in richting en grootte (aantal stenen)

bruto transport in richting en grootte (totaal steengewicht)

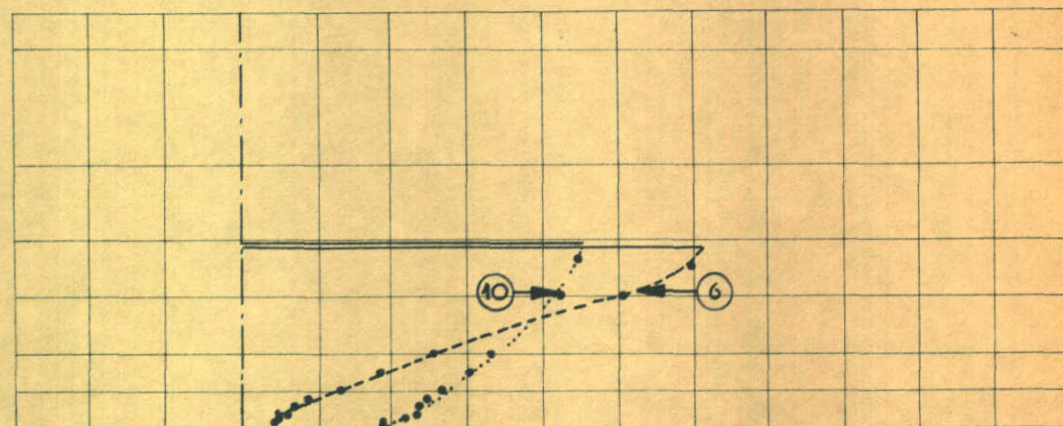
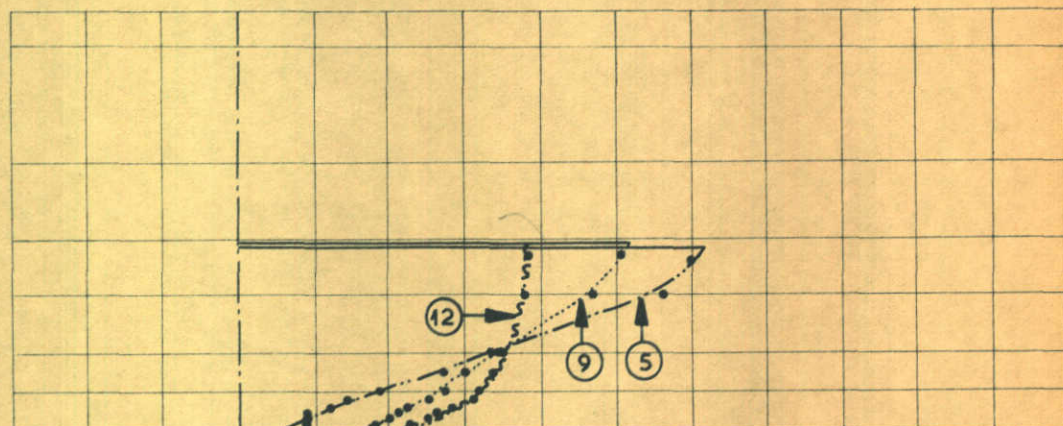
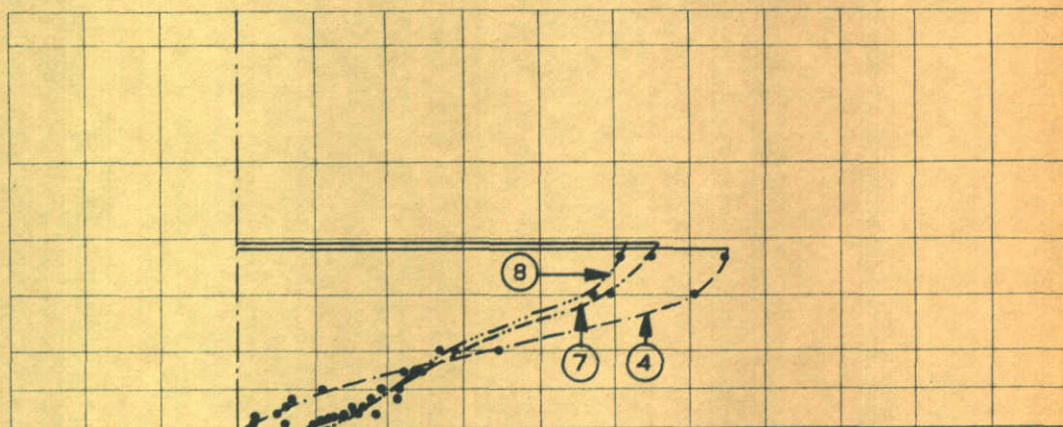
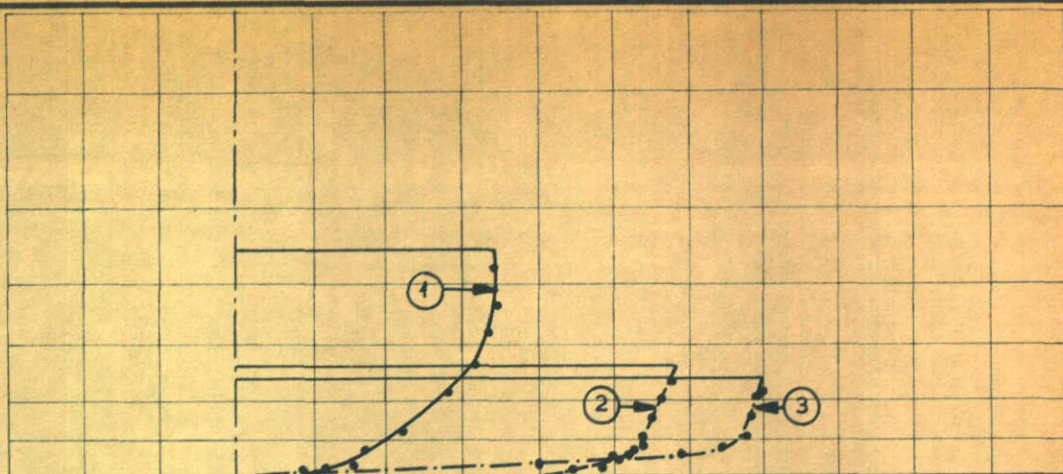
netto transport (aantal stenen)

netto transport (totaal steengewicht)

schuifspanning

↑ hoogte in m t.o.v. bovenkant steenslag

1,00
0,70
0,50
0,35
0,20
0,10
0
1,00
0,70
0,50
0,35
0,20
0,10
0
1,00
0,70
0,50
0,35
0,20
0,10
0
1,00
0,70
0,50
0,35
0,20
0,10
0



-0,40 0 0,40 0,80 1,20 1,60 2,00
→ snelheid in m/sec

SNELHEIDSVERTICALEN

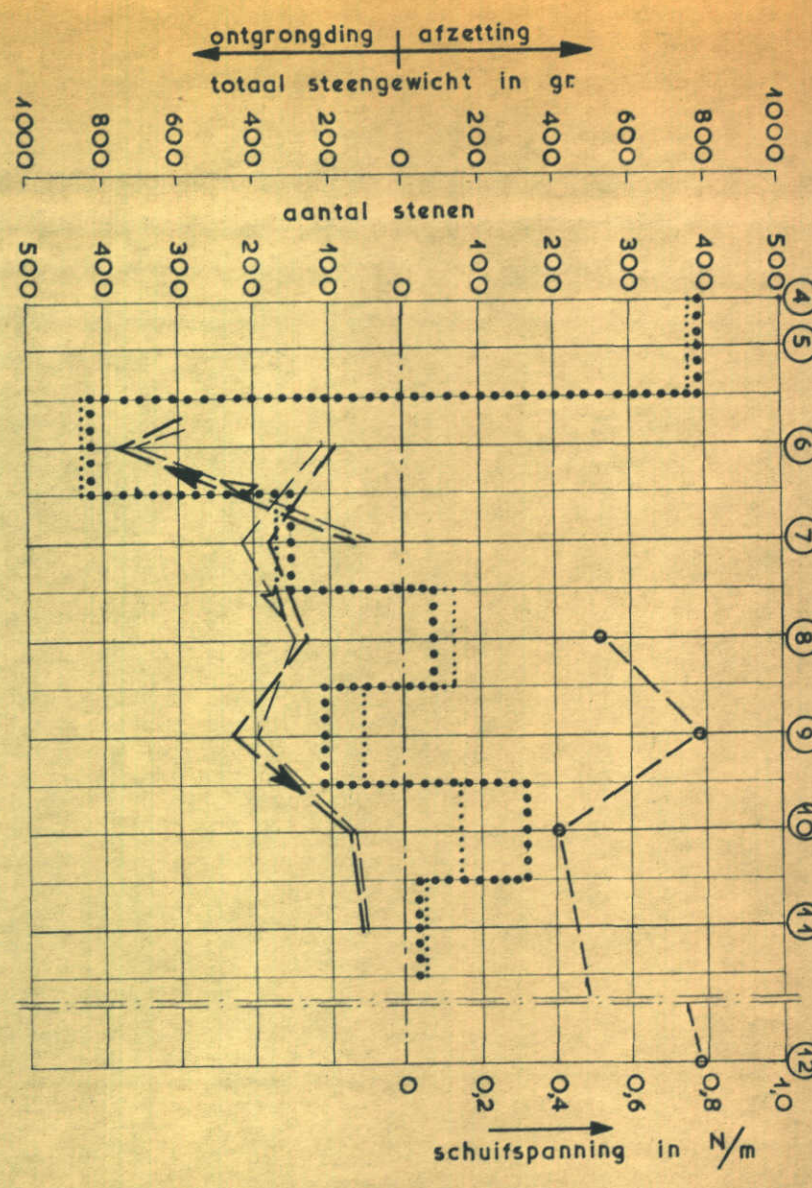
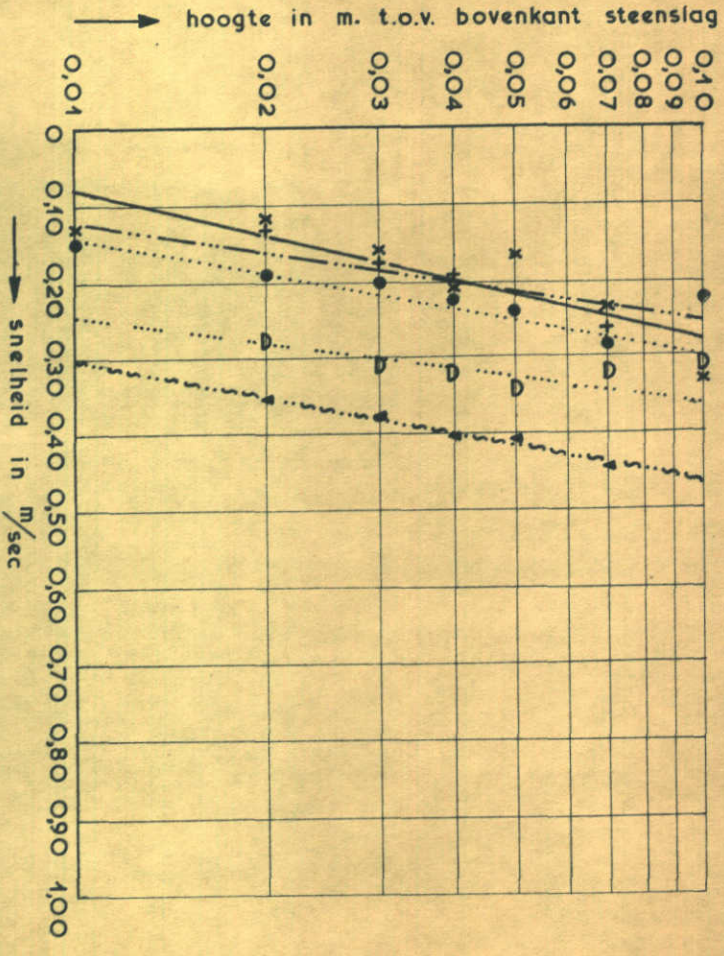
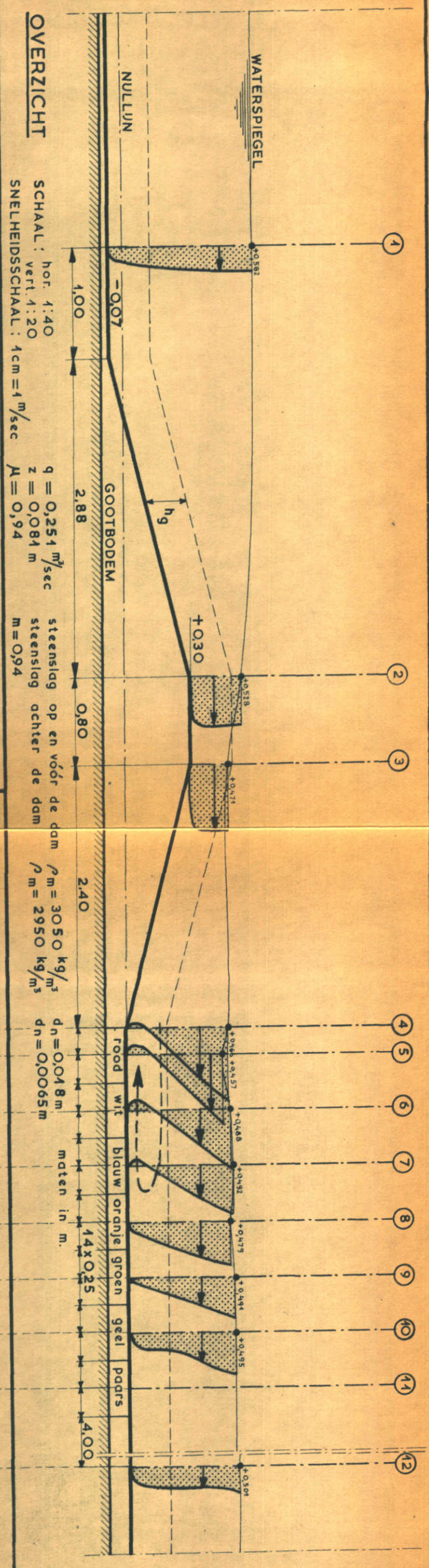
M. 711-DEEL IV

PROEFSERIE I

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

T41

FIG. 33



SNELHEIDSVERDELING, WATERSTANDSVERLOOP,
EROSIE EN SCHUIFSPANNING.

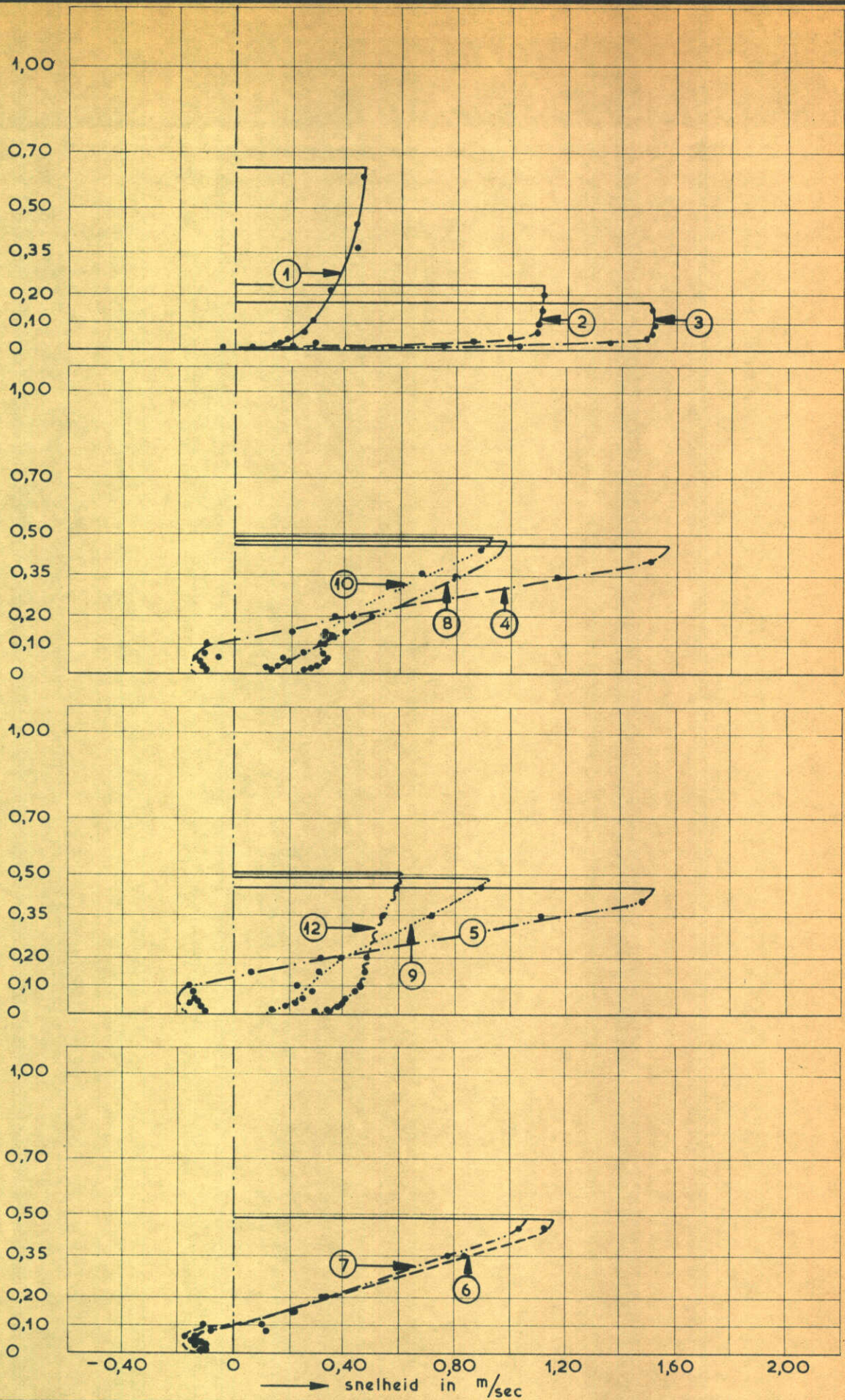
M. 711-DEEL IV
PROEFSERIE I

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

T 12

FIG. 34

hoogte in m t.o.v. bovenkant steenslag



SNELHEIDSVERTICALEN

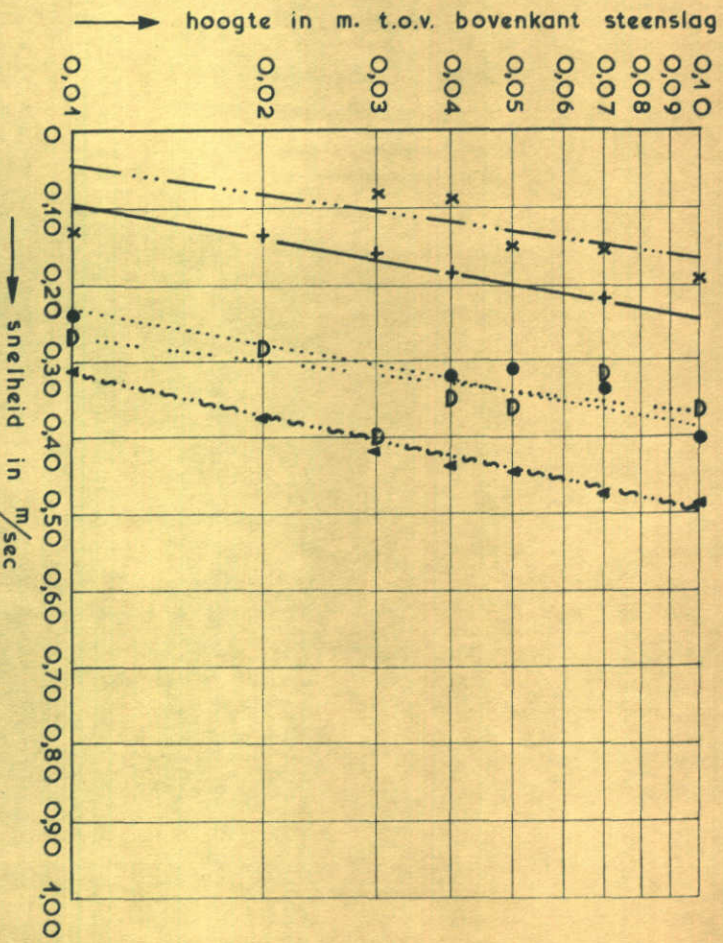
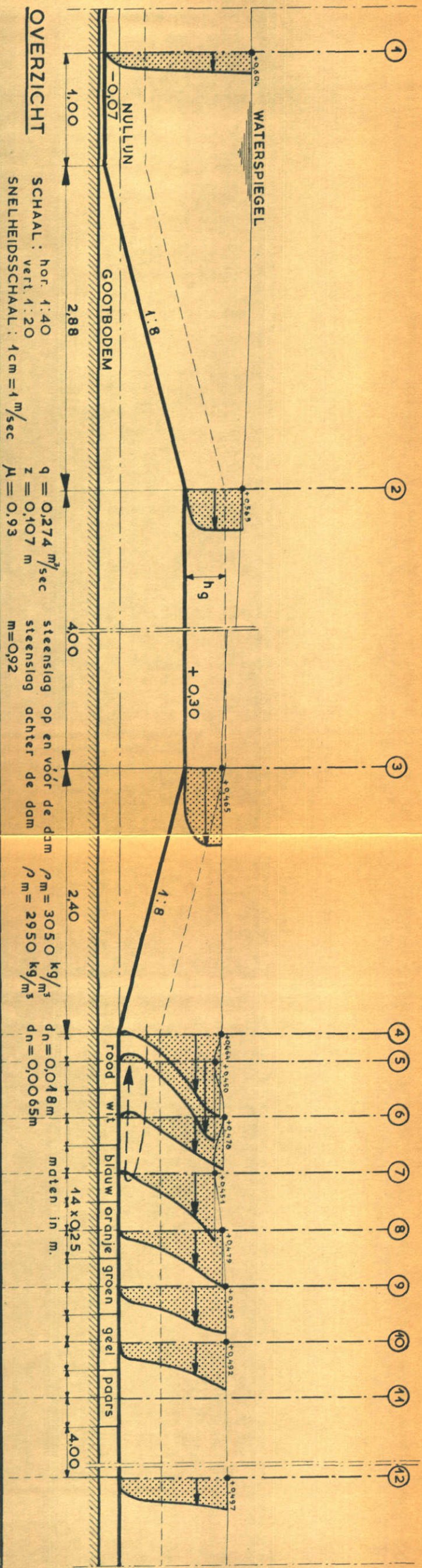
M. 711-DEEL IV

PROEFSERIE I

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

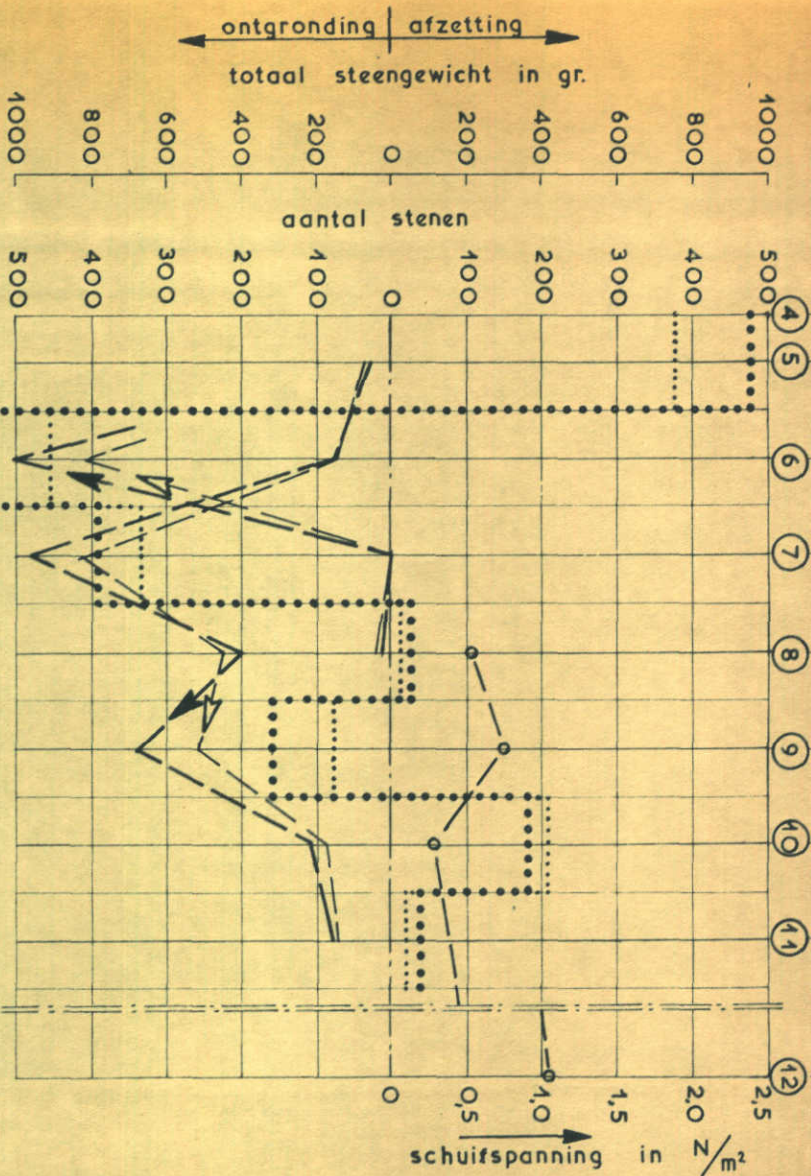
T 12

FIG. 35



- ↑-----vert. ① $T_0 = 0.59 \text{ N/m}^2$
 x-----vert. ⑧ $T_0 = 0.51 \text{ N/m}^2$
 ●-----vert. ⑨ $T_0 = 0.72 \text{ N/m}^2$
 ○-----vert. ⑩ $T_0 = 0.27 \text{ N/m}^2$
 T-----vert. ⑫ $T_0 = 1.03 \text{ N/m}^2$

SNELHEIDSVERDELING EN SCHUIFSPANNING

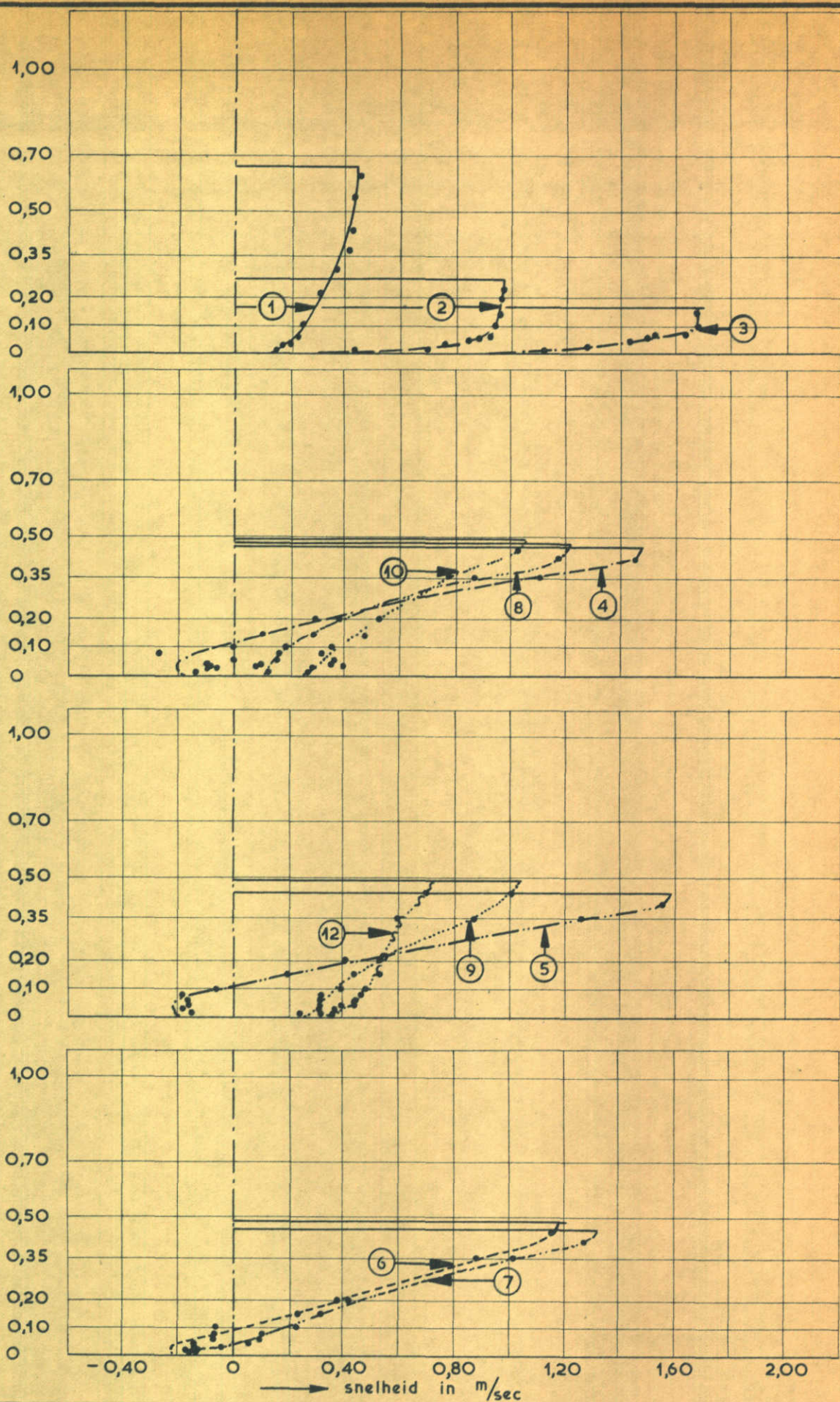


VERLOOP EROEIE EN SCHUIFSPANNING

M. 711-DEEL IV
PROEFSERIE I
T 13 FIG. 36

SNELHEIDSVERDELING, WATERSTANDSVERLOOP, EROEIE EN SCHUIFSPANNING.

↑ hoogte in m t.o.v. bovenkant steenslag



SNELHEIDSVERTICALEN

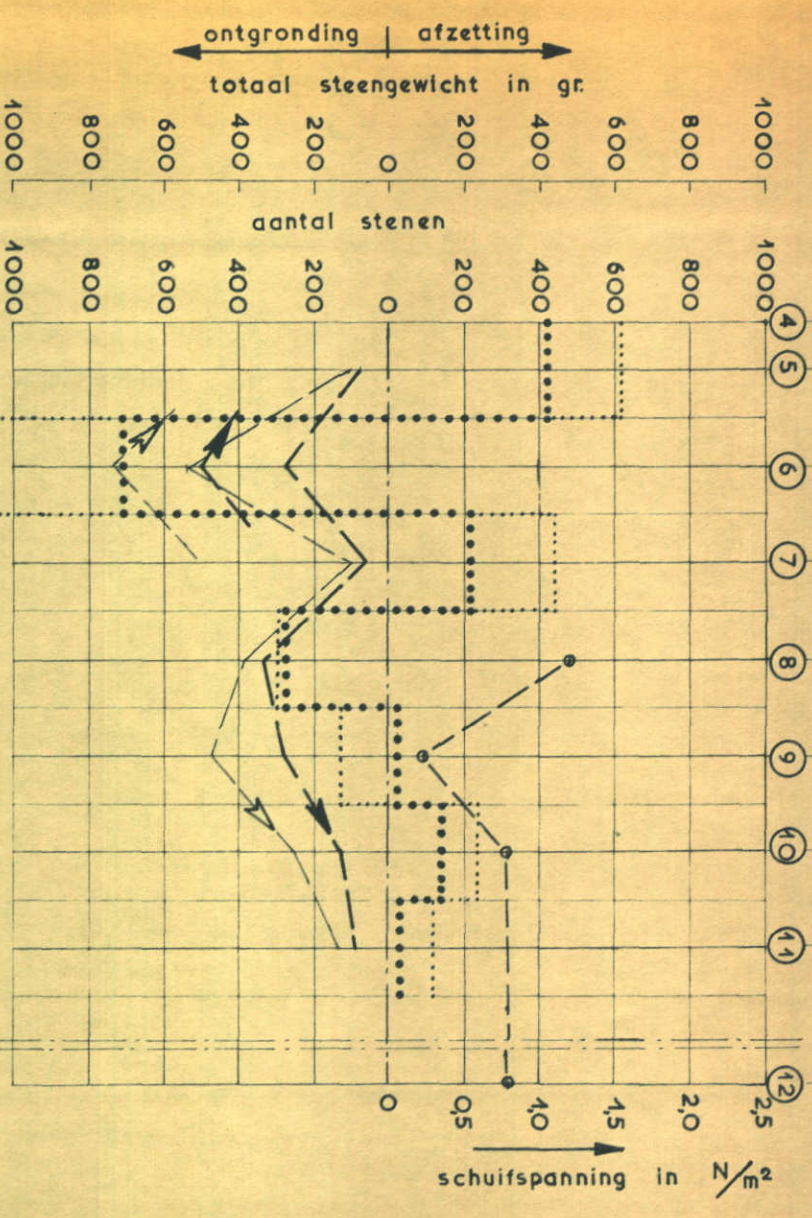
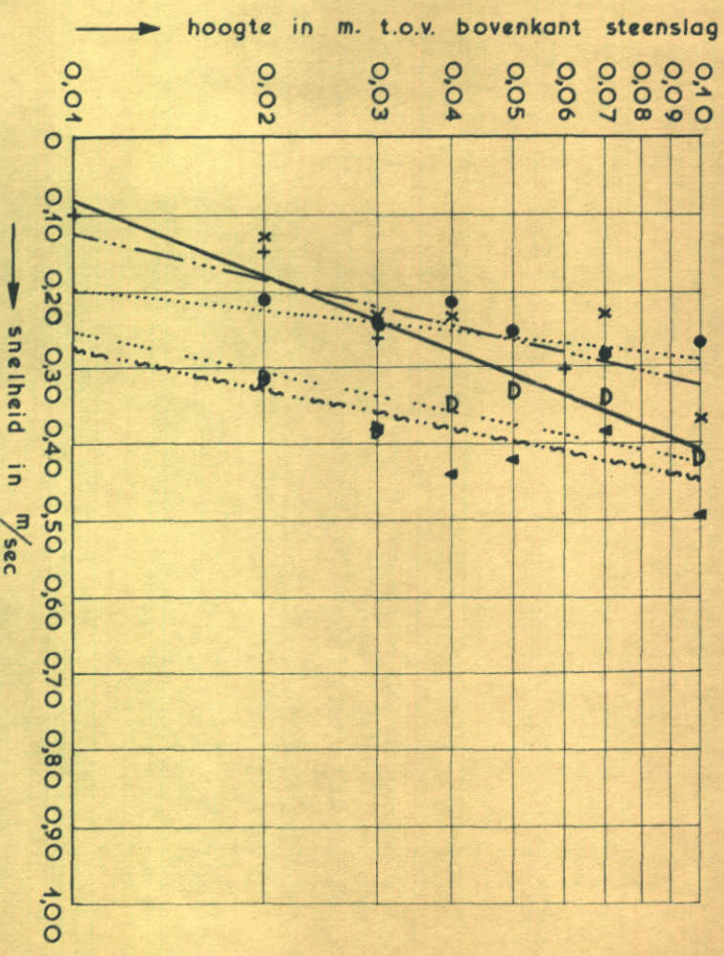
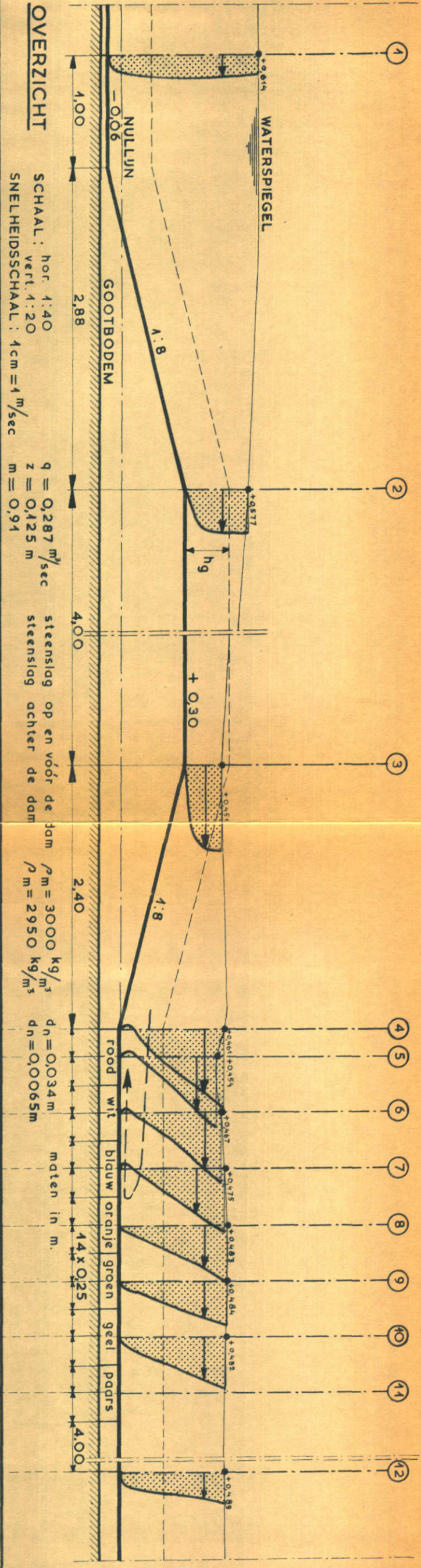
M. 711-DEEL IV

PROEFSERIE I

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

T 13

FIG. 37



- + ————— vert. ① $T_o = 3,27 \text{ N/m}^2$
- x ————— vert. ⑧ $T_o = 4,20 \text{ N/m}^2$
- ————— vert. ⑨ $T_o = 0,24 \text{ N/m}^2$
- ————— vert. ⑩ $T_o = 0,82 \text{ N/m}^2$
- ▽ ————— vert. ⑫ $T_o = 0,82 \text{ N/m}^2$

SNELHEIDSVERDELING EN SCHUIFSPANNING

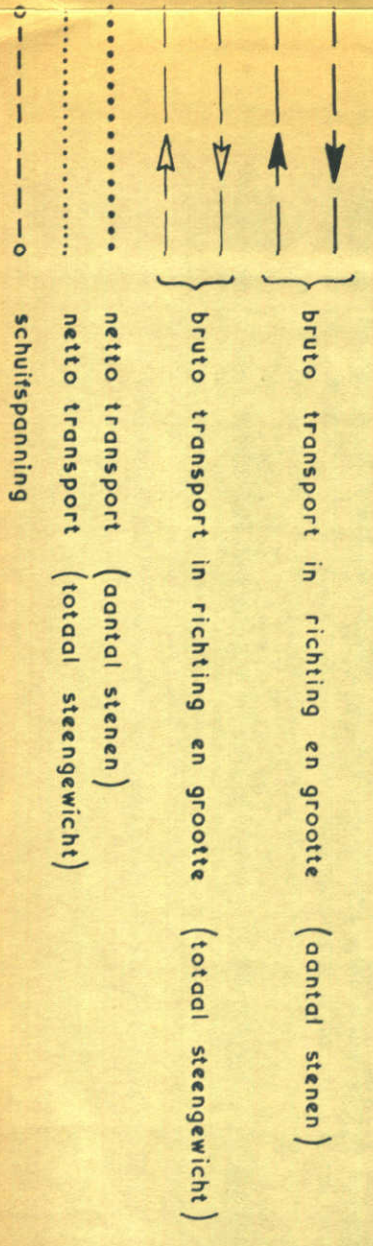
VERLOOP EROSIE EN SCHUIFSPANNING

SNELHEIDSVERDELING, WATERSTANDSVERLOOP,
EROSIE EN SCHUIFSPANNING.

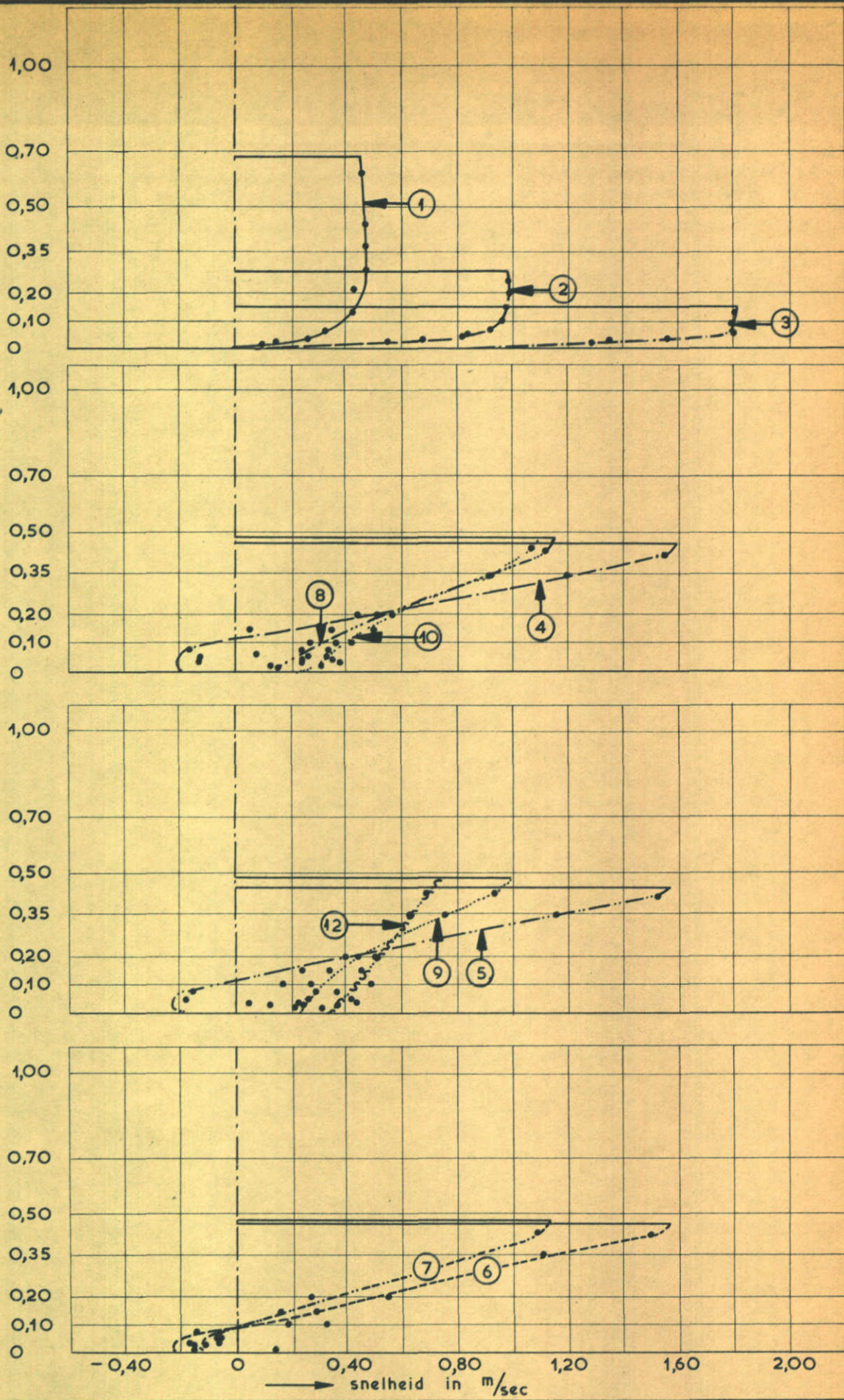
M. 711-DEEL IV
PROEFSERIE I

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

T 14 FIG. 38



↑ hoogte in m t.o.v. bovenkant steenslag



SNELHEIDSVERTICALEN

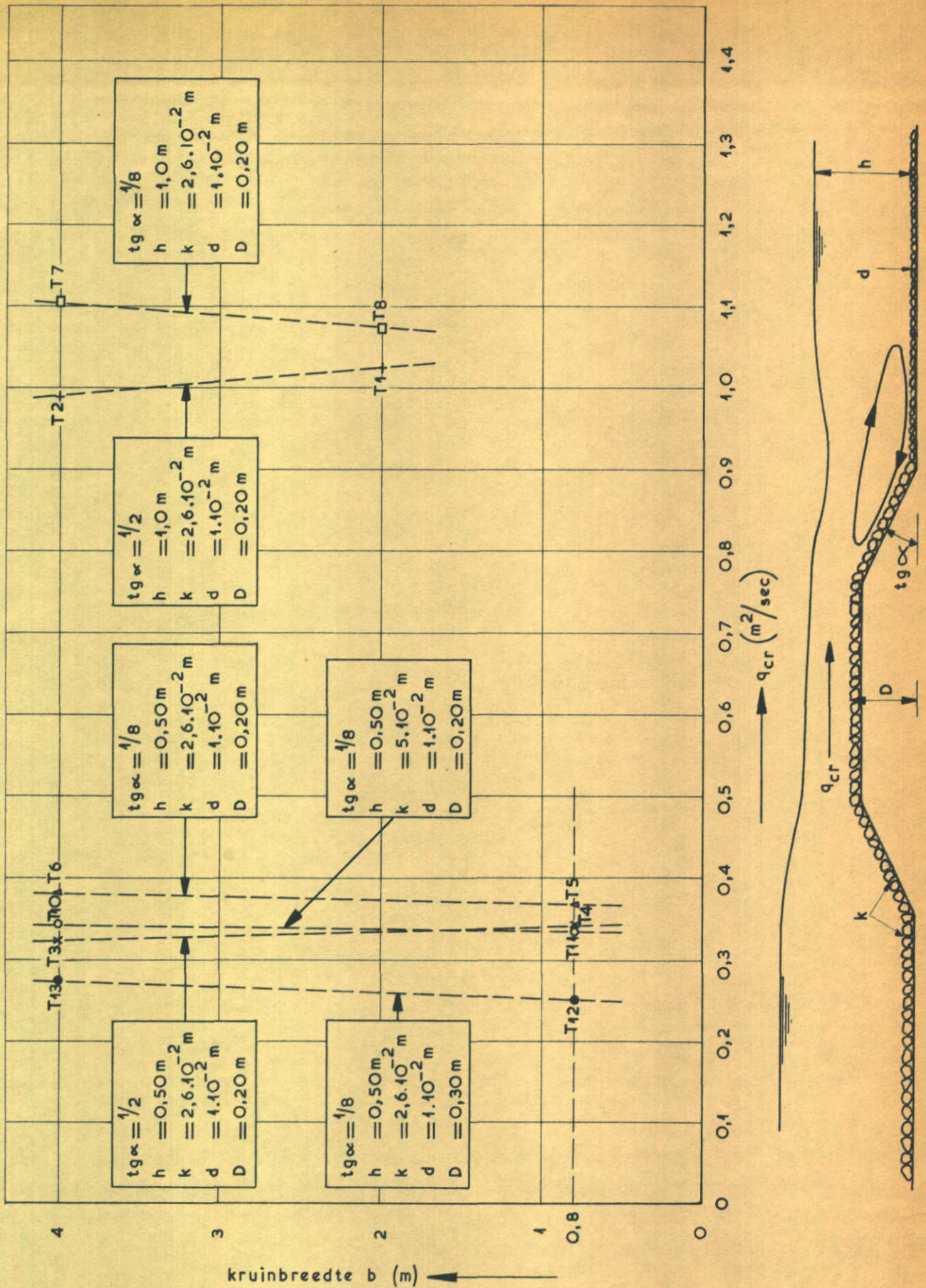
M. 711-DEEL IV

PROEFSERIE I

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

T 14

FIG. 39

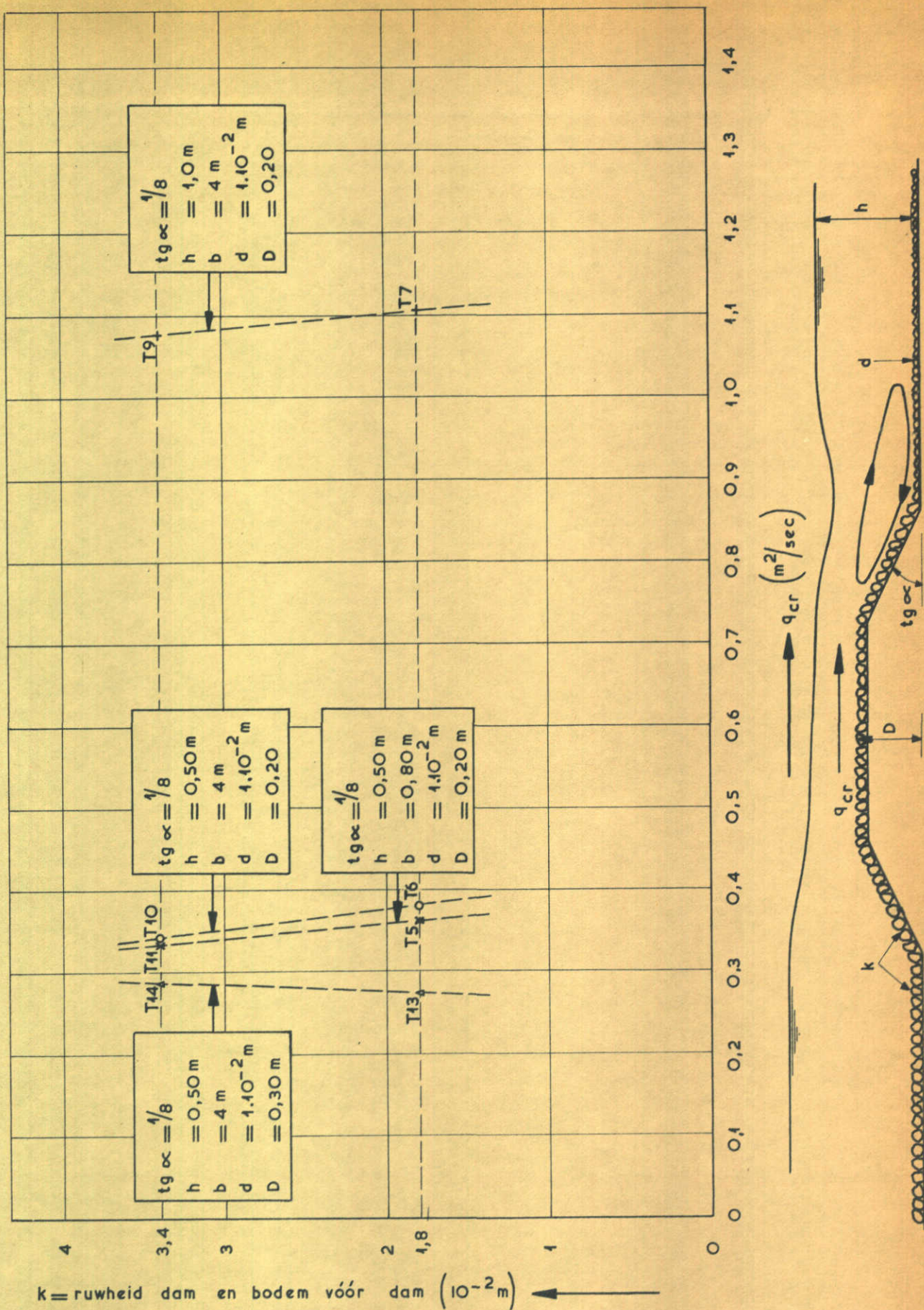


INVLOED VAN DE KRUIJBREEDTE OP
HET CRITIEKE DEBIET

M. 711-DEEL IV
PROEFSERIE I

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

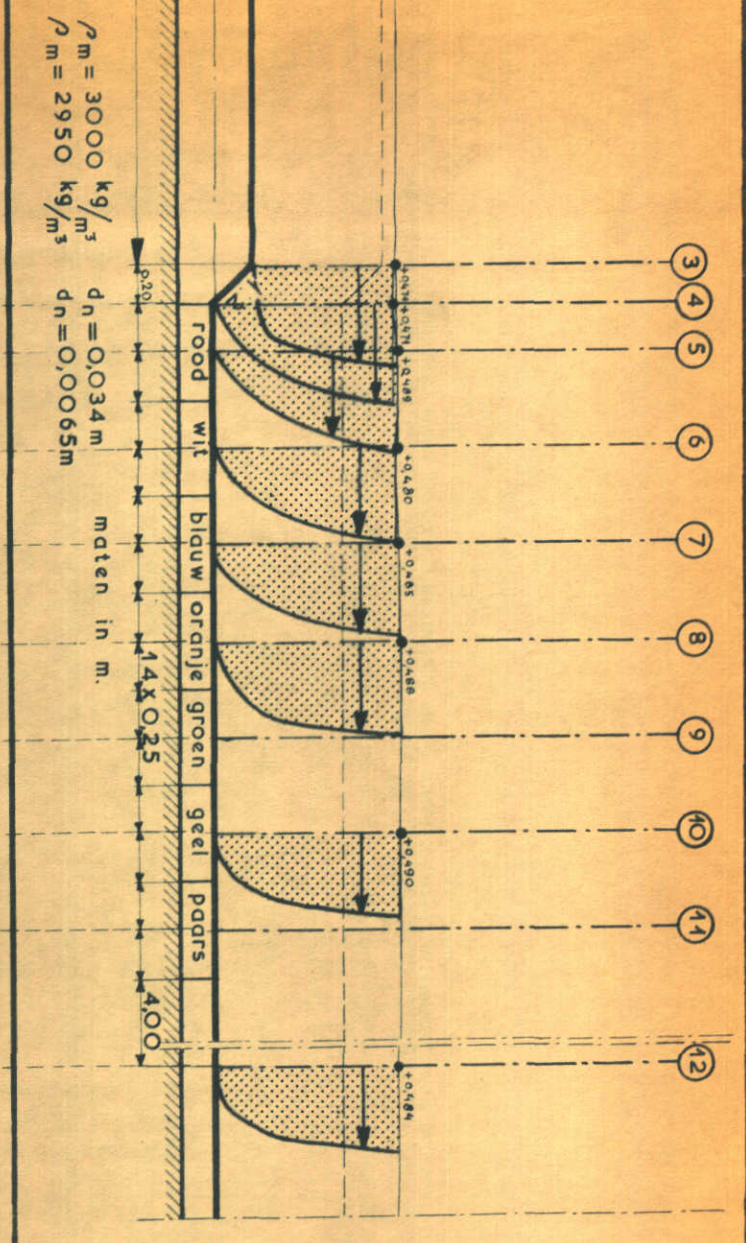
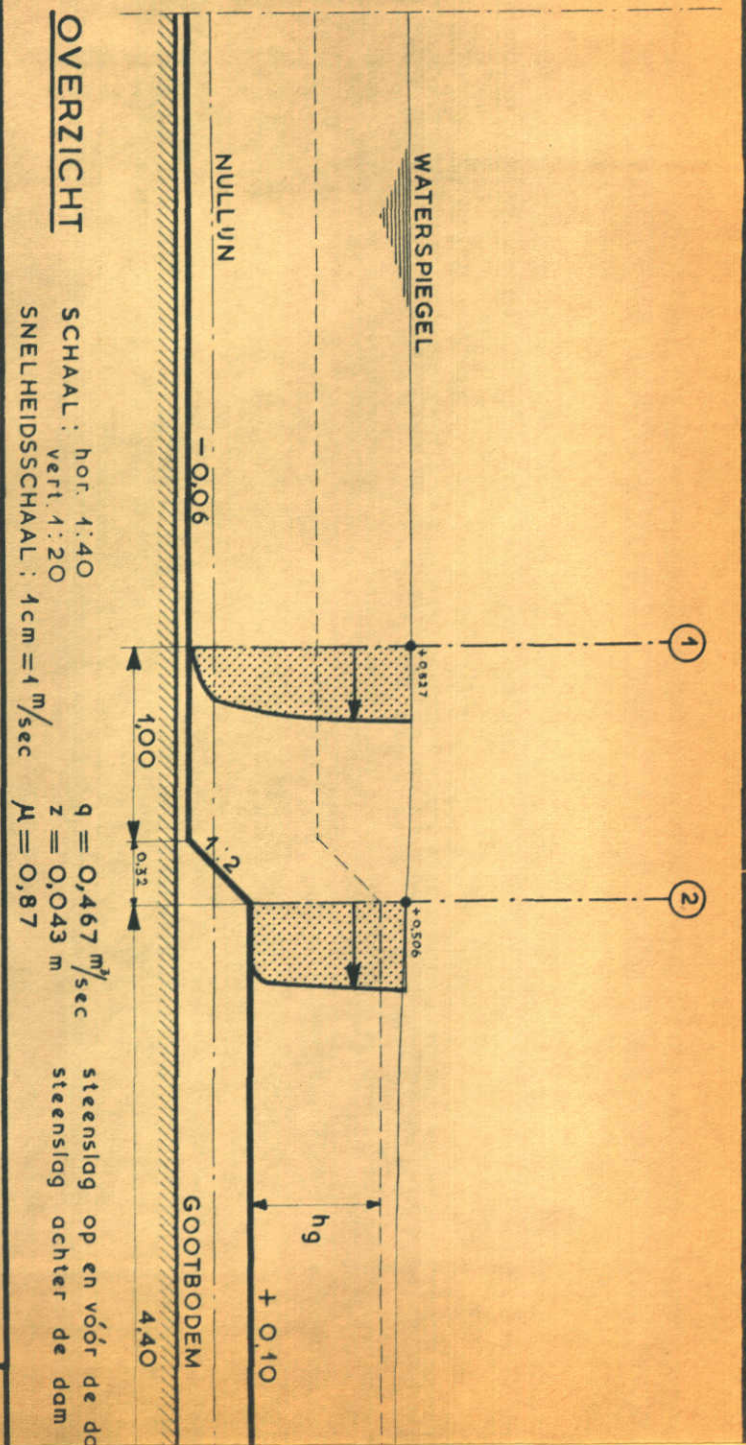
FIG. 40



INVLOED VAN DE RUWHEID VAN DE DAM OP HET CRITIEKE DEBIET

M 711 - DEEL IV

PROEFSERIE I



OVERZICHT

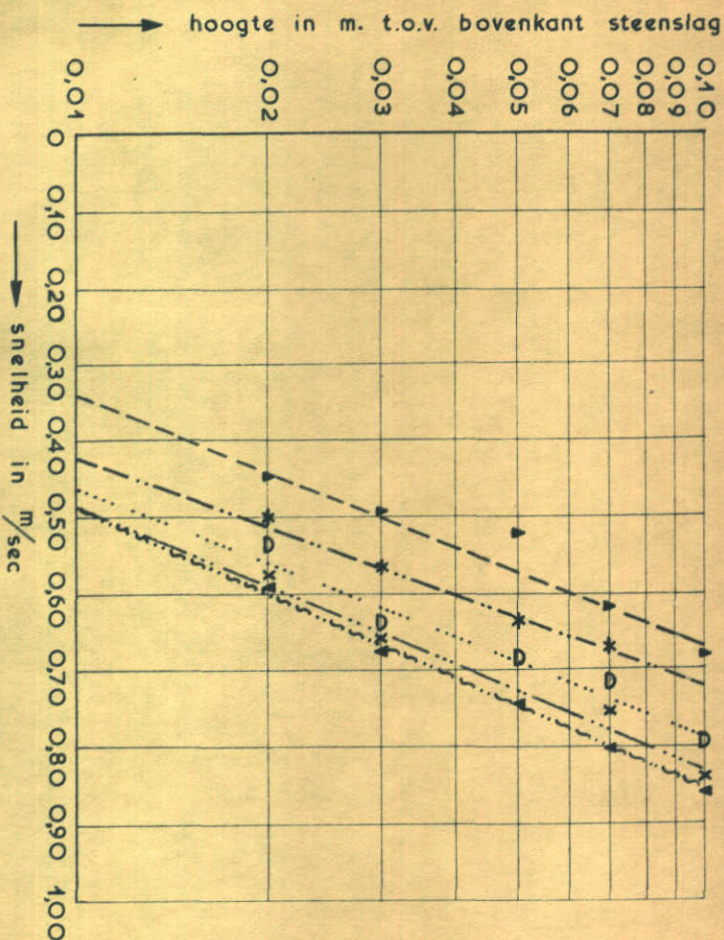
SCHAAL: hor. 1:40
 vert. 1:20
 SNELHEIDSSCHAAL: 4cm = 1 m/sec

$q = 0,467 \text{ m}^3/\text{sec}$
 $z = 0,043 \text{ m}$
 $\mu = 0,87$

steenslag op en vóór de dam $\rho_m = 3000 \text{ kg/m}^3$
 steenslag achter de dam $\rho_m = 2950 \text{ kg/m}^3$

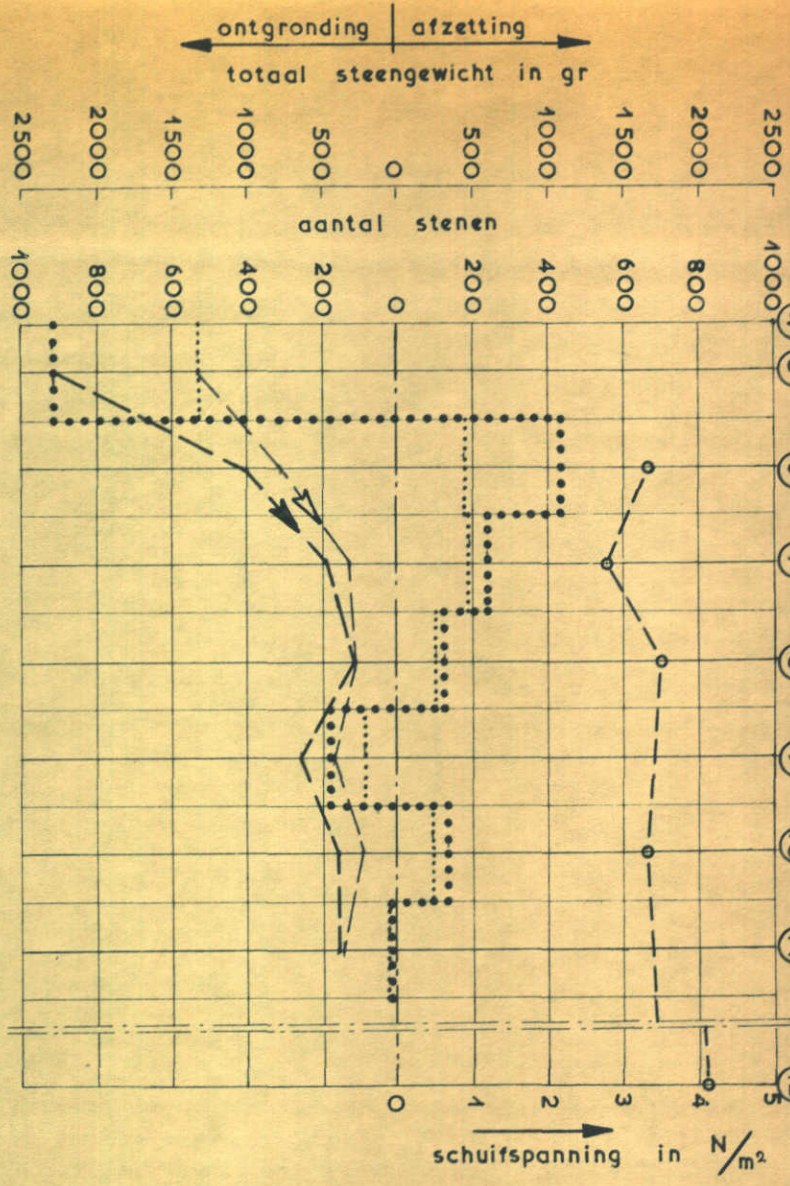
$d_n = 0,034 \text{ m}$
 $d_n = 0,0065 \text{ m}$

maten in m.



SNELHEIDVERDELING EN SCHUIFSPANNING

- ▲ ----- vert. (6) $T_o = 3,30 \text{ N/m}^2$
- * - - - - - vert. (7) $T_o = 2,80 \text{ N/m}^2$
- x - - - - - vert. (8) $T_o = 3,50 \text{ N/m}^2$
- o - - - - - vert. (9) $T_o = 3,30 \text{ N/m}^2$
- o - - - - - vert. (10) $T_o = 3,30 \text{ N/m}^2$
- o - - - - - vert. (11) $T_o = 3,30 \text{ N/m}^2$
- o - - - - - vert. (12) $T_o = 4,10 \text{ N/m}^2$



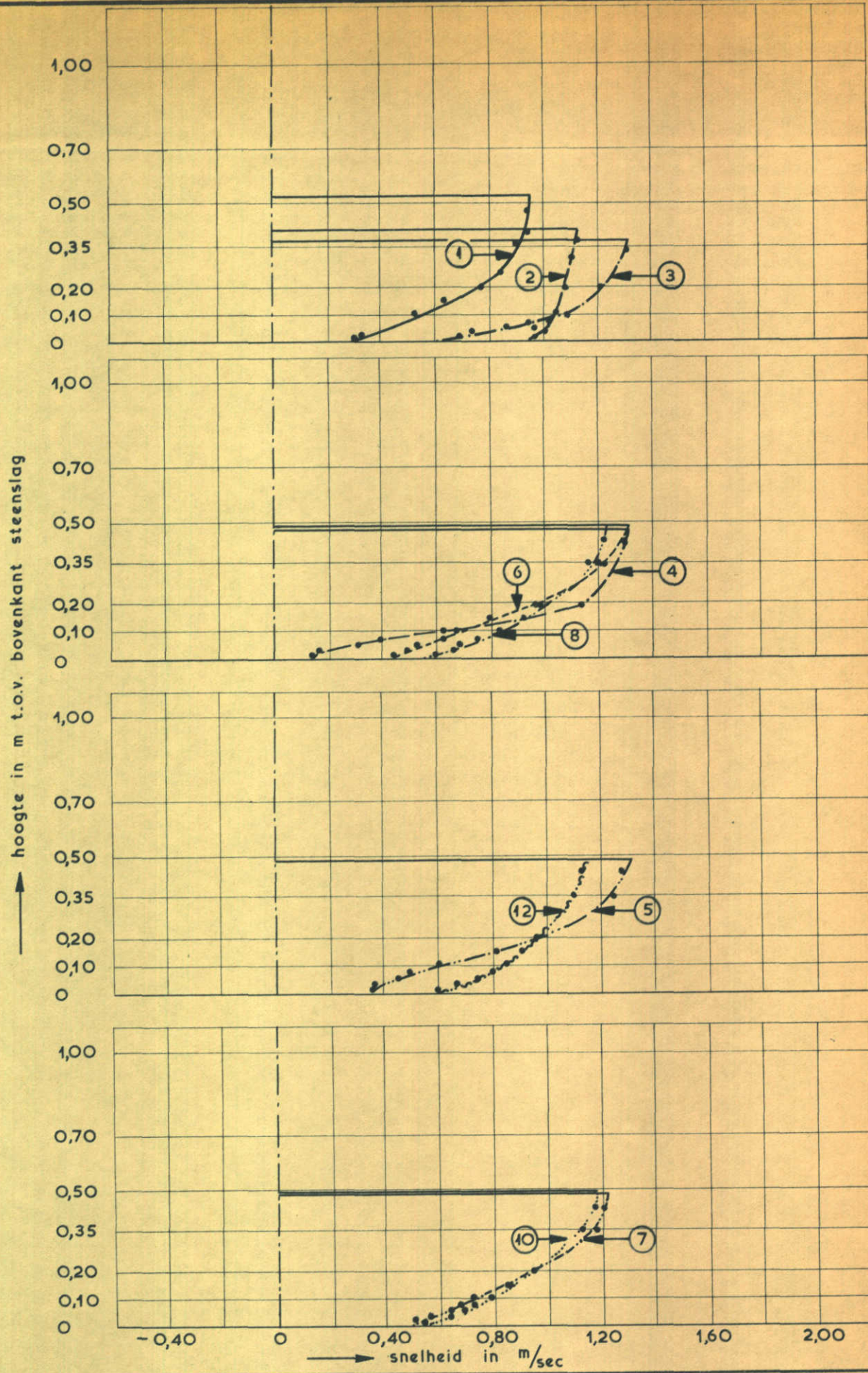
VERLOOP EROSION EN SCHUIFSPANNING

- bruto transport in richting en grootte (aantal stenen)
- bruto transport in richting en grootte (totaal steengewicht)
- netto transport (aantal stenen)
- netto transport (totaal steengewicht)
- schuifspanning

SNELHEIDVERDELING, WATERSTANDSVERLOOP, EROSION EN SCHUIFSPANNING.

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 711-DEEL IV
 PROEFSERIE II
 T 15 . FIG. 42



SNELHEIDSVERTICALEN

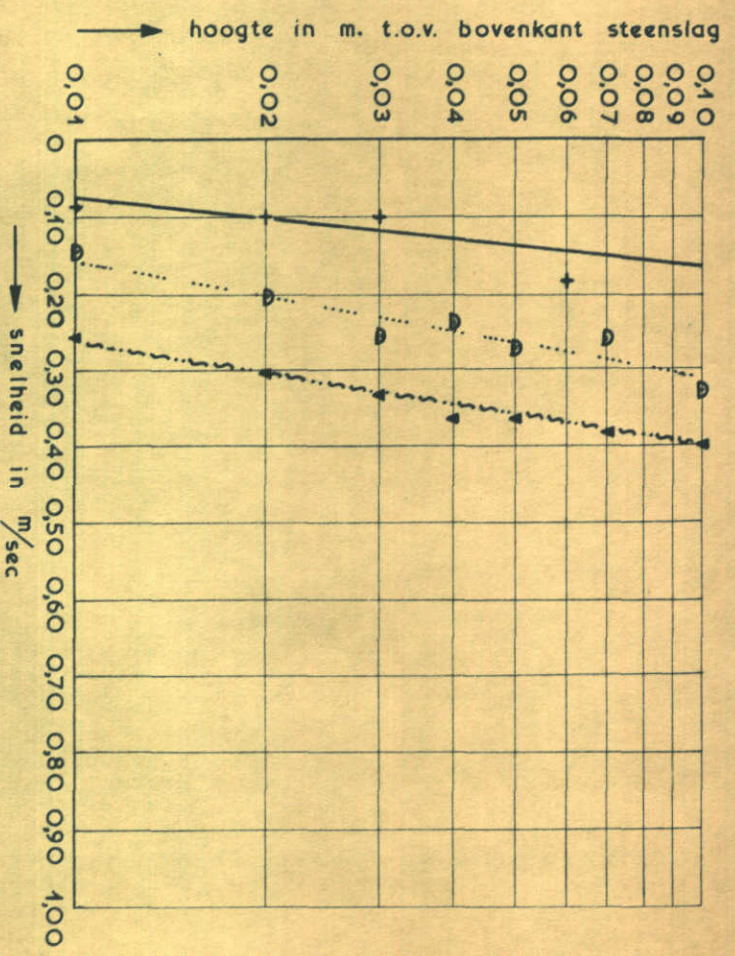
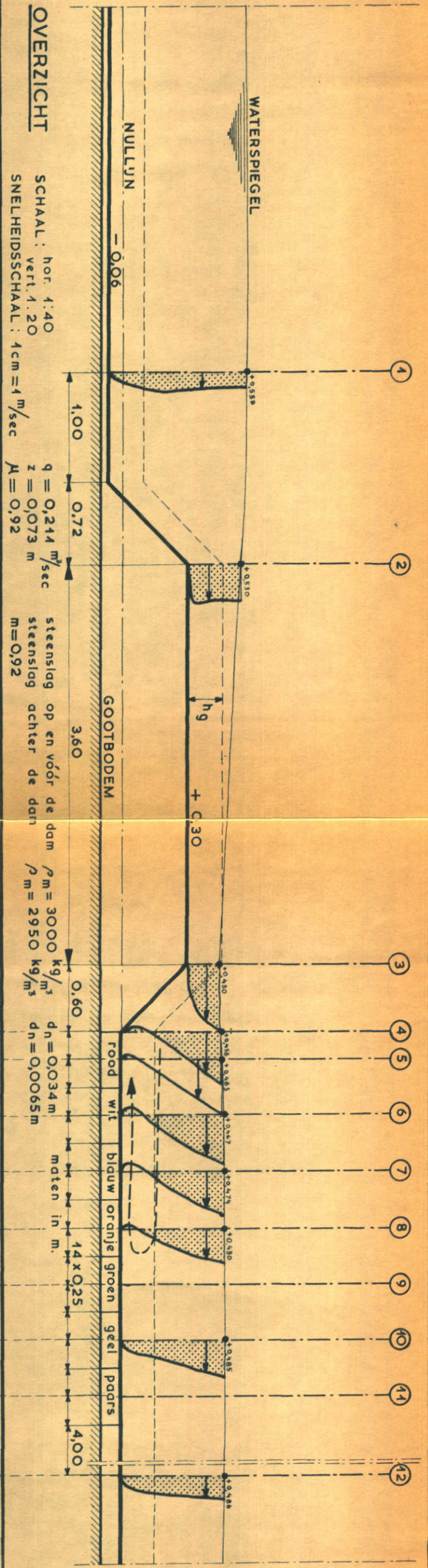
M. 711-DEEL IV

PROEFSERIE II

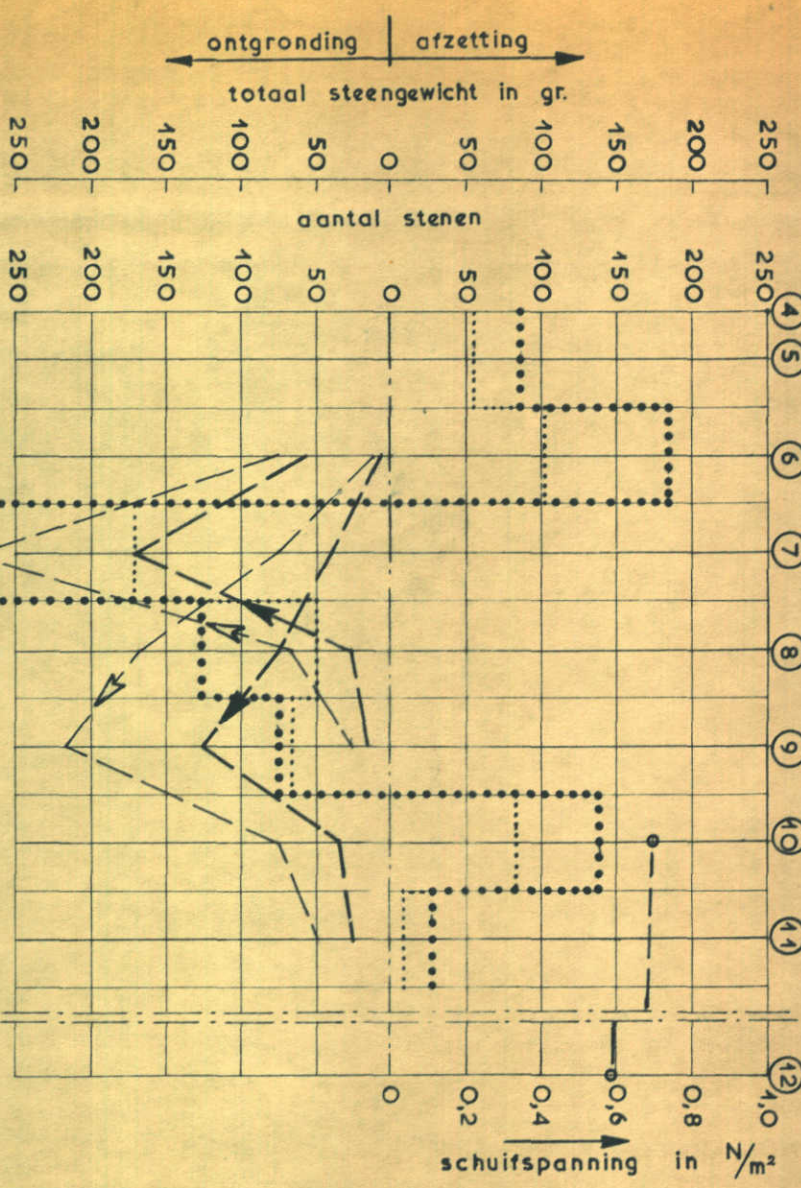
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

T 15

FIG. 43



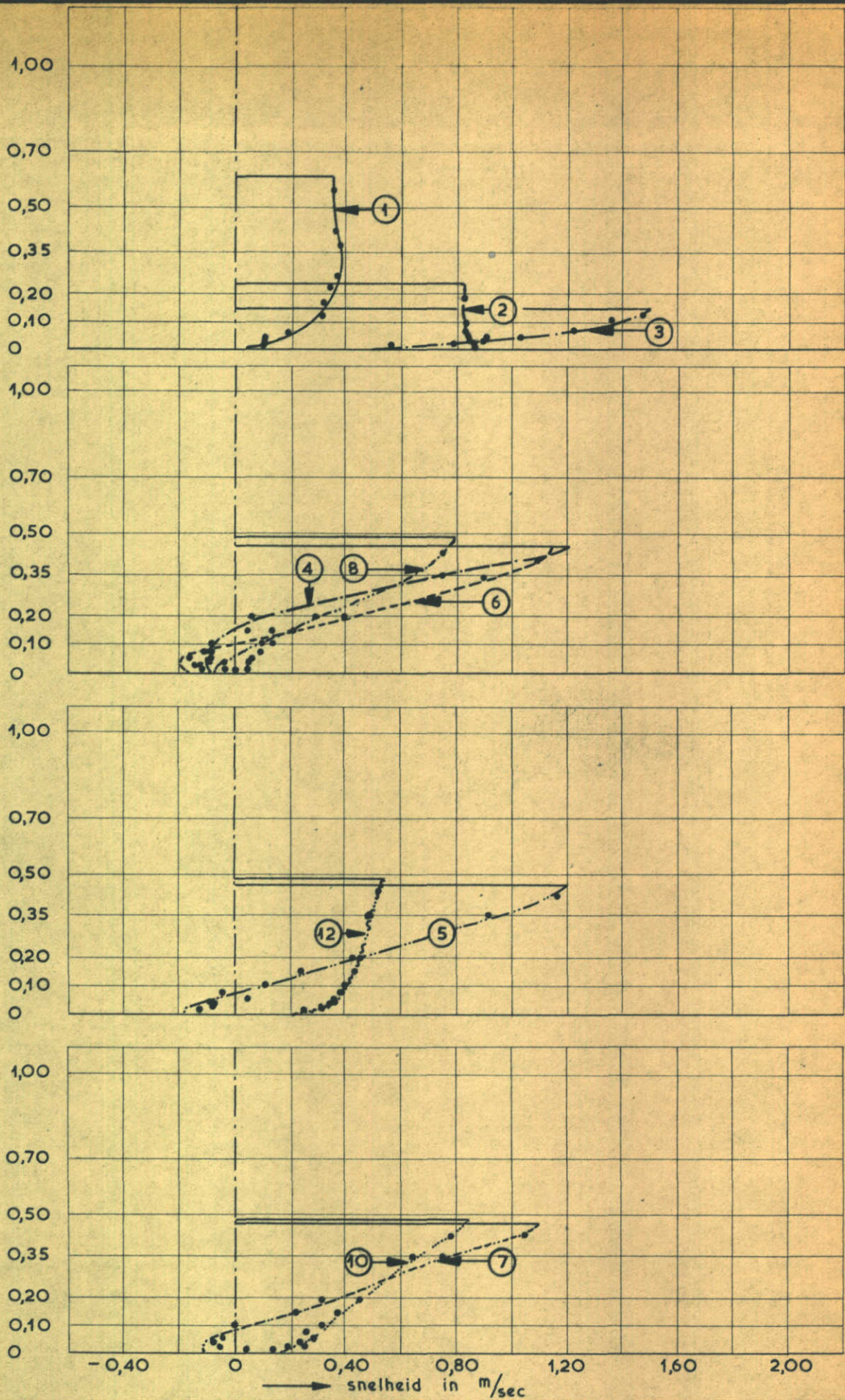
+ ————— vert. ① $T_0 = 0,24 \text{ N/m}^2$
 o vert. ④ $T_0 = 0,70 \text{ N/m}^2$
 - - - - - vert. ⑫ $T_0 = 0,59 \text{ N/m}^2$



VERLOOP EROSIE EN SCHUIFSPANNING
 } bruto transport in richting en grootte (aantal stenen)
 } bruto transport in richting en grootte (totaal steengewicht)
 } netto transport (aantal stenen)
 } netto transport (totaal steengewicht)
 } schuifspanning

SNELHEIDSVERDELING, WATERSTANDSVERLOOP, EROOSIE EN SCHUIFSPANNING.
 M. 711-DEEL IV
 PROEFSERIE II

↑ hoogte in m t.o.v. bovenkant steenslag



SNELHEIDSVERTICALEN

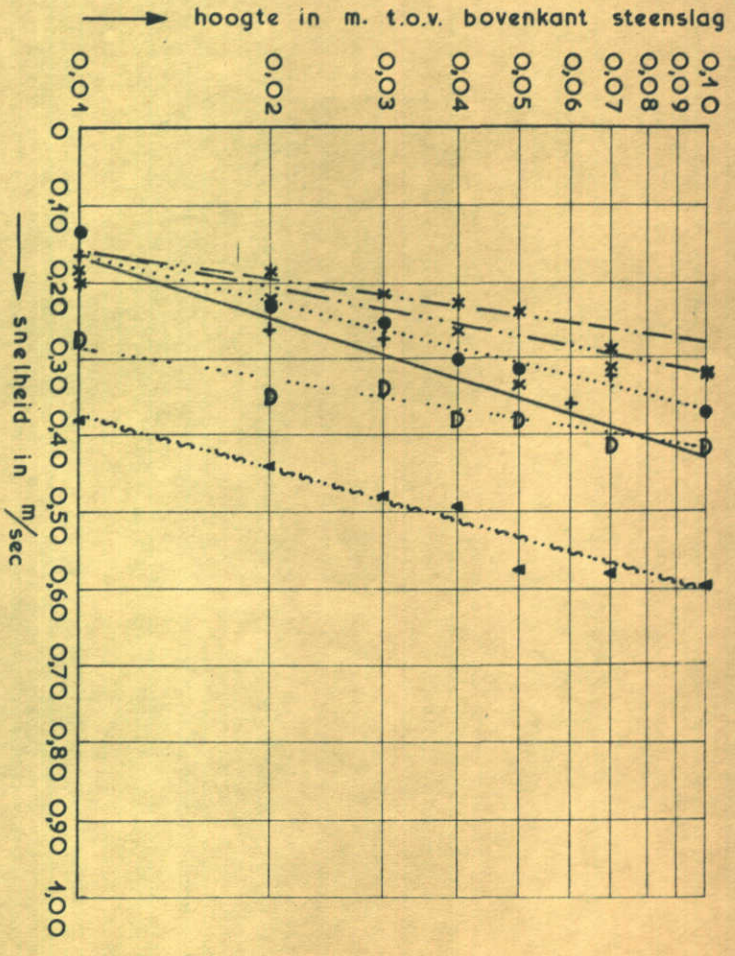
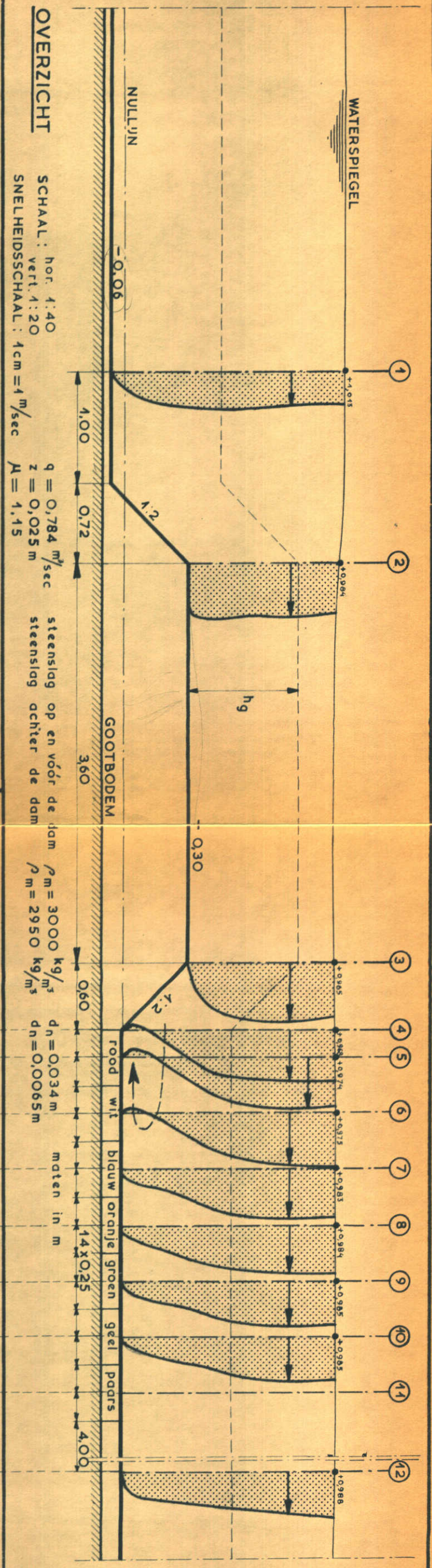
M. 711-DEEL IV

PROEFSERIE II

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

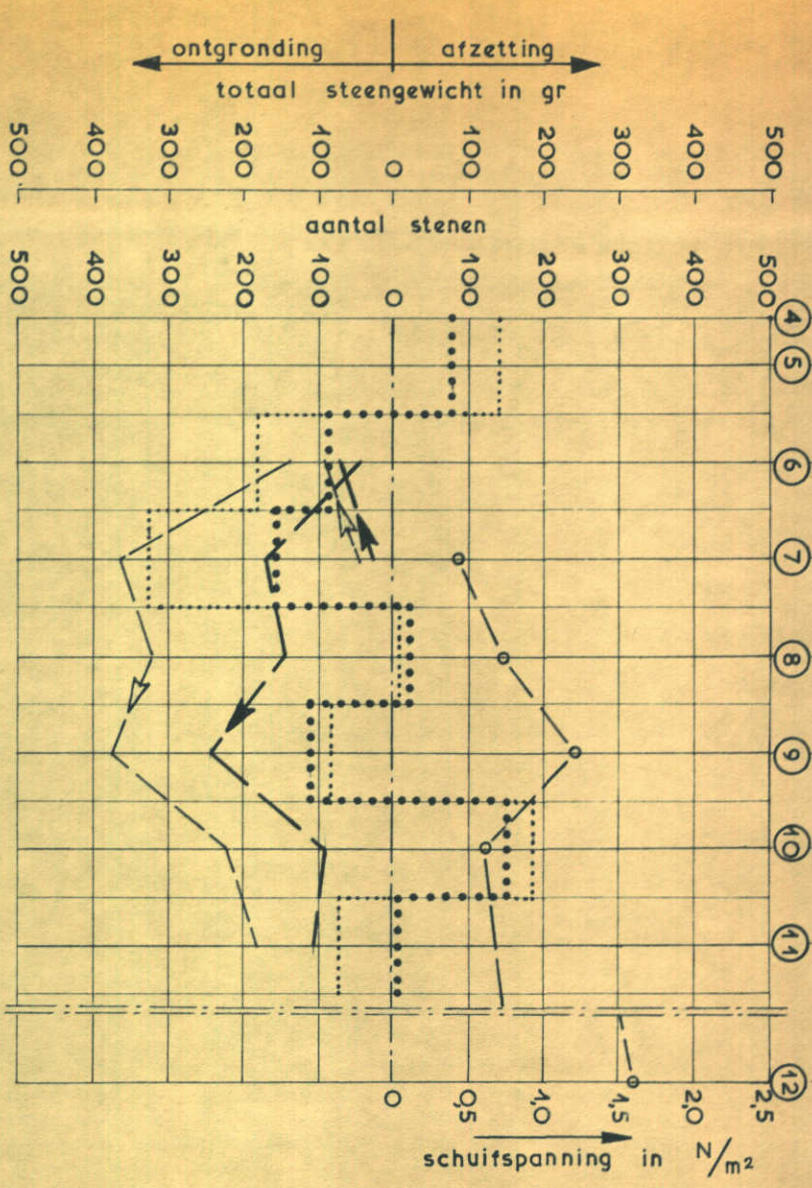
T 16

FIG. 45



SNELHEIDSVERDELING EN SCHUIFSPANNING

- | | | | | | |
|-------------|---------|----------------------------|-------------|---------|----------------------------|
| + ————— | vert. ① | $T_0 = 220 \text{ N/m}^2$ | ● ········· | vert. ⑨ | $T_0 = 1,20 \text{ N/m}^2$ |
| * - - - - - | vert. ⑦ | $T_0 = 0,43 \text{ N/m}^2$ | ○ ········· | vert. ⑩ | $T_0 = 0,59 \text{ N/m}^2$ |
| x - - - - - | vert. ⑧ | $T_0 = 0,77 \text{ N/m}^2$ | ~~~~~ | vert. ⑫ | $T_0 = 1,59 \text{ N/m}^2$ |



VERLOOP EROSIE EN SCHUIFSPANNING

- | | | |
|------------|---|--|
| → | } | bruto transport in richting en grootte (aantal stenen) |
| ← | | |
| → | } | bruto transport in richting en grootte (totaal steengewicht) |
| ← | | |
| ····· | } | netto transport (aantal stenen) |
| ····· | | |
| ····· | } | netto transport (totaal steengewicht) |
| ····· | | |
| ○- - - - - | } | schuifspanning |
| ○- - - - - | | |

SNELHEIDSVERDELING, WATERSTANDSVERLOOP, EROSIE EN SCHUIFSPANNING.

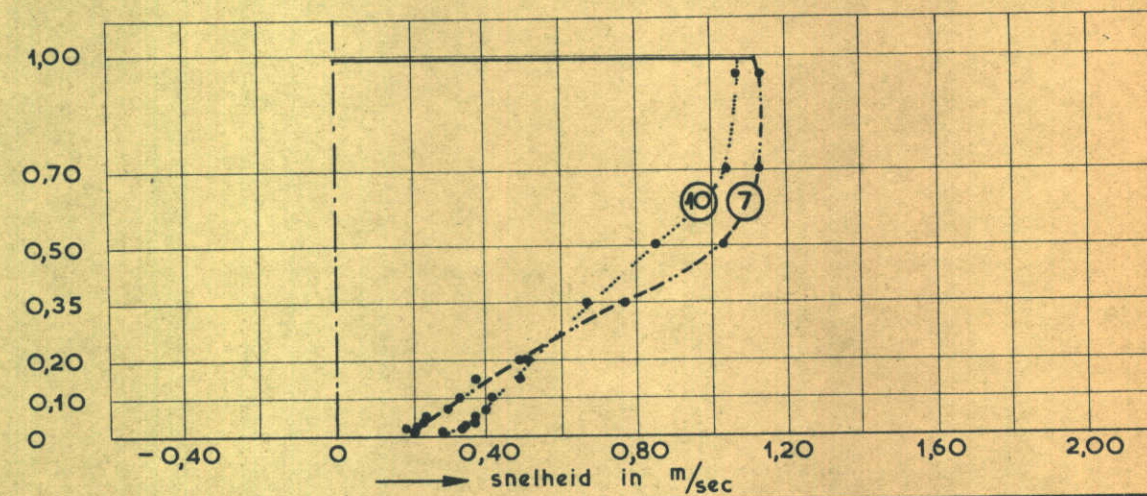
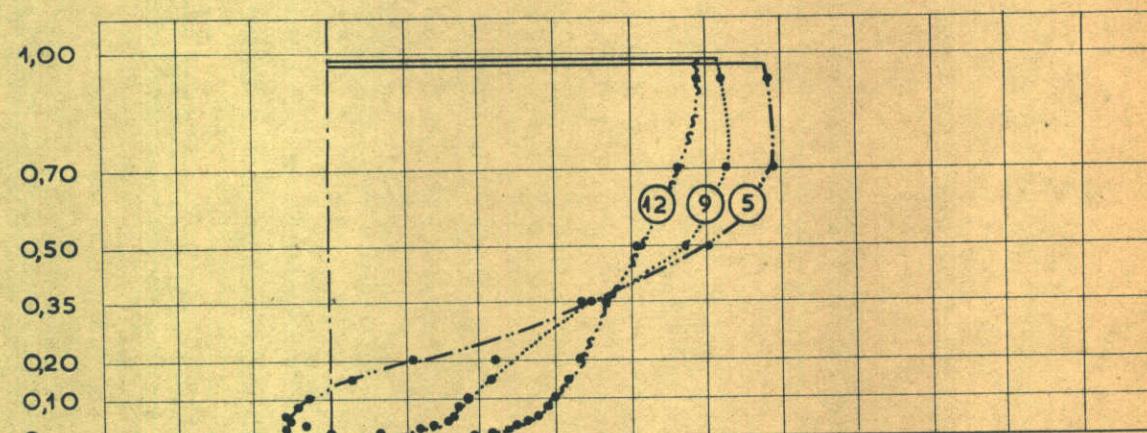
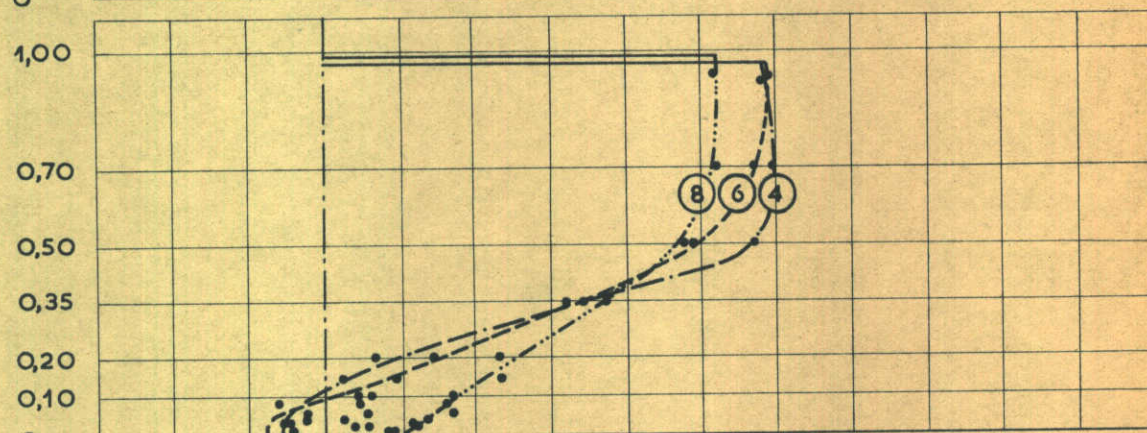
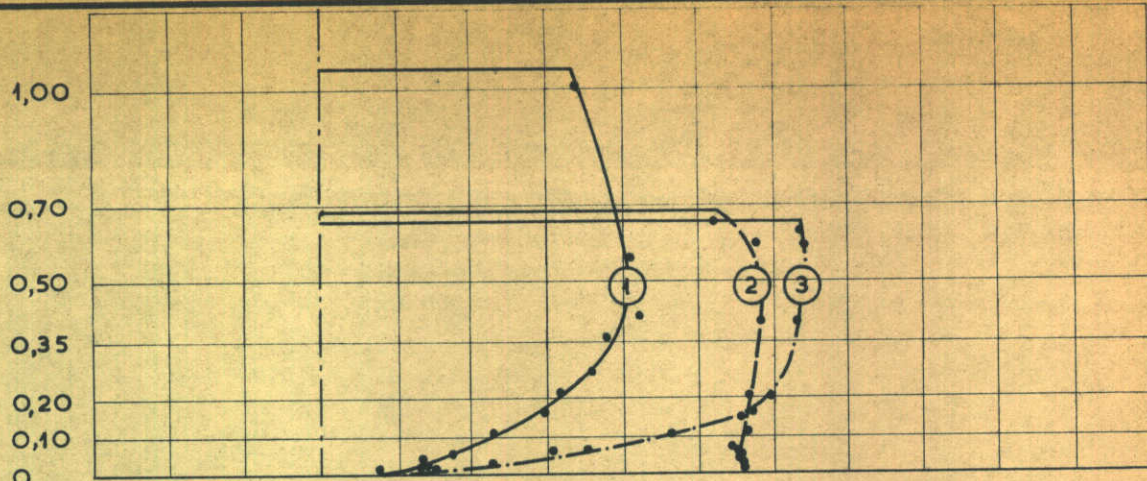
M. 711-DEEL IV

PROEFSERIE II

T 17 FIG. 46

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

↑ hoogte in m t.o.v. bovenkant steenslag



SNELHEIDSVERTICALALEN

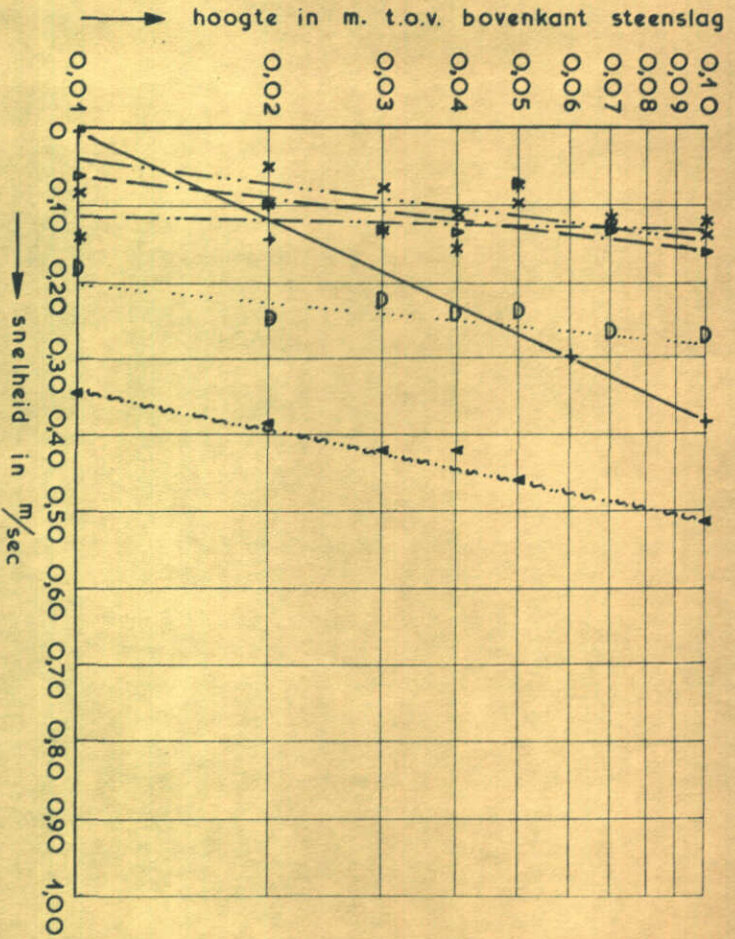
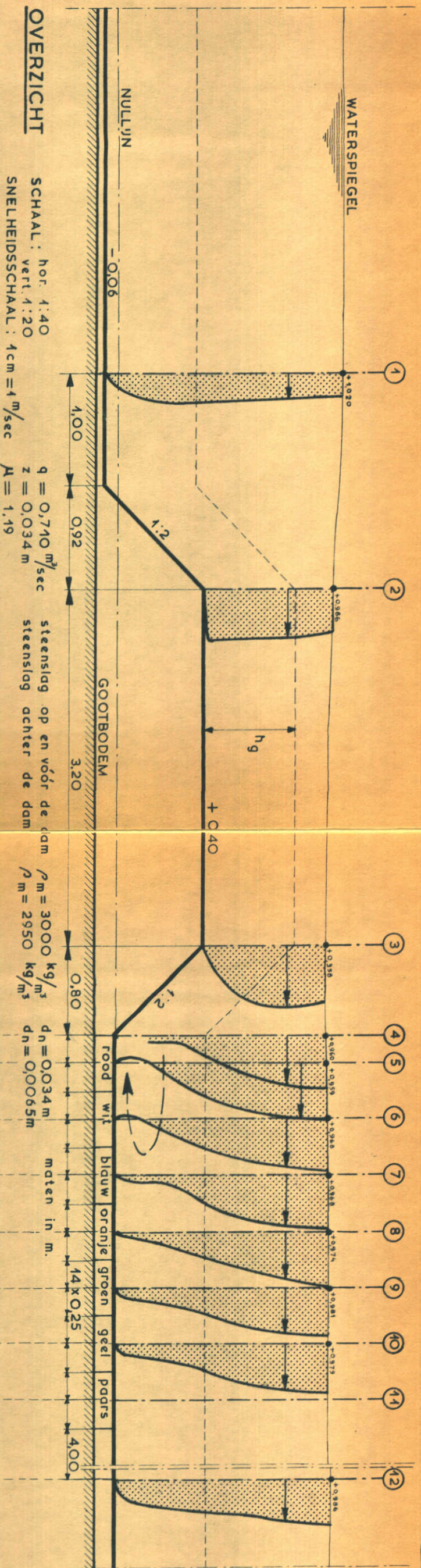
M. 711-DEEL IV

PROEFSERIE II

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

T47

FIG. 47



SNELHEIDSVERDELING EN SCHUIFPANNING

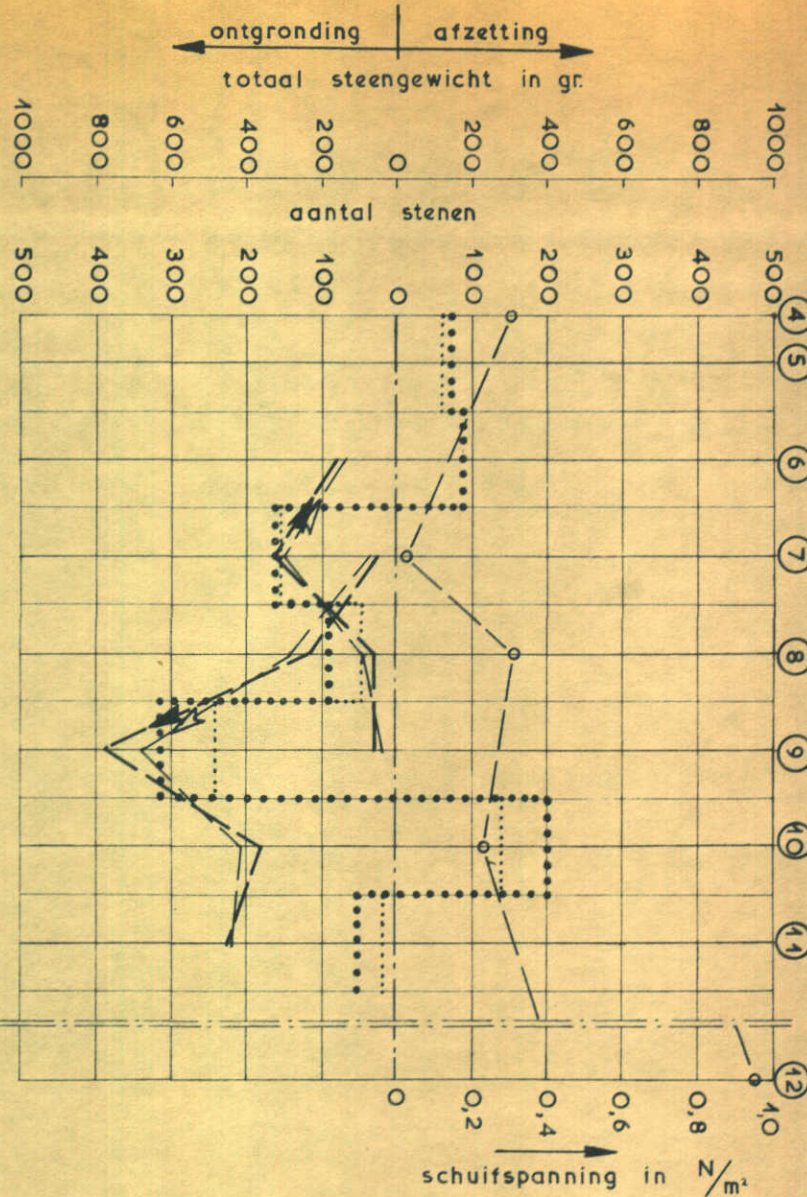
- | | | | |
|-------------------|------------------------------|--------------------|------------------------------|
| + ————— vert. | ① $T_o = 4,34 \text{ N/m}^2$ | x ————— vert. | ⑧ $T_o = 0,33 \text{ N/m}^2$ |
| A - - - - - vert. | ④ $T_o = 0,30 \text{ N/m}^2$ | o ·········· vert. | ⑩ $T_o = 0,22 \text{ N/m}^2$ |
| * - - - - - vert. | ⑦ $T_o = 0,04 \text{ N/m}^2$ | v ·········· vert. | ⑫ $T_o = 0,97 \text{ N/m}^2$ |

SNELHEIDSVERDELING, WATERSTANDSVERLOOP,
EROSIE EN SCHUIFPANNING.

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 711-DEEL IV
PROEFSERIE II

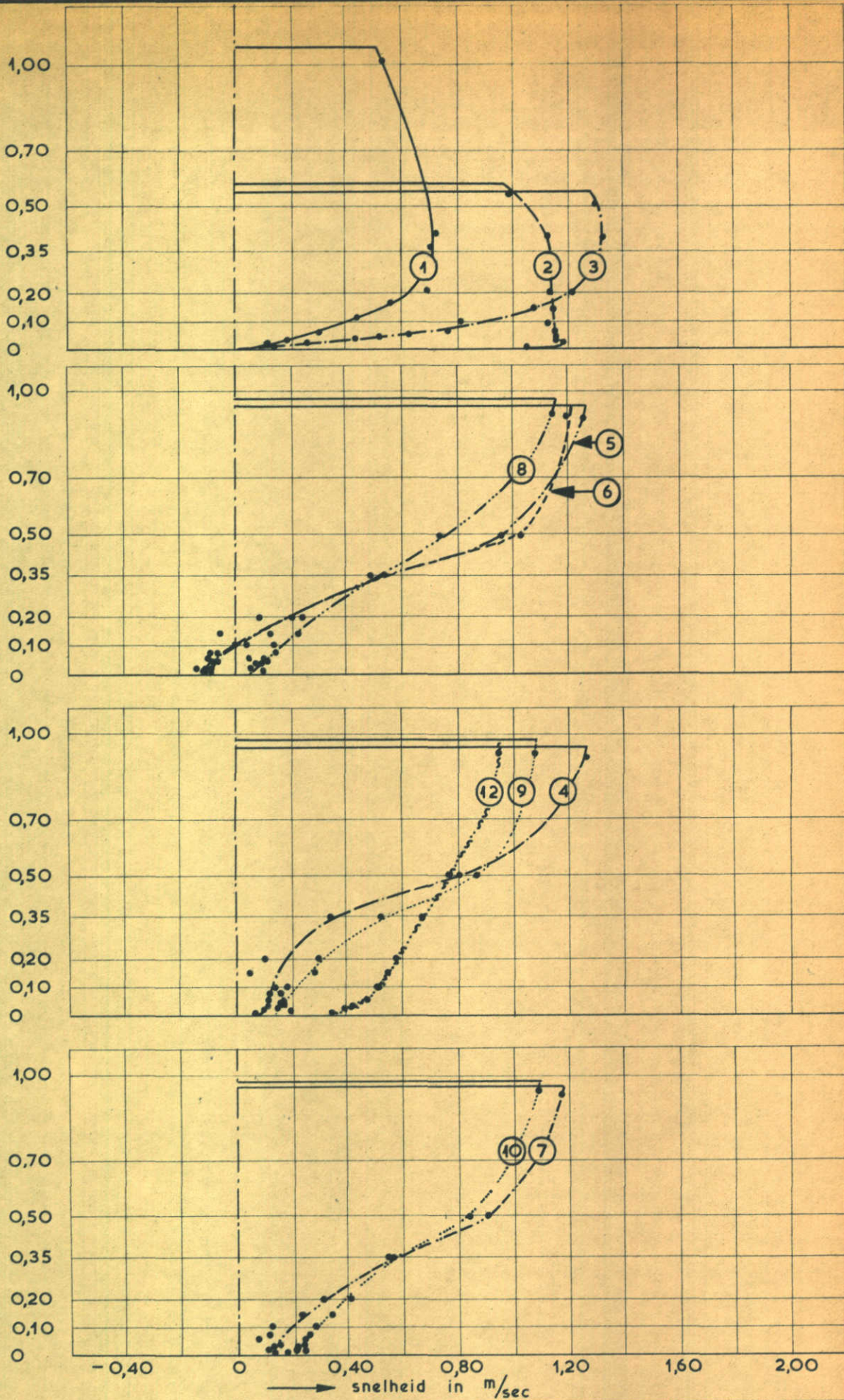
T 18 FIG. 48



VERLOOP EROOSIE EN SCHUIFPANNING

- | | |
|-------------|--|
| —→ | } bruto transport in richting en grootte (aantal stenen) |
| ←— | |
| —→ | } bruto transport in richting en grootte (totaal steengewicht) |
| ←— | |
| ······ | } netto transport (aantal stenen) |
| ······ | |
| ······ | } netto transport (totaal steengewicht) |
| ······ | |
| o - - - - - | } schuifspanning |
| o - - - - - | |

↑ hoogte in m t.o.v. bovenkant steenslag



SNELHEIDSVERTICALLEN

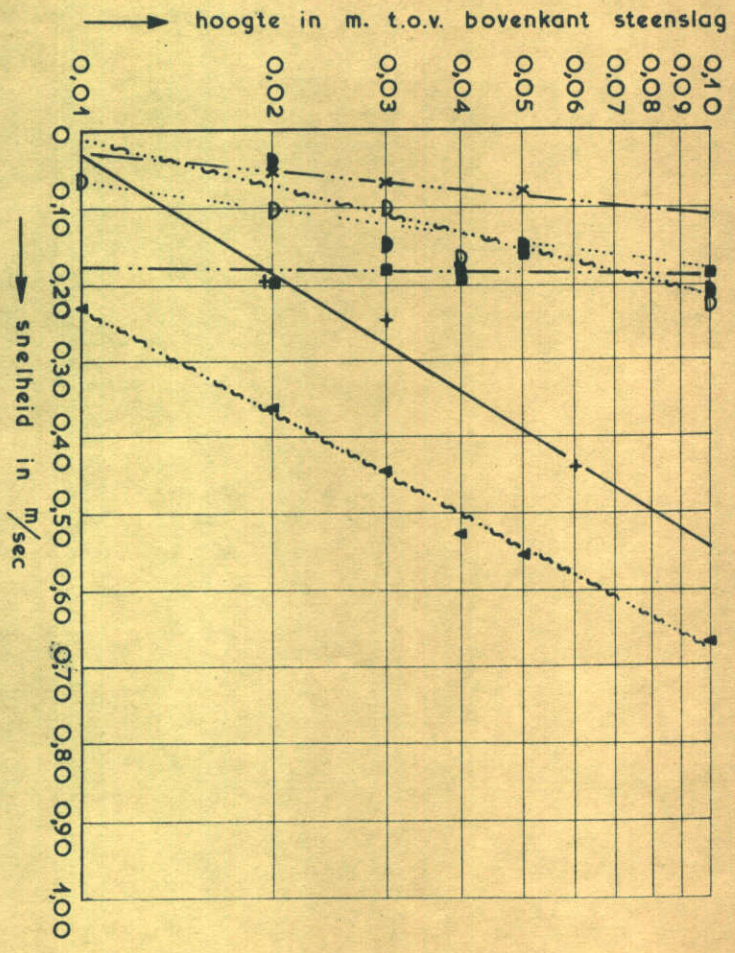
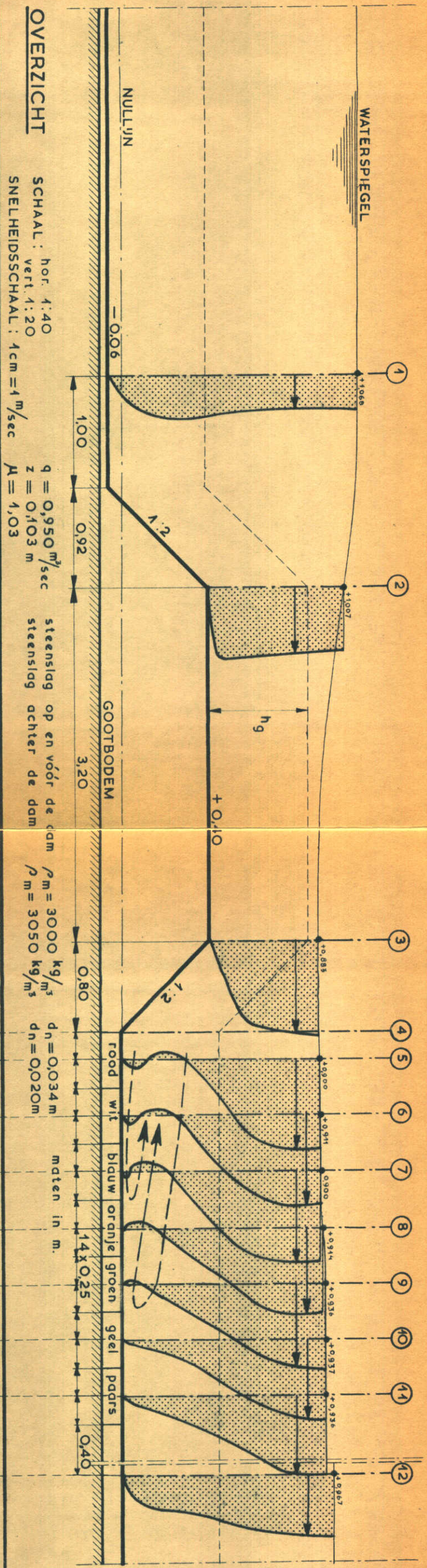
M. 711-DEEL IV

PROEFSERIE II

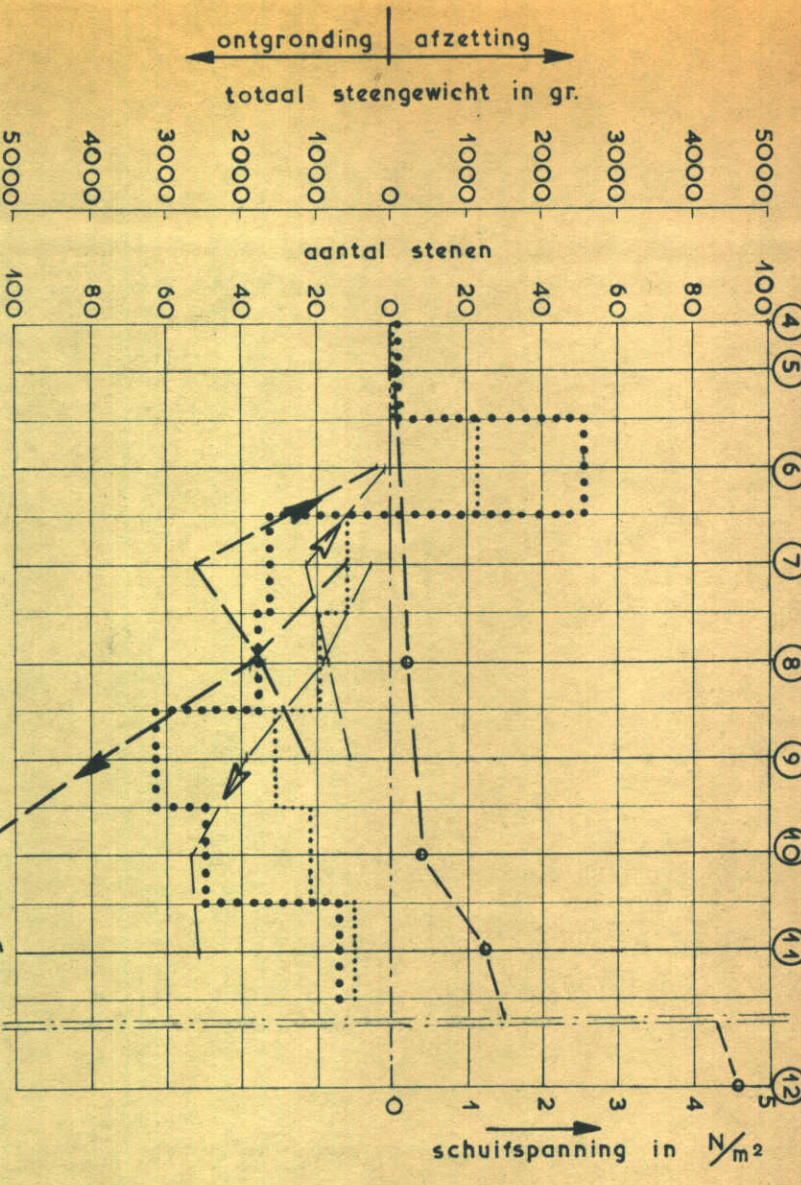
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

T 18

FIG. 49



- | | | | | | |
|---|---------|----------------------------|---|---------|----------------------------|
| + | vert. ① | $T_0 = 7,80 \text{ N/m}^2$ | ∆ | vert. ⑩ | $T_0 = 0,36 \text{ N/m}^2$ |
| ■ | vert. ⑤ | $T_0 = 0,04 \text{ N/m}^2$ | ▲ | vert. ⑪ | $T_0 = 1,20 \text{ N/m}^2$ |
| x | vert. ⑧ | $T_0 = 0,19 \text{ N/m}^2$ | ▼ | vert. ⑫ | $T_0 = 4,56 \text{ N/m}^2$ |



SNELHEIDSVERDELING, WATERSTANDSVERLOOP,
EROSIE EN SCHUIFSPANNING.

M. 711-DEEL IV
PROEFSERIE II

T 49 FIG. 50

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

bruto transport in richting en grootte (aantal stenen)

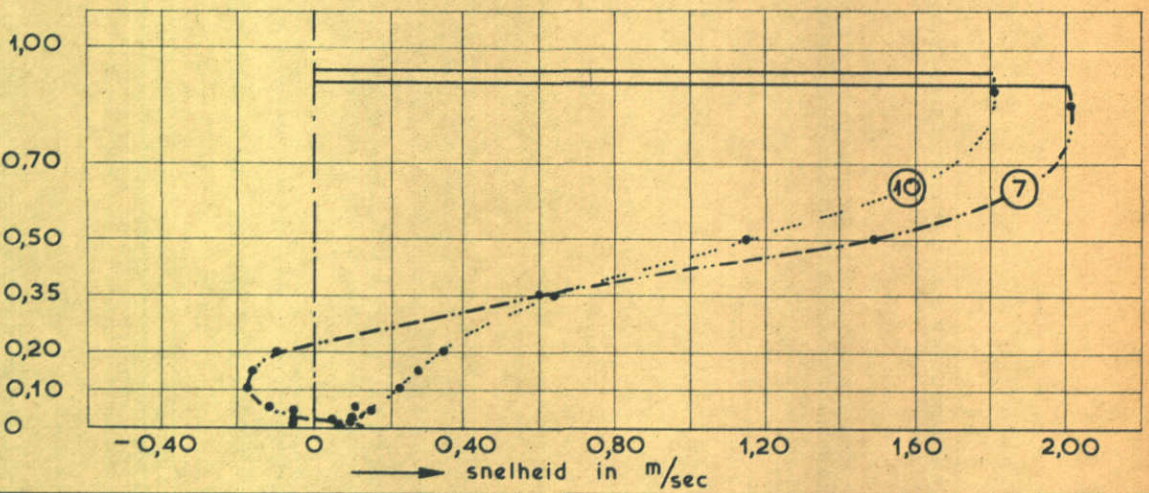
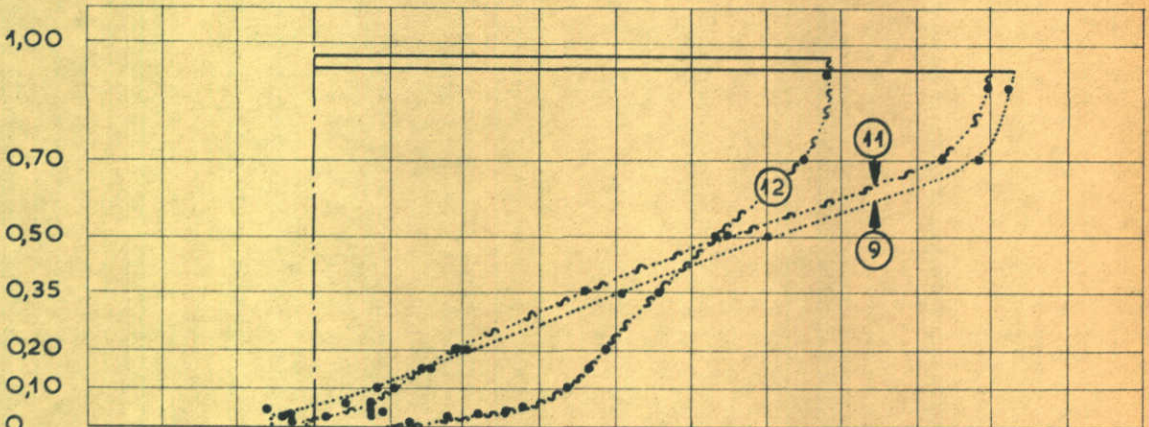
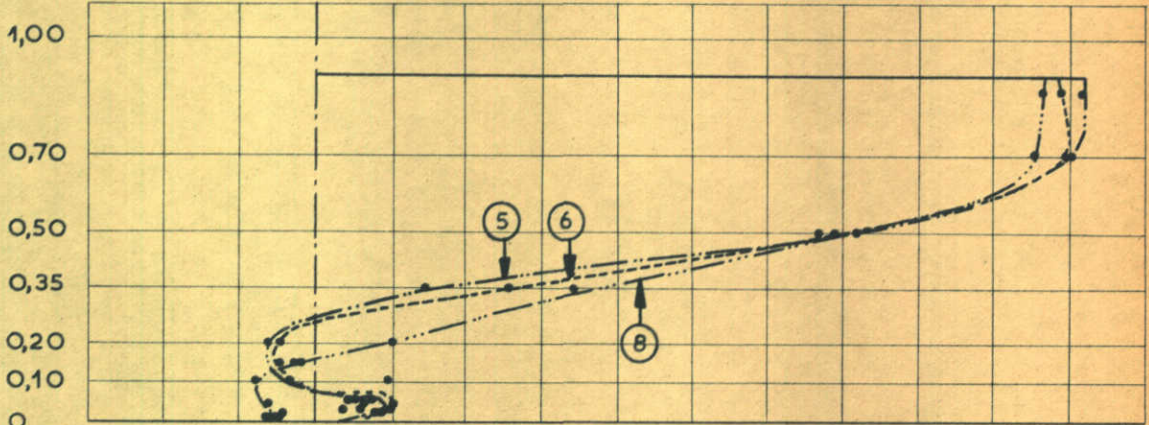
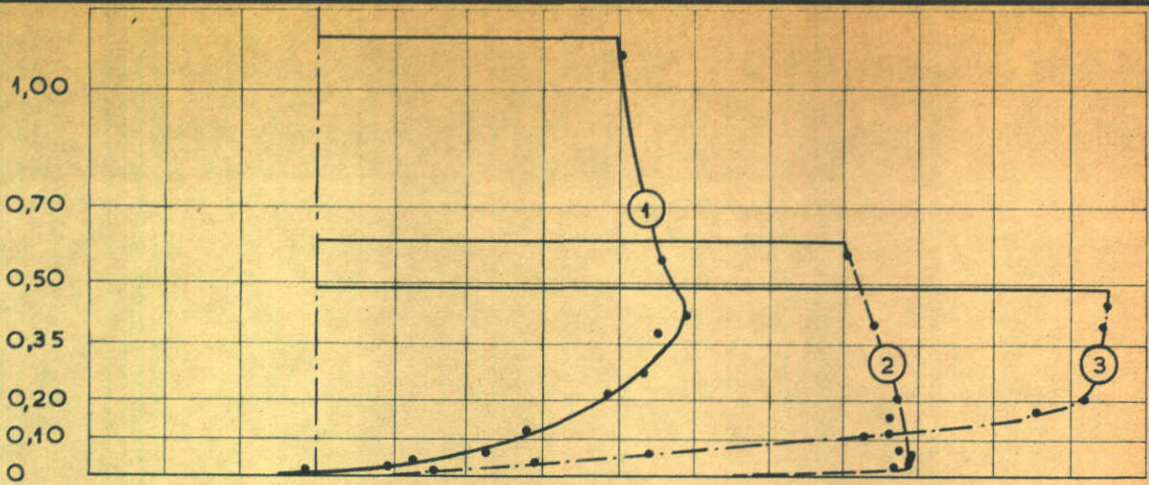
bruto transport in richting en grootte (totaal steengewicht)

netto transport (aantal stenen)

netto transport (totaal steengewicht)

schuifspanning

↑ hoogte in m t.o.v. bovenkant steenslag



SNELHEIDSVERTICALEN

M. 711-DEEL IV

PROEFSERIE II

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

T 49

FIG. 54

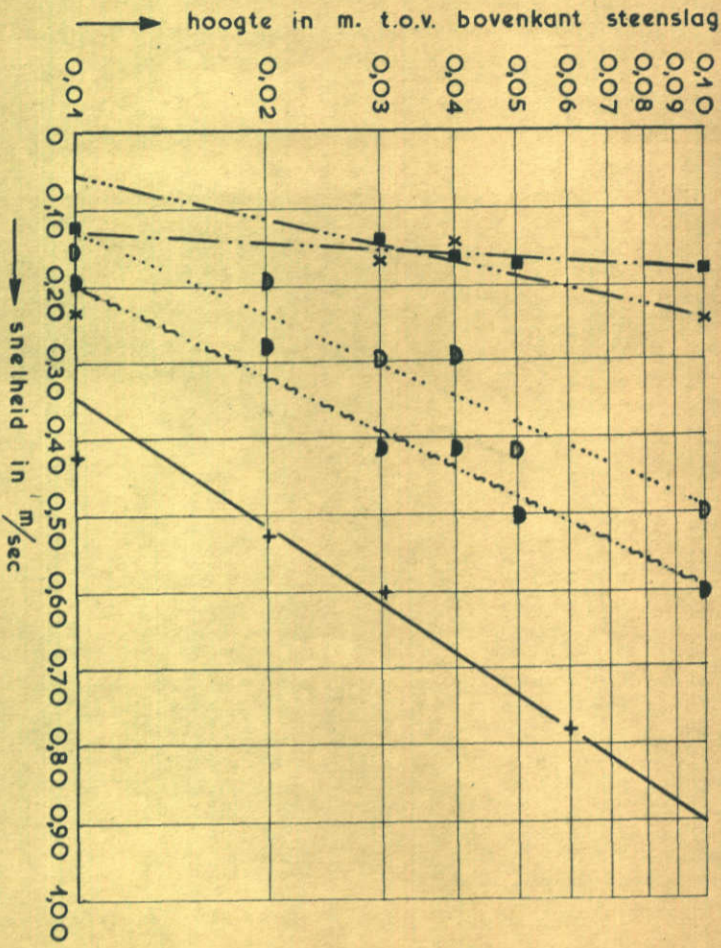
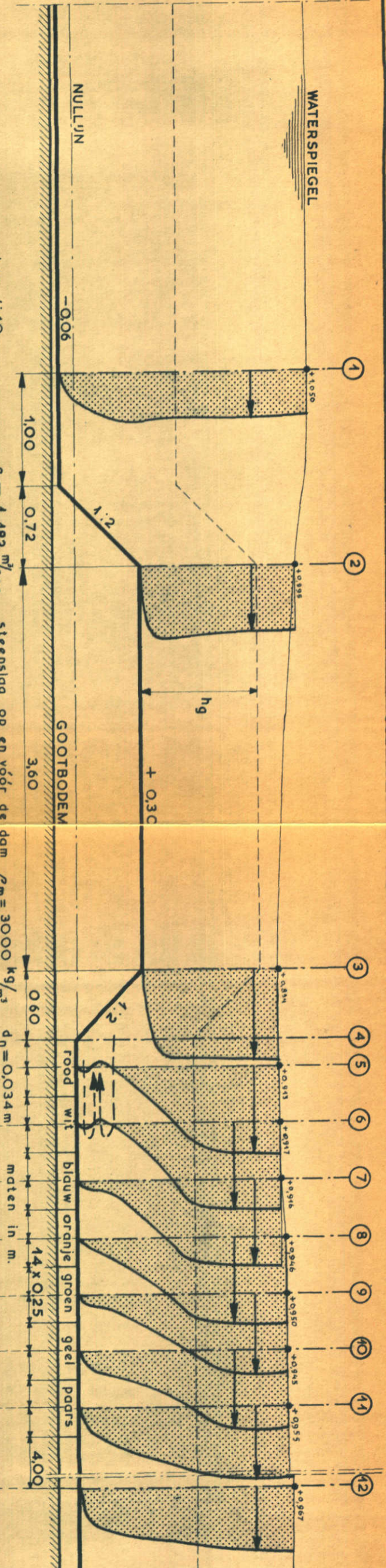
OVERZICHT

SCHAAL: hor. 1:40
 vert. 1:20
 SNELHEIDSSCHAAL: 1cm = 1 m/sec

$q = 1,482 \text{ m}^3/\text{sec}$
 $z = 0,083 \text{ m}$
 $\mu = 1,08$

steenslag op en vóór de dam
 steenslag achter de dam

$\rho_m = 3000 \text{ kg/m}^3$
 $\rho_m = 3050 \text{ kg/m}^3$
 $d_n = 0,034 \text{ m}$
 $d_n = 0,020 \text{ m}$



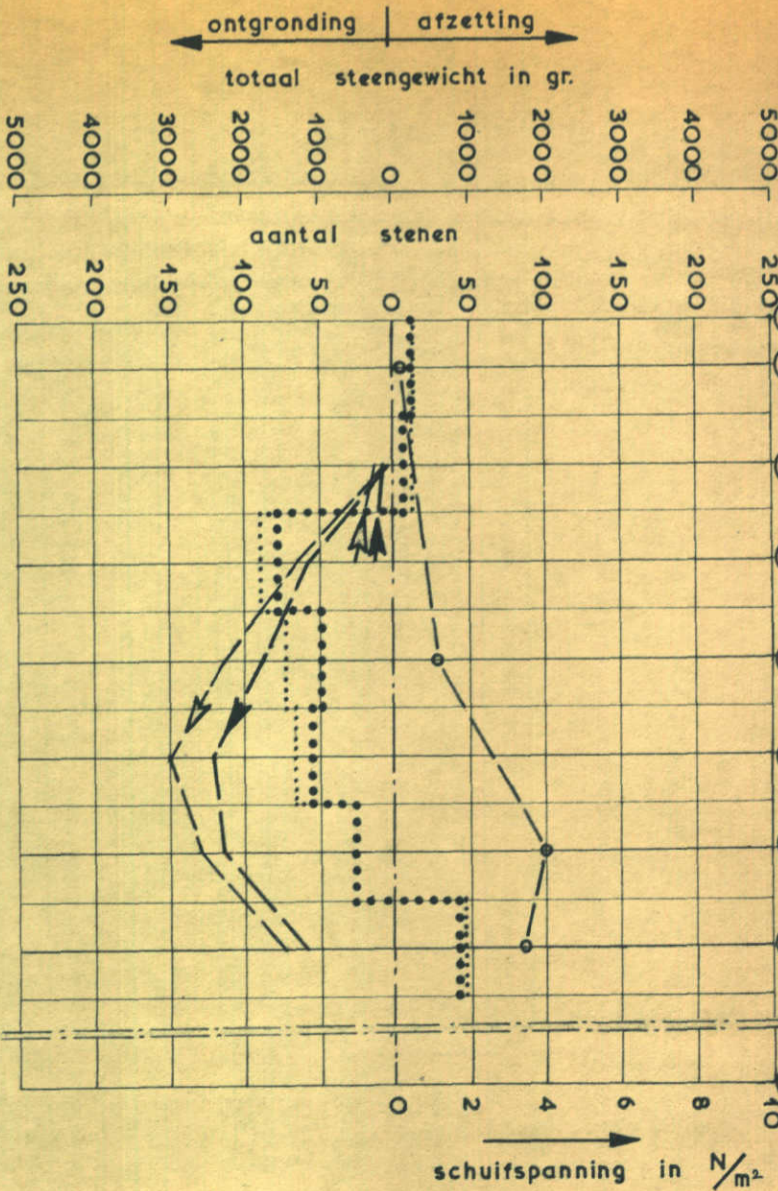
SNELHEIDSVERTDELING EN SCHUIFSPANNING

- + ————— vert. ① $T_0 = 9,22 \text{ N/m}^2$
- ————— vert. ⑤ $T_0 = 0,09 \text{ N/m}^2$
- x ————— vert. ⑧ $T_0 = 1,03 \text{ N/m}^2$
- o ————— vert. ⑩ $T_0 = 3,90 \text{ N/m}^2$
- ————— vert. ⑪ $T_0 = 4,55 \text{ N/m}^2$

SNELHEIDSVERTDELING, WATERSTANDSVERLOOP, EROOSIE EN SCHUIFSPANNING.

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

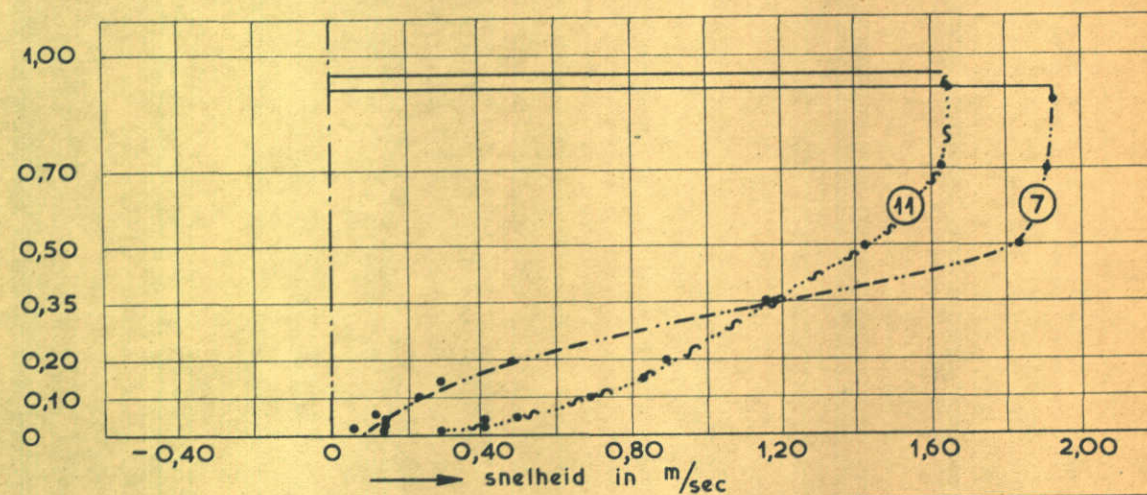
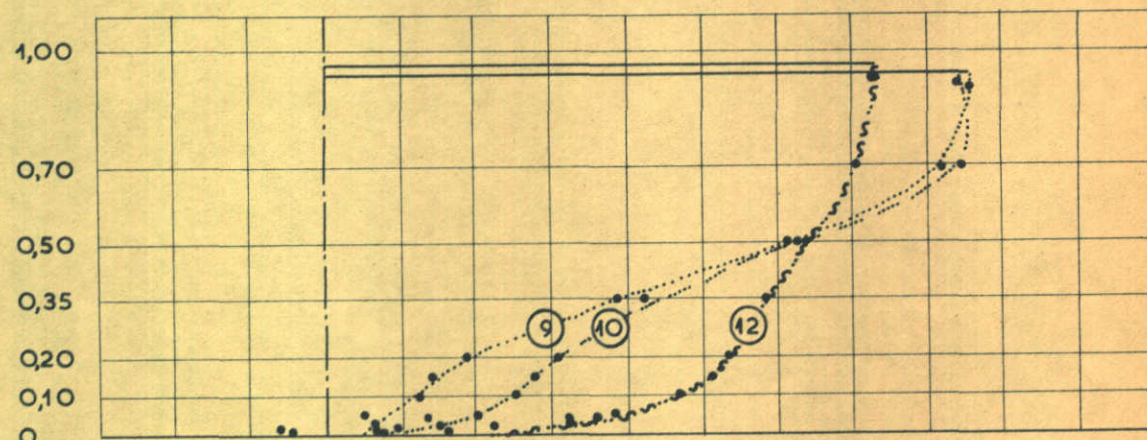
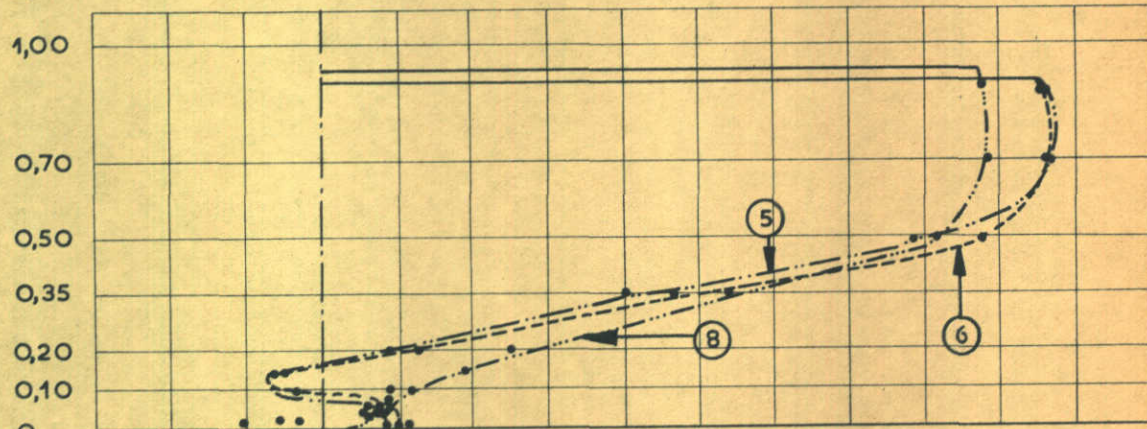
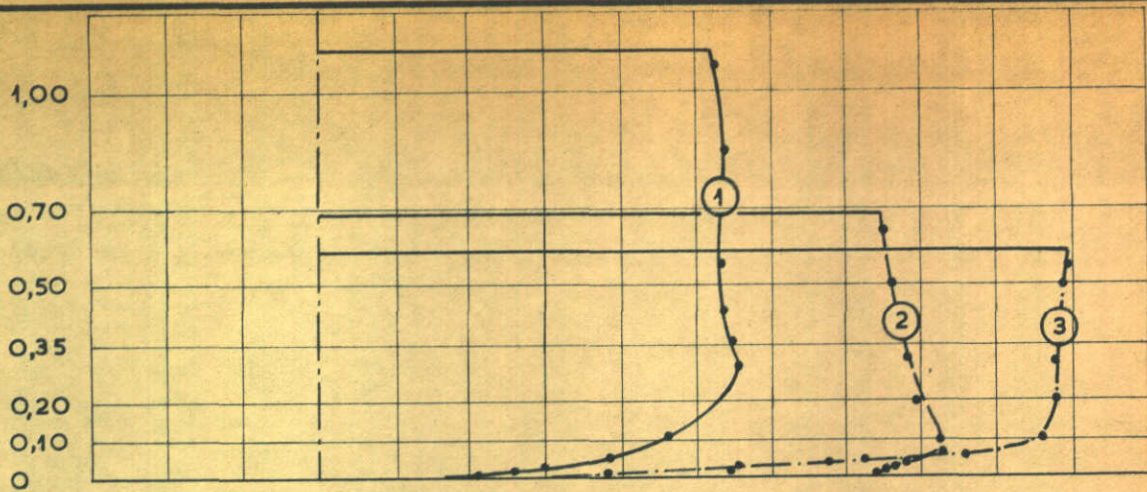
M. 711-DEEL IV
 PROEFSERIE II
 T 20 FIG. 52



VERLOOP EROOSIE EN SCHUIFSPANNING

- } bruto transport in richting en grootte (aantal stenen)
- } bruto transport in richting en grootte (totaal steengewicht)
- } netto transport (aantal stenen)
- } netto transport (totaal steengewicht)
- o - - - - - } schuifspanning

↑ hoogte in m t.o.v. bovenkant steenslag



SNELHEIDSVERTICALEN

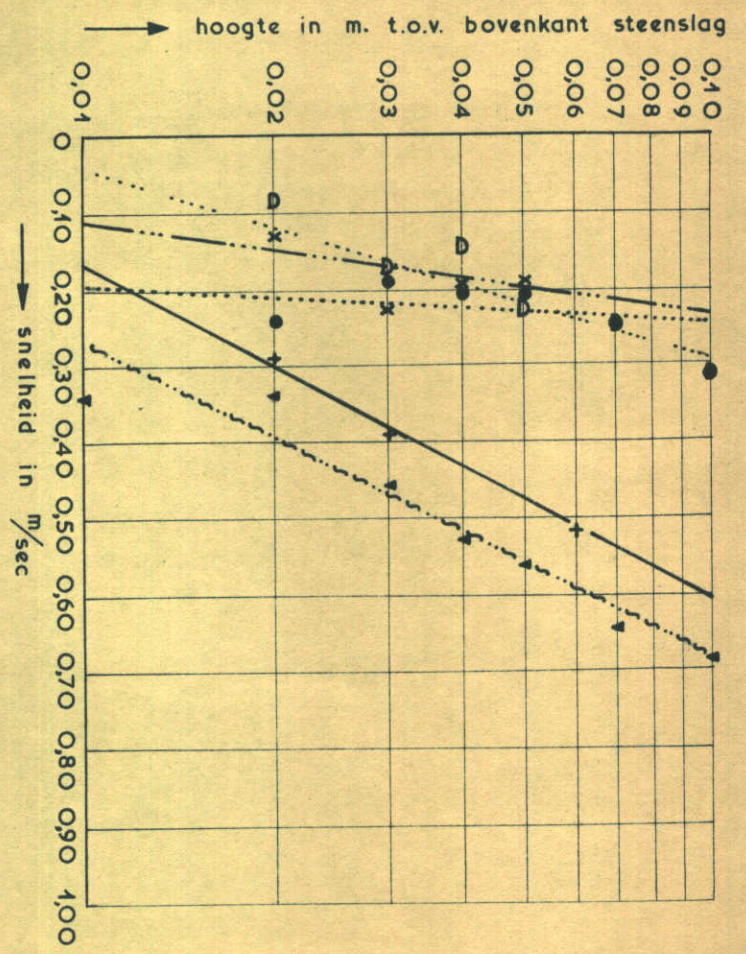
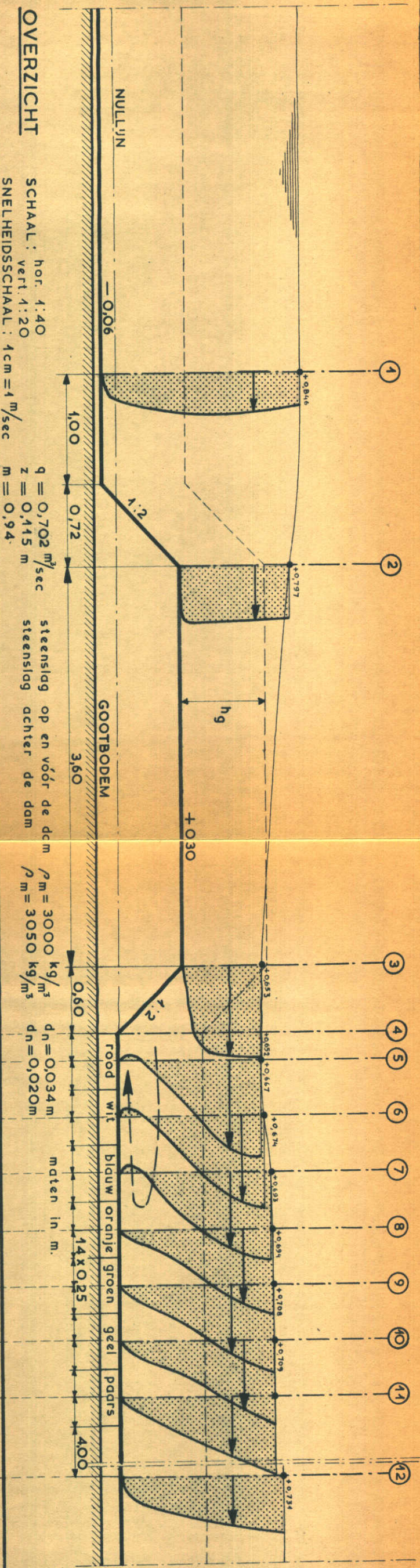
M. 711-DEEL IV

PROEFSERIE II

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

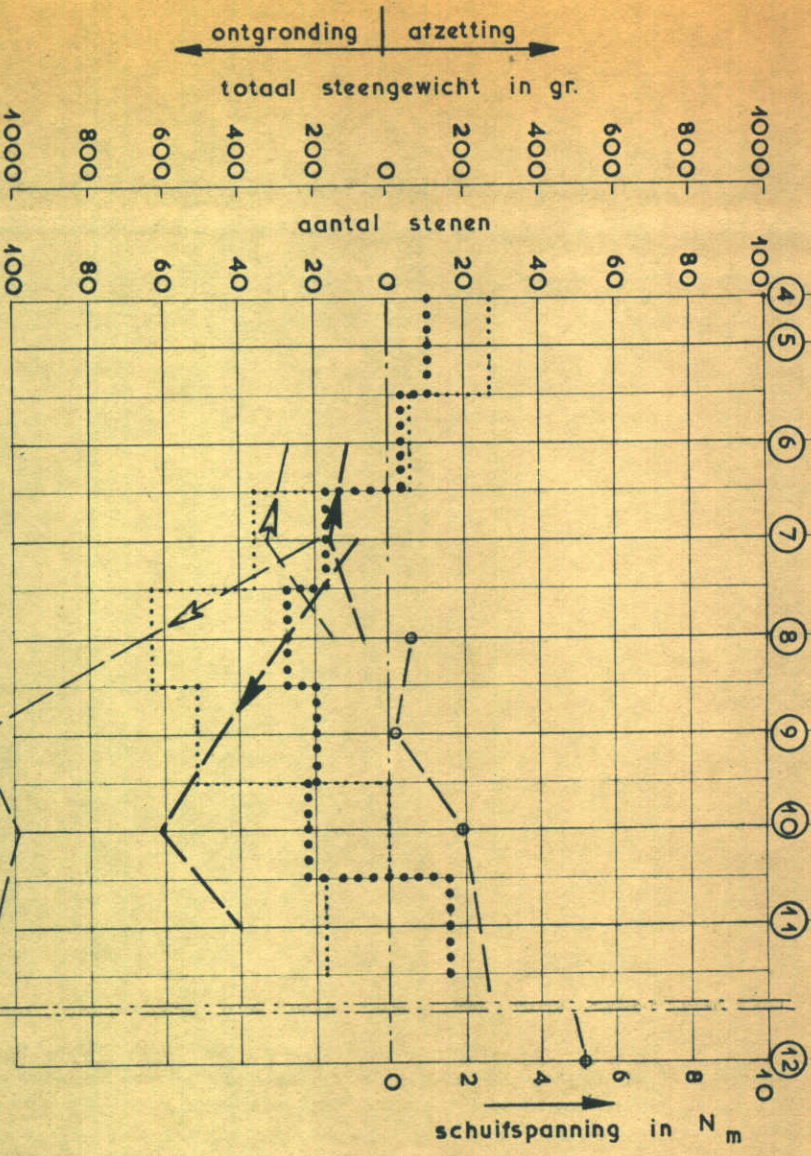
T 20

FIG. 53



- + ————— vert. ① $T_0 = 5,81 \text{ N/m}$
- x - - - - - vert. ⑧ $T_0 = 0,51 \text{ N/m}$
- vert. ⑨ $T_0 = 0,09 \text{ N/m}$
- △ vert. ⑩ $T_0 = 4,88 \text{ N/m}$
- ∇ vert. ⑫ $T_0 = 5,16 \text{ N/m}$

SNELHEIDSVVERDELING EN SCHUIFSPANNING



VERLOOP EROSIE EN SCHUIFSPANNING

- } bruto transport in richting en grootte (aantal stenen)
- } bruto transport in richting en grootte (totaal steengewicht)
- } netto transport (aantal stenen)
- } netto transport (totaal steengewicht)
- } schuifspanning

SNELHEIDSVVERDELING, WATERSTANDSVVERLOOP, EROSIE EN SCHUIFSPANNING.

M. 711-DEEL IV

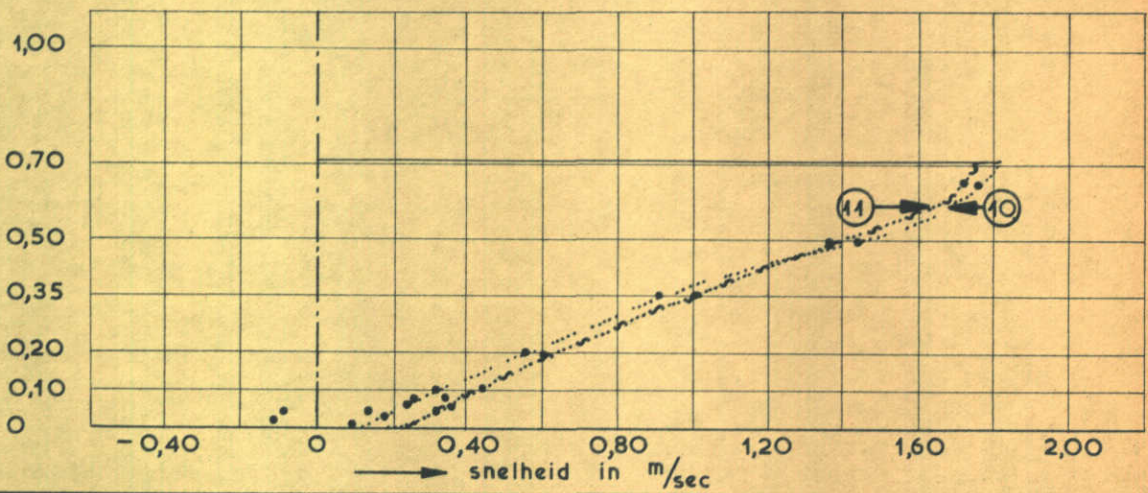
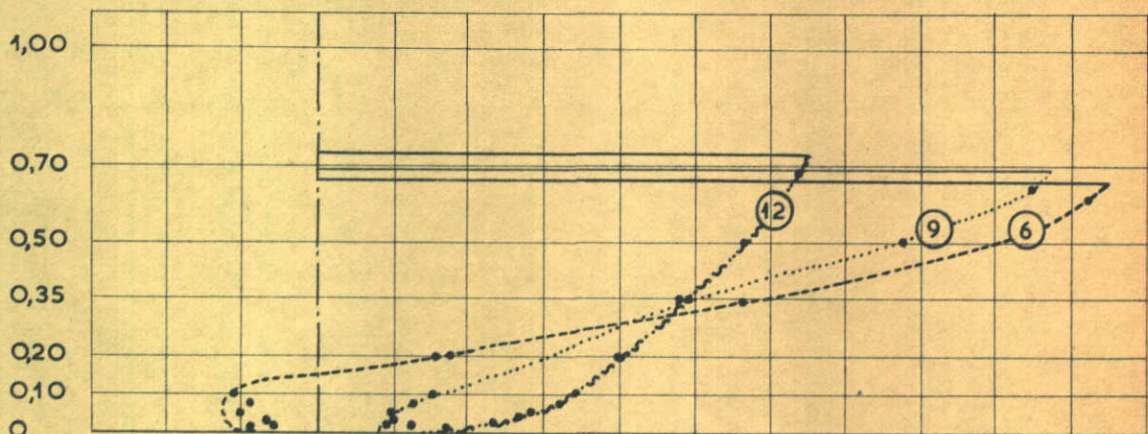
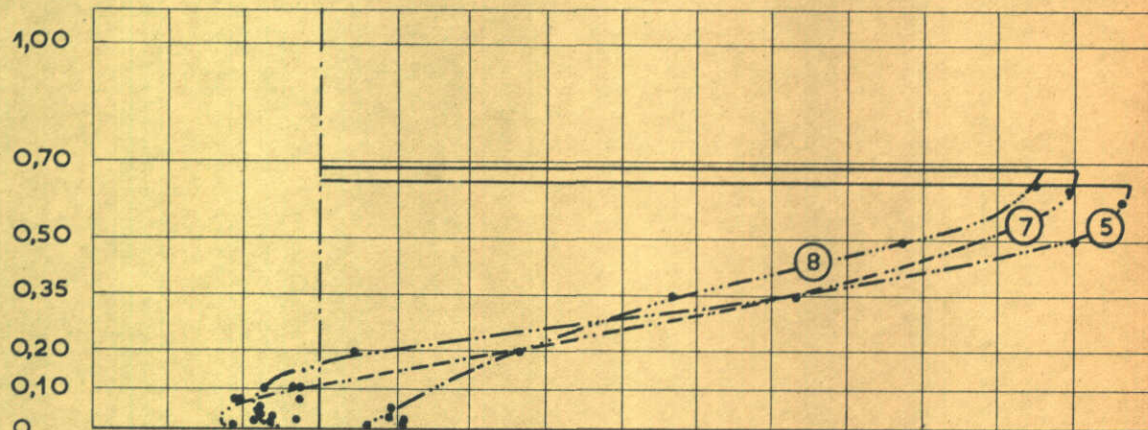
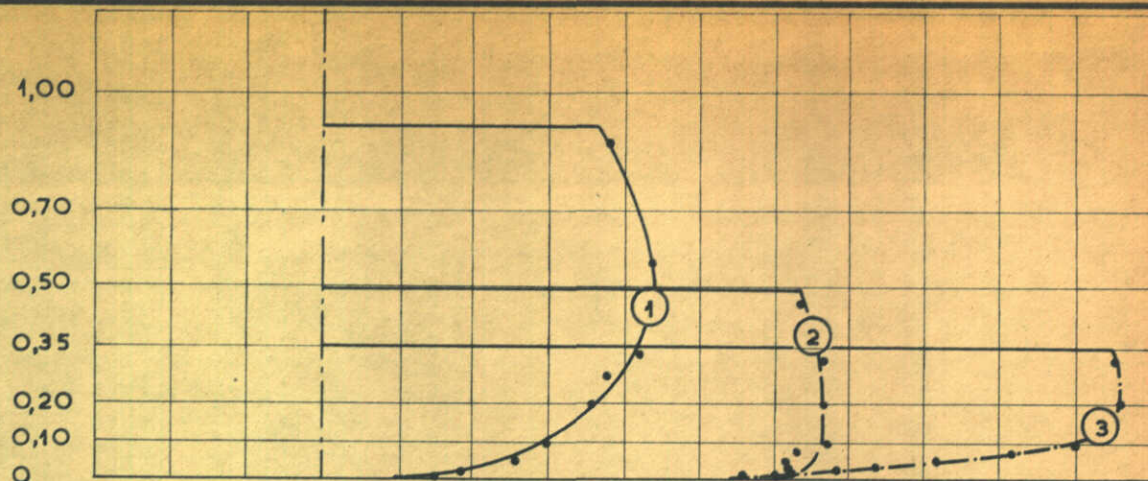
PROEFSERIE II

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

T 21

FIG. 54

↑ hoogte in m t.o.v. bovenkant steenslag



SNELHEIDSVERTICALEN

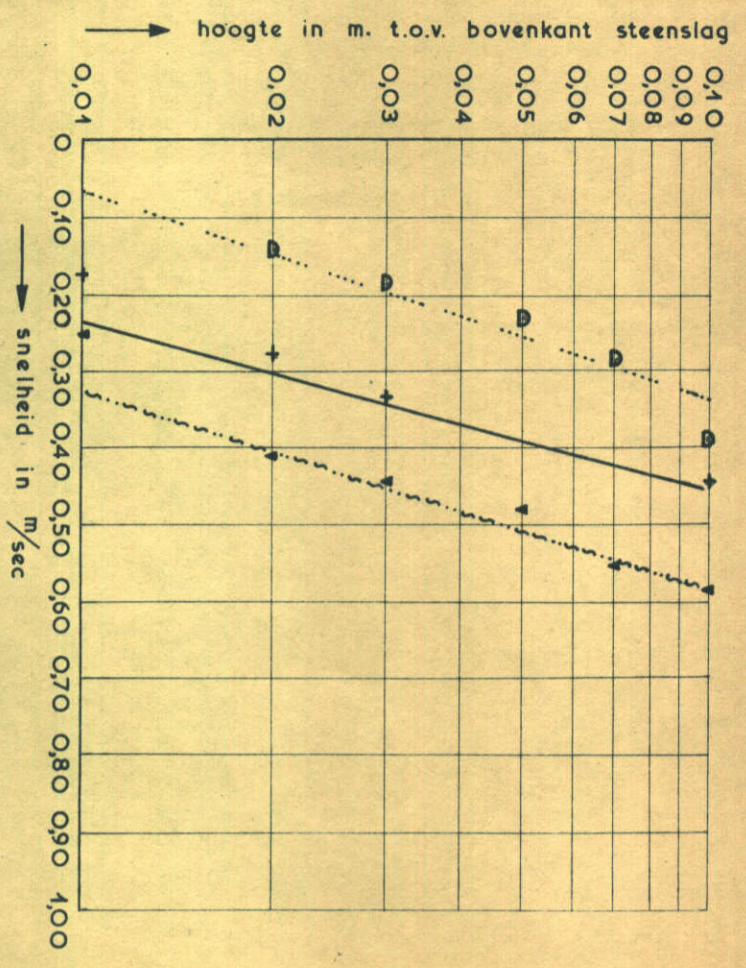
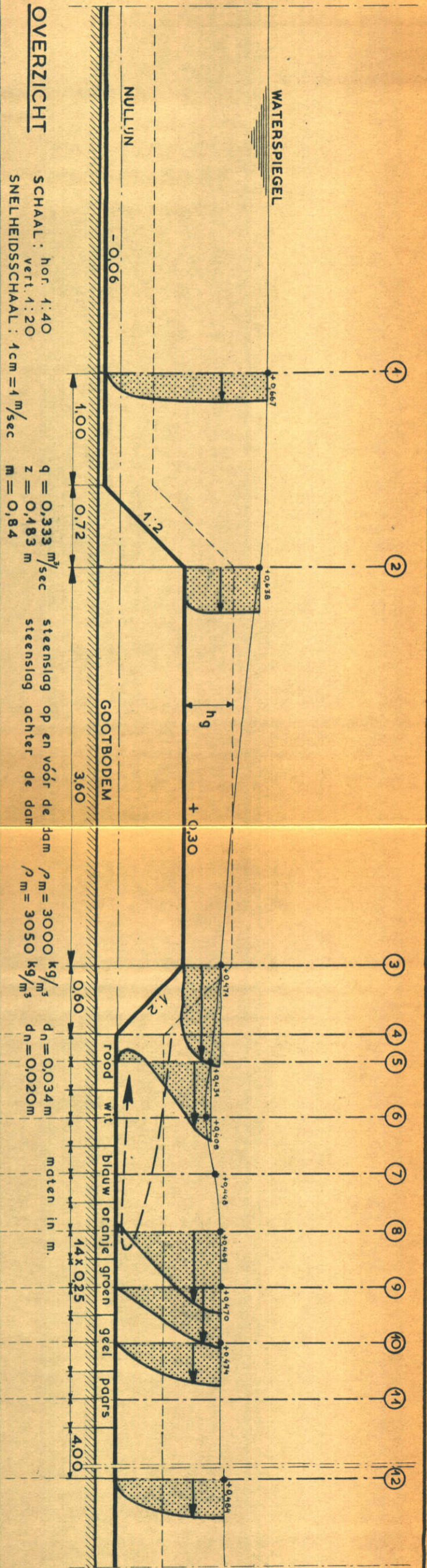
M. 711-DEEL IV

PROEFSERIE II

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

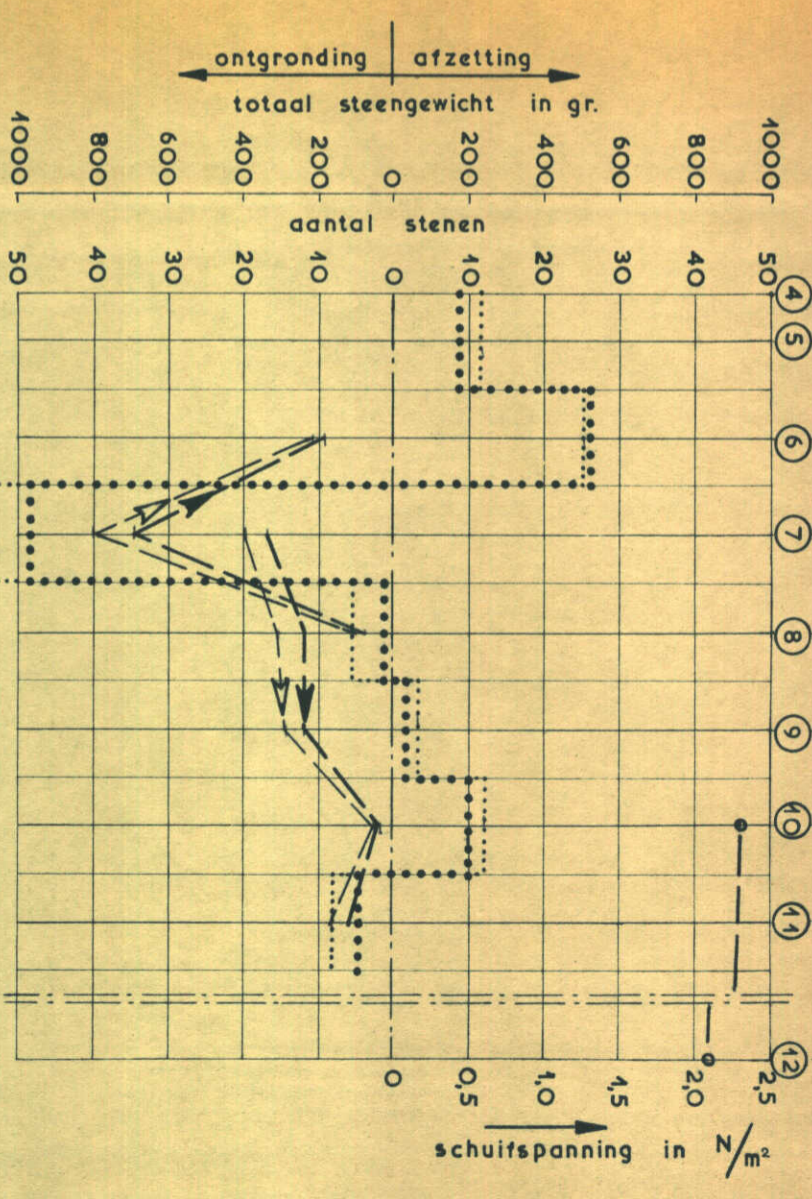
T 24

FIG. 55



SNELHEIDSVERDELING EN SCHUIFSPANNING

+ ————— vert. (1) $T_0 = 1,45 \text{ N/m}^2$
 o vert. (10) $T_0 = 2,27 \text{ N/m}^2$
 v - - - - - vert. (12) $T_0 = 2,10 \text{ N/m}^2$



VERLOOP EROSIIE EN SCHUIFSPANNING

bruto transport in richting en grootte (aantal stenen)

bruto transport in richting en grootte (totaal steengewicht)

netto transport (aantal stenen)

netto transport (totaal steengewicht)

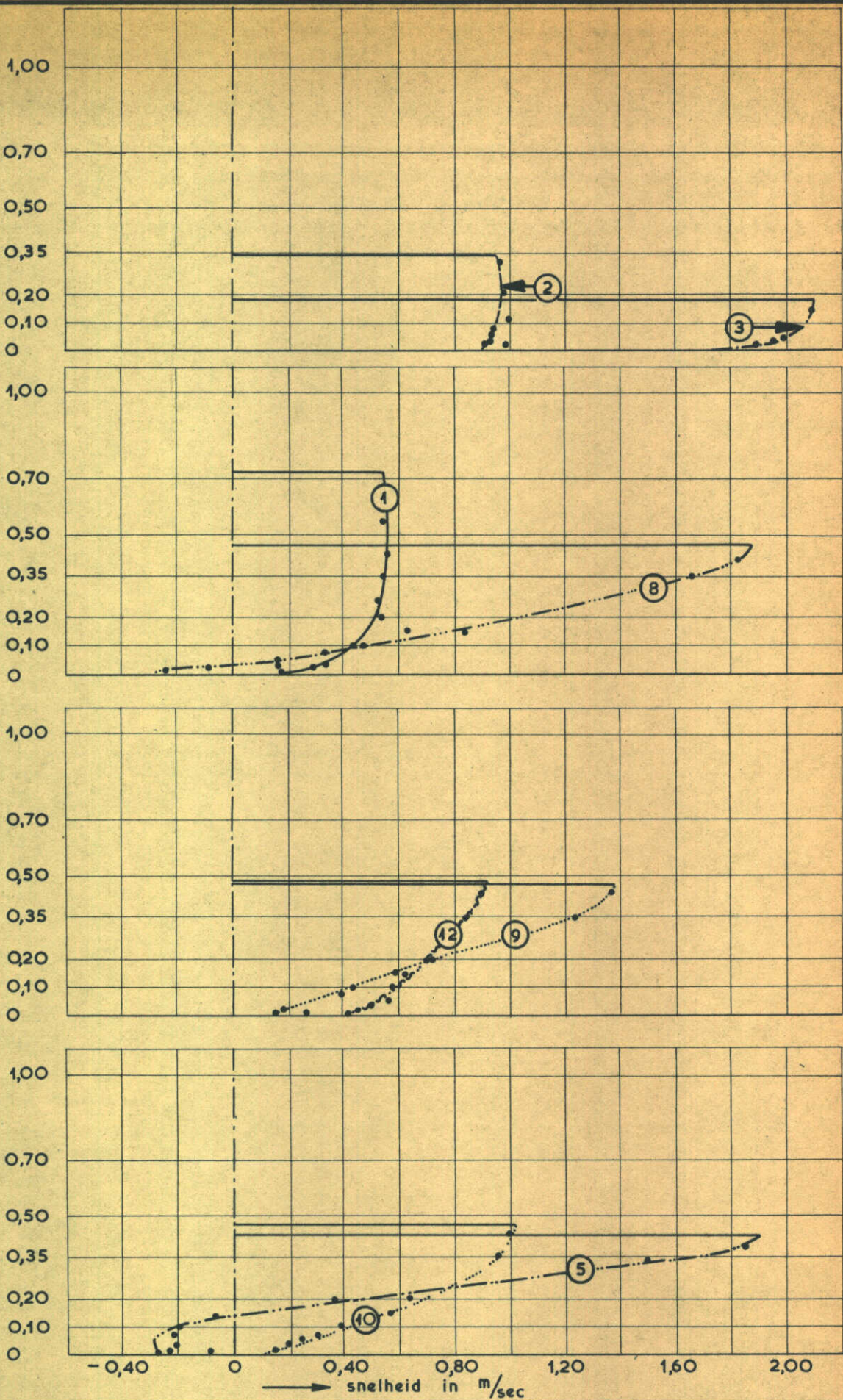
schuifspanning

SNELHEIDSVERDELING, WATERSTANDSVERLOOP, EROOSIE EN SCHUIFSPANNING.

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 711-DEEL IV
 PROEFSERIE II
 T 22 FIG. 56

↑ hoogte in m t.o.v. bovenkant steenslag



SNELHEIDSVERTICALEN

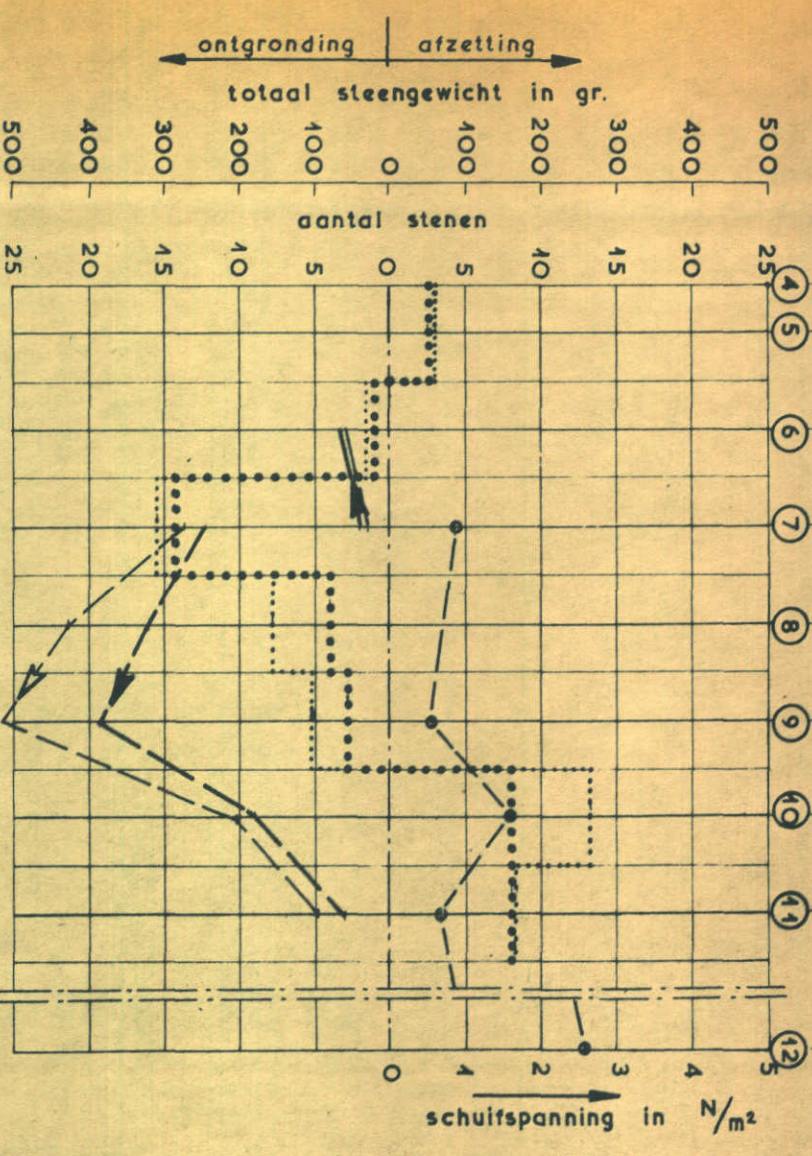
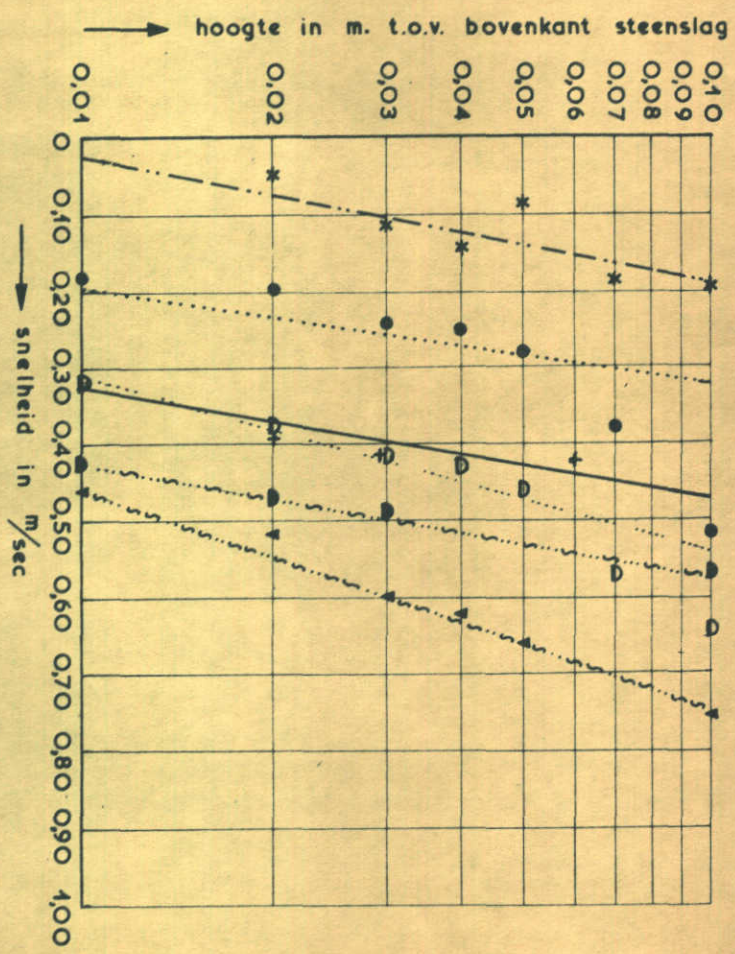
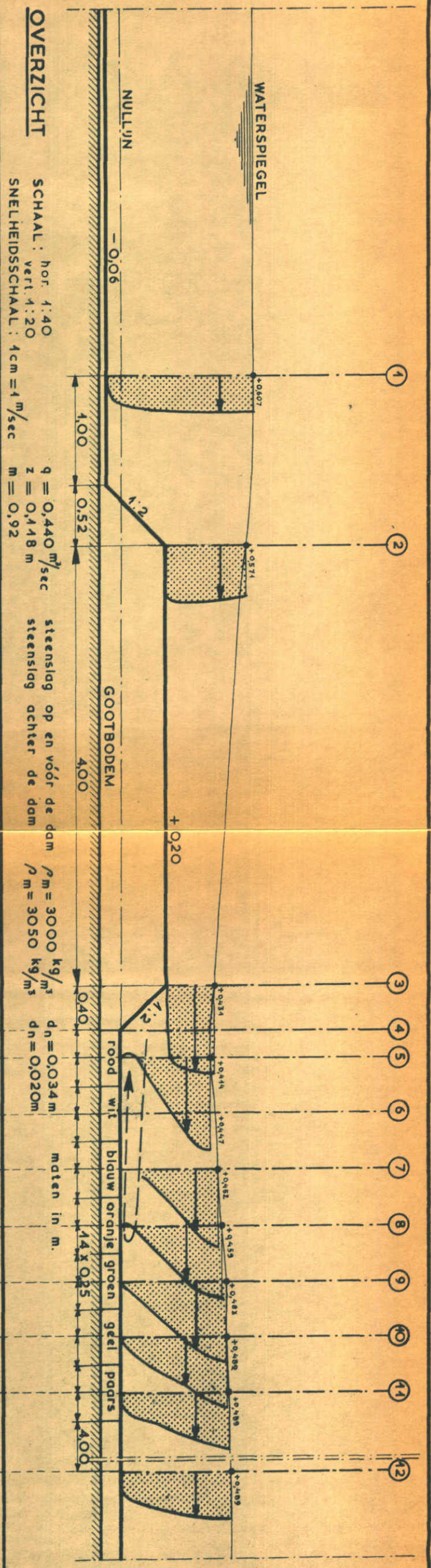
M. 711-DEEL IV

PROEFSERIE II

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

T 22

FIG. 57



+ ————— vert. ④ $T_0 = 0,59 \text{ N/m}^2$ ◻ vert. ⑩ $T_0 = 1,59 \text{ N/m}^2$
 * - - - - - vert. ⑦ $T_0 = 0,87 \text{ N/m}^2$ ◡ vert. ⑪ $T_0 = 0,63 \text{ N/m}^2$
 ● vert. ⑨ $T_0 = 0,54 \text{ N/m}^2$ ◡ vert. ⑫ $T_0 = 2,53 \text{ N/m}^2$

SNELHEIDSVERDELING, WATERSTANDSVERLOOP,
EROSIE EN SCHUIFSPANNING.

M. 711-DEEL IV
PROEFSERIE II

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

T 23 FIG. 58

bruto transport in richting en grootte (aantal stenen)

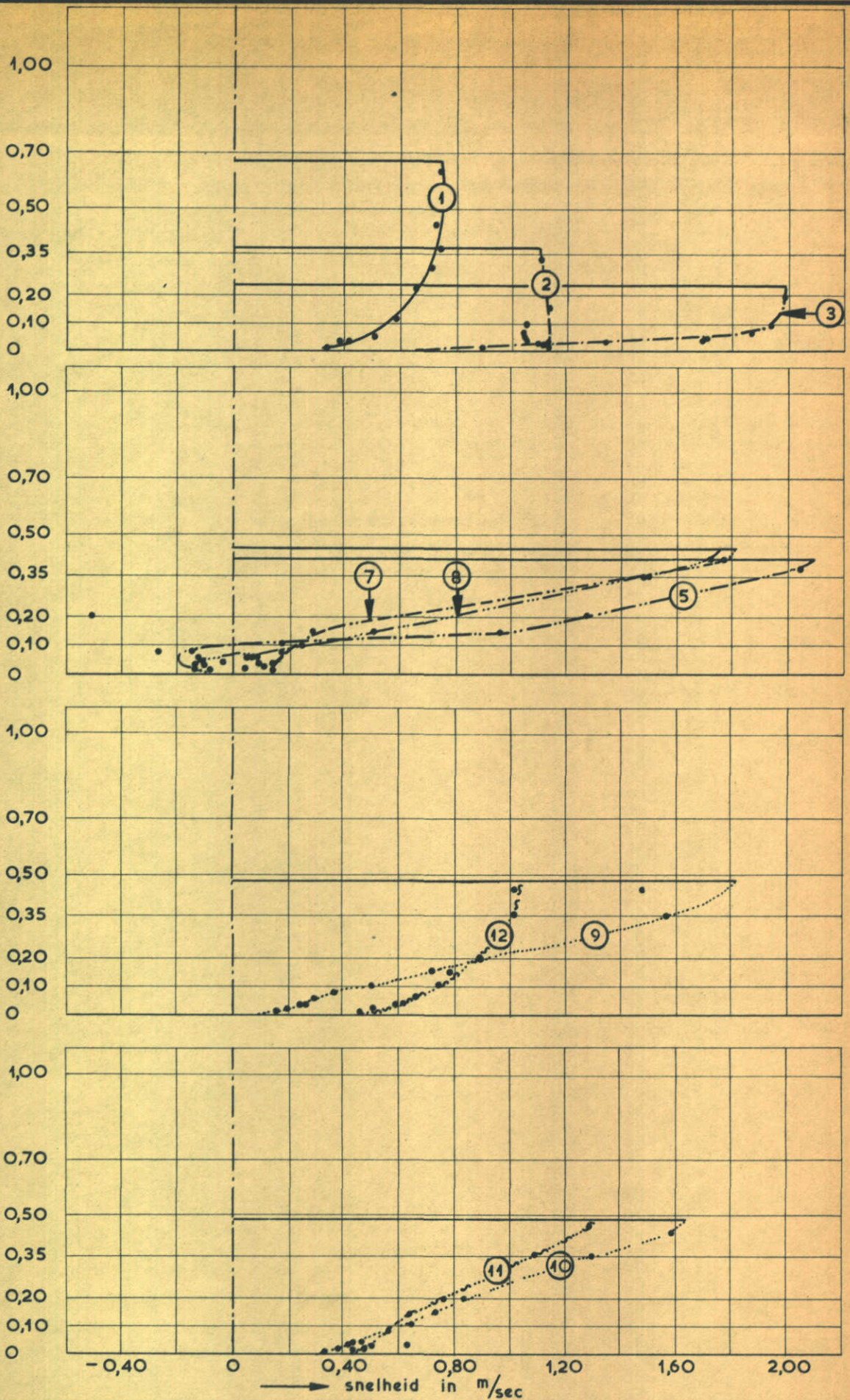
bruto transport in richting en grootte (totaal steengewicht)

netto transport (aantal stenen)

netto transport (totaal steengewicht)

schuifspanning

↑ hoogte in m t.o.v. bovenkant steenslag



SNELHEIDSVERTICALEN

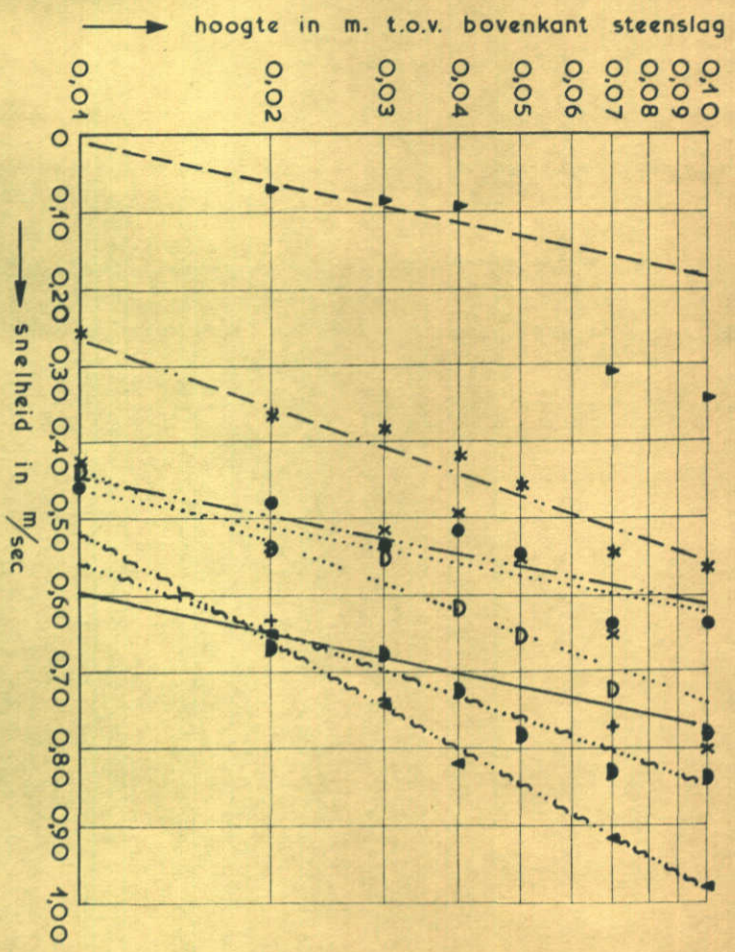
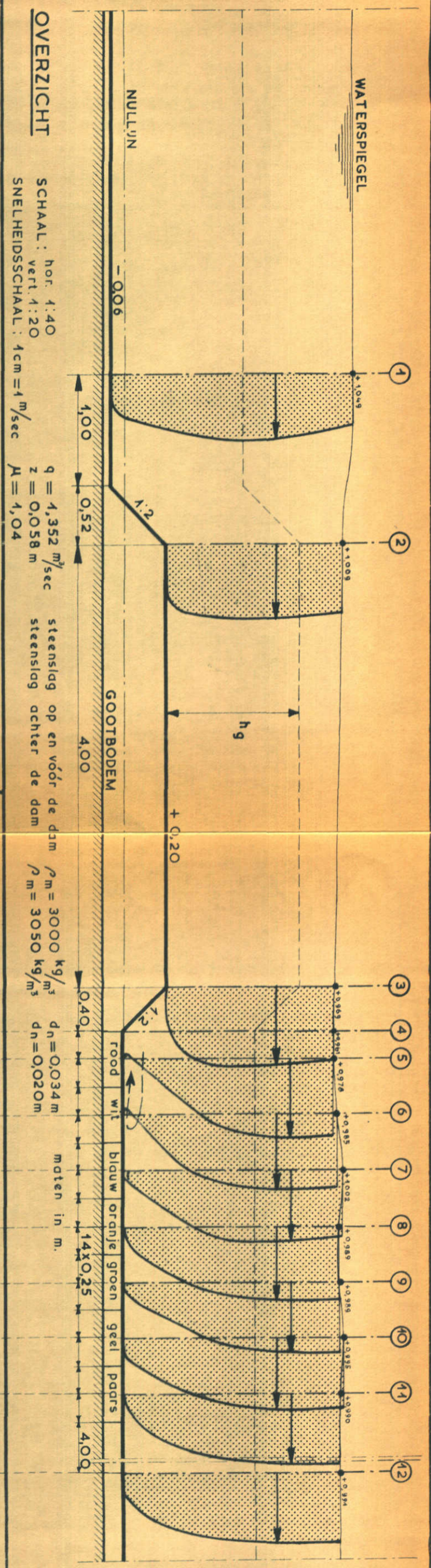
M. 711-DEEL IV

PROEFSERIE II

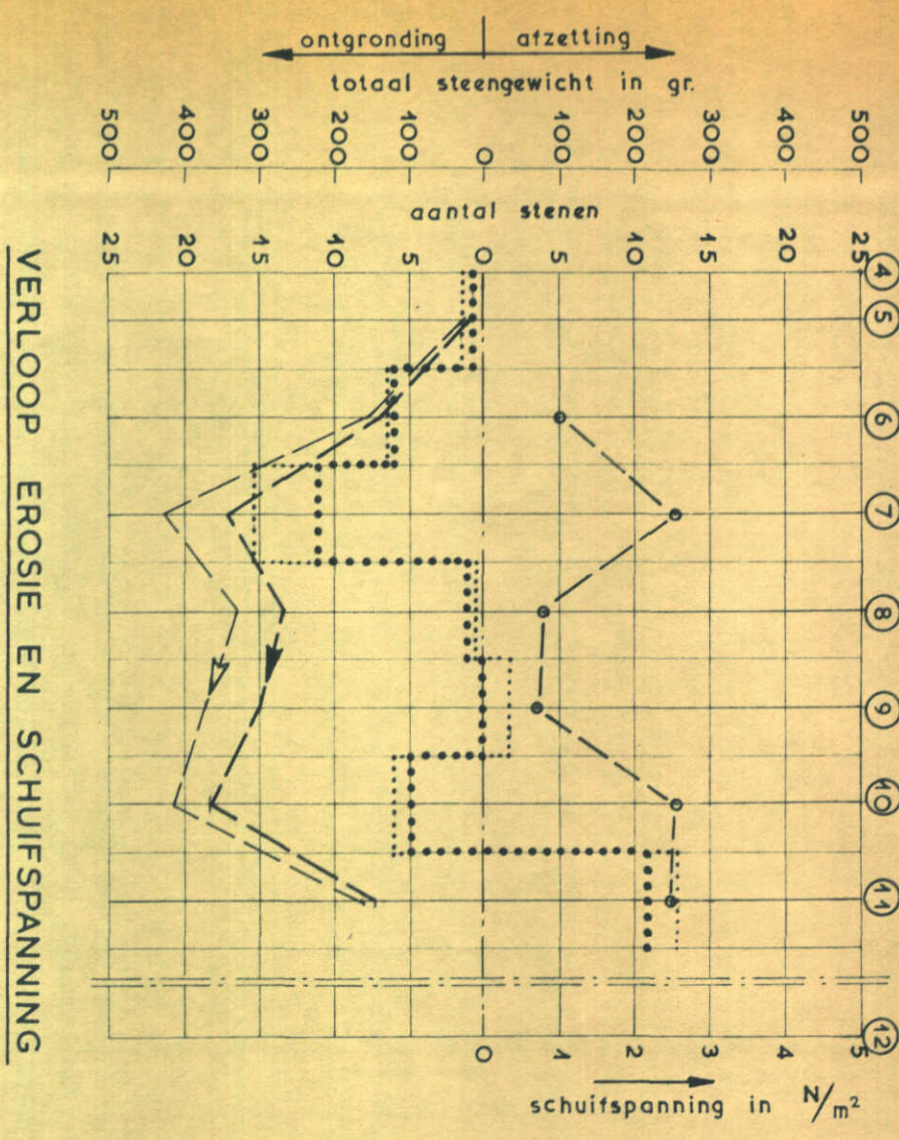
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

T 23

FIG. 59



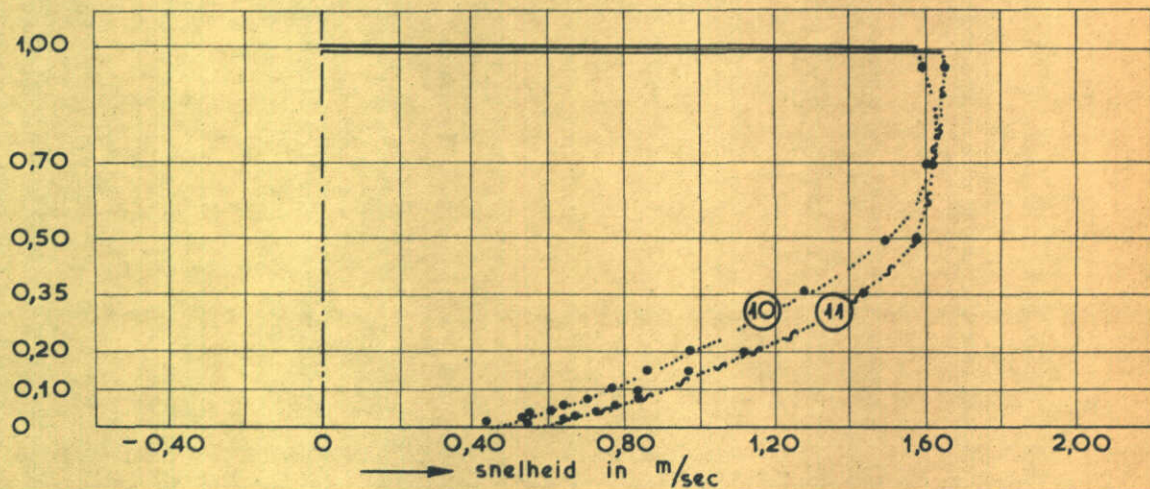
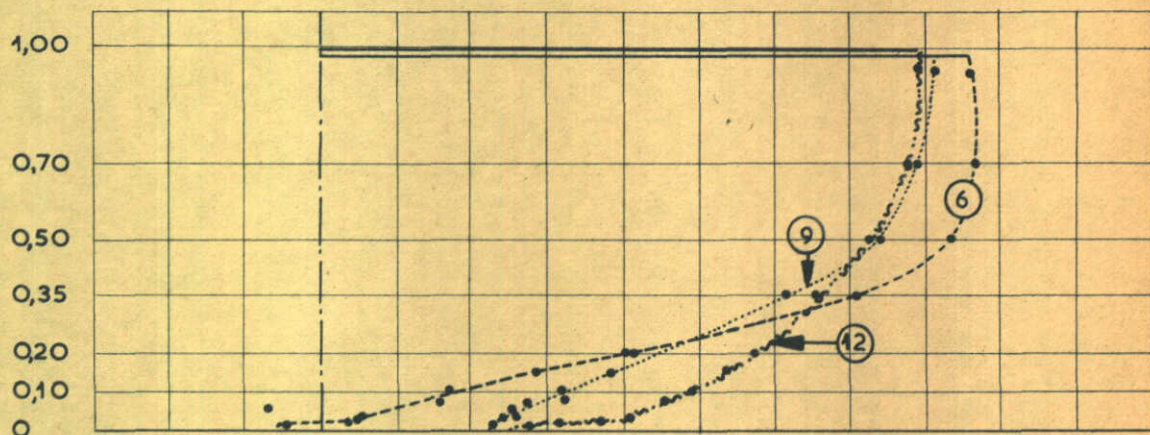
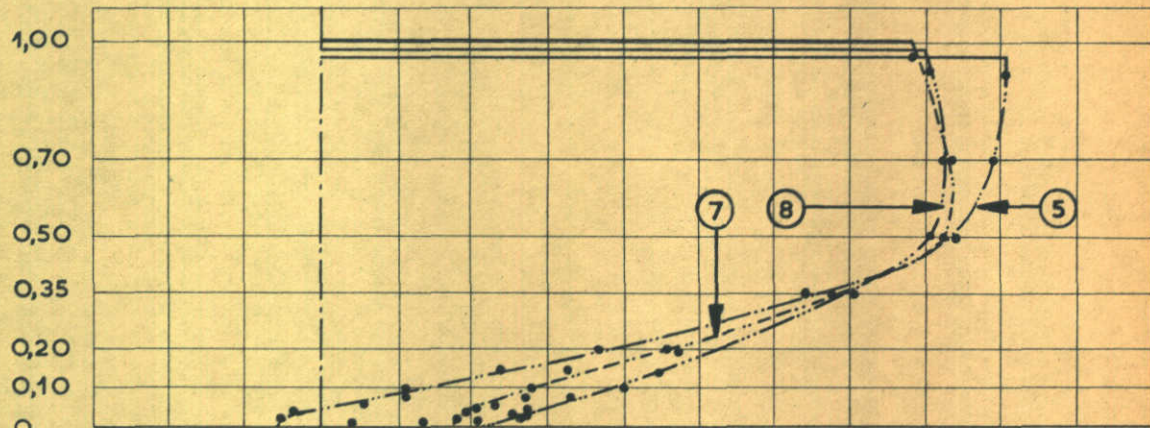
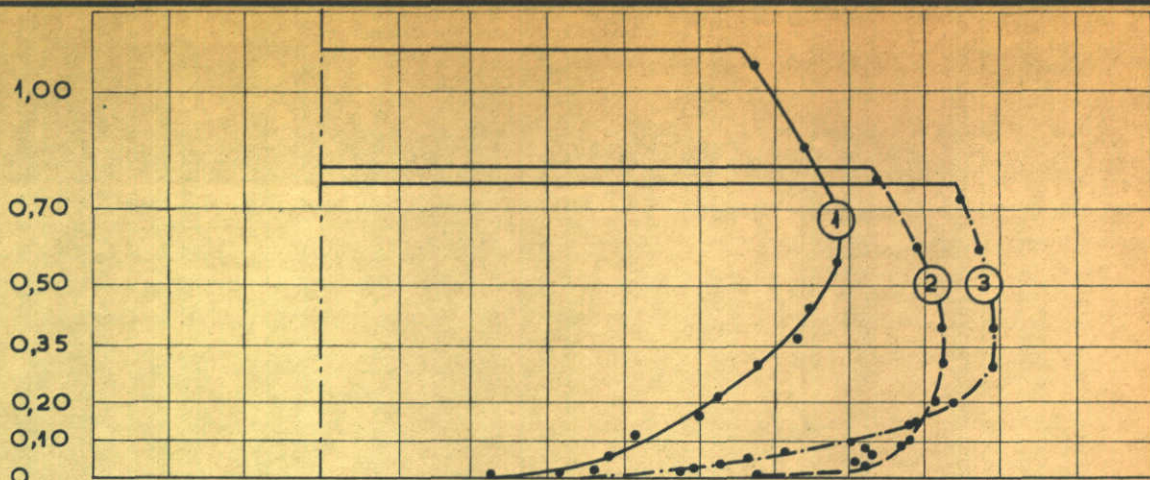
+ ————— vert. ④ $T_0 = 0,70 \text{ N/m}^2$ ● ————— vert. ⑨ $T_0 = 0,72 \text{ N/m}^2$
 Δ ————— vert. ⑥ $T_0 = 0,97 \text{ N/m}^2$ ○ ————— vert. ⑩ $T_0 = 2,52 \text{ N/m}^2$
 * ————— vert. ⑦ $T_0 = 2,52 \text{ N/m}^2$ ◊ ————— vert. ⑪ $T_0 = 2,52 \text{ N/m}^2$
 x —····· vert. ⑧ $T_0 = 0,82 \text{ N/m}^2$ ◃ —····· vert. ⑫ $T_0 = 6,50 \text{ N/m}^2$



} bruto transport in richting en grootte (aantal stenen)
 } bruto transport in richting en grootte (totaal steengewicht)
 } netto transport (aantal stenen)
 } netto transport (totaal steengewicht)
 } schuifspanning

SNELHEIDSVERDELING, WATERSTANDSVERLOOP, EROSIE EN SCHUIFSPANNING.
M. 711-DEEL IV
PROEFSERIE II
T 24 **FIG. 60**

↑ hoogte in m t.o.v. bovenkant steenslag



SNELHEIDSVERTICALEN

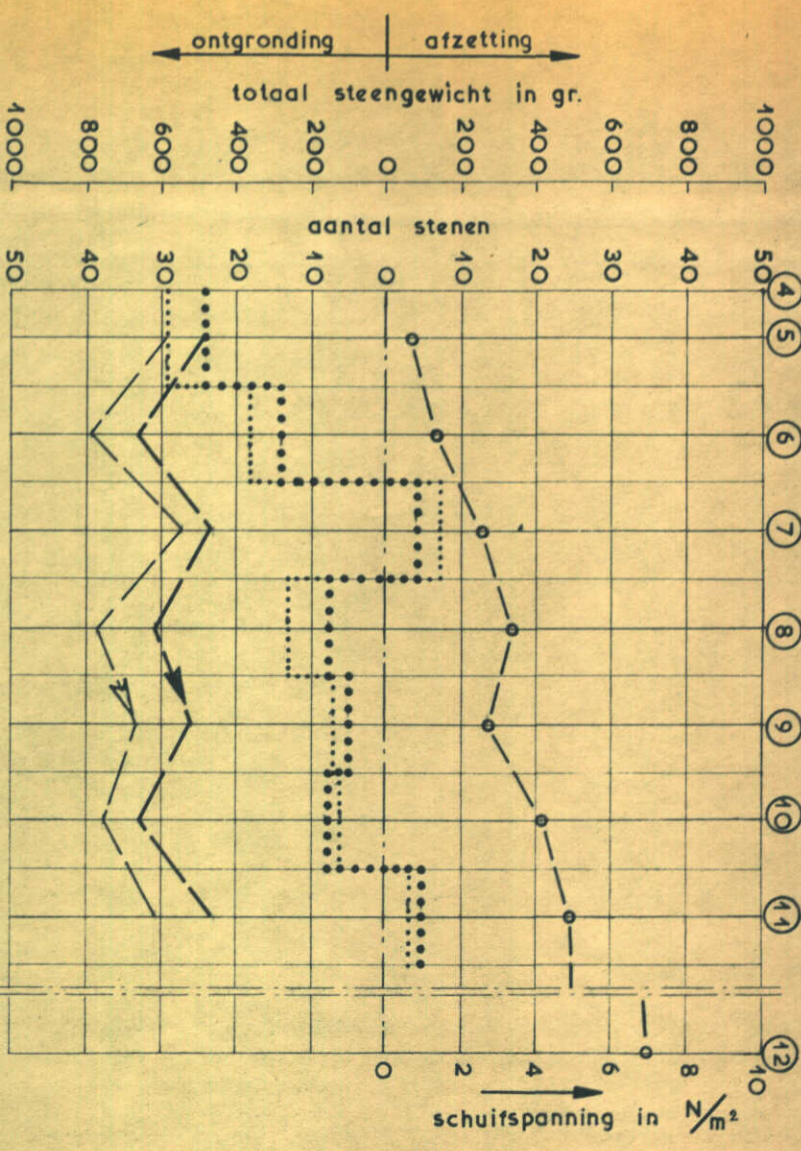
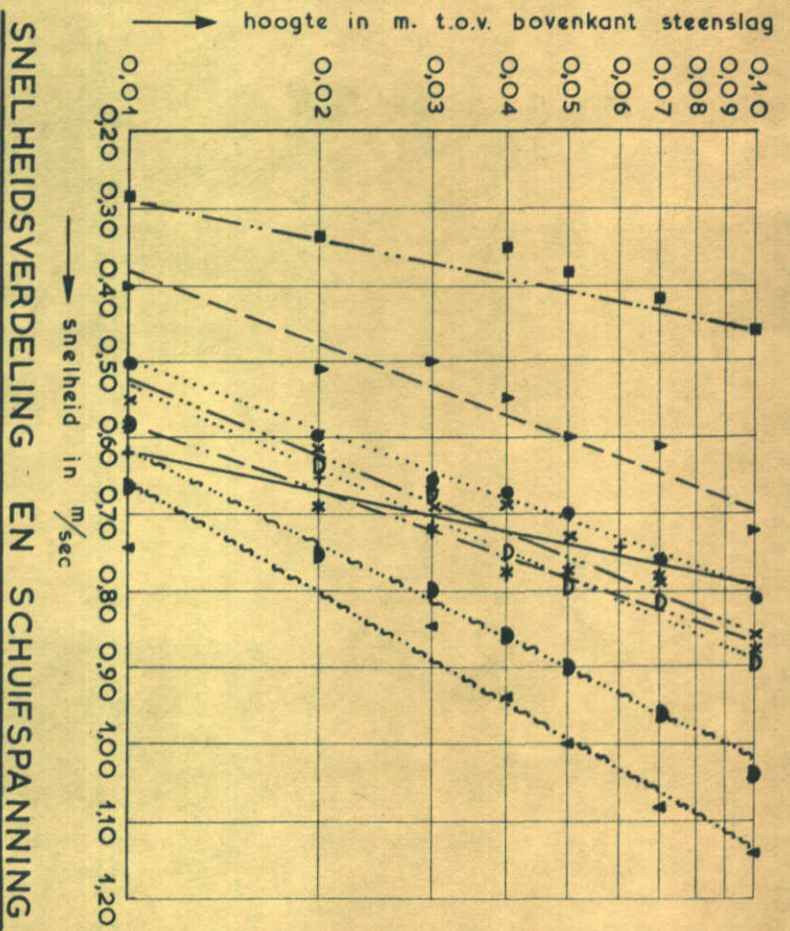
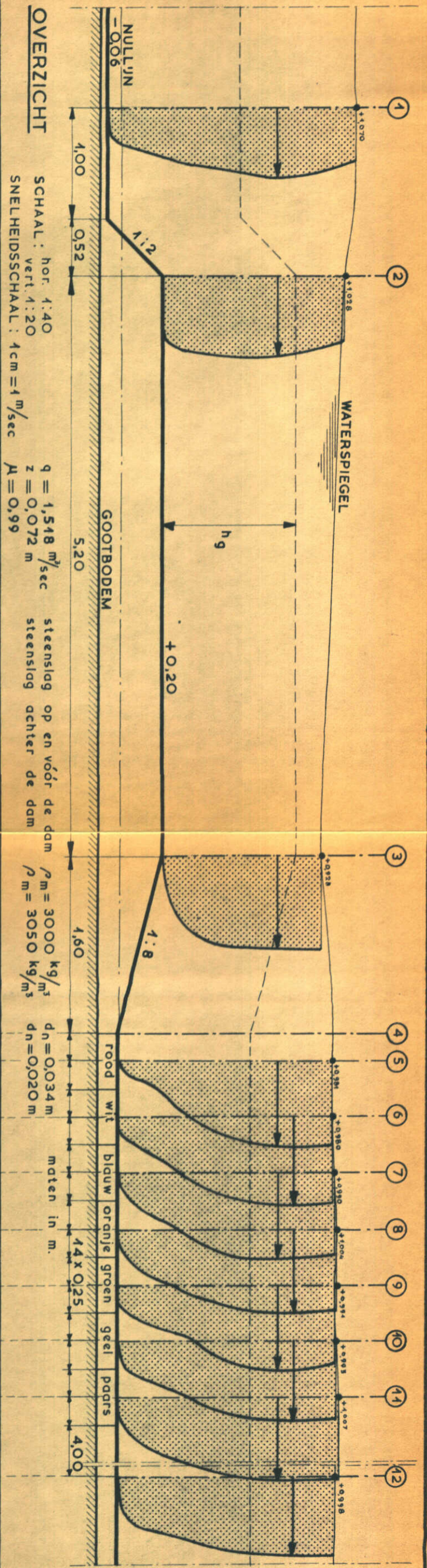
M. 711-DEEL IV

PROEFSERIE II

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

T 24

FIG. 64



- | | | | | | | | |
|---|-------|---|--|---|-------|----|--|
| + | vert. | 1 | T ₀ = 0,97 N/m ² | ● | vert. | 9 | T ₀ = 2,70 N/m ² |
| ■ | vert. | 5 | T ₀ = 0,70 N/m ² | ○ | vert. | 10 | T ₀ = 4,10 N/m ² |
| ▲ | vert. | 6 | T ₀ = 2,88 N/m ² | ○ | vert. | 11 | T ₀ = 4,80 N/m ² |
| * | vert. | 7 | T ₀ = 2,52 N/m ² | ○ | vert. | 12 | T ₀ = 6,95 N/m ² |
| x | vert. | 8 | T ₀ = 3,37 N/m ² | | | | |

SNELHEIDSVERDELING EN SCHUIFPANNING

VERLOOP EROOSIE EN SCHUIFPANNING

SNELHEIDSVERDELING, WATERSTANDSVERLOOP,
 EROOSIE EN SCHUIFPANNING.

bruto transport in richting en grootte (aantal stenen)

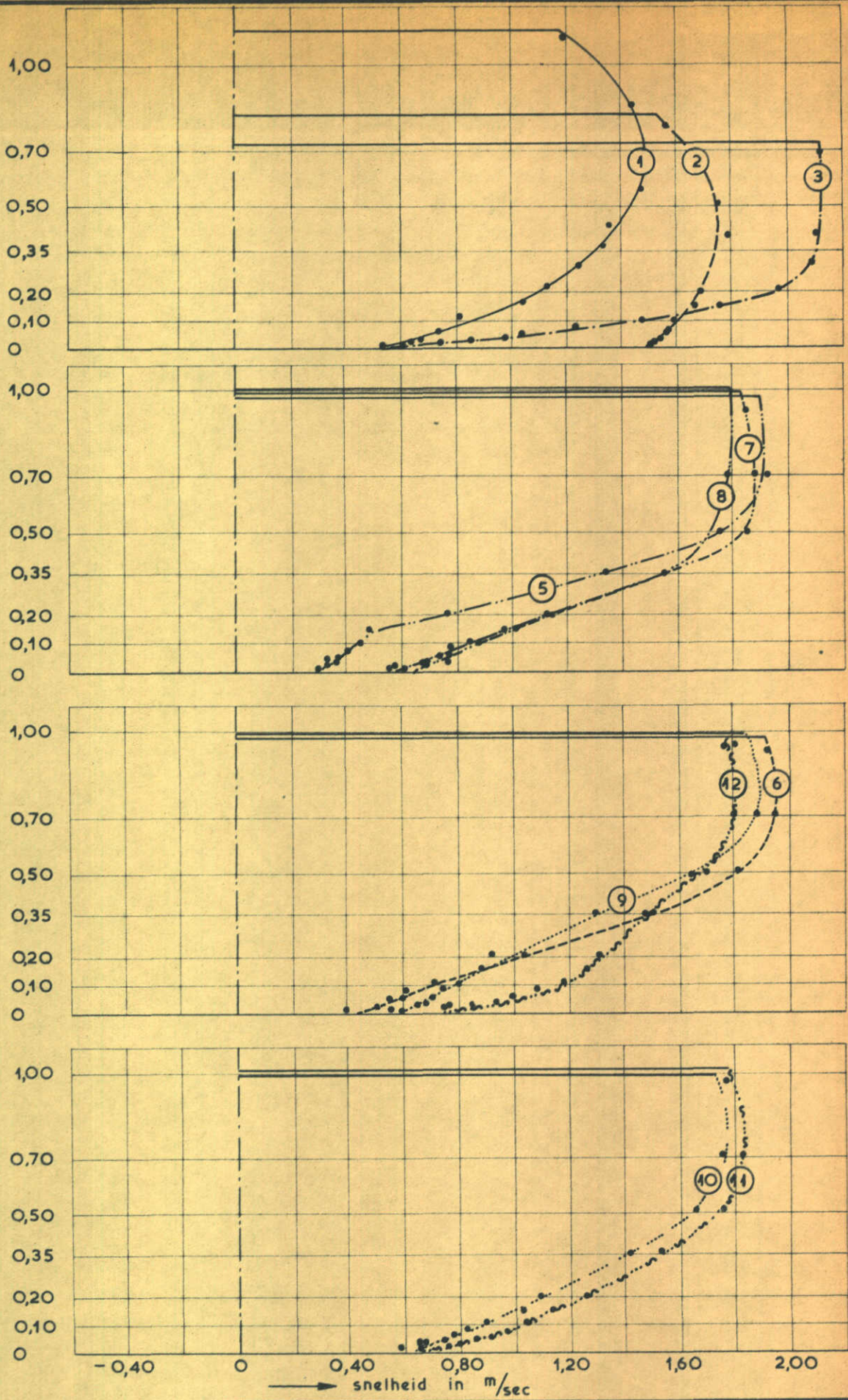
bruto transport in richting en grootte (totaal steengewicht)

netto transport (aantal stenen)

netto transport (totaal steengewicht)

schuifspanning

↑ hoogte in m t.o.v. bovenkant steenslag



SNELHEIDSVERTICALEN

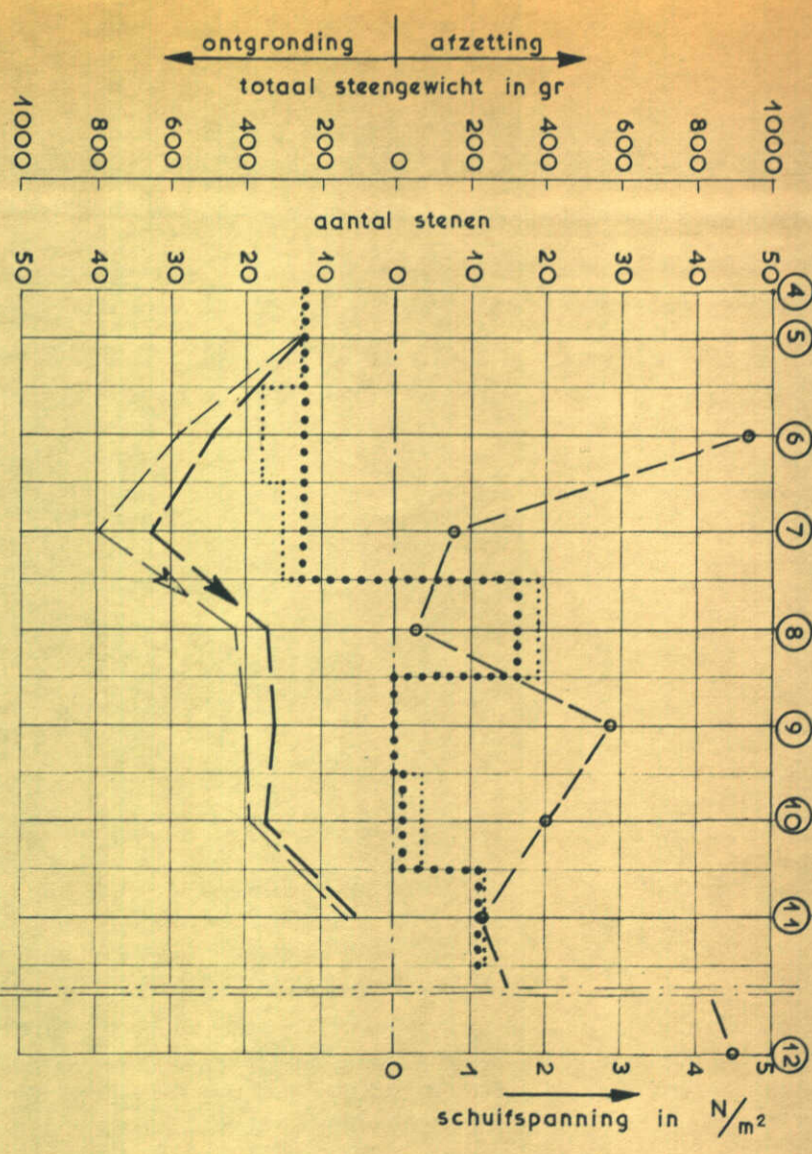
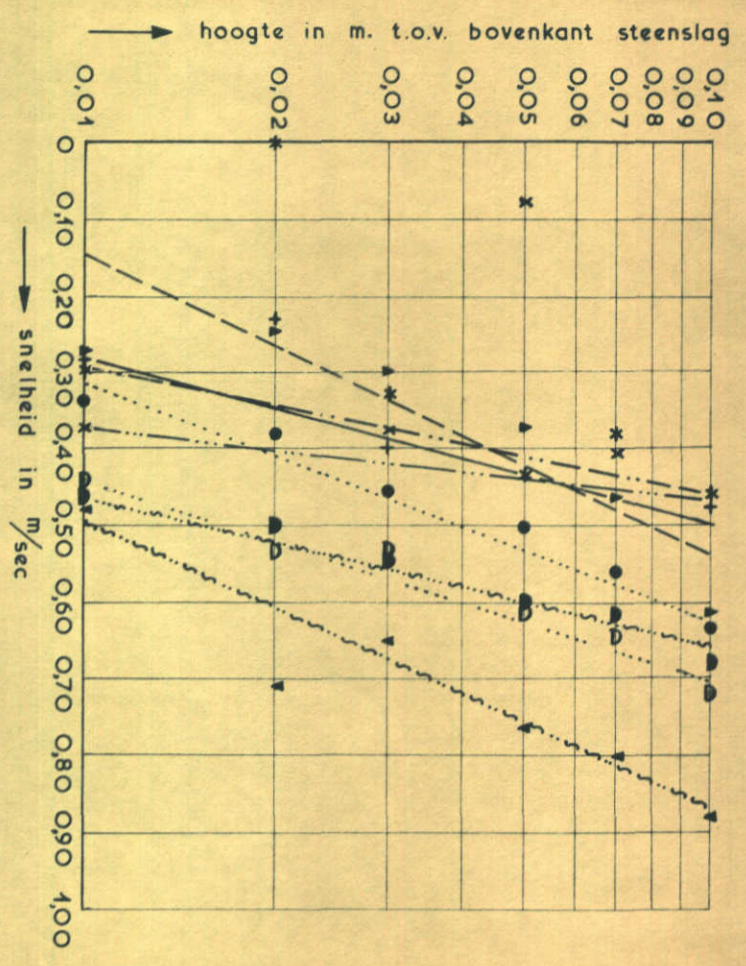
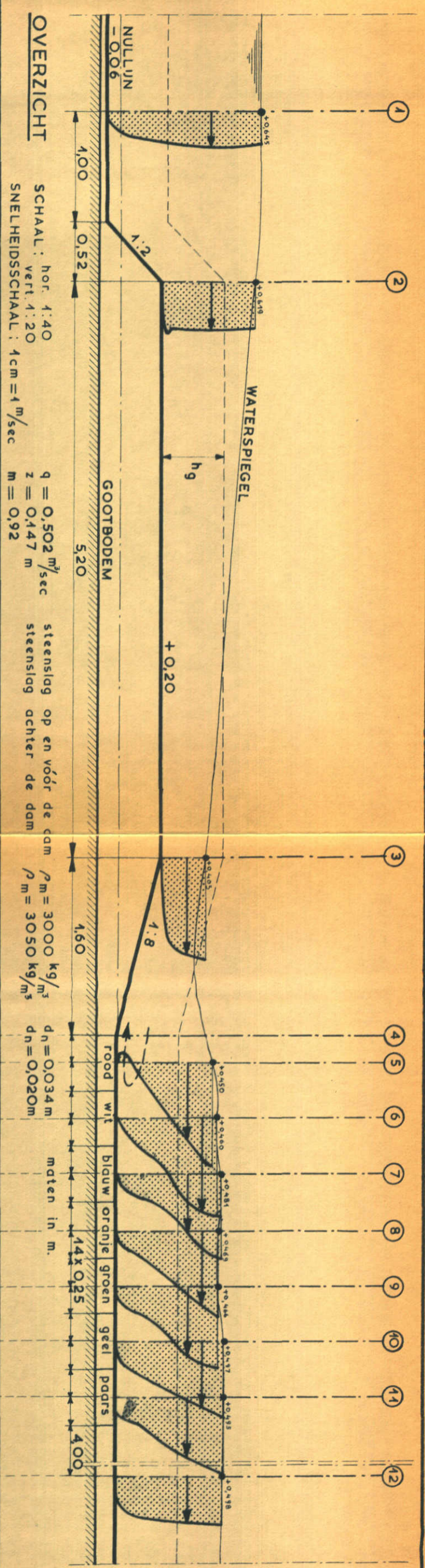
M. 711-DEEL IV

PROEFSERIE II

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

T 25

FIG. 63



- | | | | | | |
|---------|---------|----------------------------|---------|---------|----------------------------|
| + ————— | vert. ① | $T_0 = 1,45 \frac{N}{m^2}$ | ● ————— | vert. ⑨ | $T_0 = 2,79 \frac{N}{m^2}$ |
| Δ ————— | vert. ⑥ | $T_0 = 4,67 \frac{N}{m^2}$ | ○ ————— | vert. ⑩ | $T_0 = 1,95 \frac{N}{m^2}$ |
| * ————— | vert. ⑦ | $T_0 = 0,77 \frac{N}{m^2}$ | ● ————— | vert. ⑪ | $T_0 = 1,14 \frac{N}{m^2}$ |
| x ————— | vert. ⑧ | $T_0 = 0,27 \frac{N}{m^2}$ | ▽ ————— | vert. ⑫ | $T_0 = 4,50 \frac{N}{m^2}$ |

SNELHEIDSVERDELING, WATERSTANDSVERLOOP,
EROSIE EN SCHUIFSPANNING.

M. 711-DEEL IV
PROEFSERIE II

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

T 26

FIG. 64

bruto transport in richting en grootte (aantal stenen)

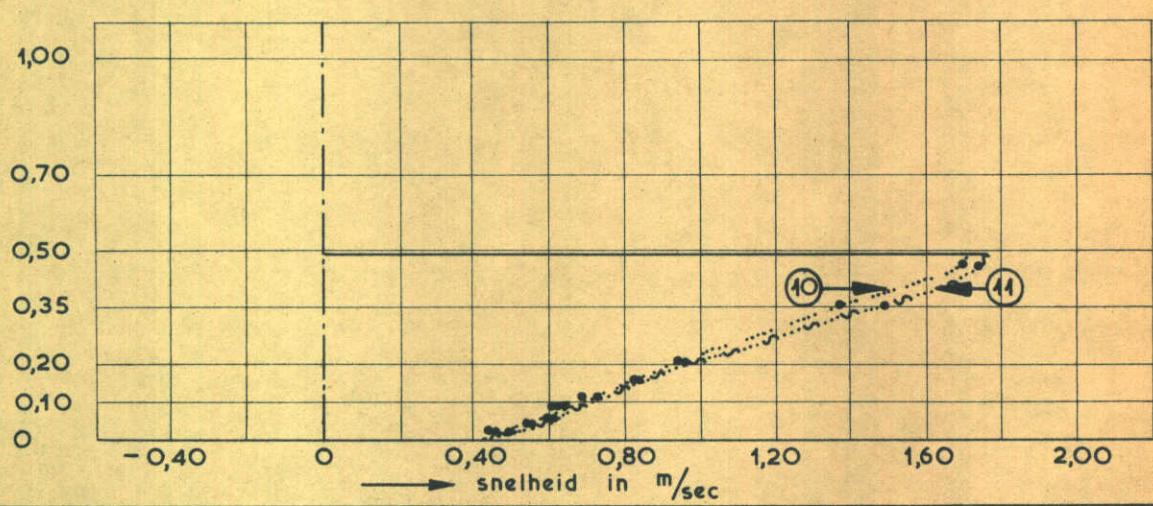
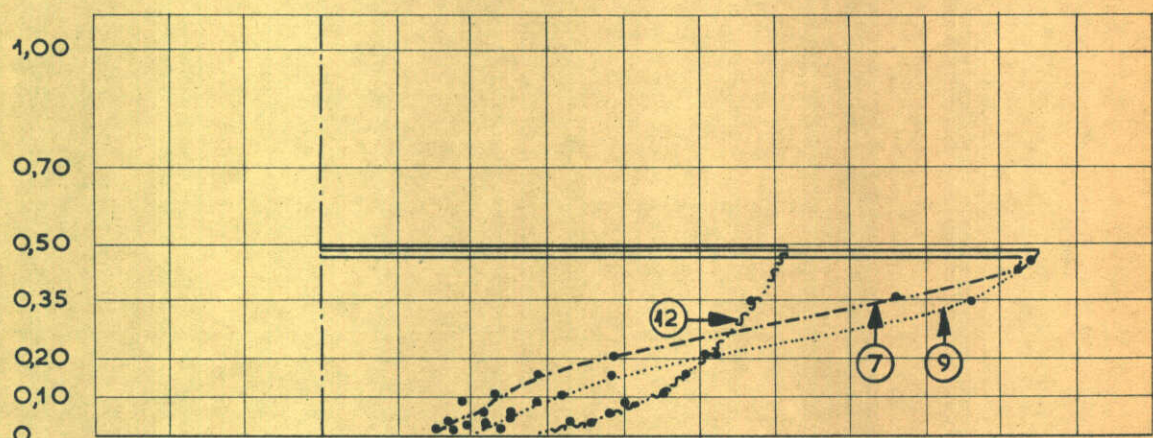
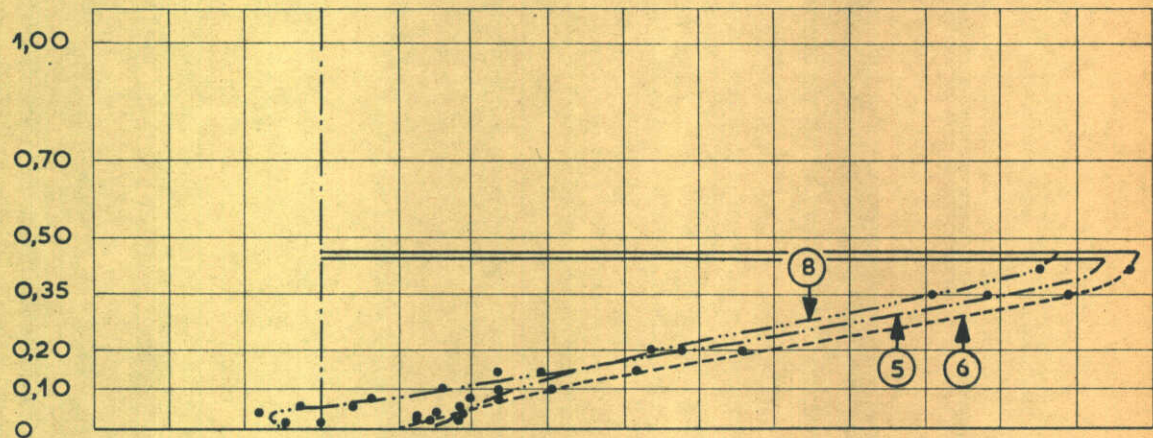
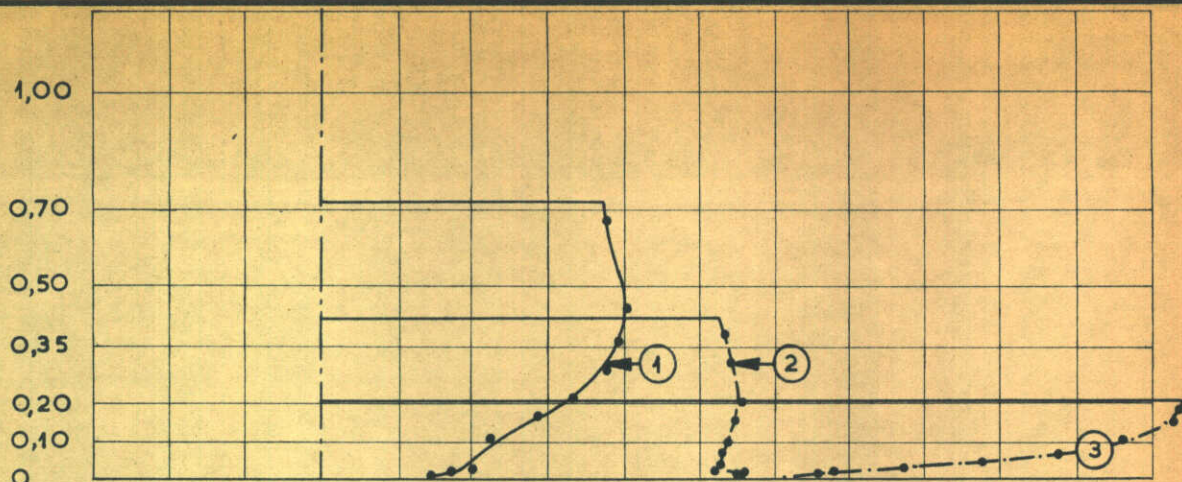
bruto transport in richting en grootte (totaal steengewicht)

netto transport (aantal stenen)

netto transport (totaal steengewicht)

schuifspanning

↑ hoogte in m t.o.v. bovenkant steenslag



SNELHEIDSVERTICALEN

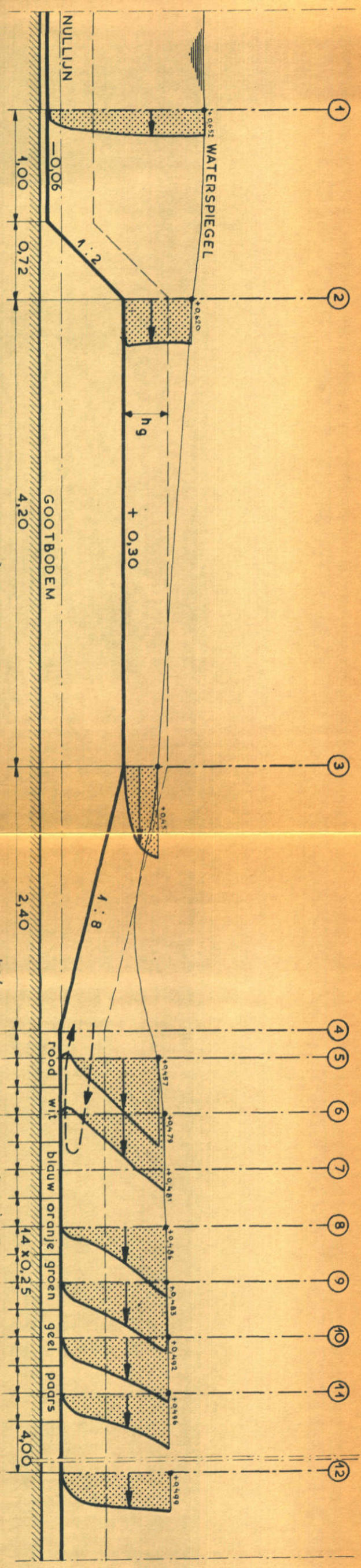
M. 711-DEEL IV

PROEFSERIE II

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

T 26

FIG.65



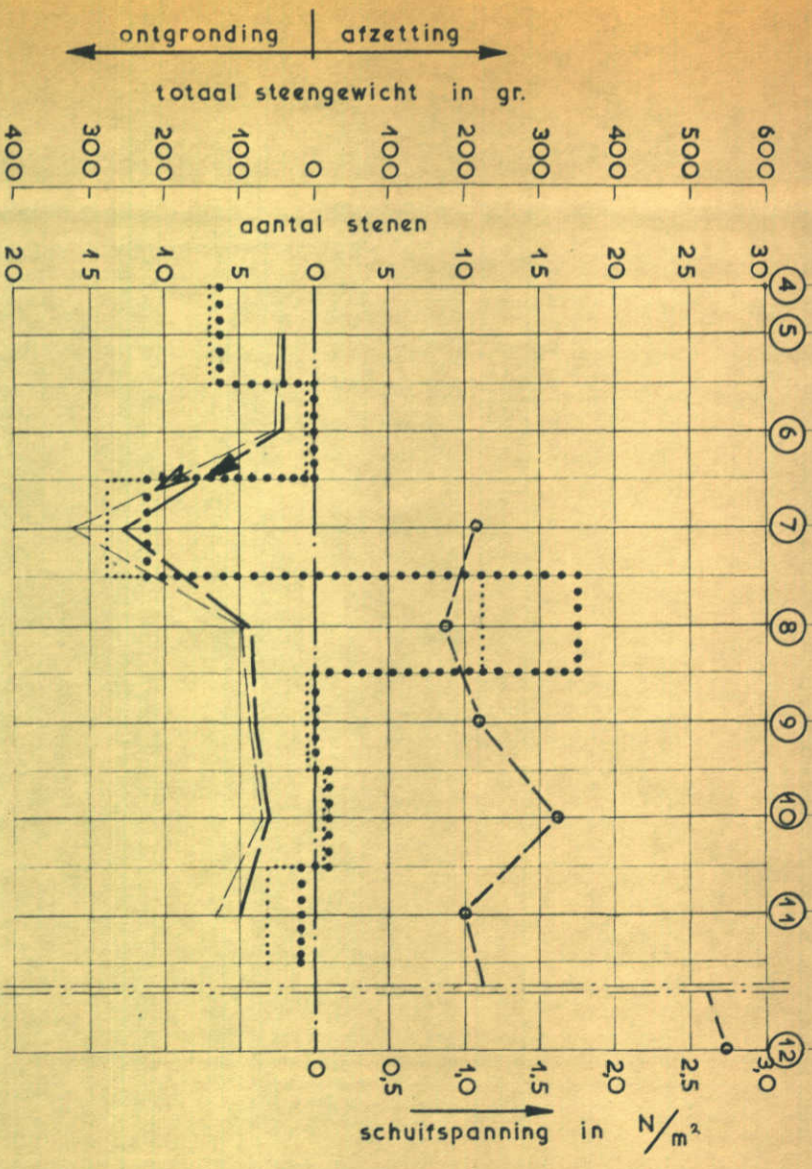
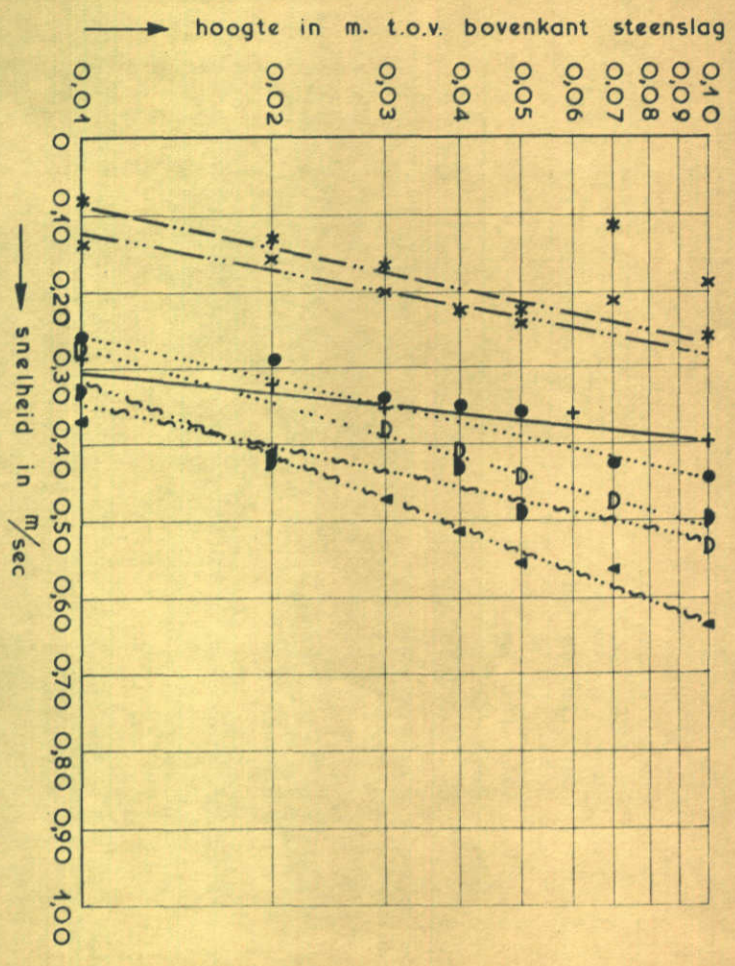
OVERZICHT

SCHAAL: hor. 1:40
 vert. 1:20
 SNELHEIDSSCHAAL: 1cm = 1 m/sec

$q = 0,383 \text{ m}^3/\text{sec}$
 $z = 0,153 \text{ m}$
 $m = 1,02$

steenslag op en vóór de dam $\rho_m = 3000 \text{ kg/m}^3$
 steenslag achter de dam $\rho_m = 3050 \text{ kg/m}^3$

$d_n = 0,034 \text{ m}$
 $d_n = 0,020 \text{ m}$



SNELHEIDSVERDELING EN SCHUIFSPANNING

+	vert	①	$T_0 = 0,24 \text{ N/m}^2$	○	vert.	⑩	$T_0 = 1,59 \text{ N/m}^2$
*	vert.	⑦	$T_0 = 1,09 \text{ N/m}^2$	●	vert.	⑪	$T_0 = 0,97 \text{ N/m}^2$
x	vert.	⑧	$T_0 = 0,87 \text{ N/m}^2$	▽	vert.	⑫	$T_0 = 2,95 \text{ N/m}^2$
●	vert.	⑨	$T_0 = 1,09 \text{ N/m}^2$				

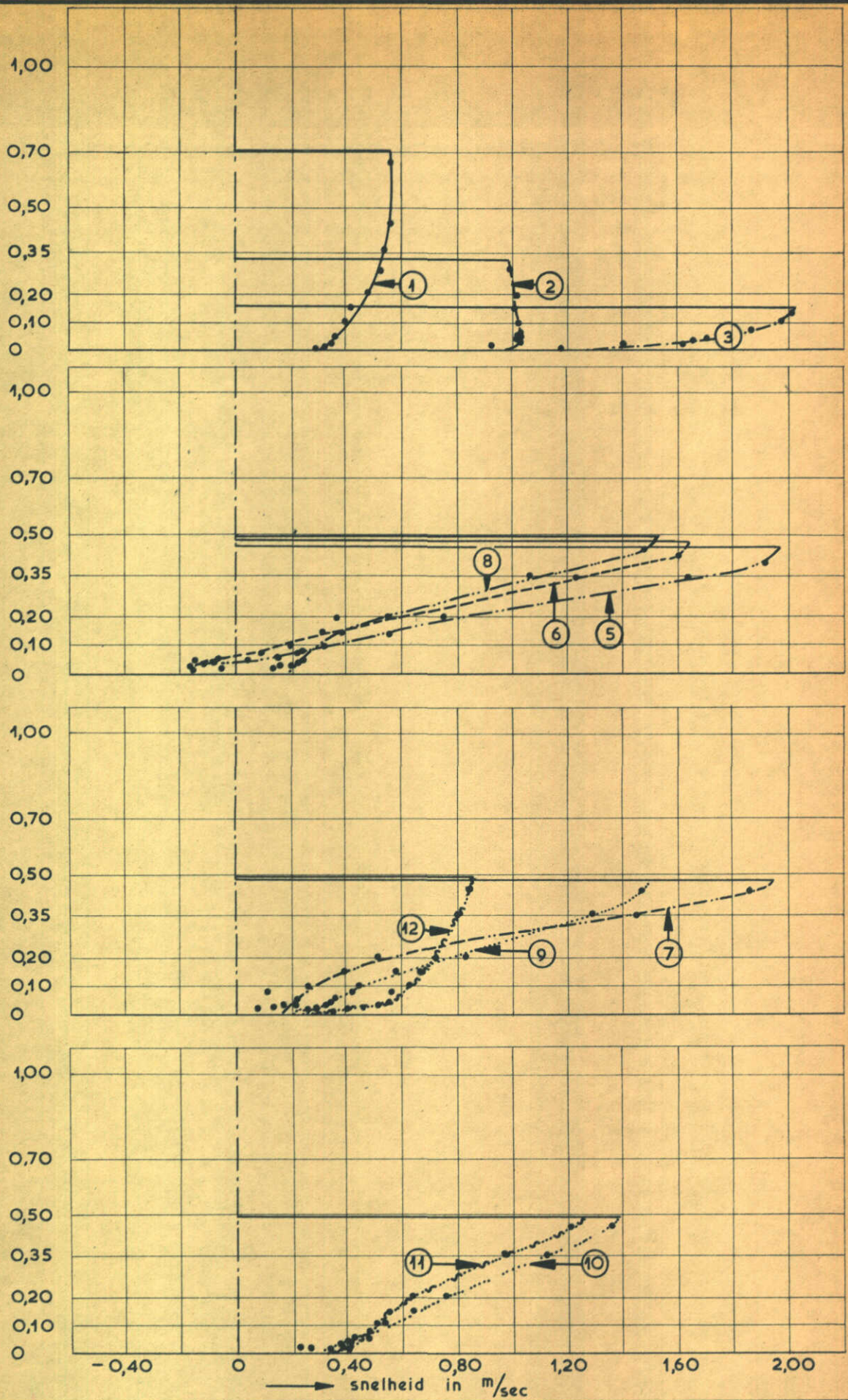
SNELHEIDSVERDELING, WATERSTANDSVERLOOP,
 EROOSIE EN SCHUIFSPANNING.

M. 711-DEEL IV
 PROEFSERIE II

\leftarrow netto transport (aantal stenen)
 \leftarrow netto transport (totaal steengewicht)
 \leftarrow schuifspanning

\leftarrow } bruto transport in richting en grootte (totaal steengewicht)
 \leftarrow } bruto transport in richting en grootte (aantal stenen)

↑ hoogte in m t.o.v. bovenkant steenslag



SNELHEIDSVERTICALEN

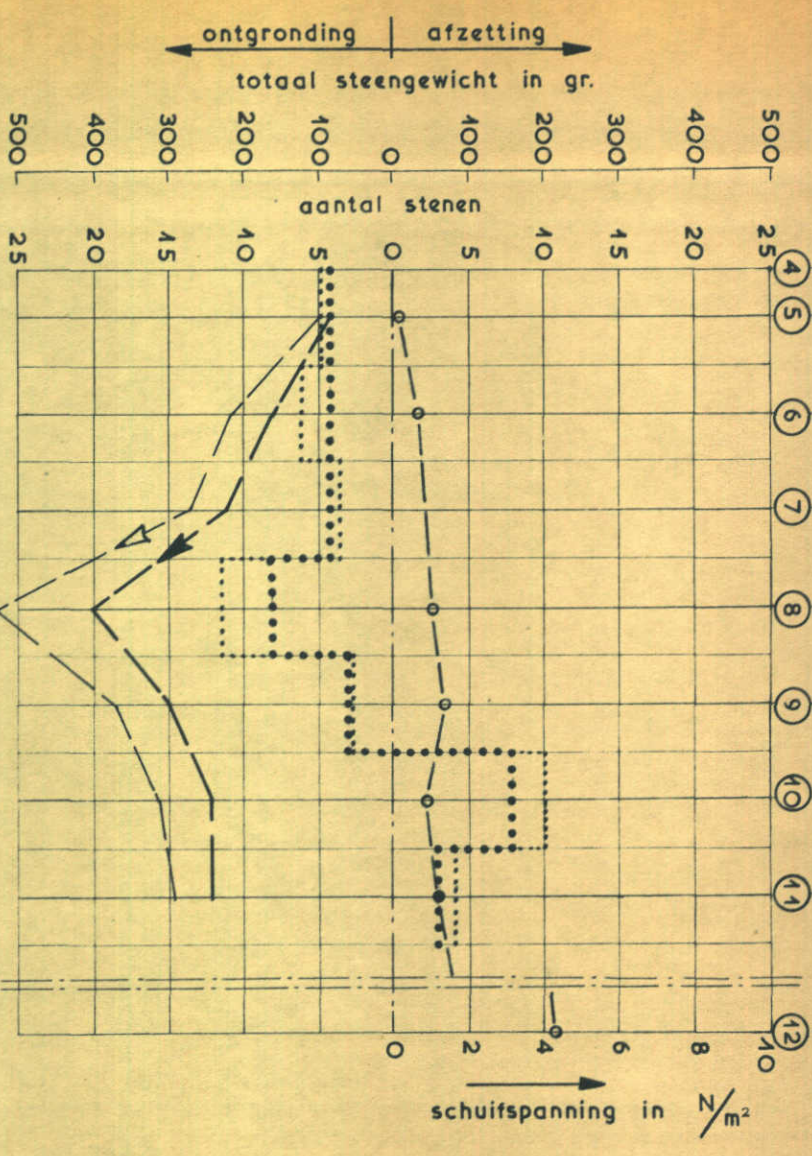
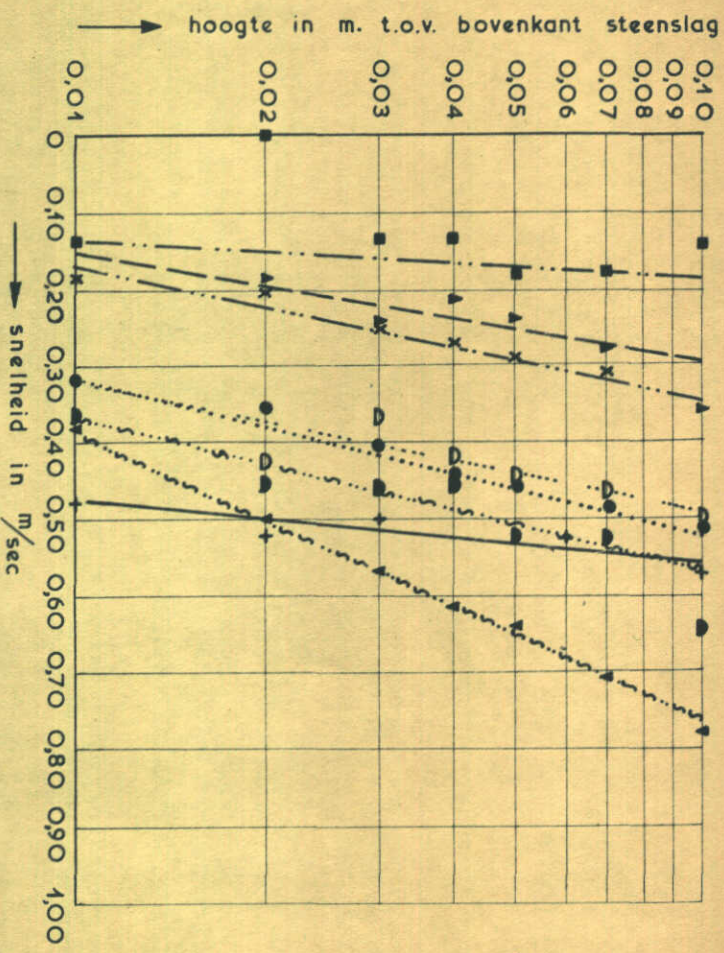
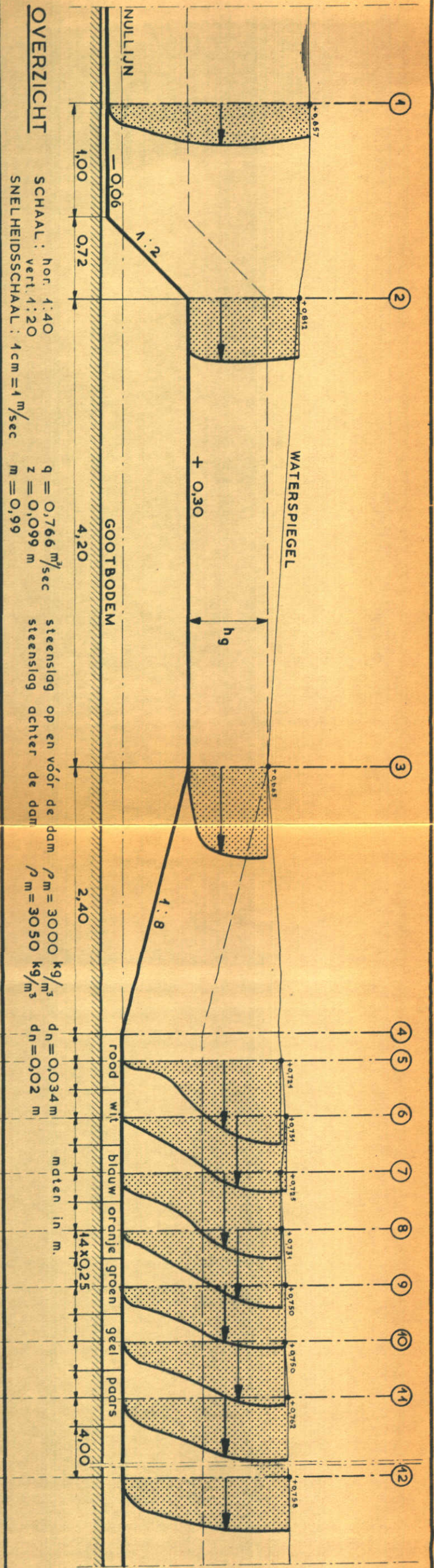
M. 711-DEEL IV

PROEFSERIE II

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

T 27

FIG. 67

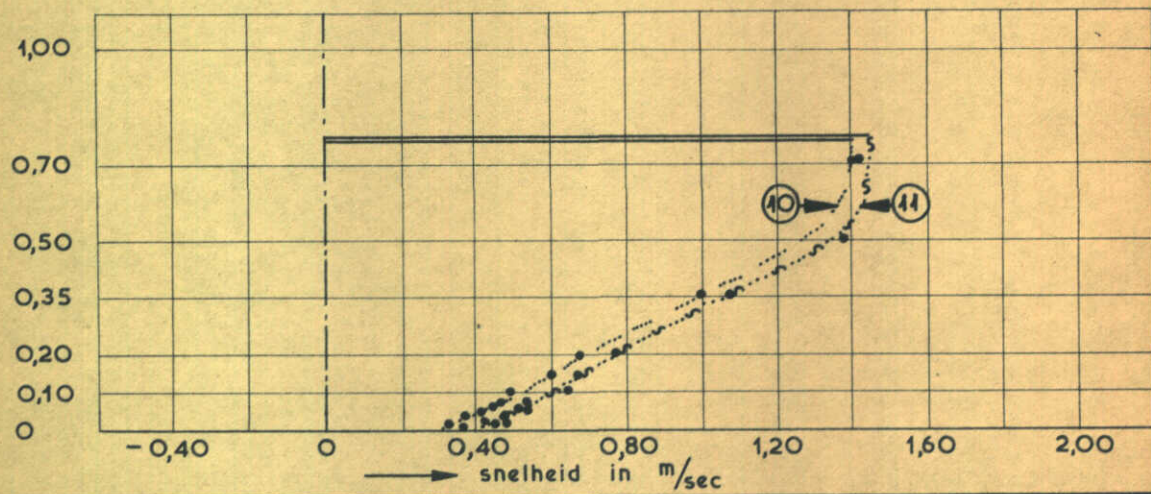
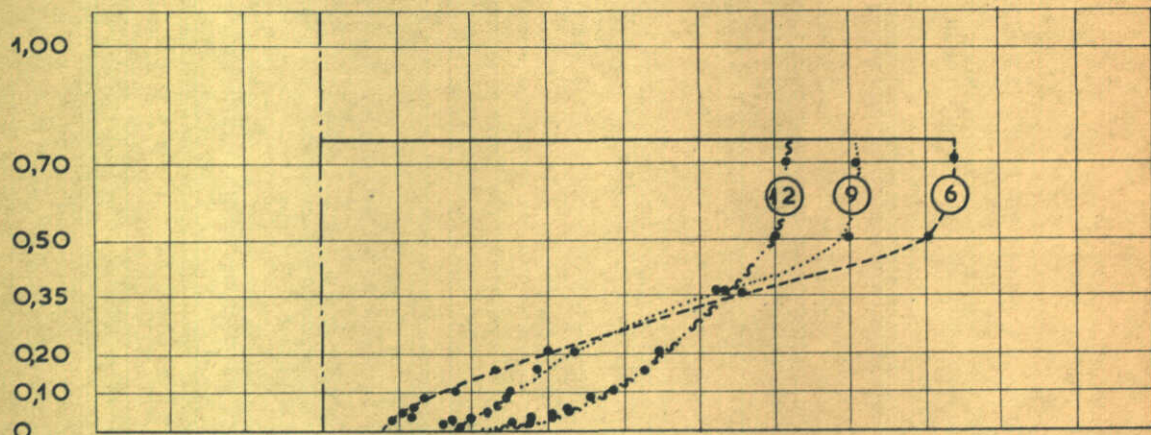
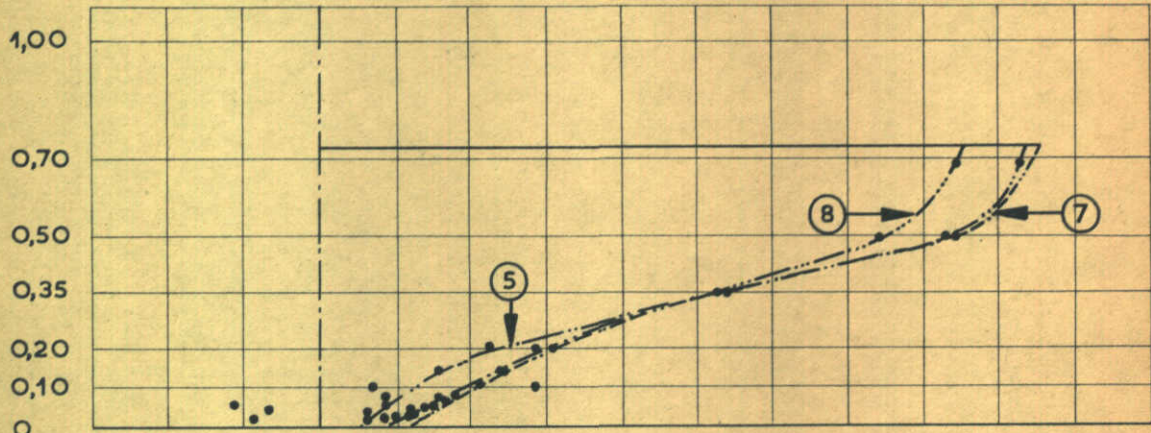
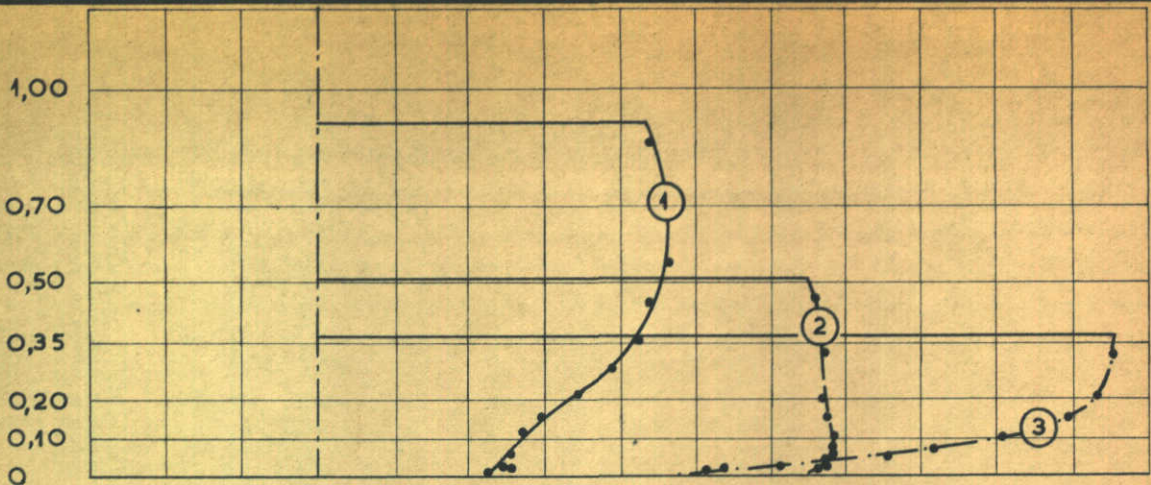


SNELHEIDSVERDELING, WATERSTANDSVERLOOP, EROOSIE EN SCHUIFSPANNING.

M. 711-DEEL IV
 PROEFSERIE II
 T 28 FIG. 68

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

↑ hoogte in m t.o.v. bovenkant steenslag



SNELHEIDSVERTICALEN

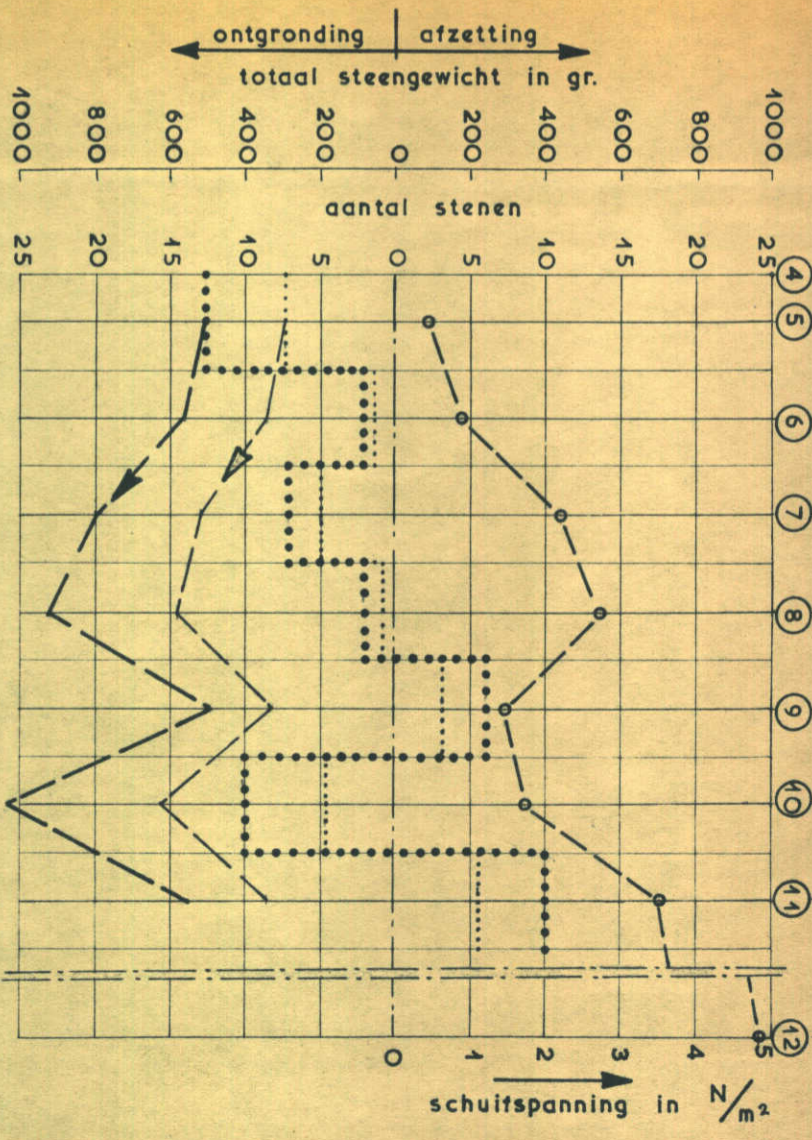
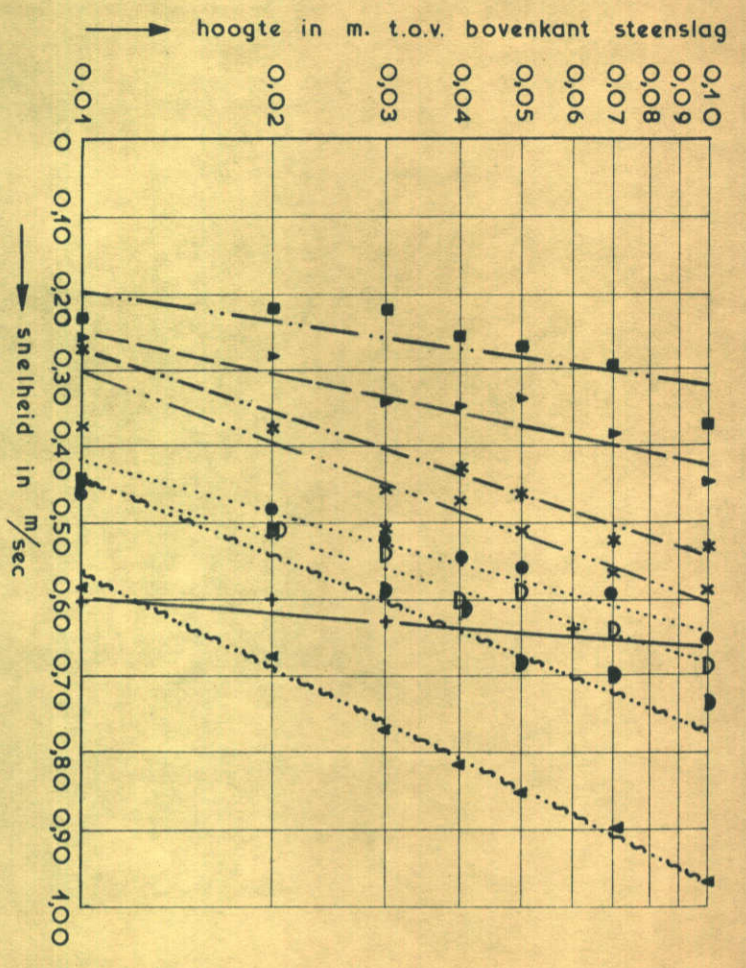
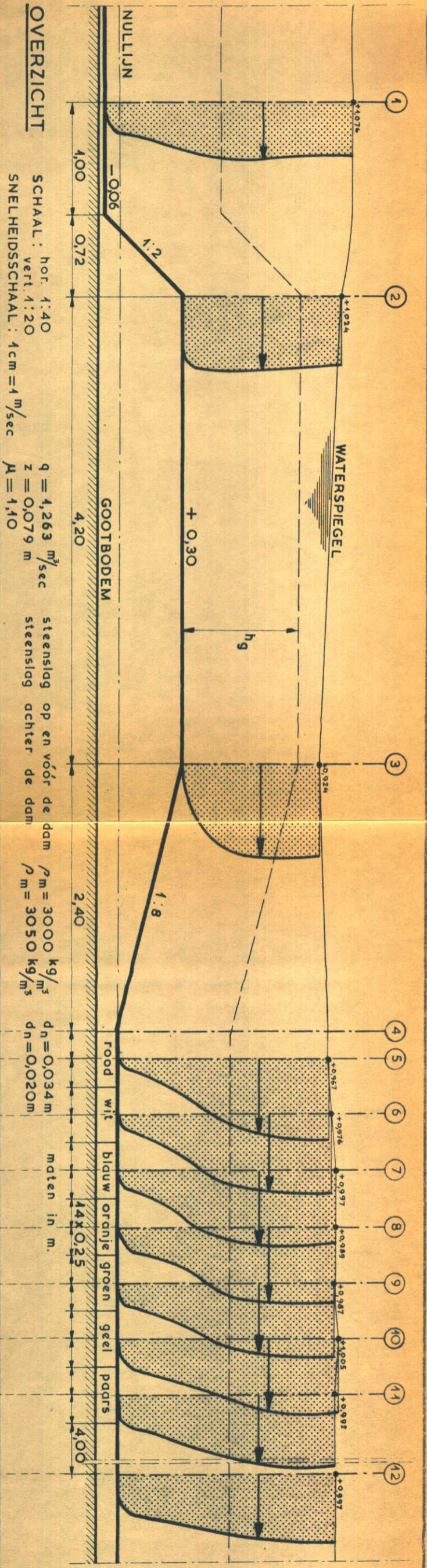
M. 711-DEEL IV

PROEFSERIE II

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

T 28

FIG. 69



- | | | | | | |
|---|---------|----------------------------|---|----------|----------------------------|
| + | vert. 1 | $T_0 = 0,15 \text{ N/m}^2$ | ● | vert. 9 | $T_0 = 1,45 \text{ N/m}^2$ |
| ■ | vert. 5 | $T_0 = 0,43 \text{ N/m}^2$ | ○ | vert. 10 | $T_0 = 1,73 \text{ N/m}^2$ |
| ▲ | vert. 6 | $T_0 = 0,87 \text{ N/m}^2$ | ● | vert. 11 | $T_0 = 3,47 \text{ N/m}^2$ |
| * | vert. 7 | $T_0 = 2,18 \text{ N/m}^2$ | ▼ | vert. 12 | $T_0 = 4,80 \text{ N/m}^2$ |
| x | vert. 8 | $T_0 = 2,70 \text{ N/m}^2$ | | | |

SNELHEIDSVERDELING, WATERSTANDSVERLOOP,
EROSIE EN SCHUIFSPANNING.

M. 711-DEEL IV
PROEFSERIE II

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

T 29 FIG. 70

bruto transport in richting en grootte (aantal stenen)

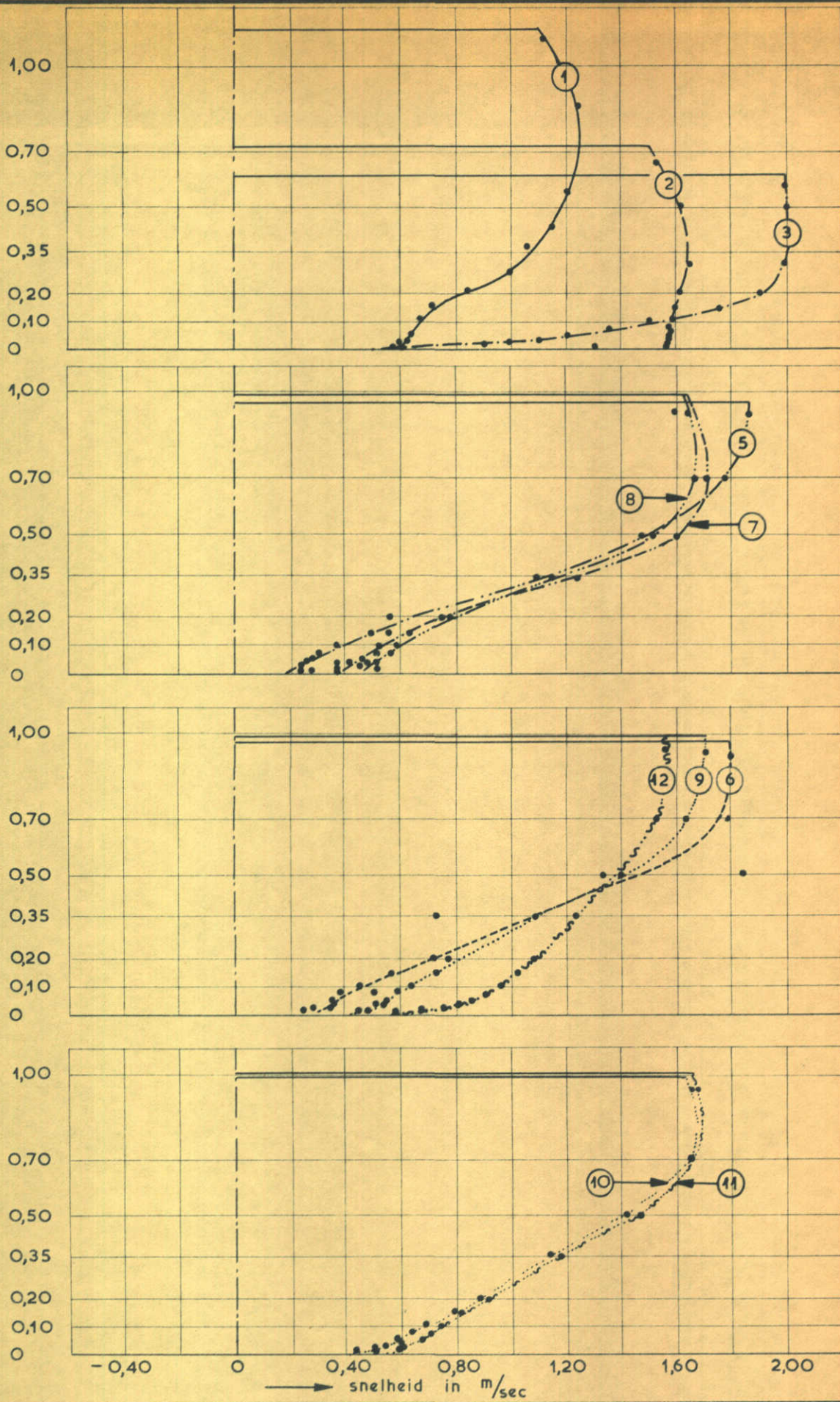
bruto transport in richting en grootte (totaal steengewicht)

netto transport (aantal stenen)

netto transport (totaal steengewicht)

schuifspanning

↑ hoogte in m t.o.v. bovenkant steenslag



SNELHEIDSVERTICALEN

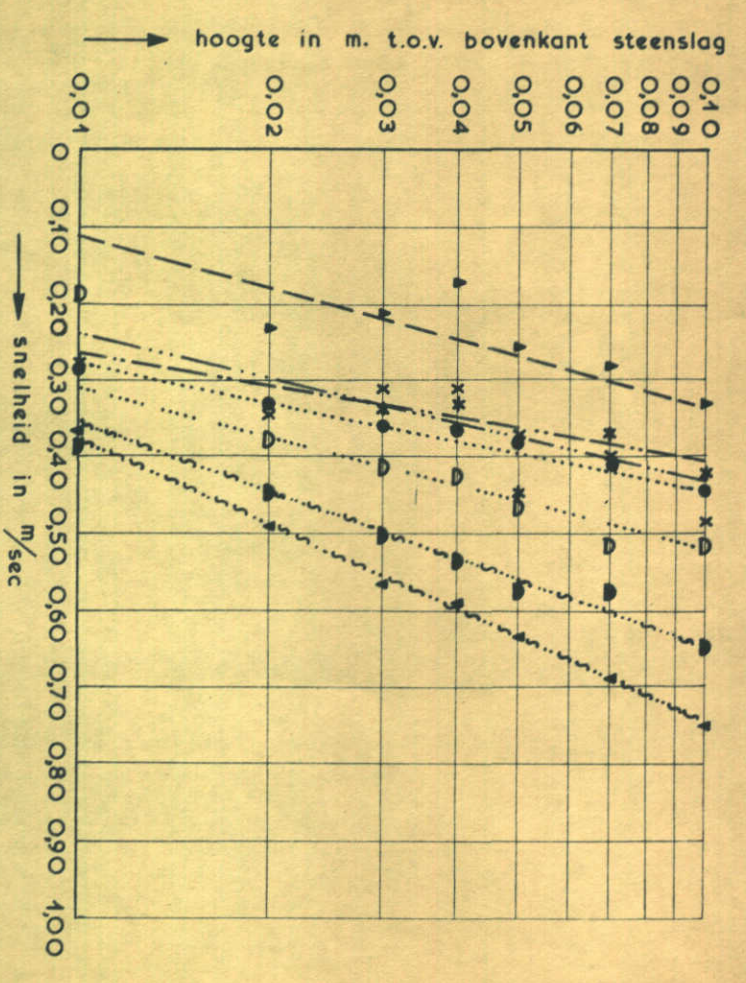
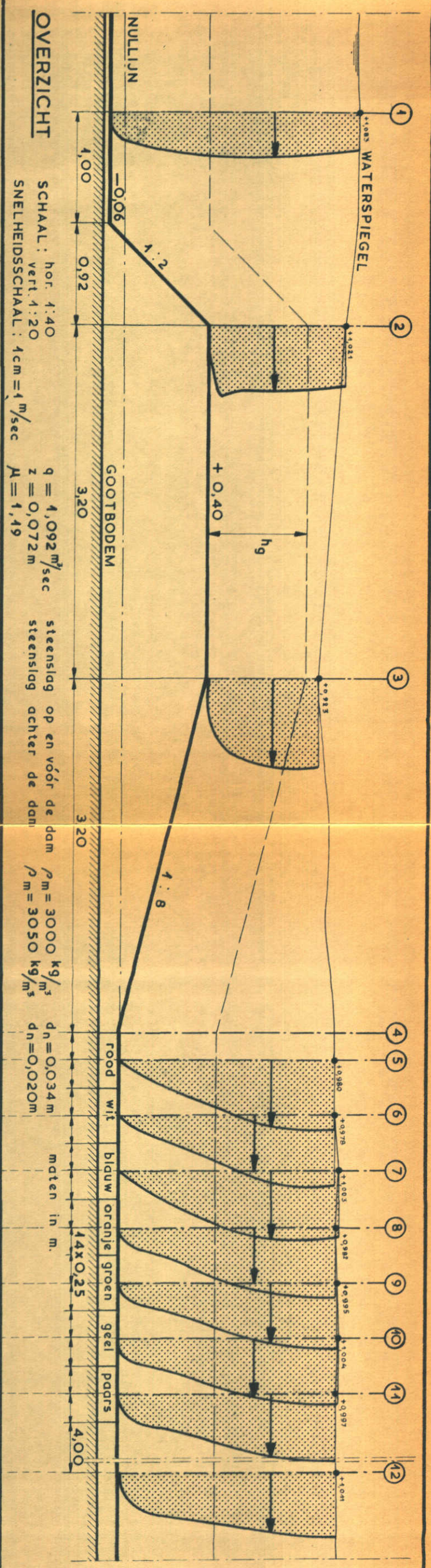
M. 711-DEEL IV

PROEFSERIE II

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

T 29

FIG. 71



- ▲ ----- vert. ⑥ $T_o = 4,39 \text{ N/m}^2$
- * ----- vert. ⑦ $T_o = 0,68 \text{ N/m}^2$
- x ----- vert. ⑧ $T_o = 1,20 \text{ N/m}^2$
- ----- vert. ⑨ $T_o = 0,87 \text{ N/m}^2$
- ----- vert. ⑩ $T_o = 4,32 \text{ N/m}^2$
- ----- vert. ⑪ $T_o = 2,52 \text{ N/m}^2$
- ----- vert. ⑫ $T_o = 4,20 \text{ N/m}^2$

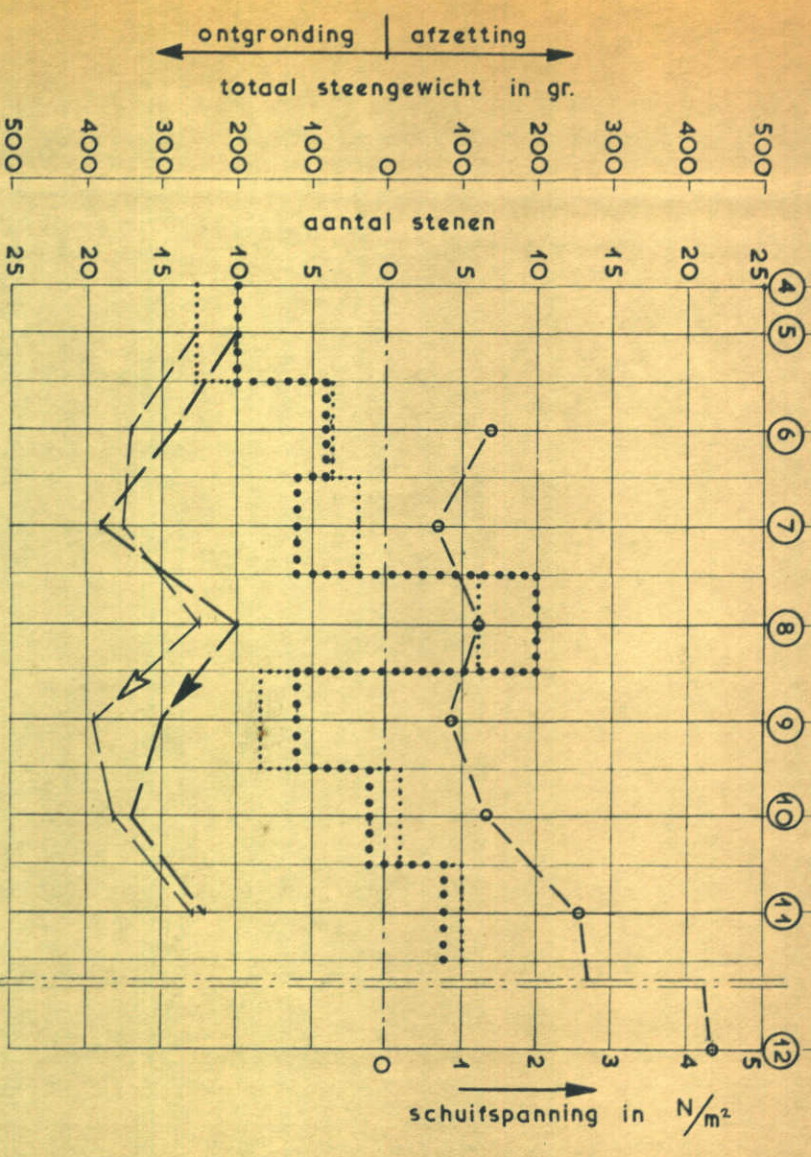
SNELHEIDSVERDELING, WATERSTANDSVERLOOP, EROOSIE EN SCHUIFSPANNING.

M. 711-DEEL IV

PROEFSERIE II

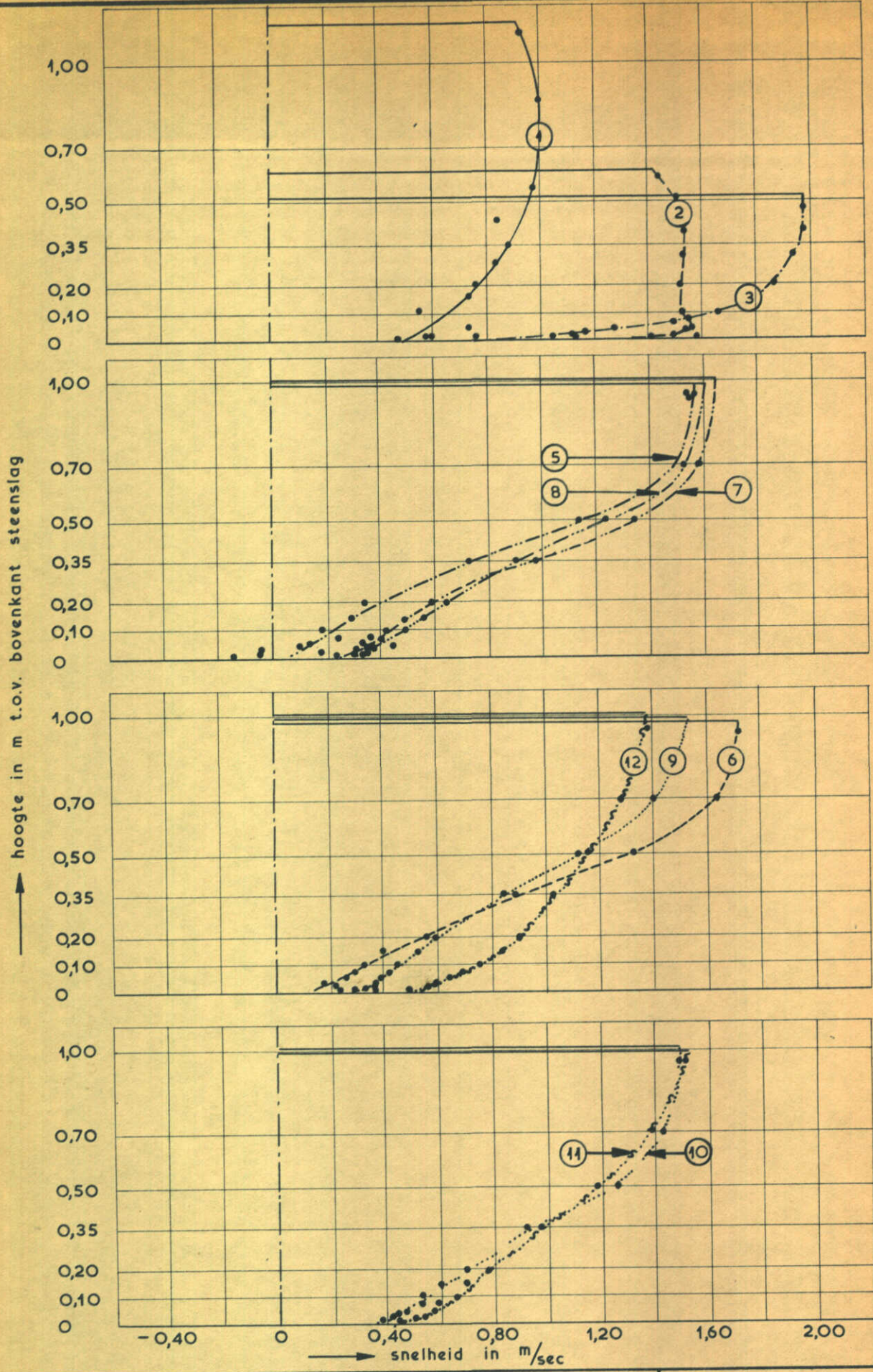
T30 **FIG. 72**

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM



- } bruto transport in richting en grootte (aantal stenen)
- } bruto transport in richting en grootte (totaal steengewicht)
- } netto transport (aantal stenen)
- } netto transport (totaal steengewicht)
- } schuifspanning

VERLOOP EROOSIE EN SCHUIFSPANNING



SNELHEIDSVERTICALEN

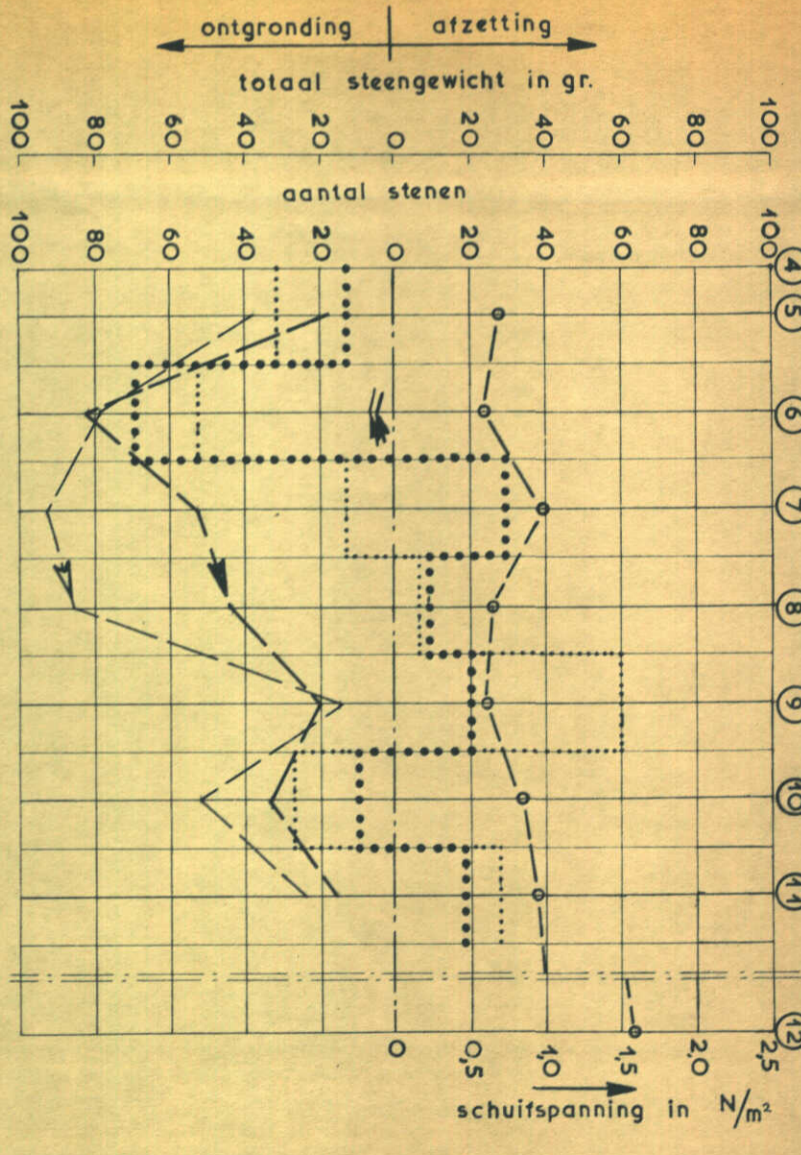
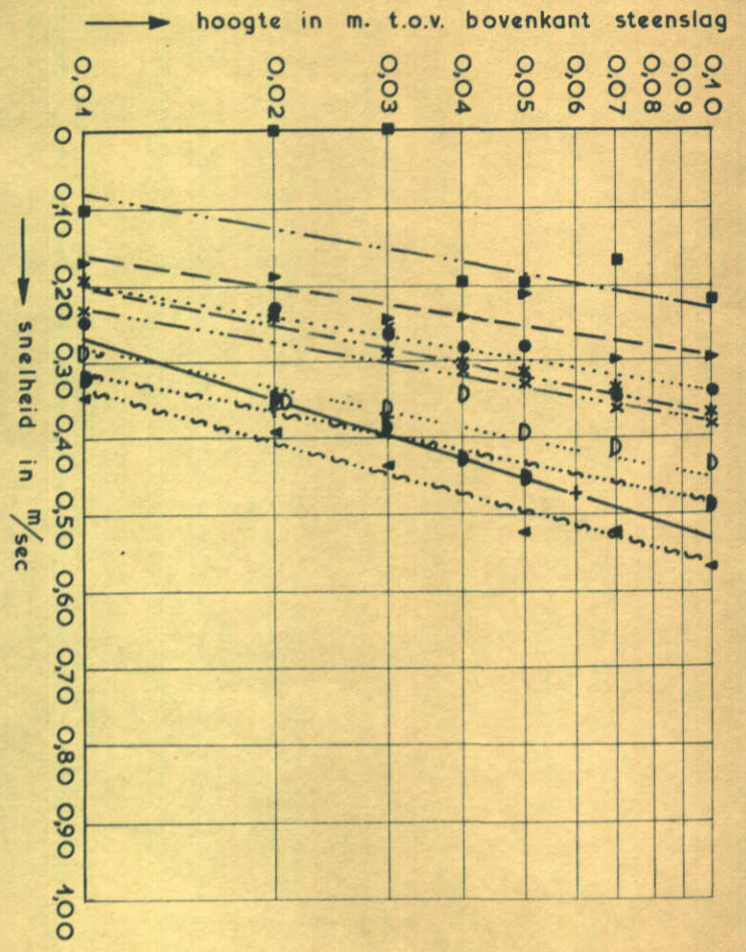
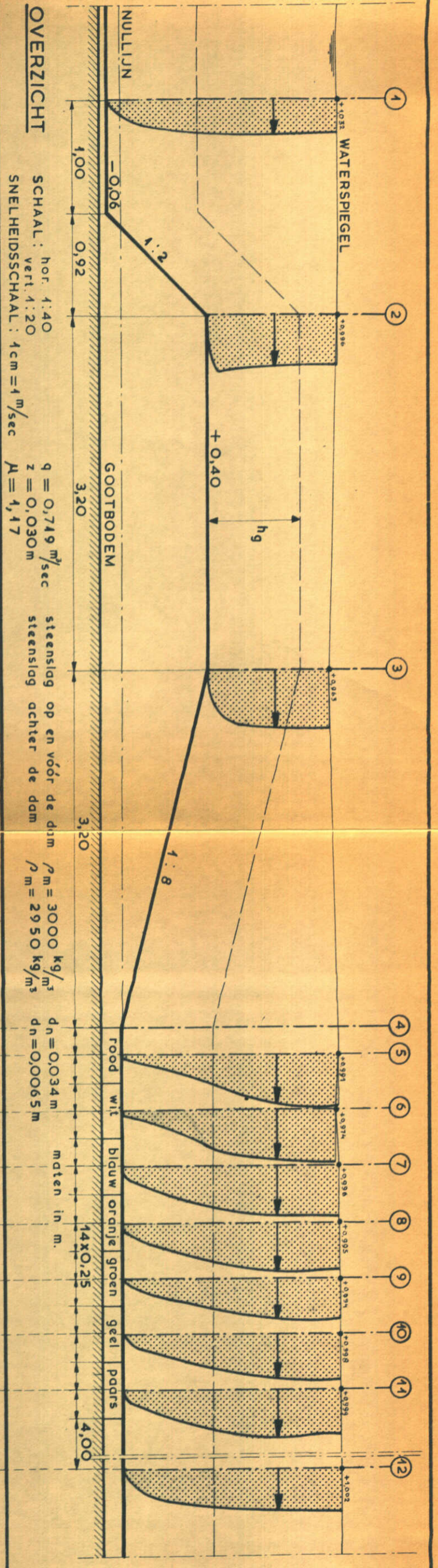
M. 711-DEEL IV

PROEFSERIE II

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

T 30

FIG. 73



- | | | | | | |
|--------|---------|----------------------------|--------|---------|----------------------------|
| + ———— | vert. ① | $T_0 = 2,05 \text{ N/m}^2$ | ● ———— | vert. ⑨ | $T_0 = 0,59 \text{ N/m}^2$ |
| ■ ———— | vert. ⑤ | $T_0 = 0,68 \text{ N/m}^2$ | ○ ———— | vert. ⑩ | $T_0 = 0,82 \text{ N/m}^2$ |
| ▲ ———— | vert. ⑥ | $T_0 = 0,59 \text{ N/m}^2$ | △ ———— | vert. ⑪ | $T_0 = 0,92 \text{ N/m}^2$ |
| * ———— | vert. ⑦ | $T_0 = 0,97 \text{ N/m}^2$ | ▽ ———— | vert. ⑫ | $T_0 = 1,59 \text{ N/m}^2$ |
| x ———— | vert. ⑧ | $T_0 = 0,63 \text{ N/m}^2$ | | | |

SNELHEIDSVERTDELING EN SCHUIFSPANNING

VERLOOP EROOSIE EN SCHUIFSPANNING

SNELHEIDSVERTDELING, WATERSTANDSVERLOOP,
 EROOSIE EN SCHUIFSPANNING.

M. 711-DEEL IV
 PROEFSERIE II

T 31 FIG. 74

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

bruto transport in richting en grootte (aantal stenen)

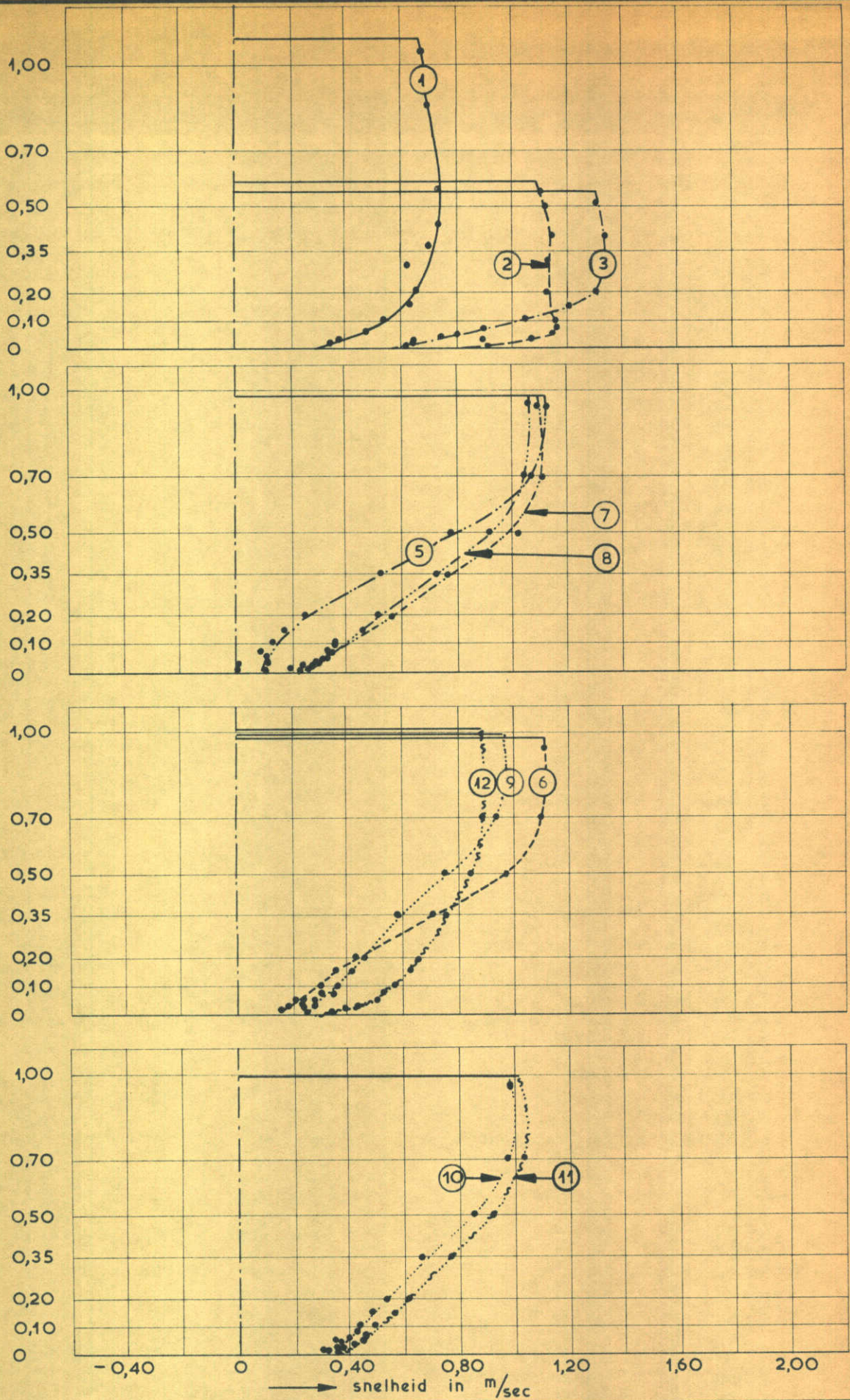
bruto transport in richting en grootte (totaal steengewicht)

netto transport (aantal stenen)

netto transport (totaal steengewicht)

schuifspanning

↑ hoogte in m t.o.v. bovenkant steenslag



SNELHEIDSVERTICALEN

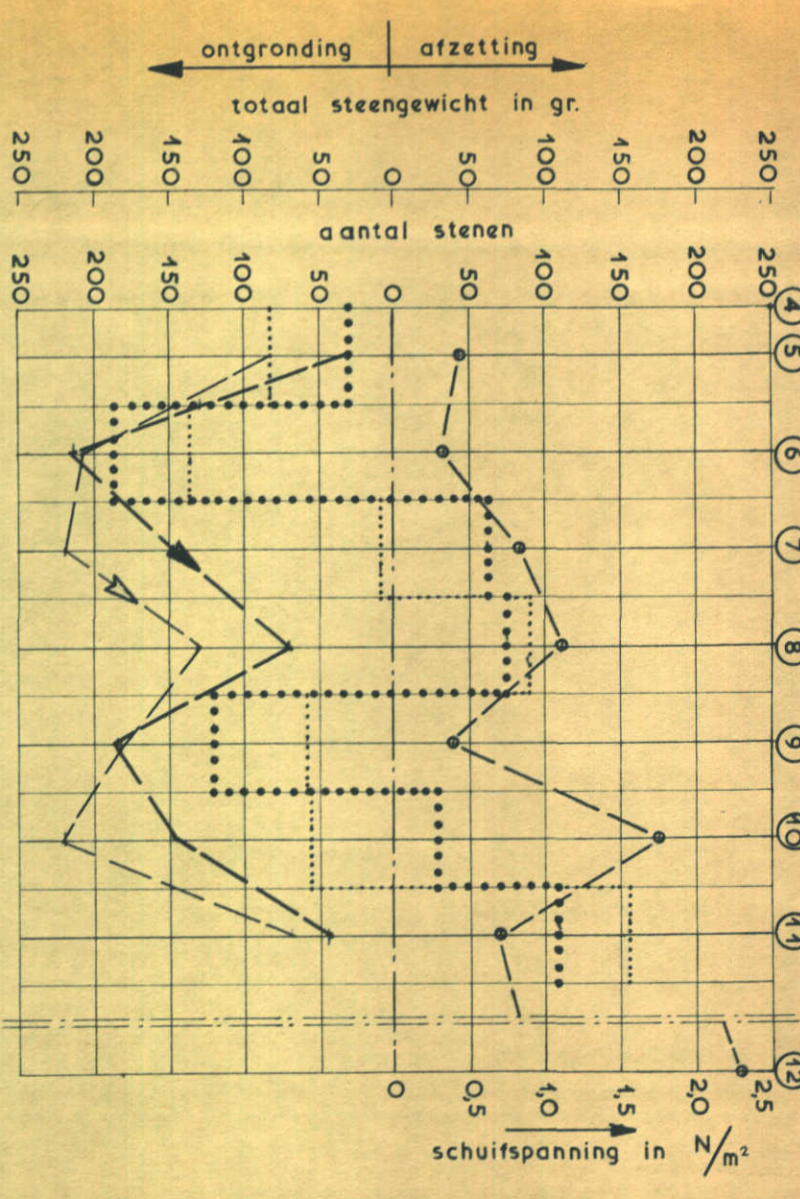
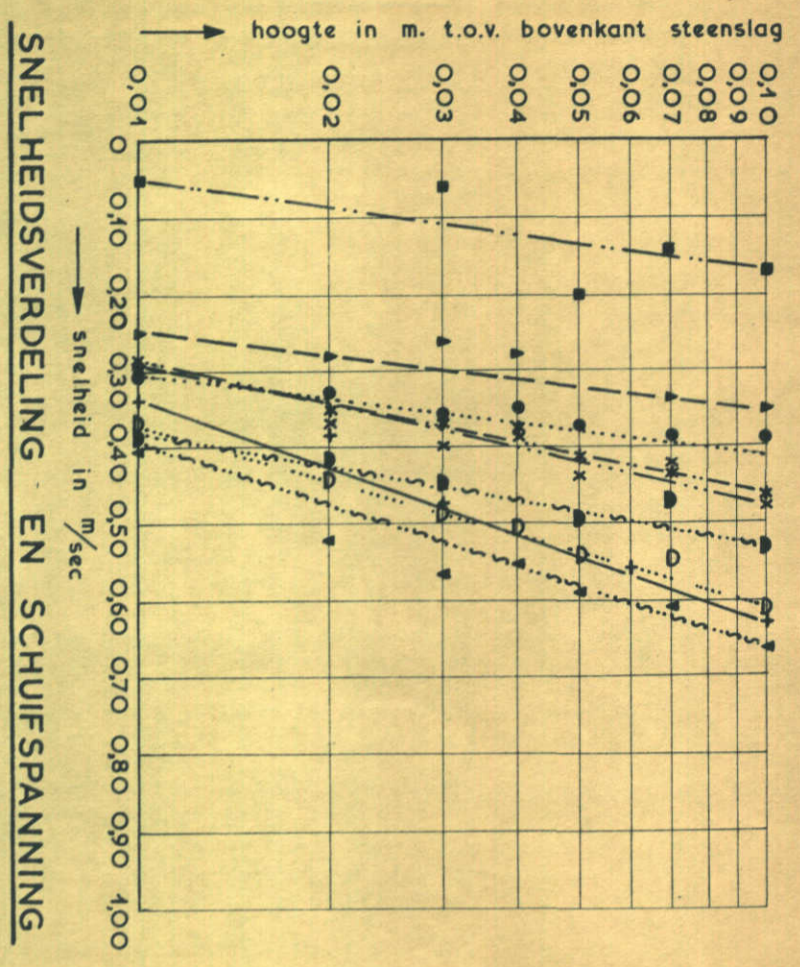
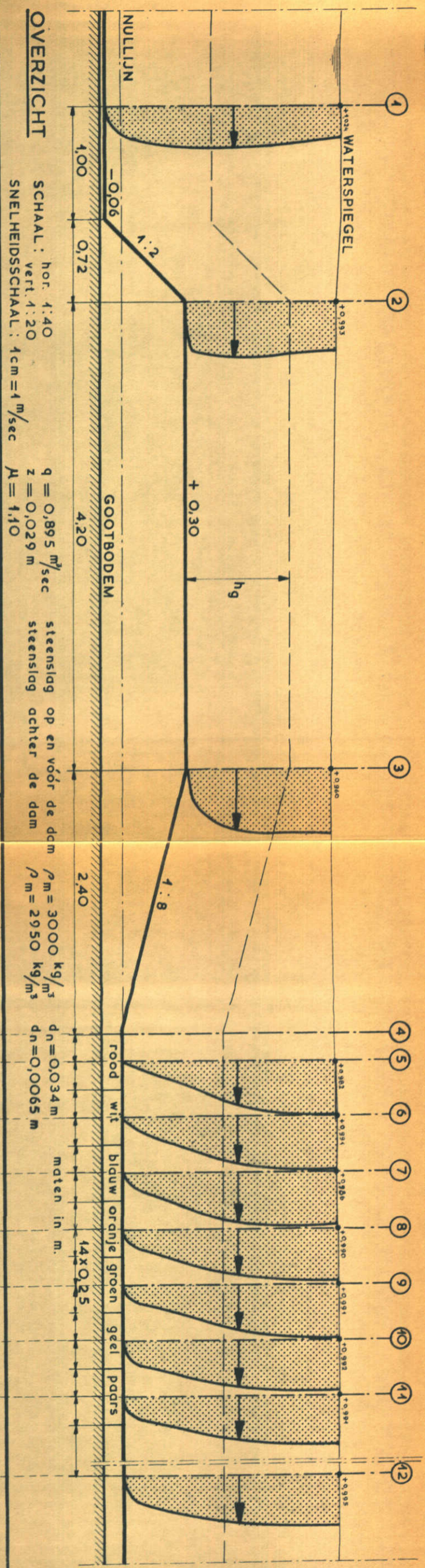
M. 711-DEEL IV

PROEFSERIE II

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

T 31

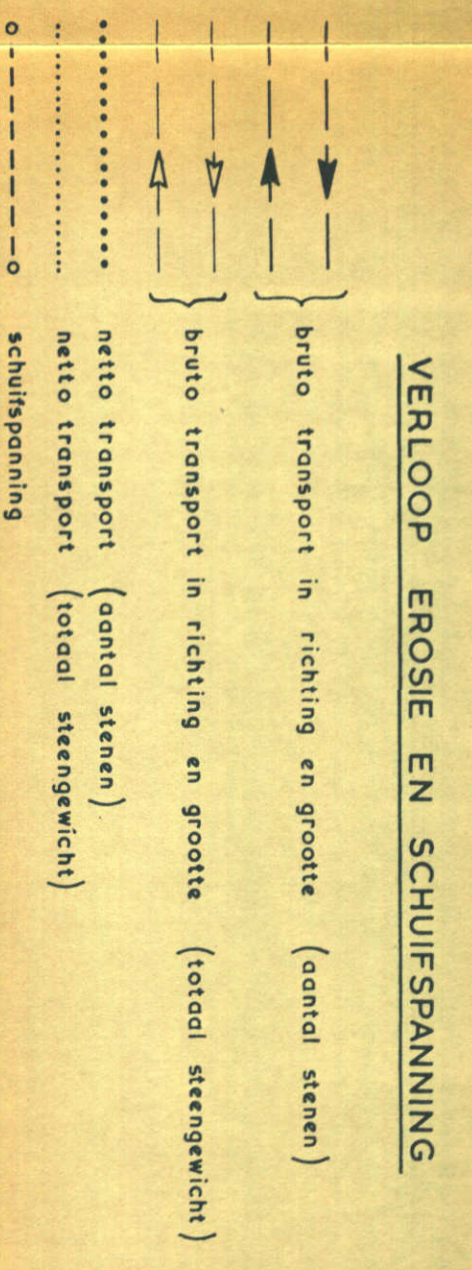
FIG. 75



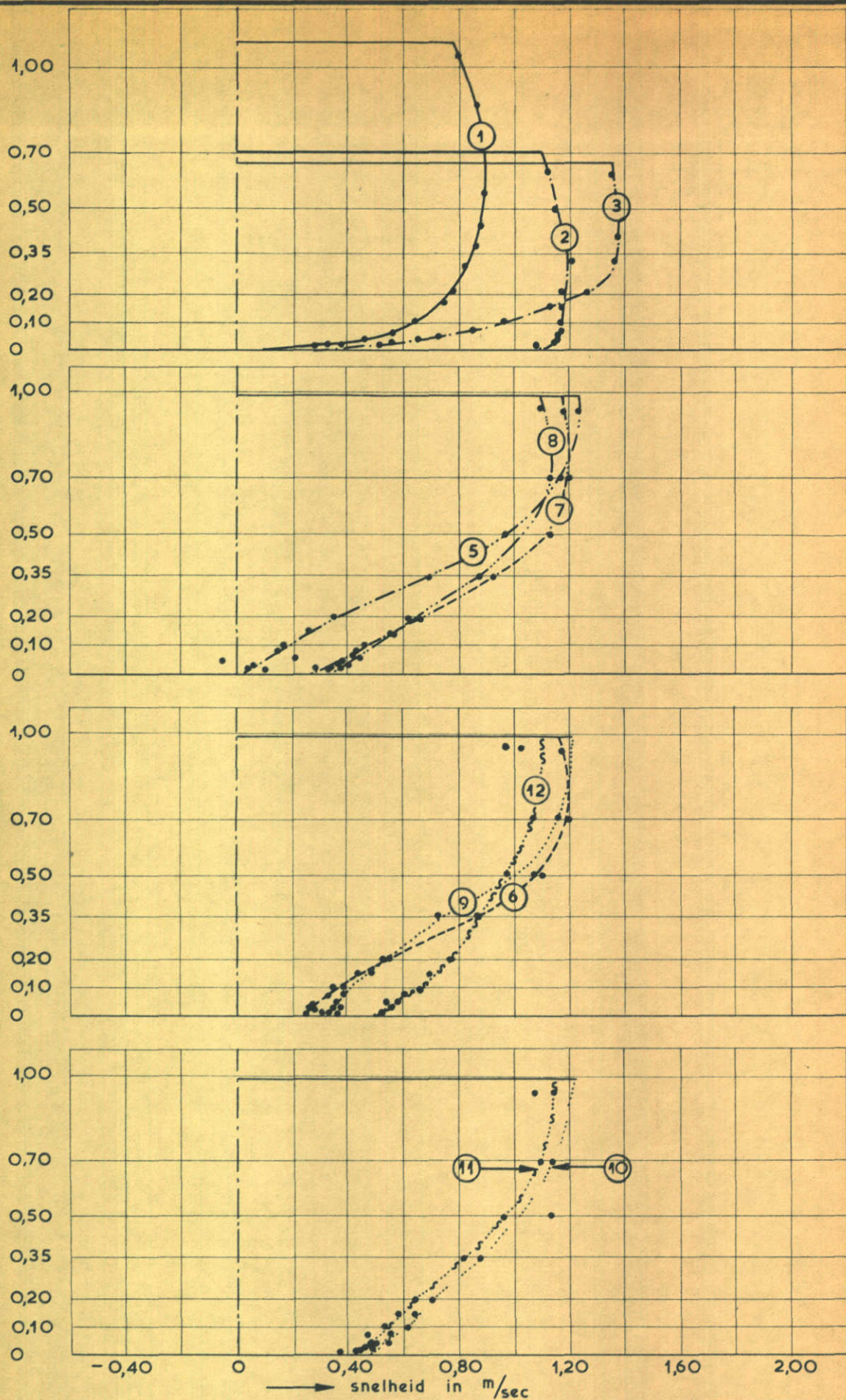
+	vert. ①	$T_0 = 2,52 \text{ N/m}^2$	•	vert. ⑨	$T_0 = 0,36 \text{ N/m}^2$
■	vert. ⑤	$T_0 = 0,43 \text{ N/m}^2$	○	vert. ⑩	$T_0 = 1,73 \text{ N/m}^2$
▲	vert. ⑥	$T_0 = 0,33 \text{ N/m}^2$	●	vert. ⑪	$T_0 = 0,67 \text{ N/m}^2$
*	vert. ⑦	$T_0 = 0,82 \text{ N/m}^2$	▲	vert. ⑫	$T_0 = 2,26 \text{ N/m}^2$
x	vert. ⑧	$T_0 = 1,09 \text{ N/m}^2$			

SNELHEIDSVERDELING, WATERSTANDSVERLOOP, EROSIE EN SCHUIFPANNNING.

M. 711-DEEL IV
PROEFSERIE II



↑ hoogte in m t.o.v. bovenkant steenslag



SNELHEIDSVERTICALEN

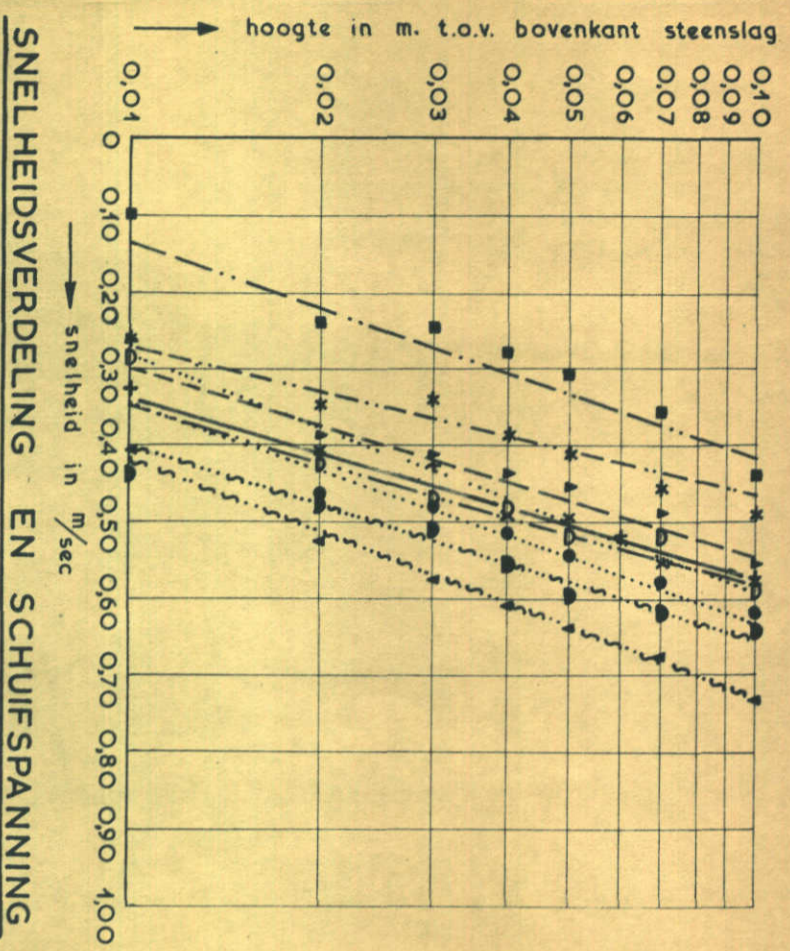
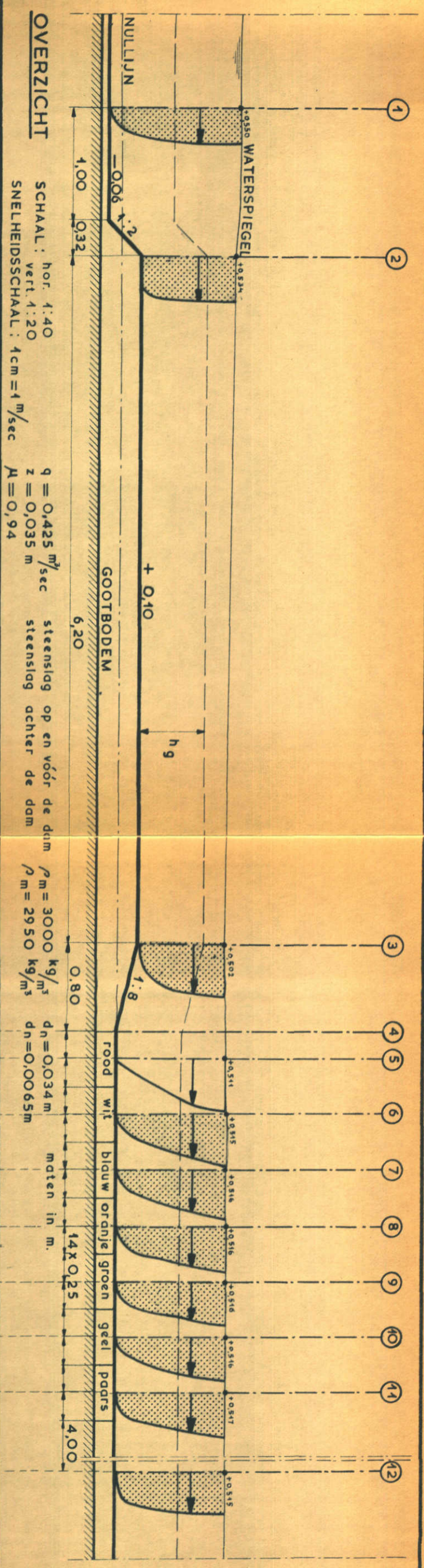
M. 711-DEEL IV

PROEFSERIE II

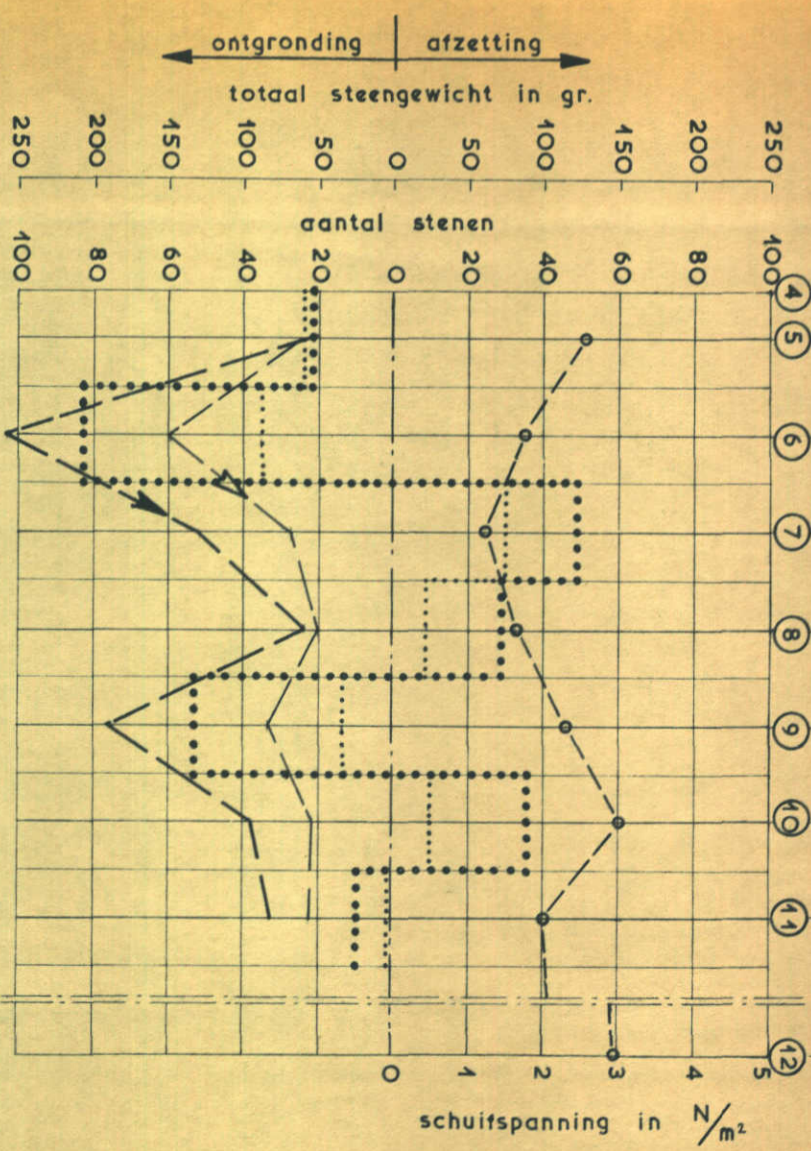
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

T 32

FIG. 77



- | | | | | | |
|---|---------|----------------------------|---|---------|----------------------------|
| + | vert. ① | $T_0 = 4,59 \text{ N/m}^2$ | ● | vert. ⑨ | $T_0 = 2,27 \text{ N/m}^2$ |
| ■ | vert. ⑤ | $T_0 = 2,52 \text{ N/m}^2$ | ○ | vert. ⑩ | $T_0 = 2,98 \text{ N/m}^2$ |
| ▲ | vert. ⑥ | $T_0 = 4,73 \text{ N/m}^2$ | ○ | vert. ⑪ | $T_0 = 4,95 \text{ N/m}^2$ |
| * | vert. ⑦ | $T_0 = 4,20 \text{ N/m}^2$ | ○ | vert. ⑫ | $T_0 = 2,96 \text{ N/m}^2$ |
| x | vert. ⑧ | $T_0 = 4,59 \text{ N/m}^2$ | | | |



SNELHEIDSVERDELING, WATERSTANDSVERLOOP,
EROSIE EN SCHUIFSPANNING.

M. 711-DEEL IV
PROEFSERIE II
T 33 FIG. 78

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

bruto transport in richting en grootte (aantal stenen)

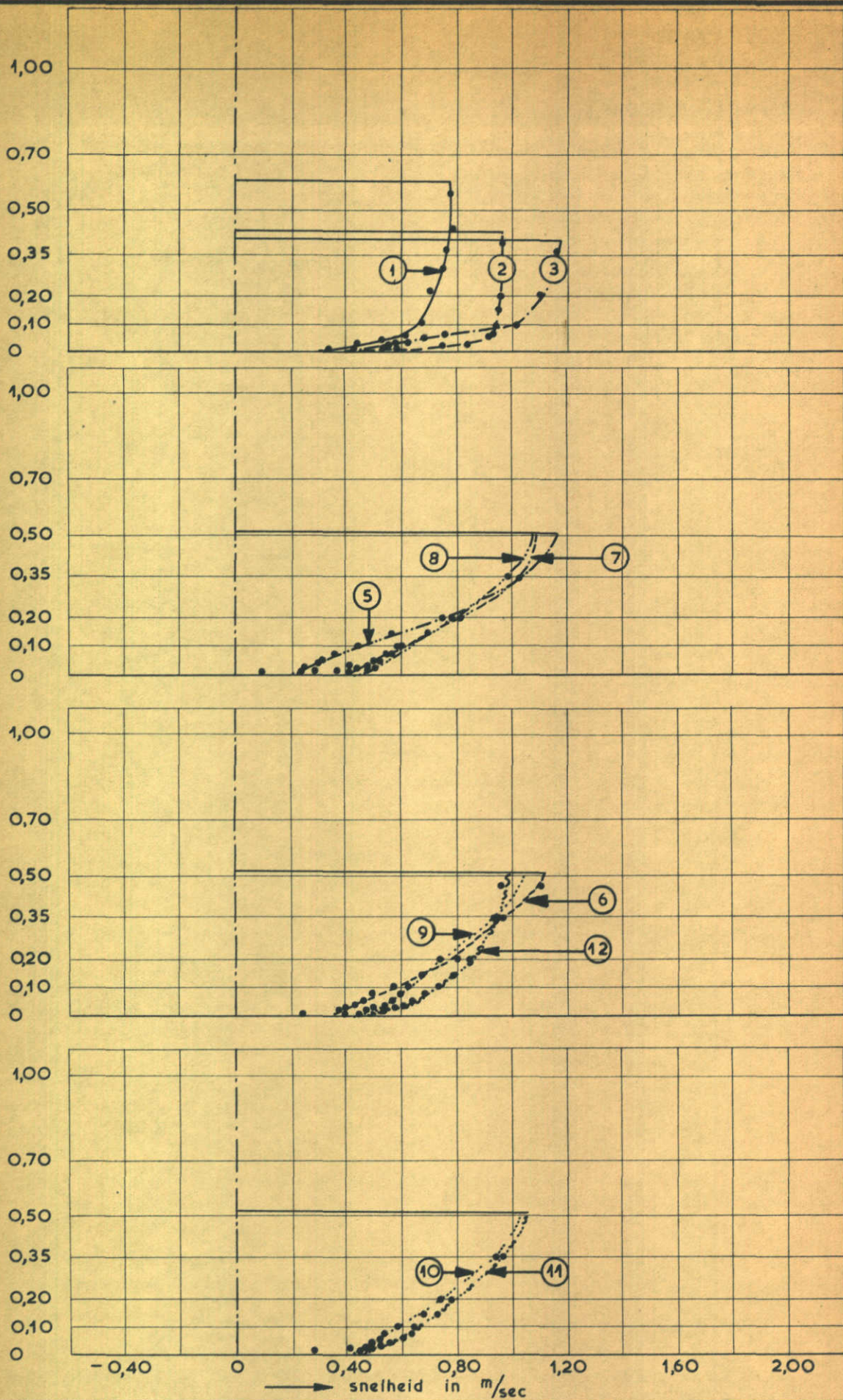
bruto transport in richting en grootte (totaal steengewicht)

netto transport (aantal stenen)

netto transport (totaal steengewicht)

schuifspanning

↑ hoogte in m t.o.v. bovenkant steenslag



SNELHEIDSVERTICALEN

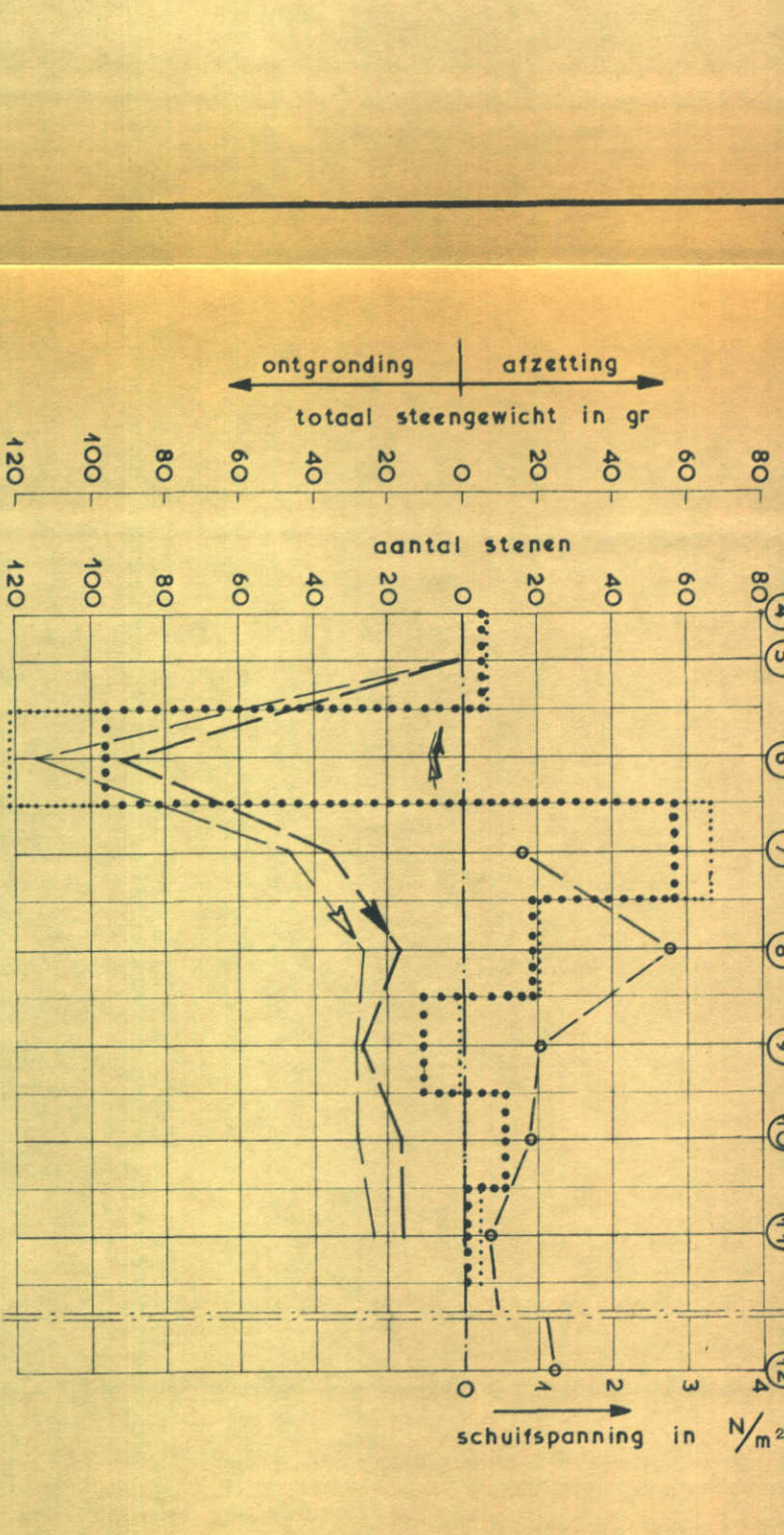
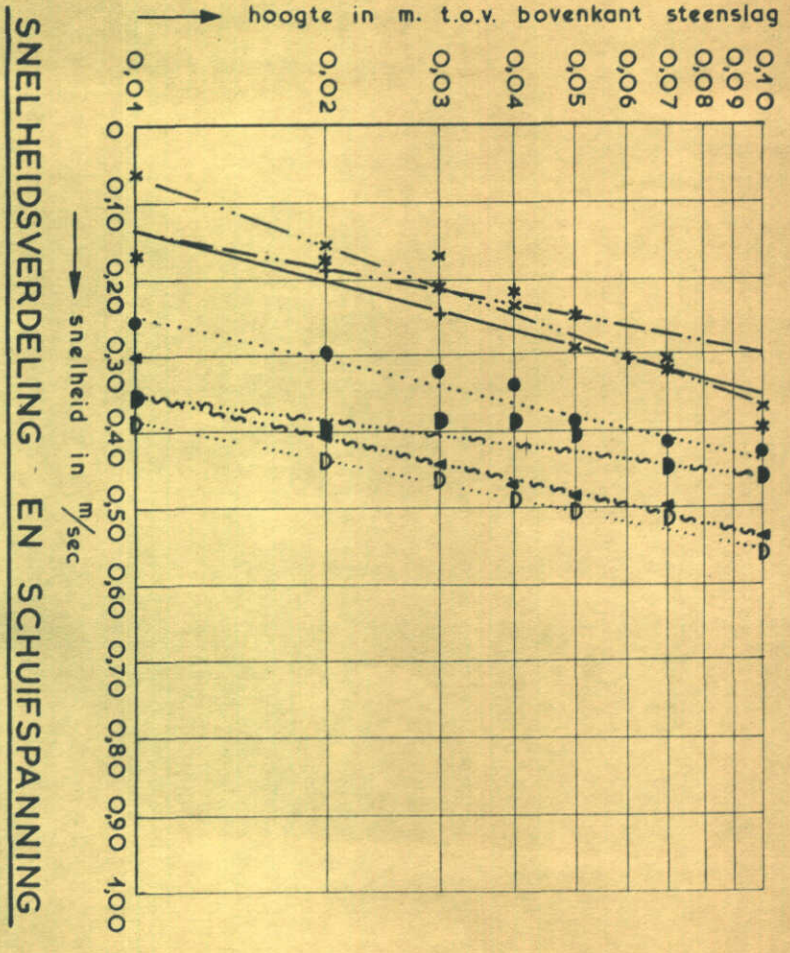
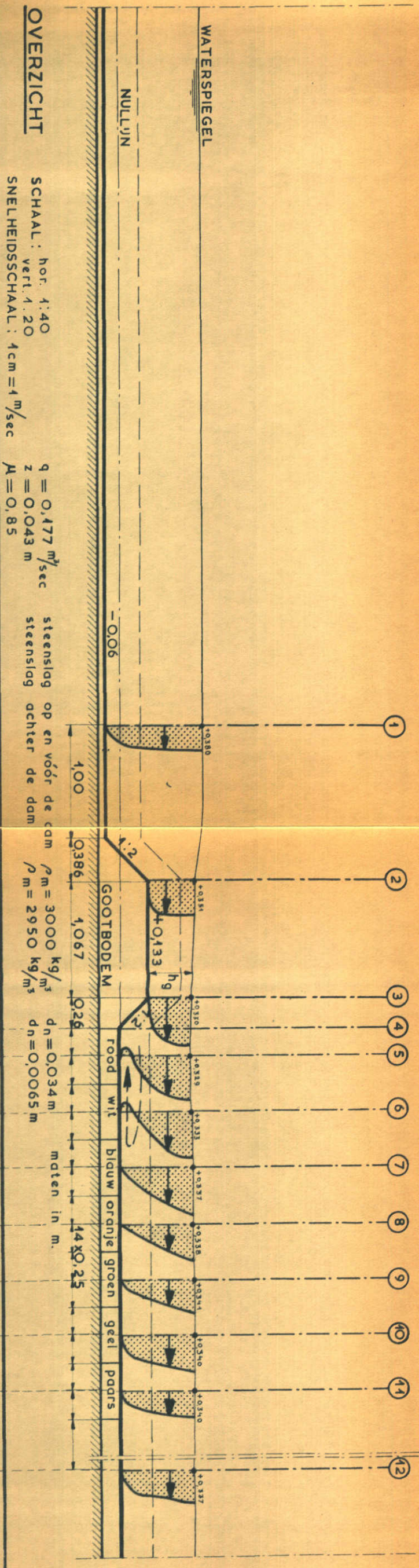
M. 711-DEEL IV

PROEFSERIE II

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

T 33

FIG. 79



+ ————— vert. ① $T_o = 1,39 \text{ N/m}^2$
 * ————— vert. ⑦ $T_o = 0,82 \text{ N/m}^2$
 x ————— vert. ⑧ $T_o = 2,79 \text{ N/m}^2$
 ● ————— vert. ⑨ $T_o = 1,03 \text{ N/m}^2$
 ○ ————— vert. ⑩ $T_o = 0,87 \text{ N/m}^2$
 △ ————— vert. ⑪ $T_o = 0,33 \text{ N/m}^2$
 ▽ ————— vert. ⑫ $T_o = 1,14 \text{ N/m}^2$

SNELHEIDSVERDELING, WATERSTANDSVERLOOP, EROSIE EN SCHUIFPANNING.

SNELHEIDSVERDELING EN SCHUIFPANNING

M. 711-DEEL IV

PROEFSERIE II

T 34 **FIG. 80**

VERLOOP EROSIE EN SCHUIFPANNING

bruto transport in richting en grootte (aantal stenen)

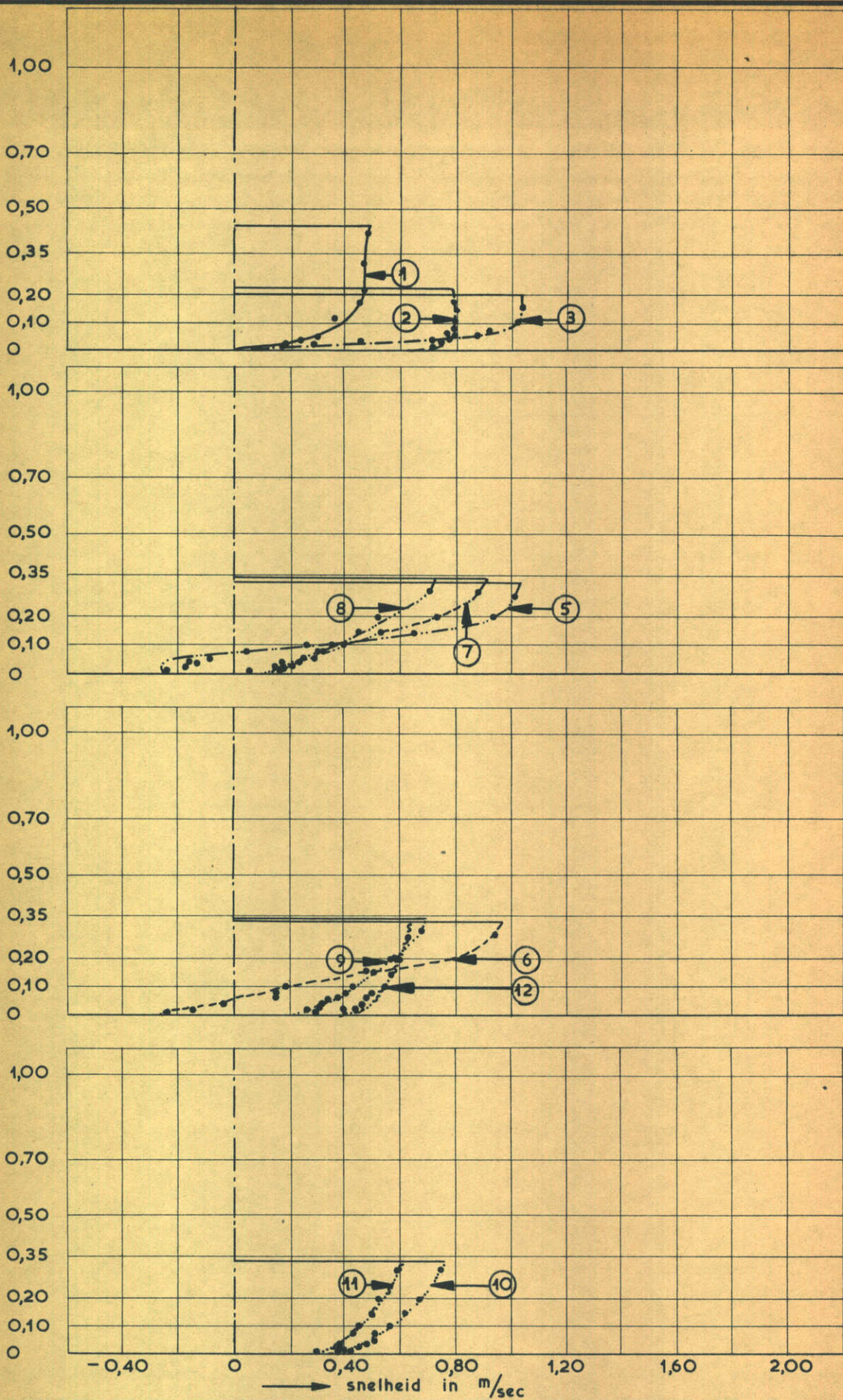
bruto transport in richting en grootte (totaal steengewicht)

netto transport (aantal stenen)

netto transport (totaal steengewicht)

schuifspanning

↑ hoogte in m t.o.v. bovenkant steenslag



SNELHEIDSVERTICALEN

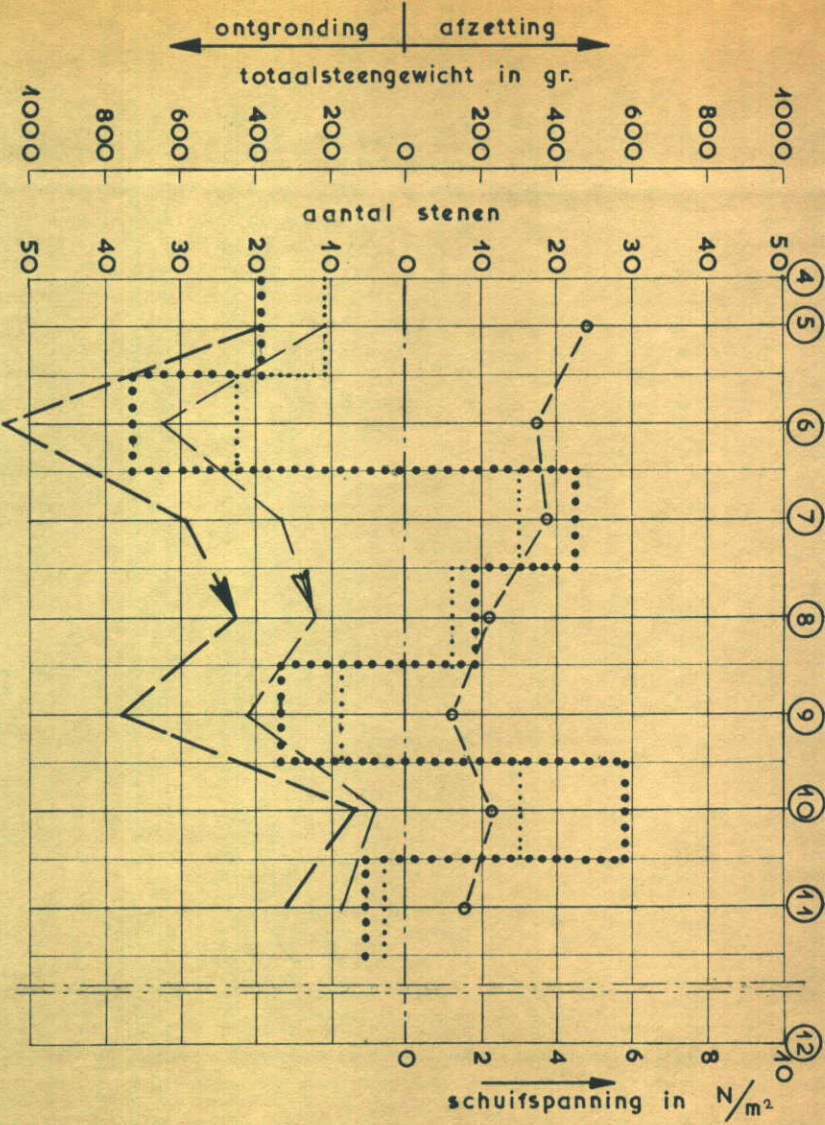
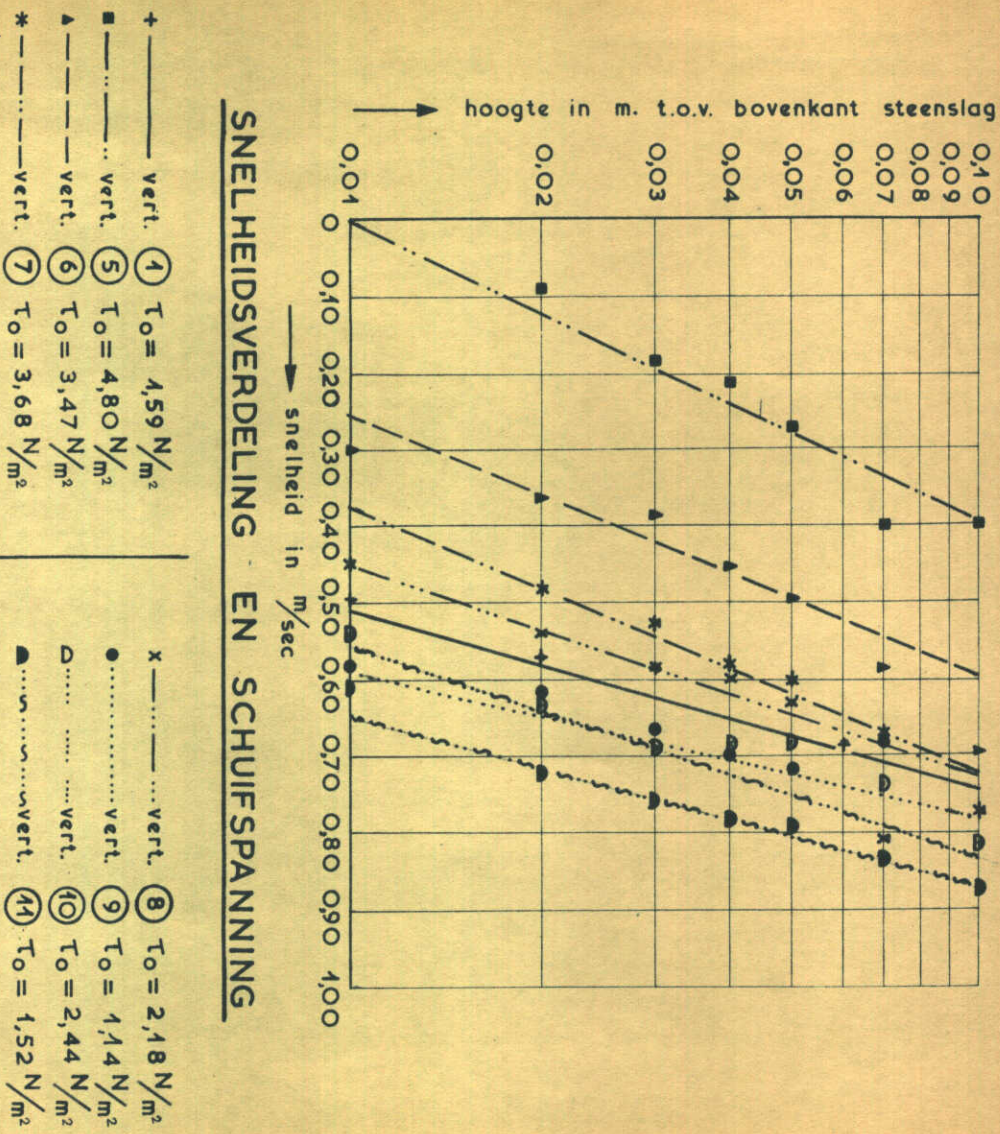
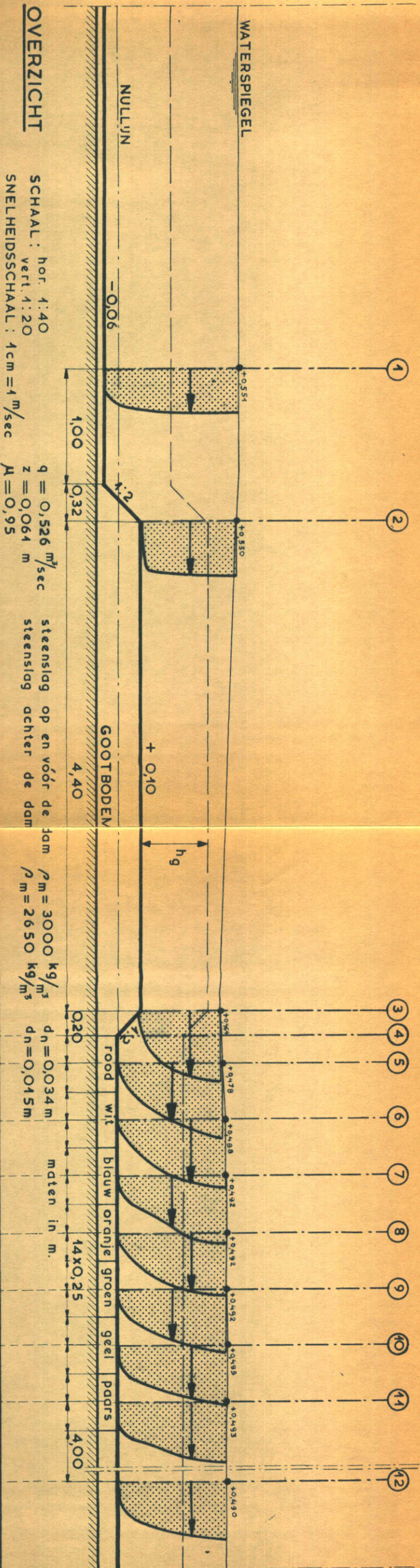
M. 711-DEEL IV

PROEFSERIE II

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

T 34

FIG. 81



VERLOOP EROOSIE EN SCHUIFSPANNING

bruto transport in richting en grootte (aantal stenen)

bruto transport in richting en grootte (totaal steengewicht)

netto transport (aantal stenen)

netto transport (totaal steengewicht)

schuifspanning

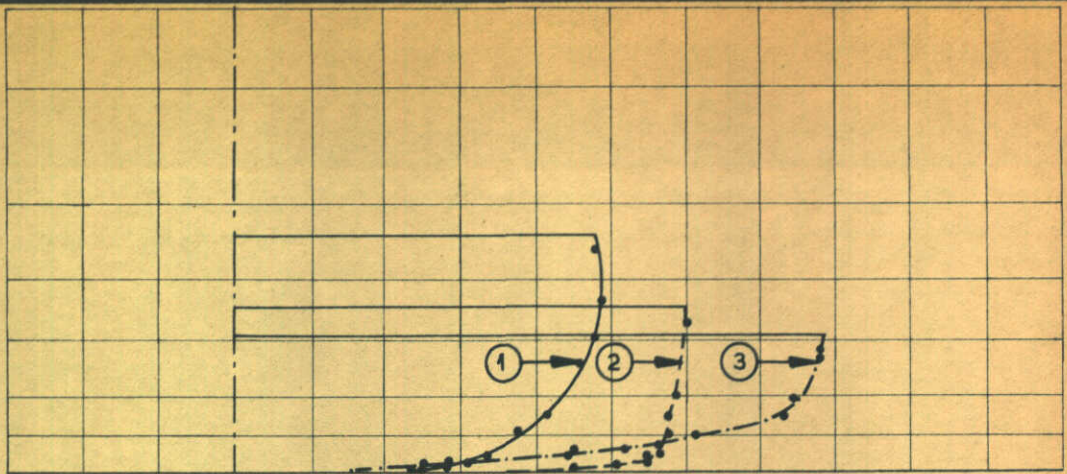
**SNELHEIDSVERDELING, WATERSTANDSVERLOOP,
 EROOSIE EN SCHUIFSPANNING.**

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

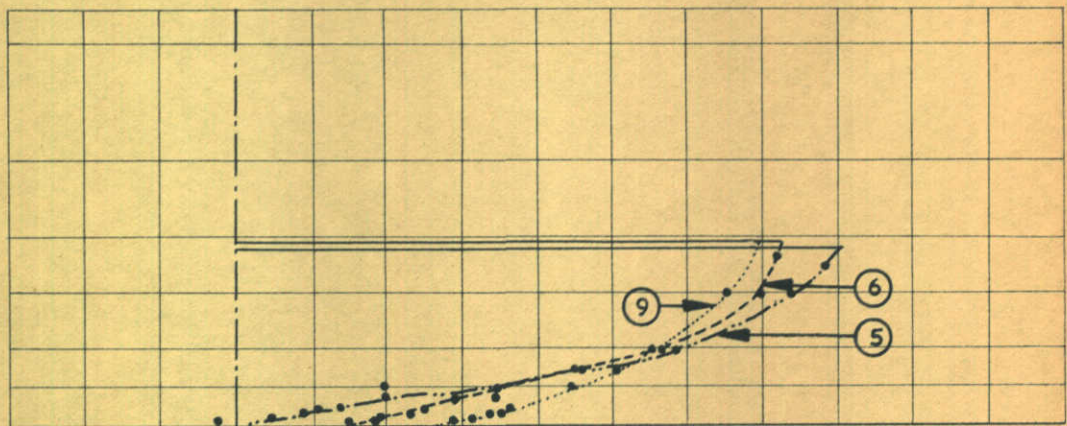
M. 711-DEEL IV
 PROEFSERIE II
 T 35 FIG. 82

hoogte in m t.o.v. bovenkant steenslag

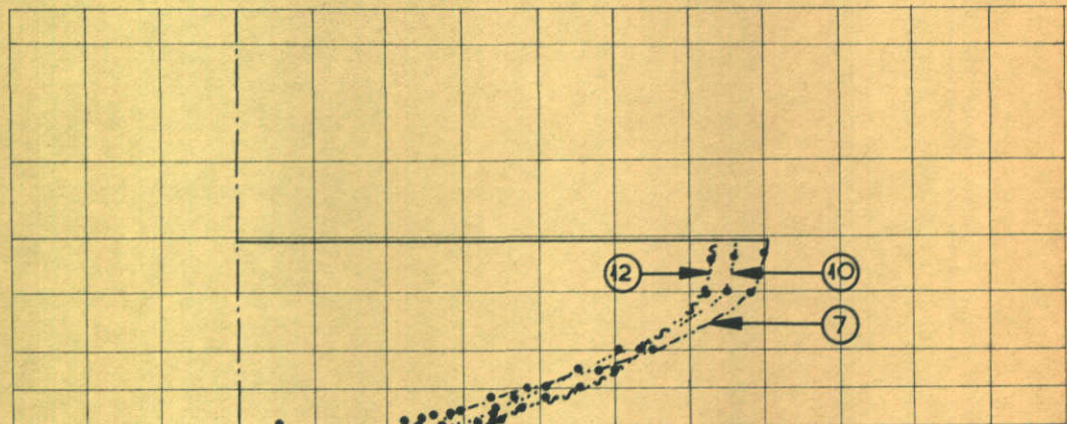
1,00
0,70
0,50
0,35
0,20
0,10
0



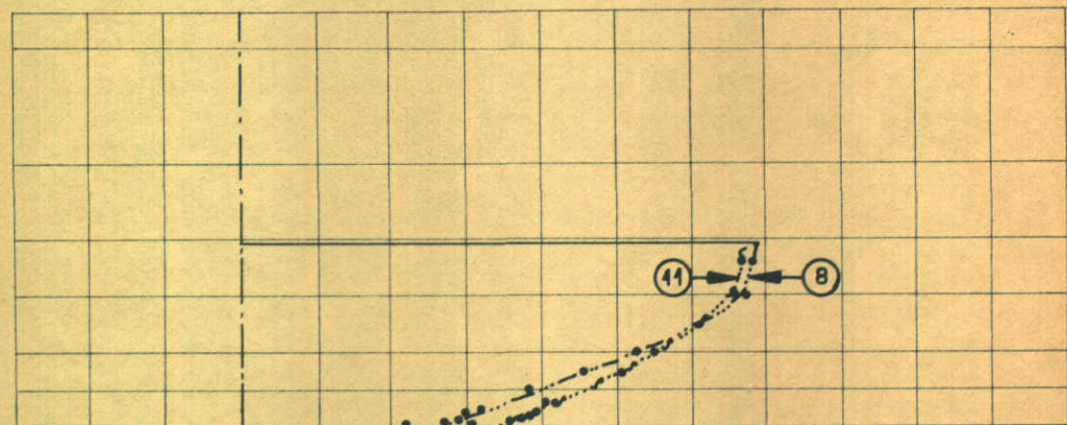
1,00
0,70
0,50
0,35
0,20
0,10
0



1,00
0,70
0,50
0,35
0,20
0,10
0



1,00
0,70
0,50
0,35
0,20
0,10
0



-0,40 0 0,40 0,80 1,20 1,60 2,00
snelheid in m/sec

SNELHEIDSVERTICALEN

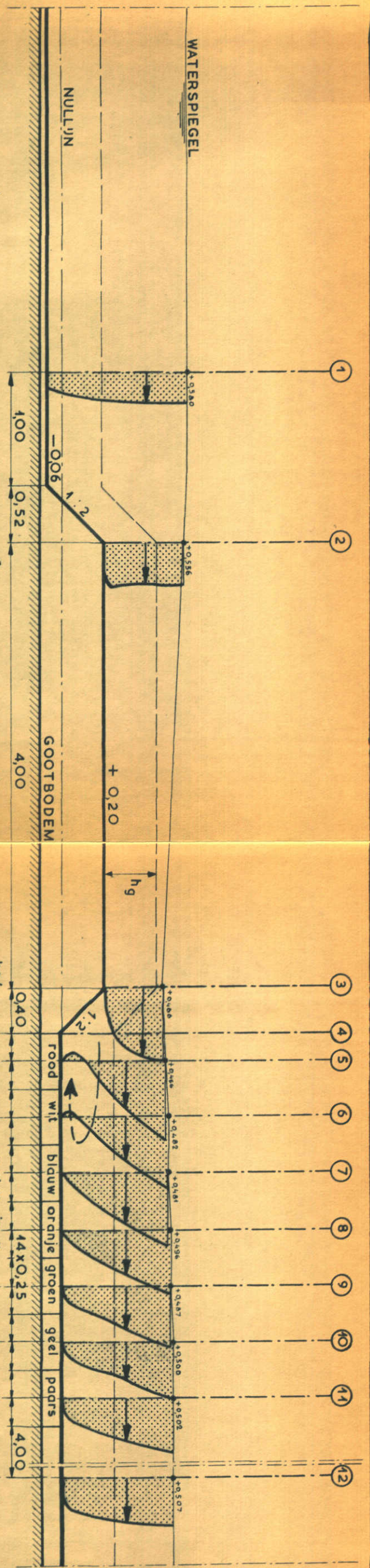
M. 711-DEEL IV

PROEFSERIE II

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

T 35

FIG. 83



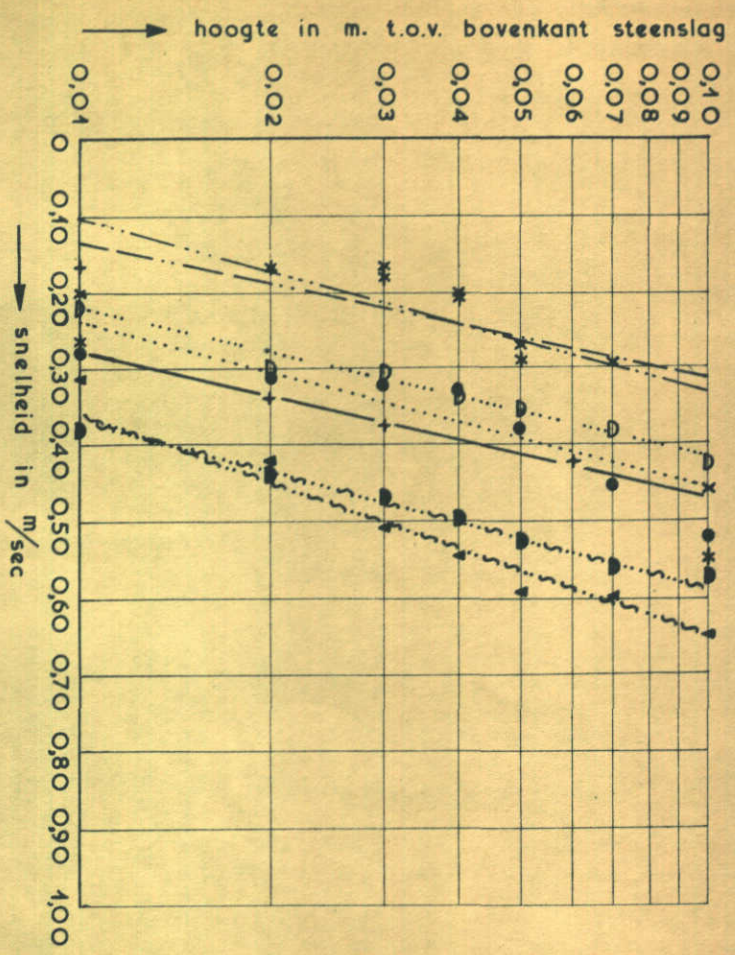
OVERZICHT

SCHAAL: hor. 1:40
 SNELHEIDSSCHAAL: 1cm = 4 m/sec

q = 0,380 m³/sec
 z = 0,073 m
 μ = 1,00

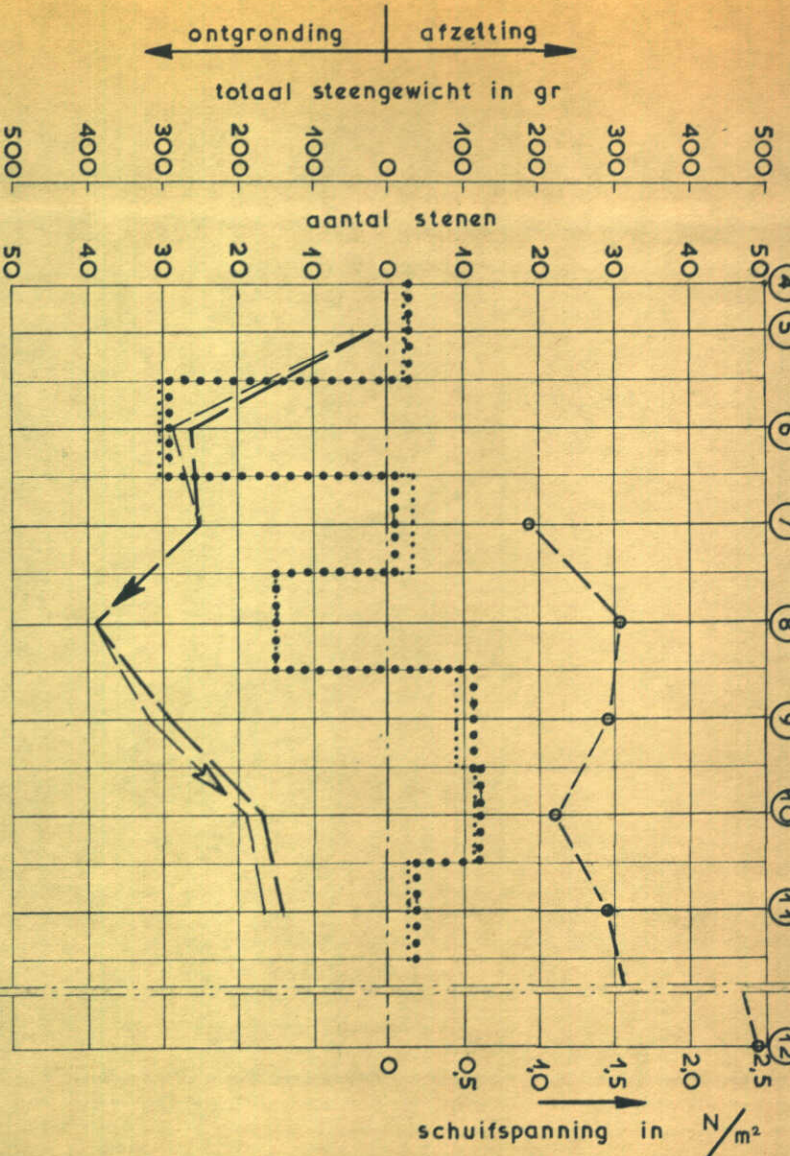
steenslag op en voor de dam
 steenslag achter de dam

$\rho_m = 3000 \text{ kg/m}^3$
 $\rho_m = 2650 \text{ kg/m}^3$
 $d_n = 0,034 \text{ m}$
 $d_n = 0,045 \text{ m}$



+ ————— vert. (1) $T_o = 4,08 \text{ N/m}^2$
 * ————— vert. (7) $T_o = 0,97 \text{ N/m}^2$
 x ————— vert. (8) $T_o = 4,52 \text{ N/m}^2$
 ● ————— vert. (9) $T_o = 4,45 \text{ N/m}^2$

○ ————— vert. (10) $T_o = 4,08 \text{ N/m}^2$
 ▲ ————— vert. (11) $T_o = 4,45 \text{ N/m}^2$
 ▼ ————— vert. (12) $T_o = 2,44 \text{ N/m}^2$



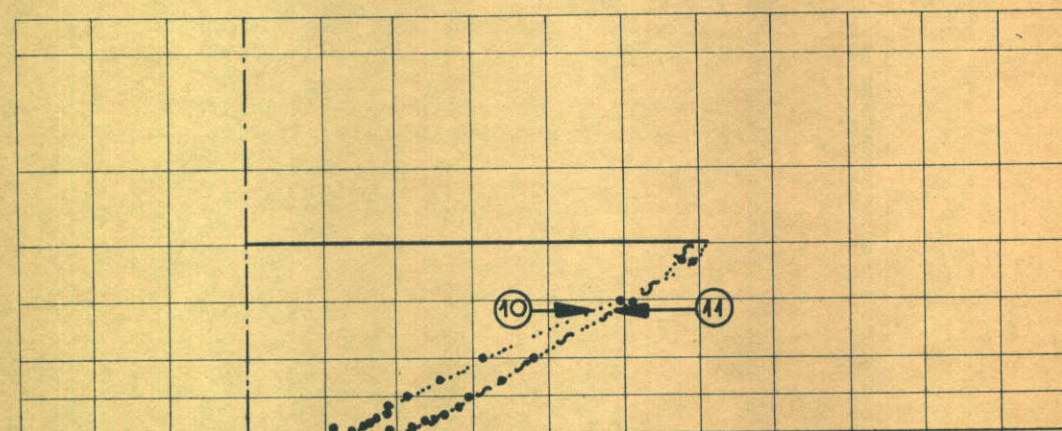
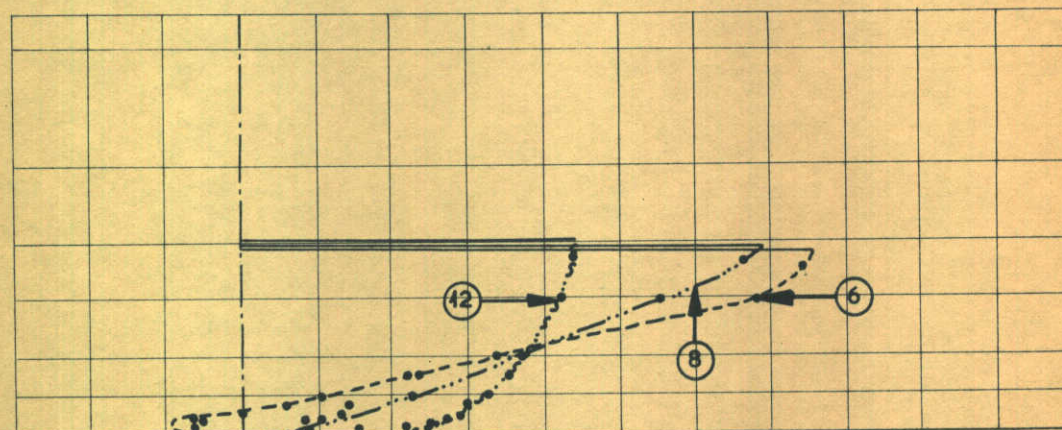
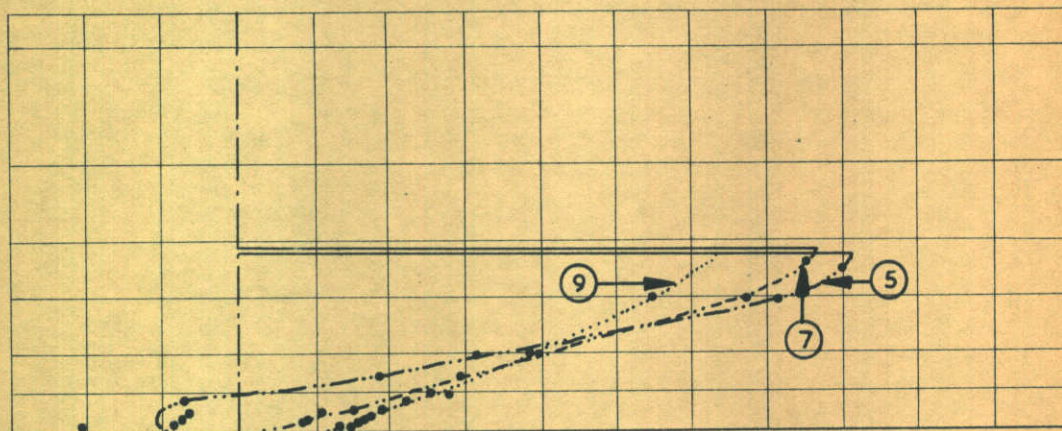
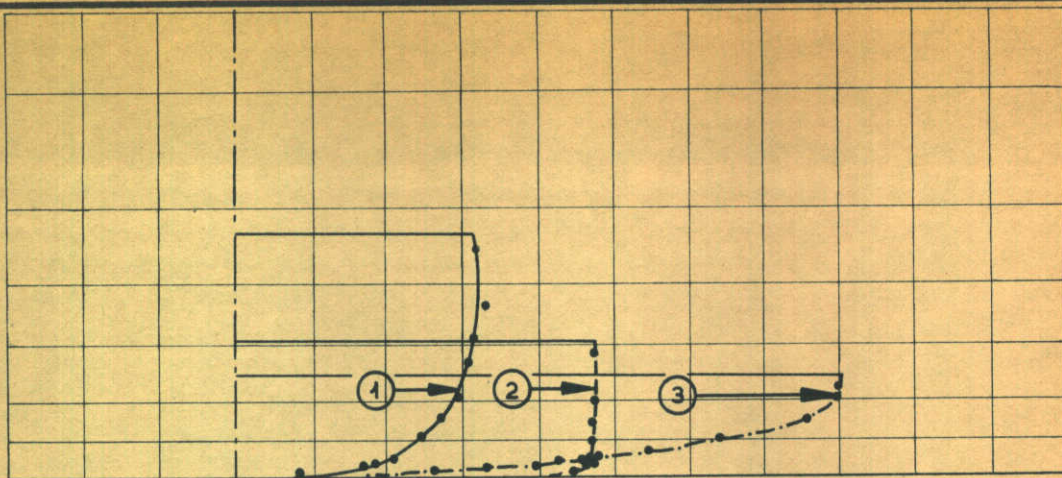
VERLOOP EROSIE EN SCHUIFSPANNING

→ } bruto transport in richting en grootte (aantal stenen)
 → } bruto transport in richting en grootte (totaal steengewicht)
 → } netto transport (aantal stenen)
 → } netto transport (totaal steengewicht)
 ○ } schuifspanning

M. 711-DEEL IV
PROEFSERIE II

hoogte in m t.o.v. bovenkant steenslag

1,00
0,70
0,50
0,35
0,20
0,10
0
1,00
0,70
0,50
0,35
0,20
0,10
0
1,00
0,70
0,50
0,35
0,20
0,10
0
1,00
0,70
0,50
0,35
0,20
0,10
0



-0,40 0 0,40 0,80 1,20 1,60 2,00
→ snelheid in m/sec

SNELHEIDSVERTICALEN

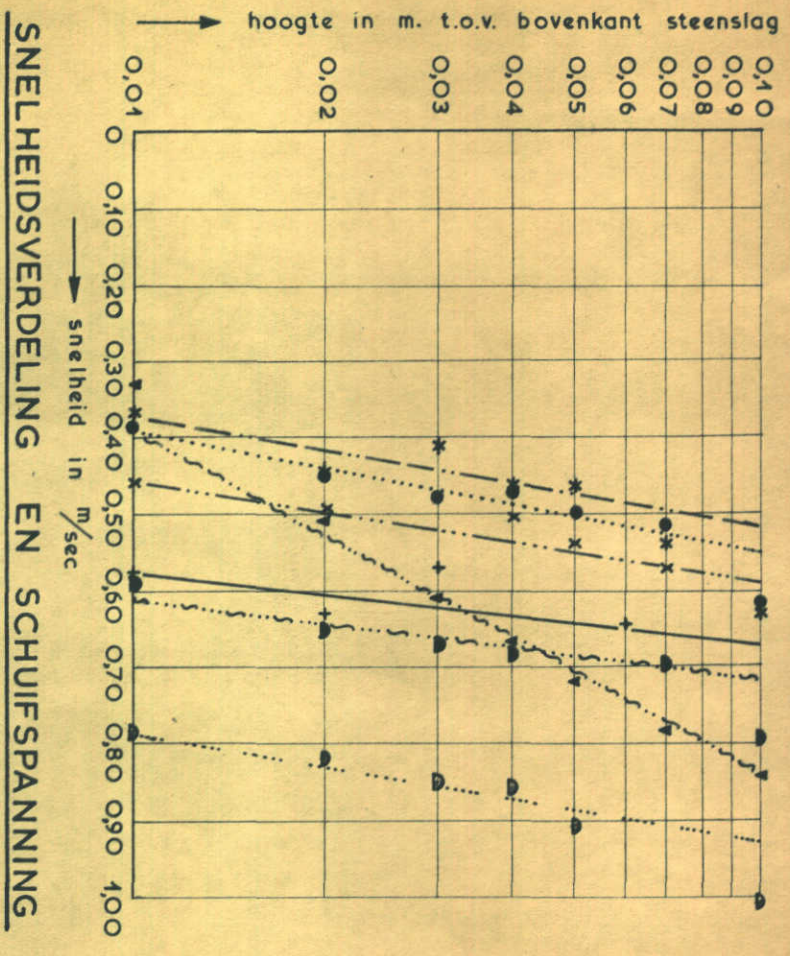
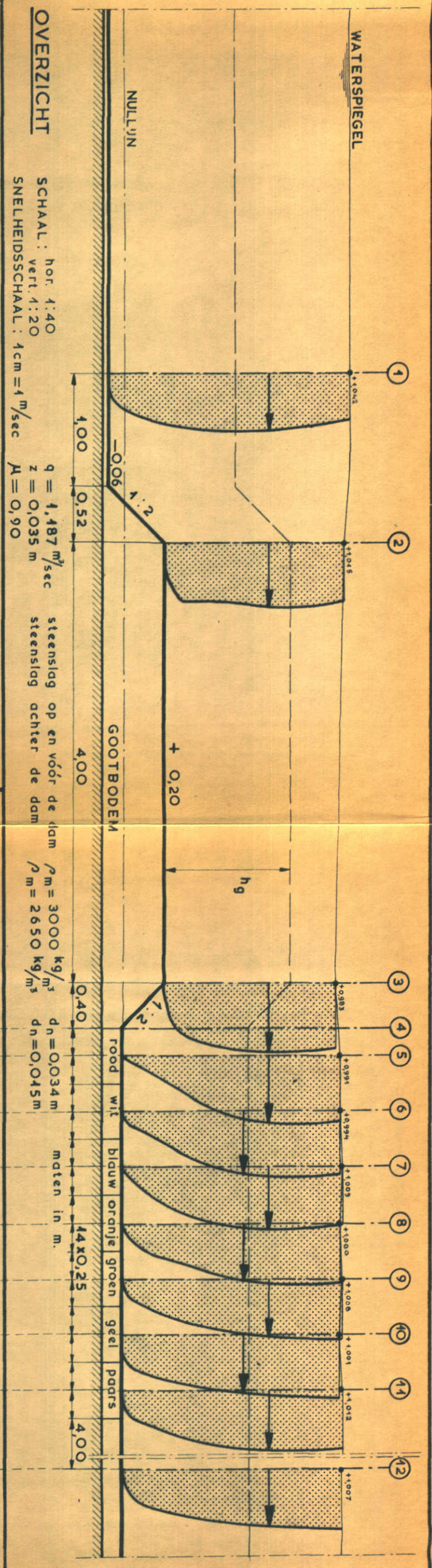
M. 711-DEEL IV

PROEFSERIE II

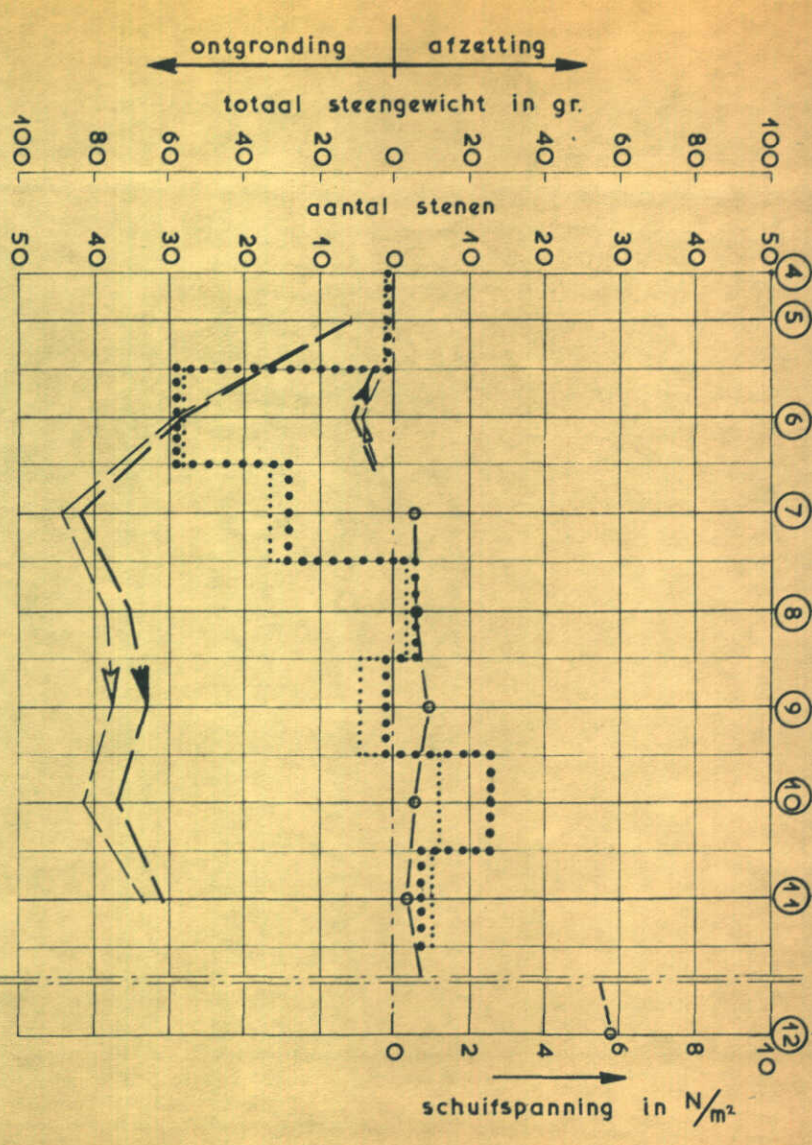
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

T 36

FIG. 85



- + ————— vert. ① $T_0 = 0,30 \text{ N/m}^2$
- * - - - - - vert. ⑦ $T_0 = 0,59 \text{ N/m}^2$
- x - - - - - vert. ⑧ $T_0 = 0,47 \text{ N/m}^2$
- ········· vert. ⑨ $T_0 = 0,82 \text{ N/m}^2$
- △ ········· vert. ⑩ $T_0 = 0,59 \text{ N/m}^2$
- ········· vert. ⑪ $T_0 = 0,33 \text{ N/m}^2$
- ▽ ········· vert. ⑫ $T_0 = 5,80 \text{ N/m}^2$



SNELHEIDSVERDELING, WATERSTANDSVERLOOP,
EROSIE EN SCHUIFSPANNING.

M. 711-DEEL IV
PROEFSERIE II

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

T 37 FIG. 86

bruto transport in richting en grootte (aantal stenen)

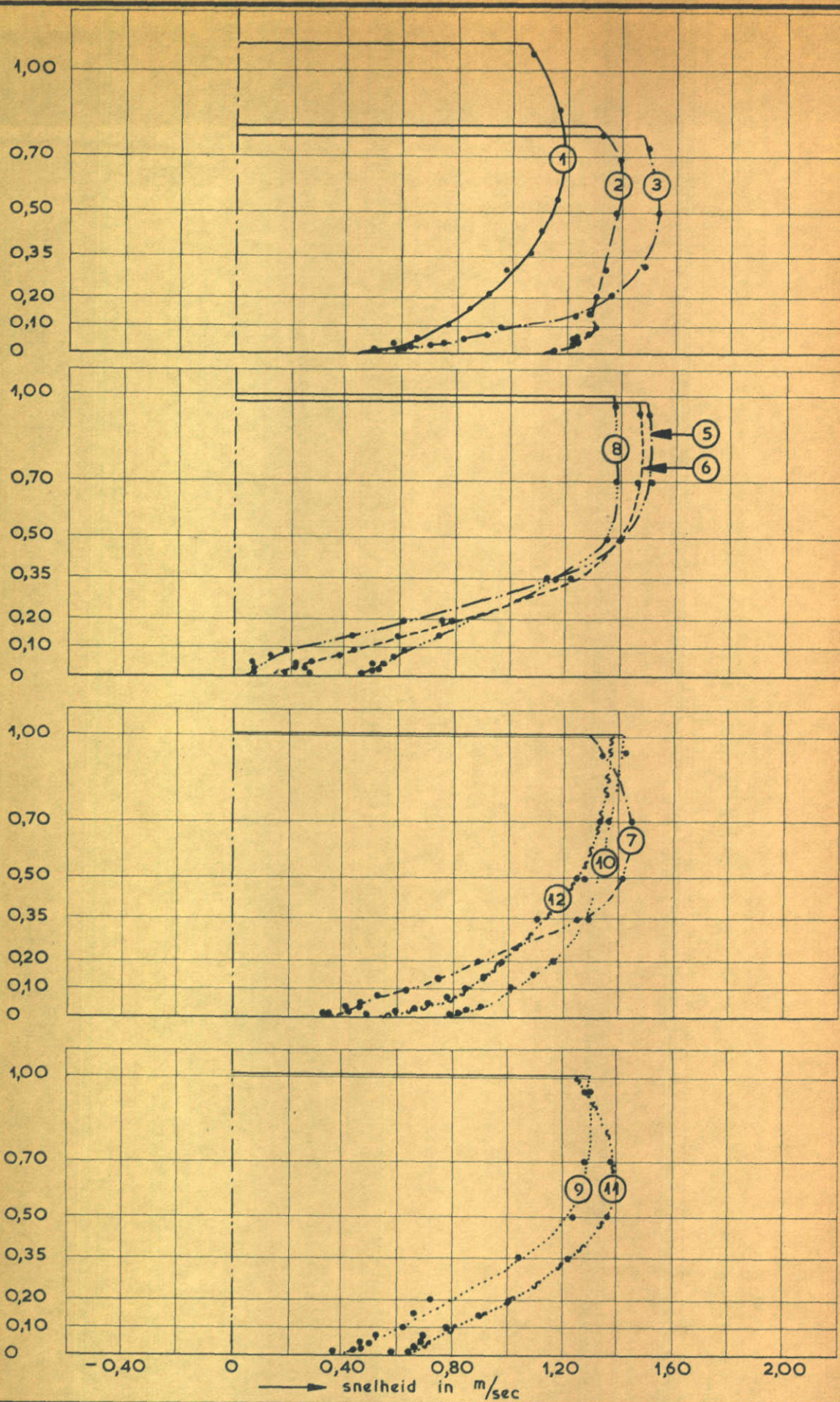
bruto transport in richting en grootte (totaal steengewicht)

netto transport (aantal stenen)

netto transport (totaal steengewicht)

schuifspanning

↑ hoogte in m t.o.v. bovenkant . steenslag



SNELHEIDSVERTICALEN

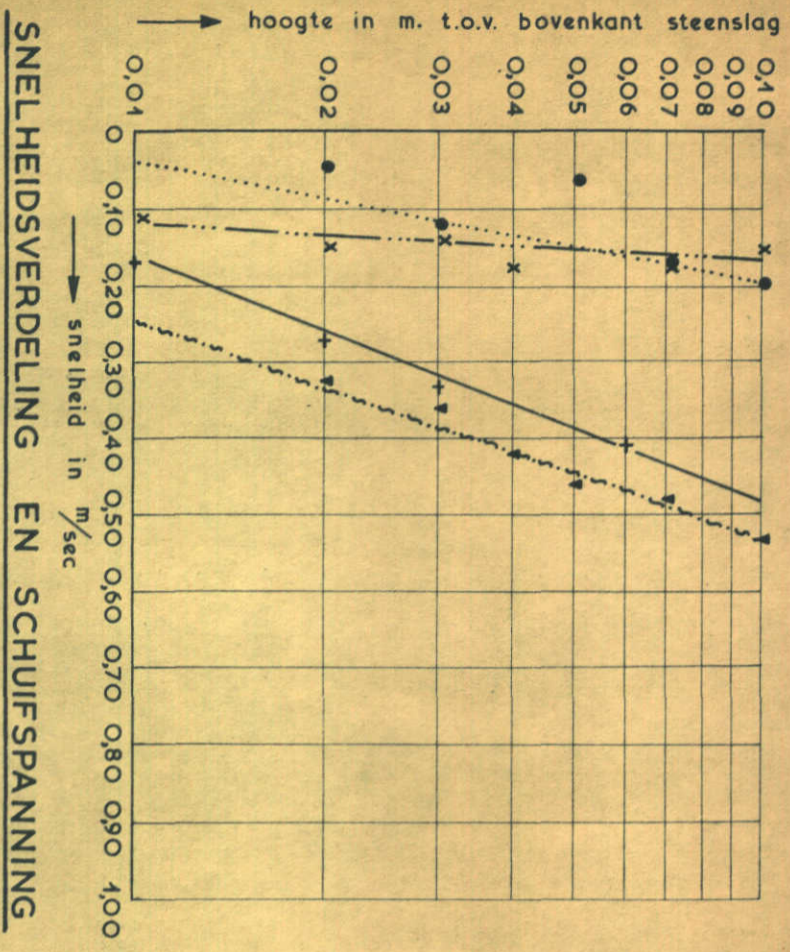
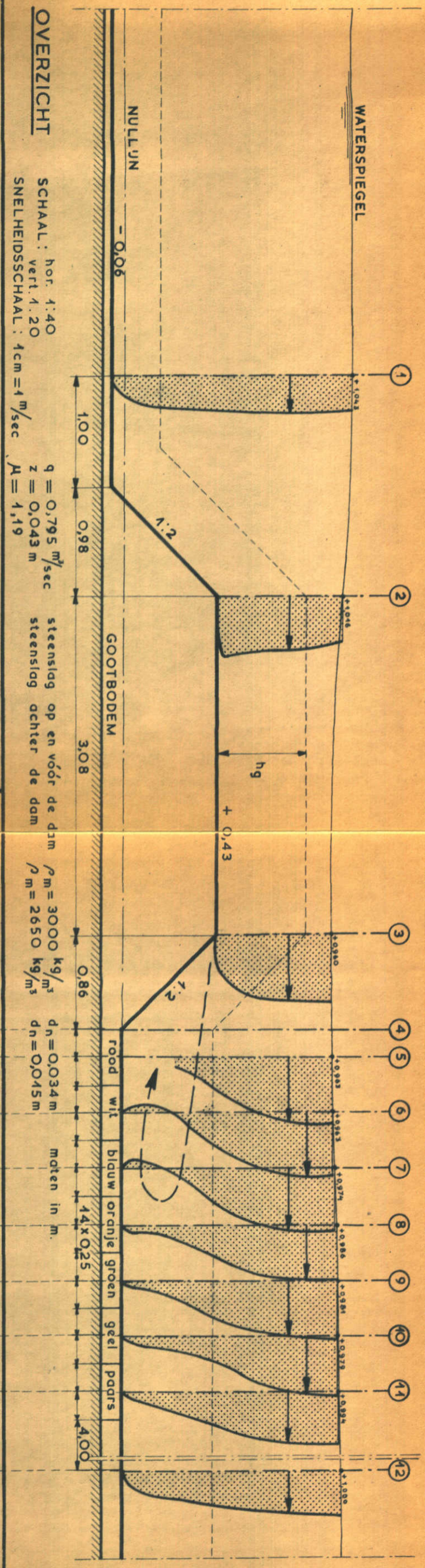
M. 711-DEEL IV

PROEFSERIE II

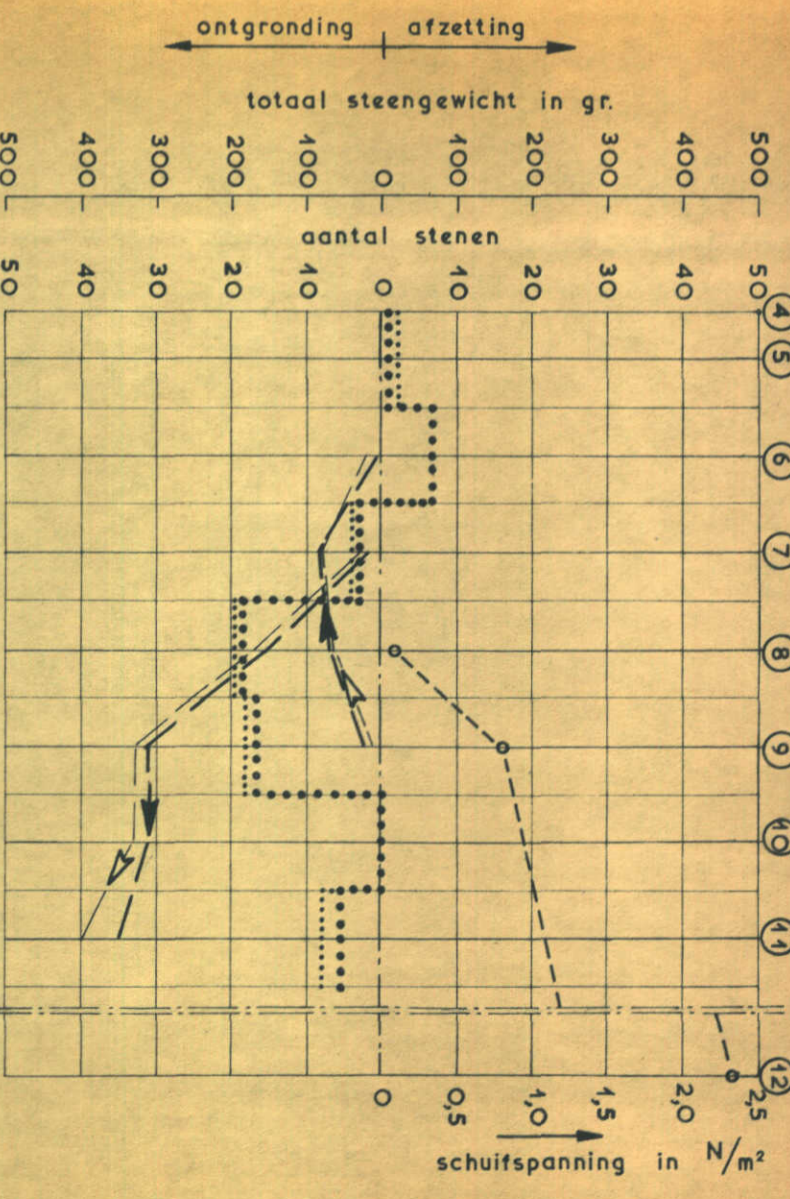
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

T 37

FIG. 87



- + ————— vert. ① $T_0 = 2,98 \text{ N/m}^2$
- x ————— vert. ⑧ $T_0 = 0,06 \text{ N/m}^2$
- vert. ⑨ $T_0 = 0,77 \text{ N/m}^2$
- vert. ⑫ $T_0 = 2,35 \text{ N/m}^2$



SNELHEIDSVERDELING, WATERSTANDSVERLOOP, EROSIE EN SCHUIFSPANNING.

M. 711-DEEL IV
 PROEFSERIE II

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

T 38 FIG. 88

VERLOOP EROSIE EN SCHUIFSPANNING

bruto transport in richting en grootte (aantal stenen)

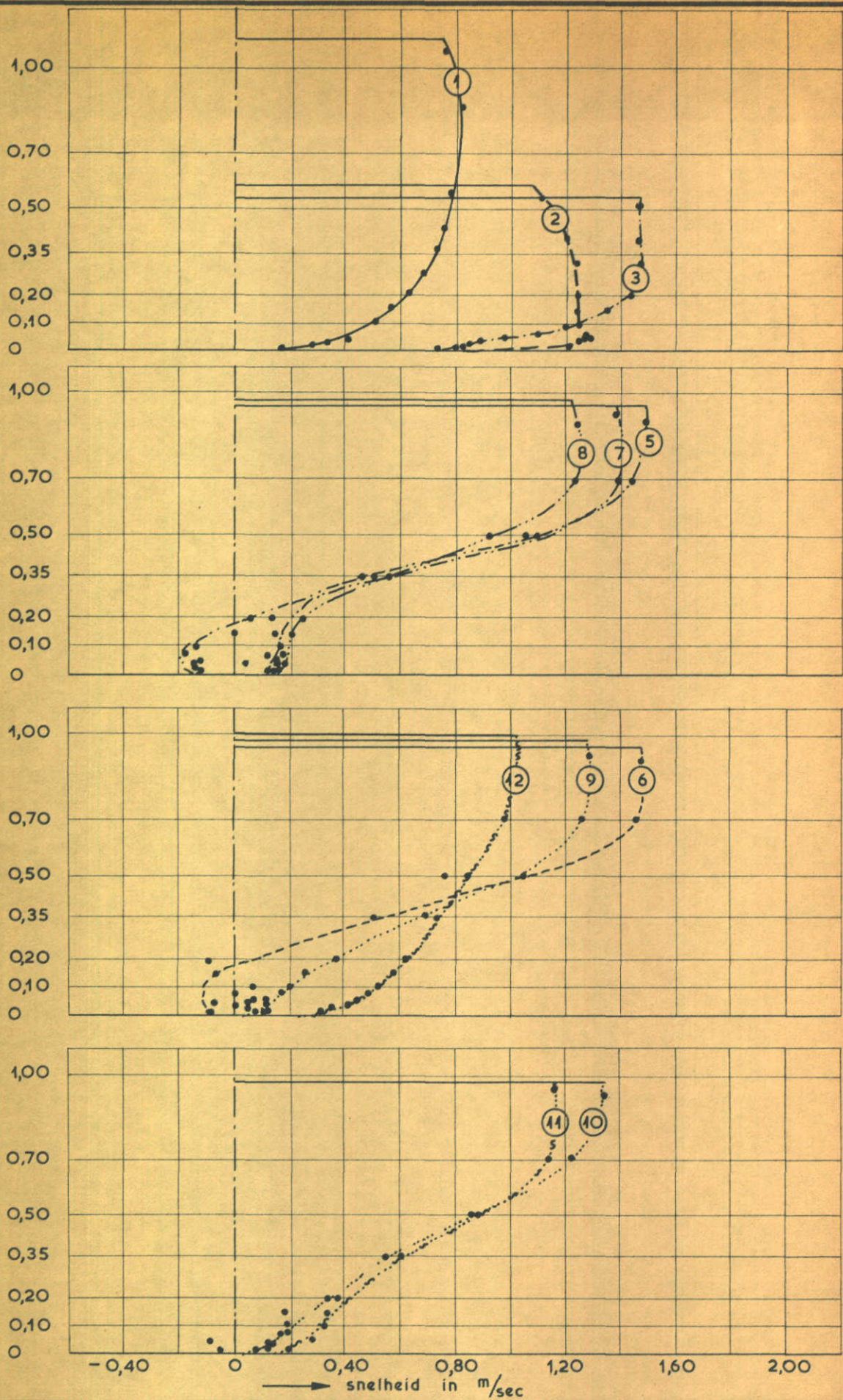
bruto transport in richting en grootte (totaal steengewicht)

netto transport (aantal stenen)

netto transport (totaal steengewicht)

schuifspanning

↑ hoogte in m t.o.v. bovenkant steenslag



SNELHEIDSVERTICALEN

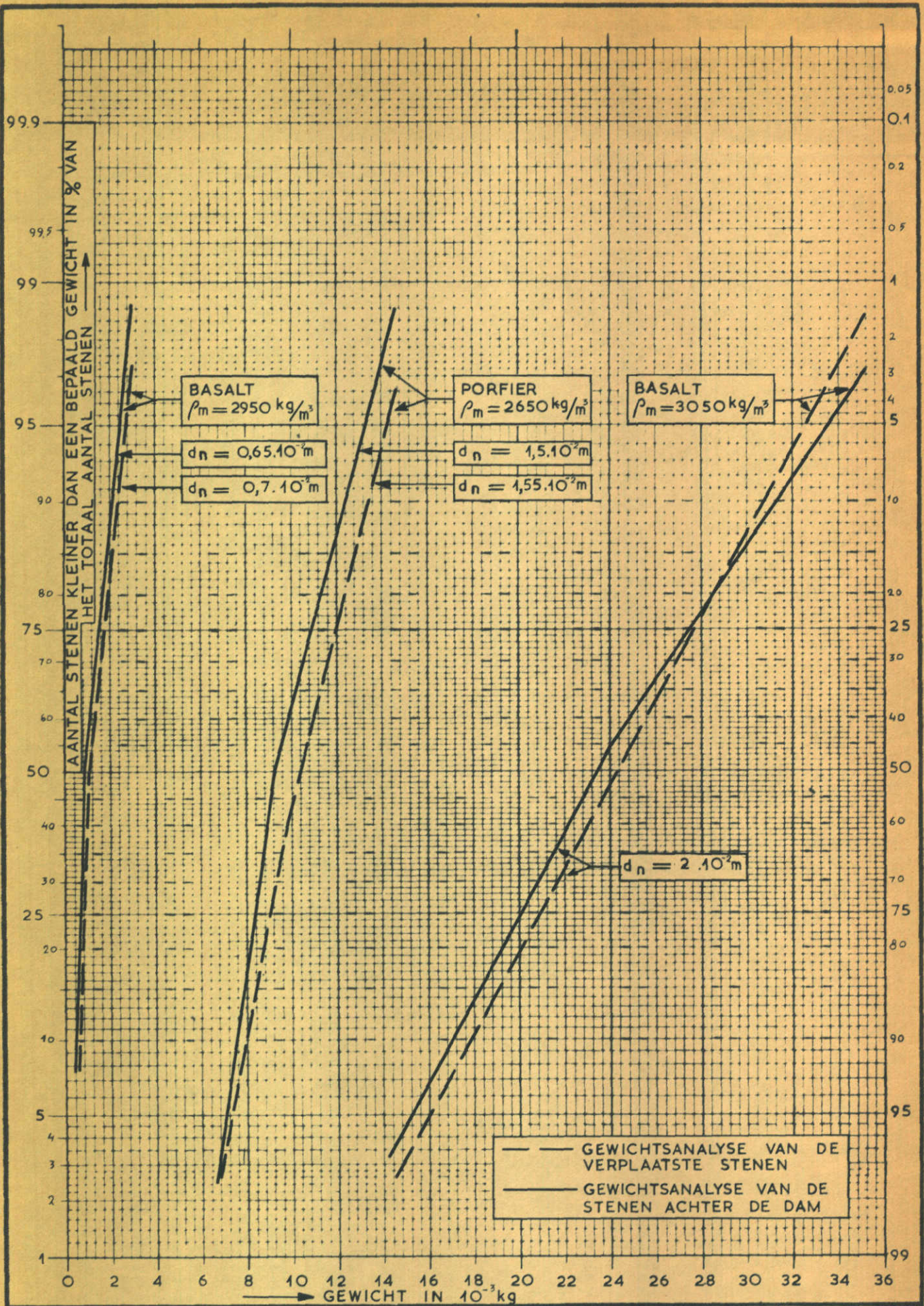
M. 711-DEEL IV

PROEFSERIE II

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

T 38

FIG. 89

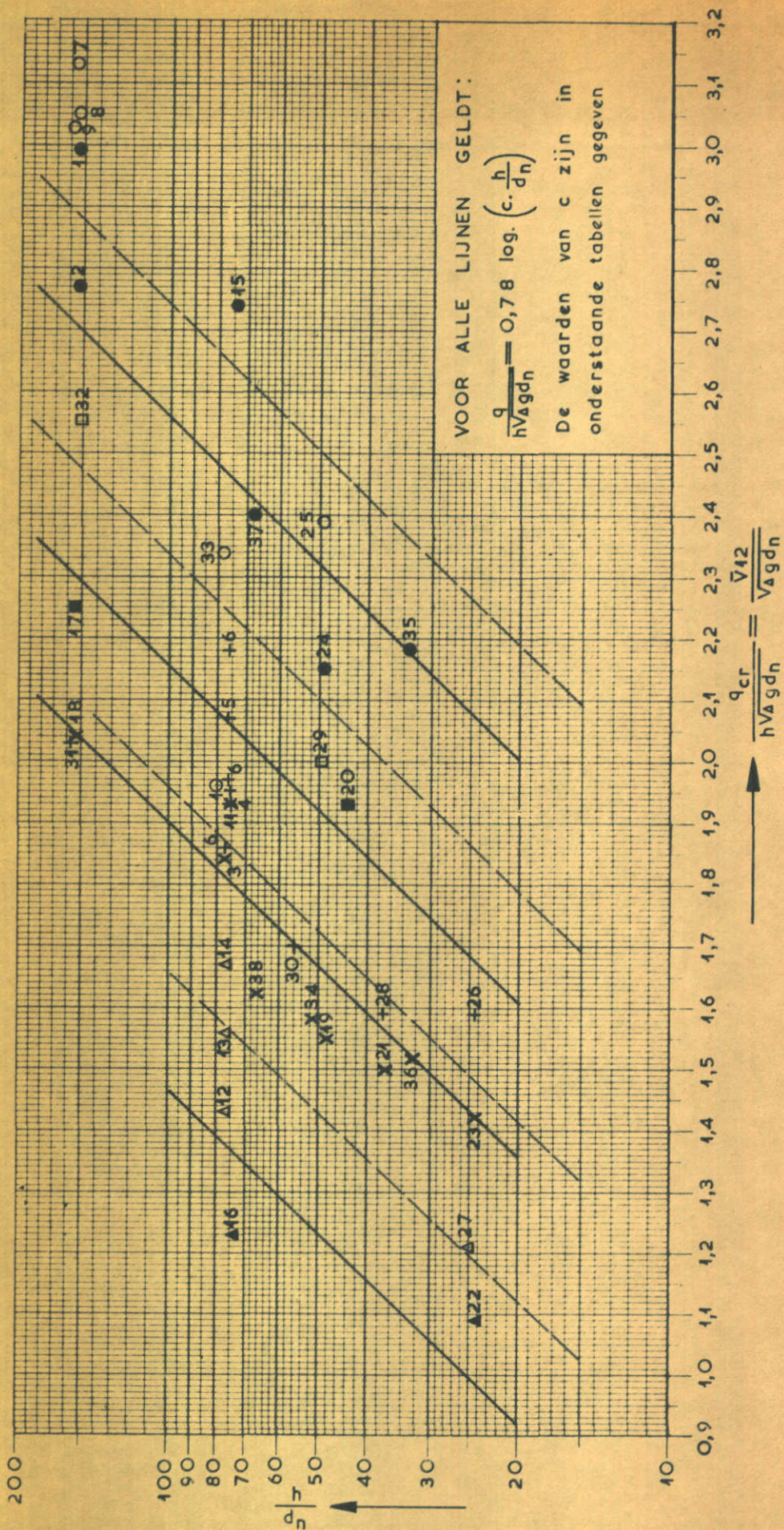


GEWICHTSANALYSE VAN DE VERPLAATSTE STENEN.

M. 711-DEEL IV

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

FIG. 90

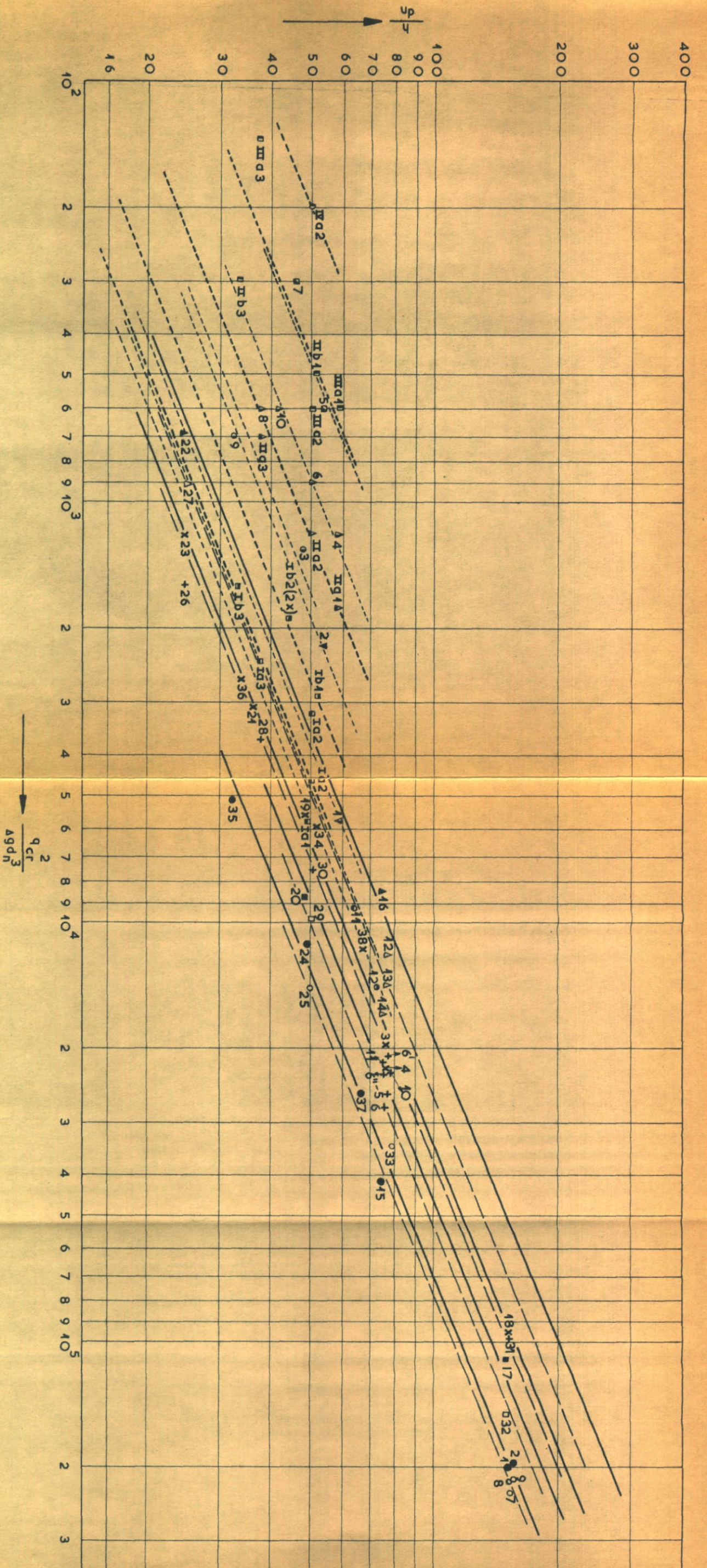


VOOR ALLE LIJNEN GELDT:
 $\frac{q_{cr}}{h\sqrt{\Delta g d_n}} = 0,78 \log \left(c \cdot \frac{h}{d_n} \right)$
 De waarden van c zijn in onderstaande tabellen gegeven

α	$\frac{h}{D}$	Δ	C
$\frac{1}{2}$	$\sim 1,67$	1,95 en 2,05	0,75
$\frac{1}{2}$	$\sim 2,5$	1,65; 1,95 en 2,05	2,7
$\frac{1}{8}$	$\sim 3,33$	1,95 en 2,05	5,75
$\frac{1}{8}$	$\sim 5,0$	1,65; 1,95 en 2,05	18,5

Symbol	α	$\frac{h}{D}$	Δ	C
▲	$\frac{1}{8}$	$\sim 1,67$	1,95 en 2,05	1,35
×	$\frac{1}{8}$	$\sim 2,5$	1,95 en 2,05	3,2
■	$\frac{1}{8}$	$\sim 3,33$	1,95 en 2,05	9,6
●	$\frac{1}{8}$	$\sim 5,0$	1,95 en 2,05	31,5

VERBAND TUSSEN $\frac{q_{cr}}{h\sqrt{\Delta g d_n}}$, $\frac{h}{d_n}$, $\frac{h}{D}$, α en Δ



M.744-IV

MATERIAAL	tg α	h/D	Δ
—	1/2	~4,67	1,95 en 2,05
x	1/2	~2,5	1,65; 1,95 en 2,05
■	1/2	~3,33	1,95 en 2,05
●	1/2	~5,0	1,65; 1,95 en 2,05

M.744-III

MATERIAAL	tg α	h/D	Δ
—	1/8	~4,67	1,95 en 2,05
+	1/8	~2,5	1,95 en 2,05
□	1/8	~3,33	1,95 en 2,05
○	1/8	~5,0	1,95 en 2,05

M.744-II

MATERIAAL	tg α	h/D	Δ
○	1/2 en 1/6	1,11	1,85
□	1/2 en 1/6	1,25	1,85
Δ	1/2 en 1/6	1,43	1,85
●	1/6	1,75	1,85
■	1/6	2,0	1,85

M.744-I

MATERIAAL	tg α	h/D	Δ
□	1/2	1,29	1,85
Δ	1/2	~1,43	1,85
○	1/2	1,6	1,85
▽	1/2	1,8	1,85
∇	1/2	2,0	1,85
●	1/2	2,2	1,85
○	1/2	2,48	1,85

VERBAND TUSSEN $\frac{q_{cr}^2}{\Delta g d_n^3} \cdot \frac{h}{d_n} \cdot \frac{h}{D} \cdot \text{tg } \alpha$ en Δ

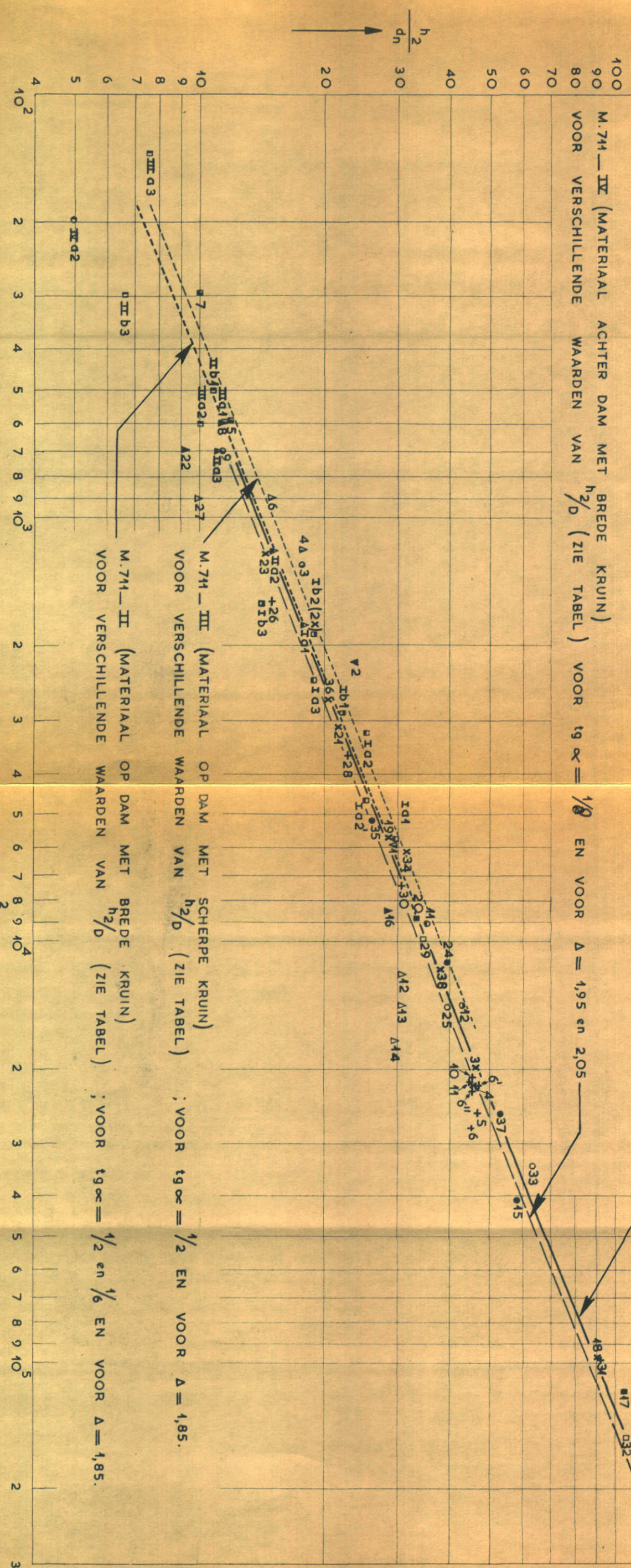
M.744-DEEL IV

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

FIG. 92

M.744-IV (MATERIAAL ACHTER DAM MET BREDE KRUIN)
 VOOR VERSCHILLENDE WAARDEN VAN $\frac{h^2}{D}$ (ZIE TABEL) VOOR $tg \alpha = \frac{1}{2}$ EN VOOR $\Delta = 1,65, 1,95$ EN $2,05$

M.744-IV (MATERIAAL ACHTER DAM MET BREDE KRUIN)
 VOOR VERSCHILLENDE WAARDEN VAN $\frac{h^2}{D}$ (ZIE TABEL) VOOR $tg \alpha = \frac{1}{8}$ EN VOOR $\Delta = 1,95$ EN $2,05$



M.744-IV

$tg \alpha$	$\frac{h^2}{D}$
$\frac{1}{2}$	$\sim 0,67$
$\frac{1}{2}$	$\sim 1,5$
$\frac{1}{2}$	$\sim 2,33$
$\frac{1}{2}$	~ 4

M.744-IV

$tg \alpha$	$\frac{h^2}{D}$
$\frac{1}{8}$	$\sim 0,67$
$\frac{1}{8}$	$\sim 1,5$
$\frac{1}{8}$	$\sim 2,33$
$\frac{1}{8}$	~ 4

M.744-II

$tg \alpha$	$\frac{h^2}{D}$
$\frac{1}{2}$ en $\frac{1}{6}$	0,11
$\frac{1}{2}$ en $\frac{1}{6}$	0,25
$\frac{1}{2}$ en $\frac{1}{6}$	0,43
$\frac{1}{6}$	0,75
$\frac{1}{6}$	1,0

M.744-III

$tg \alpha$	$\frac{h^2}{D}$
$\frac{1}{2}$	0,29
$\frac{1}{2}$	0,43
$\frac{1}{2}$	0,6
$\frac{1}{2}$	0,8
$\frac{1}{2}$	1,0
$\frac{1}{2}$	1,2
$\frac{1}{2}$	1,48

VERBAND TUSSEN $\frac{q_{cr}^2}{\Delta g d^3}$, $\frac{h^2}{dn}$, $\frac{h^2}{D}$, $tg \alpha$ EN Δ

M.744-DEEL IV

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

FIG. 93

STEENSOORT	BASALT				BASALT			
	d_{50} [m]	$0,65 \cdot 10^{-2}$ m	$2,0 \cdot 10^{-2}$ m					
h/D (dimensieloos)	τ_{42} [N/m^2]	$\bar{\tau}_{42}$ [N/m^2]	τ_{kr} [N/m^2]	τ_{42} [N/m^2]	$\bar{\tau}_{42}$ [N/m^2]	τ_{kr} [N/m^2]	τ_{42} [N/m^2]	τ_{kr} [N/m^2]
5	2,7 (T1)	3,41	7,5	6,5 (T24)	6,5	23		
	2,52 (T2)							
	4,10 (T15)							
3,3	4,59 (T17)	4,59	7,5					
	1,03 (T3)							
2,5	4,44 (T4)	1,07	7,5	4,56 (T19) 5,16 (T21) 2,53 (T23)	4,08	23		
	0,97 (T18)							
	4,44 (T34)							
1,66	0,59 (T16)	0,59	7,5	2,1 (T22)	2,1	23		

τ_{42} = DE GROOTTE VAN DE SCHUIFPANNING TER PLAATSE VAN VERTICAAL 42 OP HET MOMENT DAT DE STENEN ACHTER DE DAM BEGINNEN TE BEWEGEN.

τ_{cr} = DE SCHUIFPANNING WAARBIJ MATERIAAL GELEGEN OP EEN HORIZONTALE BODEM BEGINT TE BEWEGEN (ONTLEEND AAN M.598—V).

WAARDEN VAN τ_{42} VOOR $tg \alpha = 1/2$

M. 711 — DEEL IV

WAARDEN VAN τ_{12} VOOR $\text{tg } \alpha = 1/8$

M. 711 - DEEL IV

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

FIG. 95

STEENSOORT	BASALT			BASALT		
	d_n [m]	$0,65 \cdot 10^{-2}$ m	$2,0 \cdot 10^{-2}$ m	τ_{12} [N/m ²]	τ_{kr} [N/m ²]	$\bar{\tau}_{12}$ [N/m ²]
h/D (dimensieloos)						
5	4,4 (T7)	3,4	7,5	6,95 (T25)	23	
	3,67 (T8)					
	2,88 (T9)					
	2,96 (T33)					
3,3	2,26 (T32)	2,26	7,5	4,8 (T29)	23	
	1,39 (T5)					
	1,45 (T6)					
	2,35 (T10)					
2,5	4,66 (T41)	1,69	7,5	4,5 (T26) 4,3 (T28) 4,2 (T30)	23	4,33
	4,59 (T31)					
	0,77 (T12)					
	4,03 (T13)					
1,66	0,82 (T14)	0,87	7,5	2,95 (T27)	23	2,95

τ_{12} = DE GROOTTE VAN DE SCHUIFSPANNING TER PLAATSE VAN VERTICAAL 12 OP HET MOMENT DAT DE STENEN ACHTER DE DAM BEGINNEN TE BEWEGEN.

τ_{cr} = DE SCHUIFSPANNING WAARBIJ MATERIAAL GELEGEN OP EEN HORIZONTALE BODEM BEGINT TE BEWEGEN (ONTLEEND AAN M. 598—X).

