

SYSTEMATISCH ONDERZOEK
BODEMBESCHERMING

III

INVLOED GEOMETRIE EN AARD VAN DE VERDEDIGING
BIJ DRIEDIMENSIONALE ONTGRONDINGEN

RAPPORT MODELONDERZOEK

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
DELFT

M 847 - III

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

SYSTEMATISCH ONDERZOEK BODEMBESCHERMING

III

Invloed geometrie en aard van de verdediging
bij driedimensionale ontgroningen

Rapport Modelonderzoek

M 847 - III

april 1972

INHOUD

	blz.
1. <u>INLEIDING</u>	1.
2. <u>BESCHRIJVING VAN DE PROEVEN</u>	2.
3. <u>OVERZICHT VAN DE ONDERZOCHE SITUATIES</u>	4.
4. <u>RESULTATEN VAN HET ONDERZOEK</u>	6.
<u>4.1. Algemene beschouwing van de ontgroning</u>	6.
<u>4.2. Tijd - ontgrondingslijnen</u>	7.
4.2.1. Algemeen	7.
4.2.2. Invloed damhoogte, verdedigingslengte en ruwheid op α	9.
<u>4.3. Aanzethellingen, kuilvormen en dwarsdoorsneden</u>	10.
4.3.1. Algemeen	10.
4.3.2. Invloed damhoogte, verdedigingslengte en ruwheid op $\cotg \beta$	10.
<u>4.4. Snelheidsverdelingen</u>	11.
5. <u>SAMENVATTING EN CONCLUSIES</u>	13.

FIGUREN (vervolg)

- 25.a-d - idem - DOV1G
- 26.a-d - idem - D1V1G
- 27.a-d - idem - D2V1G
- 28.a-d - idem - DOV2G
- 29.a-d - idem - D1V2G
- 30.a-d - idem - D2V2G
- 31.a-d - idem - DOV1R
- 32.a-d - idem - D1V1R
- 33.a-d - idem - D2V1R
- 34.a-d - idem - DOV2R
- 35.a-d - idem - D1V2R
- 36.a-d - idem - D2V2R
- 37.a-b - idem - DOV4G/DOV4R
- 38.a-e - idem - D1V4G/D1V4R
- 39.a-e - idem - D2V4G/D2V4R
- 40. Langs- en dwarsdoorsnede in wervelstraatkuil
- 41. Invloed damhoogte en verdedigingslengte op α
- 42. Invloed damhoogte en ruwheid op α
- 43. Invloed damhoogte en verdedigingslengte op $\cotg \beta$
- 44. Invloed damhoogte en ruwheid op $\cotg \beta$

1. INLEIDING

Naast het ontgrondingsonderzoek dat was gericht op het bestuderen van de ontgrondingen in twee-dimensionale situaties bestaande uit een onder water gelegen drempel met aansluitende bodemverdediging, ontstond de behoefte het onderzoek uit te breiden naar stroomomstandigheden met drie-dimensionaal karakter, waarbij ook wervelstraten een rol spelen. Immers, toepassing van de resultaten van het twee-dimensionale onderzoek op specifiek modelonderzoek was slechts in beperkte mate mogelijk, daar in de praktijk het twee-dimensionale geval zelden in zuivere vorm voorkomt.

Op grond hiervan werd door de Waterloopkundige Afdeling van de Deltadienst van de Rijkswaterstaat in brief no. 10894 dd. 10 december 1964 aan het Waterloopkundig Laboratorium opdracht gegeven tot het verrichten van een drie-dimensionaal ontgrondingsonderzoek dat evenals het twee-dimensionale onderzoek een tweeledig doel had, namelijk enerzijds het verkrijgen van gegevens waaraan ontwerpcriteria konden worden ontleend (M 847 - systematisch onderzoek bodembescherming) en anderzijds de toetsing en eventuele uitbreiding van de reeds gevonden schaalrelaties (M 863/M648 - systematisch ontgrondingsonderzoek - schaalproeven). De vraagstelling bij het drie-dimensionale onderzoek was met betrekking tot de stabiliteit van de constructie van de bodembescherming geheel dezelfde als bij het twee-dimensionale, namelijk:

- hoe groot wordt de uitschuring van de onverdedigde bodem en hoe snel komt deze tot stand;
- hoe steil wordt de aanzethelling van de ontstane ontgrondingskuil;
- wat voor verdediging moet worden aangebracht.

De resultaten van het drie-dimensionale ontgrondingsonderzoek met betrekking tot de invloed van bodembeschermingen zijn vastgelegd in dit rapport, dat werd samengesteld door R. Adihardjo.

2. BESCHRIJVING VAN DE PROEVEN

Evenals het twee-dimensionale onderzoek werd het drie-dimensionale onderzoek uitgevoerd onder de volgende condities:

- als verdedigingsvorm werd een horizontale bodembescherming toegepast,
- de ontgrondingen werden ter vereenvoudiging bij permanente stroom beschouwd,
- bovenstroomse toevoer van het ontgrondingsmateriaal werd achterwege gelaten.

Onderzocht werd de invloed van een korte, dwars op de stroom staande constructie en van de daardoor veroorzaakte wervelstraat op de ontgrondingen. De modelopstelling (zie figuur 1) was in principe analoog aan de twee-dimensionale opstelling met dit verschil dat bij het drie-dimensionale model een verticaal schotje over een gedeelte van de breedte van de goot aanwezig was. De lengte van deze verticale uitbouw bedroeg 0,1 maal de gootbreedte. De breedte van de goot bedroeg 20 maal de waterdiepte ($B = 20 h_0$). Lengte en ruwheid van de verdediging die over gelijke afstanden boven- en benedenstrooms van het verticale schot werd aangebracht werden gevarieerd ($L = 5, 10, 15$ en $20 h_0$; $k = 0, 0,025$ en $0,05 h_0$). De damhoogte werd eveneens gevarieerd ($D = 0, 0,3$ en $0,6 h_0$).

Het ontgrondingsonderzoek werd deels in het laboratorium Delft en deels in het laboratorium de Voorst uitgevoerd met respectievelijk polystyreenkorrels en duinzand als bodemmateriaal.

In het laboratorium Delft werd het ingestelde debiet bepaald uit het drukverschil tussen binnen- en buitenzijde van een bochtstuk in het leidingsysteem, en in het laboratorium de Voorst met behulp van automatische romijnstuwen. De waterdiepte h_0 werd gemeten vanaf de bodem aan het einde van de verdediging met behulp van een peilnaald.

Aanvankelijk werden de ontgrondingen met de hand gepeild. Deze methode bleek echter voor het omvangrijke meetprogramma zo arbeidsintensief en tijdrovend, dat het verantwoord werd geoordeeld over te gaan tot de aanschaf van automatische meetapparatuur (echoloodinstallatie). Met behulp van het echolood dat bevestigd was aan een meetwagen die horizontaal en evenwijdig aan de gootas langs rails kon worden voortbewogen werden de ontgrondingen gemeten op vaste raaien vanaf het einde van de verdediging op $x = 0,4, 0,8, 1,2, 1,6, 2,4, 3,2, 4,0, 5,2, 6,4, 8, 10, 12, 14$ en 16 maal de waterdiepte. In elk dwarsraai werden 19 punten

opgenomen op onderlinge afstanden gelijk aan h_0 . Een printapparaat dat aan het echolood verbonden was gaf in een dwarsraai deze gepeilde punten in getalvorm weer. Aan het einde van de proef werden op zo goed mogelijk gekozen punten op het einde van de verdediging ($x = 0$) snelheidsverticalen en de bijbehorende verdeling van de turbulentie intensiteit met behulp van een micromolen en analoge computer bepaald. Teneinde de invloed van de stroomsnelheid op het ontgrondingsproces na te gaan, werd bij elke situatie gestroomd met verschillende debieten.

3. OVERZICHT VAN DE ONDERZOCHE SITUATIES

Een samenvattend overzicht van de onderzochte situaties is gegeven in tabel A. De codering van de situaties heeft achtereenvolgens betrekking op de gootbreedte (F, D), damhoogte (0, 1, 2), verticale uitbouw (V), verdedigingslengte (1, 2, 3, 4), verdedigingsruwheid (G, M, R) en gemiddelde stroomsnelheid (in cm/s). De codering werd als volgt gegeven:

F 0 V 1 G 10
 (D) 1 2 (M) waarin:
 2 3 (R)
 4

F, D = de gootbreedte van respectievelijk $B = 2,5$ en 5 m, met waterdiepten van respectievelijk $h_0 = 12,5$ en 25 cm.

0, 1, 2 = damhoogte $D = 0, 0,3$ en $0,6 h_0$

V = verticale uitbouw met een breedte van $2 h_0$

1, 2, 3, 4 = verdedigingslengte $L = 5, 10, 15$ en $20 h_0$

G, M, R = verdedigingsruwheid $k = 0, 0,025$ en $0,05 h_0$ uitgedrukt in respectievelijk glad, matig-ruw en ruw

10 = stroomsnelheid $\bar{U} = \frac{Q}{Bh_0} = 10$ cm/s (afhankelijk van de situatie gevarieerd van 4 tot 18 cm/s voor polystyreen en 36 cm/s voor zand).

TABEL A

Situatie	B (m)	h_0 (m)	$\frac{D}{h_0}$	$\frac{L}{h_0}$	$\frac{k}{h_0}$	Bodemmateriaal
FOV1M	2,5	0,125	0	5	0,025	polystyreen
F1V1M	"	"	0,3	"	"	$d_{50} = 1600 \mu\text{m}$
F2V1M	"	"	0,6	"	"	$\rho = 1050 \text{ kg/m}^3$
FOV2M	"	"	0	10	"	
F1V2M	"	"	0,3	"	"	
F2V2M	"	"	0,6	"	"	
FOV3M	"	"	0	15	"	
FOV4M	"	"	0	20	"	
F1V4M	"	"	0,3	"	"	
F2V4M	"	"	0,6	"	"	

TABEL A (vervolg)

Situatie	B (m)	h_o (m)	$\frac{D}{h_o}$	$\frac{L}{h_o}$	$\frac{k}{h_o}$	Bodemmateriaal
D0V1G	5	0,25	0	5	0	polystyreen
D1V1G	"	"	0,3	"	"	
D2V1G	"	"	0,6	"	"	
D0V2G	"	"	0	10	"	
D1V2G	"	"	0,3	"	"	
D2V2G	"	"	0,6	"	"	
D0V4G	"	"	0	20	"	Zand
D1V4G	"	"	0,3	"	"	$d_{50} = 200 \mu\text{m}$
D2V4G	"	"	0,6	"	"	$\rho = 2650 \text{ kg/m}^3$
D0V1R	"	"	0	5	0,05	polystyreen
D1V1R	"	"	0,3	"	"	
D2V1R	"	"	0,6	"	"	
D0V2R	"	"	0	10	"	
D1V2R	"	"	0,3	"	"	
D2V2R	"	"	0,6	"	"	
D0V4R	"	"	0	20	"	Zand
D1V4R	"	"	0,3	"	"	
D2V4R	"	"	0,6	"	"	

4. RESULTATEN VAN HET ONDERZOEK

4.1. Algemene beschouwing van de ontgroning

Het ontgrondingsbeeld, dat bij de toegepaste geometrieën optrad, zag er in principe als volgt uit: aan de zijde van het verticale schot een geprononceerde kuil, naar de zijwand begrensd door een steil oplopende rug (in de meeste gevallen onder een helling van ca 1:2) en naar het midden overgaand in wat flauwere uitschuringen van het type tweedimensionale ontgrondingen.

Het ontstaan van de opvallende ontgrondingskuil benedenstrooms van het schot hield duidelijk verband met de sterk eroderende werking van de door het schot opgewekte wervelstraat. De plaats van deze wervelstraatkuil varieerde met de geometrie; naarmate de damhoogte toenam, verschoof de kuil meer naar het midden van de goot. De afstand (x_{\max}) tussen het einde van de verdediging en de maximale kuildiepte (h_{\max}) nam enigszins af bij toenemende damhoogte en nam iets toe bij toenemende verdedigingslengte. Een korte afstand x_{\max} werd gevonden bij de situatie met een hoge dam ($D = 0,6 h_0$), korte verdedigingslengte ($L = 5 h_0$) en gladde verdediging. De vorm of omvang van de ontgrondingskuil hield duidelijk verband met de aard van de aanstroming, zoals bleek uit de kortere en bredere kuil die optrad bij een gladde aanstroming en de langgerekte en smallere kuil bij een ruwe aanstroming.

Zowel de vorm van de ontgrondingskuil als het tempo van het ontgrondingsproces werden in belangrijke mate bepaald door de geometrie, en door de aard van de verdediging. Uit de ontgrondingsbeelden kan worden afgeleid dat het locale ontgrondingsproces ter plaatse van de wervelstraatkuil veel sneller verliep dan bij het gedeelte met een tweedimensionaal karakter. De evenwichtstoestand van de aanzethellingen direct achter de verdediging werd daarbij sneller bereikt. Opgemerkt dient te worden dat de aanzethellingen vooral in het gebied van de wervelstraatkuil in dwarsrichting van plaats tot plaats verschillend waren en dat bij een aantal situaties met onder andere ruwe verdediging zonder dam en met lage dam, discontinuïteit bij de overgang verdediging - onverdedigde bodemmateriaal optrad. Dit is weergegeven in figuur 40 waarin de dwars- en langsdoorsneden over het diepste punt van de kuil en over het punt waar de discontinuïteit optrad zijn gegeven, aangeduid met respectievelijk kuil 1 en kuil 2. In dwarsdoorsnede was de helling van kuil 1 gelijk aan die van kuil 2 en bedroeg ca 1:2 (\approx natuurlijk talud), terwijl in langsdoorsnede de helling van

kuil 2 groter was dan die van kuil 1. Het onderlinge verschil was echter niet bijzonder groot. Meer naar het midden van de goot waren de aanzethellingen ten opzichte van de voornoemde aanzethellingen in het algemeen kleiner, dat wil zeggen minder steil.

Voor de bestudering van de stabiliteit van de bodembeschermingen of de afsluitwerken lijkt het daarom nuttig de aandacht te concentreren op de wervelstraatkuil die als meest kenmerkend element van de drie-dimensionale ontgrondingen kan worden beschouwd. Voor de vergelijking van de invloed van de geometrie en aard van de verdediging op de ontgrondingen werd in dit verband dan ook gebruik gemaakt van de meest kenmerkende grootheden voor de ontgrondingen in het gebied van de wervelstraat. Hiervoor werden gekozen het tempo van het ontgrondingsproces, uitgedrukt in de coëfficiënt α en de vorm van de kuil uitgedrukt in de grootheid $\cotg \beta$ die de grootte van de aanzethelling van de kuil in de doorsnede over het diepste punt h_{\max} aangeeft.

4.2. Tijd - ontgrondingslijnen

4.2.1. Algemeen

De ontwikkeling van de wervelstraatkuil is voor een aantal situaties door middel van momentopnamen in langs- en dwarsdoorsneden over het diepste punt van de kuil weergegeven in de figuren 2, 3 en 4. Uit de figuren is te zien, dat de plaats van h_{\max} zich zowel in de lengterichting als in de dwarsrichting van de goot verplaatst, waarbij de beschreven baan ongeveer de stroomrichting volgt. De toename van de maximale ontgrondingsdiepte h_{\max} blijkt met het voortschrijden van het proces steeds langzamer te verlopen, zoals ook bij de twee-dimensionale ontgroning werd geconstateerd. Voor de bestudering van het verband tussen h_{\max} en t werden deze grootheden voor het drie-dimensionale onderzoek in de geest van het twee-dimensionale onderzoek uitgezet op dubbellogaritmisch papier. In het schaalonderzoek (M 863) werd de relatie $h_{\max} - t$ volgens een exponentieel verband:

$$h_{\max}/h_0 = (t/t_1)^\lambda \dots (1)$$
geanalyseerd, terwijl daarnaast de toepasbaarheid van het logaritmische verband : $h_{\max}/h_0 = 1 + A \log t/t_1$ (2) werd onderzocht. Uit de analyse bleek dat met beide relaties een deel van het ontgrondingsproces beschreven kon worden, waarbij in het algemeen voor kleinere ontgrondingsdiepten ($h_{\max} < 0,5 h_0$) het exponentiële verband

beter voldeed en voor grotere het logaritmische verband. Tevens bleek dat de exponent λ en de coëfficiënt A redelijk onafhankelijk waren van debiet, gootafmetingen en bodemmateriaal. Dit houdt in dat ook bij drie-dimensionale ontgrondingen definitie van een tijdschaal mogelijk is en dat de grootheid t_1 ook in dit geval een bruikbare parameter is om als vergelijkingsbasis te dienen voor ontgrondingsprocessen onder uiteenlopende condities.

De exponent λ en de coëfficiënt A echter blijken afhankelijk te zijn van de geometrie. Dit betekent dat de betrekking (1) of (2) pas op een willekeurige drie-dimensionale geometrie kan worden toegepast nadat daarvoor eerst een ontgrondingsproef is uitgevoerd en daaruit de grootte van λ respectievelijk A is afgeleid. Is echter de ontgrondingsproef uitgevoerd dan is daarmee in feite de relatie $h_{\max} - t$ reeds in grafische vorm gevonden, zodat aan analytische uitdrukking voor de tijd-ontgrondingsrelatie nauwelijks meer behoefte bestaat.

Op grond van deze beweegredenen is bij het drie-dimensionale onderzoek afgezien van een nader uitgewerkte analytische formulering voor de relatie tussen h_{\max} en t_1 en werd in het vervolg eenvoudigweg gesteld: $h_{\max}/h_0 = f(t/t_1)$ (3) waarin f voor elke geometrie afzonderlijk experimenteel moet worden bepaald en in grafische vorm kan worden vastgelegd, de zogenaamde standaard tijd-ontgrondingslijnen. Deze zijn voor de verschillende geometrieën (situaties) gegeven in de figuren 5 t/m 14. Uit de figuren blijkt dat de bodemruwheid geen invloed heeft op de vorm van de tijd-ontgrondingslijnen, terwijl de damhoogte en de lengte van de verdediging wel degelijk invloed hebben. De tijd-ontgrondingslijnen worden steiler naarmate de damhoogte toeneemt en worden flauwer bij toenemende verdedigingslengte. Opgemerkt dient te worden dat deze verschillen in vorm niet bijzonder groot zijn.

Met behulp van de gevonden standaard tijd-ontgrondingslijnen werden de t_1 waarden voor de verschillende series proeven bepaald. Uit het schaalonderzoek M 863 blijkt dat zowel voor de twee-dimensionale als de drie-dimensionale ontgrondingen gebruik kan worden gemaakt van de relatie:

$$t_1 = 250 \Delta^{1,7} h_0^2 (\alpha \bar{U} - U_{kr})^{-4,3} \dots (4) \text{ waarin:}$$

t_1 = de tijd waarvoor $h_{\max} = h_0$, uitgedrukt in uren

$\Delta = \frac{\rho_m - \rho_w}{\rho_w}$ = de relatieve dichtheid van het ontgrondingsmateriaal

h_0 = de oorspronkelijke waterdiepte in m

\bar{U} = de ingestelde stroomsnelheid = $\frac{Q}{Bh_0}$ in m/s

U_{kr} = de kritieke snelheid van het bodemmateriaal in m/s
 α = de coëfficiënt als maat voor de invloed van de geometrie

De waarden van α , waarin de invloed van de geometrie bovenstrooms op de ontgronding wordt uitgedrukt, zijn uit relatie (4) bepaald. Deze waarden blijken per geometrie inderdaad van dezelfde orde van grootte te zijn, zodat hieruit kan worden geconcludeerd dat ook bij drie-dimensionale ontgrondingen de stroomsnelheid, zoals te verwachten was, geen invloed heeft op de waarde van α .

Een overzicht van de waarden van t_1 en α is gegeven in de tabellen I, II en III voor respectievelijk matig-ruwe, gladde en ruwe verdedigingen.

4.2.2. Invloed damhoogte, verdedigingslengte en ruwheid op α

De invloed van de geometrie op de ontgrondingsnelheid komt tot uiting in de getalwaarde van α , die mede de grootte van de ontgrondings-tijd t_1 bepaalt. Een grotere waarde van α impliceert een kleinere waarde van t_1 dus kortere ontgrondingstijd of grotere ontgrondingsnelheid. Het verloop van α als functie van de geometrie en aard van de verdediging is gegeven in de figuren 41 en 42. Uit de figuren kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

1. het verloop van α met de verdedigingslengte L voor de 3 damhoogten en de 3 ruwheden geeft onderling dezelfde tendens te zien: α neemt af bij toenemende verdedigingslengte.
2. Het verloop van α met de damhoogte D voor gladde, matig-ruwe en ruwe verdediging geeft ook onderling dezelfde tendens te zien. Voor kortere verdedigingslengte ($L = 5 h_0$) neemt α snel toe bij toenemende damhoogte. De toename wordt steeds langzamer naarmate de verdedigingslengte toeneemt.
3. De matig-ruwe en ruwe verdediging hebben voor de kortere verdedigingslengte ongeveer dezelfde α waarden. Dit is niet het geval bij $L=20 h_0$ waarin $\alpha_{\text{matig-ruw}} > \alpha_{\text{ruw}}$. In het algemeen geldt:

$$\alpha_{\text{glad}} > \alpha_{\text{matig-ruw}} \approx \alpha_{\text{ruw}}$$

4.3. Aanzethellingen, kuilvormen en dwarsdoorsneden

4.3.1. Algemeen

Al vrij spoedig na het op gang komen van het ontgrondingsproces werd in de meeste gevallen in het meest bovenstroomse gedeelte van de wervelstraatkuil een evenwichtssituatie bereikt, waarbij de aanzethelling zich stabiliseerde. De plaats van h_{\max} in de wervelstraatkuil echter verplaatste zich zoals eerder werd besproken, tijdens het ontgrondingsproces zowel in lengte- als in dwarsrichting van de stroomgoot. De plaats van de wervelstraatkuil varieerde met de geometrie; bij toenemende damhoogte verschoof de kuil meer naar het midden van de goot. Ook de vorm of omvang van de kuil bleek afhankelijk te zijn van de geometrie en de ruwheid van de verdediging. Tevens bleek dat bij drie-dimensionale ontgrondingen de aanzethelling van punt tot punt in dwarsrichting veranderde.

De stabiliteit van de bodembeschermingen, en in het bijzonder de invloed van de geometrie en de aard van de verdediging daarop, werd beoordeeld door een nadere beschouwing van de wervelstraatkuil. Als karakteristieke grootte is hiertoe ingevoerd $\cotg \beta$, waarmee de steilheid van de aanzethelling van de langsdoorsnede ter plaatse van het diepste punt van de kuil wordt aangegeven. De langs- en dwarsdoorsneden over het diepste punt zijn voor de verschillende situaties gegeven in de figuren 15^c t/m 39^c. De waarden van $\cotg \beta$ en de grootte van de steilste hellingen in de dwarsdoorsneden, uitgedrukt in $\cotg \gamma$, zijn gegeven in de tabellen I, II en III. Uit de figuren en tabellen blijkt dat de waarden van $\cotg \gamma$ voor de verschillende geometrieën redelijk constant was en ca 1:2 bedroeg, hetgeen bij benadering gelijk was aan de helling van het natuurlijke talud ($\cotg 30^\circ \approx 1,7$). Voor de vergelijking van de verschillende situaties werd $\cotg \gamma$ niet verder beschouwd.

4.3.2. Invloed damhoogte, verdedigingslengte en ruwheid op $\cotg \beta$

De invloed van de geometrie op de aanzethelling ($\cotg \beta$) is grafisch weergegeven in de figuren 43 en 44, waarin respectievelijk $\cotg \beta$ werd uitgezet tegen de verdedigingslengten L en de damhoogten D voor gladde, matig-ruwe en ruwe verdedigingen. Uit de figuren kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

1. De invloed van de damhoogte is groot. Toename van damhoogte gaat gepaard met afname van $\cotg \beta$ (de aanzethelling wordt steiler).

2. De aanzethelling wordt minder steil naarmate de verdedigingslengte groter wordt.
3. Het verschil tussen de gladde en ruwe verdedigingen is ook groot.

In de meeste gevallen geven gladde verdedigingen aanleiding tot steilere aanzethellingen en kortere kuilen, terwijl de omvang van de wervelstraatkuil in de nabijheid van het einde van de verdediging groter wordt.

Waarschijnlijk is dit het gevolg van het optreden van relatief grotere bodemsnelheden bij de gladde aanstroming.

4.4. Snelheidsverdelingen

De snelheidsverdelingen zijn telkens na afloop van de proef op het einde van de verdediging ($x = 0$) op 9 à 10 punten in dwarsrichting van de stroomgoot gemeten, waarvan de plaats van de verticalen afhankelijk werd gesteld van de optredende stroomverdeling. Vervolgens werd voor iedere proef de horizontale verdeling van de gemiddelde snelheid bepaald. Tevens is gegeven de verticale snelheidsverdeling op een raai waar de grootste gemiddelde snelheid optrad. Deze raai kwam overeen met de plaats van het diepste kuilgodeelte. De horizontale en verticale snelheidsverdelingen zijn gegeven in de figuren 15^b t/m 39^b. Uit de figuren is duidelijk te zien hoe met toenemende damhoogte de stroom een steeds sterkere contractie ondergaat, terwijl bovendien over de volle breedte de turbulentie in intensiteit toeneemt. Aan de zijde van het dwarsschot treedt bij toenemende damhoogte verschuiving op van de stroomverdeling waardoor de grootste snelheid en turbulentie-intensiteit meer naar het midden van de goot komen te liggen. Waarschijnlijk is dit het gevolg van de profielverwijding achter de dam en het schot waardoor stroomvertraging optreedt en de waterstand oploopt. Een deel van de kinetische energie wordt omgezet in potentiële. Het negatieve verhang dat hierdoor ontstaat oefent een kracht uit in stroomopwaartse richting. De waterdeeltjes die door het schot een scheef op de lengte-richting van de goot staande baan beschrijven zullen door de genoemde kracht een nog verder zijdelingse uitwijking verkrijgen. Bij toenemende damhoogte wordt het uitbuigende effect steeds groter.

Uit de horizontale snelheidsverdelingen kan het volgende worden afgeleid: het profiel van de horizontale verdeling wordt eveneens bepaald door de hoogte van de dam. Naarmate de dam hoger wordt verschuift het snelheidsmaximum meer naar het midden van de goot. U_{\max} wordt groter

naarmate de dam hoger wordt en is het grootst bij $D = 0,6 h_0$ (zie voor \bar{U}_{\max} en $\bar{\sigma}_{\max}$ de tabellen I, II en III). Met betrekking tot de verticale snelheidsverdelingen op de raaien waar de grootste gemiddelde snelheid optrad kan het volgende worden opgemerkt:

- Bij een gladde aanstroming treedt een vol snelheidsprofiel op met een geringe turbulentie-intensiteit en relatief grote bodemsnelheden.
- Bij een matig-ruwe en ruwe aanstroming is het snelheidsprofiel minder vol. Hierbij zijn de bodemsnelheden relatief kleiner, terwijl de turbulentie-intensiteit groter is.
- De gemiddelde snelheid en turbulentie-intensiteit worden in grootte versterkt bij aanwezigheid van dammen en nemen toe bij toenemende damhoogte.

5. SAMENVATTING EN CONCLUSIES

Bij het drie-dimensionale onderzoek blijken in principe dezelfde verschijnselen op te treden als bij het twee-dimensionale. De verschijnselen kunnen zelfs op dezelfde manier worden beschreven mits het begrip aard van de constructie wordt uitgebreid tot het begrip geometrie waaronder moet worden verstaan: aard en afmetingen van de constructie, bodemligging, nabijheid en steilheid van oevers, aanwezigheid van kribben, landhoofden etc. Deze geometrie is van wezenlijke invloed op het stroombeeld en bepaalt in aanzienlijke mate zowel de horizontale en verticale snelheidsverdeling als de turbulentie-intensiteit.

Het drie-dimensionale ontgrondingsbeeld heeft, in vergelijking met het twee-dimensionale, de volgende algemene kenmerken:

- de ontgrondingen in het wervelstraatgebied zijn belangrijk sterker dan die in het aangrenzende gebied,
- de aanzethelling van de ontgrondingskuil is afhankelijk van de geometrie en varieert in dwarsrichting,
- het verloop van de maximale ontgrondingsdiepte met de tijd is afhankelijk van de geometrie en varieert in dwarsrichting,
- het verband tussen t_1 en de variabelen opgesteld bij het twee-dimensionale onderzoek (te weten: $(\bar{u} - u_{kr})$ en Δ), geldt ook in het drie-dimensionale geval.

Voor de beoordeling van de stabiliteit van bodembeschermingen werd in het drie-dimensionale onderzoek als meest kenmerkend element van de ontgroning de wervelstraalkuil beschouwd. Uit de resultaten van het onderzoek kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

1. De ontgroningstijd t_1 , waarvoor $h_{max} = h_0$, kan worden benaderd door de in het twee-dimensionale ontgrondingsonderzoek geformuleerde relatie:

$$t_1 = 250 \Delta^{1,7} h_0^2 (\bar{u} - u_{kr})^{-4,3}$$
 waarin α de invloedsfactor is van de geometrie. Het snellere verloop van het ontgrondingsproces komt tot uiting in de grotere waarde van α . Uit vergelijking met het twee-dimensionale onderzoek waarbij werd gestroomd onder dezelfde condities, echter zonder het verticale schot, blijkt dat α_{3D} 2 à 3 maal α_{2D}
2. Een gladde verdediging heeft een ongunstige uitwerking op de ontgroning en geeft dientengevolge kleinere waarden van t_1 , dus grotere waarden van α , en steilere aanzethellingen (kleinere waarden van $\cotg \beta$).

De ontgronding bij matig-ruwe en ruwe verdedigingen is in de meeste gevallen van dezelfde orde van grootte en is in het algemeen gunstiger opzichte van die bij gladde verdedigingen.

3. De invloed van de damhoogte is groot. Toename van damhoogte gaat gepaard met toename van α en afname van $\cotg \beta$.
4. De verdedigingslengte heeft na een zekere afstand een gunstige invloed op de ontgronding. Toename van de verdedigingslengte gaat gepaard met afname van α en toename van $\cotg \beta$. De ontwikkeling van de ontgrondingskuil kan dus kennelijk worden vertraagd door een langere bodembescherming toe te passen. Het lijkt aannemelijk, dat deze tendens bij voortgezette verlenging steeds flauwer zal worden.

TABEL I

Situatie	\bar{U} cm/s	$\frac{\bar{U}_m}{\bar{U}}$	$\frac{\bar{\sigma}}{\bar{U}}$	t_1 uur	α	$\cotg \beta$	$\frac{x_m}{h_o}$	$\cotg \gamma$	$\frac{z_m}{h_o}$
FOV1M	8	1,3	0,08	60,0	3,07	4,4	5	1,8	7
	10			13,0	3,15				
	12			3,8	3,29				
	14			1,2	3,49				
F1V1M	8	1,5	0,12	5,0	4,65	3,3	5	1,5	8
	9			2,4	4,73				
	10			1,5	4,66				
F2V1M	4	2,7	0,48	4,5	9,42	2,1	2,5	1,5	9
	5			1,2	9,69				
	6			0,3	10,62				
FOV2M	9	1,3	0,14	27,0	3,09	4,2	5	1,8	7
	10			16,0	3,04				
	12			4,7	3,14				
	14			1,7	3,27				
F1V2M	7	1,6	0,14	22,0	4,10	3,8	5	1,7	9
	8			9,0	4,19				
	9			5,0	4,14				
	10			2,0	4,41				
F2V2M	6	2,4	0,32	1,6	7,63	3,5	4	1,6	9
	7			0,68	7,74				
	8			0,4	7,52				
FOV3M	14	1,2	0,12	3,0	2,93	4,2	5	1,8	7
	16			1,44	2,94				
FOV4M	14	1,2	0,13	5,0	2,67	4,2	6	2,0	8
	16			2,4	2,67				
	18			1,3	2,67				
F1V4M	10	1,5	0,17	11,5	3,21	4,0	5	1,9	10
	12			3,4	3,33				
	14			1,2	3,48				
F2V4M	6	2,0	0,17	11,0	5,38	4,0	5	2,2	10
	8			1,8	5,64				
	10			0,7	5,39				

TABEL II

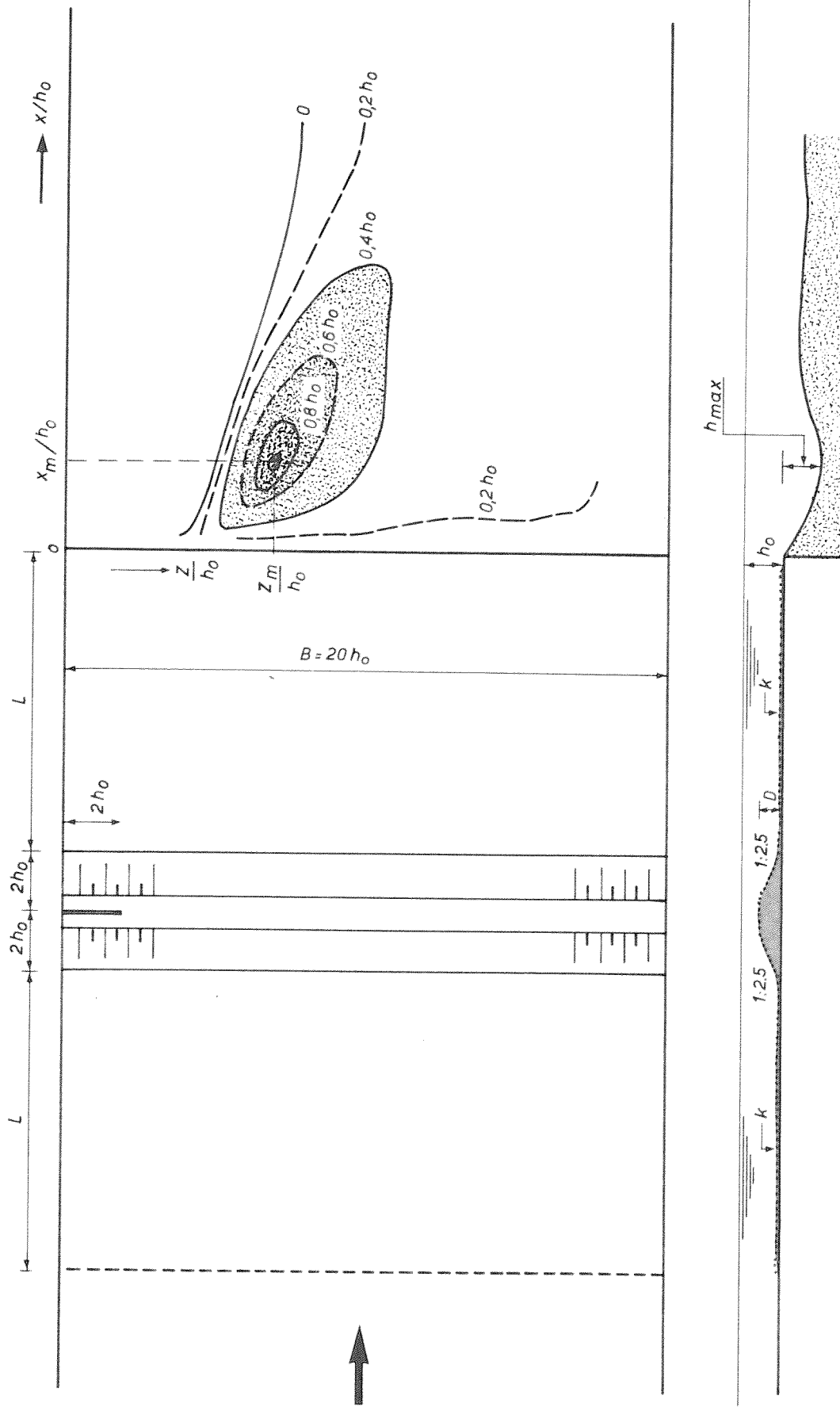
Situatie	\bar{U} cm/s	$\frac{\bar{U}_m}{\bar{U}}$	$\frac{\bar{\sigma}}{\bar{U}}$	t_1 uur	α	$\cotg\beta$	$\frac{x_m}{h_o}$	$\cotg\gamma$	$\frac{z_m}{h_o}$
DOV1G	10	1,3	0,08	22,0	3,75	3,1	4	2,1	6,5
	12			7,0	3,85				
D1V1G	10	1,5	0,18	3,5	5,27	2,6	3,5	1,6	8
	12			1,5	5,18				
D2V1G	10	2,1	0,19	0,33	8,44	2,2	3	1,7	9
DOV2G	10	1,3	0,10	26,0	3,64	2,8	4	1,8	7,5
	12			10,0	3,60				
	14			3,2	3,83				
D1V2G	8	1,7	0,12	18,0	4,83	2,5	3,5	2,1	8,5
	10			4,0	5,12				
	12			1,4	5,24				
D2V2G	6	2,4	0,36	8,0	7,45	2,4	3	2,0	9
	8			1,9	7,40				
	10			0,73	7,16				
⊗ DOV4G	36	1,1	0,15	760	2,22	-	-	-	-
⊗ D1V4G	36	1,5	0,12	42	3,53	4,2	7	2,9	10
⊗ D2V4G	36	1,5	0,20	2,5	6,02	3,0	4	3,0	10

⊗ ZAND

TABEL III

Situatie	\bar{U} cm/s	$\frac{\bar{U}_m}{\bar{U}}$	$\frac{\bar{\alpha}}{\bar{U}}$	t_1 uur	α	$\cot\beta$	$\frac{x_m}{h_o}$	$\cot\gamma$	$\frac{z_m}{h_o}$
DOV1R	10	1,3	0,12	50,0	3,26	2,6	3,5	1,6	5,5
	12			15,0	3,34				
	15			4,5	3,34				
D1V1R	10	1,6	0,18	11,0	4,25	2,9	4	1,7	8
	12			2,7	4,62				
D2V1R	10	2,3	0,46	0,3	8,67	2,1	4	1,5	9
DOV2R	10	1,3	0,16	90,0	2,96	4,4	5	1,8	7
	12			28,0	3,00				
	14			10,0	3,09				
D1V2R	8	1,6	0,18	47,0	4,10	4,0	5	1,7	9
	10			21,0	3,78				
	12			5,0	4,10				
D2V2R	6	2,5	0,40	11,0	7,01	3,3	4,5	2,1	10
	7			4,0	7,30				
	8			2,3	7,13				
* DOV4R	36	1,1	0,18	760	2,22	-	-	-	-
* D1V4R	36	1,5	0,18	100	3,02	3,2	5	2,4	8
* D2V4R	36	1,5	0,28	15	4,26	3,1	6	1,9	9

* ZAND



MODELOPSTELLING

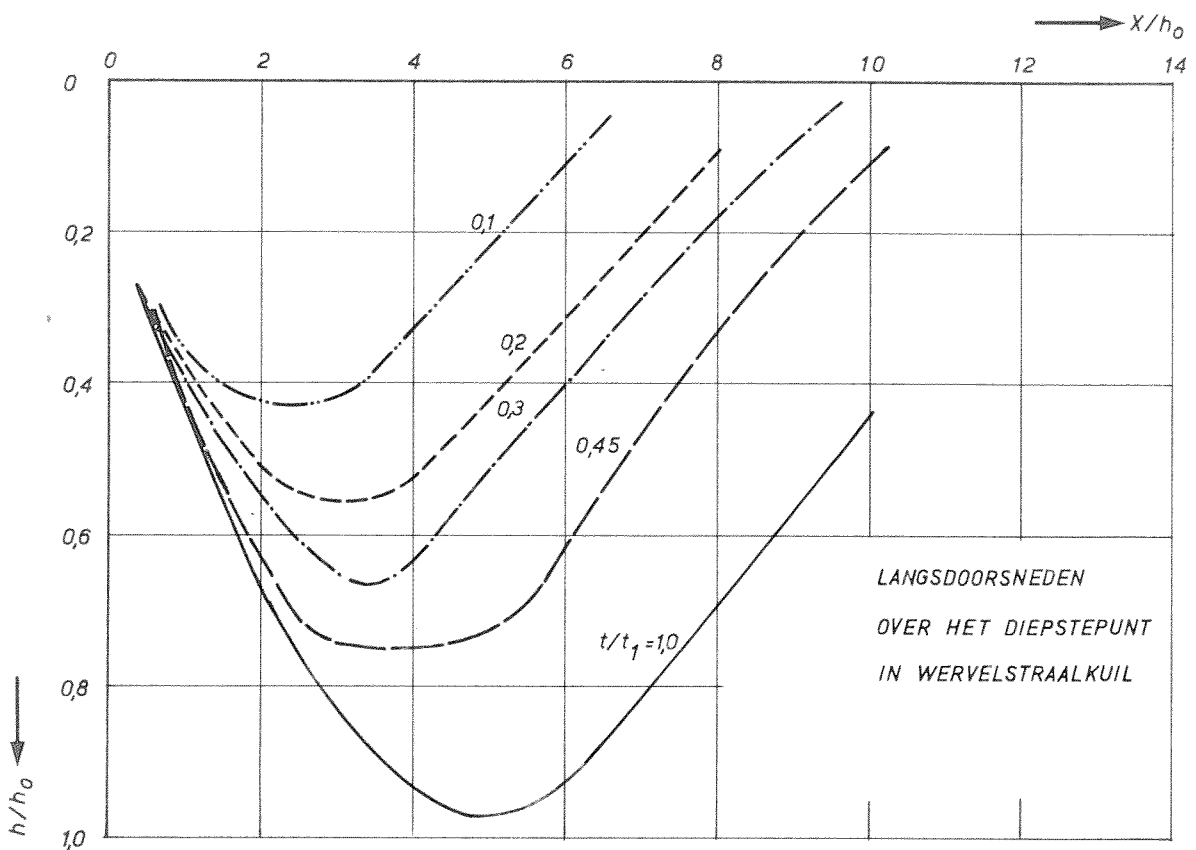
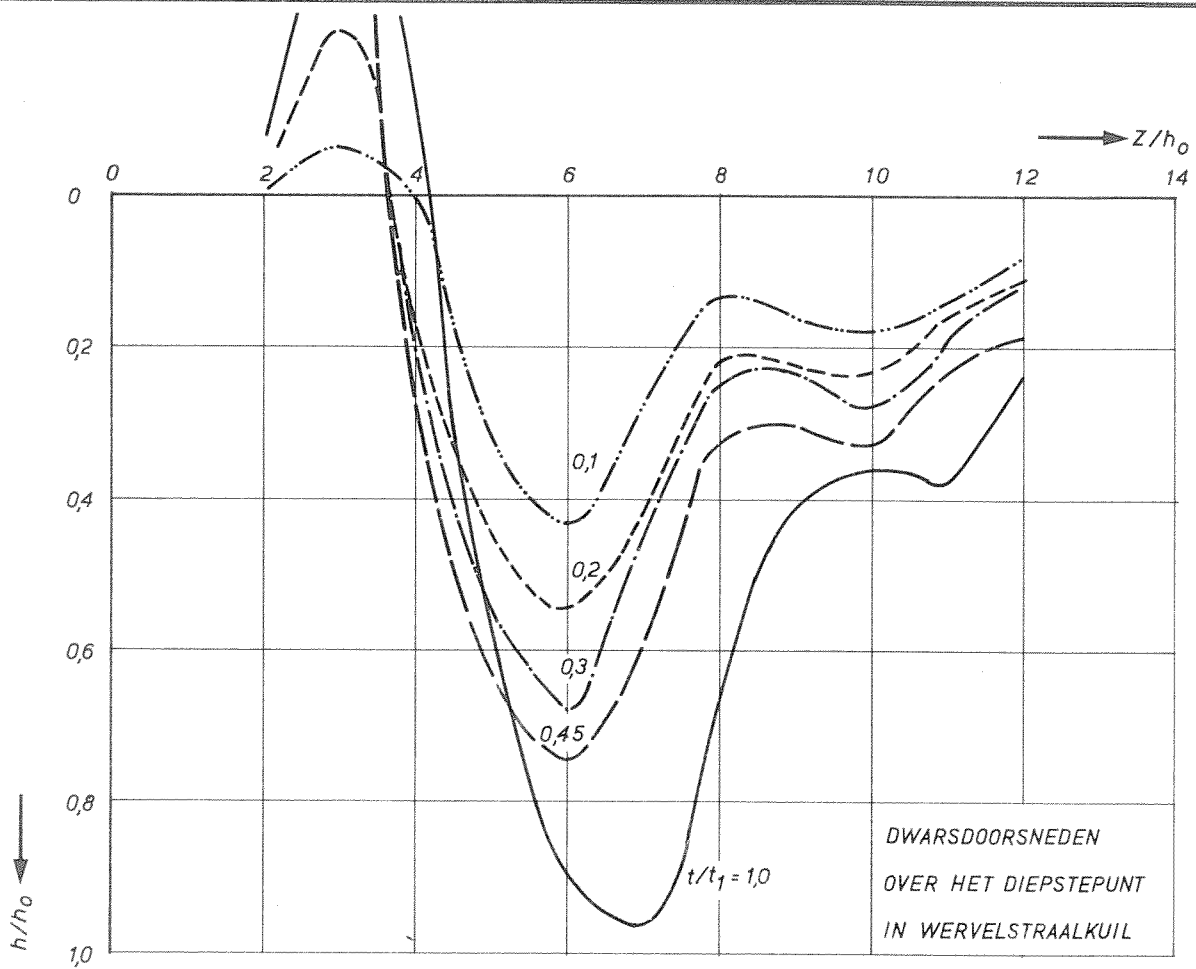
R.R.

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1000

FIG. 1



VERSCHUIVING VAN DE PLAATS VAN h_{max}
MET DE TIJD IN LANGS EN DWARSRICHTING

FOv2M14

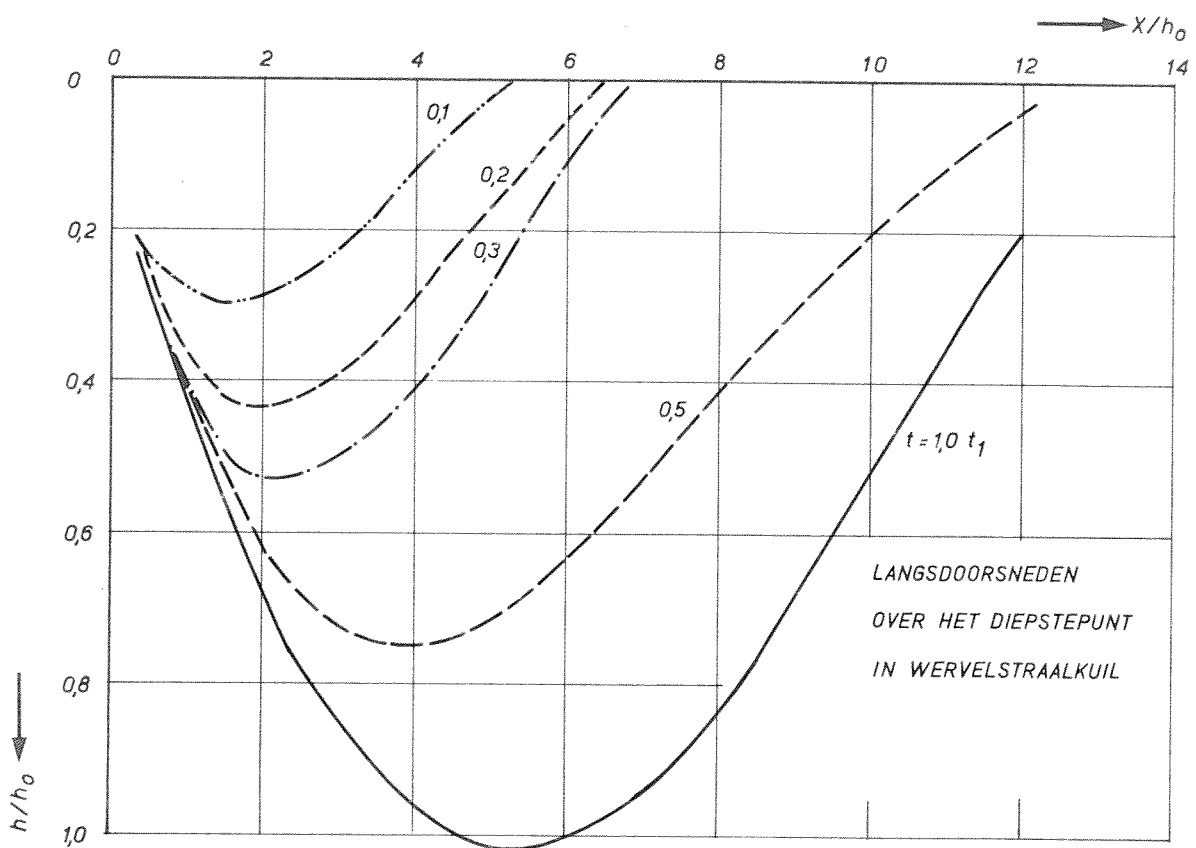
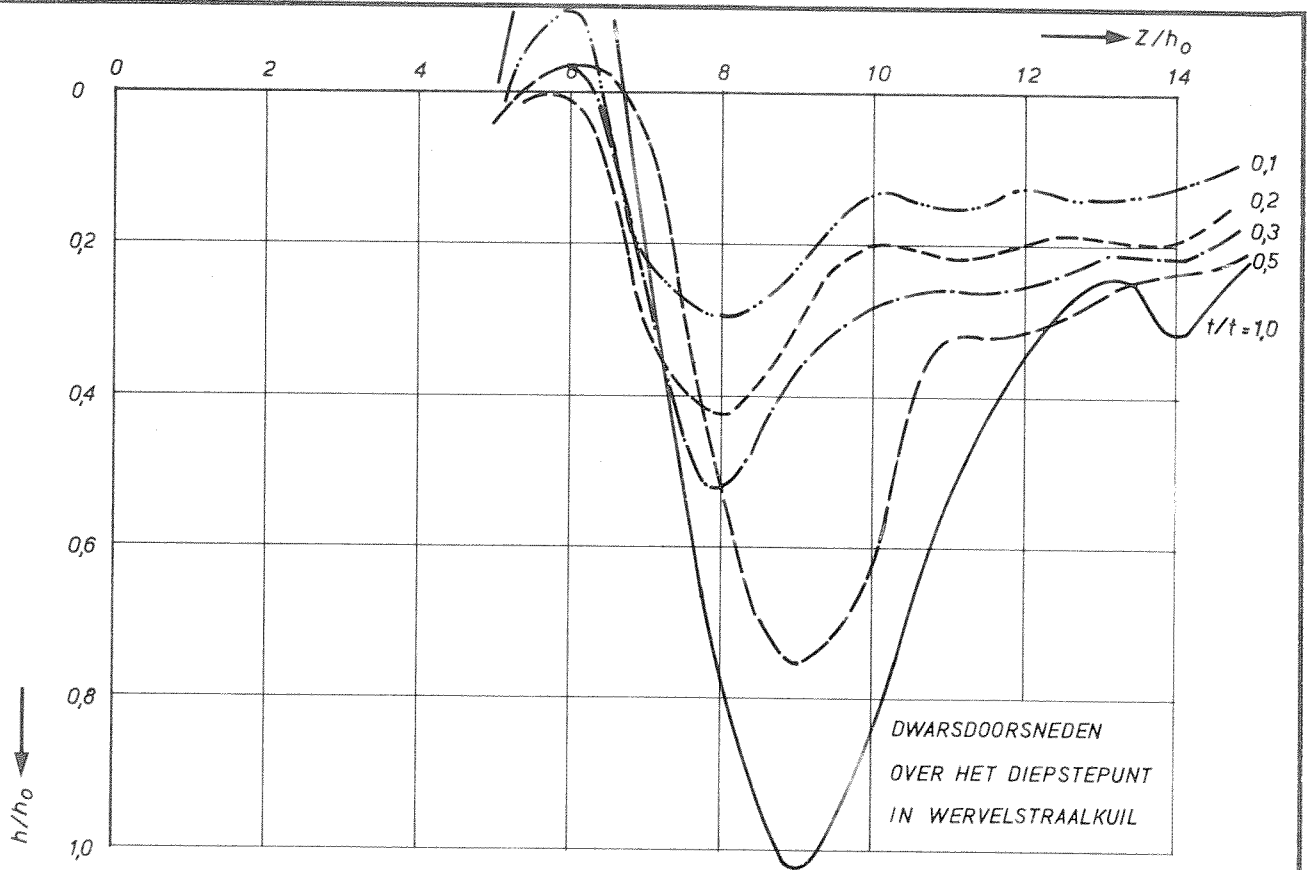
R.R.

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1001

FIG. 2



VERSCHUIVING VAN DE PLAATS VAN h_{max}
MET DE TIJD IN LANGS EN DWARSRICHTING

F1v2M 10

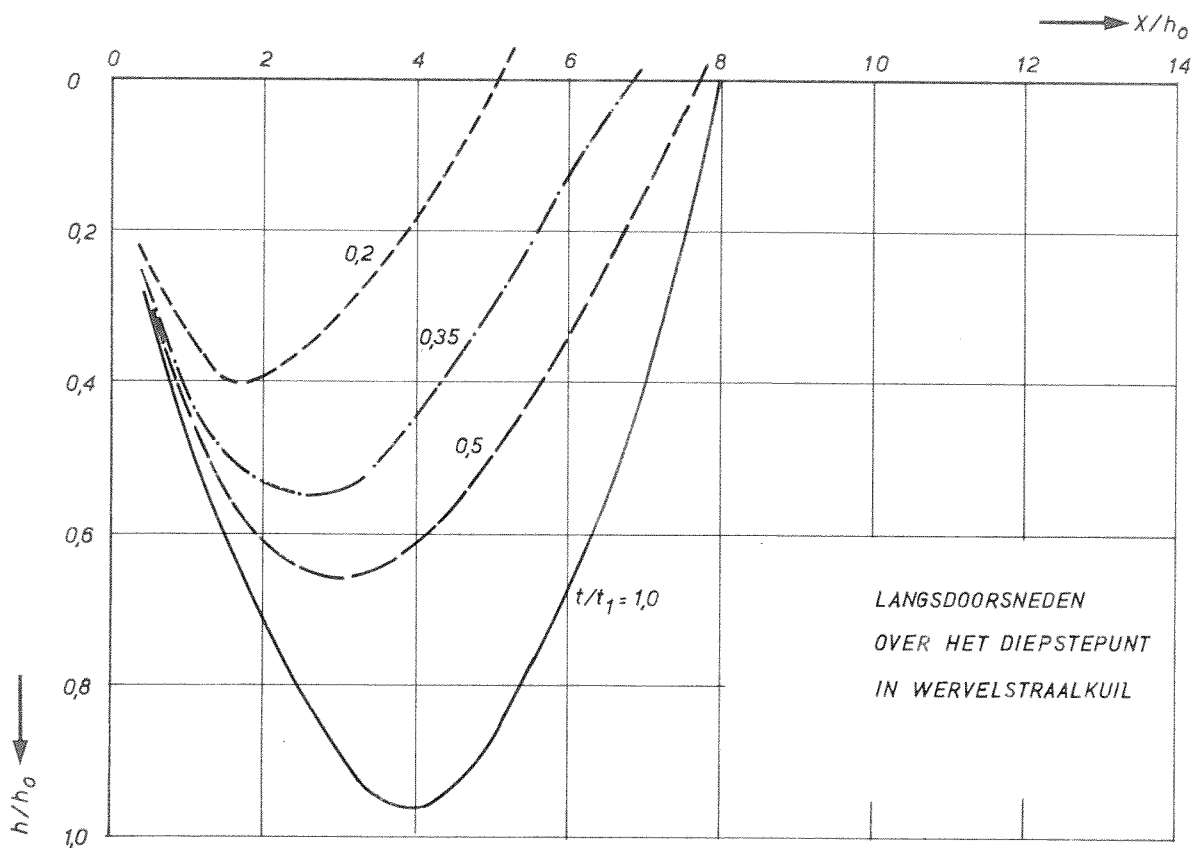
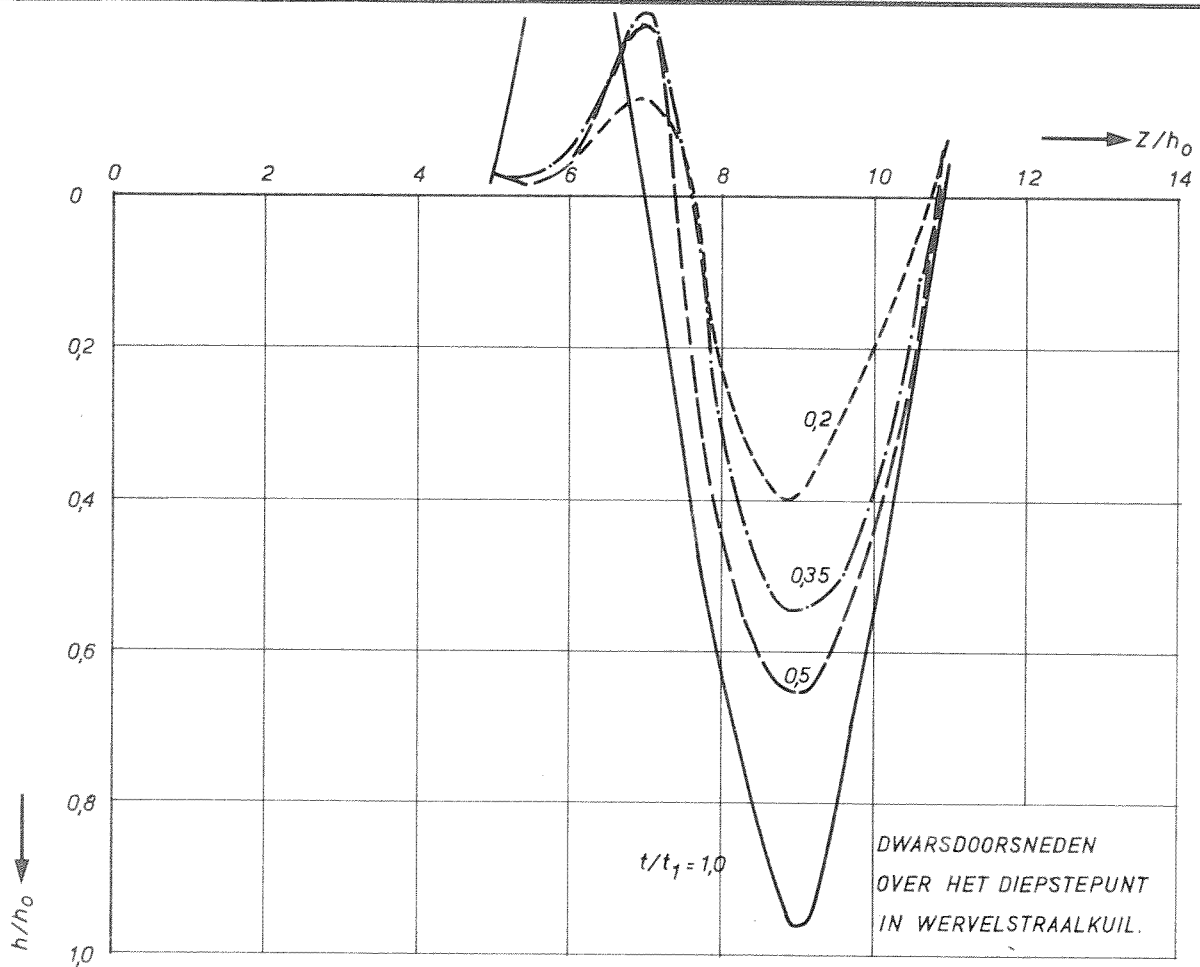
R.R.

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III- 1002

FIG. 3



VERSCHUIVING VAN DE PLAATS VAN h_{max}
MET DE TIJD IN LANGS EN DWARSRICHTING

F2 v2M 6

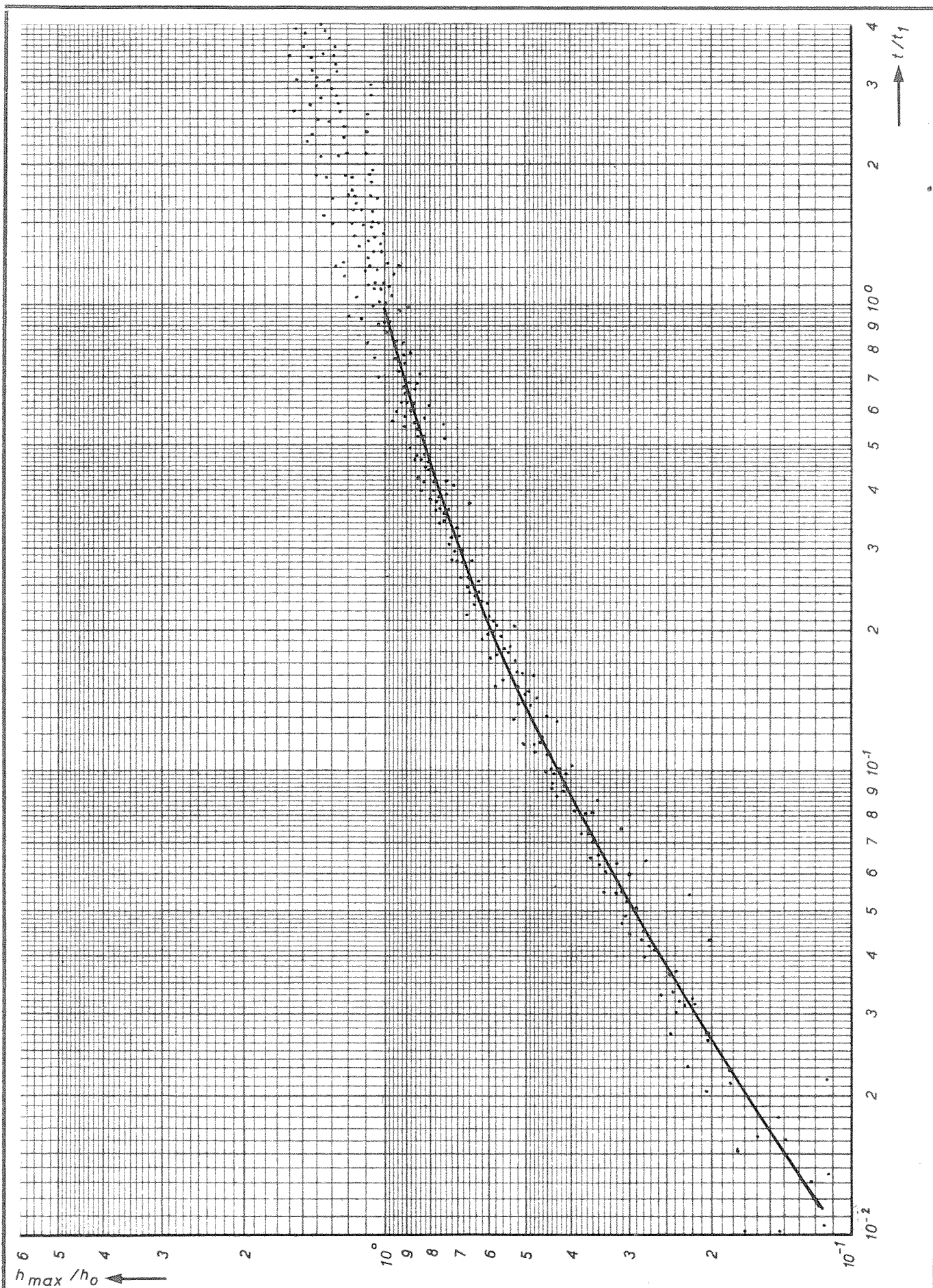
R.R.

A4

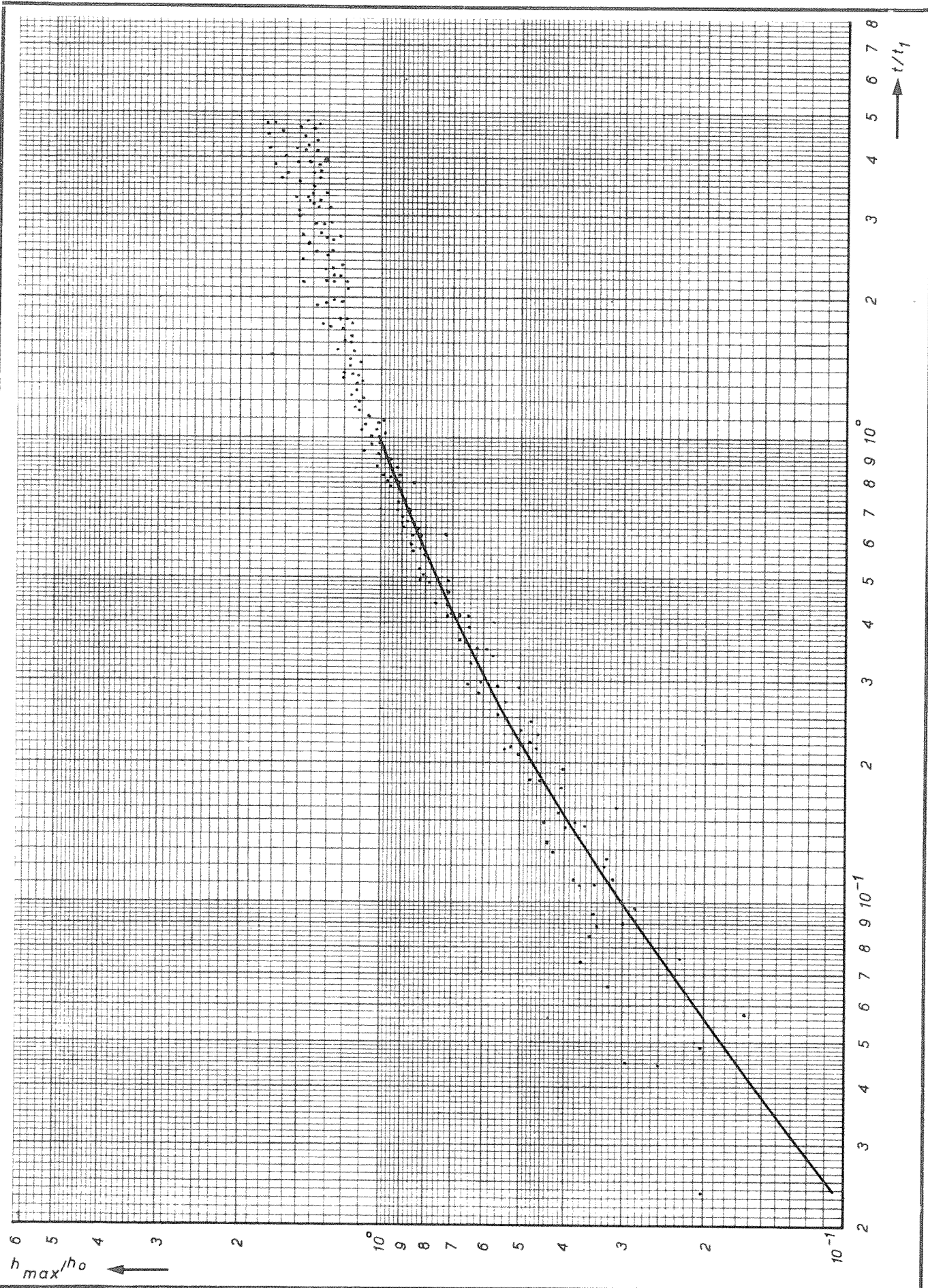
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1003

FIG. 4



<p>STANDAARD TJD-ONTGRONDINGSLIJN $D=0$ $L=5h_0$</p>	<p>F0v1G M R</p>	<p>R.R. A4</p>
<p>WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM</p>	<p>M.847-III-1004</p>	<p>FIG. 5</p>



STANDAARD TJD-ONTGRONDINGSLIJN

$D=0,3 h_0$ $L=5 h_0$

F1v1G

M

R

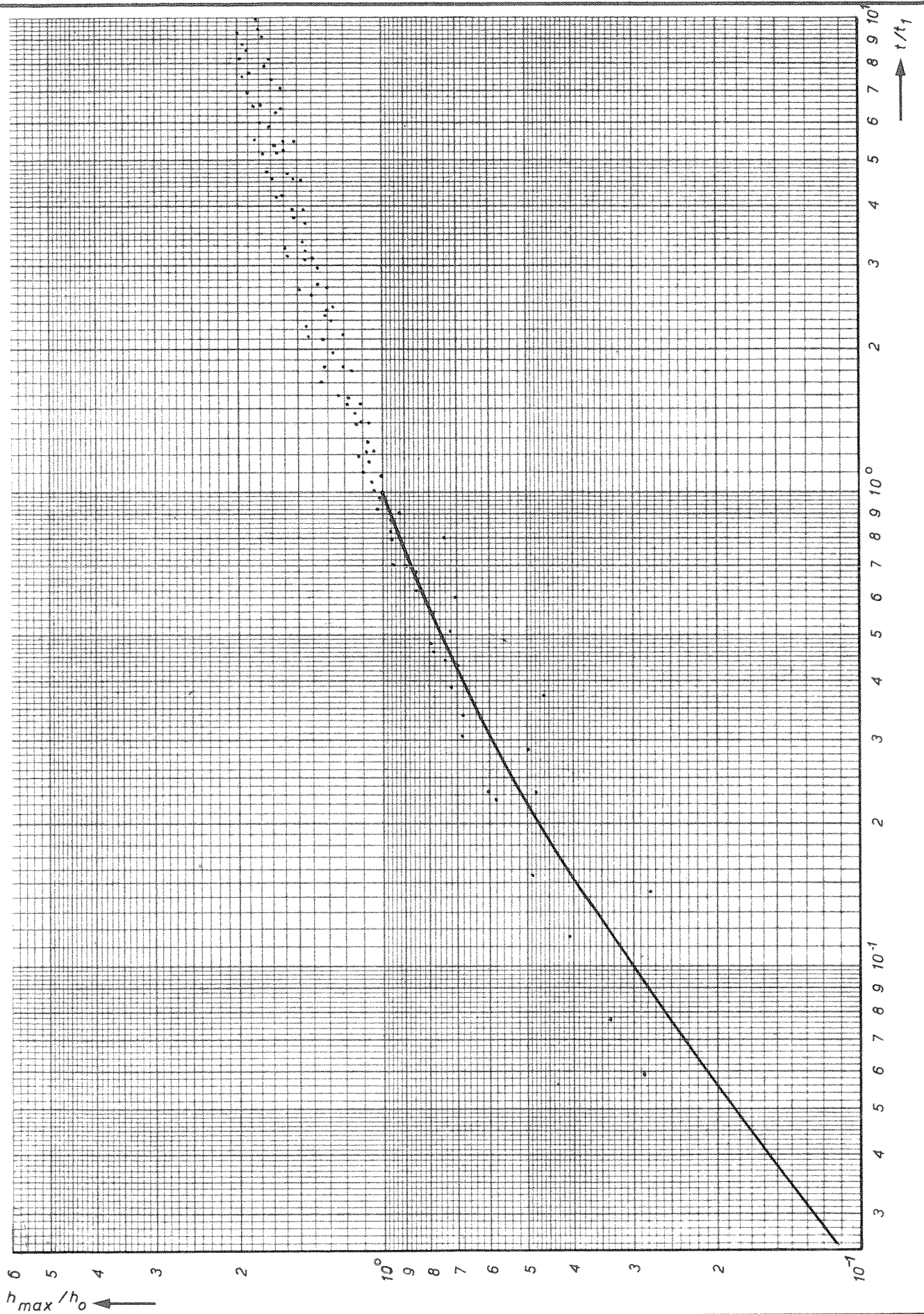
R.R.

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1005

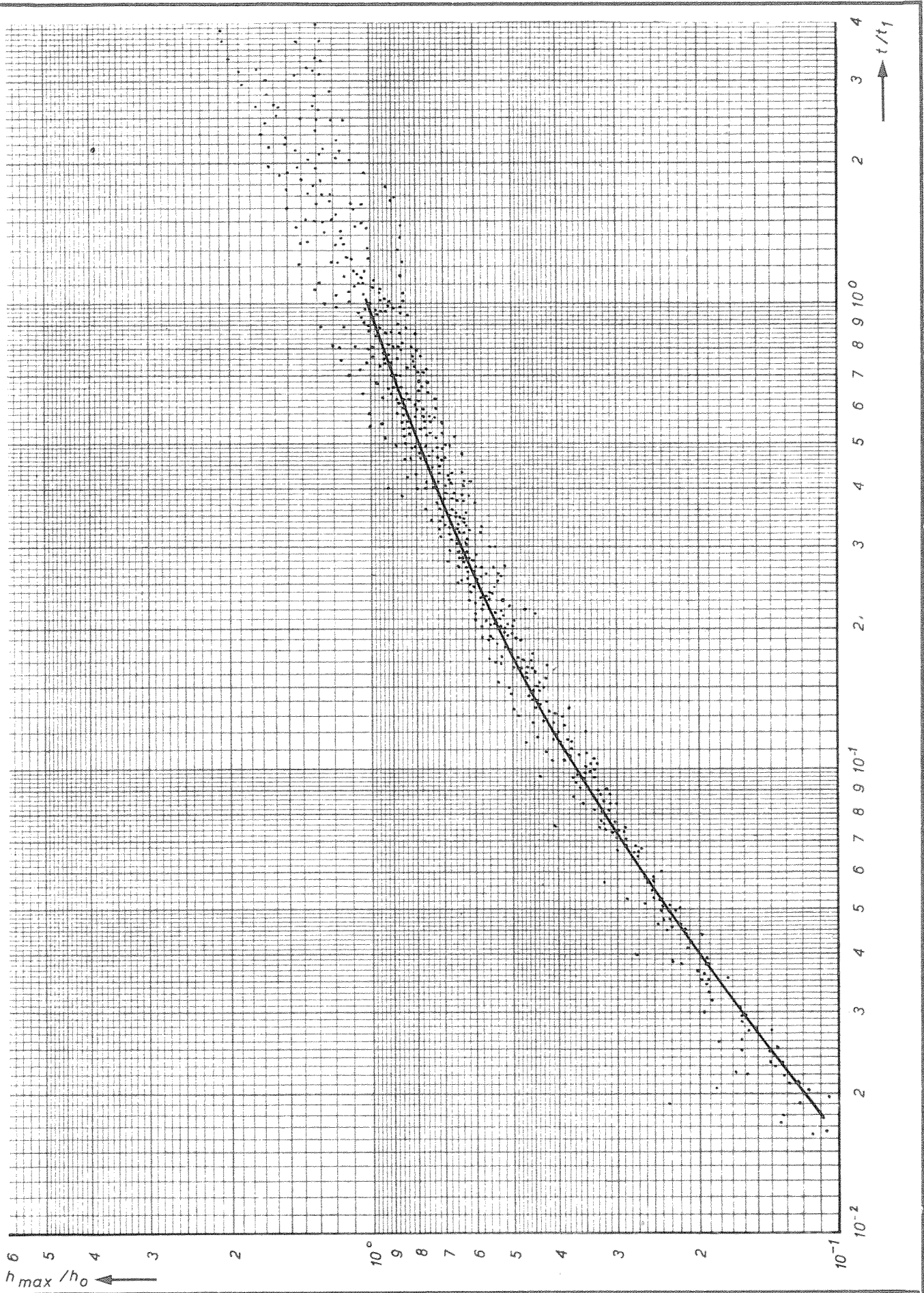
FIG. 6



h_{max}/h_0 ←

→ t/t_1

<p>STANDAARD TJD-ONTGRONDINGSLIJN $D = 0,6 h_0$ $L = 5 h_0$</p>	<p>D2v1 G M R</p>	<p>R.R. A4</p>
<p>WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM</p>	<p>M.847-III-1006</p>	<p>FIG. 7</p>



STANDAARD TIJD-ONTGRONDINGSLIJN

$D=0$ $L=10h_0$

F0v2G
D M
R

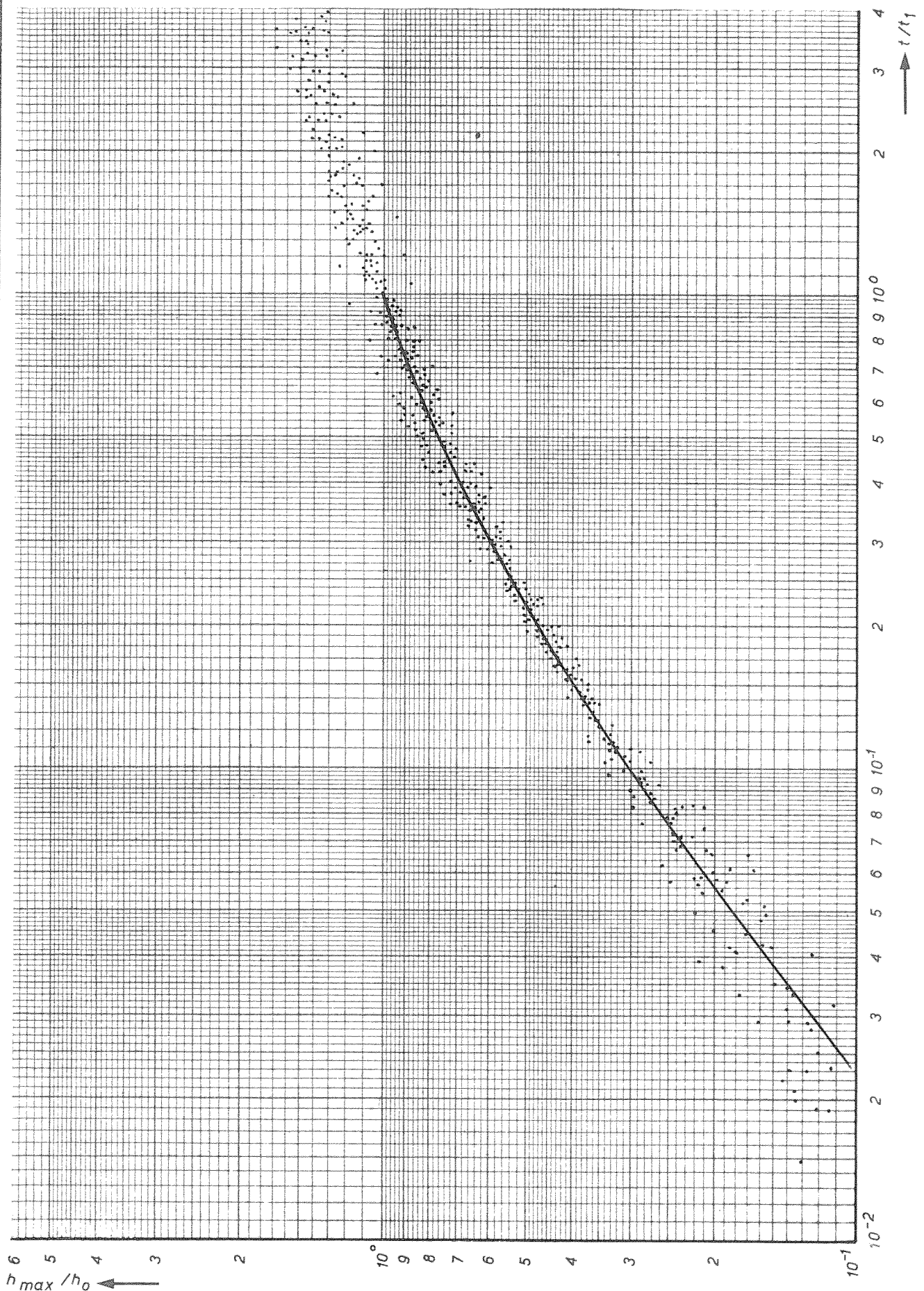
R.R.

A4

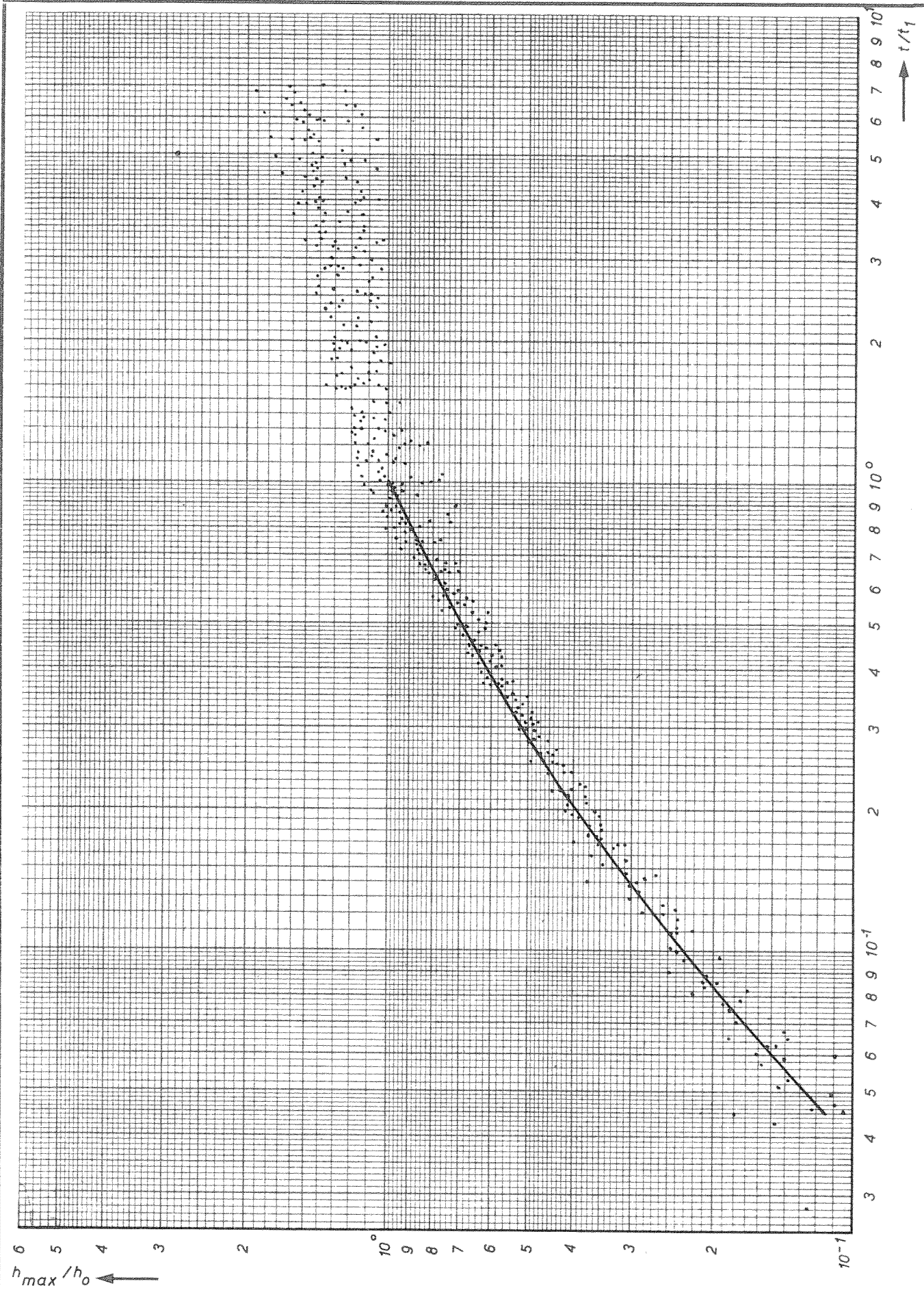
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1007

FIG. 8



<p>STANDAARD TUD-ONTGRONDINGSLIJN $D=0,3 h_0 \quad L=10 h_0$</p>	<p>F1v2G D M R</p>	<p>R.R. A4</p>
<p>WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM</p>	<p>M.847-III-1008</p>	<p>FIG. 9</p>



STANDAARD TJD-ONTGRONDINGSLIJN

$D = 0,6 h_0$ $L = 10 h_0$

F 2v2G
D M
R

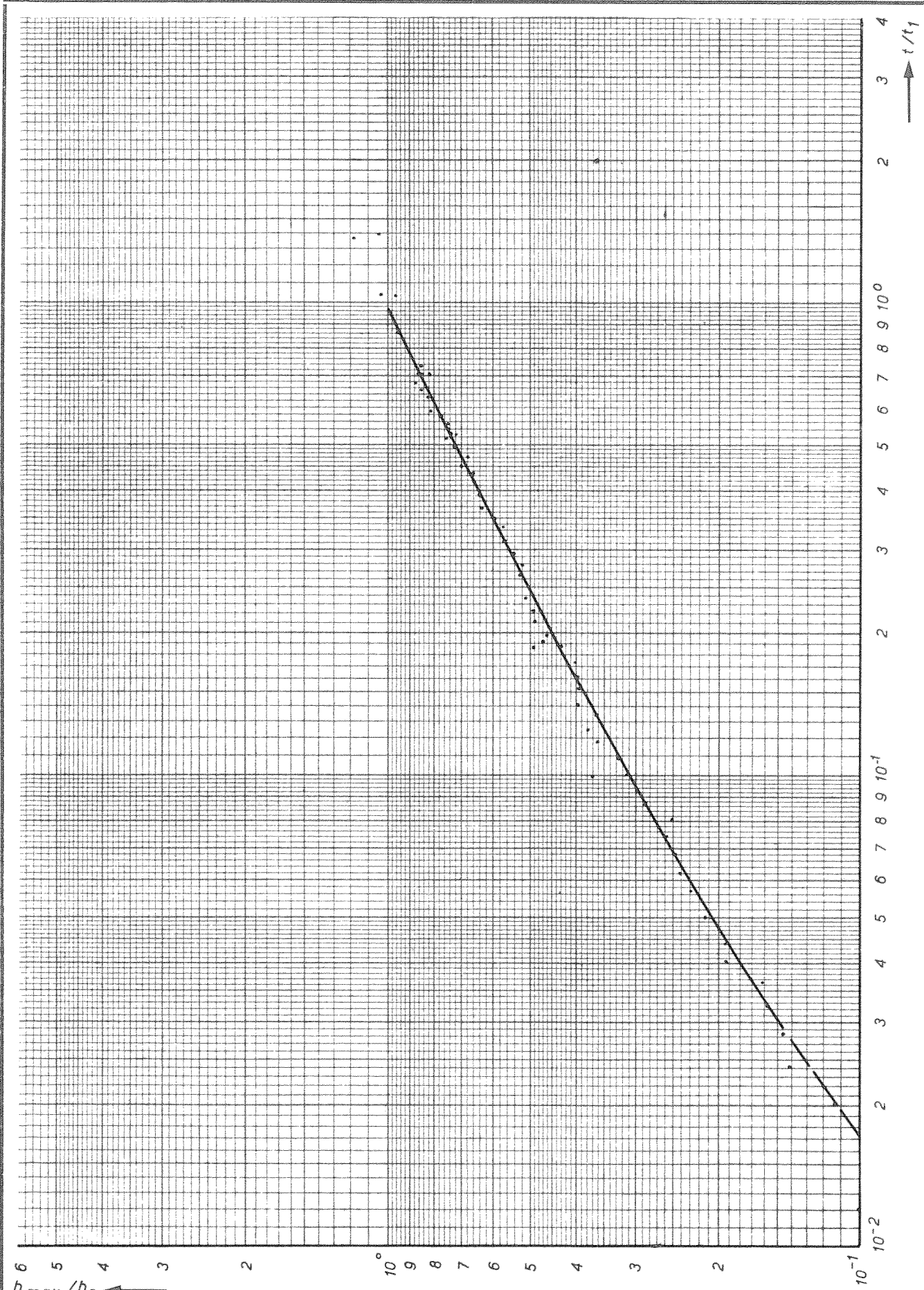
R.R.

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1009

FIG. 10



STANDAARD TIJD-ONTGRONDINGSLIJN

$D=0$ $L=15h_0$

F0v3M

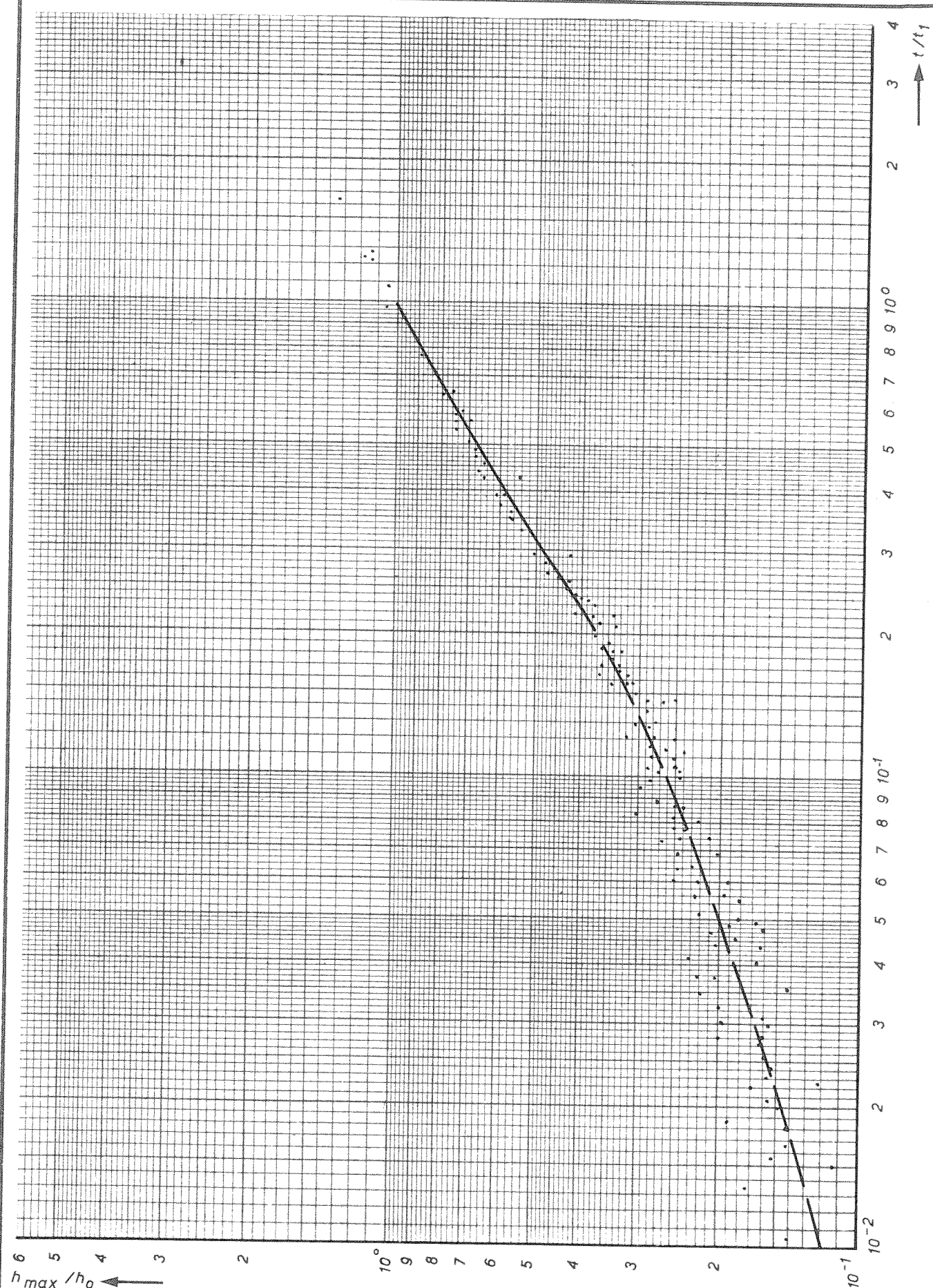
R.R.

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1010

FIG.11



STANDAARD TUD-ONTGRONDINGSLIJN
 $D=0$ $L=20 h_0$

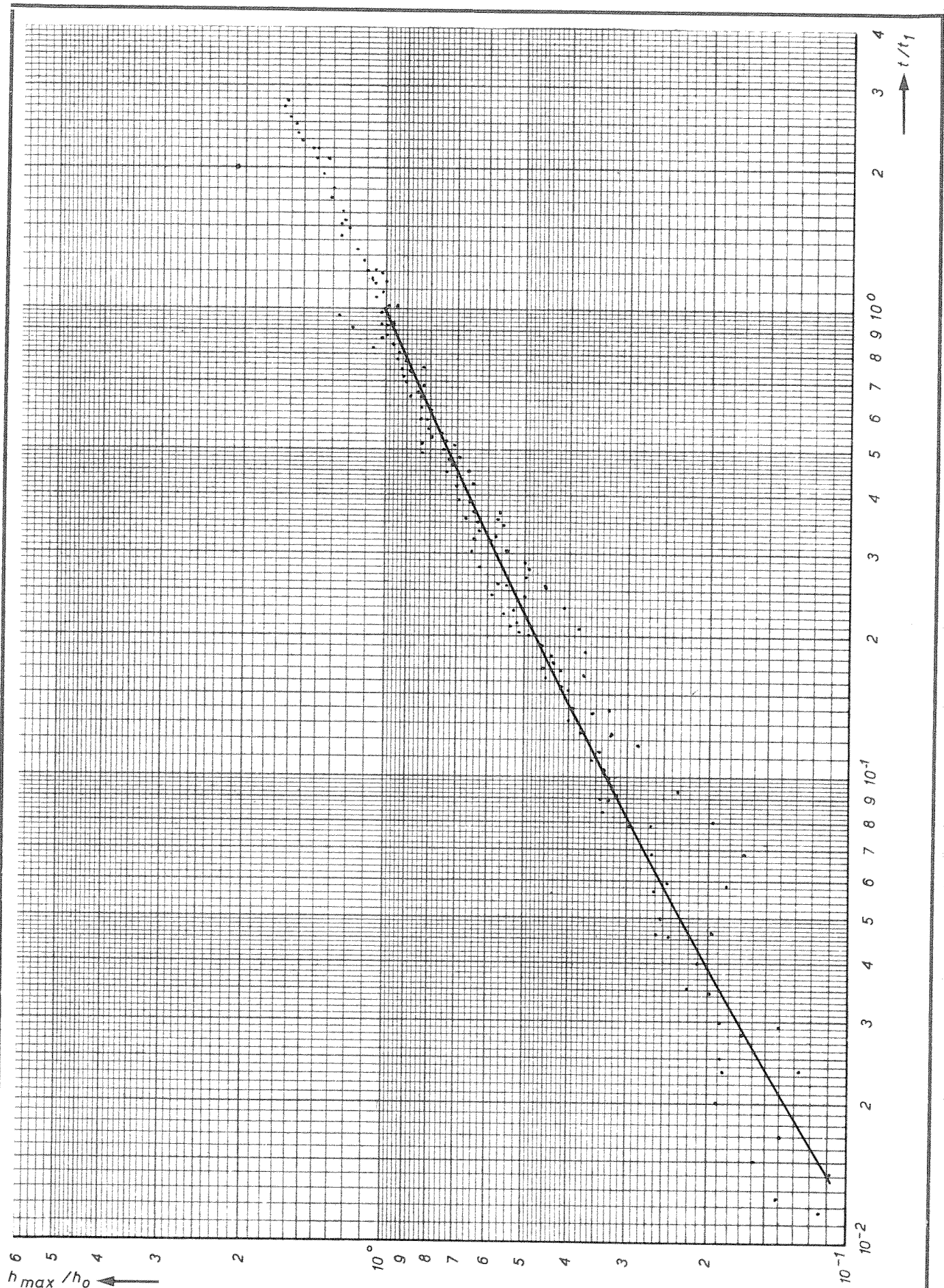
F0v4G
 D M
 R

R.R.
 A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1011

FIG. 12



STANDAARD TJD-ONTGRONDINGSLIJN
 $D=0,3h_0$ $L=20h_0$

D1v4G
M
R

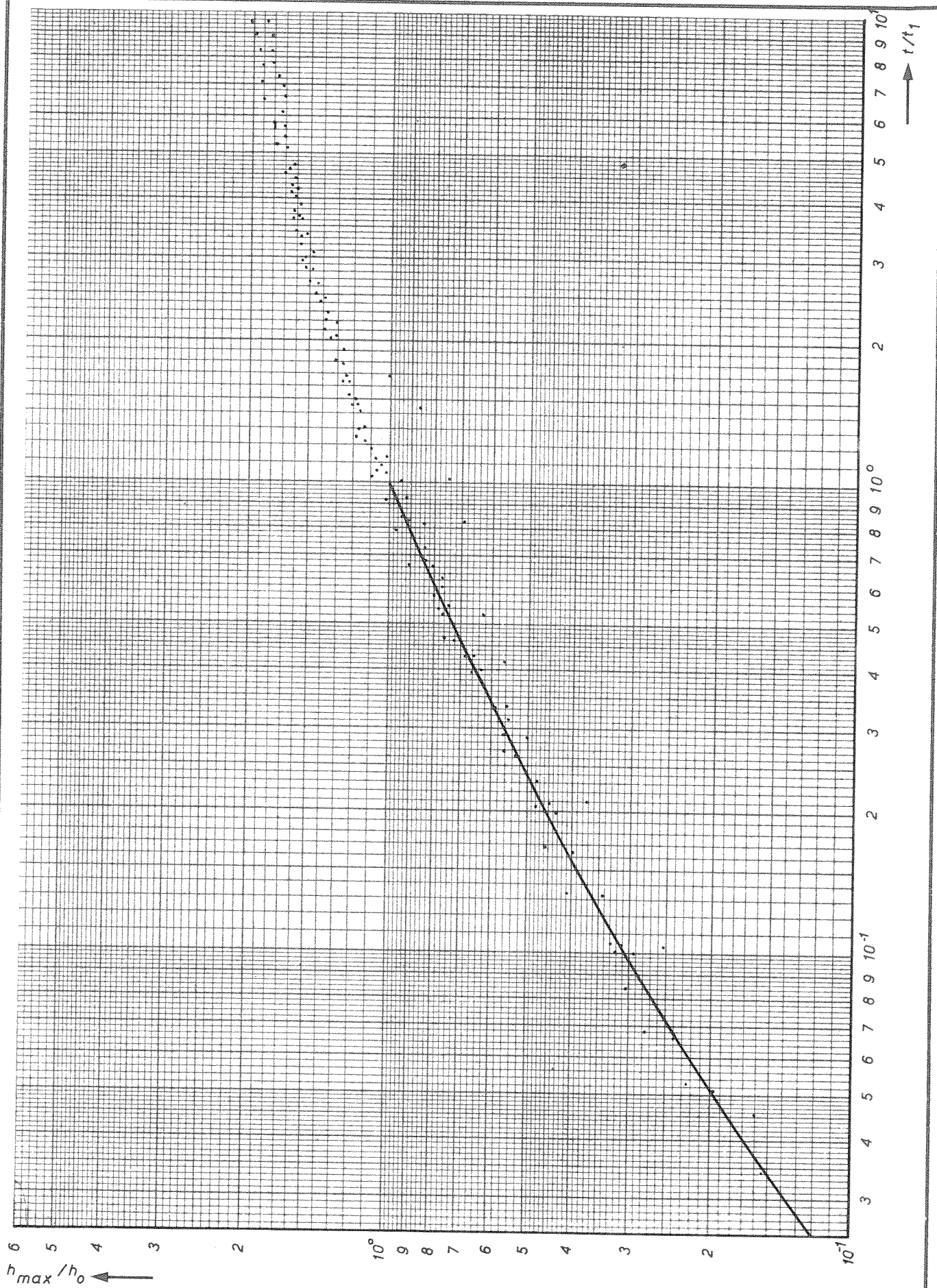
R.R.

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1012

FIG. 13



STANDAARD TJD-ONTGRONDINGSLIJN

$D = 0,6 h_0$ $L = 20 h_0$

D2v4 G
M
R

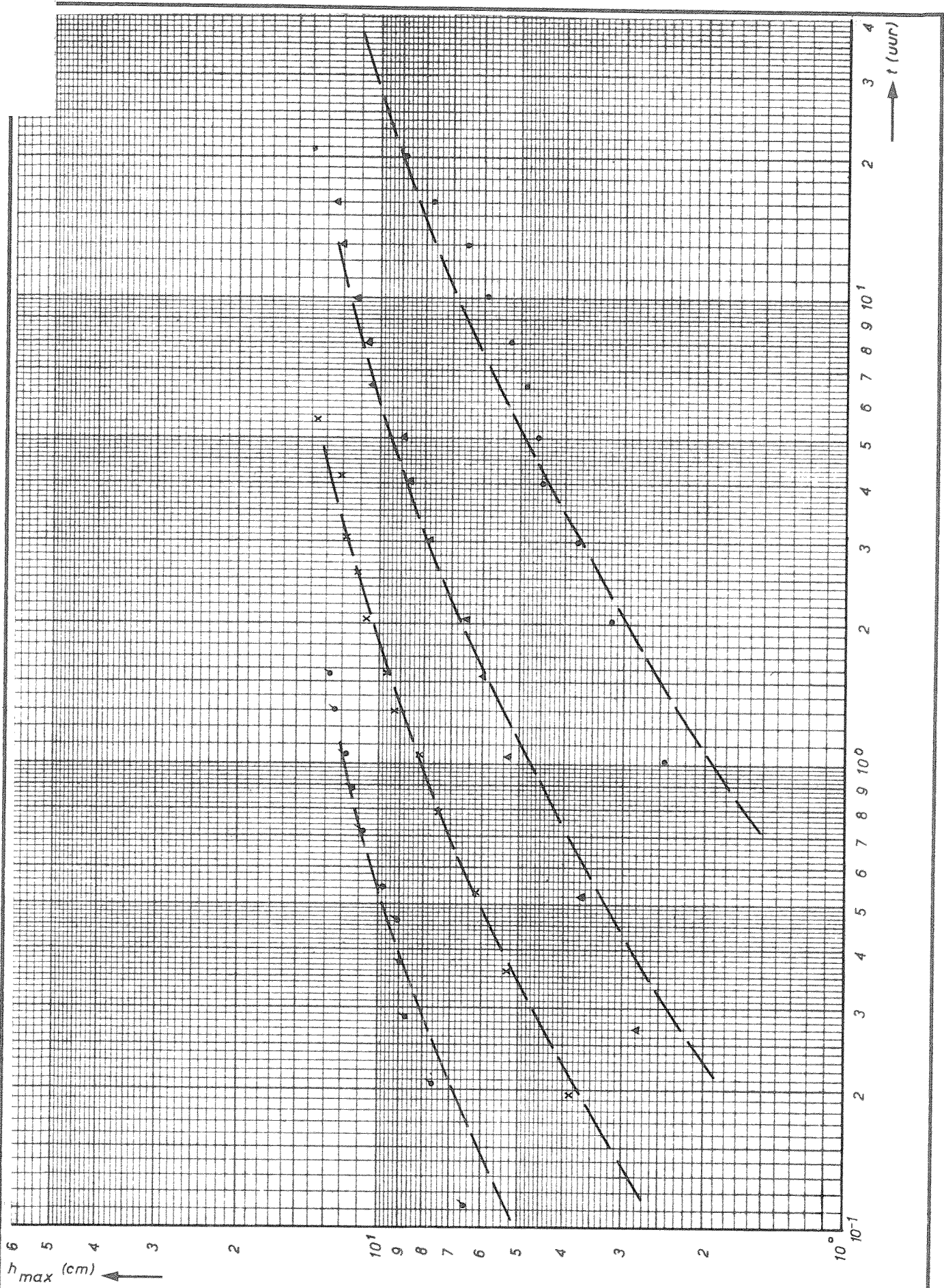
R.R.

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1013

FIG. 14



h_{max} (cm) ←

→ t (uur)

TJD-ONTGRONDINGSLUNEN

$h_0 = 12,5$ cm

FOv1M 8 ●
10 ▲
12 x
14 ◆

R.R.

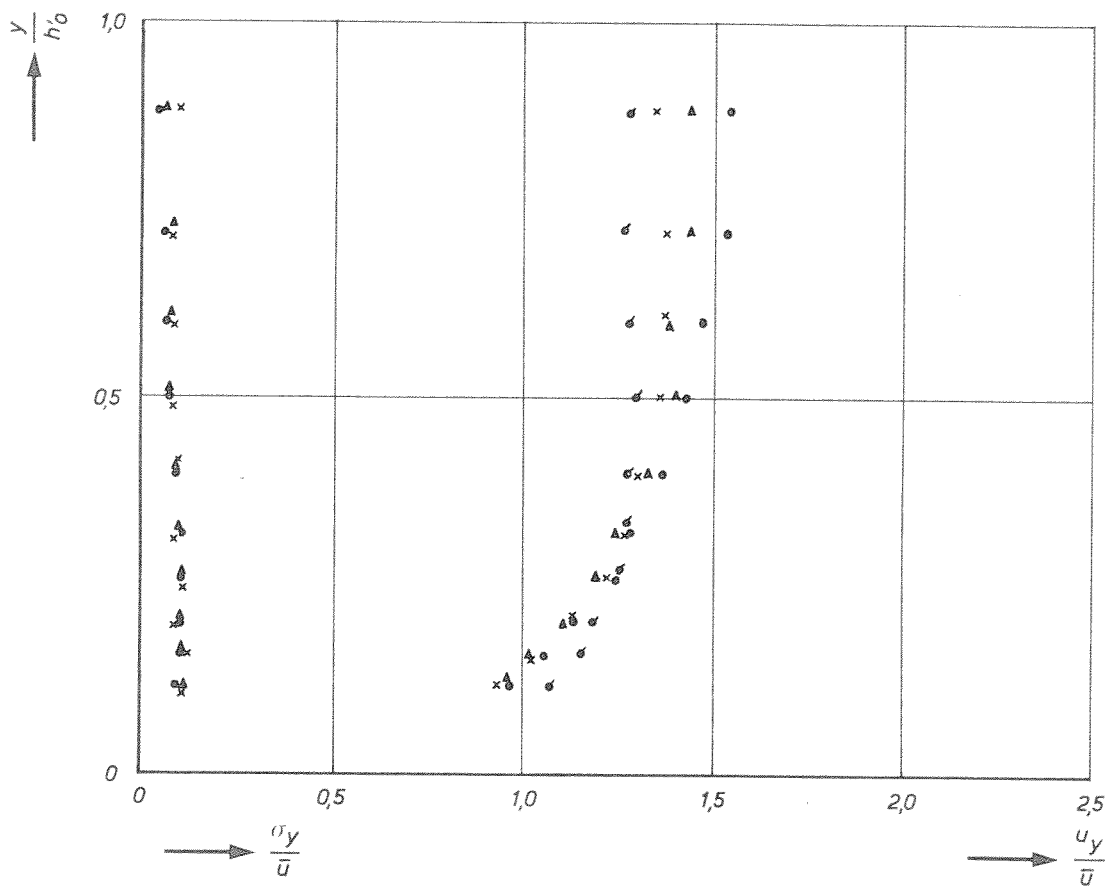
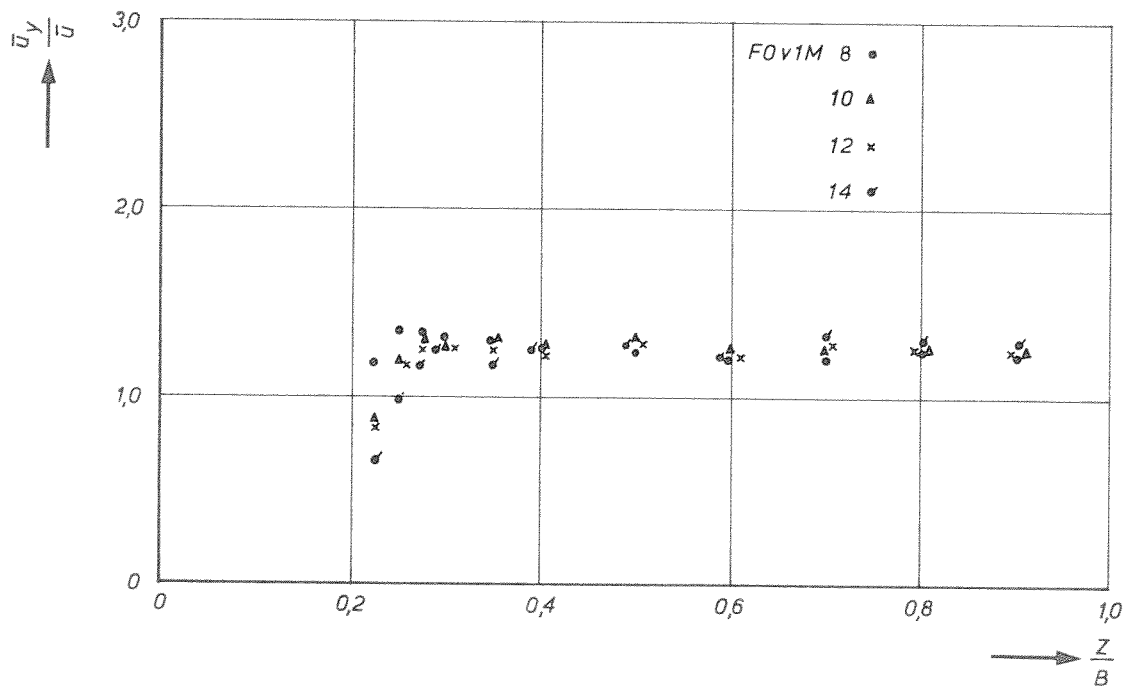
POLYSTYREEN

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1014

FIG.15a



HORIZONTALA EN VERTICALE SNELHEIDSVERDELINGEN

F0v1M

R.R.

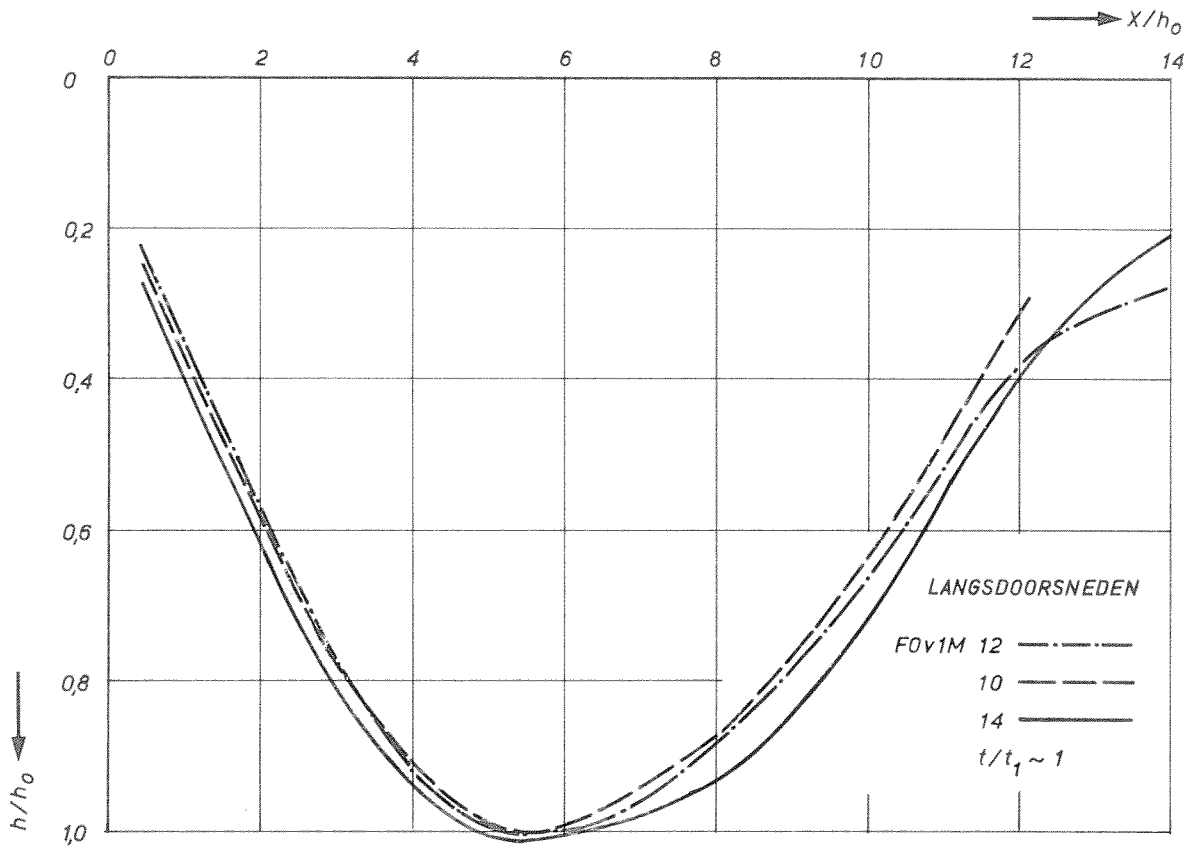
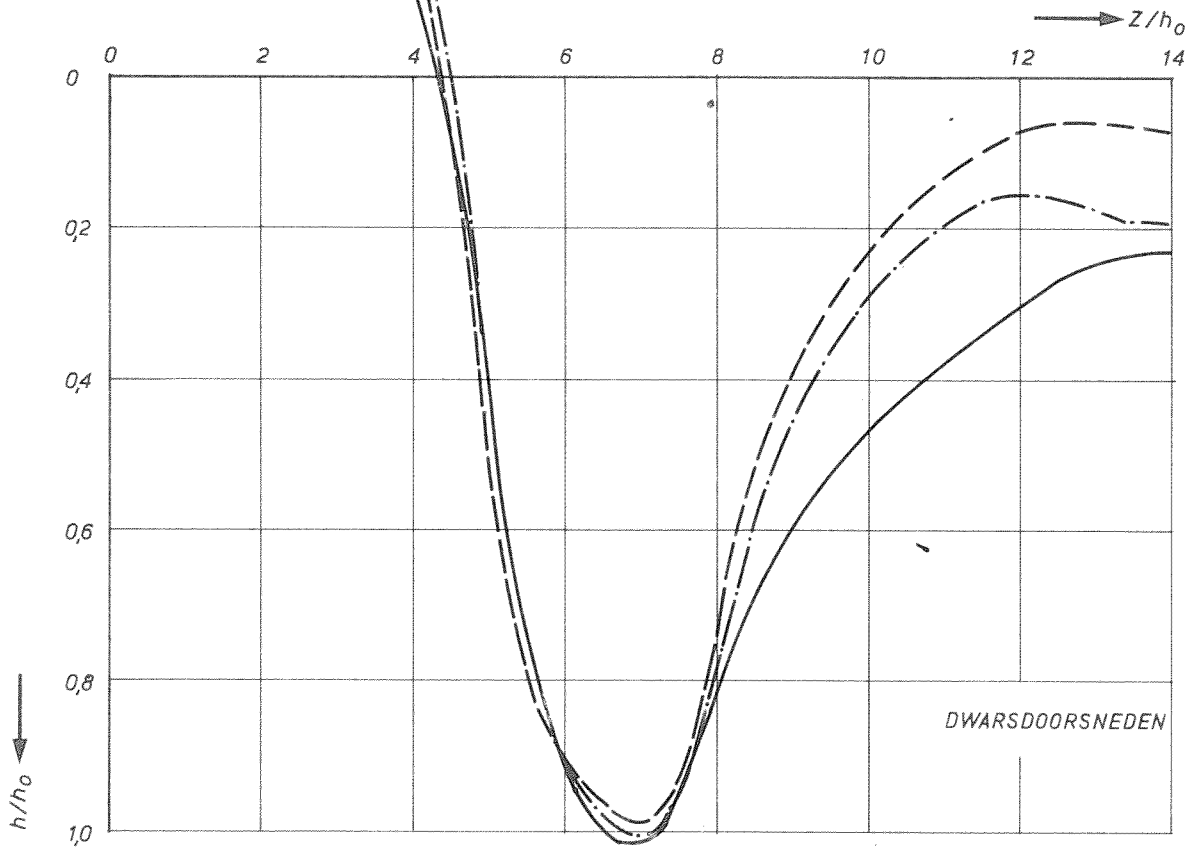
POLYSTYREEN

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1039

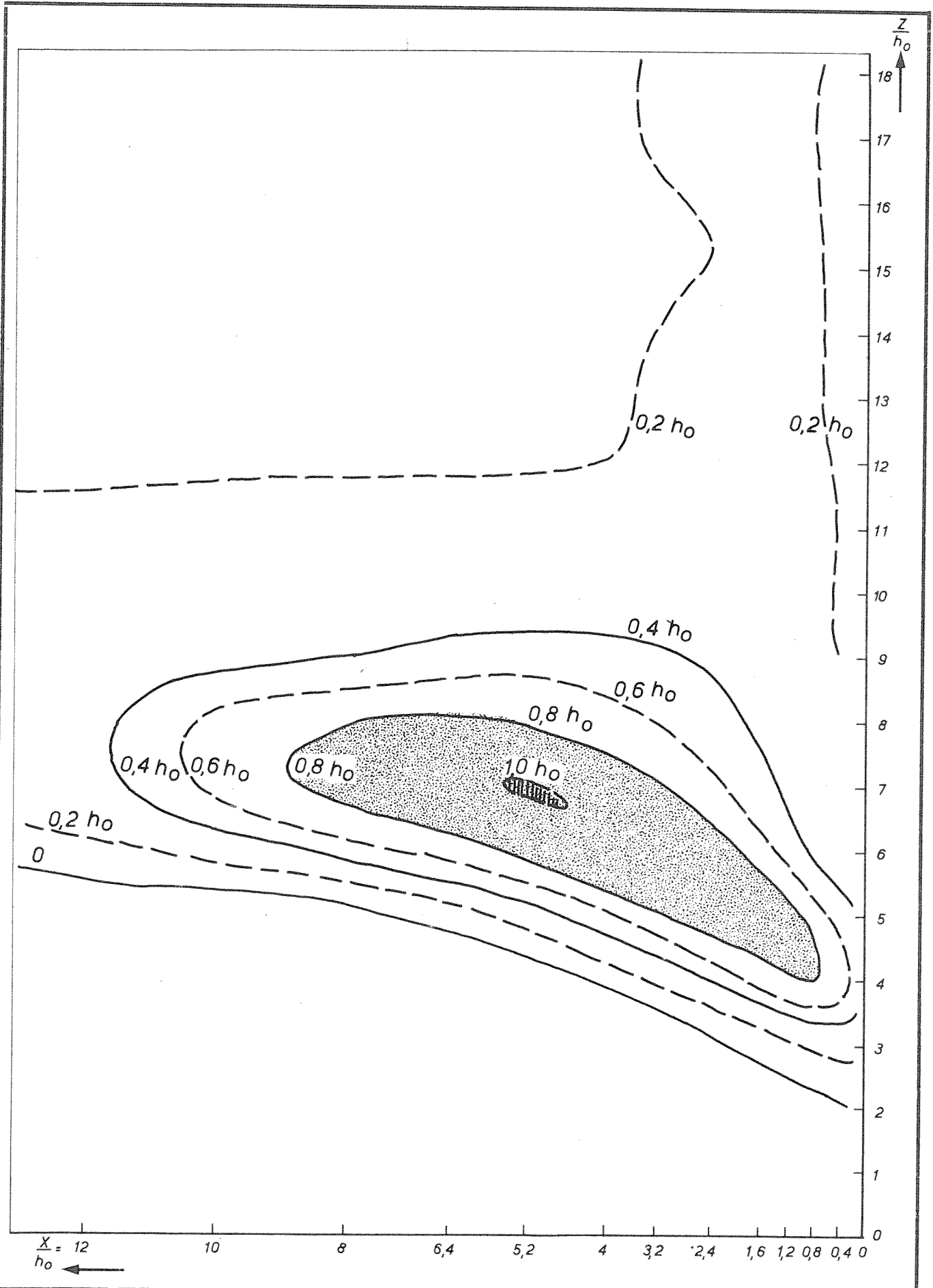
FIG.15 b



LANGS EN DWARSDOORSNEDEN OVER h_{max}

R.R.

A4



ONTGRONDINGSBEELD OP $t/t_1 \sim 1$
 $h_0 = 12,5 \text{ cm}$ $B = 2,5 \text{ m}$

F 0 v 1 M

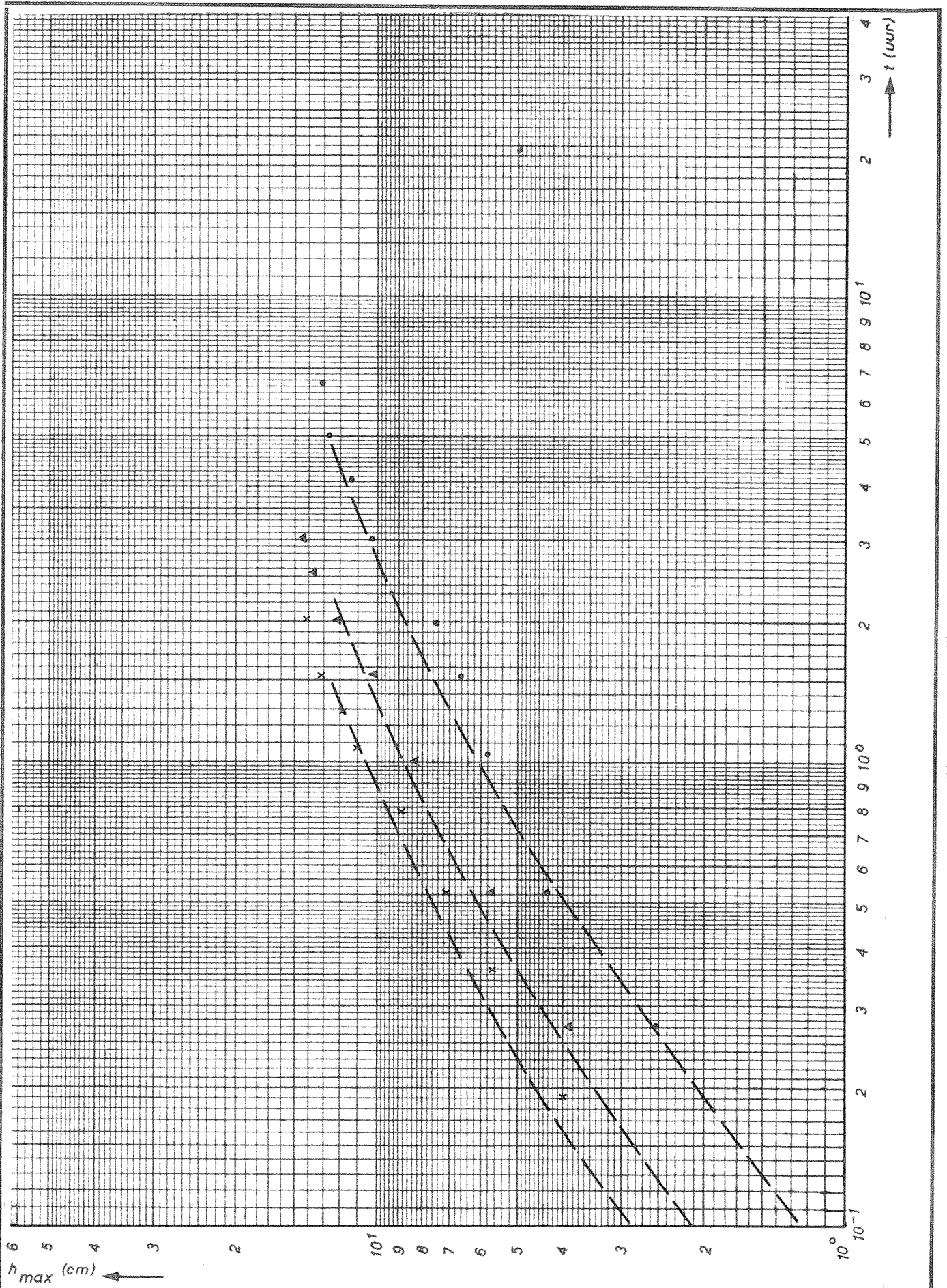
W_K

A 4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1089

FIG. 15 d



TJD-ONTGRONDINGSLUNEN

$h_0 = 12,5 \text{ cm}$

F1v1M 8 ●
9 ▲
10 x

R.R.

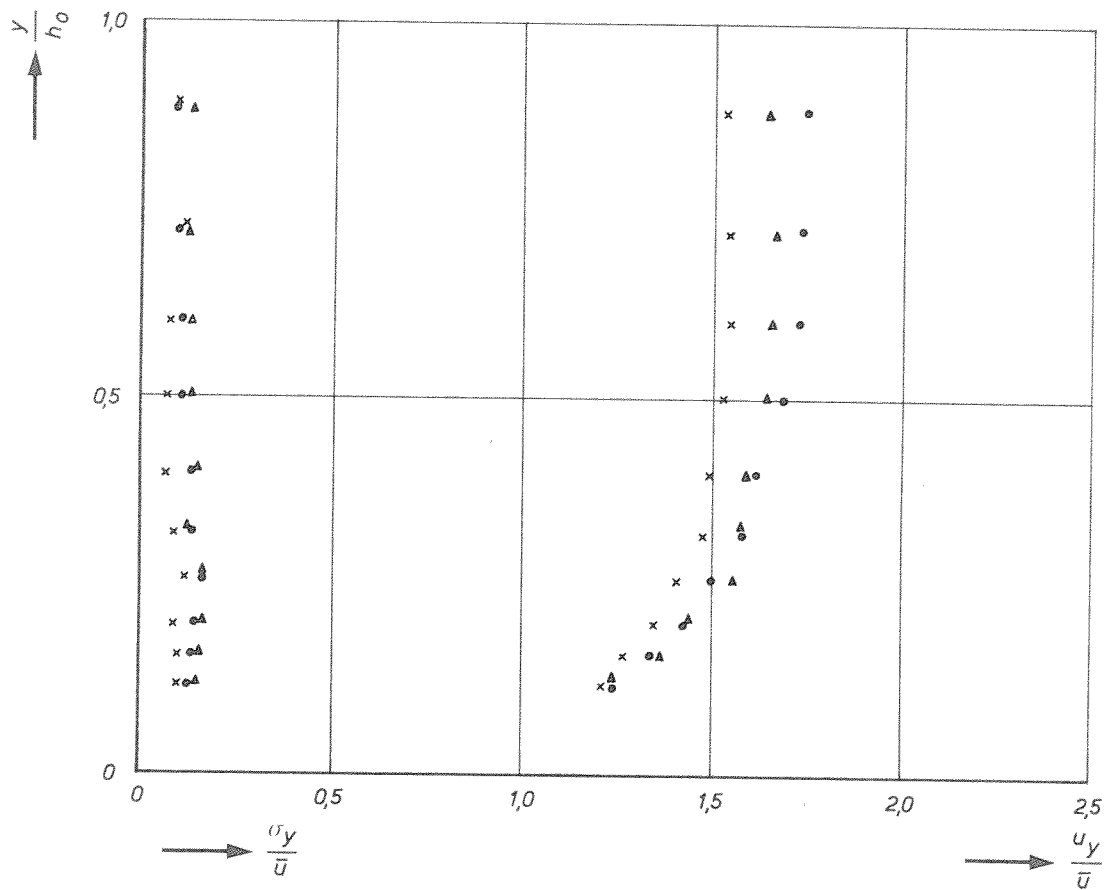
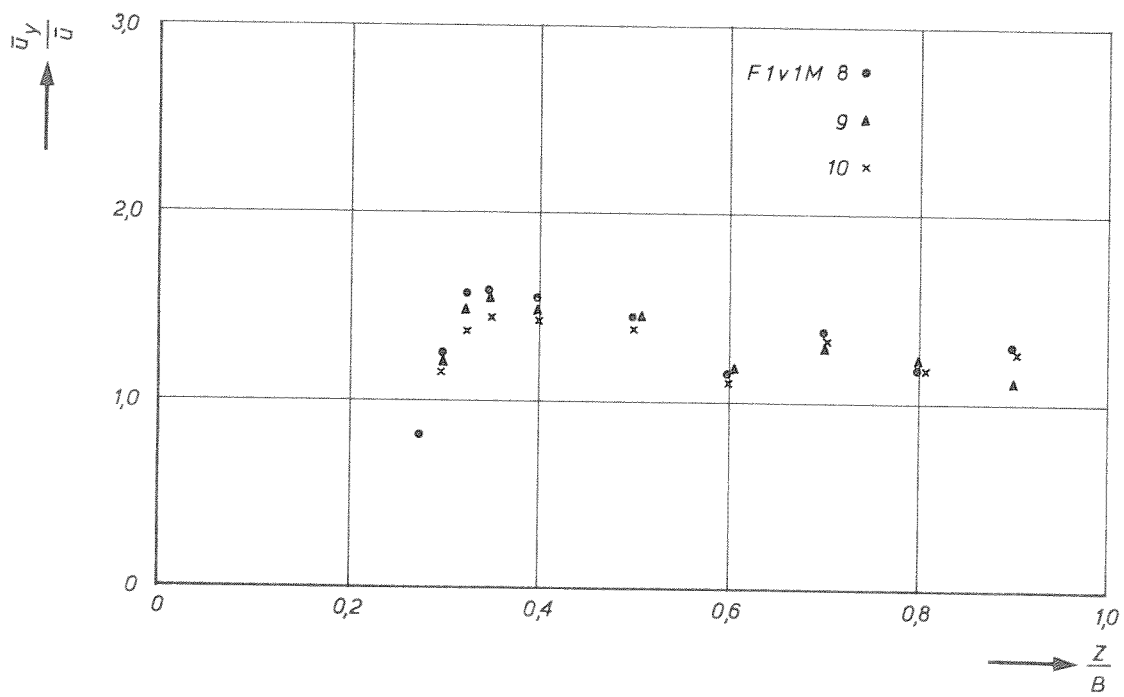
POLYSTYREEN

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1015

FIG.16a



HORizontALE EN VERTICALE SNELHEIDSVERDELINGEN

F1v1M

R.R.

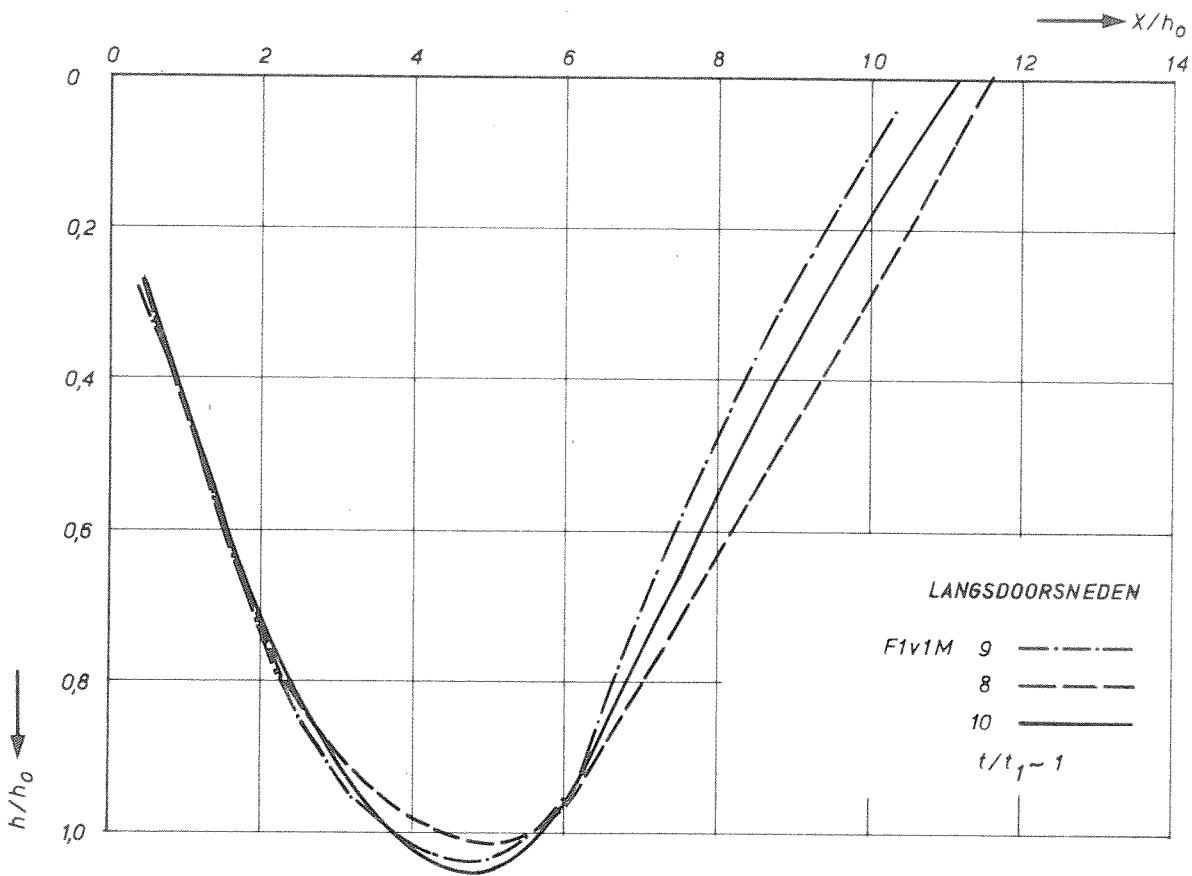
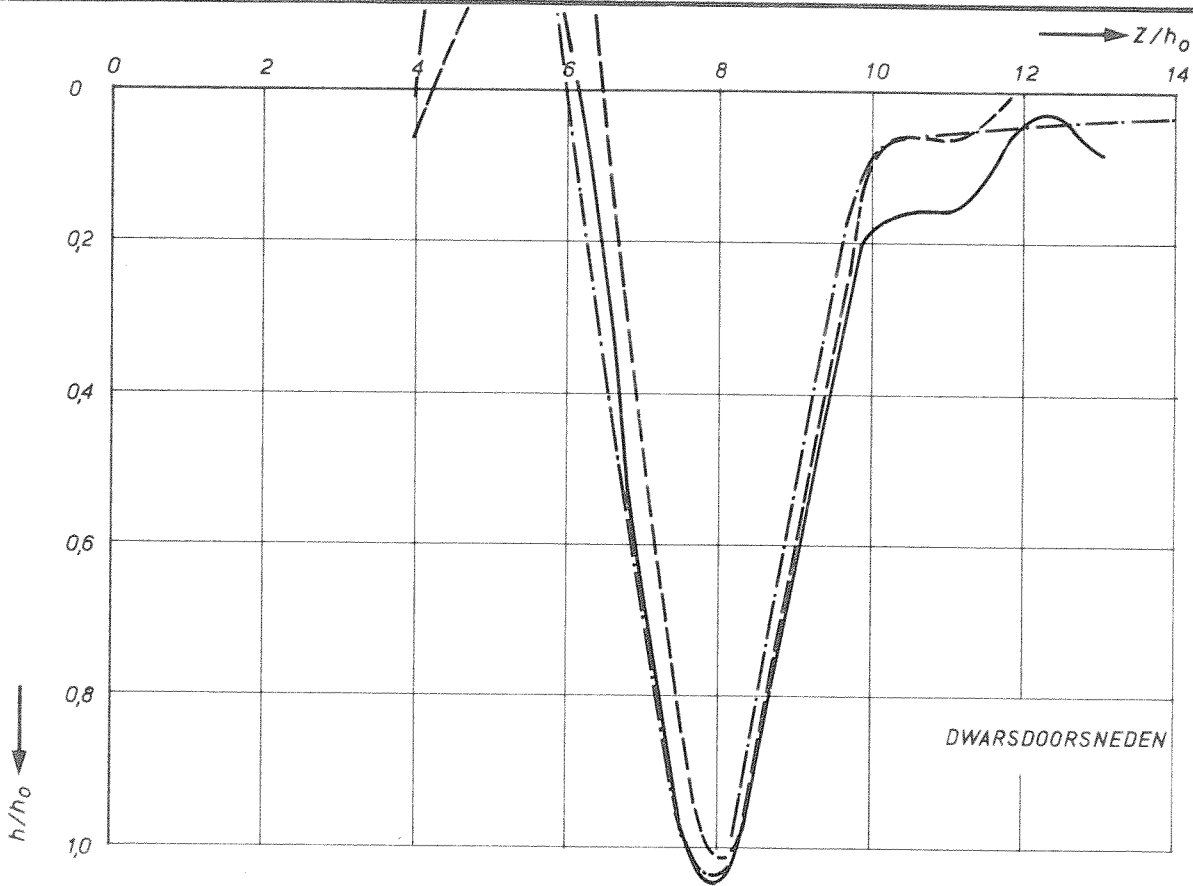
POLYSTYREEN

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1040

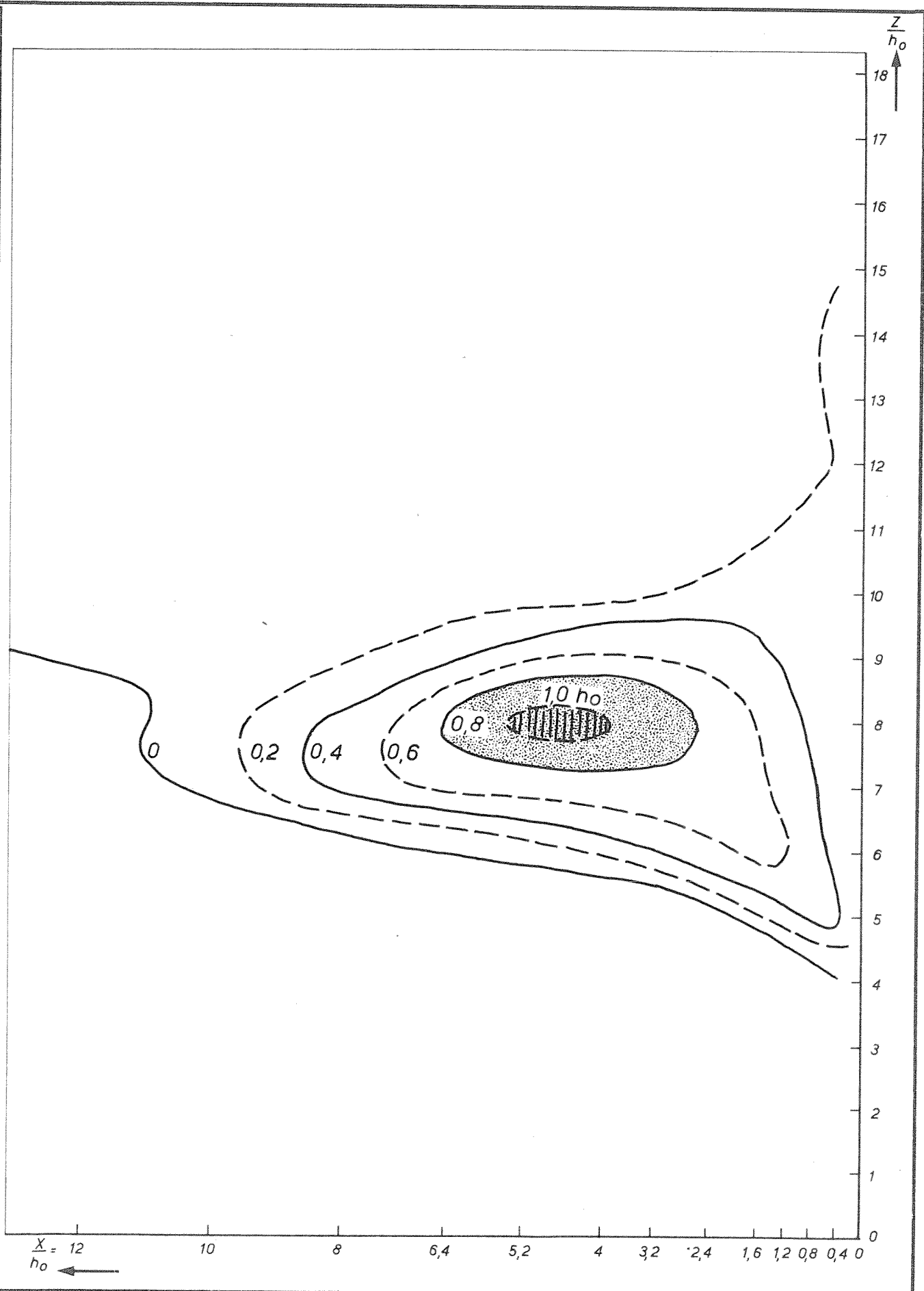
FIG.16b



LANGS EN DWARSDOORSNEDEN OVER h_{max}
 $h_0 = 125\text{cm}$ $B = 2,5\text{m}$

R.R.

A4



ONTGRONDINGSBEELD OP $t/t_1 \sim 1$
 $h_0 = 12,5$ $B = 2,5m$

F1v1M

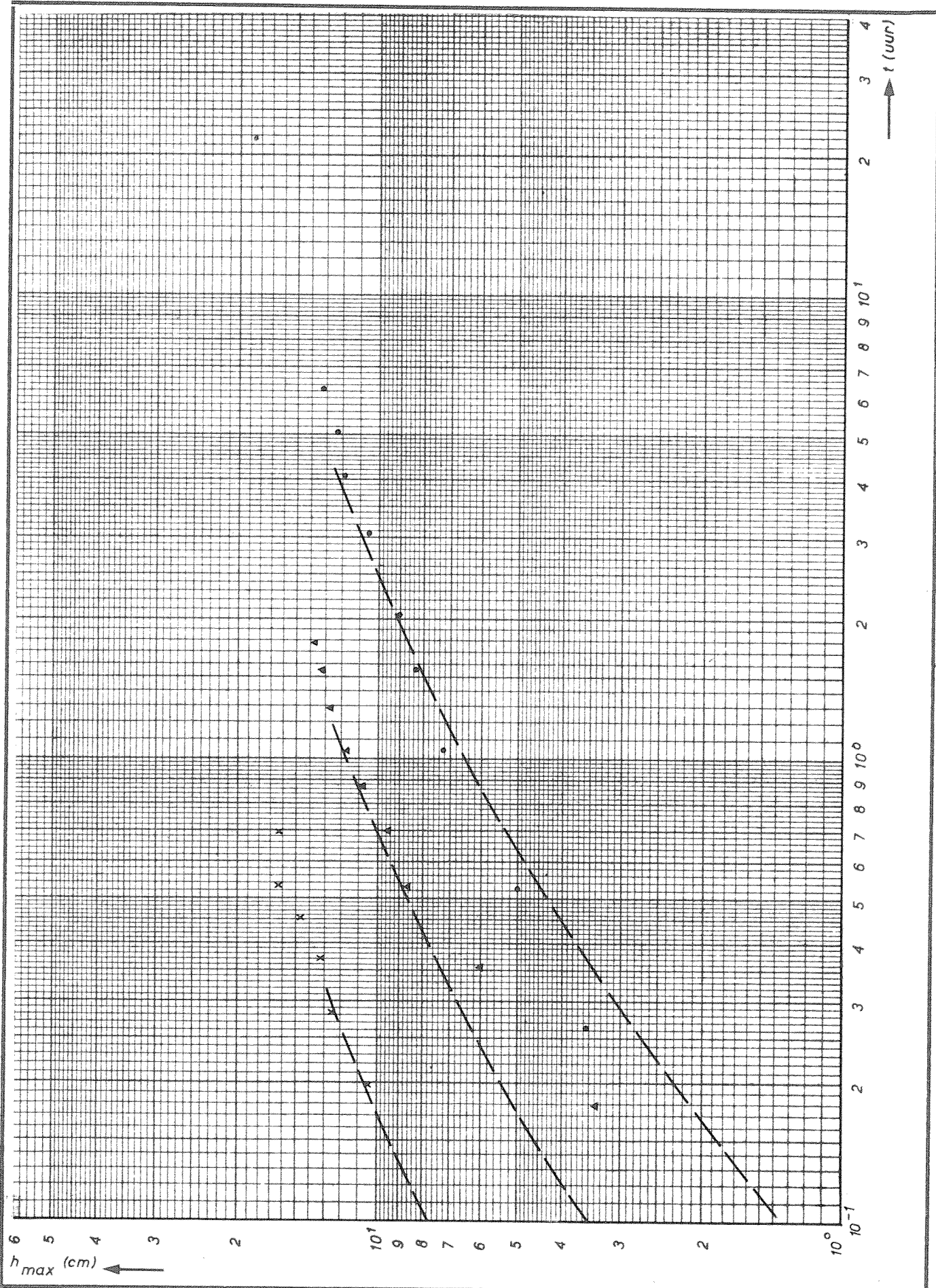
W_K

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1090

FIG.16d



TJD-ONTGRONDINGSLUNEN

$h_0 = 12,5 \text{ cm}$

F2v1M 4 ●
5 ▲
6 ×

R.R.

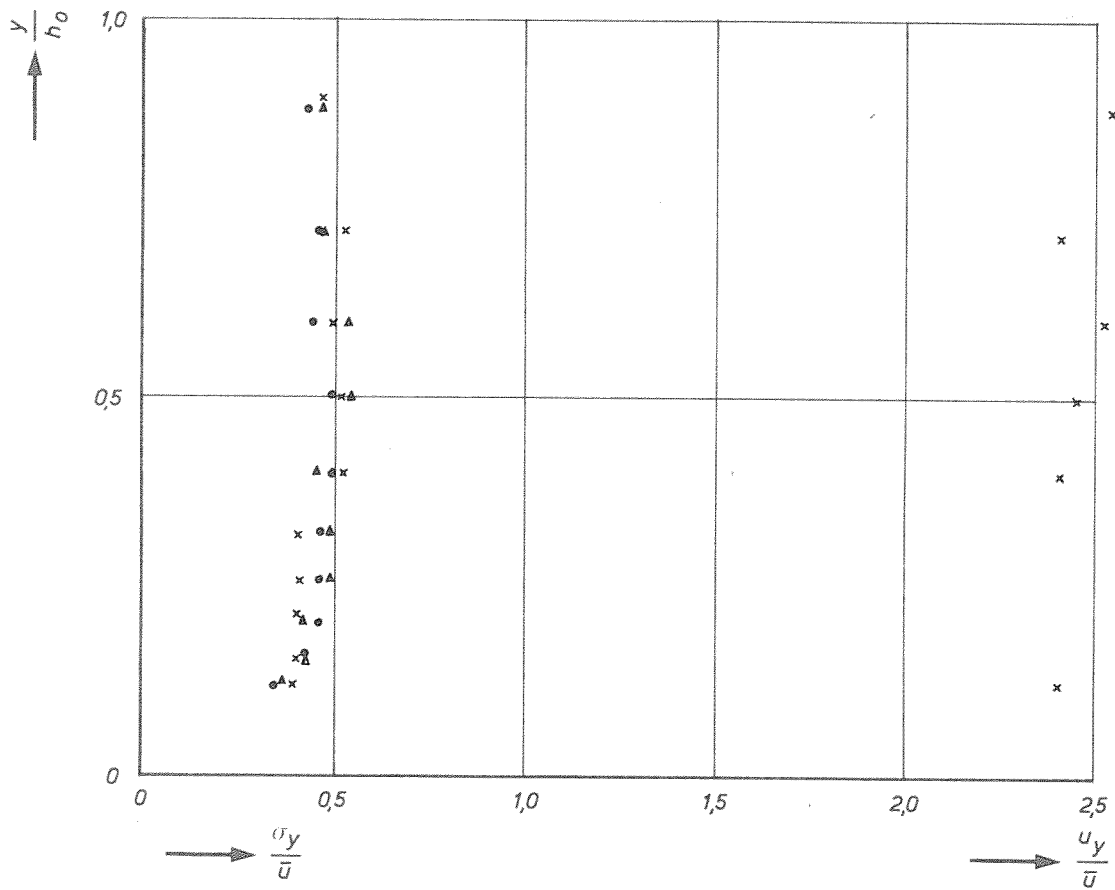
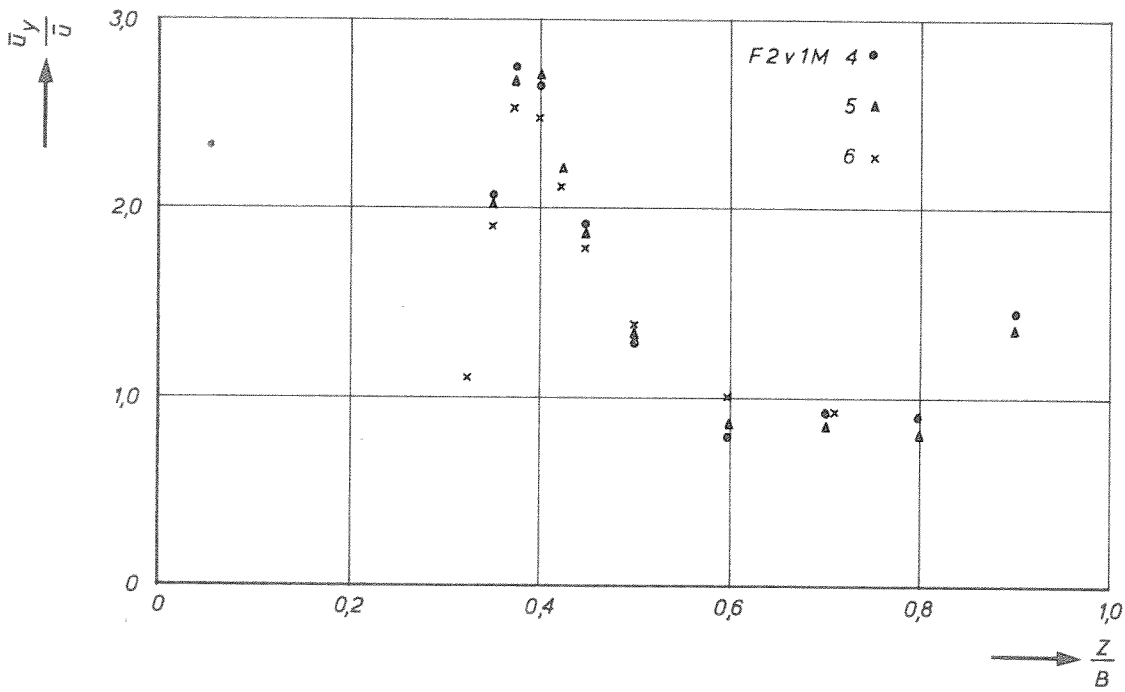
POLYSTYREEN

A4

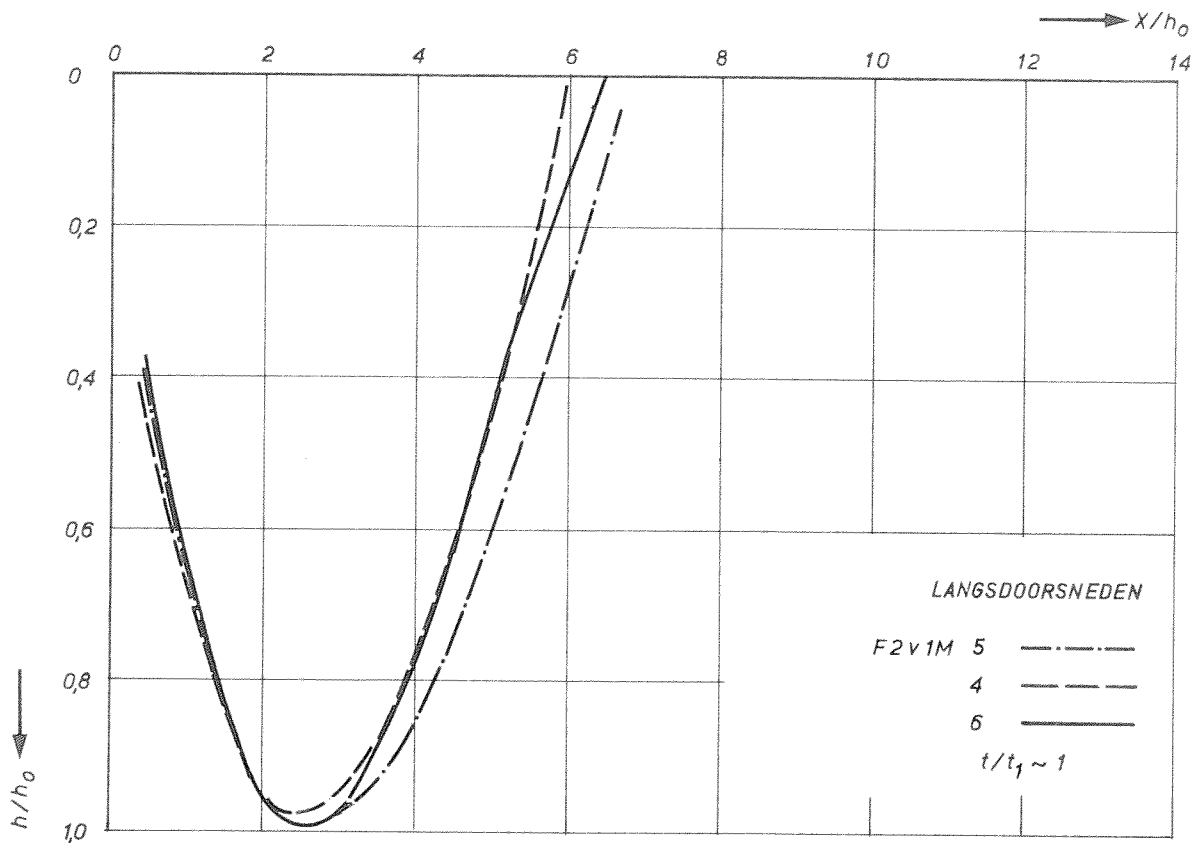
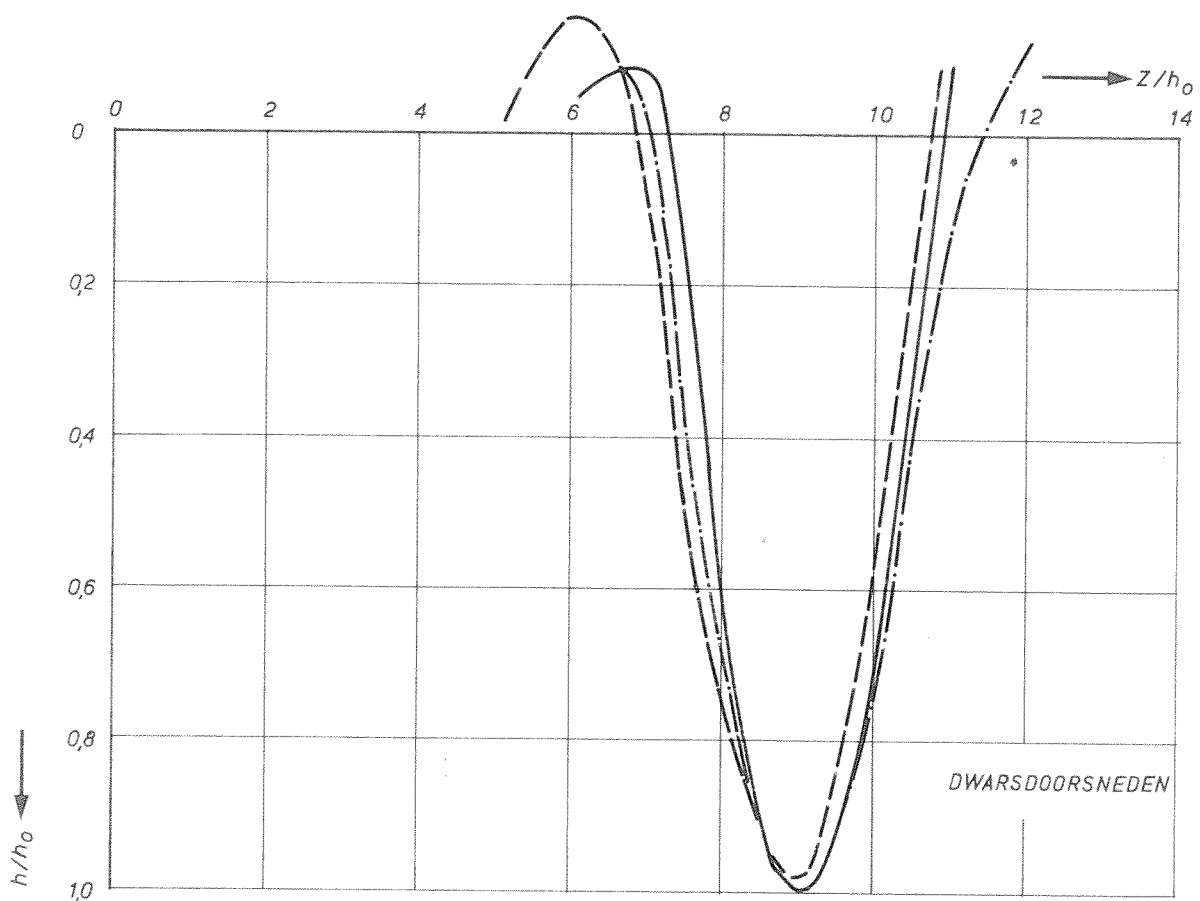
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1016

FIG.17a



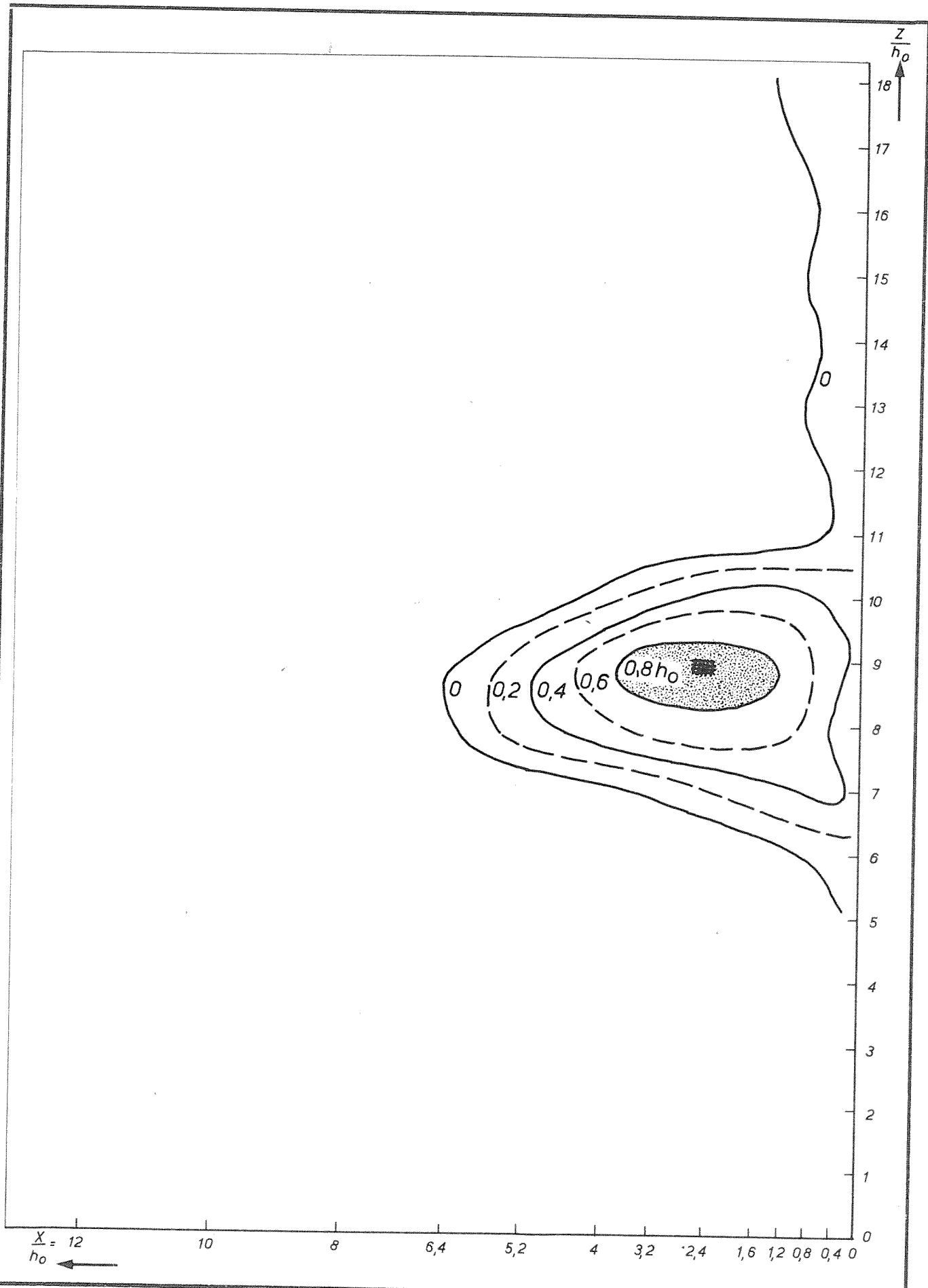
HORIZONTAL EN VERTICALE SNELHEIDSVERDELINGEN	F2v1M	RR.
	POLYSTYREEN	A4
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M.847-III-1041	FIG.17b



LANGS EN DWARSDOORSNEDEN OVER h_{max}
 $h_0 = 12,5\text{cm}$ $B = 2,5\text{m}$

R.R.

A4



ONTGRONDINGSBEELD OP $t/t_1 \sim 1$
 $h_0 = 12,5 \text{ cm}$ $B = 2,5 \text{ m}$

F2v1M

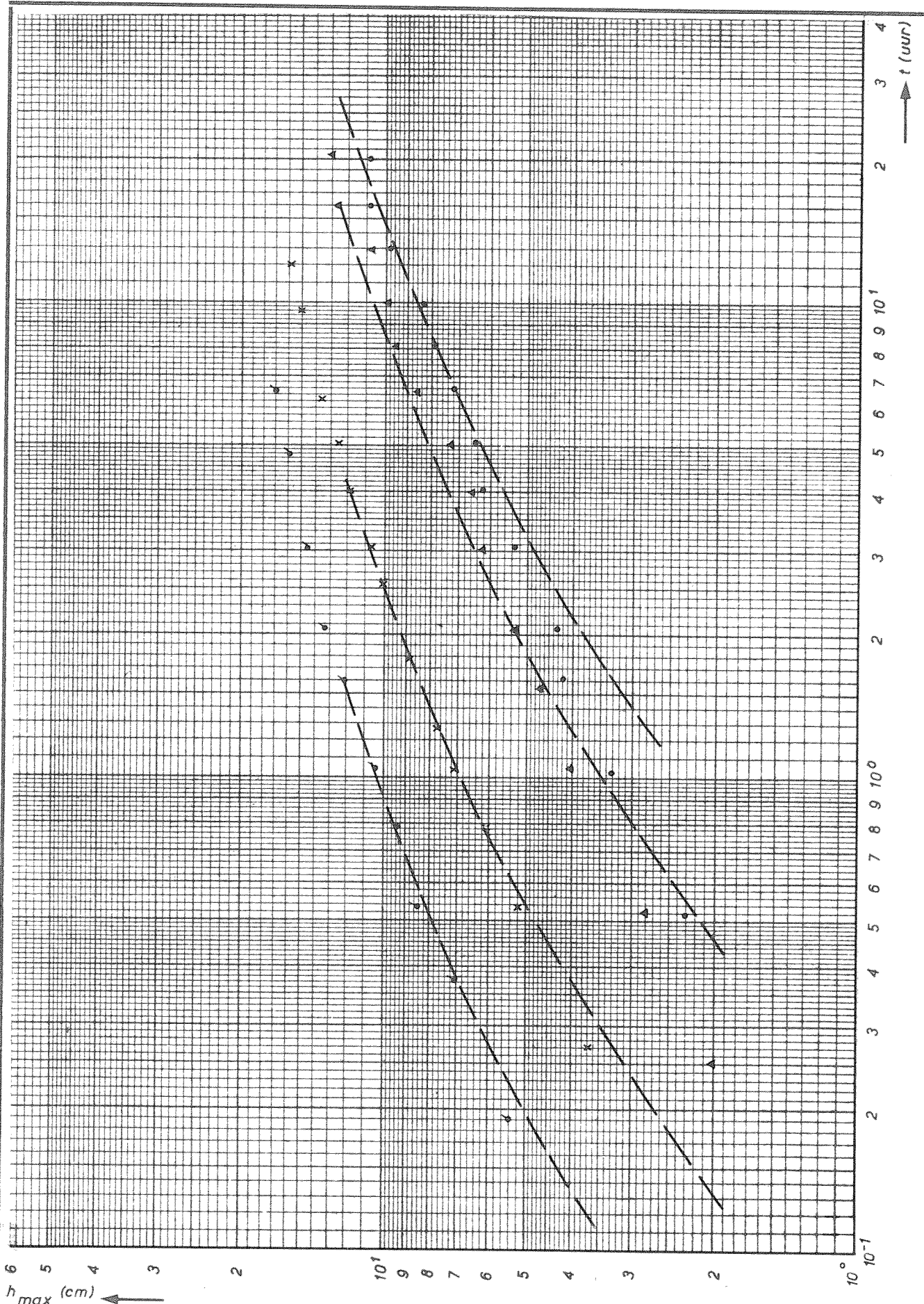
W
K

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1091

FIG.17d



TUD-ONTGRONDINGSLUNEN

$h_0 = 12,5 \text{ cm}$

F0v2M 9 ●
10 ▲
12 ×
14 ◻

R.R.

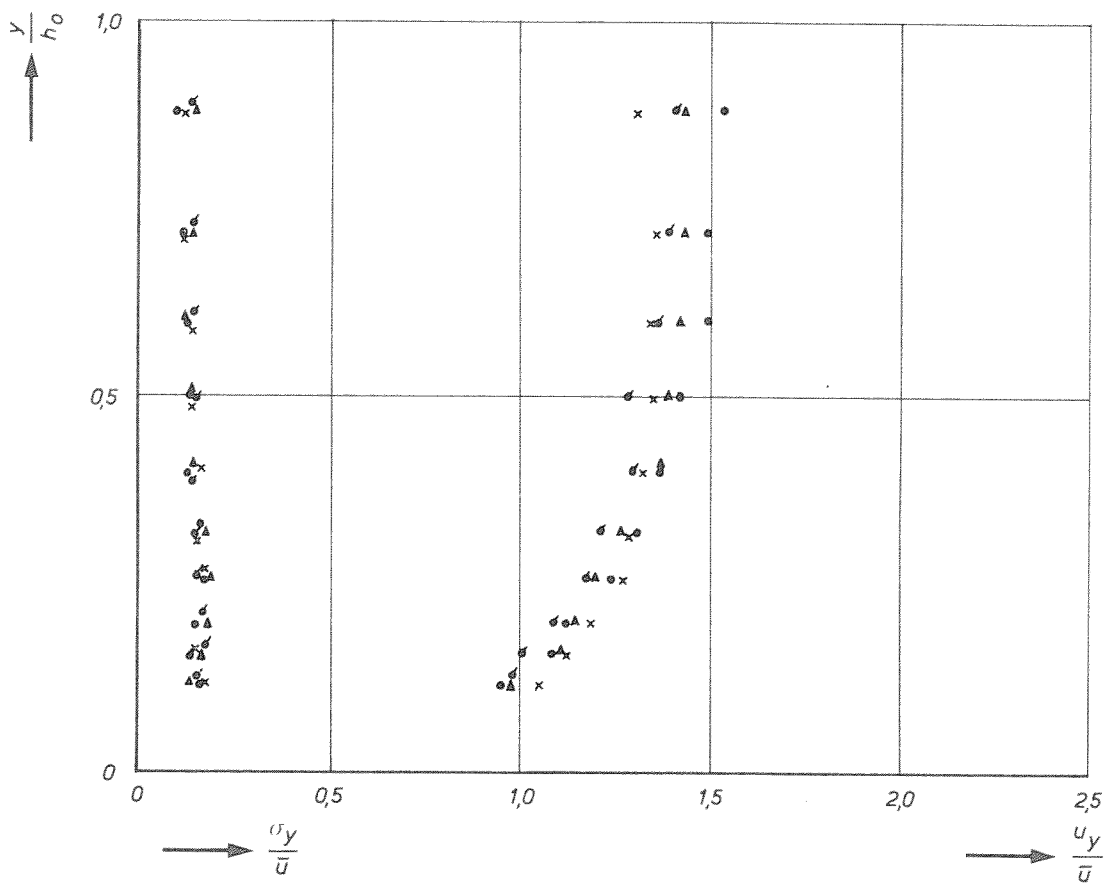
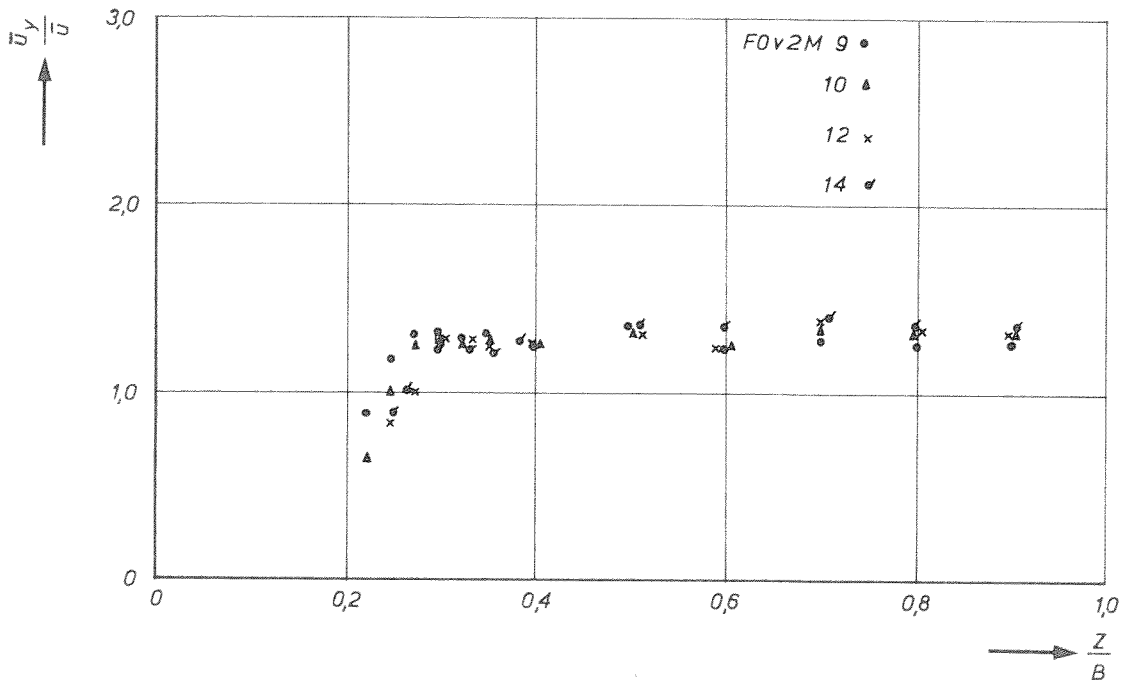
POLYSTYREEN

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1017

FIG.18 α



HORIZONTAL EN VERTICALE SNELHEIDSVERDELINGEN

F0v2M

R.R.

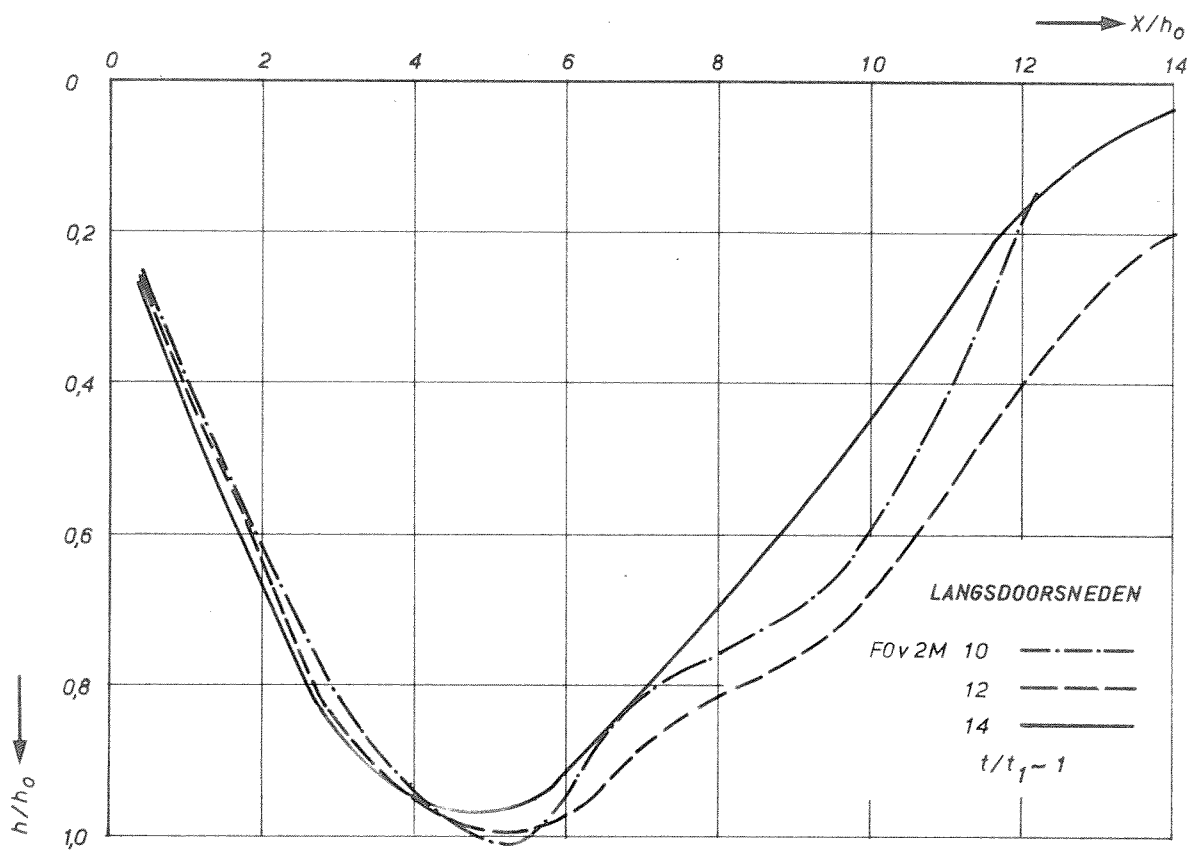
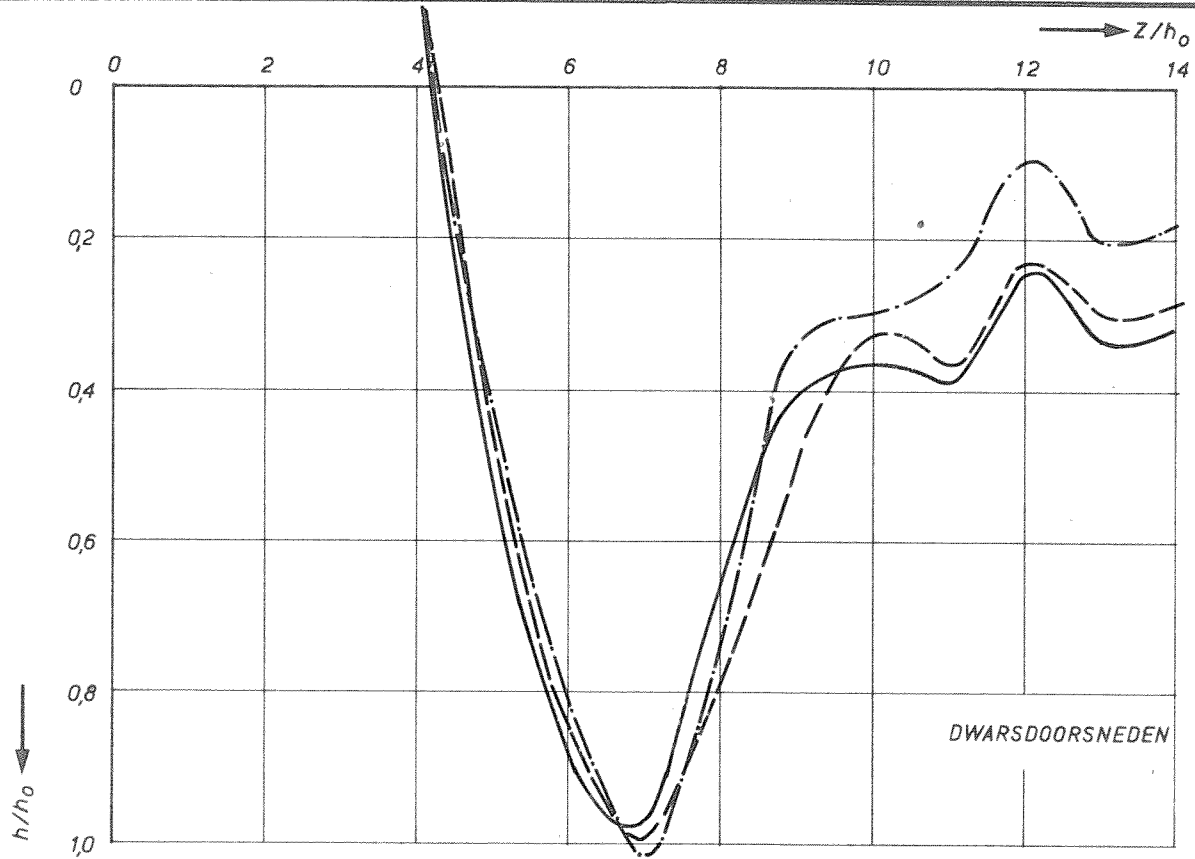
POLYSTYREEN

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1042

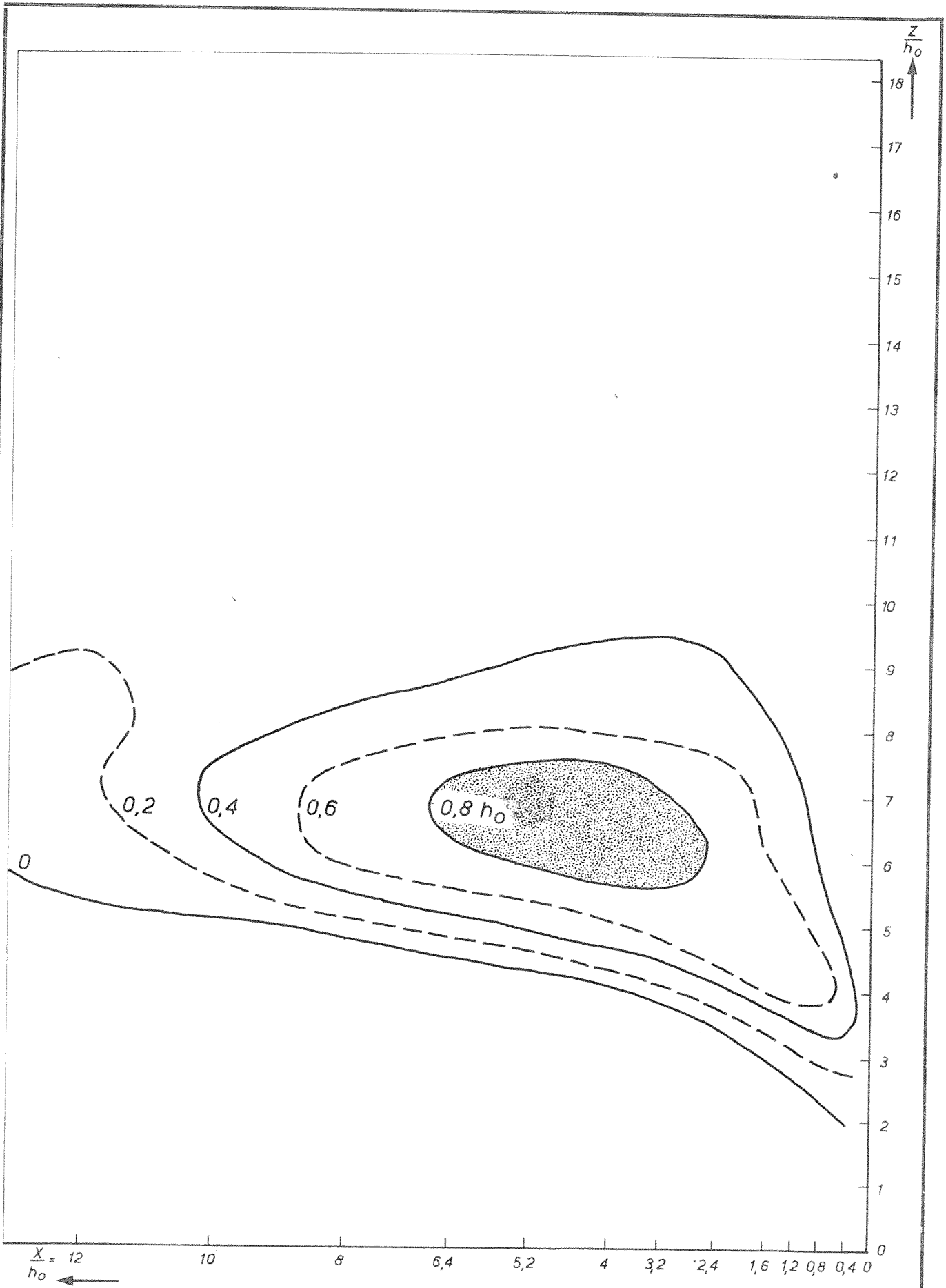
FIG.18b



LANGS EN DWARSDOORSNEDEN OVER h_{max}
 $h_0 = 12,5\text{cm}$ $B = 2,5\text{m}$

R.R.

A4



ONTGRONDINGSBEELD OP $t/t_1 \sim 1$
 $h_0 = 12,5 \text{ cm}$ $B = 2,5 \text{ m}$

F0v2M

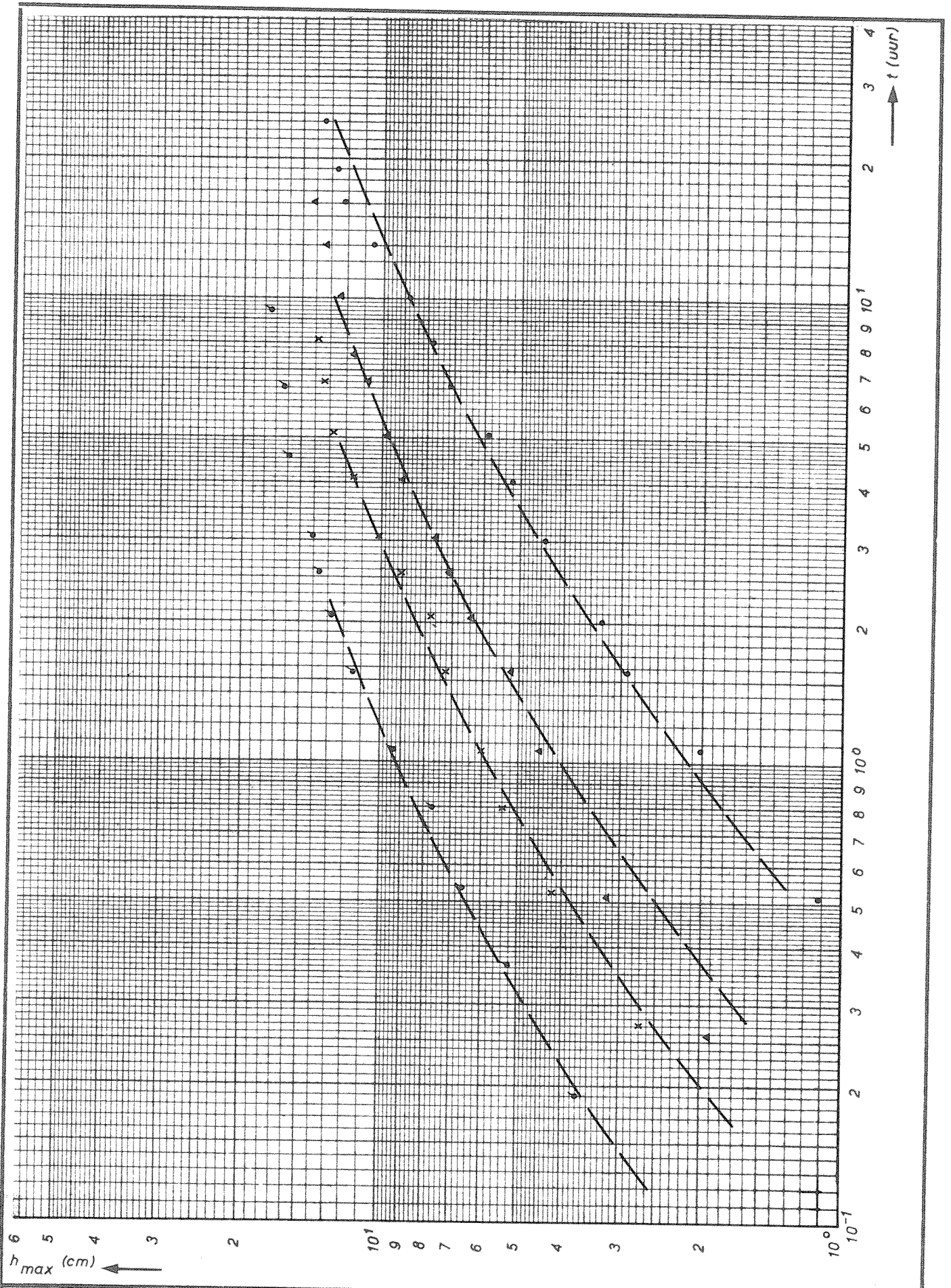
W_K

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1092

FIG.18 d



TJD-ONTGRONDINGSLUNEN

$h_0 = 12,5 \text{ cm}$

F1v2M 7 ●
8 ▲
9 ×
10 ◻

R.R.

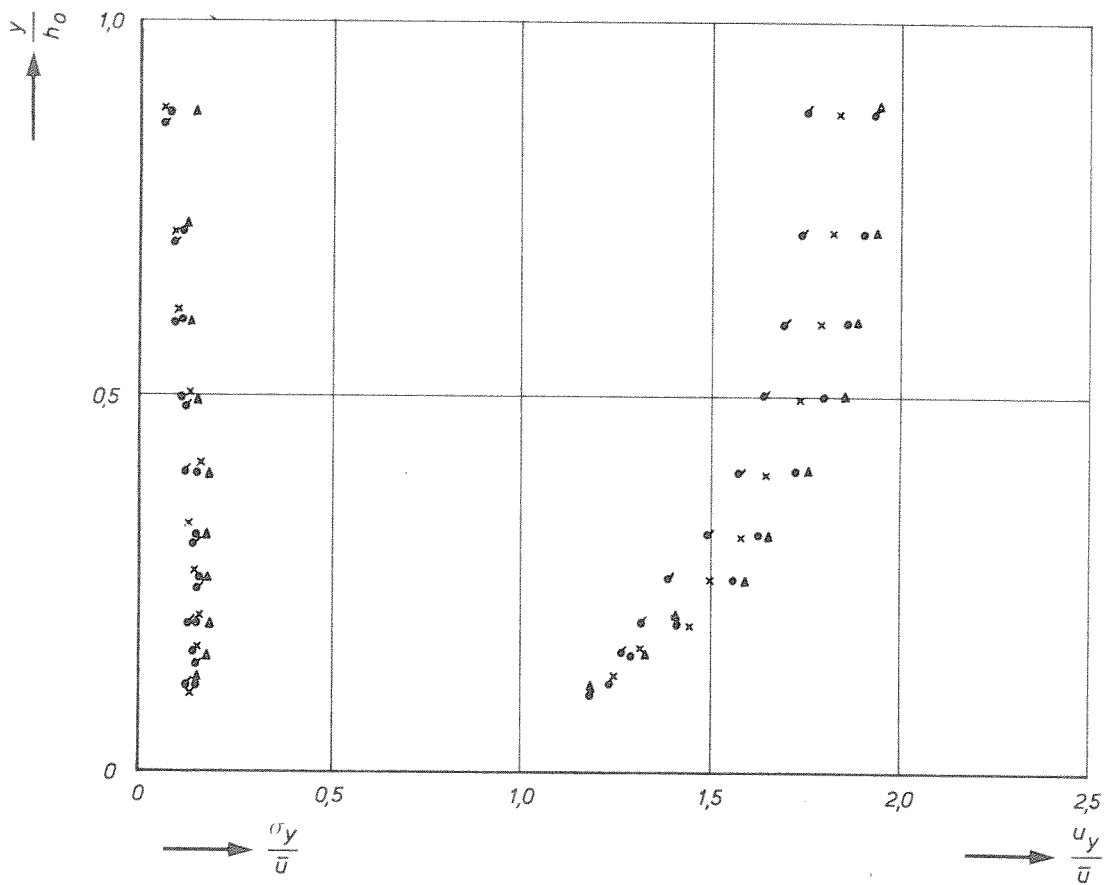
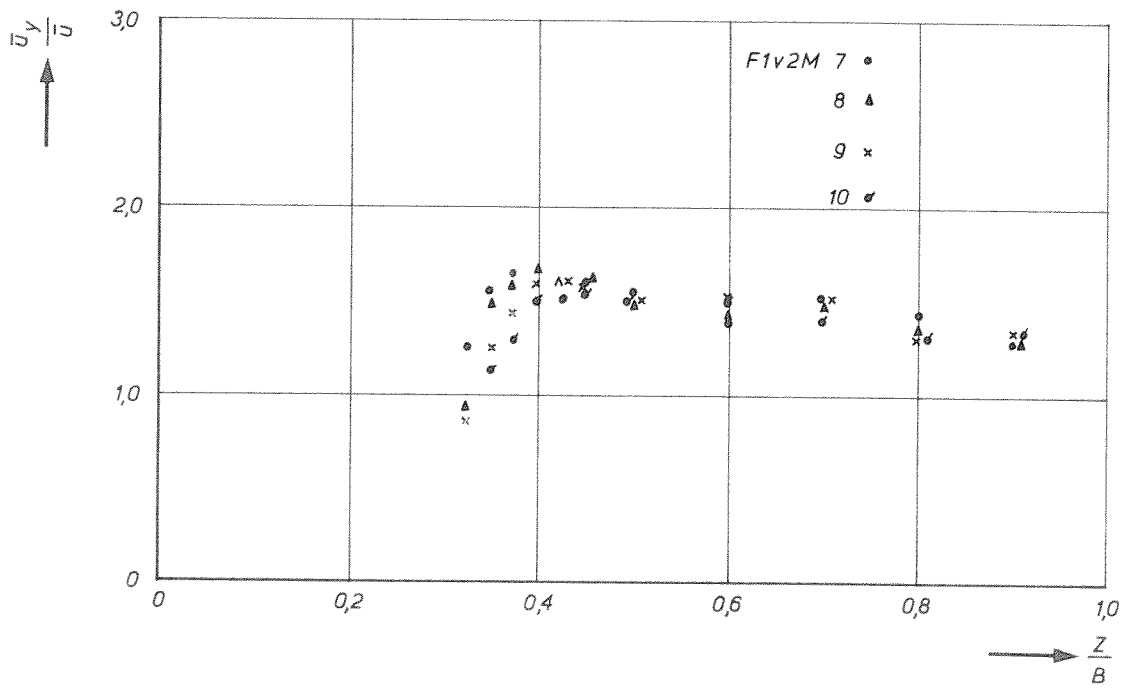
POLYSTYREEN

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1018

FIG.19a



HORIZONTALA EN VERTICALE SNELHEIDSVERDELINGEN

F1v2M

R.R.

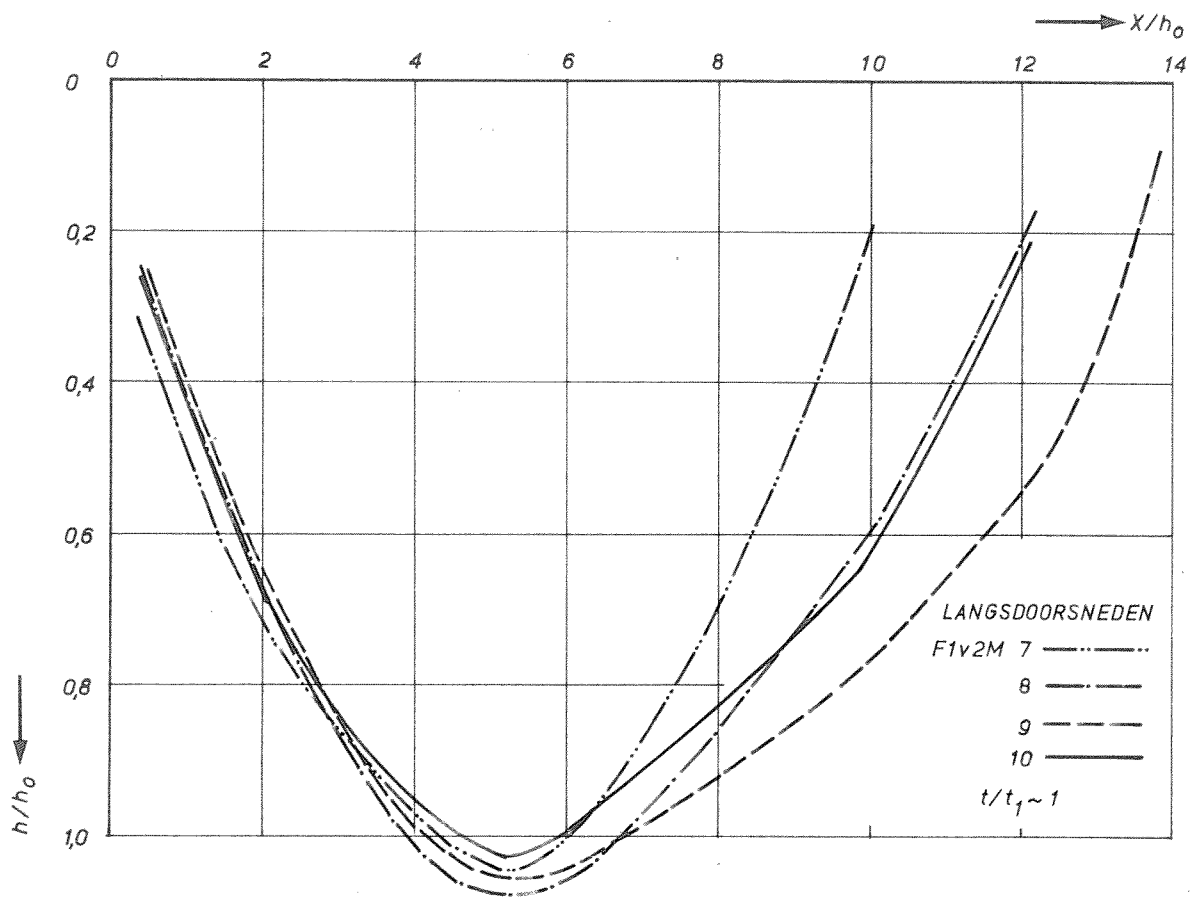
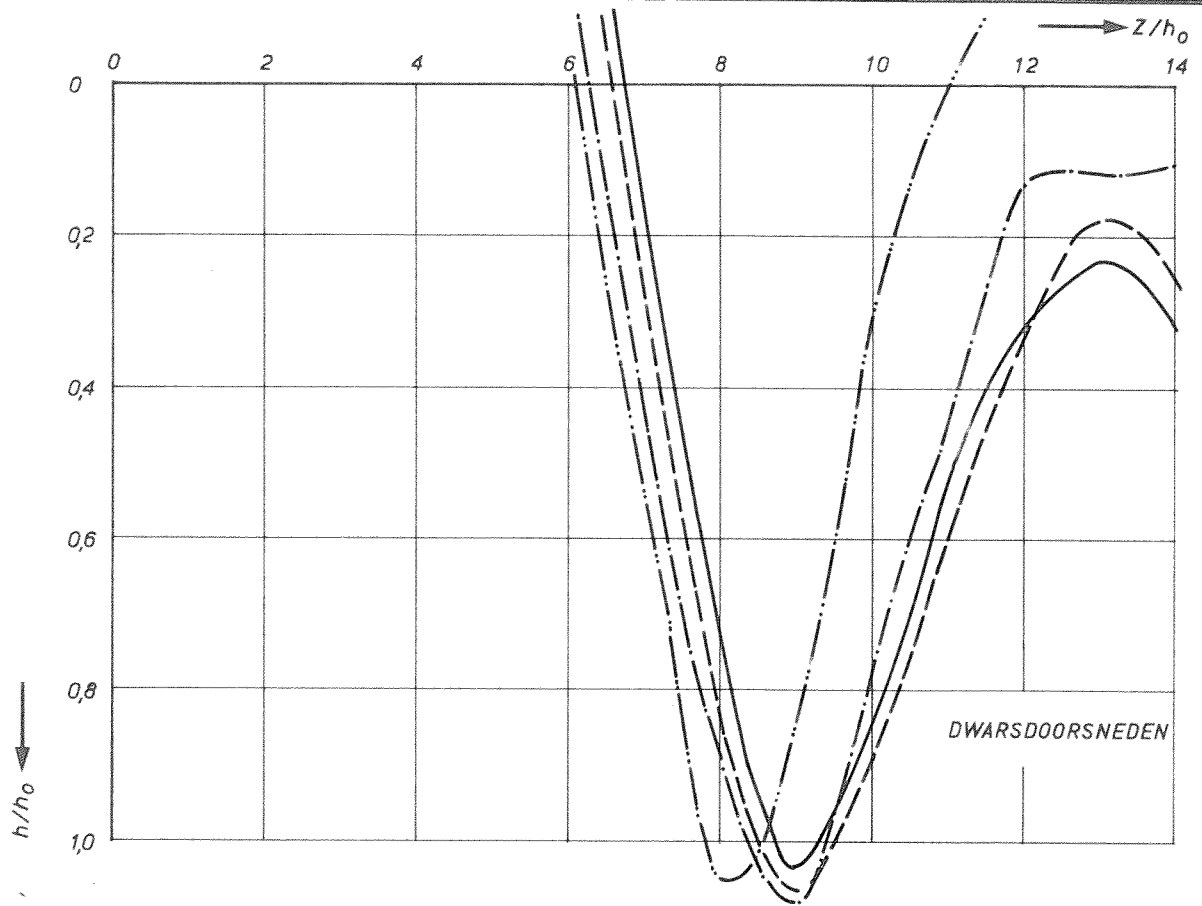
POLYSTYREEN

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1043

FIG.19 b



LANGS EN DWARSDOORSNEDEN OVER h_{max}
 $h_0 = 12,5cm$ $B = 2,5m$

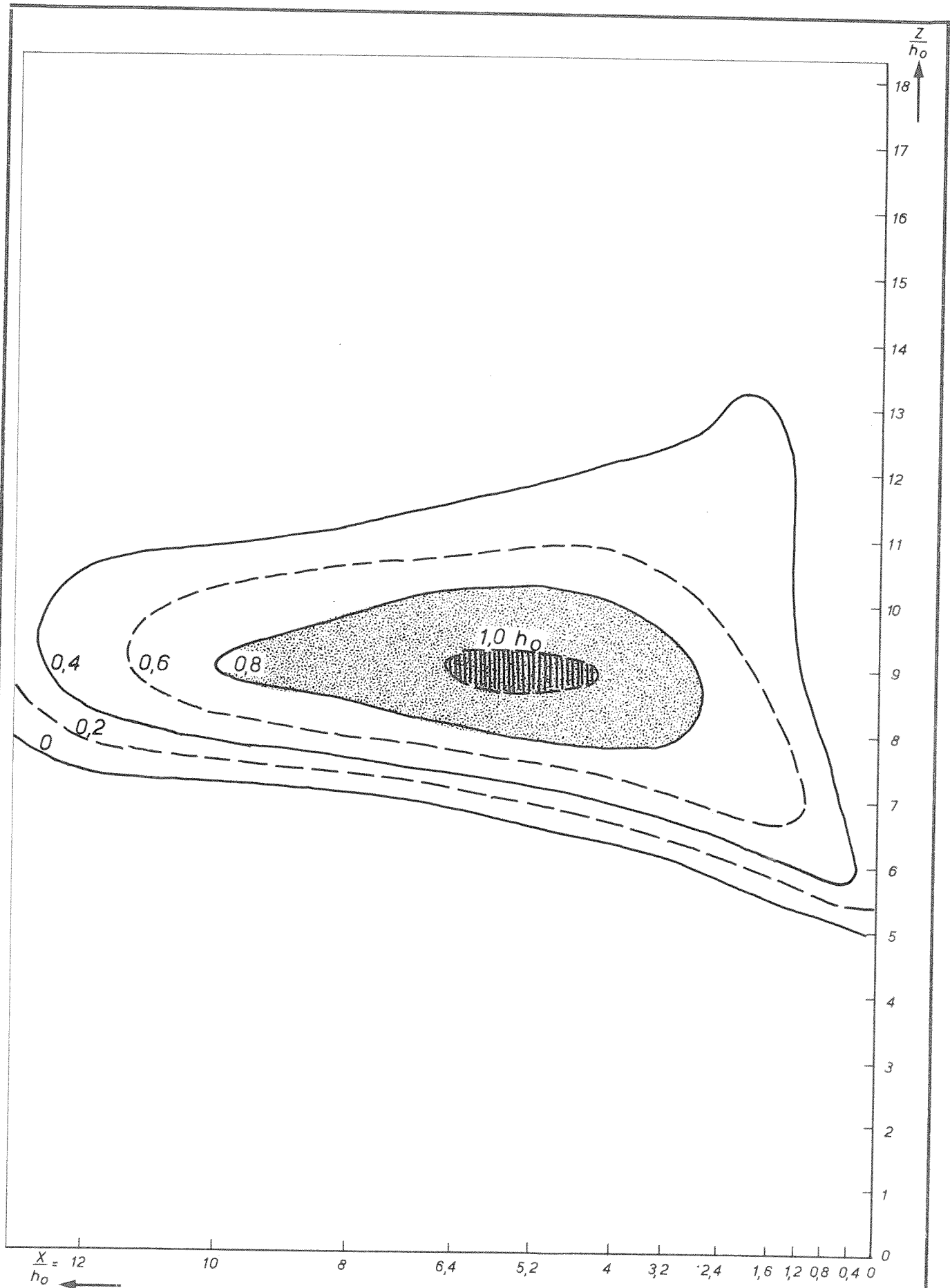
R.R.

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1068

FIG.19c



ONTGRONDINGSBEELD OP $t/t_1 \sim 1$
 $h_0 = 12,5 \text{ cm}$ $B = 2,5 \text{ m}$

F1v2M

W
K

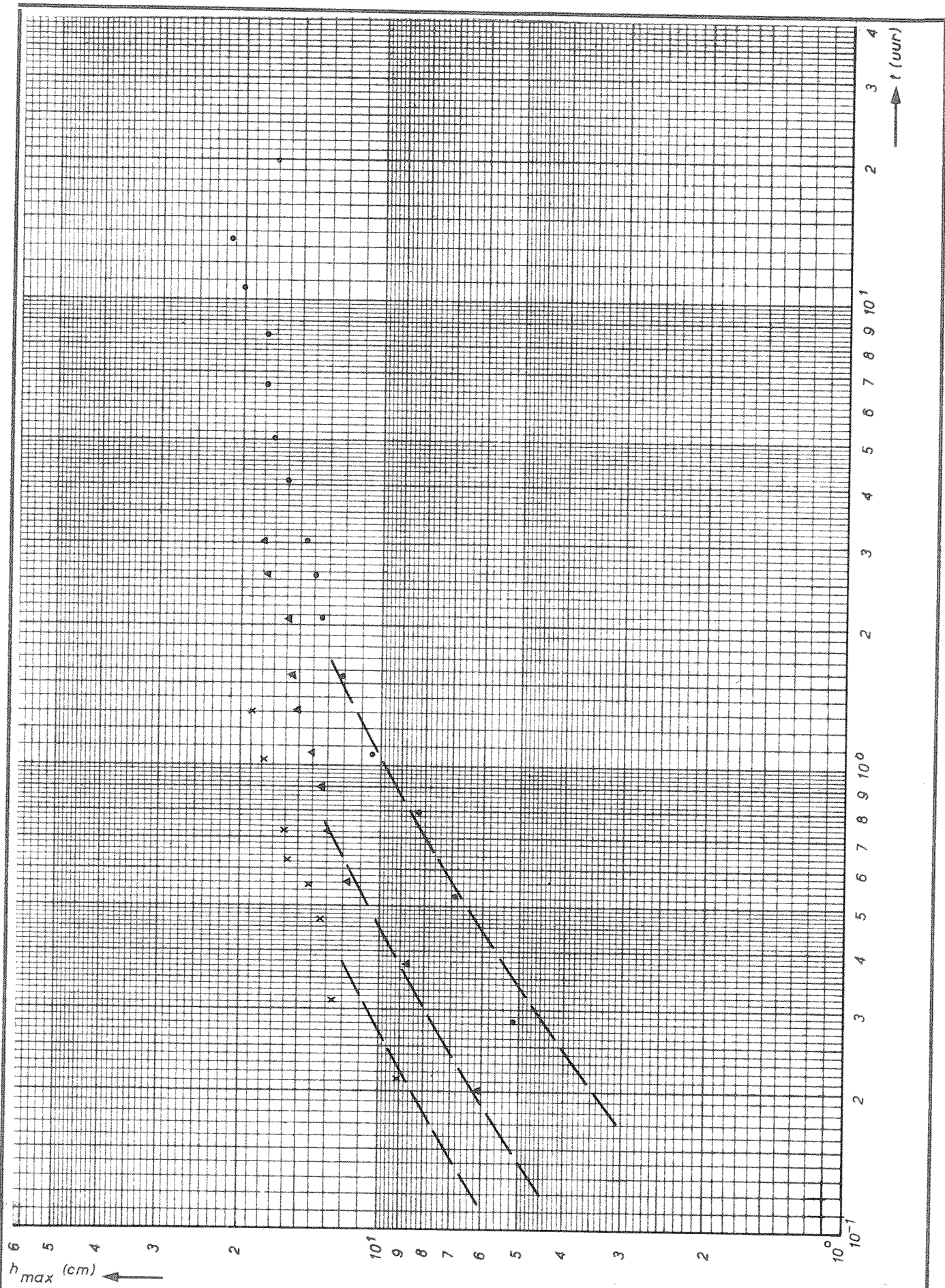
POLYSTYREEN

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1093

FIG.19d



TJD-ONTGRONDINGSLUNEN

$h_0 = 12,5$ cm

F2v2M 6 ●
7 ▲
8 x

R.R.

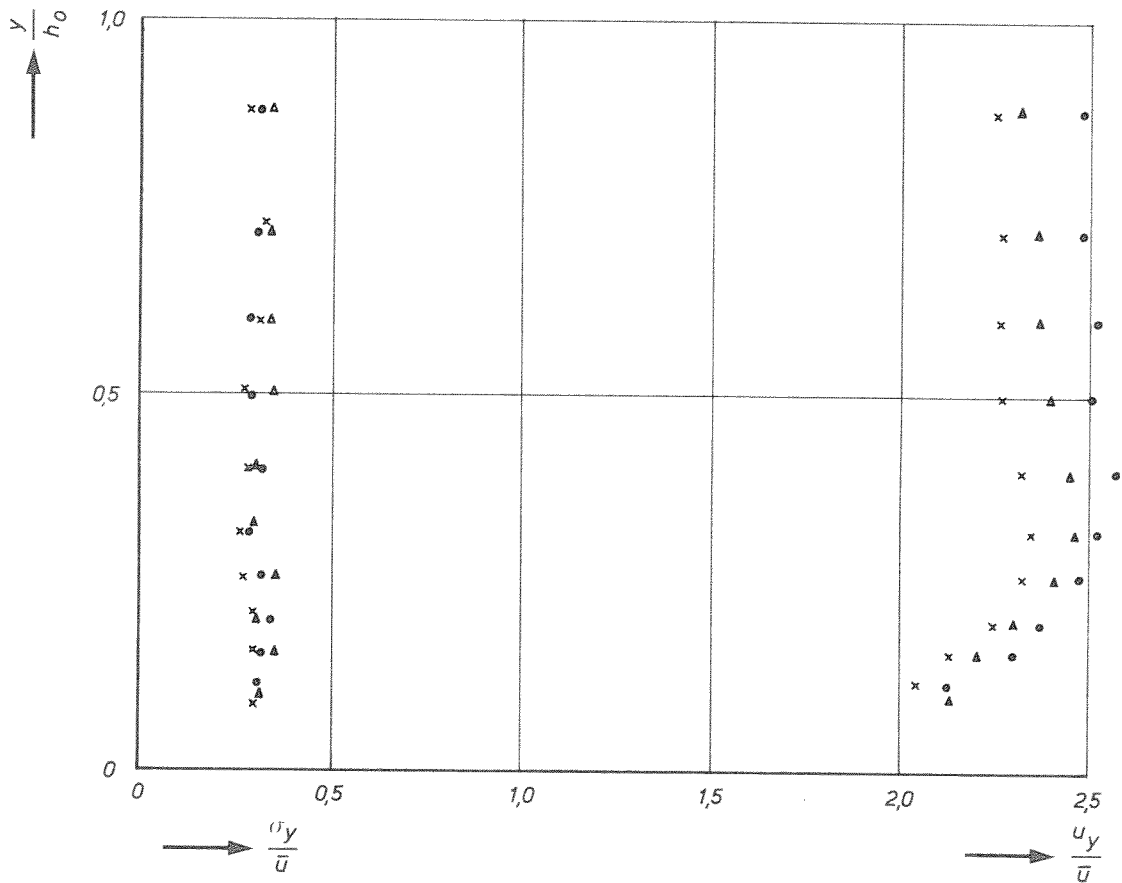
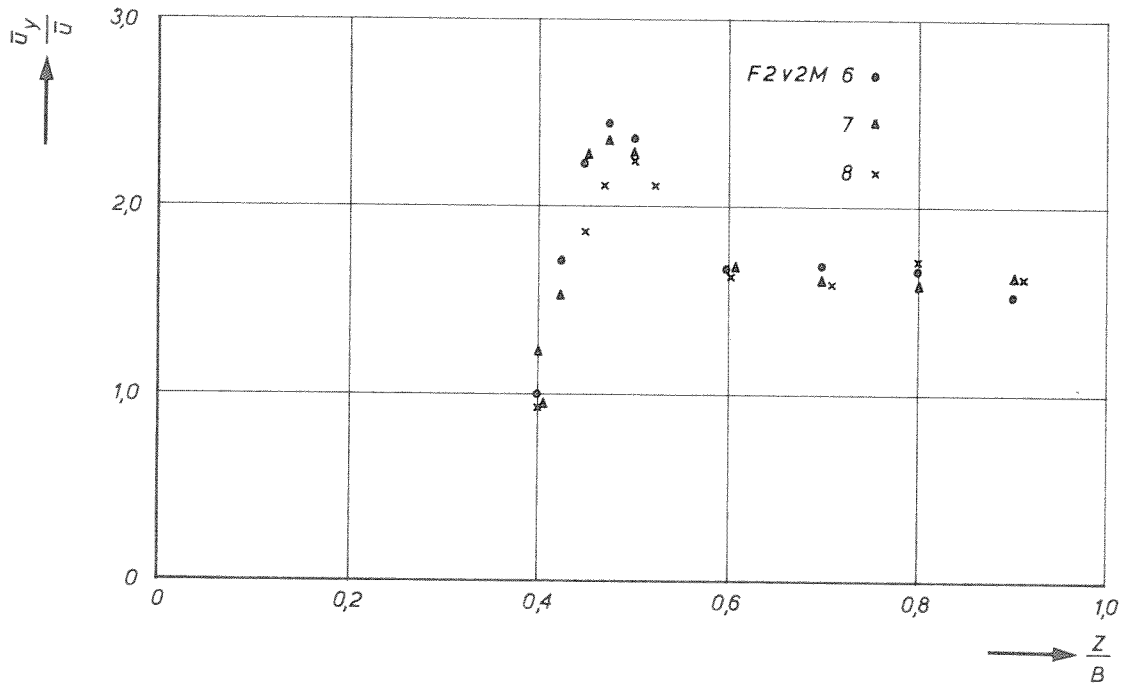
POLYSTYREEN

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1019

FIG.20a



HORIZONTALE EN VERTICALE SNELHEIDSVERDELINGEN

F2v2M

R.R.

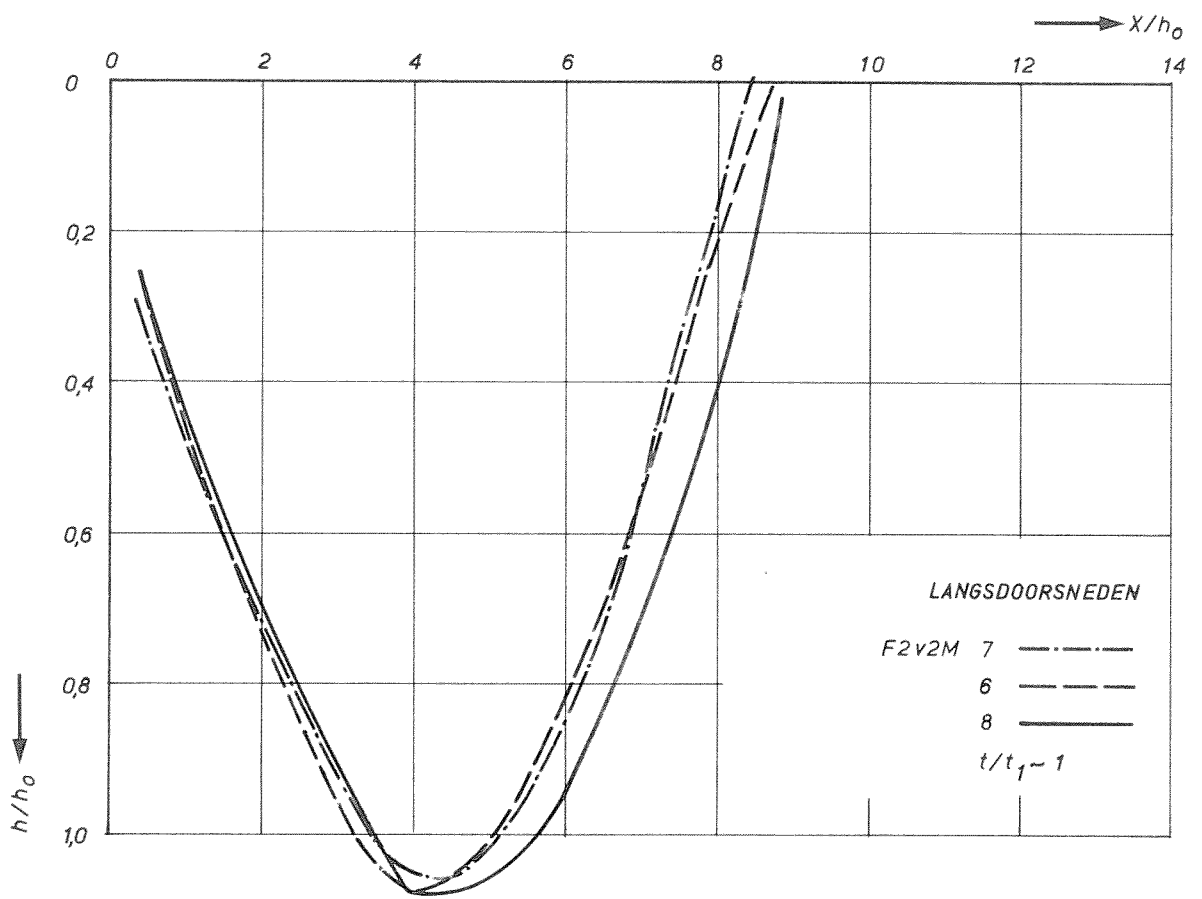
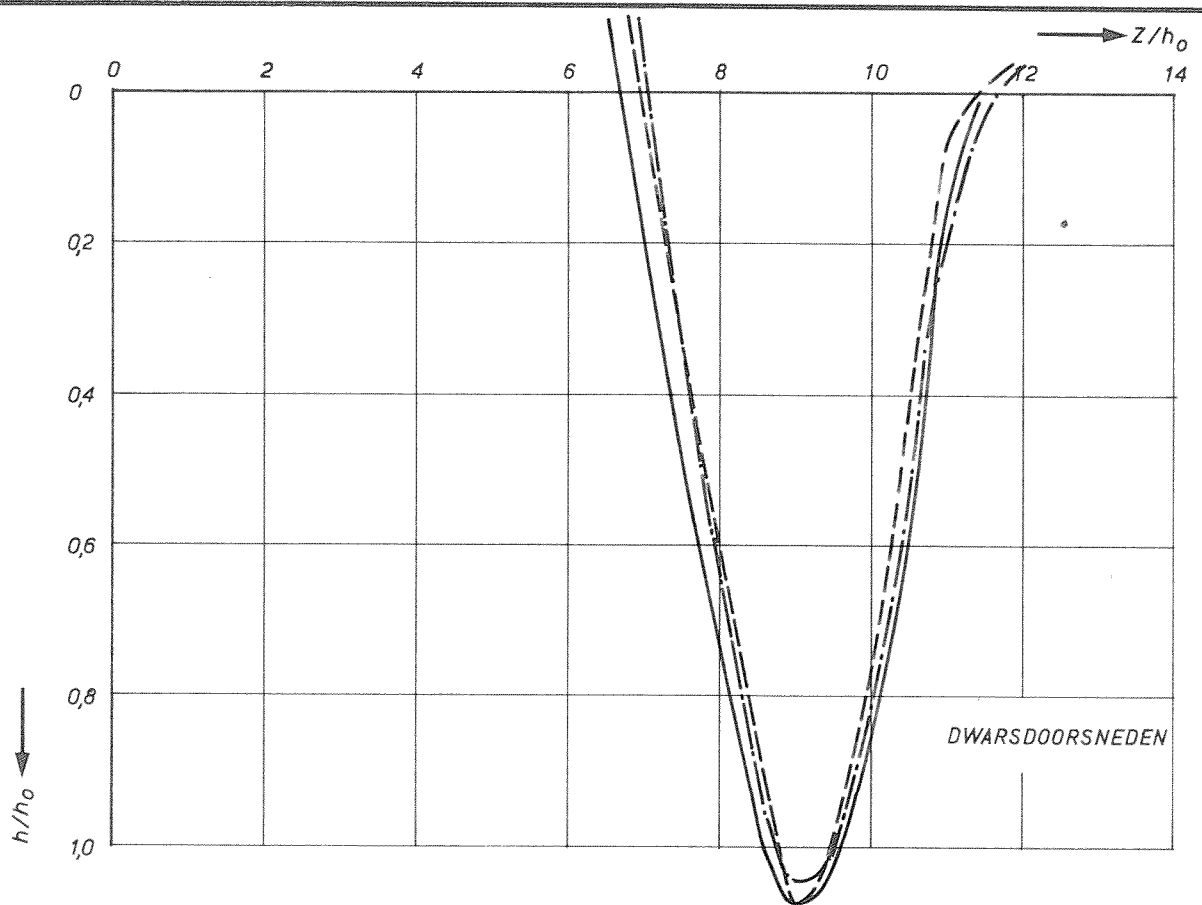
POLYSTYREEN

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1044

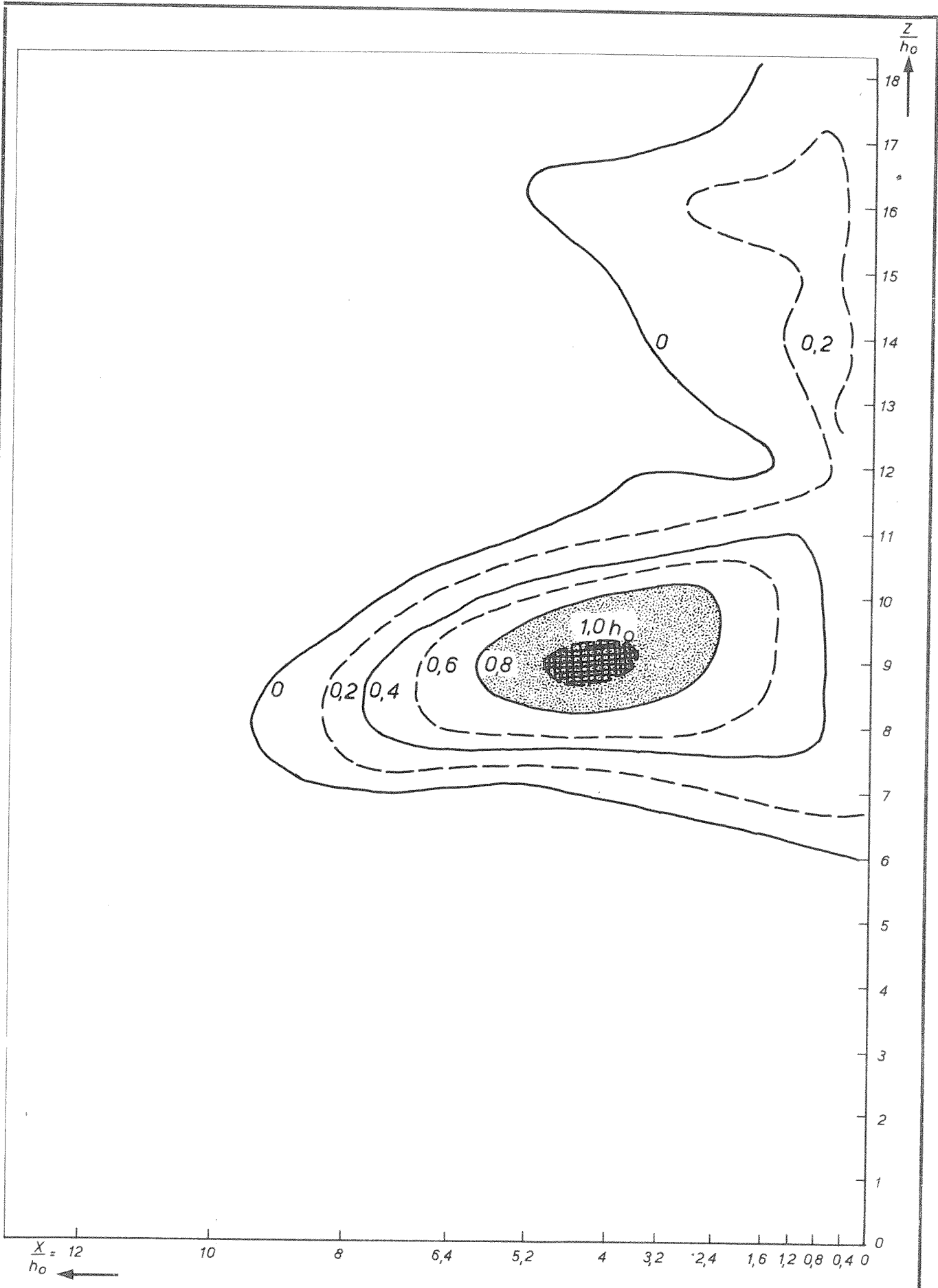
FIG.20b



LANGS EN DWARSDOORSNEDEN OVER h_{max}
 $h_0 = 12,5cm$ $B = 2,5m$

R.R.

A4



ONTGRONDINGSBEELD OP $t/t_1 \sim 1$
 $h_0 = 12,5 \text{ cm}$ $B = 2,5 \text{ m}$

F 2 v 2 M

$\frac{W}{K}$

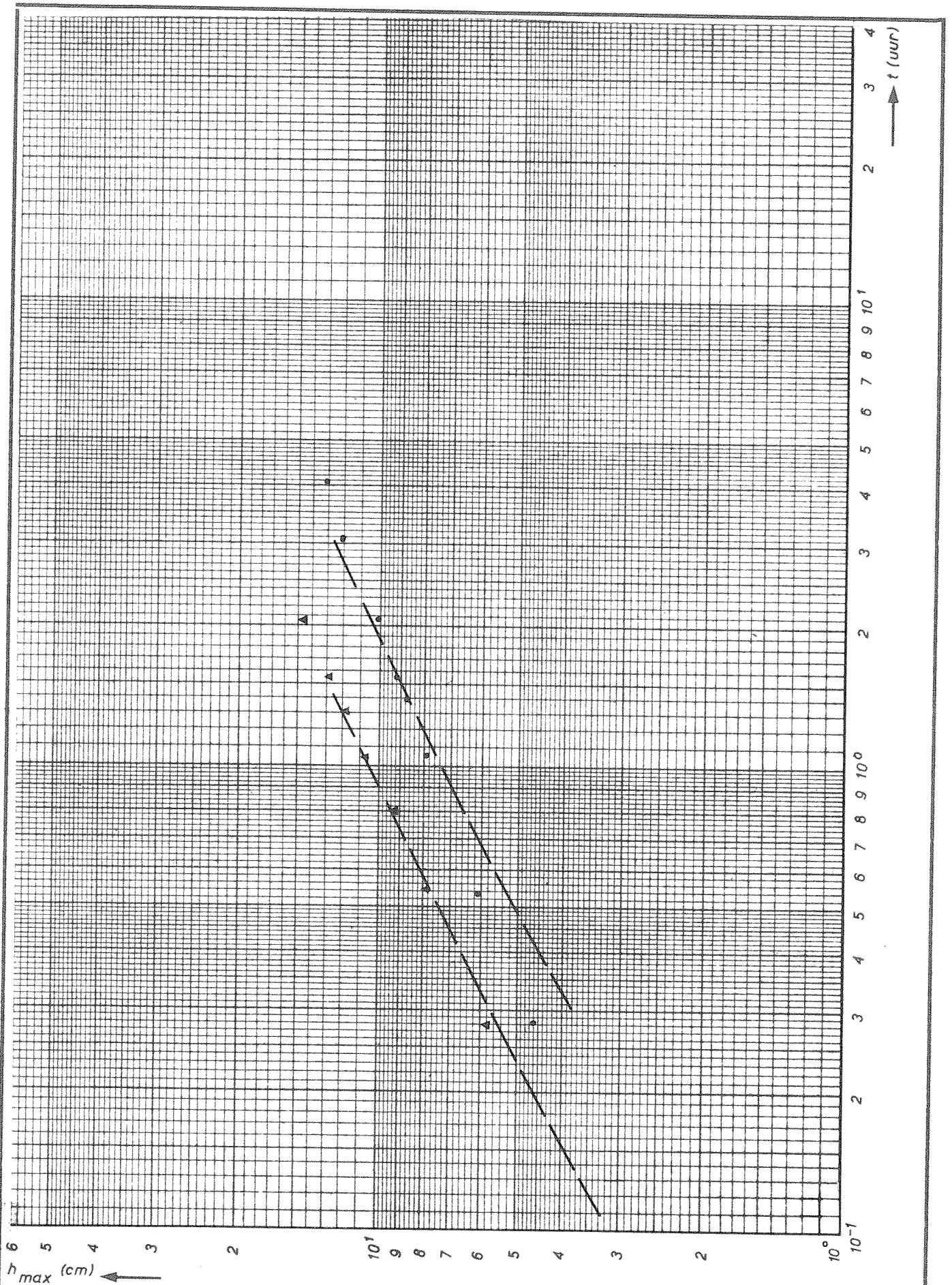
POLYSTYREEN

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1094

FIG.20d



TUD-ONTGRONDINGSLUNEN

$h_0 = 12,5 \text{ cm}$

F0v3M 14 ●
16 ▲

R.R.

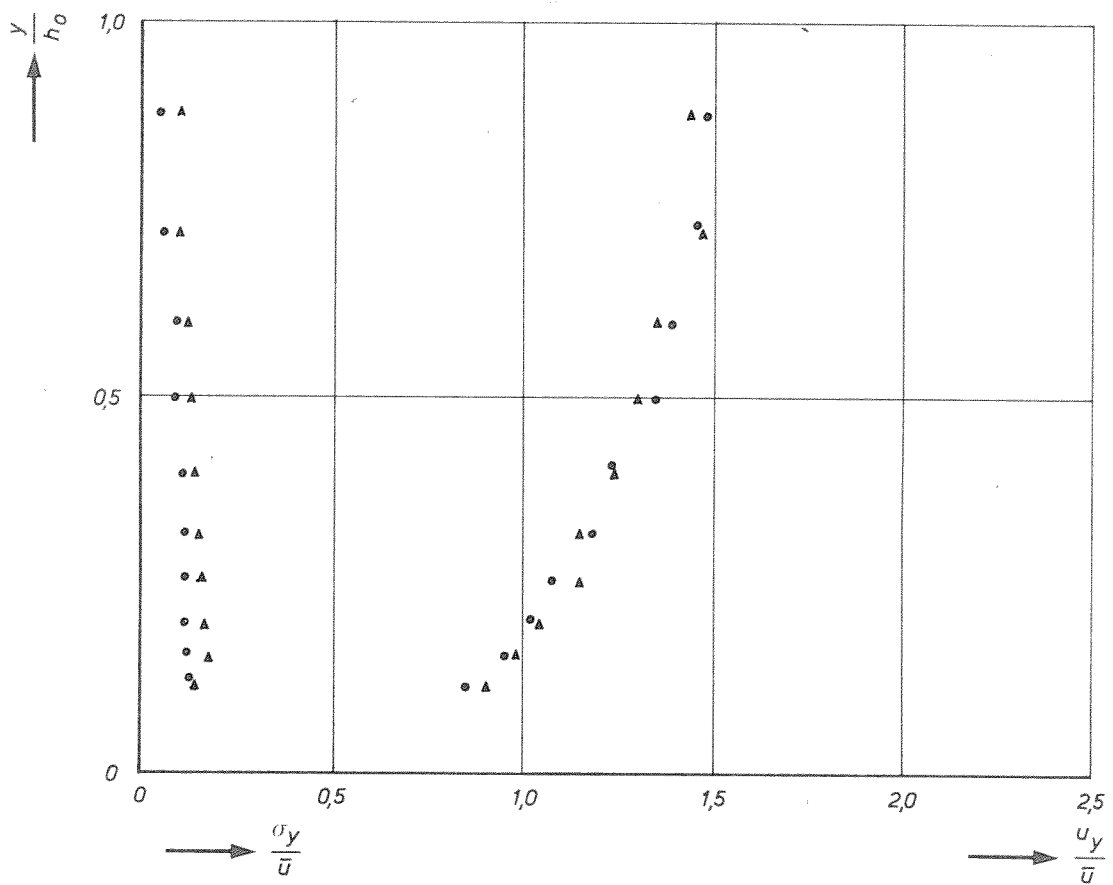
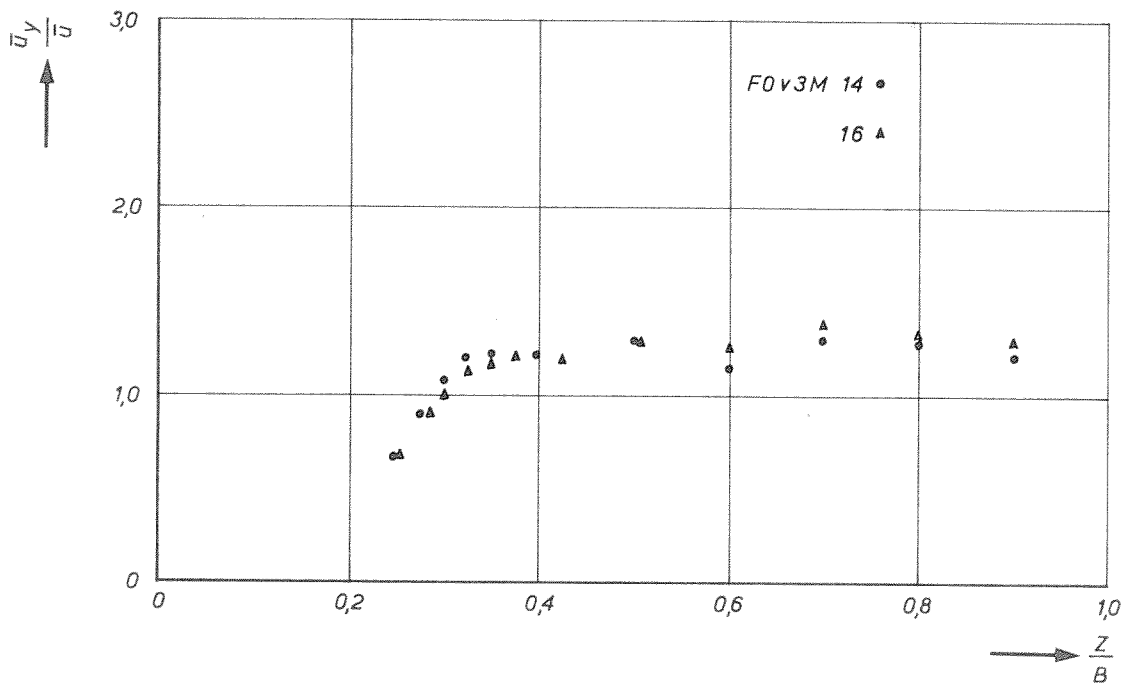
POLYSTYREEN

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1020

FIG.21a



HORIZONTALE EN VERTICALE SNELHEIDSVERDELINGEN

FOV3M

R.R.

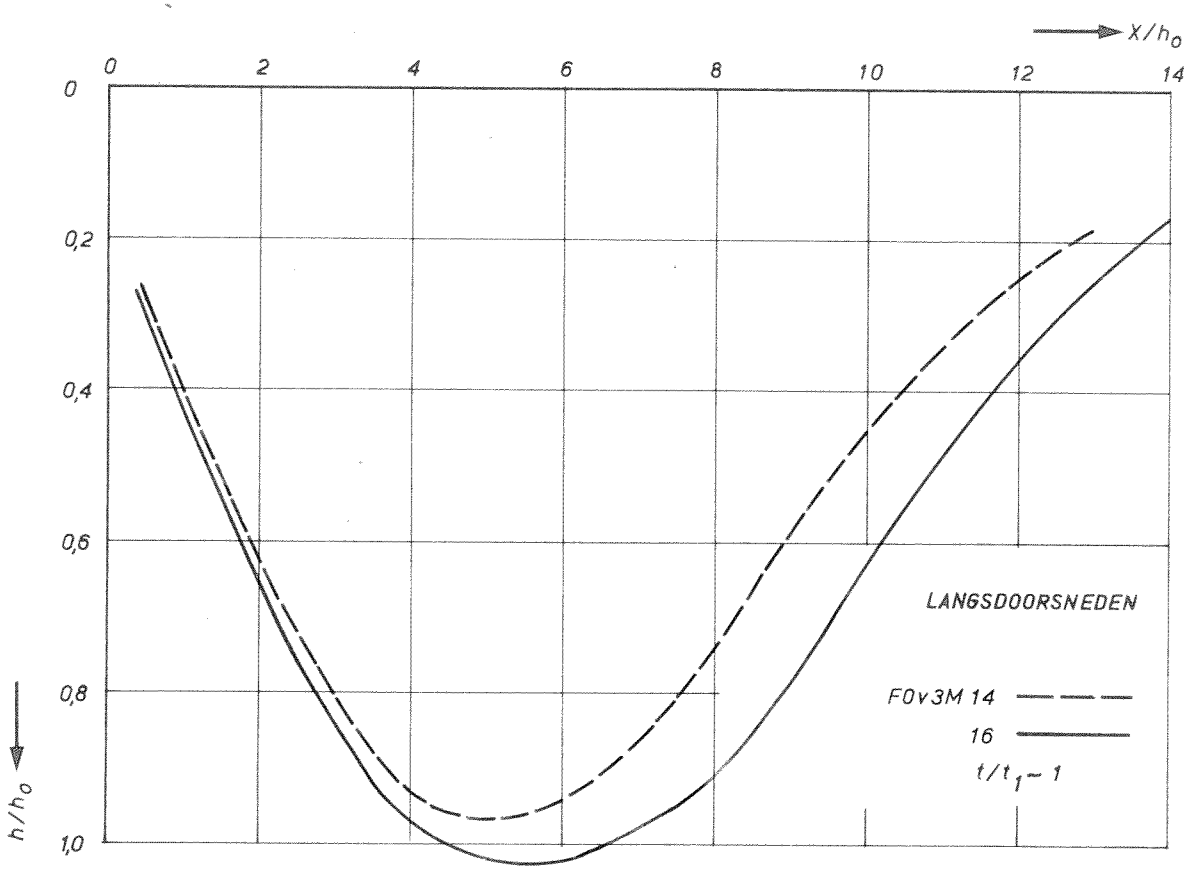
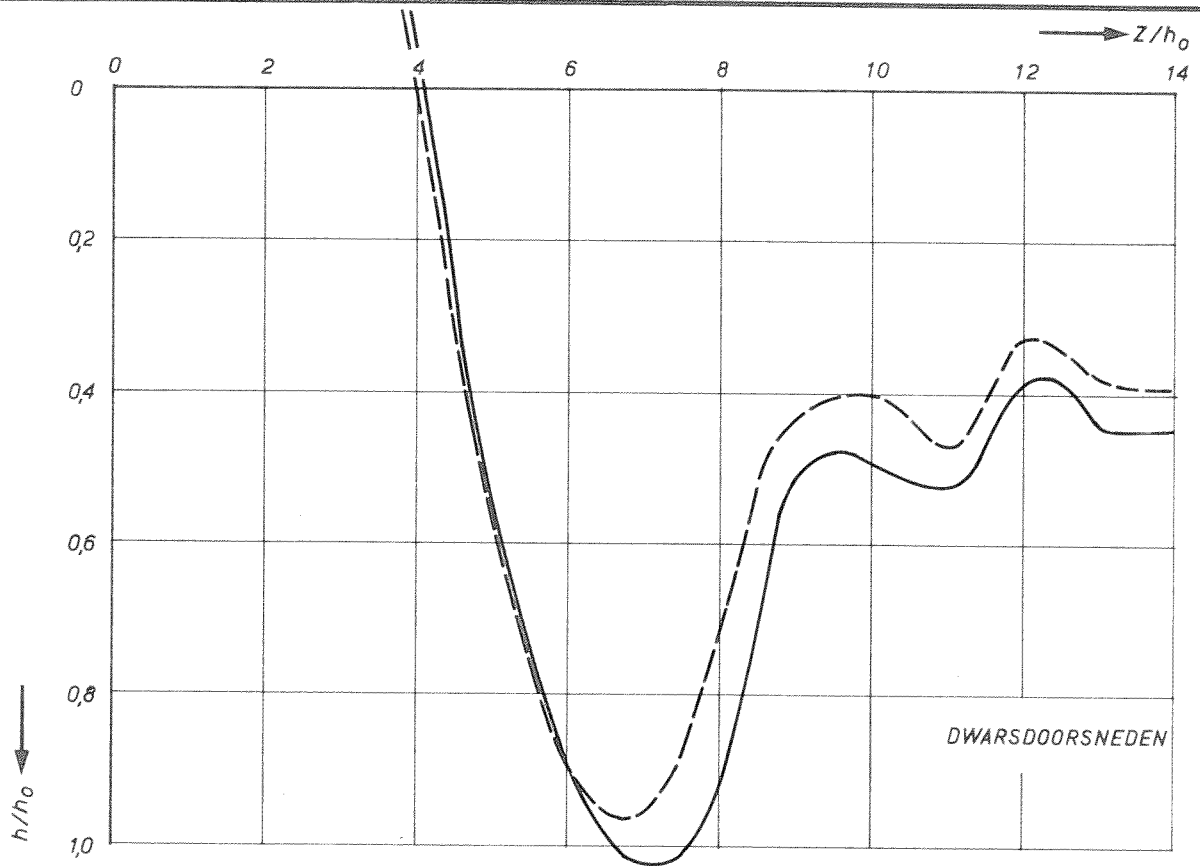
POLYSTYREEN

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1045

FIG.21b



LANGS EN DWARSDOORSNEDEN OVER h_{max}
 $h_0 = 12,5\text{ cm}$ $B = 2,5\text{ m}$

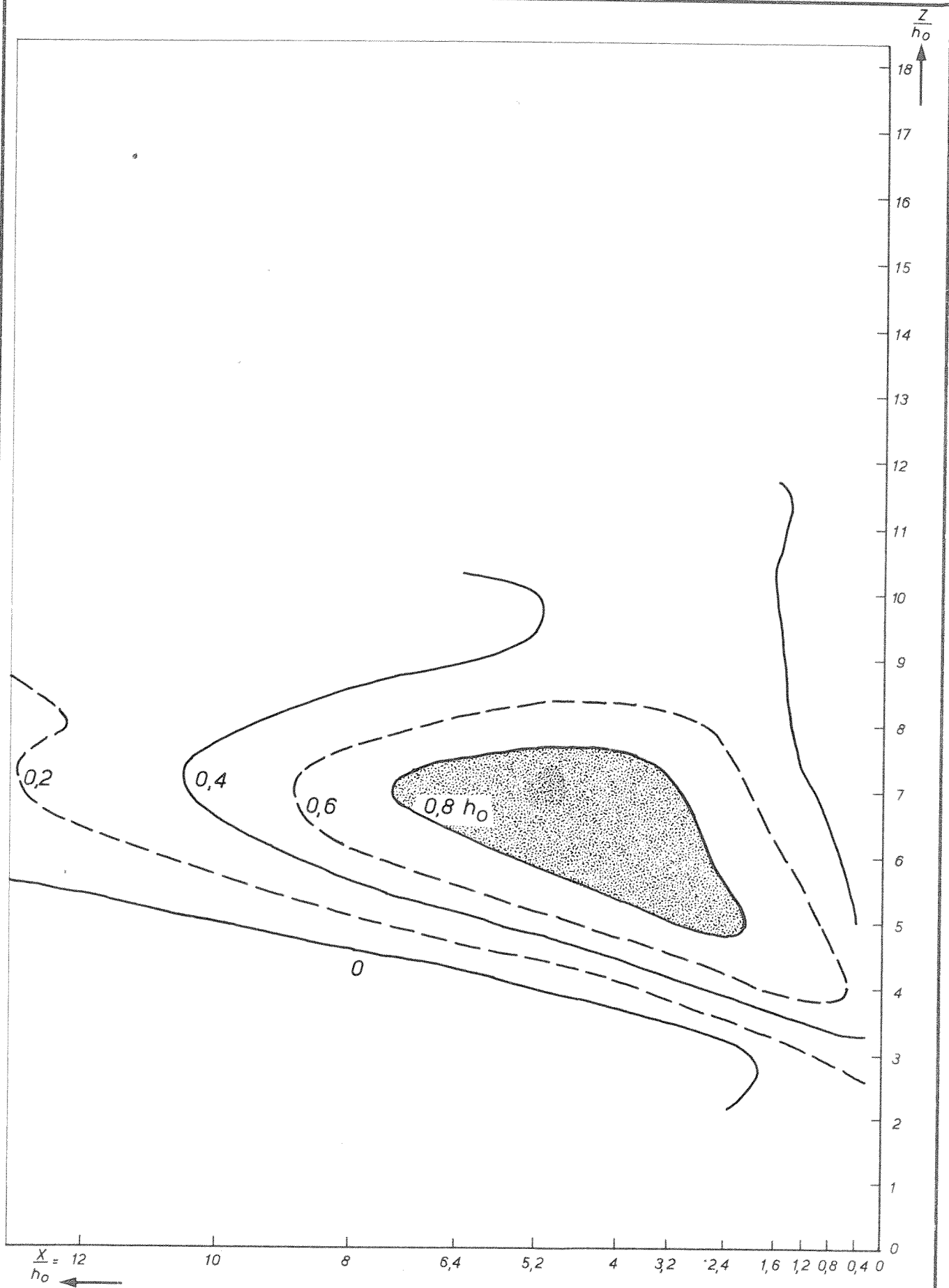
R.R.

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1070

FIG.21c



ONTGRONDINGSBEELD OP $t/t_1 \sim 1$

$h_0 = 12,5 \text{ cm}$ $B = 2,5 \text{ m}$

F 0v3 M

W_K

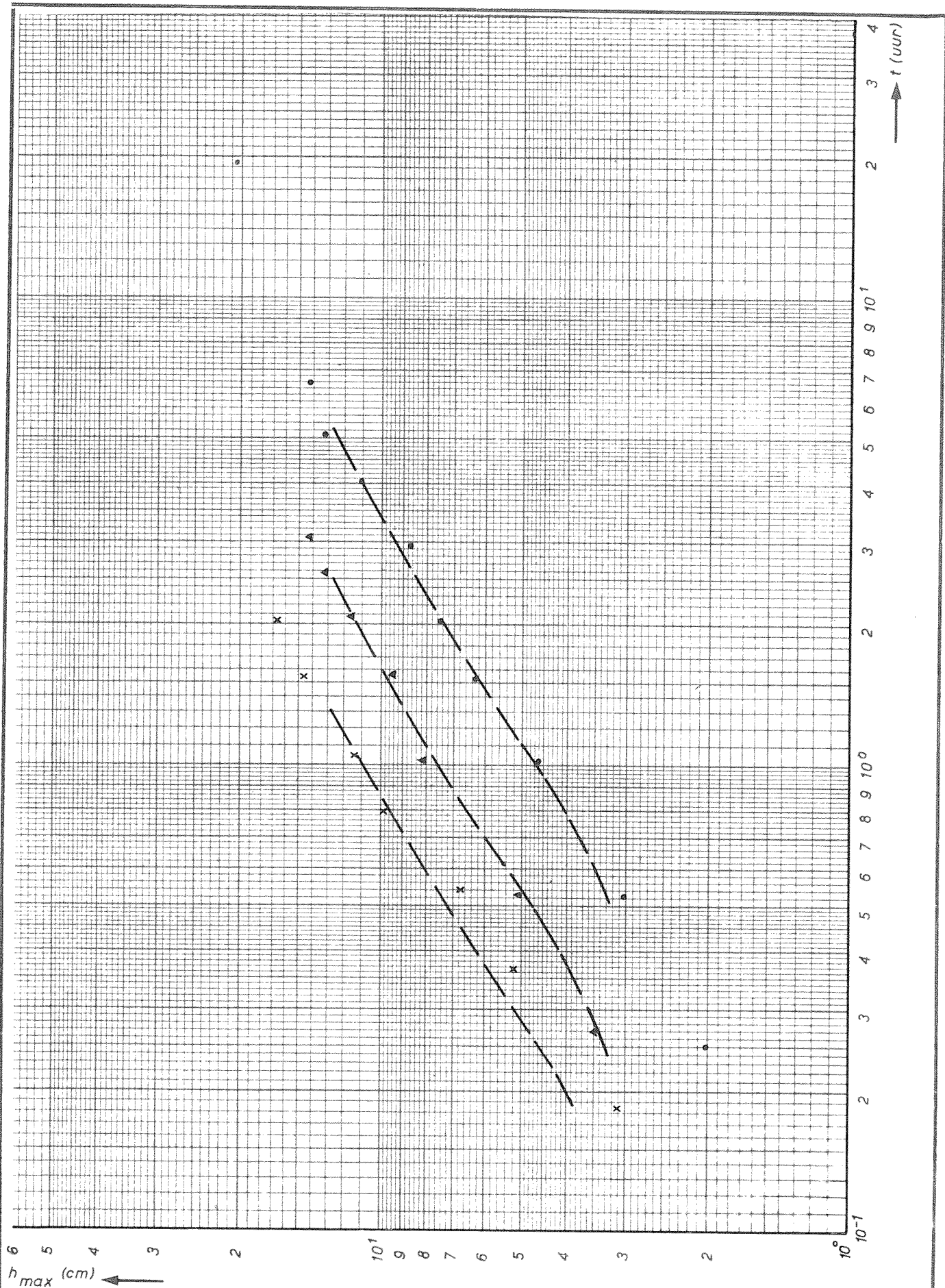
POLYSTYREEN

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1095

FIG. 21d



TJD-ONTGRONDINGSLUNEN

$h_0 = 12,5 \text{ cm}$

F0v4 M 14 ●
16 ▲
18 x

R.R.

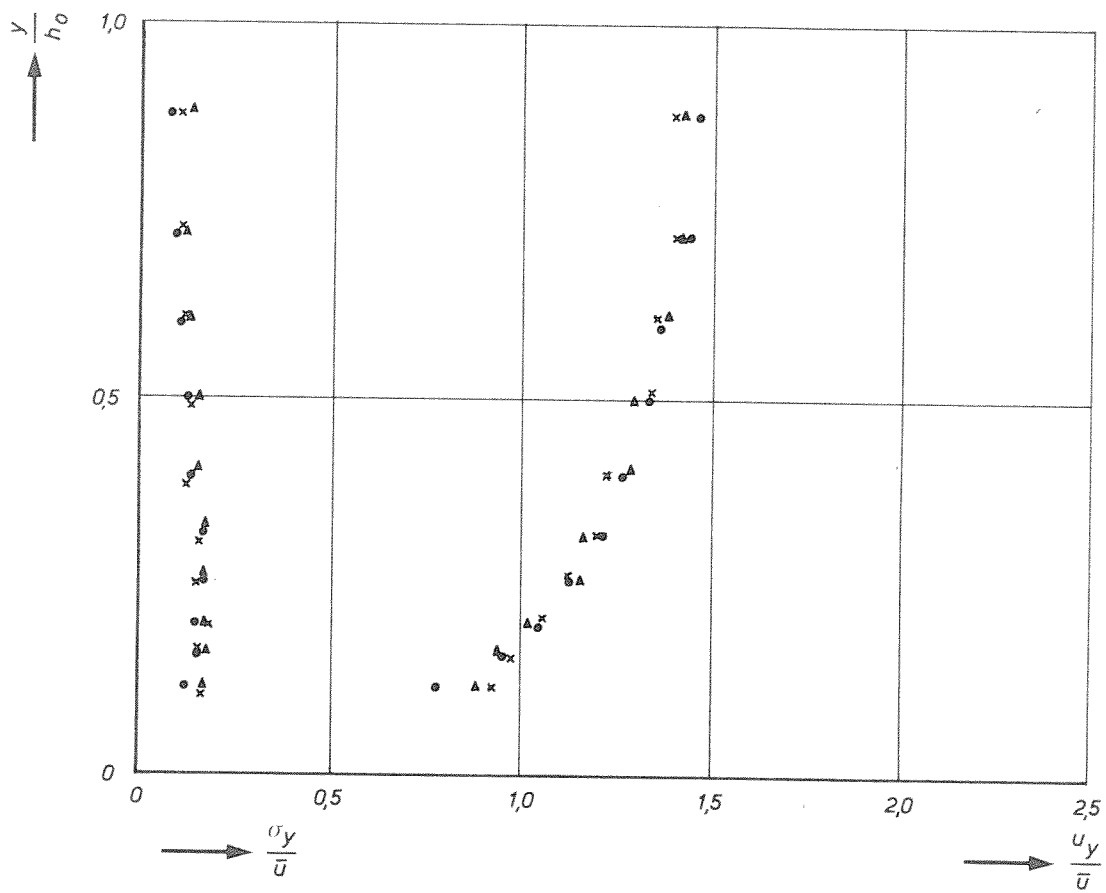
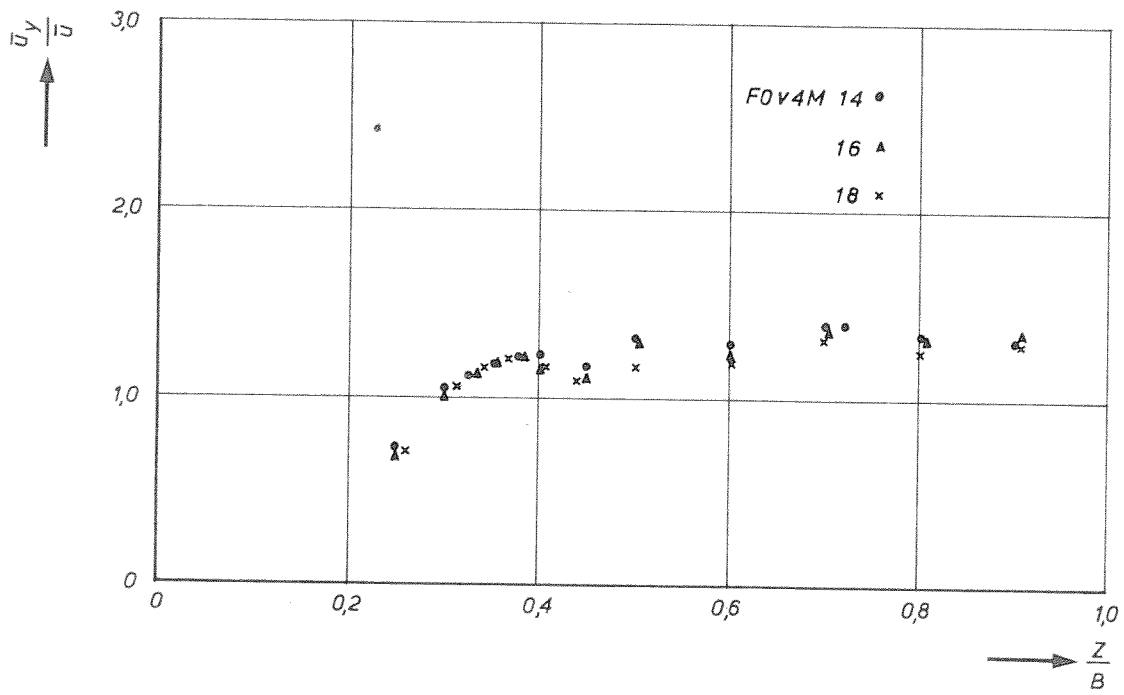
POLYSTYREEN

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1021

FIG.22a



HORIZONTAL EN VERTICALE SNELHEIDSVERDELINGEN

FOv4M

R.R.

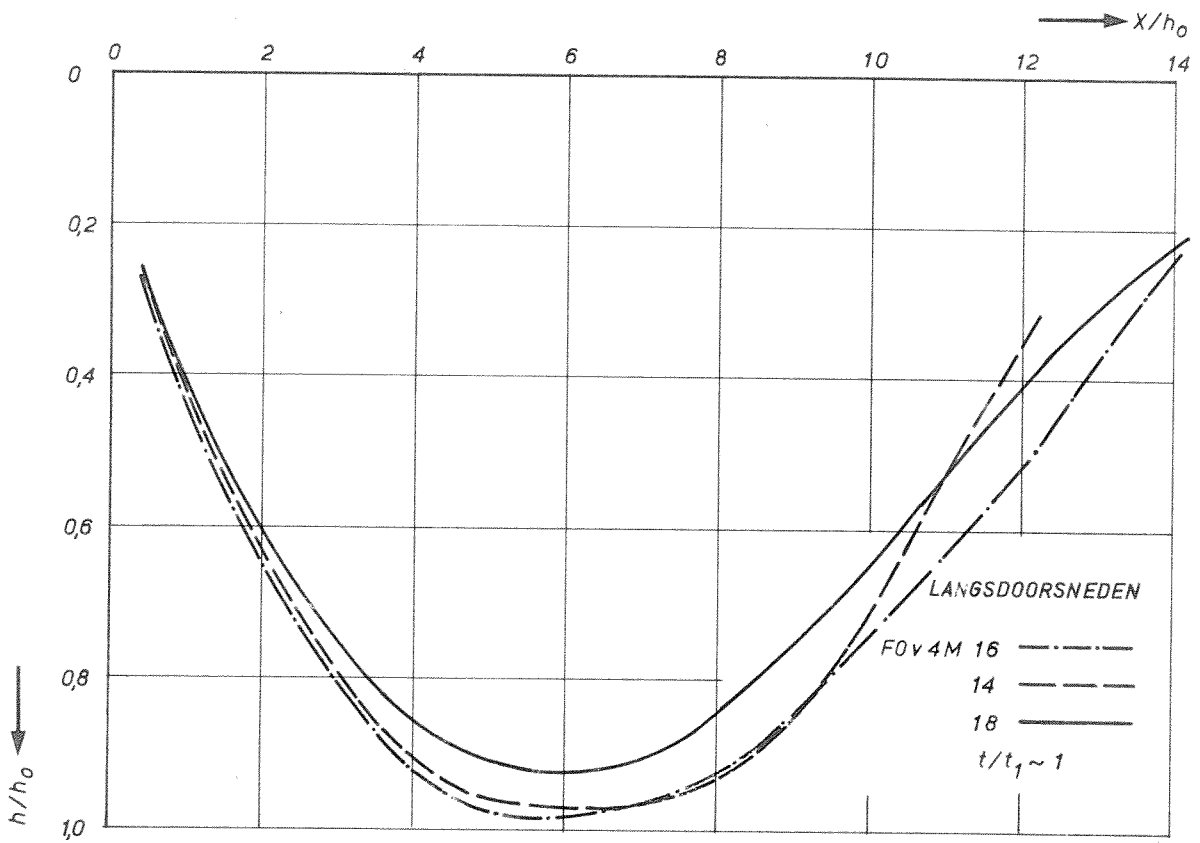
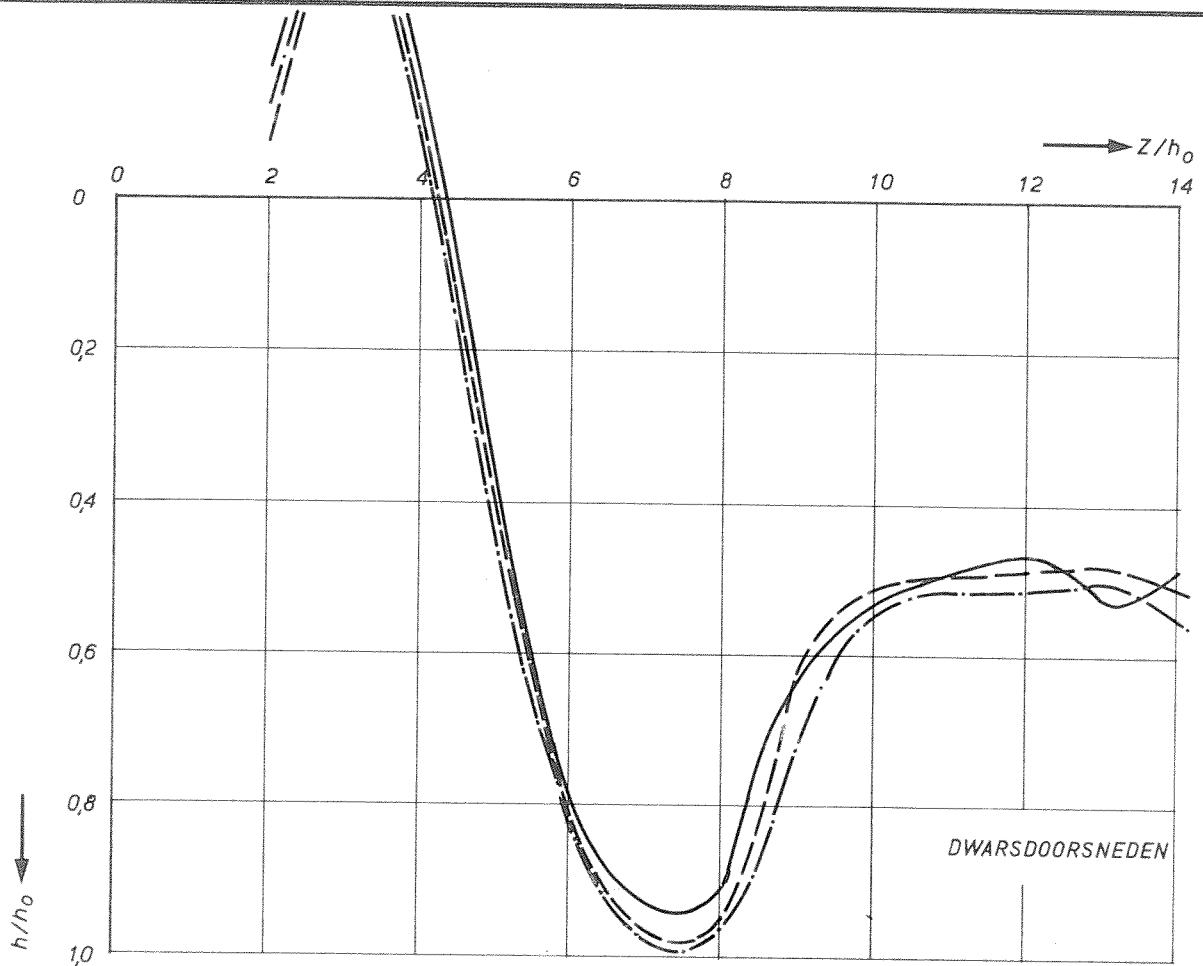
POLYSTYREEN

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

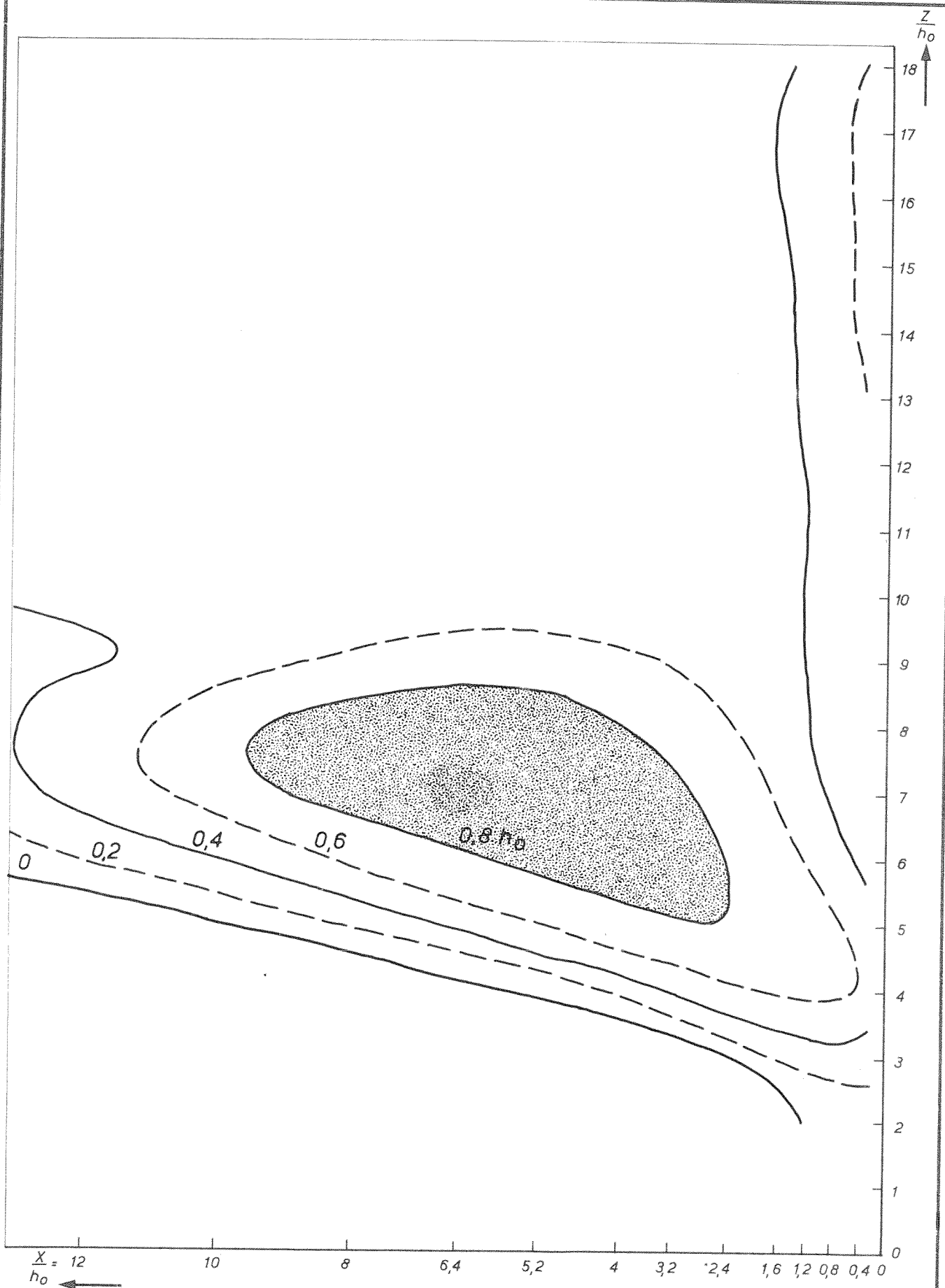
M.847-III-1046

FIG.22b



LANGS EN DWARSDOORSNEDEN OVER h_{max}
 $h_0 = 12,5\text{ cm}$ $B = 2,5\text{ m}$

RR.
 A4



ONTGRONDINGSBEELD OP $t/t_1 \sim 1$
 $h_0 = 12,5 \text{ cm}$ $B = 2,5 \text{ m}$

F0v4M

W_K

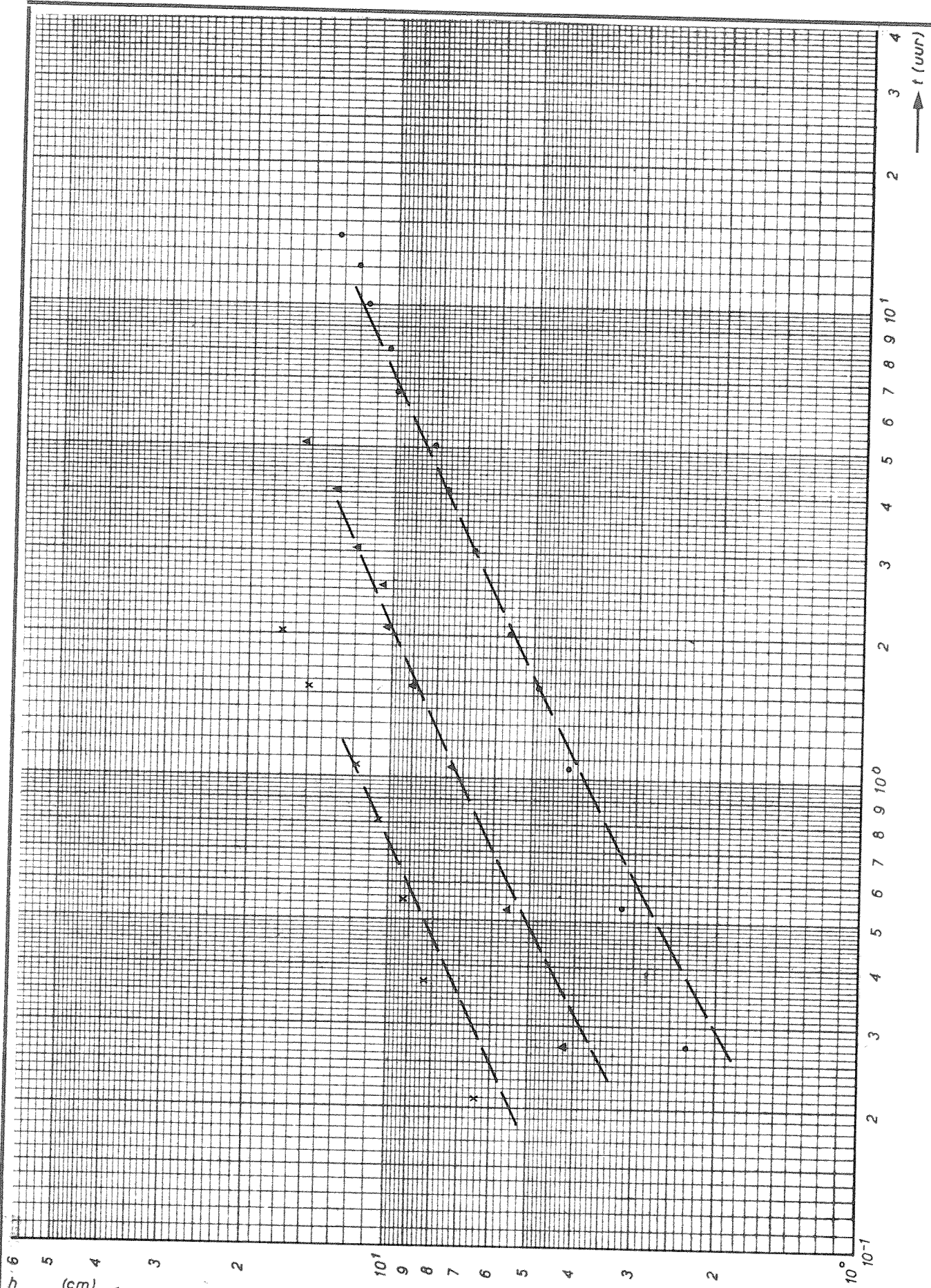
POLYSTYREEN

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III- 1096

FIG.22d



TJD-ONTGRONDINGSLUNEN
 $h_0 = 12,5 \text{ cm}$

F1v4M 10 ●
 12 ▲
 14 x

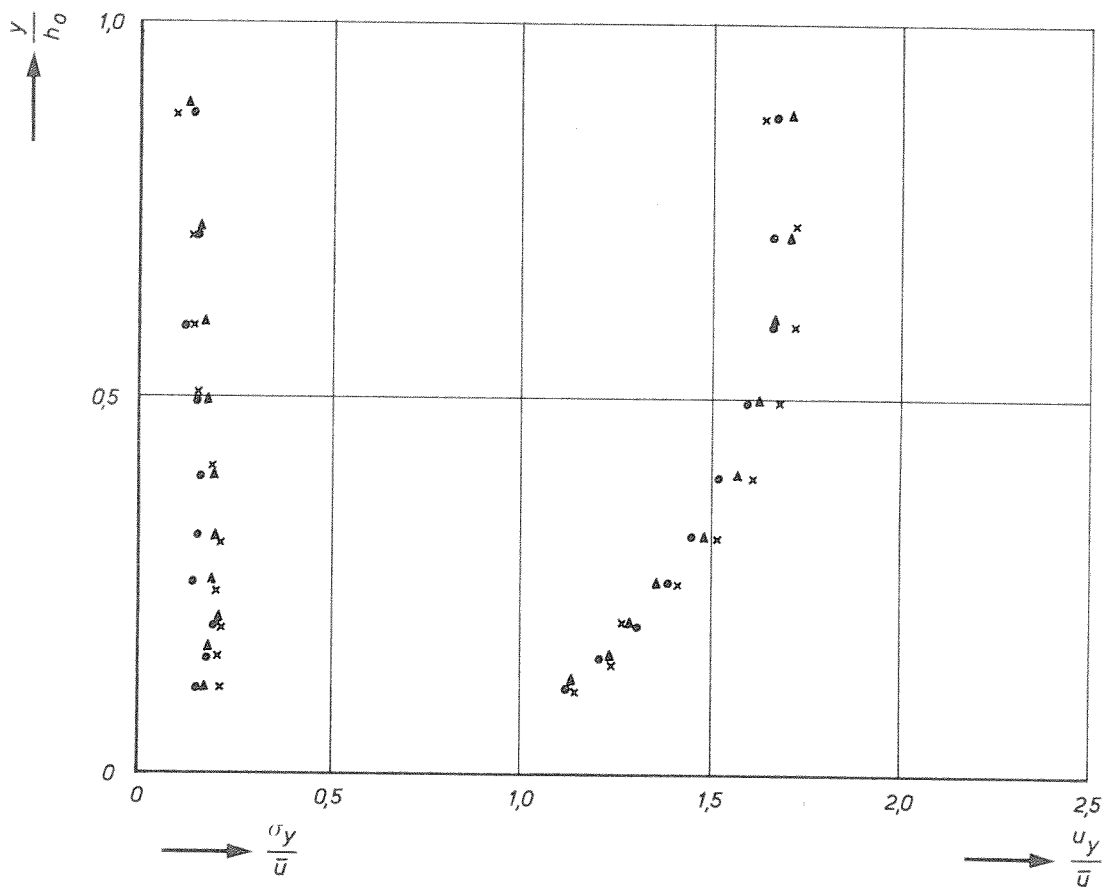
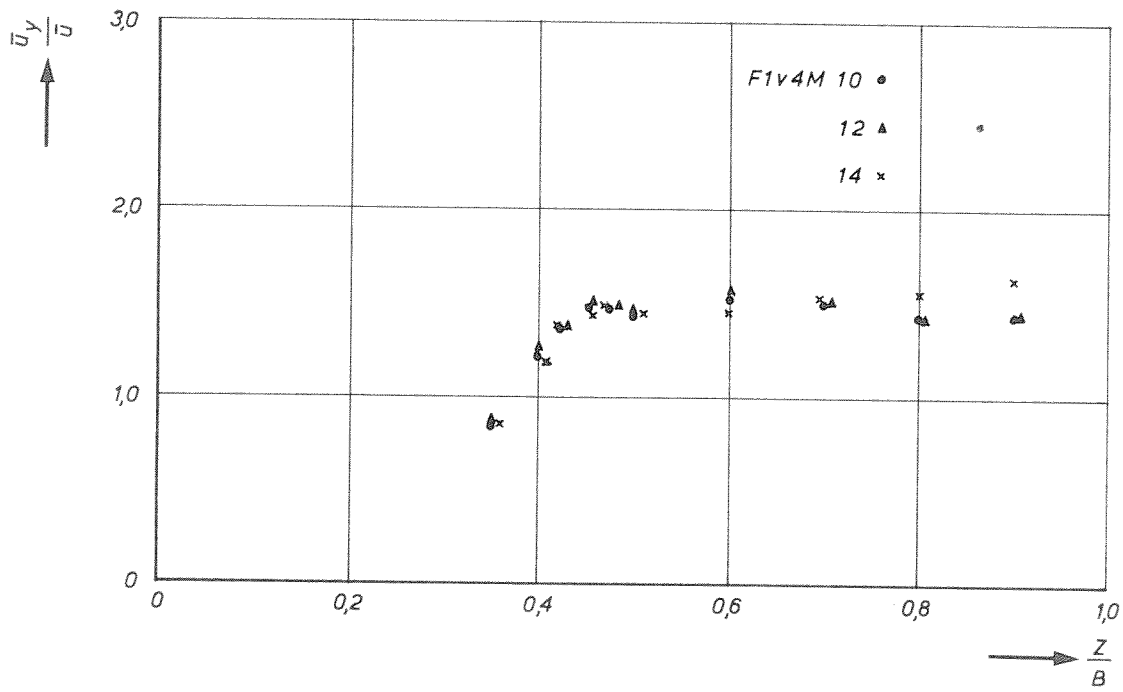
R.R.

POLYSTYREEN

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1022 FIG.23a



HORIZONTALE EN VERTICALE SNELHEIDSVERDELINGEN

F1v4M

R.R.

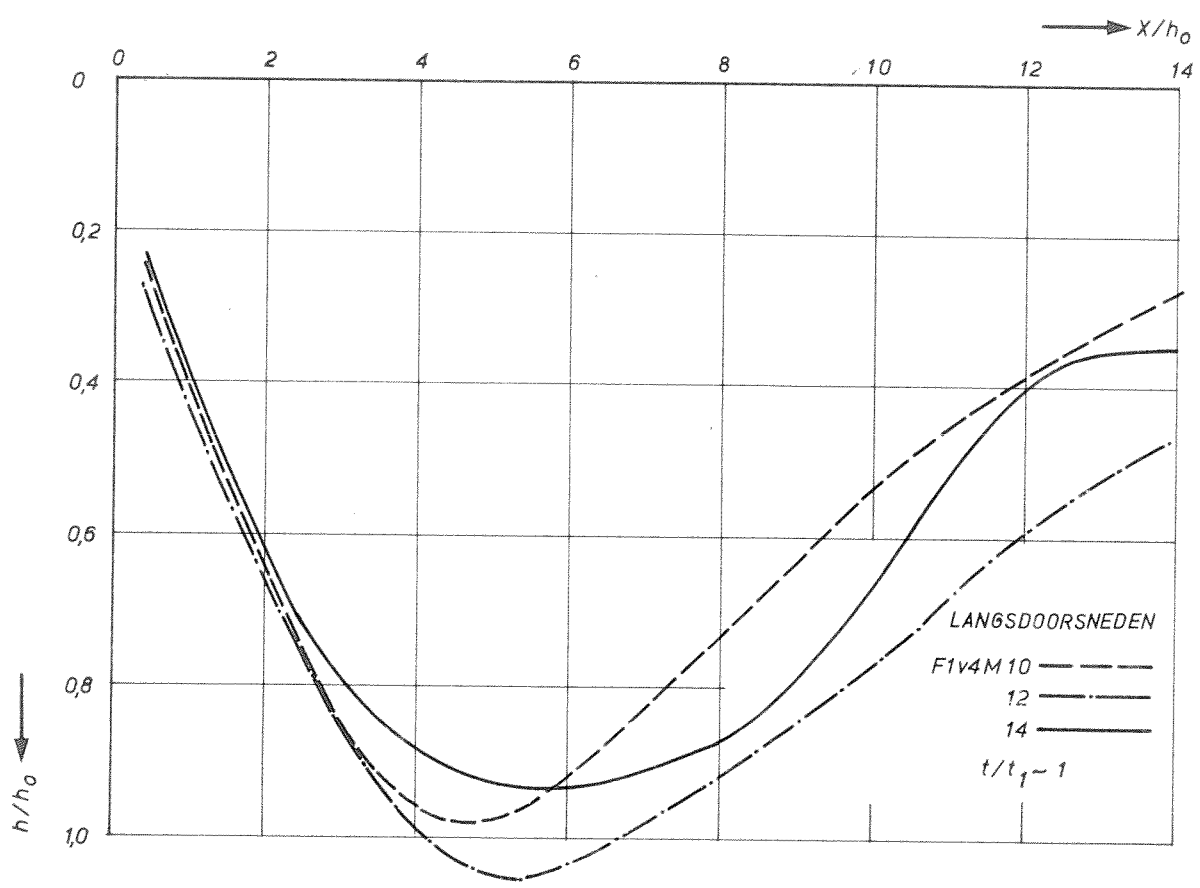
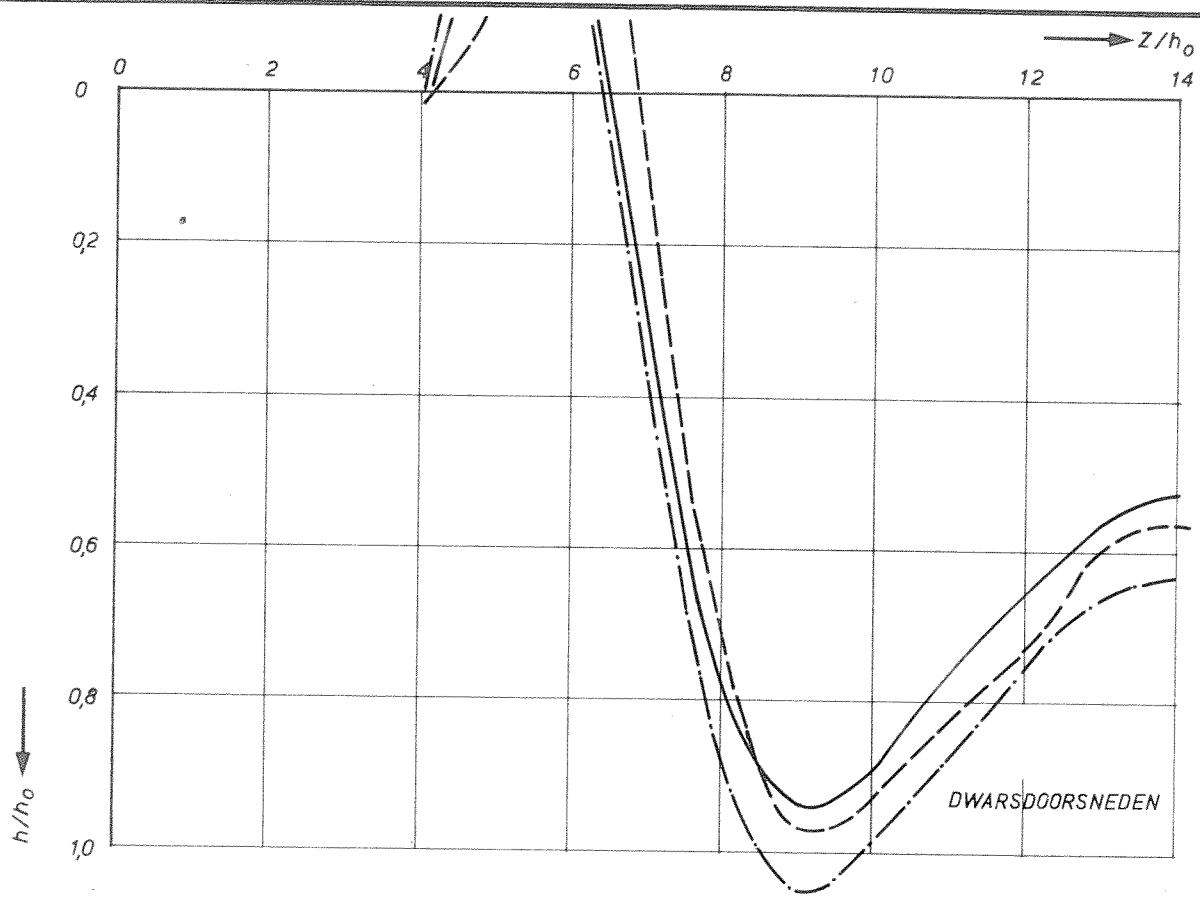
POLYSTYREEN

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1047

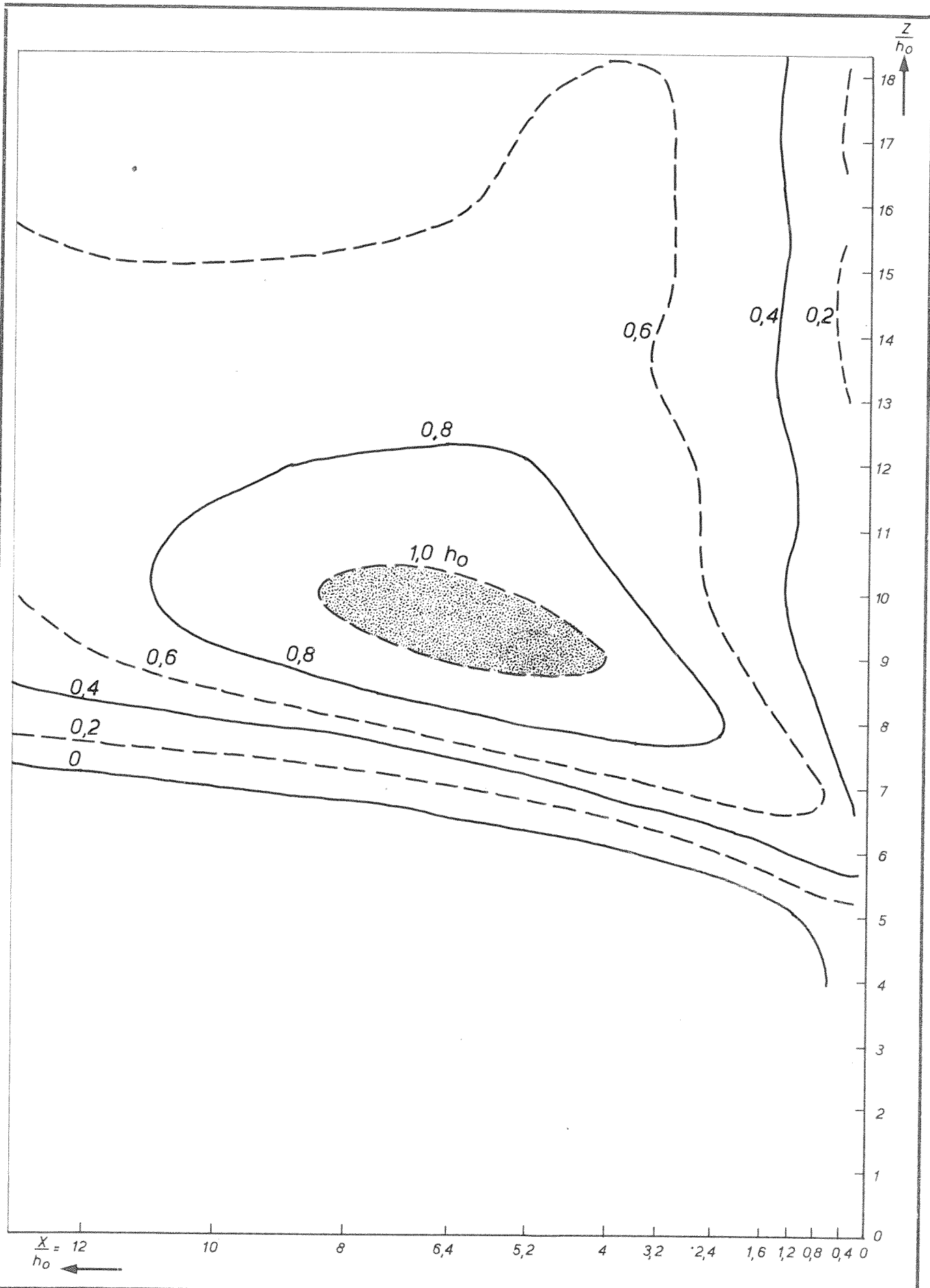
FIG.23b



LANGS EN DWARSDOORSNEDEN OVER h_{max}
 $h_0 = 12,5\text{ cm}$ $B = 2,5\text{ m}$

RR.

A4



ONTGRONDINGSBEELD OP $t/t_1 \sim 1$
 $h_0 = 12,5 \text{ cm}$ $B = 2,5 \text{ m}$

F 1v4 M

W_K

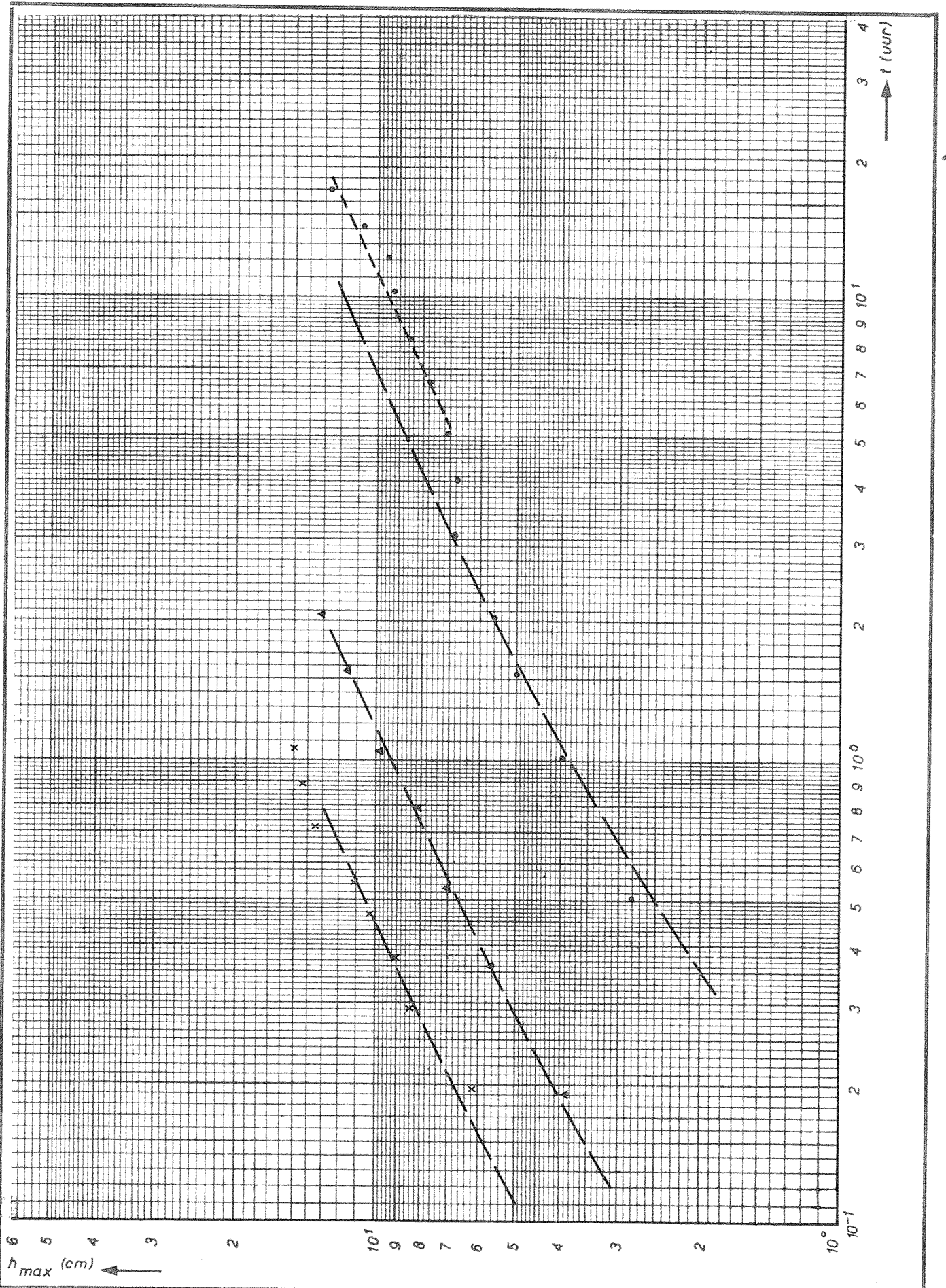
POLYSTYREEN

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III- 1097

FIG. 23d



TJD-ONTGRONDINGSLUNEN

$h_0 = 12,5 \text{ cm}$

F2v4 M 6 ●
8 ▲
10 ×

R.R.

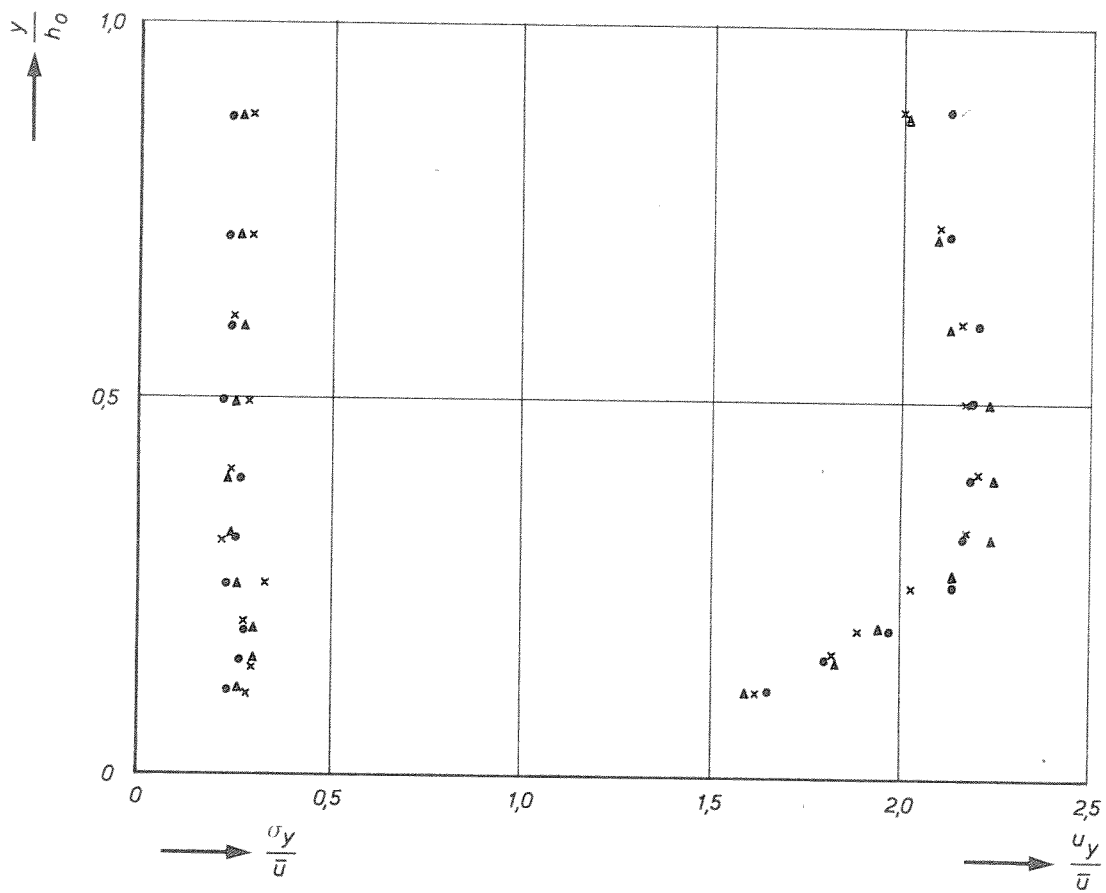
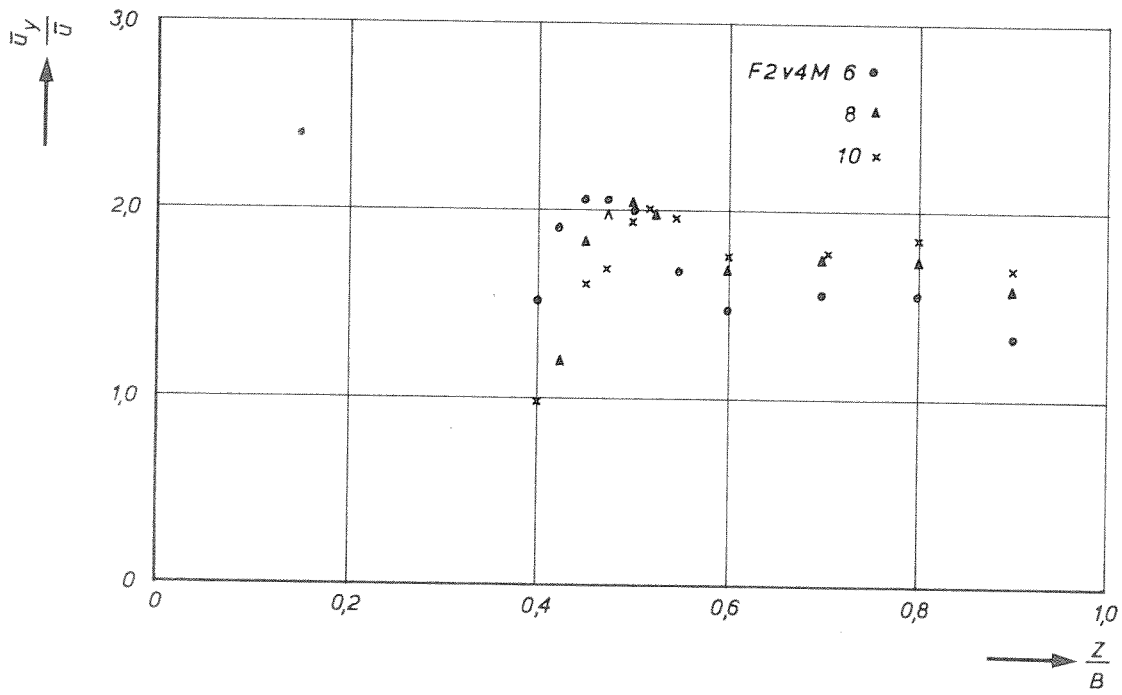
POLYSTYREEN

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1023

FIG.24a



HORIZONTAL EN VERTICALE SNELHEIDSVERDELINGEN

F2v4M

R.R.

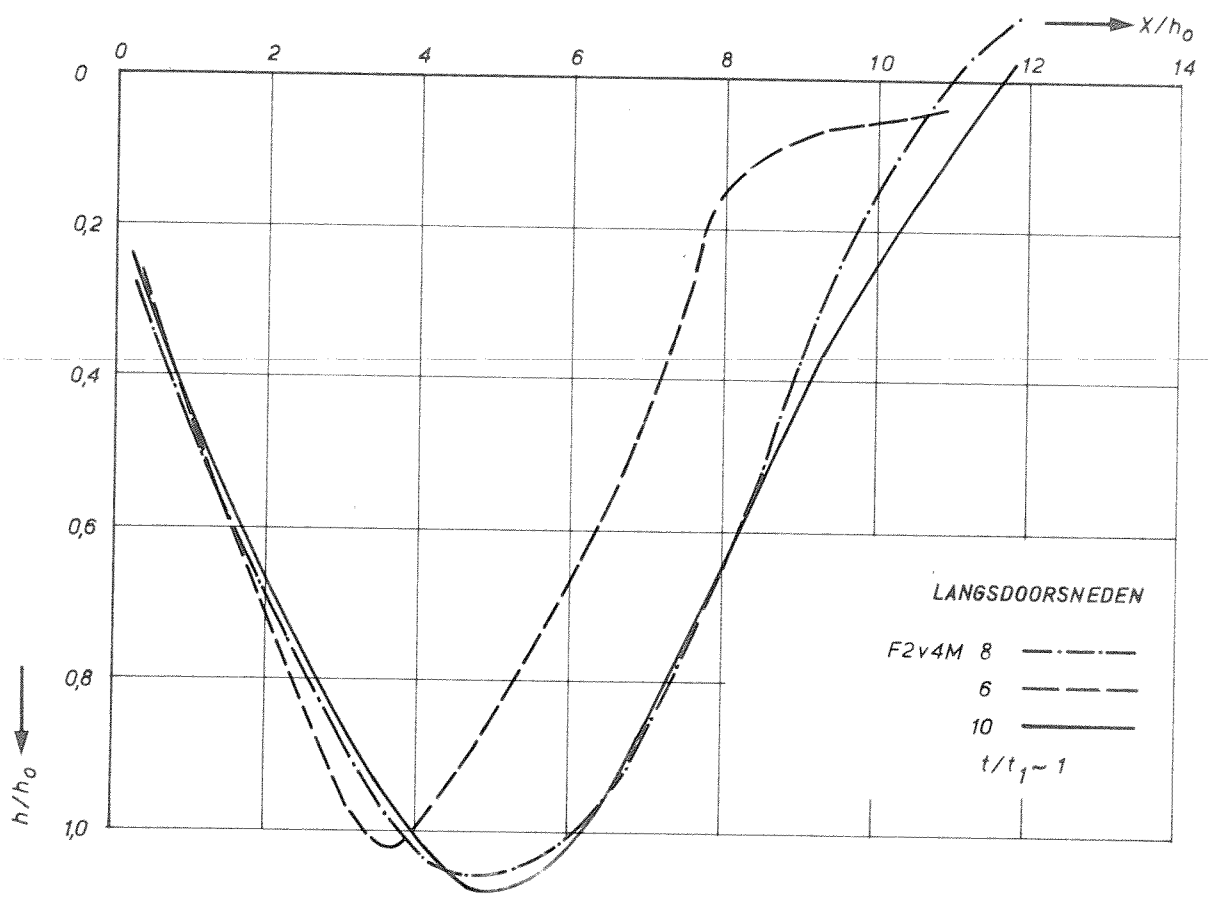
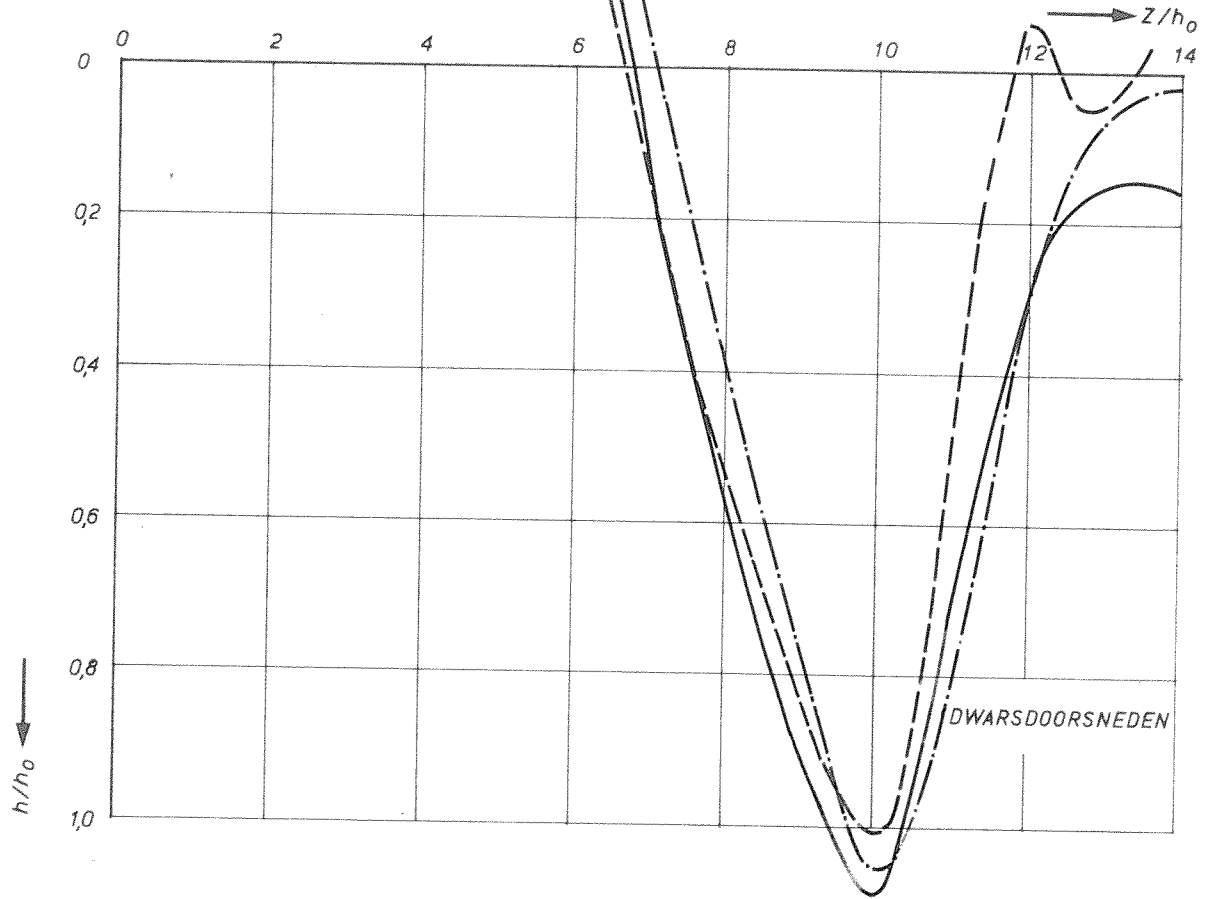
POLYSTYREEN

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1048

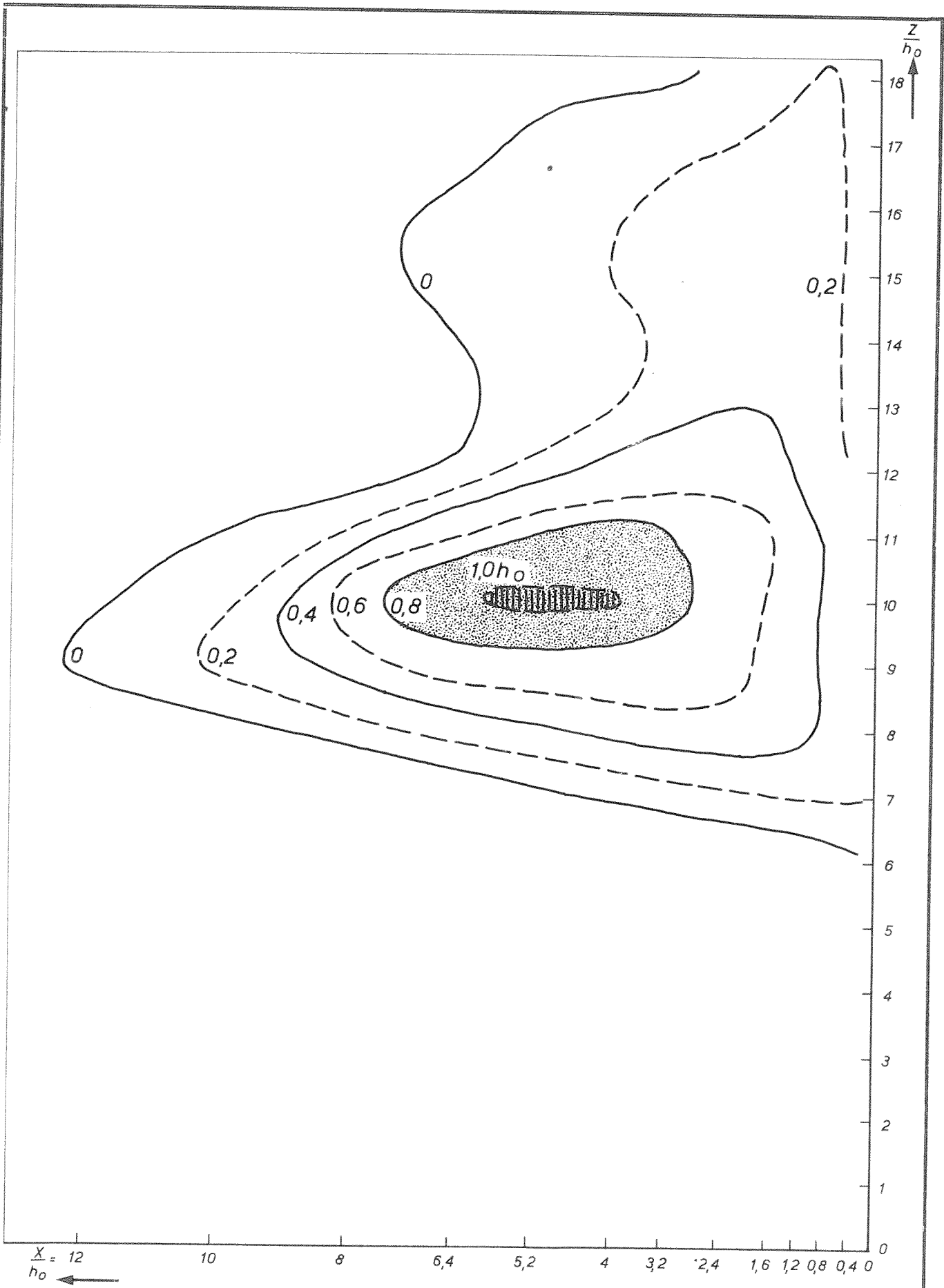
FIG.24b



LANGS EN DWARSDOORSNEDEN OVER h_{max}
 $h_0 = 12,5\text{ cm}$ $B = 2,5\text{ m}$

R.R.

A4



ONTGRONDINGSBEELD OP $t/t_1 \sim 1$
 $h_0 = 12,5 \text{ cm}$ $B = 2,5 \text{ m}$

F 2 v 4 M

W_K

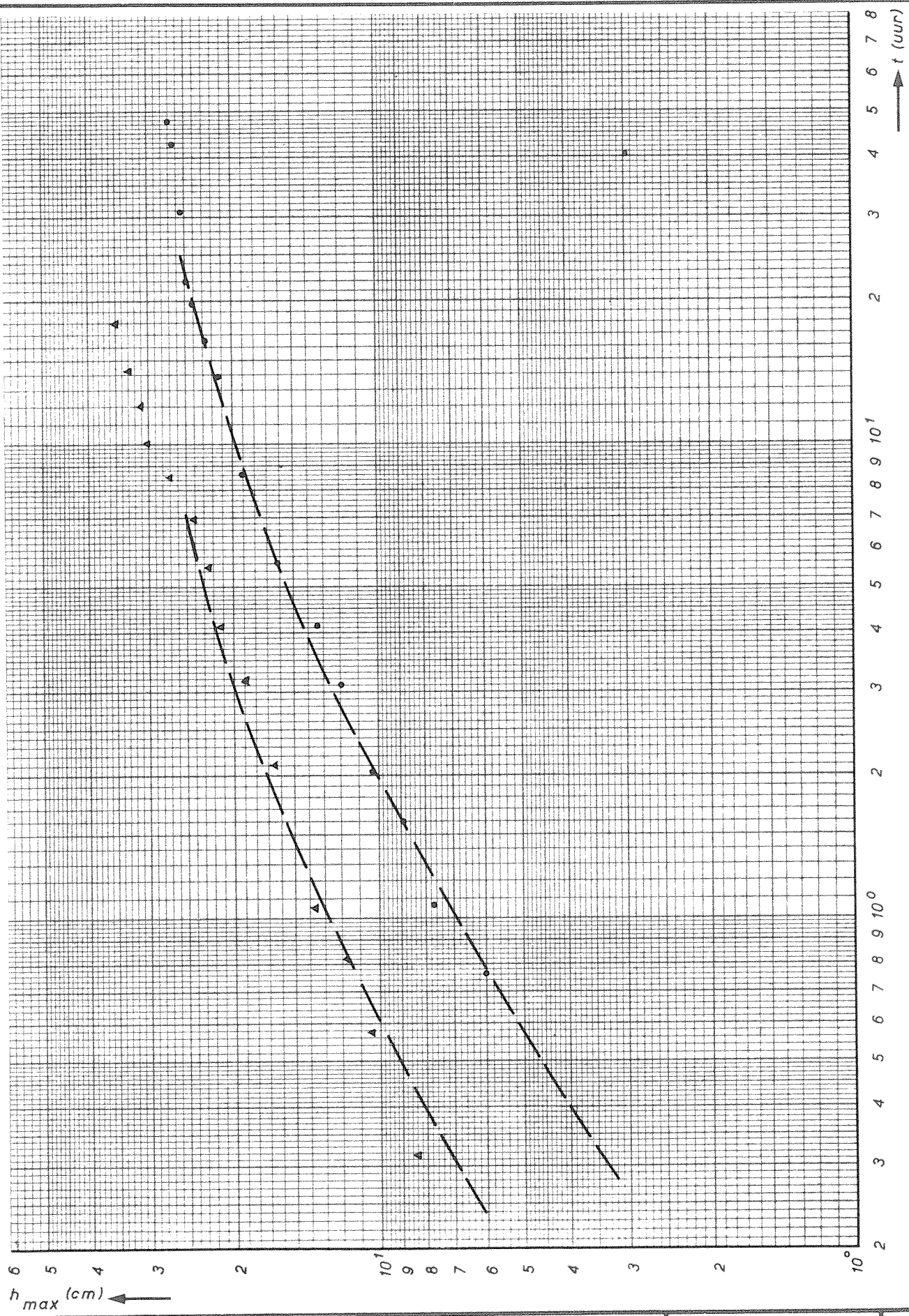
POLYSTYREEN

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1098

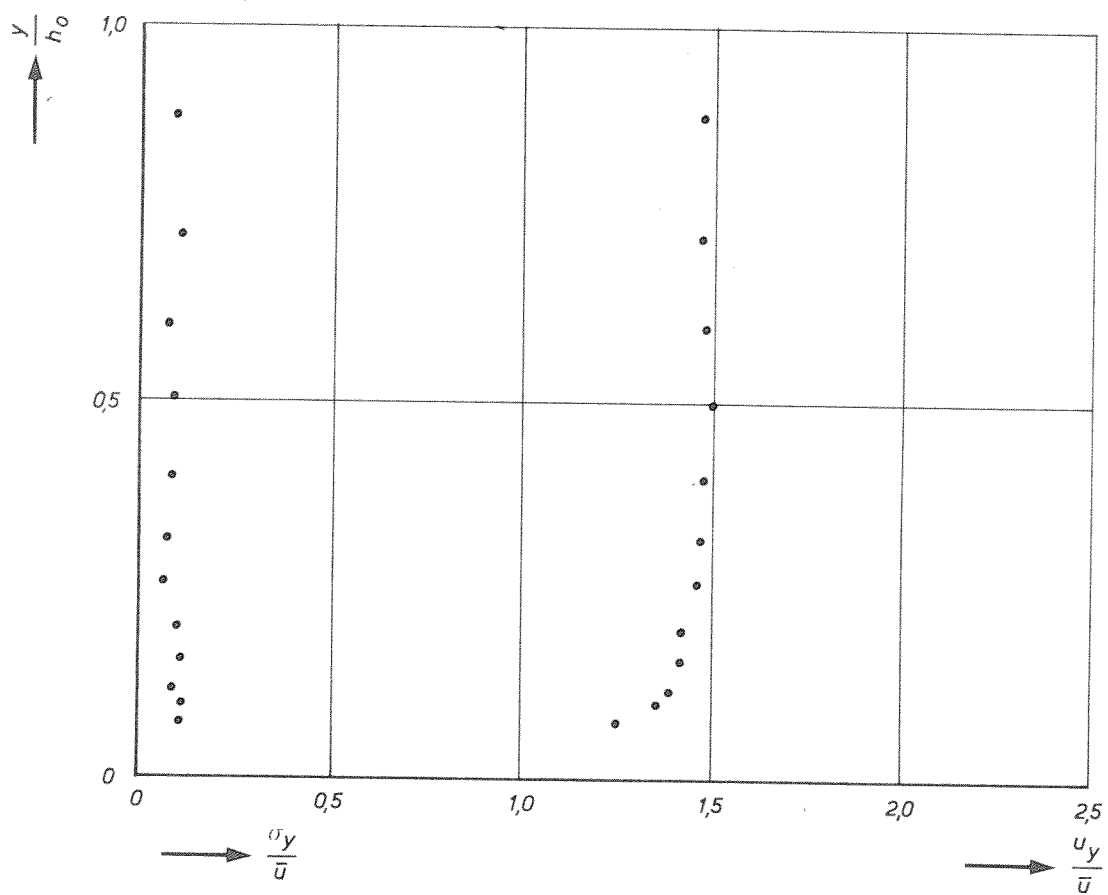
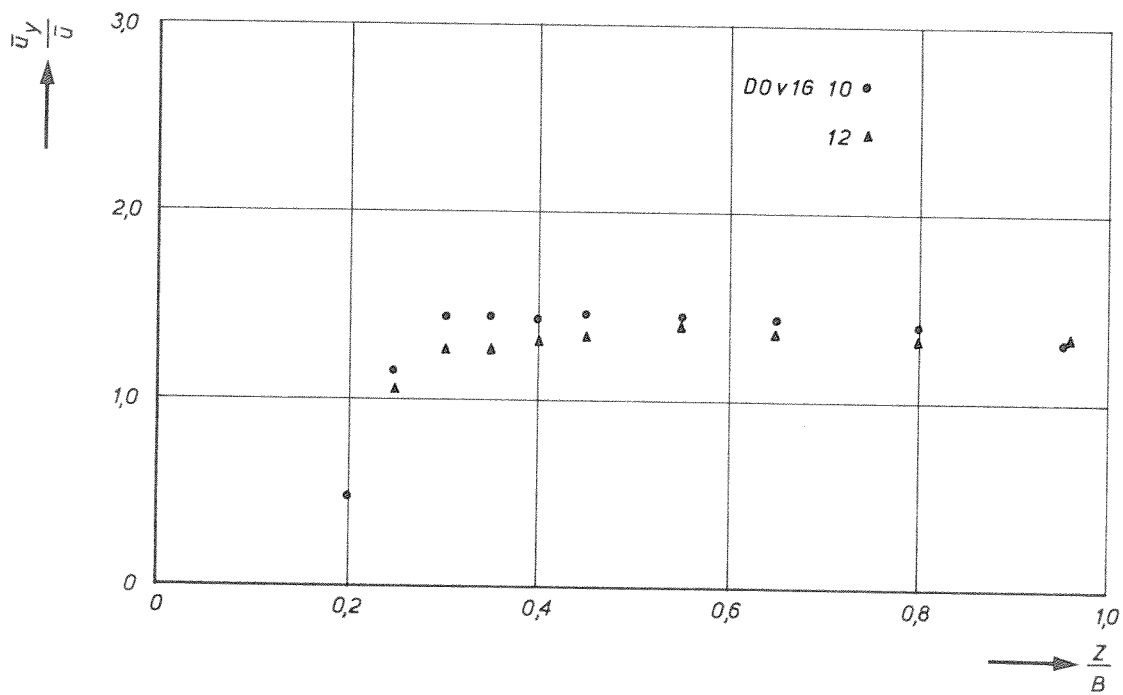
FIG.24d



TUD-ONTGRONDINGSLUNEN
 $h_0 = 25 \text{ cm}$

D0v1G 10 ●
 12 ▲ R.R.

POLYSTYREEN A4



HORIZONTAL EN VERTICALE SNELHEIDSVERDELINGEN

DOv16

R.R.

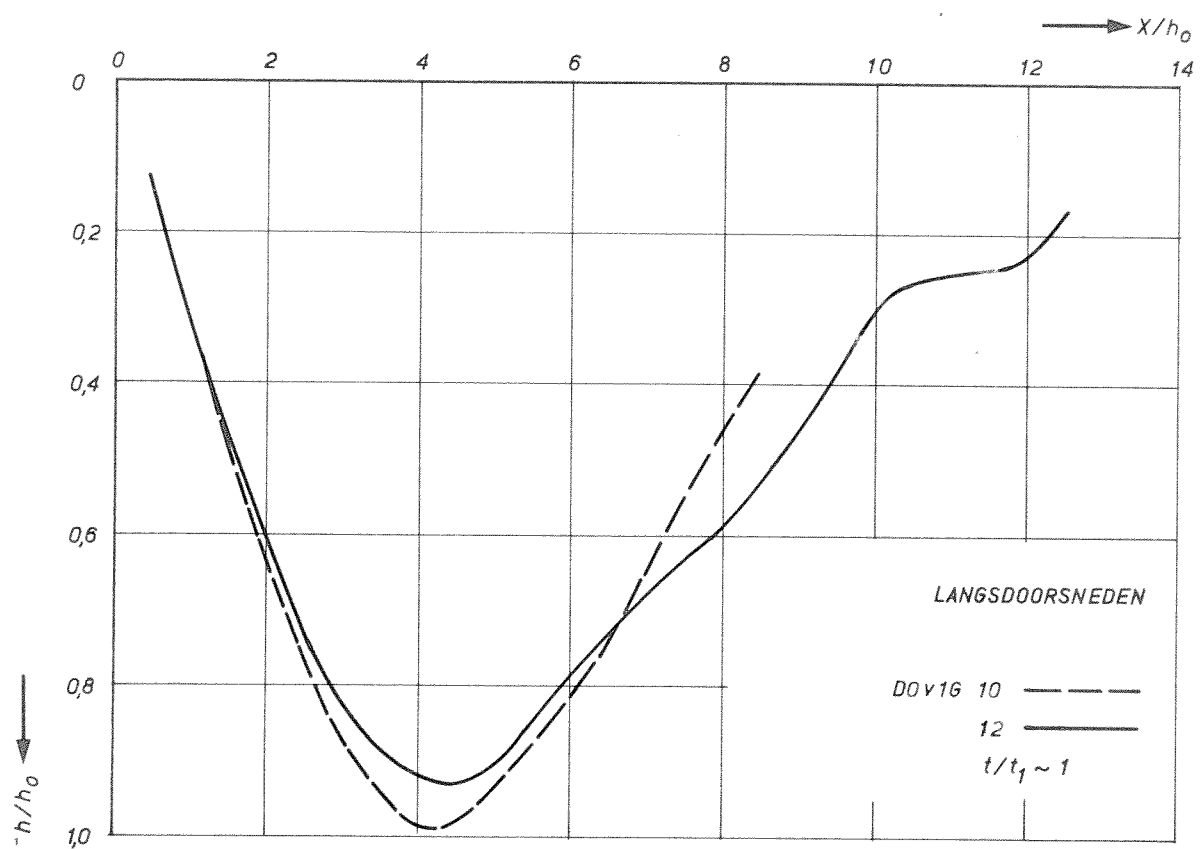
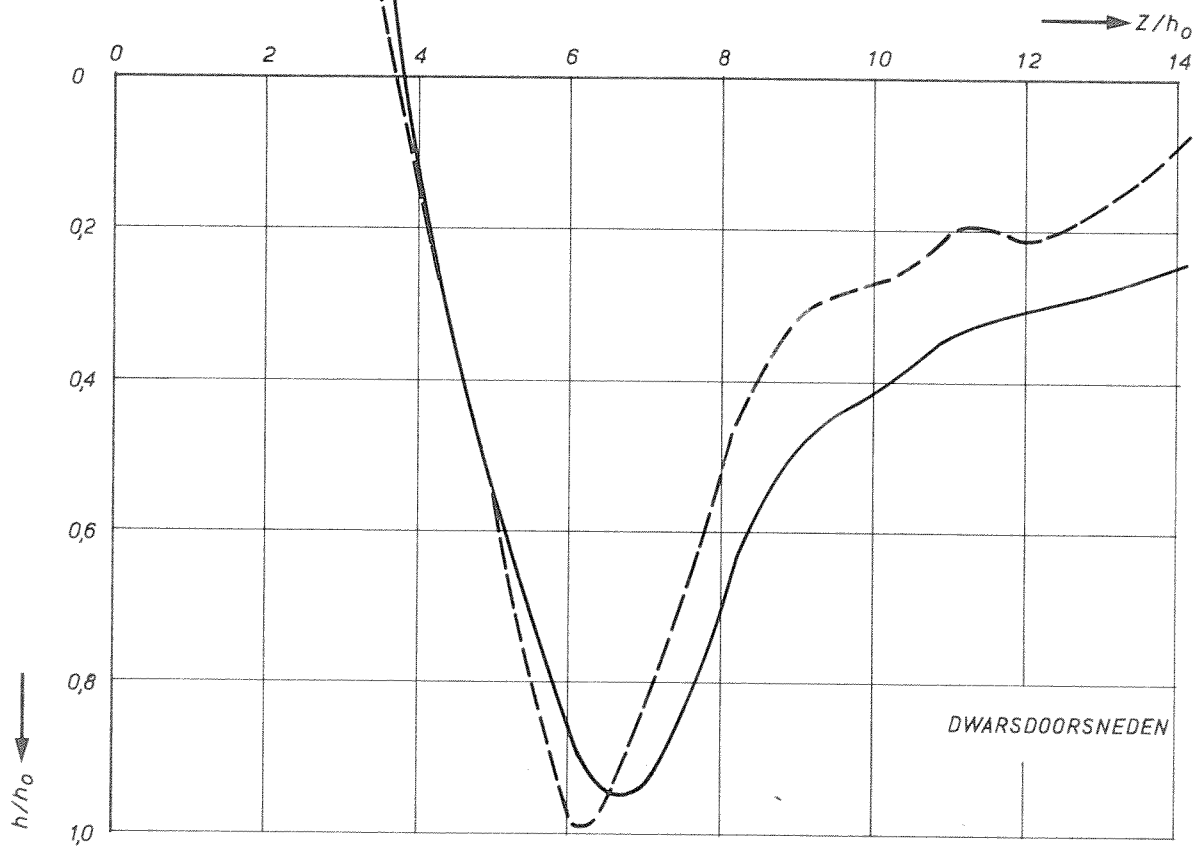
POLYSTYREEN

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1049

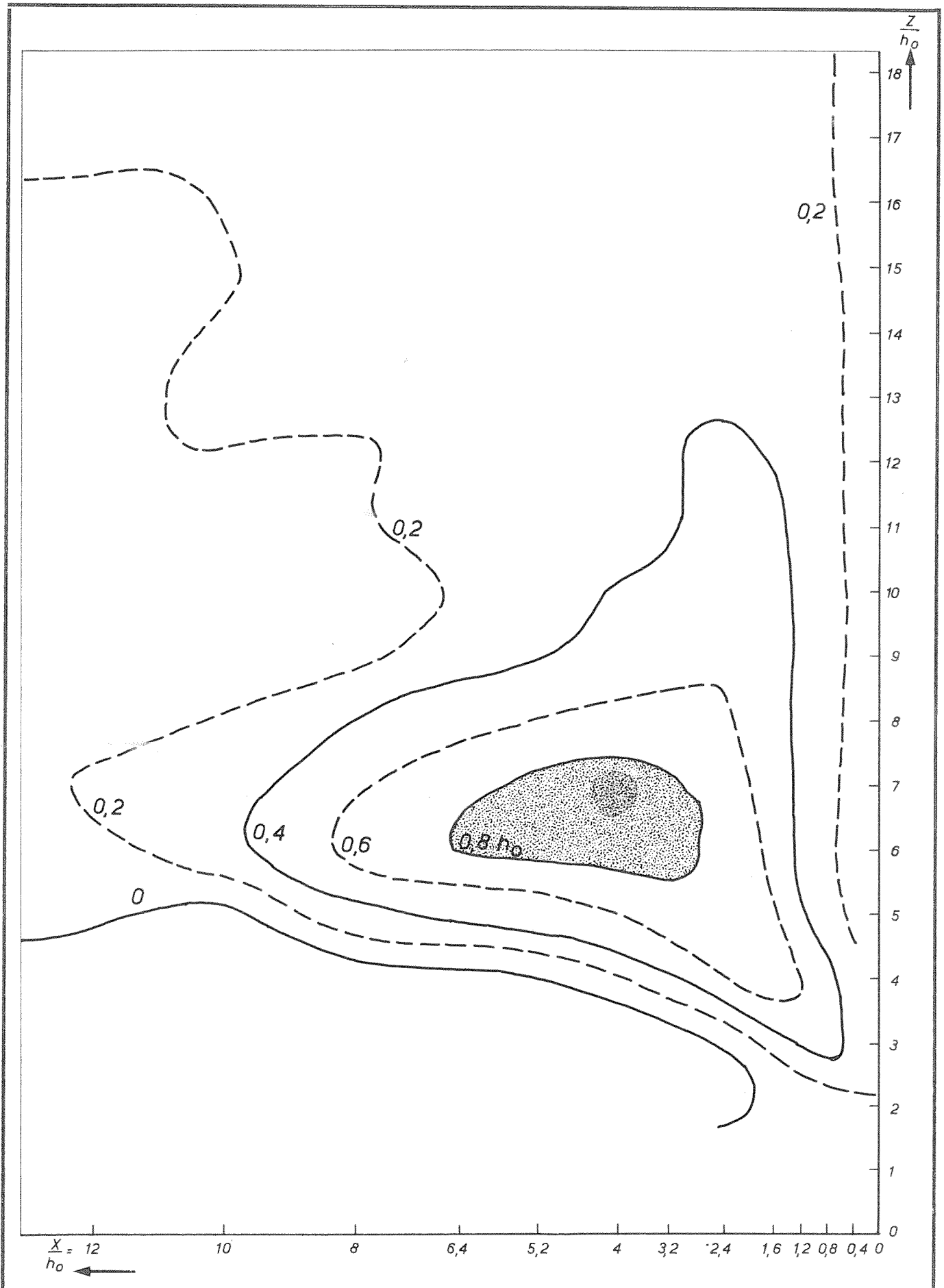
FIG.25b



LANGS EN DWARSDOORSNEDEN OVER h_{max}
 $h_0 = 25 \text{ cm}$ $B = 5 \text{ m}$

R.R.

A4



ONTGRONDINGSBEELD OP $t/t_1 \sim 1$
 $h_0 = 25\text{cm}$ $B = 5\text{ m}$

D0 v16

W_K

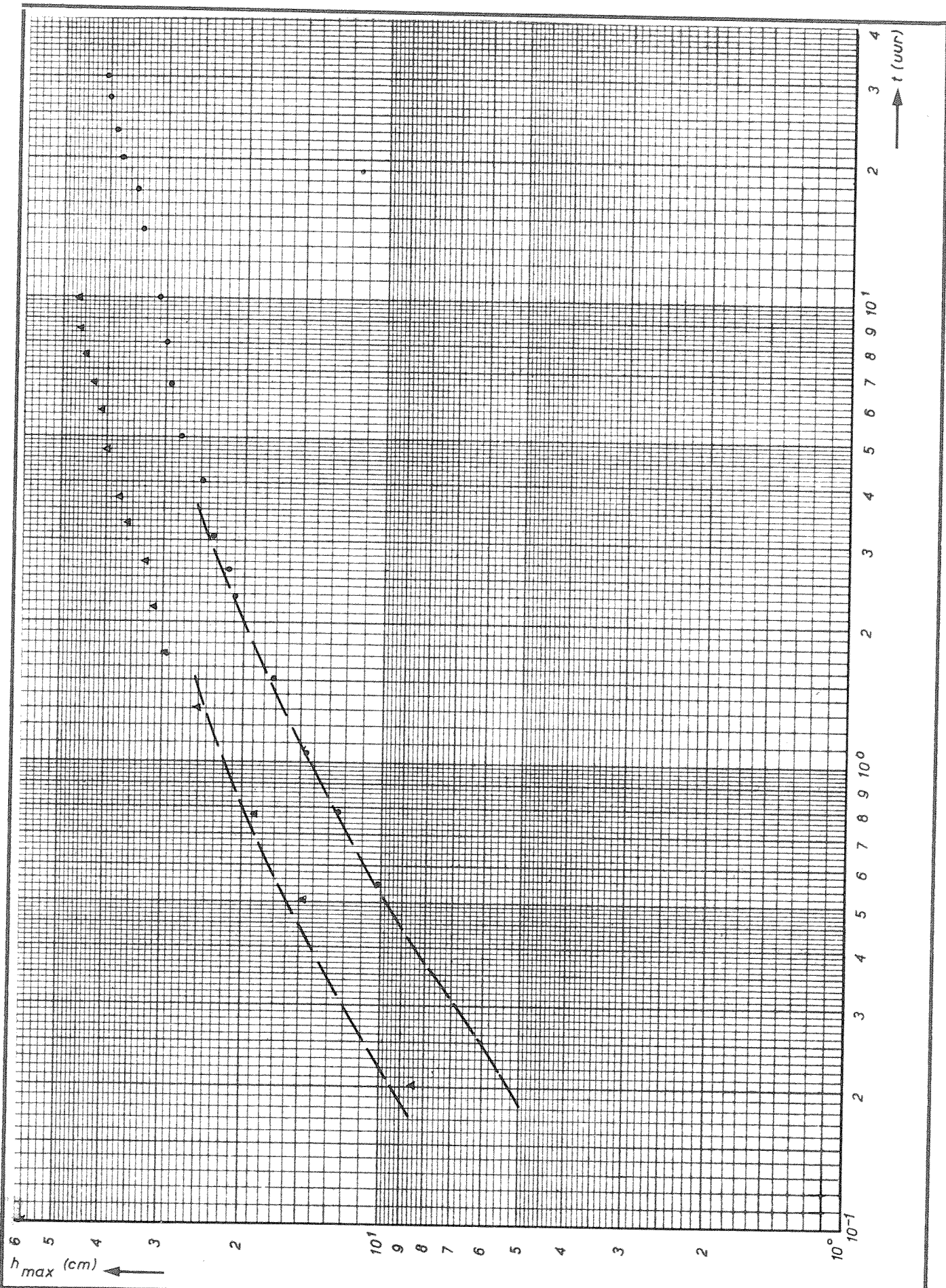
POLYSTYREEN

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1099

FIG.25d



TJD-ONTGRONDINGSLUNEN

$h_0 = 25 \text{ cm}$

DIV 1G 10●
12▲

R.R.

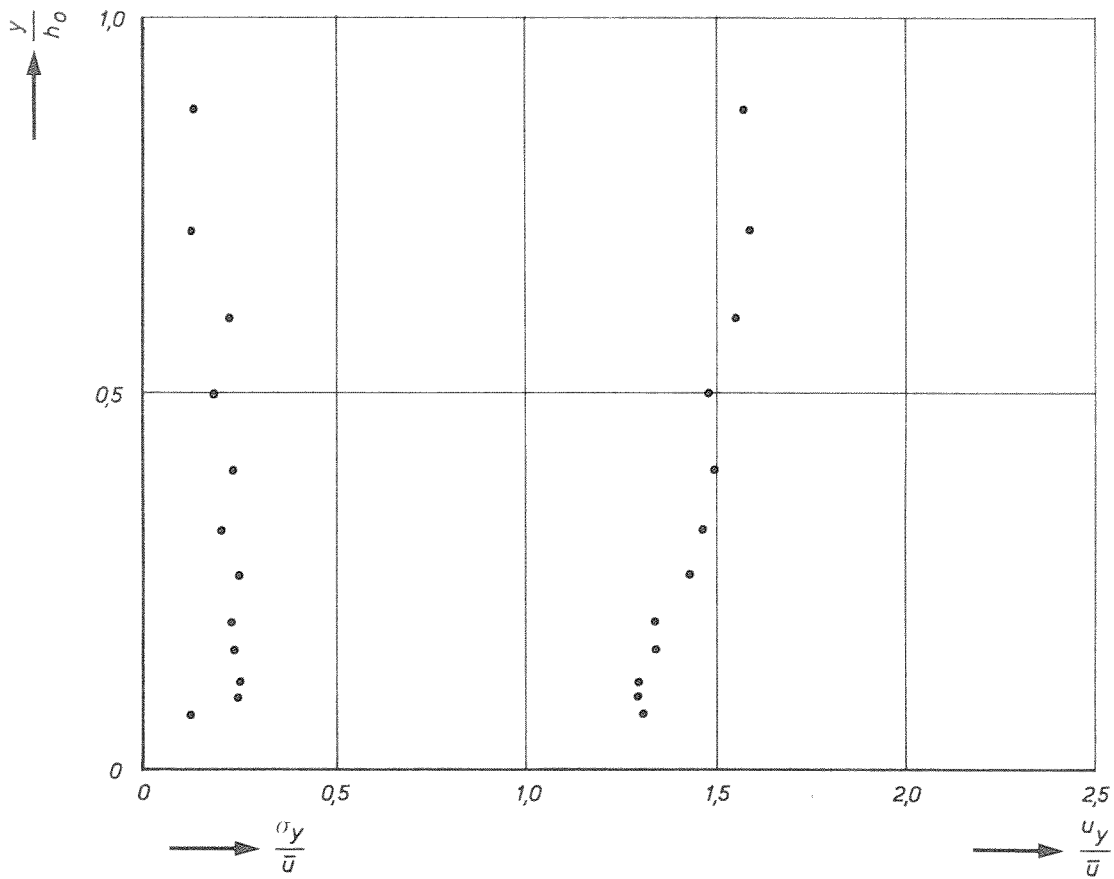
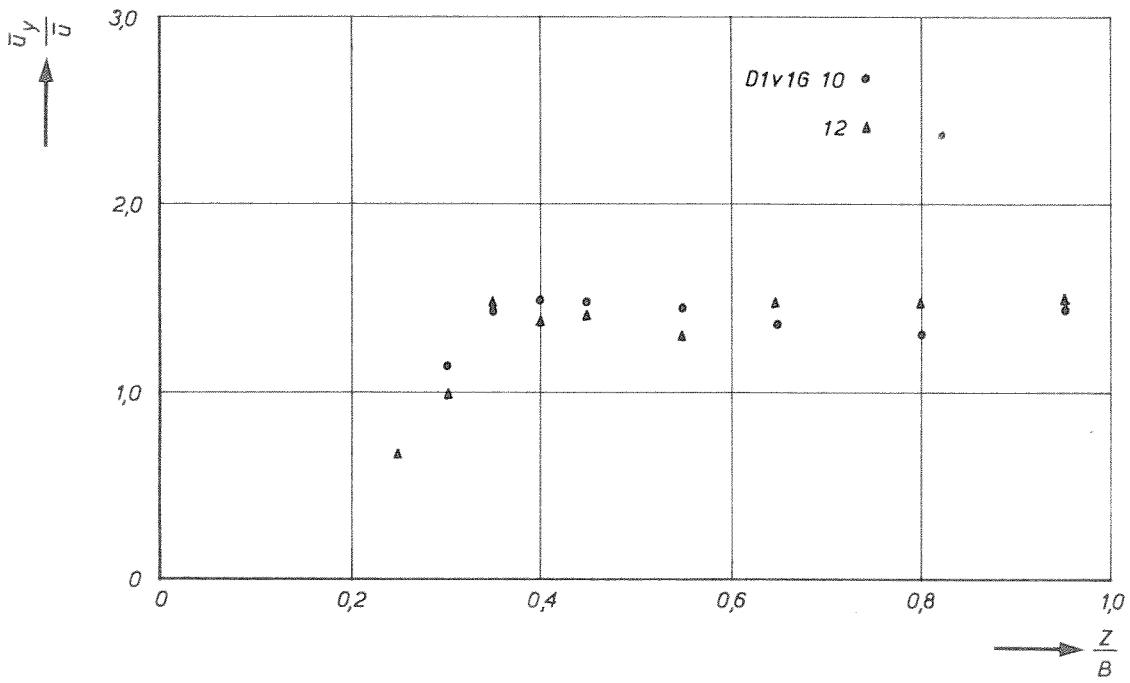
POLYSTYREEN

A4

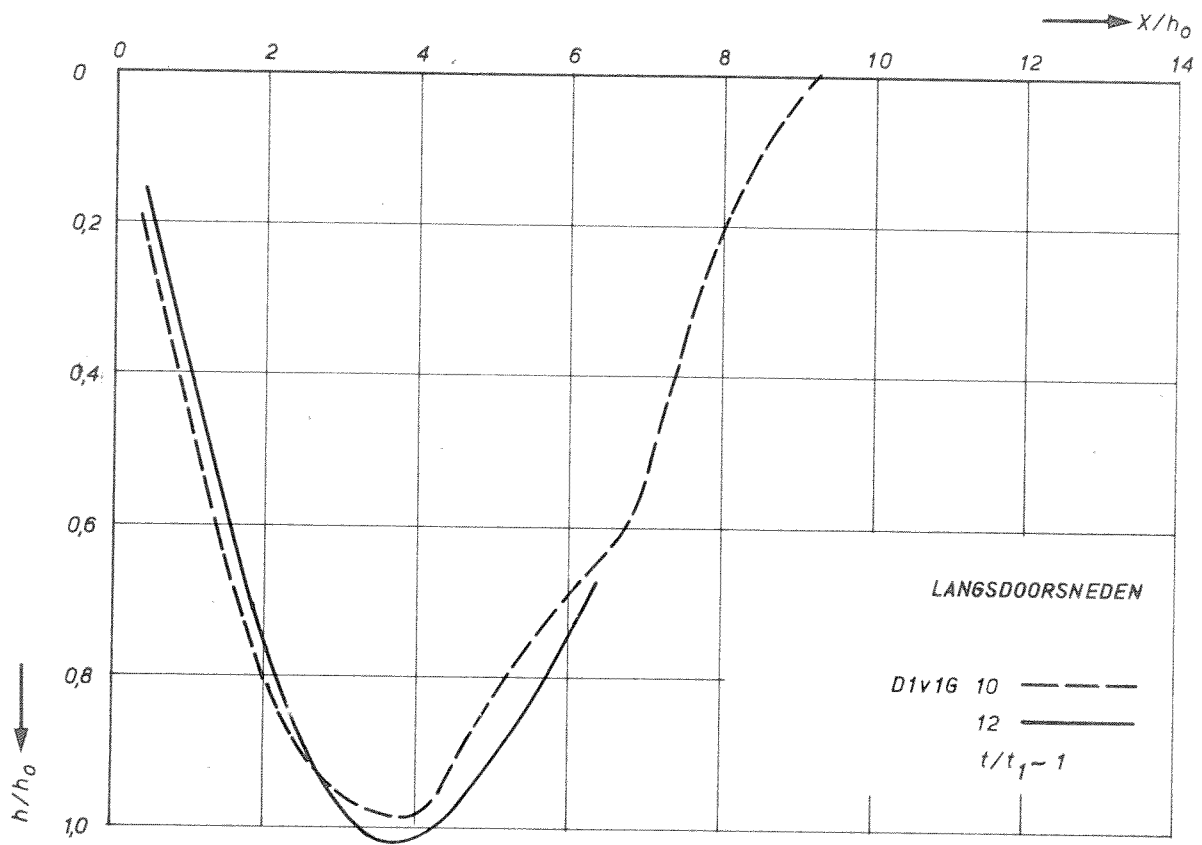
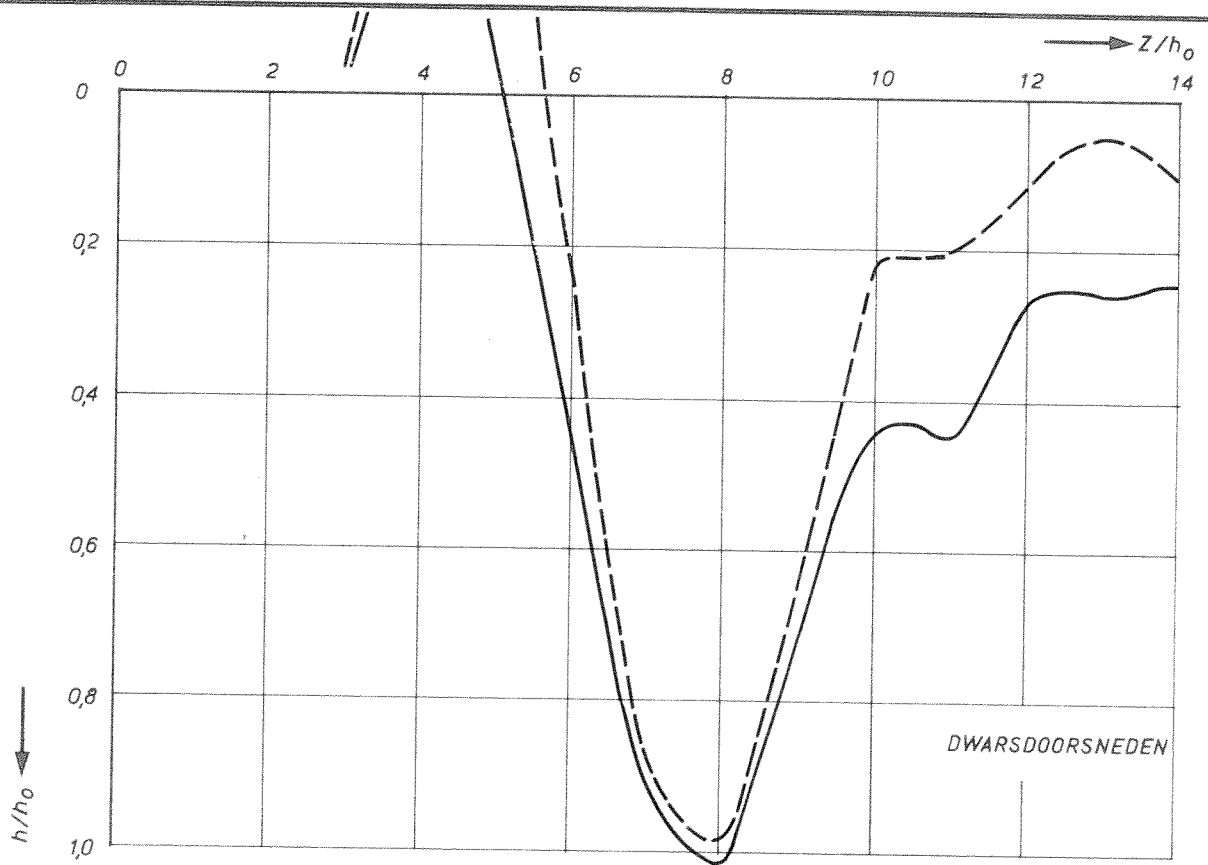
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1025

FIG.26a



HORIZONTALE EN VERTICALE SNELHEIDSVERDELINGEN	D1v16	R.R.
	POLYSTYREEN	A4
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M.847-III-1050	FIG.26b



LANGS EN DWARSDOORSNEDEN OVER h_{max}
 $h_0 = 25 \text{ cm}$ $B = 5 \text{ m}$

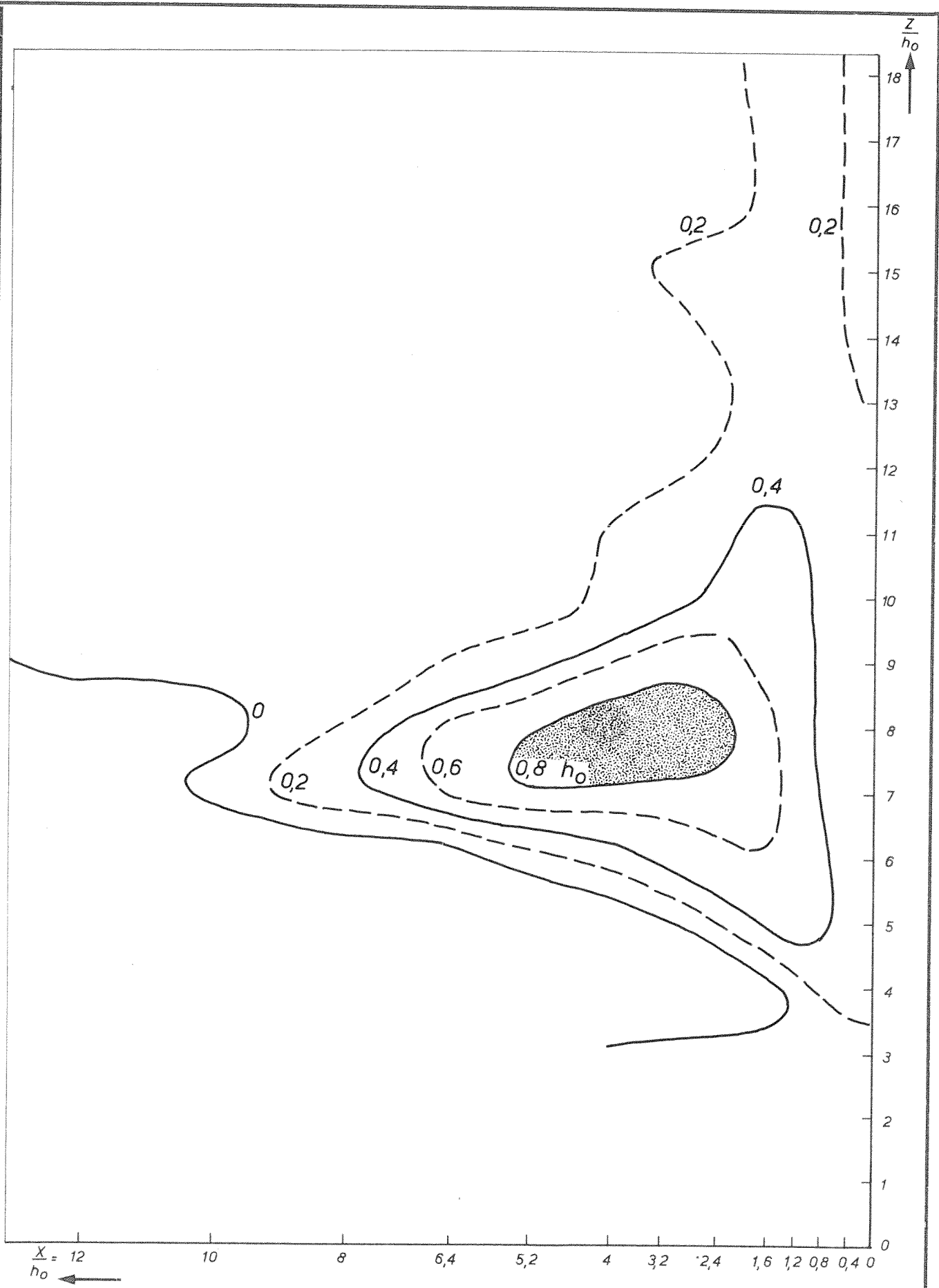
R.R.

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1075

FIG.26c



ONTGRONDINGSBEELD OP $t/t_1 \sim 1$
 $h_0 = 25 \text{ cm}$ $B = 5 \text{ m}$

D1v1G

W_K

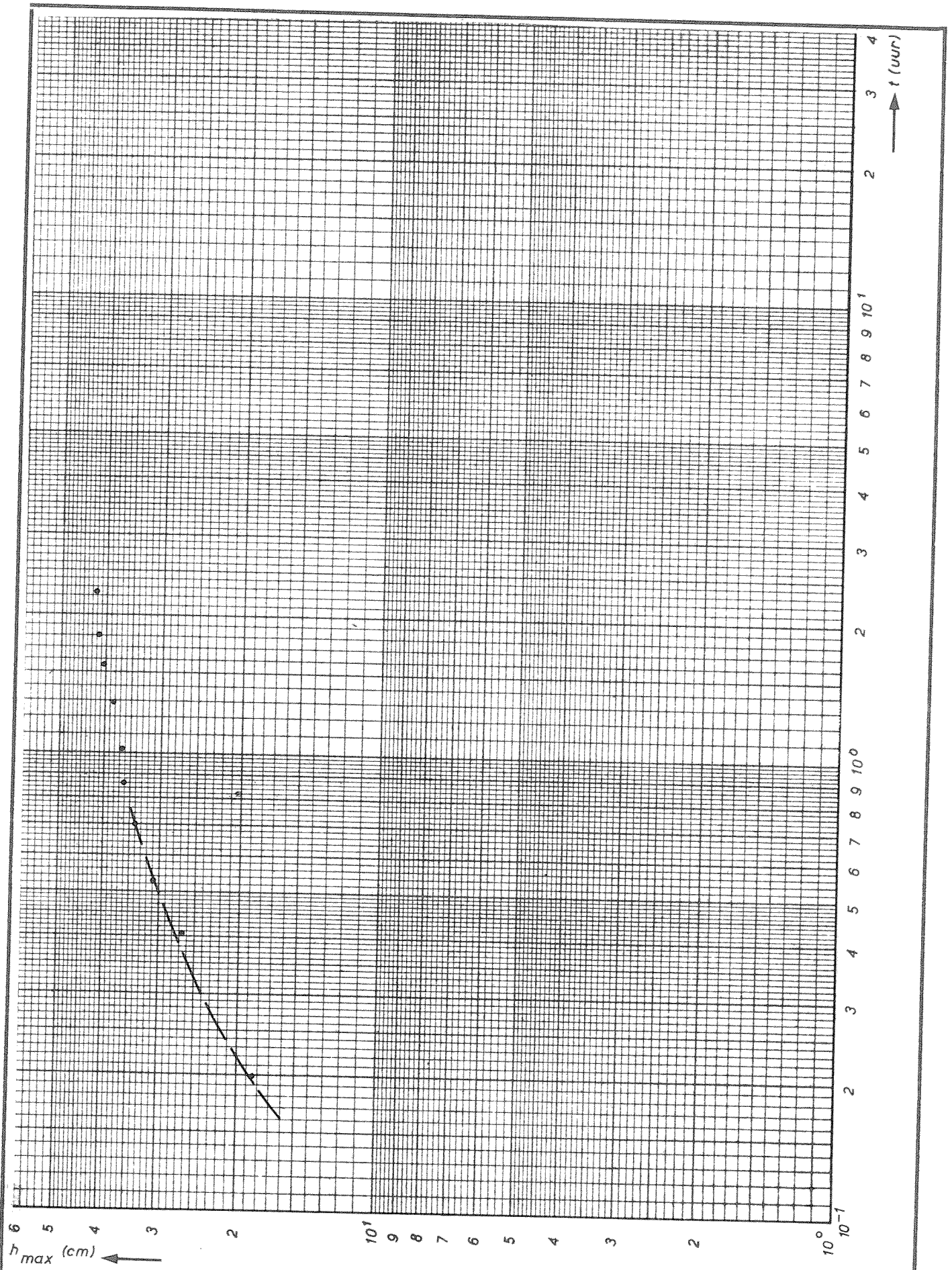
POLYSTYREEN

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1100

FIG.26d



TJD-ONTGRONDINGSLUNEN

$h_0 = 25 \text{ cm}$

D2v1G 10

R.R.

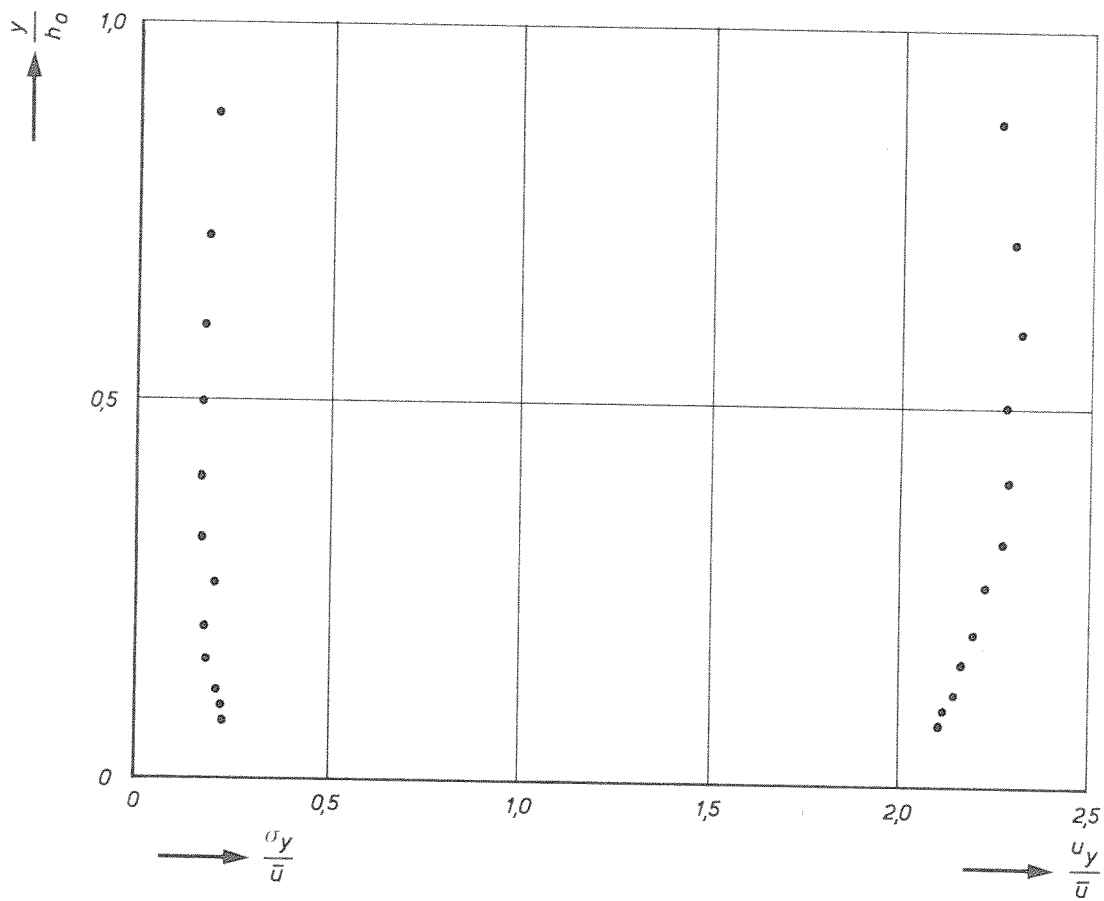
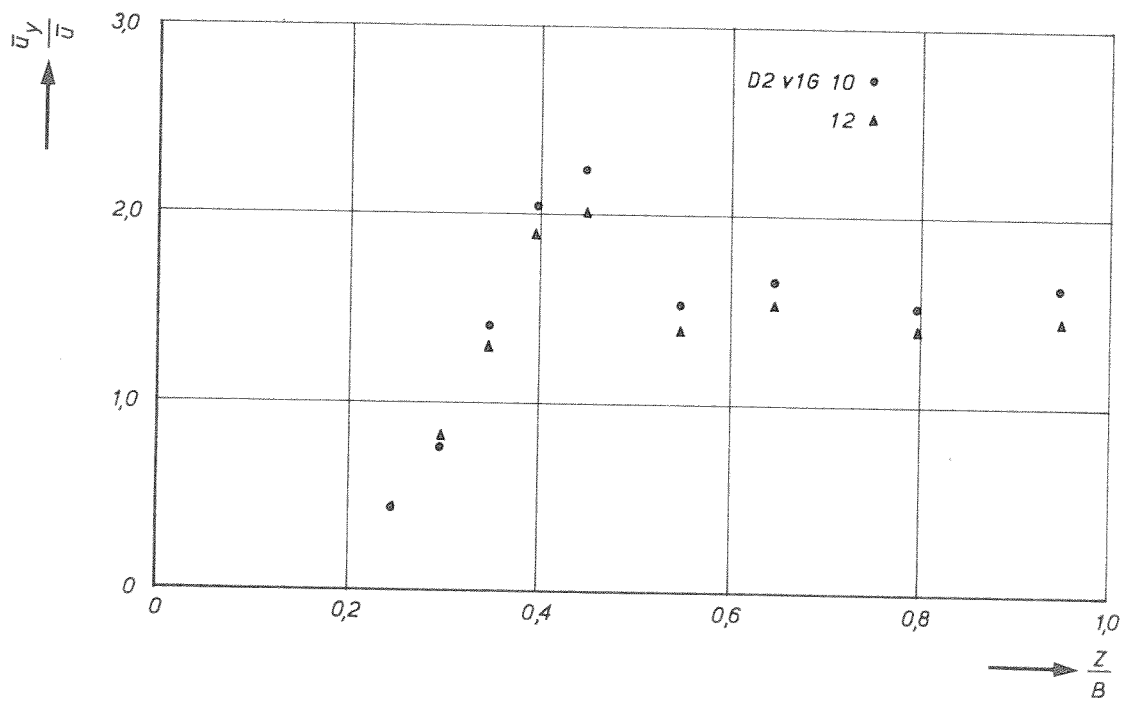
PÖLYSTYREEN

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1026

FIG.27a



HORizontALE EN VERTICALE SNELHEIDSVERDELINGEN

D2v16

R.R.

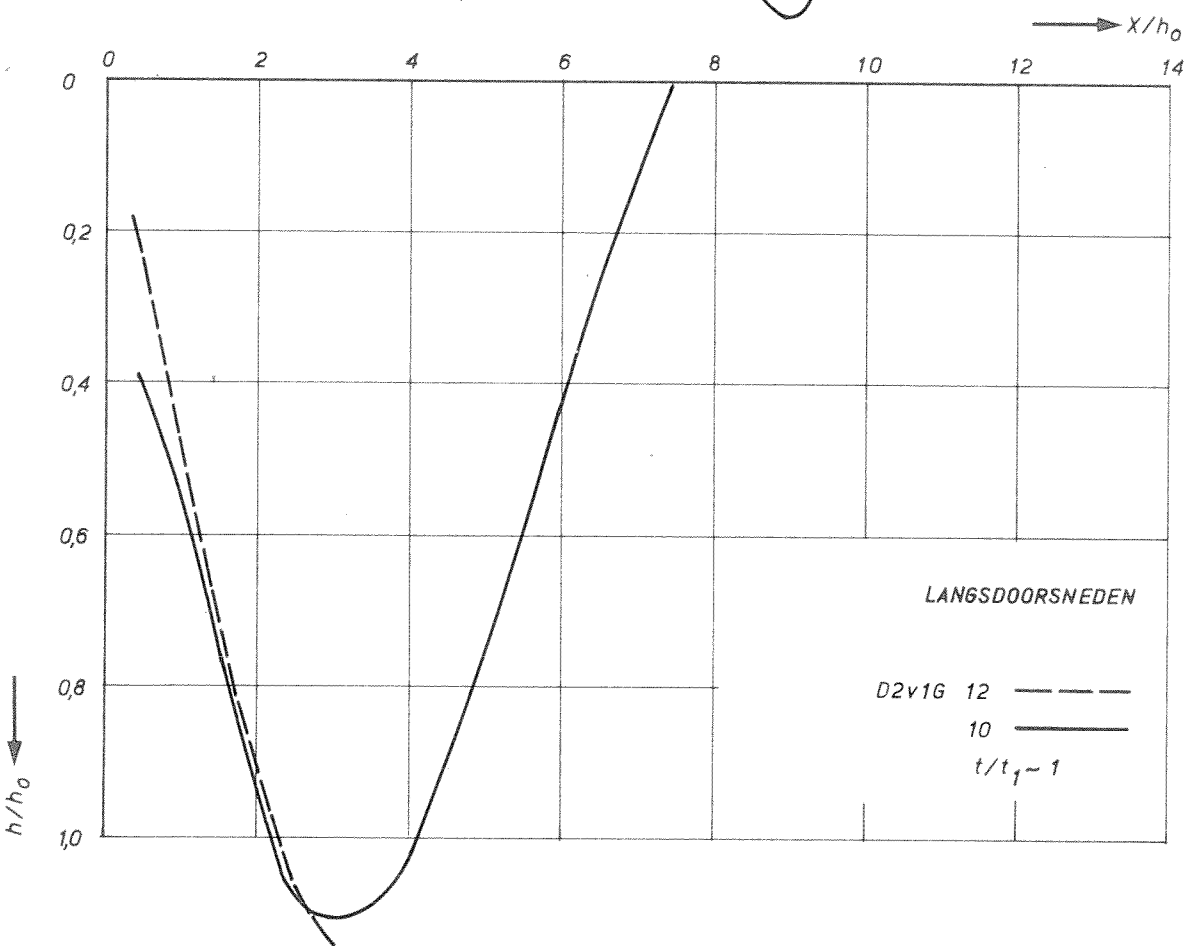
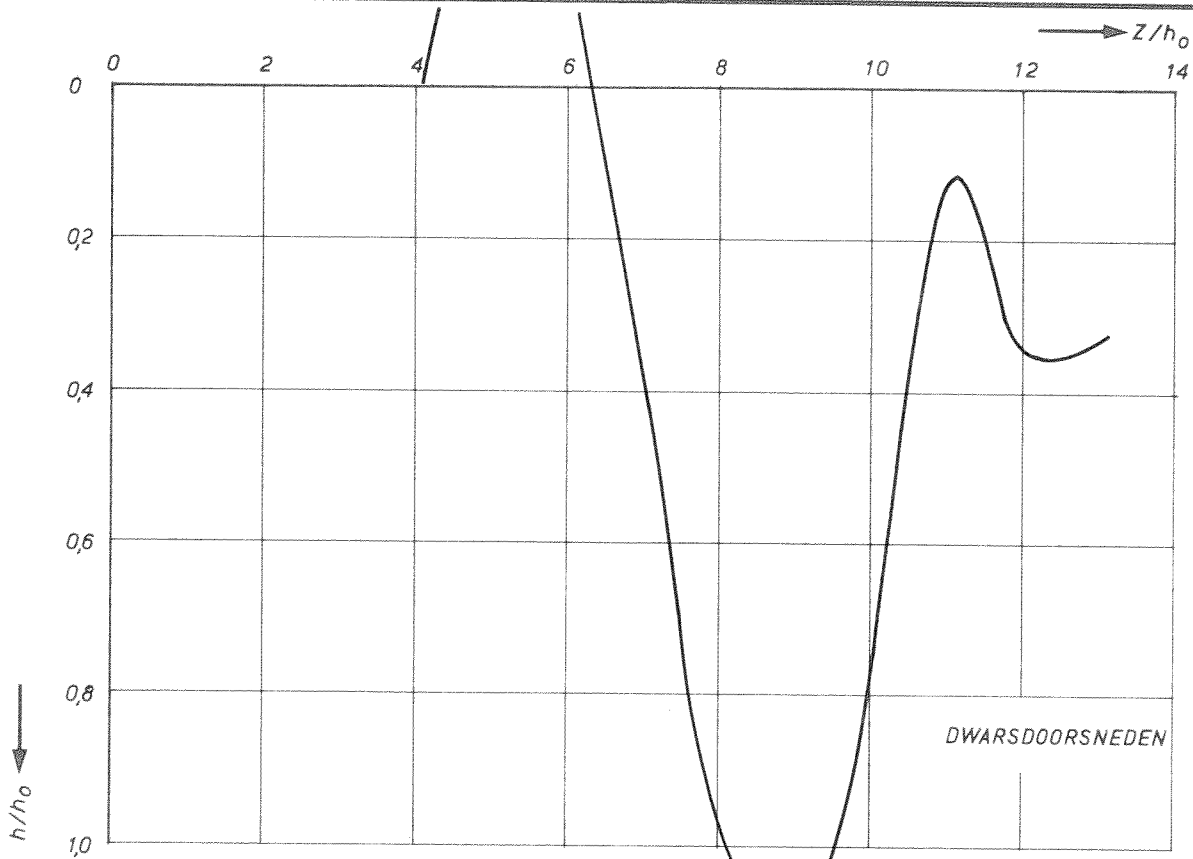
POLYSTYREEN

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1051

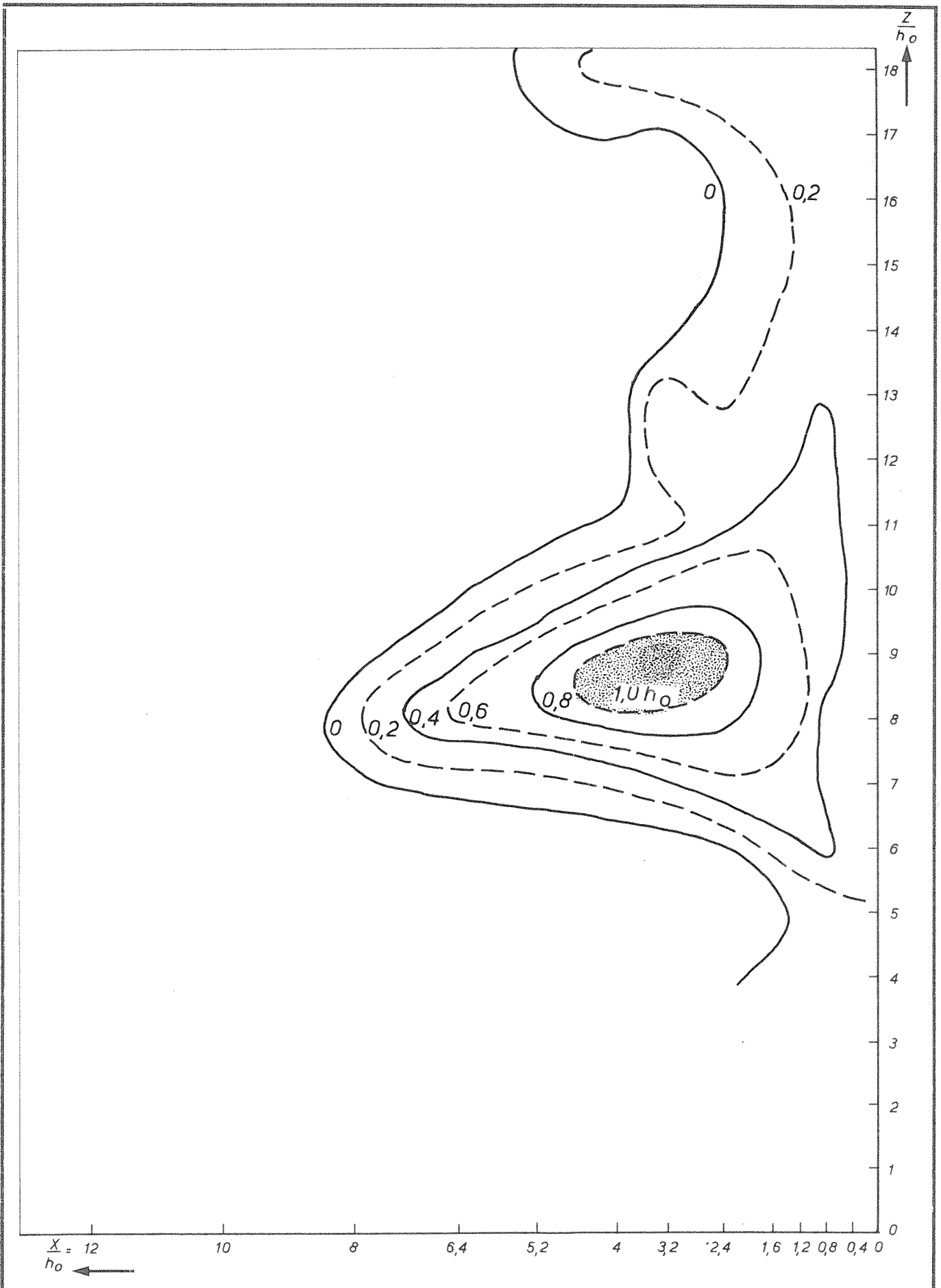
FIG.27b



LANGS EN DWARSDOORSNEDEN OVER h_{max}
 $h_0 = 25 \text{ cm}$ $B = 5 \text{ m}$

R.R.

A4



ONTGRONDINGSBEELD OP $t/t_1 \sim 1$
 $h_0 = 25 \text{ cm}$ $B = 5 \text{ m}$

D2v16

$\frac{W}{K}$

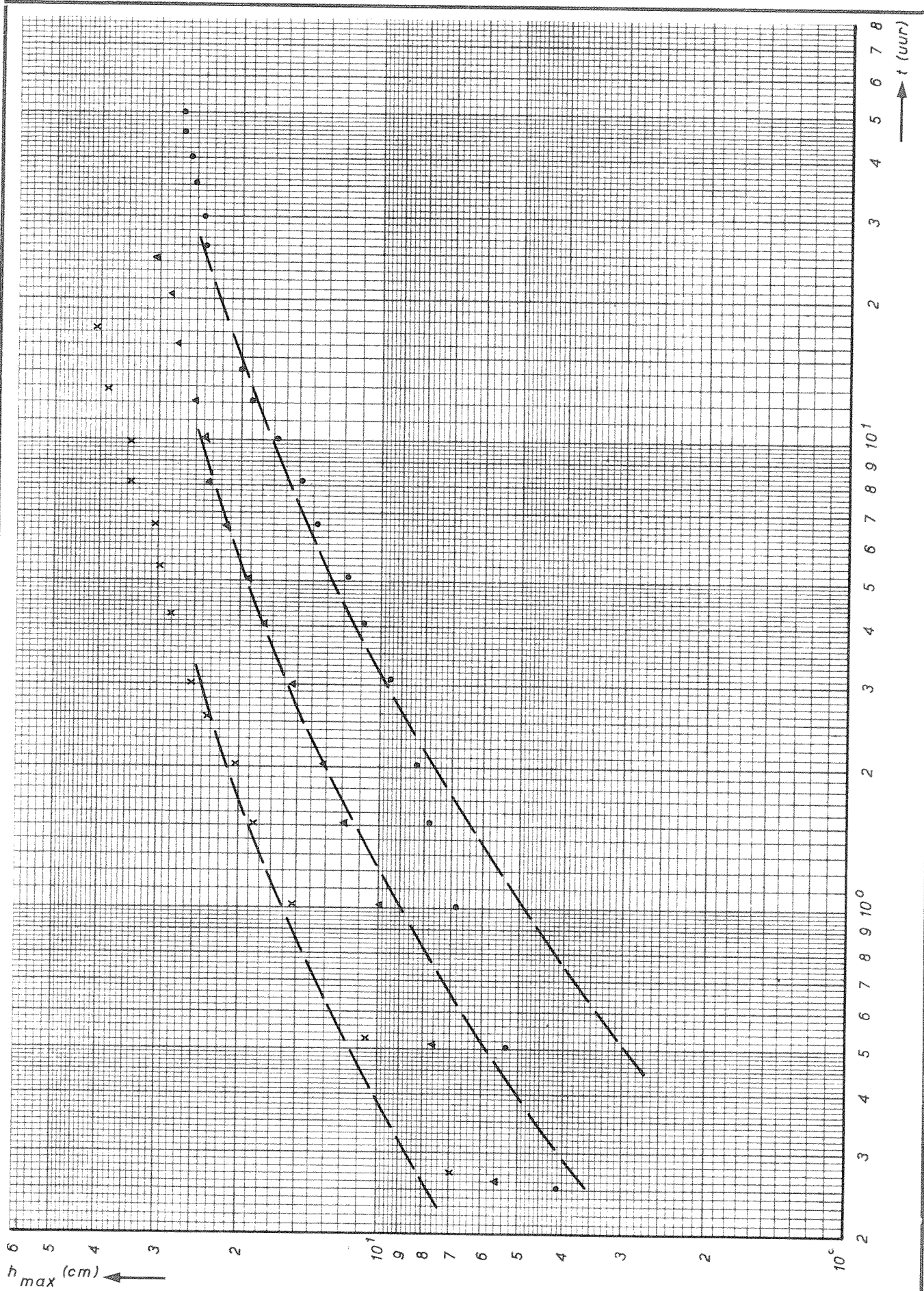
POLYSTYREEN

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1101

FIG.27d



TJD-ONTGRONDINGSLUNEN

$h_0 = 25 \text{ cm}$

DOv2G 10 ●
12 ▲
14 ×

R.R.

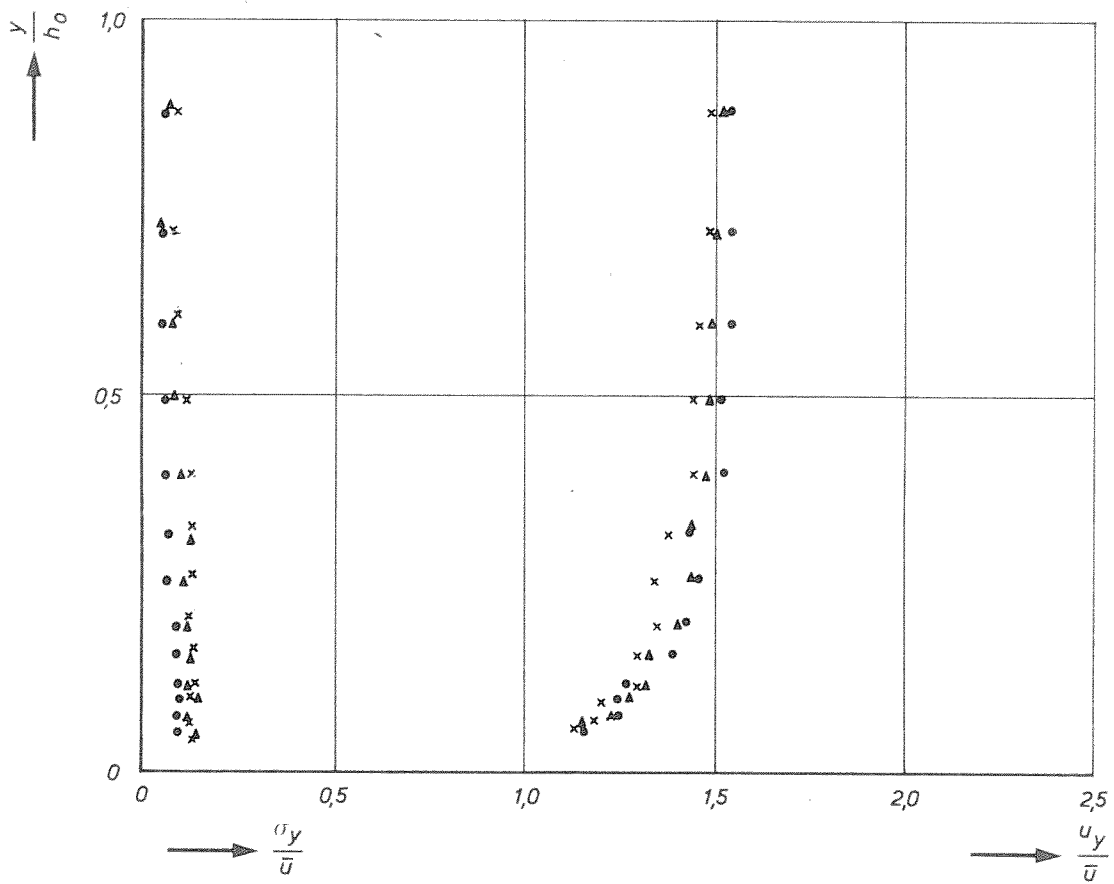
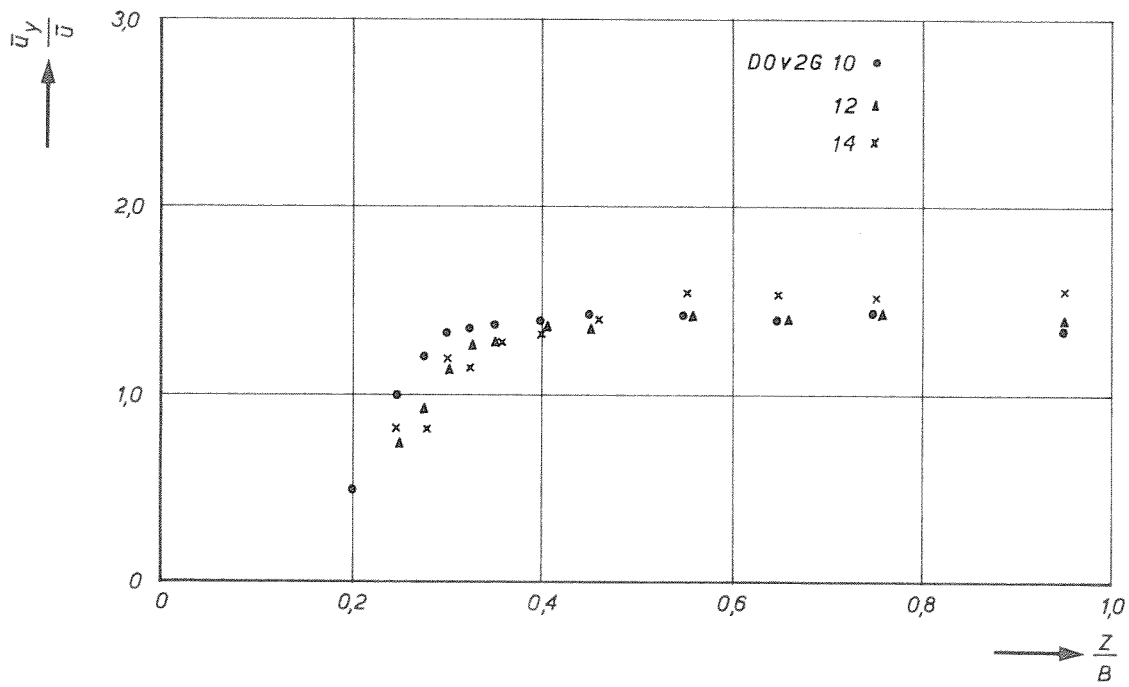
POLYSTYREEN

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1027

FIG.28a



HORIZONTALE EN VERTICALE SNELHEIDSVERDELINGEN

DOV2G

R.R.

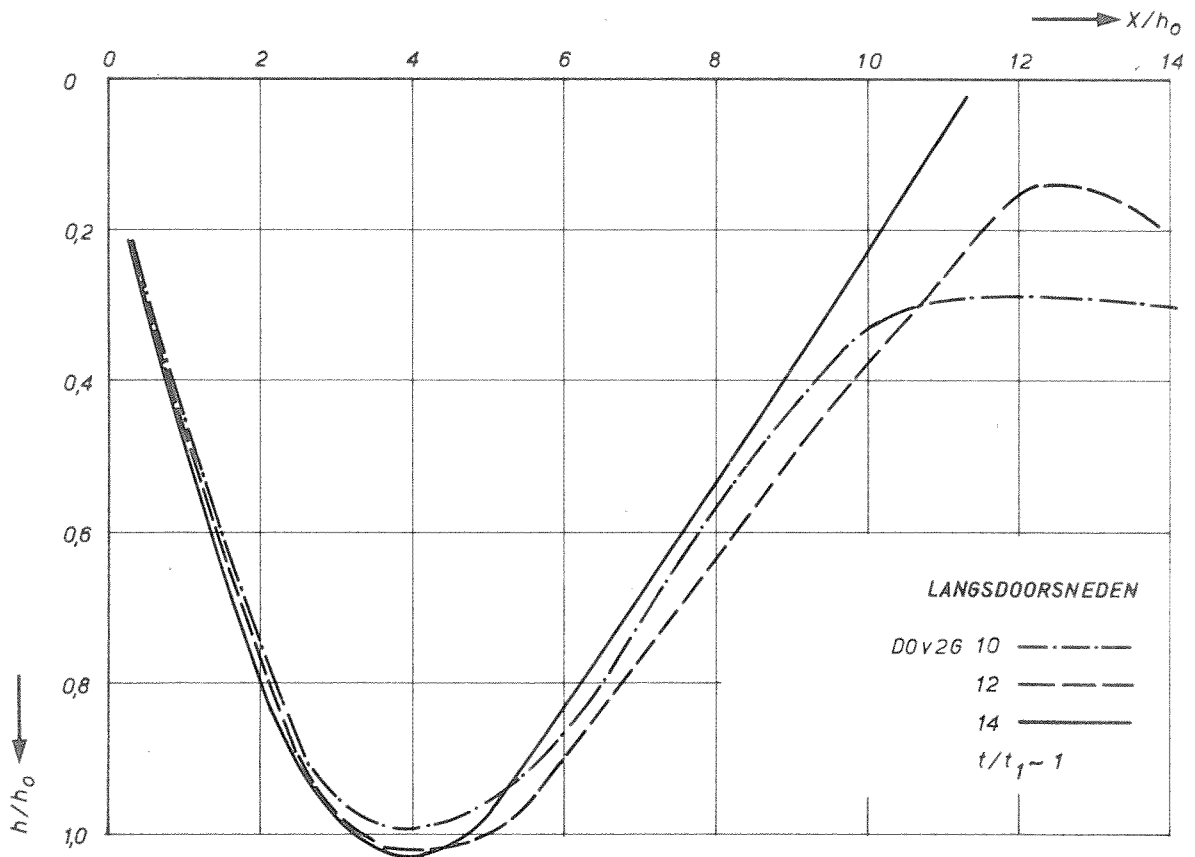
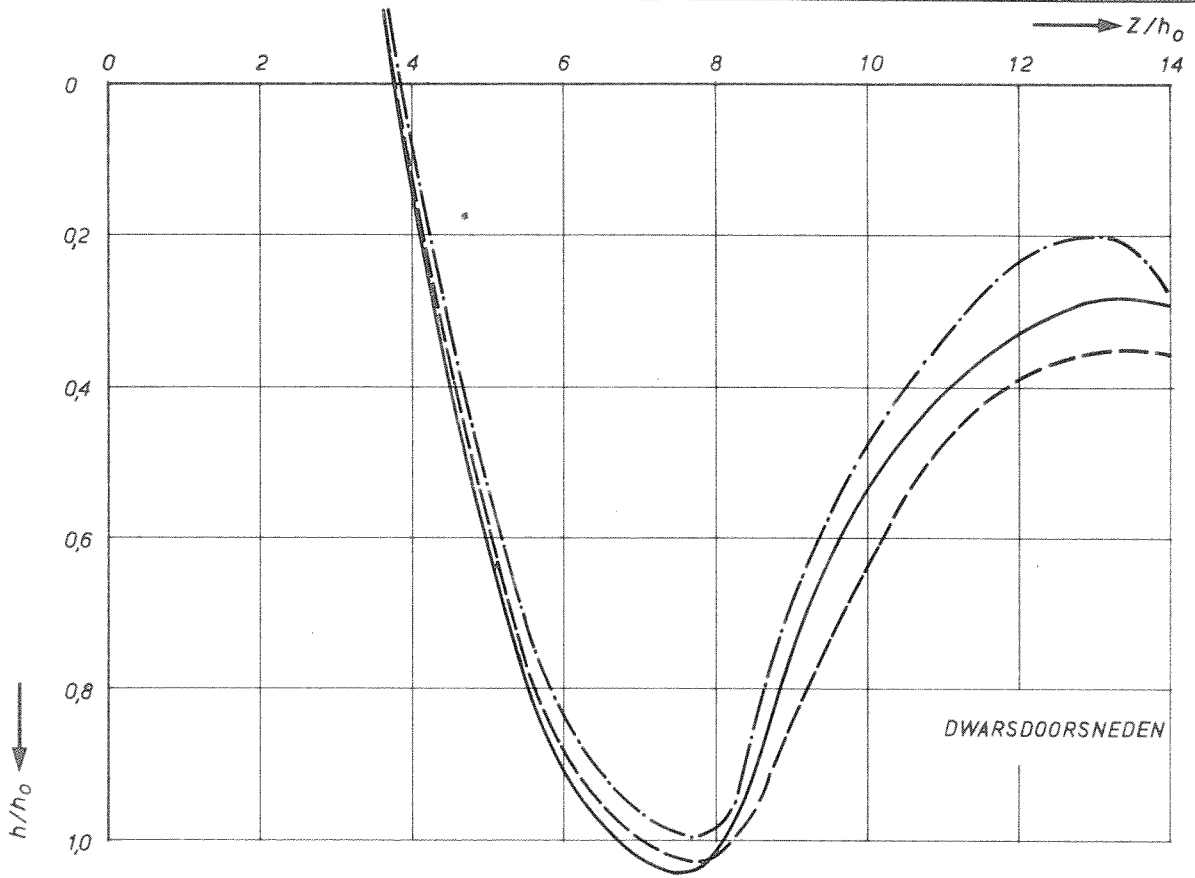
POLYSTYREEN

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1052

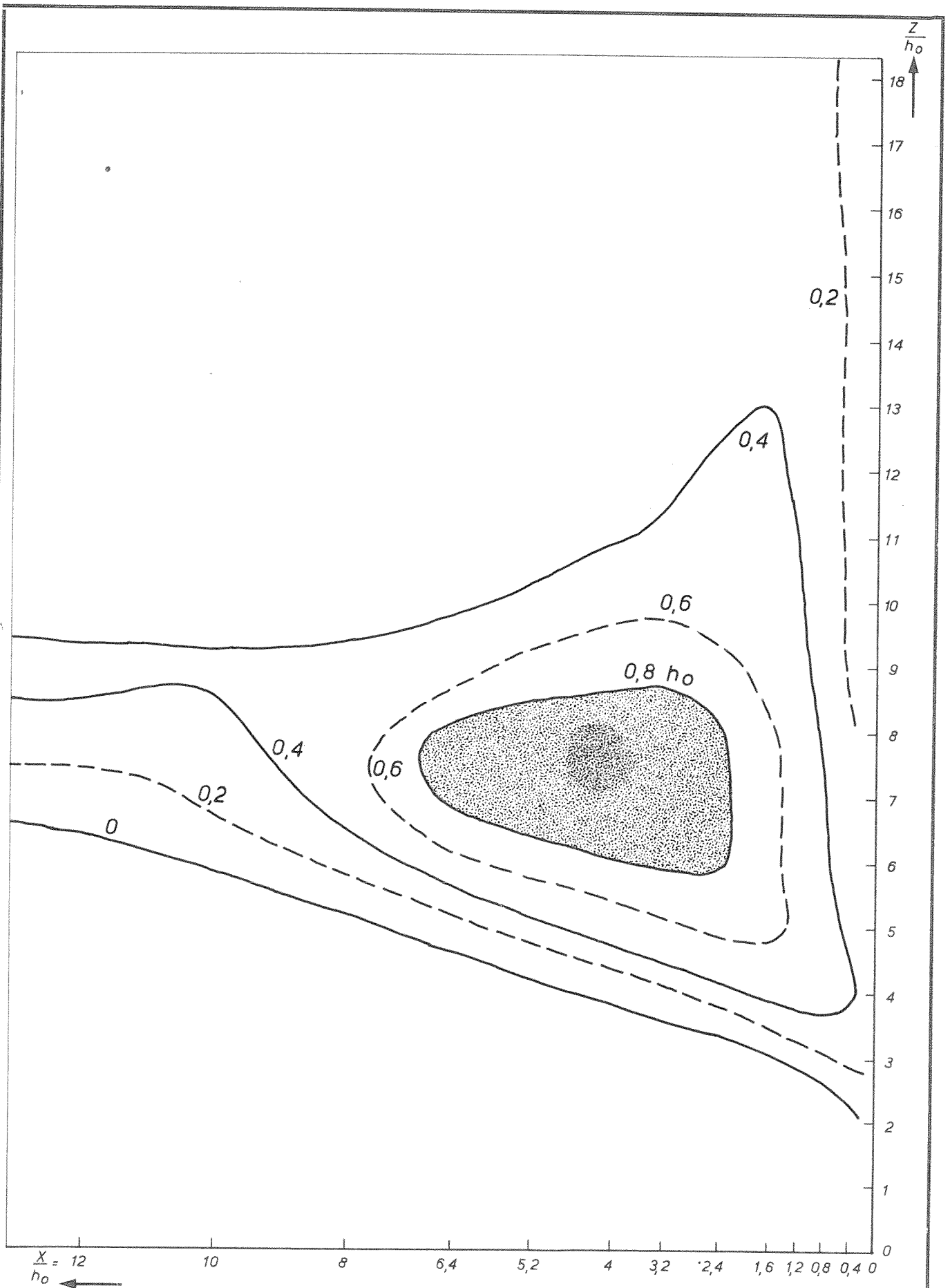
FIG.28b



LANGS EN DWARSDOORSNEDEN OVER h_{max}
 $h_0 = 25 \text{ cm}$ $B = 5 \text{ m}$

R.R.

A4



ONTGRONDINGSBEELD OP $t/t_1 \sim 1$

$h_0 = 25 \text{ cm}$ $B = 5 \text{ m}$

D0 v2 G

W_K

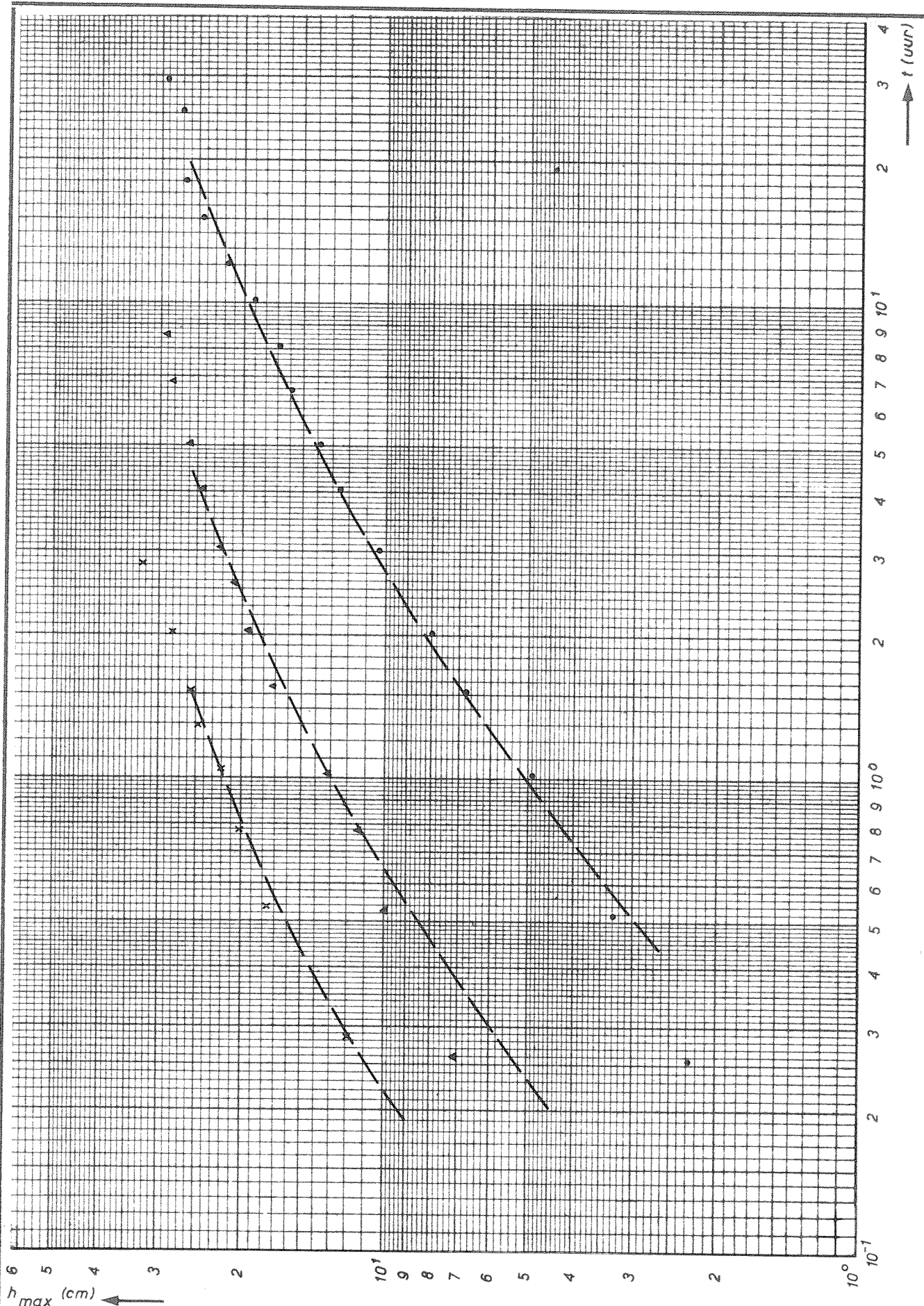
POLYSTYREEN

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III- 1102

FIG.28d



TUD-ONTGRONDINGSLUNEN

$h_0 = 25 \text{ cm}$

D1v2G 8 ●
10 ▲
12 x

R.R.

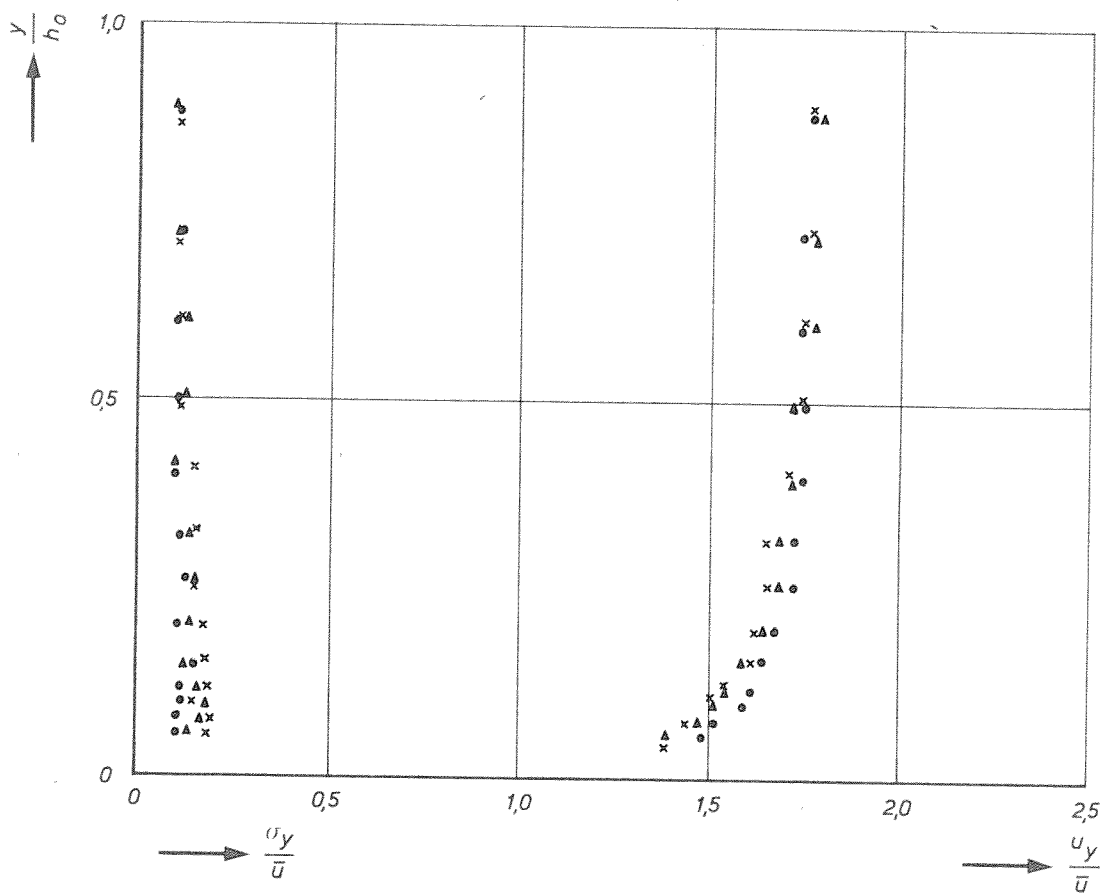
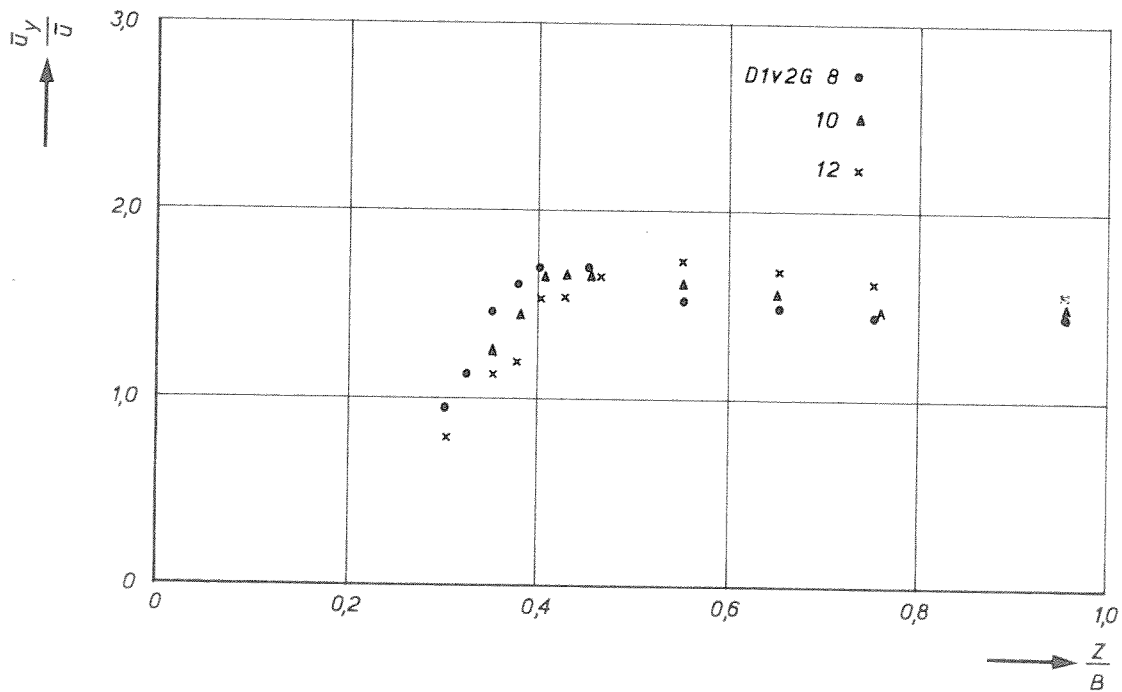
POLYSTYREEN

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1028

FIG.29a



HORIZONTAL EN VERTICALE SNELHEIDSVERDELINGEN

D1v2G

R.R.

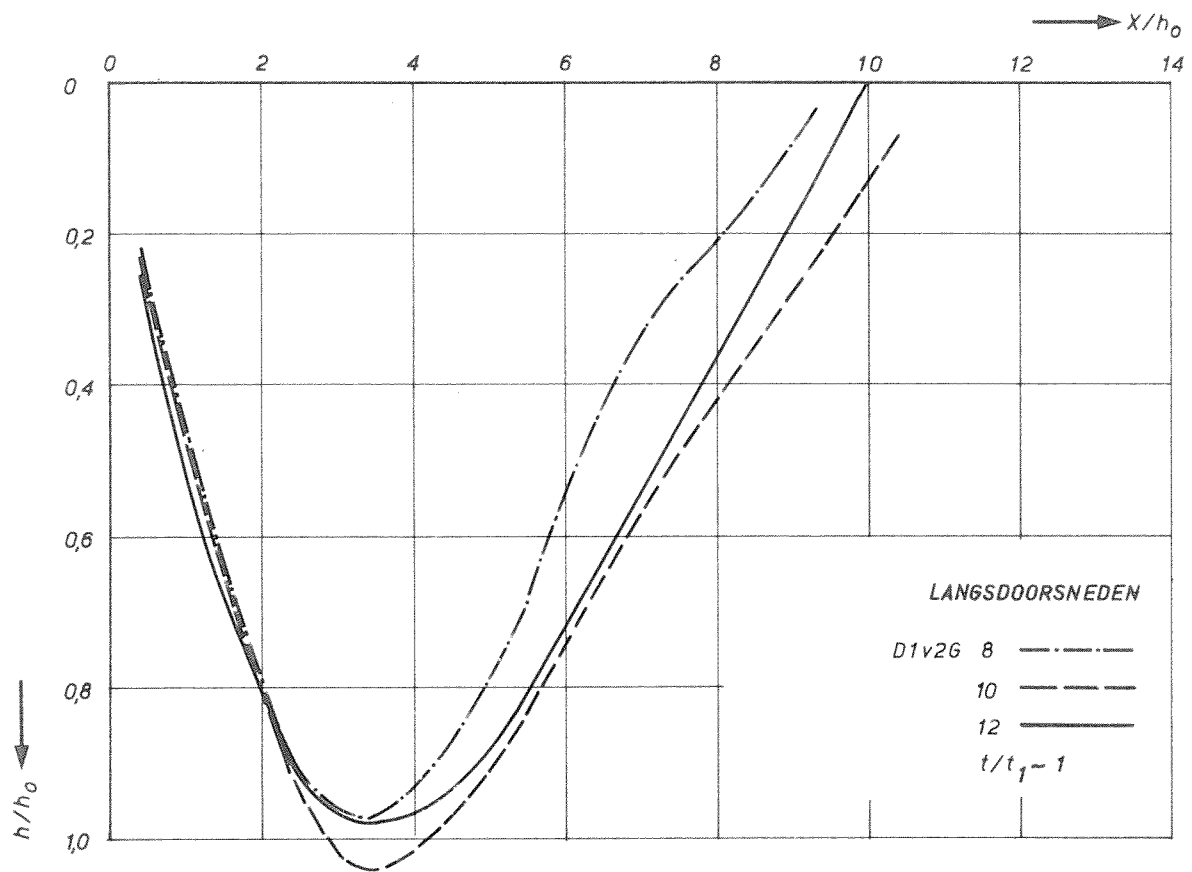
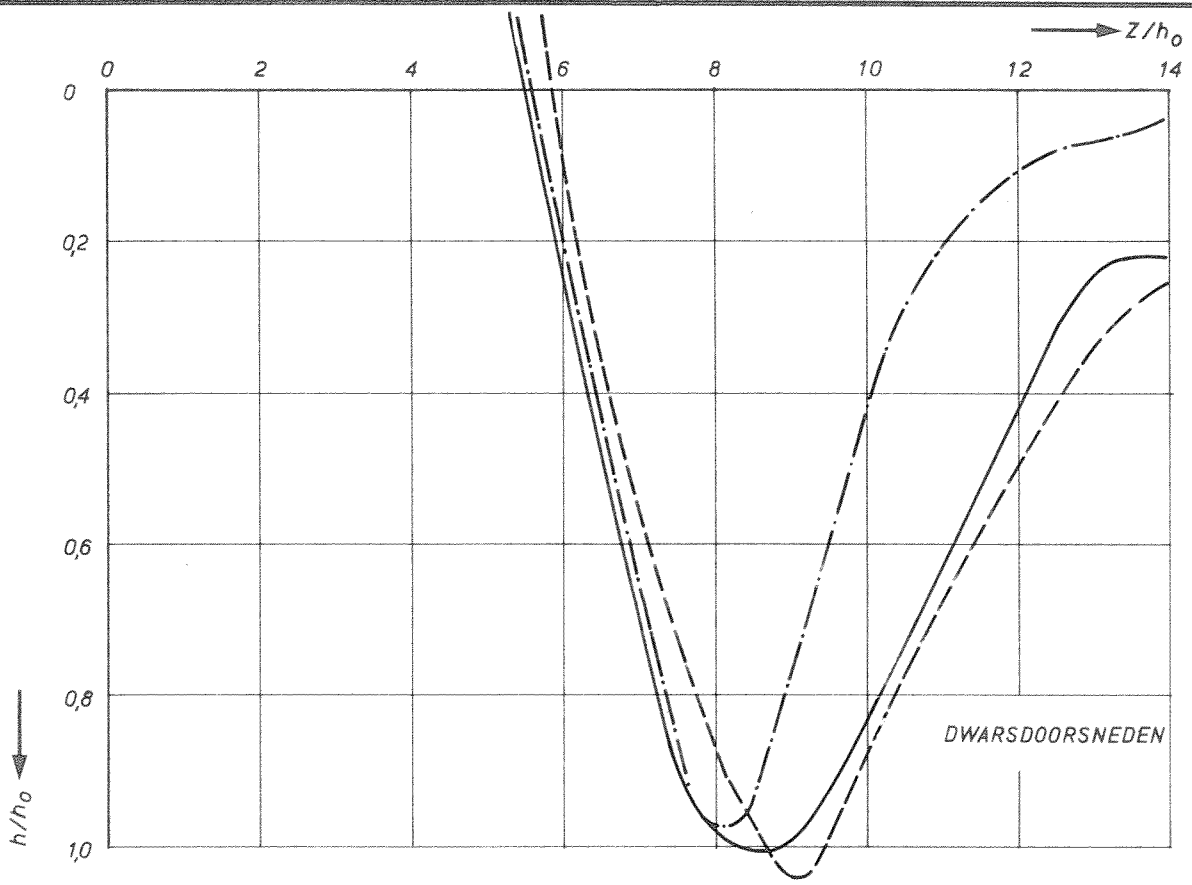
POLYSTYREEN

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1053

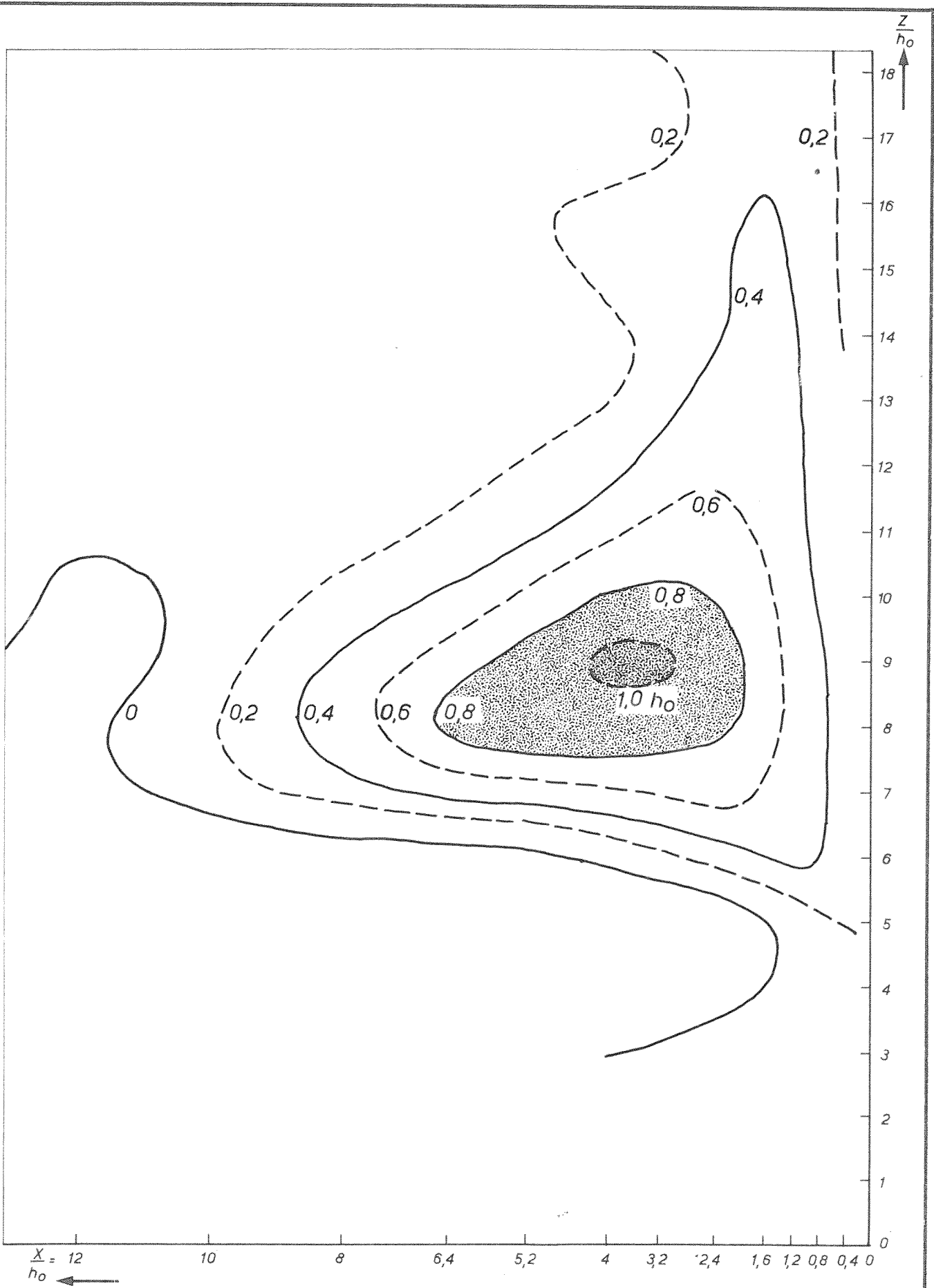
FIG.29b



LANGS EN DWARSDOORSNEDEN OVER h_{max}
 $h_0 = 25 \text{ cm}$ $B = 5 \text{ m}$

R.R.

A4



ONTGRONDINGSBEELD OP $t/t_1 \sim 1$

$h_0 = 25 \text{ cm}$ $B = 5 \text{ m}$

D1v2G

W_K

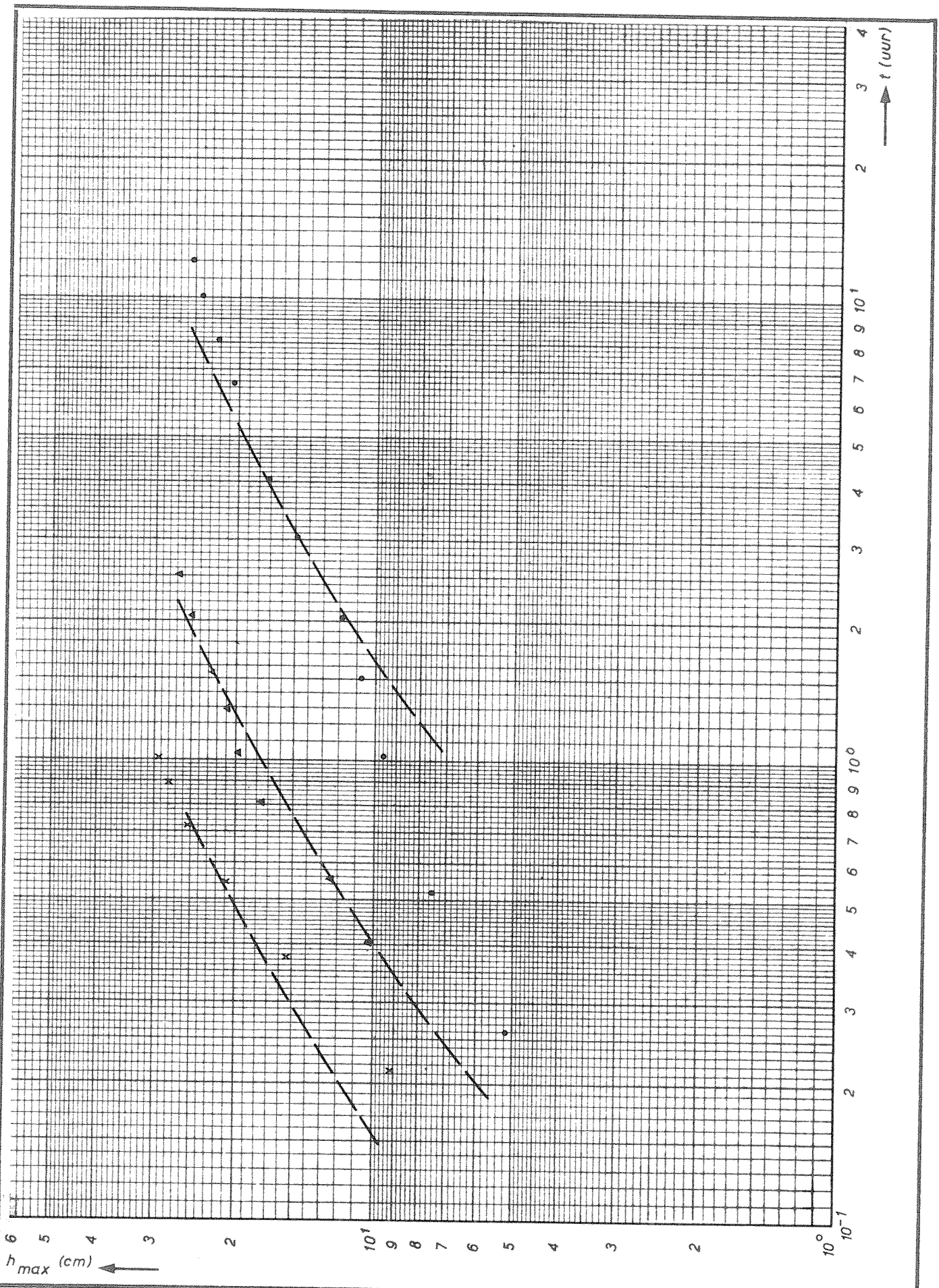
POLYSTYREEN

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1103

FIG.29d



TJD-ONTGRONDINGSLUNEN

$h_0 = 25 \text{ cm}$

D2v2G ●
8 ▲
10 x

R.R.

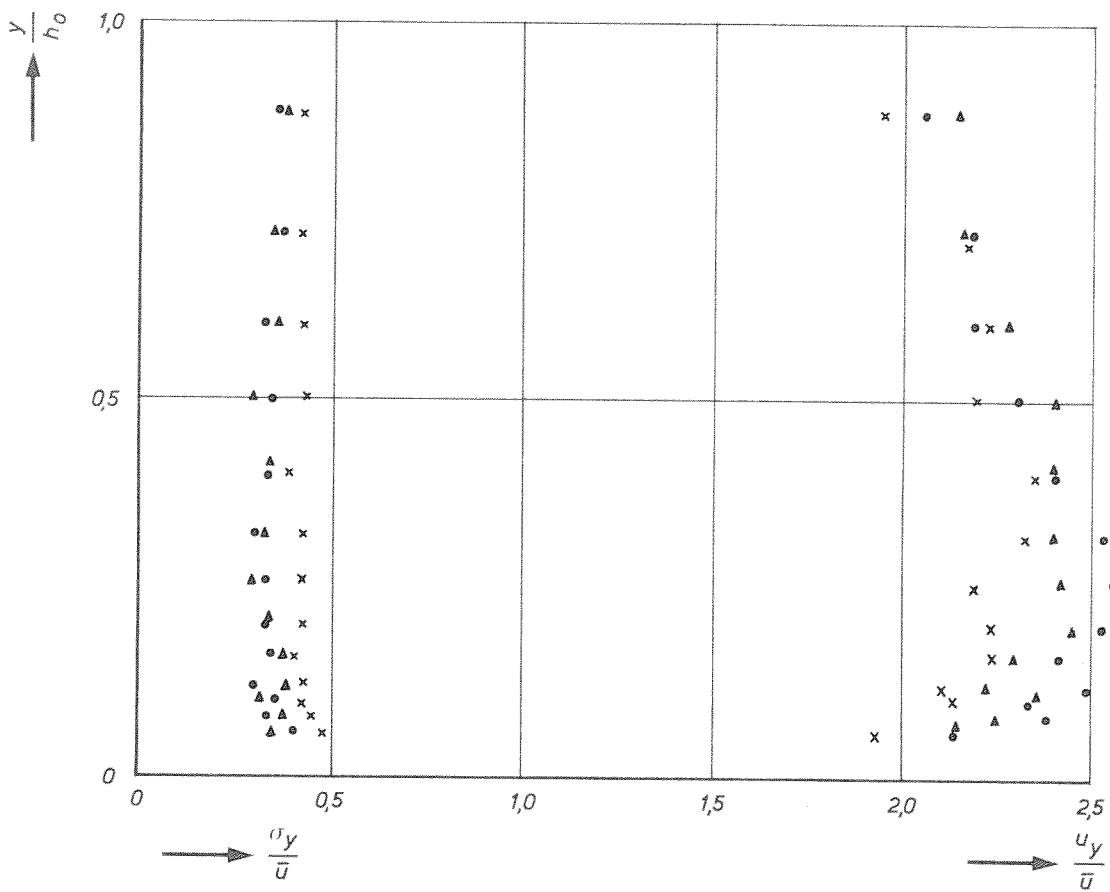
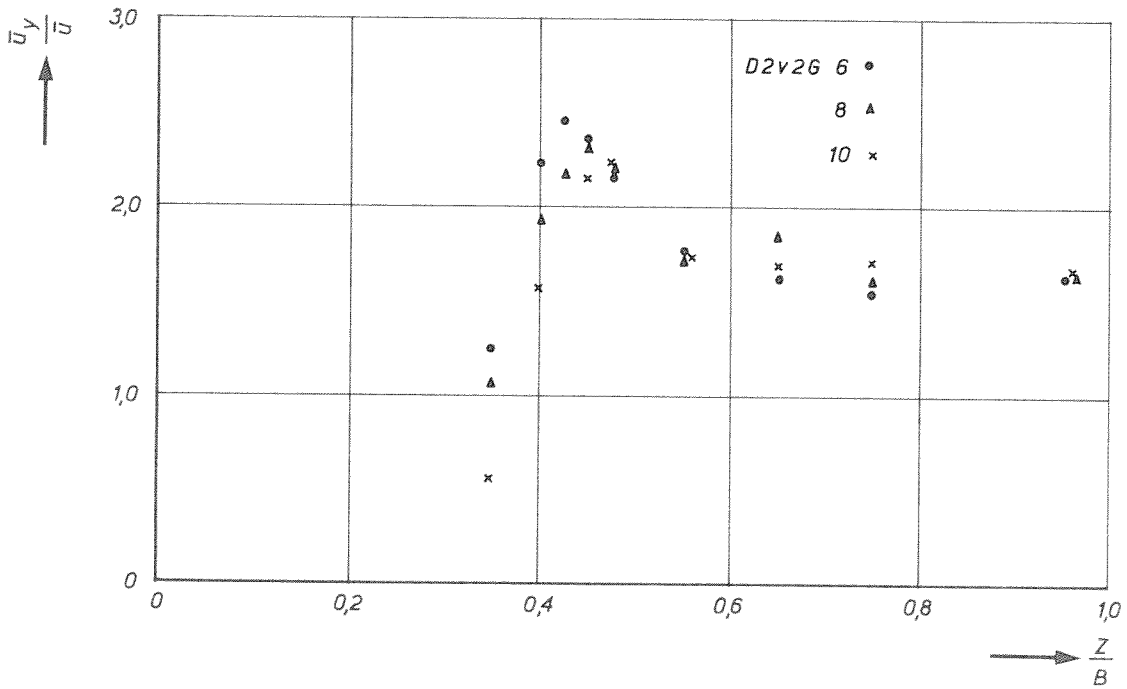
POLYSTYREEN

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1029

FIG.30a



HORizontALE EN VERTICALE Snelheidsverdelingen

D2v26

R.R.

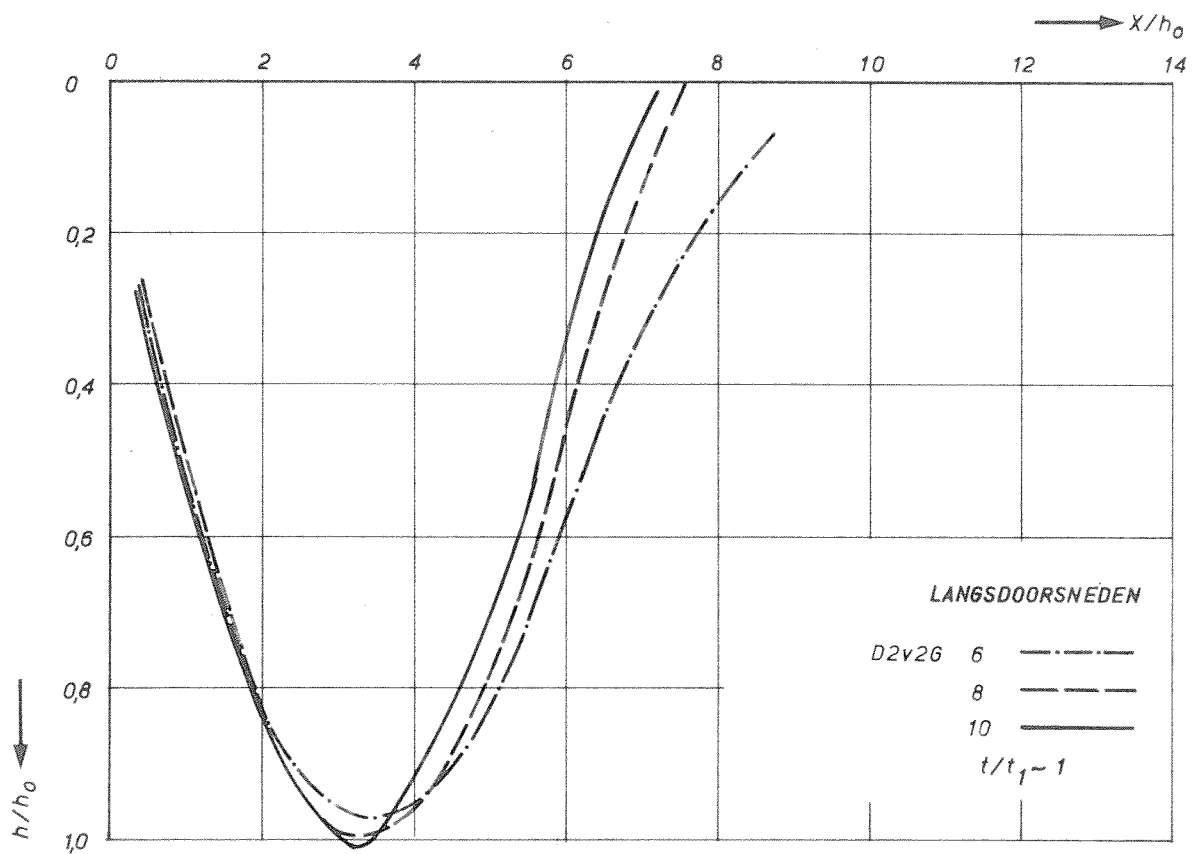
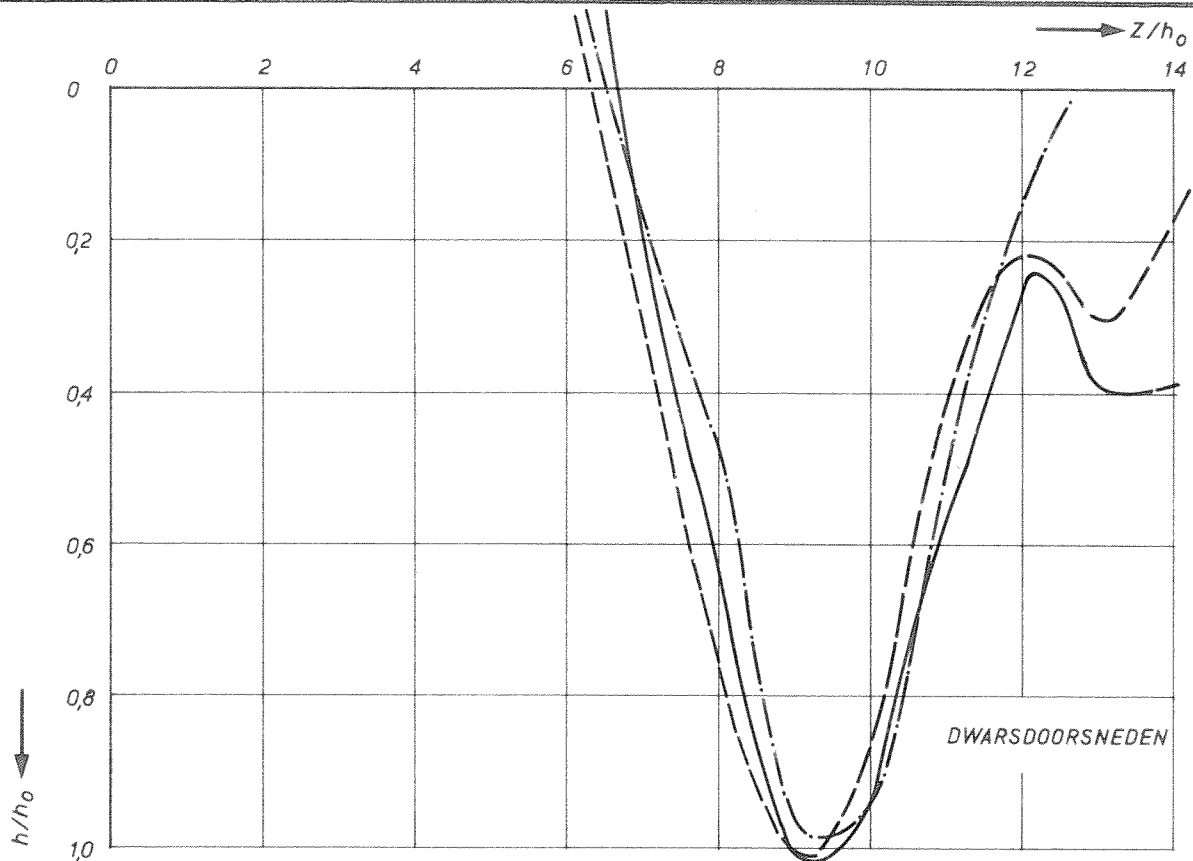
POLYSTYREEN

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III - 1054

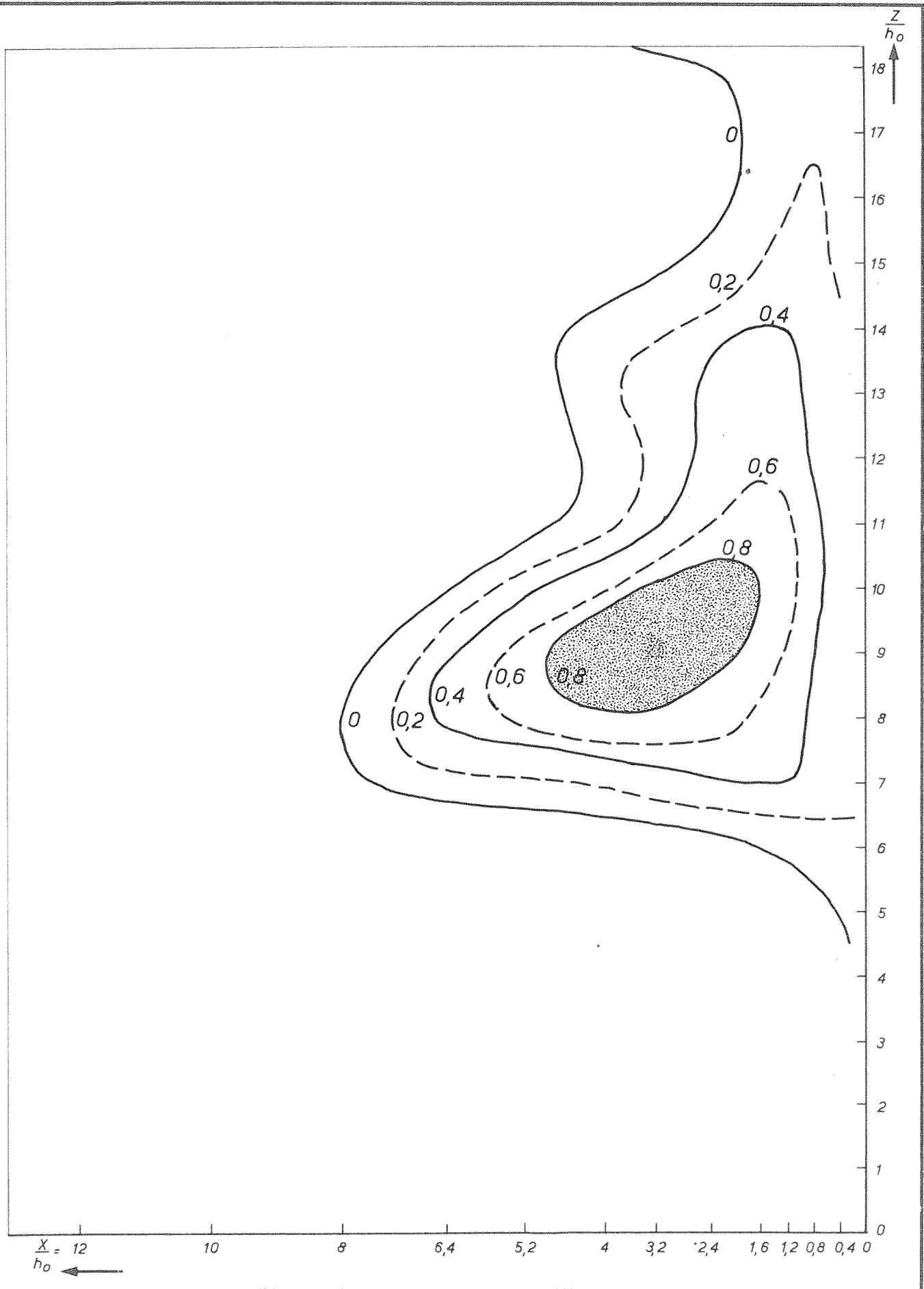
FIG.30b



LANGS EN DWARSDOORSNEDEN OVER h_{max}
 $h_0 = 25 \text{ cm}$ $B = 5 \text{ m}$

RR.

A4



ONTGRONDINGSBEELD OP $t/t_1 \sim 1$

$h_0 = 25 \text{ cm}$ $B = 5 \text{ m}$

D 2 v 2 G

W_K

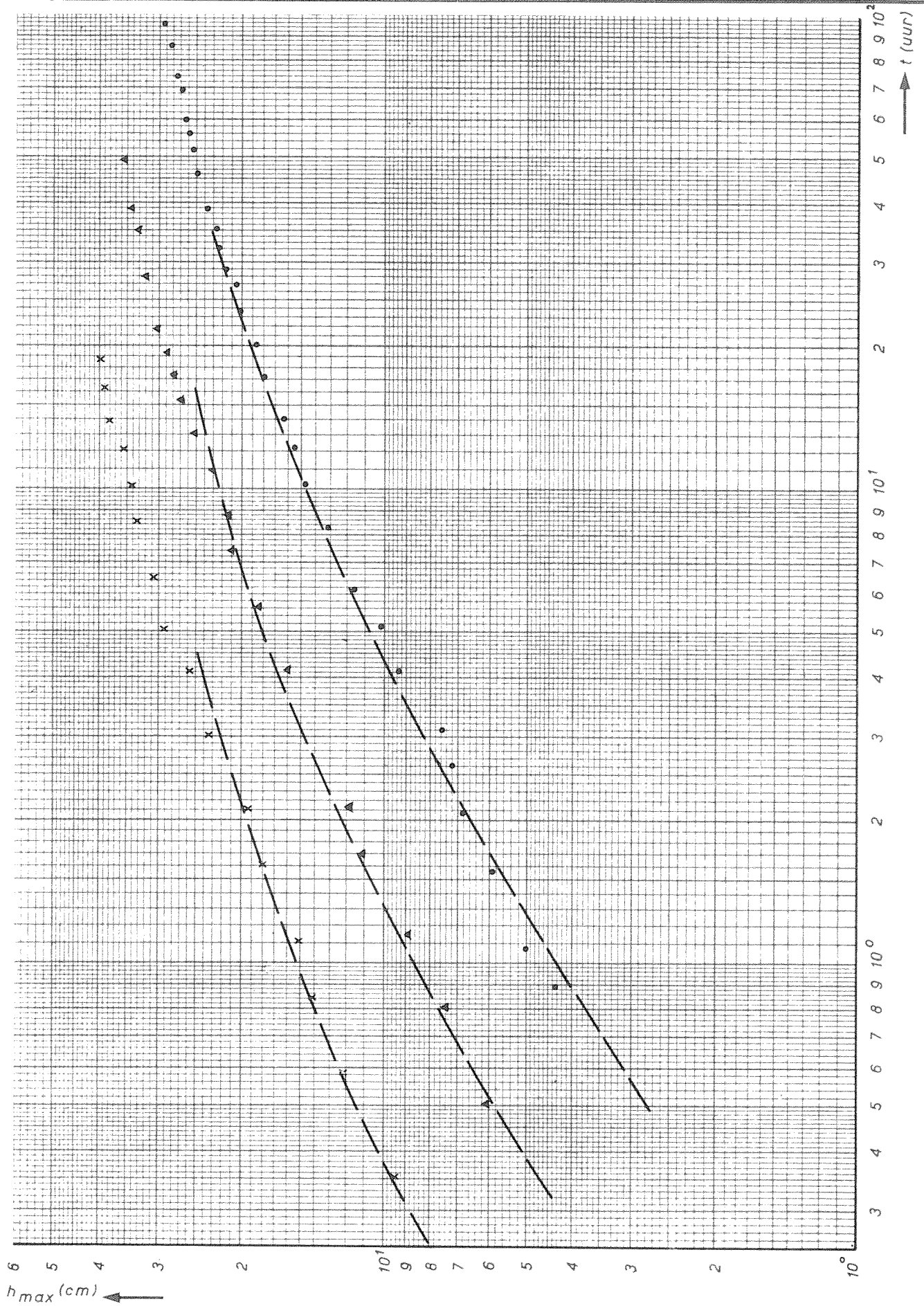
POLYSTYREEN

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1104

FIG.30d



TJD-ONTGRONDINGSLUNEN

$h_0 = 25 \text{ cm}$

DOV1R 10 •
12 ▲
15 x

R.R.

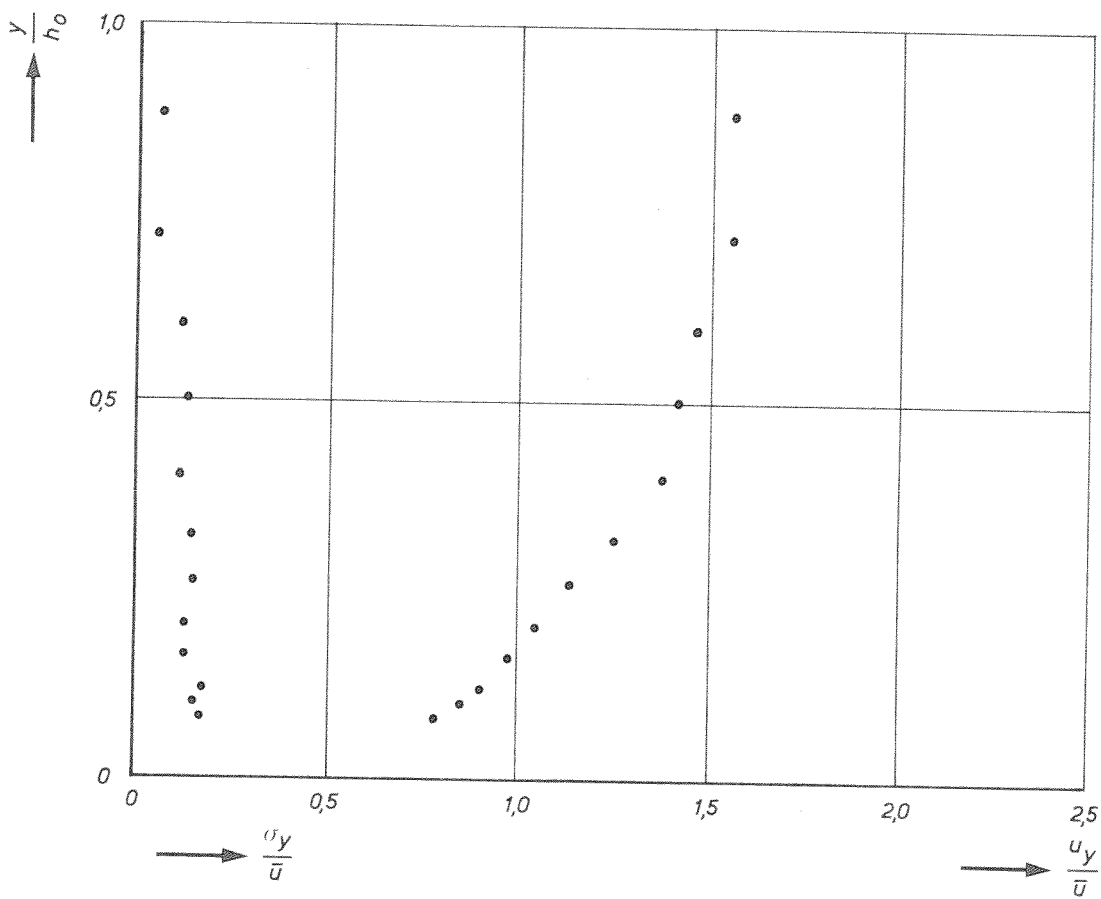
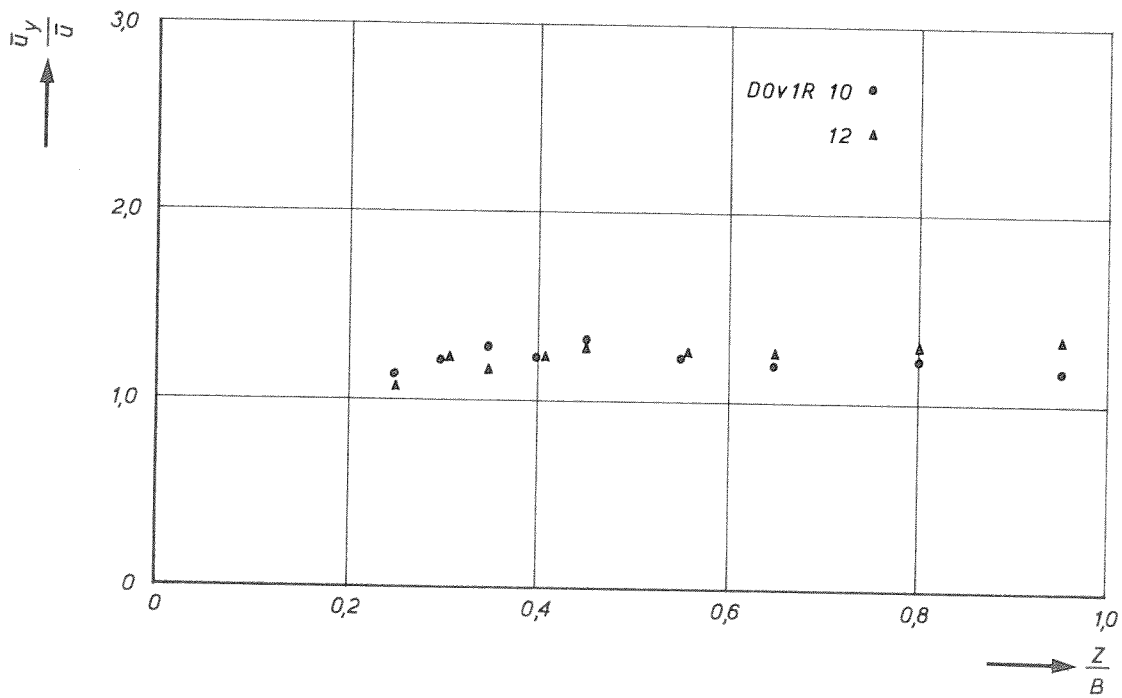
POLYSTYREEN

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III- 1030

FIG.31 a



HORIZONTALE EN VERTICALE SNELHEIDSVERDELINGEN

DOv1R

R.R.

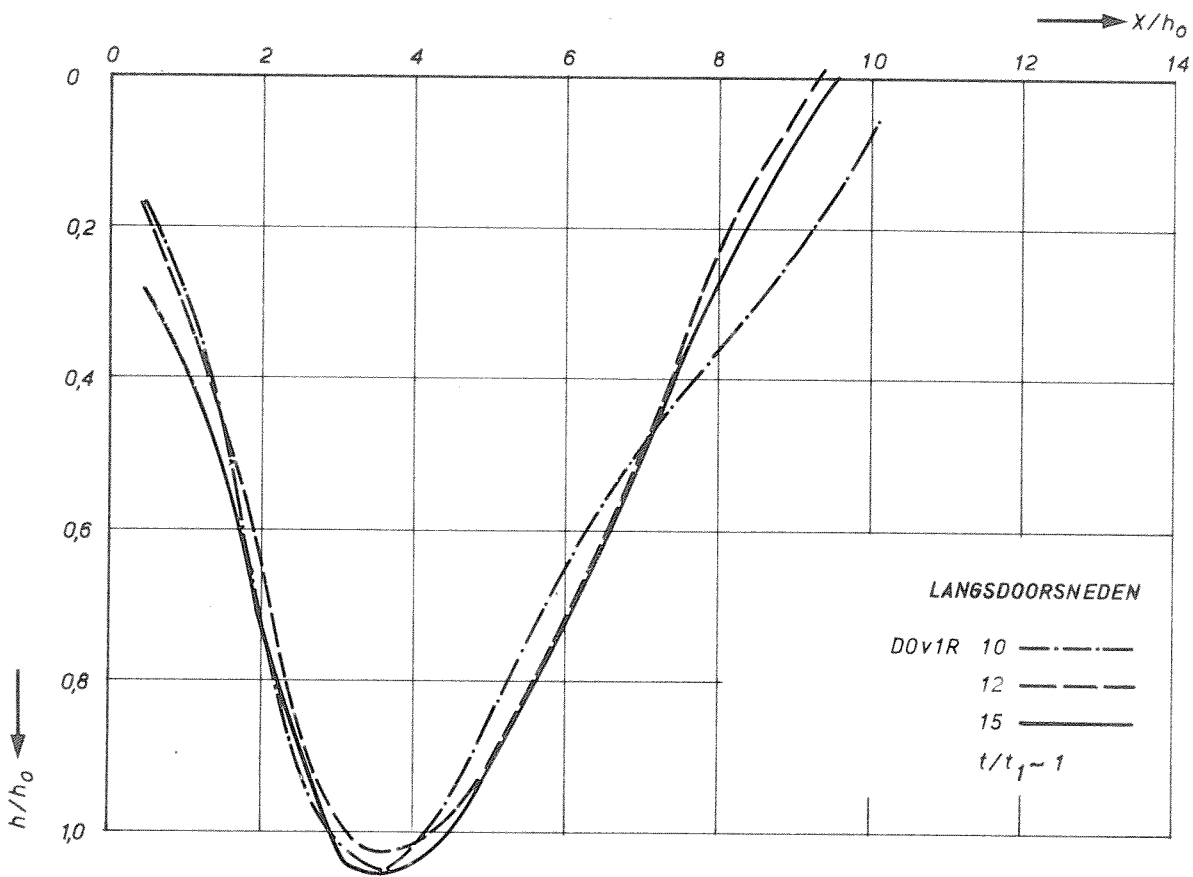
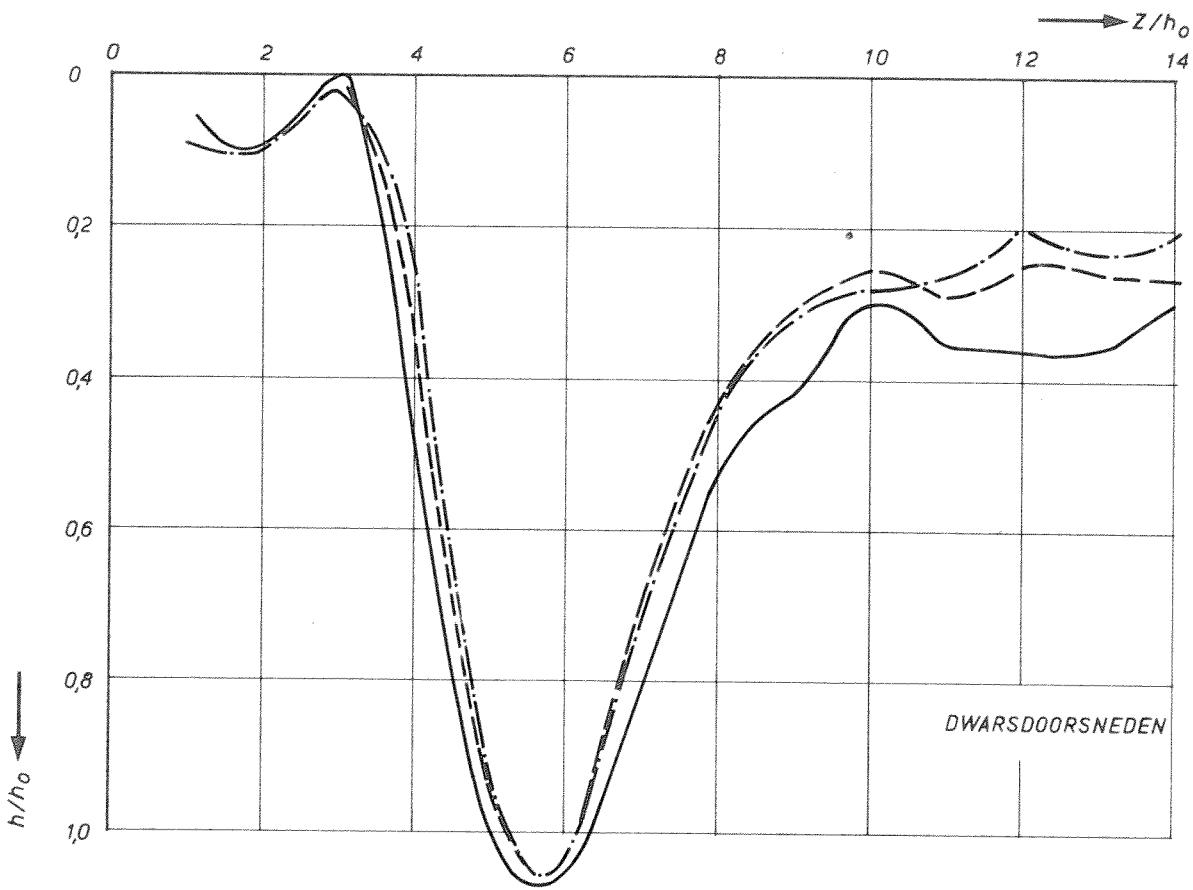
POLYSTYREEN

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1055

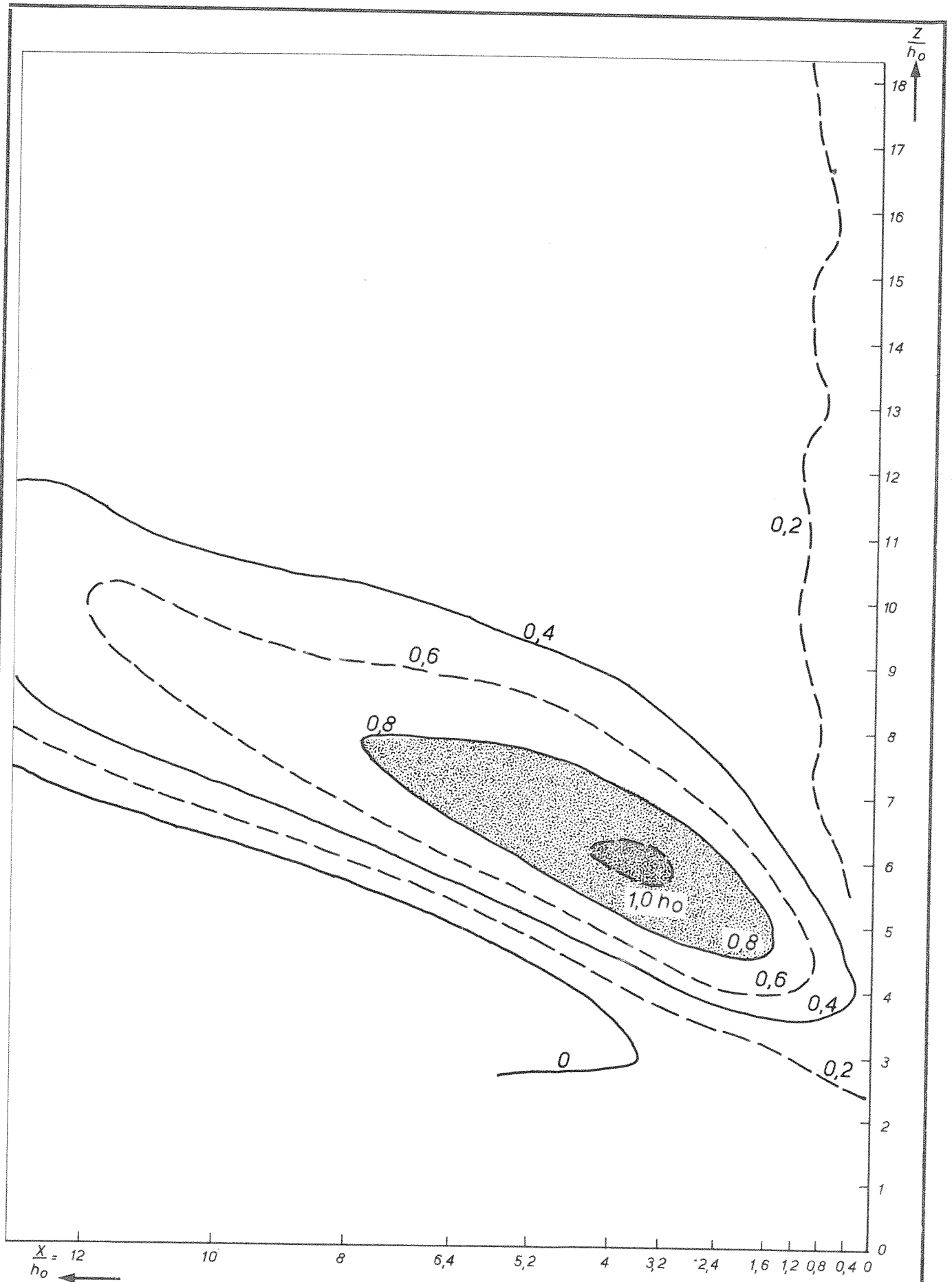
FIG.31b



LANGS EN DWARSDOORSNEDEN OVER h_{max}
 $h_0 = 25 \text{ cm}$ $B = 5 \text{ m}$

R.R.

A4



ONTGRONDINGSBEELD OP $t/t_1 \sim 1$
 $h_0 = 25 \text{ cm}$ $B = 5 \text{ m}$

DO v1 R

W_K

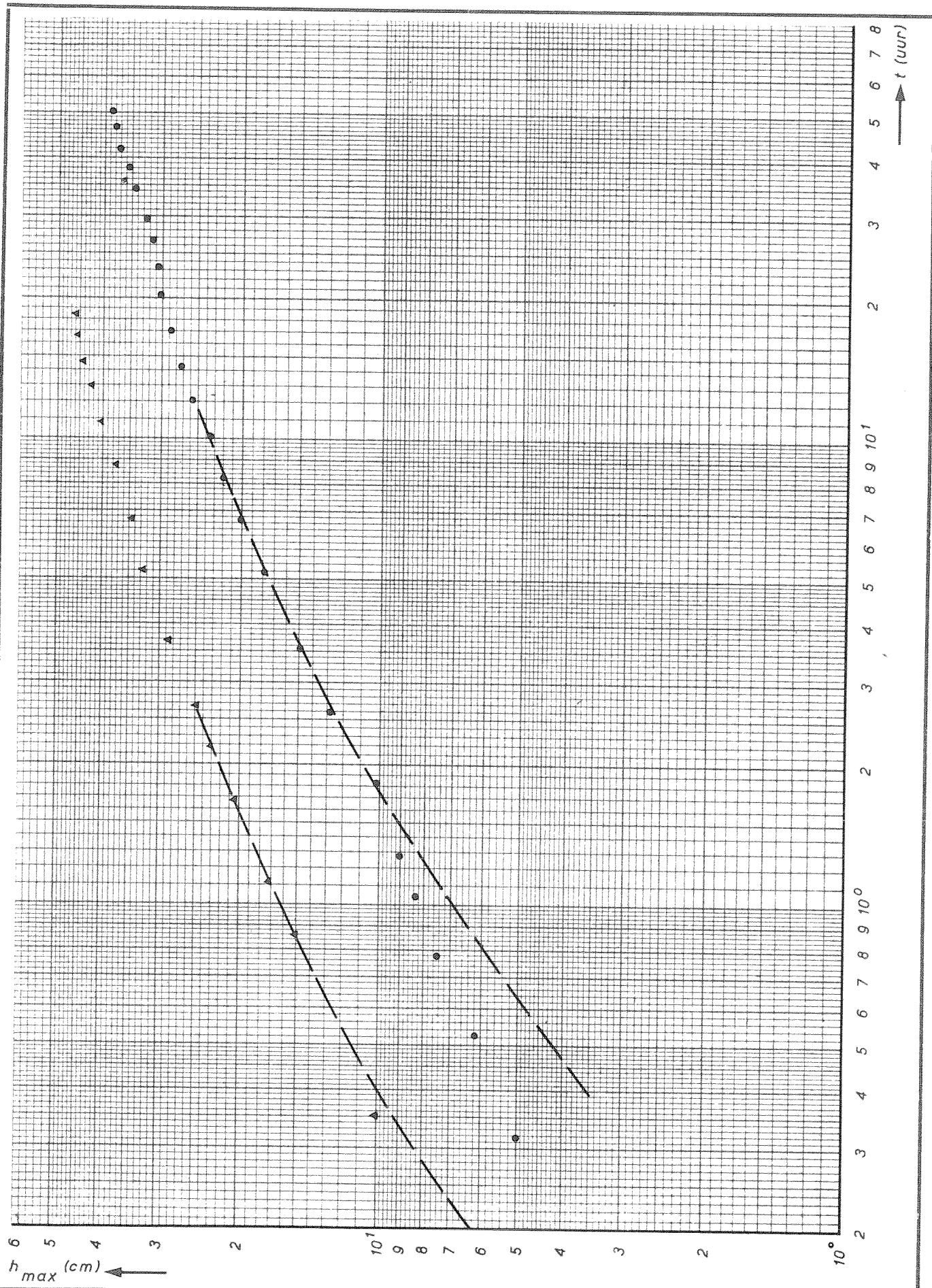
POLYSTYREEN

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1105

FIG. 31d



TJD-ONTGRONDINGSLUNEN
 $h_0 = 25 \text{ cm}$

D1v1R 10 ●
 12 ▲

R.R.

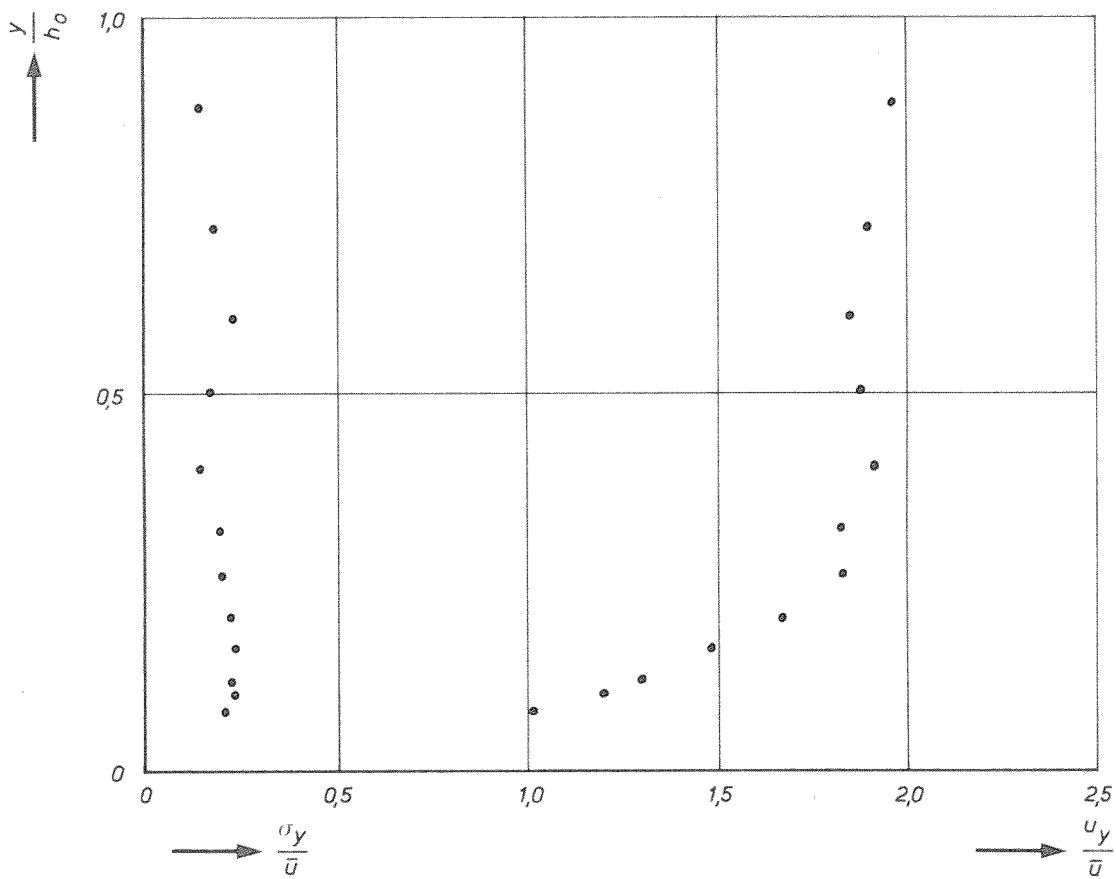
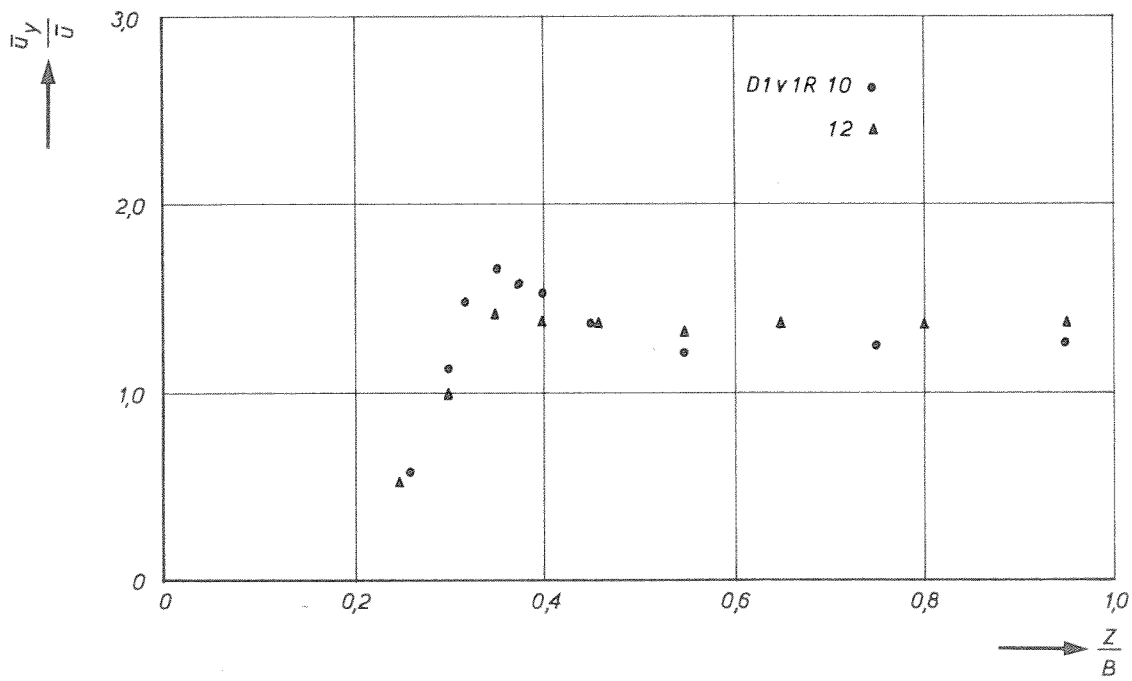
POLYSTYREEN

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1031

FIG. 32a



HORIZONTALA EN VERTICALE SNELHEIDSVERDELINGEN

D1v1R

R.R.

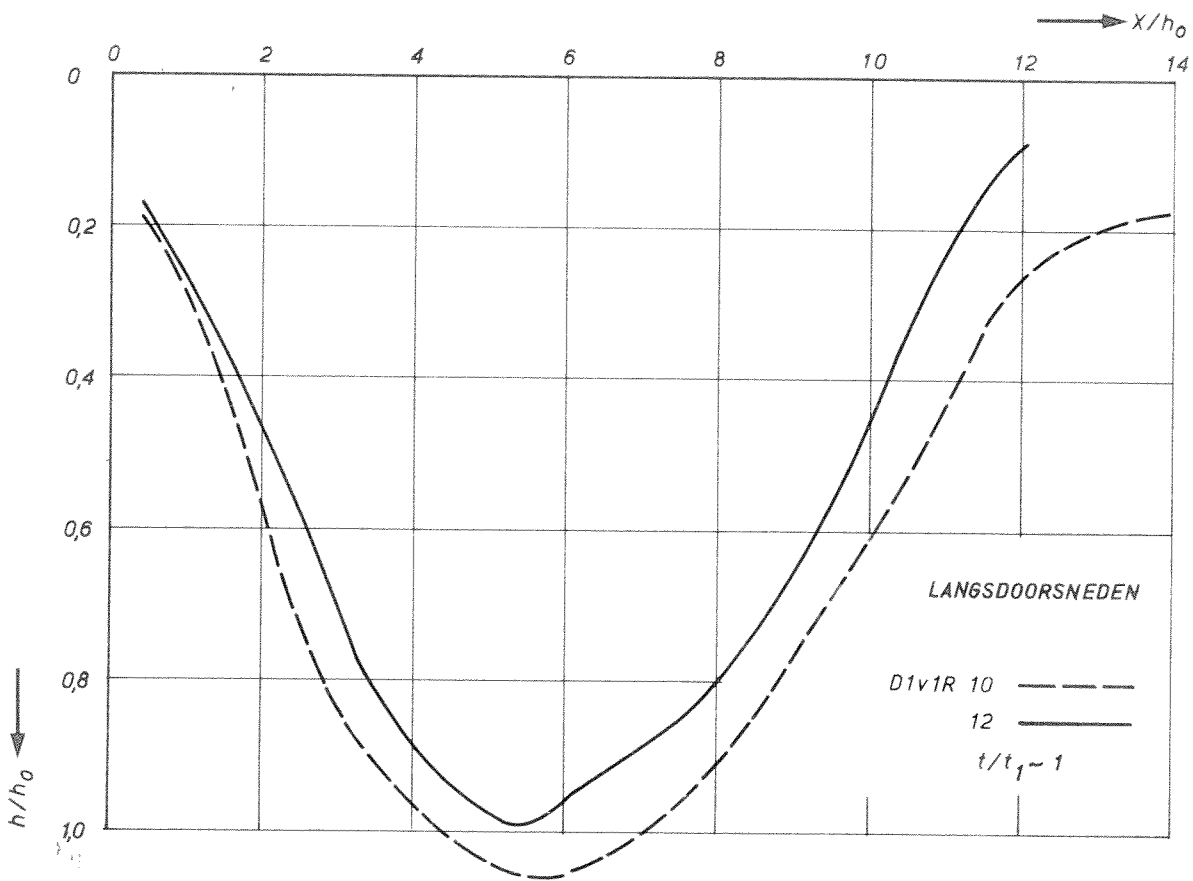
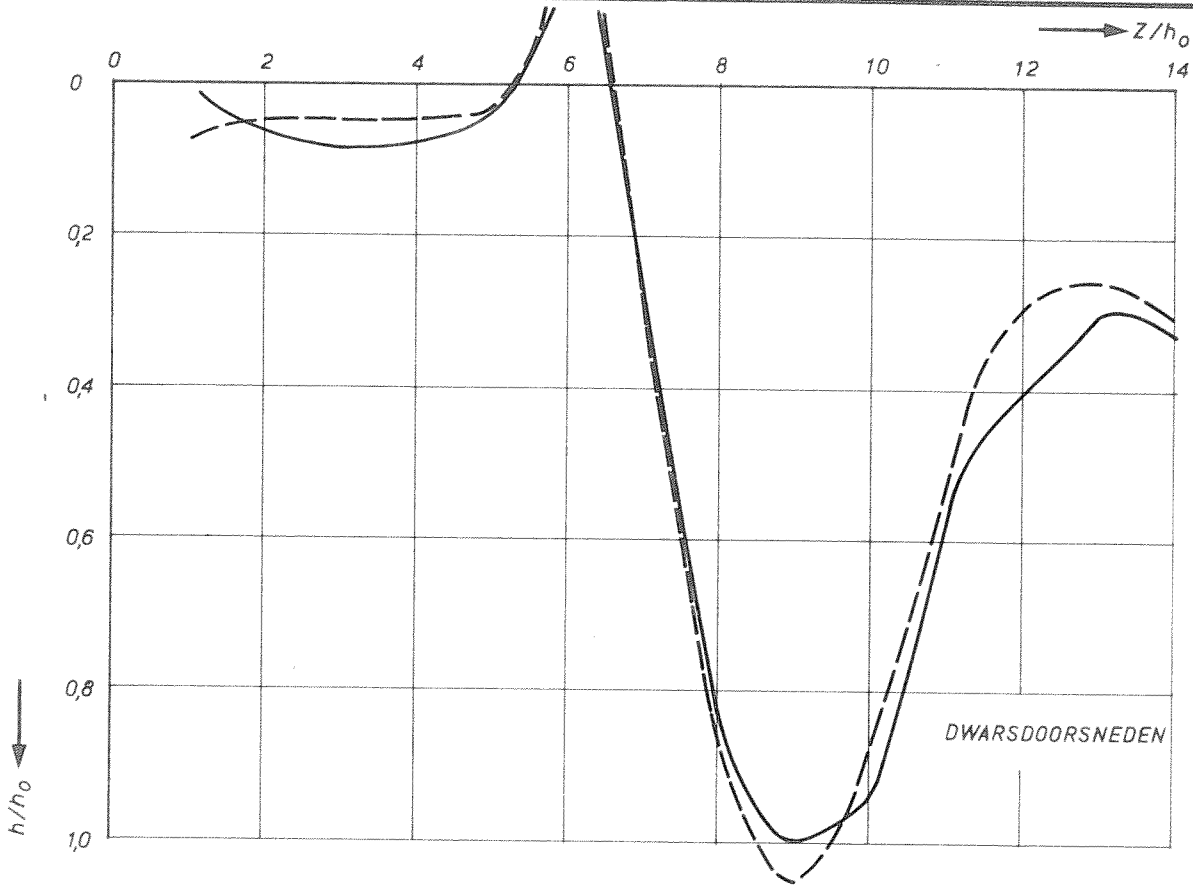
POLYSTYREEN

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1056

FIG.32b



LANGS EN DWARSDOORSNEDEN OVER h_{max}
 $h_0 = 25 \text{ cm}$ $B = 5 \text{ m}$

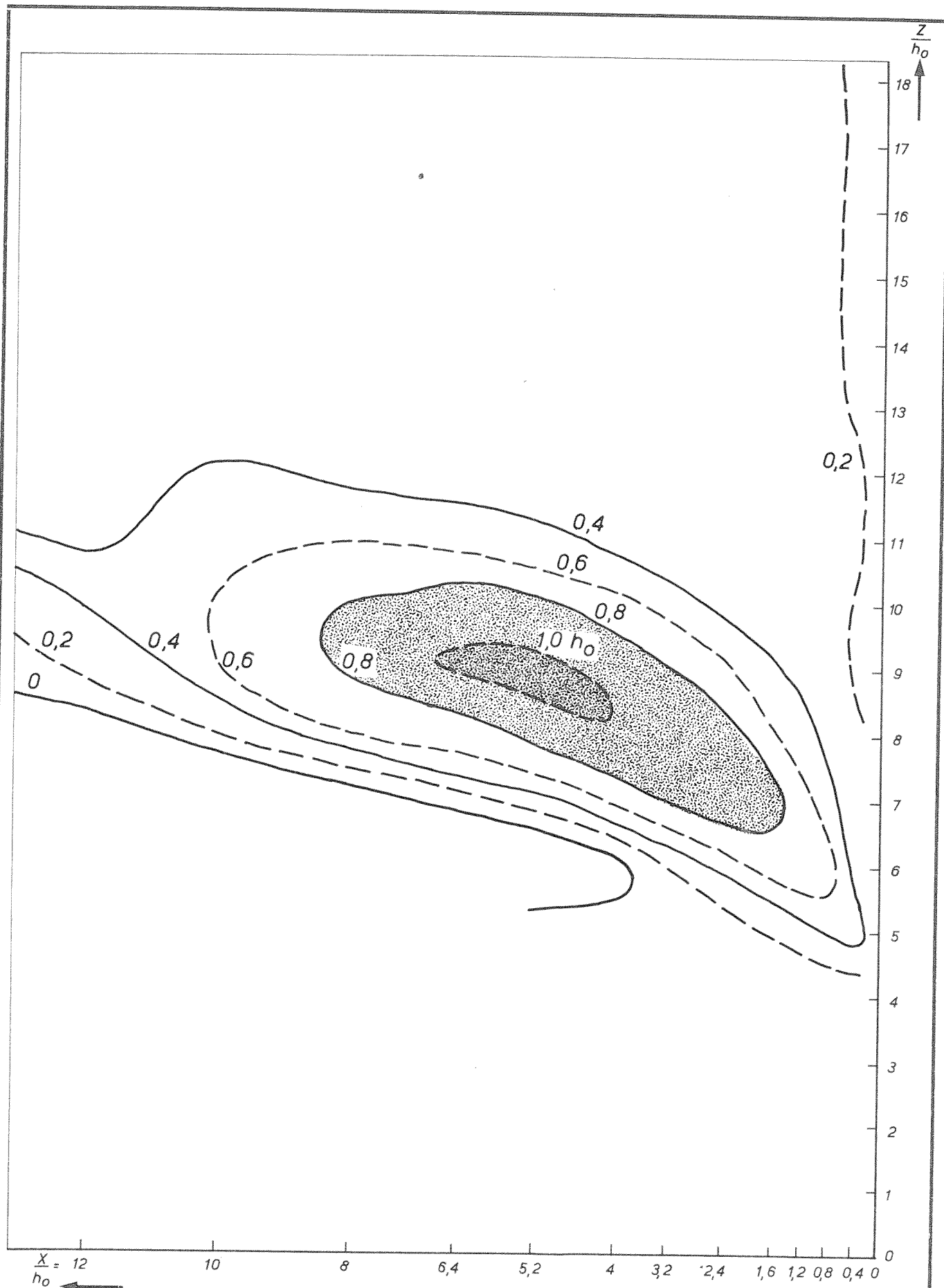
RR.

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1081

FIG.32c



ONTGRONDINGSBEELD OP $t/t_1 \sim 1$
 $h_0 = 25 \text{ cm}$ $B = 5 \text{ m}$

D1v1R

W_K

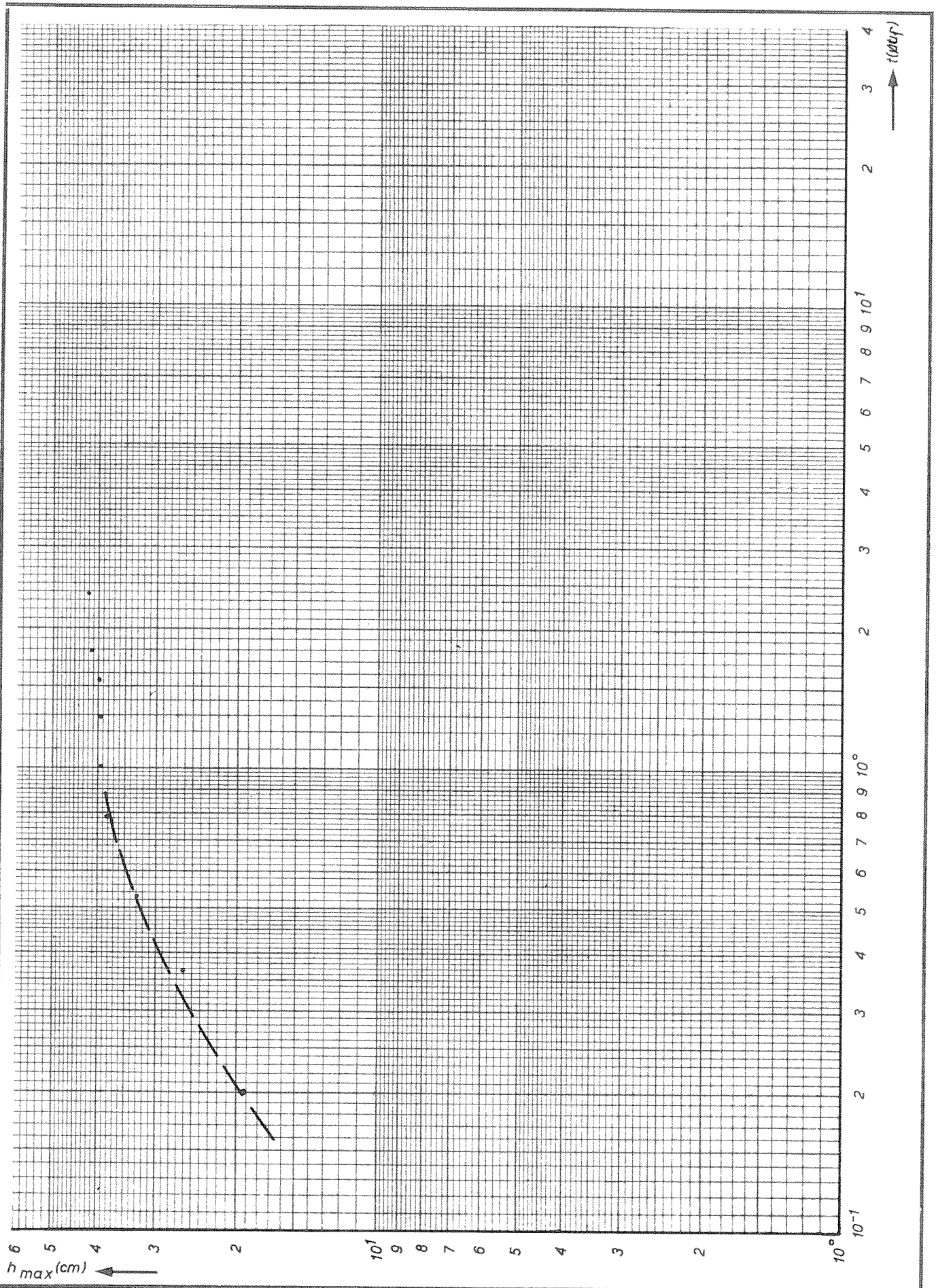
POLYSTYREEN

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1106

FIG.32d



TJD-ONTGRONDINGSLIJN
 $h_0 = 25 \text{ cm}$

D2v1R 10

R.R.

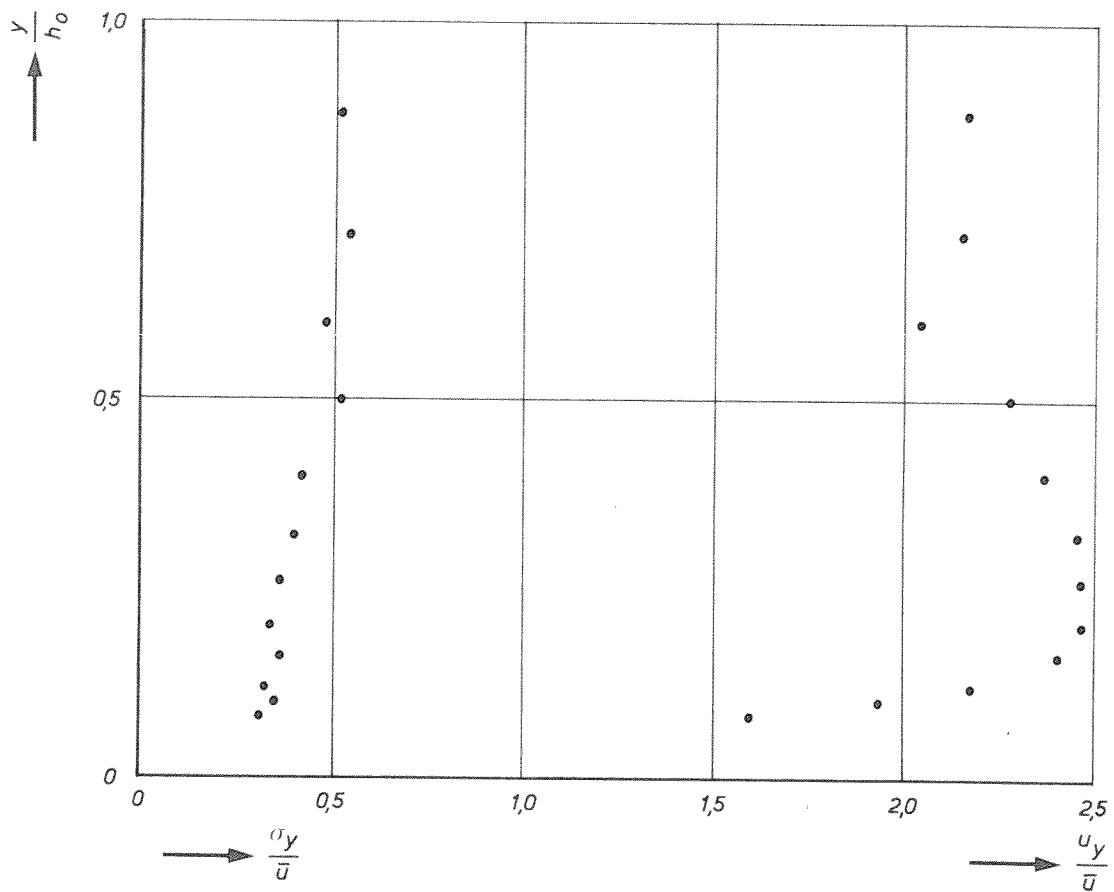
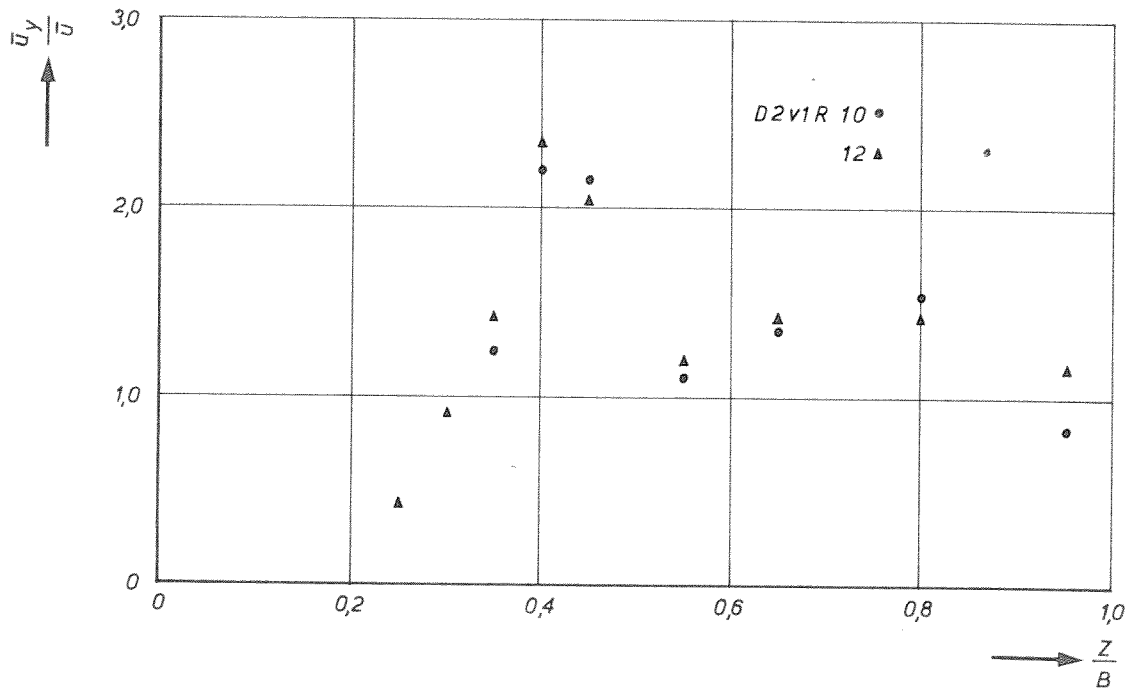
POLYSTYREEN

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1032

FIG.33 a



HORIZONTALE EN VERTICALE SNELHEIDSVERDELINGEN

D2v1R

R.R.

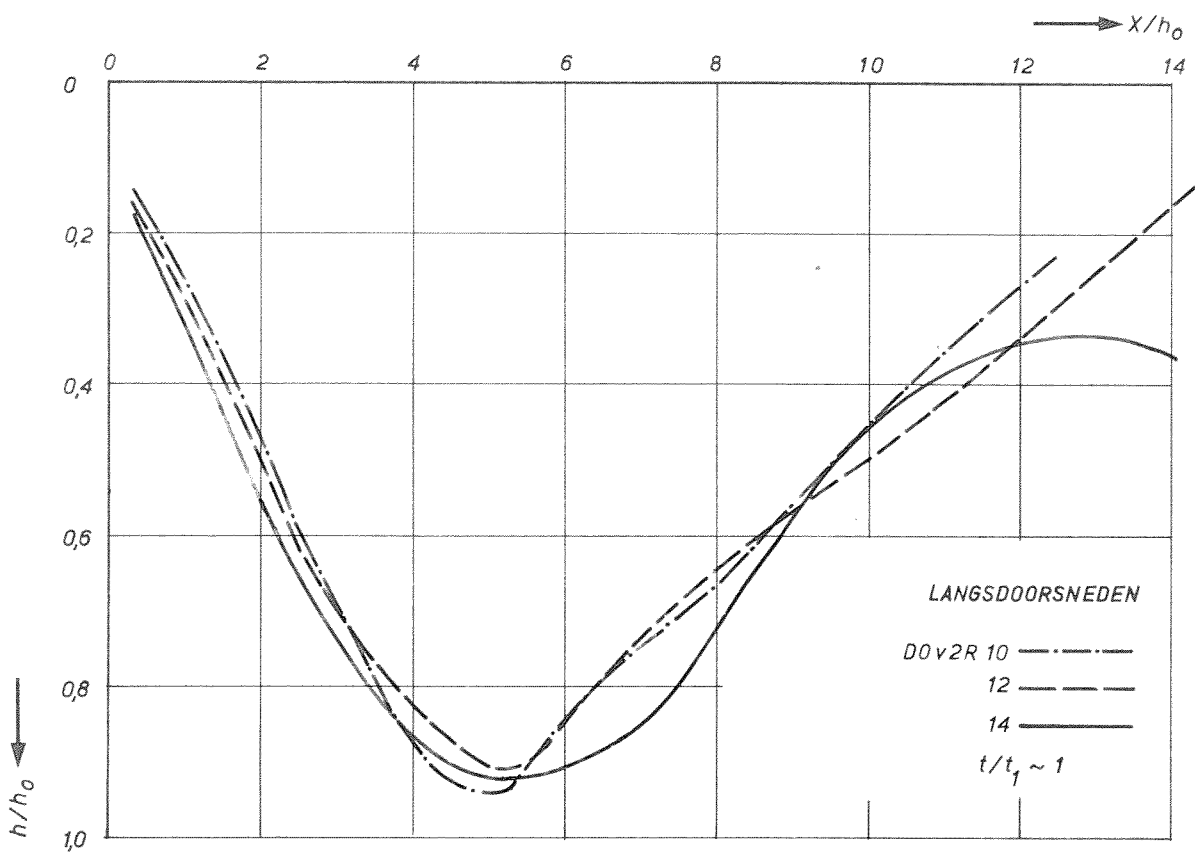
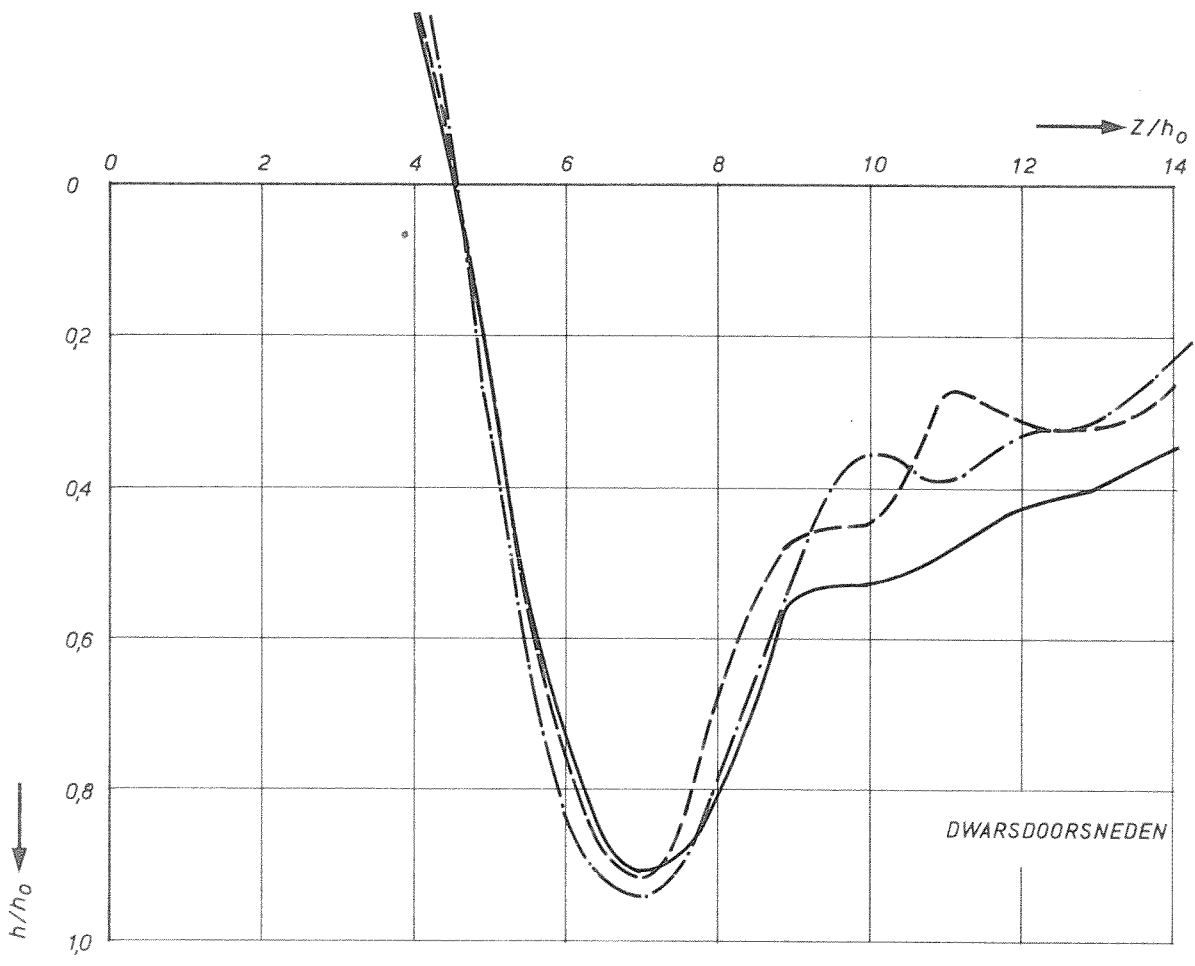
POLYSTYREEN

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1057

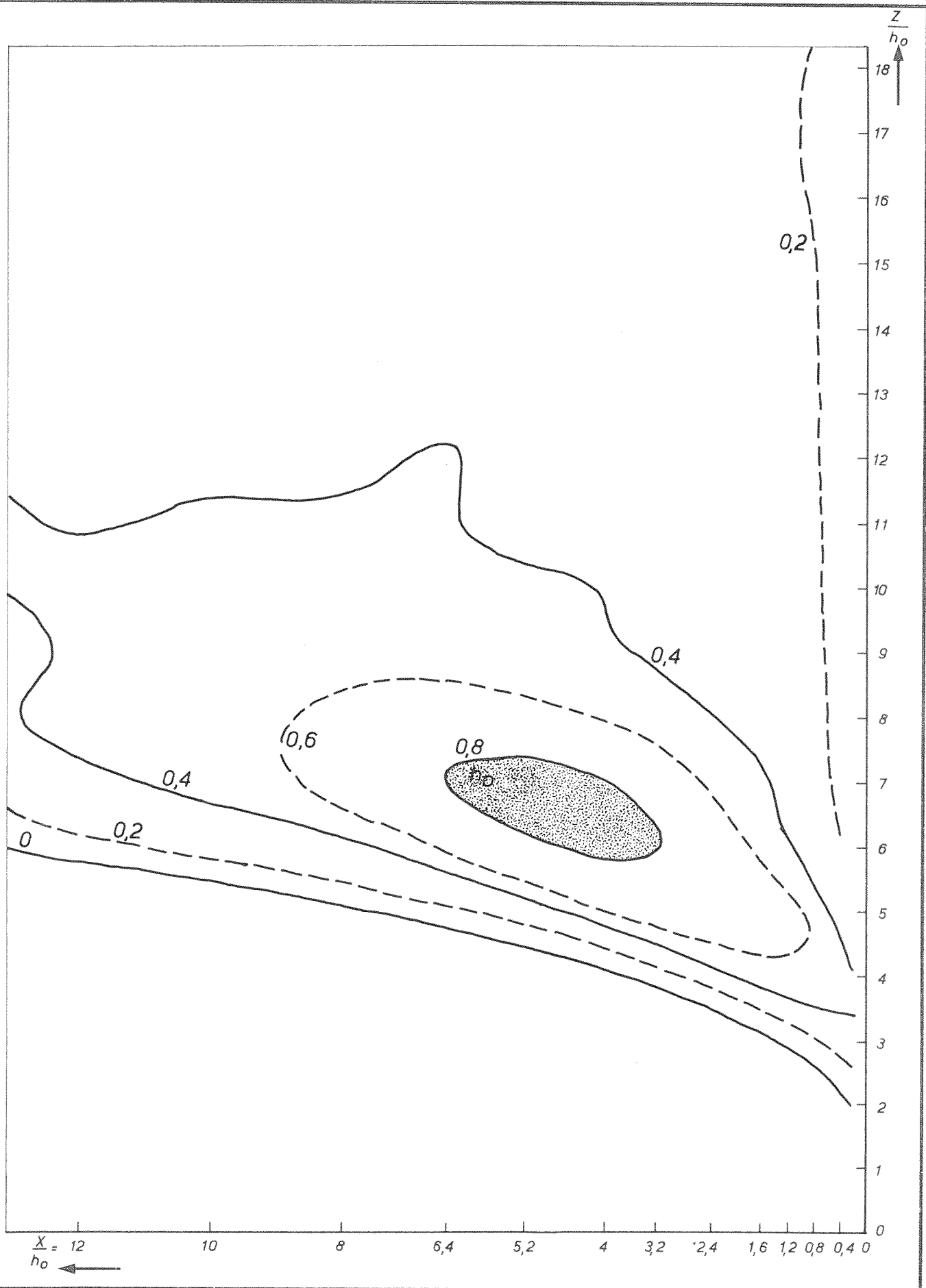
FIG.33b



LANGS EN DWARSDOORSNEDEN OVER h_{max}
 $h_0 = 25 \text{ cm}$ $B = 5 \text{ m}$

RR.

A4



ONTGRONDINGSBEELD OP $t/t_1 \sim 1$
 $h_0 = 25 \text{ cm}$ $B = 5 \text{ m}$

D0v2R

$\frac{W}{K}$

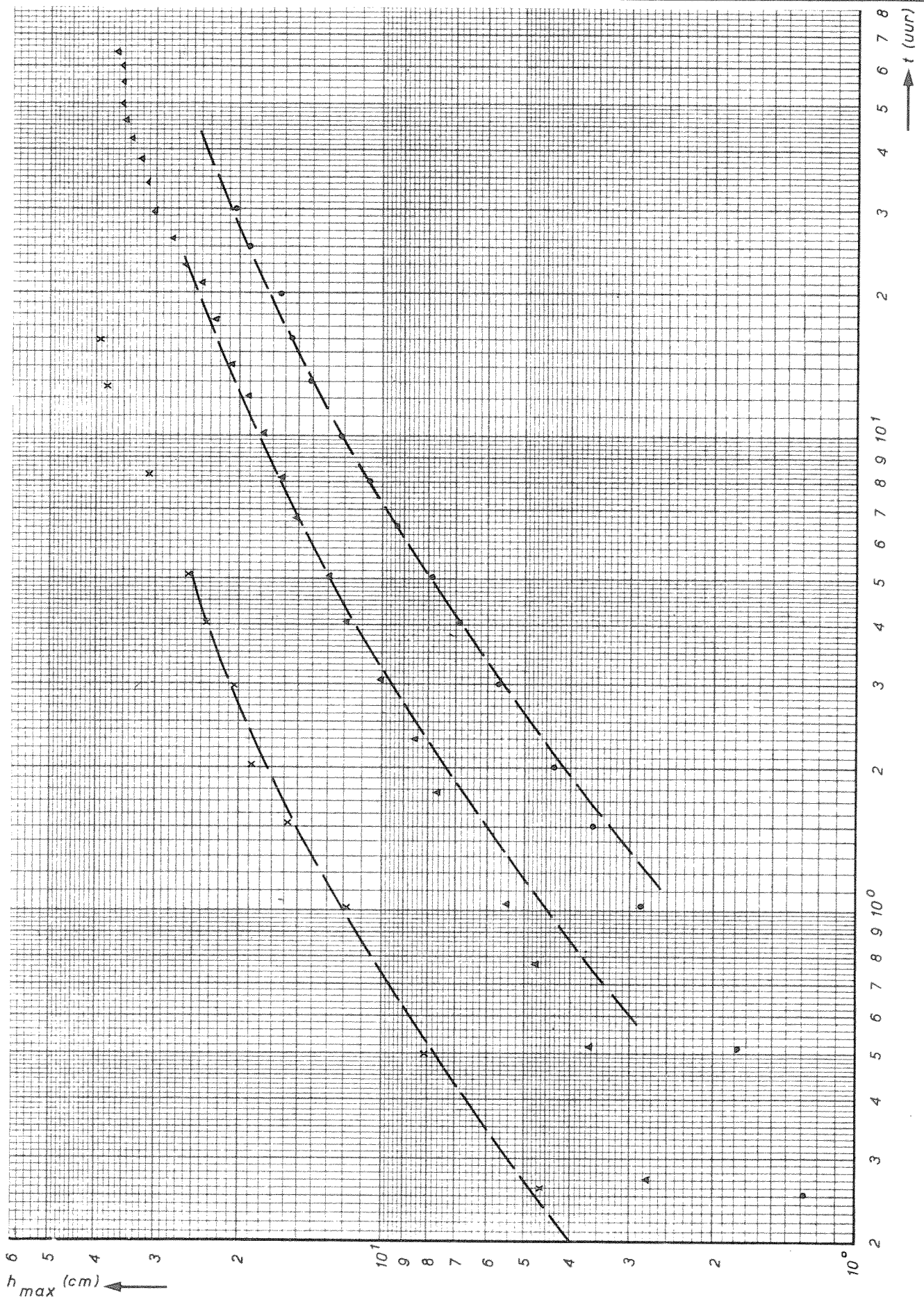
POLYSTYREEN

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1108

FIG.34d



TJD-ONTGRONDINGSLUNEN

$h_0 = 25$ cm

D1v2R 8 •
10 ▲
12 x

R.R.

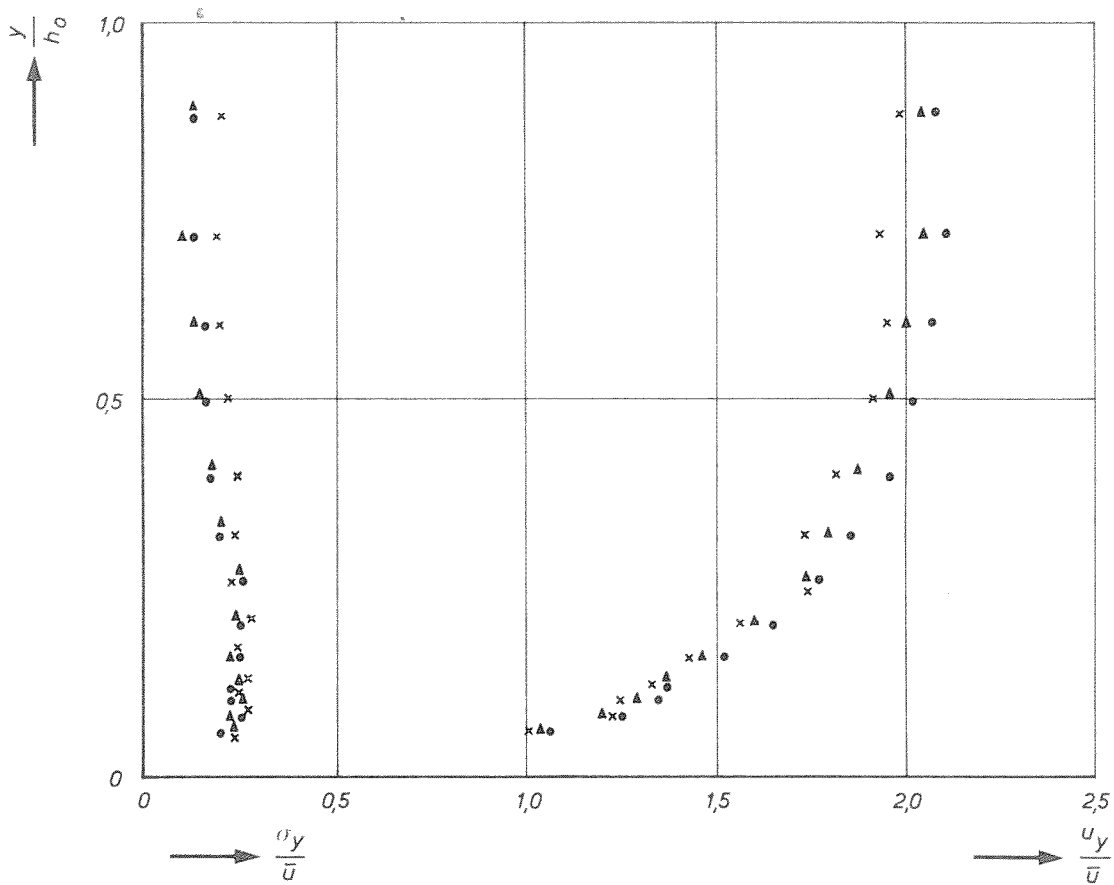
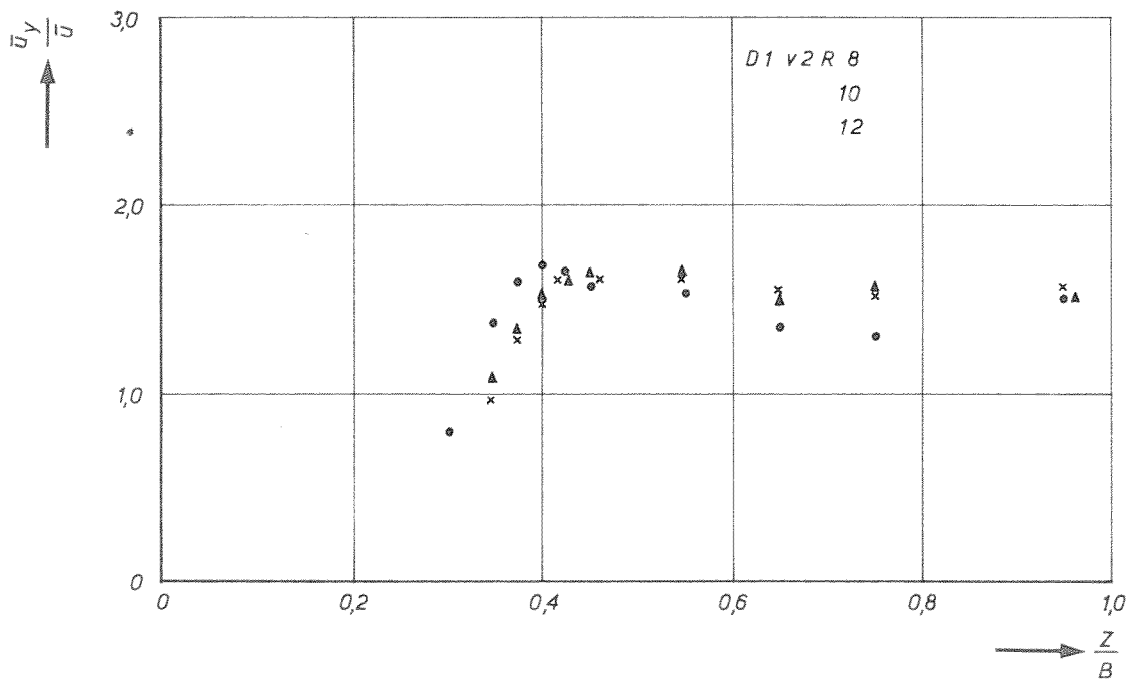
POLYSTYREEN

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1034

FIG.35a



HORIZONTALA EN VERTICALE SNELHEIDSVERDELINGEN

D1 v2 R

R.R.

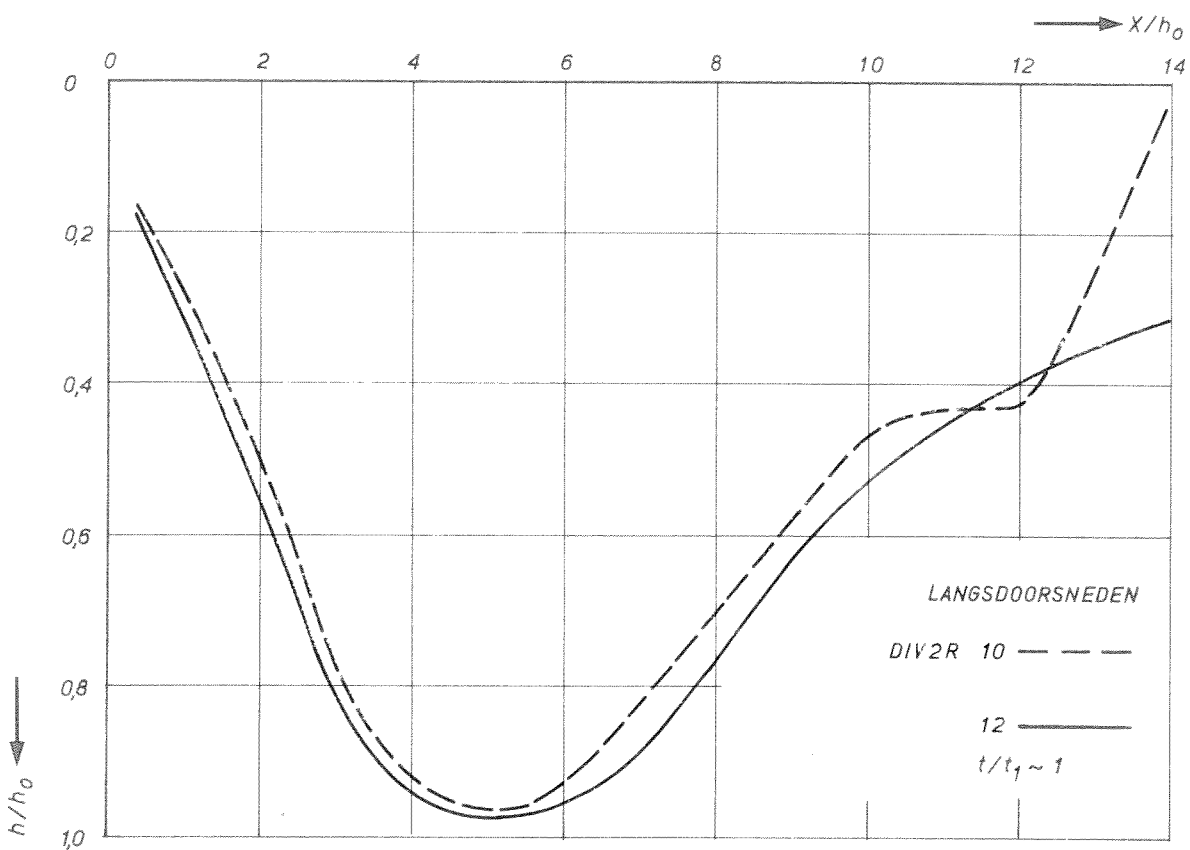
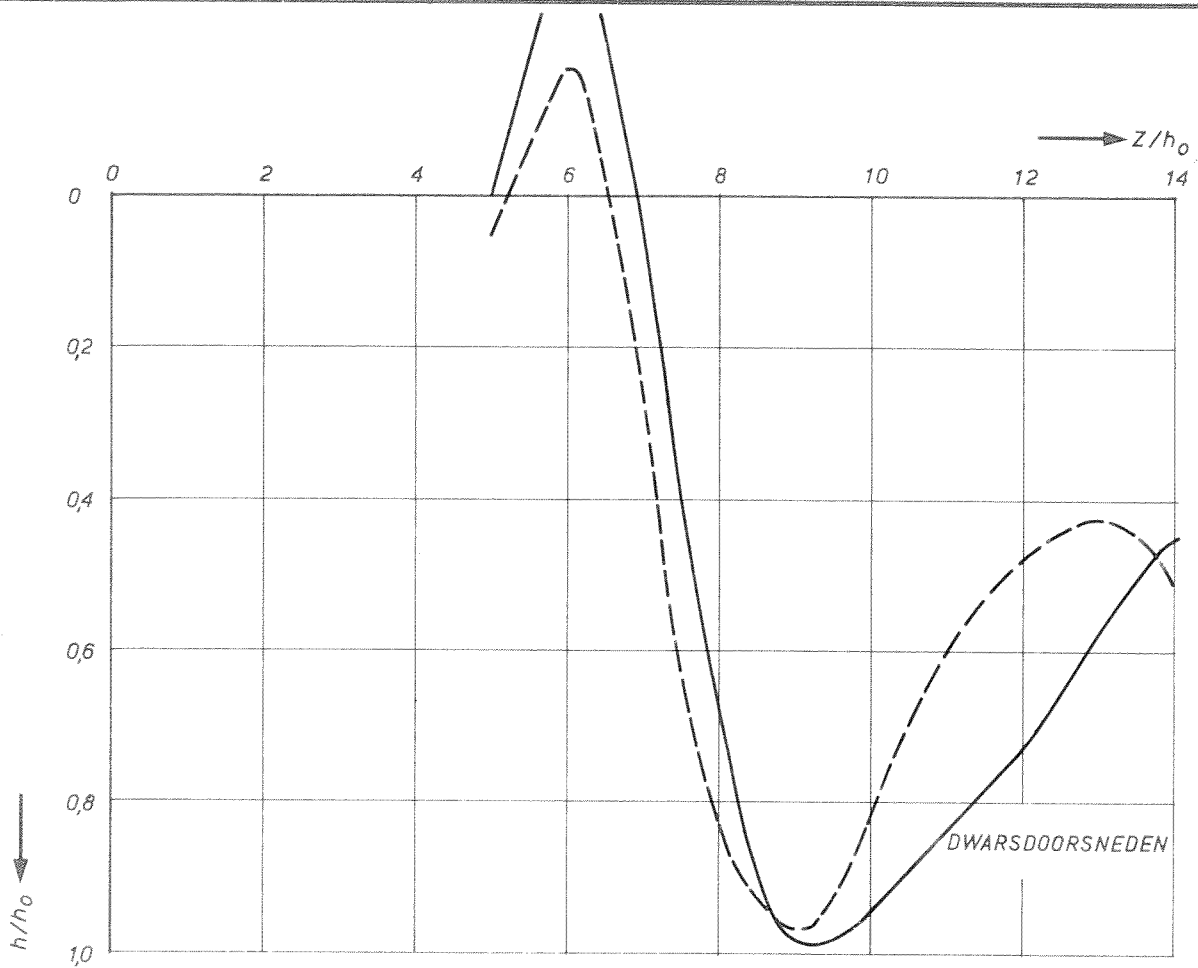
POLYSTYREEN

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1059

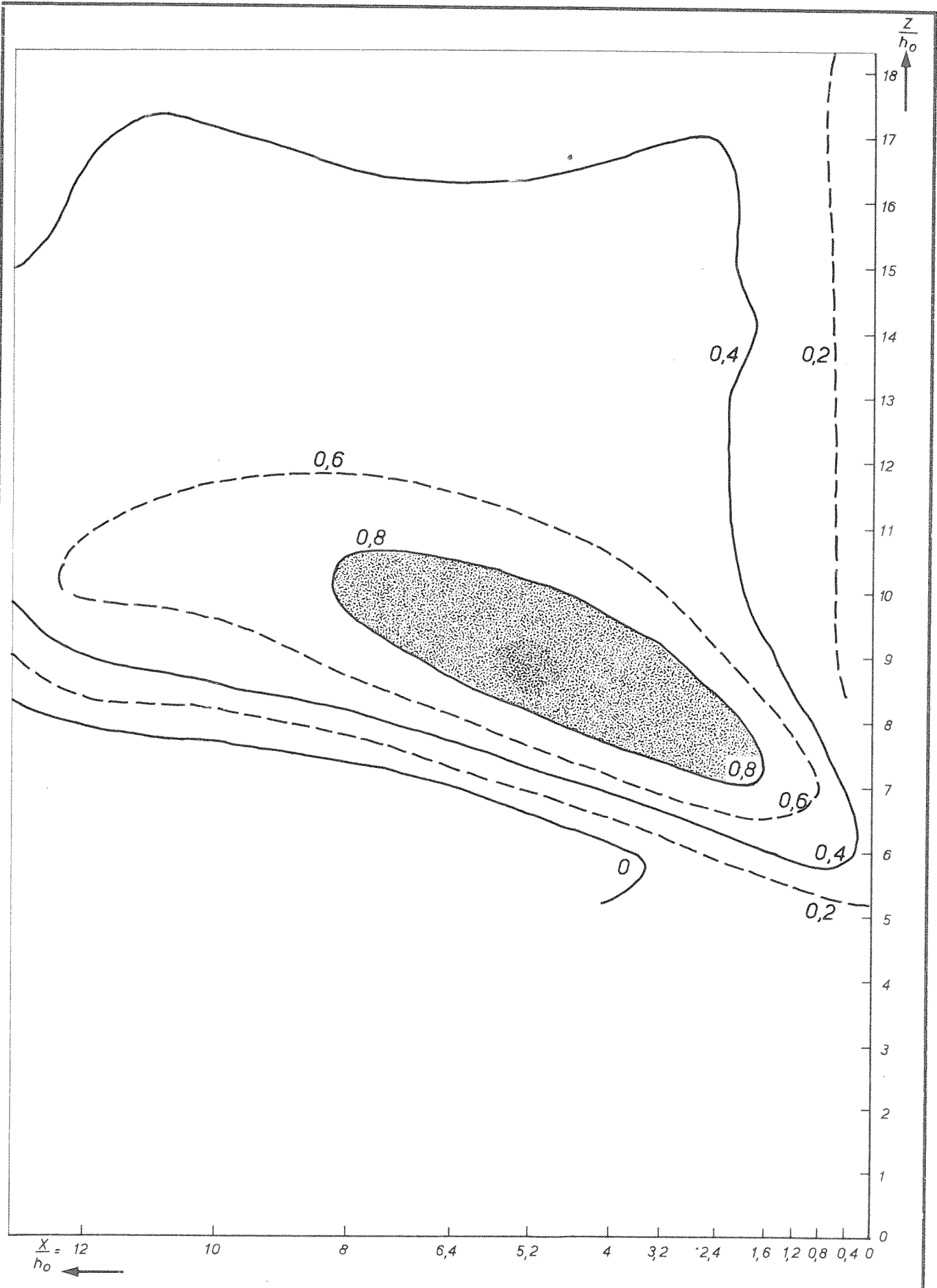
FIG.35b



LANGS EN DWARSDOORSNEDEN OVER h_{max}
 $h_0 = 25 \text{ cm}$ $B = 5 \text{ m}$

R.R.

A4



ONTGRONDINGSBEELD OP $t/t_1 \sim 1$

$h_0 = 25\text{cm}$ $B = 5\text{m}$

D1v2R

W_K

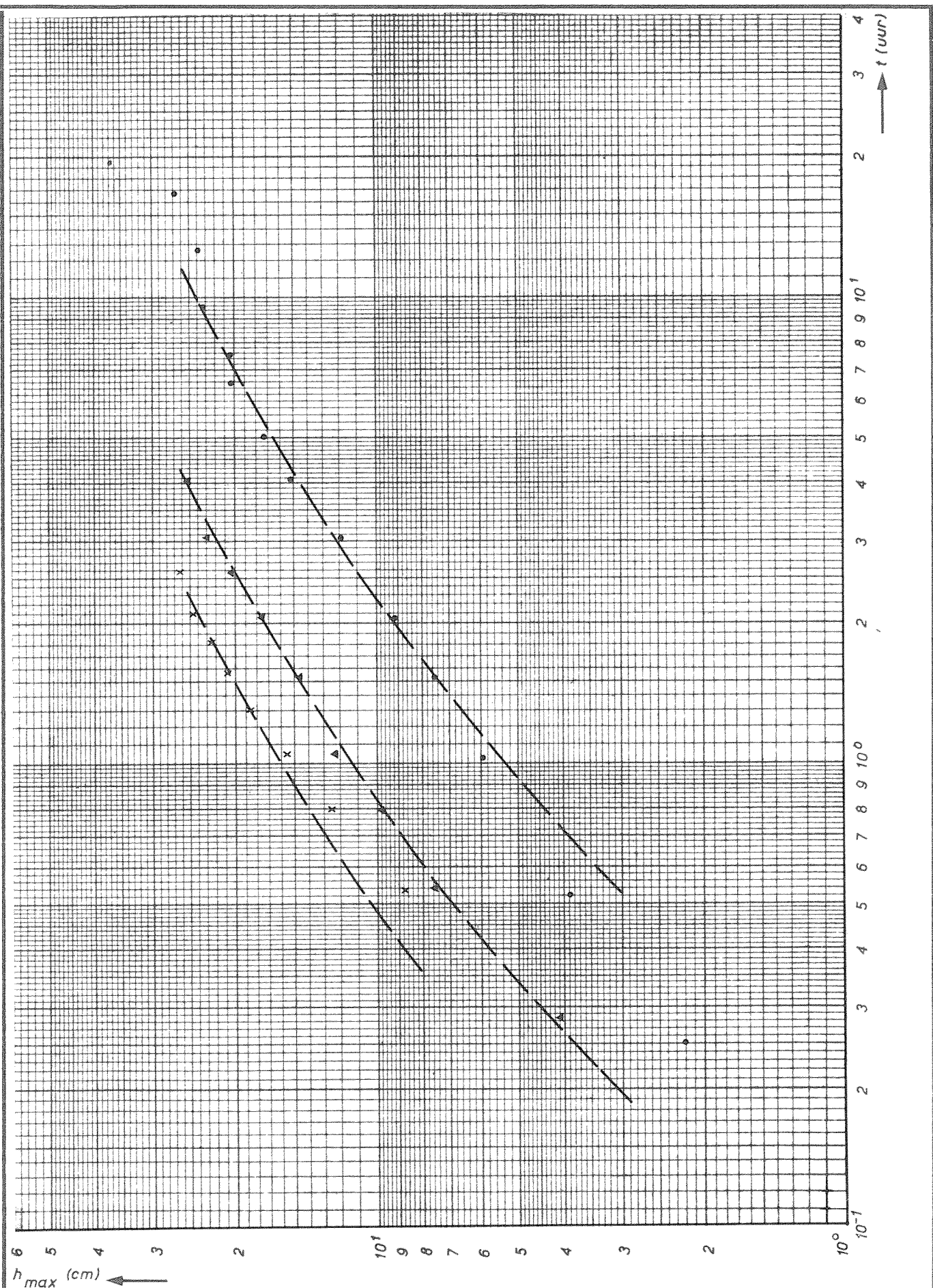
POLYSTYREEN

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1109

FIG.35d



TJD-ONTGRONDINGSLUNEN

$h_0 = 25 \text{ cm}$

D2v2R 6 •
7 ▲
8 x

R.R.

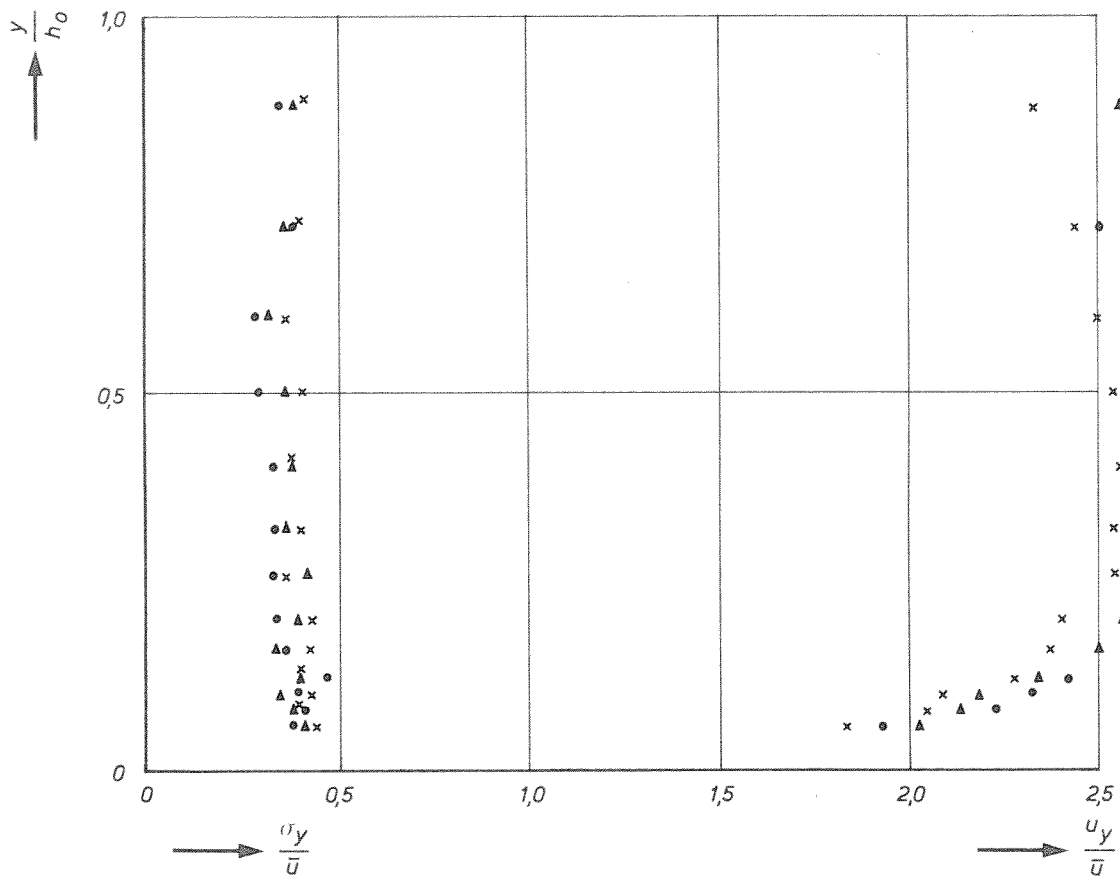
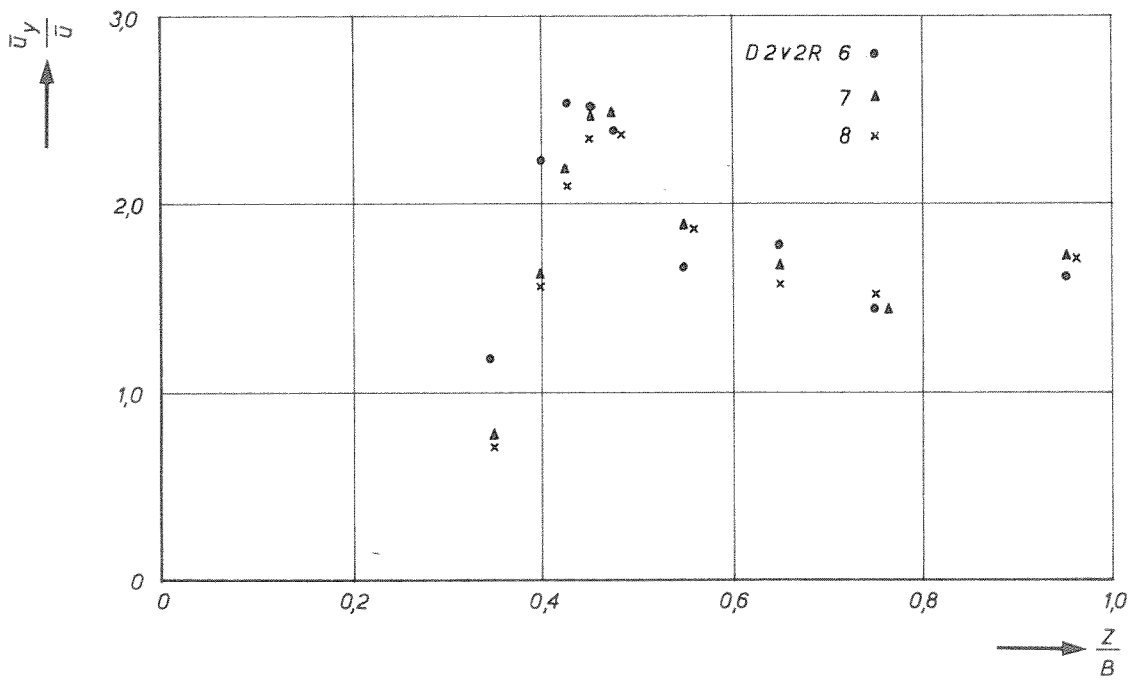
POLYSTYREEN

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1035

FIG.36a



HORIZONTALA EN VERTICALE SNELHEIDSVERDELINGEN

D2v2R

R.R.

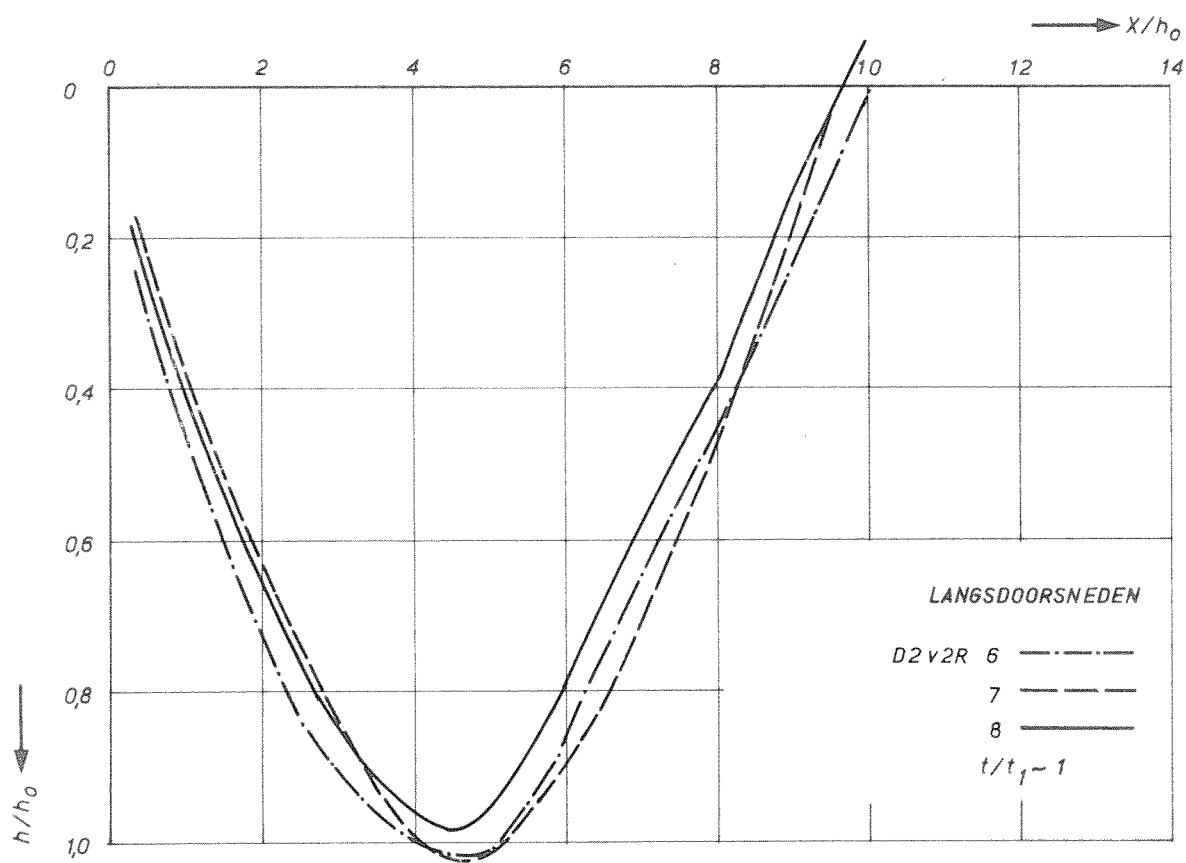
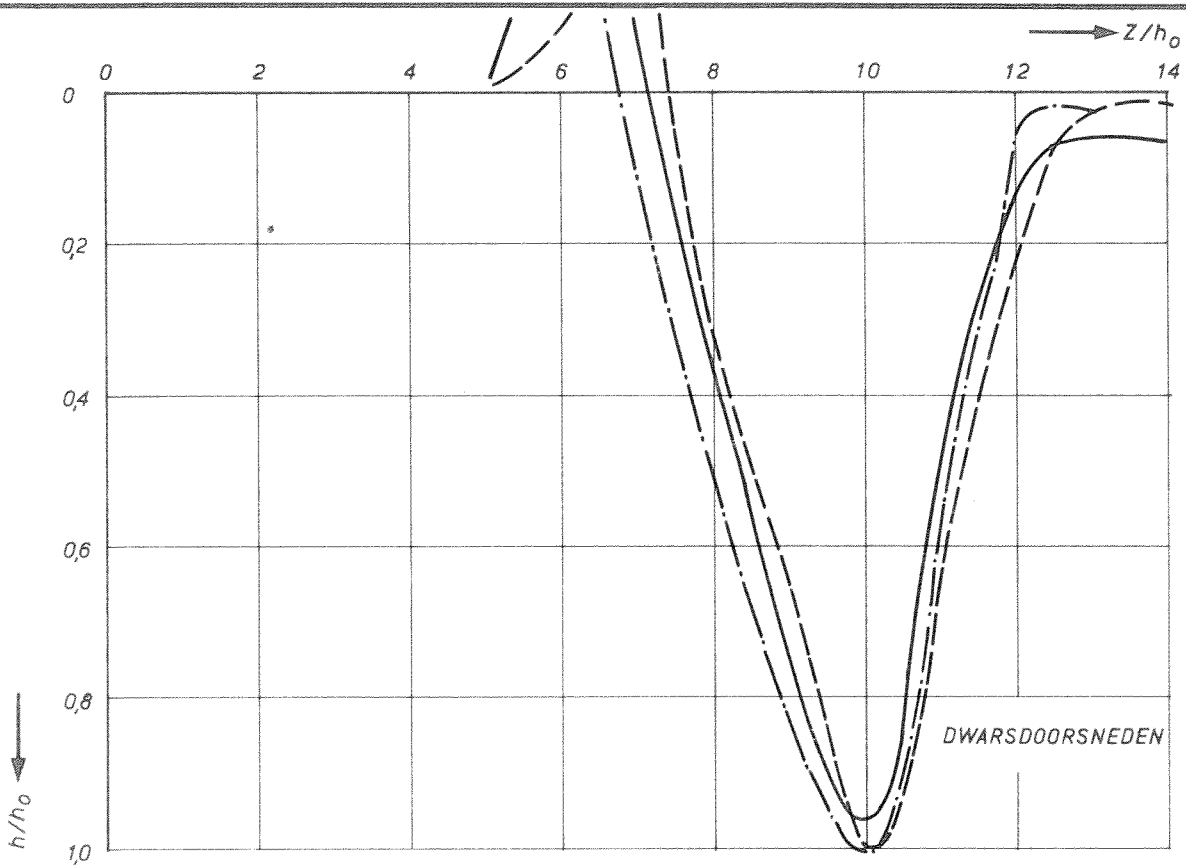
POLYSTYREEN

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1060

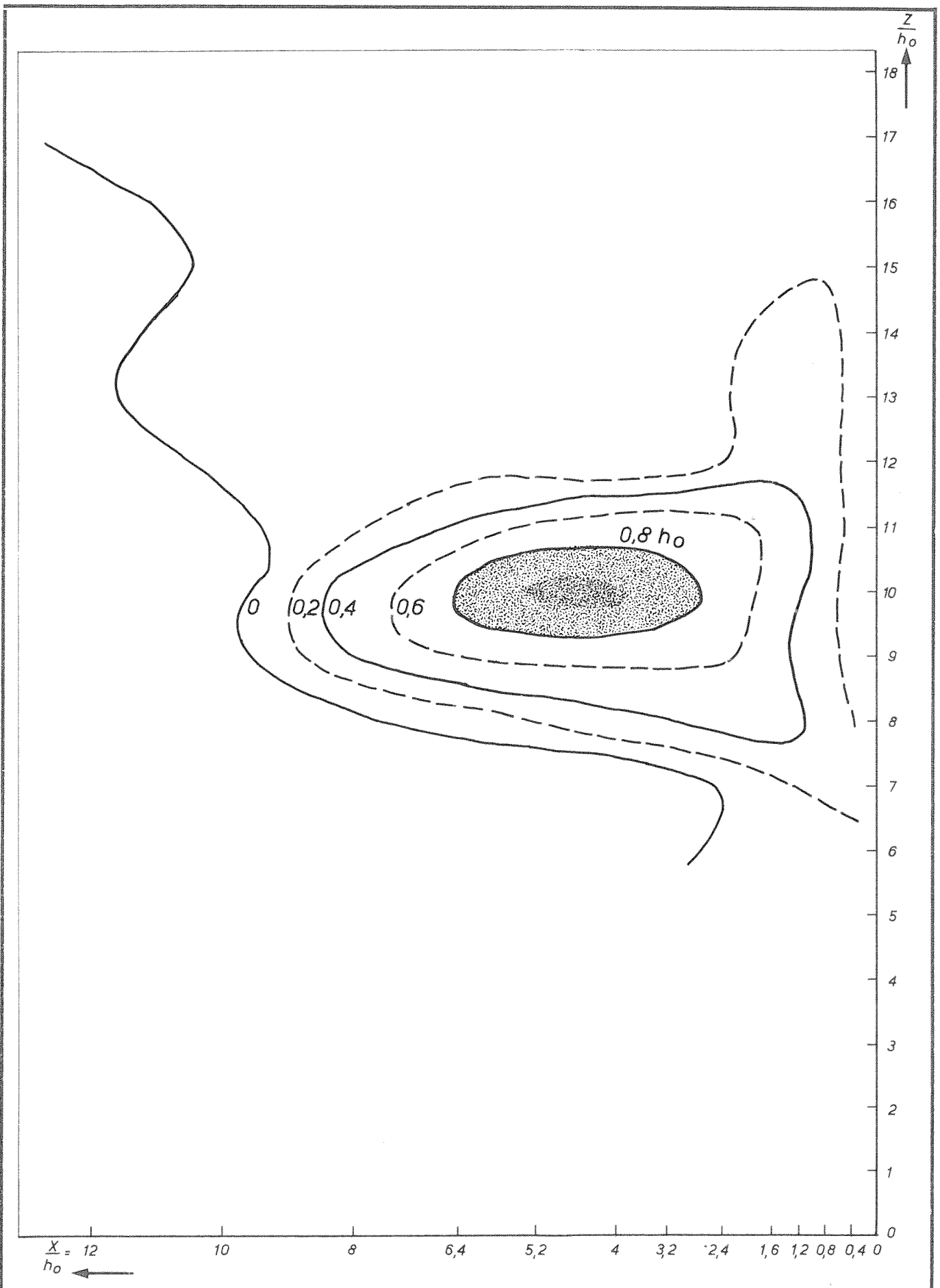
FIG.36b



LANGS EN DWARSDOORSNEDEN OVER h_{max}
 $h_0 = 25 \text{ cm}$ $B = 5 \text{ m}$

RR.

A4



ONTGRONDINGSBEELD OP $t/t_1 \sim 1$

$h_0 = 25\text{cm}$ $B = 5\text{m}$

D 2v2R

W_K

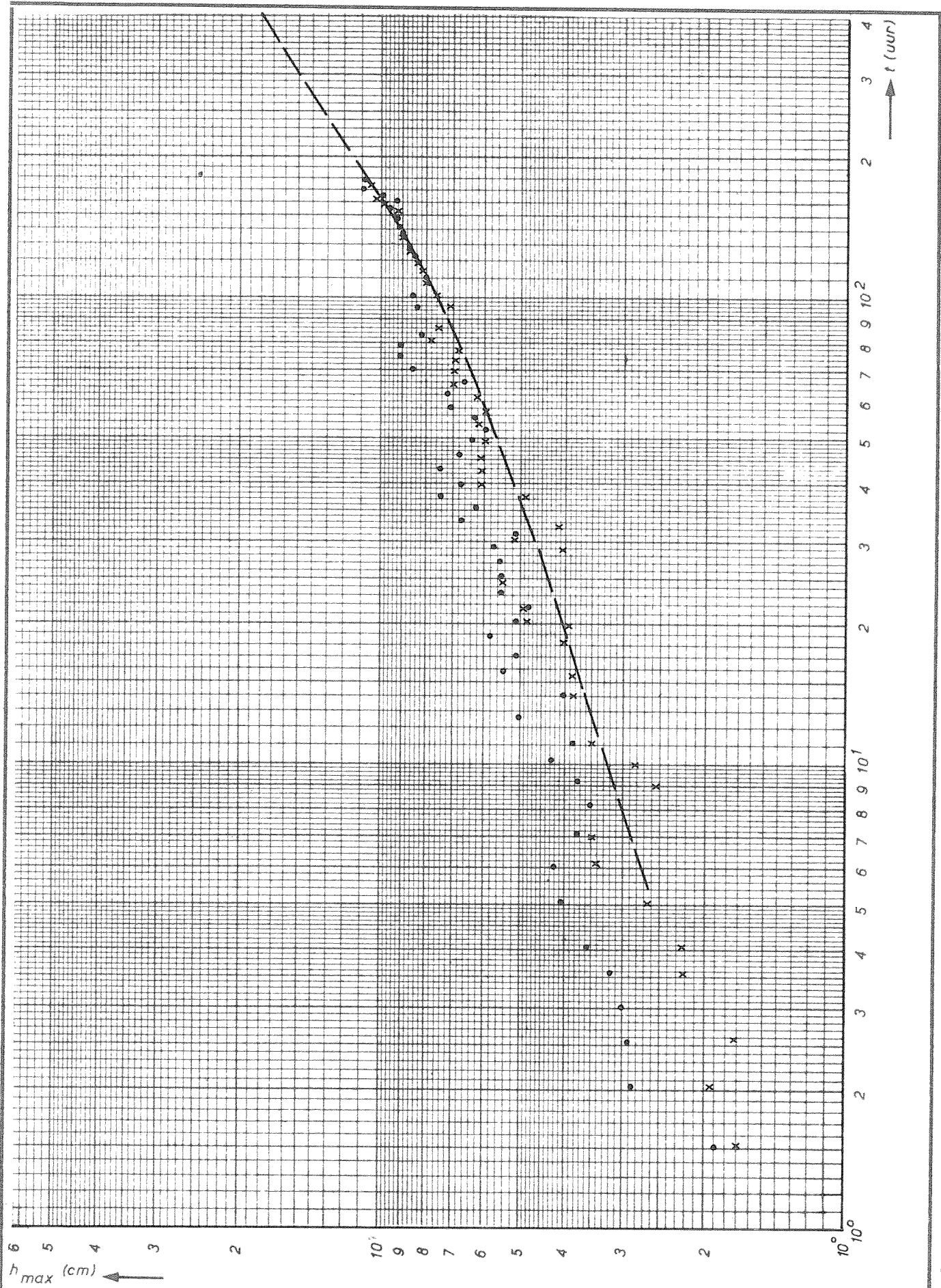
POLYSTYREEN

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III- 1110

FIG.36d



TJD-ONTGRONDINGSLUNEN

$h_0 = 25 \text{ cm}$

DOv4G 36 o
DOv4R 36 x

R.R.

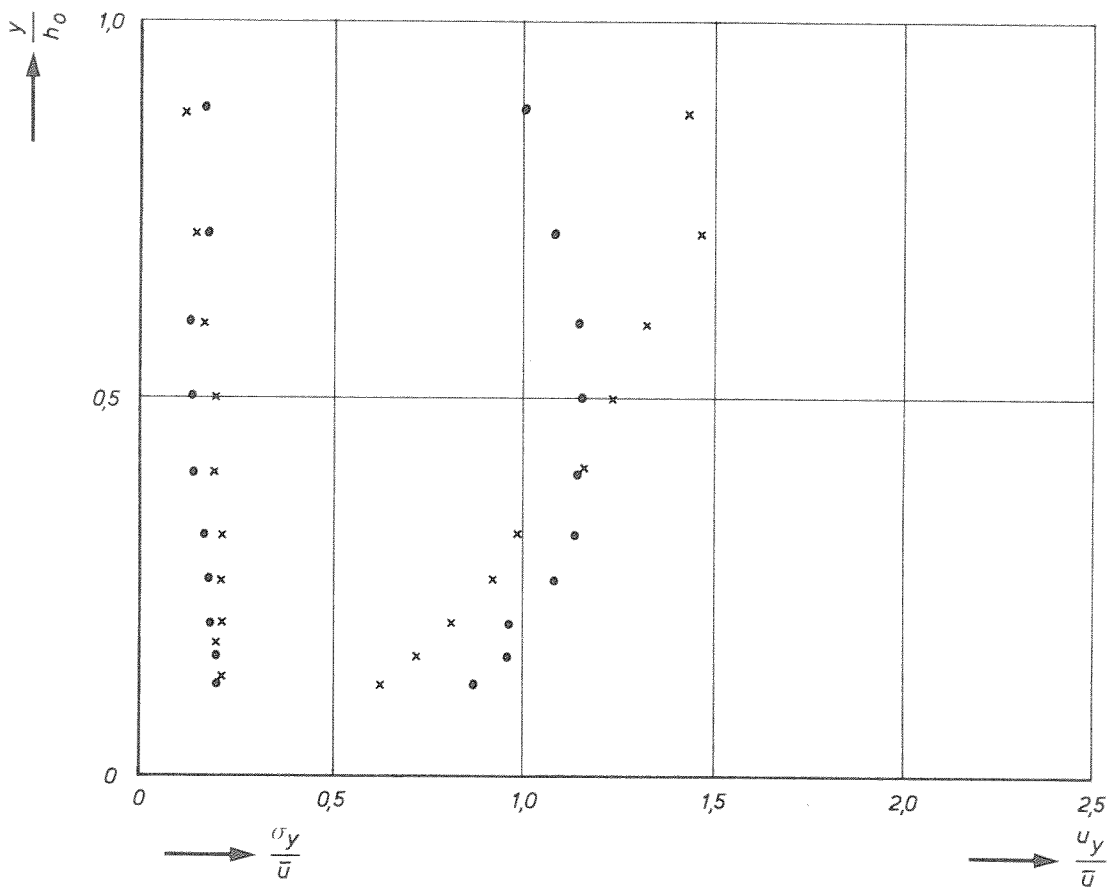
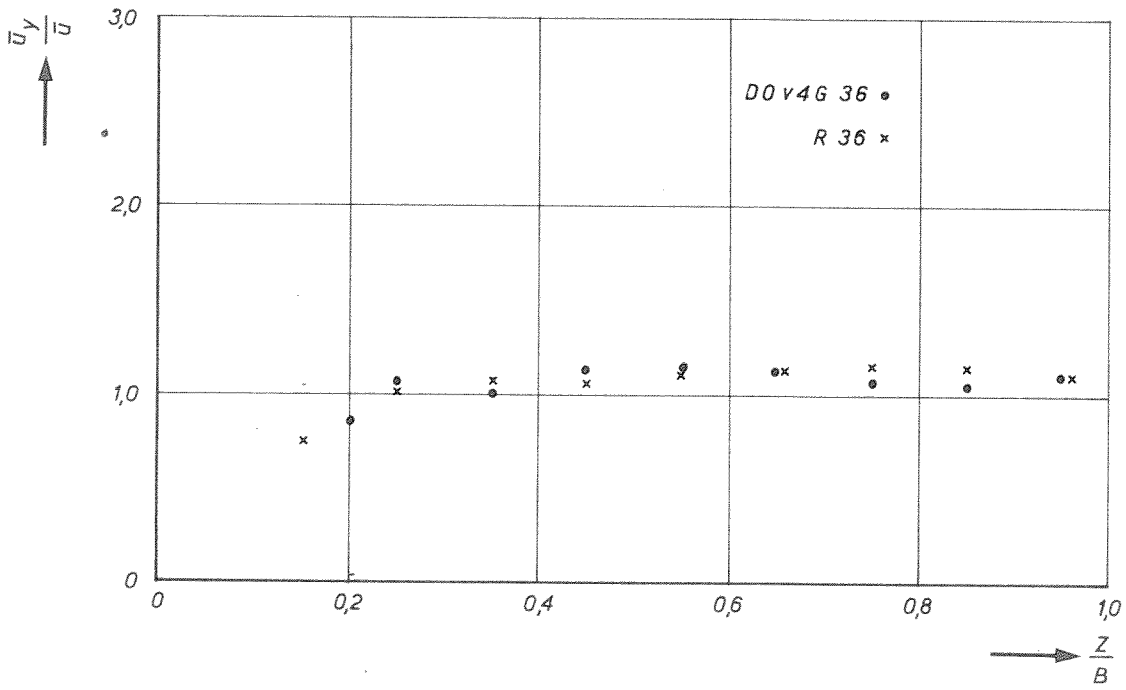
ZAND

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1036

FIG.37a



HORizontALE EN VERTICALE SNELHEIDSVERDELINGEN

DOv4G/DOv4R

R.R.

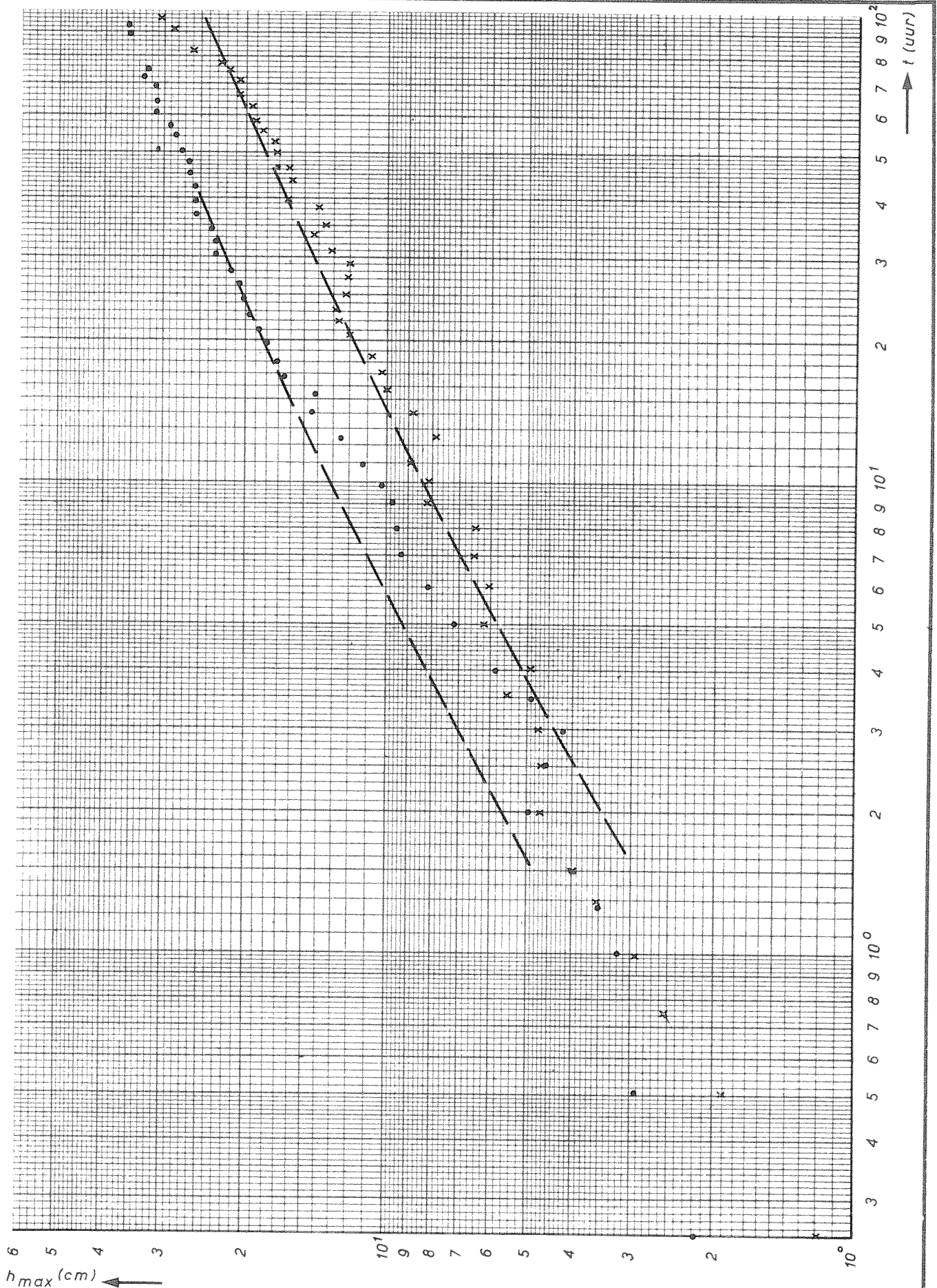
ZAND

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1061

FIG.37b



TJD-ONTGRONDINGSLUNEN

$h_0 = 25 \text{ cm}$

D1v4G 36 ●
D1v4R 36 x

R.R.

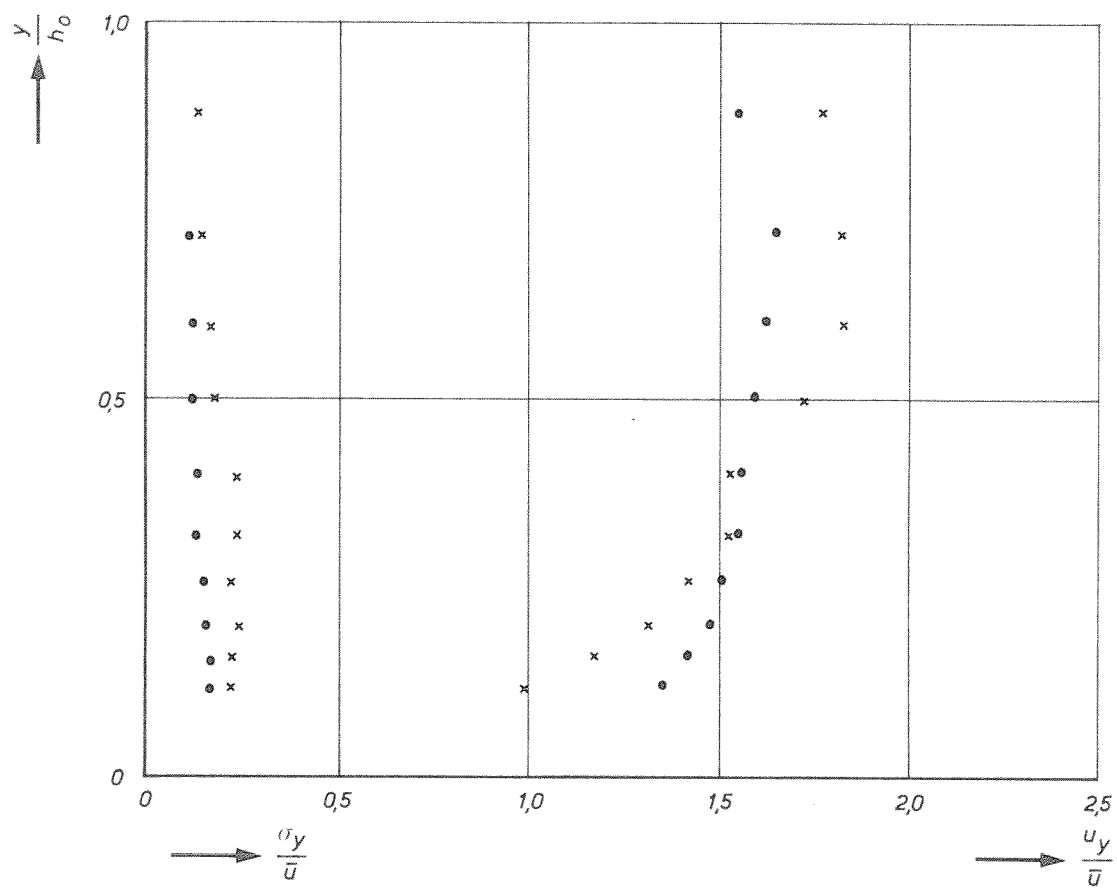
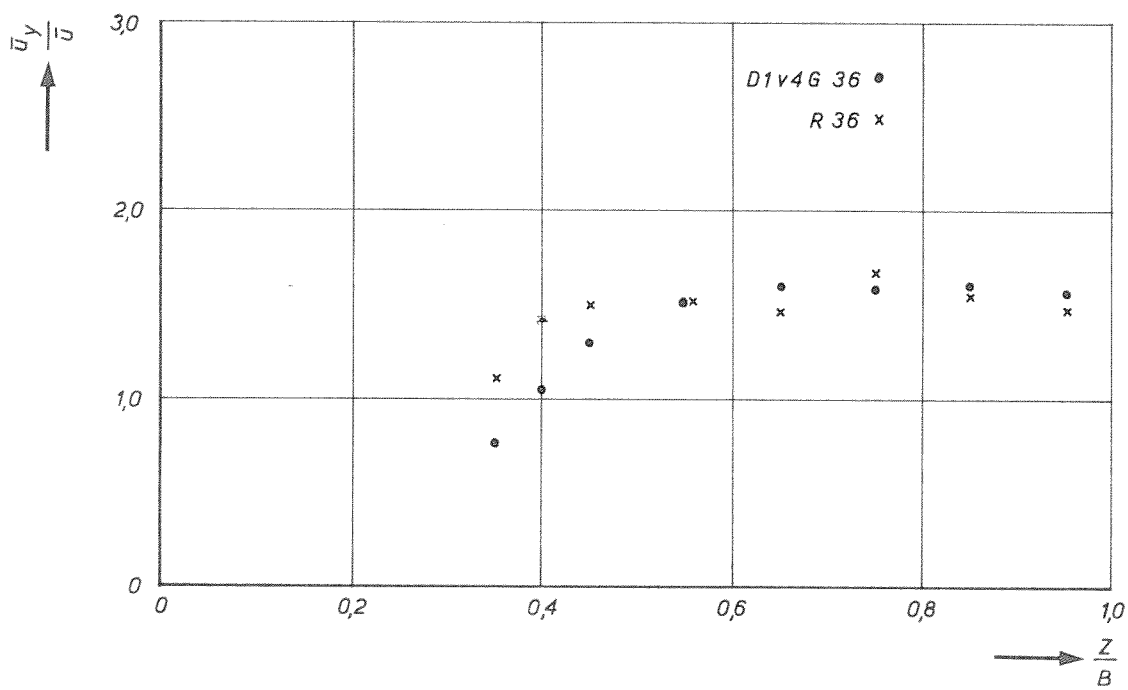
ZAND

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1037

FIG.38a



HORizontALE EN VERTICALE Snelheidsverdelingen

D1v4G / D1v4R

R.R.

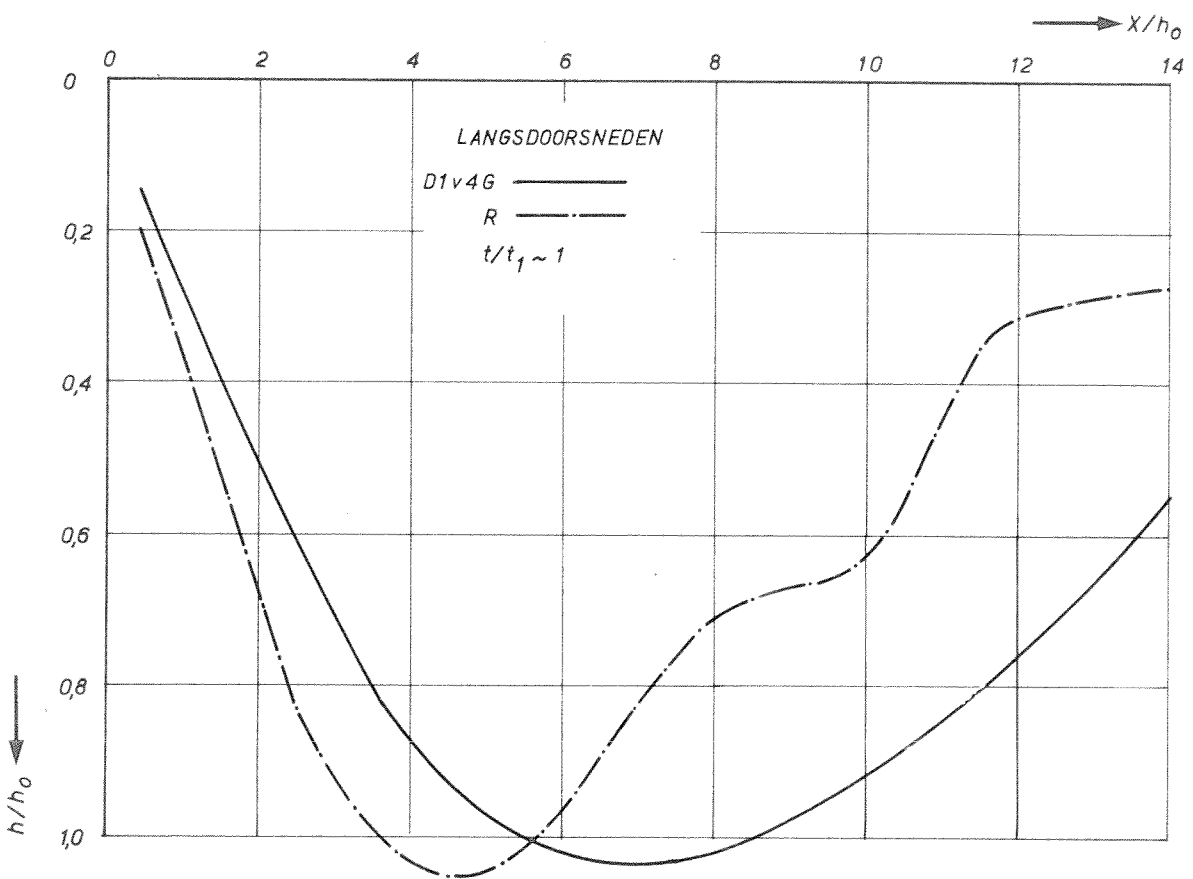
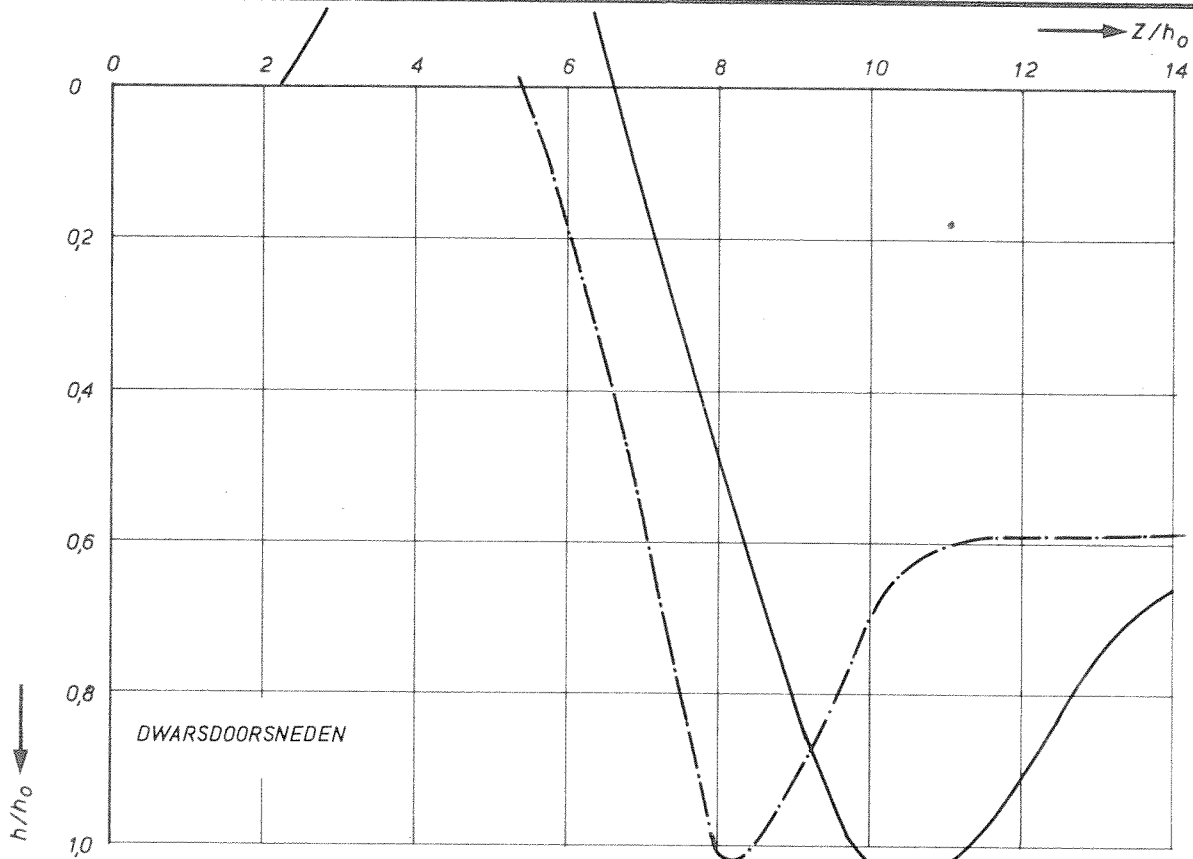
ZAND

A4

Waterloopkundig Laboratorium

M.847-III-1062

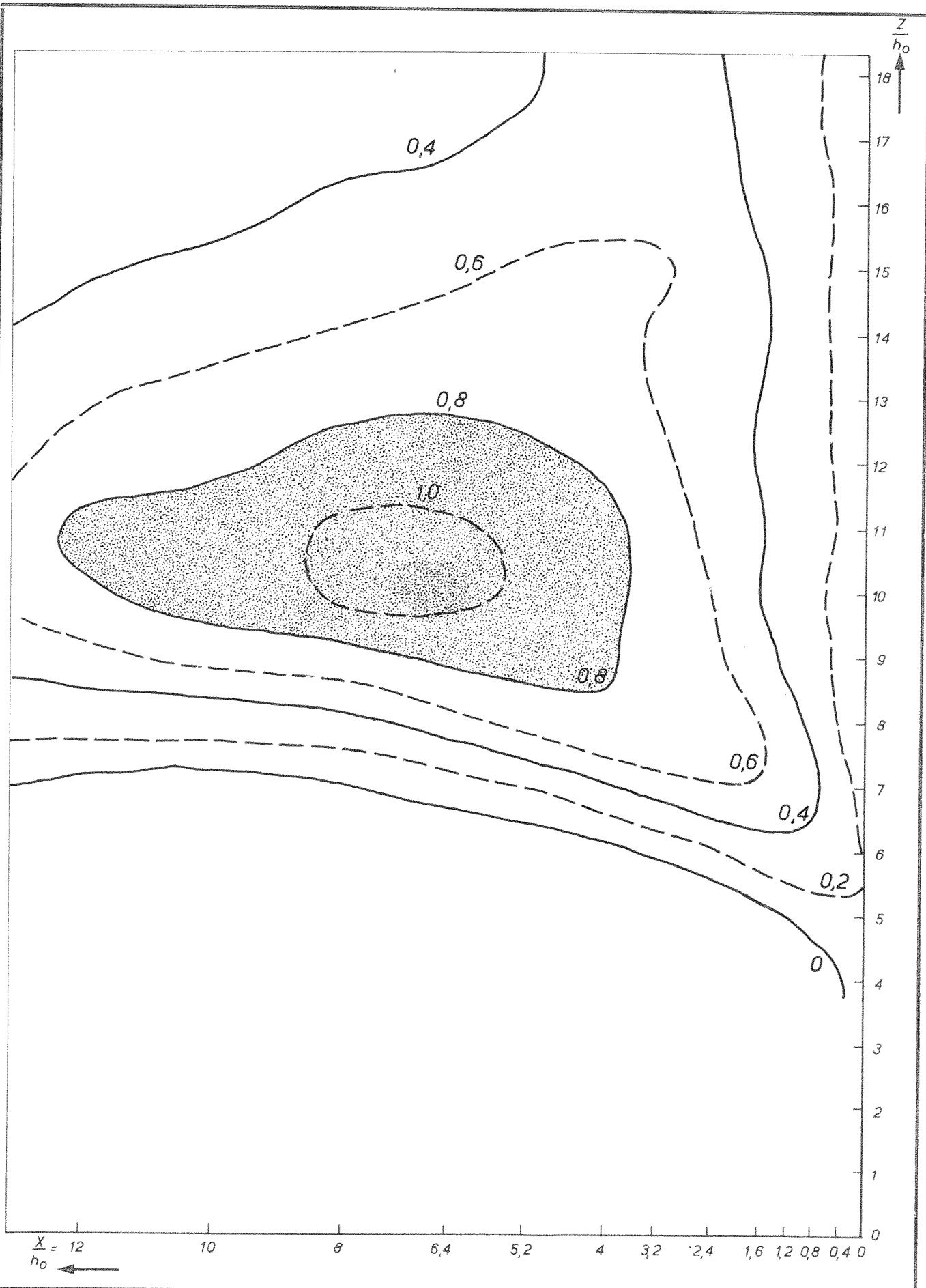
FIG.38b



LANGS EN DWARSDOORSNEDEN OVER h_{max}
 $h_0 = 25 \text{ cm}$ $B = 5 \text{ m}$

R.R.

A4



ONTGRONDINGSBEELD OP $t/t_1 \sim 1$

$h_0 = 25\text{cm}$ $B = 5\text{m}$

D 1v4G

W_K

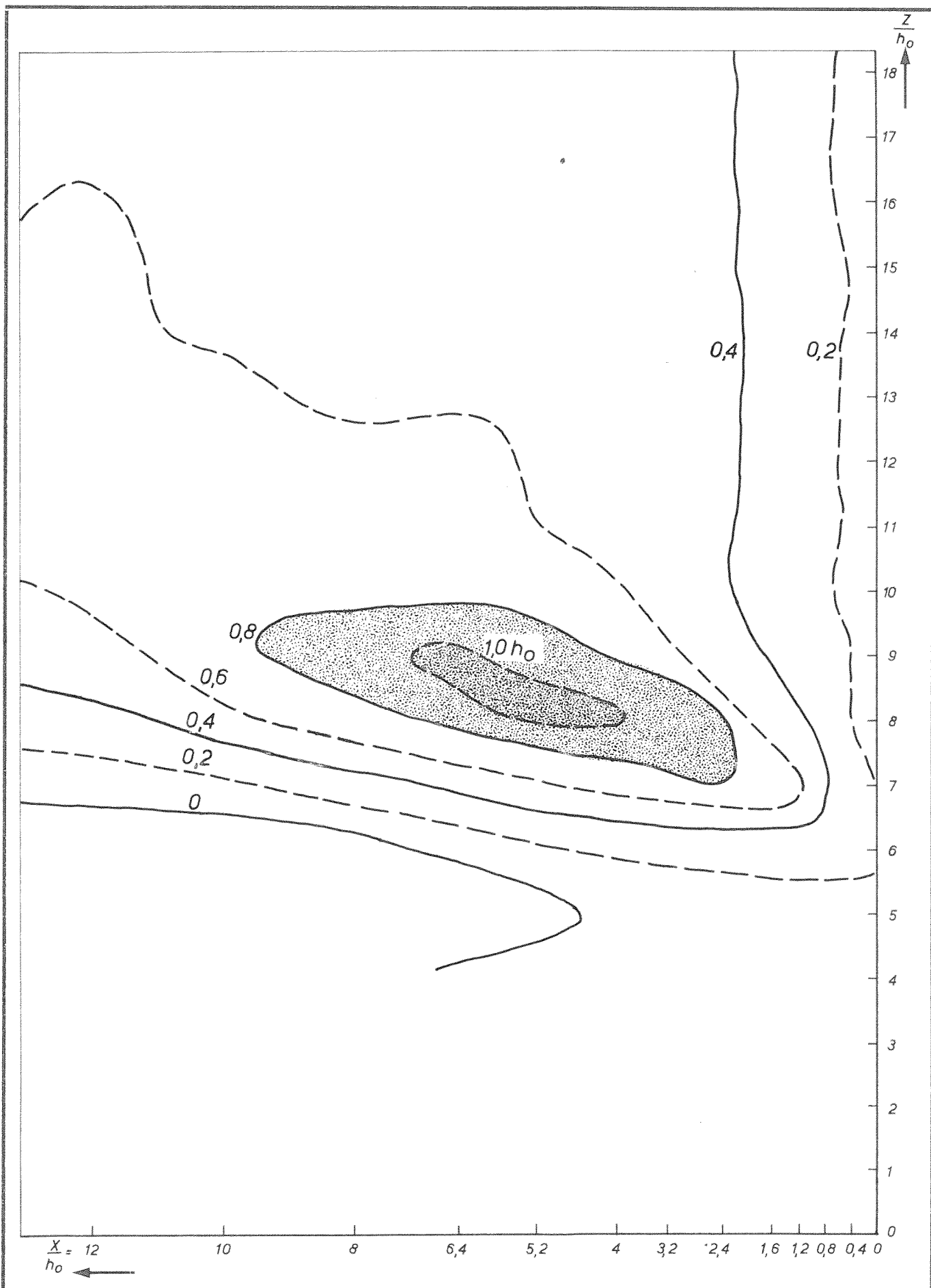
ZAND

A4

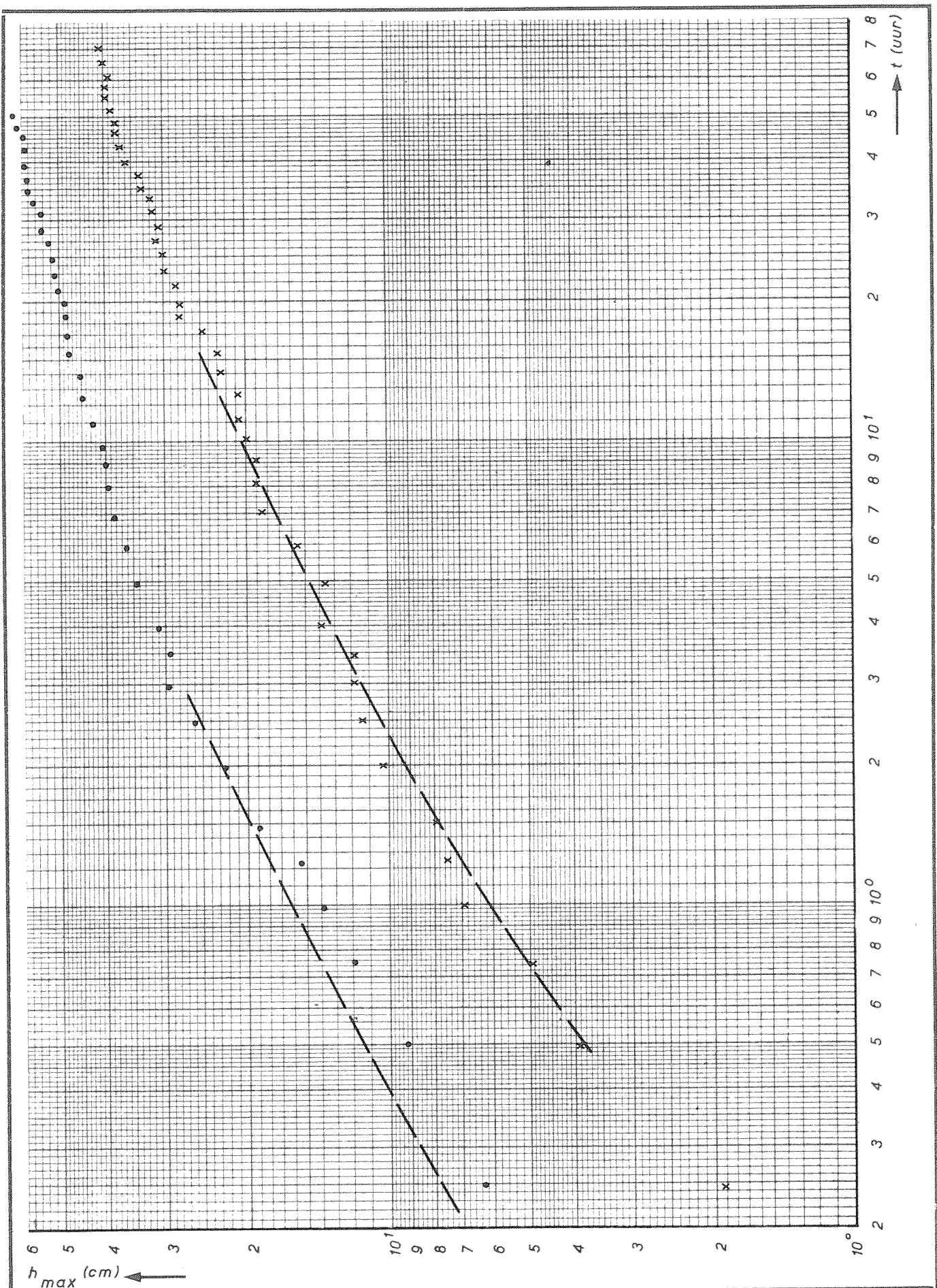
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1111

FIG.38d



ONTGRONDINGSBEELD OP $t/t_1 \sim 1$ $h_0 = 25 \text{ cm}$ $B = 5 \text{ m}$	D1v4R	$\frac{W}{K}$
	ZAND	A4
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M.847-III- 1112	FIG.38 e



TUD-ONTGRONDINGSLUNEN

$h_0 = 25$ cm

D2v4G 36 •
D2v4R 36 x

R.R.

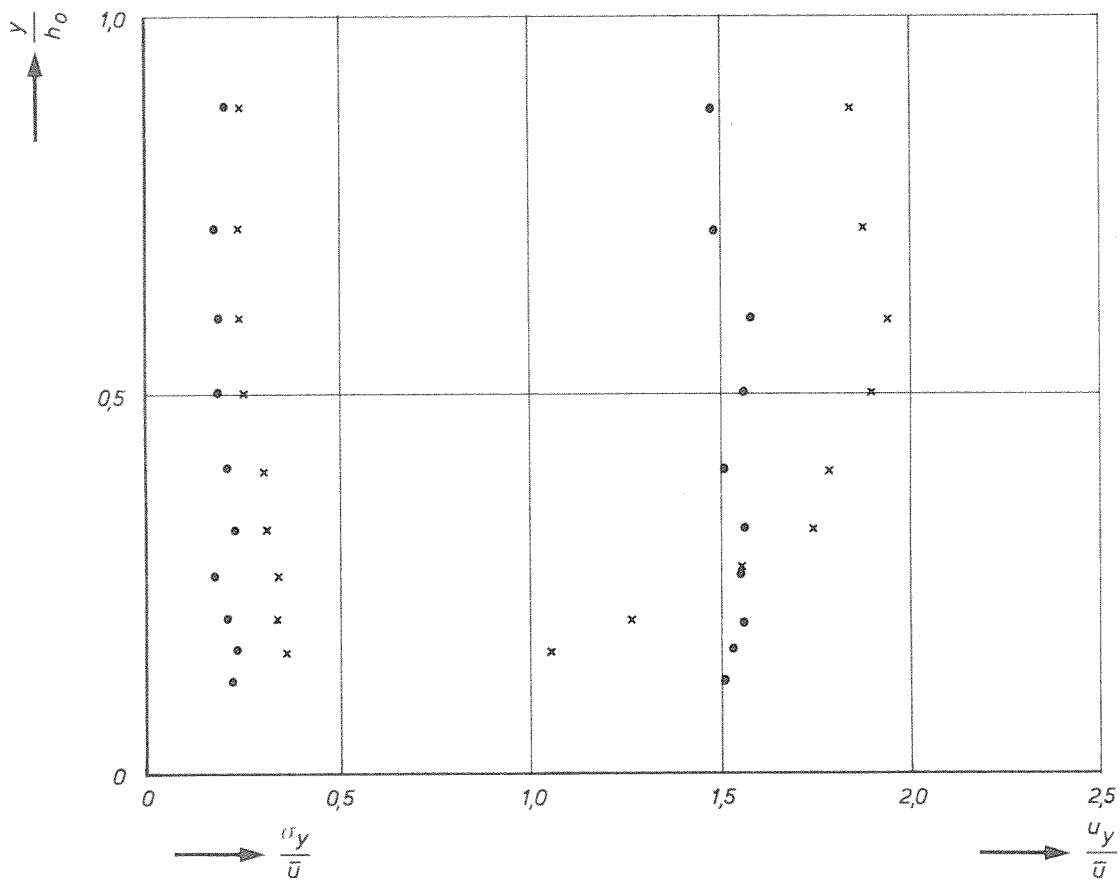
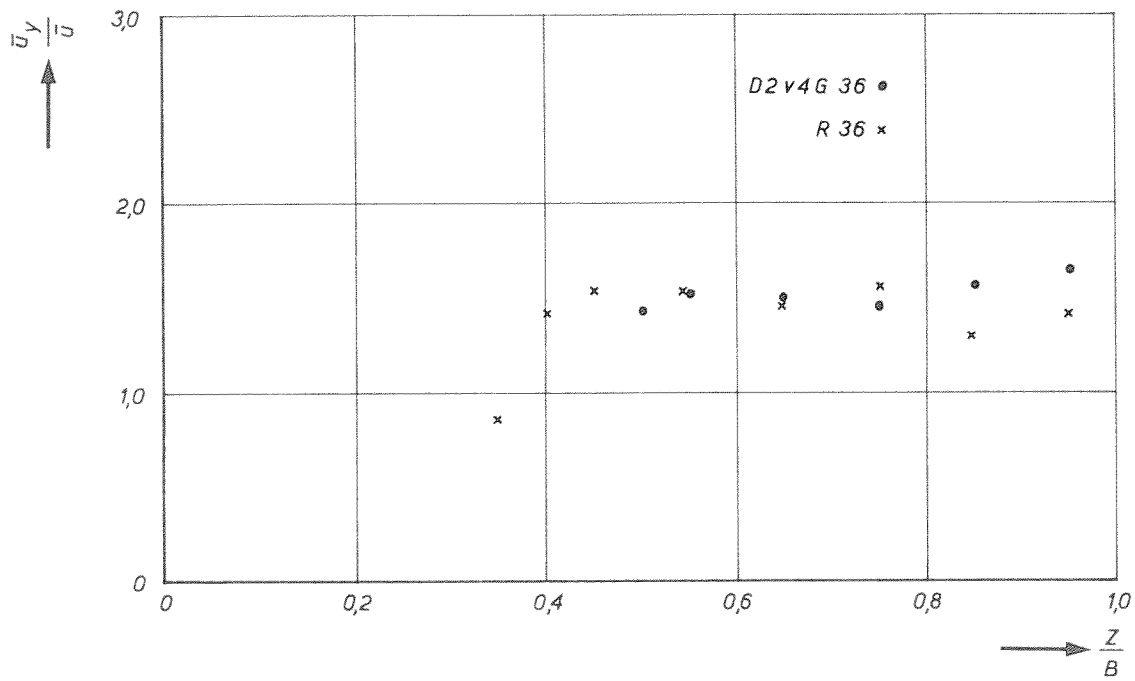
ZAND

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1038

FIG.39a



HORIZONTAL EN VERTICALE SNELHEIDSVERDELINGEN

D2v4G/D2v4R

R.R.

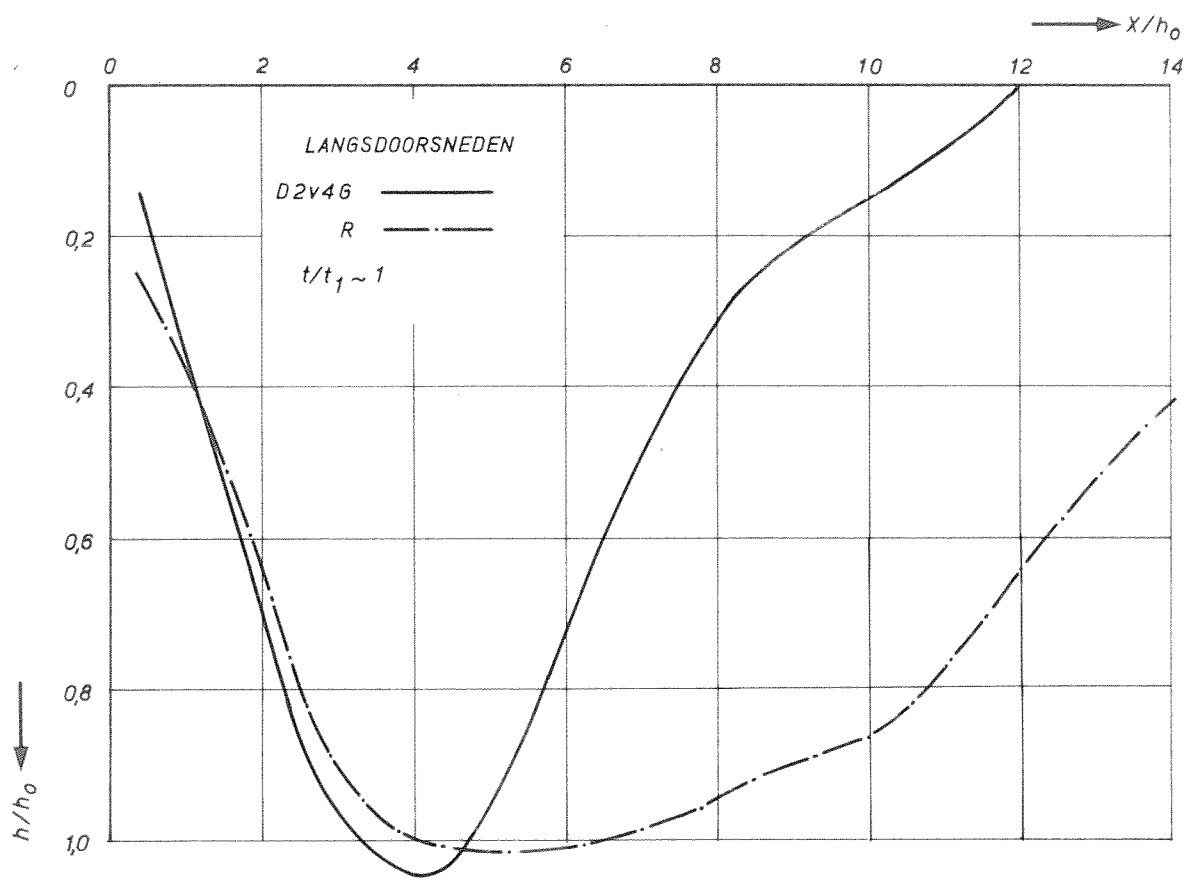
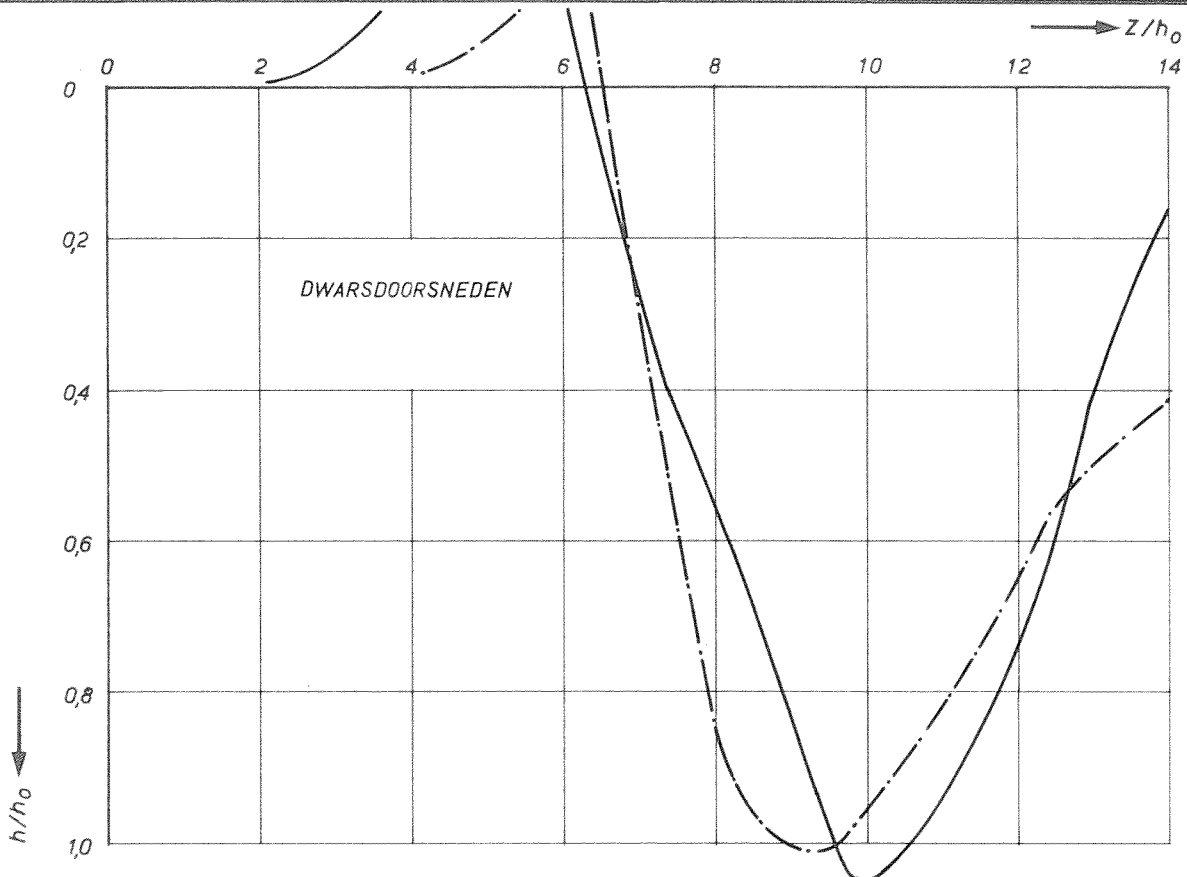
ZAND

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1063

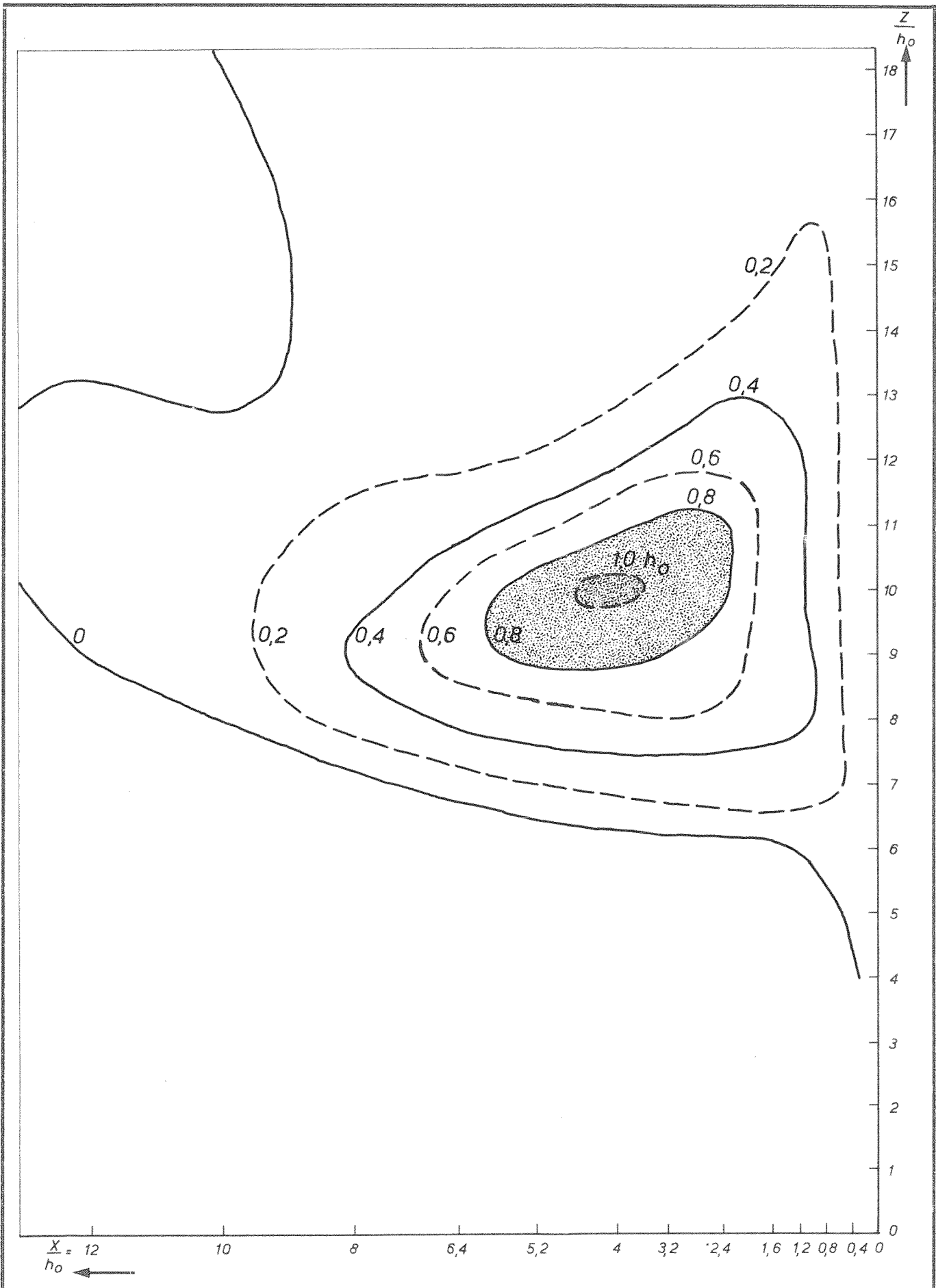
FIG.39b



LANGS EN DWARSDOORSNEDEN OVER h_{max}
 $h_0 = 25 \text{ cm}$ $B = 5 \text{ m}$

RR.

A4



ONTGRONDINGSBEELD OP $t/t_1 \sim 1$
 $h_0 = 25\text{cm}$ $B = 5\text{m}$

D 2 v 4 G

W_K

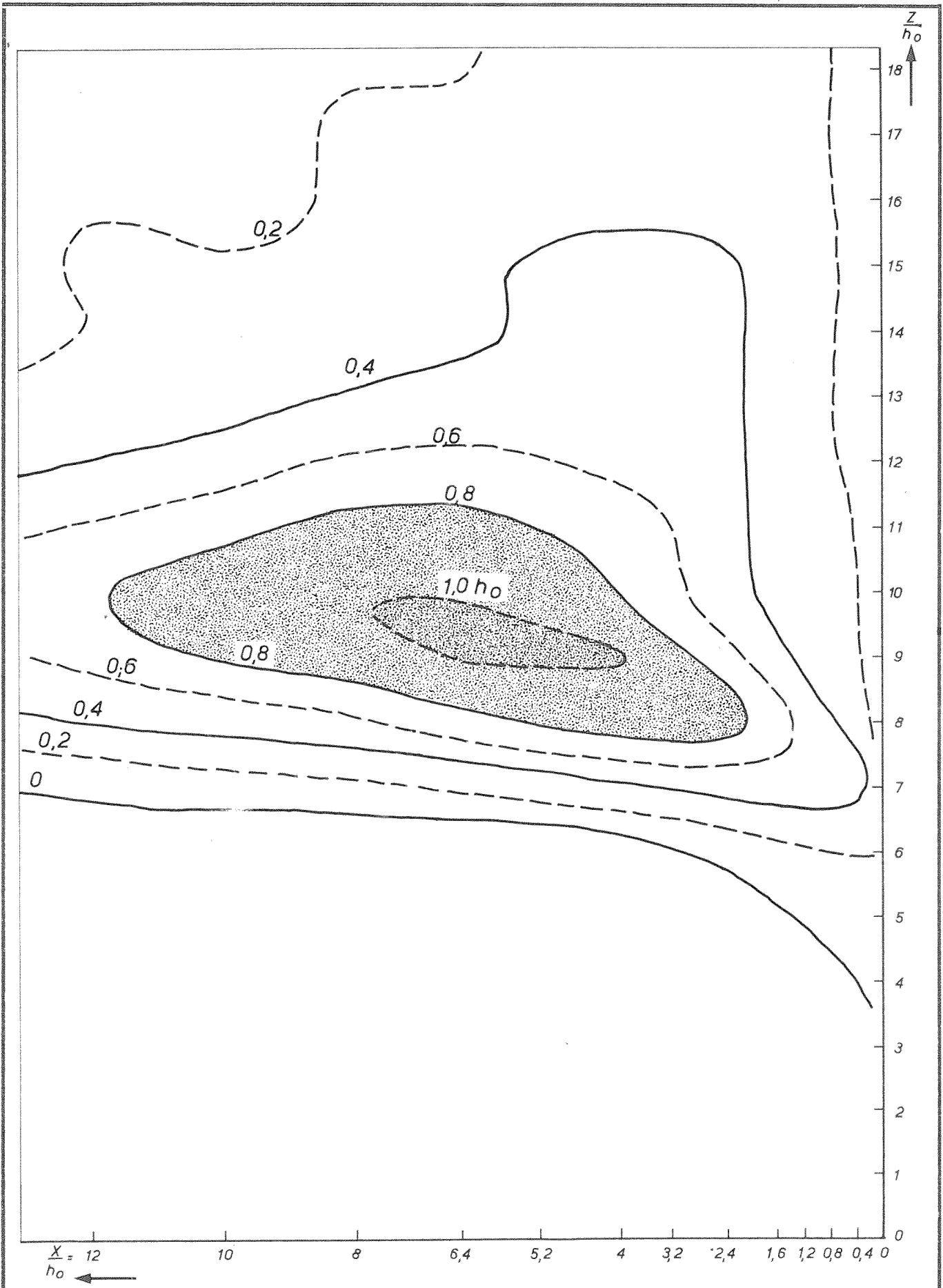
ZAND

A 4

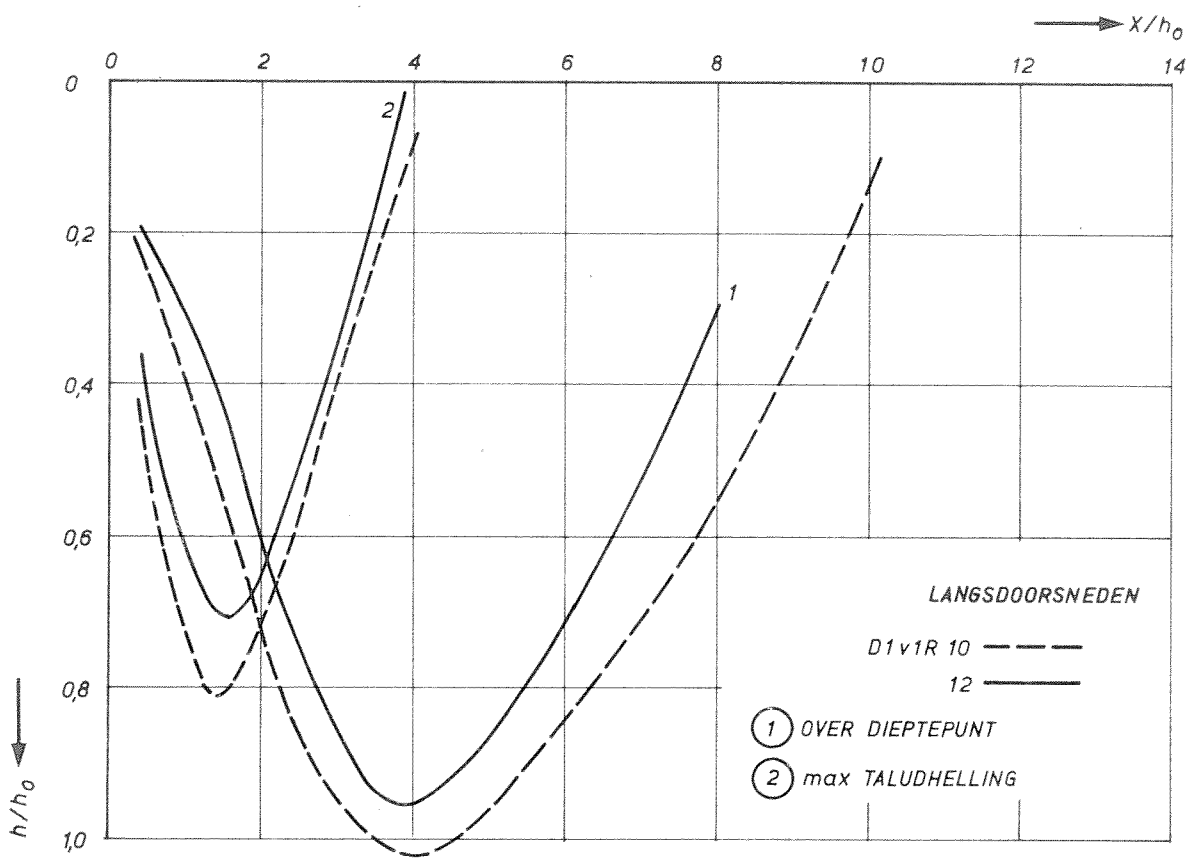
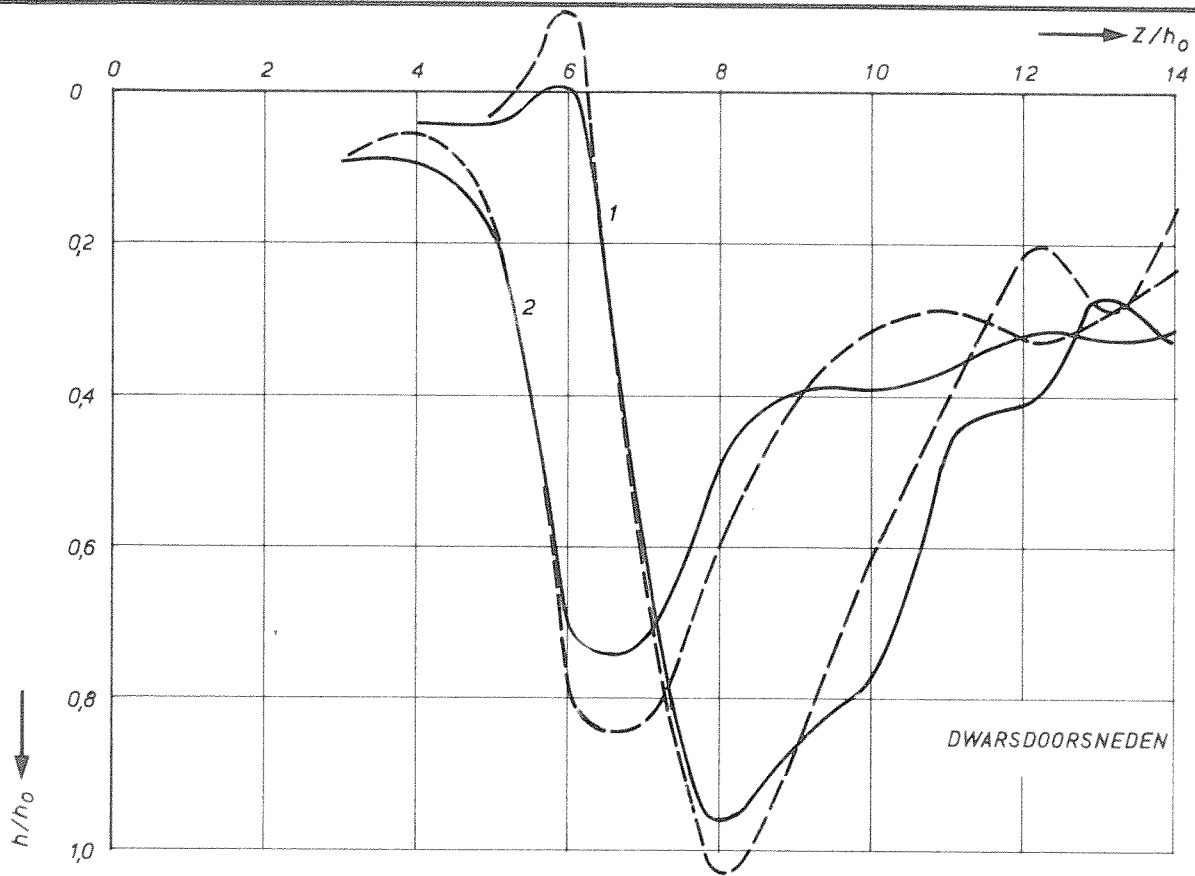
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

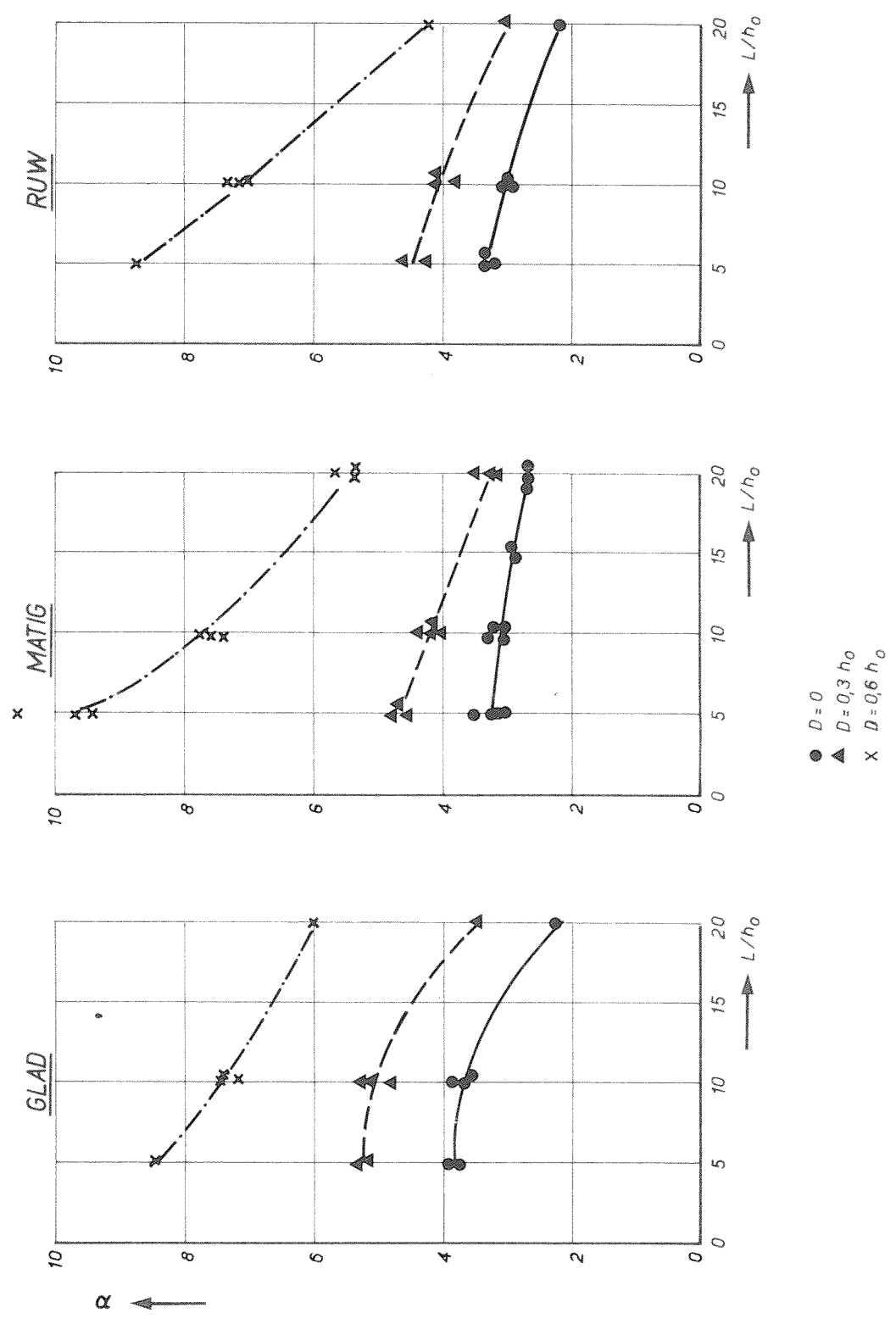
M.847-III- 1113

FIG.39d



ONTGRONDINGSBEELD OP $t/t_1 \sim 1$ $h_0 = 25\text{cm}$ $B = 5\text{m}$	D 2v4R	W_K
	ZAND	A4
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M.847-III- 1114	FIG.39e





W
K

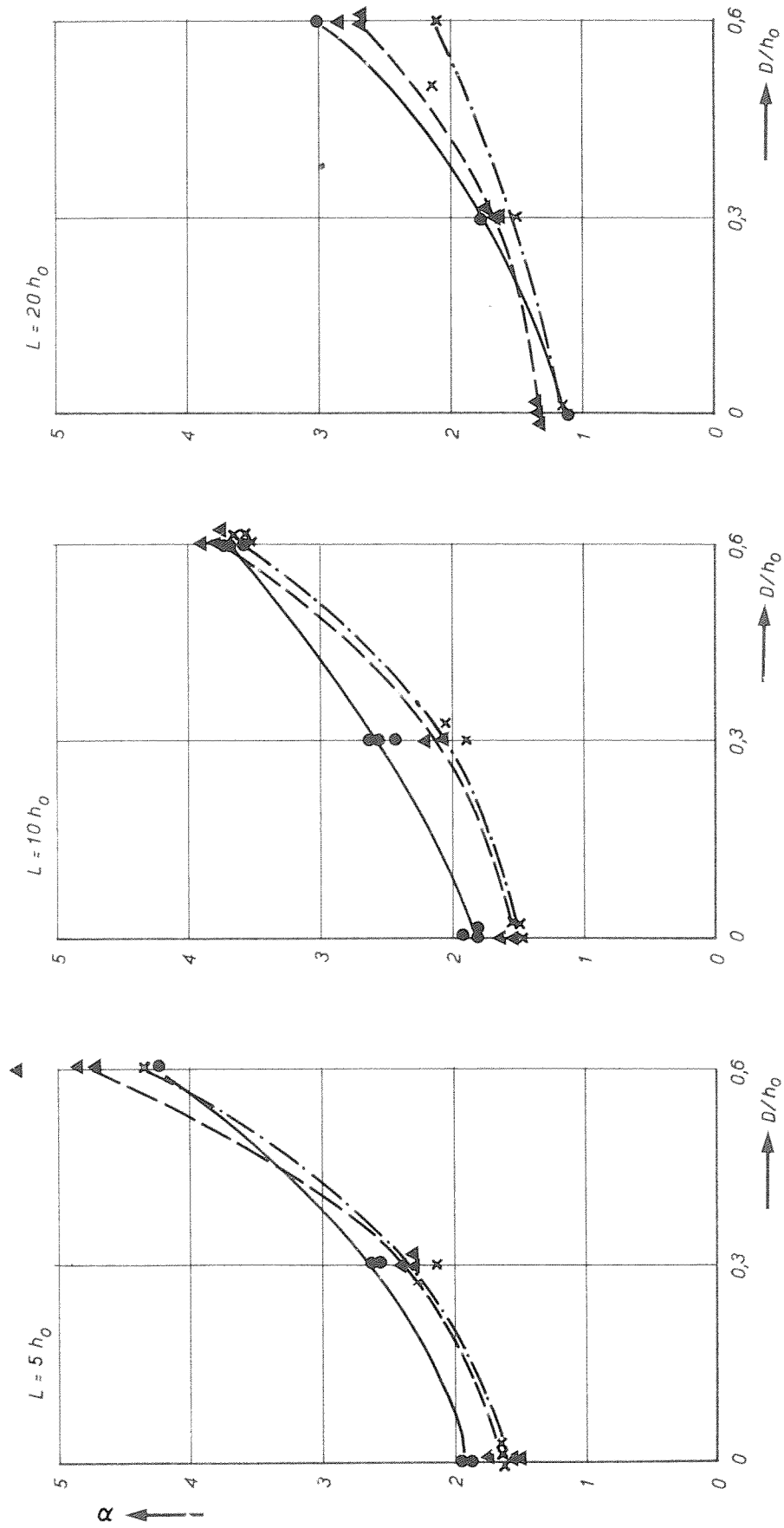
A4

INVLOED DAMHOOGTE EN VERDEDIGINGSLENGTE OP α

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III - 1115

FIG. 41



INVLOED DAMHOOGTE EN RUWHEID OP α

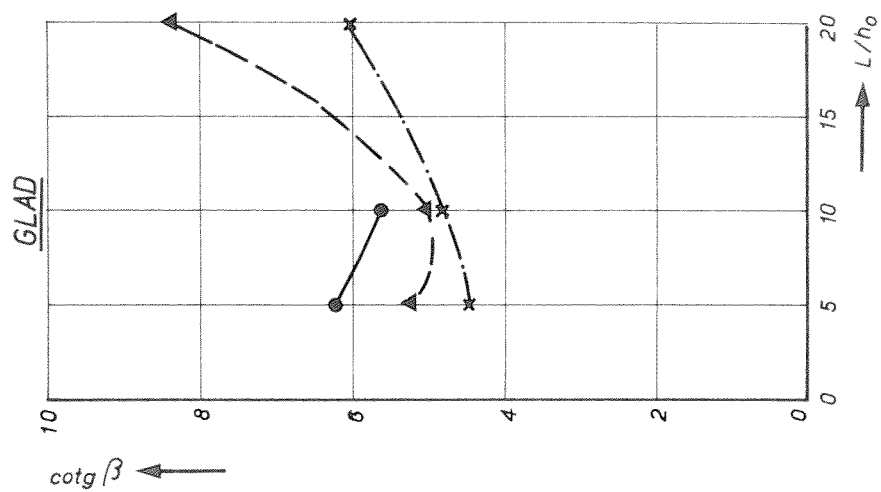
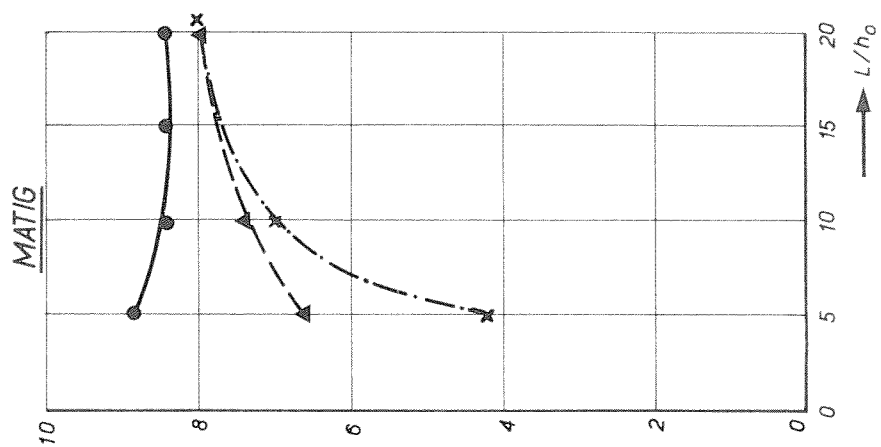
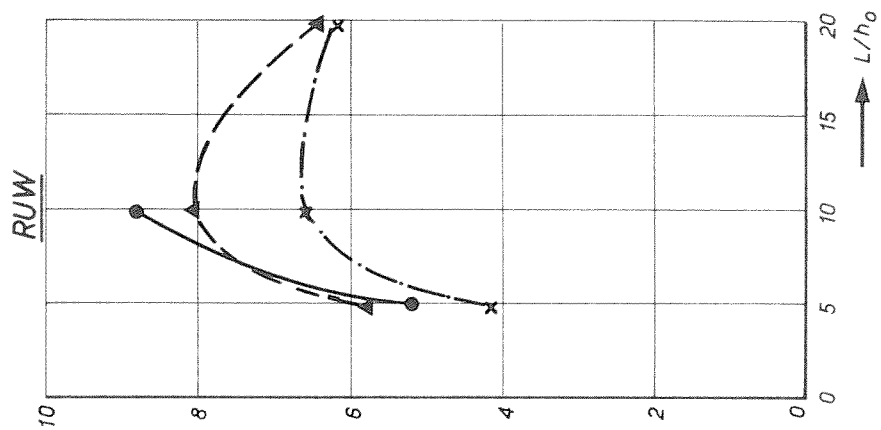
R.R.

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1116

FIG.42

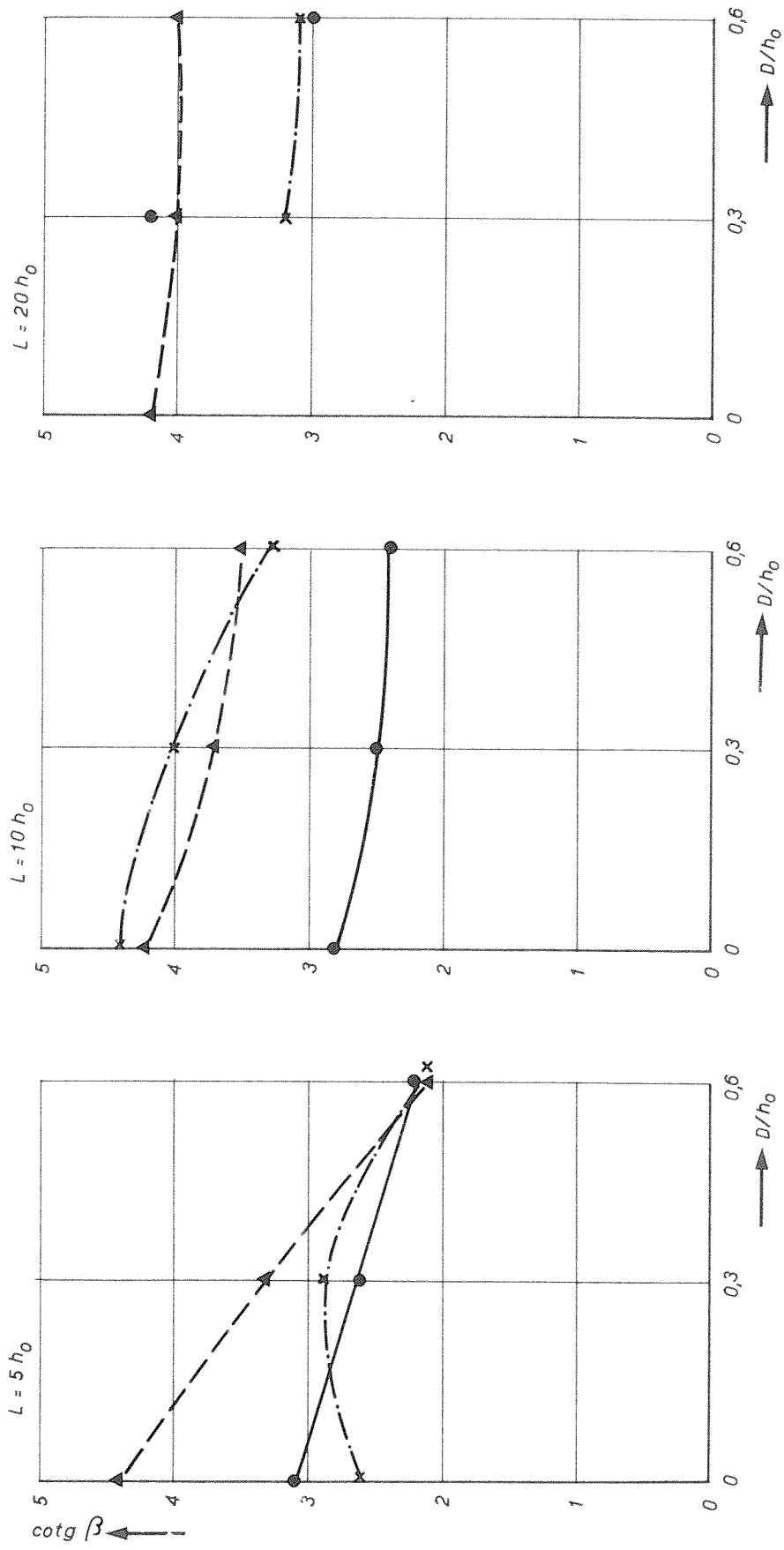


- $D=0$
- ▲ $D=0,3 h_0$
- × $D=0,6 h_0$

INVLOED DAMHOOGTE EN VERDEDIGINGSLENGTE OP $\cotg \beta$

W
K

A4



INVLOED DAMHOOGTE EN RUWHEID OP cotg β

R.R.

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847-III-1118

FIG. 44

