

SYSTEMATISCH ONDERZOEK

BODEMBESCHERMING

II

INVLOED RUWHEID BESTORTING

RAPPORT MODELONDERZOEK

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM  
DELFT

M 847-II

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

SYSTEMATISCH ONDERZOEK BODEMBESCHERMING

II

Invloed ruwheid bestorting

Rapport modelonderzoek

M 847 - II

Augustus 1970

## INHOUD

	blz.
1. <u>OPDRACHT EN DOEL VAN HET ONDERZOEK</u>	1
2. <u>MODEL</u>	2
2.1. Meetopstelling	2
2.2. Meetmethoden	2
3. <u>PROEVEN</u>	4
3.1. Overzicht van de proeven	4
3.2. Aanduiding van de proeven	6
4. <u>MEETRESULTATEN</u>	7
4.1. Tabellen	7
4.2. Tijd-ontgrondingslijnen	7
4.3. Snelheidsverdelingen	7
4.4. Aanzethelling en kuilvorm	8
4.5. Dwarsprofielen	9
5. <u>SAMENVATTING EN CONCLUSIES</u>	10

## TABELLEN

- I. Meetresultaten  $S_0$  proeven
- II. Meetresultaten  $S_1$  proeven
- III. Meetresultaten  $S_2$  proeven

## FIGUREN

- 1. Overzicht van het model
- 2a.  $S_{0m_1} 30$  Tijd-ontgrondingslijnen
- b. Snelheidsverdeling
- c. Kuilvorm
- d. Aanzethelling
- e. Dwarsprofielen
- 3a.  $S_{0m_1} 30$  Tijd-ontgrondingslijnen
- b. Snelheidsverdeling
- c. Kuilvorm
- d. Aanzethelling
- e. Dwarsprofielen
- 4a.  $S_{0m_1} 24/\text{glad } 24$  Tijd-ontgrondingslijnen
- b. Snelheidsverdeling
- c. Kuilvorm
- d. Aanzethelling
- e. Dwarsprofielen
- 5a.  $S_{0m_1} 24$  Tijd-ontgrondingslijnen
- b. Snelheidsverdeling
- c. Kuilvorm
- d. Aanzethelling
- e. Dwarsprofielen
- 6a.  $S_{0m_1} 30^A$  Tijd-ontgrondingslijnen
- b. Snelheidsverdeling
- c. Kuilvorm
- d. Aanzethelling
- e. Dwarsprofielen
- 7a.  $S_{1m_0} 24$  Tijd-ontgrondingslijnen
- b. Snelheidsverdeling
- c. Kuilvorm



- d. Aanzethelling
- e. Dwarsprofielen
- 8a.  $S_{1m_1} l 24$  Tijd-ontgrondingslijnen
- b. Snelheidsverdeling
- c. Kuilvorm
- d. Aanzethelling
- e. Dwarsprofielen
- 9a.  $S_{1m_0} l 18/S_1 \text{ glad } 18$  Tijd-ontgrondingslijnen
- b. Snelheidsverdeling
- c. Kuilvorm
- d. Aanzethelling
- e. Dwarsprofielen
- 10a.  $S_{1m_0} l 24^A$  Tijd-ontgrondingslijnen
- b. Snelheidsverdeling
- c. Kuilvorm
- d. Aanzethelling
- e. Dwarsprofielen
- 11a.  $S_{2m_0} l 16/S_2 \text{ glad } 16$  Tijd-ontgrondingslijnen
- b. Snelheidsverdeling
- c. Kuilvorm
- d. Aanzethelling
- e. Dwarsprofielen
- 12a.  $S_{2m_1} l 16$  Tijd-ontgrondingslijnen
- b. Snelheidsverdeling
- c. Kuilvorm
- d. Aanzethelling
- e. Dwarsprofielen
- 13. Ontgrondingskuil: parameters  $\cotg \beta$ ,  $\cotg \gamma$  en T
- 14. Verband  $T - D/h_0$  en  $\cotg \beta - D/h_0$
- 15. Verband  $T/T_0 - D/h_0$  en  $\cotg \beta_0 / \cotg \beta - D/h_0$

## 1. OPDRACHT EN DOEL VAN HET ONDERZOEK

Bij afsluitingen van zeegaten treedt benedenstrooms van de bodembescherming, aangebracht aan weerszijden van de drempel, uitschuring op. Als materiaal voor de bodembescherming wordt vaak asfalt toegepast. Zodra de ontgrondingskuil enige afmetingen begint aan te nemen, bestaat het gevaar dat de asfaltslab aan het einde van de verdediging onder het gewicht van de op de asfaltslab aangebrachte bestorting breekt. Bij voorkeur zal men dus het laatste deel van de asfaltslab niet bestorten. Dit zou een nadelige invloed op de ontgronding kunnen hebben (zie het onderzoek M 648). Aansluitend aan de drempel is in veel gevallen geen bestorting noodzakelijk. Het weglaten hiervan zou eveneens invloed kunnen hebben op de ontgronding.

Op grond van het voorgaande werd door de Waterloopkundige Afdeling van de Deltadienst van de Rijkswaterstaat bij een bespreking op 20 augustus 1969 aan het Waterloopkundig Laboratorium opdracht gegeven een onderzoek uit te voeren naar de vormgeving van de asfaltbodembescherming teneinde het gunstige effect van de bodemruwheid op de vorming van de ontgrondingskuil te behouden.

Het doel van het onderzoek was:

1. het bepalen van de maximale lengte van het niet bestorte gedeelte (1) aan het einde van de bodembescherming opdat het gunstige effect van de bodemruwheid op de vorming van de ontgrondingskuil behouden blijft.
2. het bepalen van de maximale lengte van het niet bestorte gedeelte (m) direct voor en achter de drempel in combinatie met (1), opdat het gunstige effect van de bodemruwheid op de vorming van de ontgrondingskuil behouden blijft.
3. het bepalen van het effect van een onregelmatige beëindiging van de asfaltslab op de vorming van de ontgrondingskuil.

Het onderzoek is uitgevoerd door R. Adihardjo, die tevens dit rapport samenstelde.

## 2. MODEL

### 2.1. Meetopstelling

De dam is in de richting loodrecht op de stroomrichting oneindig lang verondersteld, zodat de proeven in een twee-dimensionaal model konden worden uitgevoerd. De proeven zijn uitgevoerd in een goot met een breedte van 2,50 m en een lengte van ongeveer 20 m. De waterdiepte  $h_0$  bedroeg 0,40 m. Als bodemmateriaal zijn polystyreenkorrels gebruikt met  $\rho_m = 1050 \text{ kg/m}^3$  en  $d_{50} = 1600 \text{ }\mu\text{m}$ . De lengte van de bodembescherming gerekend vanaf het hart van de dam (beneden- en bovenstreams) is niet gevarieerd en bedroeg 10 maal de waterdiepte ( $L = 10 h_0 = 4 \text{ m}$ ). Als bodemruwheid zijn gebruikt porfiersteentjes met een gemiddelde diameter  $k = 0,025 h_0 = 1 \text{ cm}$ . Als damhoogten voor een aantal karakteristieke bouwfases zijn gebruikt  $D = 0,1 h_0$ ,  $D = 0,3 h_0$  en  $D = 0,6 h_0$ , waarin  $D = \text{damhoogte}$ . De lengte van het gladde gedeelte direct voor en achter de dam is gevarieerd en bedroeg  $m_0 = 0,1 h_0$  en  $m_1 = 5 h_0$ . De lengte van het gladde gedeelte aan het einde van de bodembescherming is eveneens gevarieerd en bedroeg  $l_0 = 0,1 h_0$ ,  $l_1 = 0,5 h_0$  en  $l_2 = 1,0 h_0$ . De meetopstelling en de gebruikte damvormen zijn afgebeeld in figuur 1.

### 2.2. Meetmethoden

Het debiet werd bepaald uit het drukverschil tussen de binnen- en de buitenzijde van een bochtstuk in het leidingsysteem. Dit drukverschil werd aan debietmetingen met micromolens gecorreleerd. De waterdiepte werd gemeten met een peilnaald. De gemiddelde stroomsnelheid werd bepaald uit  $\bar{v} = \frac{Q}{Bh_0}$  waarin  $Q = \text{debiet in m}^3/\text{s}$ ,  $B = \text{breedte van de goot}$  en  $h_0 = \text{waterdiepte ten opzichte van de bodem aan het einde van de verdediging}$ . De ontgrondingen werden gemeten met behulp van een echolood dat bevestigd was aan een meetwagen die horizontaal en evenwijdig aan de gootas langs rails kon worden voortbewogen. Een printapparaat dat aan het echolood verbonden was gaf in één dwarsraai 17 aangepeilde punten. De ontgrondingen werden gemeten op vaste afstanden vanaf het einde van de verdediging op  $x = 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 65, 80, 100, 125 \text{ cm}$  en verder om de 25 cm afhankelijk van de lengte van de ontgrondingskuil en wel steeds op 17 punten in één dwarsraai. De opgegeven ontgrondingen zijn steeds de

gemiddelden van één dwarsraai. Aan het einde van iedere proef werden op 3 plaatsen aan het einde van de verdediging snelheidsvertikalen en de bijbehorende standaardafwijkingen met behulp van een micromolen en een analoge computer bepaald. Tevens zijn de snelheidsmetingen op de magnetische band vastgelegd. De opgegeven snelheidsvertikalen en standaardafwijkingen zijn steeds de gemiddelden van de 3 vertikalen. De getransporteerde polystyreenkorrels werden door middel van roterende trommels en daaropgerichte waterstralen via een afvoergoot naar de opvangbak gevoerd.

### 3. PROEVEN

#### 3.1. Overzicht van de proeven

De stroomsnelheden zijn voor iedere serie proeven zodanig gekozen dat de aanzethelling van de ontgrondingskuil gedurende een niet al te lange tijd zijn evenwichtstoestand bereikte. Dit is gedaan om de nadelige gevolgen tengevolge van onderbreking van proeven, waarin polystyreenkorrels als ontgrondingsmateriaal worden gebruikte, te vermijden (o.a. het inzakken van de kuil). De ingestelde stroomsnelheid werd bepaald uit  $\bar{v} = Q/Bh_0$ . Aanvankelijk werden voor iedere situatie 2 snelheden toegepast. Nadat bleek dat de bijbehorende aanzethellingen telkens dezelfde waren, werd bij de laatste serie slechts 1 snelheid gebruikt.

De proeven zijn, ingedeeld naar de toegepaste damhoogten, in 3 series uitgevoerd. De waterdiepte  $h_0$  bedroeg 0,40 m, de lengte van de verdediging was  $L = 10 h_0$  en de bodemruwheid was  $k = 0,025 h_0$ .

De eerste serie proeven betrof de situatie zonder dam. Daarin werden de volgende gevallen onderzocht:

a. de matig-ruwe verdediging welke diende als referentie toestand.

(Voor de betekenis van het begrip matig-ruw zie informatie M847-II.)

b. variatie in het gladde gedeelte l aan het einde van de verdediging in combinatie met de variatie in het gladde gedeelte m. Op de plaats van de dam was eveneens geen ruwheid aangebracht.

c. variatie in het gladde gedeelte l bij een onregelmatige beëindiging van de verdediging, waarin houten latten van 2 x 4 x 20 cm op onderlinge afstand van 20 cm tegen het einde van de verdediging waren aangebracht ter simulering van uitvoeringsfouten in het prototype.

d. gladde bodemverdediging.

Geval d is toegevoegd omdat dit een ongunstig effect op de vorming van de ontgrondingskuil zou geven, zodat het bij de beoordeling als bovengrens zou kunnen dienen.

Uit de proeven bleek inderdaad dat geval d met een gladde verdediging de steilste aanzethelling (1:3,1) gaf. De bijbehorende turbulentie intensiteit was klein ( $r \approx 0,04$ ) en de bijbehorende bodemsnelheid was relatief groot. Het geval met een onregelmatige beëindiging had hetzelfde effect als de matig-ruwe verdediging. Het meest gunstige was het geval waarin het gladde gedeelte m aanwezig was. De aanzethellingen waren

hierbij 1:4,8 en 1:5,4 voor respectievelijk  $l_1$  en  $l_0$ , terwijl de helling bij de matig-ruwe verdediging 1:4,5 was. Daarbij waren de turbulentie intensiteiten in orde van grootte gelijk ( $r \approx 0,07-0,08$ ).

De tweede serie proeven betrof de situatie met een lage dam van  $D = 0,3 h_0$ . De dam is voor de ruwe verdediging ruw en voor de gladde verdediging glad uitgevoerd. De uitgevoerde varianten waren gelijk aan die in serie 1. Uit de proeven blijkt dat het geval met  $m_1$  het gunstigste was. Een onregelmatige beëindiging had geen invloed op het effect en de gladde verdediging gaf weer de meest ongunstige kuilvorm.

De derde serie proeven betrof de situatie met een hoge dam van  $D = 0,6 h_0$ . Hierin werden de gevallen a, b en d onderzocht. Uit de proeven blijkt weer het geval met  $m_1$  het beste effect te geven.

De meetresultaten zijn gegeven in de tabellen I t/m III en weergegeven in de figuren 2 t/m 12. De grootheden  $\cotg/\beta$ ,  $\cotg \gamma$  en T zijn gedefiniëerd in figuur 13. In figuur 14 zijn weergegeven het verband  $T - D/h_0$  en het verband  $\cotg/\beta - D/h_0$ . De doorgetrokken lijn heeft betrekking op de situatie met een matig-ruwe verdediging die als vergelijkingsbasis genomen is voor de vorming van de ontgrondingskuil. Voor het verloop van deze relaties zijn de punten ontleend uit vroegere metingen van M 847 <sup>2D</sup> die uitgevoerd waren met  $L = 8 h_0$  toegevoegd.  $T_{\max}$  werd bereikt bij  $D = 0,8 h_0$ . Daarbij was de aanzethelling maximaal en bedroeg 1:2 $\frac{1}{2}$ . De streeplijnen hebben betrekking op de situatie met een gladde verdediging. De bijbehorende aanzethellingen zijn voor alle situaties met een gladde verdediging groter dan die in de andere gevallen, terwijl dit bij de T waarden niet het geval is. Dit kan mede het gevolg zijn van het feit dat bij de andere gevallen de ontgronding direct na de rand van de bodembescherming al een eindige waarde heeft, wat niet het geval was bij de situatie met de gladde verdediging. In figuur 15 zijn de waarden van figuur 14 gegeven ten opzichte van de waarden voor de toestand zonder dam, aangeduid met  $T_0$  respectievelijk  $\cotg/\beta_0$ . De waarde van  $\gamma$  werd weinig beïnvloed door de ruwheidsvariaties en is verder niet gebruikt.

### 3.2. Aanduiding van de proeven

Voor het overzicht zijn de proeven aangeduid als volgt:

- $S_0 m_0 l_0$  30 heeft betrekking op de serie proeven  $S_0$  zonder dam ( $D = 0 \cdot h_0$ ) met gladde gedeelten  $m_0 (= 0 \cdot h_0)$  en  $l_0 (= 0 \cdot h_0)$  met  $\bar{v} = Q/Bh_0 = 30$  cm/s.
- $S_1 m_1 l_1$  24 heeft betrekking op de serie proeven  $S_1$  met dam ( $D = 0,3 h_0$ ) met gladde gedeelten  $m_1 (= 5 h_0)$  en  $l_1 (= \frac{1}{2} h_0)$  met  $\bar{v} = 24$  cm/s.
- $S_2 m_1 l_2$  16 heeft betrekking op de serie proeven  $S_2$  met dam ( $D = 0,6 h_0$ ) met gladde gedeelten  $m_1 (= 5 h_0)$  en  $l_2 (= 1,0 h_0)$  met  $\bar{v} = 16$  cm/s.
- $S_1$  glad 18 heeft betrekking op de serie proeven  $S_1$  met dam ( $D = 0,3 h_0$ ) met gladde dam en verdediging met  $\bar{v} = 18$  cm/s.

Voor de proeven met een onregelmatige verdediging is achter de proef-aanduiding een index A toegevoegd.



## 4. MEETRESULTATEN

### 4.1. Tabellen

De tabellen I, II en III bevatten de resultaten van de proeven respectievelijk van  $S_0$ ,  $S_1$  en  $S_2$ . De gegeven waarden hebben betrekking op het tijdstip  $t = 0,2 t_1$ ;  $t_1$  is de waarde van  $t$  waarop  $h_{\max} = h_0$ . De relatieve turbulentie intensiteit is bepaald uit  $r = \frac{\sum \zeta}{\bar{v}}$ , waarin  $\zeta =$  de standaardafwijking van de snelheid en  $\bar{v}$  middeling over de vertikaal aanduidt.

### 4.2. Tijd-ontgrondingslijnen

De tijd-ontgrondingslijnen zijn gegeven in de figuren 1a t/m 12a. Voor het merendeel van de proeven geldt ook hier de betrekking uit de informaties van M 648:  $h_{\max}/h_0 = (t/t_1)^\lambda = 0,38$  [1]. Een uitzondering echter geeft de toestand  $S_0$ . Aan het begin van de proeven was de exponent  $\lambda > 0,38$ . In een later stadium paste deze zich weer goed bij  $\lambda = 0,38$  aan. Voor de bepaling van de waarden van  $t_1$  is voor deze serie een raaklijn volgens betrekking [1] aan de optredende ontgrondingslijn getrokken.

Bij de serie proeven  $S_0$  is de invloed van de gladde gedeelten l en m op de  $t_1$  waarden niet waar te nemen. Voor de bepaling van de  $t_1$  tijden is hier dan één raaklijn volgens betrekking [1] getrokken. Een geringe afwijking is echter wel gevonden bij het geval met een onregelmatige beëindiging waar een iets grotere  $t_1$  is gevonden.

Bij de serie proeven  $S_1$  is de invloed van l op  $t_1$  eveneens niet waar te nemen. Zeer geringe invloed is gevonden bij de proeven met l gecombineerd met  $m_1$  en bij het geval met een onregelmatige beëindiging.

Bij de serie proeven  $S_2$  is er wel enige invloed te constateren van de variatie in l en m op de  $t_1$  waarden.

### 4.3. Snelheidsverdelingen

De snelheidsverdelingen in  $x = 0$  met de bijbehorende  $\zeta$  verdeling zijn gegeven in de figuren 2b t/m 12b. Uit vergelijkingen van de snelheidsprofielen en de bijbehorende  $\zeta$  waarden in de serie proeven  $S_0$

waarin variaties in  $l$  en  $m$  zijn toegepast blijkt dat de profielen identiek van vorm en grootte zijn. De bijbehorende aanzethellingen en kuilvorm echter vertonen een geringe afwijking. Hetzelfde geval is geconstateerd door vergelijking van de proeven in de series  $S_1$  en  $S_2$ , waarin  $l$  en  $m$  eveneens zijn gevariëerd. In het algemeen is de turbulentie intensiteit  $r$  in een serie vrijwel constant. Voor  $S_0$  was  $r \approx 7\%$ , voor  $S_1$   $r \approx 14\%$  en voor  $S_2$   $r \approx 22\%$ . De invloed van de snelheidsverdelingen en de bijbehorende  $\sigma$  verdeling, bepaald door de variatie in de damhoogten op de aanzethelling, en op de kuilvorm is niet gering. Uit deze vergelijking blijkt dat voor de steilheid van de aanzethelling en voor de lengte van de ontgrondingskuil niet alleen het snelheidsprofiel van belang is, maar dat ook de turbulentie een belangrijke rol heeft gespeeld, mede doordat verhoging van de turbulentie intensiteit meer aanval van wervels op het talud met zich meebrengt.

#### 4.4. Aanzethelling en kuilvorm

De aanzethelling en kuilvorm voor  $t = 0,2 t_1$  zijn gegeven in de figuren 2c en d  $t/m$  12c en d. De punten op de aanzethelling van de kuil bleven in het algemeen na  $t = 0,1 t_1$  vrijwel constant, zodat de aanzethelling na  $t = 0,2 t_1$  als evenwichtshelling mocht worden beschouwd. De aanzethelling is uitgedrukt in  $\cotg \beta$ . De beginpunten van de aanzethellingen aan het einde van de verdediging echter waren in het algemeen niet constant, zodat voor de karakterisering van eventuele invloeden op de stabiliteit van de bodembescherming bij gebruik van  $\cotg \beta$  alleen niet zo zinvol is. Daarom is ook een andere grootte gebruikt namelijk de relatieve hoeveelheid geërodeerd materiaal in een redelijk gekozen gebied. Hiervoor is genomen het gedeelte van de ontgroning tot een afstand  $x = h_0$  met een diepte  $z = h_0$  op het tijdstip  $t = 0,2 t_1$ . De parameter is gedefinieerd door  $T = O/h_0^2$  waarin  $O$  = oppervlak begrensd door de bovenstroomse kuil, de oorspronkelijke bodem en  $x = h_0$ . Voor de beoordeling van de stabiliteit van de verdediging is ook gebruikt een derde grootte die is aangeduid met  $\cotg \delta = x_{\max}/h_{\max}$  bij een bepaalde ontgrondingstijd. De opgegeven waarden van  $\cotg \delta$  zijn bepaald voor  $t = 0,2 t_1$ . Voor de definitie van  $\cotg \beta$ ,  $\cotg \delta$  en  $T$  zie figuur 13.

#### 4.5. Dwarsprofielen in $x_{\max}$

De dwarsprofielen in  $x_{\max}$  voor  $t = 0,2 t_1$  zijn weergegeven in de figuren 2e t/m 12e. Daarin zijn uitgezet  $h/h_{as}$  tegen  $Y/B$  waarin  $Y =$  afstand in dwarsrichting vanaf de linkerwand van de goot en  $B =$  de breedte van de goot. Uit de proeven blijkt dat de dwarsprofielen vrij willekeurig van karakter waren. Uit vergelijkingen van de dwarsprofielen voor de verschillende damhoogten blijkt dat bij de situatie zonder dam aanzienlijke verschillen in ontgrondingen zijn waar te nemen, terwijl bij de situatie met damhoogte  $D = 0,6 h_0$  de ontgrondingen wat regelmatigiger waren.

## 5. SAMENVATTING EN CONCLUSIES

Voor het bepalen van de invloed van de verdediging op de ontgrondingskuil zijn in figuur 14 de waarden van  $T$  en  $\cotg \beta$  uitgezet tegen de damhoogten en in figuur 15 zijn deze waarden uitgezet ten opzichte van respectievelijk  $T_0$  en  $\cotg \beta_0$  uit de matig-ruwe bodemverdediging zonder dam. Hieruit valt het volgende op te merken:

1. het gunstige effect van de ruwheid van de bodembescherming op de vorming van de ontgrondingskuil blijft behouden bij die gevallen waarbij een gedeelte aansluitend aan de drempel glad wordt uitgevoerd. Zie de gevallen  $m_0 l_0$  en  $m_1 l_0$ .
2. toepassen van een glad gedeelte aan het einde van de verdediging heeft een nadelige invloed op de kuilvorming.
3. de toegepaste onregelmatige beëindiging aan het einde van de verdediging heeft geen invloed op de kuilvorming.

TABEL I

S <sub>o</sub> - proeven		h <sub>o</sub> = 0,40 m	t = 0,2 t <sub>1</sub>			
verdediging	t <sub>1</sub> uren	r = $\frac{\sum \sigma}{\sum v}$	cotg $\alpha$	cotg $\beta$	T = 0/h <sub>o</sub> <sup>2</sup>	
glad	24	10	0,042	5,9	3,1	0,159
m <sub>o</sub> l <sub>o</sub>	30	11	0,074	10,8	4,5	0,121
m <sub>o</sub> l <sub>1</sub>	30	11	0,086	10,8	3,9	0,148
m <sub>o</sub> l <sub>2</sub>	30	11	0,082	10,3	3,2	0,170
m <sub>1</sub> l <sub>o</sub>	30	11	0,069	14,8	5,4	0,135
m <sub>1</sub> l <sub>1</sub>	30	11	0,070	13,2	4,8	0,151
m <sub>1</sub> l <sub>2</sub>	30	11	0,069	11,1	4,2	0,162
m <sub>o</sub> l <sub>o</sub>	24	47	0,077	14,7	4,5	0,133
m <sub>o</sub> l <sub>1</sub>	24	47	0,084	14,2	3,8	0,152
m <sub>o</sub> l <sub>2</sub>	24	47	0,079	14,3	3,1	0,176
m <sub>1</sub> l <sub>o</sub>	24	48	0,070	13,5	5,4	0,137
m <sub>1</sub> l <sub>1</sub>	24	48	0,071	14,3	4,8	0,150
m <sub>1</sub> l <sub>2</sub>	24	48	0,069	14,5	4,2	0,158
m <sub>o</sub> l <sub>o</sub>	30 <sup>A</sup>	13	0,089	11,1	4,4	0,124
m <sub>o</sub> l <sub>2</sub>	30 <sup>A</sup>	12	0,086	10,2	3,2	0,167

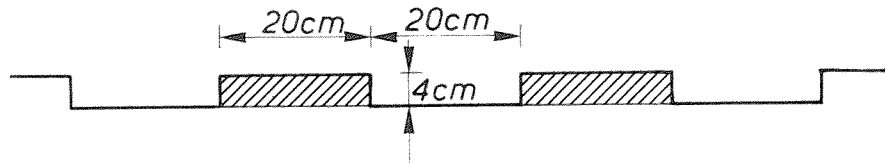
TABEL II

S <sub>1</sub> - proeven		h <sub>o</sub> = 0,40 m	t = 0,2 t <sub>1</sub>			
verdediging	t <sub>1</sub> uren	r = $\frac{\sum \sigma}{\sum v}$	cotg δ	cotg β	T = 0/h <sub>o</sub> <sup>2</sup>	
glad	18	28	9,6	3,7	2,4	0,200
m <sub>o</sub> l <sub>o</sub>	24	9,5	13,4	5,6	3,5	0,193
m <sub>o</sub> l <sub>1</sub>	24	9,5	13,4	5,7	3,1	0,210
m <sub>o</sub> l <sub>2</sub>	24	9,5	13,2	5,5	2,9	0,217
m <sub>1</sub> l <sub>o</sub>	24	8	13,9	5,8	3,6	0,188
m <sub>1</sub> l <sub>1</sub>	24	7,5	14,4	4,5	3,0	0,208
m <sub>1</sub> l <sub>2</sub>	24	7	14,0	4,4	2,8	0,220
m <sub>o</sub> l <sub>o</sub>	18	56	13,7	5,8	3,5	0,184
m <sub>o</sub> l <sub>1</sub>	18	56	14,0	5,6	3,1	0,212
m <sub>o</sub> l <sub>2</sub>	18	56	13,9	5,4	2,9	0,220
m <sub>o</sub> l <sub>o</sub>	24 <sup>A</sup>	10	14,7	5,7	3,4	0,176
m <sub>o</sub> l <sub>2</sub>	24 <sup>A</sup>	8	13,8	5,2	2,7	0,196

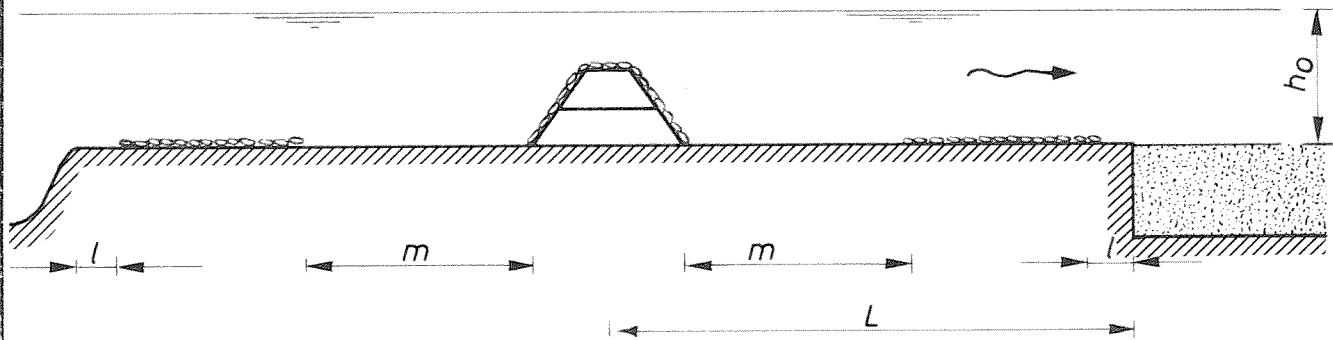
TABEL III

$S_2$ - proeven		$h_0 = 0,40$ m	$t = 0,2 t_1$			
verdediging	$t_1$ uren	$r = \frac{\sum \sigma}{\sum v}$	$\cotg \delta$	$\cotg \beta$	$T = 0/h_0^2$	
glad 16	12	20,5	3,6	2,2	0,240	
$m_0 l_0$ 16	30	21,8	3,6	2,8	0,246	
$m_0 l_1$ 16	23	22,7	3,6	2,6	0,274	
$m_0 l_2$ 16	20	22,2	3,7	2,5	0,282	
$m_1 l_0$ 16	25	22,6	3,7	2,9	0,258	
$m_1 l_1$ 16	20	22,7	3,7	2,5	0,282	
$m_1 l_2$ 16	17	23,1	3,5	2,4	0,289	



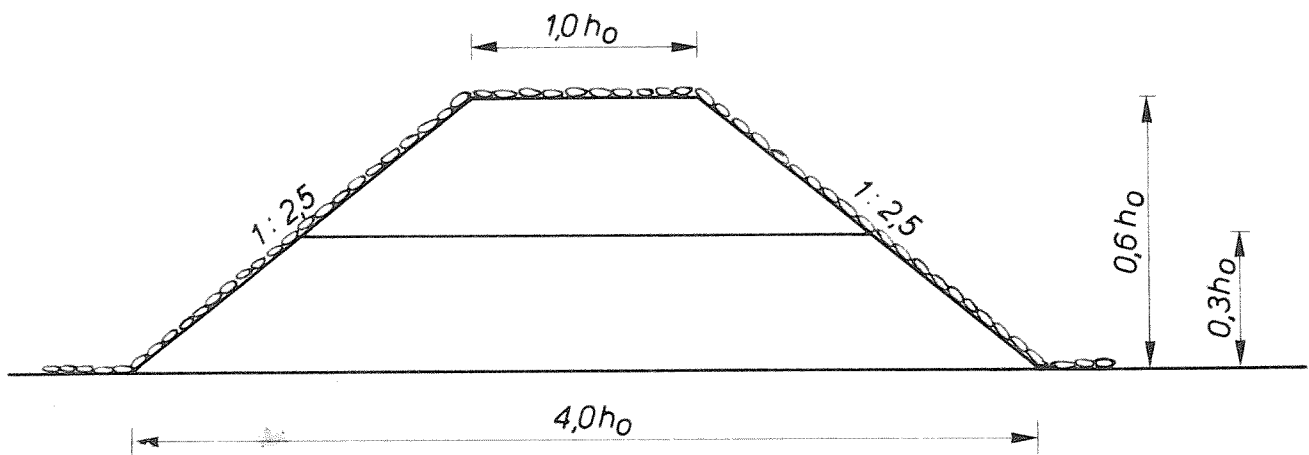


DETAIL ONREGELMATIGE BEËINDIGING  
(PROEVEN MET INDEX A)



OPSTELLING MODEL

$h_0 = 40\text{cm}$



DAMVORM

$h_0 = 40\text{cm}$

OVERZICHT VAN HET MODEL

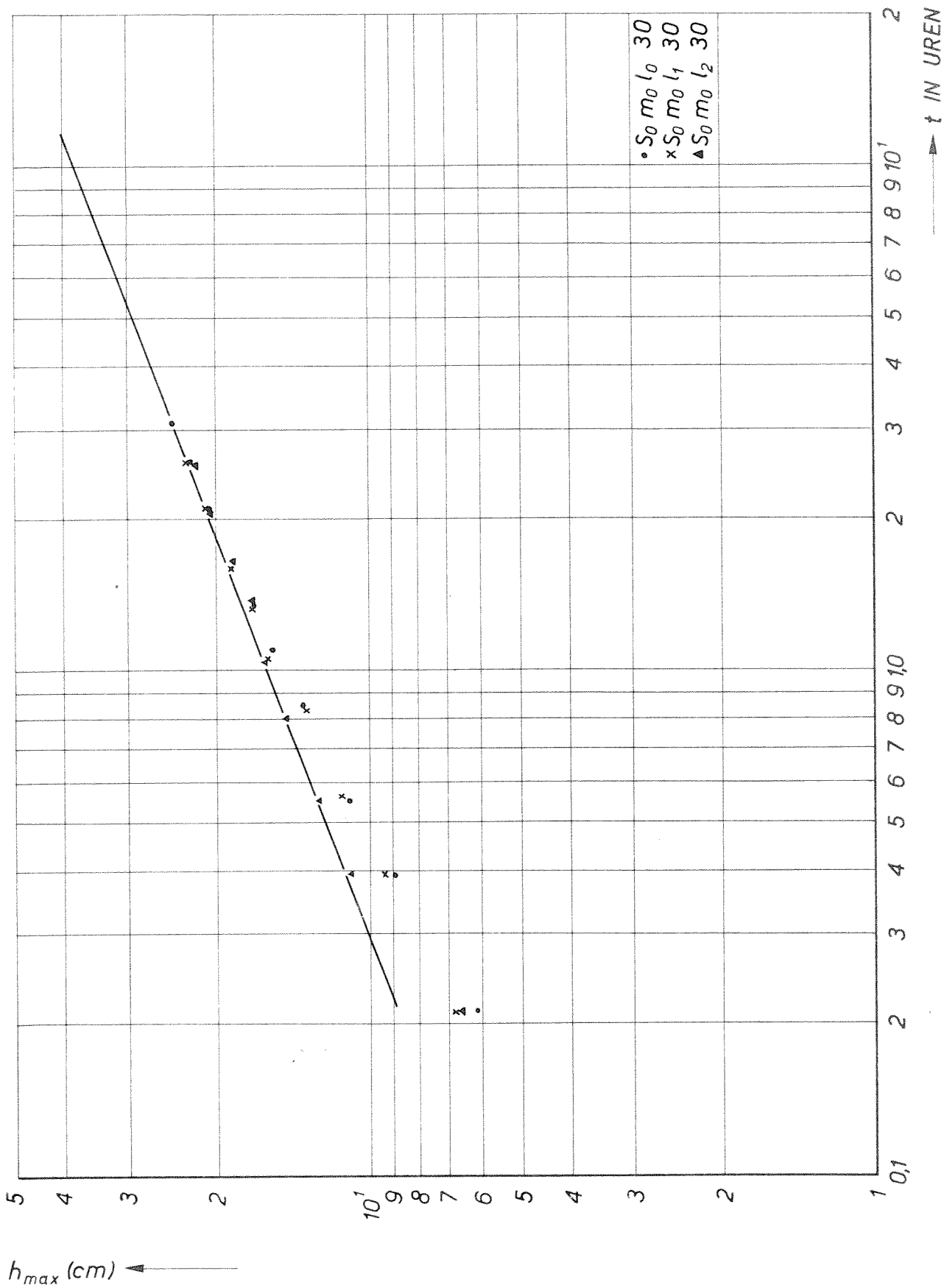
JB

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847 II - 1001

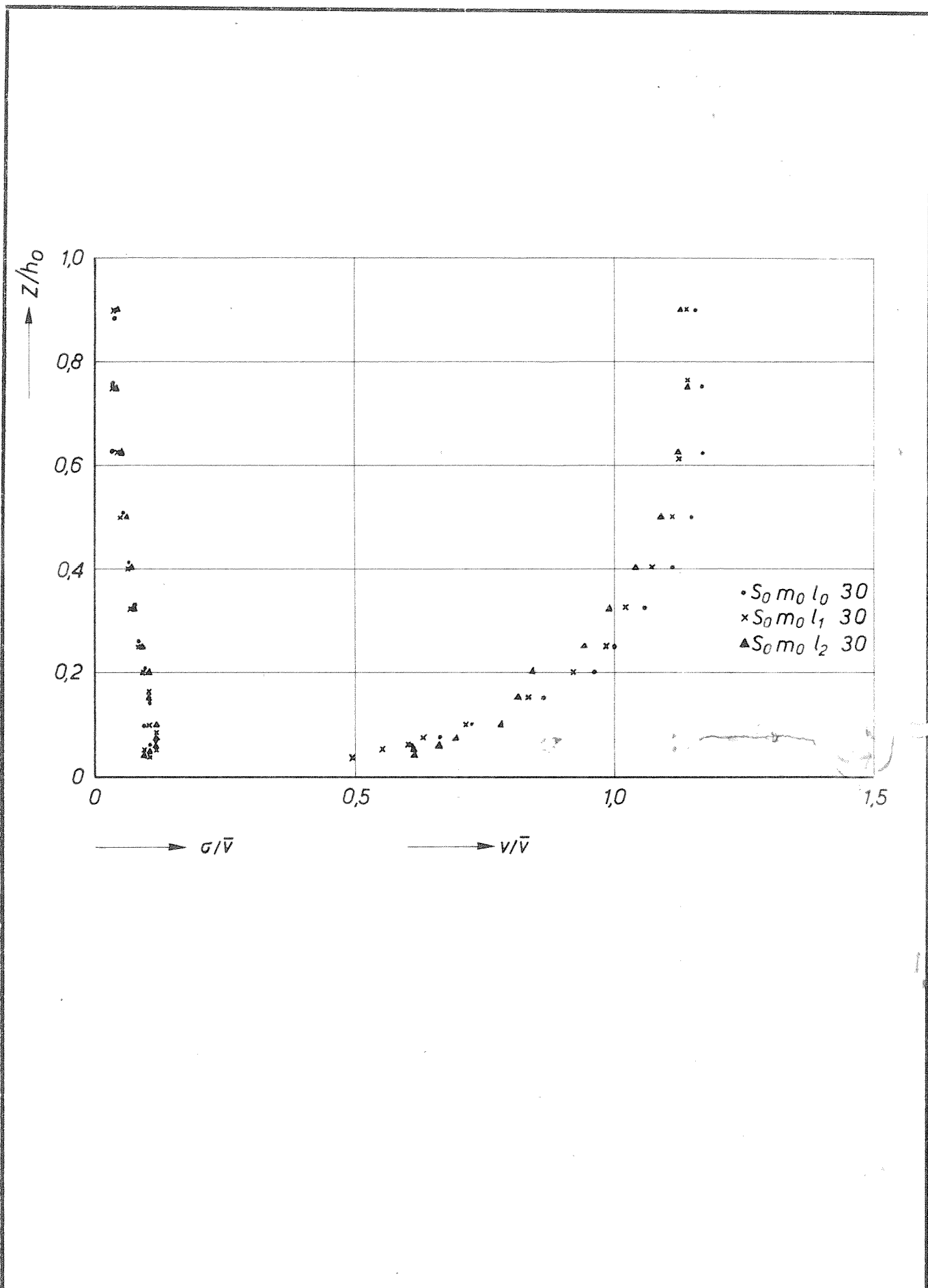
FIG.1



TJD-ONTGRONDINGSLIJNEN

JB

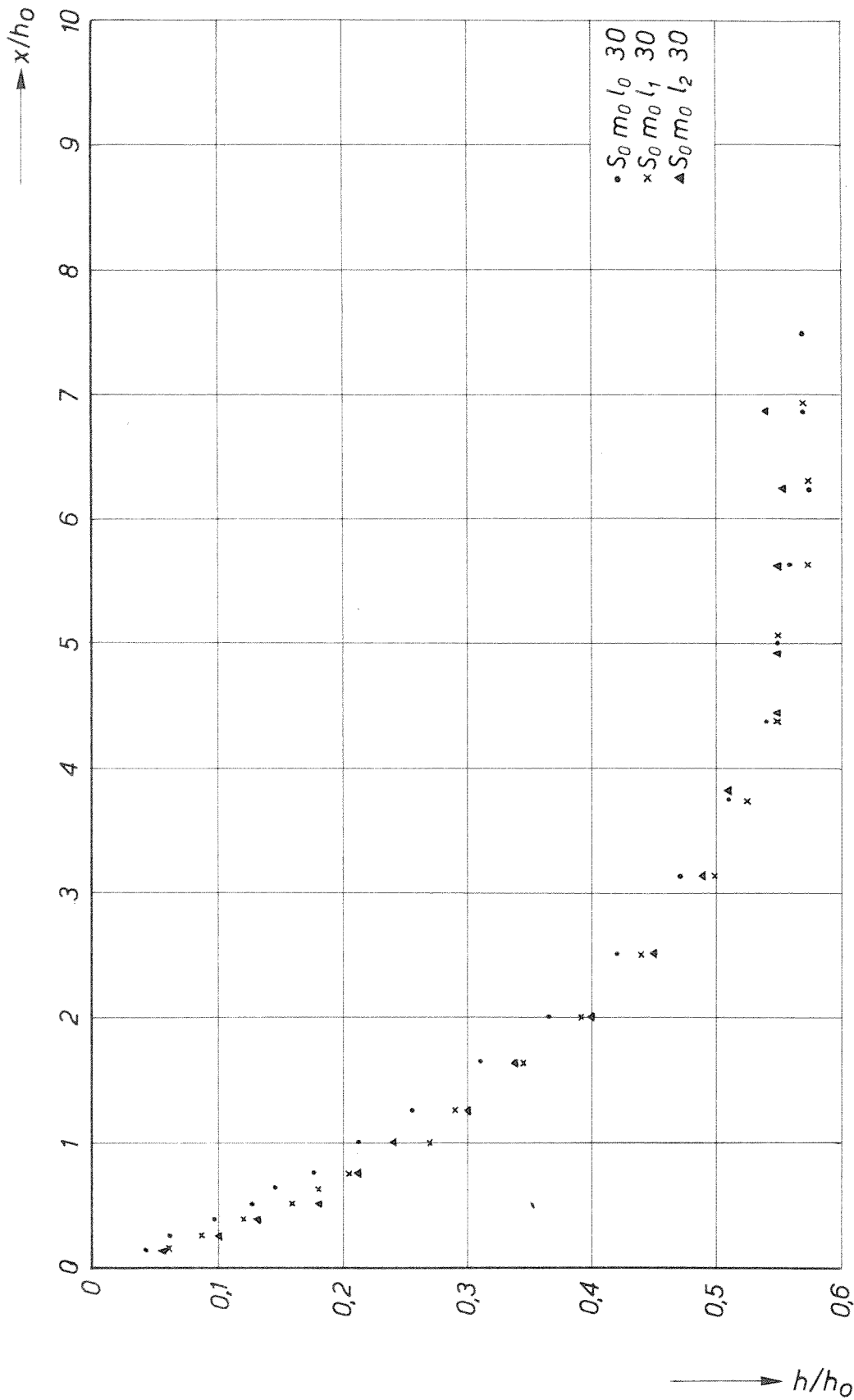
A4



SNELHEIDSVERDELING  $x=0$

JB

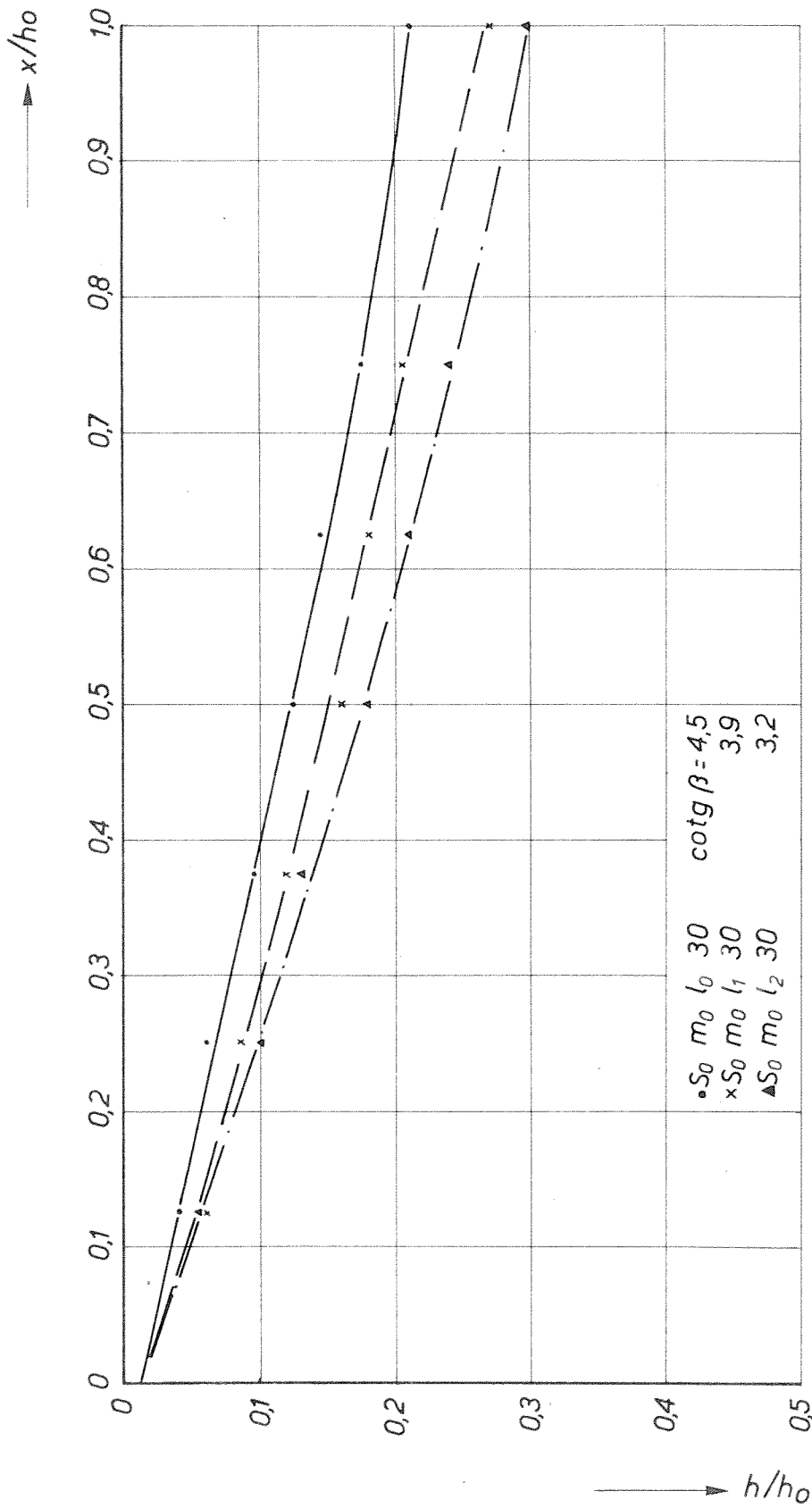
A4



KUILVORM  $t=0,2t_1$

JB

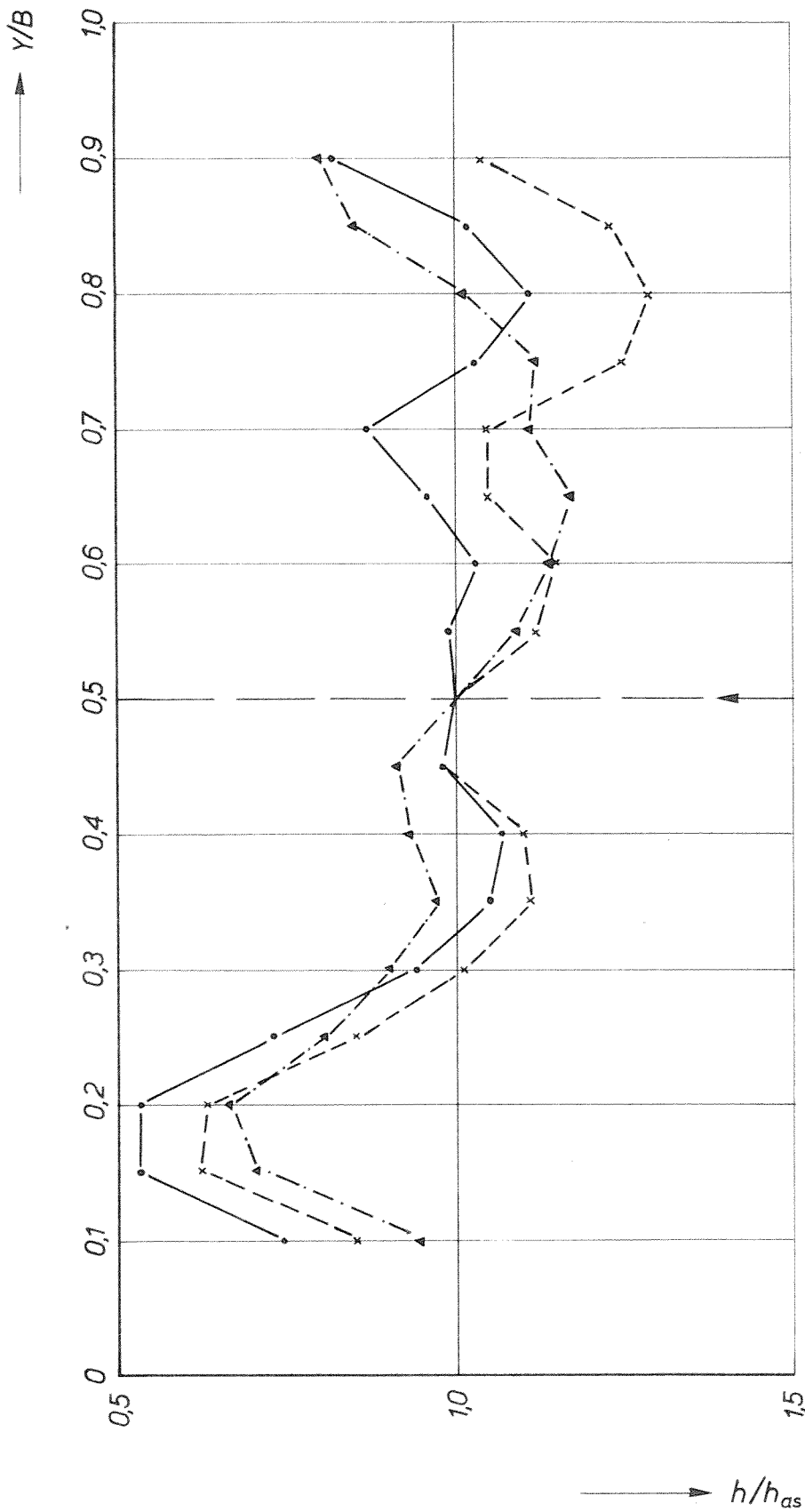
A4



AANZETHELLING

JB

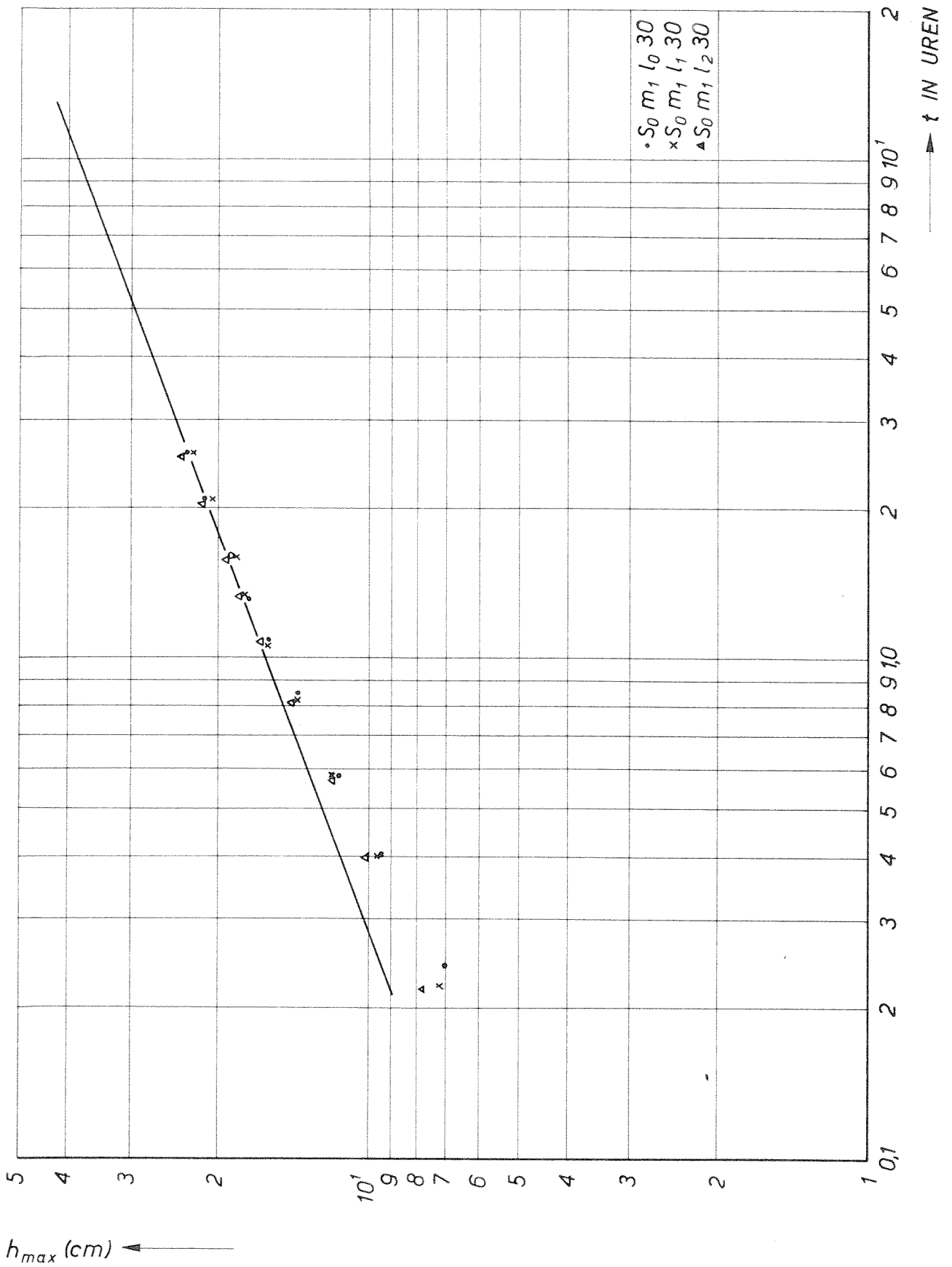
A4



DWARSPROFIELEN IN  $X_{max}$   $t=0,2t_1$

JB

A4

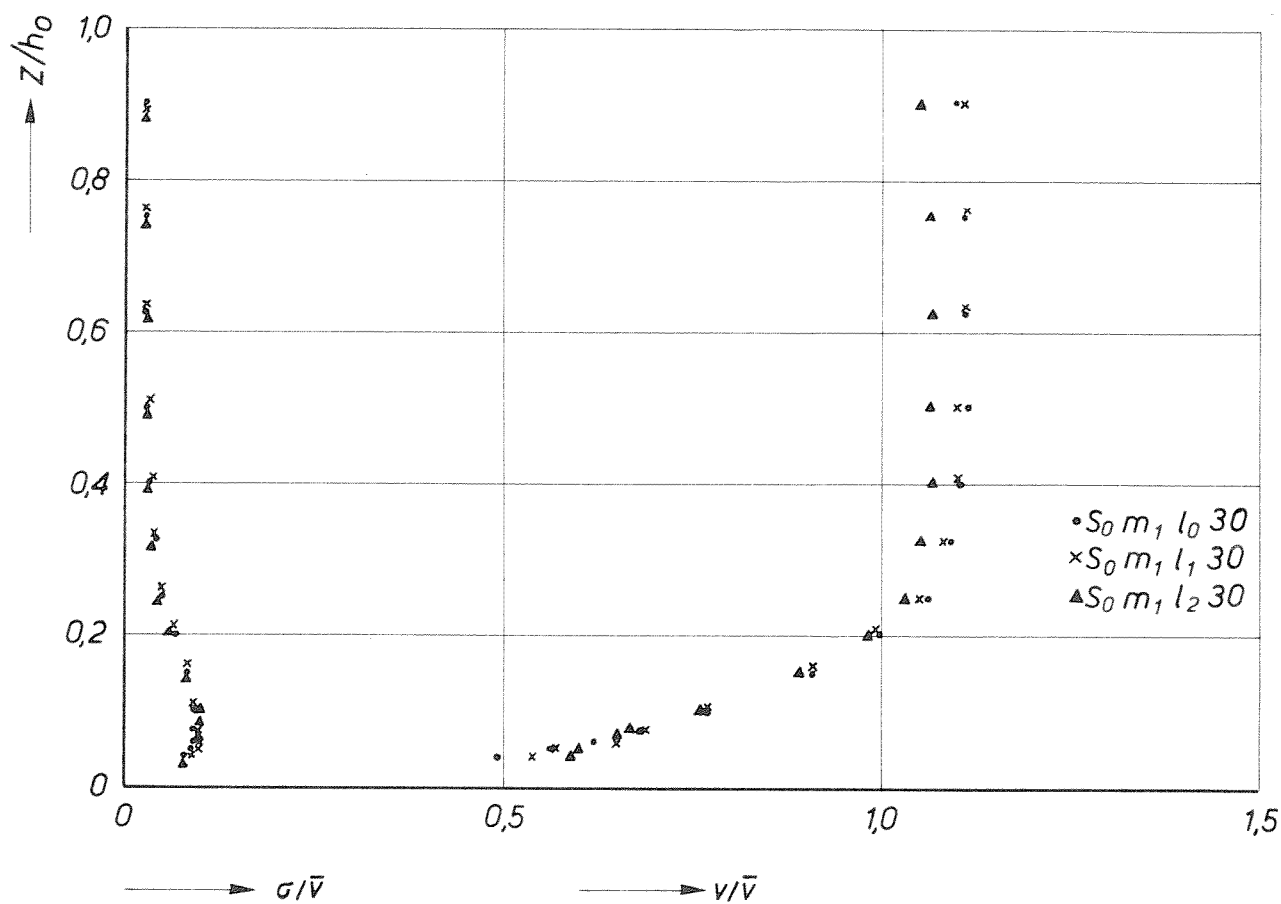


TJD-ONTGRONDINGSLIJNEN

JB

A4

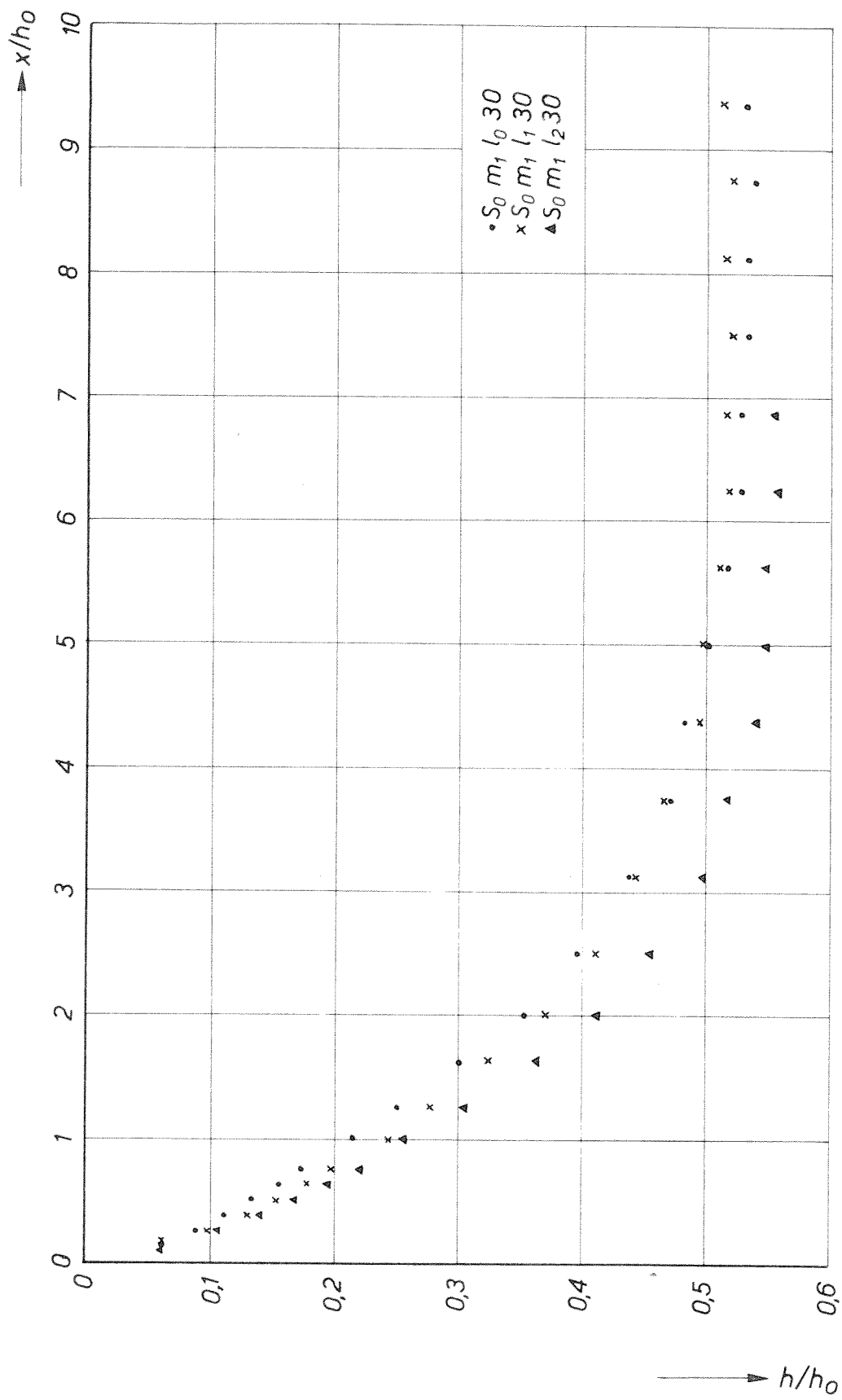




SNELHEIDSVERDELING  $x=0$

JB

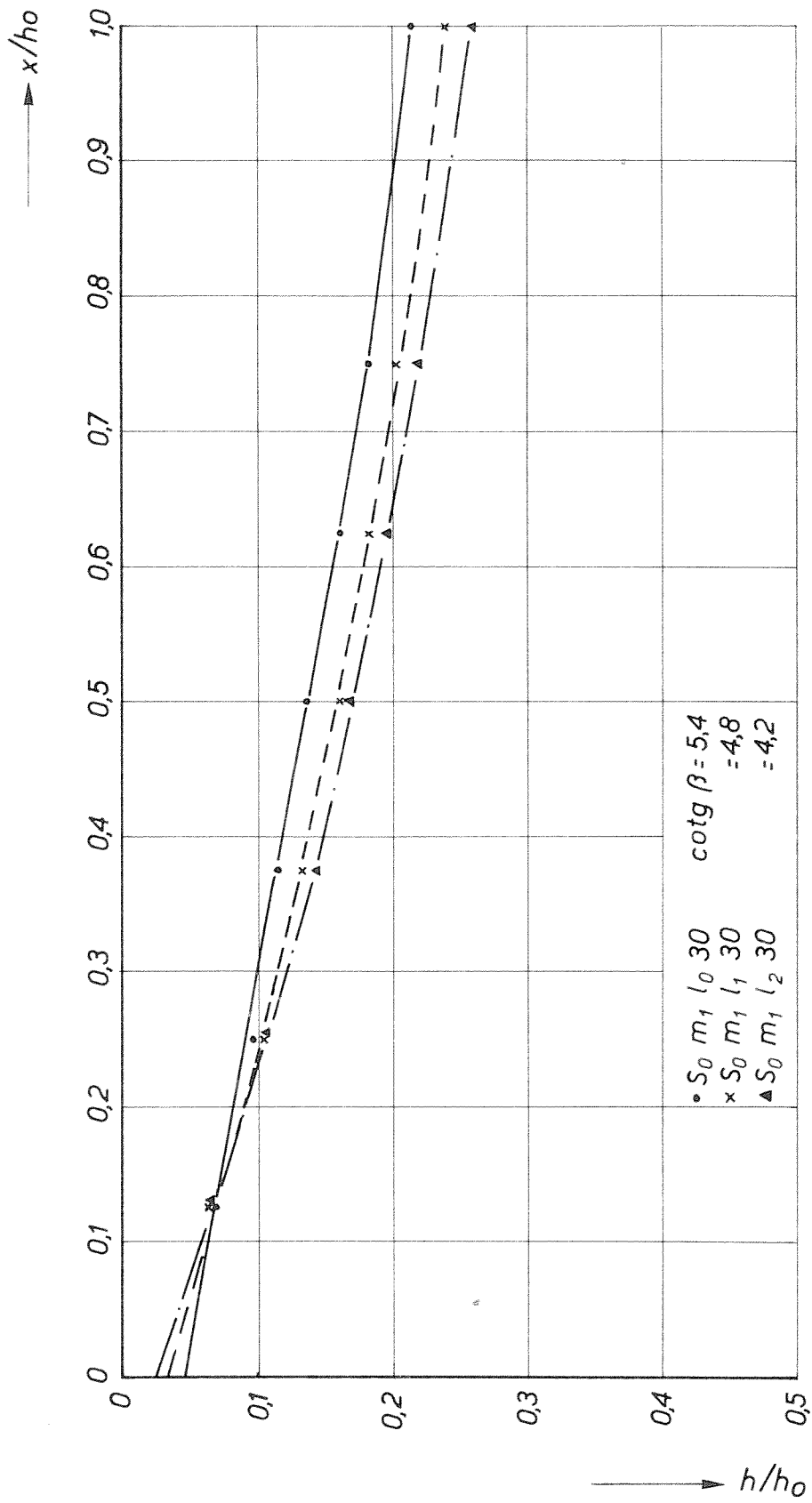
A4



KUILVORM  $t=0,2t_1$

JB

A4

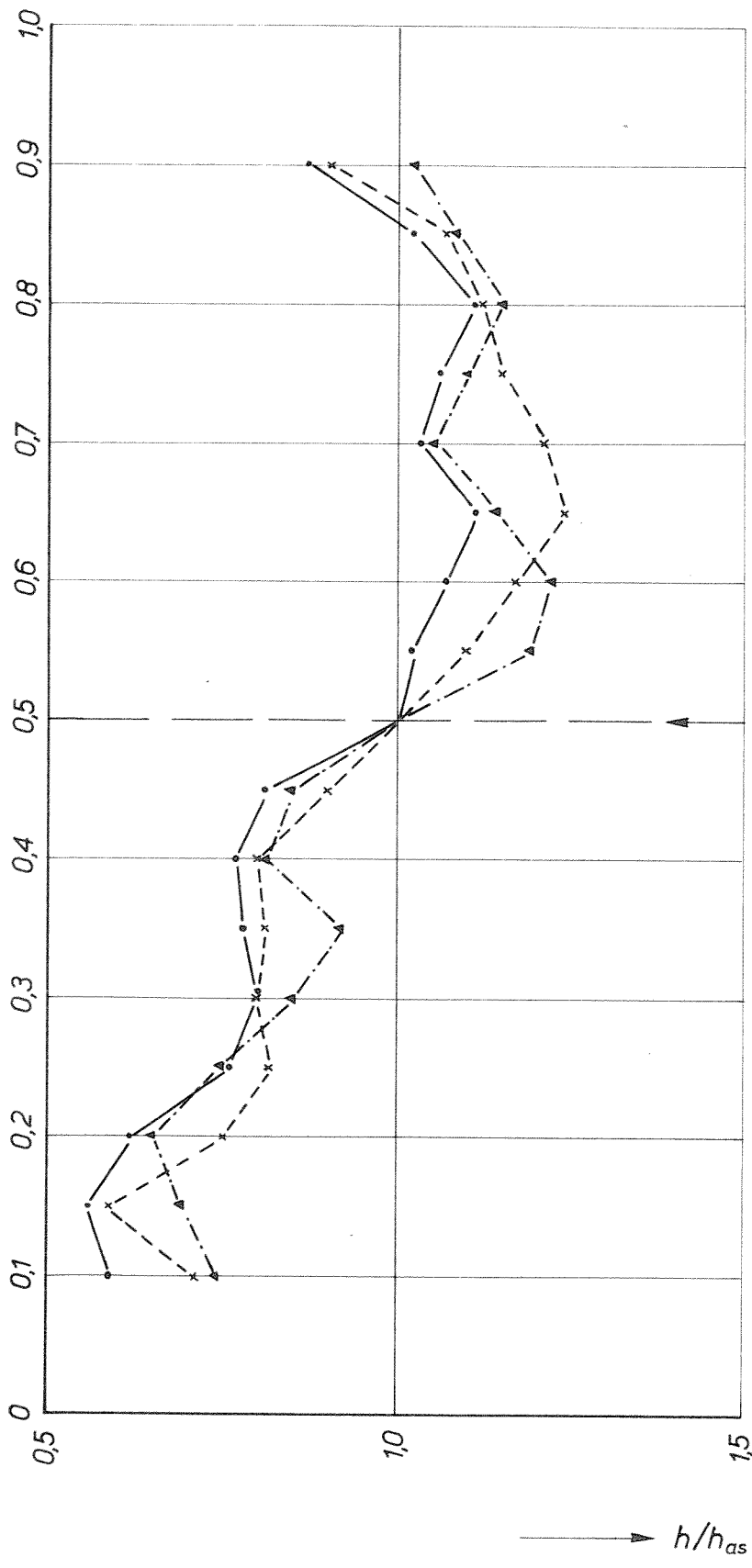


AANZETHELLING

JB

A4

Y/B



$h_{max} = 23,6 \text{ cm}$   
 $= 22,7 \text{ cm}$   
 $= 22,3 \text{ cm}$

$h_{as} = 26,8 \text{ cm}$   
 $= 21,5 \text{ cm}$   
 $= 23,4 \text{ cm}$

$x_{max} = 350 \text{ cm}$   
 $= 300 \text{ cm}$   
 $= 250 \text{ cm}$

●  $S_0 m_1 l_0 30$   
 ×  $S_0 m_1 l_1 30$   
 ▲  $S_0 m_1 l_2 30$

DWARSPROFIELEN IN  $X_{max}$   $t = 0,2 t_1$

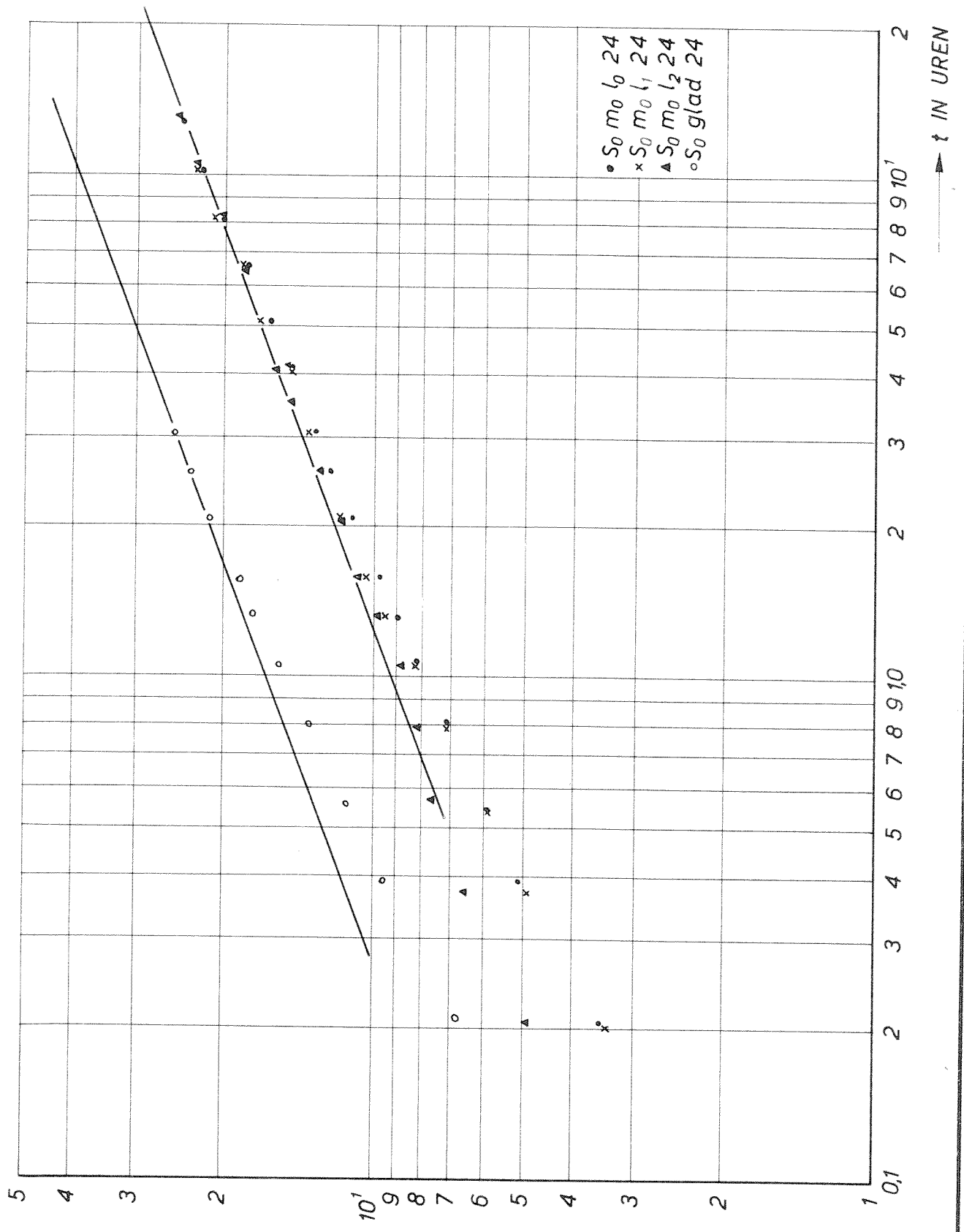
JB

A4

DELFT HYDRAULICS LABORATORY

M.847 II - 1011

FIG.3e



$h_{max}$  (cm) ←

→ t IN UREN

TJD-ONTGRONDINGSLIJNEN

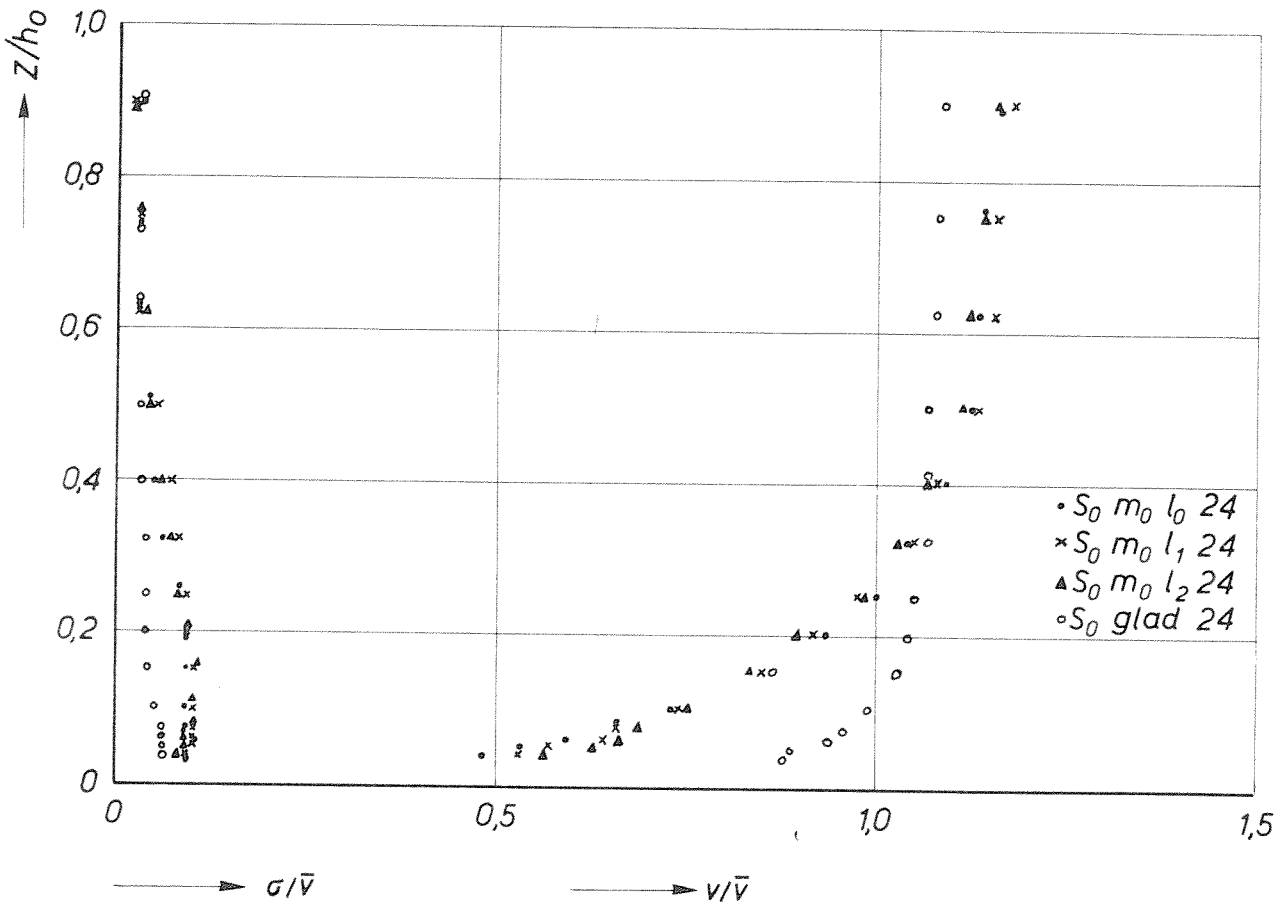
JB

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847 II-1012

FIG.4a



SNELHEIDSVERDELING  $x=0$

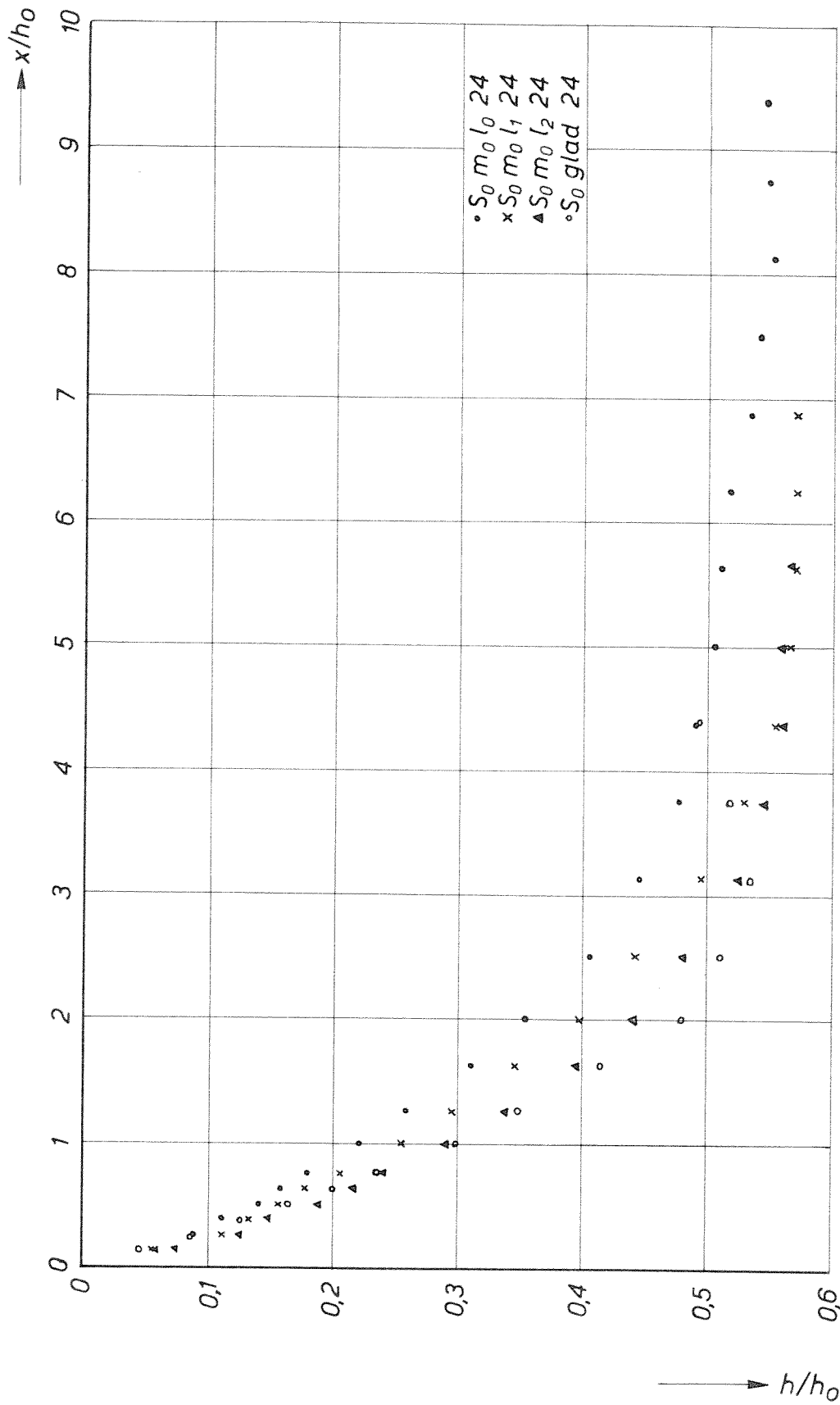
JB

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847II-1013

FIG.4b

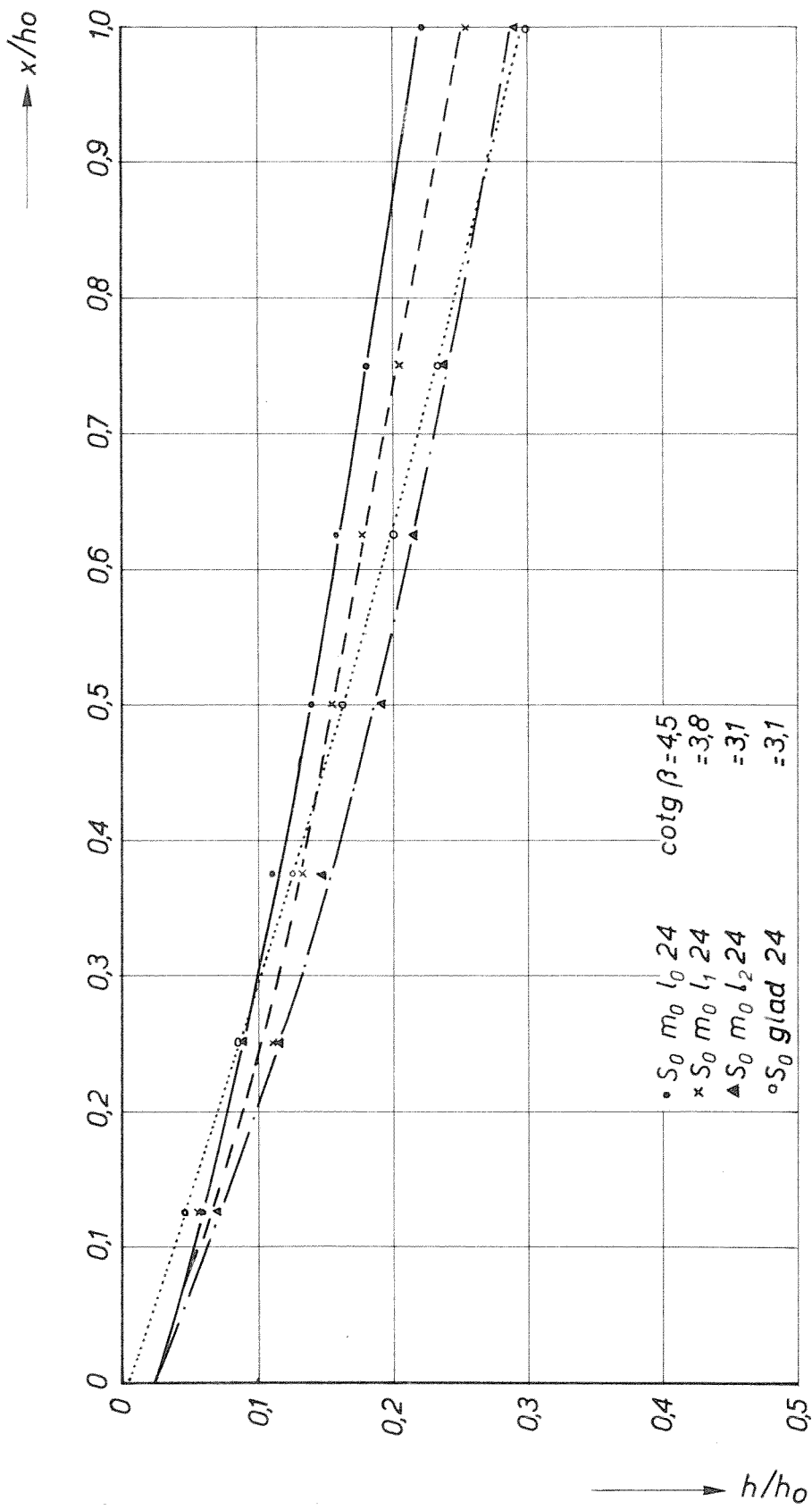


KUILVORM  $t=0,2t_1$

JB

A4

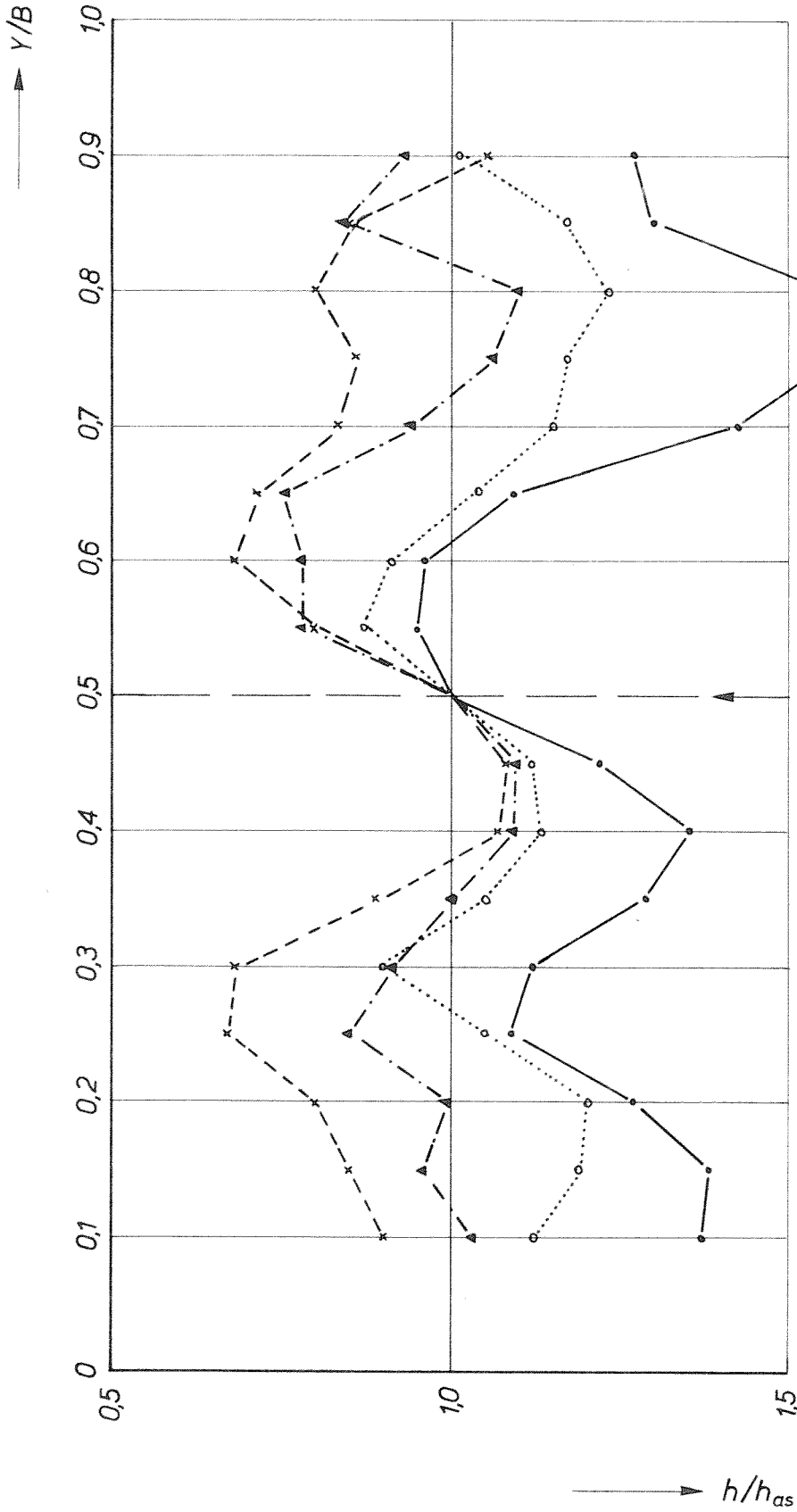




AANZETHELLING

JB

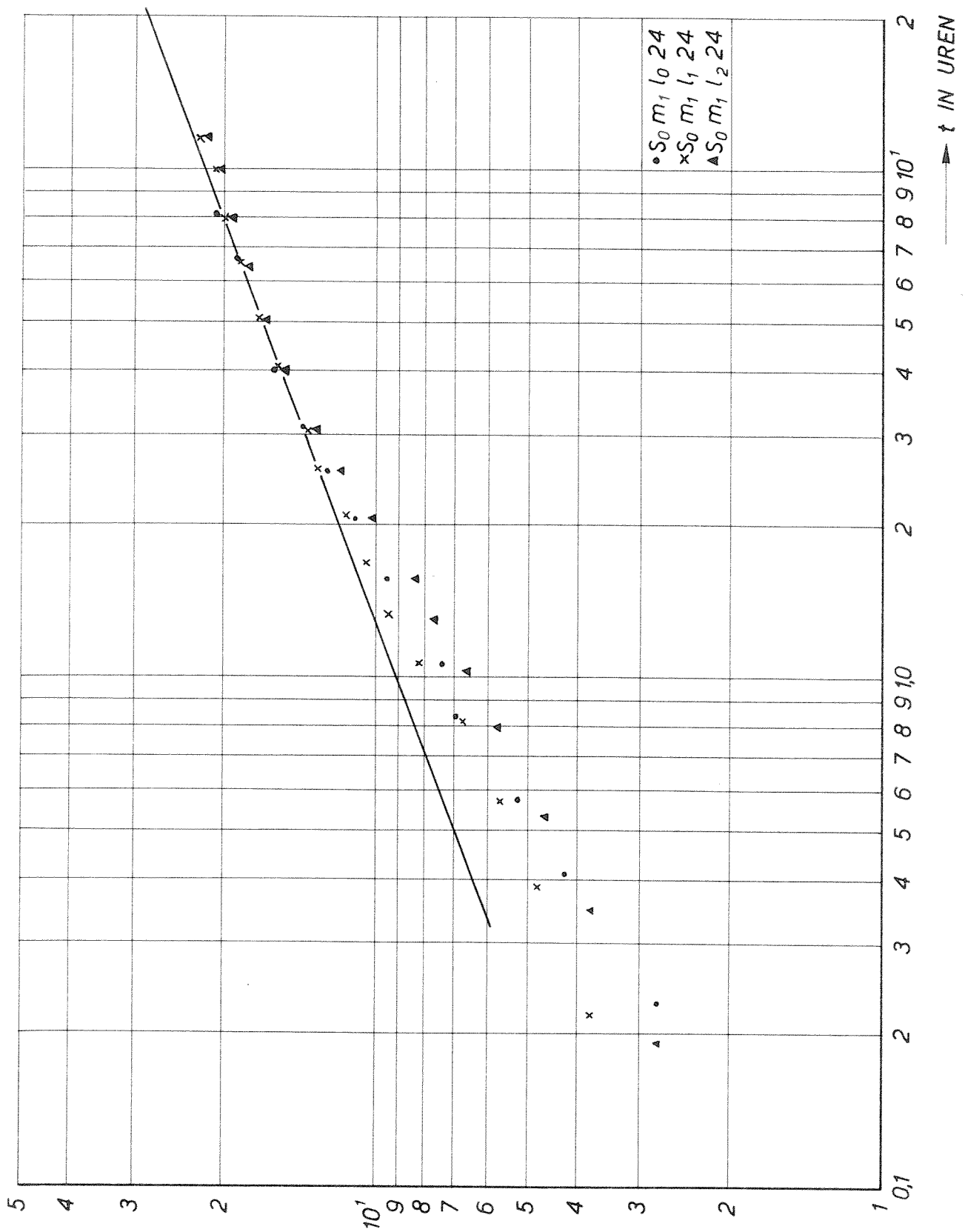
A4



DWARSPROFIELEN IN  $X_{max}$   $t=0,2t_1$

JB

A4



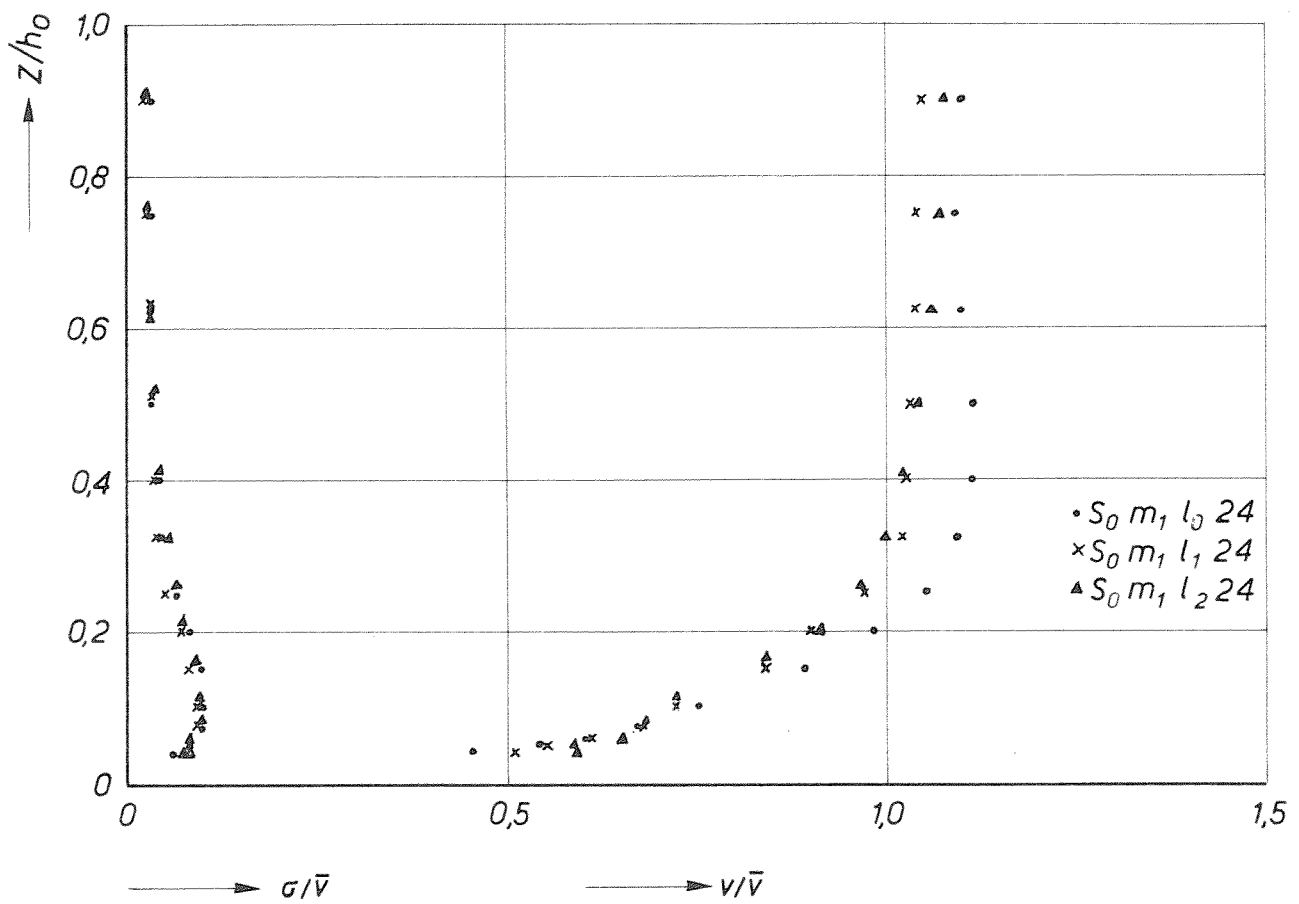
$h_{max}$  (cm)  $\leftarrow$

$t$  IN UREN  $\rightarrow$

TJD-ONTGRONDINGSLIJNEN

JB

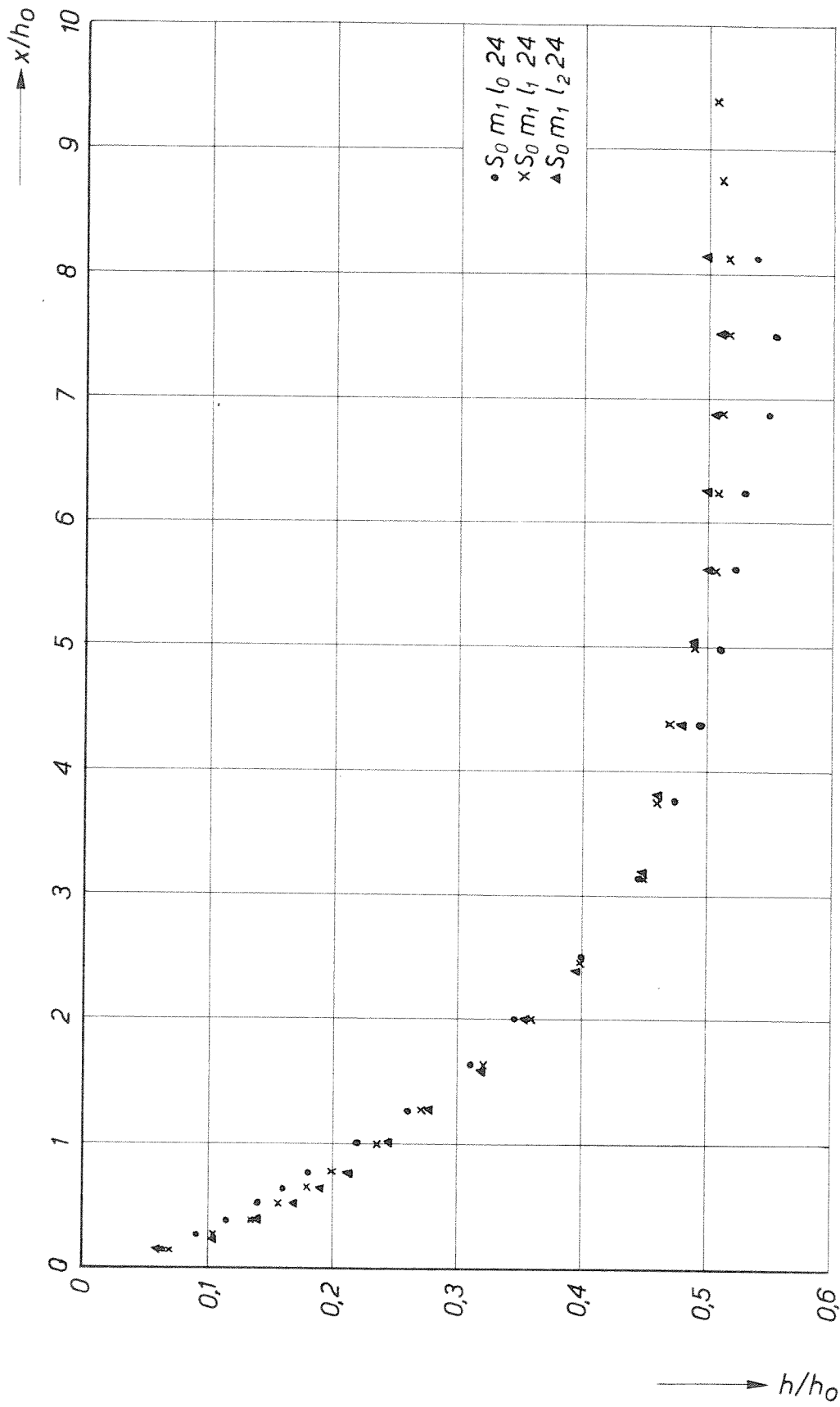
A4



SNELHEIDSVERDELING  $x=0$

JB

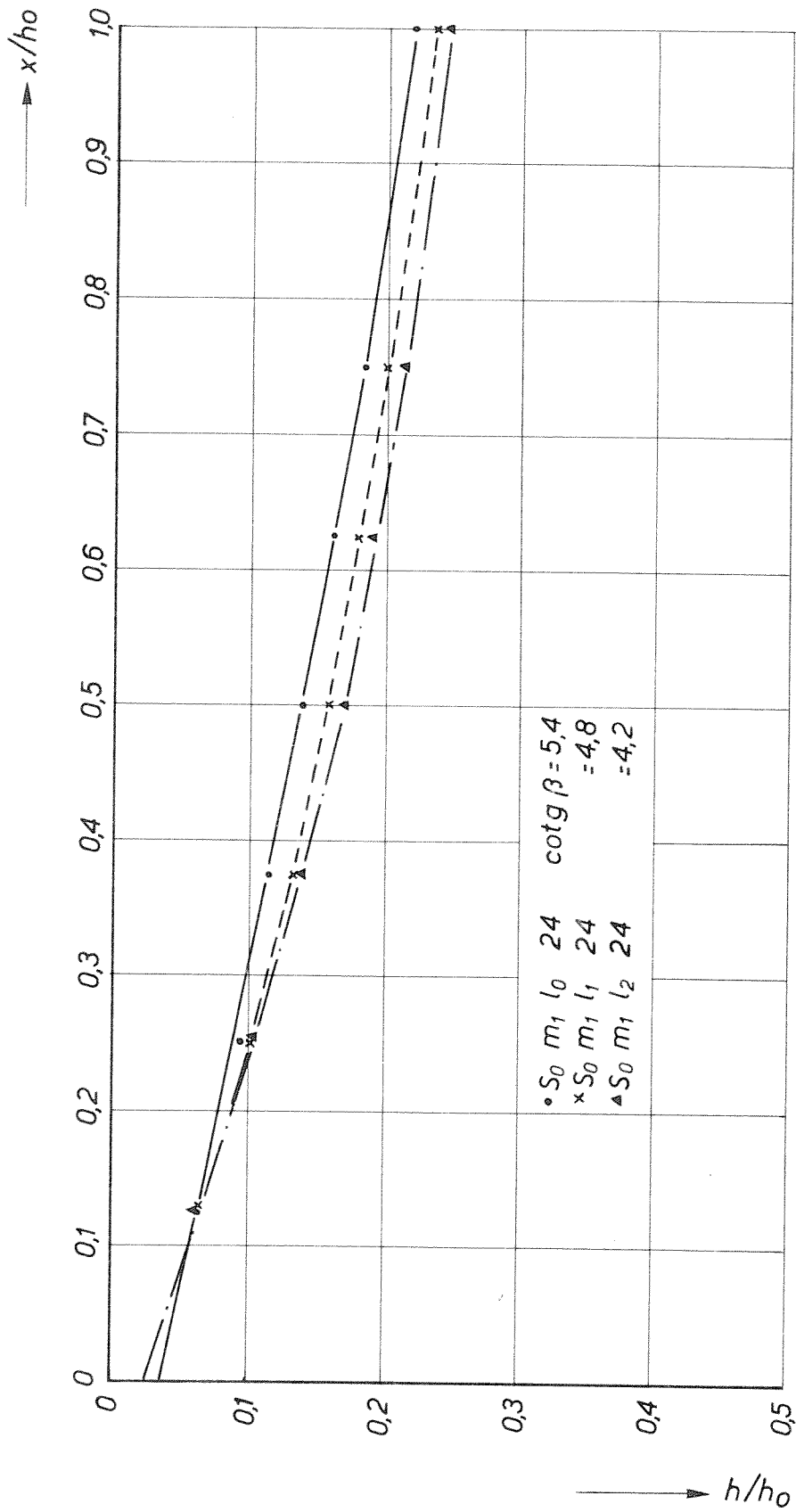
A4



KUILVORM  $t=0,2t_1$

JB

A4



AANZETHELLING

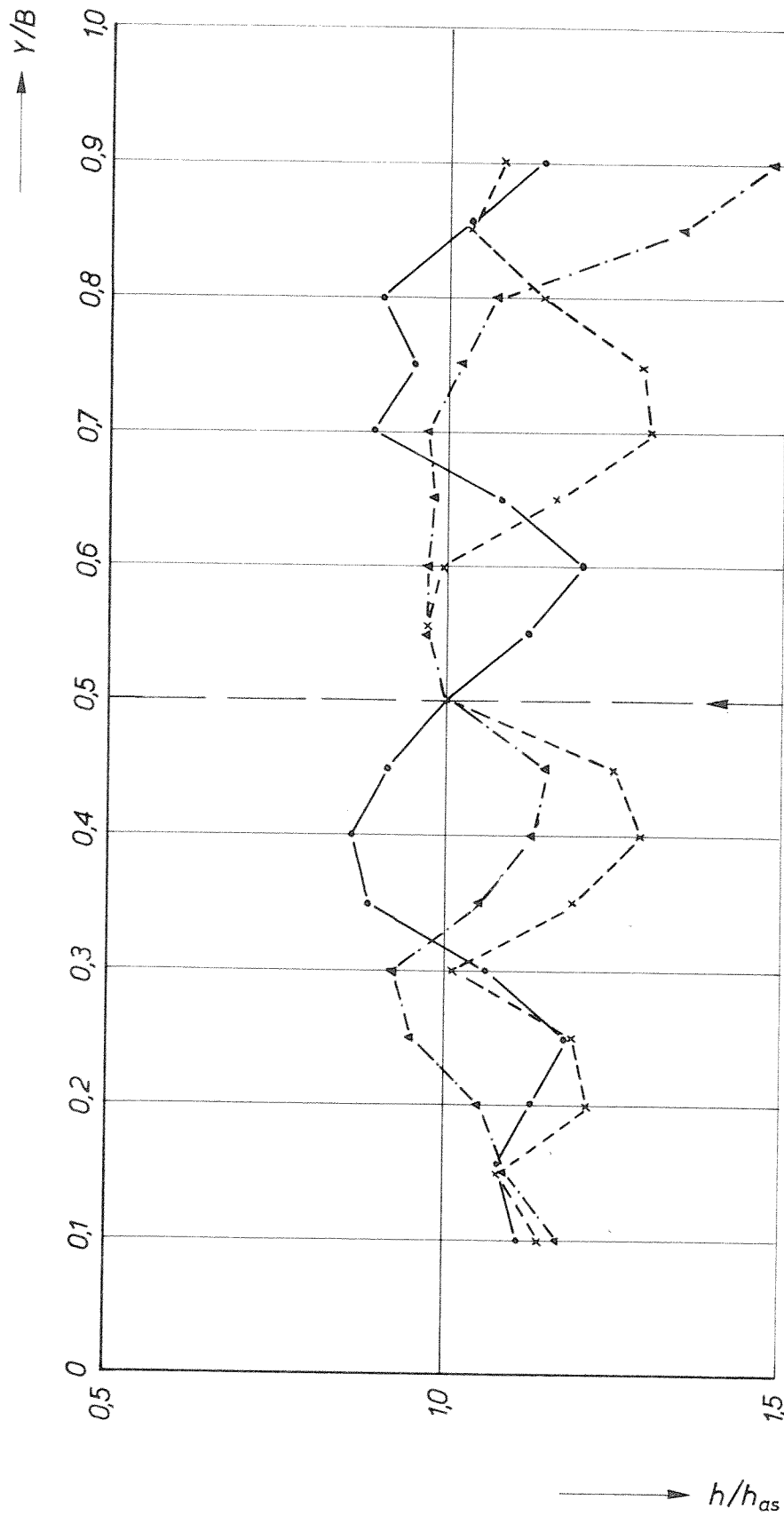
JB

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847II-1020

FIG.5d



$h_{max} = 22,2 \text{ cm}$   
 $= 20,9 \text{ cm}$   
 $= 20,6 \text{ cm}$

$h_{as} = 21,5 \text{ cm}$   
 $= 18,4 \text{ cm}$   
 $= 19,1 \text{ cm}$

$X_{max} = 300 \text{ cm}$   
 $= 300 \text{ cm}$   
 $= 300 \text{ cm}$

$\circ S_0 m_1 l_0 24$   
 $\times S_0 m_1 l_1 24$   
 $\triangle S_0 m_1 l_2 24$

DWARSPROFIELEN IN  $X_{max}$   $t=0,2t_1$

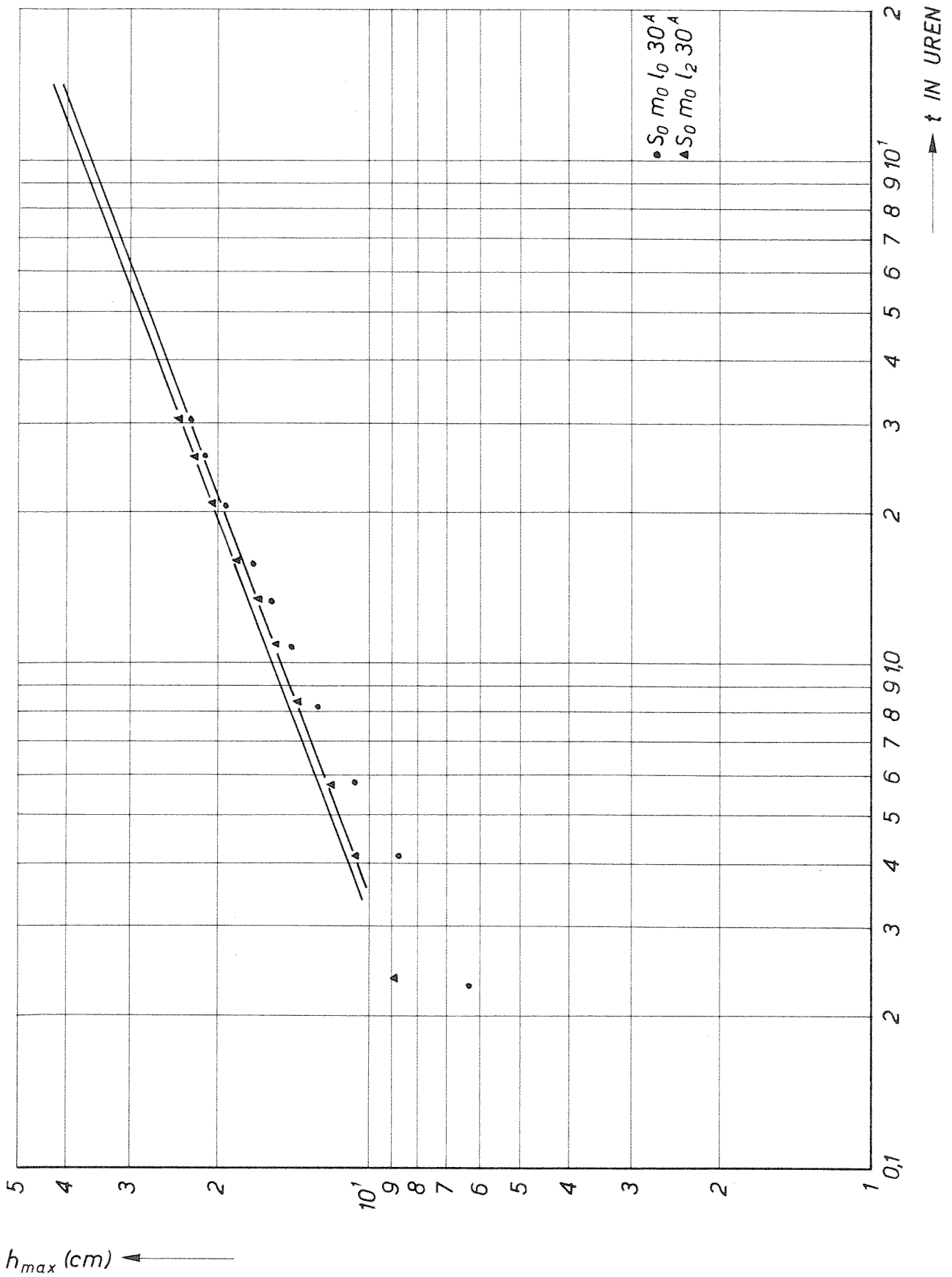
JB

A4

DELFT HYDRAULICS LABORATORY

M.847II-1021

FIG.5e



TJD-ONTGRONDINGSLIJNEN

JB

A4

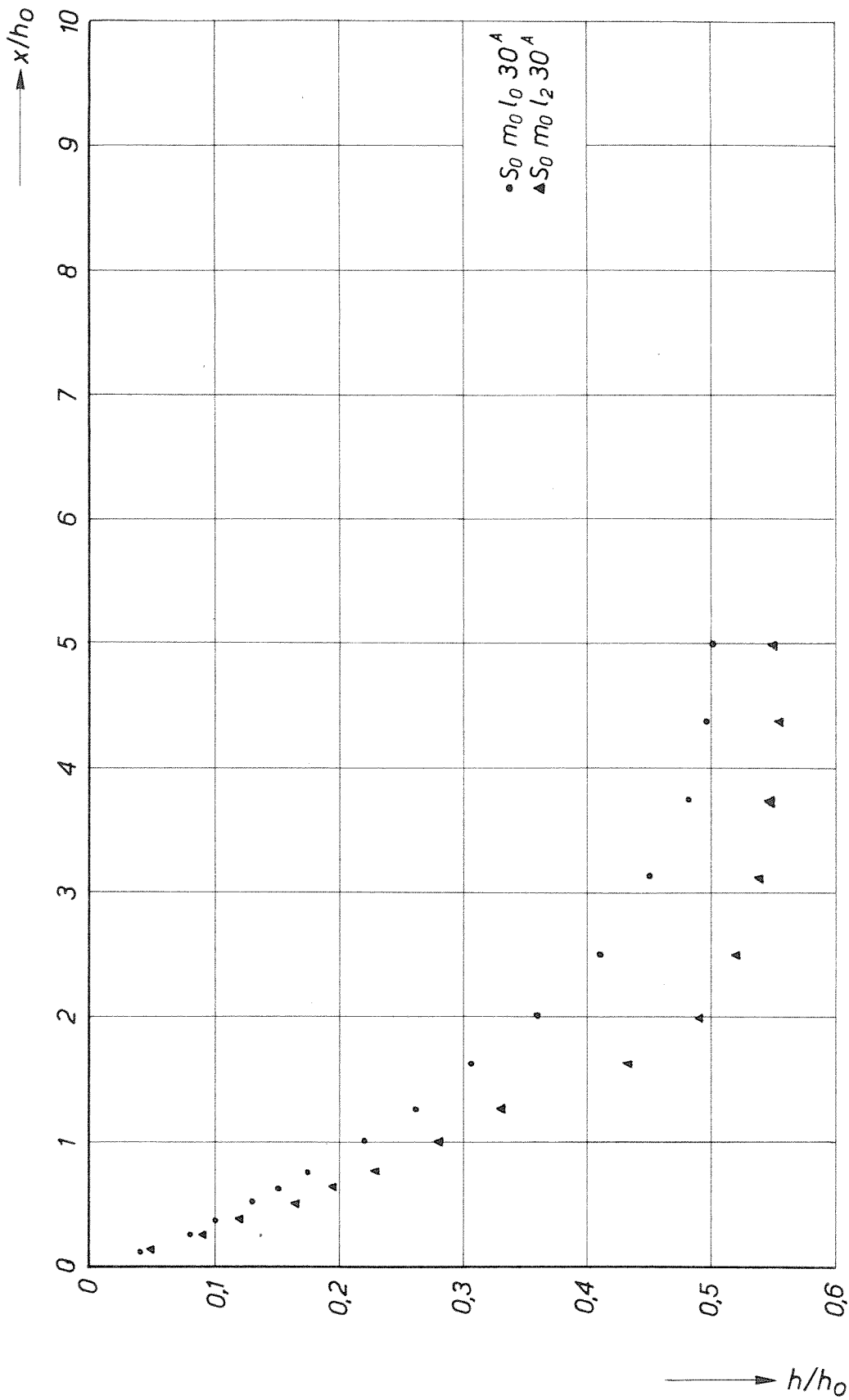
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847 II-1022

FIG.6a



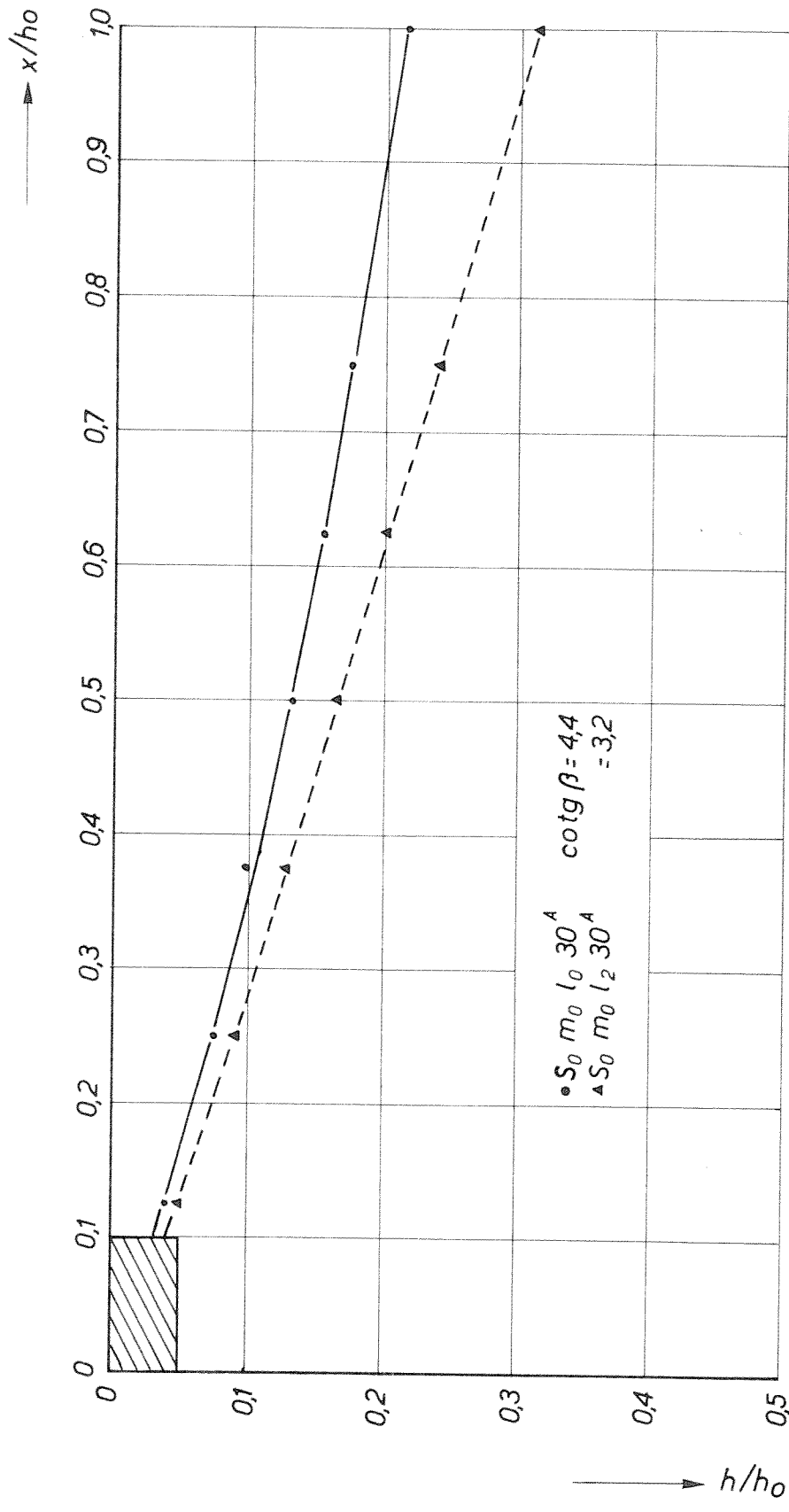




KUILVORM  $t=0,2t_1$

JB

A4



AANZETHELLING

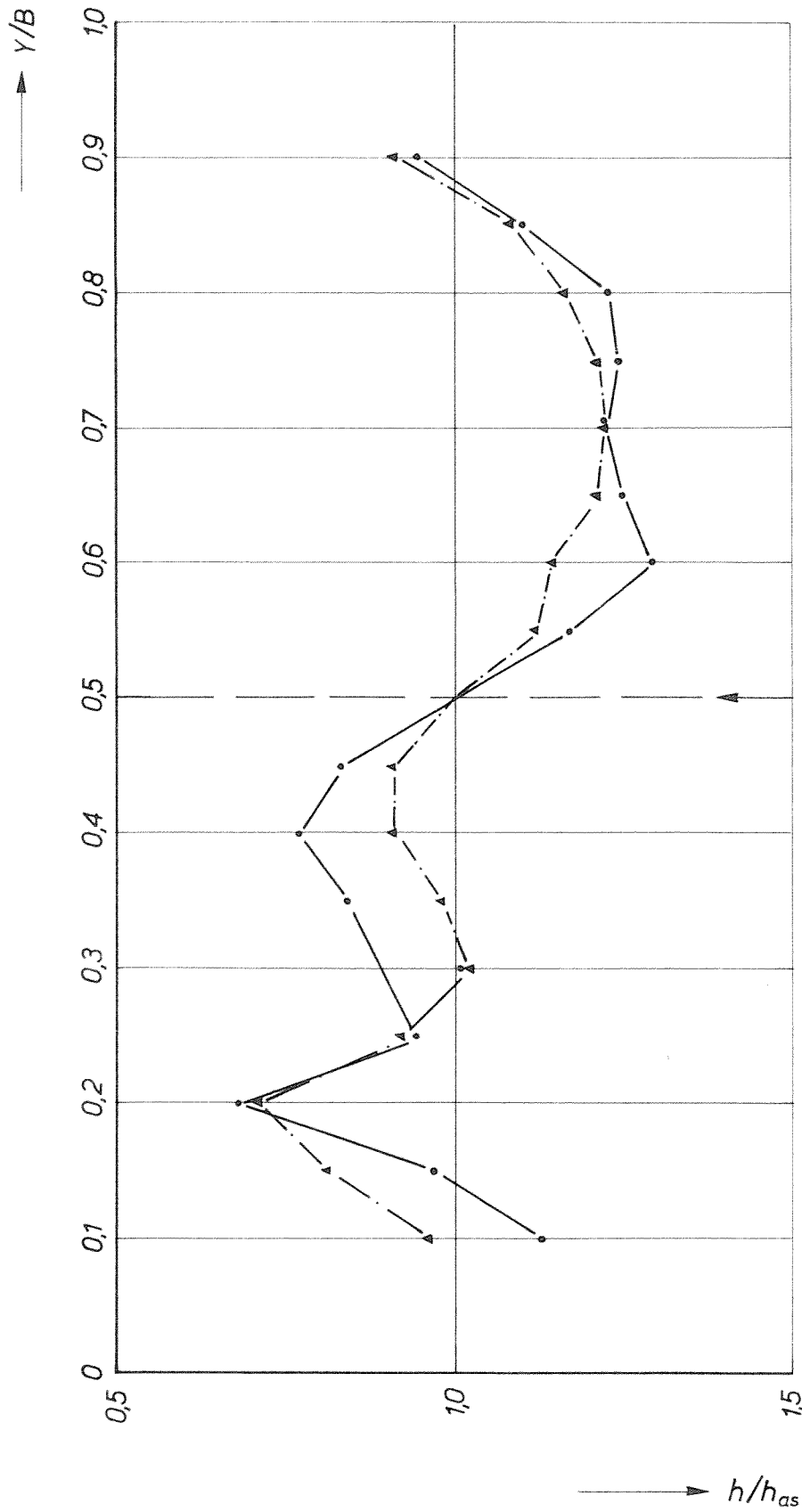
JB

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

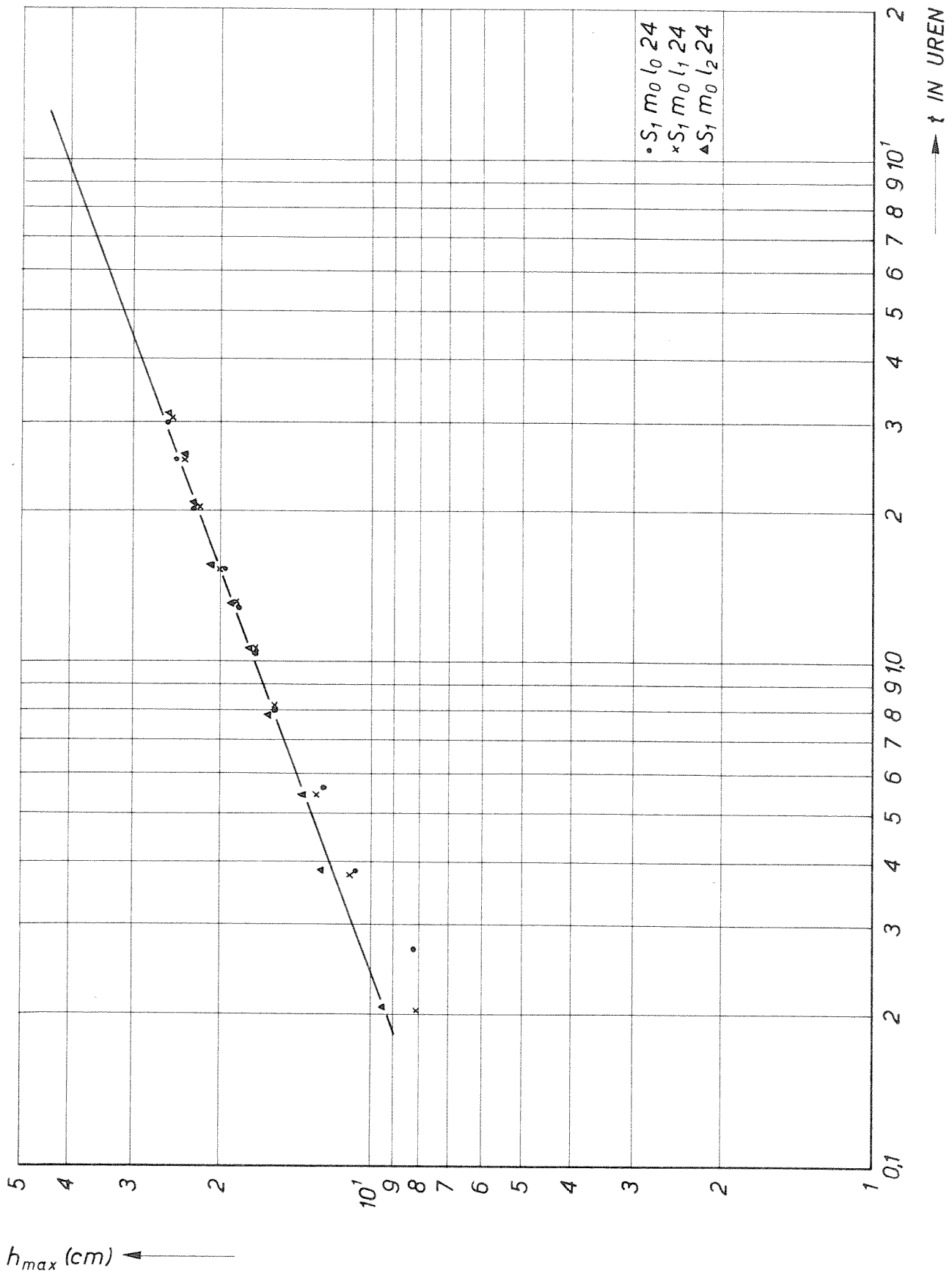
M.847II-1025

FIG.6d



$S_0 m_0 l_0 30^A$   
 $S_0 m_0 l_2 30^A$   
 $X_{max} = 225 \text{ cm}$   
 $X_{max} = 225 \text{ cm}$   
 $h_{as} = 19,4 \text{ cm}$   
 $h_{as} = 21,8 \text{ cm}$   
 $h_{max} = 20,2 \text{ cm}$   
 $h_{max} = 22,2 \text{ cm}$

DWARSPROFIELEN IN $X_{max}$ $t=0,2t_1$	JB
	A4
DELFT HYDRAULICS LABORATORY	M.847II-1026
	FIG.6e



TJD-ONTGRONDINGSLIJNEN

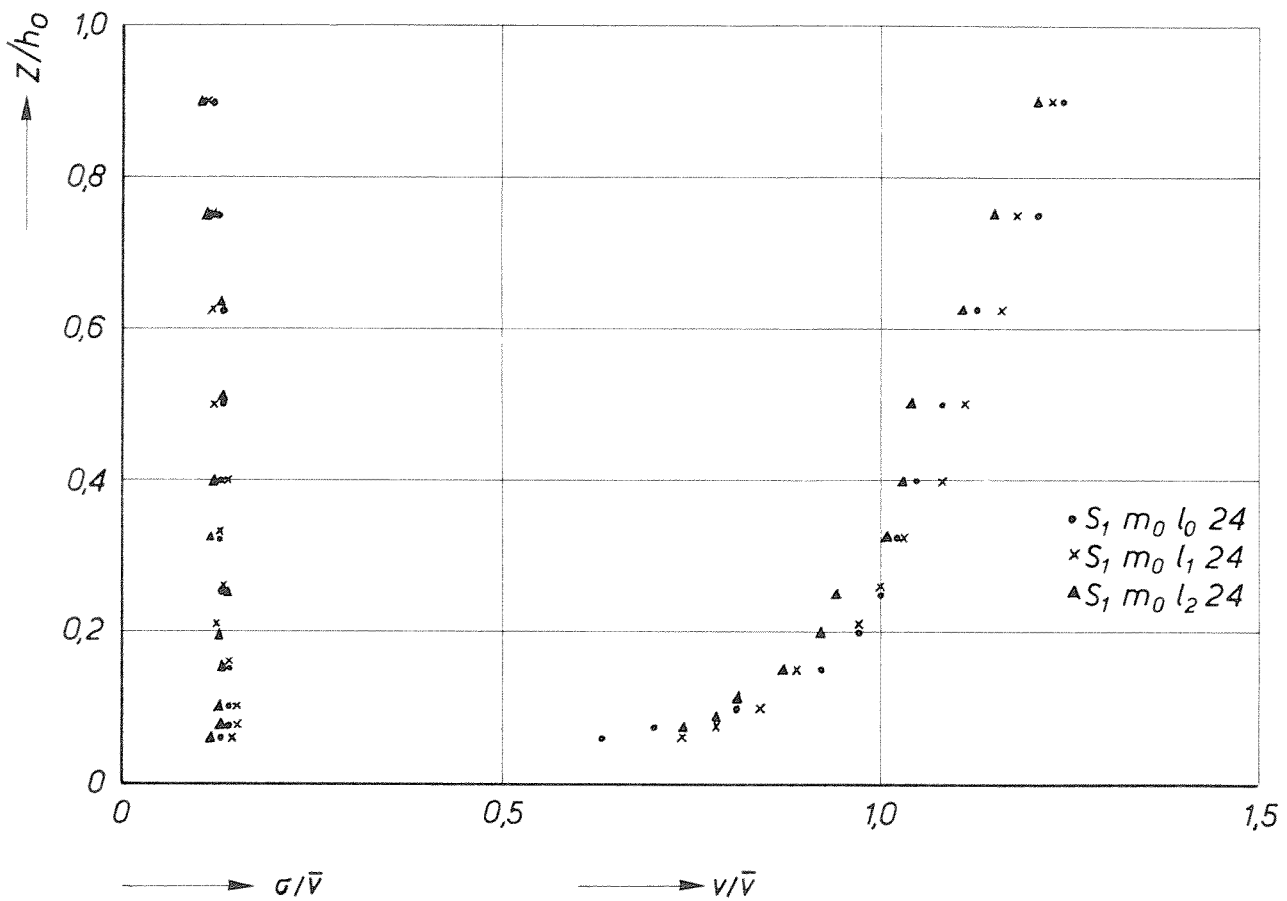
JB

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847 II-1027

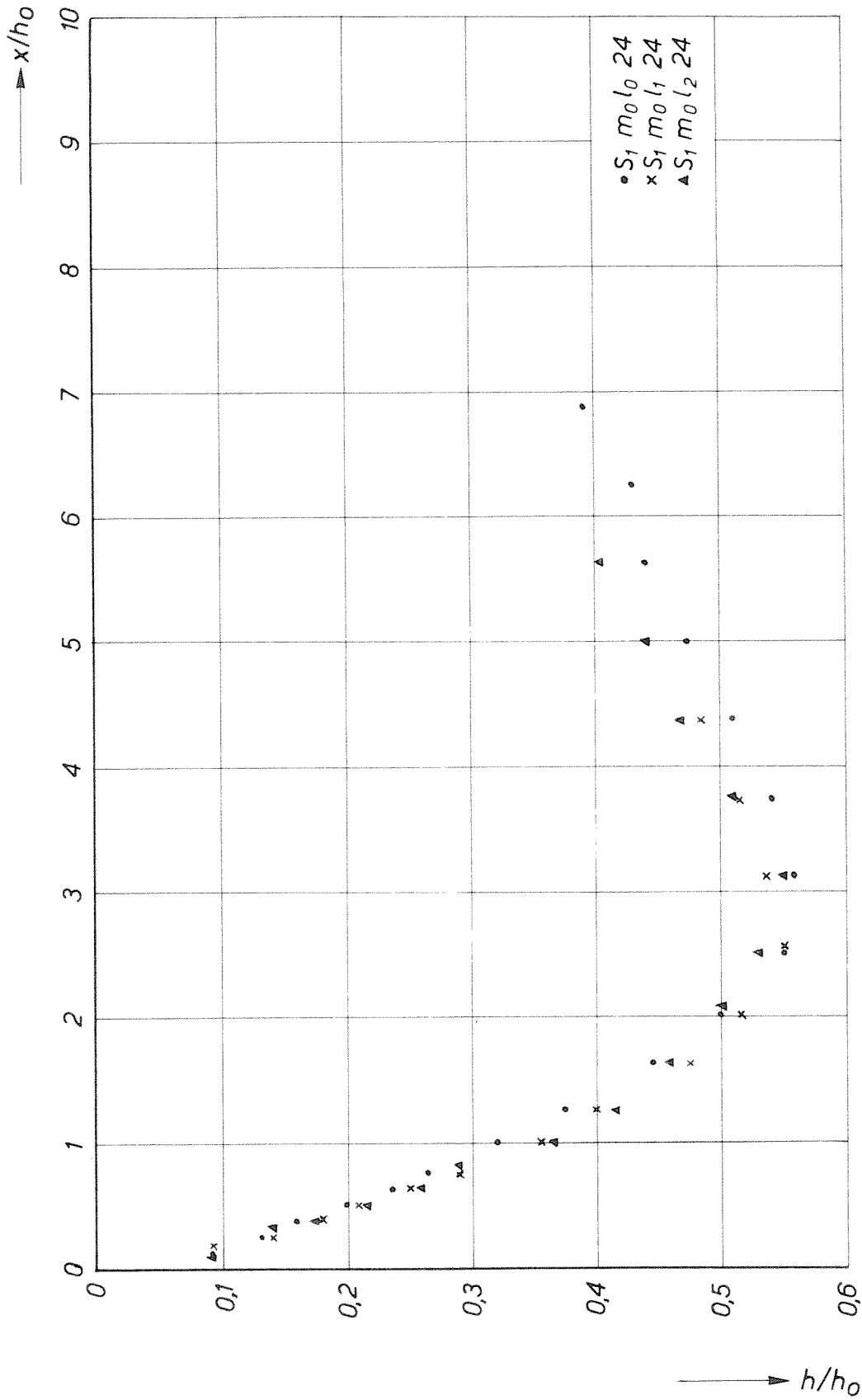
FIG.7a



SNELHEIDSVERDELING  $x=0$

JB

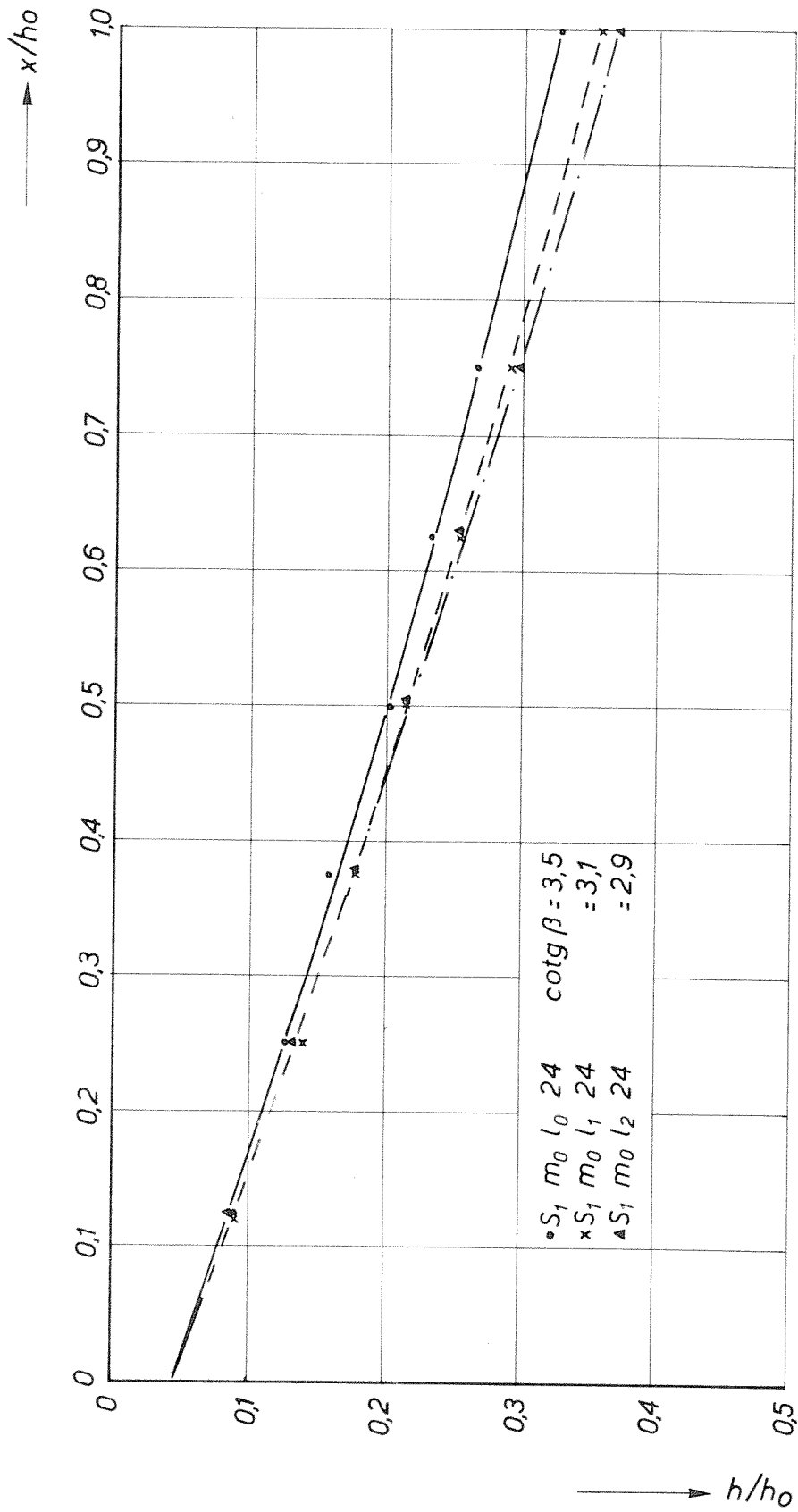
A4



KUILVORM  $t=0,2t_1$

JB

A4



AANZETHELLING

JB

A4

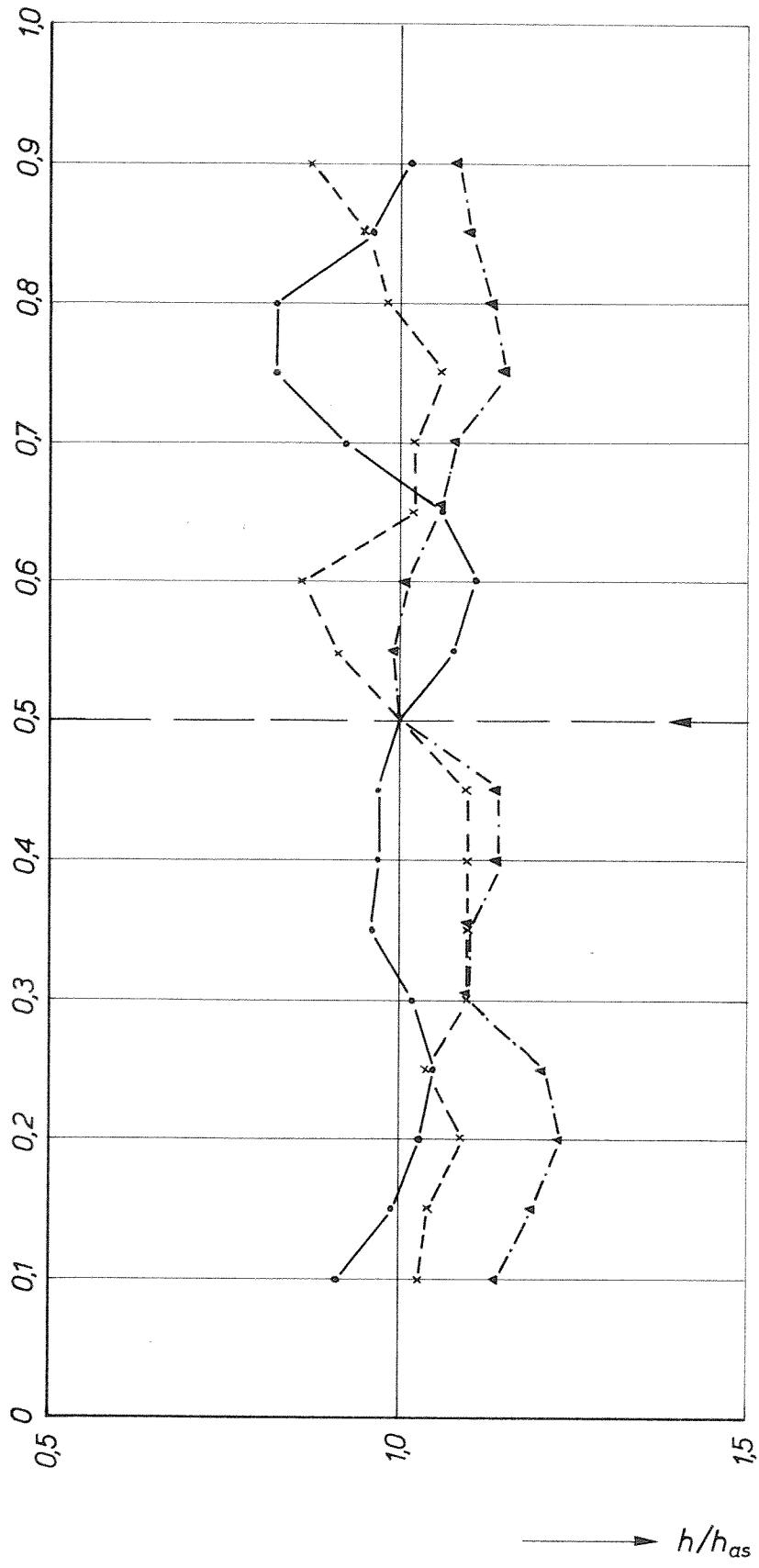
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847II-1030

FIG.7d



→ Y/B



$h_{max} = 22,4 \text{ cm}$   
 $= 22,0 \text{ cm}$   
 $= 22,5 \text{ cm}$

$h_{as} = 22,9 \text{ cm}$   
 $= 21,8 \text{ cm}$   
 $= 20,3 \text{ cm}$

$X_{max} = 125 \text{ cm}$   
 $= 125 \text{ cm}$   
 $= 125 \text{ cm}$

● S<sub>1</sub> m<sub>0</sub> l<sub>0</sub> 24  
 × S<sub>1</sub> m<sub>0</sub> l<sub>1</sub> 24  
 ▲ S<sub>1</sub> m<sub>0</sub> l<sub>2</sub> 24

DWARSPROFIELEN IN  $X_{max}$   $t=0,2t_1$

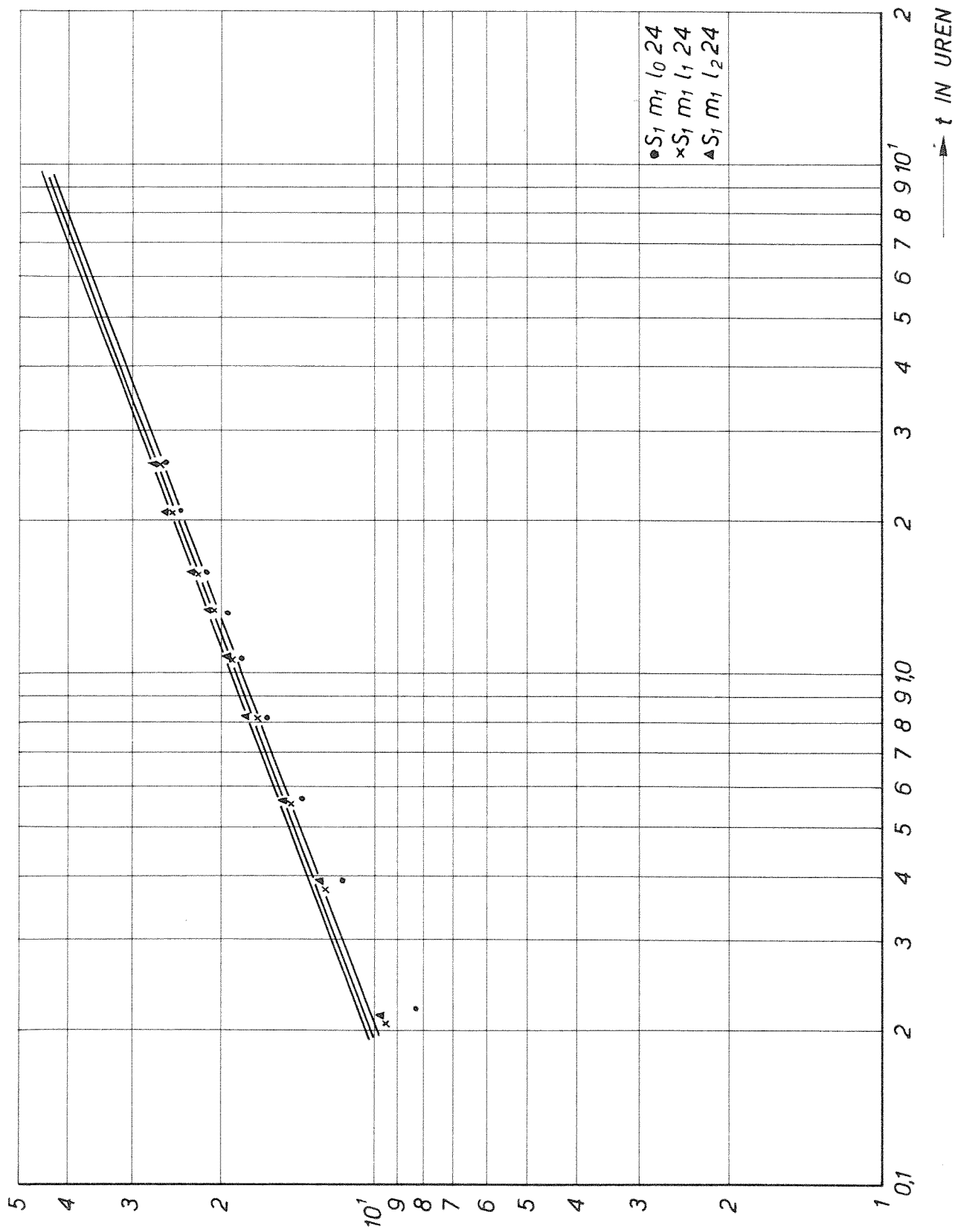
JB

A4

DELFT HYDRAULICS LABORATORY

M.847 II - 1031

FIG.7e



$h_{max}$  (cm) ←

→ t IN UREN

TJD-ONTGRONDINGSLIJNEN

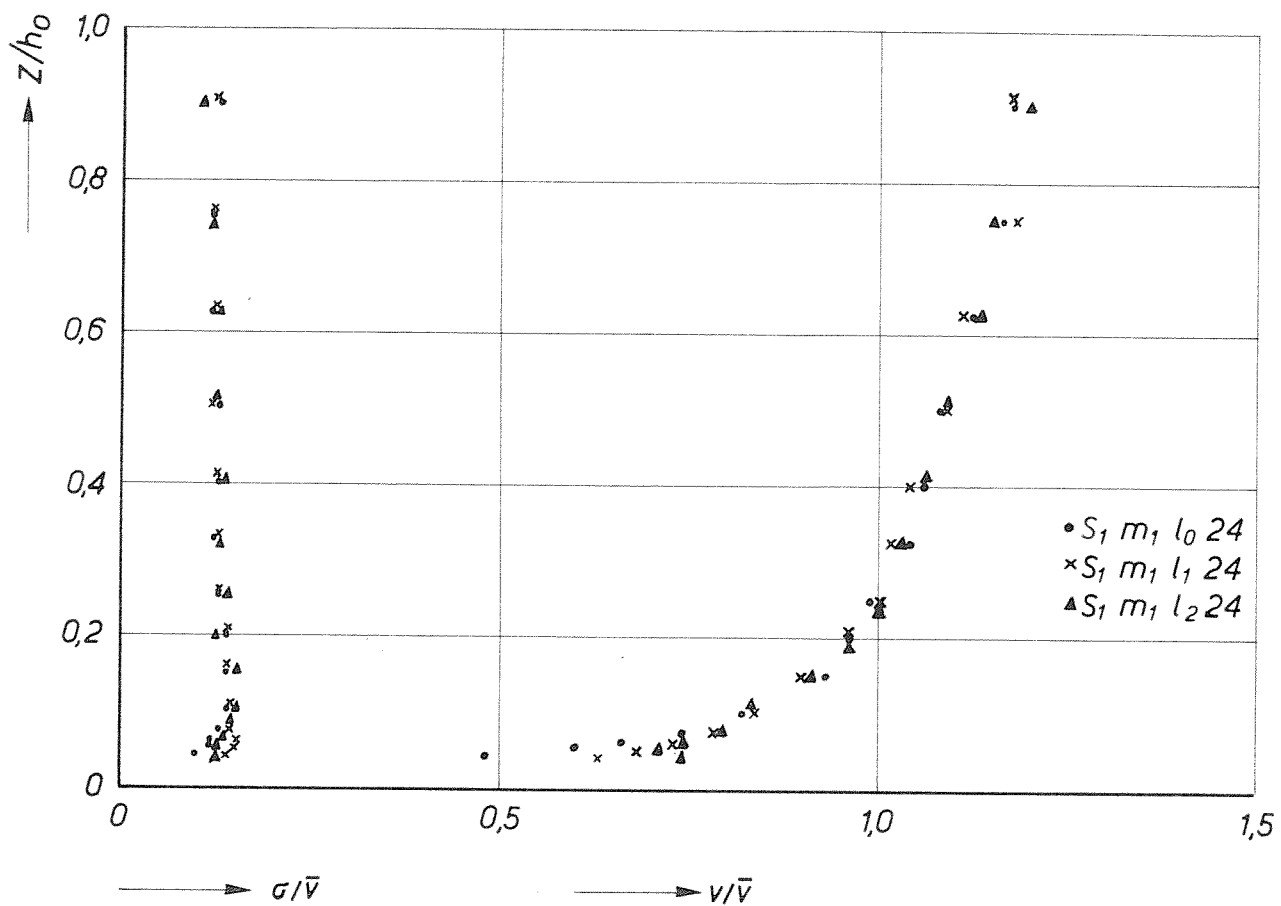
JB

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847 II-1032

FIG.8a



SNELHEIDSVERDELING  $x=0$

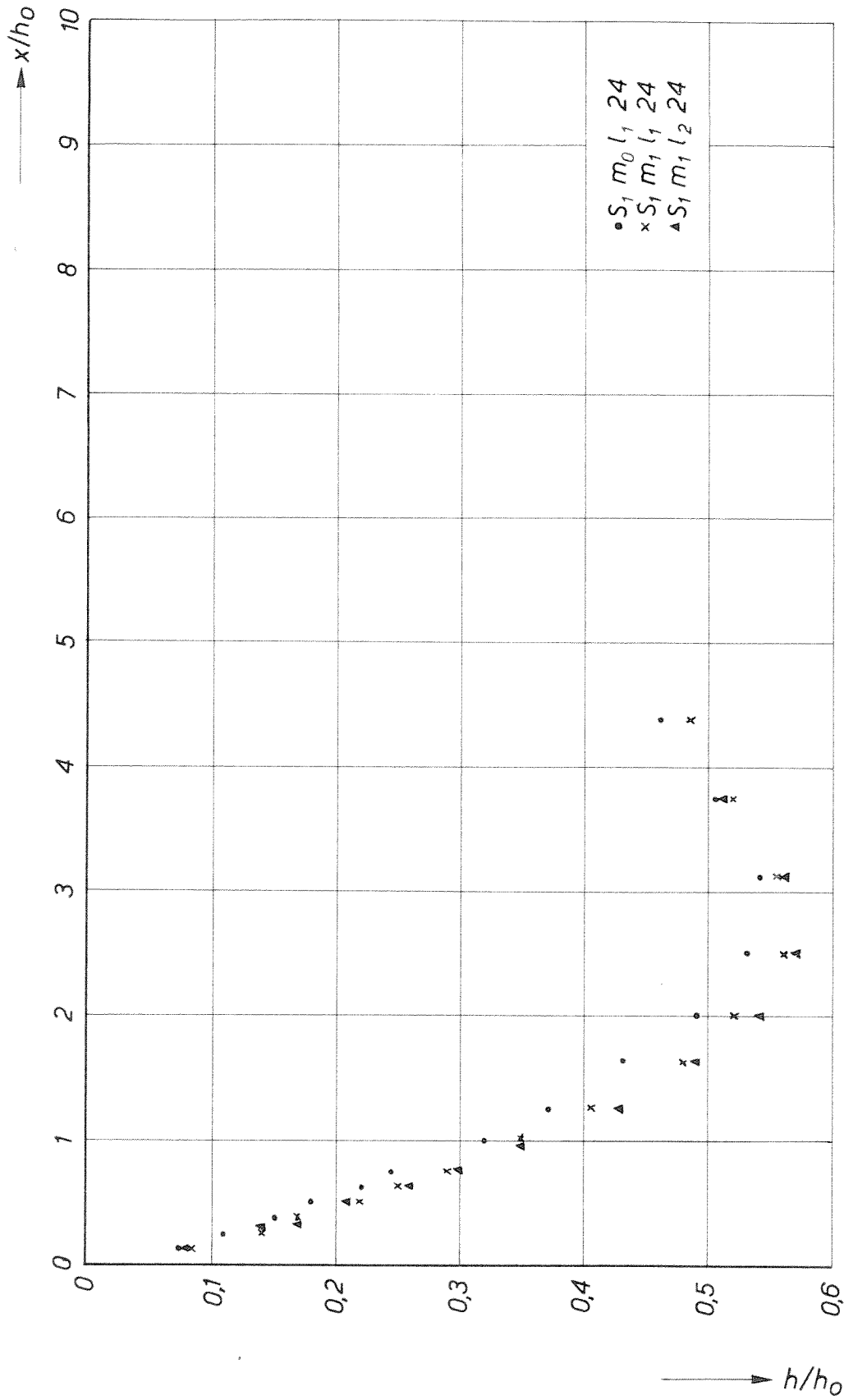
JB

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847II-1033

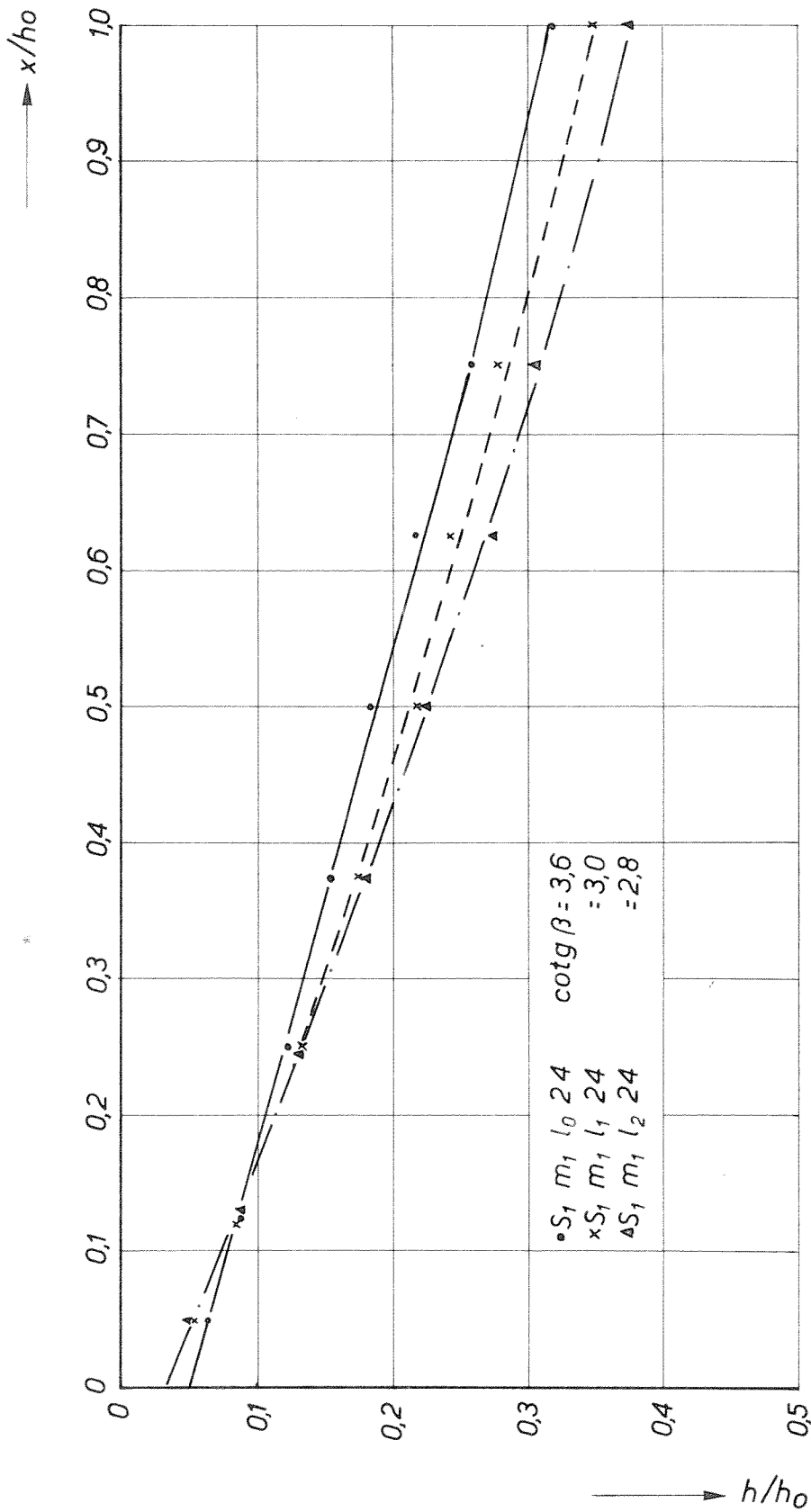
FIG.8b



KUILVORM  $t=0,2t_1$

JB

A4



AANZETHELLING

JB

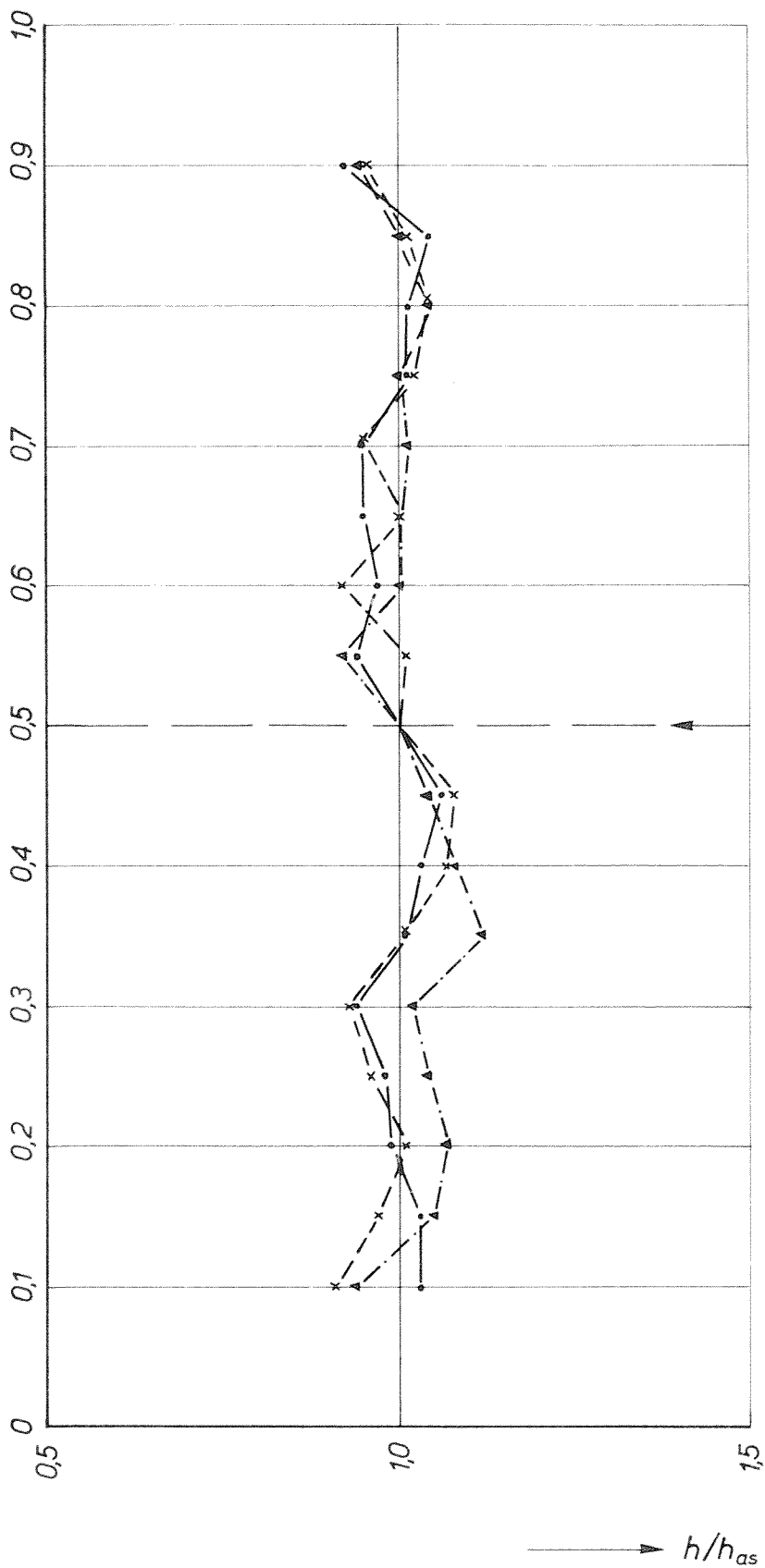
A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847II-1035

FIG.8d

Y/B



$h_{max} = 21,5 \text{ cm}$   
 $= 22,3 \text{ cm}$   
 $= 22,7 \text{ cm}$

$h_{as} = 21,7 \text{ cm}$   
 $= 22,5 \text{ cm}$   
 $= 22,3 \text{ cm}$

$X_{max} = 125 \text{ cm}$   
 $= 100 \text{ cm}$   
 $= 100 \text{ cm}$

•  $S_1, m_1, l_0, 24$   
 x  $S_1, m_1, l_1, 24$   
 ▲  $S_1, m_1, l_2, 24$

DWARSPROFIELEN IN  $X_{max}$   $t=0,2t_1$

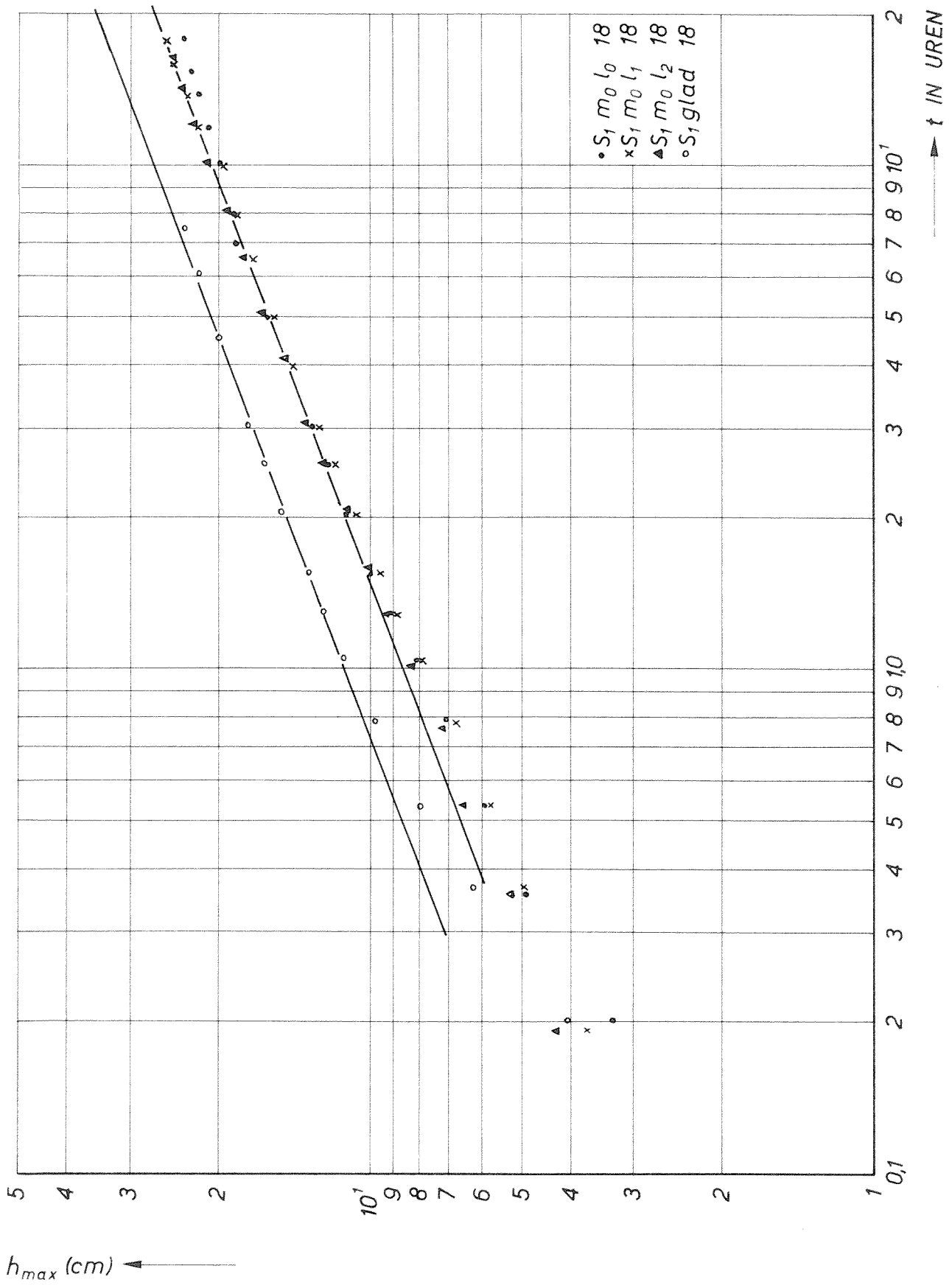
JB

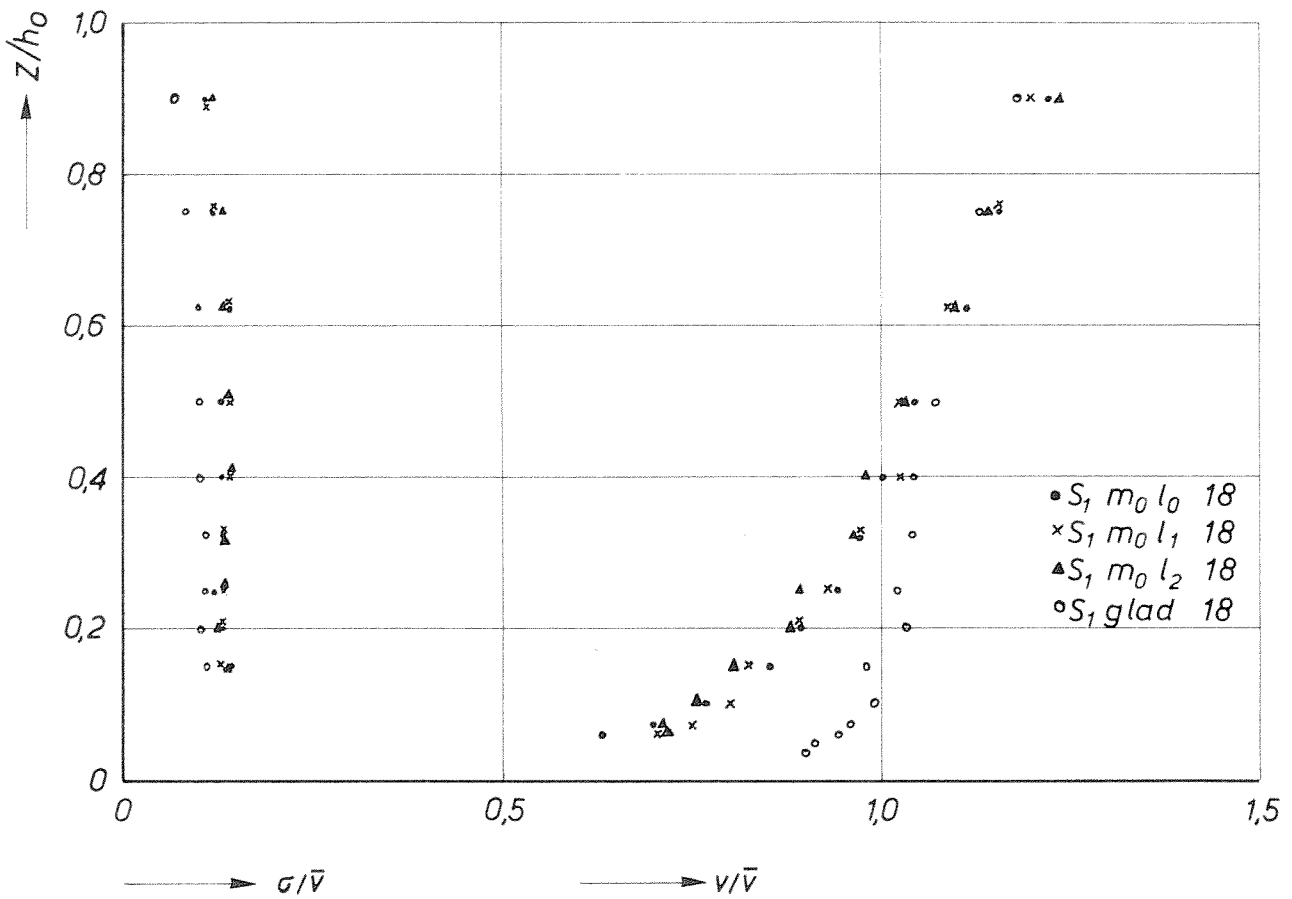
A4

DELFT HYDRAULICS LABORATORY

M.847II-1036

FIG.8e



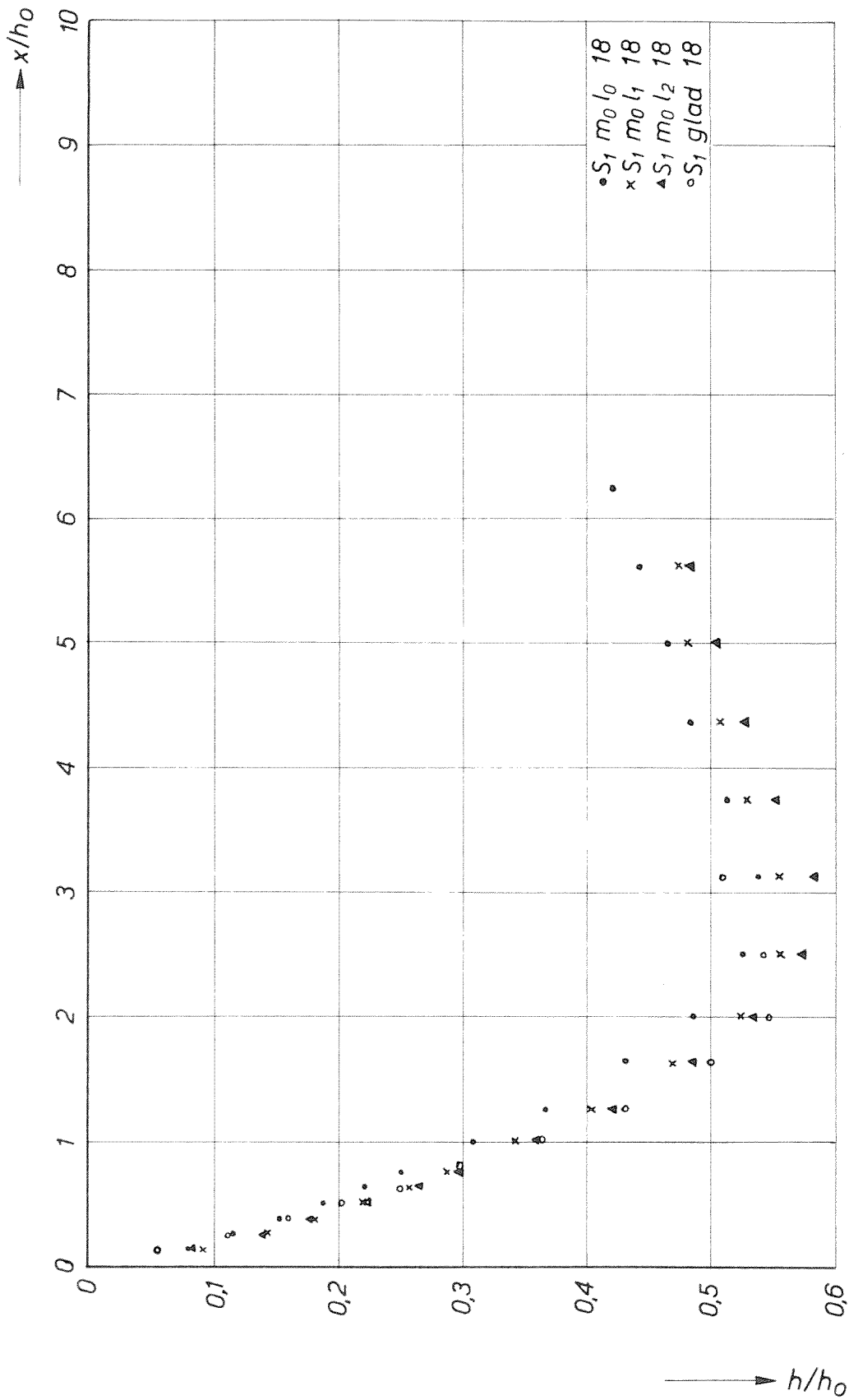


SNELHEIDSVERDELING  $x=0$

JB

A4

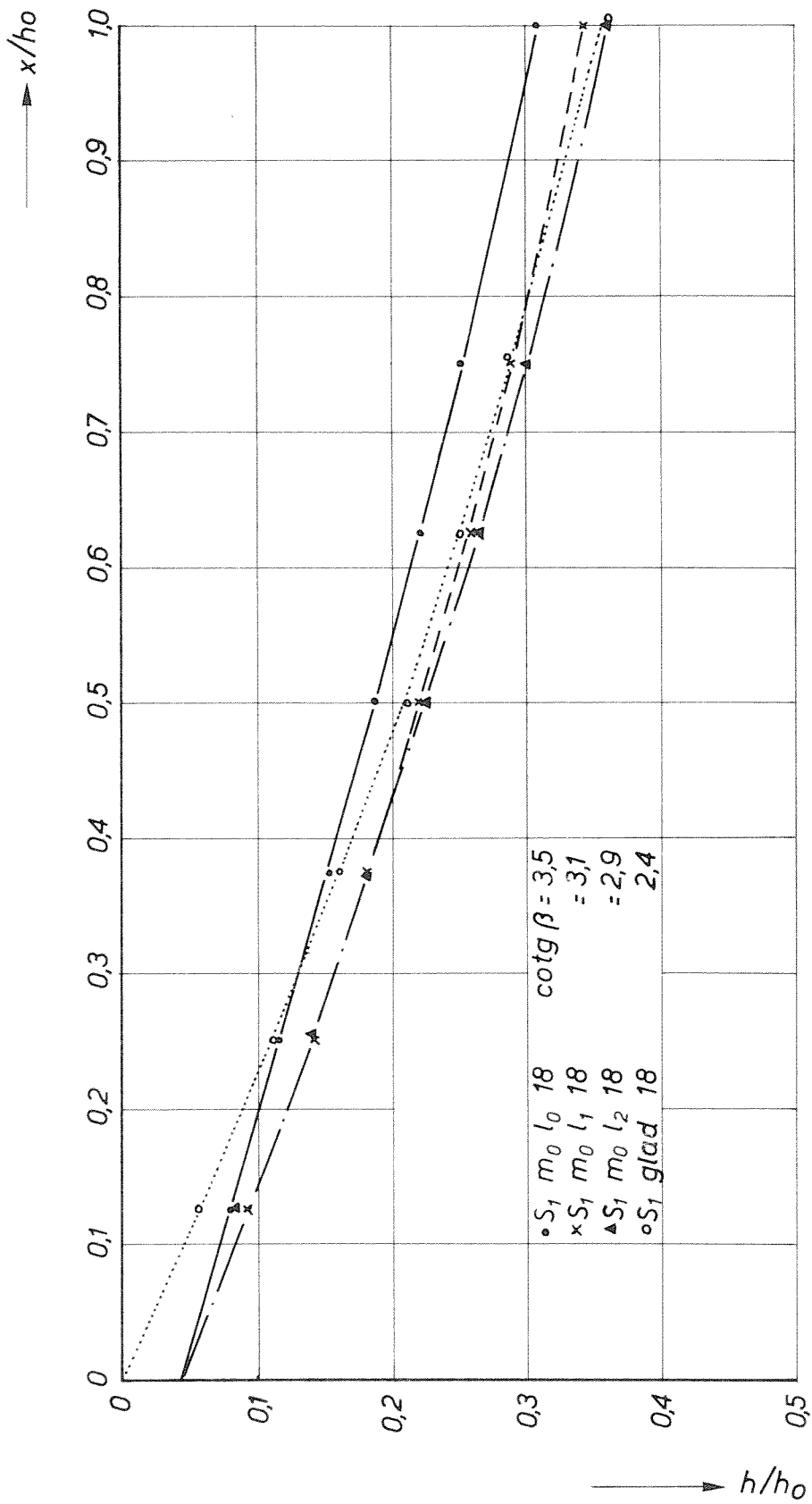




KUILVORM  $t=0,2t_1$

JB

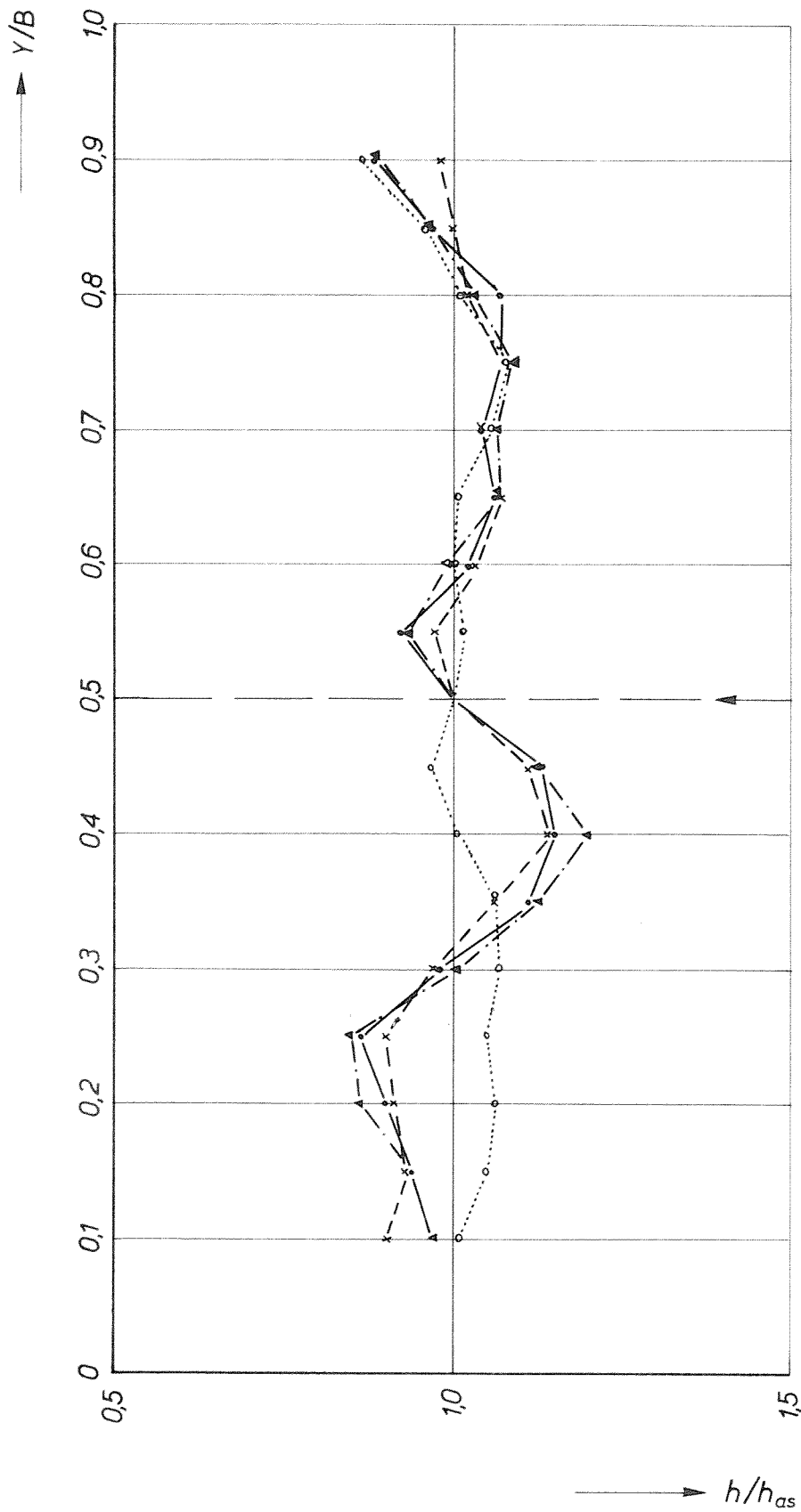
A4



AANZETHELLING

JB

A4

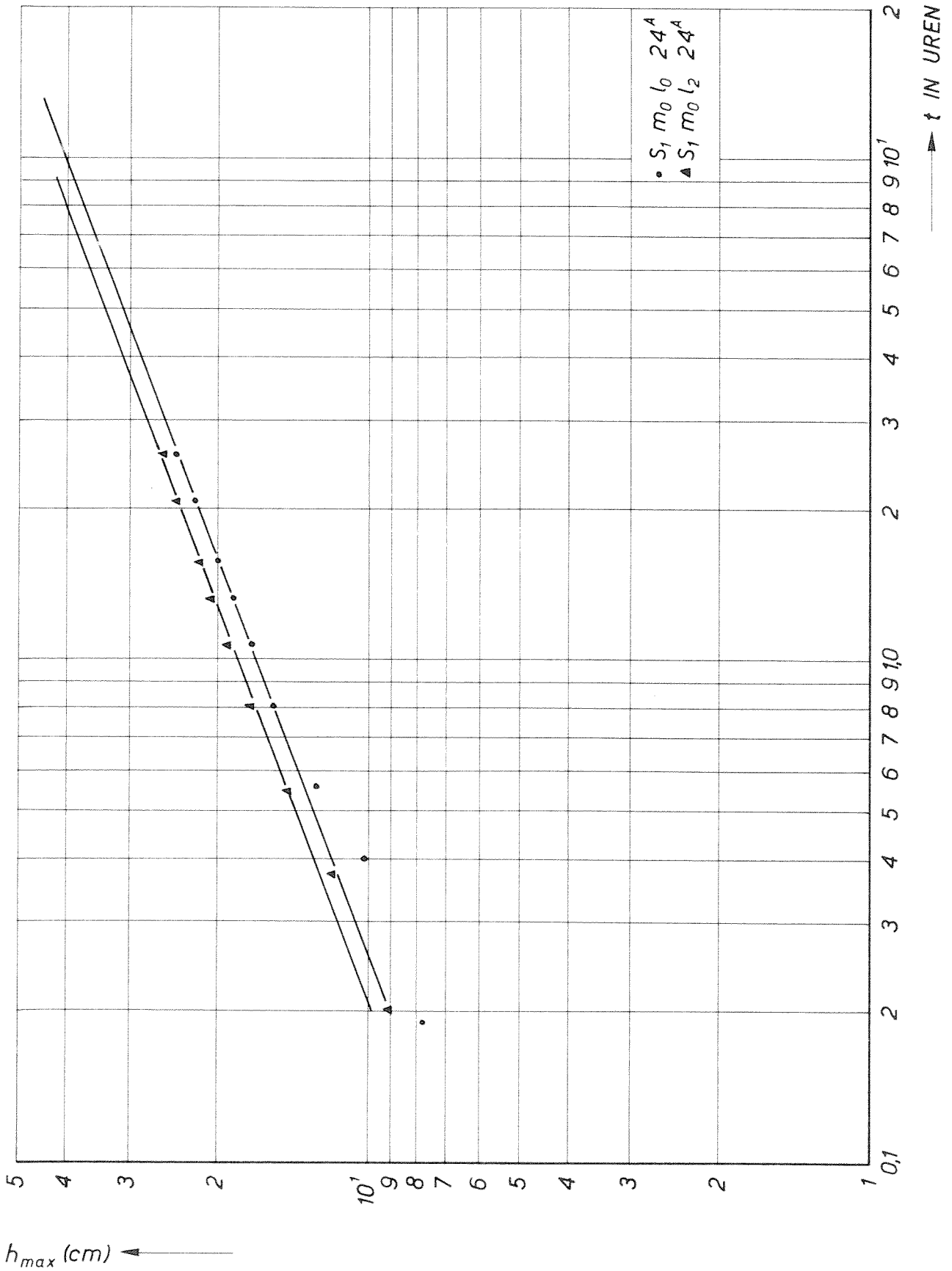


• $S_1$ $m_0$ $l_0$ 18	$h_{as} = 21,4$ cm	$h_{max} = 21,5$ cm
x $S_1$ $m_0$ $l_1$ 18	= 22,2 cm	= 22,3 cm
▲ $S_1$ $m_0$ $l_2$ 18	= 22,5 cm	= 22,9 cm
◦ $S_1$ glad 18	= 21,4 cm	= 21,7 cm
	$X_{max} = 125$ cm	
	= 125 cm	
	= 125 cm	
	= 80 cm	

DWARSPROFIELEN IN  $X_{max}$   $t=0,2t_1$

JB

A4



TJD-ONTGRONDINGSLIJNEN

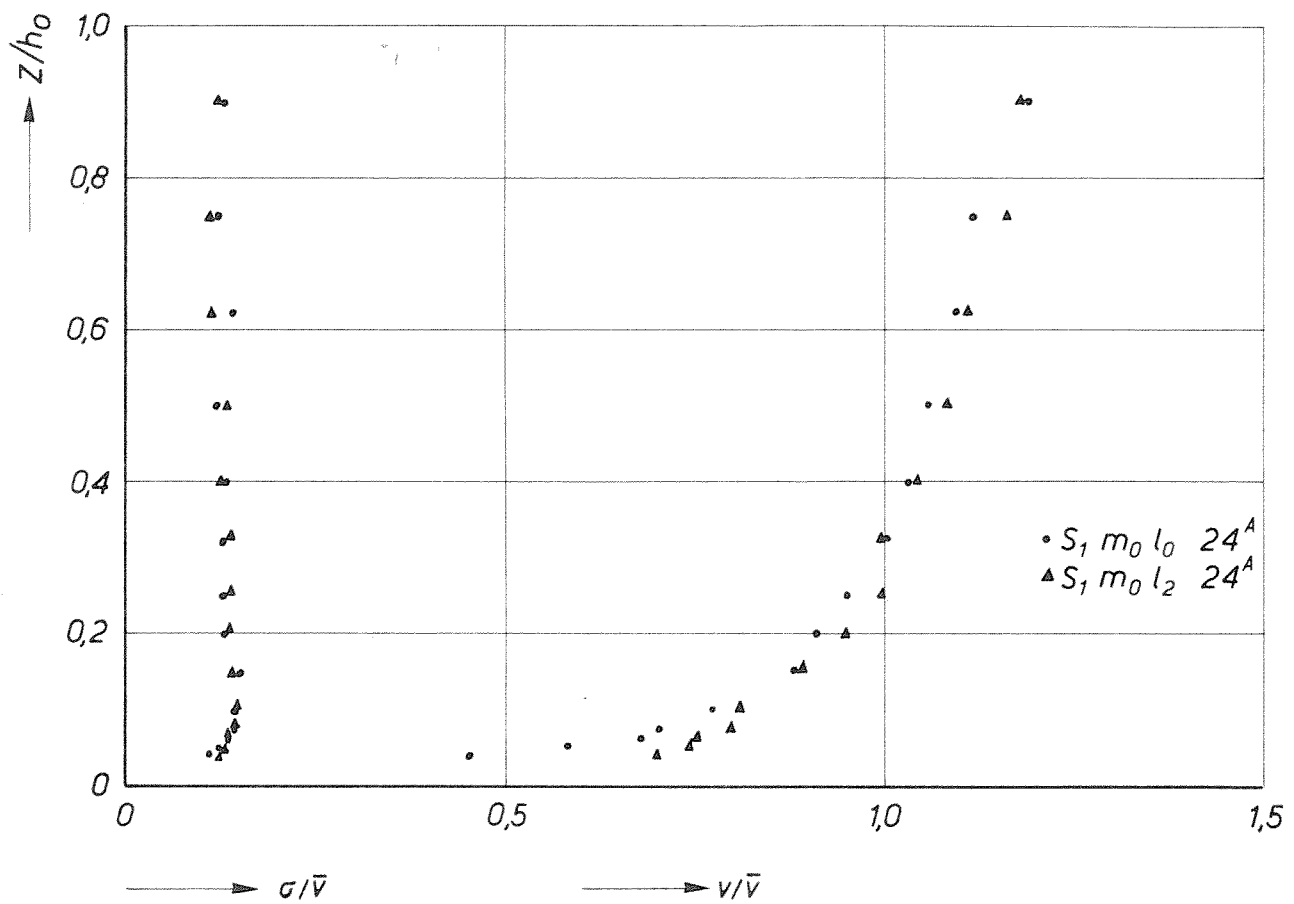
JB

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847 II-1042

FIG.10a

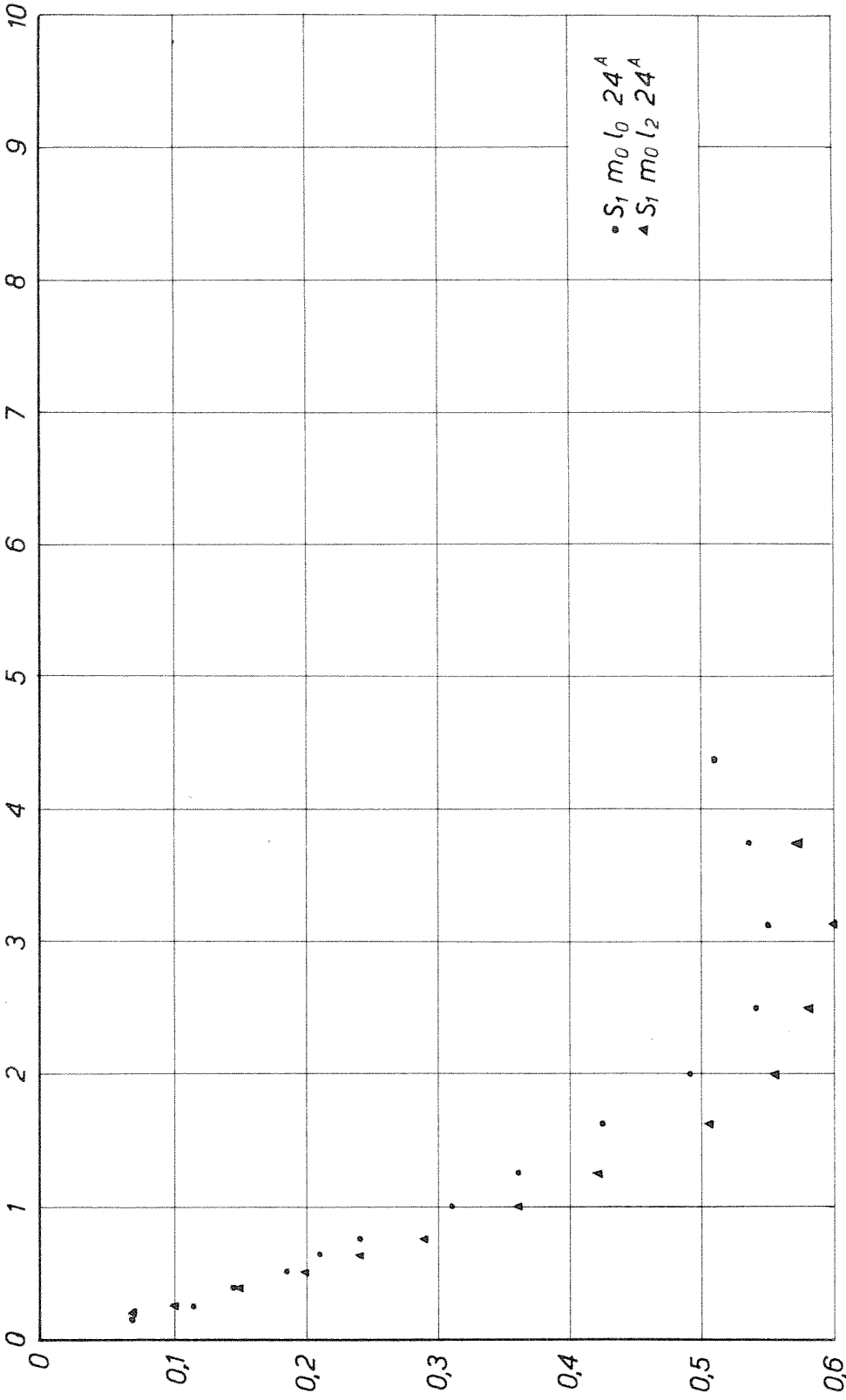


SNELHEIDSVERDELING  $x=0$

JB

A4

$x/h_0$



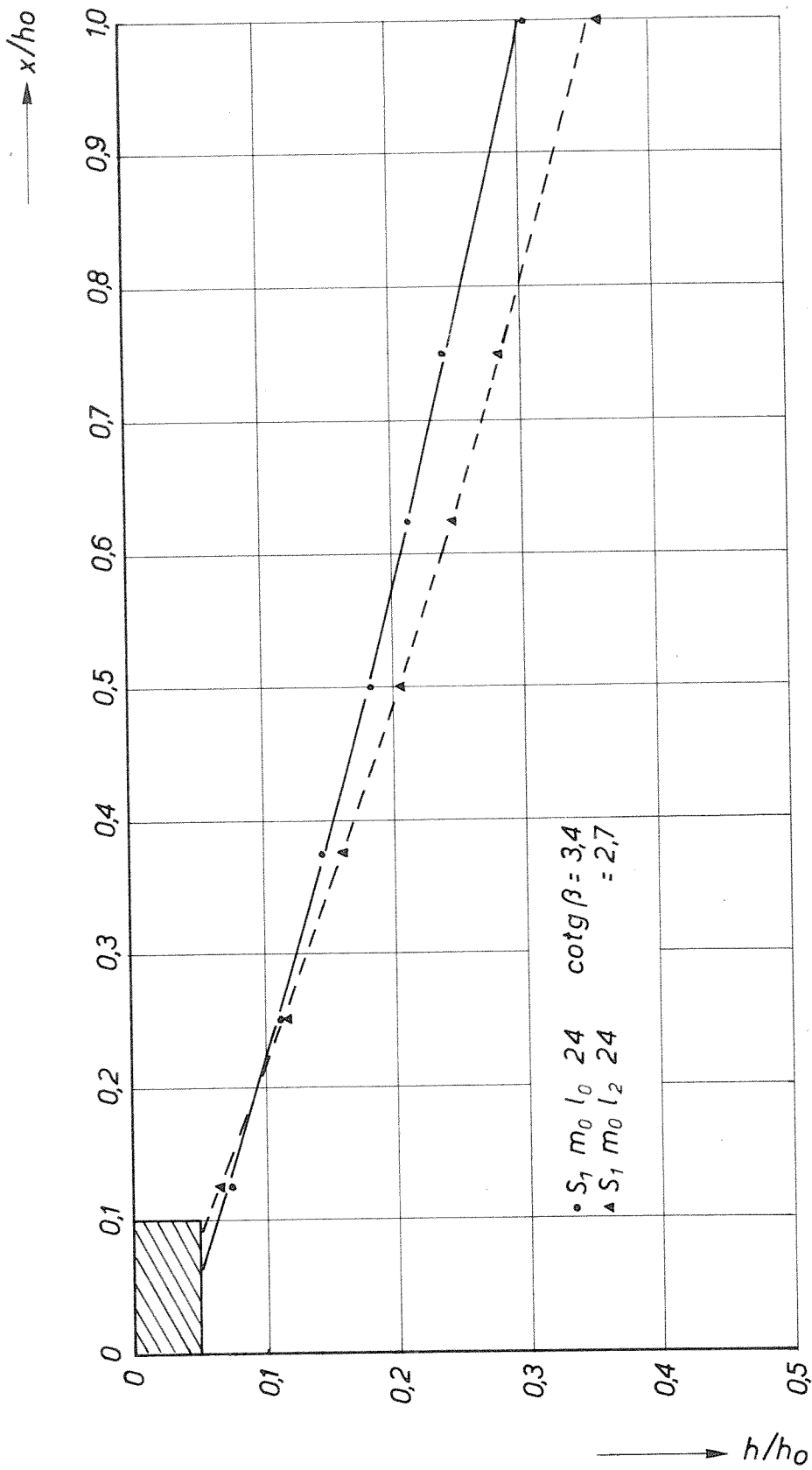
•  $S_1 m_0 l_0 24^A$   
▲  $S_1 m_0 l_2 24^A$

$h/h_0$

KUILVORM  $t=0,2t_1$

JB

A4

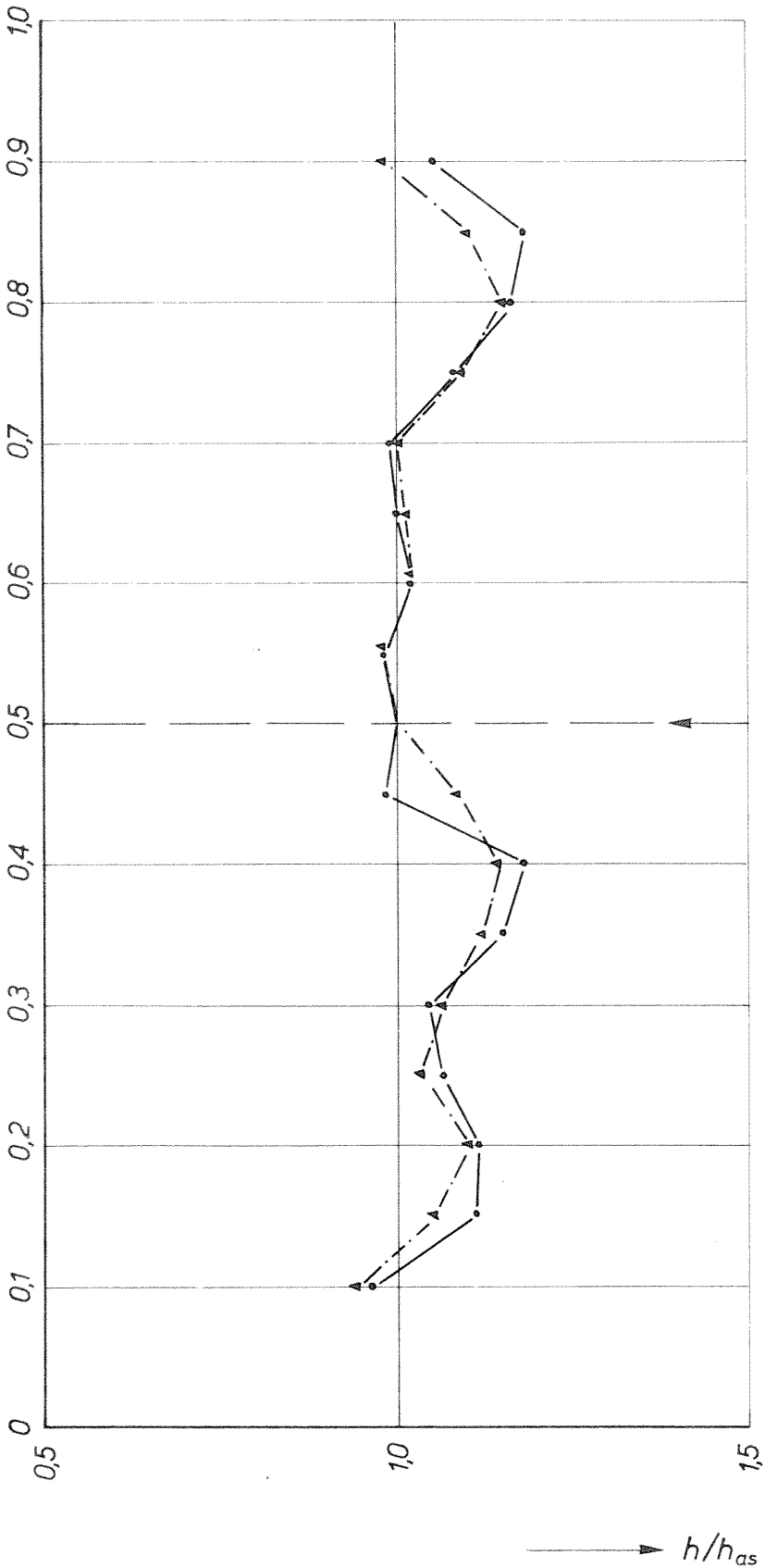


AANZETHELLING

JB

A4

Y/B



$h_{max} = 22,1 \text{ cm}$   
 $= 24,0 \text{ cm}$

$h_{as} = 20,8 \text{ cm}$   
 $= 22,9 \text{ cm}$

$x_{max} = 125 \text{ cm}$   
 $= 125 \text{ cm}$

•  $S_1, m_0, l_0, 24$   
▲  $S_1, m_0, l_2, 24$

DWARSPROFIELEN IN  $X_{max}$   $t=0,2t_1$

JB

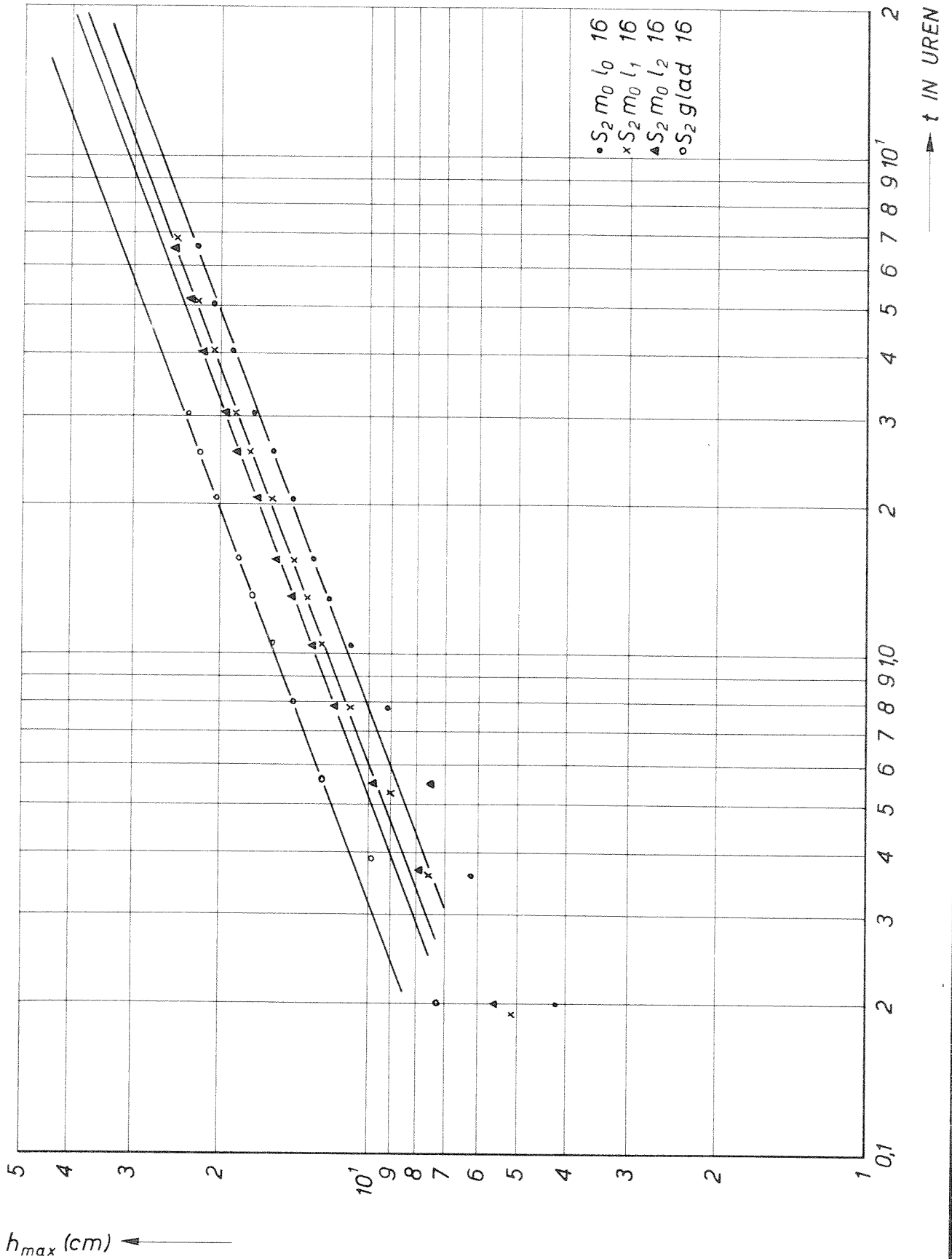
A4

DELFT HYDRAULICS LABORATORY

M.847II-1046

FIG.10e





TJD-ONTGRONDINGSLIJNEN

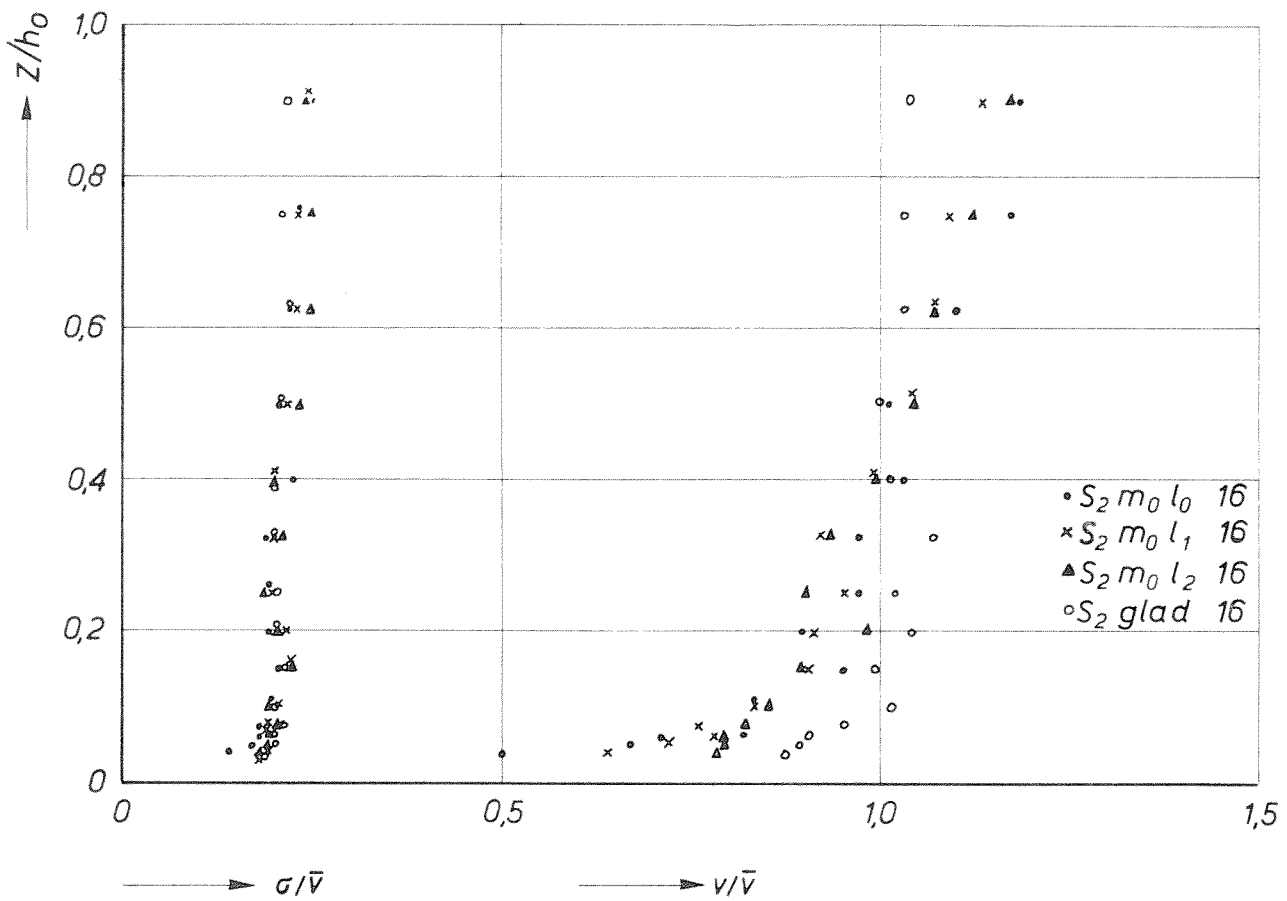
JB

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847 II-1046

FIG.11a



SNELHEIDSVERDELING  $x=0$

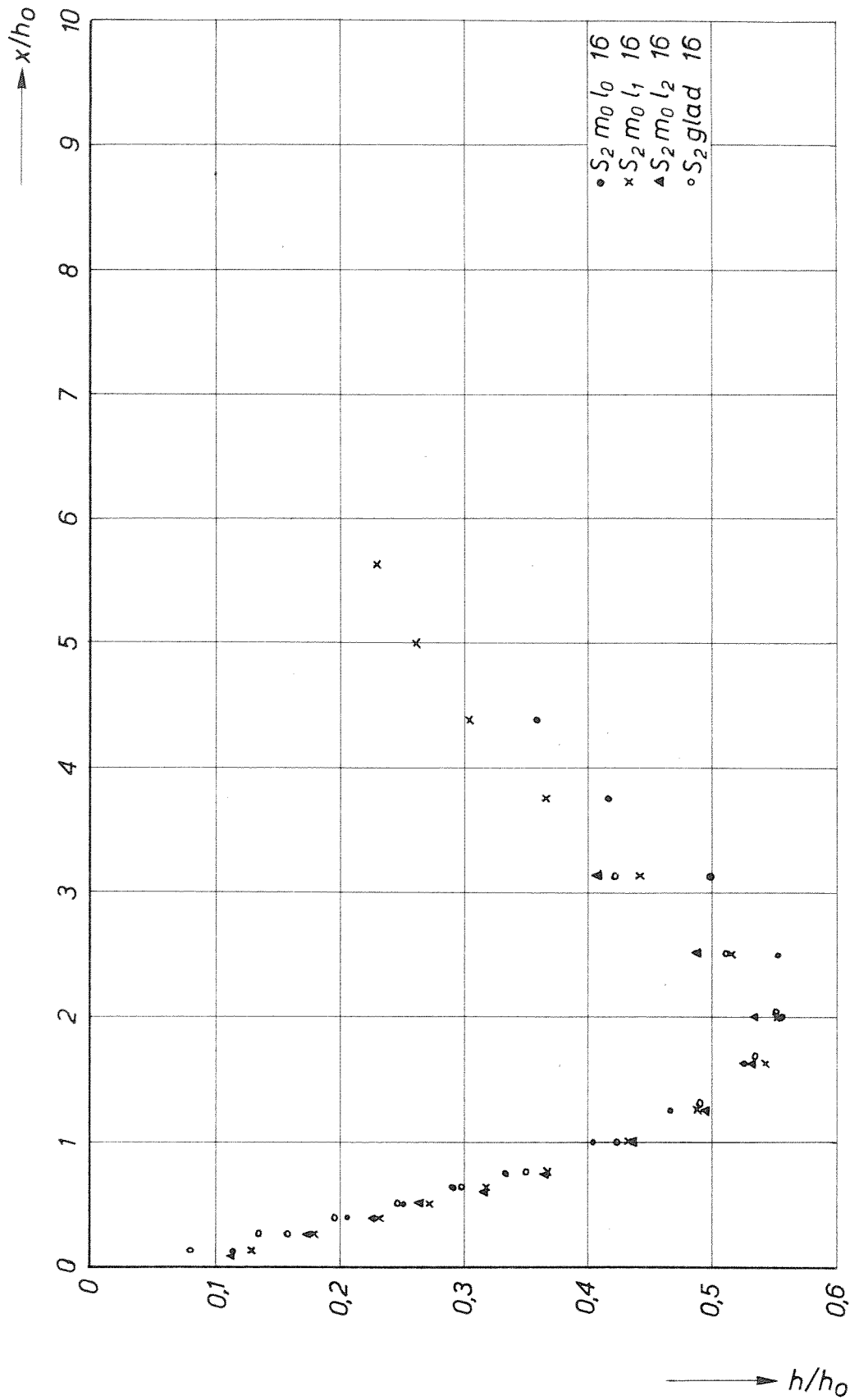
JB

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847II-1047

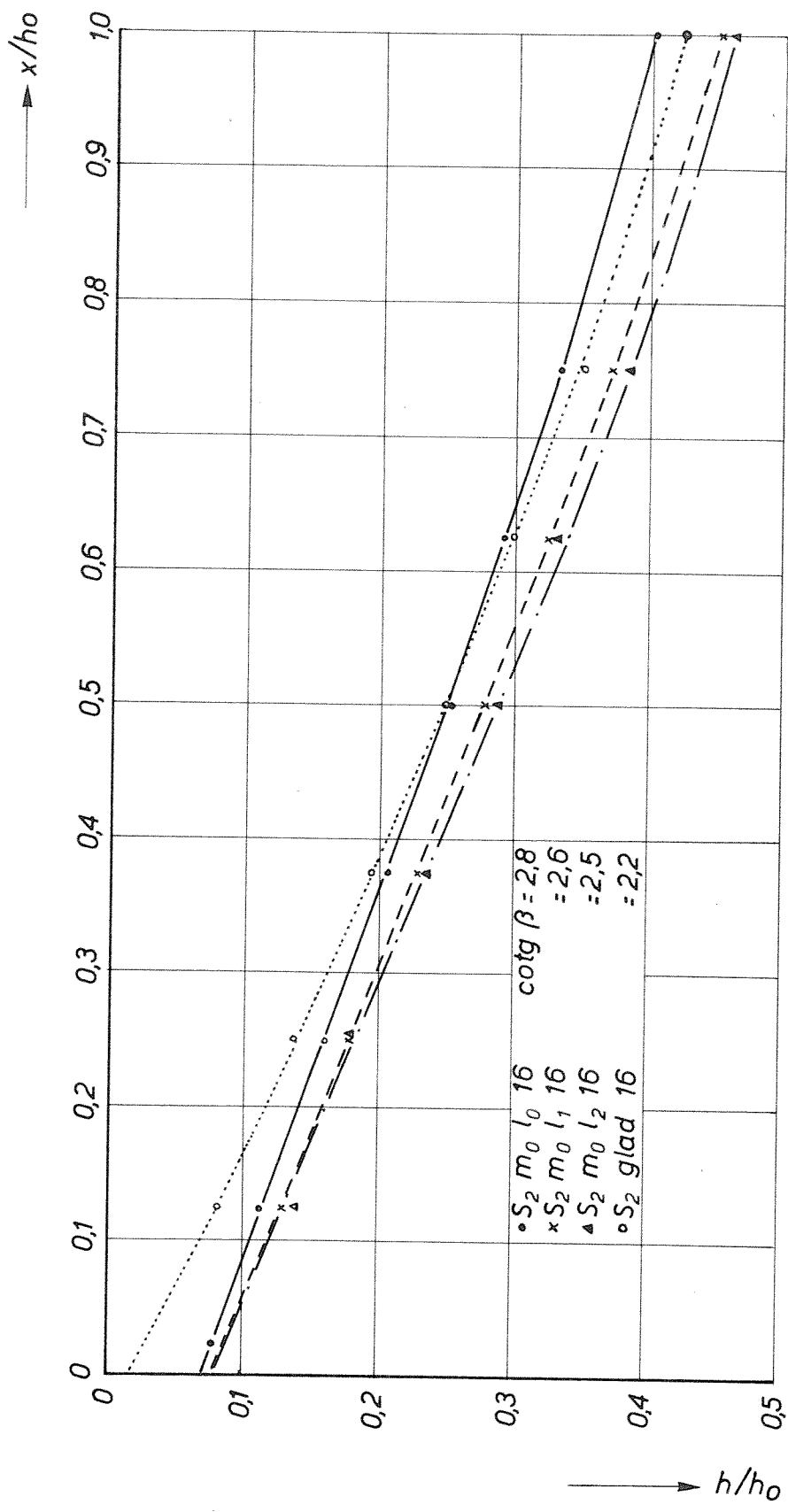
FIG.11b



KUILVORM  $t=0,2t_1$

JB

A4



AANZETHELLING

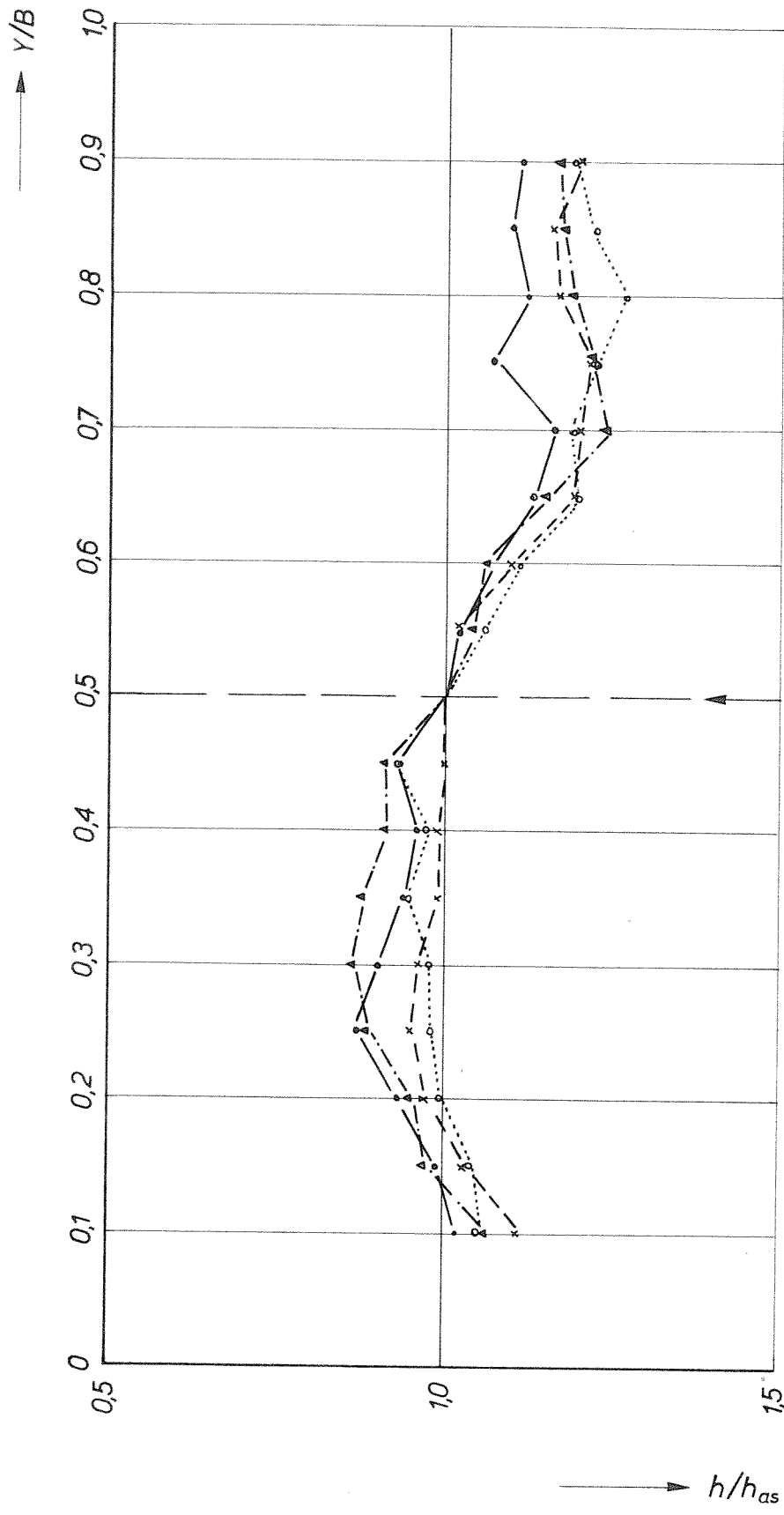
JB

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847II-1049

FIG.11d

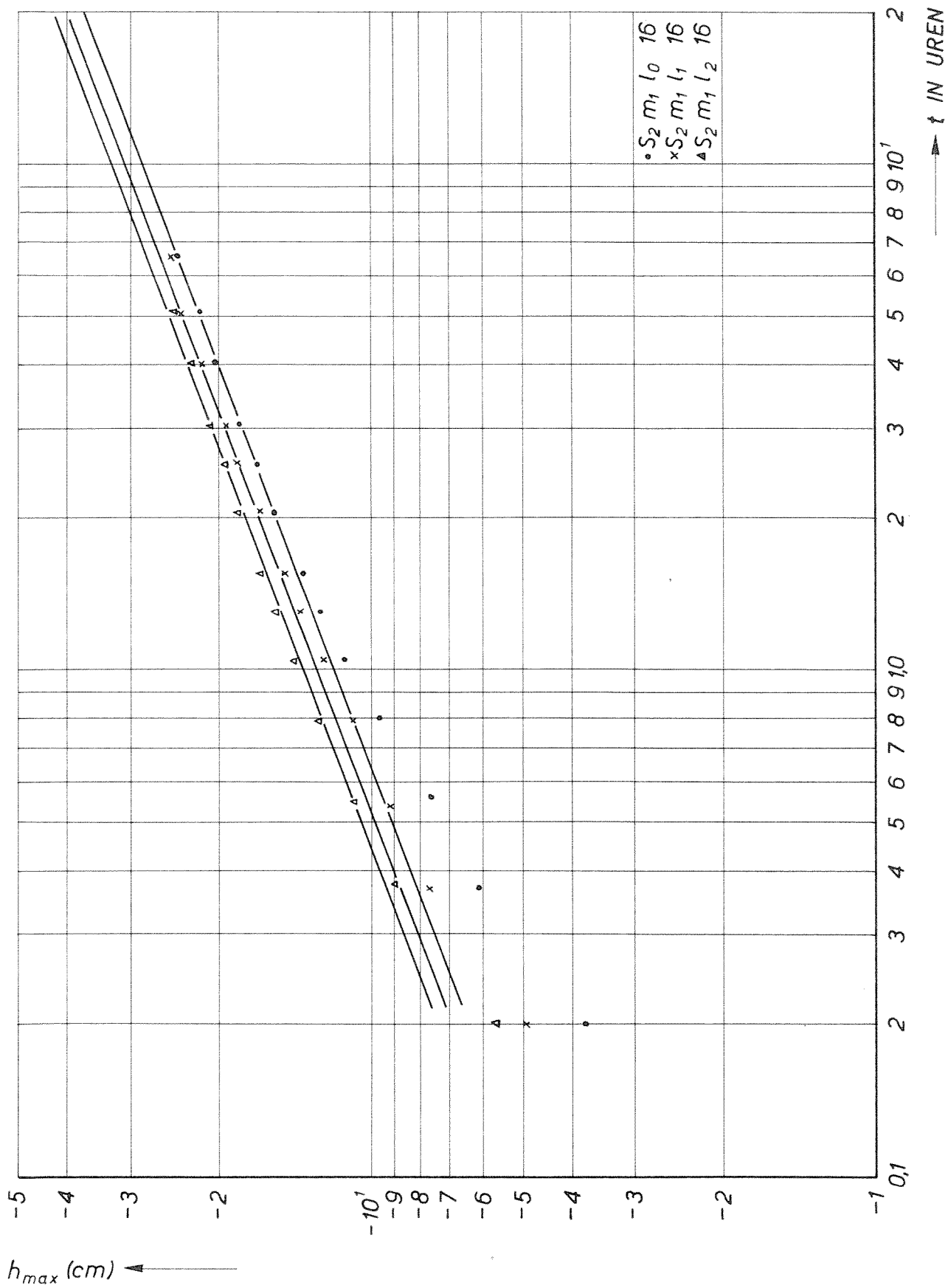


• S <sub>2</sub> m <sub>0</sub> l <sub>0</sub> 16	X <sub>max</sub> = 80 cm	h <sub>as</sub> = 21,8 cm	h <sub>max</sub> = 22,2 cm
× S <sub>2</sub> m <sub>0</sub> l <sub>1</sub> 16	= 80 cm	= 22,0 cm	= 22,0 cm
△ S <sub>2</sub> m <sub>0</sub> l <sub>2</sub> 16	= 80 cm	= 20,3 cm	= 21,3 cm
◊ S <sub>2</sub> glad 16	= 80 cm	= 20,4 cm	= 22,0 cm

DWARSPROFIELEN IN X<sub>max</sub> t=0,2t<sub>1</sub>

JB

A4



TJD-ONTGRONDINGSLIJEN

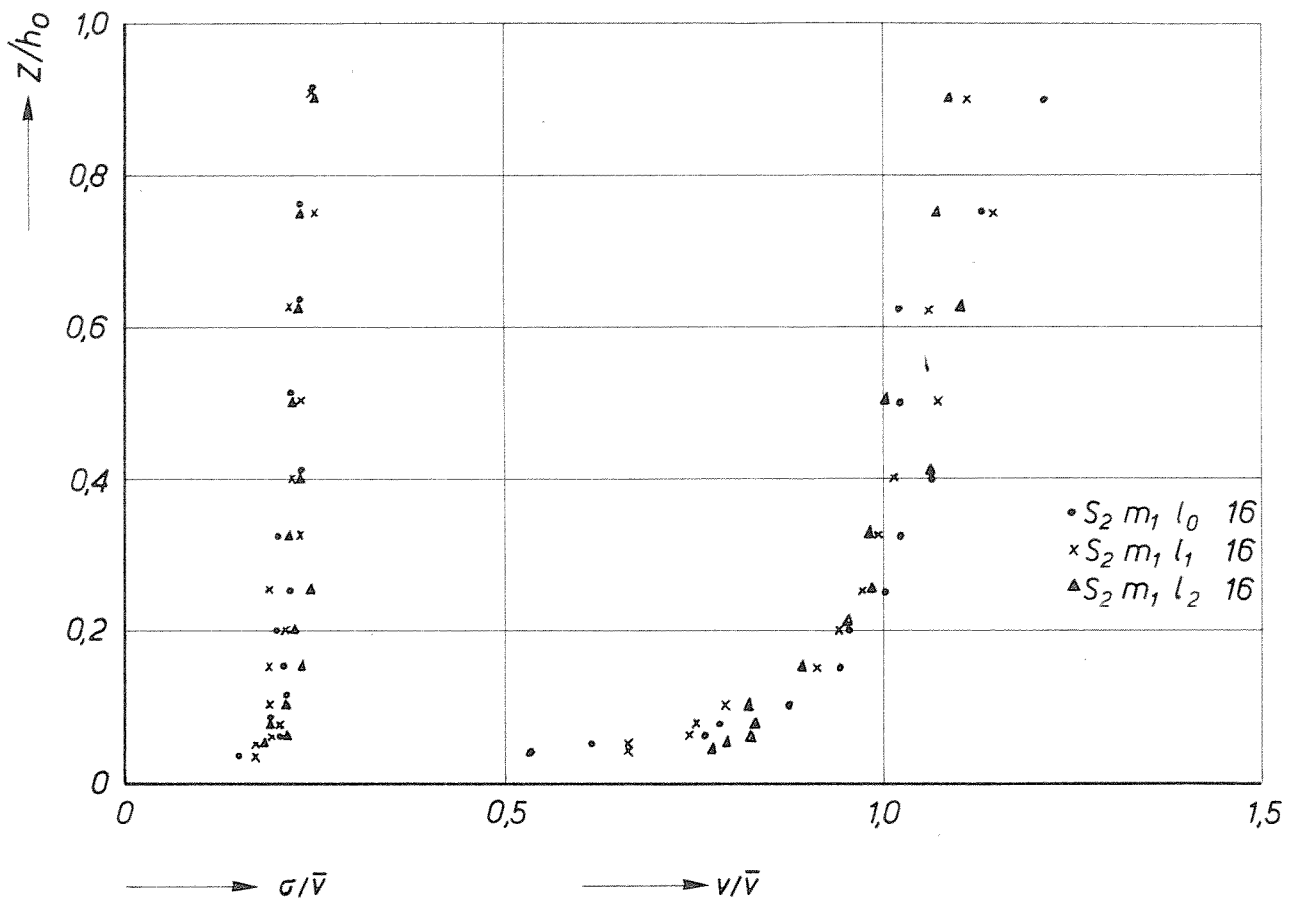
JB

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.847 II-1051

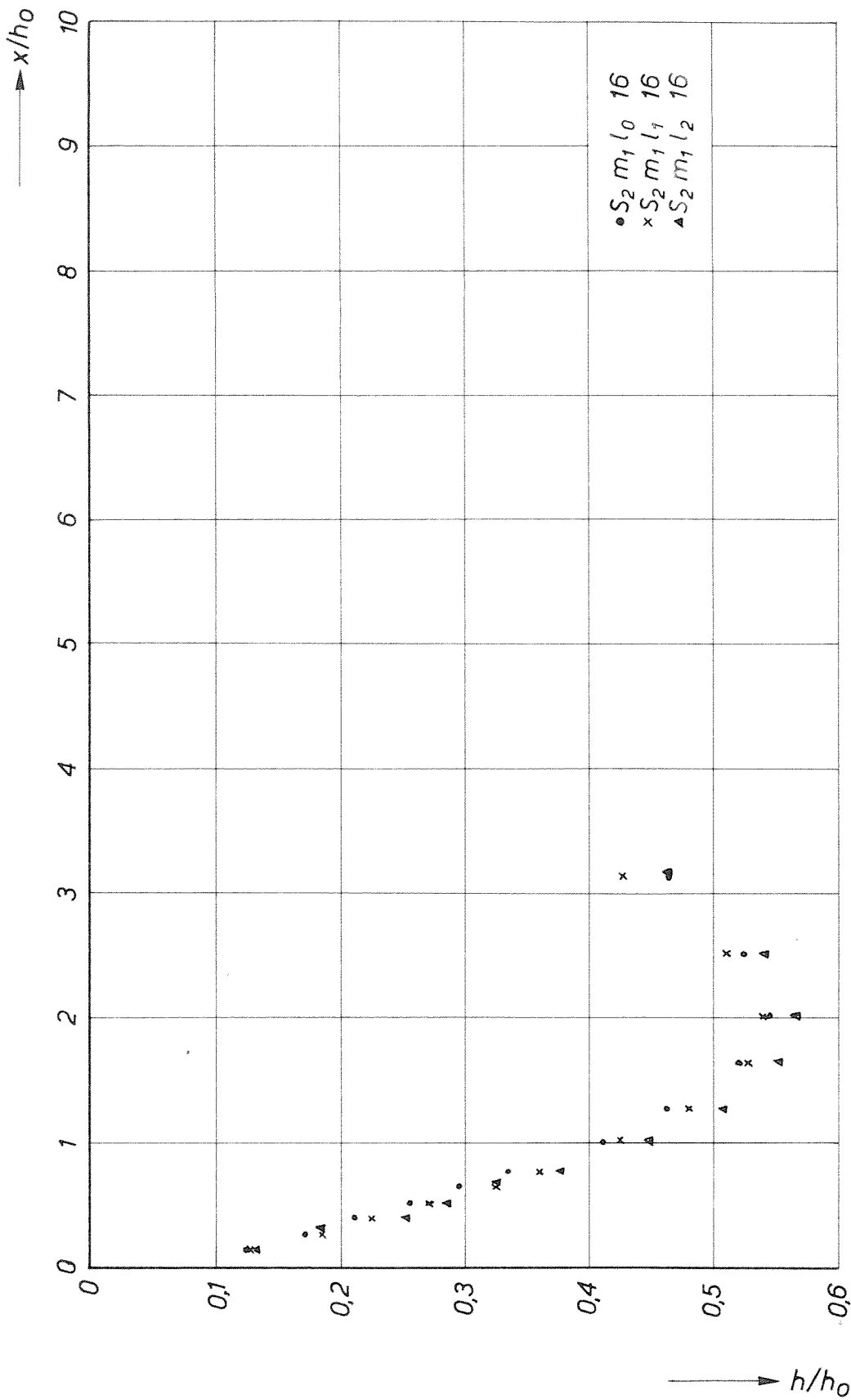
FIG.12a



SNELHEIDSVERDELING  $x=0$

JB

A4

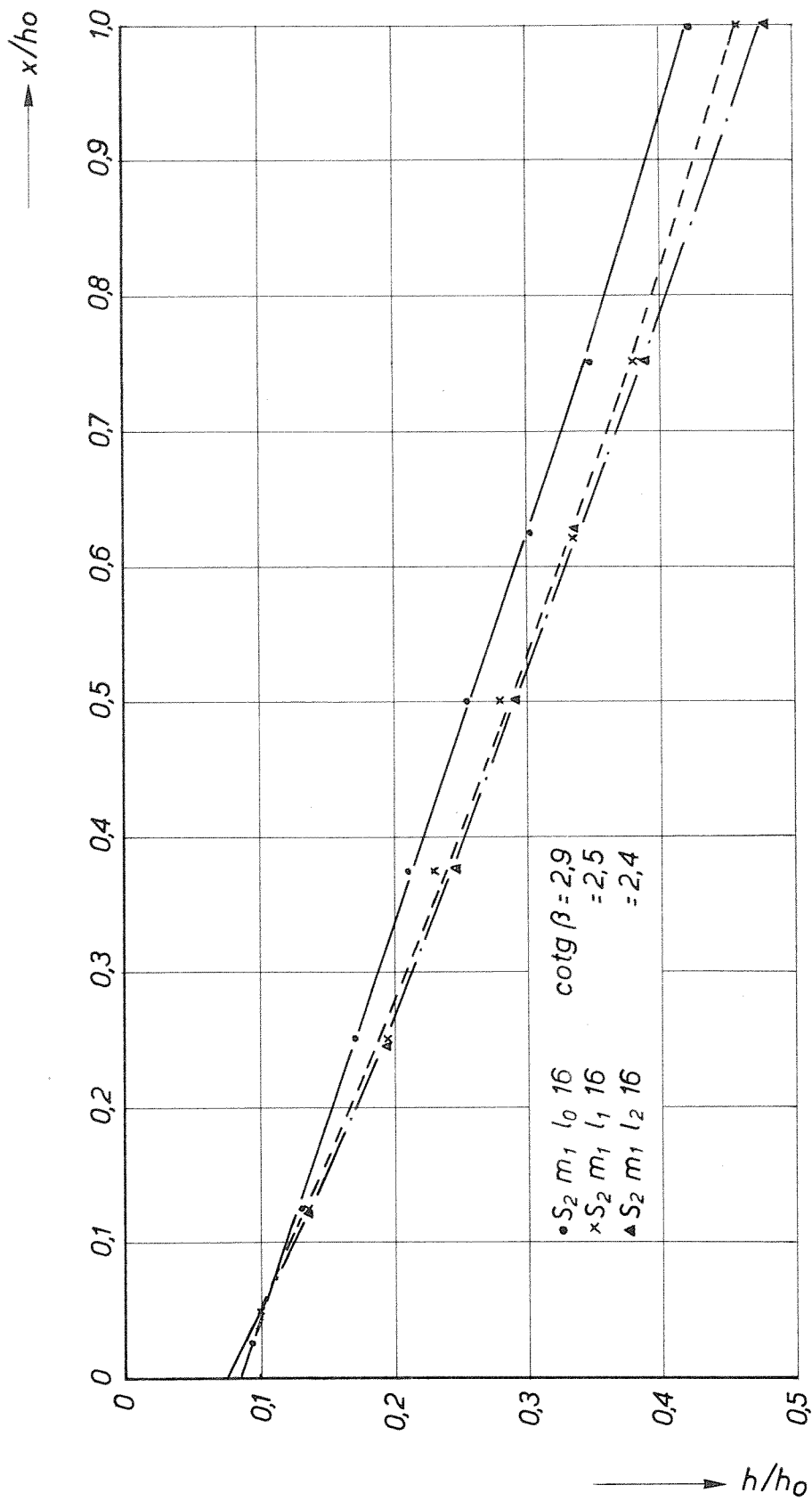


KUILVORM  $t=0,2t_1$

JB

A4



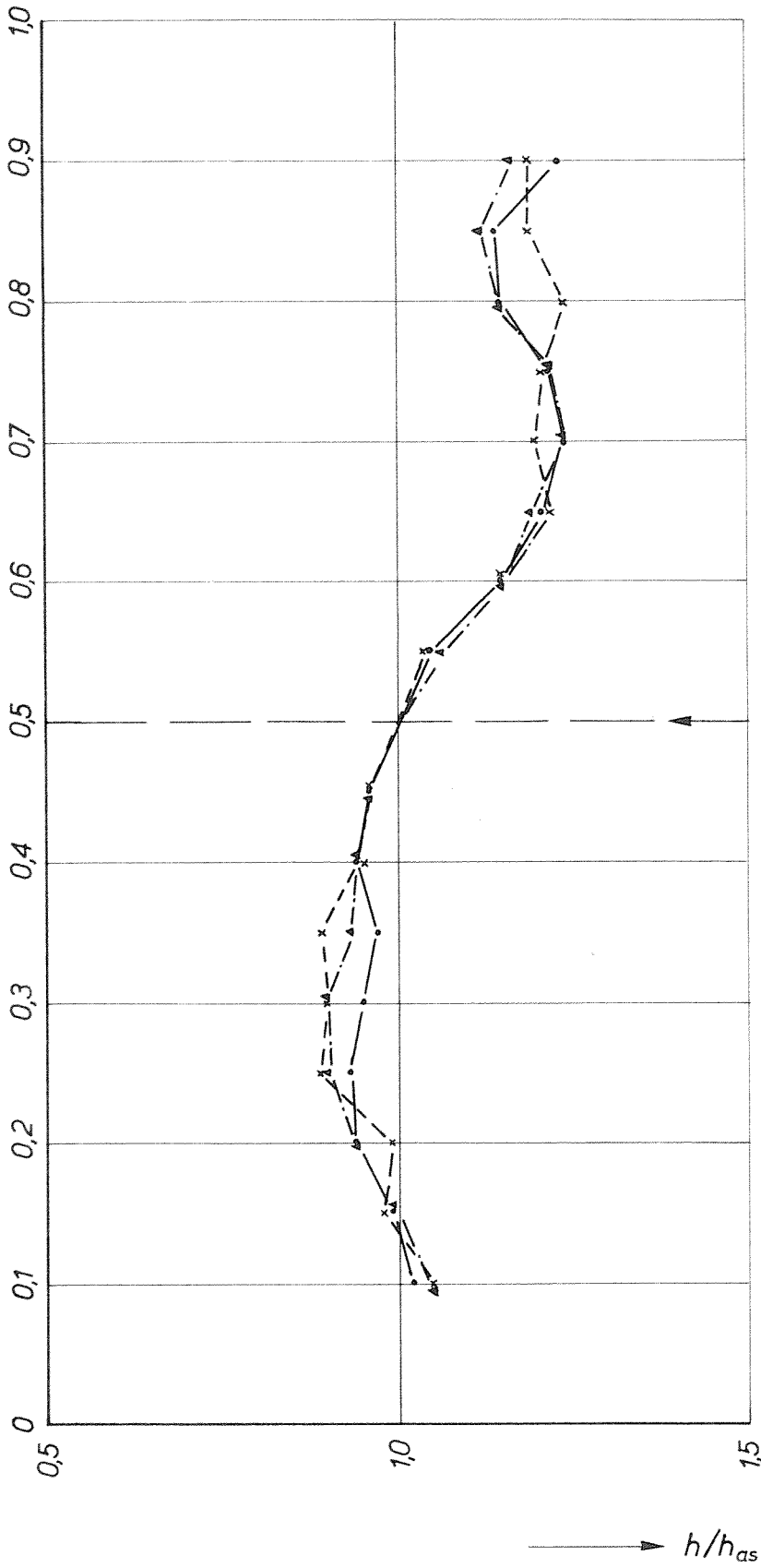


AANZETHELLING

JB

A4

Y/B



$h_{max} = 21,8 \text{ cm}$   
 $= 21,6 \text{ cm}$   
 $= 22,7 \text{ cm}$

$h_{as} = 20,5 \text{ cm}$   
 $= 20,3 \text{ cm}$   
 $= 21,6 \text{ cm}$

$X_{max} = 80 \text{ cm}$   
 $= 80 \text{ cm}$   
 $= 80 \text{ cm}$

$\circ S_2 m_1 l_0 16$   
 $\times S_2 m_1 l_1 16$   
 $\triangle S_2 m_1 l_2 16$

DWARSPROFIELEN IN  $X_{max}$   $t=0,2t_1$

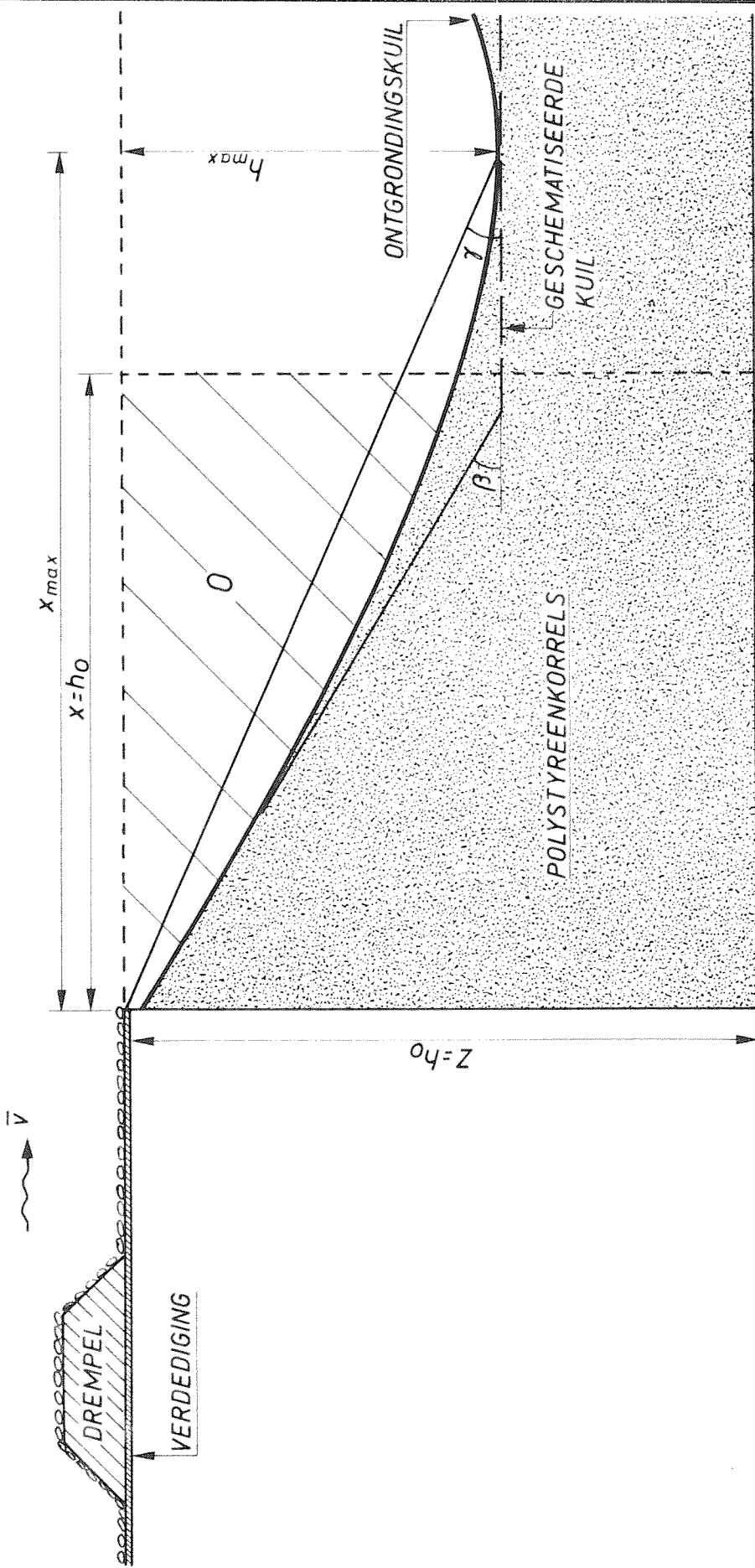
JB

A4

DELFT HYDRAULICS LABORATORY

M.847II-1055

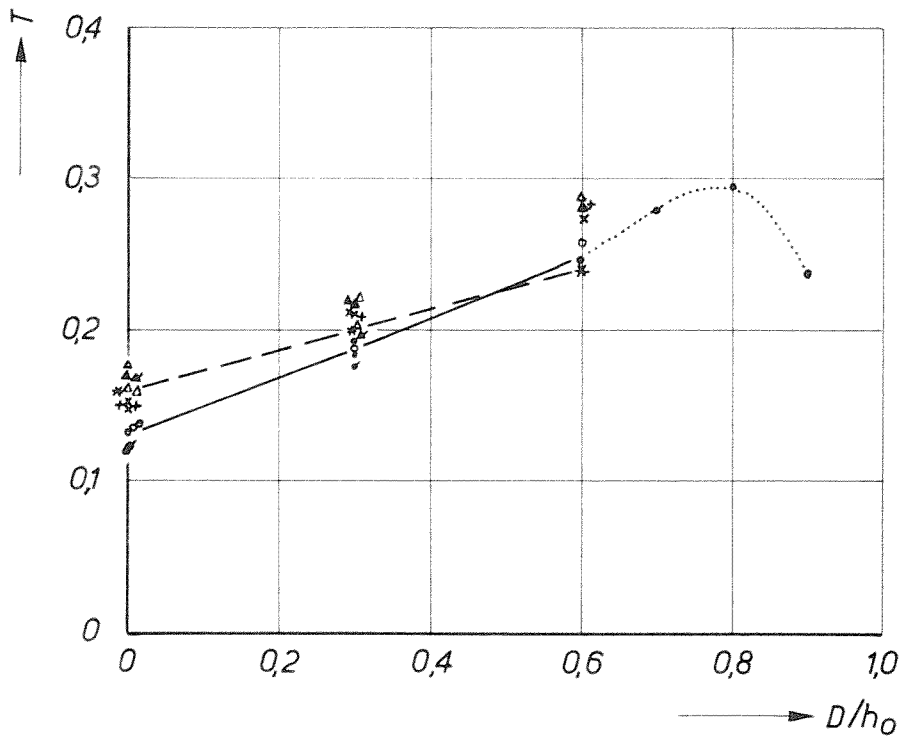
FIG.12e



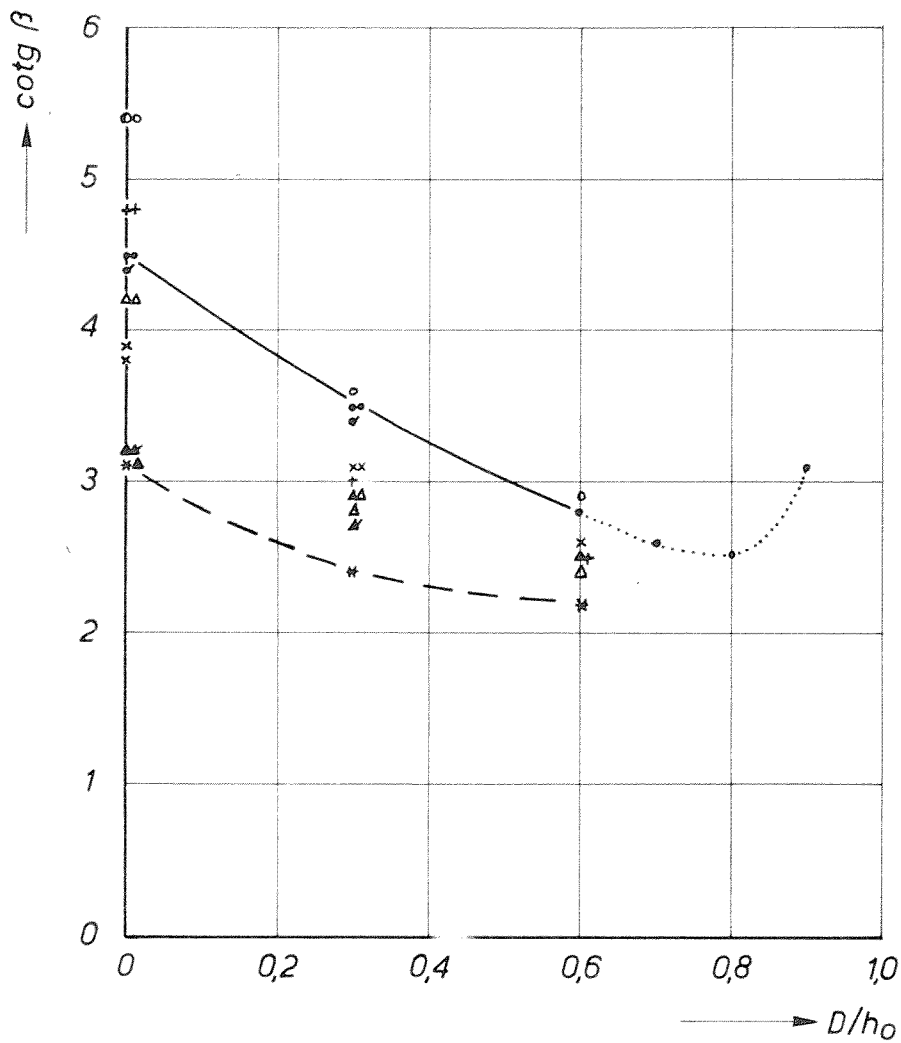
PARAMETERS

- $\cotg \beta$   $\beta$  = EVENWICHTSHELLING
- $\cotg \gamma$   $\cotg \gamma = x_{max} / h_{max}$
- $T$   $T = 0 / h_0^2$  MET  $0$  = HOEVEELHEID UITGESPOELD MATERIAAL (GEARCEERD)

ONTGRONDINGSKUIL	JB
	A4
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M.847II - 1057      FIG.13



- \* glad
- $m_0 l_0$
- ×  $m_0 l_1$
- ▲  $m_0 l_2$
- $m_1 l_0$
- +  $m_1 l_1$
- △  $m_1 l_2$
- ◊  $m_0 l_0^A$
- ♣  $m_0 l_2^A$

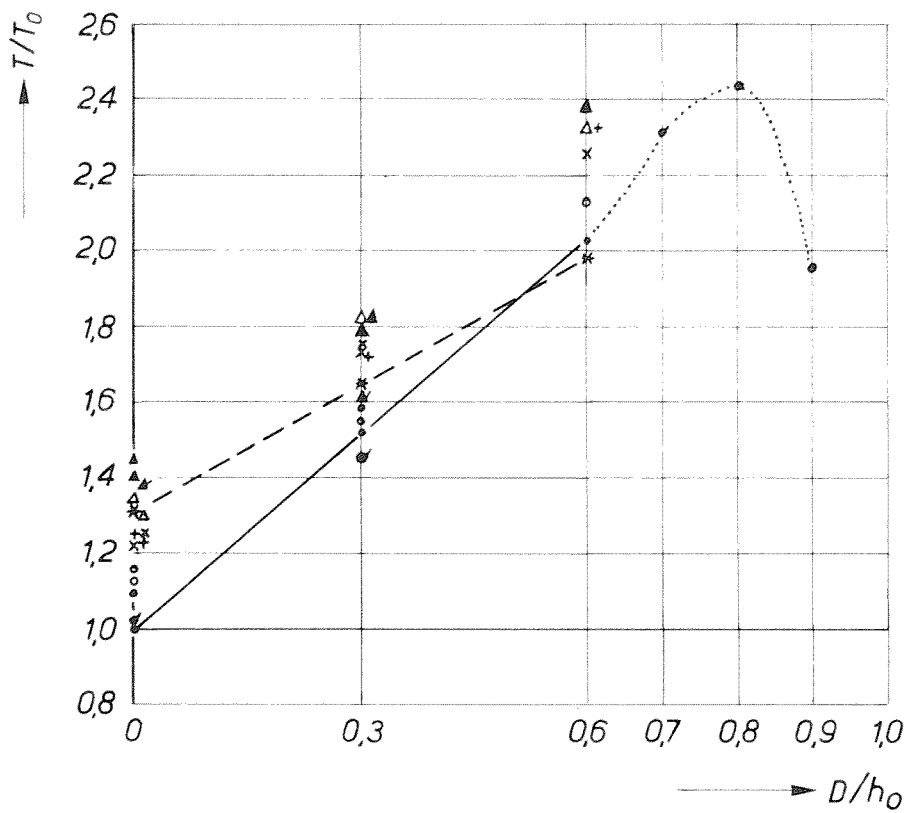


VERBAND TUSSEN  $T$  EN  $D/h_0$

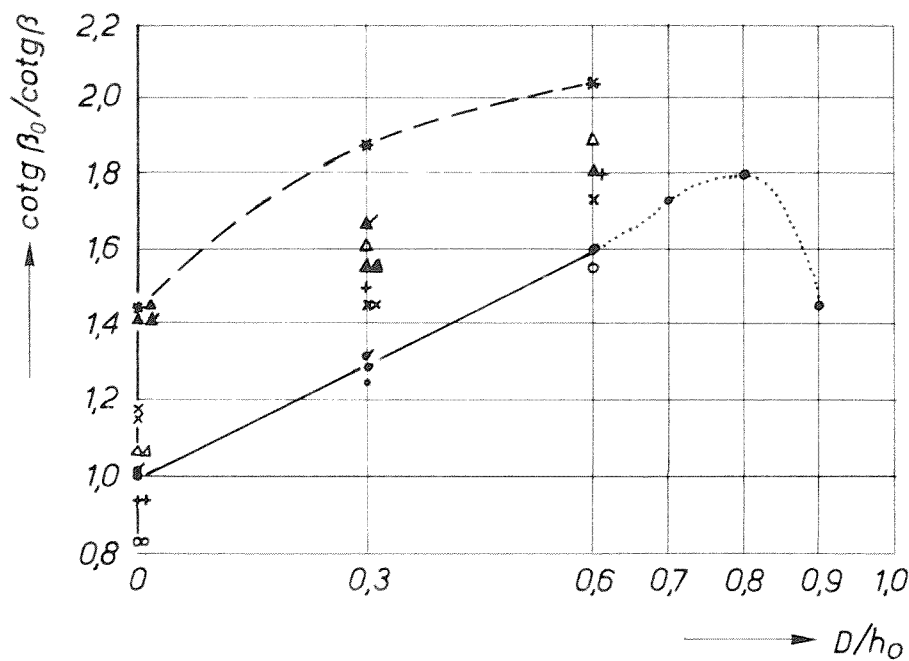
JB

VERBAND TUSSEN  $\cotg \beta$  EN  $D/h_0$

A4



- \* glad
- $m_0 l_0$
- ×  $m_0 l_1$
- ▲  $m_0 l_2$
- $m_1 l_0$
- +  $m_1 l_1$
- △  $m_1 l_2$
- ◐  $m_0 l_0^A$
- ✱  $m_0 l_2^A$



VERBAND TUSSEN  $T/T_0$  EN  $D/h_0$

VERBAND TUSSEN  $\cotg \beta_0 / \cotg \beta$  EN  $D/h_0$

JB

A4

