

Bijvoegsel bij rapport: Afsluiting Volkerak: Wind- en
stroomweerstand caisson.

W.L. M 878 deel IV.

De in dit rapport behandelde stroomweerstand proeven
zijn uitgevoerd in diep water, zodat het caisson geen
invloed ondervindt van de bodem. De waterdiepte moet
dan tenminste vijf maal de diepgang van het caisson
bedragen. Wanneer de waterdiepte geringer is neemt de
stroomweerstand toe.

's-Gravenhage, 12 mei 1969.

F. Spaargaren

(ir. F. Spaargaren)

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

AFSLUITING VOLKERAK

Deel IV

Wind- en stroomweerstand caisson

Verslag modelonderzoek

BIBLIOTHEEK
Dienst Weg- en Waterbouwkunde
Postbus 5044, 2600 GA DELFT

- 5 SEP. 1991

M 878
april 1969

INHOUD

	<u>blz.:</u>
<u>1. Inleiding</u>	1
<u>2. Stroomweerstand op diep water</u>	
2.1. Schalen	2
2.2. Meetmethoden	2
2.3. Meetprogramma en randvoorwaarden	3
2.4. Resultaten	3
2.5. Bespreking van de resultaten	4
<u>3. Windweerstand</u>	
3.1. Schalen	5
3.2. Meetmethoden	5
3.3. Meetprogramma en randvoorwaarden	6
3.4. Resultaten	6
<u>4. Conclusies</u>	7

FIGUREN

1. Afmetingen caisson (stroomweerstand).
2. Schema meetopstelling.
3. Stroomweerstand op diep water, in stroomrichting (W), proeven W.L.
4. Stroomweerstand op diep water, loodrecht op stroomrichting (L), proeven W.L.
5. Stroomweerstand op diep water, resultante (R), proeven W.L.
6. Aangrijpingspunt en richting resulterende kracht (R), proeven W.L.
7. Weerstandscoefficienten (C_w), proeven W.L.
8. Stroomweerstand op diep water in stroomrichting (W), proeven N.S.P.
9. Stroomweerstand op diep water loodrecht op stroomrichting (L), proeven N.S.P.
10. Vergelijking resultaten N.S.P. en W.L.
11. Afmetingen caisson (windweerstand).
12. Meetopstelling in de windgoot.
13. Windvertikalen.
14. Windkrachten op de Volkerak-caisson.

FOTO

1. Model Volkerak-caisson in de windgoot.

AFSLUITING VOLKERAK

Wind- en stroomweerstand caisson

1. Inleiding

Voor de opdracht tot het verrichten van modelonderzoek ten behoeve van de afsluiting van het Volkerak en de aard van het onderzoek wordt verwezen naar de verslagen M 878 deel I, par. 1.1. en deel II, par. 1.2.

Het onderzoek dat in dit verslag wordt behandeld bestaat uit twee delen:

- a. Stroomweerstand van de Volkerakcaisson op diep water.
- b. Windweerstand van de Volkerakcaisson.

Met het oog op manoeuvreerproeven met caissons in het sluitgatmodel van het Volkerak (zie verslag M 878, deel V) is het onder a. genoemde onderzoek uitgevoerd om een inzicht te krijgen in de grootte van eventuele schaalearselen in de krachten, die door stromend water op een caissonmodel met schaal 1 : 50 worden uitgeoefend. Bovendien geeft dit onderzoek informatie over de stroomweerstand van de caisson als functie van de stroomsnelheid. De proeven zijn uitgevoerd in één van de sleep-tanks van het Nederlandsch Scheepsbouwkundig Proefstation (N.S.P.) te Wageningen, op schaal 1 : 12,05 en in de grote stroomgoot van het Laboratorium De Voorst (W.L.) op schaal 1 : 50. De laatstgenoemde proeven zijn verricht door de heer H. de Jager.

Het onder b. genoemde onderzoek dient om inzicht te verschaffen in de grootte van de krachten die door de wind op een drijvend caisson worden uitgeoefend. De proeven zijn uitgevoerd door de heer L. Schreuder in de windgoot van het Laboratorium De Voorst.

Dit verslag is opgesteld door ir. C. Kooman van het Waterloopkundig Laboratorium.

2. Stroomweerstand op diep water

2.1. Schalen

Bij de proeven zijn de volgende schalen toegepast:

		W.L.	N.S.P.
lengteschaal	(n_1)	1:50	1:12.05
snelheidsschaal	$(n_v = \sqrt{n_1})$	1:7.07	1:3,47
krachtenschaal	$(n_K = n_1^3)$	1:125.000	1:1750

De snelheids- en krachtenschaal zijn afgeleid uit de lengteschaal volgens de modelregels van Froude.

Tenzij anders is vermeld worden alle grootheden uitgedrukt in prototypewaarden.

2.2. Meetmethoden

De caissonmodellen zijn uitgevoerd in hout en, voor wat het onderwatergedeelte betreft, nauwkeurig op schaal weergegeven (fig. 1).

In het Waterloopkundig Laboratorium zijn de proeven uitgevoerd in de grote stroomgoot van het Laboratorium De Voorst. Het caissonmodel is op een bepaalde plaats gefixeerd met het zwaartepunt in de as van de stroomgoot. De krachten, die door het stromende water werden uitgeoefend, zijn gemeten in een horizontale vlak in twee onderling loodrecht op elkaar staande richtingen namelijk één kracht in de langsrichting van de caisson en twee krachten, met hun aangrijpingspunten op gelijke afstanden van het zwaartepunt, in dwarsrichting.

Het caissonmodel is met behulp van een cardanische koppeling bevestigd aan een vertikaal staande staaf die op en neer kan bewegen. Hierdoor is bewerkstelligd dat kleine verstoringen in de waterstand geen invloed uitoefenen op de diepgang van de caisson. De meetopstelling is schematisch weergegeven in figuur 2.

In het Nederlandsch Scheepsbouwkundig Proefstation zijn de proeven uitgevoerd in de diepwatertank. Hierbij is het caissonmodel met behulp van een wagen door stilstaand water gesleept. De krachten die als gevolg van de re-

latieve stroomsnelheid van het water op de caisson werden uitgeoefend, zijn gemeten en geregistreerd.

2.3. Meetprogramma en randvoorwaarden

De weerstandsproeven zijn uitgevoerd bij verschillende stroom- of sleepsnelheden en bij verschillende hoeken (α) tussen de langsas van de caisson en de stroom- of sleeprichting.

In het W.L. zijn bij iedere hoek α , vier stroomsnelheden tussen 0,7 en 3,0 m/s toegepast. In het N.S.P. zijn bij iedere hoek α vijf à zes sleepsnelheden tussen 1,0 en 3,1 m/s toegepast. In beide instituten is de hoek α gevarieerd van 0° tot 90° met stapgrootten van ca 15° .

De ingestelde waterdiepten in de stroomgoot (W.L.) en de diepwatertank (N.S.P.) komen overeen met waarden van respectievelijk 140 m en 66 m. Beide waterdiepten kunnen beschouwd worden als "diep water" wat betekent dat de diepte-diepgangsverhouding geen invloed uitoefent op de optredende krachten.

De verhouding tussen de caissonlengte en de breedte van respectievelijk de stroomgoot en de diepwatertank bedraagt 1:3,3 en 1:2,8. Dit betekent dat, als gevolg van het breedte-effect, de krachten gemeten in de diepwatertank hogere waarden kunnen bereiken dan in de stroomgoot. Dit zal vooral het geval zijn bij hoge stroomsnelheden en grote waarden van α (60° tot 90°).

2.4. Resultaten

De gemeten krachten in langs- en dwarsrichting van de caisson zijn omgerekend tot weerstandskrachten (W) evenwijdig aan de stroomrichting en liftkrachten (L) loodrecht op de stroomrichting. De weerstands- en liftkrachten worden weergegeven in de figuren 3 en 4 (W.L.) en de figuren 8 en 9 (N.S.P.). In figuur 5 wordt voor de W.L. proeven de resulterende kracht (R) weergegeven. De figuren 3 en 4 zijn hiervan afgeleid. De plaats van het aangrijpingspunt en de hoek (β) met de stroomrichting van de resulterende kracht (R) wordt weergegeven in figuur 6. Figuur 7 geeft de weerstandscoefficienten voor $\alpha = 0^\circ$ en $\alpha = 90^\circ$ als functie van de stroomsnelheid.

2.5. Bespreking van de resultaten

Voor vier verschillende snelheden worden de resultaten van de W.L.-proeven en de N.S.P.-proeven met elkaar vergeleken in figuur 10. Zowel voor de weerstandskrachten als voor de liftkrachten bestaat er een goede overeenkomst. De verschillen die optreden voor $\alpha = 60^\circ$ à 90° bij een snelheid van 2,5 m/s kunnen voor een groot deel geweten worden aan het breedte-effect (zie paragraaf 2.3.).

Uit de goede overeenkomst tussen de resultaten van de proeven schaal 1:50 (W.L.) en schaal 1:12,05 (N.S.P.) kan geconcludeerd worden dat de invloed van schaaleardeffecten op de optredende krachten bij de plaatsingsmanoeuvres in het sluitgatmodel van het Volkerak (schaal 1:50) te verwaarlozen is.

3. Windweerstand

3.1. Schalen

Bij de proeven zijn de volgende schalen toegepast:

lengteschaal	(n_l)	1:30
snelheidsschaal	$(n_v = \sqrt{n_l})$	1:5,4
krachtschaal	$(n_k = n_l^3)$	1:27000

De snelheids- en krachtschaal zijn afgeleid uit de lengteschaal volgens de modelregels van Froude.

Tenzij anders is vermeld worden alle grootheden uitgedrukt in prototypematen.

3.2. Meetmethoden

Het caissonmodel is vervaardigd van hout. Het bovenwatergedeelte is geschematiseerd nagebootst. Het toegepaste model is weergegeven in figuur 11 en op foto 1.

Een overzicht van de meetopstelling in de windgoot wordt gegeven in figuur 12. De caisson drijft in een stalen bak waarin de waterspiegel praktisch hetzelfde niveau heeft als de omliggende verhoogde bodem van de windgoot. Een geleidelijke aanpassing van het windstroombeeld wordt mogelijk gemaakt door de verhoogde bodem via een flauwe helling (1:20) aan te sluiten op de bodem van de windgoot.

Ten behoeve van de meting wordt de caisson vastgehouden door 6 voorgespannen draden. De elasticiteit van de draad (1) waarin de krachtmeter is opgenomen is ca 1% van de elasticiteit van de veer (2).

Dit betekent dat de uitgeoefende windbelasting, volgens het krachtenschema in figuur 12, voor ca 99% als K_1 wordt opgenomen door de krachtmeter.

De windvertikalen zijn gemeten op hoogten overeenkomend met 1,50, 2,25, 3,00, 4,50, 6,00, 7,50 en 9,00 meter. Dit is gebeurd op twee plaatsen, aangegeven in figuur 12, bij afwezigheid van de caisson. De windsnelheden zijn gemeten met een anemometer.

3.3. Meetprogramma en randvoorwaarden

De proeven zijn uitgevoerd bij verschillende windsnelheden en bij verschillende hoeken (α) tussen de langsas van de caisson en de windrichting. Voor de hoek α zijn de waarden 0, 30, 60 en 90 graden toegepast. De windsnelheid, gemeten op 10 m vanaf de bodem is hierbij gevarieerd van ca. 8 tot 14 m/s.

De windvertikalen zijn gemeten bij verschillende toerentallen van de ventilator. De ruwheid van de bodem is gevarieerd door bij een gedeelte van de proeven de verhoogde bodem te bedekken met een dunne laag grindzand ($d_{50} \approx 3 \times 10^{-3}$ m).

3.4. Resultaten

De resultaten van de windsnelheidsmetingen worden weergegeven in figuur 13. De verschillende bodemruwheden hebben geen significante verschillen in de resultaten tot gevolg.

Door de Waterloopkundige Afdeling van de Deltadienst zijn windsnelheidsvertikalen gemeten op het Noordzeestrand (Nota K 152). Twee van deze vertikalen worden in figuur 13 vergeleken met de gemeten vertikalen in de windgoot. Uit deze figuur blijkt dat de vertikalen in de windgoot iets minder goed ontwikkeld zijn dan de vertikalen in het prototype. Dit houdt in dat de gemeten krachten iets groter zijn dan bij een snelheidsvertikaal volgens het prototype, uitgaande van eenzelfde windsnelheid op 10 m hoogte.

De gemeten krachten zijn omgerekend naar weerstandskrachten evenwijdig aan de windrichting en liftkrachten loodrecht op de windrichting. De weerstands- en liftkrachten bij verschillende waarden van α worden in figuur 14 weergegeven als functie van de windsnelheid op 10 m hoogte.

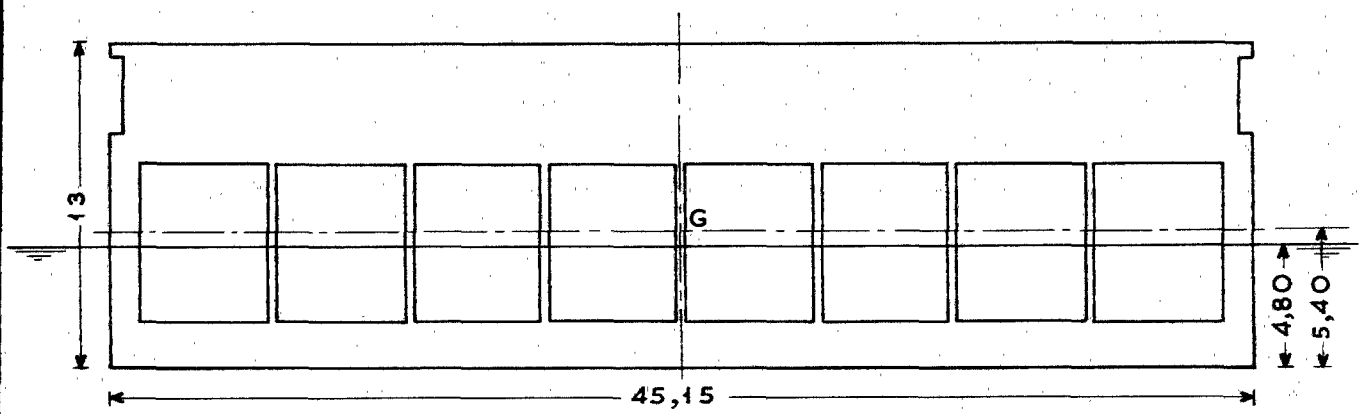
4. Conclusies

1. Bij plaatsingsmanoeuvres in het detailmodel van het Volkerak op schaal 1 : 50 zullen naar verwachting op grond van het in dit verslag beschreven onderzoek geen schaalafecten in de optredende krachten voorkomen.
2. De liftkrachten (L) voor de stroomweerstand van het Volkerak-caisson zullen bij een aanstroomrichting α van ca. 55° de maximale waarde bereiken (zie figuur 10).
3. De windkrachten op het Volkerak-caisson bereiken bij een gegeven windsnelheid een maximale waarde voor $\alpha = 60^\circ$ (zie figuur 14). Bij een windsnelheid van 13 m/s is de weerstandskracht tengevolge van wind ca. 6 ton en de liftkracht ruim 2 ton.

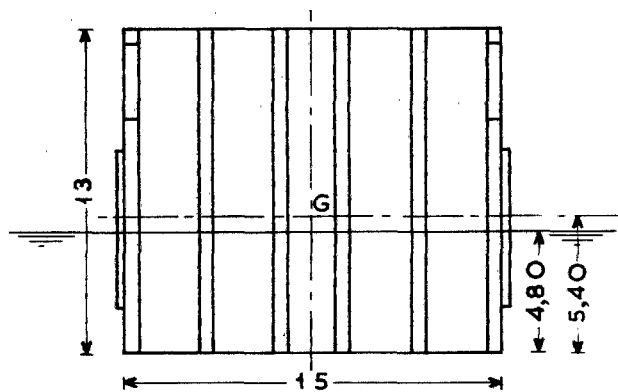
15 m	0,8	recht op de kop.			
30 m	0,8				
8,25	bijna 1		Diepgang 6 m.		
7,25	1,5				
			bij 90° .	30 m	1,3
				15 m	1,6
				8,25	1,9
				7,25	3.

Bij hogere snelheden worden C_w ca. 1,5 bereikt.

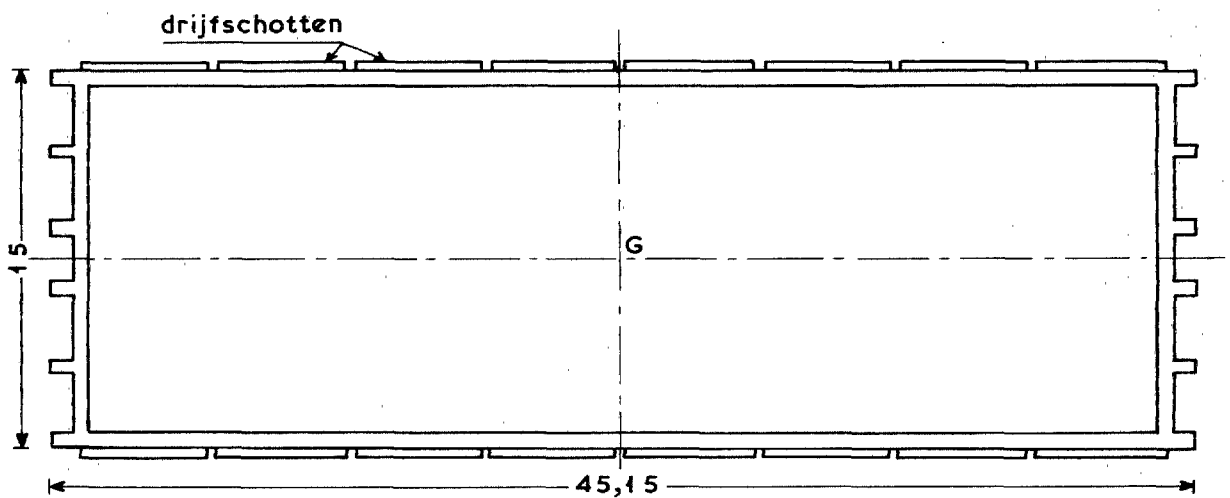
*Verte/breute
omgeving is anders
in diepgang/breute is
anders*



ZIJAANZICHT



AANZICHT KOPWAND



HORIZONTALE DOORSNEDE

G: zwaartepunt

maten in meters

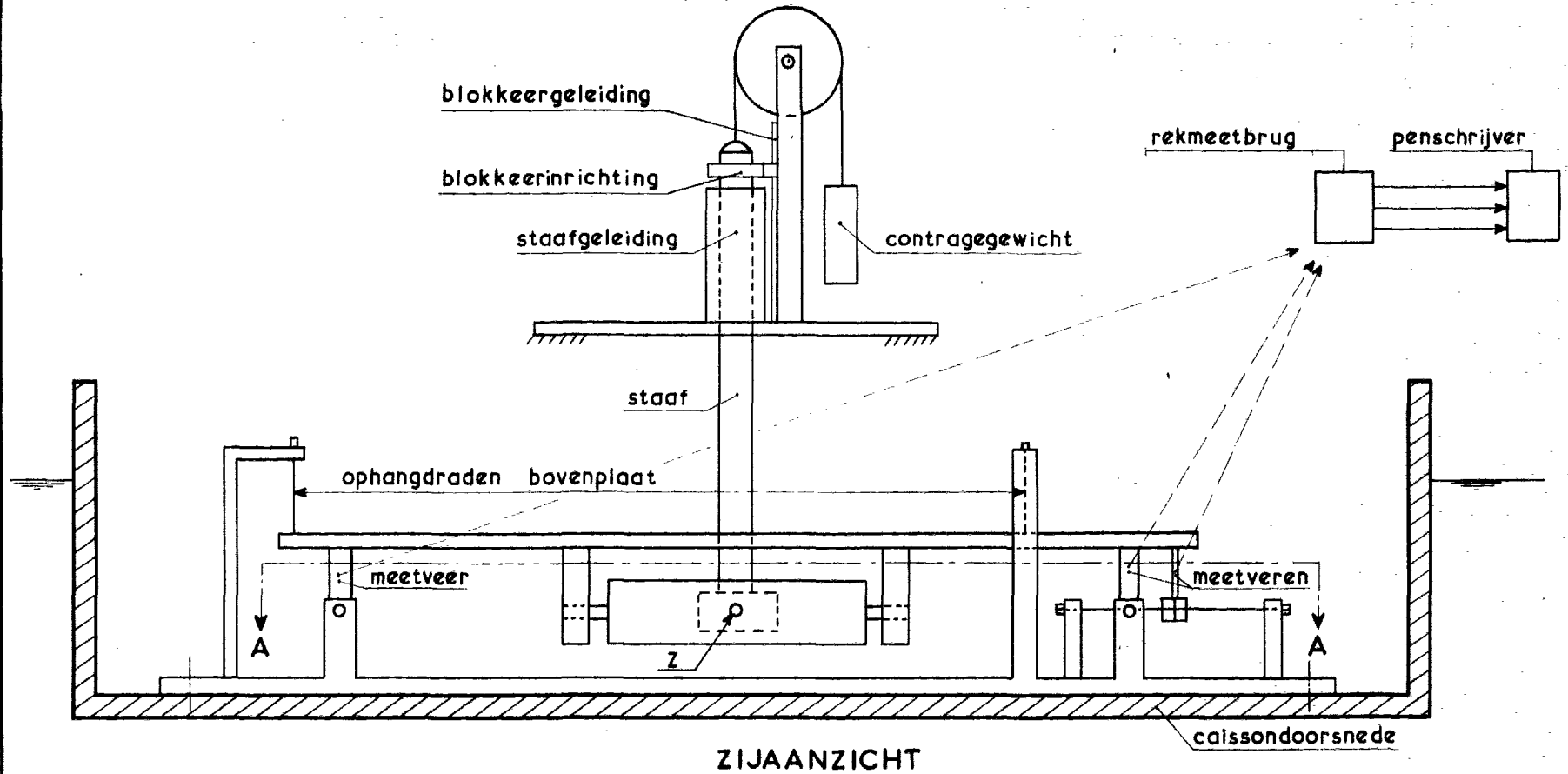
AFMETINGEN CAISSON (STROOMWEERSTAND)

SCHAAL 1:300

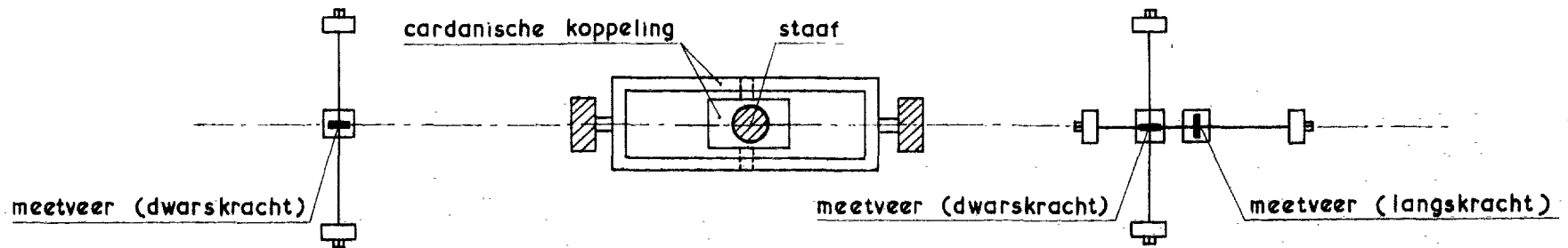
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.878-IV

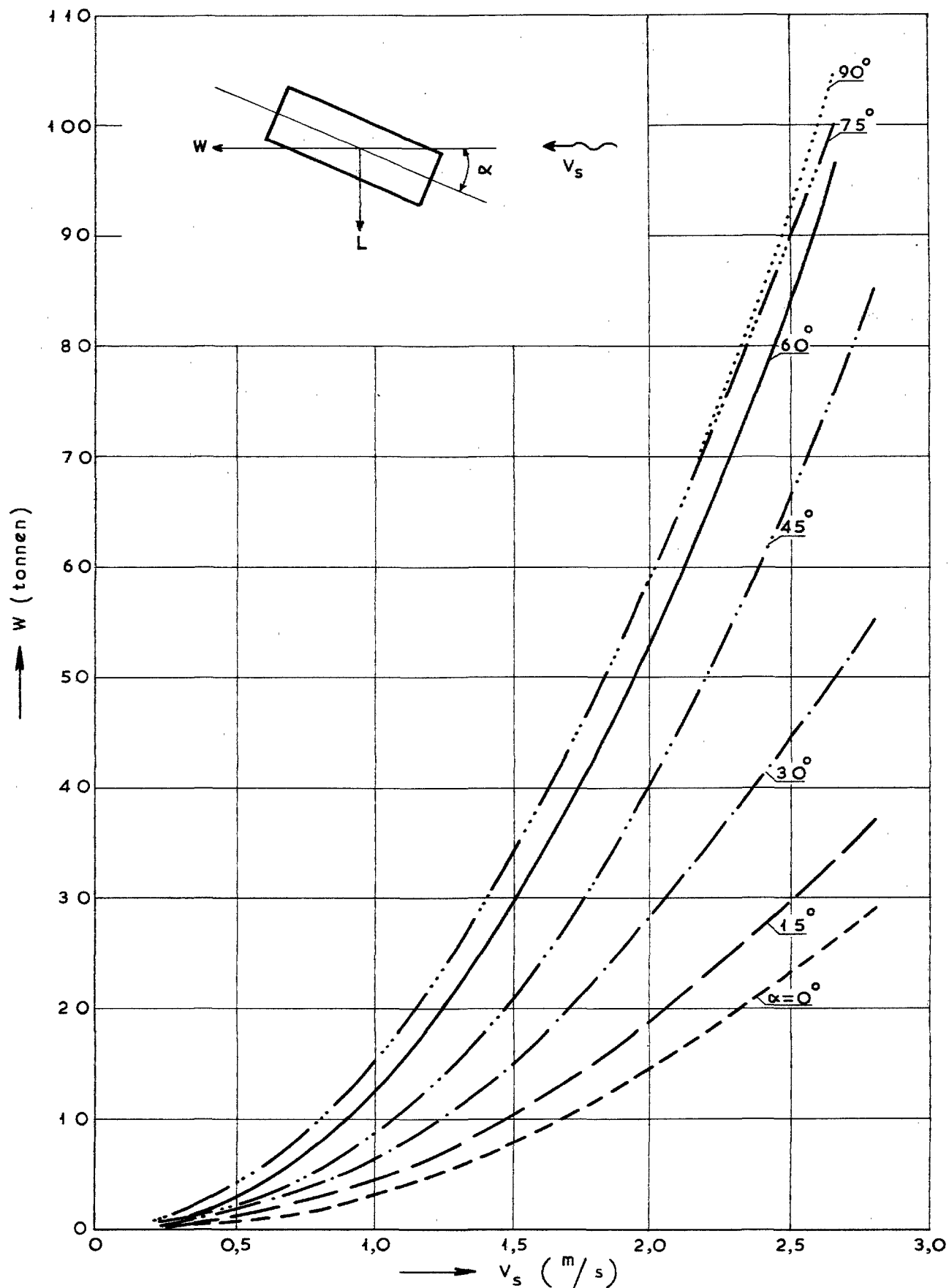
FIG. 1



ZIJAAZICHT



DOORSNEDE A-A



v_s : stroomsnelheid
 W : weerstandskracht

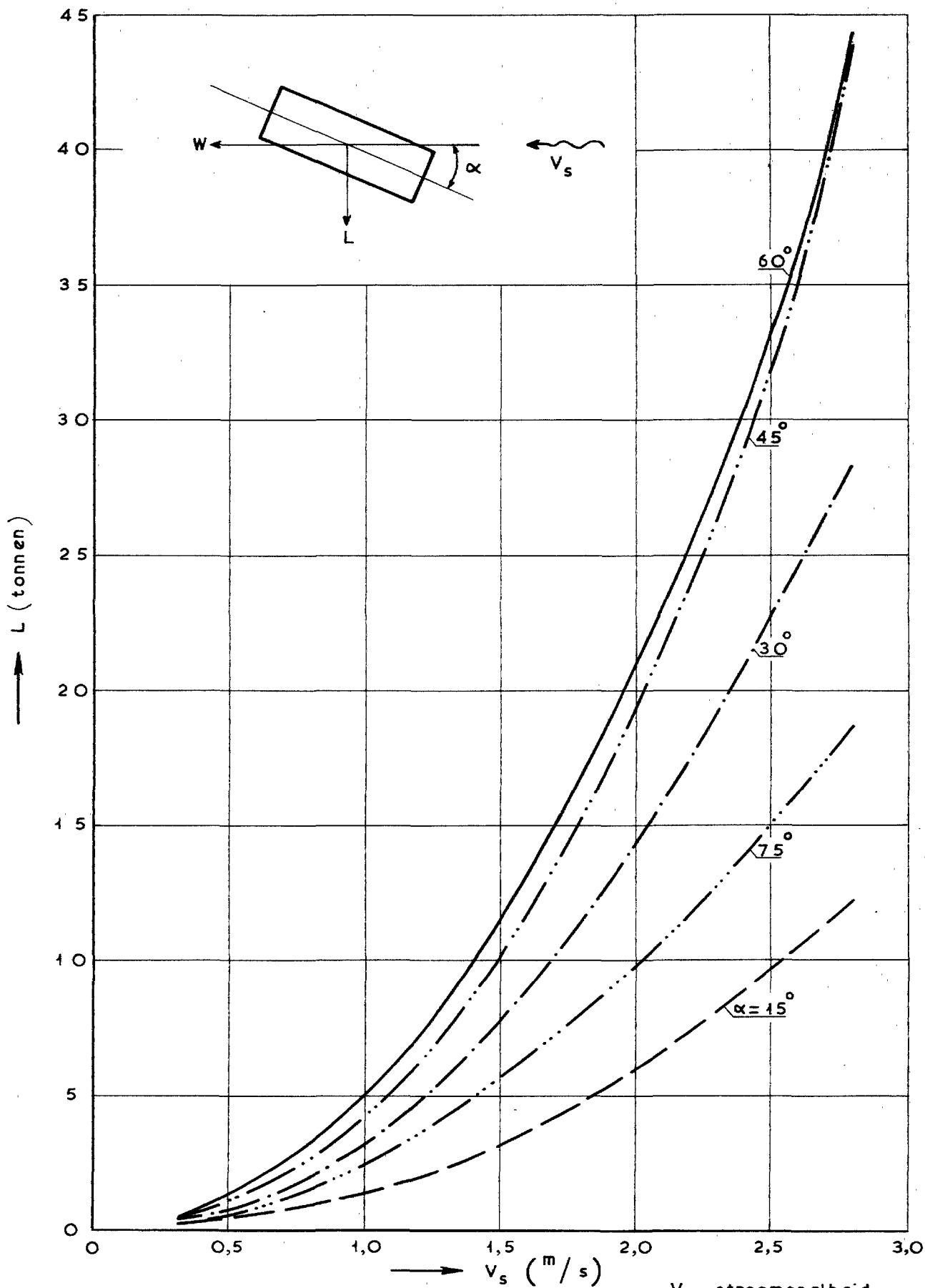
STROOMWEERSTAND OP DIEP WATER
 IN STROOMRICHTING (W)

W.L. SCHAÁL 1 : 50

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 878-IV

FIG. 3



V_s : stroomsnelheid
 L : liftkracht

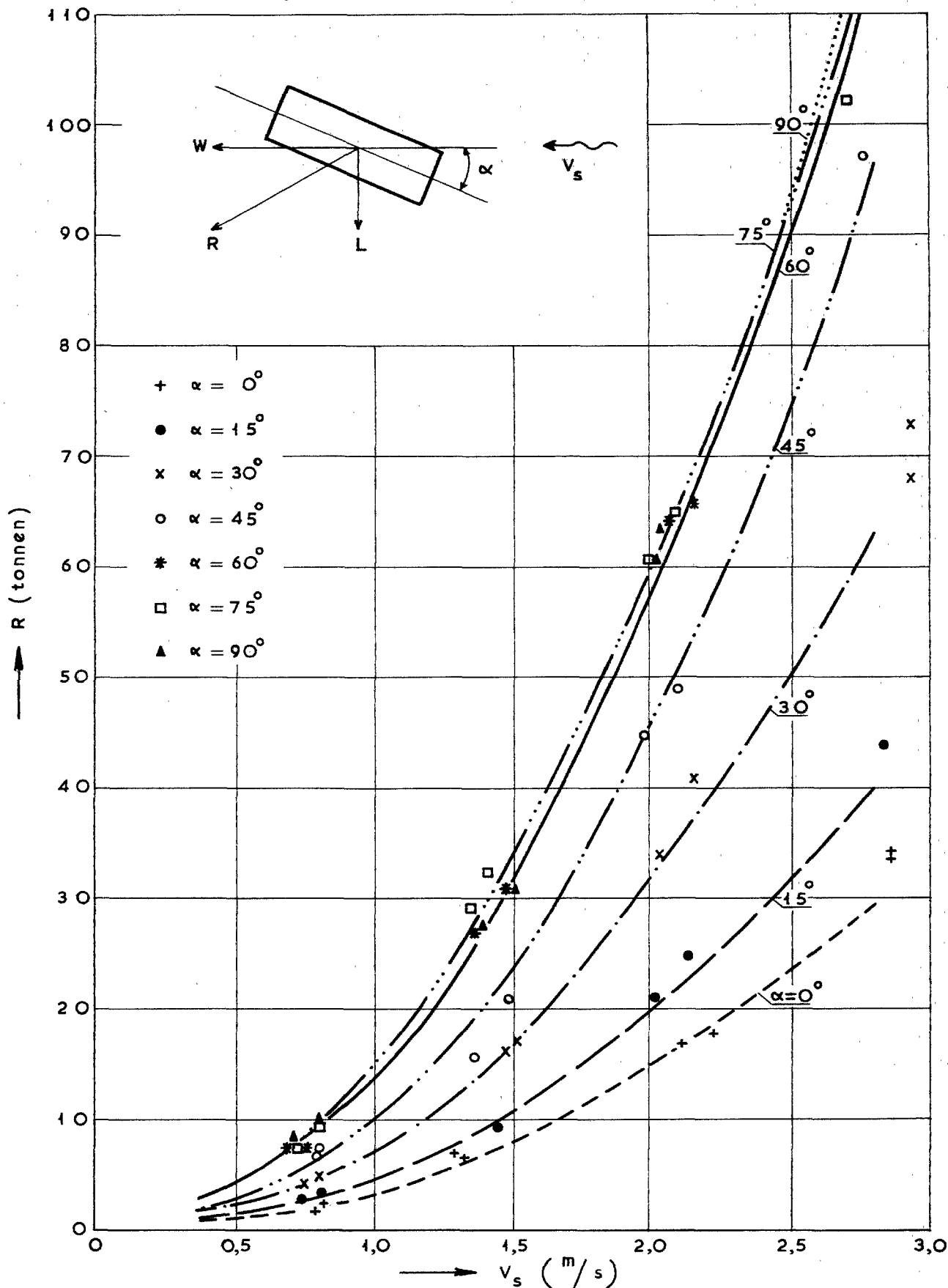
STROOMWEERSTAND OP DIEP WATER
 LOODRECHT OP STROOMRICHTING (L)

W.L. SCHAAL 1 : 50

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 878-IV

FIG. 4

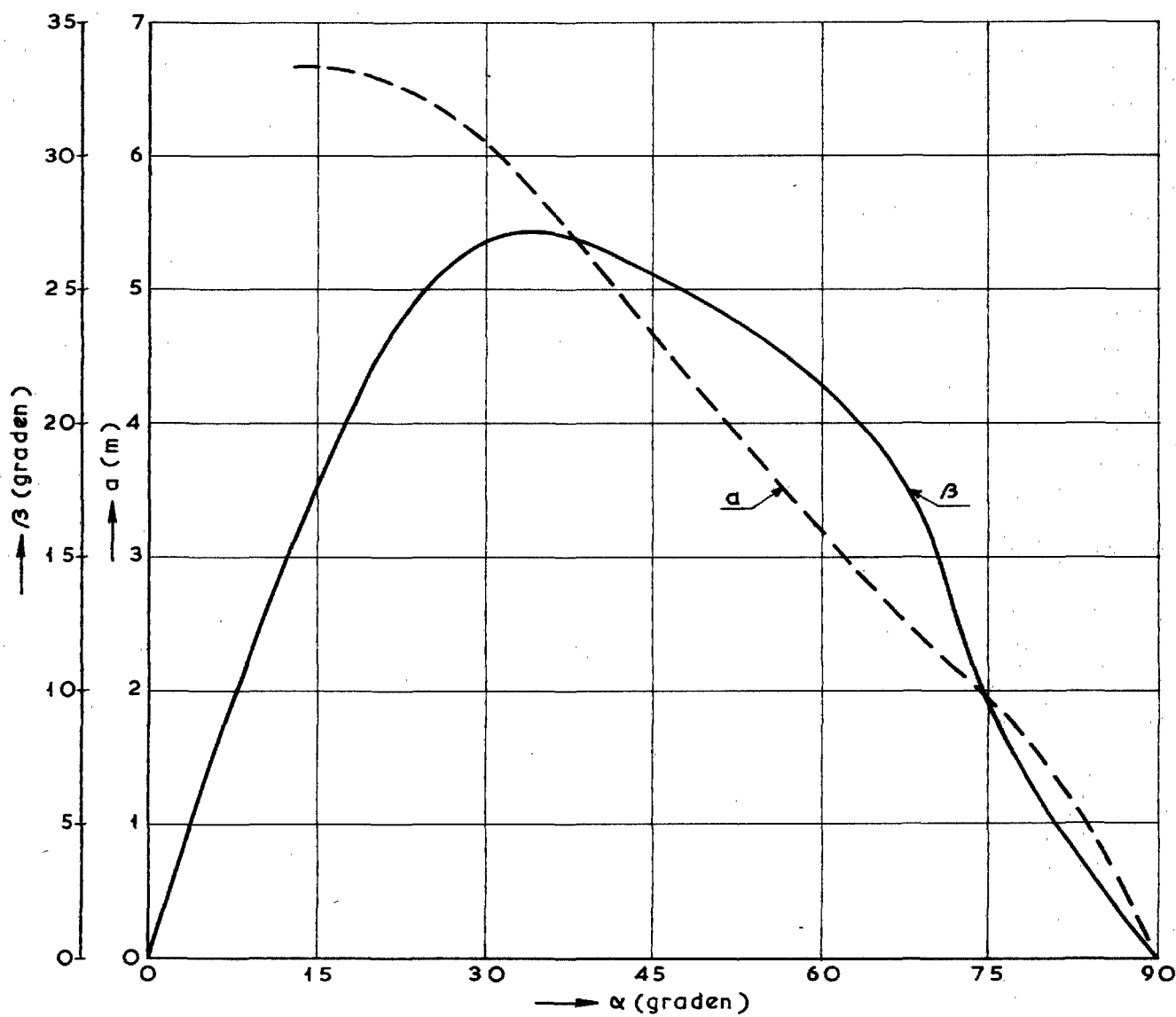
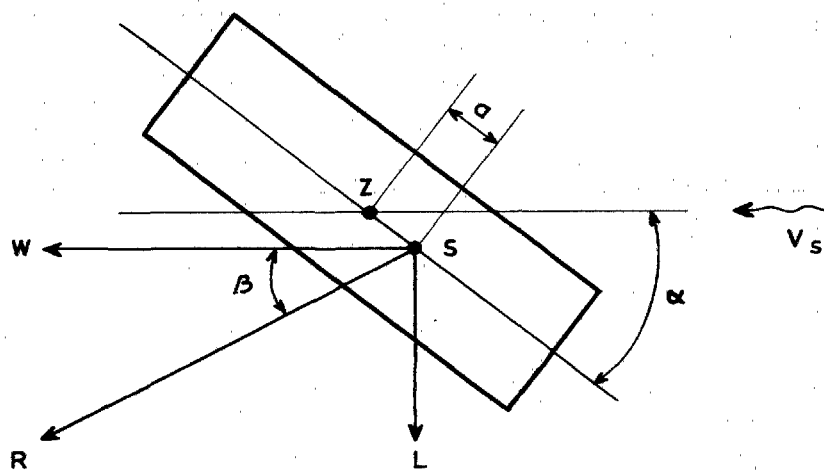


STROOMWEERSTAND OP DIEP WATER
RESULTANTE (R)

W.L. SCHAAL 1 : 50

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 878-IV FIG. 5



Z: zie figuur 2

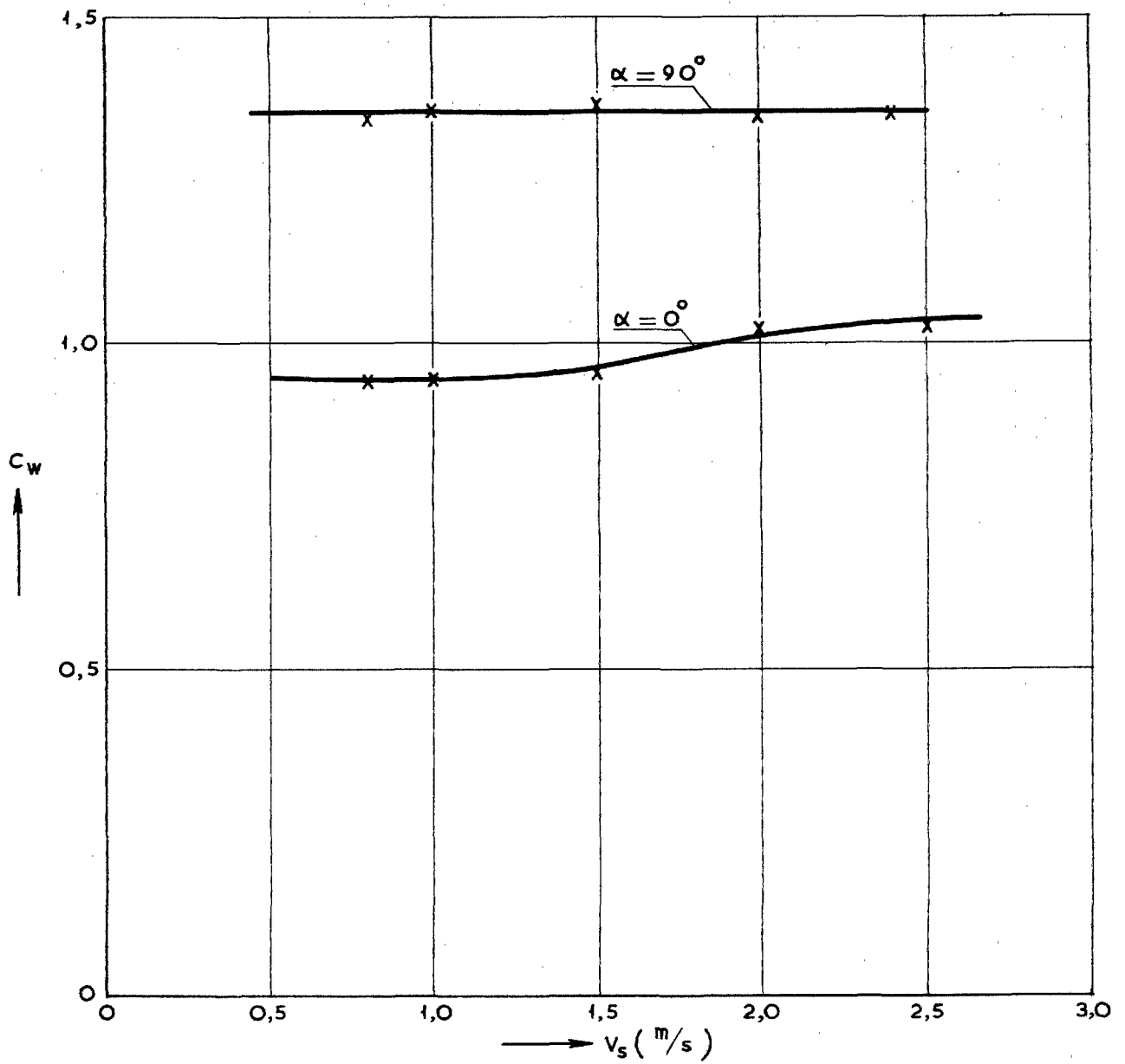
S: snijpunt R met langsas door Z

AANGRIJPINGSPOINT EN RICHTING
RESULTERENDE KRACHT (R)

W.L. SCHAAL 1:50

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 878-IV FIG. 6



$$W = \frac{1}{2} \rho V_s^2 A C_w$$

$$\alpha = 90^\circ \quad A = 216 \text{ m}^2 \quad \ell/d = 9,4$$

$$\alpha = 0^\circ \quad A = 72 \text{ m}^2 \quad \ell/d = 3,1$$

A: aangestroomd oppervlak (m^2)

ℓ : lengte caisson (m)

b: breedte caisson (m)

d: diepgang caisson (m)

ρ : dichtheid water (kg/m^3)

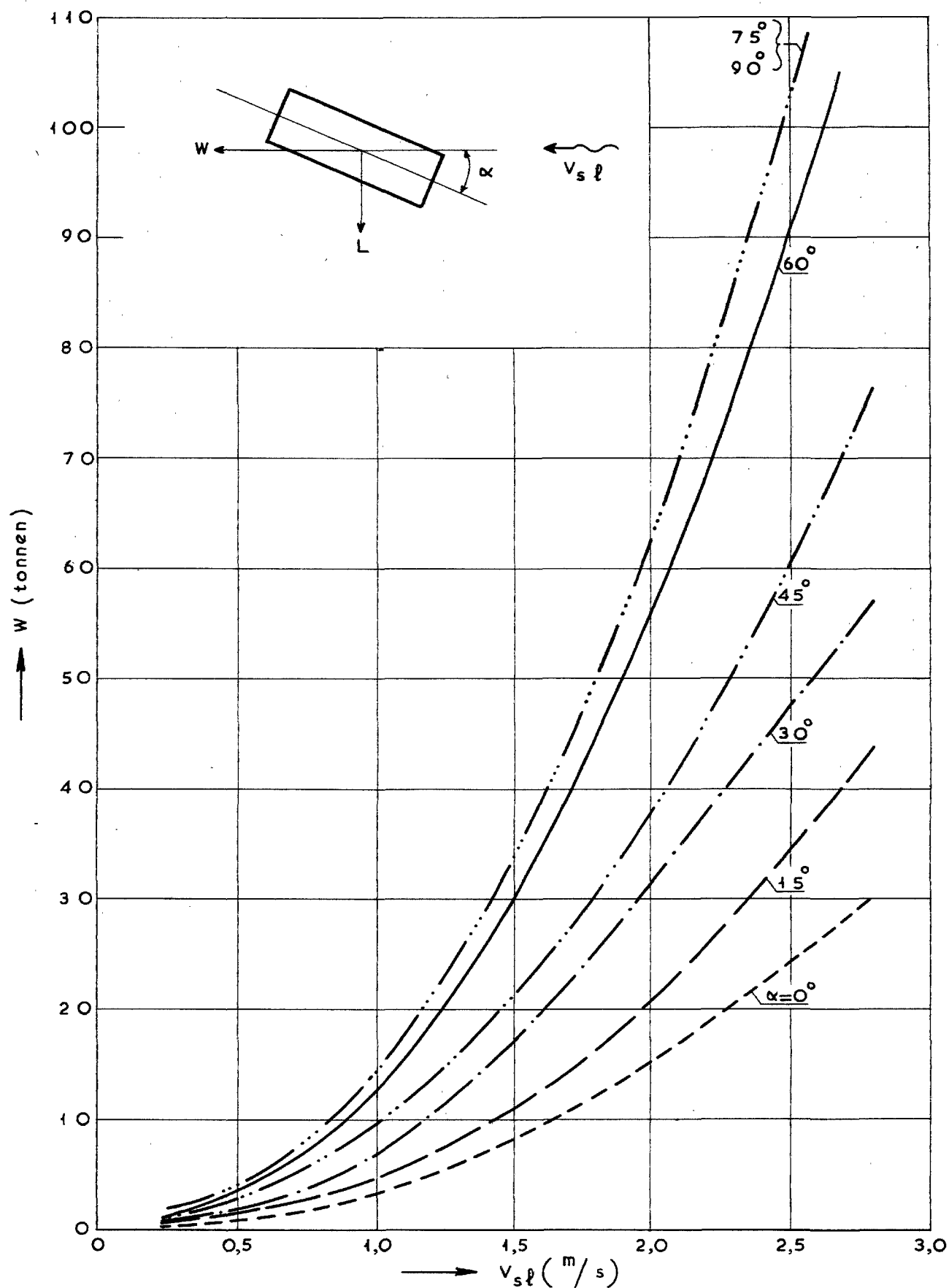
WEERSTANDSCOËFFICIËNTEN (C_w)

W.L. SCHAAL 1:50

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 878-IV

FIG. 7



v_{sl} : sleepsnelheid
 W : weerstandskracht

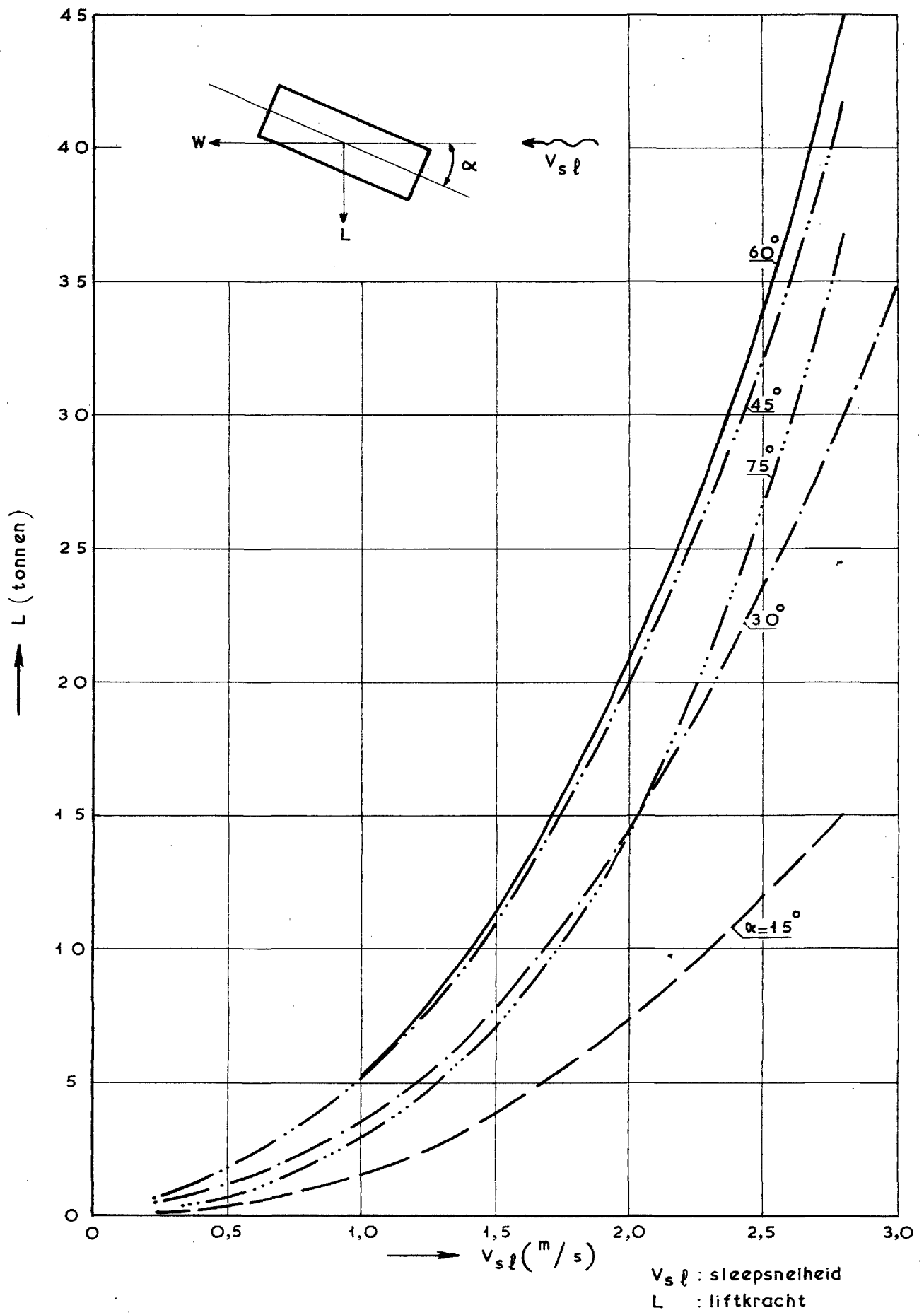
STROOMWEERSTAND OP DIEP WATER
 IN STROOMRICHTING (W)

N.S.P. SCHAAL 1 : 12,05

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 878 -IV

FIG. 8



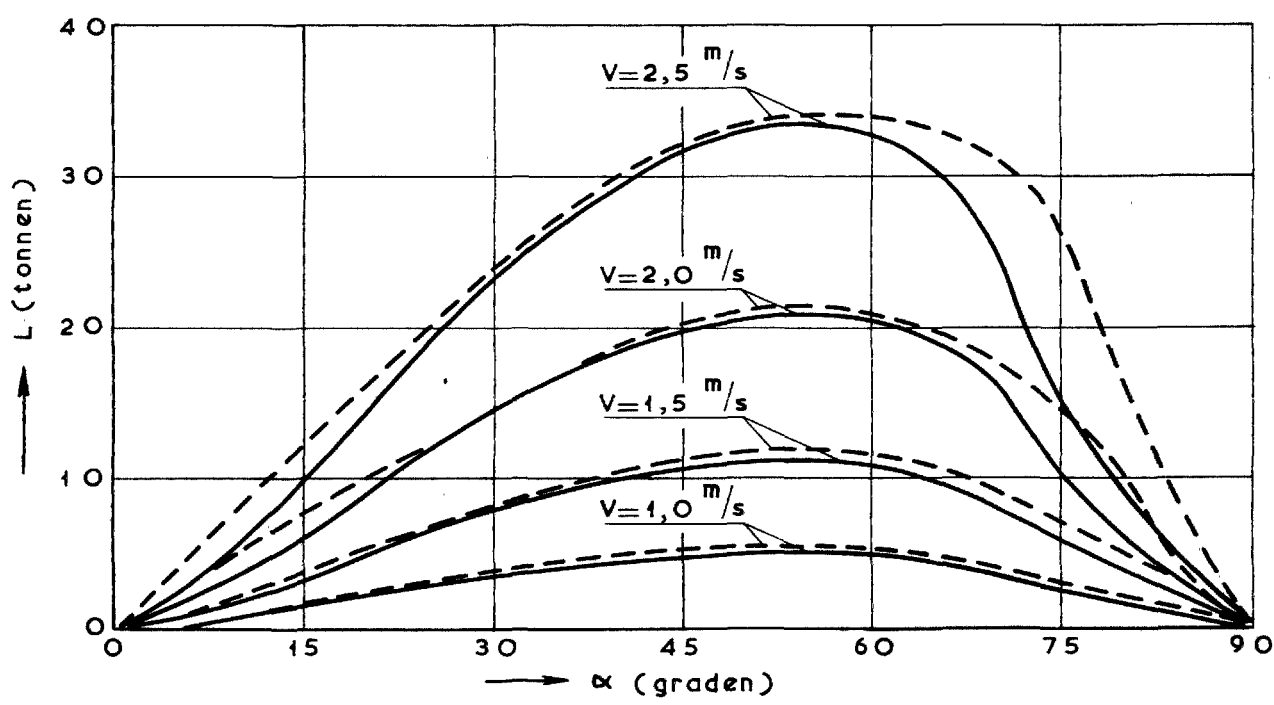
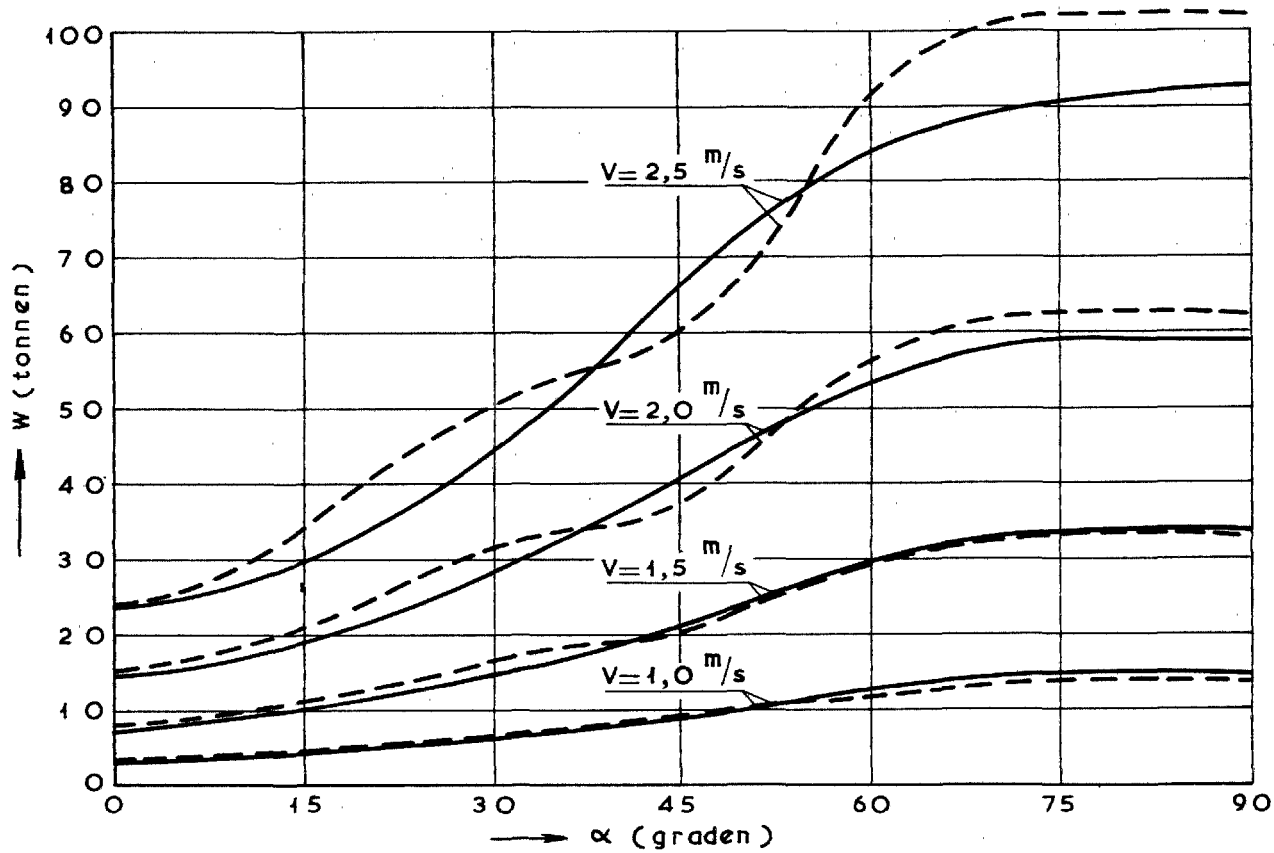
STROOMWEERSTAND OP DIEP WATER
 LOODRECHT OP STROOMRICHTING (L)

N. S. P. SCHAAL 1:12,05

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 878-IV

FIG. 9

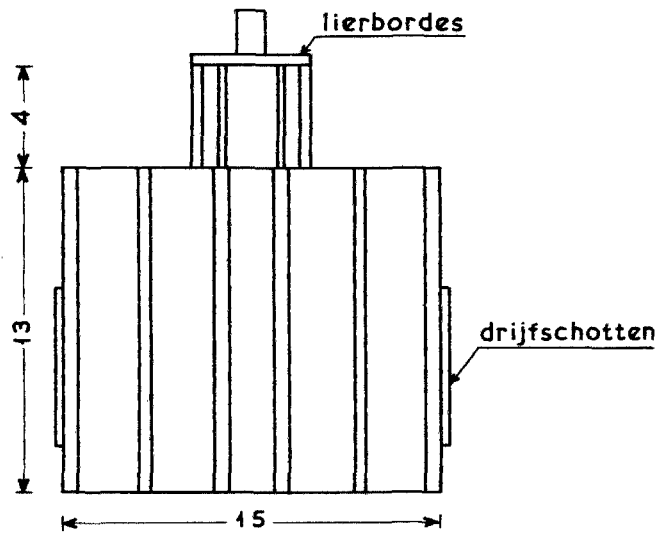


----- N.S.P. proeven (schaal 1:12,05)

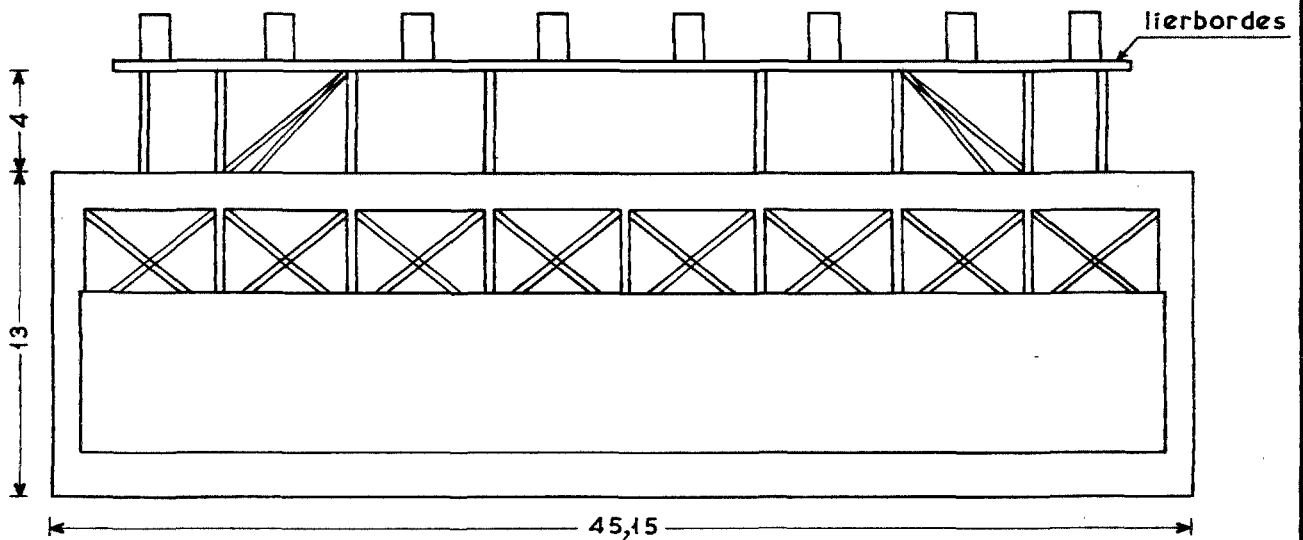
————— W.L. proeven (schaal 1:50)

V: relatieve snelheid van de caisson t.o.v. het water.

VERGELIJKING RESULTATEN N.S.P. en W.L.



AANZICHT KOPWAND



ZIJ AANZICHT

maten in meters

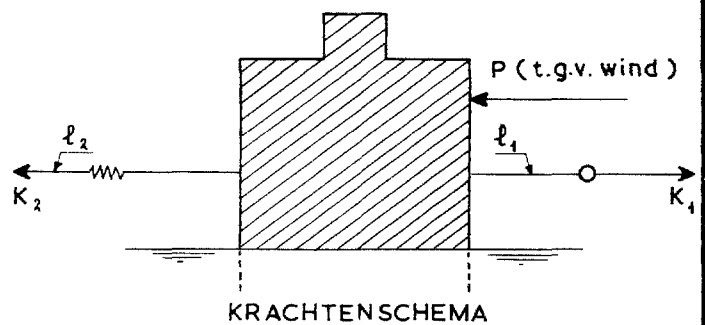
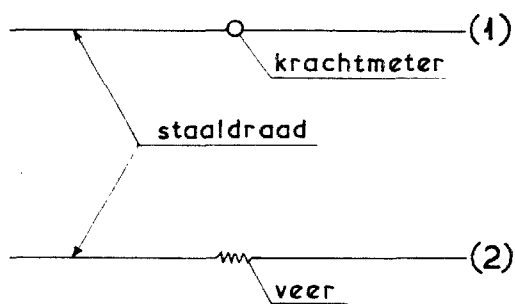
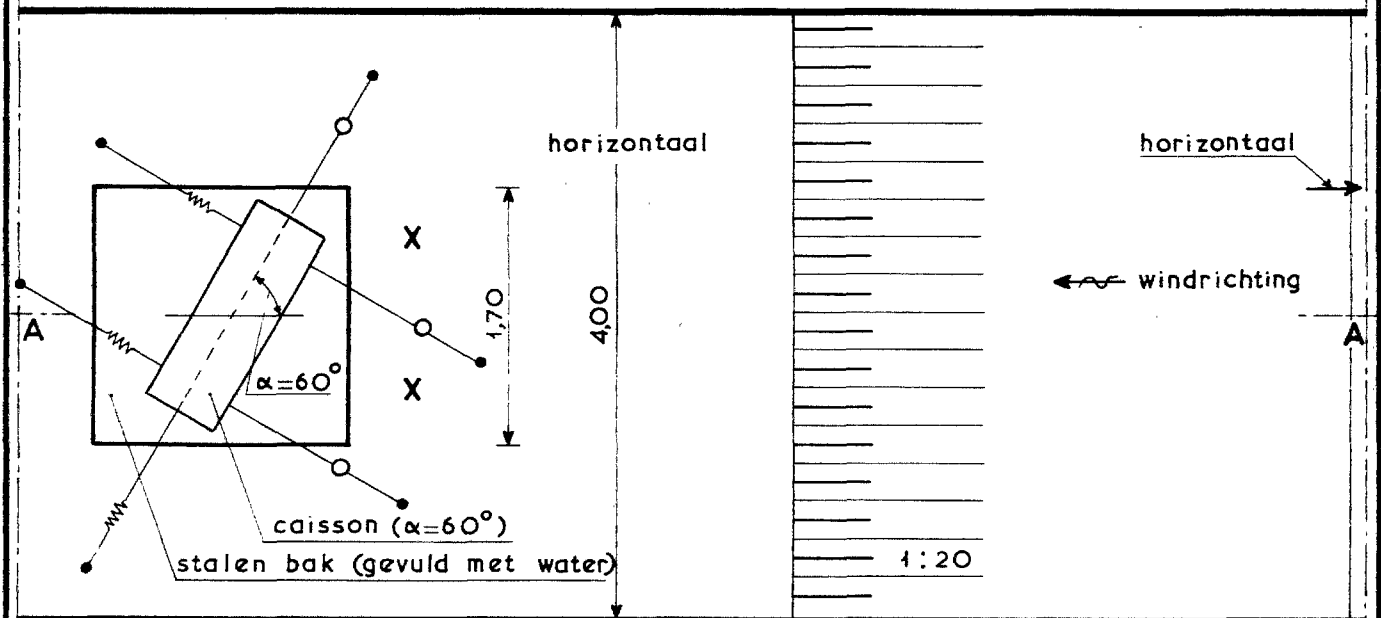
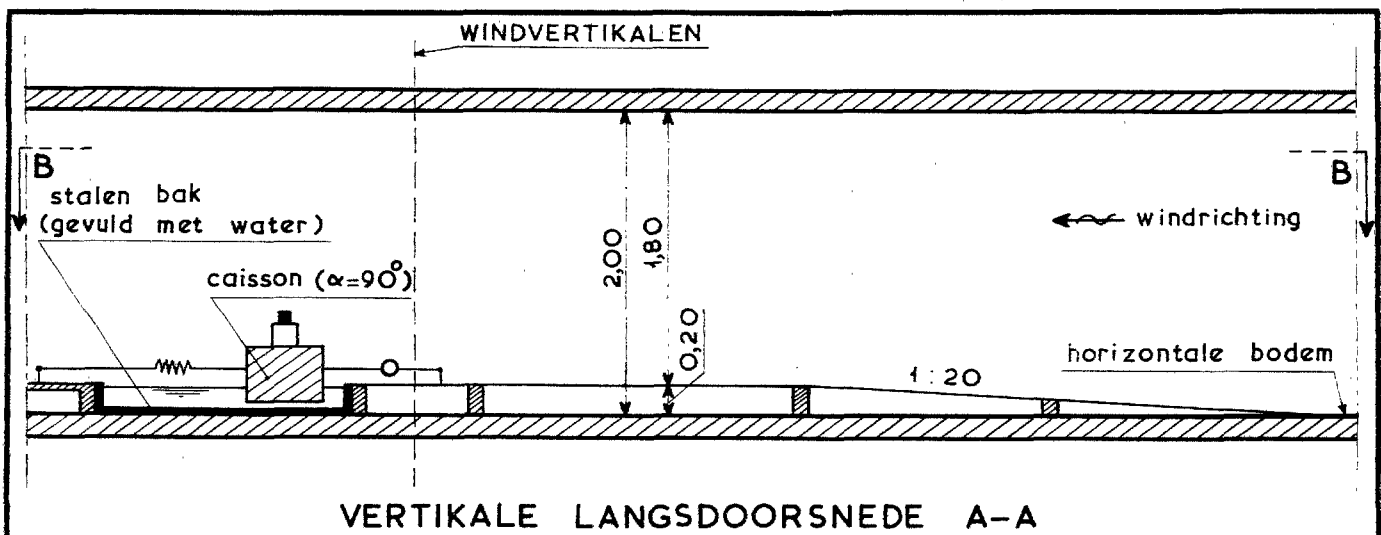
AFMETINGEN CAISSON (WINDWEERSTAND)

SCHAAL 1:300

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 878-IV

FIG. 11



X plaats windvertikaal

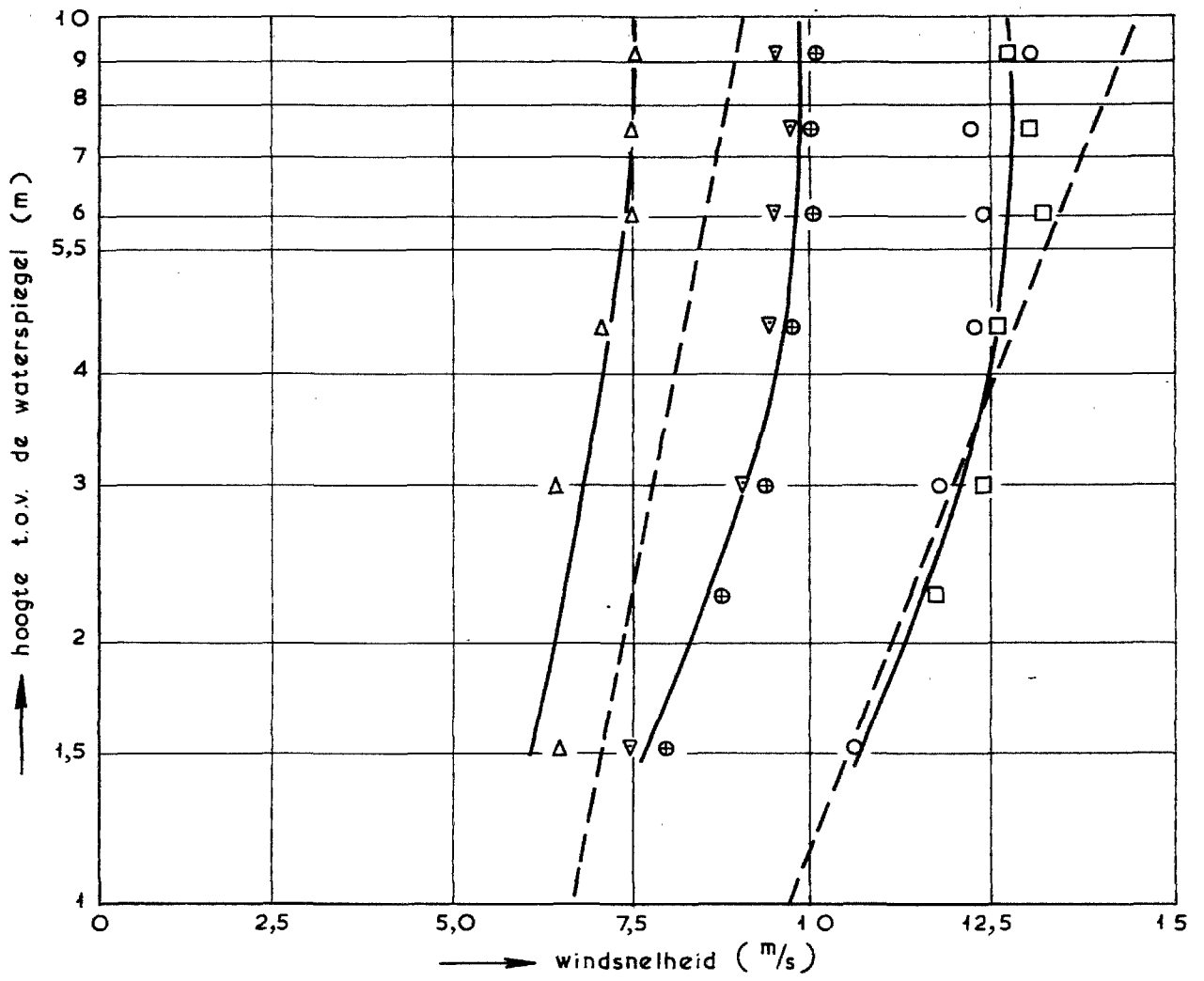
maten in meters (model)

MEETOPSTELLING IN DE WINDGOOT

SCHAAL 1:100

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 878-IV FIG. 12

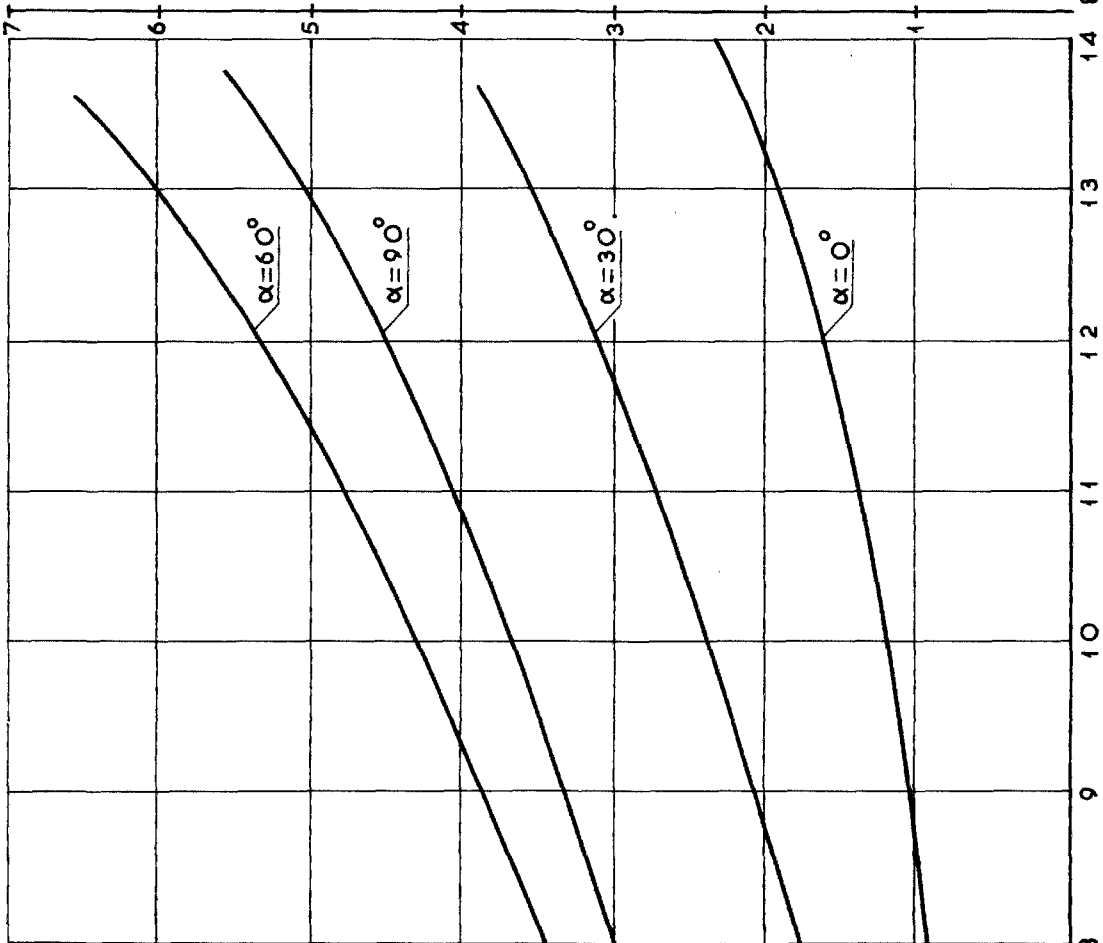


- - - - - STRAND (natuur)
 ———— WINDGOOT (model)

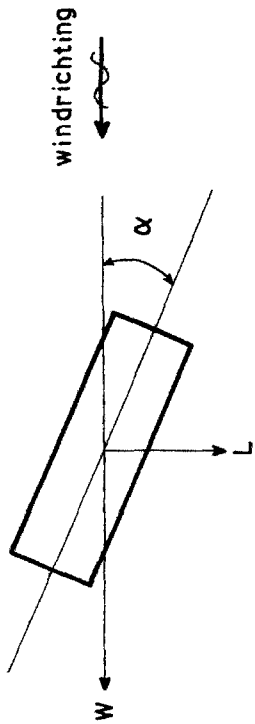
RUWE BODEM, lengte 125 m $\Delta \oplus \square$
 GLADDE BODEM $\nabla \circ$

WINDVERTIKALEN

WEERSTANDSKRACHT (W)

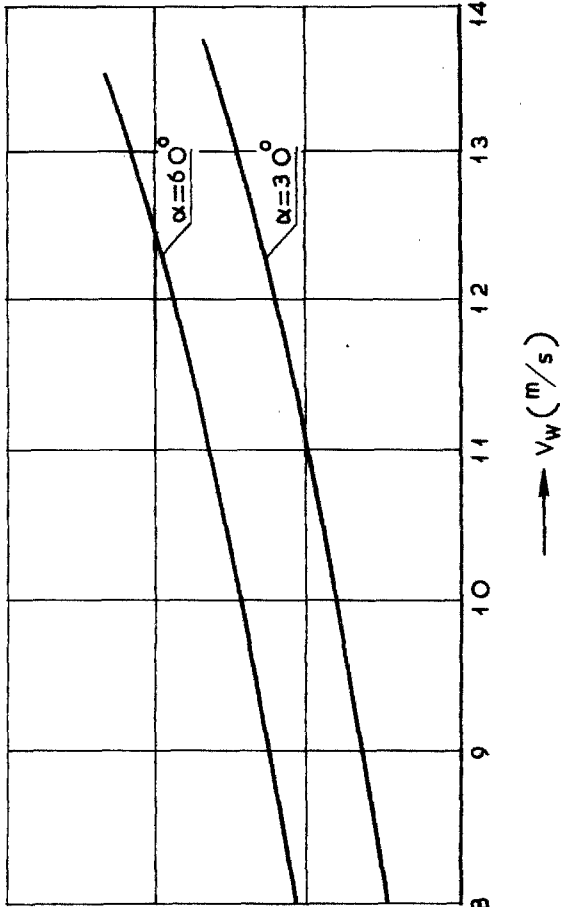


kracht (tonnen) \rightarrow



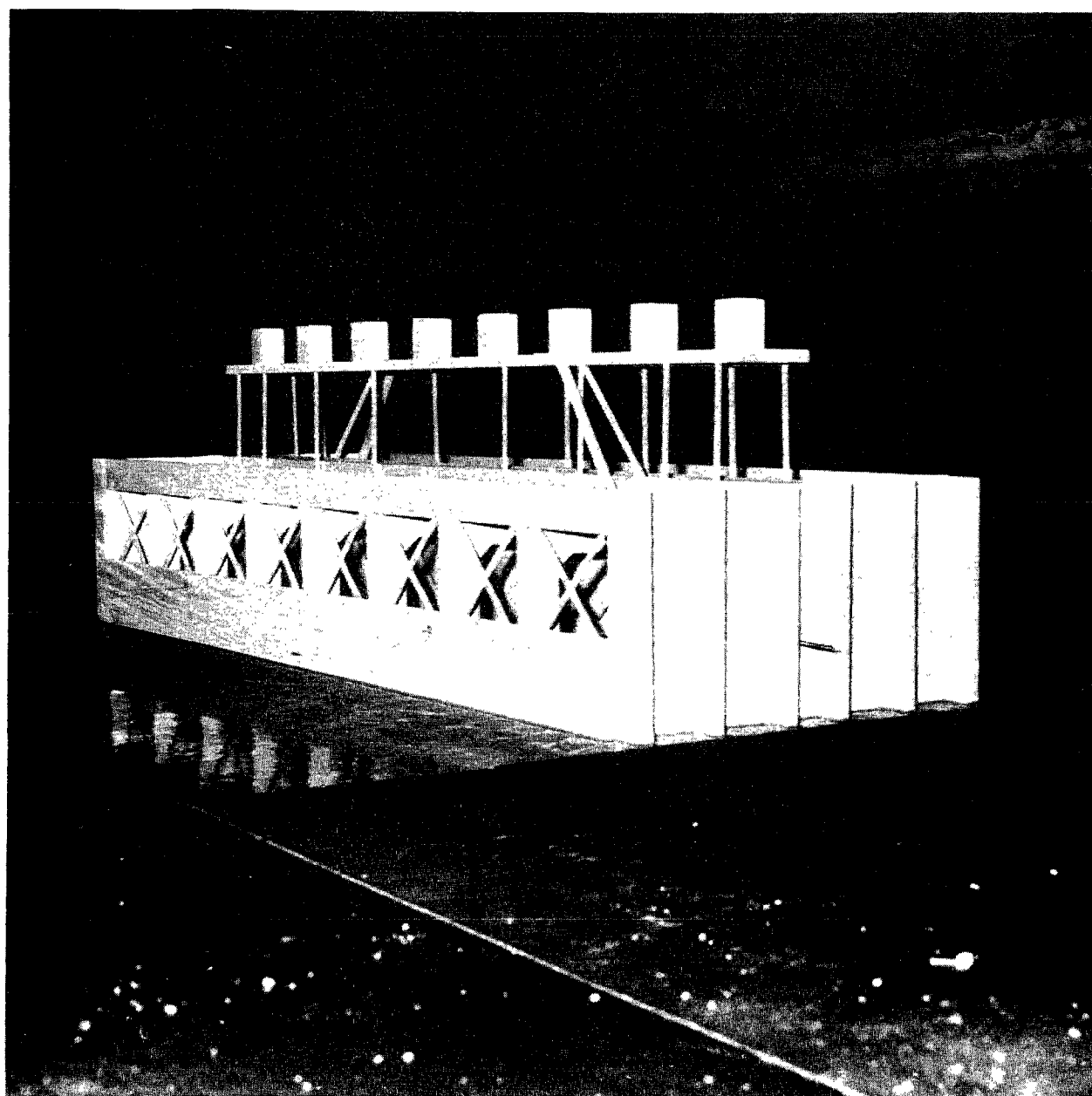
V_w : windsnelheid op 10m hoogte

LIFTKRACHT (L)



V_w (m/s) \rightarrow

WINDKRACHTEN OP DE VOLKERAKCAISSON



Model Volkerakcaisson in de windgoot.