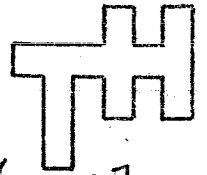


76-03-1



76.007.

ENIGE BESCHOUWINGEN BETREFFENDE MODELPROEVEN
MET BULBSTEVENEN BIJ EEN BINNENVAARTUIG

door

PROF. IR. J. H. KRIETEMEIJER

RAPPORT 26-SB-7603

TECHNISCHE HOGESCHOOL DELFT
Afdeling der Scheepsbouw-
en Scheepvaartkunde

76-03-1

INHOUDSOPGAVE

	BLZ
1 INLEIDING	1
2 SAMENVATTING	1
3 KEUZE VAN HET SCHEEPSTYPE	2
4 KEUZE VAN DE MODELSCHAAL	2
5 KEUZE VAN DE BULB	3
6 WAARNEMINGEN	4
7 EXTRAPOLATIE NAAR HET SCHIP OP WARE GROOTTE	
7.1 Wrijvingscorrectie	5
7.2 Vormfactor voor series I, II en III ($h = 0,25$ m)	6
7.3 Vormfactor voor serie IV ($h = 0,45$ m)	7
8 SLEEPPAARDEKRACHTEN P_E	
8.1 P_E voor de proeven van de series I, II en III	7
8.2 P_E voor de proeven van serie IV	7
9 CONCLUSIES	
9.1 Bij de proeven van de series I, II en III	8
9.2 Bij de proeven van serie IV	9
9.3 Algemene opmerkingen	9
10 LITERATUUR	10

ENIGE BESCHOUWINGEN BETREFFENDE MODELPROEVEN MET BULBSTEVENEN BIJ EEN BINNENVAARTUIG

door Prof.ir. J.H. Krietemeijer

1. INLEIDING

In Schip en Werf nr. 15-1965 heb ik in een kort artikel uiteengezet waarom verwacht mocht worden dat de toepassing van enigerlei vorm van bulbsteven op een binnenschip voordelen zou kunnen hebben [1].

In het begin van de zestiger jaren was gebleken dat de toepassing van een bolvormig uitsteeksel aan de voorsteven van grote tankschepen en bulkcarriers met name in de ballasttoestand een belangrijke verhoging van de snelheid gaf bij overigens gelijk blijvende condities, dan wel een reductie van het machinevermogen bij gelijke snelheid. De bolvorm veroorzaakt een golfpatroon waarvan de fase tegengesteld doch de amplitude gelijk moet zijn aan het door de boeg opgewekte golfsysteem. Vele onderzoeken door Inui en anderen [2,3] hebben geleid tot een tamelijk algemene toepassing van de bulbsteven. Tijdens reizen met binnenvaarttankers viel mij op dat de geometrische verhoudingen bij geladen schip overeenkwamen met die van de zeetanker of bulkcarrier in ballastconditie. Het leek gewettigd om de vraag te stellen of bulbsteven op binnenschepen dezelfde besparingen zouden opleveren.

Er is toen een onderzoek aangekondigd dat zou kunnen worden uitgevoerd in de Sleeptank bij de T.H. te Delft. Dit onderzoek zou in eerste instantie betrekking hebben op weerstandspoeven. Indien deze proeven voldoende indicatie zouden geven van belangrijke verbeteringen zou overwogen kunnen worden om voortstuwingsproeven met modellen en eventueel ook proeven op ware grootte te nemen.

De weerstandspoeven zijn in de jaren 1965-1966 onder mijn leiding uitgevoerd door de toenmalige scheepsbouwkundig student P.J. van Erven Dorens. Het verslag, dat enkele interessante gevolgtrekkingen inhield, was destijds helaas nog niet geschikt voor publicatie en door de latere afstudeerfase over een ander onderwerp is ir. Van Erven Dorens er niet meer toe gekomen om deze materie om te werken voor publicatie. Hoewel zal blijken dat de onderzoeken meer van academische dan van praktische waarde zijn geweest, wil het mij voorkomen dat het zeker nuttig is de resultaten hier te vermelden.

2. SAMENVATTING

Een overzicht wordt gegeven van de keuzebepaling van het scheepstype van ca. 1800 m³ waterverplaatsing en de vorm van de bulb, alsmede de variatie daarin. Verklaard wordt waarom de modelschaal 1:20 werd gekozen. De proeven werden bij twee waterdiepten genomen en hadden uitsluitend betrekking op weerstandspoeven.

Informatie was verkregen dat uit proeven zou zijn gebleken dat geen noemenswaardige veranderingen zijn te verwachten in de oorspronkelijke aanpassing van de schroef aan het model zodat dus in eerste instantie de weerstandsproeven belangrijker zijn dan de voortstuwingsproeven.

In het algemeen gaven de uitkomsten besparingen te zien van 5-15% op de benodigde sleeppaardekrachten ten opzichte van het conventionele schip zonder bulb. Voorts deed zich de besparing voor over een geheel snelheidsgebied van 0 - 15 km/uur voor het schip. Verklaard wordt waarom toch deze besparingen niet van zodanige betekenis geacht kunnen worden om tot praktische toepassing over te gaan.

3. KEUZE VAN HET SCHEEPSTYPE

Het onderzoek werd uitgevoerd met een model van het binnentankschip "Valessia" van Phs. van Ommeren N.V. die de lijnentekening en andere gegevens welwillend ter beschikking stelde.

Dit schip is in 1958 gebouwd in geheel gelaste uitvoering en dient voor het vervoer van olie. De hoofdafmetingen zijn $L_{o.a.} = 79,84$ m, $B_{sp} = 9,40$ m, $D = 2,80$ m.

4. KEUZE VAN DE MODELSCHAAL

Het voorstel was om met een modelschaal 1:20 te werken. Weliswaar werd de "blockage" bij slepen in de kleine tank te Delft dan 10%, hetgeen aan de hoge kant moest worden geacht. Het N.S.P. te Wageningen adviseerde om niet hoger te gaan dan een "blockage" van 6%. Dit hield evenwel in dat een modelschaal van 1:40 zou moeten worden toegepast. Door de zeer geringe modelweerstand werd het meten daarvan aan het kleine model toch te moeilijk geacht voor onderlinge vergelijking. Tenslotte werd de keuze bepaald op de oorspronkelijk voorgestelde modelschaal 1:20.

Een vergelijking van de afmetingen van schip en model volgt uit tabel I.

TABEL I
afmetingen schip en model
MTS "VALESSIA"

			schip	model
Lengte over alles	L_{oa}	m	79,84	
Lengte waterlijn	L_{wl}	m	79,50	3,975
Lengte tussen de loodlijnen	L_{ll}	m	76,80	
Breedte op spt.	B	m	9,40	0,470
Holte	D	m	2,80	
Diepgang	T	m	2,82	0,141
Waterverplaatsing	V	m ³	1809	0,2261
Nat oppervlak	S	m ²	1051	2,6275
Grootspantoppervlak	A_M	m ²	26,56	0,0664
Dienstsnelheid $V_d = 17$ km/uur op diep, stil water				
Vermogen 2 x 400 pk				
Blokcoëfficiënt	$C_B = 0,889$			
Grootspantcoëfficiënt	$C_M = 0,98$			
Prismatische coëff.	$C_P = 0,907$			

Er zijn series proeven genomen bij twee waterdiepten, nl. $h = 0,25$ m en $h = 0,45$ m, in de ondiepwatertank. De gegevens zijn opgenomen in tabel II.

TABEL II
ondiepwatertank

Tankbreedte	b	m	2,80
Waterdiepte series I, II, III	h	m	0,25
Waterdiepte serie IV	h	m	0,45
Blockage $\frac{A_M}{b \times h}$ bij $h = 0,25$ m		%	9,5
Blockage idem bij $h = 0,45$ m		%	5,9

5. KEUZE VAN DE BULB

Op grond van aanbevelingen door het N.S.P. c.q. onderzoeken uit de literatuur werd een halve bolvorm gekozen aan het uiteinde van een cirkelcylinder met dezelfde middellijn als de bol. De plaats van het middelpunt van de bol in lengte en in hoogte werd gevarieerd om na te gaan of een optimale ligging van de halve bol kon worden verkregen. De cirkelcylinder werd niet ingestrookt op de scheepsvorm.

De bulb werd berekend met de door het NSP aangepaste praktische formule uit de theorie van Inui [4]

$$\left(\frac{r}{L}\right)^3 = \frac{i_E}{2\pi} \cdot F_n^6 \cdot e^{\frac{f/LF_n^2}{1 - \pi^2 F_n^4}} \cdot \frac{1 - e^{-T/LF_n^2}}{1 - \pi^2 F_n^4}$$

waarin

r = straal van de bulb

L = lengte tussen LL

i_E = halve intredehoek van de waterlijn op de constructiewaterlijn

F_n = getal van Froude

f = afstand middelpunt halve bol tot stilwateroppervlak

T = diepgang.

Voor de "Valessia" volgde hieruit:

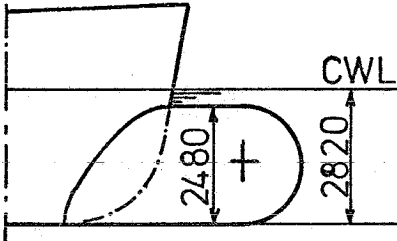
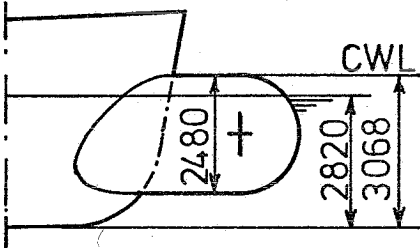
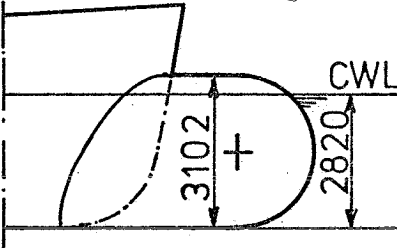
$$r = 1,24 \text{ m} \quad \text{en} \quad f = 1,59 \text{ m.}$$

Er werden twee series onderzocht en wel serie I met laagliggende bulb en 4 lengteliggingen van de bulb (zie figuren 1 a/d) en serie II met hoogliggende bulb en 3 lengteliggingen van de bulb (zie figuren 2 a/c). Omdat op praktische gronden de bolmiddellijn bij bulcarriers in ballasttoestand bij voorkeur ca. 10% groter dient te zijn dan de ballastdiepgang werd nog een middellijn gekozen van $1,1 \times$ de diepgang ofwel $r = 1,55$ m. De proeven van deze serie III werden uitgevoerd bij 4 lengteliggingen van de bulb (zie figuren 3 a/c).

Samenvattend werd aldus het proevenschema volgens tabel III uitgevoerd.

TABEL III

Schema der uitgevoerde proeven

SERIE	TOESTAND	Bulbdiameter en middelpunt in hoogte	h m	Proef nr.	Middelpunt in lengte voor VLL in % van L_{11}
0	zonder bulb		0,25	1	-
I	bulb volgens NSP formule laagliggend; variatie in lengte		0,25	2	4
				3	2
				4	1
				5	0
II	bulb serie I, 10% diameter boven water; variatie in lengte		0,25	6	2
				7	1
				8	0
III	bulbdiameter $1,1 \times T$; variatie in lengte		0,25	9	4
				10	2
				11	1
				12	0
IV			0,45	1A	-
				7A	1
				12A	0

6. WAARNEMINGEN

Uit de waarnemingen van weerstand en snelheid zijn lijnen van weerstandscoëfficiënten C_T uitgezet op basis van $\log R_n$.

$$\text{De weerstandscoefficiënt } C_T = \frac{R_T}{\frac{1}{2} \rho v^2 S}$$

waarin:

- R_T = weerstand van het model
 ρ = soortelijke massa van zoet water van 1000 kg/m³
 v = snelheid van het model in m/sec.
 S = nat oppervlak van het model in m².
 N.B. Een toegevoegde bulb vergroot het nat oppervlak.
 Bij de bepaling van C_T is hiervoor gecorrigeerd.

Als basis is genomen: $^{10}\text{Log } R_n$.

$$\text{Het Reynold's getal } R_n = \frac{v L_{w1}}{\nu}$$

waarin:

- v = snelheid van het model in m/sec.
 ν = kinematische viscositeitscoëfficiënt van het water tijdens de proef in m²/sec.
 L_{w1} = lengte waterlijn van het model = 3,975 m.
 N.B. L_{w1} is constant gehouden, alhoewel hij varieert als de bulb gedeeltelijk boven het wateroppervlak uitsteekt, zoals in serie II en serie III.
 Bij een vergelijken van de geheel ondergedompelde bulb van serie I met de gedeeltelijk ondergedompelde bulb van serie II zou het onlogisch zijn een verandering in waterlijnlengthe op te nemen, temeer daar de gedeeltelijk ondergedompelde bulb bij het varen geheel onder water komt te staan.

De lijnen van weerstandscoefficiënten zijn zoveel mogelijk door de werkelijke meetpunten getrokken, waardoor grillige lijnen zijn ontstaan, die niet met de werkelijkheid behoeven overeen te stemmen. Maar een netjes langs de meetpunten gestrookte lijn zou bij de conclusies een beeld kunnen geven, dat niet overeenstemt met de waarnemingen. De lijnen zijn weergegeven in de figuren 4, 5, 6 en 7.

7. EXTRAPOLATIE NAAR HET SCHIP OP WARE GROOTTE

7.1. Wrijvingscorrectie

De lijnen van weerstandscoefficiënten zijn geëxtrapoleerd naar het schip op ware grootte met toepassing van een wrijvingscorrectie.

Daarbij zijn de wrijvingscoëfficiënten C_{Fm} (voor het model) en C_{Fs} (voor het schip) bepaald volgens de ITTC-1957-lijn met toepassing van een vormfactor volgens de Log A-methode.

De wrijvingscoëfficiënt werd als volgt geformuleerd:

$$C_F = \frac{R_F}{\frac{1}{2} \rho \cdot v^2 \cdot S} = \frac{0,075}{(\text{Log } R_n - \Delta \log A - 2)^2}$$

- waarin: R_F = wrijvingsweerstand
 ρ = soortelijke massa van zoet water van 1000 kg/m³
 v = snelheid in m/sec.
 S = nat oppervlak in m²
 R_n = getal van Reynolds
 $\Delta \log A$ = vormfactor.

7.2. Vormfactor voor series I, II en III

De vormfactor $\Delta \log A$ is bepaald uit de lijnen van weerstandscoëfficiënten. Omdat de golfweerstand in het lage snelheidsgebied te verwaarlozen is, zouden de lijnen van weerstandscoëfficiënten bij lage waarden van het Reynold's getal evenwijdig moeten lopen aan de ITTC-1957-lijn (plaatwrijvingslijn), mits de stroming van het water langs de huid volledig turbulent is.

Slechts bij de lijnen van proef 2, 4, 6, 7, 8, 9, 11 en 12 zijn deze gedeelten evenwijdig aan de ITTC-1957-lijn wel te onderscheiden.

Bij de andere proeven zal een niet volledige turbulentie zijn opgetreden. Voor bovengenoemde proeven begint boven een modelsnelheid van 0,6 m/sec. golfweerstand op te treden. Voor alle proeven wordt de vormfactor bij deze snelheid bepaald.

De vormfactor geeft een verschil aan tussen de wrijvingscoëfficiënten van een 2-dimensionale plaat en de wrijvingscoëfficiënten van een 3-dimensionale scheepsvorm.

Het is zeker dat voor alle proeven de golfweerstand bij de betreffende snelheden nog verwaarloosbaar klein is. De turbulentie is opgewekt door noppen als in de figuren 3 a/c is weergegeven.

De berekening geeft de resultaten volgens tabel IV.

TABEL IV

Vormfactor

Serie	Proef nr.	$\Delta \log A$	
		berekend	afgerond
0	1	0,957	1,0
I	2	1,094	1,1
	3	1,071	1,1
	4	0,998	1,0
	5	0,928	0,9
	6	0,996	1,0
II	7	0,985	1,0
	8	0,912	0,9
	9	1,094	1,1
III	10	0,963	1,0
	11	0,972	1,0
	12	1,009	1,0

Om een indruk te geven van de invloed van de bulb op het stromingsbeeld is in figuur 8 de vormfactor grafisch uitgezet, afhankelijk van de plaats en de grootte van de bulb.

7.3. Vormfactor voor serie IV (0,45 m waterdiepte)

De "Blockage" oefent een grote invloed uit op de vormfactor. Bij het vergroten van de waterdiepte tot 0,45 m is de blockage kleiner geworden. De randinvloeden van de tank zijn verminderd en de vormfactor is verkleind.

Uit de lijnen van weerstandscoefficienten van de proeven 1A, 7A en 12A is het onmogelijk een juiste vormfactor te bepalen. Voor alle drie de proeven is daarom eenzelfde vormfactor gekozen. Uit figuur 7 is op te maken dat de extrapolatorlijn met $\Delta \log A = 0,650$ ongeveer voldoet.

De fout, die hierdoor gemaakt wordt bij de berekening van de sleep-paardekrachten, wordt later besproken.

8. SLEEPPAARDEKRACHTEN P_E

8.1. P_E voor de proeven van de series I, II en III ($h = 0,25$ m)

Met behulp van de vormfactor $\Delta \log A$ is het mogelijk de totale weerstandscoefficient te splitsen in die voor wrijvings- en vormweerstand, en golfweerstand. Bij corresponderende snelheden blijft volgens de Wet van Froude de golfweerstandscoefficient voor model en schip gelijk.

De wrijvings- en vormweerstandscoefficienten worden op eerder vermelde wijze berekend. Uit de totale weerstandscoefficient wordt de P_E berekend voor een glad schip in zoet water van 15°C .

Om de resultaten met elkaar te vergelijken worden de waarden voor P_E berekend in procenten van de P_E van proef 1.

In figuur 9 is deze procentuele vermindering van P_E ten opzichte van P_E voor het schip zonder bulb grafisch uitgezet voor de series I, II en III. Daarmede kan de gunstigste ligging van het middelpunt van de halve bol worden bepaald.

De beste resultaten geven:

Serie	Proefnummer
I	4 en 5
II	6 en 7
III	10

Deze 5 proeven zijn nu met elkaar vergeleken in figuur 10 op basis van de sloopssnelheid.

8.2. P_E voor de proeven van serie IV ($h = 0,45$ m)

In figuur 11 is op analoge wijze de procentuele verlaging van P_E uitgezet voor de proeven van serie IV, dus voor de kleinere blockage, maar nu direct op basis van de sloopssnelheid.

9. CONCLUSIES

9.1. Bij de proeven van de series I, II en III bij $h = 0,25$ m

Het uitvoeren van proeven als deze op beperkt water is zeer moeilijk waardoor vraagtekens gezet dienen te worden bij de nauwkeurigheid van de uitkomsten der metingen. Het is dan ook niet mogelijk om een volledig exacte conclusie te trekken. Pogingen om door middel van een foutenanalyse een correctie op de uitkomsten aan te brengen zijn wel gedaan maar daar zal hier verder niet op worden ingegaan.

Toch is er een tendens tot verbetering te zien, zelfs al zouden de verbeteringen na een foutencorrectie met 6 à 10 % worden verminderd. De absolute grootte van deze verbetering blijft dan toch nog gering, terwijl een aantal andere factoren de keuze van toepassing van een bulb zullen beïnvloeden.

Bovendien is de proef een zuivere weerstandsproef geweest en blijven invloeden door de eigen voortstuwings buiten beschouwing. Invloeden zoals bijvoorbeeld die van de verandering van de trimligging op de weerstand kunnen belangrijk zijn.

Voorts blijft de invloed op het manoeuvreren een vraagstuk.

Uit de proeven zijn evenwel toch de volgende conclusies te trekken:

- Proef 5 geeft de beste resultaten (bulbdiameter volgens N.S.P.-formule en middelpunt halve bol op de VLL).
- Het schip volgens proef 5 zal over het gehele snelheidsgebied van 0 - 15 km/uur een verbetering te zien geven maar vooral boven 13 km/uur. Bij alle snelheden is de vormweerstand kleiner dan die van het schip zonder bulb en bij hoge snelheden wordt ook nog de golfweerstand verminderd.
- Onder 13 km/uur zijn de modellen 4 en 6 beter.
- Aangezien op beperkt water de golfweerstand bij een lagere snelheid optreedt dan bij onbeperkt water, zal het effect van een bulb reeds bij een lagere snelheid optreden (hier bij 11 km/uur).
- Vanaf 11 km/uur kan gerekend worden op 5 - 15 % verbetering in de benodigde sleeppaardekrachten t.o.v. het schip zonder bulb.
- Bij een snelheid van 14 km/uur (waarschijnlijk een maximum snelheid op dergelijk beperkt water) geeft de bulb een winst van 9 - 27 sleeppaardekracht.
- Door de geringere weerstand zal er een grote kans zijn dat de voortstuwingscoëfficiënt van het schip met bulb groter zal zijn dan van het schip zonder bulb.
- Bij een snelheid van 14 km/uur kan gerekend worden op een besparing van minimaal 20 pk en misschien wel 60 pk op het benodigde totaal van ongeveer 360 pk.

Aangetekend wordt dat de hier genoemde getallen der verbeteringen met voorzichtigheid moeten worden gehanteerd.

9.2. Bij de proeven van serie IV bij $h = 0,45$ m

De nauwkeurigheid van de waarnemingen bij deze proeven is groter dan bij de proeven op 0,25 m waterdiepte. Het aantal proeven op deze waterdiepte was echter te gering om een duidelijk verband tussen vormfactor en plaats van de bulb te bepalen. De vormfactor $\Delta \log A = 0,65$ is voor alle 3 proeven gelijk gehouden. Vooral bij snelheden onder de 16 km/uur kan deze onnauwkeurig bepaalde vormfactor een vertekend beeld geven van de berekende resultaten. Wellicht zou een vormfactor van 0,8 à 0,9 beter zijn. Het nut van de bulb, de golfweerstand te verkleinen, komt pas duidelijk naar voren bij snelheden, waar de golfweerstand een belangrijk aandeel heeft in de totale weerstand. Wat dit betreft dus hetzelfde resultaat als op 0,25 m waterdiepte en als op onbeperkt water ([2], [3] en [4]).

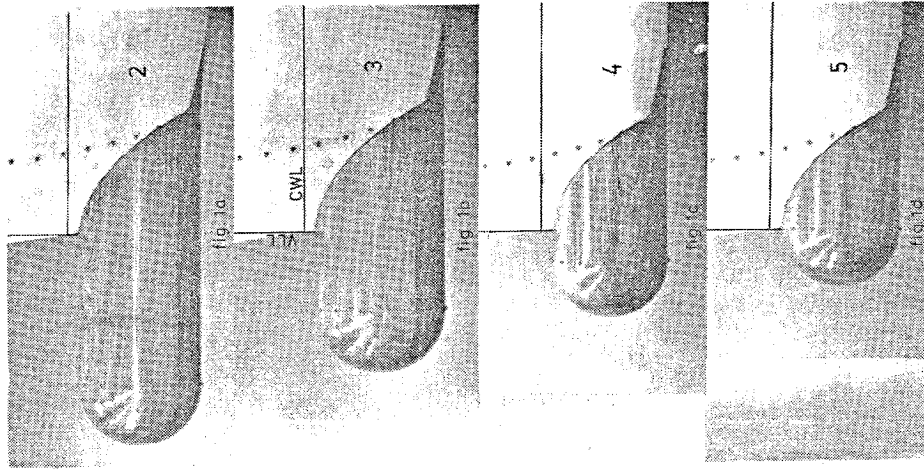
9.3. Algemene opmerkingen

- De besparing van 20 à 60 pk op een vermogen van 360 pk bij 14 km/uur is wellicht niet zo interessant omdat binnenschepen gewoonlijk sterk "overpowered" zijn in verband met het manoeuvreren in sluizen en havens en ook voor de vaart door stroomversnellingen en situaties van grote "blockage" in kanalen.
- Ir. Van Erven Dorens heeft mij later nog eens een briefje geschreven waarin hij op grond van een berekening van brandstofbesparing schat dat de aan te bouwen bulbconstructie niet meer dan f 20.000 (1970) zou mogen kosten voor een type "Valessia".
- Een nadeel kan zijn dat de bulb het schip minder manoeuvreerbaar maakt door het grotere lateraal oppervlak.
- Voorts kan de bulb moeilijkheden geven bij ankeren.
- De ver vooruit stekende bulb zal, vooral bij een binnenschip, een kwetsbaar punt zijn.
- De stuurman kan de bulb niet zien.
- Een voordeel waar door mij in [1] op is gewezen kan zijn dat de verminderde golfweerstand met een mindere golfvorming gepaard gaat, hetgeen bij vaart in kanalen en rivieren gunstig is voor de beschoeiingen aan de oevers en voor elkaar tegemoet komende schepen.
- Mijn algemene gevolgtrekking is dat het toch interessant zou zijn om eens een proef op ware grootte uit te voeren bij een schip waarvan ook een zusterschip in de vaart is.

10. Literatuur

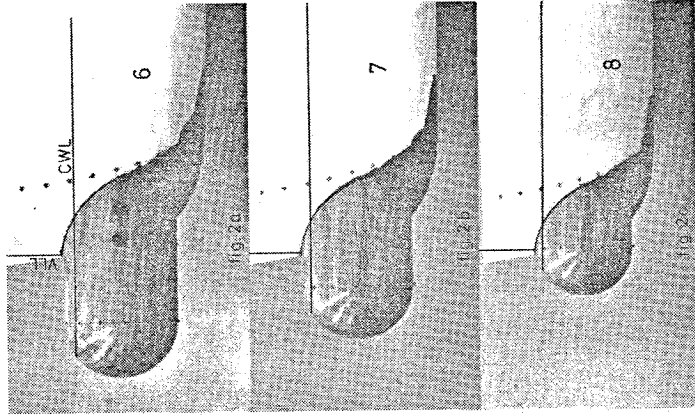
- [1] Krietemeijer, J.H.
"Kan de toepassing van enigerlei vorm van bulb-voorsteven aan binnenschepen zin hebben?"
Schip en Werf no. 15-1965 blz. 398-399
- [2] van Lammeren, W.P.A. en Muntjewerf, J.J.
"Research on bulbous bow ships, Part IIA"
Rapport nr. 71S van het studiecentrum TNO voor scheepsbouw en navigatie
- [3] Muntjewerf, J.J.
"Recente onderzoeken van modellen met extreme bulbstevens"
Schip & Werf 1965 nr. 24 en 25
- [4] van Lammeren, W.P.A. en Wahab, R.
"Research on bulbous bow ships, Part IA"
Rapport nr. 74S van het studiecentrum TNO voor scheepsbouw en navigatie
- [5] Lap, A.J.W.
"Some applications of three-dimensional extrapolation of ship frictional resistance"
Publicatie 154a van het NSP
- [6] van Manen, J.D. en van Lammeren, W.P.A.
"Model and ship trials in shallow water"
S.N.A.M.E. 1956

SERIE I



FIGUUR 1 a/d

SERIE II



FIGUUR 2 a/c

BINNENVAART TANKSCHIP

TYPE

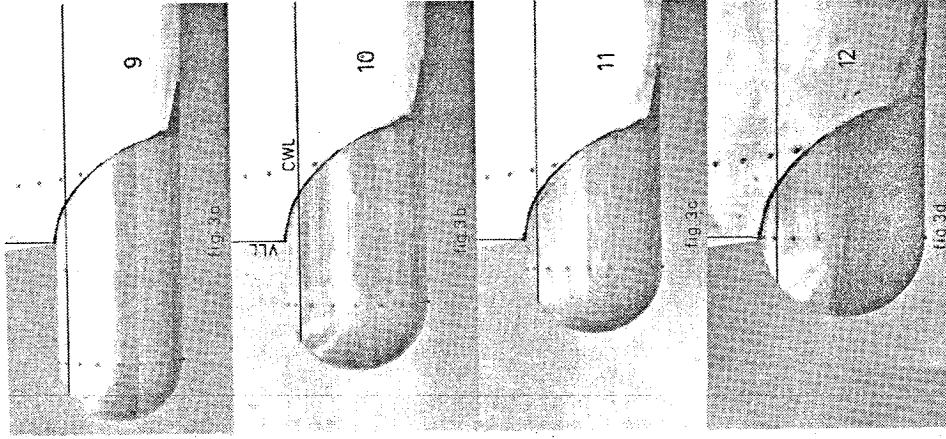
"VALESSIA"

MODELPROEVEN

met

BULBSTIEVENS

SERIE III

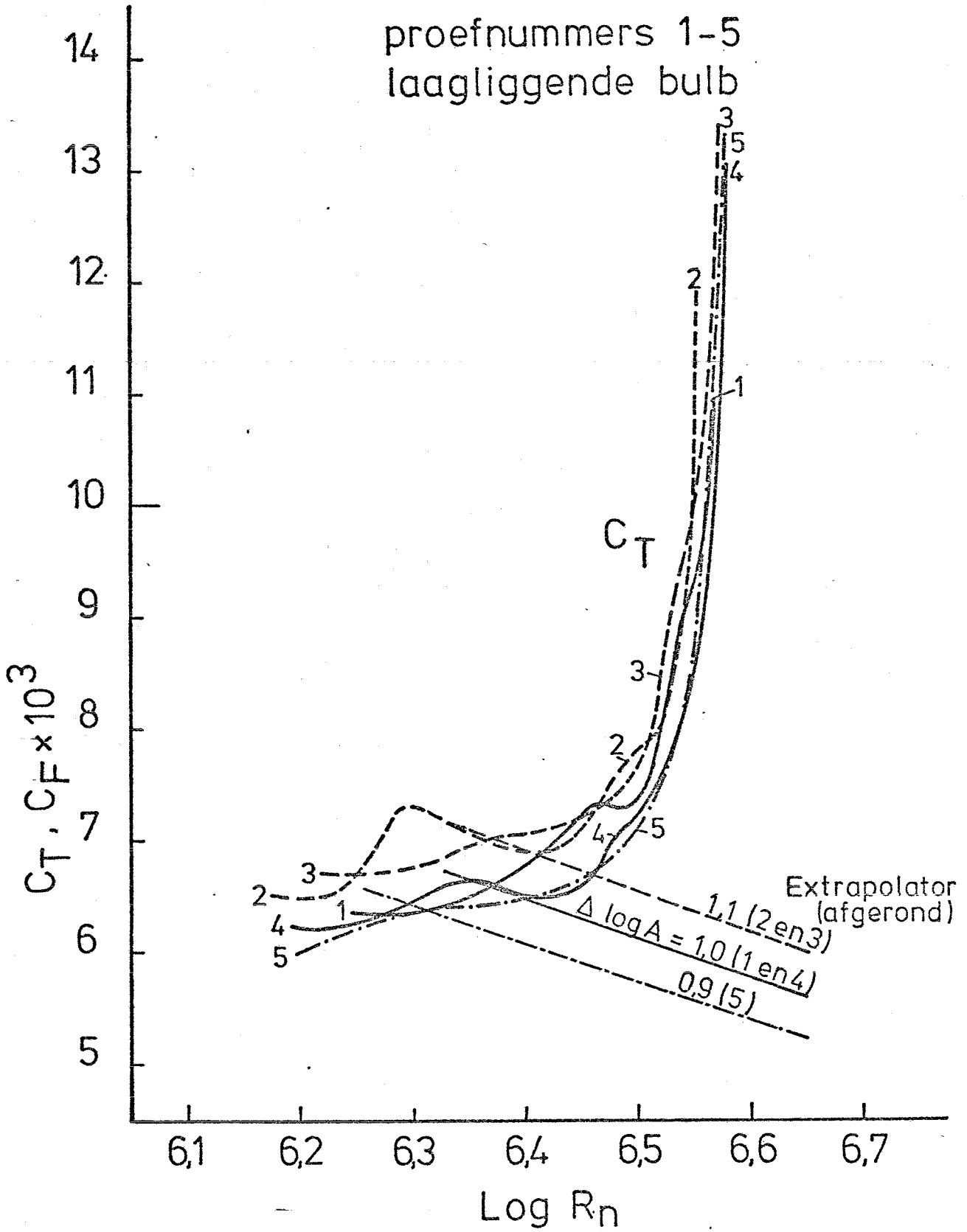


FIGUUR 3 a/d

SERIE I

$h = 0,25\text{ m.}$

proefnummers 1-5
laagliggende bulb

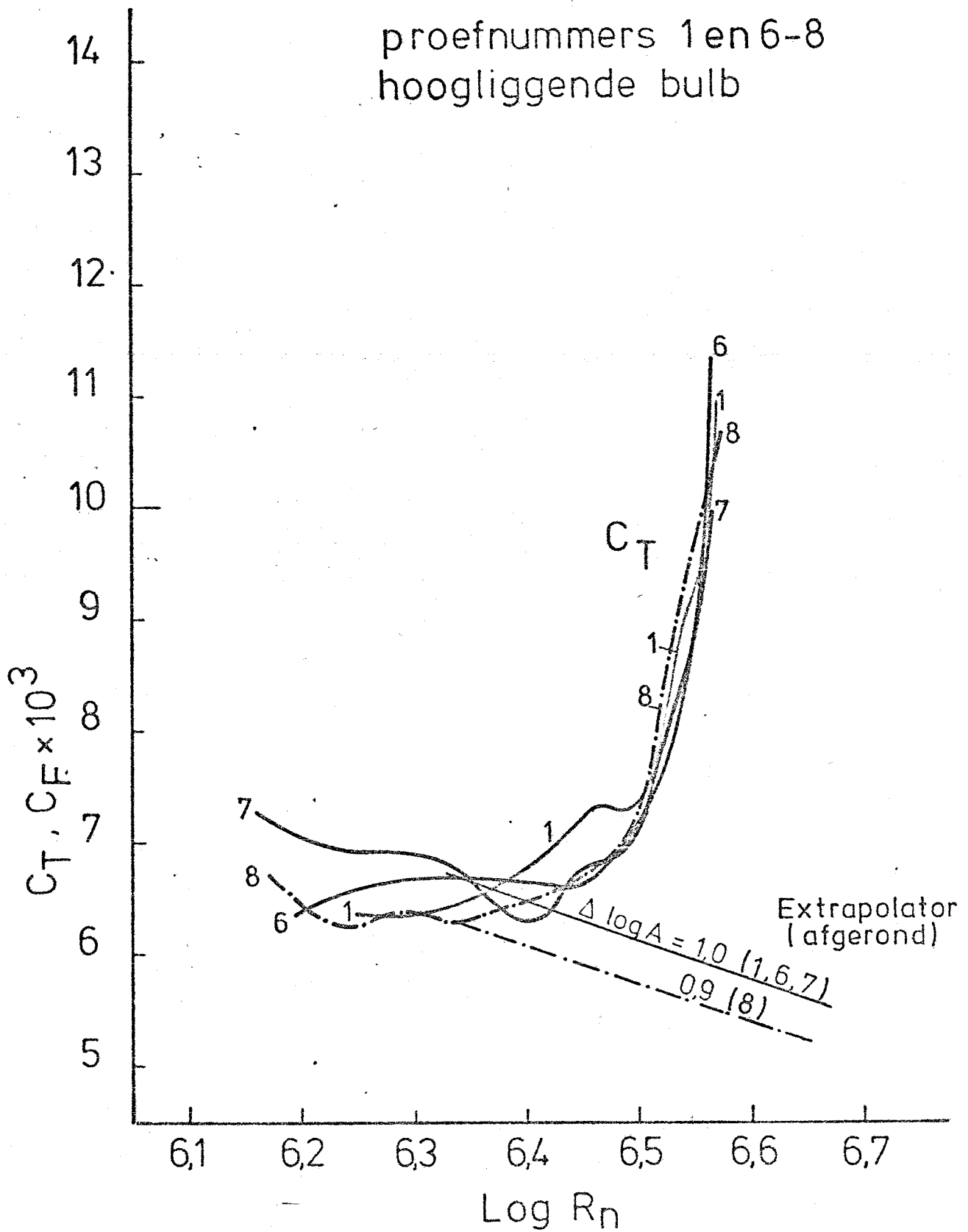


figuur 4

SERIE II

$h = 0,25\text{m.}$

proefnummers 1 en 6-8
hoogliggende bulb

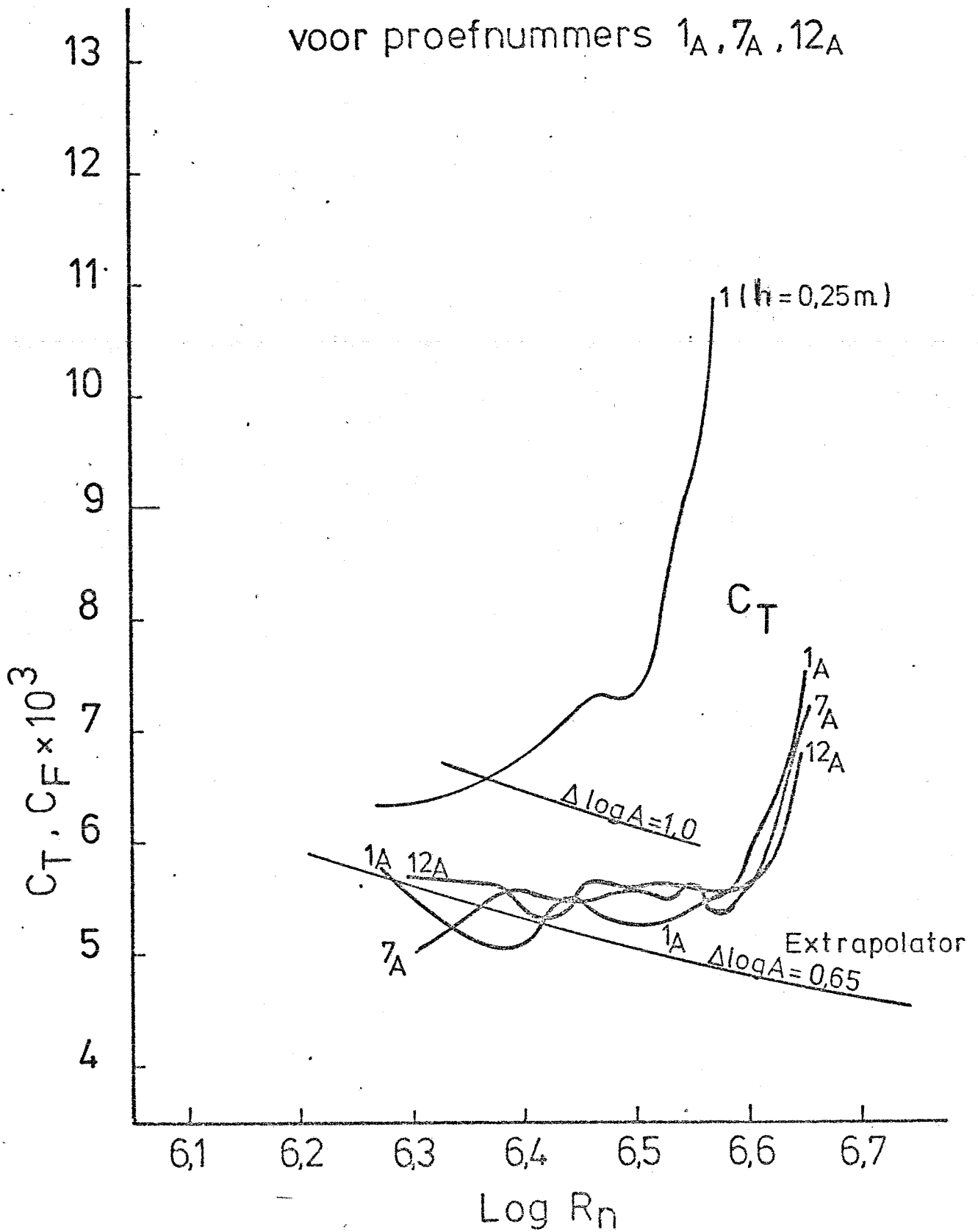


figuur 5

SERIE IV

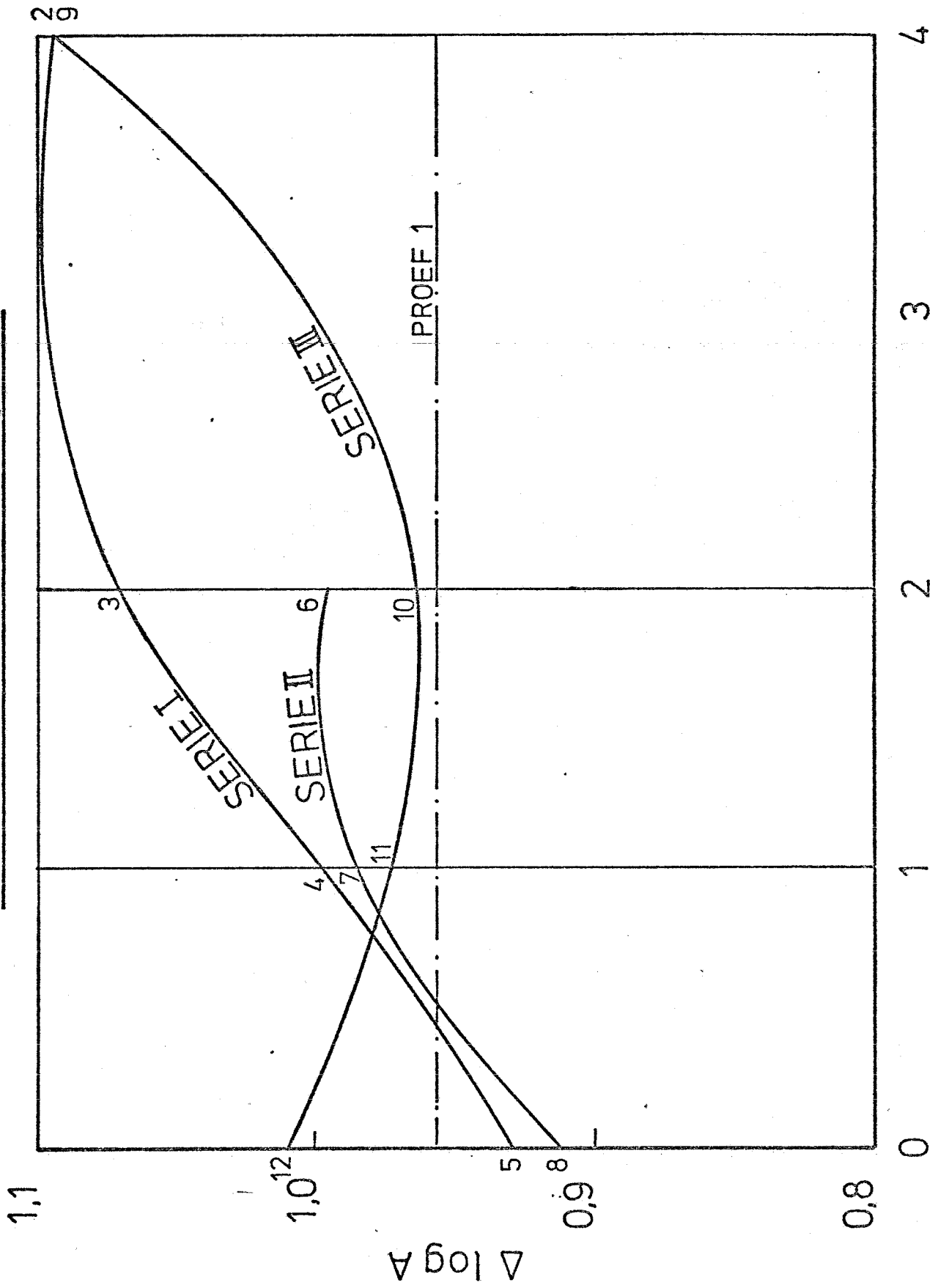
$h = 0,45\text{m.}$

voor proefnummers $1_A, 7_A, 12_A$



figuur 7

VORMFACTOR $\Delta \log A$



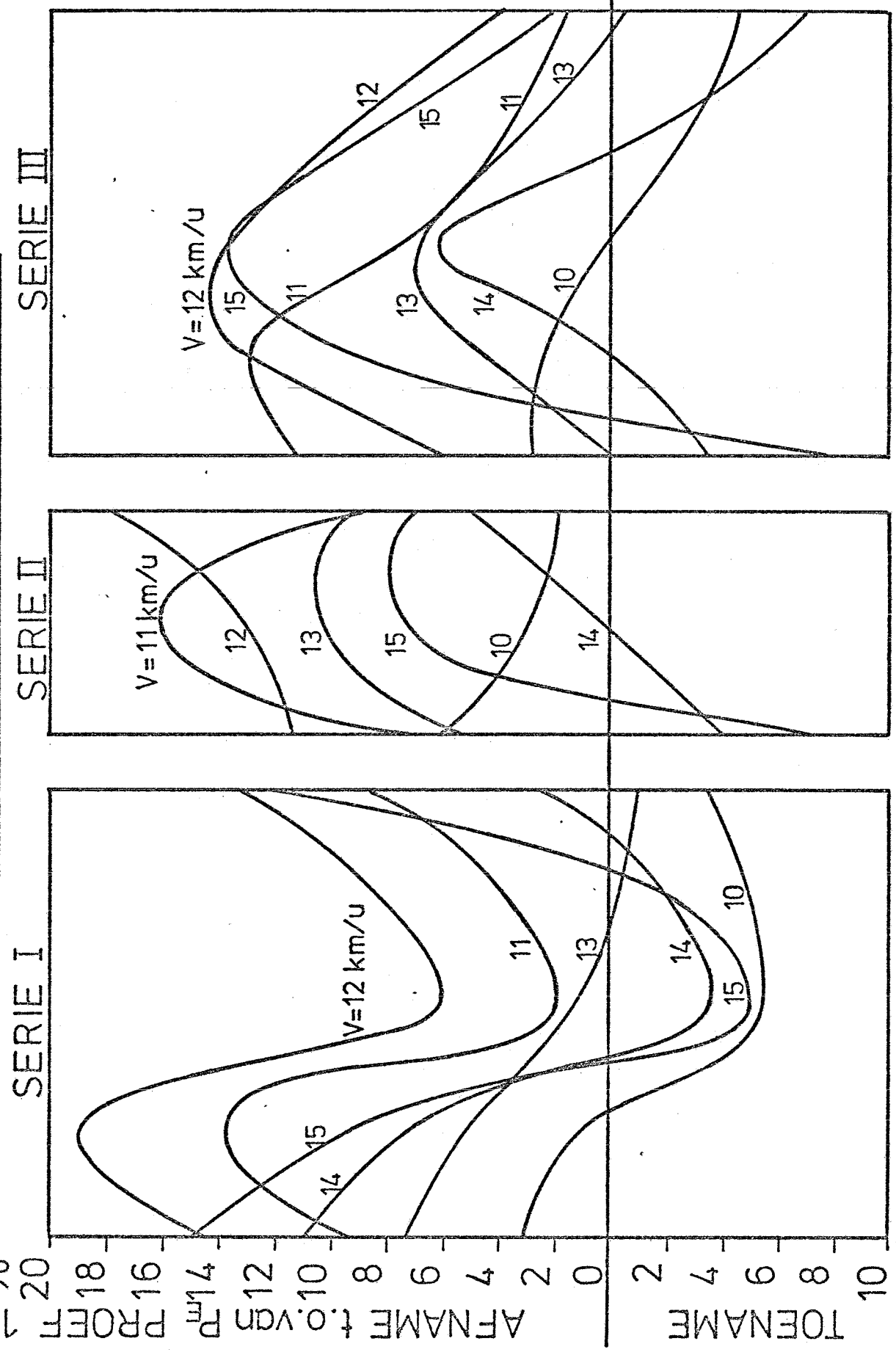
— Ligging middelpunt halve bol

% van L voor VLL

Figuur 8

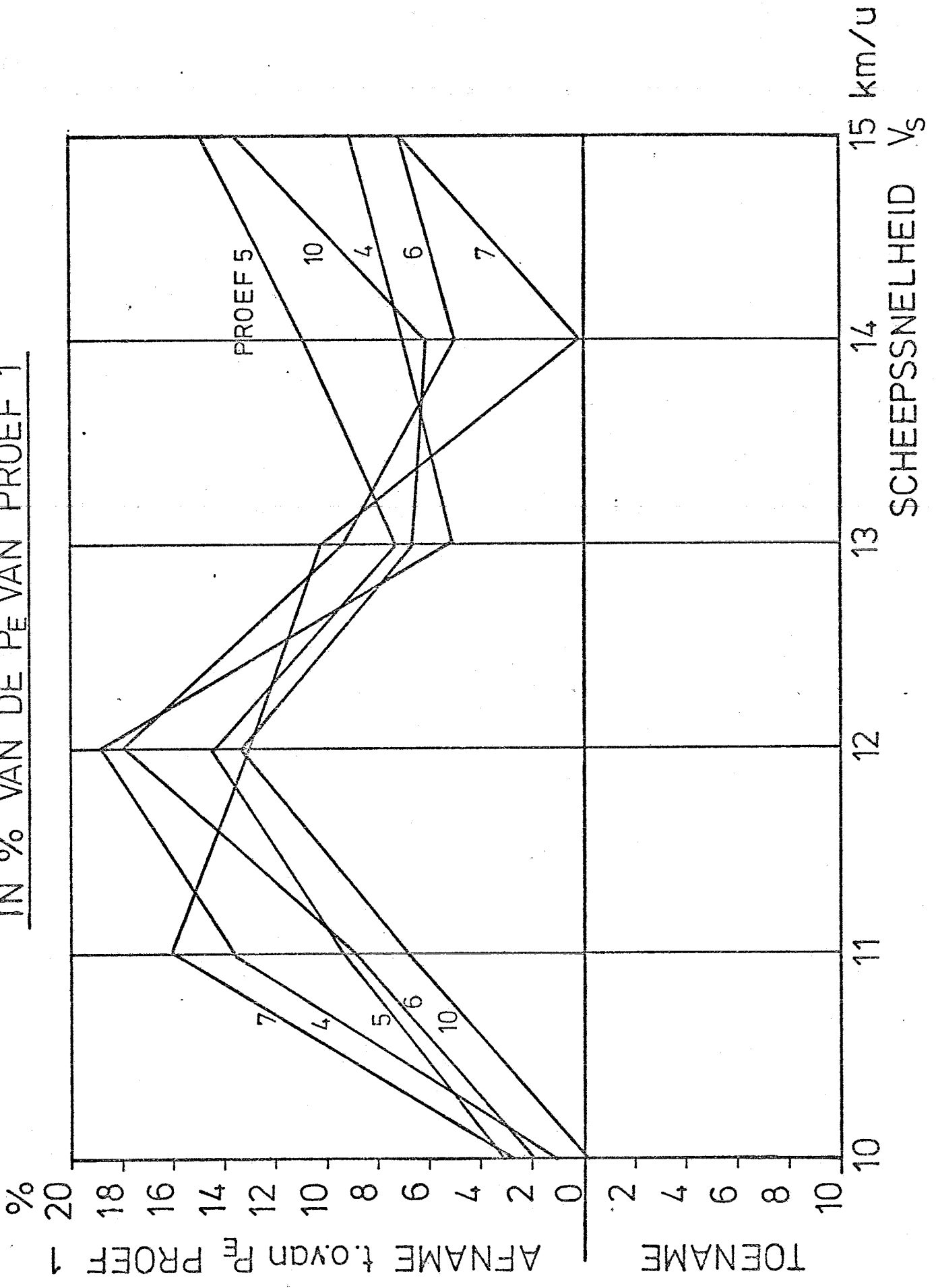
VERANDERING DER SLEEPPAARDEKRACHTEN P_E

IN % VAN DE P_E VAN PROEF 1



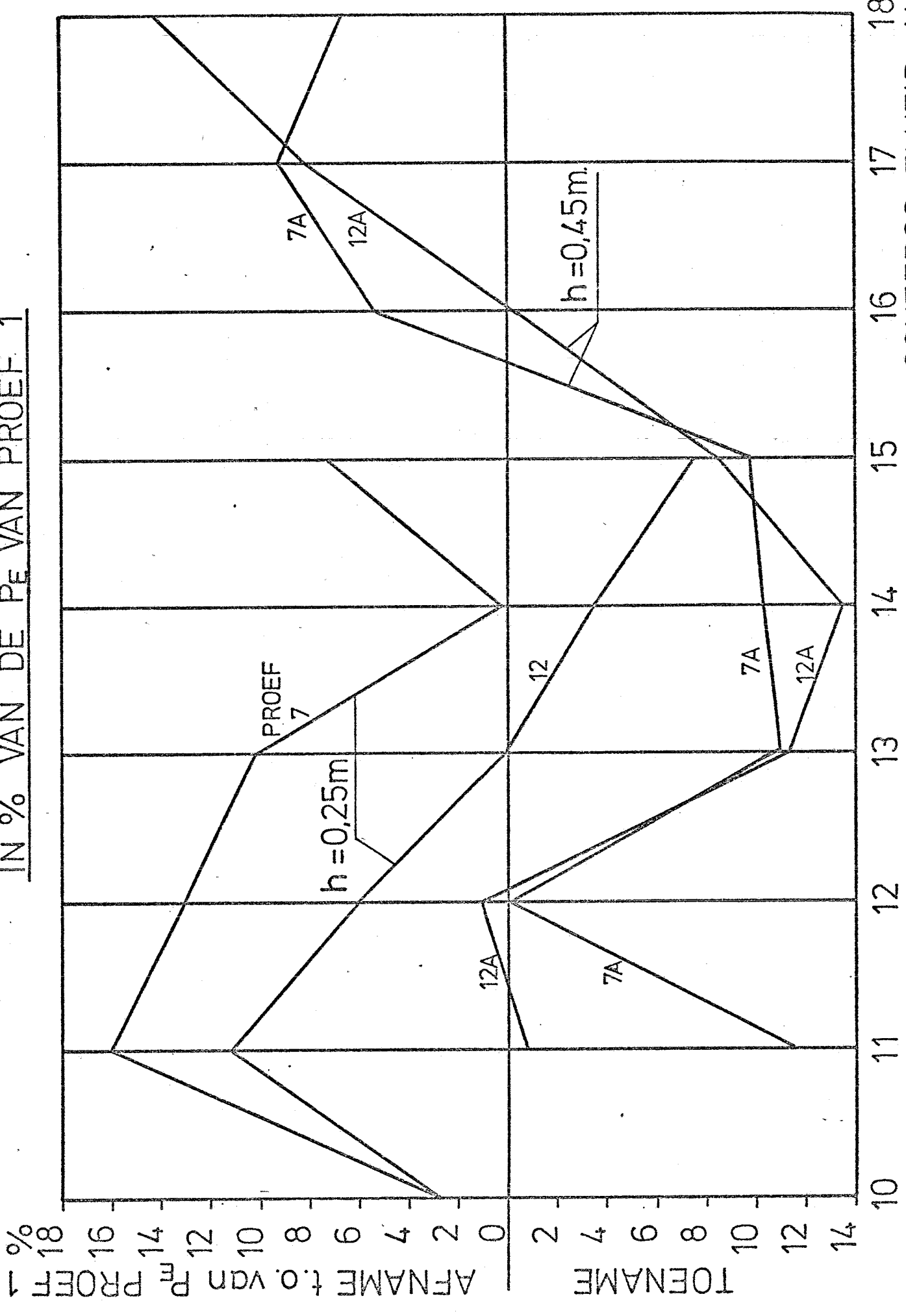
9 Proefnr. 10
 4 % van LII 2
 LIGGING MIDDELPUNT HALVE BOL VOOR VLL

VERANDERING DER SLEEPPAARDEKRACHTEN P_E
IN % VAN DE P_E VAN PROEF 1



figuur 10

VERANDERING DER SLEEPPAARDEKRACHTEN P_E
IN % VAN DE P_E VAN PROEF 1



figuur 11

