

SCHIP EN WERF

14-DAAGS TIJDSCHRIFT, GEWIJD AAN SCHEEPSBOUW, SCHEEPVAART EN HAVENBELANGEN

ORGAAN VAN

DE VEREENIGING VAN TECHNICI OP SCHEEPVAARTGEBIED
DE CENTRALE BOND VAN SCHEEPSBOUWMEESTERS IN NEDERLAND
HET INSTITUUT VOOR SCHEEPVAART EN LUCHTVAART
HET NEDERLANDSCH SCHEEPSBOUWKUNDIG PROEFSTATION

IN „SCHIP EN WERF” IS OPGENOMEN HET MAANDBLAD „DE TECHNISCHE KRONIEK”

REDACTIE:

ir. J. W. HEIL w.i., prof. dr. ir. W. P. A. VAN LAMMEREN,
ir. G. DE ROOIJ s.i., prof. ir. L. TROOST en G. ZANEN

Redactie-adres: Heemraadssingel 194, Rotterdam 3, Telefoon 52200

ERE-COMITÉ:

Ir. A. W. BAARS, Oud-Directeur van Werkspoor N.V., Amsterdam; A. T. BRONSING, Oud-Directeur der N.V. Stoomvaart-Maatschappij „Nederland”, Amsterdam; ir. M. EIKELBOOM, Oud-Directeur Van Nieuvelt, Goudriaan & Co's Stoomvaart Mij., Rotterdam; P. GOEDKOOP Dzn., Directeur Nederlandsche Dok- en Scheepsbouw-Maatschappij (v.o.f.), Amsterdam; M. C. KONING, Oud-lid van de Raad van Bestuur der Kon. Paketvaart Mij., Amsterdam; W. H. DE MONCHY, Voorzitter van de Kamer van Koophandel en Fabrieken te Rotterdam; C. POT, Oud-Directeur der N.V. Electrotechn. Industrie v/h W. Smit & Co., Slikkerveer; F. G. STORK, Directeur der N.V. Kon. Machinefabriek Gebr. Stork & Co., Hengelo; ir. H. C. WESSELING, Commissaris der N.V. Kon. Mij. „De Schelde”, Vlissingen; S. VAN WEST, Oud-Directeur Dok- en Werf-Maatschappij Wilton Fijsnoord N.V., Schiedam.

UITGEVERS WYT-ROTTERDAM 6

Telefoon 54500 (10 lijnen), Telex 21403, Postrekening 58458, Pieter de Hoochweg 111

MEDEWERKERS:

J. BAKKER, ir. W. VAN BEELEN, prof. dr. ir. C. B. BIEZENO, W. VAN DER BORN, ir. B. E. CANKRIEN, ir. C. A. P. DELLAERT, L. F. DERT, J. P. DRIESSEN, G. FIGEE, ir. W. GERRITSEN, TH. VAN DER GRAAF, J. F. GUGELOT, F. C. HAANEBRINK, P. INTVELD, prof. ir. H. E. JAEGER, ir. J. JANSZEN, ir. M. C. DE JONG, ir. C. KAPSENBERG, J. VAN KERSEN, prof. dr. ir. J. J. KOCH, ir. H. J. KOOY Jr., ir. W. KROPHOLLER, ir. W. H. KRUYFF, prof. ir. A. J. TER LINDEN, dr. ir. W. M. MEIJER, ir. J. C. MILBORN, J. J. MOERKERK, ir. A. J. MOLLINGER, A. A. NAGELKERKE, ir. J. S. PEL, J. C. PIEK, ir. K. VAN DER POLS, B. POT, mr. dr. ir. A. W. QUINT, ir. W. H. C. E. RÖSINGH, ir. J. ROTGANS, ir. D. T. RUYS, C. J. RIJNEKE, ir. W. P. G. SARIS, ir. R. F. SCHELTEMA DE HEERE, ir. A. M. SCHIPPERS, dr. P. SCHOENMAKER, ir. H. C. SNETHLAGE, dr. J. SPUYMAN, prof. ir. E. J. F. THIERENS, ir. J. W. VAN DER VALK, C. VERMEY, C. VEROLME, ir. J. VERSCHOOR, ing. E. VLIET, L. J. L. DE VRIES, J. W. WILLEMSSEN, mr. J. WITKOP, prof. ir. C. M. VAN WIJNGAARDEN.

BEREKENING EN MOTIVERING VAN DE NIEUWE TCF FORMULE VOOR RONDE EN PLATBODEMJACHTEN

door

Ir. H. VREEDENBURGH

en

Dr. Ir. J. VERMEER

1. Principe

Schepen van verschillende grootte, vorm en tuigage zullen in het algemeen niet een gelijke snelheid ontwikkelen.

Om bij wedstrijden tussen zulke schepen te bereiken, dat het bestgezeilde schip wint en niet dat schip, wat van nature het snelste is, moet deze laatste factor worden uitgeschakeld.

De meest rationele manier is die, waarbij de gezeilde tijd van elk schip vermenigvuldigd wordt met een tijdcorrectiefactor (TCF), die het kleinst is voor het langzaamste schip.

Het zal duidelijk zijn, dat de TCF's zich verhouden als de potentiële snelheden der schepen. De absolute waarden der TCF's spelen enkele rol, slechts de verhoudingen zijn van belang. In aansluiting bij de gangbare RORC-praktijk kozen wij ook voor de R en P-jachten waarden van TCF, die niet al te ver van 1 afliggen. Bij de RORC-meting is het meestal zo, dat TCF kleiner is dan 1, omdat er steeds kleinere schepen aan wedstrijden gaan meedoen en de allergrootste in onbruik zijn geraakt.

De standaardsnelheid van de RORC, die 7 knoop bedraagt, wordt daardoor door vrijwel geen schip meer gehaald.

Wij kozen als standaardsnelheid 2,50 m/sec of 9 km/uur om tot redelijke waarden van TCF te komen.

2. Grondslagen

De snelheid, die een zeiljacht onder bepaalde omstandigheden kan bereiken, hangt af van de weerstand enerzijds en de drijvende kracht geleverd door de wind in de zeilen anderzijds. Zowel weerstand als drijvende kracht zijn van vele factoren afhankelijk.

Zo hangt de weerstand af van: snelheid, lengte, breedte, diepgang, waterverplaatsing, spantvorm, vorm der waterlijnen, gladheid van de huid enz. Het zal duidelijk zijn, dat geen enkele formule al deze factoren kan omvatten.

De drijvende kracht hangt in hoofdzaak af van het oppervlak der zeilen, maar daarnaast ook van de vorm der tuigage, alsmede de kwaliteit en het materiaal der zeilen. Ook hier is het niet mogelijk alle factoren in een formule te brengen.

Gezien de meetpraktijk tot nu toe meenden wij ons te moeten beperken tot een formule gebaseerd op lengte, breedte, zeiloppervlak en type. Zo'n formule kan uiteraard geen verschillen in spantvorm en waterverplaatsing binnen één type corrigeren.

Wel mag men van zo'n formule betere resultaten verwachten dan van de oude formule, die slechts lengte en zeiloppervlak in rekening bracht.

Een verdergaande verfijning b.v. door meting van de diepgang heeft ook daarom weinig zin, omdat kan worden aangetoond, dat de verhouding der snelheden van geheel gelijkvormige schepen van verschillende grootte ook nog afhankelijk is van de windsterkte.

Wel is het zo, dat boven een zekere minimum-windsnelheid de verhouding der scheepssnelheden redelijk constant blijft en het grootste schip ook de grootste snelheid ontwikkelt.

Bij zwakke wind is het echter mogelijk, dat het kleine schip sneller is dan het grote.

Dit is dan ook de reden, dat in een wedstrijd bij voldoende deelname de schepen zo mogelijk in groepen naar grootte moeten worden ingedeeld.

Bij een klein aantal deelnemers van sterk verschillende grootte is het bij voldoende wind met behulp van een goede TCF-formule toch nog mogelijk tot een redelijke uitslag te

komen. Bij zwakke wind is weliswaar de TCF niet meer juist, doch anderzijds wordt de uitslag dan sterk beïnvloed door toevallige vlagen.

Men zou kunnen overwegen, indien bij een wedstrijd de windsnelheid zeer gering is, de uitslag te bepalen naar volgorde van aankomst zonder toepassing van enige TCF.

3. Methode

De gekozen methode om tot een tijdcorrectiefactor te komen is de volgende.

Van een aantal schepen met gemiddelde verhoudingen, doch van verschillende grootte wordt enerzijds de weerstand als functie van de snelheid bepaald en anderzijds de door de zeilen geleverde drijvende kracht bij een bepaalde windsterkte.

Hieruit volgt voor elk schip de snelheid bij die windsterkte. De verhouding van de snelheid van een schip tot de standaardsnelheid van 2,5 m/sec geeft de TCF weer van dat schip.

De TCF van de gekozen standaardschepen kan worden uitgedrukt in de gemeten grootheden L , B en Z .

Stilzwijgend wordt aangenomen, dat andere schepen met gelijke L , B en Z bij dezelfde wind gelijke snelheden kunnen ontwikkelen, ongeacht hun eventuele verschillen in diepgang, vorm en waterverplaatsing. Dit is uiteraard niet het geval, hetgeen één der nadelen is van onverschillig welke voorgiftregeling.

Gedeeltelijk wordt aan dit bezwaar tegemoet gekomen door invoering van een typecorrectie.

4. Keuze der parameters

Van de reeds gemeten schepen zijn bekend:

- de lengte der waterlijn over stevens (L),
- de breedte over de berghouten ter plaatse van de mast (B),
- het zeiloppervlak (Z).

Geen dezer maten is ideaal als uitgangspunt voor een weerstandsberekening en het heeft dan ook het onderwerp van ampele overweging uitgemaakt of andere maten gekozen moesten worden.

De praktische bezwaren verbonden aan een hermeting van alle schepen zijn schier onoverkomelijk, terwijl anderzijds de te bereiken verbetering in de voorgiftregeling uiterst problematisch is.

Slechts ten aanzien van de meting van de voordriehoek van het zeiloppervlak leek een wijziging niet alleen uitvoerbaar, maar zelfs aangewezen. Immers bij de bestaande meting is er geen vast verband tussen de gemeten voordriehoek en het werkelijk daarin gevoerde zeiloppervlak.

Daar de wijze waarop Z gemeten wordt voor de bepaling der TCF-formule niet van belang is, zal op dit punt hier niet dieper worden ingegaan.

5. Gemiddelde verhoudingen

Van een zo groot mogelijk aantal schepen is de breedte B uitgezet op de lengte L (fig. 1). Het blijkt, dat er afgezien van de tjalken geen significant verschil is in lengte-breedte verhouding tussen de verschillende typen ronde en platbodemjachten.

De getrokken lijnen geven de gemiddelden weer.

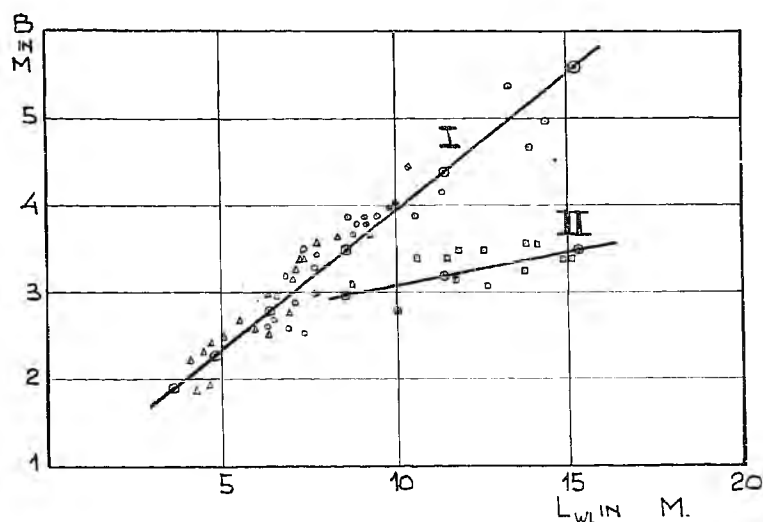


Fig. 1. I. Breedte over het berghout gemeten als functie van de lengte op de waterlijn voor ronde- en platbodem-jachten en staverse jollen
II. Idem voor tjalken

Op soortgelijke wijze zijn de gemiddelde diepgangen bepaald (fig. 2). De spreiding is hier vrij groot. Dit komt zeker niet in de laatste plaats doordat de diepgangen zijn opgegeven door de eigenaars, die vaak niet over betrouwbare gegevens beschikken en ook niet allen op dezelfde wijze gemeten zullen hebben.

Tenslotte is ook de verhouding Z/B van een groot aantal schepen uitgezet (fig. 3). Het blijkt, dat de relatief smalle tjalken dezelfde gemiddelde Z/B -waarden hebben als de overige schepen. De redenen om niet Z afzonderlijk te beschouwen, doch in verhouding tot de breedte zullen hieronder nader worden uiteengezet.

6. Wijze van berekening der scheepsweerstand

Er zijn verschillende benaderingsmethoden voor het bepalen van de scheepsweerstand. De oudere en meest bekende zijn bij voorstudies niet bruikbaar gebleken voor ons doel, omdat het daarbij niet mogelijk is voldoende rekening te houden met o.a. de verschillen in grootte en de invloed van de waterdiepte.

De gekozen methode is die van Lap-Troost, waarbij de golfweerstand voor verschillende snelheden worden uitgezet boven een extrapolatorlijn, waarin de invloeden verwerkt kunnen worden van:

- de driedimensionale stroming rond het schip
- de verhouding diepgang-waterdiepte
- de ruwheid van het onderwaterschip

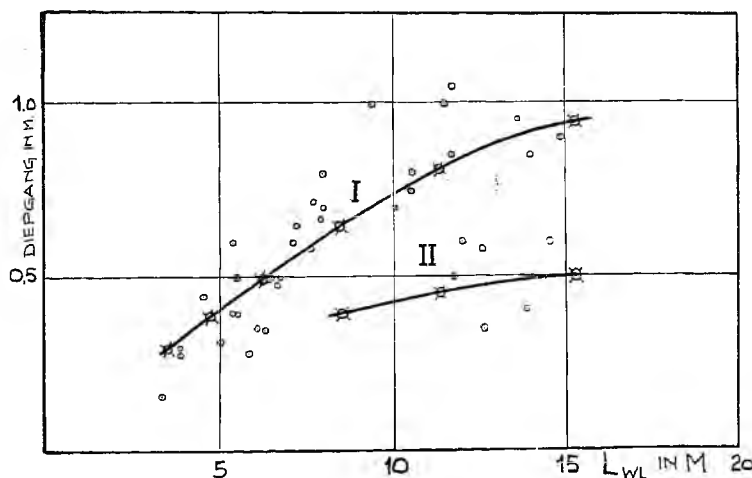


Fig. 2. I. Diepgang als functie van de lengte op de waterlijn voor ronde- en platbodem-jachten en staverse jollen II. Idem voor tjalken

Ofschoon het niet de bedoeling is te corrigeren voor ruwheid, die ontstaat door slecht schilderwerk en aangroeiing, bleek het om aansluiting met de praktijk te krijgen, toch nodig ervan uit te gaan dat grote schepen doorgaans een grotere absolute ruwheid hebben dan kleine.

Het is hier niet de plaats een gedetailleerde uiteenzetting van de Lap-Troost-methode te geven. In het kort is de gang van zaken de volgende:

De weerstand wordt betrokken op het nat oppervlak als volgt:

$$W = \left(\zeta_{EX.} + \zeta_r \frac{\Omega}{\Omega} \right) \Omega \cdot \frac{1}{2} \rho v^2$$

Hierin is: $\zeta_{EX.}$ = „Zeta” Lap-Troost extrapolator coëfficiënt

ζ_r = „Zeta” specifieke restweerstand

Ω = „Omega” nat oppervlak

Ω = oppervlak van het grootspant

ρ = „Ro” $\frac{\text{gewicht van 1 m}^3 \text{ water}}{\text{versnelling van de zwaartekracht}}$

v = scheepssnelheid in m/sec

Voorts is: $\zeta_{EX.}$ = functie ($\log R_e - \log A$)

R_e = getal van Reynolds $\approx L \times v \times 10^6$

A = factor afhankelijk van vorm, ruwheid en waterdiepteverhouding.

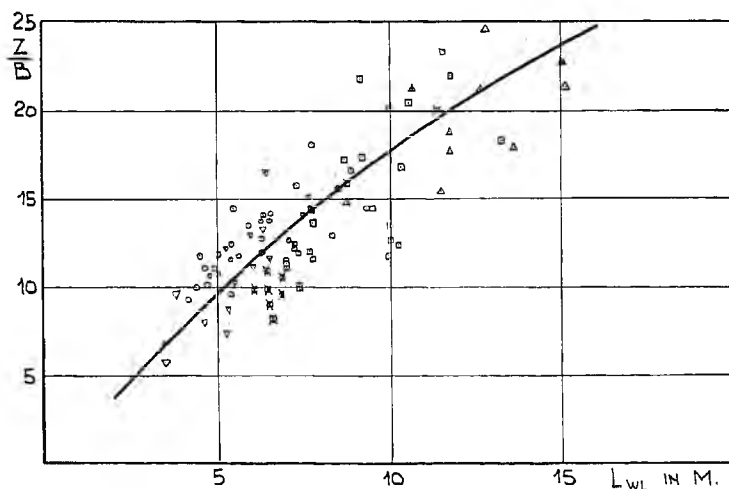


Fig. 3. Verhouding zeiloppervlak gedeeld door breedte als functie van de lengte op de waterlijn

⊙ = ronde jachten

▽ = schouwen

□ = vissersschepen

⊗ = staverse jollen

△ = tjalken

Noot: Z is genomen volgens de oude meting.

$\zeta_{EX.}$ kan ontleend worden aan tabellen en is weergegeven in fig. 4. De waarde van $\log A$ is gekozen afhankelijk van de grootte der schepen, uitgaande van een waterdiepte van 2 m.

De waarden van ζ_r zijn wel bekend voor normale handels-schepen, die echter tamelijk veel afwijken van R en P jachten. Bij onze berekeningen zijn we dan ook uitgegaan van waarden, die gecorrigeerd zijn voor de scheepsvormen in kwestie (zie fig. 5).

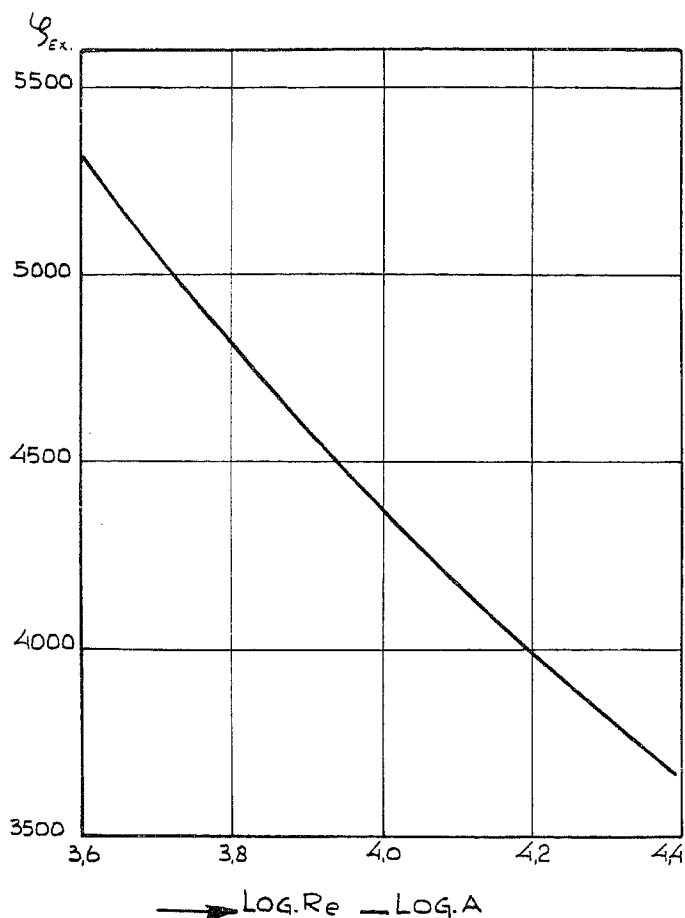


Fig. 4. Lap - Troost extrapolator

$$\zeta_{\text{ex}} = \frac{W_{\text{ex}}}{\frac{1}{2} \rho v^2 \Omega}$$

als functie van $\log R_e - \log A$

7. Keuze der „standaardschepen”

Als standaardschepen worden aangemerkt die schepen, die bij een bepaalde lengte de gemiddelde breedte, diepgang en zeiloppervlak hebben en die ook overigens wat vorm en verhoudingen betreft als gemiddelden kunnen worden beschouwd.

Als lengtematen zijn gekozen: 3,50 m; 4,70 m; 6,30 m; 8,50 m; 11,40 m; 15,30 m. Deze lengten bestrijken het gehele gebied der aan wedstrijd deelnemende platbodems. Zij zijn gekozen volgens een meetkundige reeks, voornamelijk omdat bij de kleine schepen de TCF sterker varieert met de lengte dan bij de grote.

Uit figuren 1, 2 en 3 vinden we de bijbehorende B, T en Z.

Het nat oppervlak Ω inclusief het roer en één zwaard blijkt voor een aantal geheel opgemeten schepen, waaronder tjalken, gemiddeld te bedragen:

$$\Omega = L \times B \times 0,9$$

Voor het grootspantoppervlak vonden wij op dezelfde wijze:

$$\mathfrak{A} = B \times T \times 0,75$$

Voor tjalken is dit echter: $\mathfrak{A} = B \times T \times 0,90$.

(Zie figuur 6.)

Alle gegevens der 6 standaardschepen zijn verenigd in tabel 1.

8. De drijvende kracht

Rösingh publiceerde het verband tussen de relatieve wind, de invalshoek daarvan en de drijvende kracht per m² zeiloppervlak.

v_w = ware windsnelheid in m/sec

v_s = scheepssnelheid in m/sec

v_r = relatieve windsnelheid in m/sec

K = drijvende kracht in kg

Globaal geldt:

$$\text{Aan de wind} \dots\dots\dots K = 0,03 \ Z \ v_r^2$$

$$\text{Halve wind} \dots\dots\dots K = 0,09 \ Z \ v_r^2$$

$$\text{Voor de wind} \dots\dots\dots K = 0,08 \ Z \ v_r^2$$

Betrokken op de werkelijke wind stellen we

$$K = (k) \ v_w^2 \ Z$$

waarin k het gewogen gemiddelde der Rösingh-coëfficiënten.

Om k te bepalen gaan we uit van een eenvoudig snelheidsdiagram (fig. 7), waaruit het verband te bepalen is tussen v_w , v_s en v_r , oftewel tussen werkelijke wind, scheepssnelheid en schijnbare wind.

Voor v_w nemen we 5 m/sec (B 3) en voor v_s nemen we 2,4 m/sec.

De windrichtingen 1 t/m 8 zouden elk even vaak voorkomen, ware het niet, dat wedstrijdcomité's een voorkeur hadden voor rakken in en aan de wind. We zullen daarom aannemen, dat de windrichtingen 1, 2 en 8 tweemaal zo vaak zullen voorkomen als anders het geval zou zijn.

Bij windrichting 1 vaart men afwisselend alsof de windrichting 2 en 8 ware en is de afgelegde afstand circa 1,5 maal zo lang. De tijdsfactor wordt hier dus $2 \times 1,5 = 3$.

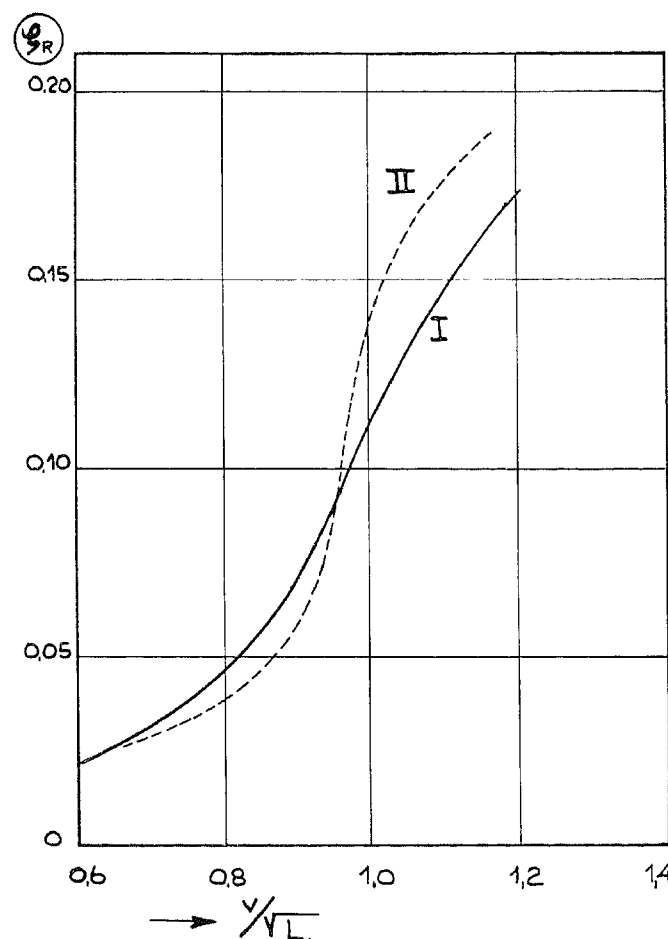


Fig. 5. Specifieke restweerstand

$$\zeta_r = \frac{W_r}{\mathfrak{A} \frac{1}{2} \rho v^2} \text{ als functie van } V/\sqrt{L}$$

I. Als gebruikt in de berekening II. Volgens Taylor

TABEL 1. Gegevens der standaardschepen

		1	2	3	4	5	6
Lengte	L	3,50	4,70	6,30	8,50	11,40	15,30
Breedte	B	1,90	2,30	2,80	3,50	4,40	5,60
Diepgang	T	0,30	0,39	0,50	0,64	0,81	0,95
Zeiloppervlak	Z	13	21	34	55	86	134
Grootspantoppervlak	Σ	0,43	0,67	1,05	1,71	2,67	4,00
Nat oppervlak	Ω	6,0	9,7	15,9	26,9	45,2	77,1
	$\frac{\Sigma}{\Omega}$	0,0715	0,0690	0,0663	0,0637	0,0592	0,0518
	Z/B	6,8	9,1	12,1	15,7	19,5	24,0

ζ_r	$V/\sqrt{L}$	ζ_r	$\frac{\Sigma}{\Omega} \times 10^3$
0,0264	0,65	—	—
0,0320	0,70	—	—
0,0387	0,75	—	—
0,0468	0,80	—	—
0,0570	0,85	—	—
0,0705	0,90	—	—
0,0900	0,95	—	—
0,1110	1,00	—	—
0,1300	1,05	—	—
0,1465	1,10	—	—
0,1605	1,15	—	—

Scheepssnelheid	v	1,943	2,115	2,292	2,504	2,680	2,815
TCF		0,778	0,845	0,916	1,001	1,072	1,126
$\frac{\partial v}{\partial w}$		0,022	0,017	0,011	0,007	0,006	0,005
$\frac{\partial TCF}{\partial Z/B}$		0,0234	0,0219	0,0173	0,0137	0,0148	0,0157

N.B. — $V/\sqrt{L}$ wordt uitgedrukt in knopen en voeten!

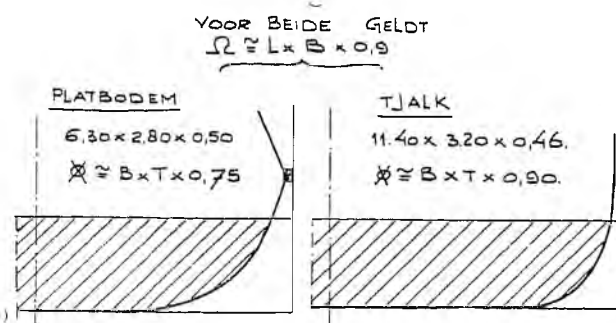


Fig. 6. Grootspantoppervlak als functie van breedte en diepgang

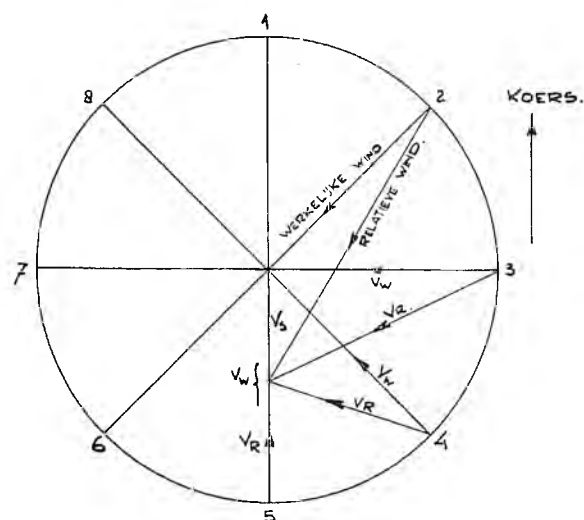


Fig. 7. Diagram ter bepaling van de schijnbare wind voor verschillende invalsboeken van de werkelijke wind

Windrichting	Tijdsfactor	$\frac{v_r^2}{v_w^2}$	k	Produkt
1	3	1,92	0,03	0,173
2 en 8	4	1,92	0,03	0,231
3 en 7	2	1,23	0,09	0,221
4 en 6	2	0,55	0,09	0,099
5	1	0,27	0,08	0,022
	12			0,746

De waarde van k bedraagt dus $\frac{0,746}{12} = 0,062$.

Daar de coëfficiënten van Rösingh betrekking hebben op torentuigen, zullen wij er goed aan doen k nog wat lager aan te houden, b.v. 0,9 maal zo groot.

Voor de windsnelheid van 5 m/sec wordt nu de drijvende kracht:

$$K = 0,9 \times 0,062 \times 5^2 Z$$

$$K = 1,40 Z$$

9. De keuze van Z/B als parameter

Indien een schip zeg 10 % breder is dan een ander, doch overigens geheel gelijk, dan is ook het nat oppervlak ca. 10 % groter, evenals het grootspantoppervlak.

Bij gelijke snelheid is de weerstand dan eveneens 10 % groter, daar immers de weerstandcoëfficiënten onafhankelijk van B zijn verondersteld.

Anderzijds is de drijvende kracht recht evenredig met het zeiloppervlak. Om nu de 10 % grotere weerstand te overwinnen, moet ook Z 10 % groter worden. M.a.w. wanneer Z en B beide veranderen, zodat Z/B gelijk blijft, verandert de snelheid niet. Het is dus juist Z/B als verhoudingsgetal in de TCF-formule in te voeren. Anderzijds hebben twee schepen van dezelfde lengte maar met verschillende Z/B -waarden een verschillende snelheid en moeten dus ook een verschillende TCF hebben.

10. Uitvoering der snelheidsberekening

Voor elk der zes standaardschepen is een formulier ingevuld. Figuur 8 geeft hiervan een voorbeeld.

De berekende weerstandswaarden zijn uitgezet en de zo gevonden krommen zijn gesneden met de lijn van de drijvende kracht. Het snijpunt geeft de scheepssnelheid. (Figuren 9 t/m 14.)

Voorts zijn in het snijpunt raaklijnen getrokken. Deze geven de verandering in snelheid aan bij variatie van de drijvende kracht, anders gezegd:

$$\frac{\partial v}{\partial W}$$

Wat wij in feite willen weten is echter de variatie in TCF ten gevolge van een groter of kleiner zeiloppervlak dus:

$$\frac{\partial \text{TCF}}{\partial Z/B}$$

Als standaardsnelheid kozen we 9,00 km per uur of 2,50 m/sec. Deze keuze was volkomen willekeurig en heeft op de onderlinge verhoudingen natuurlijk geen enkele invloed. Echter stelt deze keus ons nu in staat $\frac{\partial \text{TCF}}{\partial Z/B}$ uit te drukken in $\frac{\partial v}{\partial W}$ en wel als volgt:

$$\frac{\partial \text{TCF}}{\partial Z/B} = \frac{\partial \text{TCF}}{\partial v} \frac{\partial v}{\partial W} \frac{\partial W}{\partial Z/B} =$$

$$= \frac{1}{2,50} \frac{\partial v}{\partial W} B \frac{\partial W}{\partial Z} = \frac{1}{2,50} \frac{\partial v}{\partial W} B 1,4 = 0,56 B \frac{\partial v}{\partial W}$$

Dus:

$$\frac{\partial \text{TCF}}{\partial Z/B} = 0,56 B \frac{\partial v}{\partial W}$$

11. Afleiding van de TCF-formule

Uit de raaklijnen aan de weerstandskrommen leidden wij de waarden van $\frac{\partial \text{TCF}}{\partial Z/B}$ af op de hiervoor uiteengezette wijze. Deze waarden zijn uitgezet in figuur 15.

Weerstandsberekening

Scheepstype: Standaardschip

Lengte $L = 8,50$ m

Breedte $B = 3,50$ m

Zeiloppervlak $Z = 55$ m²

Nat oppervlak $\Omega = 26,9$ m²

$$\frac{\Sigma}{\Omega} = 0,0637$$

$$\frac{Z}{B} = 15,7$$

Log A = 3,1400

$$\text{Weerstand } W = \frac{1}{2} \rho v^2 \left(\zeta_{ex.} + \zeta_r \frac{\Sigma}{\Omega} \right) \Omega$$

$V/\sqrt{L}$	v m/sec	$\frac{1}{2} \rho v^2$	$\log R_e$	$\zeta_{ex.}$ $\times 10^3$	$\zeta_r \frac{\Sigma}{\Omega}$ $\times 10^3$	$\zeta_{tot.}$ $\times 10^3$	W
0,65	1,765	159,0	7,176	4,300	1,675	5,975	25,6
0,70	1,900	184,0	7,208	4,236	2,040	6,276	31,6
0,75	2,035	221,5	7,238	4,179	2,451	6,630	39,6
0,80	2,175	241,3	7,2675	4,124	2,980	7,104	46,1
0,85	2,310	272,4	7,2930	4,076	3,633	7,709	56,5
0,90	2,445	305,0	7,3118	4,030	4,490	8,520	69,9
0,95	2,580	339,4	7,3415	3,988	5,735	9,723	88,7
1,00	2,718	376,3	7,3664	3,949	7,070	11,019	111,6
1,05	2,855	416,0	7,385	3,912	8,290	12,202	136,9
1,10	2,990	456,0	7,405	3,878	8,690	12,568	154,0
1,15	3,122	497,5	7,424	3,845	10,230	14,075	118,0

N.B. — $V/\sqrt{L}$ wordt uitgedrukt in knopen en voeten!

Fig. 8. Formulier ter berekening van de weerstand als functie van de snelheid

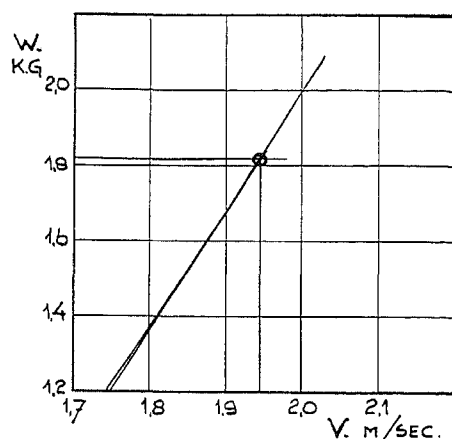


Fig. 9 t/m 14. Bepaling van de snelheid en $\frac{\partial v}{\partial W}$ voor verschillende scheepsgrootten als gedefinieerd door de lengte op de waterlijn

Fig. 9. $L = 3,5$ m

$$v = 1,943 \text{ m/sec} \quad \frac{\partial v}{\partial W} = 0,022$$

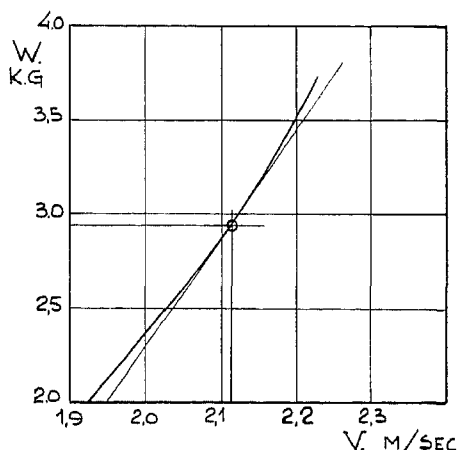


Fig. 10. $L = 4,7$ m

$$v = 2,115 \text{ m/sec} \quad \frac{\partial v}{\partial W} = 0,017$$

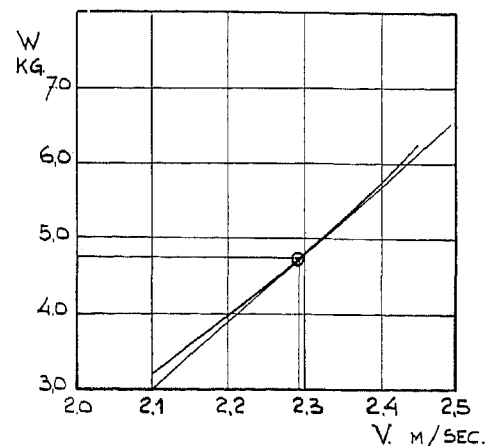


Fig. 11. $L = 6,3$ m

$$v = 2,292 \text{ m/sec} \quad \frac{\partial v}{\partial W} = 0,011$$

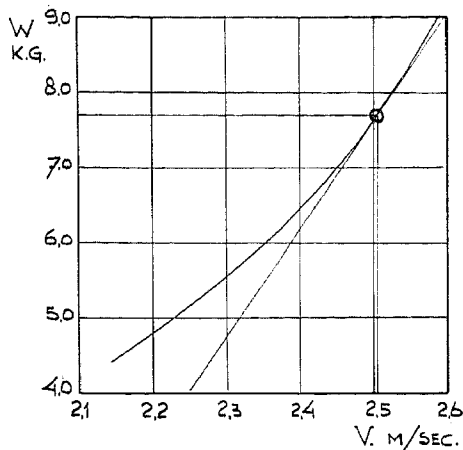


Fig. 12. $L = 8,5$ m

$$v = 2,504 \text{ m/sec} \quad \frac{\partial v}{\partial w} = 0,007$$

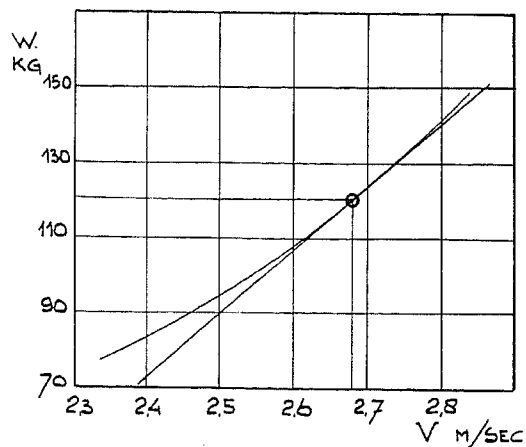


Fig. 13. $L = 11,4$ m

$$v = 2,680 \text{ m/sec} \quad \frac{\partial v}{\partial w} = 0,006$$

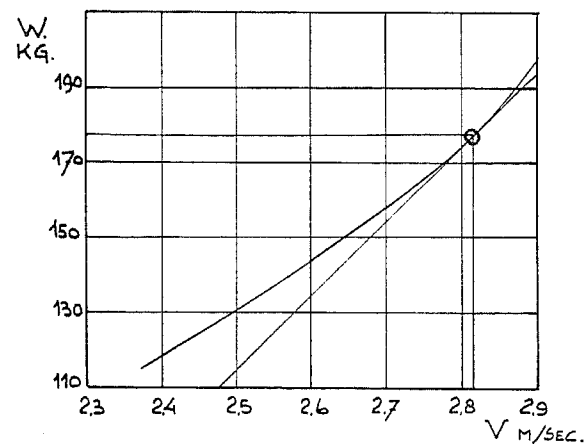


Fig. 14. $L = 15,3$ m

$$v = 2,815 \text{ m/sec} \quad \frac{\partial v}{\partial w} = 0,005$$

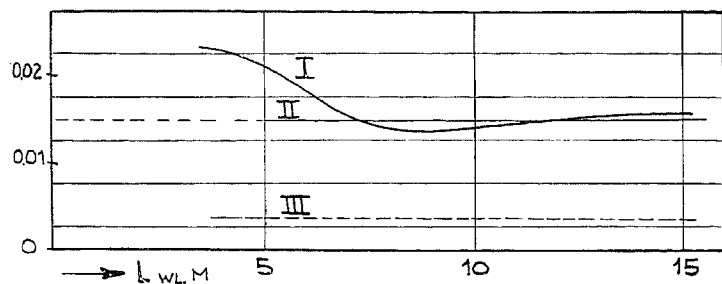


Fig. 15. $\frac{\partial \text{TCF}}{\partial Z/B}$ als functie van de lengte op de waterlijn

- I. Volgens berekening II. Volgens de nieuwe formule
III. Volgens de oude voorgiftregel

Het zal duidelijk zijn, dat $\frac{\partial \text{TCF}}{\partial Z/B}$ afhankelijk is van de snelheid, en wel groter voor kleine snelheden en kleiner voor grote snelheden. Het heeft daarom ook geen zin te trachten de gevonden kromme van $\frac{\partial \text{TCF}}{\partial Z/B}$ te benaderen door een ingewikkelde formule.

We stellen daarom $\frac{\partial \text{TCF}}{\partial Z/B} = 0,015$ en het aandeel van Z/B in de formule van TCF is uiteraard de integraal hiervan, dus $0,015 Z/B$.

Anderzijds komt de overige variatie in TCF uitsluitend voor rekening van L , omdat er immers geen andere variabelen zijn. Derhalve is $\text{TCF} = 0,015 Z/B + f(L)$.

Om $f(L)$ te vinden, trekken we van de voor de standaardschepen gevonden waarden van TCF een bedrag af ter grootte van $0,015 Z/B$ van het betreffende schip (zie fig. 16).

Het blijkt dat de zo resterende kromme met zeer goede benadering kan worden uitgedrukt door de parabool

$$0,034 L - 0,0014 L^2 + 0,580$$

De basisformule, d.w.z. zonder de correctiefactoren, wordt dus:

$$\text{TCF} = 0,015 Z/B + 0,034 L - 0,0014 L^2 + 0,580$$

We kunnen ook de afgeleide $\frac{\partial \text{TCF}}{\partial L}$ bepalen; deze bedraagt $0,034 - 0,0028 L$ en is uitgezet in figuur 17.

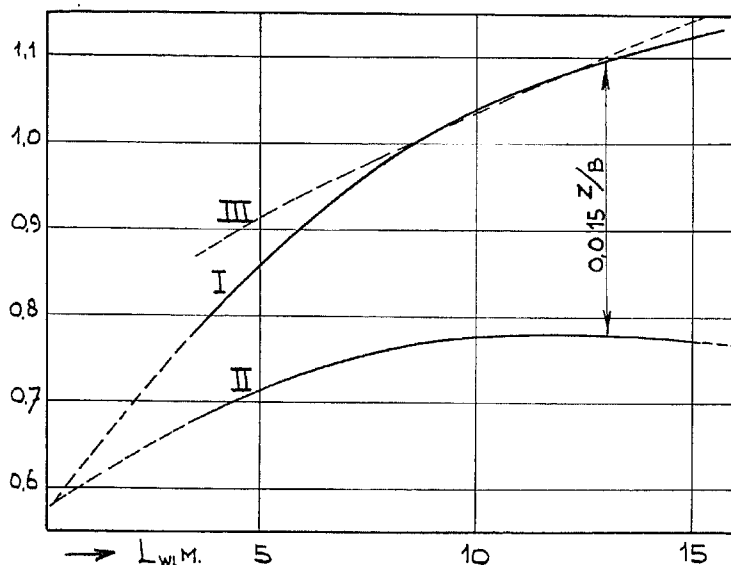


Fig. 16. Tijdcorrectiefactor TCF voor de standaardschepen als functie van de lengte op de waterlijn I. Totale TCF volgens de nieuwe formule II. Aandeel van de lengte volgens de nieuwe formule III. Totale TCF volgens de oude voorgiftregel

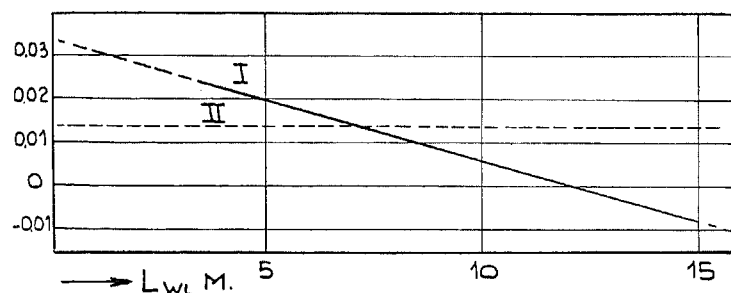


Fig. 17. Lengte-afhankelijkheid van de tijdcorrectiefactor

- I. $\frac{\partial \text{TCF}}{\partial L}$ volgens de nieuwe formule
II. $\frac{\partial \text{TCF}}{\partial L}$ volgens de oude voorgiftregel

12. Controle van de invloed van Z B

Men kan zich afvragen of de toegepaste Z, B-correctie mogelijk zo groot is, dat een ondertuigd schip bevoordeeld zou worden, waardoor dus de neiging zou kunnen ontstaan tot vermindering van de tuigage, hetgeen uiteraard ongewenst is.

Om dit na te gaan is van het schip met $L = 8,5$ m, waarbij de $\frac{\partial \text{TCF}}{\partial Z B}$ waarde het kleinst is, de weerstand berekend over een groter snelheidsgebied.

Hierbij werden drie zeiloppervlakken en drie windsnelheden onderzocht. De resultaten zijn als volgt:

$L = 8,5$ m	$Z =$	43,3	55	66,7
	TCF =	0,95	1,00	1,05
$v.\text{wind} = 3$ m/sec	$v =$	1,56	1,75	1,91
$K = 0,5 Z$	$v/\text{TCF} =$	1,64	1,75	1,82
$v.\text{wind} = 5$ m/sec	$v =$	2,35	2,50	2,62
$K = 1,4 Z$	$v/\text{TCF} =$	2,47	2,50	2,49
$v.\text{wind} = 6,7$ m/sec	$v =$	2,71	2,89	3,03
$K = 2,5 Z$	$v/\text{TCF} =$	2,85	2,89	2,89

Het blijkt dus, dat onder alle omstandigheden het ondertuigde schip na toepassing van de TCF nog steeds in het nadeel is. Er is dus stellig geen aanleiding de invloed van Z/B in de TCF-formule lager te kiezen.

13. Vergelijking met wedstrijdresultaten

Toepassing van de TCF in wedstrijden is alleen zinvol, indien de juiste gegevens van de schepen bekend zijn. Waar thans voor Z een reële correctie wordt gegeven, is het gebruik van Z volgens de oude meting niet meer toelaatbaar en leidt vaak tot een onjuiste beoordeling.

Waar het toch wenselijk leek de formule aan de praktijk te toetsen, is van de veronderstelling uitgegaan dat binnen een groep van min of meer gelijke schepen de fouten elkaar zullen opheffen. Ook wordt op deze wijze bereikt, dat de invloeden van kwaliteit van stuurman, zeil en schip worden genivelleerd.

Het is nu inderdaad zo, dat groepsgewijs grote en kleine schepen volgens de nieuwe formule goed met elkaar overeenkomen. Hierbij dient te worden opgemerkt, dat dit resultaat eerst werd bereikt nadat bij voorgaande berekeningen was gebleken, dat de uitgangspunten van de weerstandsberekening correctie behoeften.

14. Vergelijking met de oude formule

De oude voorgiftregel is ook in een formule uit te drukken en wel als volgt:

Voorgift is 10 sec. per uur voor 0,1 W M.

$$\text{Dus voorgift is } \frac{100}{3600} \text{ W M} = \frac{1}{36} \times \frac{L + \sqrt{Z}}{2}$$

$$\text{of TCF} = \frac{1}{36} \text{ W M} + \text{constante.}$$

$$\text{Dus TCF} = 0,0139 L + 0,0139 \sqrt{Z} + C.$$

$$\text{Derhalve } \frac{\partial \text{TCF}}{\partial L} = 0,0139 \text{ (zie fig. 17) en } \frac{\partial \text{TCF}}{\partial Z} = \frac{0,007}{\sqrt{Z}}$$

Daar de B in de formule niet voorkomt, moeten we ter bepaling van $\frac{\partial \text{TCF}}{\partial Z B}$ de B van de standaardschepen aannemen en schrijven

$$\frac{\partial \text{TCF}}{\partial Z B} = B \frac{\partial \text{TCF}}{\partial Z} = 0,007 \frac{B}{\sqrt{Z}}$$

De zo gevonden waarden zijn uitgezet in figuur 15. De invloed van Z is dus veel te klein. Tenslotte berekenen we de W M voor de standaardschepen en leiden daaruit de voorgift af t.o.v. het schip van 8,5 m. M.a.w. de constante is zodanig gekozen dat het standaardschip van 8,5 m een TCF = 1,— krijgt. De constante is dan 0,78. De hieruit berekende TCF zijn uitgezet in figuur 16.

Het blijkt dus, dat voor grote schepen, mits deze min of meer gelijkvormig zijn, ook wat tuig betreft, de resultaten bruikbaar zijn. Kleine schepen worden echter niet goed gecorrigeerd. De voorgiftregel was daarvoor ook niet ontworpen.

Schepen met relatief klein zeiloppervlak, zoals de meeste gebruiksvaartuigen, krijgen veel te weinig voorgift.

Al met al blijkt het, dat de oude regel niet bruikbaar is voor de gehele vloot van R en P jachten, die tegenwoordig aan wedstrijden deelneemt.

15. Correcties

Bij de controle met wedstrijdresultaten bleek het ook, dat bepaalde scheepstypen kennelijk sneller of langzamer zijn dan het gemiddelde. Deze vaak zeer markante verschillen worden door de TCF-formule niet of slechts gedeeltelijk gecorrigeerd.

Het is dus zo, dat deze verschillen niet berusten op invloeden van L, B en Z, maar op de scheepsvorm.

Voorzover zulke schepen in één groep verenigd tegen elkaar zeilen, zijn de resultaten van de TCF bevredigend. Moeten echter schepen van verschillend type bij gebrek aan voldoende gelijksoortige deelnemers in één groep verenigd worden, dan zijn correcties nodig.

De typecorrectie werd op grond van wedstrijduitslagen 1961 voorlopig vastgesteld op de volgende waarden:

Ronde jachten	$t = 0$
Schouwen	$t = 0,040$
Grundels	$t = -0,020$
Vissersschepen	$t = 0$
Tjalken	$t = -0,030$
Staverse jollen	$t = 0,030$

Daarnaast leek het wenselijk een kajuitcorrectie in te voeren. Immers wordt een open schip voorzien van een kajuit, dan zal het aan snelheid inboeten, omdat het zwaarder wordt en het zeildragend vermogen afneemt.

De kajuitcorrectie wordt gegeven in de vorm van een toeslag op TCF voor open schepen. De correctie is bij ontstentenis van nauwkeurige gegevens voorlopig vastgesteld op $k = 0,005$.

16. Berekening der schroefcorrectie

Gegevens over weerstandsvergroting bij aanwezigheid van een schroef en een schroefraam ontbreken geheel.

De oude regeling van 4 % reductie op wedstrijdmaat heeft het bezwaar geen onderscheid te maken tussen 2-, 3- en 4-bladsschroeven.

De RORC rekent een reductie op W M van

$$4 \times \frac{\text{schroefdiameter}}{\sqrt{B D}} \times \text{schroeffactor}$$

Hierin is B de breedte en D een gecorrigeerde diepgang.

Wij stellen nu voor een correctie in te voeren van:

$$s = C \times \frac{\text{schroefdiameter}}{B} \times \text{factor}$$

De „factor” is dan de RORC-factor, die afhangt van aantal bladen en plaats der schroef, alsmede van de mogelijkheid van een vaanstand.

Voorts lijkt het gewenst om voor normale 2-, 3- en 4-bladsschroeven af te zien van het opmeten van de diameter.

Dit kan door bij benadering de diameter van een 2-bladsschroef op 11,5 % van B te stellen en van 3- en 4-bladsschroeven op 11 % van B . Slechts in uitzonderingsgevallen behoeft dan een speciale berekening te worden uitgevoerd.

Rest te bepalen de constante C .

De oude correctie van 4 % op wedstrijdmaat komt neer op 0,7 à 1,3 % op TCF.

Bij de RORC-meting bedraagt de correctie voor 3- en 4-bladsschroeven eveneens ca. 1 % op TCF.

Wij stellen daarom voor:

De correctie op TCF in het geval van een normale 3- of 4-bladsschroef met $D = 0,11 B$ bedraagt 1 %.

Hieruit volgt, daar de RORC-factor in dit geval 4,5 bedraagt, een waarde voor C van 0,02.

Zodoende bedraagt dus de schroefcorrectie

$$s = 0,02 \times \frac{\text{diameter}}{B} \times \text{schroeffactor}$$

Voor normale 3- en 4-bladsschroeven aan te nemen $s = 0,010$

Voor normale 2-bladsschroeven aan te nemen $s = 0,007$

17. Berekening der correctie voor stromend water

Bij TCF = 1,000 bedraagt de snelheid 9,0 km/uur of 4,86 knoop. Voor andere waarden van TCF is de snelheid naar verhouding groter of kleiner. Met stroom mee of tegen worden alle snelheden met een gelijk bedrag groter dan wel kleiner en wijzigen zich dus de onderlinge verhoudingen.

Snelheden over de grond, afhankelijk van stroomsnelheid (in knoop)

TCF	0,75 tegen	0,75 mee	1,25 mee	1,75 mee
0,8	3,13	4,63	5,13	5,63
0,9	3,62	5,12	5,62	6,12
1,0	4,11	5,61	6,11	6,61
1,1	4,60	6,10	6,60	7,10

Het schip met een stil water TCF = 1,0 behoudt deze TCF ook in stromend water. De waarden van TCF zijn dan als volgt:

TCF	0,75 tegen	0,75 mee	1,25 mee	1,75 mee
0,8	0,760	0,825	0,84	0,85
0,9	0,880	0,913	0,920	0,926
1,0	1,000	1,000	1,000	1,000
1,1	1,120	1,090	1,080	1,075

Voor de berekening van TCF' maken we gebruik van de formule:

$$TCF' = 1 - \frac{1 - TCF}{p}$$

De waarde van p bedraagt:

TCF	0,75 tegen	0,75 mee	1,25 mee	1,75 mee
0,8	0,85	1,142	1,25	1,33
0,9	0,870	1,178	1,25	1,35
1,0	—	—	—	—
1,1	0,86	1,175	1,25	1,35

Deze waarden van p vertonen enige spreiding, die grotendeels op onnauwkeurigheid in de berekening is terug te voeren.

Voor getijde-wateren, waar de stroomsterkte nimmer exact is te bepalen en ook niet constant is, maken we een trapsgewijze indeling.

Stroom tegen 0,5 — 1,0 knoop	$p = 0,85$
Stroom tegen 0,5 — mee 0,5 knoop	geen correctie
Stroom mee 0,5 — 1,0 knoop	$p = 1,15$
Stroom mee 1,0 — 1,5 knoop	$p = 1,25$
Stroom mee 1,5 — 2,0 knoop	$p = 1,35$

Voor bovenrivieren, waar de stroomsterkte gedurende een wedstrijd constant is en bovendien nauwkeurig bekend (men kan de waarde opvragen bij Rijkswaterstaat), is het zinvol voor p een lineair verband aan te nemen en wel:

$$p = 1,00 + 0,108 V$$

waarin V is stroomsnelheid in km/h positief voor stroom mee en negatief voor stroom tegen.

18. Samenvatting en conclusie

De in het voorgaande afgeleide tijdcorrectie heeft dus de gedaante:

$$TCF = a Z/B + b L - c L^2 + d + t + k - s$$

Hierin is:

$$\begin{aligned} a &= 0,015 \\ b &= 0,034 \\ c &= 0,0014 \\ d &= 0,580 \end{aligned}$$

terwijl voor t , k en s de in de betreffende paragrafen afgeleide waarden gelden.

Het komt ons voor, dat deze TCF-formule het optimum voorstelt dat met de thans ter beschikking staande gegevens kan worden bereikt.

Verwacht wordt, dat met deze formule, mits toegepast op schepen gemeten volgens het nieuwe conceptreglement, bevredigende wedstrijdresultaten zullen worden verkregen.

Nochtans lijkt het wenselijk, en zulks is daarom ook in het conceptreglement opgenomen, de mogelijkheid open te laten tot herziening der coëfficiënten, wanneer voldoende wedstrijdresultaten ter beschikking staan om daaruit conclusies te kunnen trekken. De kans op herziening der coëfficiënten zal ook remmend werken op een tendens de schepen aan te passen aan de formule.

19. *Literatuuropgave*

Taylor, D. W.: „The speed and power of ships”. Washington 1943.

Lap, A. J. W.: „Fundamentals of ship resistance and propulsion”.
Publikatie no. 129a van het Nederlands Scheepsbouwkundig
Proefstation, Wageningen.

Rösingh, ir. W. H. C. E.: „Bepaling van de scheepssnelheid van zeil-
schepen”. Schip en Werf 1942.

Aken, J. A. van en ir. W. H. C. E. Rösingh: „Sleepproefresultaten
met zeiljachten.” Publikatie no. 59 van het Nederlands
Scheepsbouwkundig Proefstation, Wageningen.

Grobmann, H.: „Das Segel”. Berlin 1936.
