

ENIGE BESCHOUWINGEN BIJ DE CONSTRUCTIE VAN HET PROEFTOCHT- OF BEDRIJFS-PROGNOSEDIAGRAM.

Door dr. ir. W.P.A. VAN LAMMEREN,

Onderdirecteur

van het Nederlandsch Scheepsbouwkundig Proefstation,
te Wageningen;

Hoofd van de afdeling Wetenschappelijk Onderzoek.

Résumé.

De voordracht behandelt het maken van een prognose diagram voor de proeftocht- of de bedrijfstoestand, uitgaande van de resultaten van scheepsmodelproeven of berekeningen op grond van gepubliceerde gegevens. Na bespreking van de correctiefactoren t.a.v. het omwentelings-vermogen verband wordt een plan ontvouwd, dat ten doel heeft de onzekerheid bij het vaststellen van de voortstuwingscomponenten ten gevolge van het schaaleffect weg te nemen. Vervolgens wordt de correctie besproken van schroeven, die te veel of te weinig omwentelingen maken. Besloten wordt met bespreking van de invloed van beschadiging van de bladen op het rendement en het aantal omwentelingen van de schroef.

1. *Het maken van het prognosedigram.*

Bij het maken van het prognosedigram voor de proeftocht of de bedrijfstoestand van het schip moet men, uitgaande van de beschikbare resultaten van berekeningen of bij progressieve snelheden uitgevoerde metingen aan modellen in een sleepbassin, beschikken over de nodige toeslagen op het vermogen en het aantal omwentelingen. Hoewel men bij de modelproeven ook de weerstand en de stuwkracht meet, ziet men er meestal van af deze waarden voor het werkelijke schip te bepalen omdat men ze in het algemeen aan het schip niet zo eenvoudig kan meten.

De toeslagen kunnen gedeeltelijk langs theoretische weg worden afgeleid, doch het voornaamste hulpmiddel bij het bepalen van de toeslagen voor proeftocht en bedrijf vormen enerzijds de resultaten van zorgvuldig uitgevoerde metingen bij progressieve snelheden op de proeftocht, die onder zeer gunstige omstandigheden met betrekking tot de toestand van

zee en weer, waterdiepte en toestand van de huid worden uitgevoerd op de gemeten mijl en anderzijds de resultaten van betrouwbare metingen van vermogen en snelheid over een langere bedrijfsperiode van het schip gedurende de verschillende jaargetijden en over verschillende routen.

Op grond van vergelijking van deze proeftocht- en bedrijfsresultaten met in het sleepbasin verkregen modelproefresultaten is het N.S.P. tot een aantal toeslagen gekomen, die uitvoerig werden behandeld in het boek « Weerstand en Voorstuwing van schepen » (*). Het ligt niet in mijn bedoeling thans op deze toeslagen in te gaan met uitzondering van de toeslag op het aantal omwentelingen. Door het beschikbaar komen van meer materiaal sedert de publicatie van genoemd boek, kunnen thans betere gegevens worden verstrekt omtrent het omwentelingen-vermogen verband van de schroef.

Alvorens hiertoe over te gaan wil ik even de constructie van het prognosedigram in herinnering brengen. Dit kan het best geschieden aan de hand van het in fig. 1 gegeven voorbeeld. Omdat de weerstands- en stuwkrachtkrommen van minder belang zijn, werden ze niet in het diagram getekend. Het diagram beperkt zich voorts tot een proeftochtprognose. Het bedrijfsprognosedigram is in principe hetzelfde, slechts de grootte van de toeslagen is verschillend.

De door middel van berekeningen of tankproeven vastgestelde APK-waarden, uitgezet als functie van de snelheid, worden verhoogd met het voor het betrokken geval gebruikelijke toeslagpercentage.

De toeslag voor aswrijvingsverliezen, die het omwentelingen-vermogen verband niet beïnvloeden, wordt afzonderlijk in rekening gebracht door het aan het as-einde van de machine beschikbare vermogen met het percentage van deze toeslag te verminderen.

Snijding van de aldus gevonden lijn van constante APK met de APK-kromme voor de proeftocht levert de te verwachten proeftochtsnelheid.

Het aantal omwentelingen bij de proeftochtsnelheid wordt nu gevonden door het aantal omwentelingen, corresponderend met het volle vermogen (verminderd met aswrijvingsverliezen) in de tanktoestand te verminderen met een bepaald percentage (1) als gevolg van de verhoogde schroefbelasting en

(*) Technische Uitgeverij H. Stam, Haarlem.

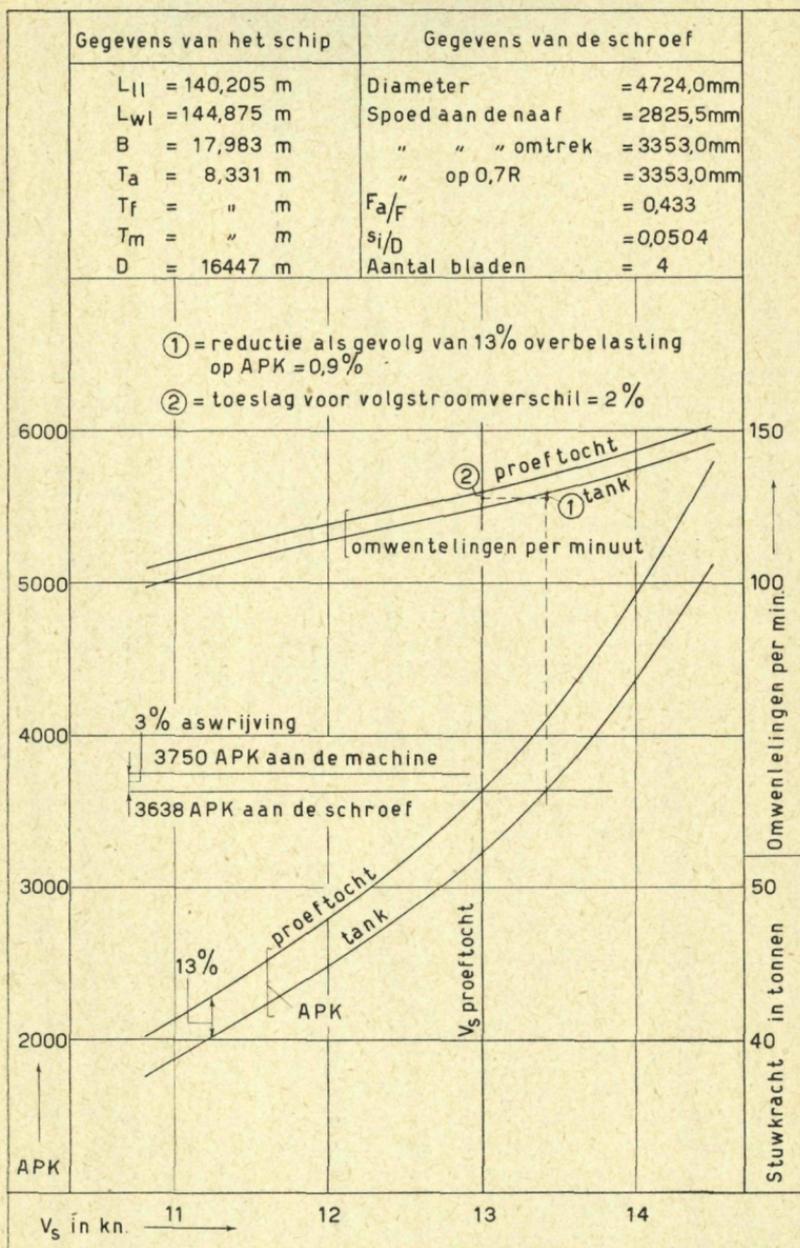


Fig. 1. — Proeftochtprognose diagram voor een enkelschroef vrachtschip.

te vermeerderen met een bepaald percentage (2) als gevolg van het volgstroomverschil tussen model en schip.

Het is gebruikelijk het aldus gevonden percentage voor de toeslag op het aantal omwentelingen bij de proeftochtsnelheid voor de overige snelheden hetzelfde te kiezen.

Men kan echter ook dezelfde constructie voor andere vermogens herhalen. De verschillen zullen in het algemeen klein zijn en gezien de schatting van de correcties 1 en 2, van weinig betekenis.

Bij het maken van het prognosedigram houdt men de toeslag op APK constant voor alle snelheden. Vergelijking van een aantal proeftochresultaten laat zien dat zulks toelaatbaar is. In vele gevallen was de toeslag inderdaad constant, in andere gevallen werd de toeslag met het toenemen van de snelheid kleiner. Met een constante gemiddelde toeslag is men dus voor de hogere snelheden aan de veilige kant.

Wij zullen nu de correctiefactoren 1 en 2, die het omwentelingen vermogen verband bepalen, nader bespreken.

2. *Het omwentelingen-vermogen verband van de schroef.*

In « Weerstand en Voortstuwing van schepen » werd bij de correctiefactor als gevolg van het verschil in schroefbelasting bij gelijk vermogen doch verschillende scheepssnelheden onderscheid gemaakt tussen enkel- en dubbelschroefschepen enerzijds en schroeven met een laag en hoog aantal omwentelingen anderzijds. De correcties werden gegeven per 10 % toename van de belastingsgraad en wij namen daarbij aan dat een lineair verband tussen deze correcties en de belastingsgraad bestond. De belastingsgraad werd gedefinieerd als het quotient van de weerstands-pk in overbelaste toestand (EPK') en de EPK in tanktoestand bij de betrokken snelheid.

Om praktische redenen — in het prognose diagram worden de EPK-waarden in de regel weggelaten, aangezien ze aan het schip niet te meten zijn — wordt de belastingsgraad ook wel bepaald als het quotient van de APK in overbelaste toestand (APK') en de APK in tanktoestand. Het verband tussen beide quotienten is :

$$\frac{EPK'}{EPK} = \frac{APK' \xi'_0}{APK \xi_0}$$

met ξ'_0 = coëfficiënt van de voortstuwing in overbelaste toestand
en ξ_0 = coëfficiënt van de voortstuwing in tanktoestand.

Aangezien $\xi'_0 < \xi_0$ zal $APK'/APK > EPK'/EPK$ zijn,

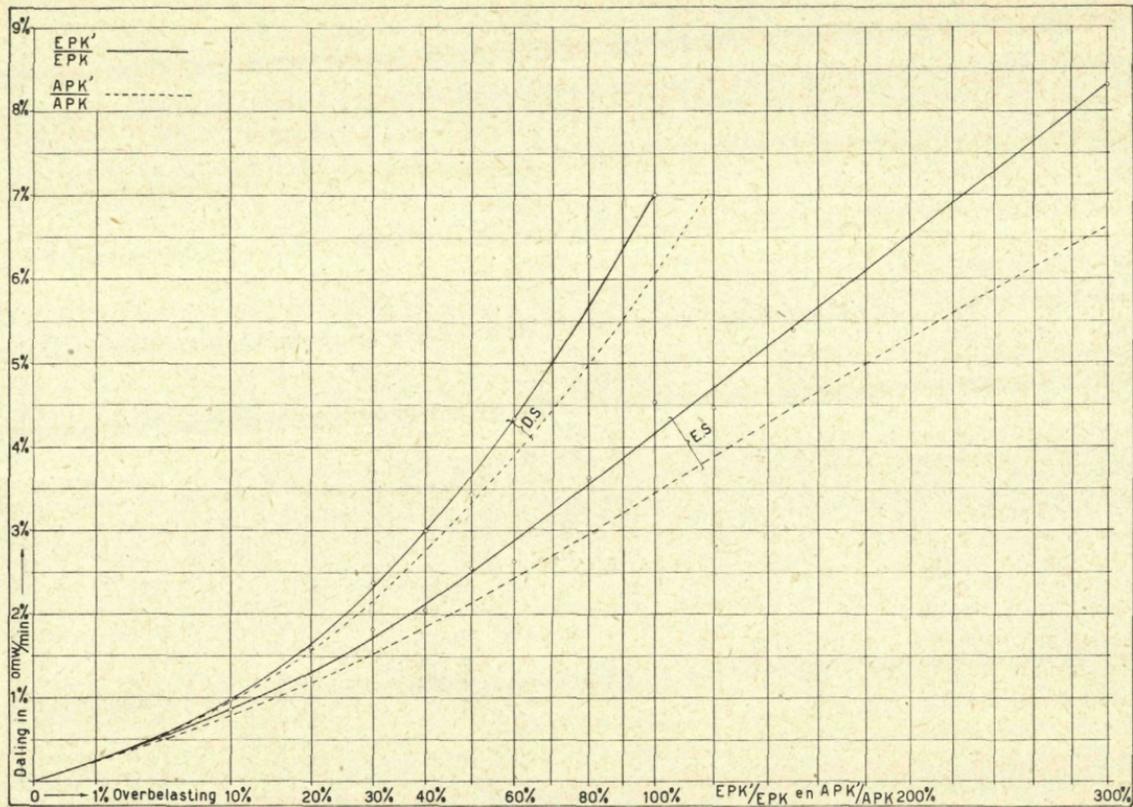


Fig. 2. — Nieuwe correctiefactoren voor het omwentelingen-vermogen verband i.v.m. de schroefbelasting.

De verschillen zijn echter niet zo groot, dat zij de correctiefactoren in belangrijke mate beïnvloeden. Niettemin verdient het aanbeveling in elk geval de definitie van de belastingsgraad te vermelden.

Na analyse van de resultaten van een groter aantal modellen dan was onderzocht bij het bepalen van de genoemde correctiefactoren, bleek het noodzakelijk deze factoren te wijzigen.

Er bleek ten slotte geen aanwijsbaar regelmatig verband te bestaan tussen de grootte van het aantal omwentelingen en de daling. Ook varieerde de daling niet lineair met de belastingsgraad. Wel werd het verschil tussen E.S. en D.S. schepen bevestigd. Fig. 2 toont de nieuwe correctiefactoren. In het gebruikelijke gebied van 10 tot 40 % overbelasting wijken de nieuwe correctiefactoren voor een gangbaar aantal omwentelingen van 120/min vrijwel niet af van de vroegere factoren.

Opgemerkt moet nog worden dat de punten van de E.S. schepen werden bepaald als gemiddelden voor ca. 25 modellen, bij de D.S. schepen werden 12 modellen geanalyseerd. De percentages werden vastgesteld door vergelijking van de resultaten van voortstuwingsproeven bij progressieve snelheden met die van overbelastingsproeven bij een bepaalde snelheid. Van laatstgenoemde proeven werden er betrekkelijk weinig genomen, zodat het lange tijd heeft geduurd alvorens voldoende vergelijkingsmateriaal ter beschikking stond.

De tweede correctiefactor, die een gevolg is van het in de volgstroom optredende schaaffect enerzijds en het verschil in ruwheid tussen het modeloppervlak en de scheepshuid anderzijds, kan slechts worden bepaald door vergelijking van proeftocht- en bedrijfsgegevens met tankresultaten. Ten gevolge van de aangroeiing van de huid zal de correctiefactor in de bedrijfstoestand steeds kleiner worden. Quantitatieve gegevens staan ons hieromtrent niet ter beschikking, zodat ik mij hier beperken moet tot gegevens voor de proeftochttoestand.

De in « Weerstand en Voortstuwning van schepen » voor de proeftochttoestand gegeven waarden van 0,5 % voor D.S. schepen en 1 à 2 % voor E.S. schepen blijken aan de lage kant te zijn. Dit volgt uit de analyse van een aantal proeftochresultaten van E.S. en D.S. schepen van uiteenlopende grootte en sterk verschillend aantal omwentelingen van de schroef. De analyse werd zo uitgevoerd, dat bij gelijk vermogen het

aantal omwentelingen in de proeftochttoestand werd vergeleken met dat in de tanktoestand, verminderd met de in fig. 2 gegeven correctiefactor.

Voor enkelschroefschepen vond ik als gemiddelde correctiefactor voor het volgstroomverschil tussen model en schip 2,2 %, voor dubbelschroefschepen 1,5 %. De afwijkingen van de gemiddelde waarden zijn echter groot, zoals blijkt uit de in tabel 1 gegeven samenvatting.

Ook bij deze correctiefactor bleek geen aanwijsbaar verband te bestaan tussen de grootte van de factor en de schaal van het model. Het is mogelijk dat dit moet worden toegeschreven aan een verschil in ruwheid of aan een afwijking in spoed van de gefabriceerde schroef t.o.v. de ontworpen schroef. Dit kon in deze gevallen niet worden vastgesteld. Duidelijk is alleen het verschil tussen E.S. en D.S. schepen.

Het aantal geanalyseerde schepen is te gering om een definitieve uitspraak te kunnen doen omtrent de grootte van de correctiefactor. Zeker is echter dat de in W. en V. gegeven waarden te klein zijn. Deze conclusie wordt bevestigd door waarnemingen aan boord van schepen waarvan geen nauwkeurige proeftochtresultaten beschikbaar zijn. Daarom verdient het aanbeveling voorlopig de nieuwe waarden aan te houden.

De hierna te bespreken proeven ter bepaling van de invloed van het schaaffect zullen meer klaarheid in de afwijkingen van het aantal omwentelingen moeten brengen.

Tabel 1. — Toeslag op het aantal omwentelingen als gevolg van het verschil in volgstroom tussen model en schip.

A. — ENKELSCHROEFSCHEPEN.

Scheeps- lengte tussen l. l. in m.	A P K aan de schroef	Proeftocht snelheid in Kn.	omw/min op de proeftocht	Model schaal	Overbelas- ting op A P K in %.	Daling van N t.g.v. overbel. in %.	Toename van N t.g.v. volgstroom- verschil in %.
81,0	1 186	12,2	197,4	1 : 13	9,3	0,76	3,20
25,0	207	9,0	247,0	1 : 8	9,2	0,75	0,55
26,5	271	9,1	174,1	1 : 8½	35,6	1,74	1,22
91,0	2 475	13,6	134,9	1 : 18	11,5	0,86	0,79
84,4	496	10,2	284,9	1 : 12½	24,5	1,36	3,47
61,9	946	11,35	279,0	1 : 10	10,9	0,84	2,11
51,8	1 367	13,0	113,5	1 : 16	8,5	0,72	2,51
81,8	980	11,5	189,2	1 : 16	12,2	0,90	2,73
56,0	704	12,4	250,7	1 : 11	4,7	0,53	1,82
109,1	2 879	13,3	107,6	1 : 20	7,8	0,70	2,21
72,9	720	11,6	255,7	1 : 11	8,6	0,74	3,43
26,5	247	9,2	171,5	1 : 8½	28,3	1,48	1,77

gemiddeld | 2,15

B. — DUBBELSCHROEFSCHEPEN.

Scheeps- lengte tussen l. l. in m.	A P K aan de schroef	Proeftocht snelheid in Kn.	omw/min op de proeftocht	Model schaal	Overbelas- ting op A P K in %	Daling van N t.g.v. overbel. in %	Toename van N t.g.v. volgstream verschil in %
157,9	15.840	21,0	134,2	1 : 23½	7,8	0,82	3,26
134,1	5.820	16,7	122,2	1 : 20	10,9	1,03	2,44
213,4	25.200	21,0	123,5	1 : 28	17,4	1,44	0,80
144,8	10.550	17,0	120,3	1 : 22	35,2	2,50	0,70
144,8	12.000	17,7	125,0	1 : 22	34,5	2,52	0,94
144,8	12.000	19,0	119,0	1 : 22	36,4	2,57	0,51
184,6	30.634	24,6	144,4	1 : 28	5,3	0,63	1,96
144,8	7.700	17,5	126,2	1 : 22½	18,1	1,46	1,46
gemiddeld						1,51	

3. Onzekere factoren bij het maken van de proeftocht- en bedrijfsprognose t.g.v. het schaafeffect.

Uit het voorgaande blijkt wel dat de toeslagen en de correctiefactoren op schattingen berusten en niet nauwkeurig zijn aan te geven. Wel kan men bepaalde conclusies trekken omtrent de invloed van de overbelasting op het rendement en het aantal omwentelingen van modellen, doch het bij overgang van model naar schip optredende schaafeffect in alle voortstuwingscomponenten maakt de toepassing van deze conclusies op de scheepsvoortstuwning weer illusoir. Om een voorbeeld te noemen. De volgstream voor het schip zal kleiner zijn dan die voor het model. De volgstreamverdeling over de schroefschijf zal anders zijn. Hierdoor veranderen de schroefbelasting en het rendement en daarmee het aantal omwentelingen van de schroef. Ten gevolge van het schaafeffect in de voortstuwder zelf zal het aantal omwentelingen echter ook veranderen. De sub. 2 genoemde correctiefactoren vormen dus de som van een aantal op zich zelf niet bekende factoren.

Volledige klaarheid in dit vraagstuk kan slechts worden gebracht, indien wij in staat zijn de voortstuwingscomponenten van het schip op dezelfde wijze te analyseren als bij het model geschiedt. Daartoe zouden dan de scheepsweerstand, de stuwkracht, het vermogen aan de schroef, de volgstream en zo mogelijk het rendement van de schroef in vrijvarende toestand bekend moeten zijn.

Ten gevolge van het optredende schaafeffect is het tot op

heden nog niet gelukt deze componenten met nauwkeurigheid af te leiden uit proeven met scheepsmodellen. Voor de extrapolatie van de weerstand van scheepsmodellen beschikken wij wel over vele resultaten van proeven door verscheidene onderzoekers verricht (Froude, Gebers, Kempf, Higara, e.a.) en over diverse ten dele op deze proeven berustende extrapolatie methoden (Schoenherr, Schlichting, Prandtl, von Kármán, Telfer e.a.), doch al deze gegevens gaan mank aan het euvel dat zij werden afgeleid uit proeven met objecten van te kleine afmetingen en/of vormen die niets met de scheepsvorm gemeen hebben.

Een belangrijke bijdrage tot de oplossing van dit probleem zal in de naaste toekomst geleverd worden door de B.S.R.A. met de ware grootte proeven met de ex-raderboot « Lucy Ashton », doch ook hiervan bedraagt de lengte slechts 160'. De proeven beperken zich tot het meten van de weerstand in de verschillende toestanden en het bepalen van de stromingsverdeling rond de scheepsromp.

Voor zover mij bekend is, werden nimmer met modelmetingen vergelijkbare metingen gedaan van de voortstuwingscomponenten van grote schepen. De door de Fransman Igonet (*) uitgevoerde proeven werden gedaan met een barkas van 20 m lengte. De lengte is echter te klein om algemene conclusies te kunnen trekken omtrent het schaaleffect bij overgang van het model naar het schip met een lengte van 100 à 150 m.

Het ontbreken van voldoende gegevens omtrent de invloed van het schaaleffect bij de voortstuwingscomponenten wordt in de scheepsbouwkundige vakwereld als een groot gemis gevoeld. Men is thans diep doorgedrongen in het wezen van de schroefwerking en van de samenwerking tussen schip en schroef, doch de juiste schakel tussen model en schroef ontbreekt nog. Men voert een groot aantal metingen uit met zeer nauwkeurige apparaten om gegevens te verkrijgen die tot op 1 % nauwkeurig zijn, doch is daarna zeer kwistig met toelagen voor proeftocht en bedrijf, waarvan de juistheid meestal eerst na de proeftocht of na een bepaalde diensttijd van het schip kan worden vastgesteld. Deze onbevredigende toestand is dus het gevolg van onze onvoldoende kennis omtrent de kwantitatieve invloed van het schaaleffect.

(*) Ch. Igonet : « Premiers résultats d'essais d'une vedette modèle ». Bull. de l'Ass. Techn. Mar. et Aéron., n^o 43, 1939, p. 319.

Proeven op ware grootte.

Om hierin verbetering te brengen heeft het N.S.P. het plan opgevat tot het nemen van proeven met een serie gelijkvormige scheepsmodellen, een grote modelboot en het daarmee corresponderende schip op ware grootte.

Wij zijn hierbij zo gelukkig de medewerking van de Verenigde Ned. Scheepvaart Mijnen te verkrijgen, die in principe heeft toegestemd de metingen aan een van haar 15 of 17 mijls Victory schepen te laten verrichten..

Onze keuze is op dit scheepstype gevallen, omdat enerzijds dit type zeer gangbaar is en anderzijds meer van deze schepen in de V.N.S. vloot varen, zodat t.z.t. wel één van de schepen voor een meetreis beschikbaar zal zijn. De metingen zullen zich in ieder geval uitstrekken tot het bepalen van het askoppel, de stuwkracht, de scheepssnelheid, de snelheidsverdeling achter het schip, de volgstroom en zo mogelijk de zog.

Volledigheidshalve vermeld ik hierbij dat bij deze gelegenheid ook volledige stuurproeven genomen zullen worden aan boord van een Victory schip en dat bovendien spanningsmetingen aan de schroef op ware grootte, draaiende in het variabele snelheidsveld achter het schip en aan de schroef achter de modelboot zullen worden verricht. De spanningsmetingen zullen zelfstandig door de fa. Lips worden gedaan, doch op hetzelfde tijdstip en aan hetzelfde schip, zodat volledige informatie met betrekking tot snelheidsverdeling, stuwkracht en askoppel beschikbaar is.

De stuurproeven zullen omvatten het maken van draaicirkel en zigzag vaarten, het nemen van stop- en uitloopproeven, het meten van roerkoningkoppels en het bepalen van de drukverdeling van het roerprofiel.

Het programma werd zodanig opgesteld dat wij vertrouwen deze proeven in de zomer van 1952 te kunnen uitvoeren.

Om het zoggetal voor het grote schip te kunnen bepalen, moet men de weerstand van het schip kennen. Daartoe zou het nodig zijn een Victory schip te laten slepen door een ander schip met groter machinevermogen. Dit is een buitengewoon moeilijke opgave, niet alleen van technisch, doch ook van commercieel standpunt bezien. Het zal heel moeilijk zijn de betrokken schepen op hetzelfde tijdstip op een geschikte plaats bij elkaar te krijgen, indien men geen speciale meetvaart wil

organiseren. Dit laatste moet wel uitgesloten worden geacht. Er worden echter pogingen in het werk gesteld om deze metingen als sluitstuk van de overige metingen te kunnen uitvoeren. Zij zouden van onschatbare waarden zijn, omdat zij ons in staat zouden stellen de voortstuwingscomponenten van het schip volledig te analyseren.

Na het gereedkomen van deze verhandeling ontvingen wij bericht van het Belgische Centrum voor Scheepbouwkundige Navorsingen dat men doende was met het uitvoeren van metingen aan een Victory schip, dat daartoe door de Compagnie Maritime Belge ter beschikking was gesteld.

Hoewel de doelstellingen van het Be.Ce.Se.Na. voor het grootste gedeelte verschillend waren van de onze, hebben wij ons met het Studiecentrum in verbinding gesteld om t.z.t. tot het uitwisselen van gegevens en resultaten, of zo mogelijk tot een nog nauwere samenwerking te kunnen komen. Het resultaat van dit overleg kon echter niet meer in deze verhandeling worden opgenomen.

Proeven met een modelboot.

Om een betrouwbare extrapolator van model naar schip te kunnen vinden, willen wij het gebied tussen het getal van Reynolds voor het schip ($\sim 10^9$) en dat van het grootste model ($\sim 10^7$) beleggen met meetpunten verkregen met een grote modelboot van 22 m lengte (schaal 1 : 6) met een getal van Reynolds van ca. 10^8 . Dit getal kan men nog variëren door de proeven bij verschillende watertemperaturen (lente en nazomer) uit te voeren.

De ontworpen plaatstalen modelboot, die door de Rotterdamsche Droogdok Mij. zal worden gebouwd, heeft een waterverplaatsing van ca. 69 ton in beladen toestand. De apparatuur voor de voortstuwingsproeven bestaat uit een 30 pk automobielmotor met Ward-Leonard generator, askoppelmeter, stuwkrachtmeter, snelheidsmeter en de volledige apparatuur voor het doen van stuurproeven. Wij stellen ons voor de proeven uit te voeren in het Noordzeekanaal, dat voldoende diep is om bij de modeldiepgang van 1,4 m beperkt water te vermijden. Het ligt in de bedoeling de betrokken Victory tijdens de meetreis van een nieuw vervaardigde schroef te voorzien en voor de modelboot en de scheepsmodellen schroeven te vervaardigen, die een nauwkeurige copie zijn van de schroef op ware grootte.

De proeven met de modelboot zullen voorafgaan aan die van het schip om de nodige routine op te doen en de werking van de gelijkvormig verkleinde apparatuur voor het meten van de snelheidsverdeling achter het schip uit te proberen. De spanningsmetingen aan de schroef zullen ook bij deze modelboot worden uitgevoerd.

De proeven met de modelboot zullen bij verschillende diepgangen en belastingstoestanden worden uitgevoerd, zodat wij na de meetvaart met het schip tussen de resultaten kunnen interpoleren, daarbij gebruik makend van de regressie-vergelijkingen die wij volgens de methode van Prof. Bonebakker aan de hand van de proeven met de modelboot en de scheepsmodellen kunnen opstellen.

Proeven met scheepsmodellen.

De tijd nodig voor de vervaardiging van de modelboot, de apparatuur en de aan het schip te treffen voorzieningen zal worden benut voor het onderzoek van een 5-tal scheepsmodellen, vervaardigd op een schaal variërend van 50 tot 17. Dit zal dus in de loop van dit jaar gebeuren.

Bij deze scheepsmodellen zullen de voortstuwingscomponenten en de stuureigenschappen nauwkeurig worden geanalyseerd voor verschillende toestanden en diepgangen.

Door vergelijking van de resultaten van modellen, modelboot en schip hopen wij in staat te zijn een positieve bijdrage te leveren tot de oplossing van het vraagstuk betreffende de invloed van het schaaleffect op de voortstuwingscomponenten en de stuureigenschappen van enkelschroefschepen.

4. Spoed. Correctie van schroeven die te weinig of te veel omwentelingen maken.

Met behulp van het proeftocht- en bedrijfsprognose diagram kan men gemakkelijk controleren of de berekende of de in de sleeptank onderzochte schroef voldoet aan het door de voortstuwingsinstallatie opgelegde verband tussen vermogen en aantal omwentelingen. Indien dit niet het geval is, kan men een correctie in spoed aanbrengen, uitgaande van de bekende regel dat 1 % verschil in aantal omwentelingen overeenkomt met 1 à 1,5 % verschil in spoed.

Bij bestaande schroeven kan men de spoed in het algemeen niet corrigeren. Indien de schroeven te weinig omwentelingen maken, kan men echter de diameter met een bedrag

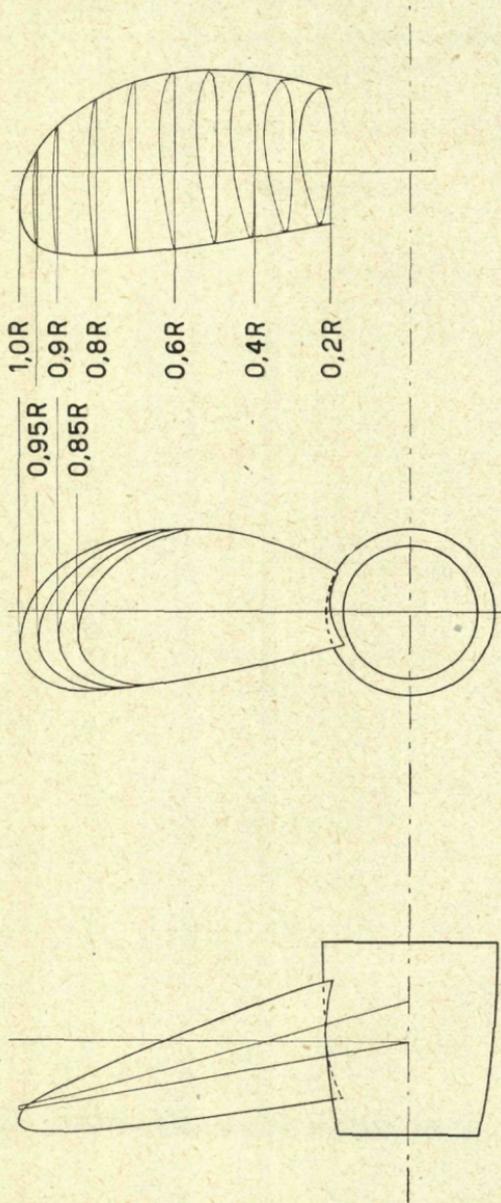


Fig. 3. — Systematische verkleining van de schroefdiameter.

verkleinen dat overeenkomt met de correctie, die men in spoed zou moeten aanbrengen. Deze uitspraak berust op de eigenschappen dat men bij een schroef de diameter en de spoed binnen bepaalde grenzen kan veranderen, zonder dat het aantal omwentelingen verandert, indien men maar zorgt dat de som van spoed + diameter constant blijft. Bij grotere bladoppervlakverhoudingen zijn deze grenzen groter (10 %) dan bij de keinere (5 %).

Strikt genomen geldt deze regel alleen indien men de schroef geometrisch gelijkvormig verandert, dus o.a. de bladoppervlakverhouding ongewijzigd laat. In de practijk stuit dit echter op bezwaren. Afgezien van het feit dat het bladoppervlak in verband met het cavitatiegevaar te klein zou worden, is het geometrisch verkleinen van het bladoppervlak een tijdrovend en kostbaar werk. Men zal in het algemeen volstaan met het afnemen van een stuk van de bladtop tot de verlangde diameter is bereikt en de contour van het gewijzigde blad goed laten instroken in die van het bestaande blad.

Om de invloed van het niet-geometrisch verkleinen van het blad te kunnen analyseren werd een schroefmodel van een dubbelschroef vracht- en passagiersschip systematisch verkleind op de wijze zoals dit in de practijk geschiedt, d.w.z. in de practijk zal zeker niet méér worden afgenomen.

In tabel 1 vindt men de gegevens van schroef en machine, nodig voor de analyse. De schroef maakte bij een vol vermogen van 3840 pk per machine aan de schroef juist 120 omw/min bij de dienstsnelheid.

Tabel 1. — *Gegevens van de schroef en de machine van een 16-mijls D.S. vracht- en passagiersschip.*

Vermogen 2×4000 pk a. d. machine.

Aswrijvingsverliezen : 4 %.

Dienstsnelheid : 16 kn

Volgstroomgetal : $\psi = 0,20$

Aantal omwentelingen bij de dienstsnelheid : 120/min

Diameter $D = 4450$ mm

Spoed (const.) $H = 4450$ mm

Bladopp. verh. $F_a/F = 0,406$

Bladdikteverh. $s_i/D = 0,0534$

Aantal bladen $z = 4$

Type B.4.40, doch met constante spoed

Na elke verkleining van de schroef werd een vrijvarende

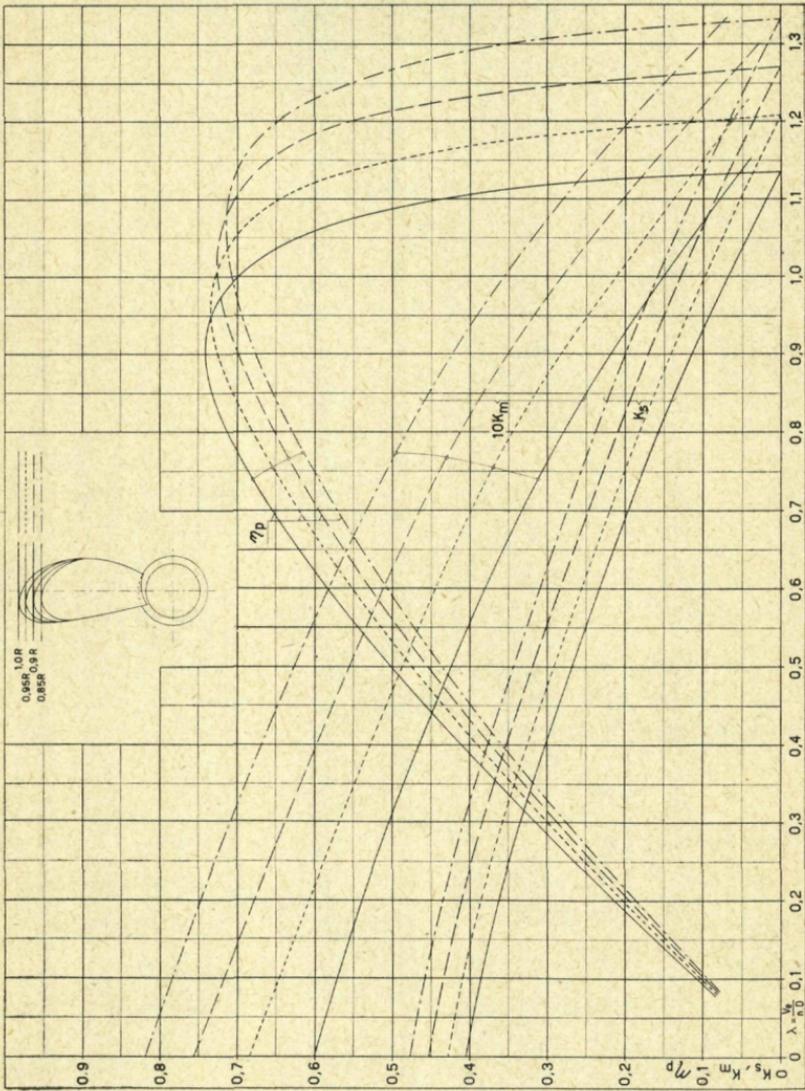


Fig. 4. — Resultaten van de vrijzwaaiende schroefproeven met het systematisch verkleinde schroefmodel.

schroefproef uitgevoerd. De resultaten van deze proeven worden in fig. 4 gegeven.

De invloed van het niet-geometrisch verkleinen van de schroef werd bepaald door 2 series berekeningen uit te voeren en deze onderling te vergelijken.

De eerste serie bestond in het bepalen van het aantal omwentelingen en het rendement voor geometrisch verkleinde schroeven bij het volle vermogen van 3840 pk aan de schroef en de constant gehouden dienstnelheid van 16 kn. Dit geschiedde aan de hand van het systematisch seriediagram B.4.40 door toepassing van een iteratie methode. De diameter, de spoed, de intreesnelheid en het vermogen zijn gegeven en het aantal omwentelingen en het rendement worden gevraagd. De resultaten zijn weergegeven in tabel 2. Opgemerkt moet worden dat de constante spoed, met het oog op het gebruik van het B.4.40 diagram, werd herleid tot een variabele spoed met 20 % reductie aan de naaf. Daartoe werd de spoed aan de omtrekt met 1,5 % vergroot, dus $H_0 = 4620$ mm.

Tabel 2. — Resultaten van de geometrisch verkleinde schroeven.

Diameter D in mm.	Reductie van D in %	Spoed H ₀ constant in mm.	H ₀ /D	N min.	γ_p	(1) Toename van N' min. in %	(2) Reductie van D in % van H ₀	(2)-(1)
4 450	—	4 620	1,038	120	0,694	—	—	—
4 227,5	5	4 620	1,093	125,2	0,682	4,33	4,82	1,10
4 005	10	4 620	1,154	131	0,667	9,17	9,64	1,05
3 782,5	15	4 620	1,222	138	0,650	15	14,46	0,96
3 782,5	15	4 620	1,222	137	0,643	14,15	14,46	1,02

Bij de analyse werd de snelheid constant gehouden. Dit is niet juist. Uit de tabel blijkt namelijk dat het rendement met het reduceren van de diameter niet onbelangrijk daalt. Ter controle werd voor de grootste reductie van diameter de daling in γ_p en de hiermede corresponderende reductie in snelheid in rekening gebracht. De resultaten (onderste regel van tabel 2) wijken echter weinig af van die, berekend met constante snelheid. De berekening werd dan ook voor de andere diameters niet herhaald, temeer daar het hier slechts om vergelijkende waarden gaat.

De tweede serie berekeningen werd gemaakt aan de hand

van de in fig. 4 gegeven vrijvarende schroefkrommen. Wederom uitgaande van de toestand voor de oorspronkelijke schroef met 3840 pk aan de schroef bij 120 omw./min en een snelheid van 16 kn werd, eveneens met behulp van een iteratieproces, voor elke schroef het aantal omwentelingen en het rendement bepaald bij het genoemde vermogen en de genoemde snelheid. De resultaten vindt men in tabel 3 en fig. 4.

Tabel 3. — Resultaten van de niet-geometrisch verkleinde schroeven.

Diameter D in mm.	Reductie van D in %	Spoed H constant in mm.	H ₀ D	N min.	γ_p	(1) Toename van N min. in %	(2) Reductie van D in % van H ₀	(2)-(1)
4 450	—	4 620	1,038	120	0,680	—	—	—
4 227,5	5	4 620	1,093	123,5	0,655	2,92	4,82	1,65
4 005	10	4 620	1,154	128,5	0,634	7,08	9,64	1,36
3 782,5	15	4 620	1,222	135	0,616	12,50	14,46	1,16

Bij vergelijking van de tabellen 2 en 3 komt men met betrekking tot de niet geometrisch verkleinde schroeven tot de volgende conclusies :

1. Bij het verkleinen van de diameter stijgt het aantal omwentelingen met een bedrag dat slechts ongeveer 3/4 is van dat van de geometrisch verkleinde schroeven. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat de virtuele spoed relatief groter wordt.
2. Het rendement daalt sterker dan bij geometrische verkleining. De daling is ongeveer 2 × zo groot. De oorzaken hiervan zijn de grotere bladdikte aan de top en het grotere bladoppervlak.
3. Het rendement van de schroef met grootste diameter in tabel 3 is kleiner dan dat van de overeenkomstige serieschroef in tabel 2 (0,68 t.o.v. 0,694). Dit moet worden toegeschreven aan de grotere bladdikteverhouding (0,0534 t.o.v. 0,045). Het aantal omwentelingen is echter hetzelfde bij gelijke omstandigheden.

Samenvattend kan men dus zeggen, dat indien men de diameter van een bestaande schroef moet verkleinen, omdat de schroef te weinig omwentelingen maakt, men een stuk moet wegnemen dat $4/3 \times$ zo groot is als het stuk dat men volgens

berekening met de systematische seriediagrammen zou moeten wegnemen.

Lastiger, om niet te zeggen onuitvoerbaar, is de opgave het aantal omwentelingen van een bestaande schroef te verminderen. Dit kan in principe alleen geschieden door de virtuele spoed te vergroten en wel door uithollen van de bladen aan de drukzijde. Een bezwaar hiervan is dat men de doorsneden verzwakt. Het kan dus alleen bij voldoende dikke schroeven gebeuren.

Wij hebben dit gedaan bij een schroef van een enkelschroef vrachtschip met afmetingen volgens tabel 4.

Tabel 4. — *Gegevens van de schroef en de machine van een 12,5 mijls E. S. vrachtschip.*

Vermogen	3200 pk a.d. machine
Aswrijvingsverliezen	3 %
Dienstsnelheid	12,5 kn.
Volgstroomgetal	0,32
Aantal omw. bij de dienstsnelheid	120/min
Diameter	$D = 4570$ mm
Spoed (const.)	$H = 3445$ mm
Bladopp. verh. F_a/F	$= 0,456$
Bladdikteverh. s_i/D	$= 0,0504$
Aantal bladen	$z = 4$

Type B.4.40, doch met constante spoed.

De uitholling bedroeg 2,4 % van de bladelementlengte op 0,8 R, overeenkomende met 40 % van de grootste dikte van de bladdoorsneden ter plaatse en verminderde geleidelijk tot nul aan de bladtop en op de doorsnede op 0,4 R.

Door het bekende iteratieproces kon het aantal omwentelingen van de schroef met uitgeholde bladen weer worden bepaald bij hetzelfde vermogen en dezelfde snelheid als van de oorspronkelijke schroef. Hierbij werd gebruik gemaakt van de vrijvarende schroefdiagrammen van de oorspronkelijke en van de gewijzigde schroef, die hier ter besparing van ruimte worden weggelaten.

Het resultaat was enigszins teleurstellend aangezien met deze uitholling slechts een vermindering van het aantal omwentelingen van 0,6 % kon worden verkregen. Het rendement bleef vrijwel ongewijzigd.

Alvorens definitieve conclusies te trekken werden nogmaals twee schroeven vervaardigd met holle bladen, afgeleid uit de

standaardschroef van de serie B.4.40 met $H_0/D = 0,80$ (fig. 5). De uithollingen waren maximaal op $0,9 R$ en bedroegen $0,25$ resp. $0,50$ van de bladdikte ter plaatse. Laatstge-

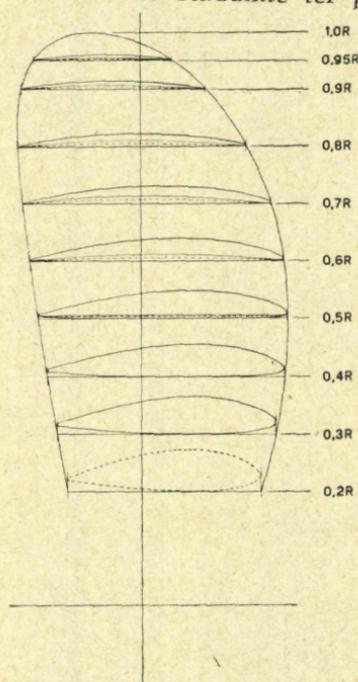


Fig. 5. — Standaardserieschroef B.4.40; $H_0/D = 0,8$; met uitgeholde bladen.

noemde uitholling zal, met het oog op de sterkte, in de praktijk wel nimmer kunnen worden toegepast. Het onderzoek van deze schroef heeft dus slechts academische waarde. De resultaten vindt men in fig. 6.

Uitgaande van een constant vermogen, een constante snelheid en een bepaald aantal omwentelingen van de oorspronkelijke schroef, dus van een bepaalde Λ en bijbehorende K_m ($APK = c.M.n.$; $M = K_m \cdot \rho \cdot D^5 \cdot n^2$; $n = ve/\Lambda D$, dus $APK = c.K_m \cdot \rho \cdot D^5 \cdot ve^3/\Lambda^3 \cdot D^3 = c_1 \cdot K_m/\Lambda^3$, dus $K_m/\Lambda^3 =$ constant) vindt men door itereren het aantal omwentelingen van de schroeven met uitgeholde bladen. Bij een $\Lambda = 0,50$ blijkt de daling in N voor de schroef met een maximale uitholling van 25% ca. $1,2\%$ te bedragen en voor de uitholling

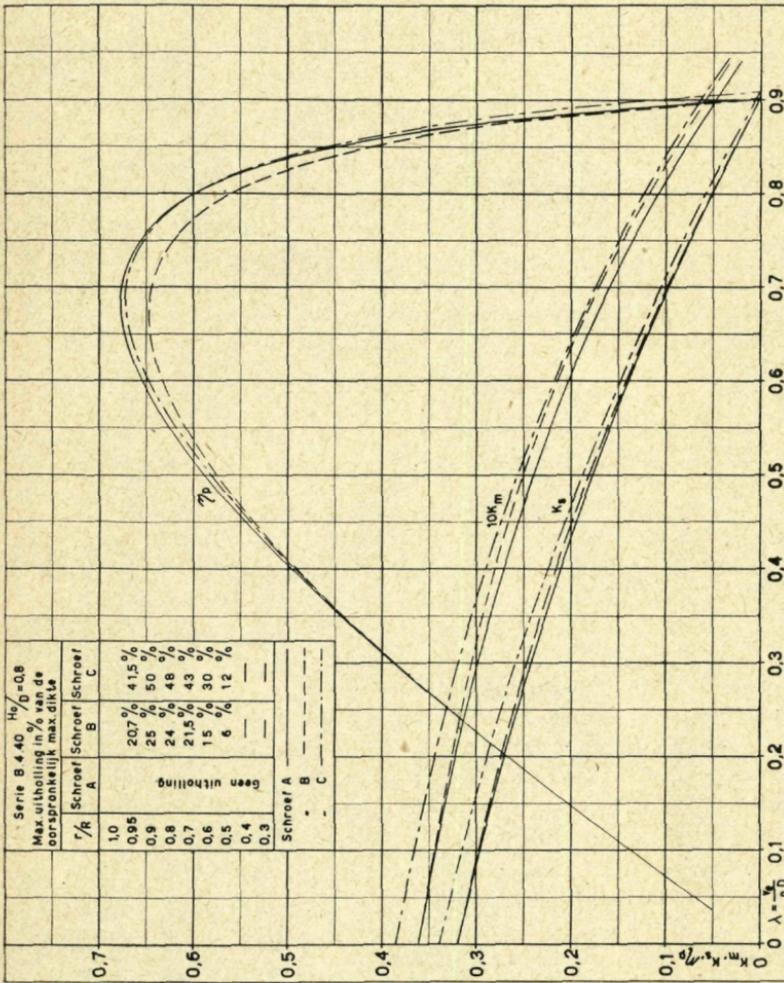


Fig. 6. — Resultaten van de schroeven met uitgeholde bladen.

van 50 % ca. 1,8 %. De rendementen bedroegen 0,58 en 0,588; van de oorspronkelijke schroef is $\tau_p = 0,589$. De daling η_p is dus niet groot.

De daling in N is groter dan van de hiervoor behandelde schroef, hetgeen moet worden toegeschreven aan het feit dat bij eerstgenoemde schroef de uitholling zich slechts over een gedeelte van de bladelementlengte uitstrekte.

Indien wij afzien van de schroef, waarbij de bladdikte met 50 % werd gereduceerd, moeten wij constateren dat met de beschreven verandering van de vorm van de bladdoorsneden slechts een kleine correctie van het aantal omwentelingen mogelijk is. Vermoedelijk vormt deze verandering geen praktische oplossing, temeer daar aan het uithollen van de bladen, gesteld dat de sterkte van de bladen het toelaat, grote kosten verbonden zijn.

5. Invloed van beschadiging van schroeven op rendement en aantal omwentelingen.

In de praktijk wordt de vraag wel eens gesteld wat er met het rendement en het aantal omwentelingen van de schroef gebeurt, indien een gedeelte van een schroefblad of zelfs een geheel schroefblad afbreekt. Om deze vraag te kunnen beantwoorden, hebben wij de tegenover elkaar liggende bladen van een van de 4-bladige schroefmodellen van het in tabel 1 genoemde schip systematisch verkleind en het schroefmodel achtereenvolgens in de verschillende toestanden onderzocht. Wij hebben hierbij aangenomen, dat men bij breuk van een blad bij een 4-bladige schroef het tegenoverliggende blad evenveel zal inkorten met het oog op het balanceren van de schroef. Bij een 3-bladige schroef is dit niet mogelijk.

De bladen zijn, met het oog op de meestal optredende vlakke breuk betrekkelijk vlak afgesneden met afgeronde hoeken aan de in- en uittredende kant. De doorsneden zijn goed afgerond (zie fig. 7). De breuken werden aangebracht op 0,9, 0,7, 0,5 en 0,3 R.

De resultaten van de vrijvarende schroefproeven zijn in fig. 8 gegeven. De analyse van de resultaten werd weer op dezelfde wijze uitgevoerd als bij de sub. 4 beschreven proeven. Bepaald werden dus het aantal omwentelingen en het rendement bij constant vermogen (4000 pk aan de machine), constante dienstsnelheid (16 kn.), uitgaande van 120 omw./min

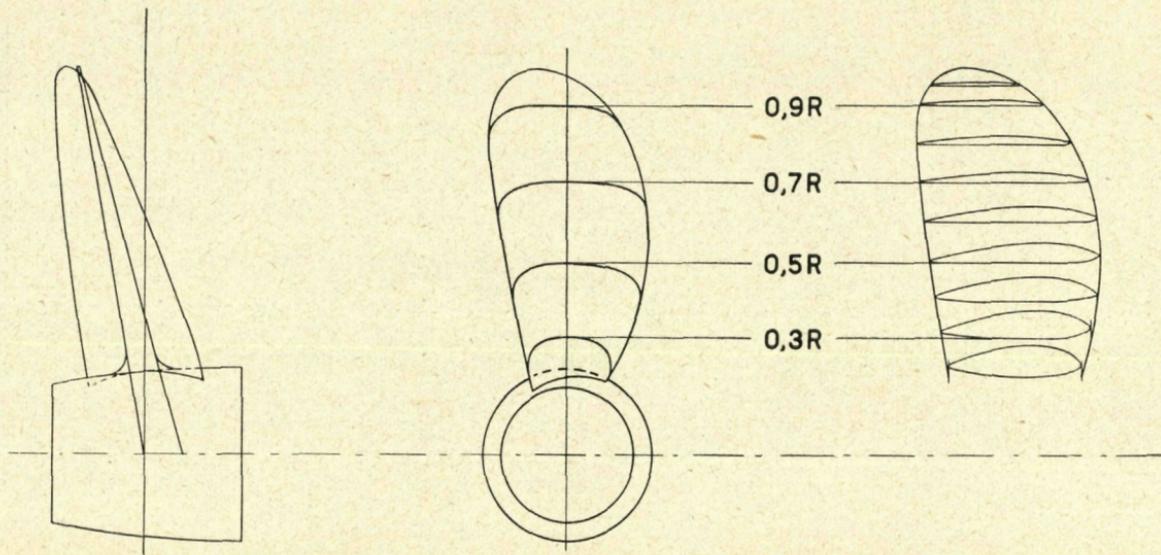


Fig. 7. — Systematische nabootsing van bladbreuk bij een 4-bladige serieschroef.

voor de oorspronkelijke, onbeschadigde schroef. Het resultaat van deze analyse vindt men in tabel 5.

Tabel 5. — *Resultaten van de proeven met de systematisch beschadigde schroeven.*

Reductie van de diameter ter plaatse van de beschadiging in %	N/min	γ_p	Toename van N in %	Daling van γ_p in %
—	120	0,69	—	—
10	121,2	0,654	1,0	5,2
30	126,4	0,608	5,3	11,9
50	132,1	0,646	10,1	6,4
70	133	0,658	10,8	4,6

De resultaten zijn verrassend. Het blijkt namelijk dat het rendement tot de breuk op 0,7 R afneemt, doch daarna weer toeneemt. Het gevolg is dat het rendement van een 4-bladige schroef, waarvan 2 volledige bladen zijn afgebroken, vrijwel hetzelfde is als van een 4-bladige schroef, waarvan bij 2 bladen een stuk van de bladtop ontbreekt dat overeenkomt met 10 % van de diameter. Doch er is natuurlijk wel een groot verschil in aantal omwentelingen. Eerstgenoemde schroef maakt bij het volle vermogen ongeveer 10 % meer omwentelingen dan laatstgenoemde schroef. In praktijk zal deze verhoging van het aantal omwentelingen in de regel niet toelaatbaar zijn. Men zal dus met verminderd vermogen moeten varen. Het rendement is echter goed.

Dit resultaat is zeer wel verklaarbaar. Indien men stukken van de twee bladtoppen wegneemt, dan treden de volgende invloeden op :

1. De belasting van de schroef (slip) wordt groter, waardoor het rendement daalt.
2. De toppen van de twee bladen worden dikker. Ook hierdoor daalt het rendement.
3. De circulatieverdeling wordt ongunstiger, hetgeen het rendement eveneens doet dalen.
4. De bladoppervlakverhouding wordt kleiner. Dit heeft een vergroting van het rendement ten gevolge.
5. Het aantal bladen wordt minder. Een 2-bladige schroef heeft onder dezelfde omstandigheden een belangrijk beter rendement dan een overeenkomstige 4-bladige schroef.

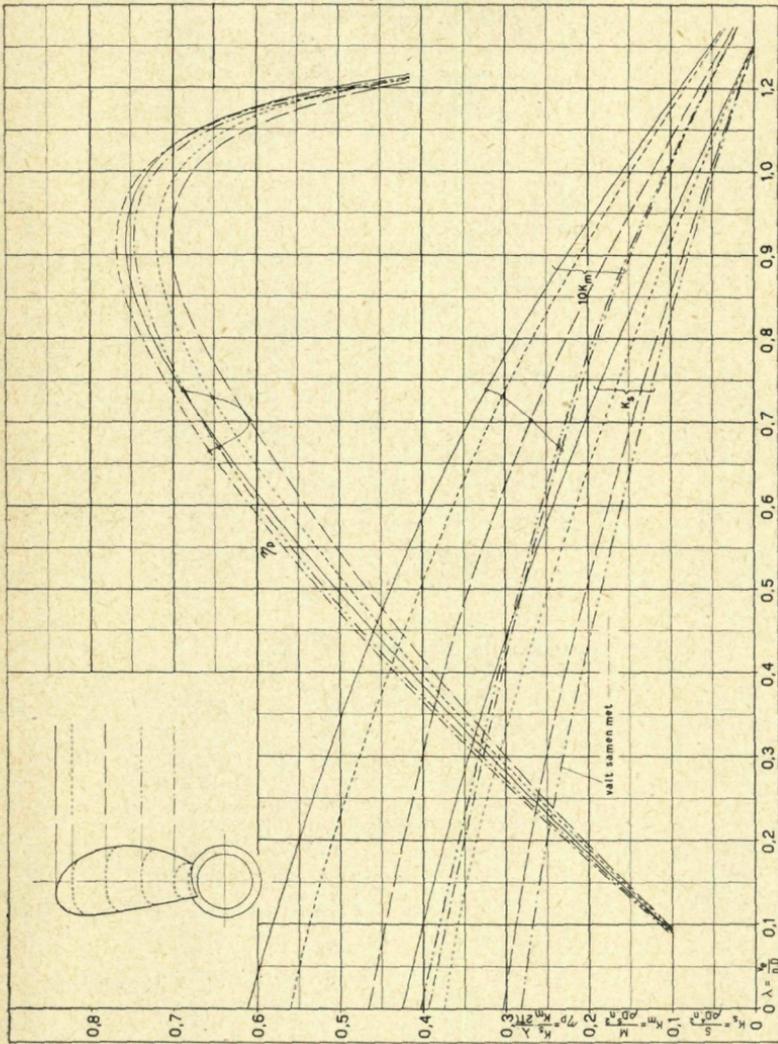


Fig. 8. — Resultaten van de vrijzarende schroefproeven met het systematisch beschadigde schroefmodel.

Van het samenspel van deze invloeden zal nu uiteindelijk afhangen in hoeverre het rendement zal dalen. Indien men betrekkelijk kleine stukken van 2 bladen wegneemt in het meest werkzame gedeelte van de schroef, blijven gedeelten over met relatief laag rendement als gevolg van de ongunstige karakteristiek van de bladelementen enerzijds en de dikke bladtoppen anderzijds. In dit geval zullen de onder 1, 2 en 3 genoemde invloeden het rendement van de schroef voornamelijk doen dalen.

Indien men grotere stukken of beide bladen vrijwel geheel wegneemt, zal onder 1 genoemde invloed ten volle blijven gelden, invloed 2 wordt van minder belang, evenals 3, die uiteindelijk geheel wegvalt. De invloeden 4 en 5, die de daling in η_p gedeeltelijk compenseren gaan in dit geval echter meer spreken, als gevolg waarvan de daling relatief kleiner wordt. Bij het wegnemen van 2 volledige bladen blijft het rendement, ten gevolge van de hogere belasting en de nog resterend wortelstukken van de bladen, lager dan dat van de oorspronkelijke 4-bladige schroef.

Gaarne breng ik te dezer plaatse een woord van dank aan mijn medewerker T. Sipma voor het uitwerken van de besproken sleepproef-resultaten en het maken van de tekeningen.

Contribution by Mr. R. S. CUTLAND.

The first part of this paper is of great interest to experimenters and shipbuilders in that it claims to give a corrected method of predicting ship screw revolutions from model experiments.

It is a pity that the author does not say how he arrived at the figures of 2.2 per cent for single screw ships and 1.5 per cent for twin screw ships as the correction factors for wake differences between model and ship.

If they merely represent the differences between the predicted ship screw revolutions and those obtained on measured mile trials it is unfair to describe them as correction factors for the wake differences because they also include the scale effect between model and ship screws, as well as a possible error in the assumed loading of the ship screw due to our present uncertainty in assessing the skin friction line for fully turbulent smooth surfaces.

The roughness of the ship hull and screw will also have an effect on screw revolutions.

In fact, the true wake correction factor can never be represented by a fixed value, but must vary from ship to ship depending as it does upon :

1. The scale of the model (because the ship wake is smaller than the model wake).

ship screw diameter

2. The ratio $\frac{\text{ship screw diameter}}{\text{ship length}}$ (the bigger this ratio,

the greater the average speed of the water in which the screw works).

3. The actual ship length (for similar ships the longer the ship, the smaller the wake).

4. Whether the ship is single, or twin, screw. (The propellers on a twin screw ship work in relatively faster water than the propeller for a similar single screw ship).

I would suggest that the author's difficulty in finding a relation between the magnitude of the correction factor and the model scale is due to the fact that the various values of 2 and 3 of the foregoing paragraph found in practice have masked this relationship.

At Teddington an attempt is being made to work out a method of predicting ship screw revolutions and ship SHP from model self-propulsion experiments which allows for all the above variables.

Results obtained from the 50 ft. plank described at this meeting, and from earlier experiments, are used.

Unfortunately, although the thickness of the boundary layer and the velocity distribution within that boundary layer and the velocity distribution within that boundary layer are ascertainable to a reasonable order of accuracy for model lengths, more experiments are necessary before the same certainty can be applied to ship lengths.