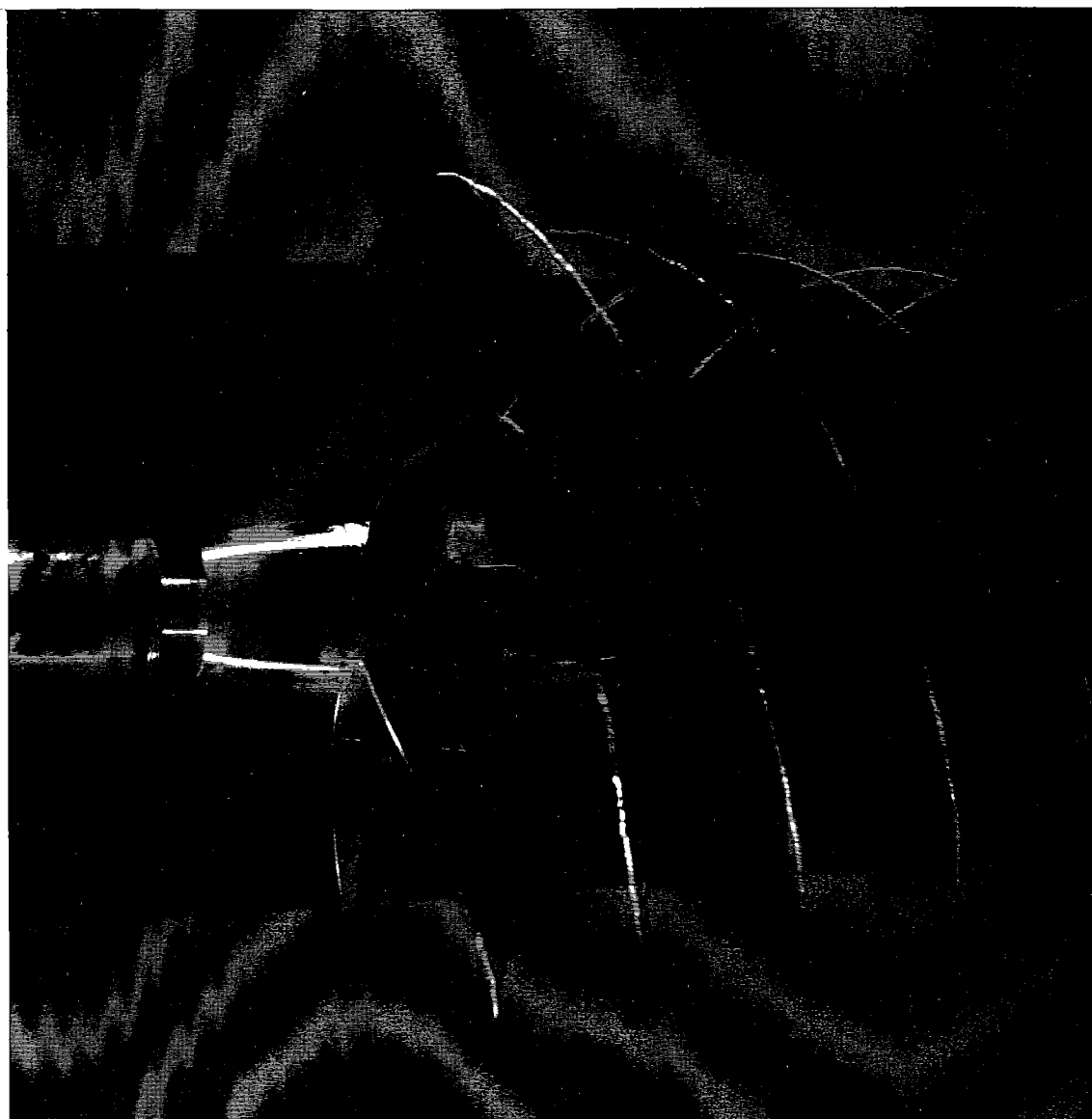


STYRELSEN FÖR
VINTERSJÖFARTSFORSKNING

Sjöfartsverket
Sverige

Sjöfartsstyrelsen
Finland

Forskningsrapport nr 4



PROPELLERPROBLEM

**Propellerverkningsgradens beroende
av bladutformningen**

STYRELSEN FÖR
VINTERSJÖFARTSFORSKNING

Sjöfartsverket
Sverige

Sjöfartsstyrelsen
Finland

Forskningsrapport nr 4

PROPELLERPROBLEM

**Propellerverkningsgradens beroende
av bladutformningen**

STATENS SKEPPSPROVNINGSANSTALT

(THE SWEDISH STATE SHIPBUILDING EXPERIMENTAL TANK)

GÖTEBORG 24

PROPELLERPROBLEM

Propellerverkningsgradens beroende av bladutformningen



GÖTEBORG 1973

HANS PEDER LOID

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Förord	1
Sammanfattning	3
1. Inledning	4
2. Analys av haveristatistik	5
2.1 Statistiskt underlag	5
2.2 Diskussion av statistikunderlag	5
2.3 Resultat av analysen av haveristatistiken	5
3. Propellerverkningsgradens beroende av bladutformningen, Teoretisk studie ..	11
3.1 Bladutformningen	11
3.2 Propellerverkningsgradens beroende av bladtjockleken	11
3.2.1 Zimmermann /1/	11
3.2.2 SSPA	12
3.3 Hållfasthetskrav för gång i is	18
3.4 Diskussion av resultaten	19
4. Propellerverkningsgradens beroende av bladtjockleken. Experimentell studie .	23
4.1 Försöksanordning och försök	23
4.2 Propellermodeller	23
4.3 Resultat	23
4.4 Diskussion av resultaten	23
5. Sammanfattning och diskussion om inriktning av framtida studier	43
6. Referenser	45
7. Beteckningar	47

Förord

Styrelsen för Vintersjöfartsforskning presenterar rapport nr 4. Den har rubriken PROPELLERPROBLEM med underrubriken Propellerverkningsgradens beroende av bladutformningen. Forskningsuppgiften har utförts på Statens Skeppsprovvningsanstalt i Göteborg av civ.ing. Hans Peder Loid under ledning av överingenjör Hans Lindgren.

Styrelsen för Vintersjöfartsforskning uttrycker uppskattning för det arbete Skeppsprovvningsanstalten nedlagt på rapportens färdigställande samt framför sitt tack till forskarna.

Stockholm och Helsingfors i oktober 1973

Erik Severin

Helge Jääsalo

Sammanfattning

Inom ramen för forskningsprogrammet för vintersjöfart har sjöfartsverket uppdragit åt Statens Skeppsprovvningsanstalt (SSPA) att studera hur propellerverkningsgraden påverkas av bladens hållfasthet. Arbetet indelas i tre etapper:

- ☐ Analys av haveristatistik
- ☐ Teoretisk studie av problemställningen
- ☐ Experimentell kontroll av den teoretiska studien

Dessa etapper har nu avverkats och denna rapport redovisar resultaten.

Genomgången av haveristatistiken visar att denna inte är lämplig som underlag för analys av tekniska problemställningar. Försäkringsbolagens arkiverade uppgifter om haverier är i huvudsak av ekonomisk natur.

Propellerbladens hållfasthet beror i huvudsak av tre egenskaper: Bladlängden, bladtjockleken och framkantsradien. Av dessa har endast bladtjockleken ansetts vara intressant att studera, varför problemställningen kan omformuleras: Hur beror propellerverkningsgraden av bladtjockleken? Den teoretiska studien visar att för höga kavitationstal medför ökad bladtjocklek liten minskning i propellerverkningsgraden. Risken för kavitation ökar emellertid med ökad bladtjocklek.

Kraft- och momentmätningar utfördes på tre modellpropellrar med varierande bladtjocklek i kavitationstunnel. Resultaten från dessa mätningar verifierade den teoretiska studien. Vid låga kavitationstal erhöles kraftnedsättande kavitation (och därmed lägre verkningsgrad) tidigare för propellrar med större bladtjocklek.

Frågan om ökad bladtjocklek kan accepteras ur verkningsgradssynpunkt beror således på inom vilket belastningsområde propellern skall arbeta.

För exempelvis moderna containerfartyg, vilka i allmänhet har lätt belastade propellrar, kan inte ökad bladtjocklek accepteras. Tankfartygspropellrar är däremot oftast tungt belastade och här skulle en ökad bladtjocklek ur verkningsgradssynpunkt kunna accepteras.

1. Inledning

Stora fördelar kan uppnås om svenska och finska farvatten kan trafikeras hela året med ekonomisk fart. Sjöfartsverket har därför i samarbete med sjöfartsstyrelsen i Finland startat forskningsverksamhet kring vintersjöfarten. I ett programutkast från sjöfartsverket 1972-04-04 kan läsas:

"Målsättningen för forskning i vintersjöfart är att klarlägga de faktorer som inverkar på möjligheterna att bedriva vintersjöfart".

Skeppsprovsningsanstalten har av sjöfartsverket fått i uppdrag att utreda propellerproblem i samband med vintersjöfart. Problemställningen har sålunda formulerats: Hur beror verkningsgraden av bladutformningen och hur stor skall bladhållfastheten vara utan att propellerverkningsgraden radikalt försämras?

Arbetet har uppdelats i tre etapper:

Inledande analys av propellerskador baserad på tillgänglig, av sjöfartsverket erhållen statistik.

Teoretisk beräkning av propellrar med olika hållfasthetskrav. Undersökning av verkningsgraden beroende av bladutformningen.

Experimentell verifikation av beräkningarna genom prov med två propellermodeller över stort belastningsområde.

Den följande kapitelindelningen hänför sig till ovan nämnda etapper.

2. Analys av haveristatistik

2.1 STATISTISKT UNDERLAG

Haveristatistik från åren 1962–71 har erhållits från följande försäkringsbolag via sjöfartsverket: Hansa, Skandia, Sirius och Atlantica. Underlaget omfattar totalt 546 skador, varav 217 har rapporterats som propellerskador. Följande uppgifter har erhållits om varje skada:

Kostnad, tidpunkt, fartyg, dödviktstonnage och isklass samt typ av skada. Vidare har 40 st skador slumpvis utvalts och arkiverat underlag har studerats direkt hos försäkringsbolagen.

2.2 DISKUSSION AV STATISTIKUNDERLAG

Följande kritik kan riktas mot den haveristatistik som erhållits:

- ☐ Statistiken omfattar ej uppgifter från alla försäkringsbolag.
- ☐ Då några försäkringsbolag tillämpar en hög "alltid avdragbar franchise" kommer knappast några skador från dessa bolags försäkringstagare att förekomma i statistiken.
- ☐ Som propellerskador rubriceras även skador, som endast har berört axlar, cederwallsboxar, KaMeWa-mekanismer etc. (Den aktuella studien berör endast propellerbladen).
- ☐ I flera fall har isklass icke kunnat anges.
- ☐ Svårigheten att bedöma huruvida en propellerskada är en isskada accentueras av förhållandet att vid isskador betalar försäkringen endast 75 % av skadan.
- ☐ Ingen systematisk beskrivning av propellerskadornas läge och omfattning finnes i arkivmaterialet på försäkringsbolagen. I ett fåtal fall kan fotografier redovisas.

2.3 RESULTAT AV ANALYSEN AV HAVERISTATISTIKEN

Fig. 1 visar fördelningen av de isskadade fartygen på dödviktstonnage. Fördelningen av dödviktstonnaget där propellerskador förekommer och fördelningen av övriga isskador återfinns i fig. 2. Någon signifikant skillnad synes inte föreligga mellan fördelningen av fartyg med och utan propellerskador.

Fördelningen av skadorna under tiden 1962–1971 framgår av diagram i fig. 3. I samma diagram finns inlagt medeltemperaturen under januari–mars i Stockholm, Härnösand och Haparanda som ett mått på hur svår vintern har varit. Ett klart samband föreligger (naturligtvis) mellan antalet isskador och medeltemperaturen. Låg medeltemperatur ger högre antal skador.

Propellerskadornas andel av det totala antalet skador synes ha varit lägre under den senare hälften av perioden 1962–71, se fig. 4.

Av totala antalet skadade fartyg är 7,3 % att hänföra till isklass 1 och 2 (A resp B). Av antalet fartyg med propellerskador är 6,0 % att hänföra till isklass 1 och 2. Skillnaden i relativ frekvens för totala antalet skadade fartyg i isklass 1 och 2 och fartyg med propellerskador i isklass 1 och 2 är icke signifikant (ca 75 % konfidensgrad).

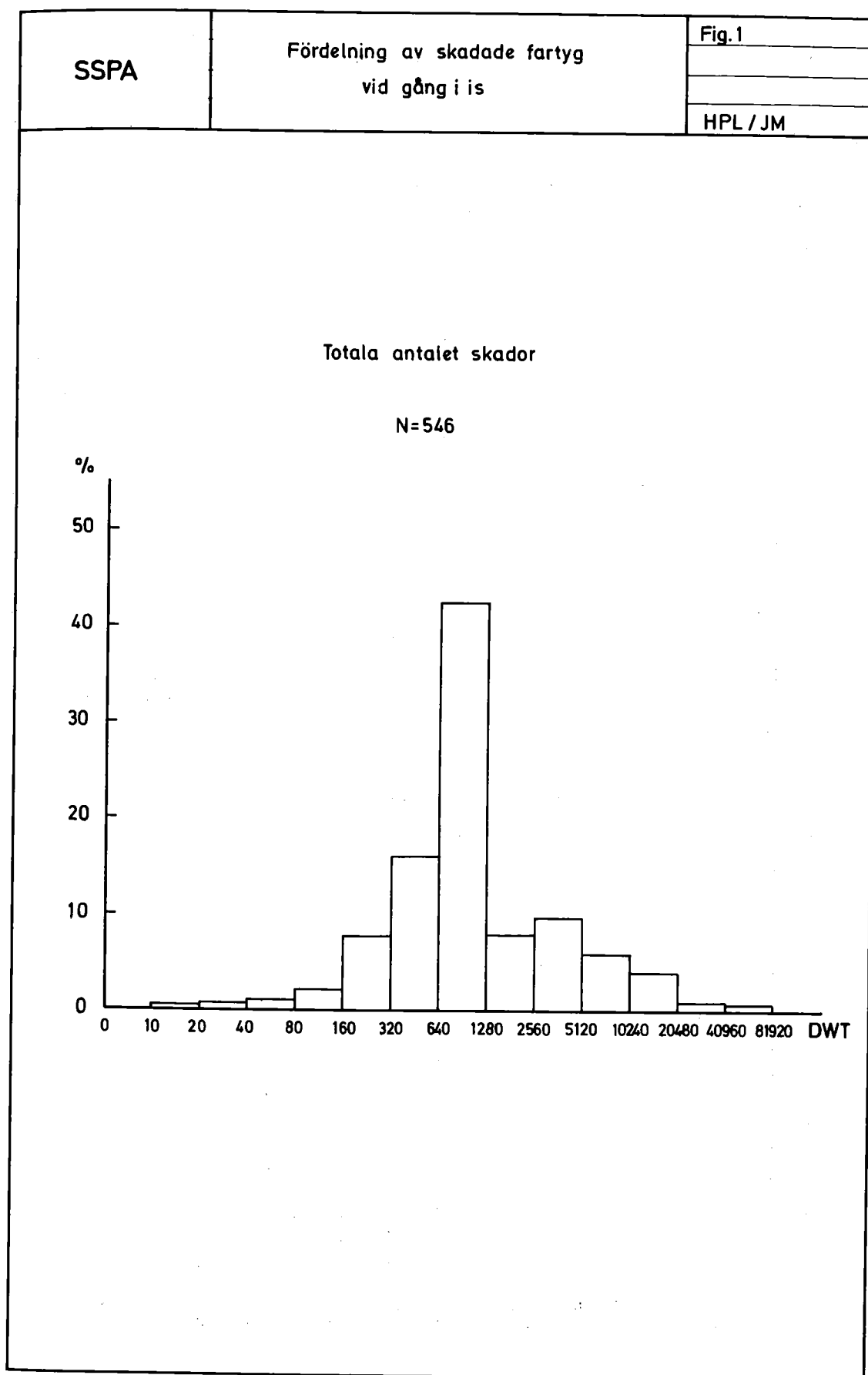
Vad beträffar en analys av rent tekniska problem är underlaget inte av den karaktären att det går att genomföra. Försäkringsbolagens arkivering inriktar sig i huvudsak på de ekonomiska problemställningarna. Endast i mycket få undantagsfall finns en godtagbar teknisk beskrivning av propellerskadan.

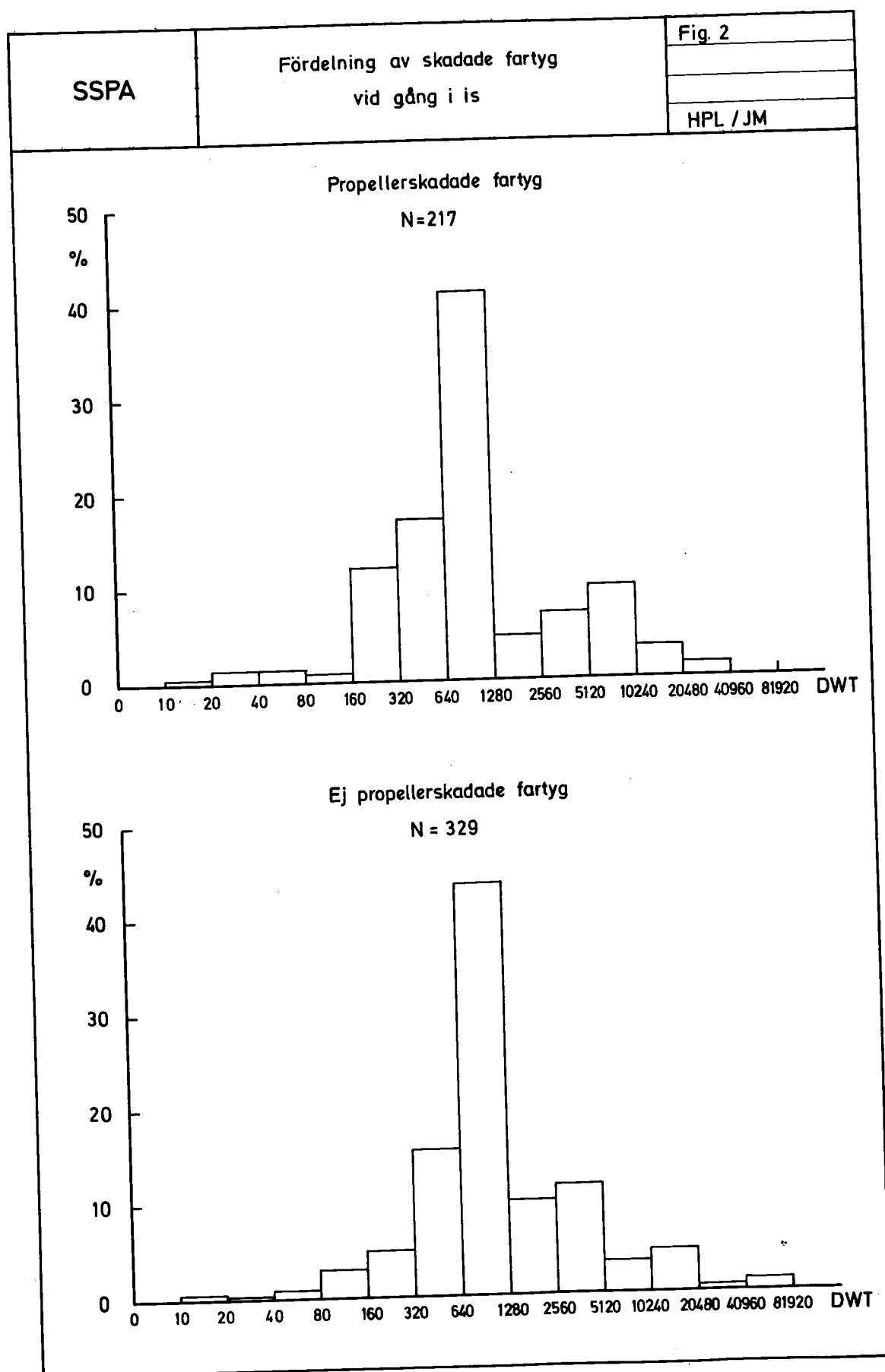
Följande iakttagelser och reflexioner kan emellertid redovisas.

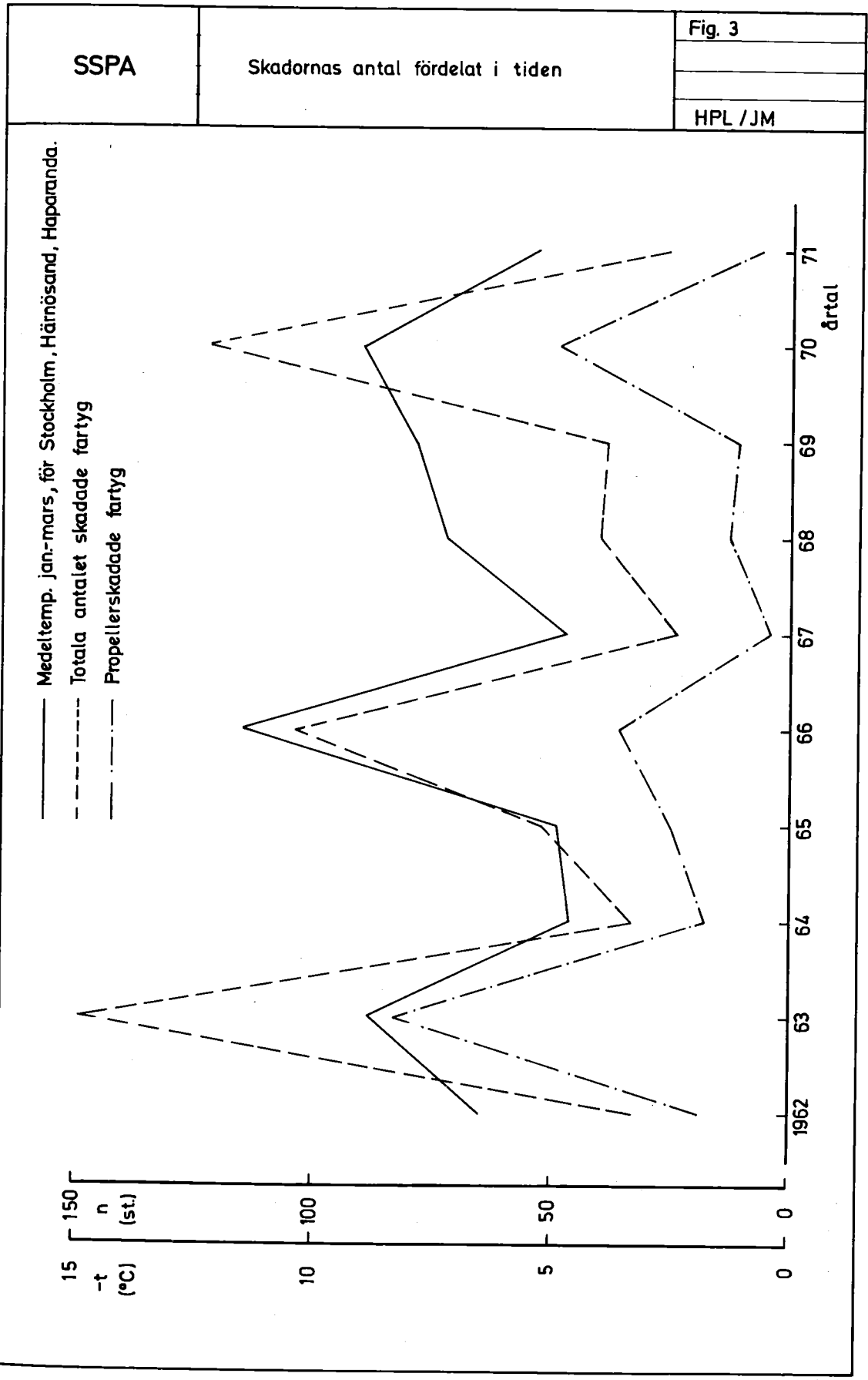
I första hand uppträder skadorna på bladspetsar och framkanter. Vid "större" skador är hela bladet böjt.

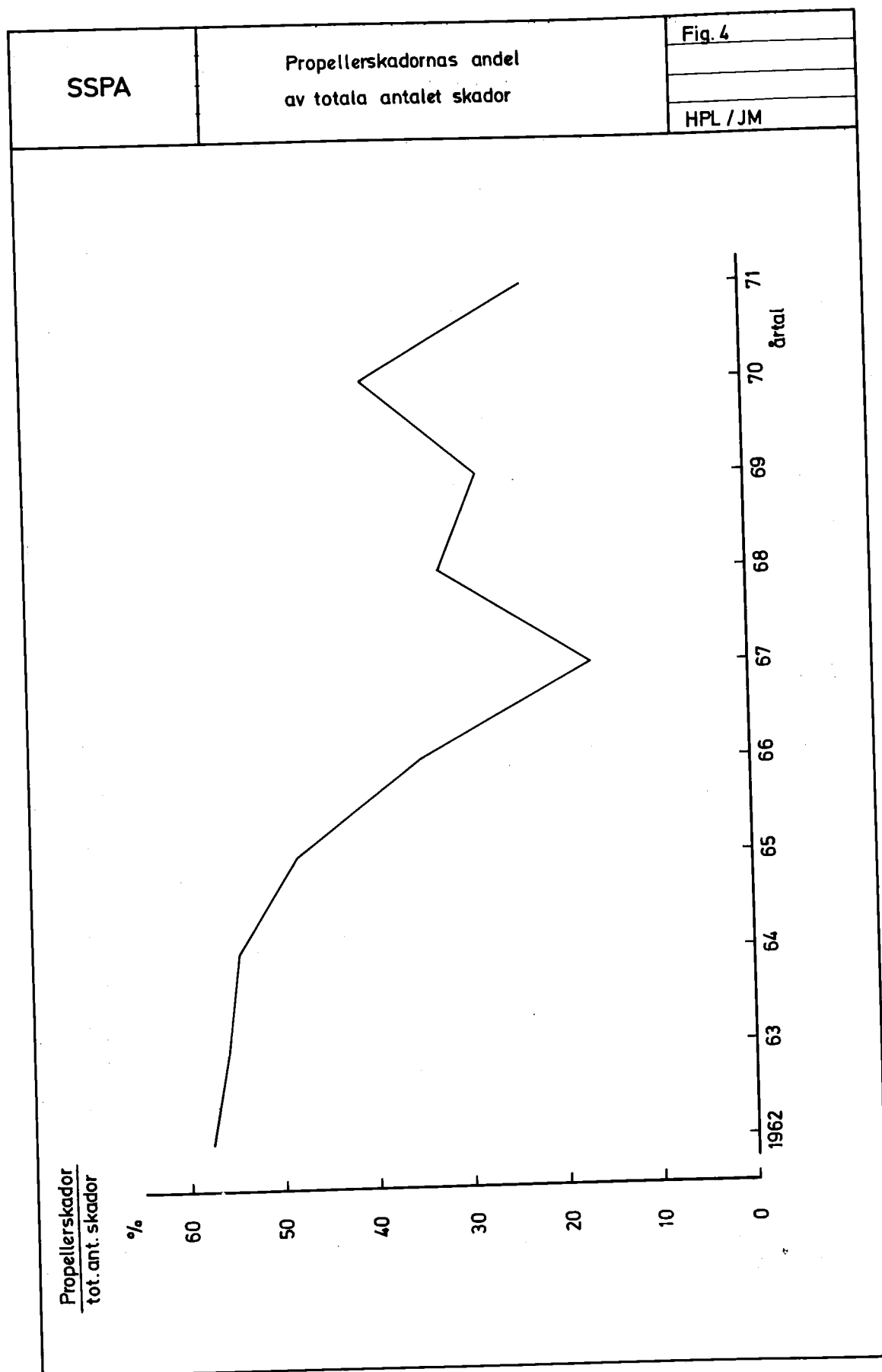
På ett försäkringsbolag framhölls att propellrar av rostfritt stål i mindre utsträckning drabbas av skador än bronspropellrar. Detta skulle kunna bero på stålets större seghet.

Väljer man att öka propellerns hållfasthet kan riskerna för skador på propelleraxlar, lager, cederwallsboxar etc. komma att öka. Den energi som vid skadetillfället upptages genom propellerbladens krökning kommer då att i högre utsträckning få upptas av lager, axel etc. Det fordras alltså en total avvägning av systemet för att undvika att skador av än allvarligare karaktär uppträder. Det kan tänkas att skador på propellern är att föredra framför övriga skador som berörts ovan.









3. Propellerverkningsgradens beroende av bladutformningen. Teoretisk studie.

3.1 BLADUTFORMNINGEN

Beträffande bladutformningen kan tre variabler anses vara av intresse ur hållfasthets-synpunkt: Bladlängden, bladtjockleken och framkantsradien.

En konstant kavitationsmarginal i radiell led över propellerbladet är önskvärd. Denna erhålles genom val av en satisfierande bladlängdsfördelning. Vidare påverkar bladets yta direkt nivån på kavitationsmarginalen. Man kan således inte för att tillfredsställa hållfasthetskrav ändra på bladlängderna.

I denna rapport studeras därför propellerverkningsgradens beroende av bladtjockleken. Framkantsradien synes inte påverka profilmotståndet i så hög grad att verkningsgradsförändringen blir av intresse.

Vidare bör observeras att denna studie endast är applicerbar på propellrar arbetande med stötfritt inlopp, dvs i konstruktionspunkten.

3.2 PROPELLERVERKNINGSGRADENS BEROENDE AV BLADTJOCKLEKEN

3.2.1 ZIMMERMANN /1/

Beräkningar av hur bladtjockleken påverkar propellerverkningsgraden har utförts av Zimmermann och redovisas i /1/. Beräkningarna har utförts på Wageningens propellerserier B-3.35, B-3.50, B-4.40, B-4.55. I dessa serier är bladtjockleken definierad genom en fiktiv bladtjocklek vid propelleraxeln, s_0 , se definitionsfigur 1. Bladtjockleken i nämnda undersökning varierades enligt nedan:

För $Z = 3$ är $s_0/D = 0.05, 0.06, 0.07$ och 0.08

$Z = 4$ är $s_0/D = 0.045, 0.055, 0.065$ och 0.075

Den lägsta bladtjockleken för resp bladantal är den ordinarie för Wageningens B-serie.

I /1/ har tryckkrafts- och momentkoefficienterna erhållits genom följande integrationer över radien:

$$K_T = \frac{\pi^2 \cdot Z}{4} \int_{0.2}^{1.0} \frac{(C_L \cos \beta_i - C_D \sin \beta_i) x^2 \cos^2 (\beta_i - \beta) dx}{D \cos^2 \beta}$$

$$K_Q = \frac{\pi^2 \cdot Z}{8} \int_{0.2}^{1.0} \frac{(C_L \sin \beta_i + C_D \cos \beta_i) x^3 \cos^2 (\beta_i - \beta) dx}{D \cos^2 \beta}$$

Propellerverkningsgraden tecknas

$$\eta_o = \frac{J}{2\pi} \cdot \frac{K_T}{K_Q}$$

Profilmotståndskoefficienten antages vara konstant utefter radien och variera med tjockleken enligt nedan:

$$\begin{aligned} \text{För } s_o/D = 0.045 \text{ och } 0.05 \text{ är } C_D &= 0.0085 + 0.001 (a - 1)^2 \\ s_o/D = 0.055 \text{ och } 0.06 \text{ är } C_D &= 0.0098 + 0.001 (a - 1)^2 \\ s_o/D = 0.065 \text{ och } 0.07 \text{ är } C_D &= 0.0111 + 0.001 (a - 1)^2 \\ s_o/D = 0.075 \text{ och } 0.08 \text{ är } C_D &= 0.0119 + 0.001 (a - 1)^2 \end{aligned}$$

Resultatet av beräkningarna redovisas i /1/ i form av beräknade propellerkaraktistikor; K_T (J), K_Q (J) och η_o (J) för fem olika stigningsförhållanden ur resp propellerserie.

Mot varje stigningsförhållande svarar ett konstruktionsframdriftstal, som erhållits ur diagram i /2/. I fig. 5 och 6 redovisas hur propellerverkningsgraden i konstruktionspunkten beror av bladtjockleken med stigningsförhållandet som parameter för resp propellerserie.

3.2.2 SSPA

SSPA dataprogram 90, som medger beräkning av såväl dyspropellrar som konventionella propellrar (/3/), har kompletterats med möjligheten att välja tjockleksfördelning och med utgångspunkt från denna beräkna motståndskoefficienten, C_D , för varje radie. Uttrycket för motståndskoefficienten är således

$$C_D = 2 \cdot (1.89 + 1.62 \log \frac{L}{k_s})^{-2.5} (1 + 2 s/L) + 0.012 s/L$$

där friktionsdelen har hämtats ur /4/. k_s har antagits vara $33 \cdot 10^6$ m.

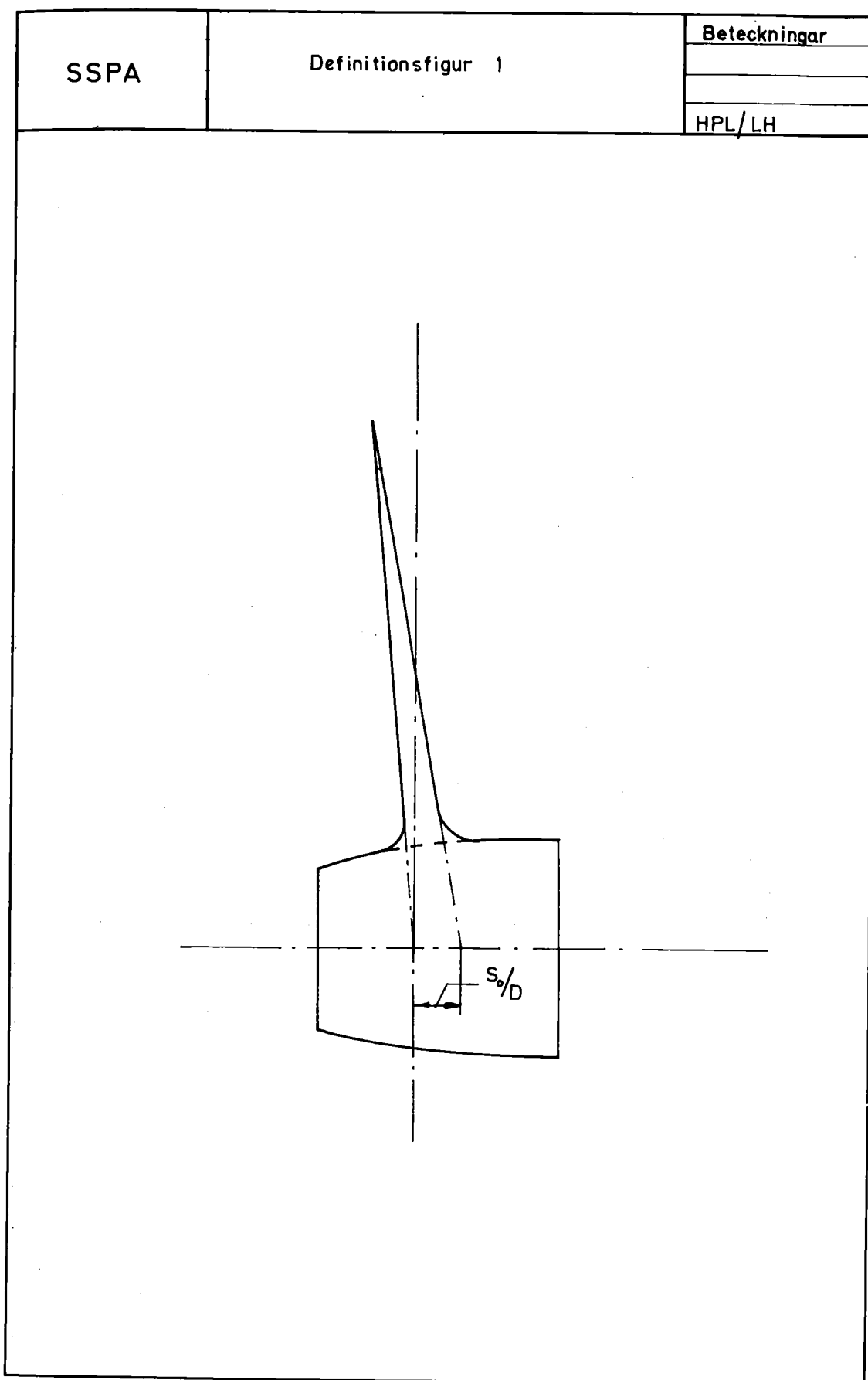
Beräkningar har utförts för propellrar med $Z = 4$ och $A_D/A_0 = 0.55$ (jmf B-4.55). Två stigningsförhållanden har undersökts. $(P/D)_{0.7} = 1.19$ och 0.75 . Bladtjockleken har varierats enligt följande:

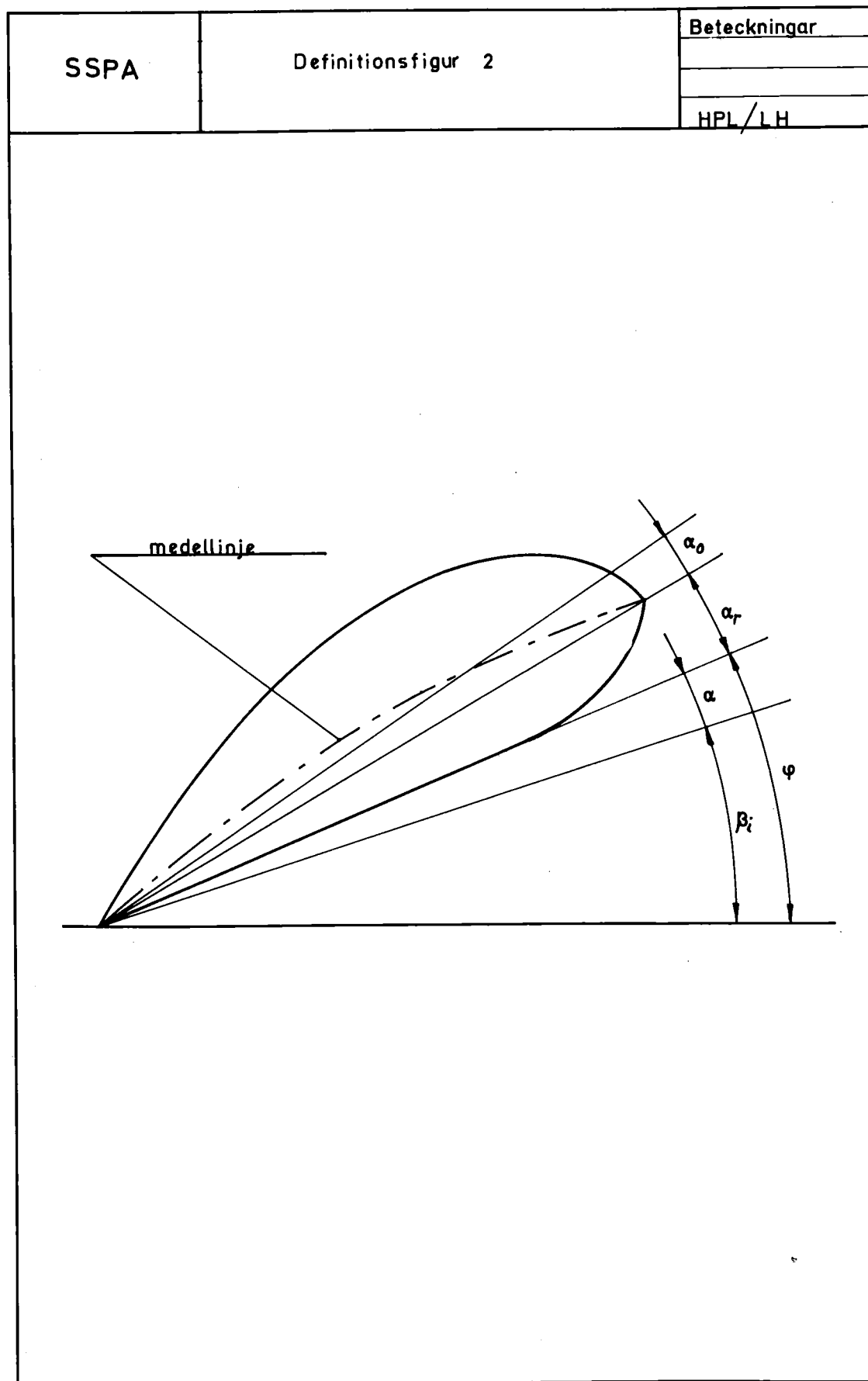
$$s_o/D = 0.045, 0.075, 0.105 \text{ och } 0.135$$

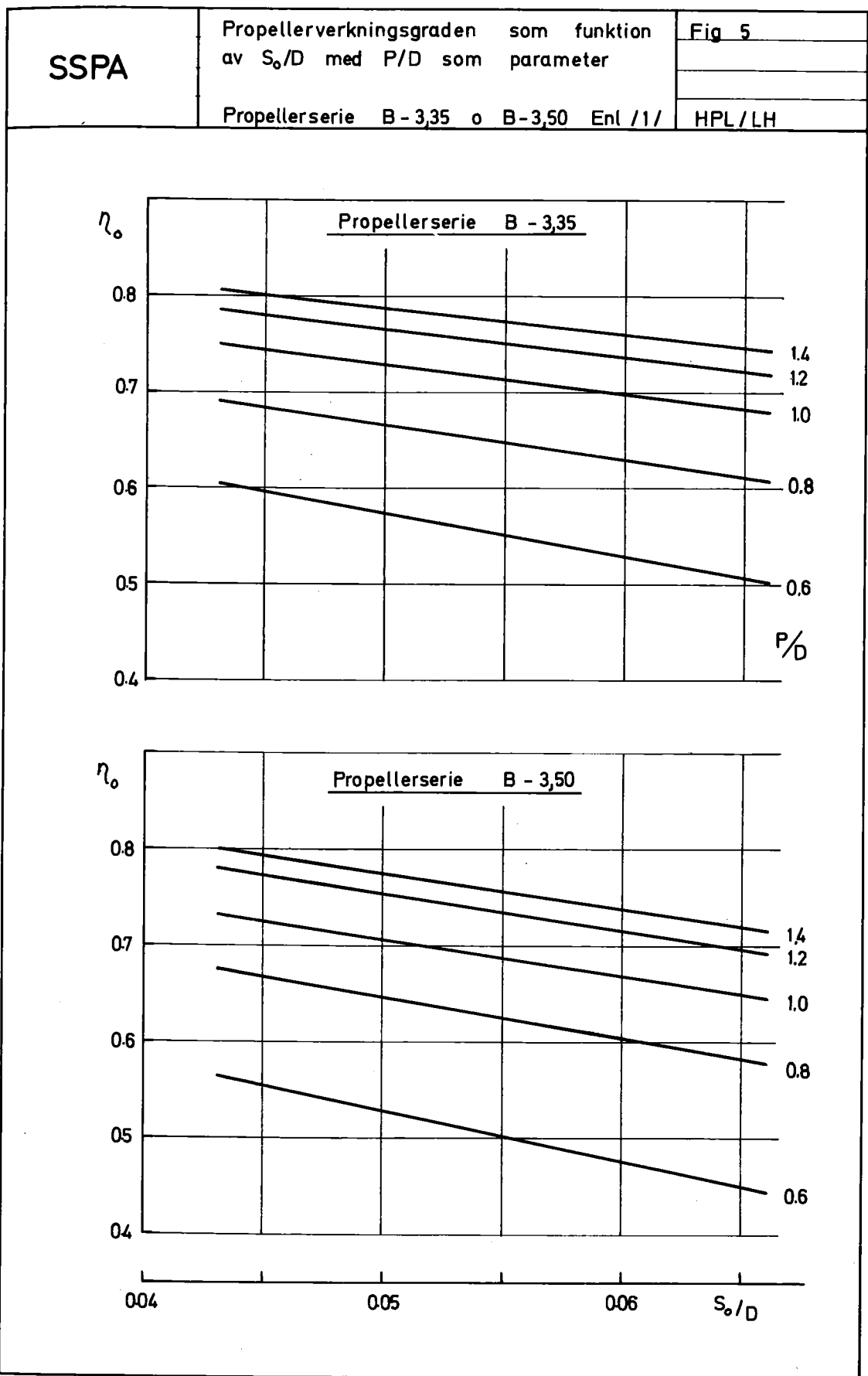
Verkningsgradens variation redovisas i fig. 6.

Vidare har propellrar beräknats till två olika fartyg: Tankfartyg på ca 225 000 TDW och feederfartyg på ca 1 000 TDW. Huvuddata för dessa propellrar framgår av nedanstående tabell.

	I Tankftg	II Feederftg	
V_S	15.5	16.5	knop
N	120	250	rpm
T	749 300	218 500	N
D	5.60	2.95	m
A_D/A_0	0.50	0.65	—
J_{konst}	0.41	0.51	—
$P/D_{0.7}$	0.70	0.75	—
w	0.42	0.26	—







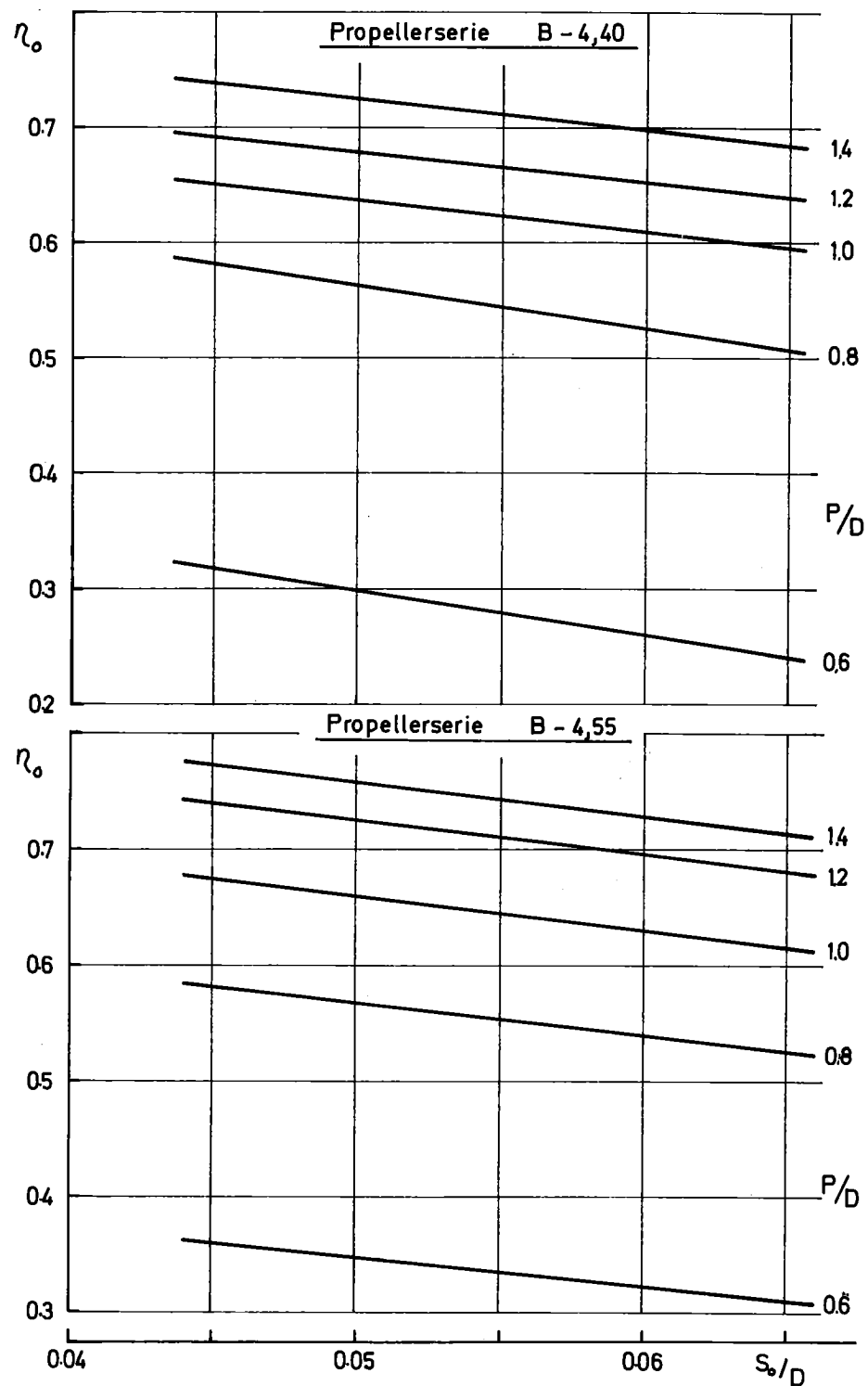
SSPA

Propellerverkningsgraden som funktion
av S_0/D med P/D som parameter

Fig 6

Propellerserie B-440 o B-455 Ent /1/

HPL /LH



Propellerbladens tjockleksfördelning i radiell led bestämdes genom hållfasthetsberäkning som ingår i nämnda program 90. Den erhållna tjockleksfördelningen s_{konstr}/D för respektive fartyg framgår av nedanstående tabell.

r	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
$s_{\text{konstr}}/D_{\text{I}}$	0.0358	0.0288	0.0226	0.0173	0.0127	0.0090	0.0064	0.0037
$s_{\text{konstr}}/D_{\text{II}}$	0.0326	0.0264	0.0209	0.0161	0.0120	0.0090	0.0064	0.0038

Verkningsgraden beräknades för propellrarna med respektive tjockleksfördelning och med tjockleksfördelningar som var 1.5, 2 samt 3 gånger så stora. Resultaten redovisas i fig. 7.

3.3 HÅLLFASTHETSKRAV FÖR GÅNG I IS

Om de två sist nämnda propellrarna konstrueras så att bladtjockleken uppfyller Det norske Veritas krav för Iceklass A* respektive B blir minimimåtten på bladtjockleken för propeller med fasta blad:

	Iceklass A*		Iceklass B		
	0.35 R	0.6 R	0.35 R	0.6 R	
I	180	110	146	89	(mm)
II	129	79	104	63	(mm)

För propeller I medför Iceklass A* och Iceklass B att tjockleken vid 0.6 R relativt motsvarande erhållna enligt SSPA dataprogram 90 är ca 26 % större respektive lika stor. För propeller II gäller motsvarande ca 68 % resp. ca 34 %.

Ignatjev har i /5/ med utgångspunkt från de krafter som propellern utsätts för vid gång i polaris beräknat minimikrav på yttröghetsmomentet för snittet av bladet vid roten. Han anger följande uttryck:

$$w_x \geq k \frac{3 \cdot 10^5 M(R_2 - R_1)}{\sigma_T R_2} \cos a_1 \left[\frac{P}{2\pi R_1} + \frac{2\sigma_{SK} V_S (2R^2 - RR_1 - R_1^2)}{9 M n Z} \cos a_2 \right]$$

där σ_T = materialets flytspänning; kp/cm²

σ_{SK} = polarisens brottspänning; 70 – 100 Mp/m²

V_S = fartygshastigheten; m/s

n = varvtal vid hög effekt och $J = 0$; rps

a_1 = stigningsvinkel vid aktuell radie

a_2 = stigningsvinkel vid 0.9 R

R = propellerradie

R_1 = radie vid roten

R_2 = $(2R + R_1)/3$

P = stigningen

Z = bladantal

M = max moment i is, se fig 8 ; Mpm

k = 1 för isbrytare

k = 0.7 lastfartyg "klass 1"

k = 0.6 lastfartyg "klass 2"

k = 0.75 bogserbåt "klass 1"

k = 0.6 bogserbåt "klass 2"

Beräknas yttröghetsmomentet för propeller I med antagandena att $\sigma_T = 5\,000 \text{ kp/cm}^2$, $\sigma_{SK} = 100 \text{ Mp/m}^2$, $V_S = 7 \text{ m/s}$ och att $n = 1.82 \text{ rps}$ samt $M = 126 \text{ ton m}$ (se fig. 8) fås för 0.275 R:

$$w_x \geq k \cdot 14\,150 \text{ cm}^3$$

Antages bladsnittet vara ellipsformat fås tjockleken:

$$s = 2\sqrt{\frac{8 w_x}{\pi \cdot L}}$$

där L är bladlängden.

$$\begin{aligned} \text{För } k = 1.0 \text{ fås } s &\geq 332 \text{ mm} \\ k = 0.6 \text{ fås } s &\geq 278 \text{ mm} \end{aligned}$$

vilket motsvarar $s_0/D \geq 0.088$ respektive 0.073.

3.4 DISKUSSION AV RESULTATEN

Jämföres resultaten av de beräkningar som Zimmermann har utfört med SSPA's beräkningar, framgår att medan SSPA bedömer propellerverkningsgraden i det närmaste oberoende av bladtjockleken får Zimmermann t ex för $P/D = 0.8$ en sänkning av η_0 med ca 5 % då s_0/D ökas från 0.045 till 0.065, se fig. 6. Orsaken är olika bedömning av profilmotståndet. I beräkningarna har inte tagits hänsyn till avlösning eller interferens mellan bladen (gittereffekter), som vid större tjockleksförhållanden kan uppträda vid radier nära propellernavet.

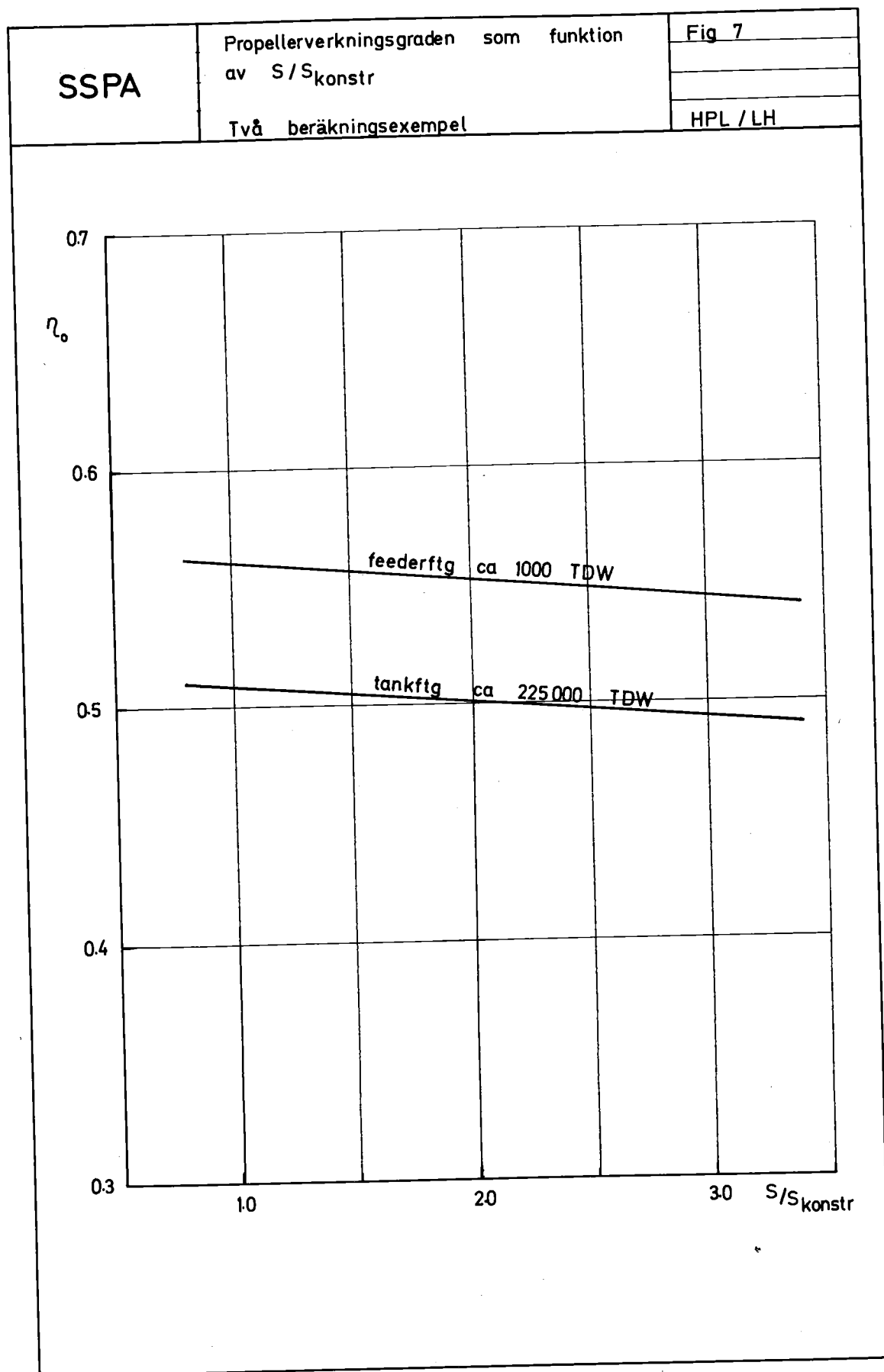
En väsentlig variabel, som påverkas av bladtjockleken är enligt SSPA's beräkningar kavitationsmarginalen..

Kavitationsmarginalen beräknas ur formeln

$$m = 100(1 - \frac{\sigma_1}{\sigma}) \%$$

där σ_1 är det lokala kavitationstalet på den aktuella profilen. I fig. 8 och 9 redovisas kavitationsmarginalen för de propellrar som beräknades enligt SSPA's program och som redovisas i fig. 5 och 6. Av diagrammen i fig. 9 framgår att kavitationsmarginalen minskar med ökande bladtjocklek.

För att bibehålla en ökad kavitationsmarginal ökas bladareaförhållandet. Detta innebär att bladprofilernas tjockleksförhållande, s/L , minskas och därmed även profilmotståndskoefficienten. Bladlängdernas ökning innebär emellertid en ökning av profilmotståndets friktionsdel. Undersökningar vid SSPA har visat att dessa båda faktorer för bladareaförhållanden mindre än 65 % kan antagas motverka varandra så, att propellerverkningsgraden inte nämnvärt påverkas av en begränsad bladareaökning.



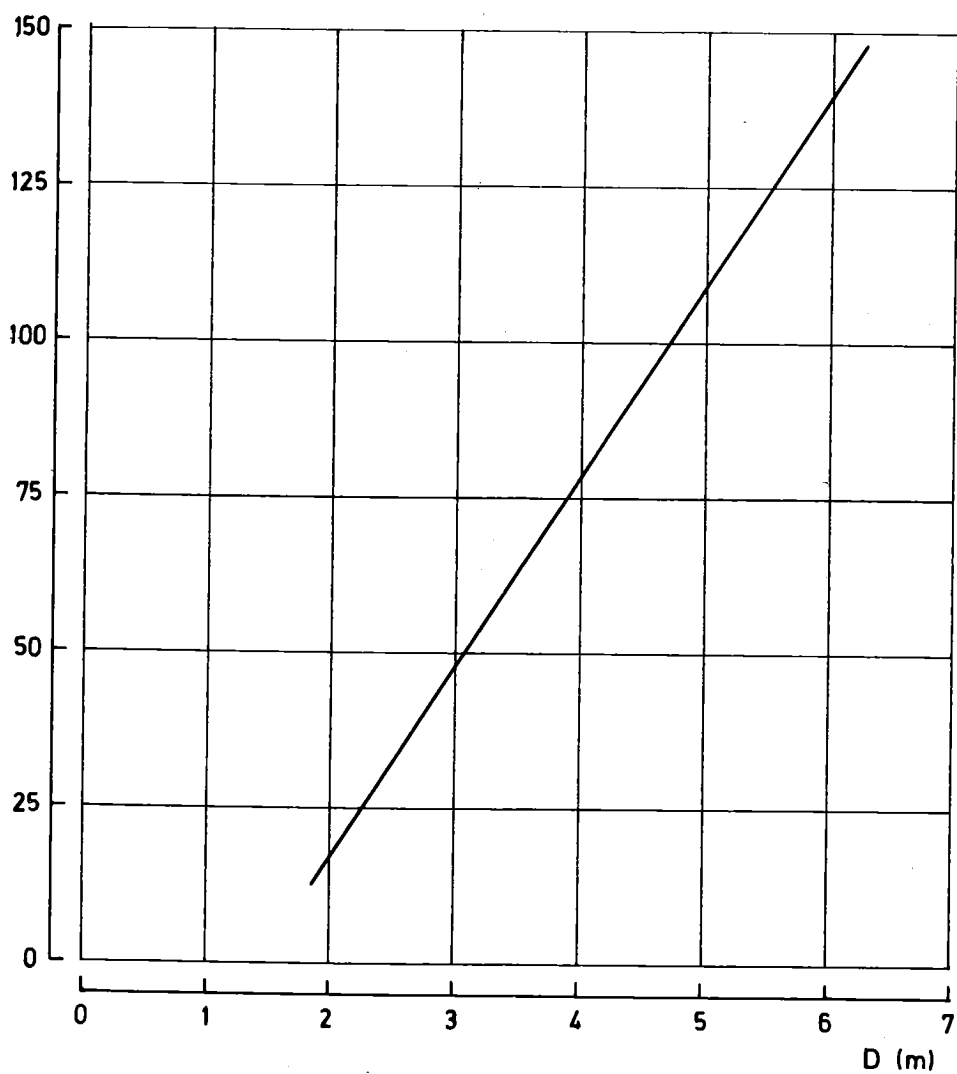
SSPA

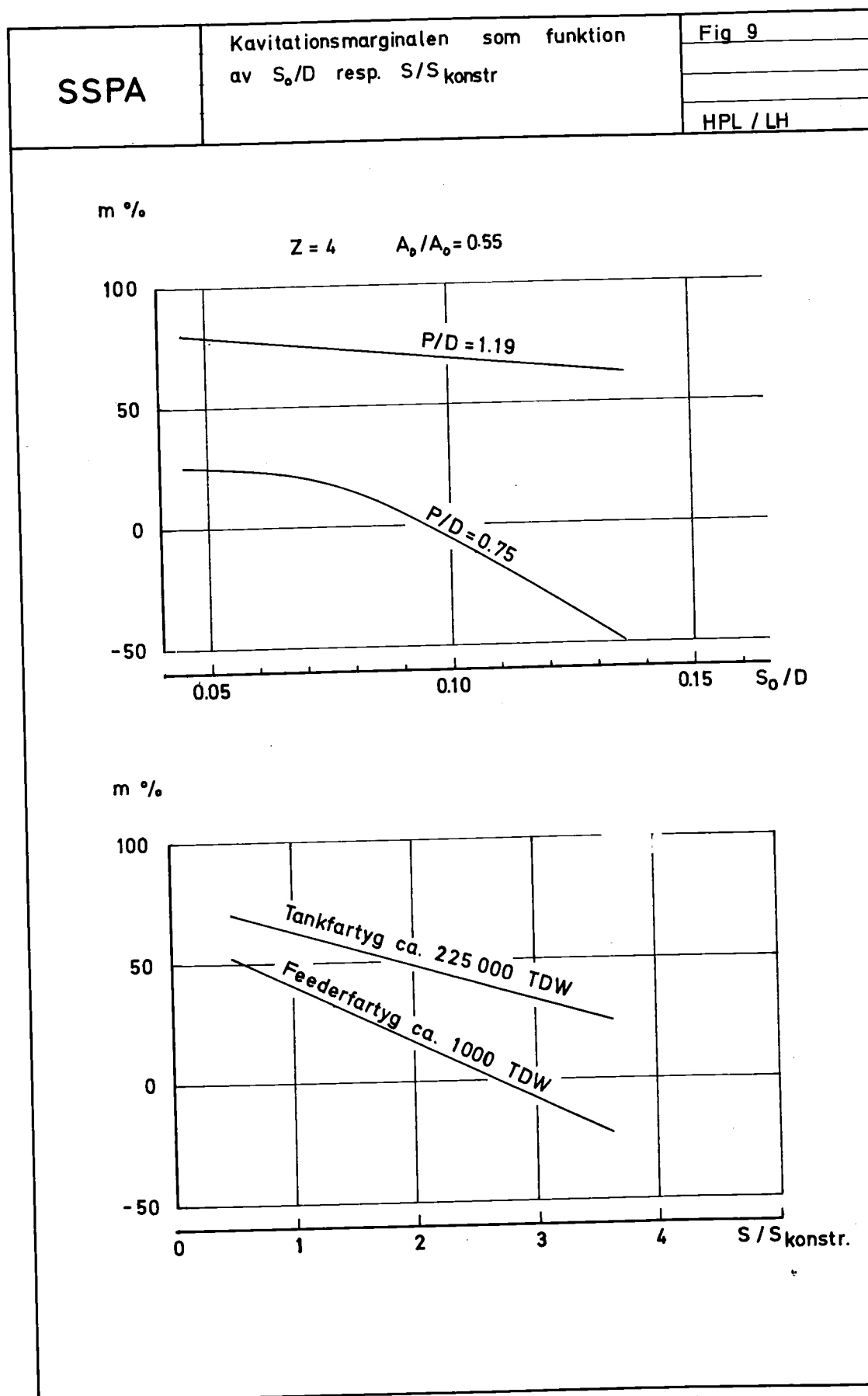
Moment på propeller i is som funktion
av propellerdiametern.
Ur /5/.

Fig. 8

HPL / LH

M (Mpm)





4. Propellerverkningsgradens beroende av bladtjockleken. Experimentell studie.

4.1 FÖRSÖKSANORDNING OCH FÖRSÖK

Kraft- och momentmätningar i homogen strömning utfördes på tre propellrar vid fyra olika kavitationsantal, $\sigma = 2, 4, 6$ och vid atmosfärstryck. Försöken gjordes i skeppsprovningensanstaltens kavitationstunnel 2, lilla mätsektionen ($\varnothing = 1.0$ m). Propellerdynamometerns, mätsektionens och kavitationstunnelns utseende framgår av fig. 13 och 14. Mätningarna utfördes vid framdriftshastigheterna 3.0, 5.0, 7.5 och 10.0 m/s upp till de maximala krafter försöksarrangemanget tillät.

Hastigheterna mättes enligt venturimeterprincipen.

4.2 PROPELLERMODELLER

Tre propellermodeller har undersökts: P1105, P1597 och P1598. Propeller P1105 (vänstergångad) är en SSPA standardpropeller med fyra blad och 0.53 % bladareaförhållande. Dimensioner på propellern framgår av /6/ och fig. 10. Propellrarna P1597 och P1598 (högergångad) har 1.5 resp 2.0 gånger större bladtjocklek än P1105, se fig. 11 och 12. I övrigt är diameter, stigning, krökning, bladantal, bladareaförhållande och nav lika för de tre nämnda propellrarna. Konstruktionsframdriftstalet för propellrarna fås ur /6/ och är $J_{konstr} = 0.677$.

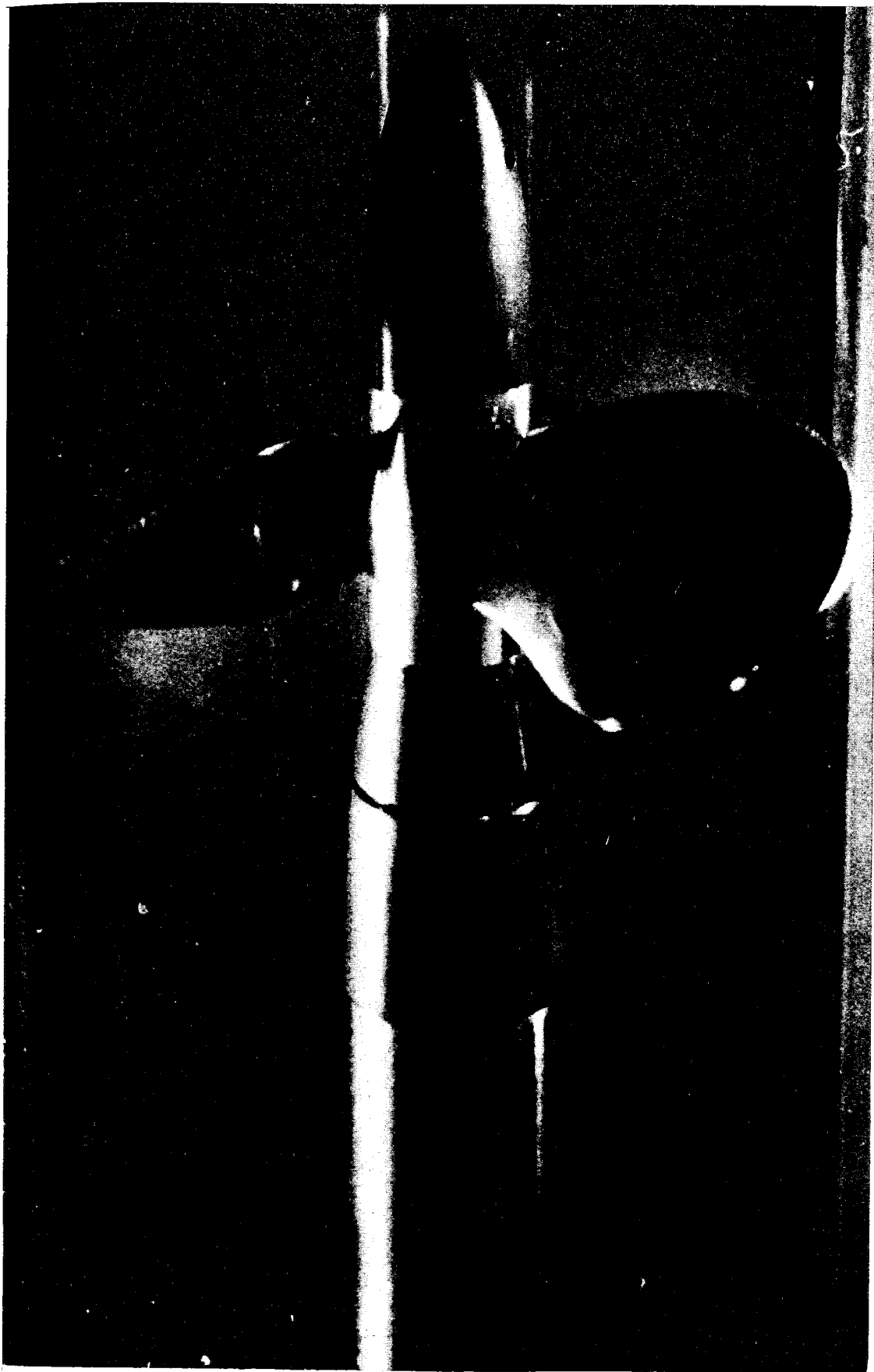
4.3 RESULTAT

Resultaten redovisas i fig. 15–24. Propellerkarakteristikorna för modellerna P1105, P1597 och P1598 vid olika kavitationstal återfinnes i fig. 15–18. Tryckkrafts- respektive momentkoefficienter vid olika framdriftstal har i fig. 19 och 20 uppritats som funktion av kavitationstalet. Fig. 21 och 22 ger motstånds- respektive lyftkraftskoefficienten för en ekvivalent profil för respektive propeller erhållna genom Lerbs analys. Propellerverkningsgraden som funktion av bladtjockleken vid olika kavitationstal redovisas i fig. 23. Jämförelse mellan teori och experiment göres i fig. 24.

4.4 DISKUSSION AV RESULTATEN

Vid försökens början visade sig den högergångade versionen av P1105 vara skadad varför den ersattes av den vänstergångade versionen. Detta betydde att försöken med P1105 respektive P1597 och P1598 utfördes med dynamometern roterande i motsatta riktningar. Korrektionskonstanterna kom därför att bli något olika, vilket sannolikt ökar spridningen i resultaten. Tidigare har den högergångade versionen av P1105 testats i frigående försök i skeppsprovningensanstaltens öppna ränna. Resultaten från dessa försök jämföres i fig. 18 med resultaten från försöken i kavitationstunnel. En viss skillnad kan konstateras. Propellerverkningsgraden för P1105 (vänstergångad) undersökt i kavitationstunnel är högre än för P1105 (högergångad) undersökt i öppen ränna. Skillnaden torde ligga inom den förväntade spridningen i resultat från olika försöksanläggningar.

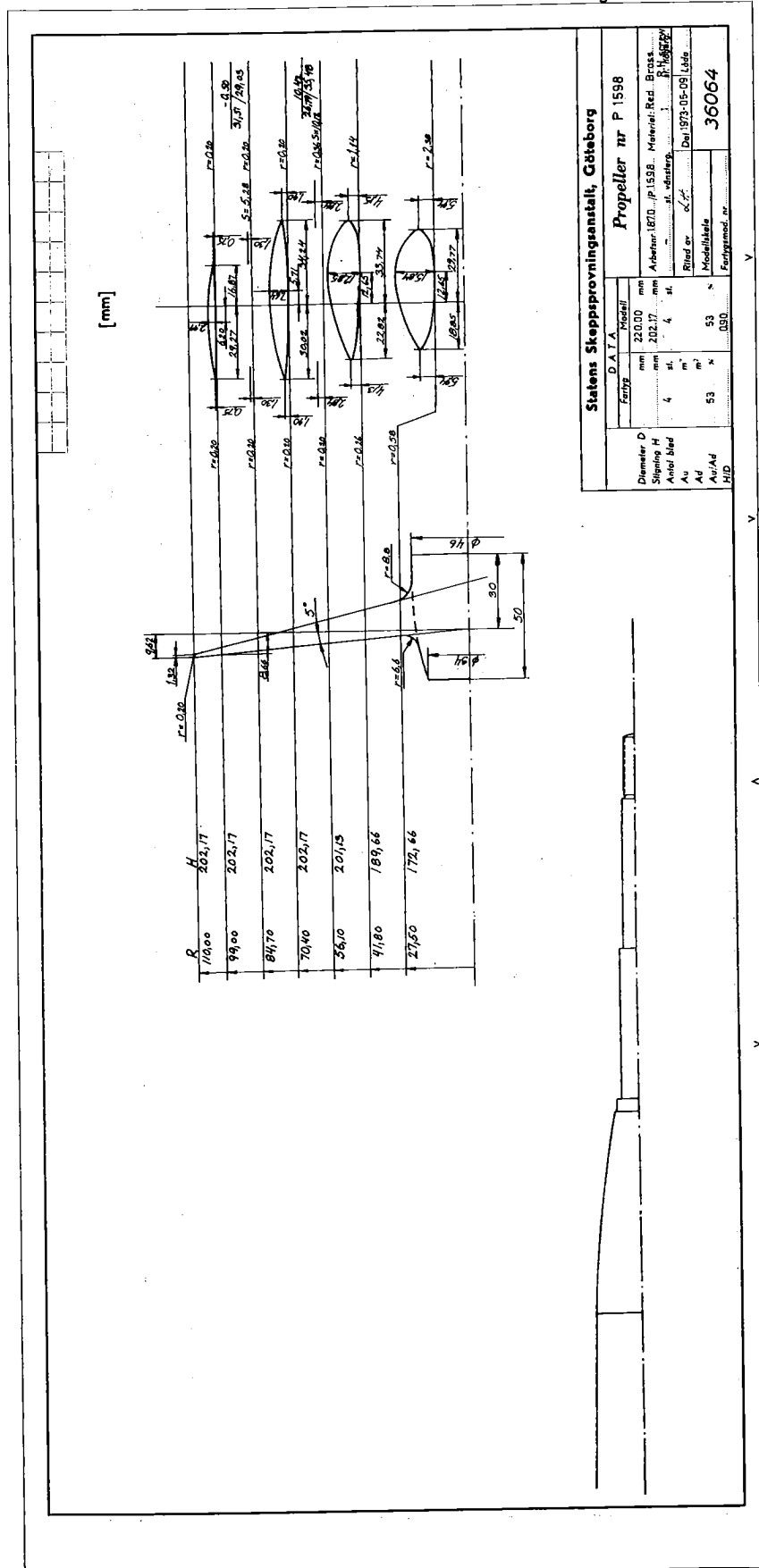
Då lokala hastigheter blir större och trycket mindre på propellern (lägre kavitationstal) kommer kavitation att uppträda på propellerbladen. Vid utvecklad kavitation på propellern kommer en nedsättning av krafter och moment att ske. Propellerverkningsgraden minskar. Av fig. 19 och 20 framgår att kraftnedsättande kavitation inträder tidigare med större bladtjocklek. Detta beror på att de lokala hastigheterna på propellerbladet blir större (lägre lokalt kavitationstal) då förhållandet bladtjocklek/bladlängd ökar.

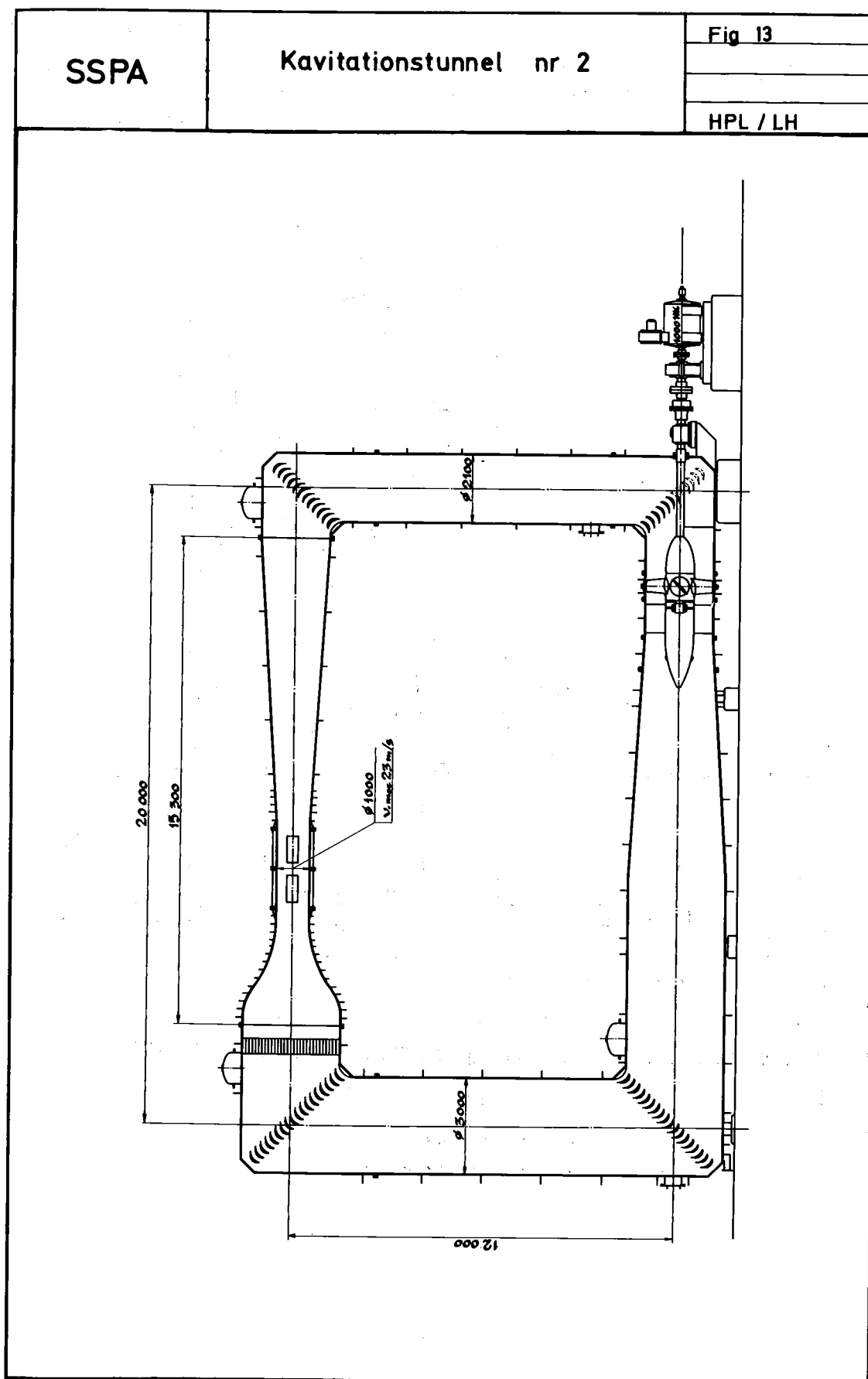


Propeller i kavitationstunnel



Fig 12



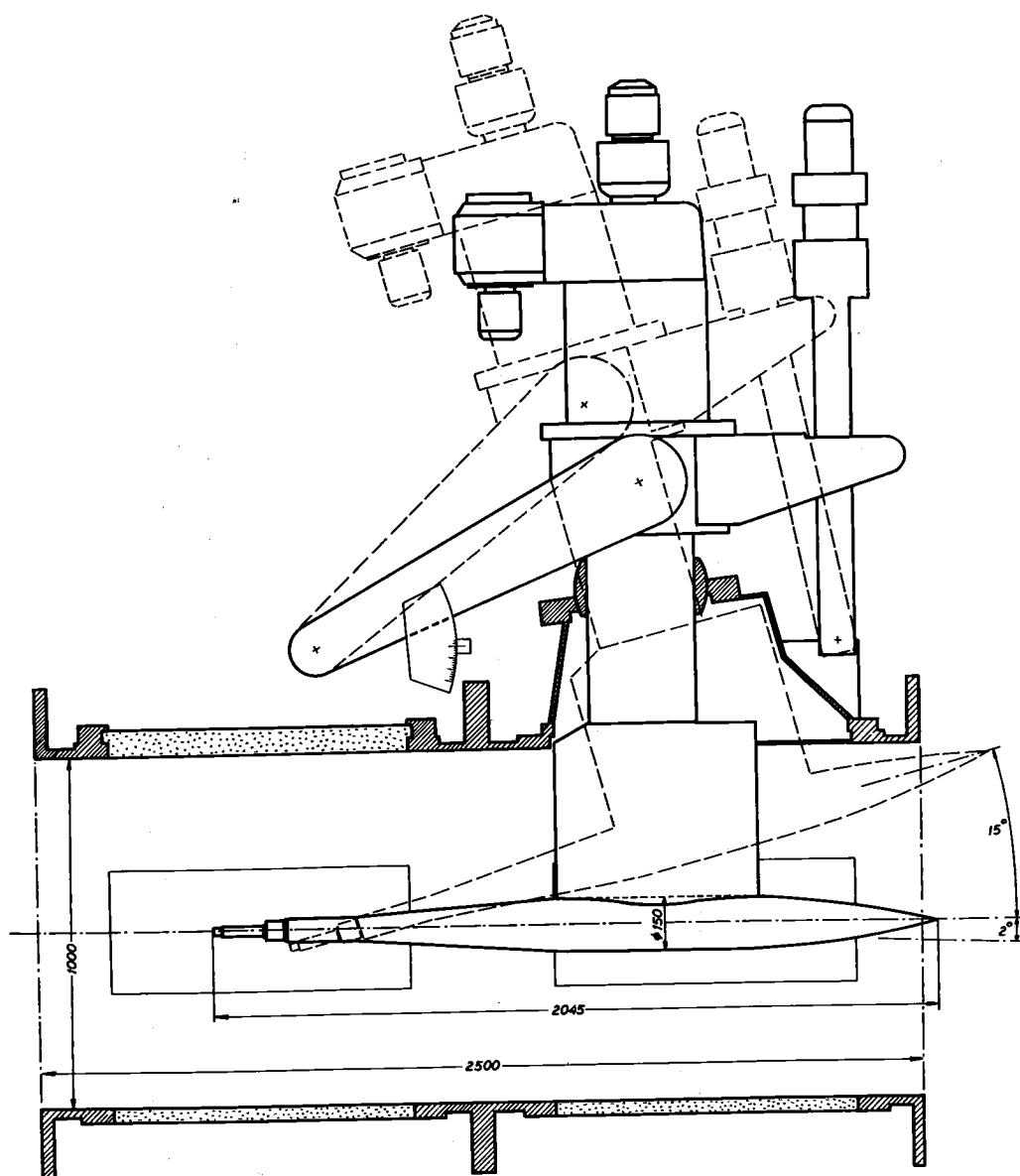


SSPA

Kavitationstunnel nr 2
Propellerdynamometer och mätsektion
nr 1

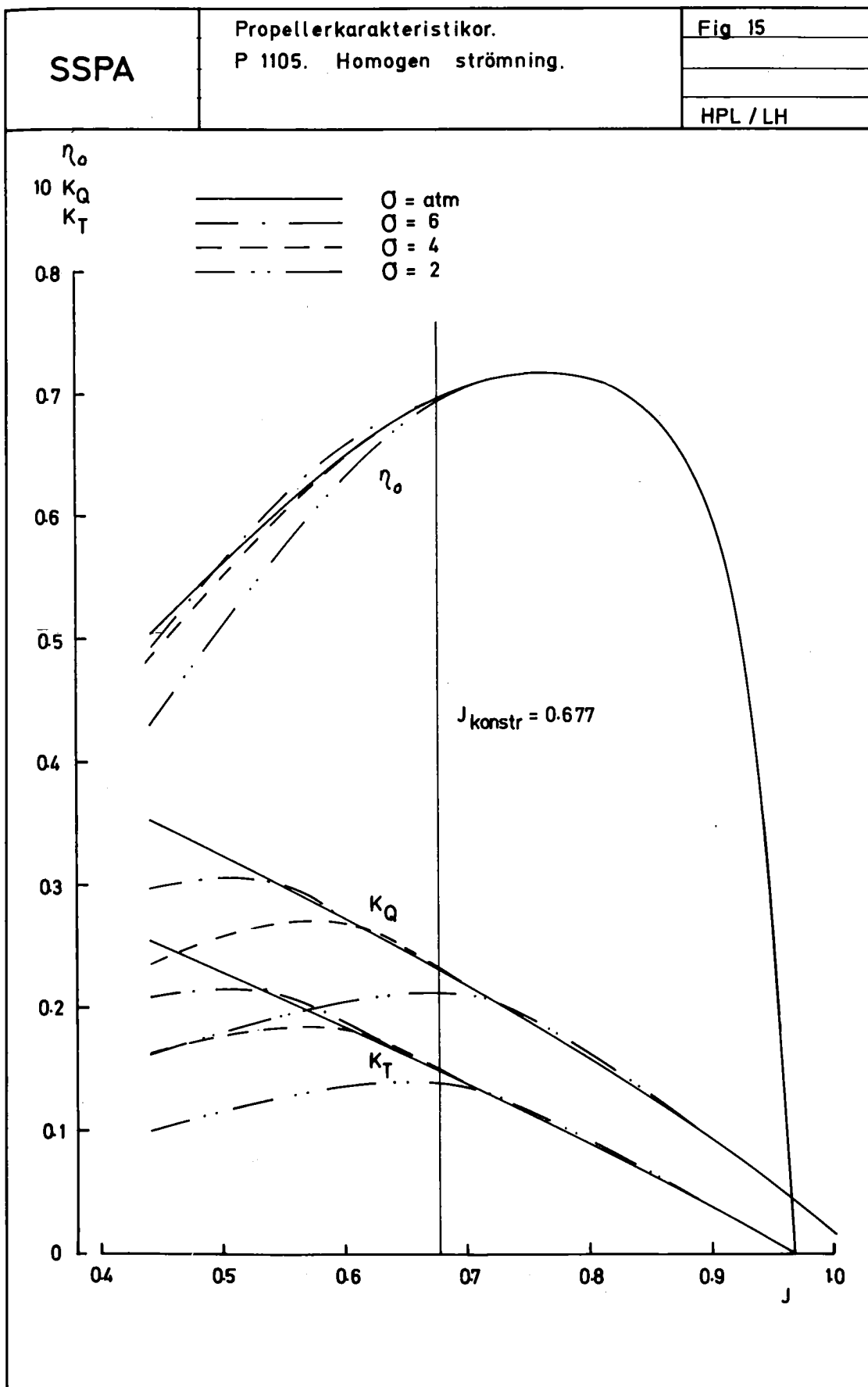
Fig 14

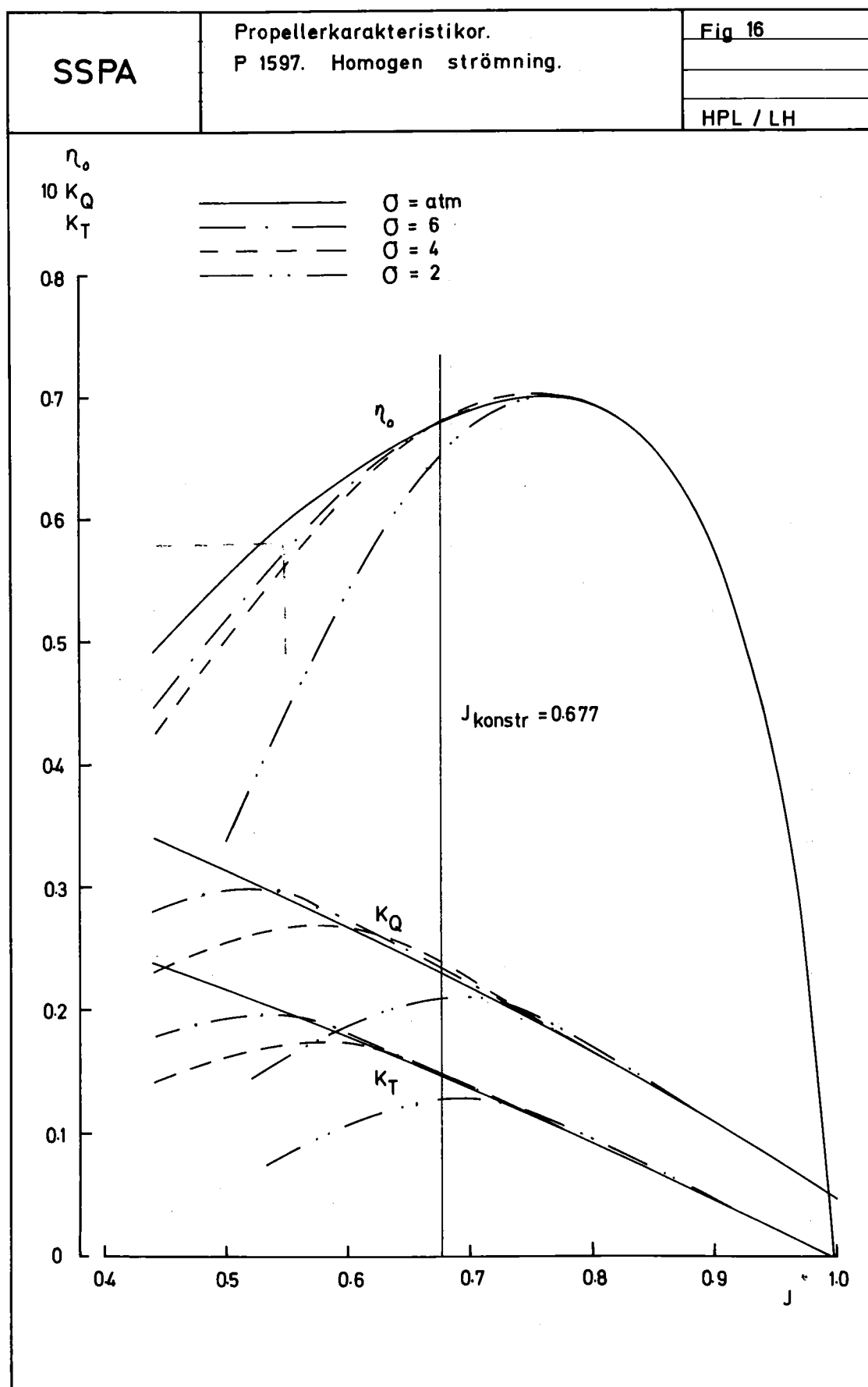
HPL / LH

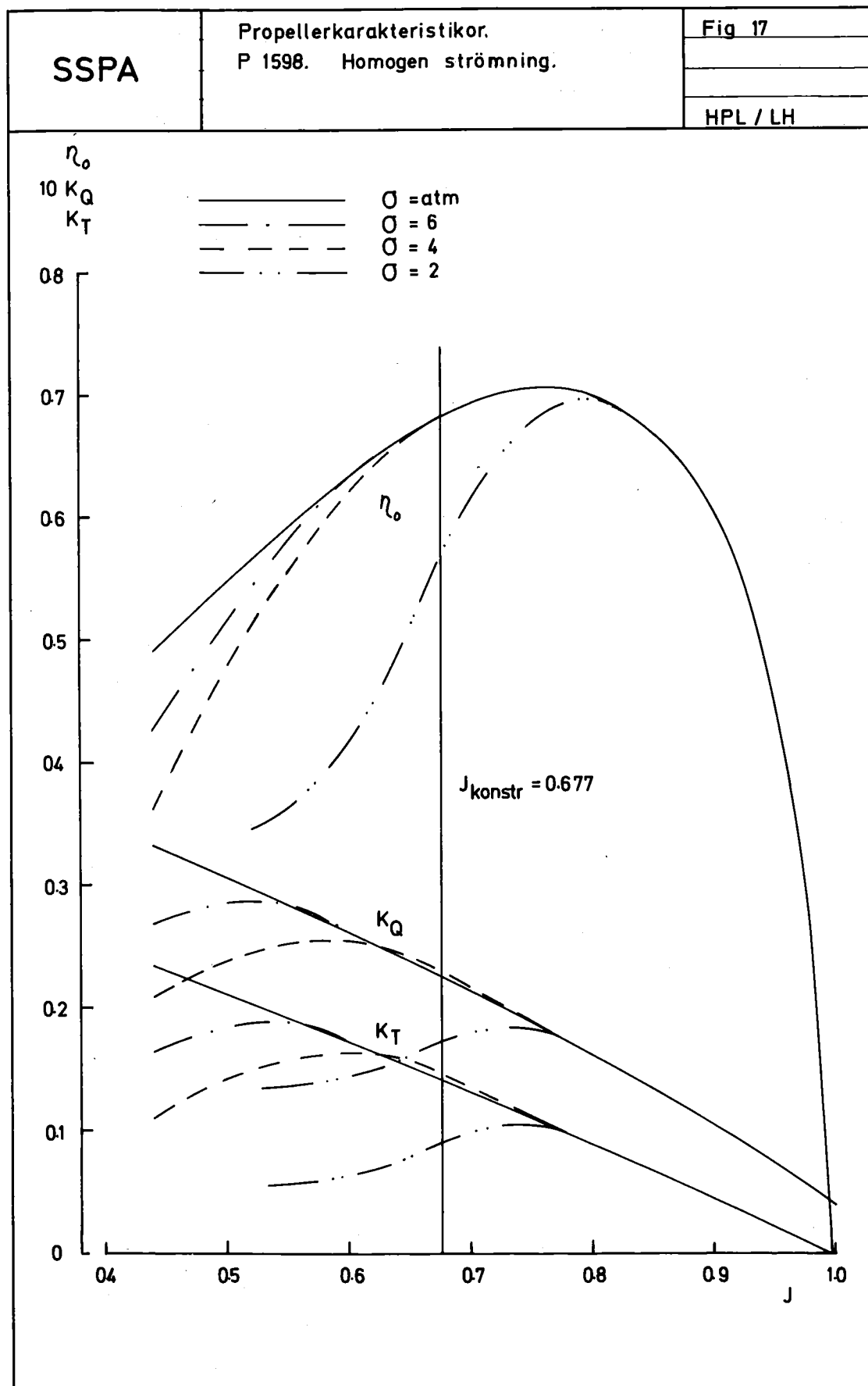


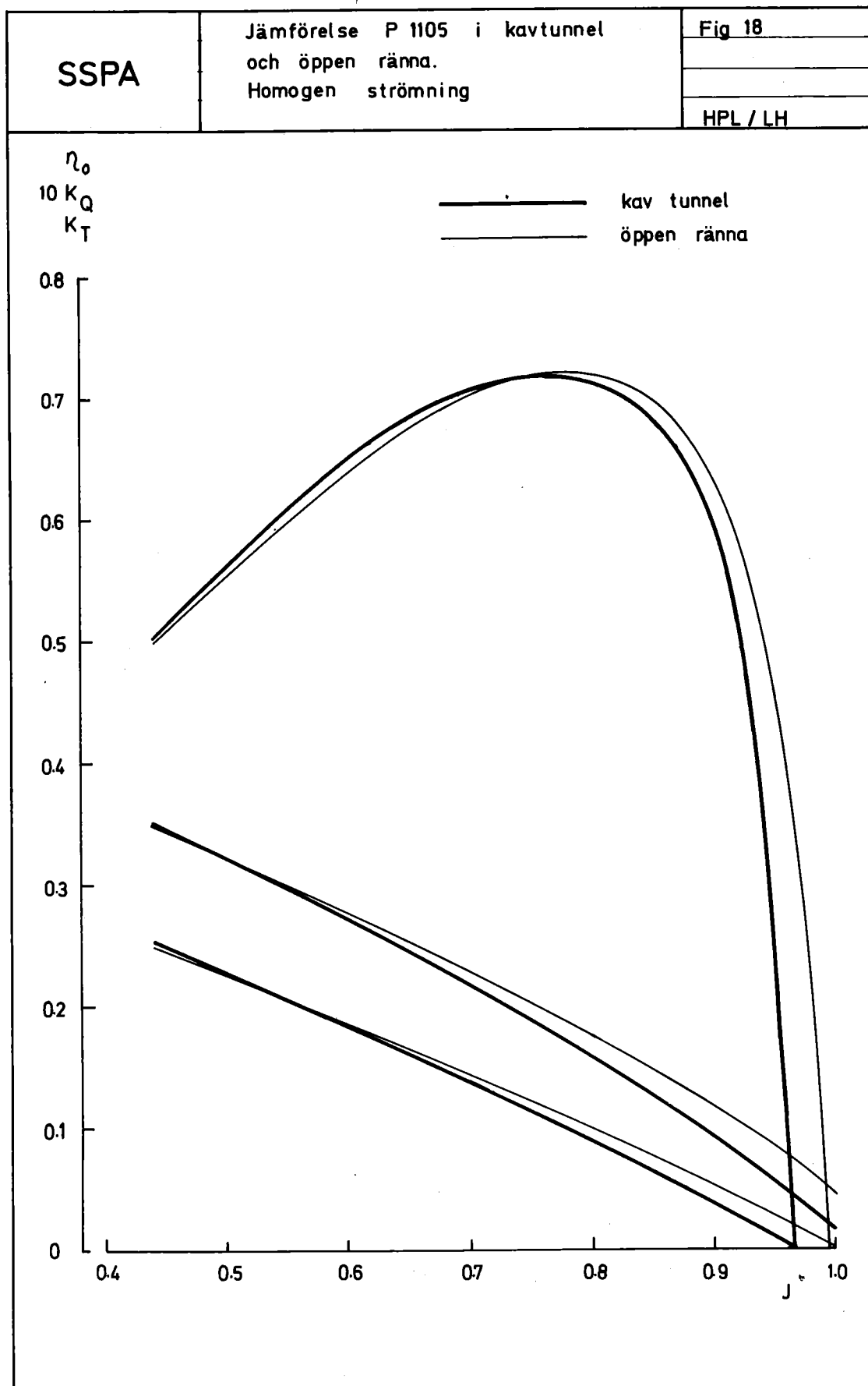
STATENS SKEPPSPROVNINGSANSTALT

Kavitationstunnel Nr 2 Propellerdynamometer för mätsektion Nr 1







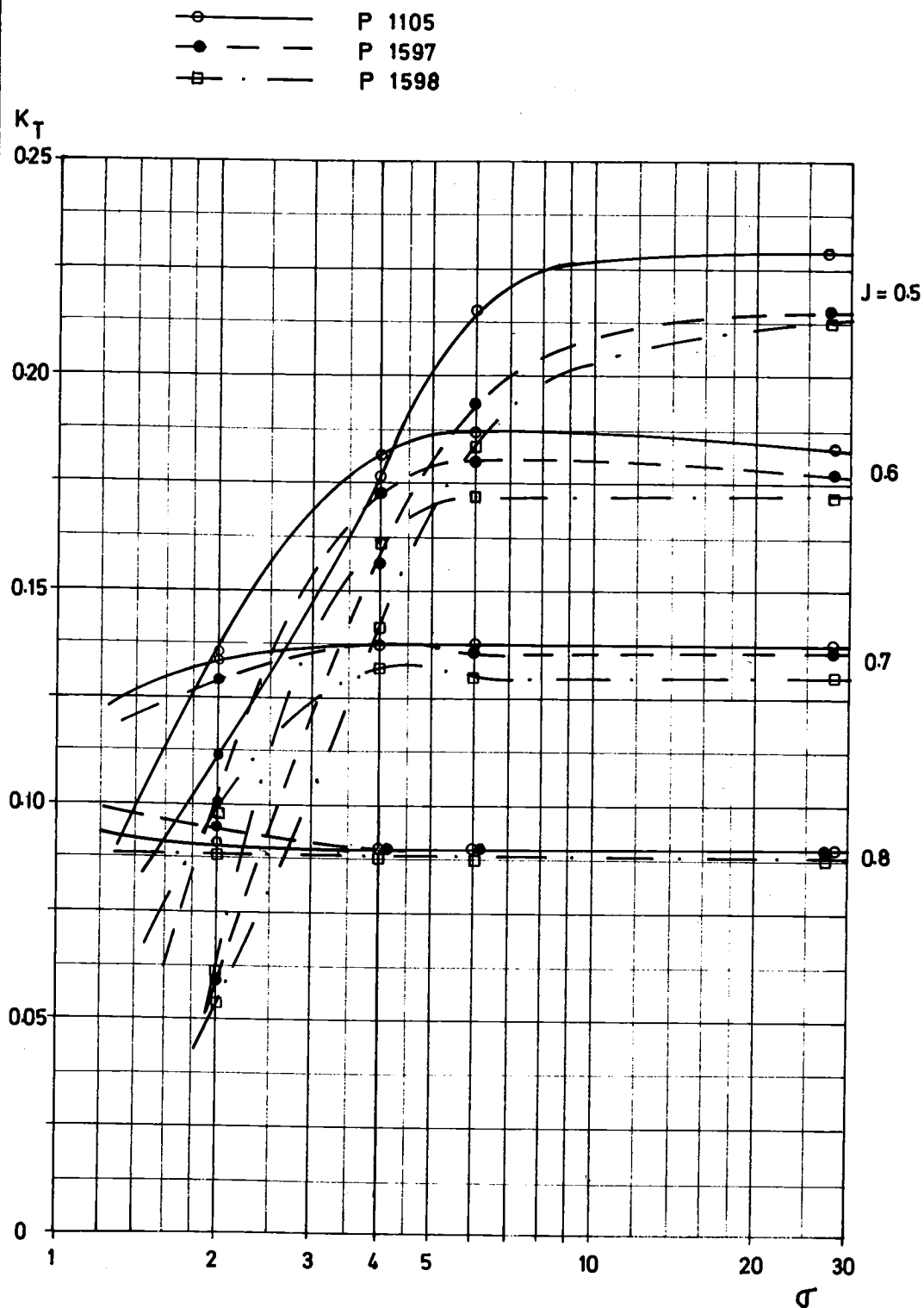


SSPA

Tryckkraftskoefficienter som funktion
av kavitationstalet för olika fram-
driftstal

Fig 19

HPL / LH



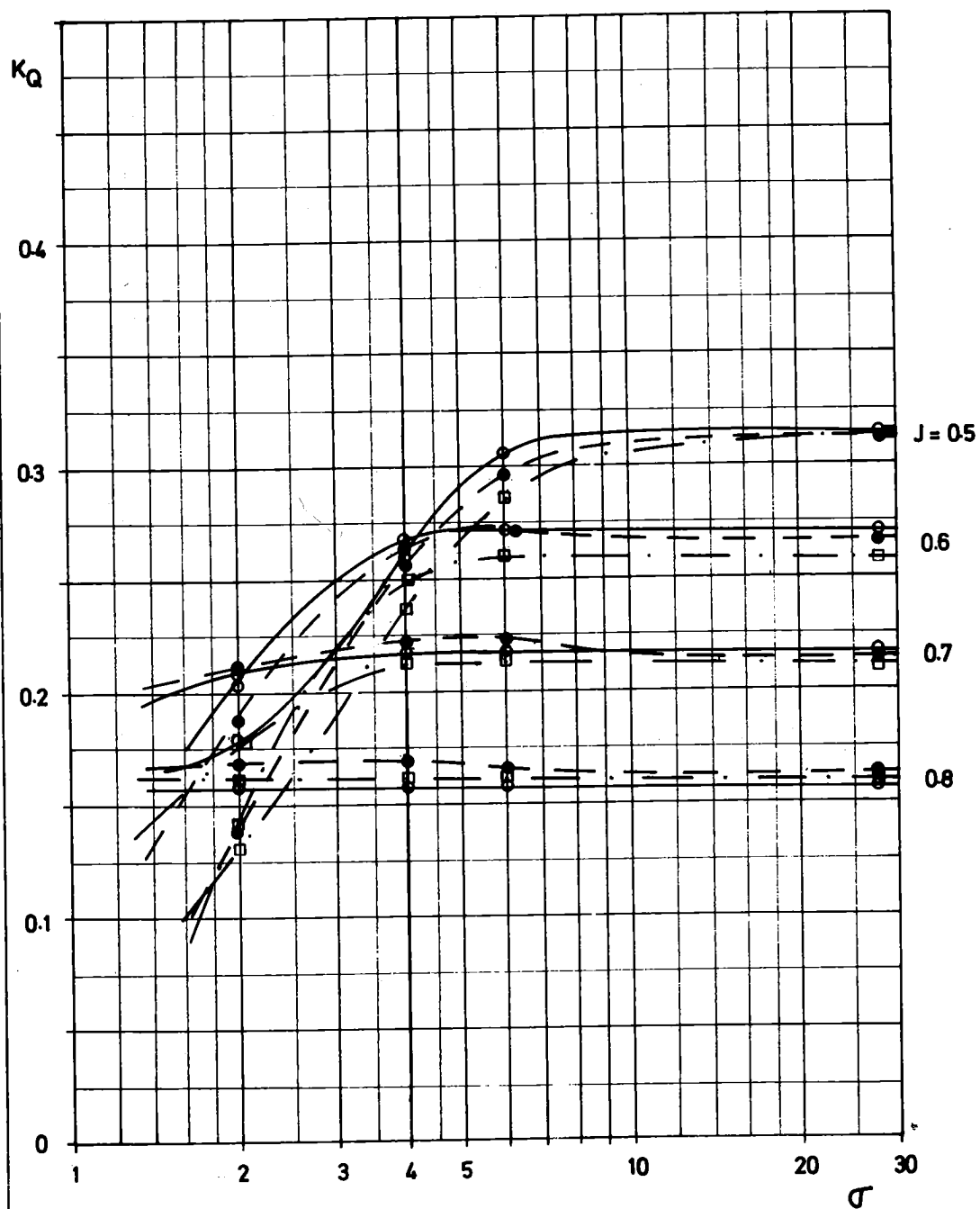
SSPA

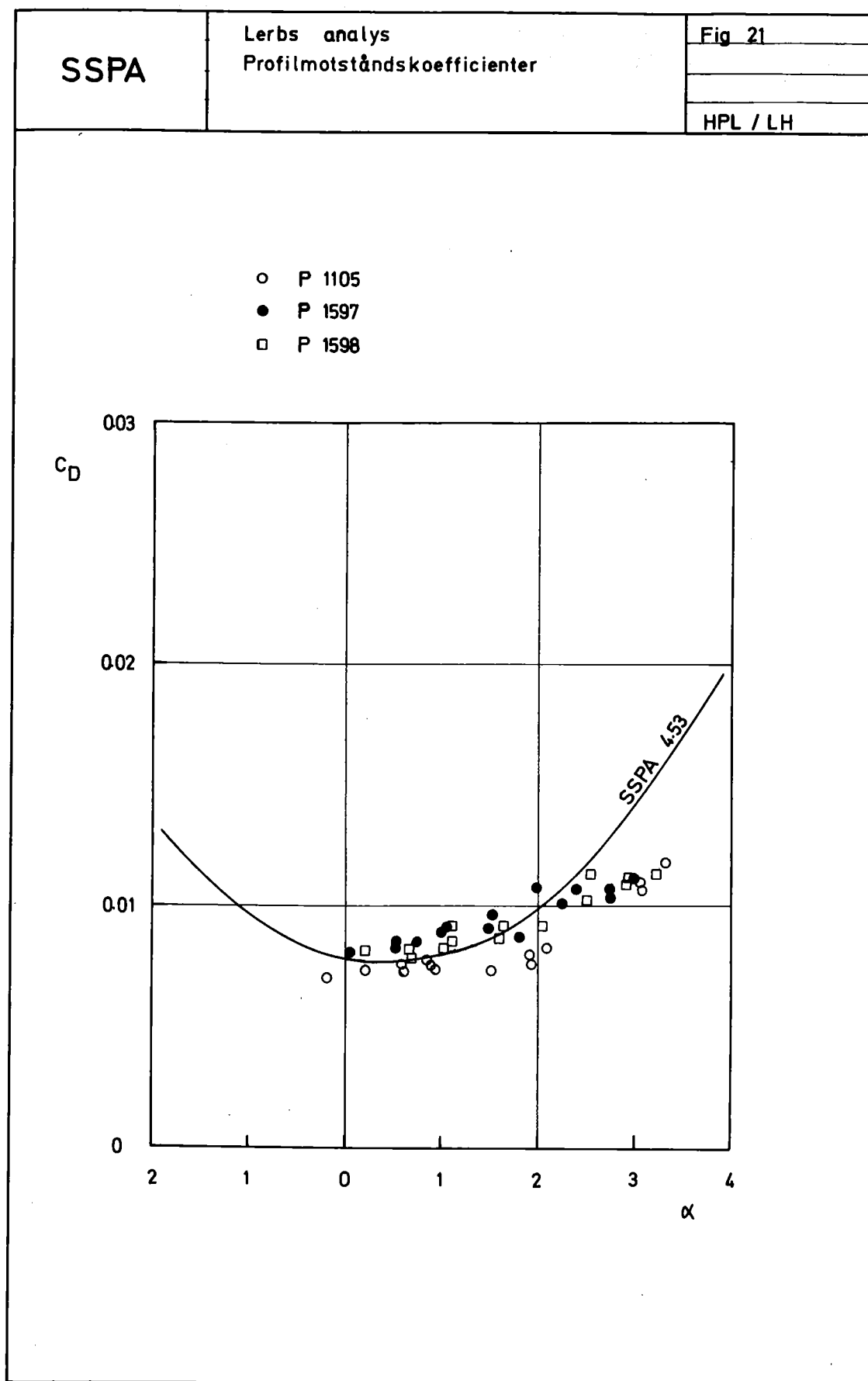
Momentkoefficienter som funktion
av kavitationstalet för olika fram-
driftstal

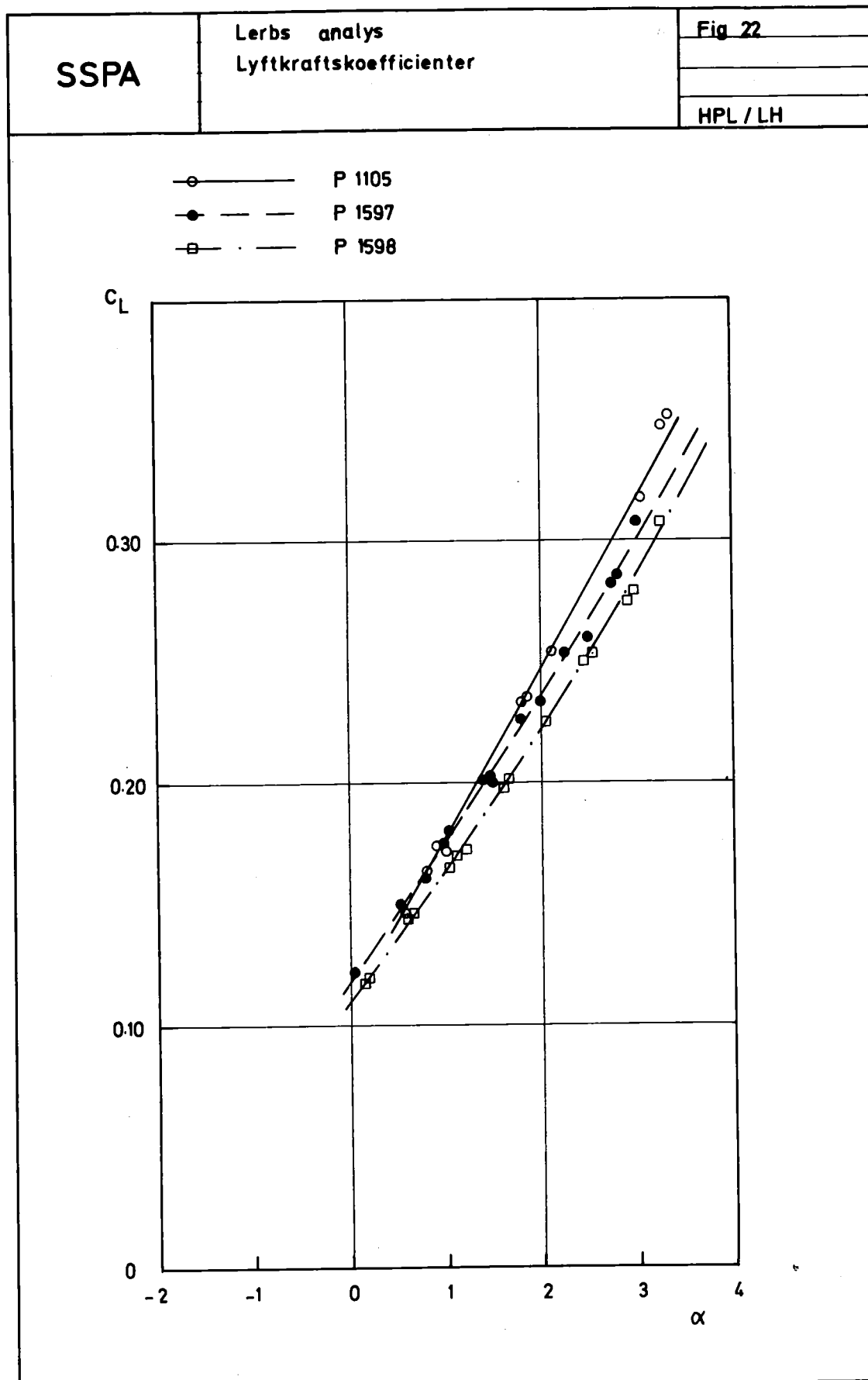
Fig 20

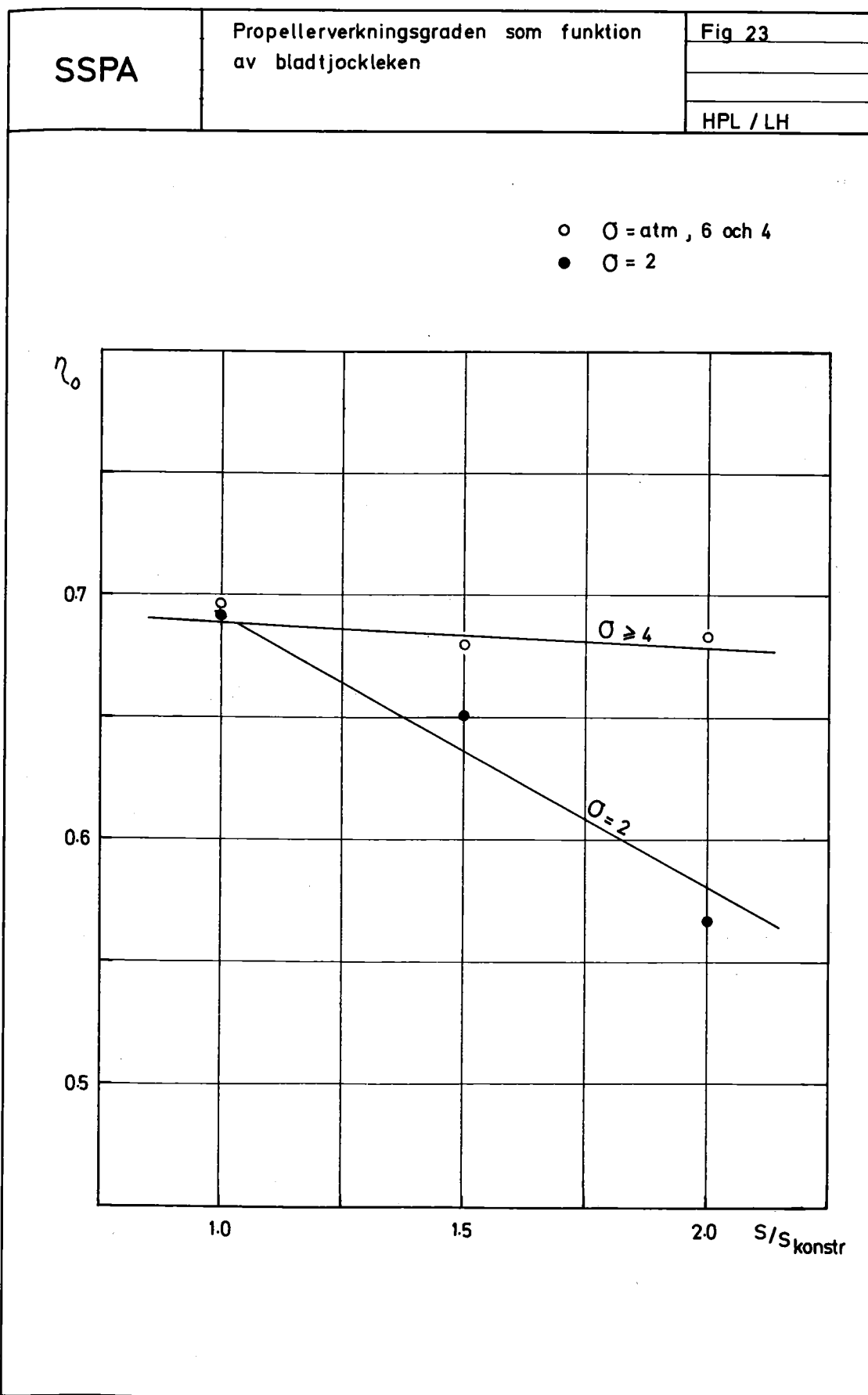
HPL / LH

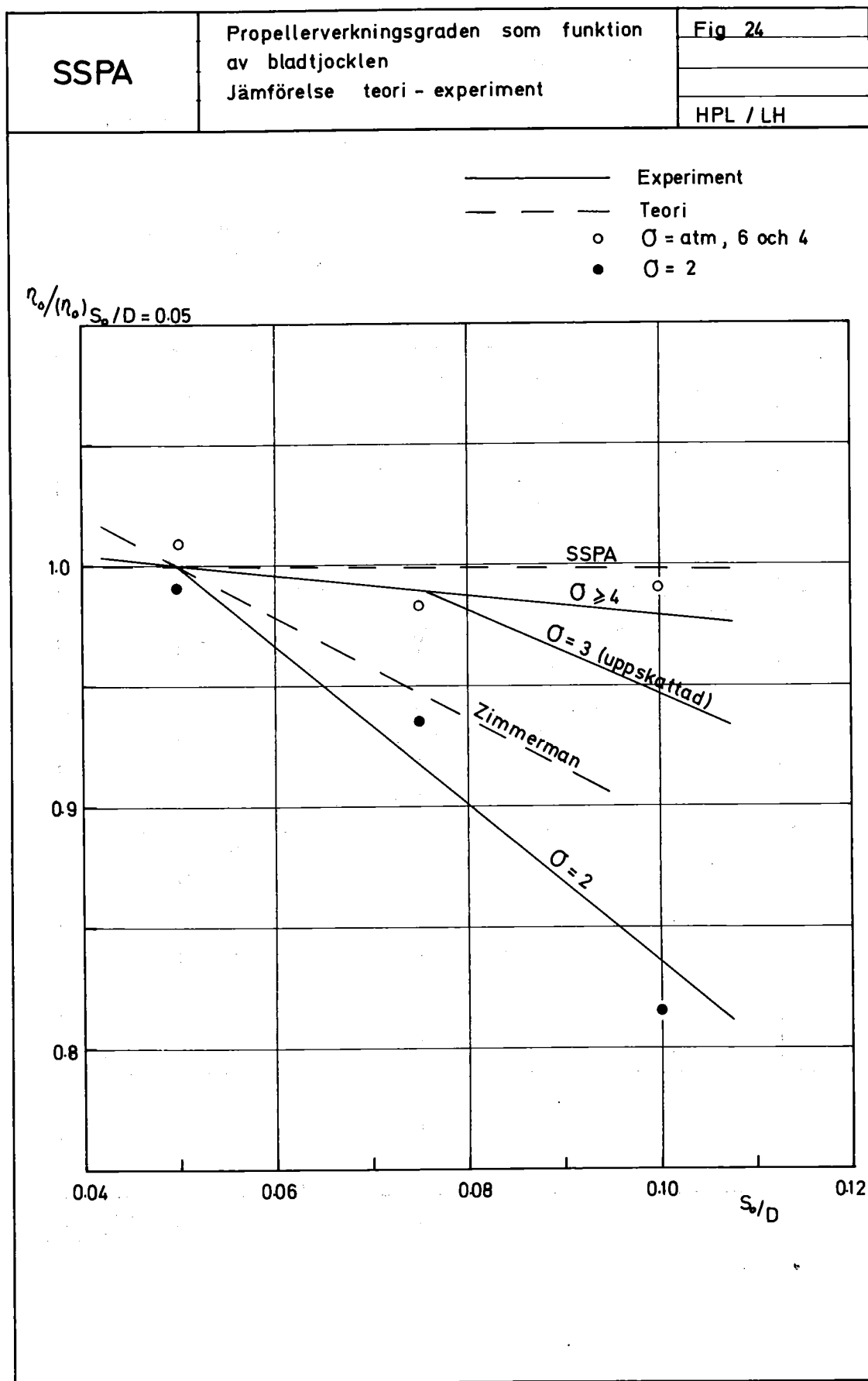
- P 1105
—●— P 1597
—□— P 1598











De erhållna resultaten av kraft- och momentmätningarna vid atmosfärstryck har analyserats med hjälp av Lerbs metod /7/ för att få en uppfattning om motståndstalet C_D och lyftkraftskoefficienten C_L för bladsektionerna. Vid användning av denna metod ersätts propellern med en ekvivalent bladsektion, här vald till propellrarnas bladsektion vid 0.75R, för vilken C_D och C_L kan härledas. $K_Q(J)$ och $K_T(J)$ kan på detta sätt överföras till motsvarande $C_D(a)$ och $C_L(a)$.

Av fig. 21 framgår att motståndskoefficienten C_D för propellrarna P1597 och P1598 ligger på samma nivå. Motståndskoefficienten för P1105 är lägre. I diagrammet i fig. 21 har också inritats $C_D(a)$ för SSPA's standardpropellerserie 4.53, vilken P1105 tillhör. Tidigare har framhållits att P1597 och P1598 undersökts under likartade försöksbetingelser medan dessa för P1105 avvek något. Ovanstående synes innebära att bladprofiltjockleken inom det undersökta området inte nämnvärt påverkar profilmotståndet, vilket bekräftar SSPA's bedömning av detsamma, redovisad i föregående kapitel.

Däremot visar resultaten, se fig. 22, att lyftkraftskoefficienten minskar med ökad bladtjocklek. Även här kan noteras att P1105 något avviker från helhetsbilden, vilket kan hänföras till ovan förda resonemang om försöksbetingelserna. Lyftkraftskoefficientens beroende av bladtjockleken medför således att propellerverkningsgraden kommer att minska med ökad bladtjocklek.

Av fig. 23 framgår att med en fördubblad bladtjocklek, från $S_O/D = 0.05$ till 0.10, kommer propellerverkningsgraden att minska med ca 1.5 % för kavitationstal $\sigma \geq 4$. För $\sigma = 2$ är motsvarande minskning av propellerverkningsgraden ca 16 %.

SSPA och Zimmermann /1/ har teoretiskt uppskattat propellerverkningsgradens beroende av bladtjockleken. I fig. 24 jämföres dessa resultat med resultaten från de här redovisade försöken. Jämförelsen visar att för stora kavitationstal överensstämmer skeppsprovningens anstaltens teoretiska uppskattning av propellerverkningsgradens beroende av bladtjockleken nära med det experimentellt uppmätta.

För lägre kavitationstal, $\sigma < 4$, förändrar emellertid kraftnedsättande kavitation resultatet. Vid $\sigma = 2$ är bladtjocklekens förändring av propellerverkningsgraden stor och överstiger den teoretiska uppskattning av verkningsgradsförändringen som Zimmermann gjort.

Kavitationstalet vid driftförhållanden varierar med olika belastningar och fartygstyper. För stora tankfartyg är kavitationstalet av storleksordningen $\sigma = 20$, medan kavitationstalet uppskattningsvis ligger i området $1.5 \leq \sigma \leq 5$ för containerfartyg. För den senare fartygstypen kan således ökning av bladtjockleken innebära kraftnedsättande kavitation på propellern och därmed avsevärd minskad propellerverkningsgrad.

5. Sammanfattning och diskussion om inriktning av framtida studier.

Denna rapport visar att propellerverkningsgradens beroende av bladtjockleken varierar för olika belastningsfall eller fartygstyper. För fartygstyper, som under driftsförhållanden ger låga kavitationstal, kan inte ökad bladtjocklek och därmed bättre propellerhållfasthet accepteras. Av fig. 9 framgår att kavitationsmarginalen minskar med ökad bladtjocklek. Kavitation kan orsaka skador på propellern utan att vara kraftnedsättande. Eftersom kavitationen uppträder tidigare än kraftnedsättningen (p g a kavitation) kommer ökad bladtjocklek inte att kunna accepteras i ett större område än vad kriterierna på hög propellerverkningsgrad anger.

Beträffande fortsatt forskningsverksamhet anser skeppsprovningsanstalten att den bör omfatta manöveregenskaper och formgivning av fartyg avsedda för gång i is.

Arbetet skall syfta till att i möjligaste mån kartlägga aktuella krafter och rörelser vid gång i is samt i anknytning därtill undersökta effekten av olika konstruktiva åtgärder, som kan tänkas förbättra framkomligheten. Aktuella åtgärder berör härvid formgivning av fartygsskrovet, val av propellermaskineri och reglerutrustning, utformning av roder jämte styrmaskin. Tillämpning skall ske på typiska handelsfartyg aktuella för transporter till svenska och finska östersjöhamnar.

Det är angeläget att arbetet utföres i samarbete med det finska isbrytarlaboratoriet samt andra intressenter som kan lämna synpunkter på iskrafternas uppkomst och storlek samt praktiska frågor rörande hantering av fartyg i is.

6. Referenser

- /1/ Zimmermann, P: "Effect of the Blade Section Thickness on Hydrodynamic Characteristics of Propellers" (in Polish), Budownictwo Okretowe, nr 2, 1970
- /2/ Troost, L: "Open Water Test Series with Modern Propeller Forms" North East Coast Inst. of Engineers and Shipbuilders, Transactions Vol 67, 1950-51
- /3/ Dyne, G: "A Method for the Design of Ducted Propellers in a Uniform Flow" SSPA meddelande nr 62, Göteborg 1967
- /4/ Schlichting, H: "Boundary Layer Theory" New York etc 1960
- /5/ Ignatjev, M A: "Screw-Propellers for Ships Navigating in Ice" (översättning) Leningrad, 1966
- /6/ Lindgren, H, Bjärne, E: "The SSPA Standard Propeller Family. Open Water Characteristics" SSPA meddelande nr 60, 1967
- /7/ Lerbs, H W: "On the Effects of Scale and Roughness on Free Running Propellers" Journal Am Soc Nav Eng: Vol 63, No 1, (1951), pp 58-94

SSPA	7. Beteckningar	
Symbol	Definition	Fysikalisk dim
A_D/A_0	Bladareaförhållande	—
C_D	Profilmotståndskoefficient	—
C_L	Lyftkraftskoefficient	—
$D = 2 R$	Propellerdiameter	L
$J = V_A/nD$	Framdriftstal	—
K_T	Tryckkraftskoefficient	—
K_Q	Momentkoefficient	—
k_s	Ekvivalent sandskrovlighet	L
L	Bladlängd	L
m	Kavitationsmarginal	—
N	Varvtal, rpm	T ⁻¹
n	Varvtal, rps	T ⁻¹
P	Stigning (vid 0.7 R)	L
p_o	Statiskt tryck i ostörd strömning	ML ⁻¹ T ⁻²
p_v	Vattnets förångningstryck	ML ⁻¹ T ⁻²
$Q = K_Q \rho n^2 D^5$	Moment	ML ² T ⁻²
R	Propellerradie	L
s	Bladtjocklek	L
$T = K_T \rho n^2 D^4$	Tryckkraft	MLT ⁻²
V_S	Fartygshastighet	LT ⁻¹
$V_A = V_S(1 - w)$	Framdriftshastighet	LT ⁻¹
w	Medströmsfaktor	—
Z	Bladantal	—
$\alpha \beta \beta_i$	Se definitionsfig. 2, sid. 14	—
$\eta_o = J K_T / 2\pi K_Q$	Propellerverkningsgrad	—
ρ	Vattnets densitet	ML ⁻³
$\sigma = (p_o - p_v) / 0.5 \rho V_A^2$	Kavitationstal	—