

STYRELSEN FÖR
VINTERSJÖFARTSFORSKNING

Sjöfartsverket
Sverige

Sjöfartsstyrelsen
Finland

Forskningsrapport nr 5



**FARTYGS FRAMDRIVNINGSMOTSTÅND
I IS**

STYRELSEN FÖR
VINTERSJÖFARTSFORSKNING

Sjöfartsverket
Sverige

Sjöfartsstyrelsen
Finland

Forskningsrapport nr 5

**FARTYGS FRAMDRIVNINGSMOTSTÅND
I IS**

TEKN.DR. ERNST ENKVIST
OY WÄRTSILÄ AB
HELSINGFORSVARVET

FARTYGS FRAMDRIVNINGSMOTSTÅND I IS

**Sammandrag av föredrag hållet inför
Teknologföreningen i Stockholm, 1973-10-24**

HELSINGFORS 1974

E ENKVIST

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	Sida
Förord	1
Förut utgivna rapporter	3
Inledning	5
Olika kategorier av ismotstånd	5
Ismotståndsforskning	5
Utveckling och dagsläge	5
Wärtsilås islaboratorium (WIMB)	11
Försöksteknikens utveckling	11
Ismotståndets huvudkomponenter	19
Möjligheter att minska ismotståndet	25
Avslutning	42
Litteraturförteckning	43

Förord

Styrelsen för Vintersjöfartsforskning publicerade under 1973 — styrelsens andra verksamhetsår — fyra forskningsrapporter. Styrelsen kan nu presentera rapport nr 5, den första för 1974. Den har rubriken FARTYGS FRAMDRIVNINGSMOTSTÅND I IS och har författats av tekn.dr. Ernst Enkvist, Oy Wärtsilä Ab, Helsingforsvarvet, Helsingfors. Forskningsrapporten är ett sammandrag av ett föredrag som dr. Enkvist höll inför Teknologföreningen i Stockholm den 24 oktober 1973.

Styrelsen för Vintersjöfartsforskning uttrycker uppskattning för det arbete som ligger bakom rapporten och framför sitt tack till dr. Enkvist, för att han ställt materialet till styrelsens förfogande.

Helsingfors och Stockholm i januari 1974.

Helge Jääsalo

Erik Severin

Förut utgivna rapporter av Styrelsen för Vintersjöfartsforskning:

<u>Nr</u>	<u>Författare</u>	<u>Titel</u>	<u>Utgivn.år</u>
1	protokoll	Havsiskonferens.	1973
2	Lars Sjöstedt, Stig Hammarsten	Vintersjöfart i Bottenhavet. Erfarenheter av SCA:s distributionssystem.	1973
3	Lars Sjöstedt, Stig Hammarsten	Isskador på fartyg i Östersjön, Bottenhavet och Bottenviken. Statistisk analys av skade- frekvenser.	1973
4	Hans Peder Loid	Propellerproblem. Propellerverkningsgradens beroende av bladutformningen.	1973

Inledning

Utvecklingen inom ismotståndsforskningen är snabbare än för några år sedan. Nya laboratorier byggs och större publikationer kommer ut flera gånger årligen. Denna uppsats avser att ge en överblick över dagens läge och möjligheterna till praktisk tillämpning.

Olika kategorier av ismotstånd

Fartygs ismotstånd är icke ett entydigt begrepp. Beroende på isförhållanden skiljer man sålunda på snötäckt och snöfri is, bruten is, packisvallar och fält samt skruvande is. Beroende på rörelsemetod skiljer man på kontinuerlig brytning, brytning med ansatser (stötar) samt statisk fastkilning. I praktiken förekommer ett obestämt antal kombinationer av dessa fall.

Vattenmotståndet räknas vanligen inte med i ismotståndet.

Vid varje försök till teoretisk och systematisk undersökning av ismotståndet måste man till en början bestämma sig för ett någotsånär typiskt renodlat förenklat fall. Det vanligaste antagandet är kontinuerlig brytning i jämntjock fastis.

För stora fartyg i östersjöförhållanden representerar detta fall i allmänhet inte de förhållanden som hindrar sjöfarten mest. Isskrivning och vallar är här av större intresse, men dessa fall är ytterst svårdefinierbara.

Fig. 1, 2 och 3 visar några isförhållanden som dramatiskt avviker från jämn fastis.

Ismotståndsforskning

UTVECKLING OCH DAGSLÄGE

Ismotståndsfrågan motstod förvånande länge rationell behandling. Erfarenhet på basen av operatörsobservationer utgjorde grunden för nykonstruktion. De försök till teoretisk eller experimentell behandling som förekom baserades på det felaktiga antagandet att motståndet i huvudsak berodde på isens mekaniska brytning.

Kashtel'jans /1/ klassiska bok av 1968 gjorde mycket för att skingra detta missförstånd. Ismotståndet uppdelades i en liten brytkomponent och stora sänk- och hastighetsandelar. En rationell modellförsöksteknik i saltvatten presenterades. Forskargruppen i Leningrad baserade fullt riktigt sitt arbete på modell- och fullskaleförsök. Som kritik kan idag sägas, att deras analytiska framställning är dimensionellt inhomogen och innehåller vissa helt felaktiga antaganden (såsom att sänkkomponenten härleddes från nedsänkning proportionellt med istjockleken i stället för fartygsdjupgången). Vidare identifieras den mekaniska friktionskoefficienten icke kvantitativt som en betydelsefull faktor.

Edwards & Lewis /2, 3/ saknade i början tillräckligt experimentmaterial, men började tillämpa dimensionsanalys på motståndskomponenterna och regressionsanalys på existerande illa spridda datapunkter.

Milano /4, 5/ utförde en helt teoretisk komponentanalys och datorsimulering. Bristen på experimentellt underlag och mycket komplicerad matematisk behandling som delvis inriktas på helt oväsentliga motståndsandelar, gör detta arbete föga användbart.

Utvecklingen vid Wärtsiläs laboratorium (WIMB) under dess två första verksamhetsår reflekteras i mitt arbete (Enkvist /6/). Angreppsmetoden är huvudsakligen experimentell och baseras på tre jämförelser modellförsök – fullskaleförsök. Motståndskomponenterna behandlas även med dimensionsanalys och deras grundmekanik diskuteras med stöd av enkla analytiska beräkningsexempel. Friktionskoefficientens stora betydelse behandlas kvantitativt. Den fortsatta utvecklingen vid WIMB belyses av Johansson och Mäkinen /7/ samt Mäkinen /8/. Den förstnämnda behandlar analysmetoder för modellförsök, samt modellförsöksserien med Great-Lakes skrov för MARAD. Längd och bredd samt förskeppslinjer har varierats. I den andra publikationen rapporteras bland annat om fullskaleprov för friktionsminskning.

Då databasen av modellförsök och fullskaleförsök ökar på WIMB får man möjligheter att behandla resultaten rent statistiskt, varvid korrelationen mellan försöksparametrarna provas utan att man på förhand antager kausala beroenden. Ett förberedande sådant arbete har gjorts av Soinenen /9/.

Arktiska och Antarktiska Institutets forskargrupp har nyligen utgivit dels en bok för konstruktörer, Kaschteljan /10/, dels en publikationssamling /11/ med ett flertal undersökningar som berör ismotstånd och besläktade frågor. Bland annat ställer Kaschteljan upp ett par enkla effektivitetstal för isbrytare. Ett kapitel av speciellt intresse i den förstnämnda boken behandlar krafterna vid fastkilning av fartyg i isen. Att man fäster avseende vid detta problem visar känsla för vilka frågor som är viktiga för praktisk vintersjöfart.

För övrigt kan publikationer förväntas av Vance (USCG) samt ev. Grim och Hattendorff (HSVA). De senare har ett islaboratorium som påbörjat sin verksamhet 1972.

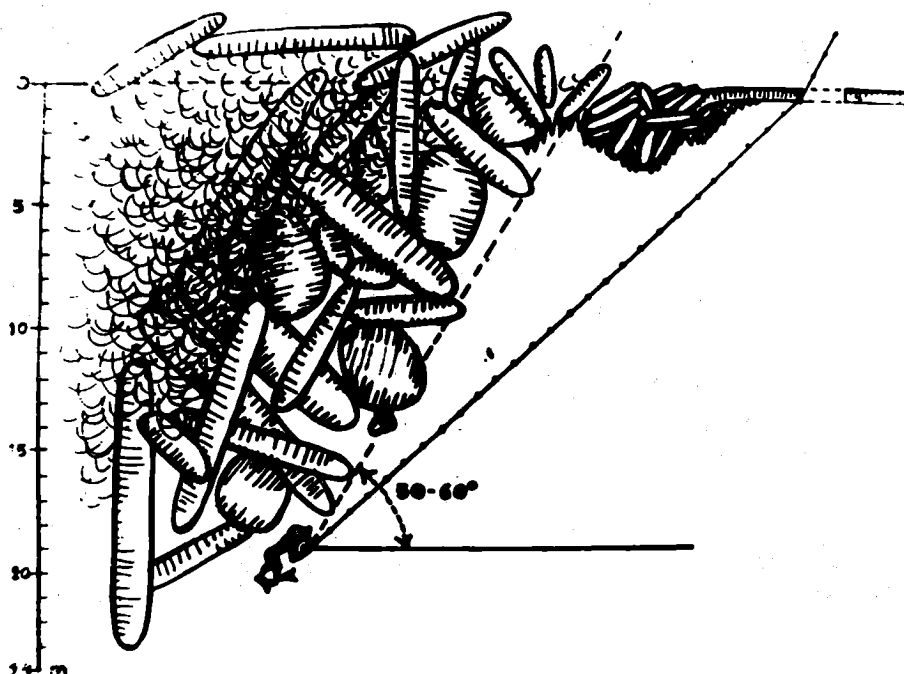
På WIMB eftersträvar man nu att få ett grepp om andra isförhållanden än jämn fastis. Sålunda har vallar simulerats (fig. 4). Genom att lägga isolering på gamla vallar kan ett vallfält successivt byggas upp. En serie operativa prov i sådana fält har inletts (fig. 5). Isbrytarbefäl anlitas för att manövrera modeller med olika slag av propulsions-, roder- och spolanordningar stötvis och kontinuerligt.

Ett annat sätt att försöka få ett grepp om praktisk-nautiska förhållanden är att uppgöra seglationsrutt-isprofiler och ur dem medelst motståndsberäkningsmetoder få fram rundresetider för transportekonomiska kalkyler /12/, (fig. 6). Metoden borde snarast jämföras med faktiskt uppnådda rundresetider.



Fram räddas ut.

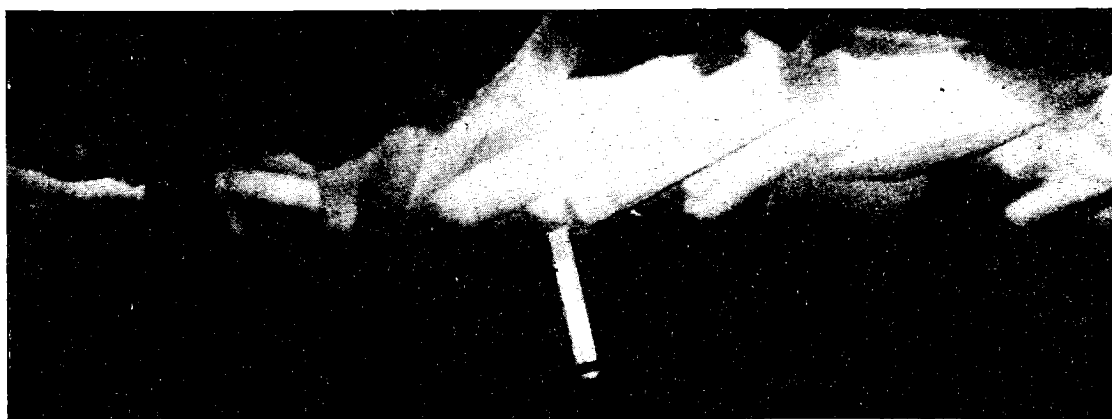
1. Nansens "Fram" befrias från is som tornat upp sig under skruvning 1895.



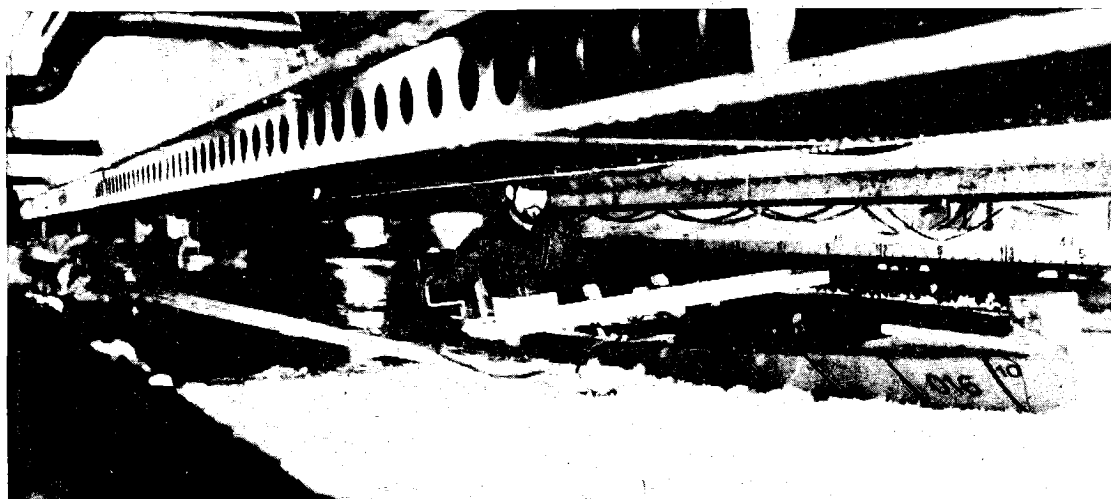
2. Dykarskiss av typisk östersjöpackisvall enligt Palosuo. Observera uppbyggnaden av lösa flak och isstycken.



3. Fartyg som är nära att skruvas ned av isen. Källa: Hans Blenner – Bengt Ohrelius: Isbrytare, Stockholm 1960.

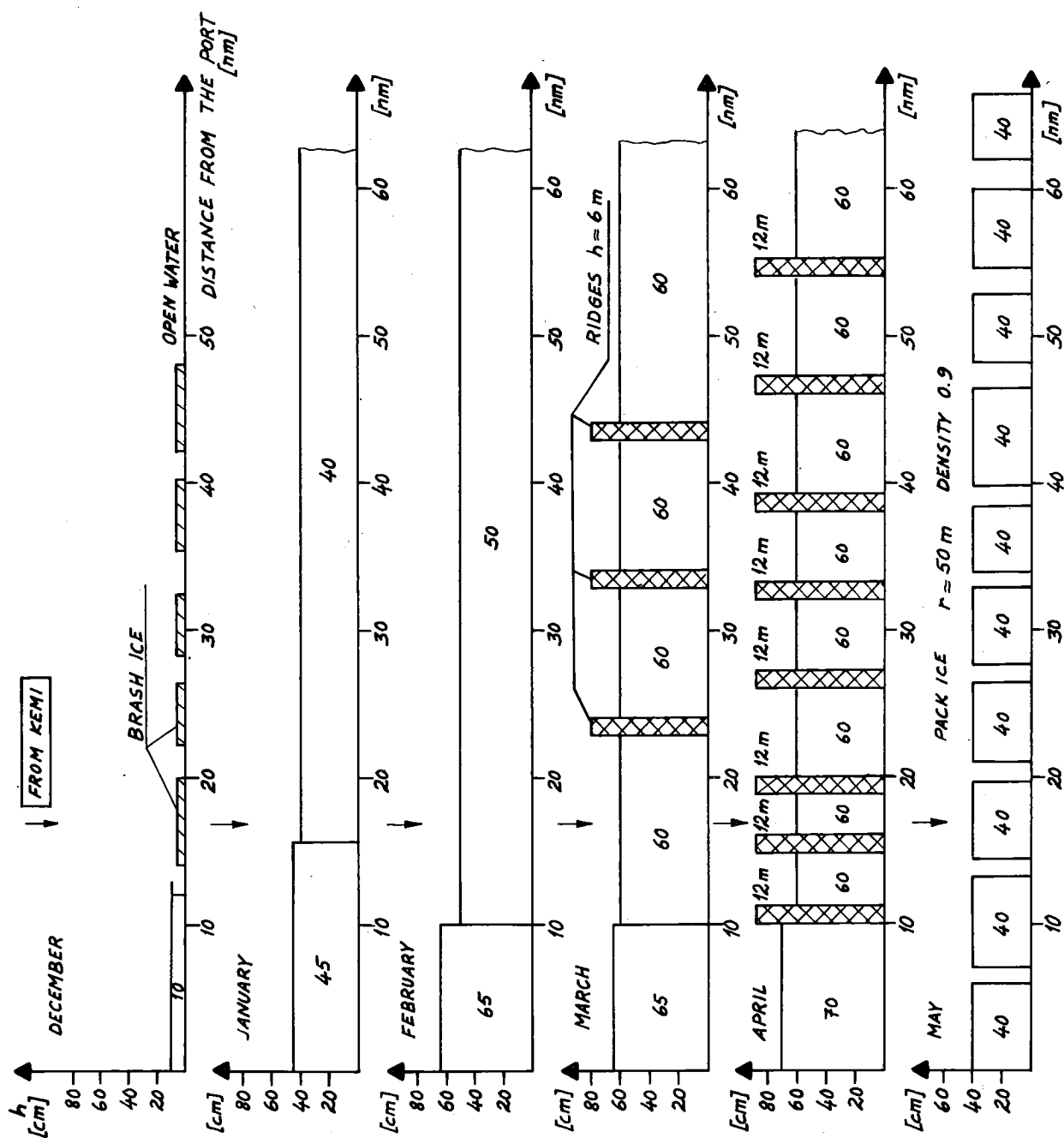


4. Undervattensbild av packisvall simulerad i tanken på WIMB.

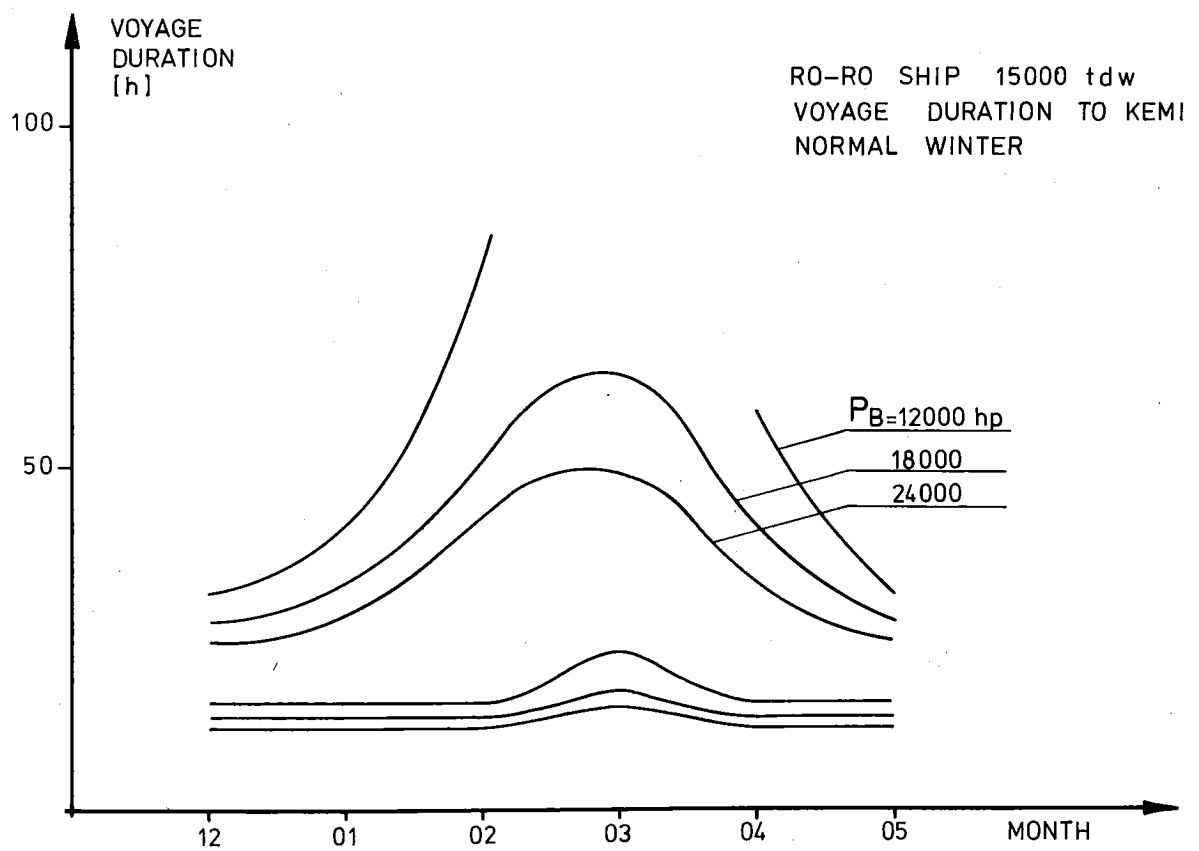
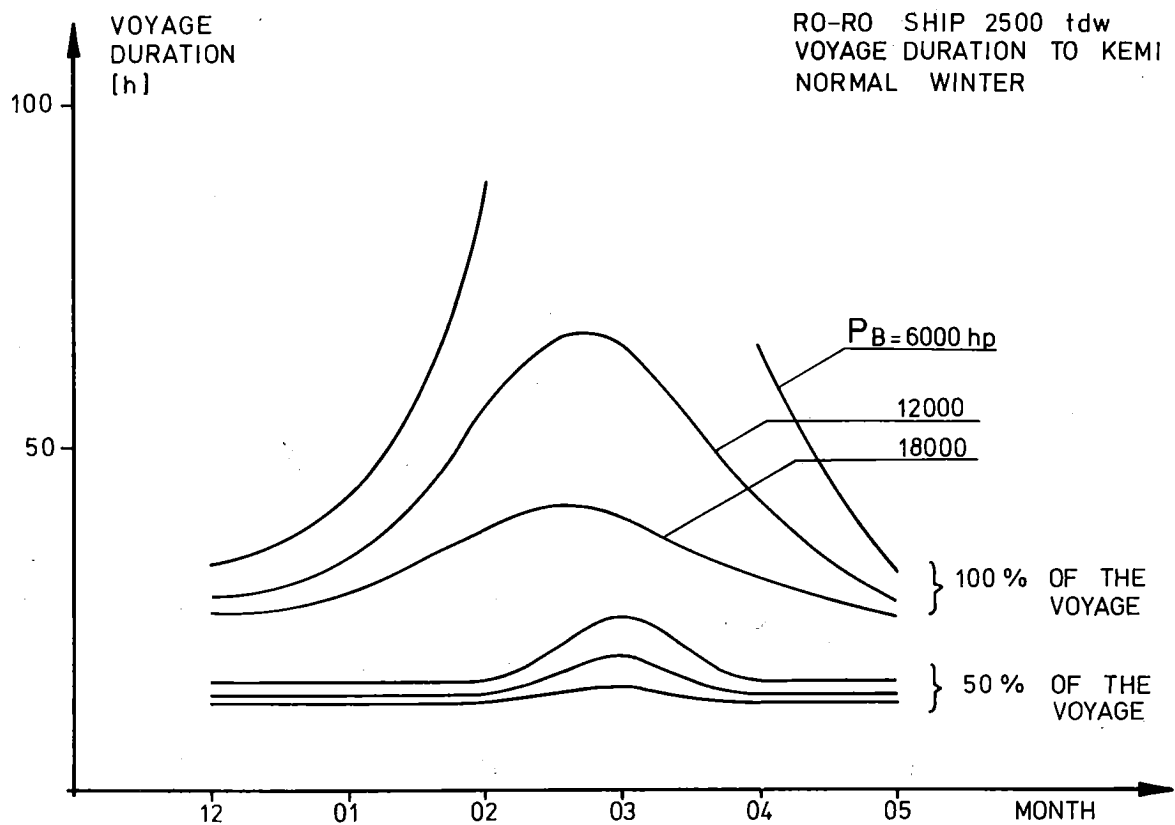


5. Örlogskapten Dag Lundman – f.n. befälhavare i svenska isbrytaren ALE – manövrerande en modell av en ny östersjöisbrytare i ett simulerat packisfält på WIMB.

THE PROFILES ARE
CONTINUED IN FIG. 6 B



6 A. Exempel på islägesprofiler för rundresetidberäkning Gotland–Kemi enligt [12].



6 B. Exempel på resultat av rundresetidberäkningar på basen av fig. 6 A.

Wärtsiläs islaboratorium (WIMB)

Laboratoriet beskrivs närmare i /13/. Fig. 7 visar generalarrangemang och dimensioner. Tankens uppkomst i samband med Manhattan-projektet är bara ett av exemplen på hur detta projekt stimulerat vintersjöfartsforskningen överallt trots att Essos planer på råoljetransport genom nordvästpassagen senare skrinlades.

Att på sex månader planera och bygga ett sådant laboratorium leder inte till optimalt resultat. Trots detta har laboratoriet varit i kontinuerligt bruk i snart fyra år, vilket bevisar ett stort behov av försöksdata, både internationellt och för Wärtsiläs egen produktion.

Modellisen framställs av saltvatten (10–30 ‰).

Vanligen besås ytan före frysning med färskvattenkristallisationskärnor (dimsprutning) (fig. 8). Poznjak /11/ rapporterar en nyutvecklad metod att efterbränna ytskiktet med stark saltlösning för att erhålla svag is med hög elasticitetsmodul. Erfarenheten vid WIMB visar också att detta vore mycket önskvärt och förberedande försök antyder att metoden är användbar. Frystemperaturen är vanligen -17°C . Ett istäcke per dygn kan frysas (max. tjocklek 70 mm).

Maximala modelldimensioner:

L_{Oa}	9.0 m
B_{max}	1,2 m

Modellerna öppenvattenprovas endast för att kunna subtrahera vattenmotståndet från totalmotståndet. Stark wall-effekt föreligger självfallet.

Modellerna körs vanligen med konstant hastighet men även en konstantkraftautomatik används. Propulsionsförsök utförs ibland. Maximala hastigheten i modellskala är 2.25 m/s.

Friktionsbehandlingen av modellerna är en kritisk nyckelfråga. Numera används på WIMB tre olika behandlingar: blanklackerad, mattslipad och beströdd med slipmedel i färskt lim. Friktionskoefficienternas absoluta värden har visat svag upprepningsduglighet.

Försöksteknikens utveckling

Då WIMB startades var utgångspunkten Kaschteljans bok /1/ enligt vilken tillfredsställande korrelation erhöles genom kubskalning av kraften (motståndet) förutsatt att:

Hastigheten skalats enligt	$\lambda^{1/2}$
Istjockleken skalats enligt	λ
Ishållfastheten skalats enligt	λ
Elasticitetsmodulen skalats enligt	λ
Friktionskoefficienten identisk med fartygets.	

(λ är den lineära skalfaktorn)

De första resultaten av jämförelser mellan modell- och fullskalemätningar var nedslående, fig. 9, med blank modell blev motståndet alldeles för litet, kurva B. Då modellen friktionsbehandlades blev lutningen (hastighetsberoendet) för liten, kurva C. Isens elasticitetsmodul var i själva verket för liten. Detta resulterar enligt /6/ i en korrektion, kurvan sänks i sin helhet, kurva D. Då friktionskoefficienten ytterligare ökas, uppnås tillfredsställande överensstämmelse, kurva E.

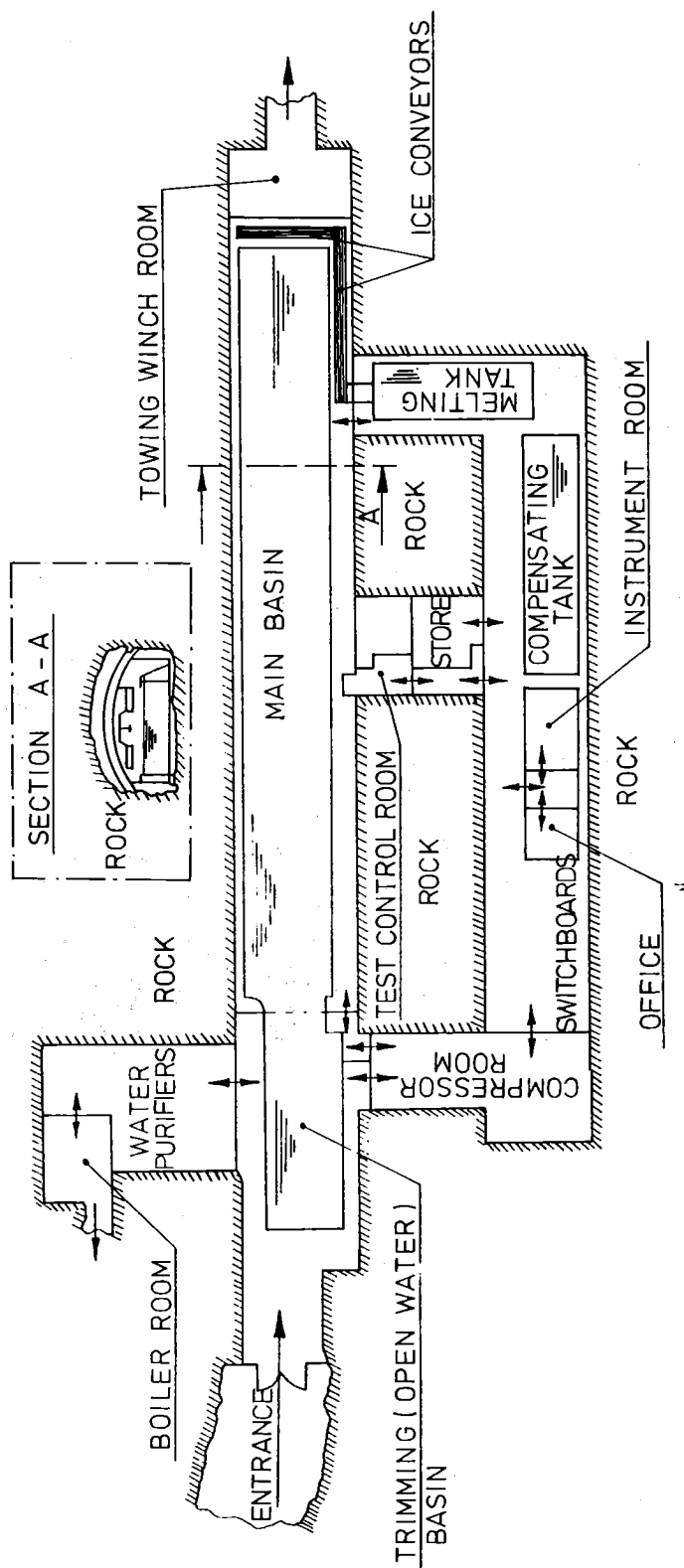
Denna något schematiska framställning sammanfattar de två första årens utveckling vid WIMB, se /6/. I själva verket jämfördes modell- och fullskaleförsök för att "bakvägen" ta fram den "faktiska" friktionskoefficient som leder till god korrelation. Det faktum att denna friktionskoefficient är hög, ca 0.3 (rörelsefriktion) väckte omedelbart allvarliga reflektioner om att isbrytare borde vara slätare om bogarna.

WIMB har nu tillgång till både fullskale- och modellförsök för fem fartyg av olika form. Detta antal kommer att ökas så snart tjänligt isläge föreligger.

Själva prognosteknikens utveckling, som ledde till ett beroende av erfarenhetsmässigt framtagna friktionskoefficienter, påminner otvivelaktigt om motsvarande utveckling beträffande vattenmotståndet och nödvändiga fullskalepåslag på vätskefriktionsmotståndet. Tyvärr har det också visat sig att den mekaniska friktionskoefficient som skall väljas för att man skall erhålla en riktig prognos, är beroende av modellskalan, vilket antyder att friktionskoefficienten får stå för en del okända skaleffekter och outredda beroenden mellan motståndets antagna komponenter.

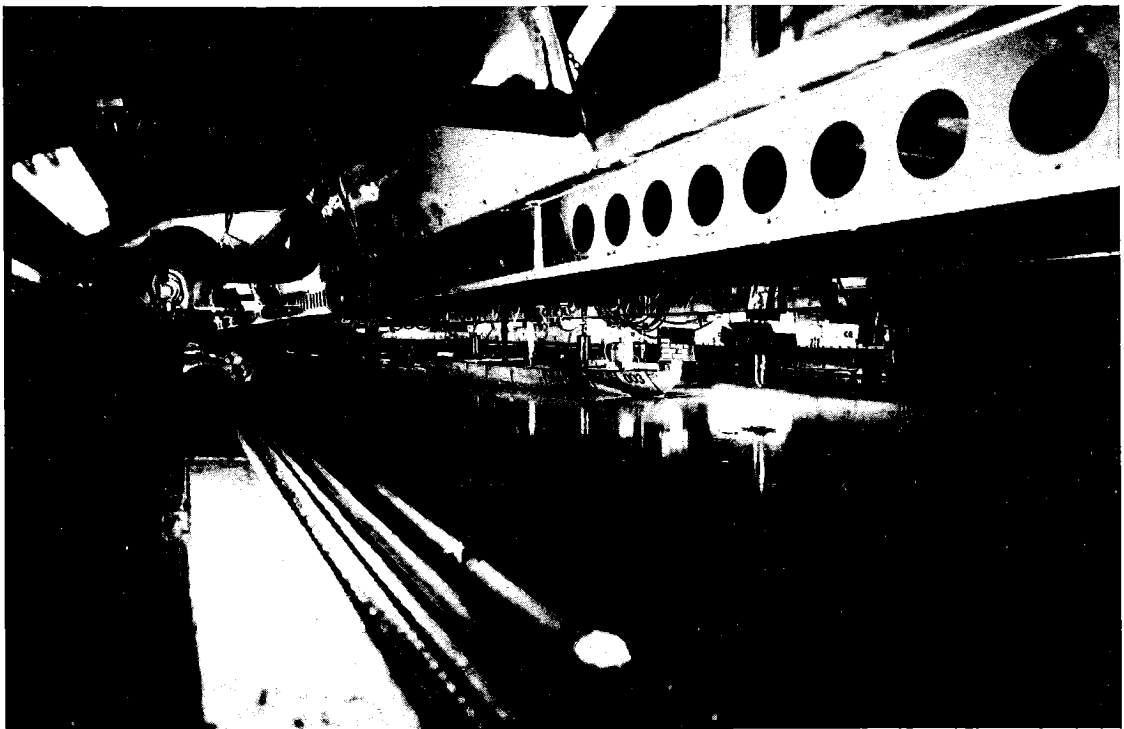
Det har visat sig svårt att utföra ismodellförsök i modellis av skalenlig hållfasthet, elasticitetsmodul och med riktig friktionsbehandling av skrovet. I stället utförs fullständiga serier med tre friktionsbehandlingar och 2–3 is hållfastheter. Då man beaktar att variablerna ytterligare utgörs av 3 istjocklekar och 3–4 hastigheter inser man vilket monumentalt företag det är att genomföra en fullständig försöksserie i jämn fastis. Dagligen körs 2–3 hastigheter i en istjocklek och en hållfasthet. Ur en fullständig serie kan man interpolera till önskad is hållfasthet, friktion och tjocklek. I framtiden strävar man till att endast använda en (realistisk) ytbehandling.

En viktig typ av prov, som görs på WIMB är körning med låg fart i försågad ränna. Detta innebär att isen på förhand sågats till flak av den storlek och form som modellen bryter vid låg fart. Flaken trycks ned längs bogarna kant i kant i sin ursprungliga ordning, på samma sätt som vid brytning av osågad is, fig. 10. Av resultatet framgår det rena sänkmotståndet.

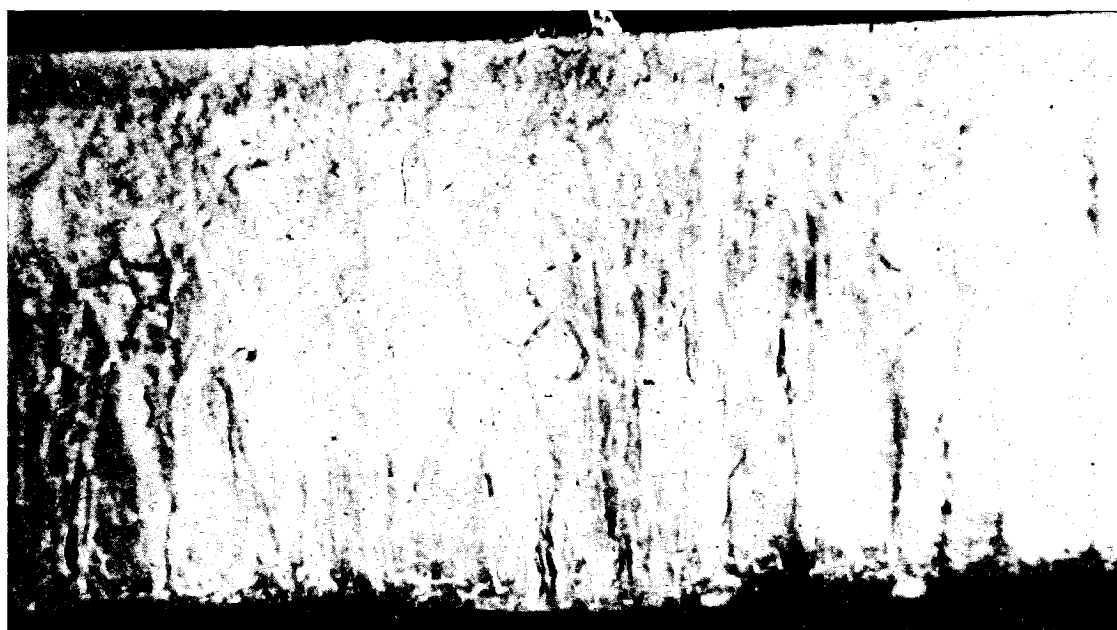


BASIN DIMENSIONS

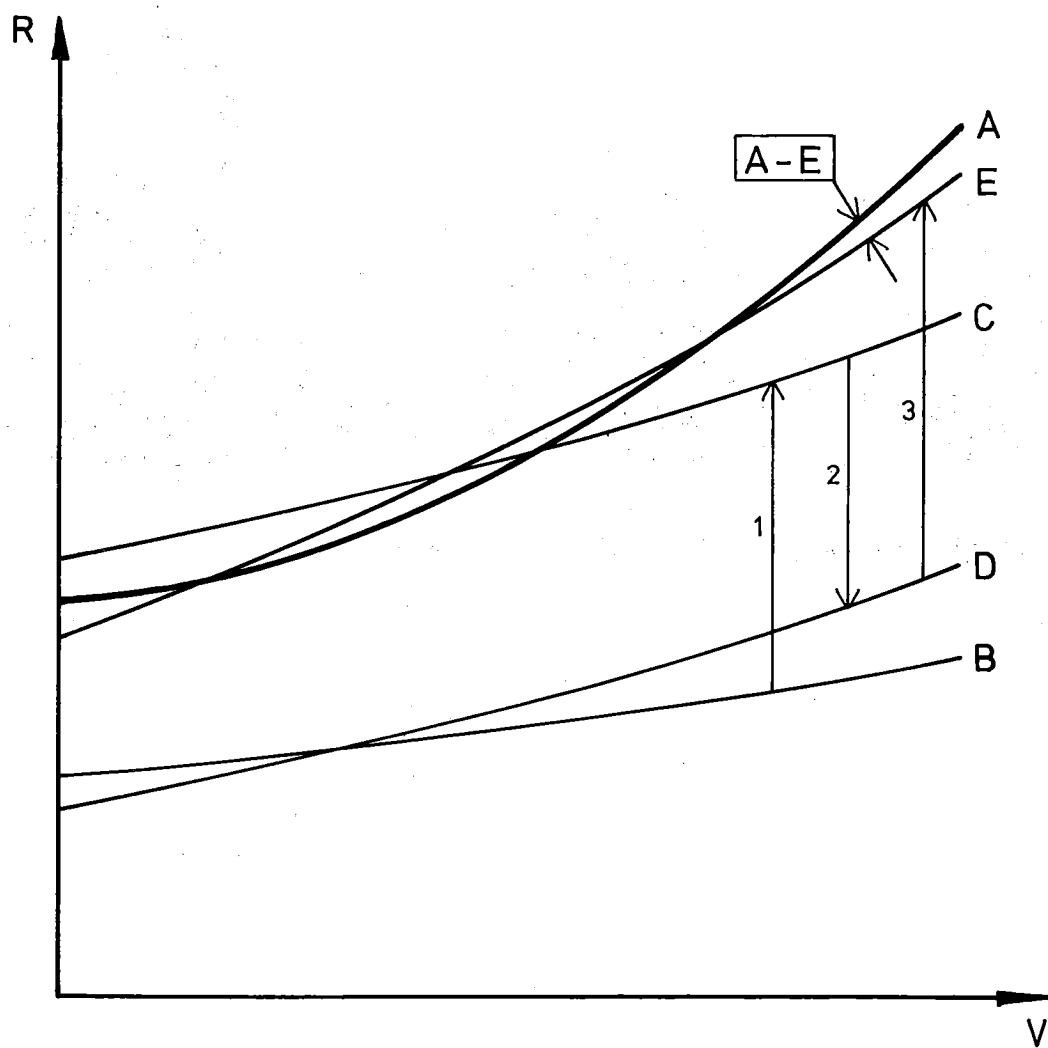
LENGTH OVERALL	51 m
LENGTH, ICE BASIN	39 m
WIDTH	4.8 m
WATER DEPTH	1.15m



7 B. Modell brytande jämn fastis på mätsträckan på WIMB.



8. *Sektioner av 24 mm modellis. Den övre bilden visar naturligt frusen is med stora kristaller, den nedre visar is med fina nålkristaller som följd av frysning med artificiella kristallisationskärnor. Observera det 3 mm tjocka ytskiktet i båda fallen.*



9. Schematisk framställning av prognosteknikens utveckling, se förklaringar i text.



10. Undervattensbild av isbrytarmodell under gång i jämn fastis. Observera skiktet av is som täcker förskeppet med flaken i sin ursprungliga ordningsföljd.

Ismotståndets huvudkomponenter

För tekniska ändamål försöker man om möjligt uppdelat motstånd i separata av varandra oberoende komponenter. Liksom i fråga om öppenvattenmotstånd vet man att ismotståndets termer inte är helt oberoende av varandra, och den matematiska modellen låter sig med lätthet kompliceras obegränsat. Den rådande uppfattningen om en lämplig teknisk förenkling omfattar följande komponenter (se även /6/):

1. Motstånd på grund av isens mekaniska brytning
2. Motstånd på grund av den brutna isens nedsänkning
3. Motstånd som är beroende av fartygets hastighet

De två första komponenterna är som synes enkelt och klart kausala, medan den tredje sammanfattar motstånd, som beror på flera olika fysikaliska fenomen och endast har det gemensamt, att de på ett eller annat sätt beror av fartygets hastighet.

Var och en av dessa komponenter beror delvis på den mekaniska friktionen mellan skrov och is. Friktionsmotståndet är alltså icke någon separat term. Varje motståndskomponent åstadkommer en normalkraft och därigenom även en friktions-tangentialkraft.

I /6/ härleds följande dimensionslösa uttryck:

$$R' = [1 + C_{\mu}(\mu)] [C_{\sigma}(S_{\sigma}, G_T) + C_S + C_V(F_T, G_T)]$$

$$R' = \frac{R_{TOT}}{BhTg_{\Delta}g} = \text{Specifikt ismotstånd}$$

$$S_{\sigma} = \frac{\sigma}{Tg_{\Delta}g} = \text{Hållf. - gravitationskraft förhållande}$$

$$F_T = \frac{V}{\sqrt{gT}} = \text{Froudes tal för djupgång}$$

$$G_T = \frac{T}{h} = \text{Djupgång - tjockleksförhållande}$$

$$C_{\sigma} = \text{Specifikt brytmotstånd}$$

$$C_S = \text{Specifikt sänkmotstånd}$$

$$C_V = \text{Specifikt hastighetsberoende motstånd}$$

$$C_{\mu} = \text{Funktion för inverkan av mekanisk friktion}$$

$$B = \text{Fartygsbredd}$$

$$T = \text{Djupgång}$$

$$h = \text{Istjocklek}$$

$$\sigma = \text{Ishållfasthet}$$

$$\delta_{\Delta} = \text{Skillnad mellan vattnets och isens täthet}$$

$$V = \text{Fartygets hastighet}$$

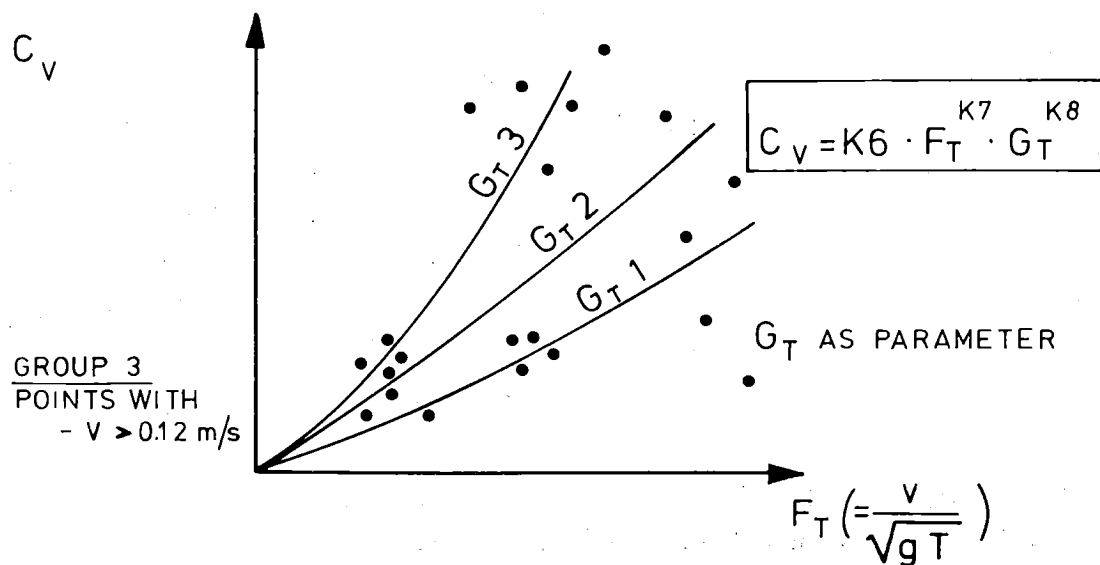
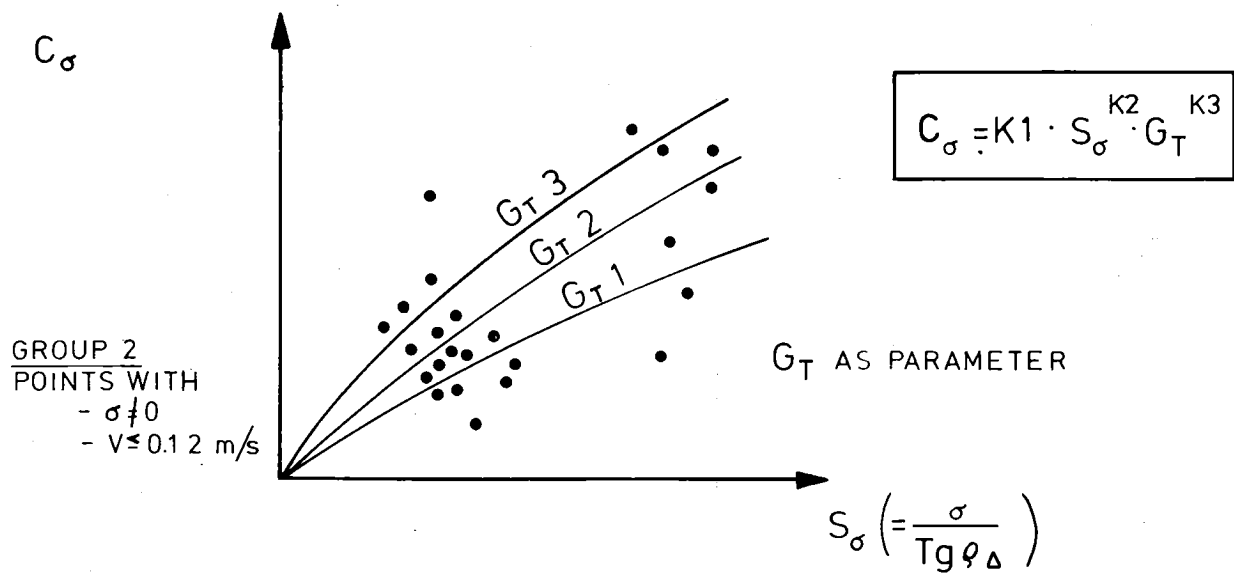
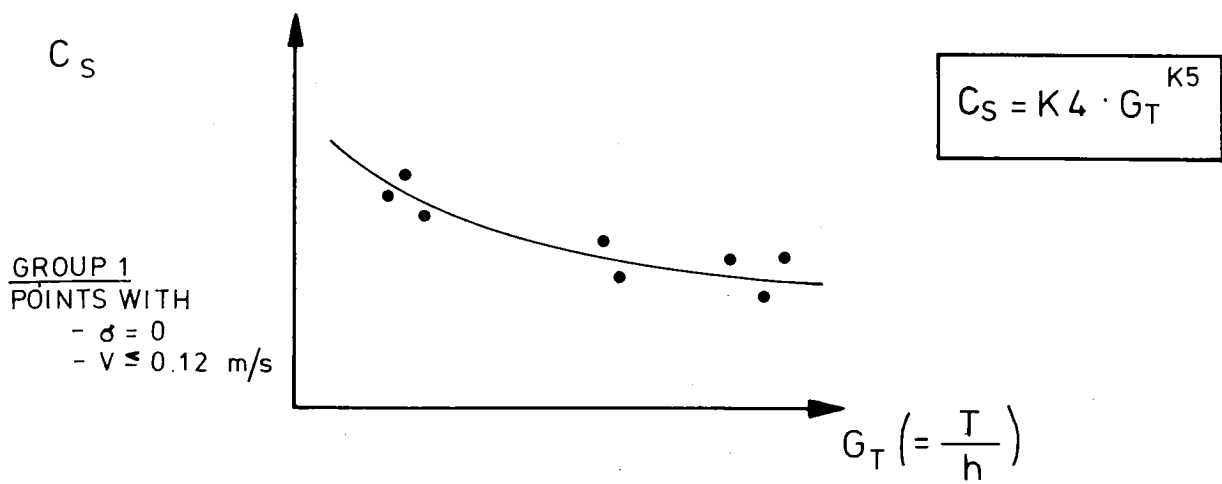
$$R_{TOT} = \text{Totalt ismotstånd}$$

Till detta kan tilläggas, att C_{μ} helst borde tillämpas separat på varje term. I WIMB's nuvarande praxis bestäms C_S separat som funktion av G_T . Vidare kan påstås att G_T borde reverseras så att T är nämnaren.

Vid uppställning av dimensionslösa uttryck för praktiska ändamål bör man givetvis eftersträva att funktionerna skall vara möjligast okänsliga för parameterkombinationerna i respektive förhållanden. Ovanstående uttryck uppfyller icke detta krav. Om man har bestämt funktionerna för en försöksserie med en form och sedan försöker uppskatta t.ex. inverkan av en djupgångsförändring genom att bara insätta en ny djupgång i uttrycket blir resultatet alldeles orealistiskt. Utan fullständiga uppsättningar av kurvor för de specifika motstånden som funktion av samtliga parametrar får man inte använda uttrycket som en "formel för ismotståndet".

Fig. 11 visar hur komponenterna behandlas med en tredelad regressionsanalys enligt nuvarande praxis på WIMB.

Fig. 12 visar komponenternas fördelning i några fall. Kännedom om komponenternas storlek är en utgångspunkt för åtgärder för att minska motståndet. Fig. 13 visar hur stor betydelse den mekaniska friktionen har. Brytkomponenten är av allt att döma minst viktig.



11. Schematisk framställning av den tredelade regressionsanalysen för bearbetning av modellförsök.

FINNCARRIER

$$h_s = 0,6 \text{ m}$$

$$\delta_s = 4 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$E_s = 20000 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$\delta_M = 0,2 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$E_M = 112 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$\lambda = 20$$

$$(C_{sM} \text{ \& } C_{sS} = 2,70)$$

JELPPARI

$$h_s = 0,15 \text{ m}$$

$$\delta_s = 1,9 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$E_s = 3200 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$\delta_M = 0,38 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$E_M = 213 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$\lambda = 5$$

MOSKVA

$$h_s = 0,7 \text{ m}$$

$$\delta_s = 5 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$E_s = 20000 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

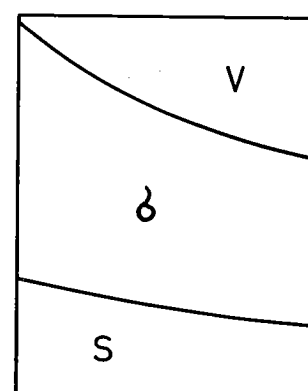
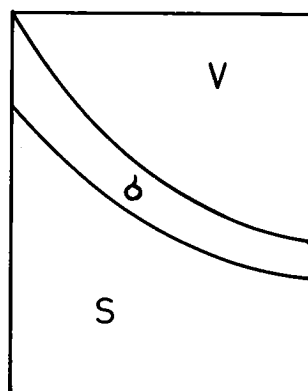
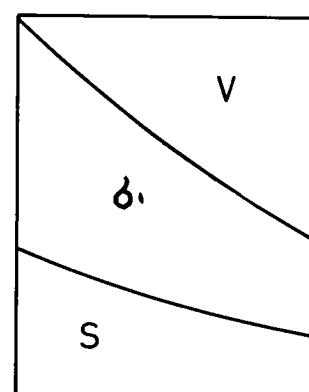
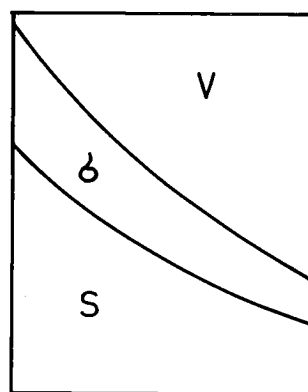
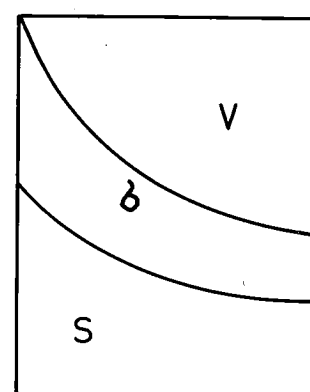
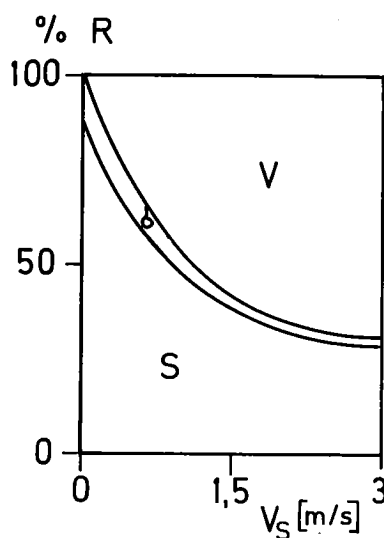
$$\delta_M = 0,20 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$E_M = 112 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$\lambda = 25$$

SHIP

MODEL

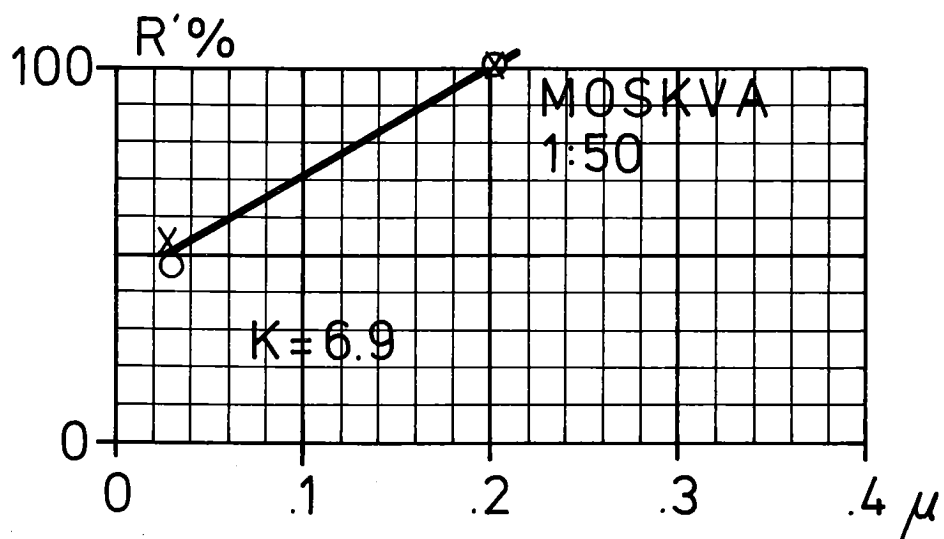
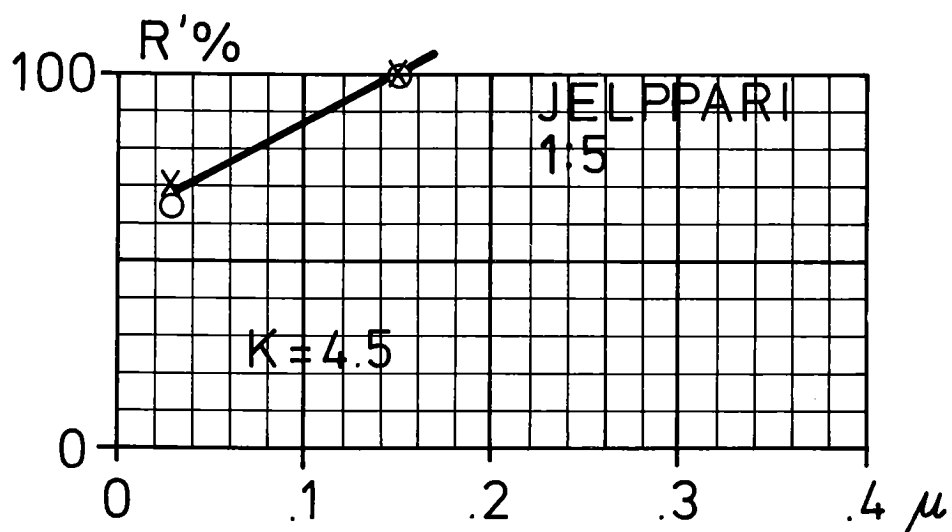
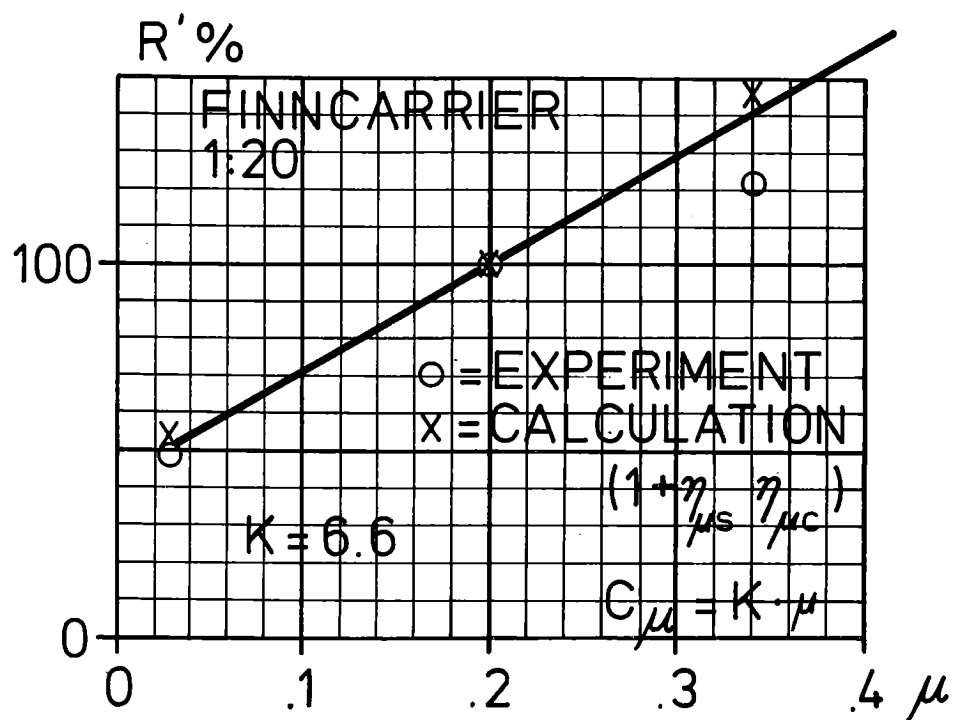


S = SUBMERSION RESISTANCE PERCENTAGE

δ = BREAKING RESISTANCE PERCENTAGE

V_S = VELOCITY RESISTANCE PERCENTAGE

12. Fördelningen av ismotståndets komponenter enligt [6].



13. Den mekaniska friktionskoefficientens relativa inverkan på totala ismotståndet enligt [6].

Möjligheter att minska ismotståndet

För närvarande anser vi på WIMB att den mest lovande möjligheten att i en snar framtid åstadkomma praktiska resultat i form av betydande ismotståndsreduktion består i minskning av den mekaniska friktionen mellan skrov och is.

Detta kan dels ske genom att på redan brukligt sätt minska normalkrafterna eller avlägsna snö genom vattenspolning. Spolning kan dels åstadkommas med förpropellrar, dels bubblingssystem. Även andra metoder har provats. Dels kan det ske genom att göra skrovets yta slätare.

Fig. 14 visar hur förpropellrar spolar undan brutna flak. Men ansåg tidigare att förpropellrar minskar motståndet väsentligt i jämn fastis. Åsikten baserade sig på fullskaleobservationer med stoppade och roterande förpropellrar, fig. 18. I modellskala konstaterades dock att de förliga axelbärarna på sätt som visas på fig. 16 åstadkommer ett tilläggsmotstånd, fig. 17. På de under byggnad varande svenska och finska östersjöisbrytarna, har de förliga bossarna på basen av modellförsök getts en utformning som eliminerar en stor del av detta tilläggsmotstånd. Förpropellrar är tveklöst mycket effektiva då isbrytaren med kontinuerlig fart utan stötar skall forcera ett packisfält av östersjötyp med hoppressade lösa isstycken. Däremot är de till hinder vid arbete med stötar, speciellt i överårig artisk is.

Wärtsiläs bubblingsanordning, se fig. 18, åstadkommer en uppåtriktad vattenström längs skrovet. Fullskaleförsök med anordningen har tillsvidare endast utförts med "Finn-carrier", fig. 19. Dessa visade en ca 60 % motståndsreduktion vid statisk start och nästan ingen reduktion vid över tre knops fart. Prov i packisvallar har visat ökad rörelseförmåga framåt och förbättrad möjlighet till lösgörning vid backgång efter fastkilning. Bubblingsanläggningar har utom på tre fartyg av Finn-carrierklass beställts för installation på fyra andra fartyg av olika storlek och typ. Nya fullskaleprovresultat kommer därför snart att föreligga.

Fig. 20 visar en vid WIMB provad anordning för vattenspolning uppifrån. Resultatet uppmuntrar icke till fortsatt utveckling av projektet.

En speciell kategori av friktionsminskande anordningar åstadkommer en från vanlig framfart avvikande rörelse hos skrovet i förhållande till isen. Krängningstankar och vibrationsväckande excentrar hör till denna grupp. Man har ofta konstaterat att dessa förvandlar vilofriktion till rörelsefriktion. Dessutom kan det påvisas att de i teori eliminerar rörelsefriktionen vid oändligt låg fart. Detta bygger på följande resonemang: Om ett föremål på en plan yta med mekanisk friktion under inverkan av en kraft A rör sig längs planet, och man sedan ytterligare applicerar en liten kraft B t.ex. vinkelrätt mot kraften A, så börjar föremålet röra sig i resultantens riktning oberoende av att kraften B är för liten att ensam uppehålla rörelsen. Detta betyder i praktiken att den största istjockleken en isbrytare kan bryta kontinuerligt vid krypfart ökar väsentligt på grund av dessa anordningar. Däremot saknar de betydelse vid högre fart.

Såsom nämnts har man vid jämförelse mellan modell- och fullskaleprov härlett fullskalefriktionskoefficienter av storleksordningen 0.3. Modellförsöken visar stor känslighet för modellytans behandling. Jämfört med blank lackering resulterar mattslipning i ca 50 % motståndsökning, fig. 21. Verkliga isbrytarbordläggningsplåtar är ofta extremt skrovliga på grund av korrosion.

Vintern 1972 gjordes i samarbete med kustbevakningen fullskaleförsök i 35 cm snötäckt is med kuttrarna Silmä och Valpas. Dessa är i det närmaste systerfartyg, men "Valpas" var ny och hade en vällyckad, slät epoxibehandling, medan "Silmä" är byggd 1963 och hade en grov, korroderad bogyta. Resultaten visas på fig. 22. "Silmäs" motstånd var nästan dubbelt så högt. Proven skedde samma dag i samma fält.

Vintern 1973 kläddes bogserbåten Jelpparis bogar med påsvetsad rostfri plåt, fig. 23. Resultaten av fullskaleprov med och utan plåt visas på fig. 24. Trots att plåtens verkan vid högre fart är oväntat liten, är skillnaden totalt sett bestickande.

På WIMB genomförs nu i samråd med olika beställare preliminära prov för att utröna slitstyrka och korrosionsegenskaper hos olika organiska och metalliska beläggningar.

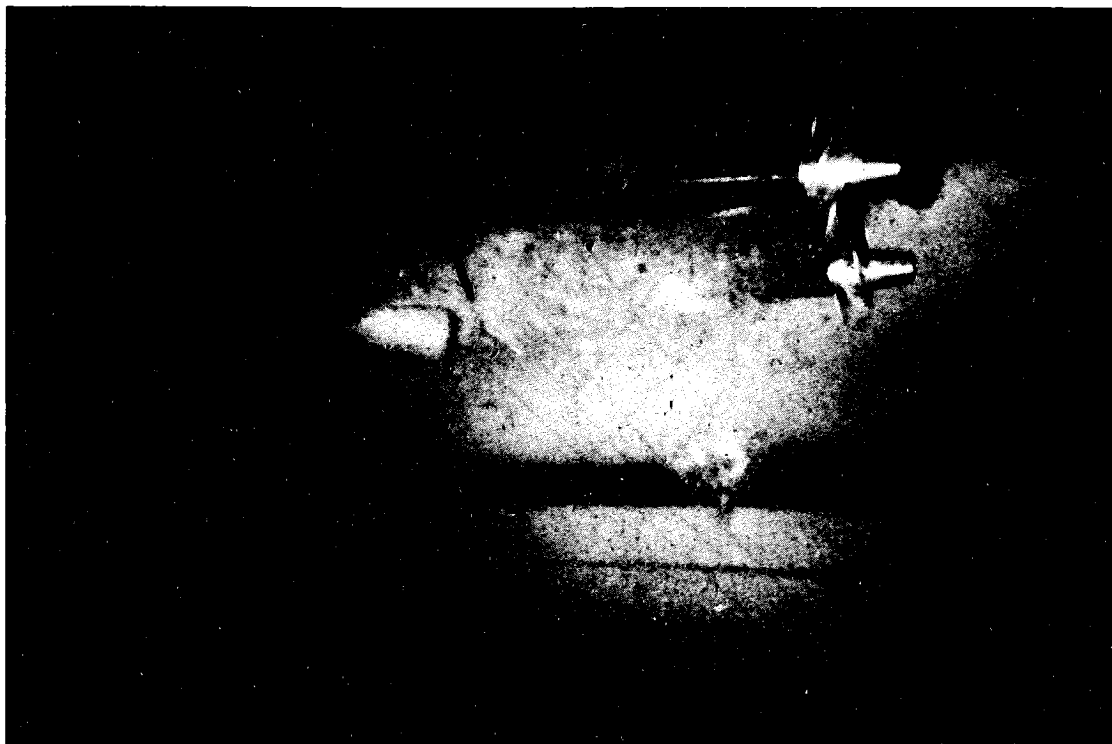
Fig. 25 visar en modell försedd med "medar" dvs. fenderlister. Preliminära prov på WIMB visar en viss motståndsreduktion. Försöken kommer att fortsättas.

Formens inverkan är icke betydelselös, men möjligheterna till märkbart förbättrad isbrytarform synes små. Fig. 26 enligt analytisk beräkning i /6/ visar inverkan av de viktigaste förskeppsvinklarna. Trubbig vattenlinje är enligt dessa resultat till fördel. En kantig "landstigningsfartygs"-för är extremfallet av trubbig vattenlinje. Sådana resultat måste verifieras i olika förhållanden för att kunna godtas för praktiskt bruk.

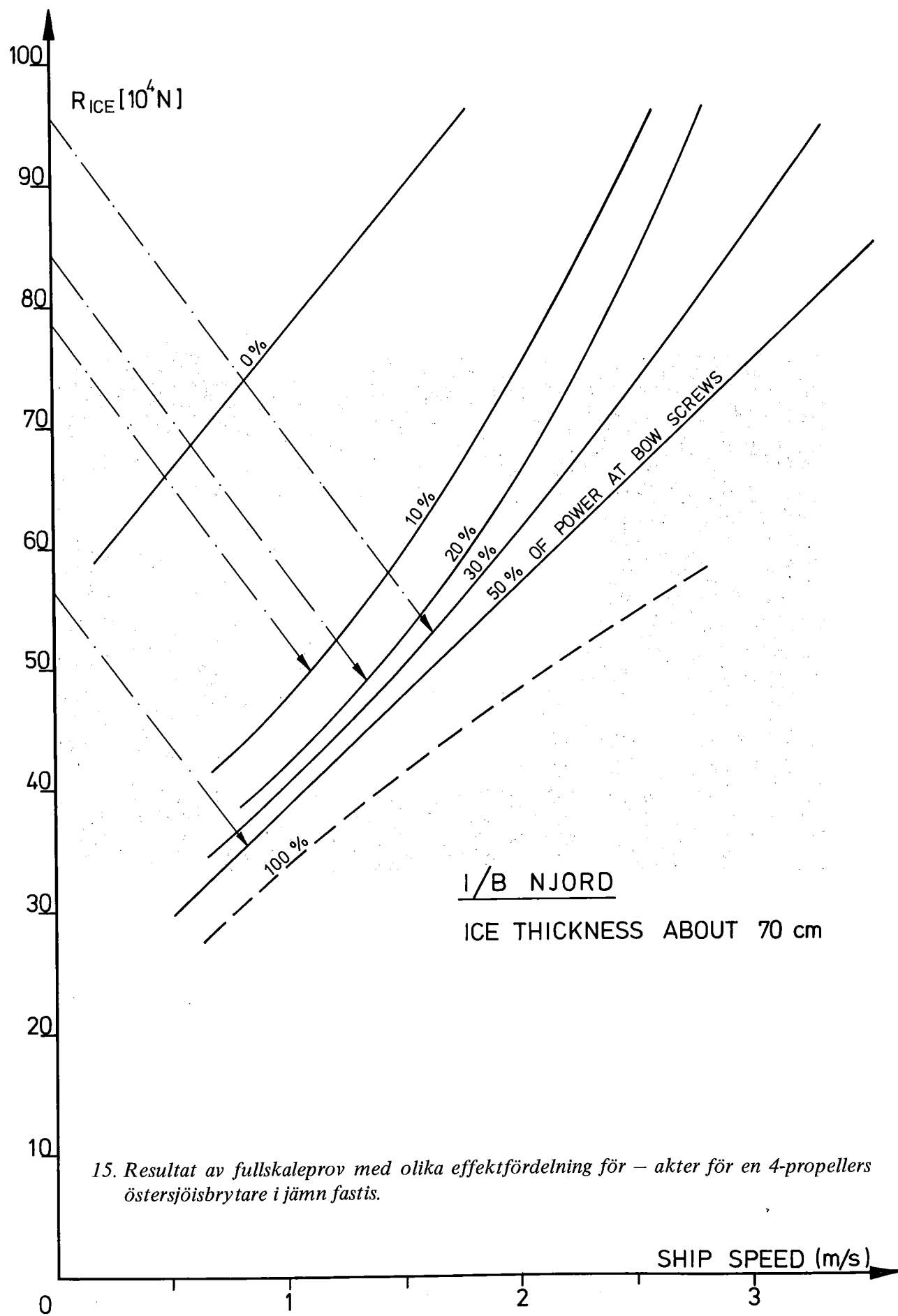
Fig. 27 visar förenklat modellförsöksresultat med en serie olika stäv- (och vertikal-) vinklar enligt /7/. Som synes är vinsten av små vinklar tvivelaktig för lastfartyg med krav på hög fyllighet.

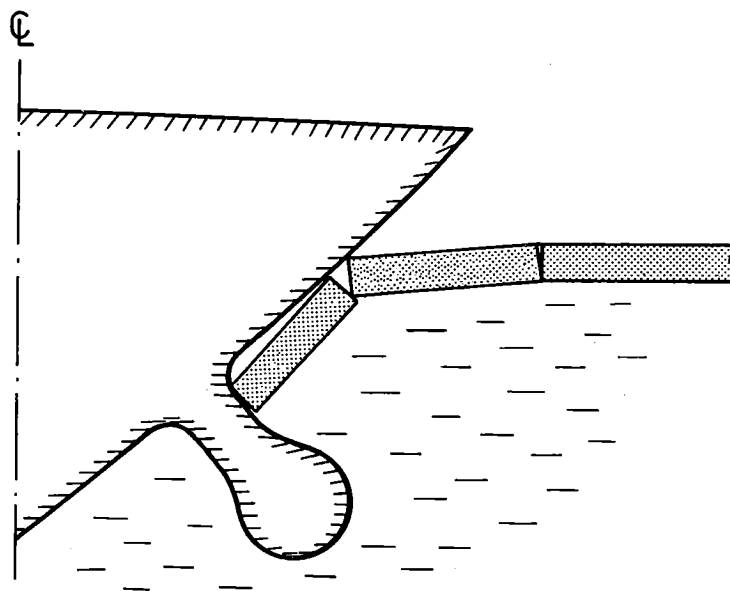
Nyligen gjordes på WIMB en serie preliminära försök med en landstigningsför och en cylindrisk för, fig. 28. Resultaten visas på fig. 29. Landstigningsfören uppfyller icke de förväntningar man kan ställa på den enligt fig. 26. Den cylindriska fören är helt jämförbar med en mera klassisk form, men har högre fyllighet och är därigenom intressant. Problem vid utbrytning ur ränna kan befaras med denna form.

För övrigt kan påpekas att friktionens inverkan är beroende av skrovformen. I teori saknar skrovformen betydelse för medelismotståndet vid kontinuerlig brytning om friktionskoefficienten = 0 (se /6/). Detta kan tänkas resultera i modifierad praxis beträffande val av förskeppslinjer ifall man lyckas åstadkomma mycket släta och hala skrov.



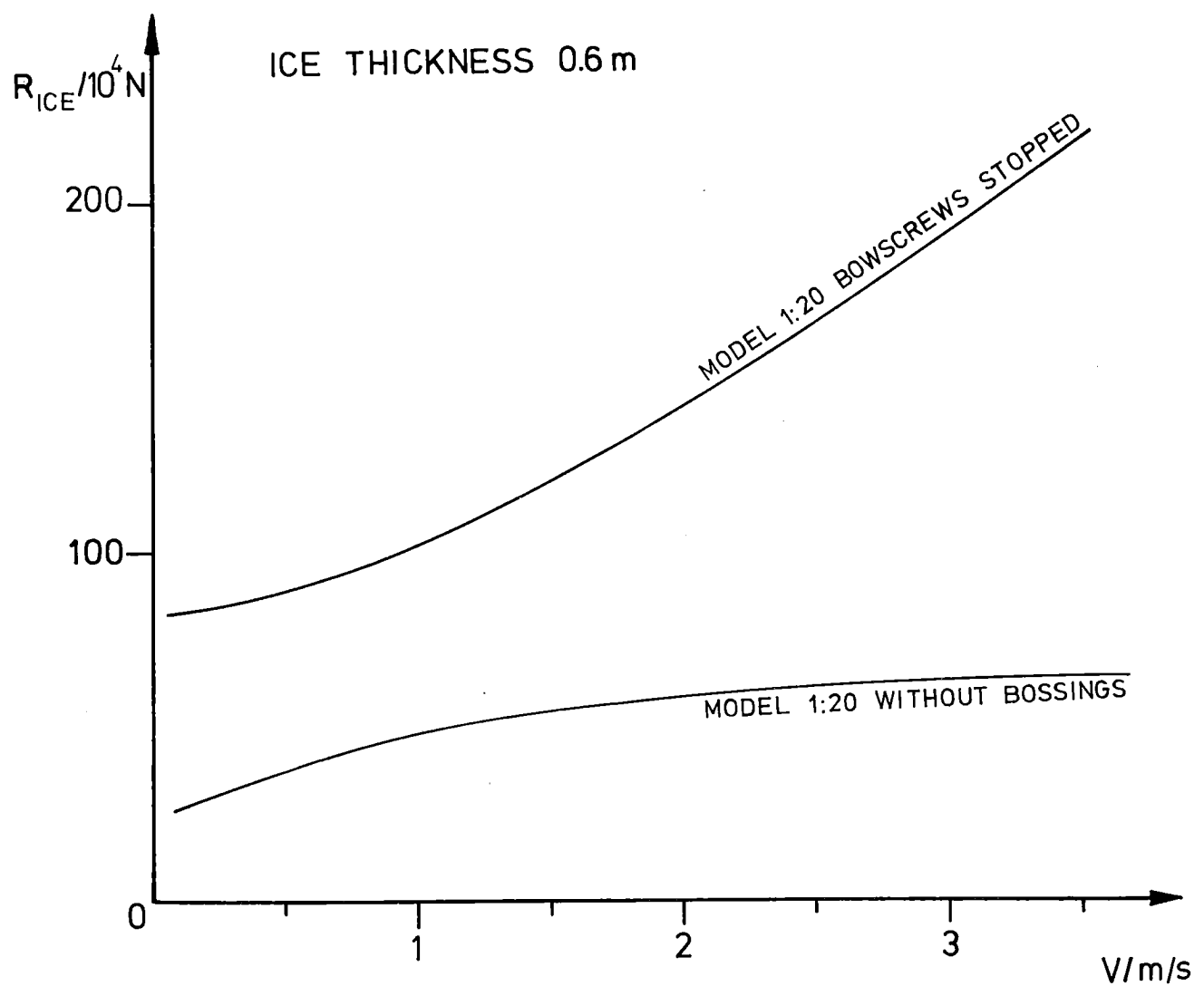
14. Undervattensbild av förpropeller i arbete bortspolande is kring bogarna, WIMB.



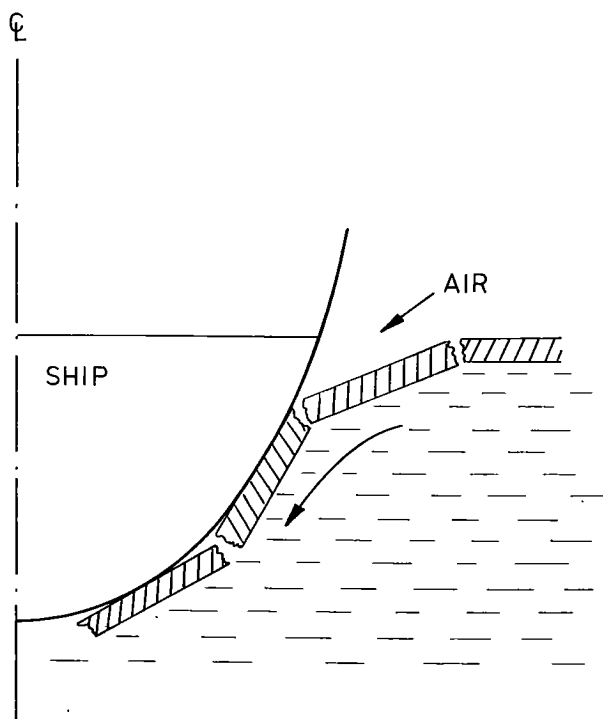


16. Principen för uppkomst av motståndsökning då förliga axelbäraren förhindrar den brutna isens fria förskjutning ned längs bogarna.

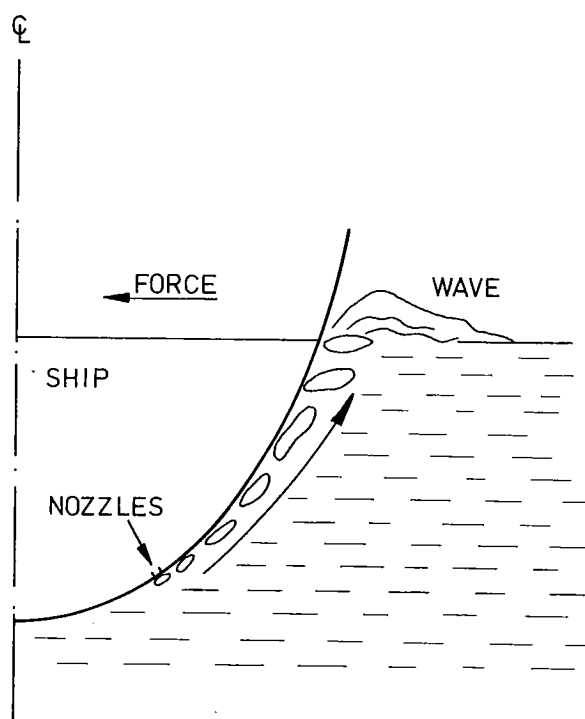
I/B VARMA



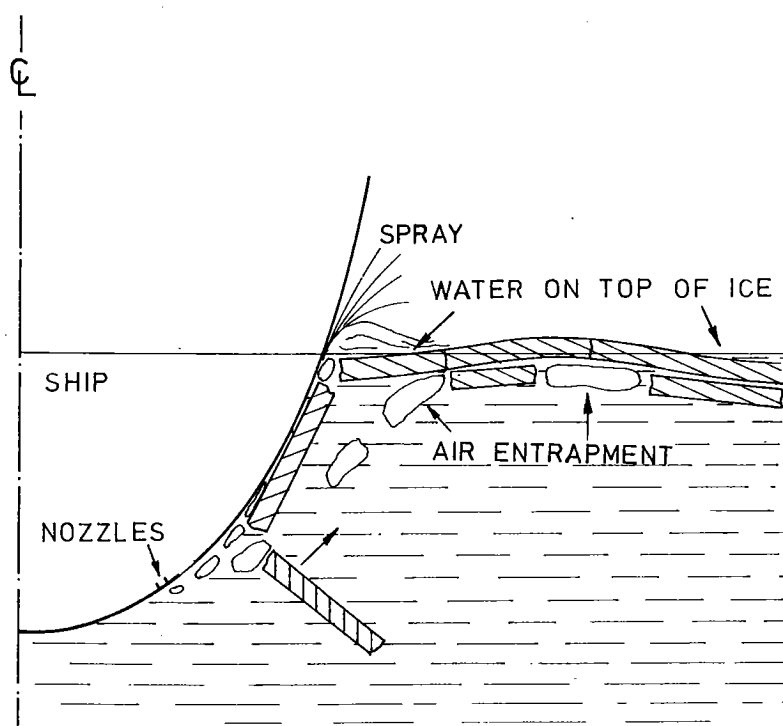
17. Huvudsakliga modellförsöksresultat beträffande bossarnas motståndsökning.



NO BUBBLER
ICEBREAKING

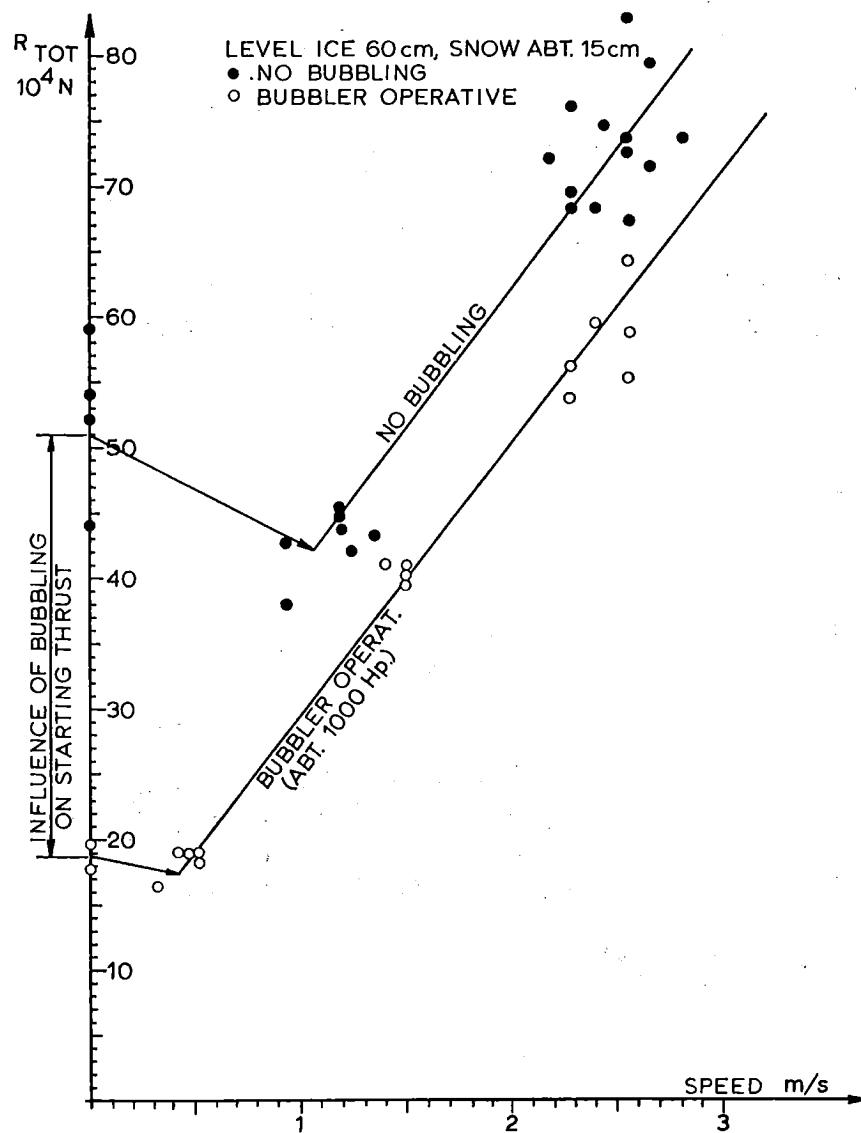


BUBBLER IN
OPEN WATER

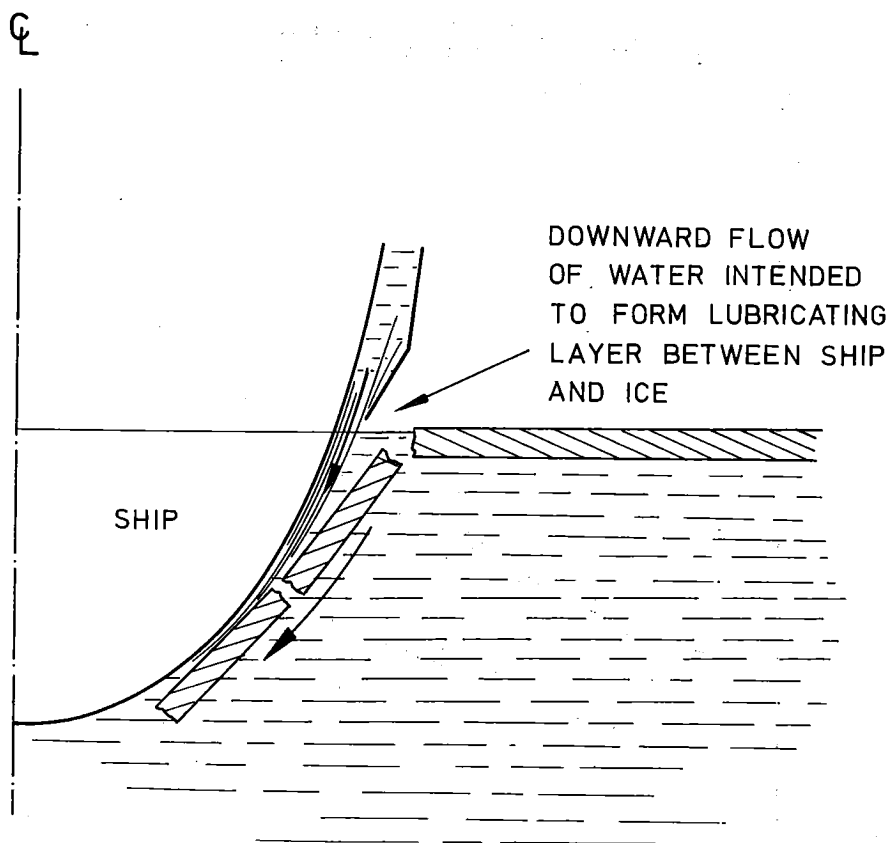


BUBBLER IN ICE
(LOW SPEED)

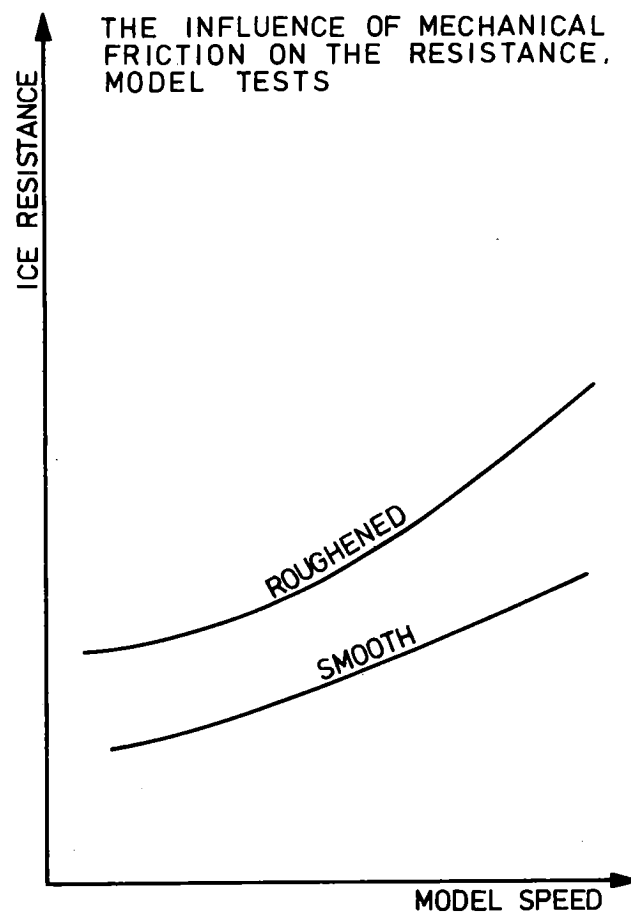
18. Princip för Wärtsilä spolningsanordning.



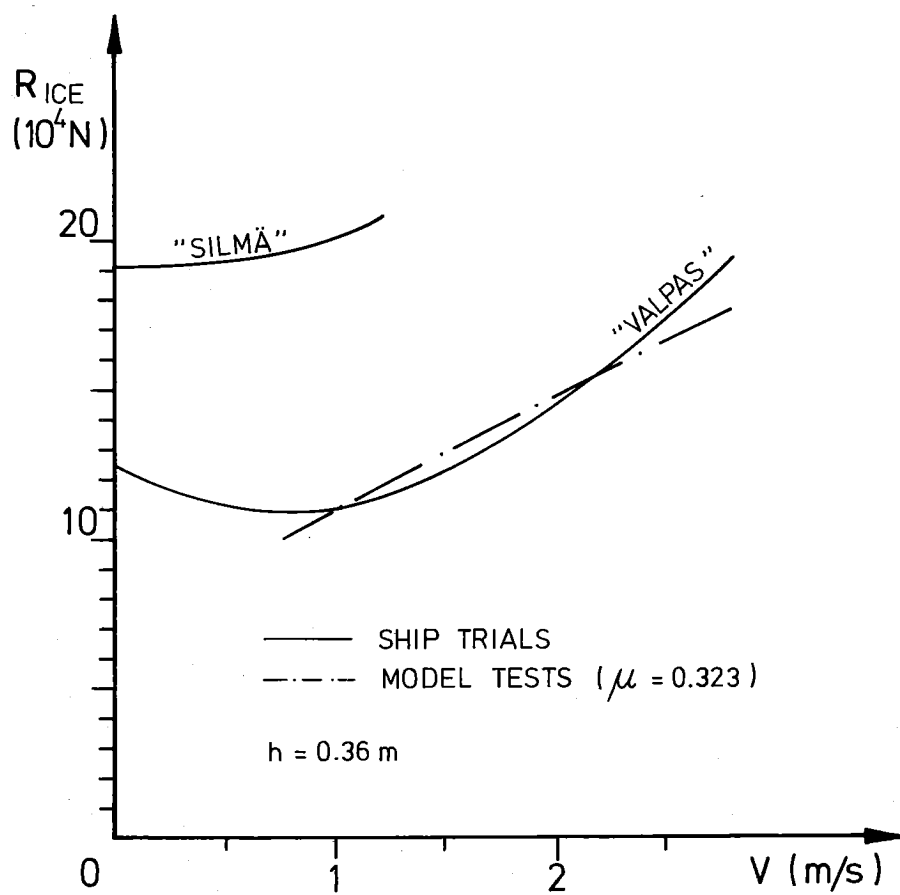
19. Resultat av fullskaleprov med "Finncarrier" i jämn fastis.



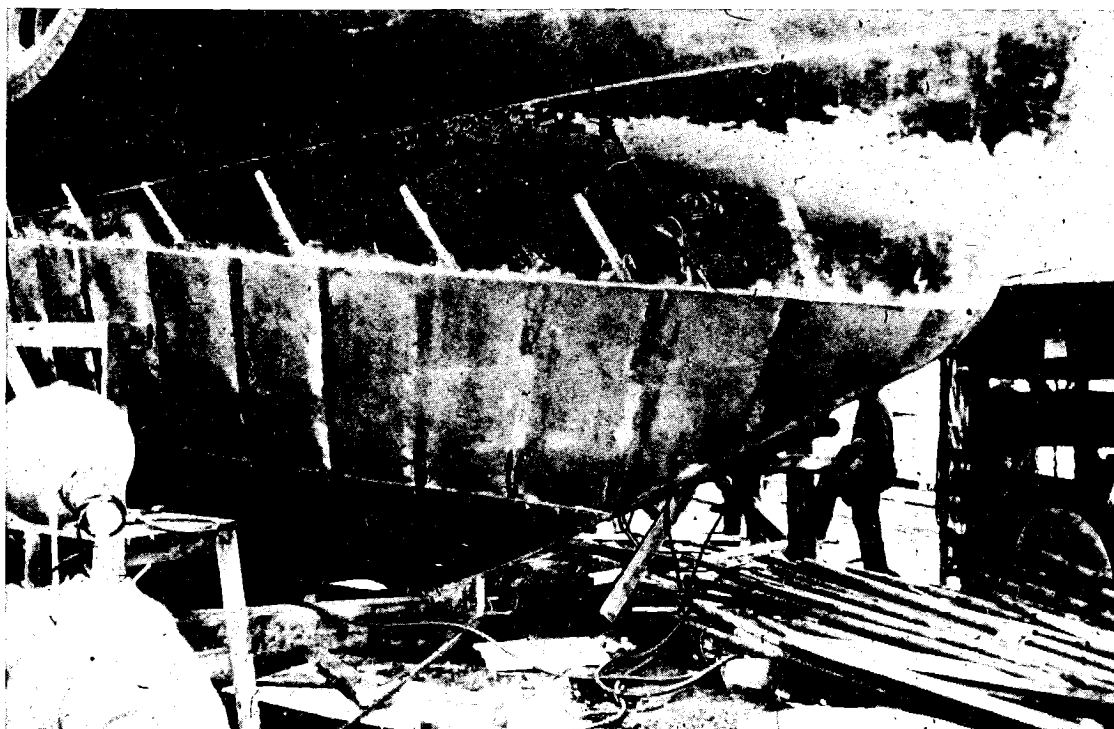
20. Princip för vattenspolning uppifrån ned.



21. Resultat av modellförsök med blanklackerat respektive mattslipat skrov.



22. Resultat av fullskaleprov och modellförsök med fartygen Silmä och Valpas.



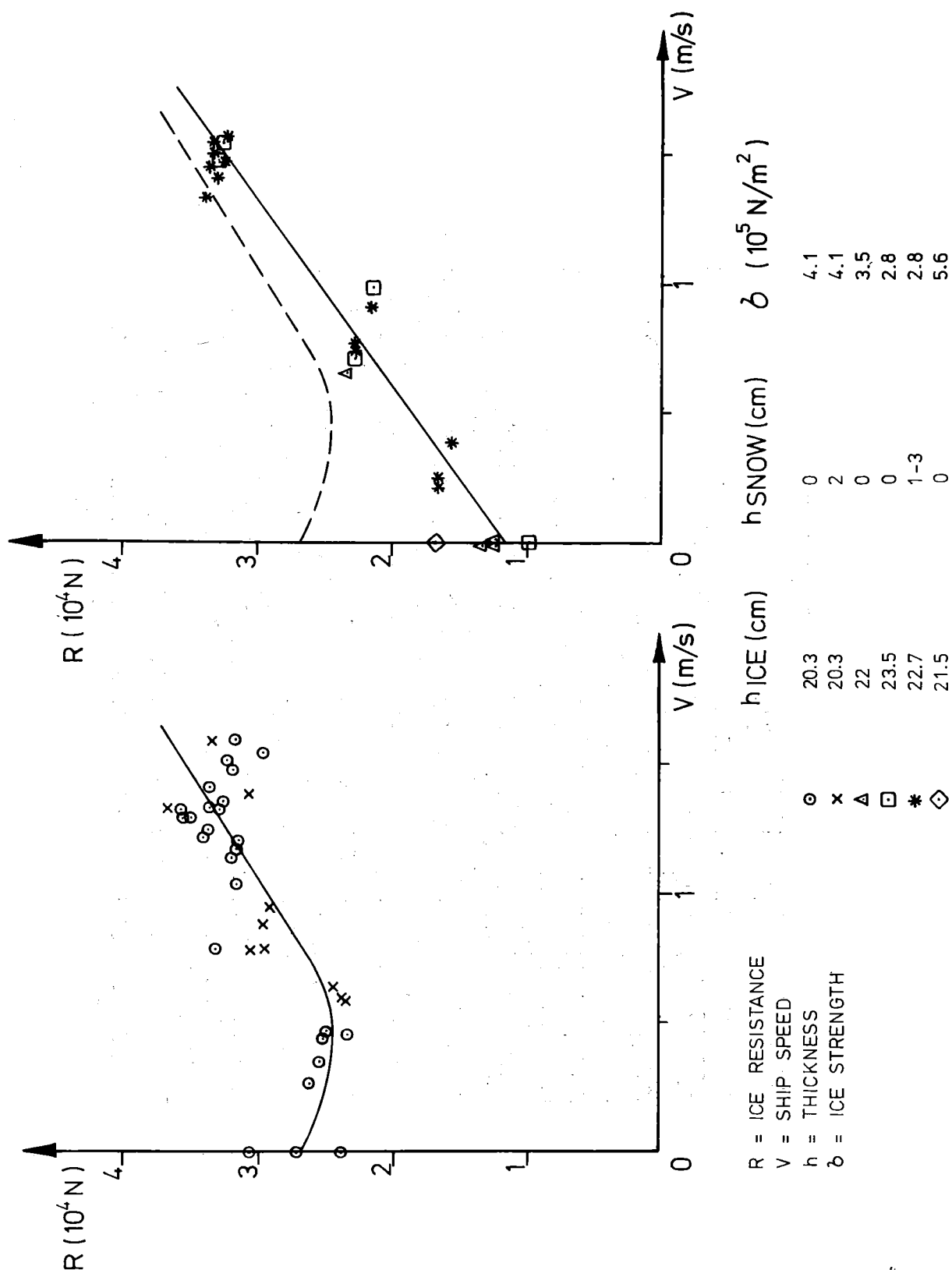
23. Beklädnad med rostfri plåt på bogserbåten Jelpparis bogar i experimentsyfte.



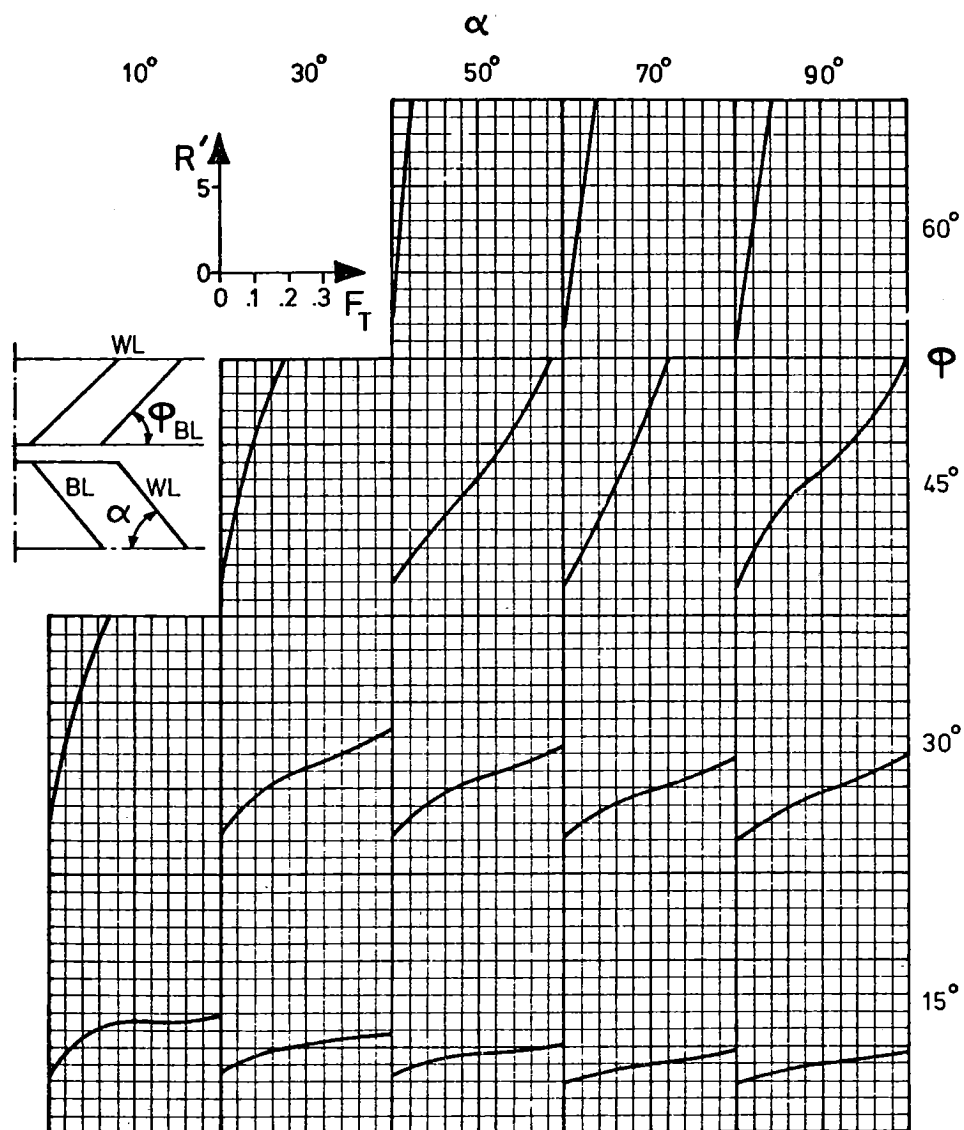
25. Modell försedd med fenderlister, "medar".

NORMAL SHIP STEEL

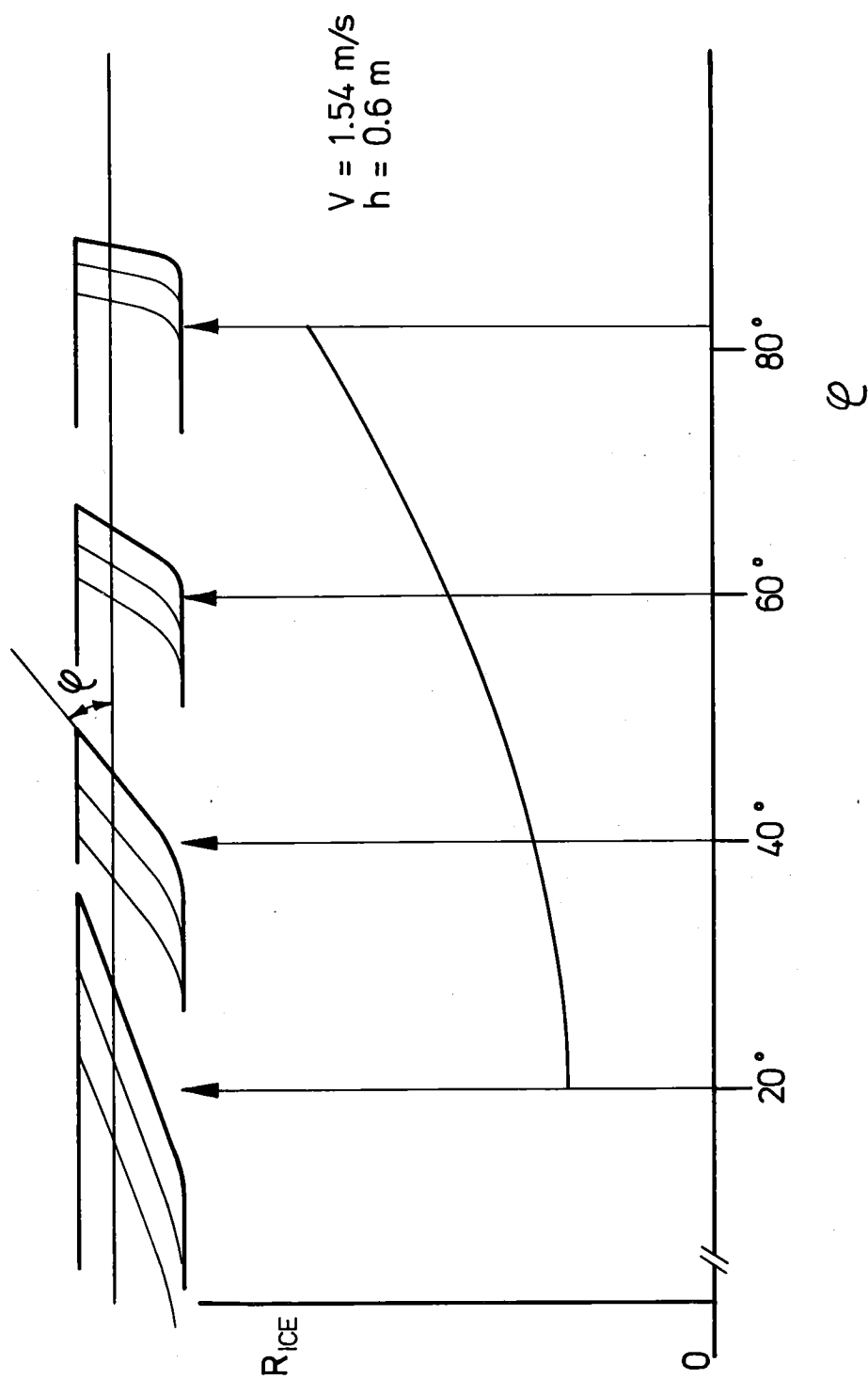
STAINLESS STEEL



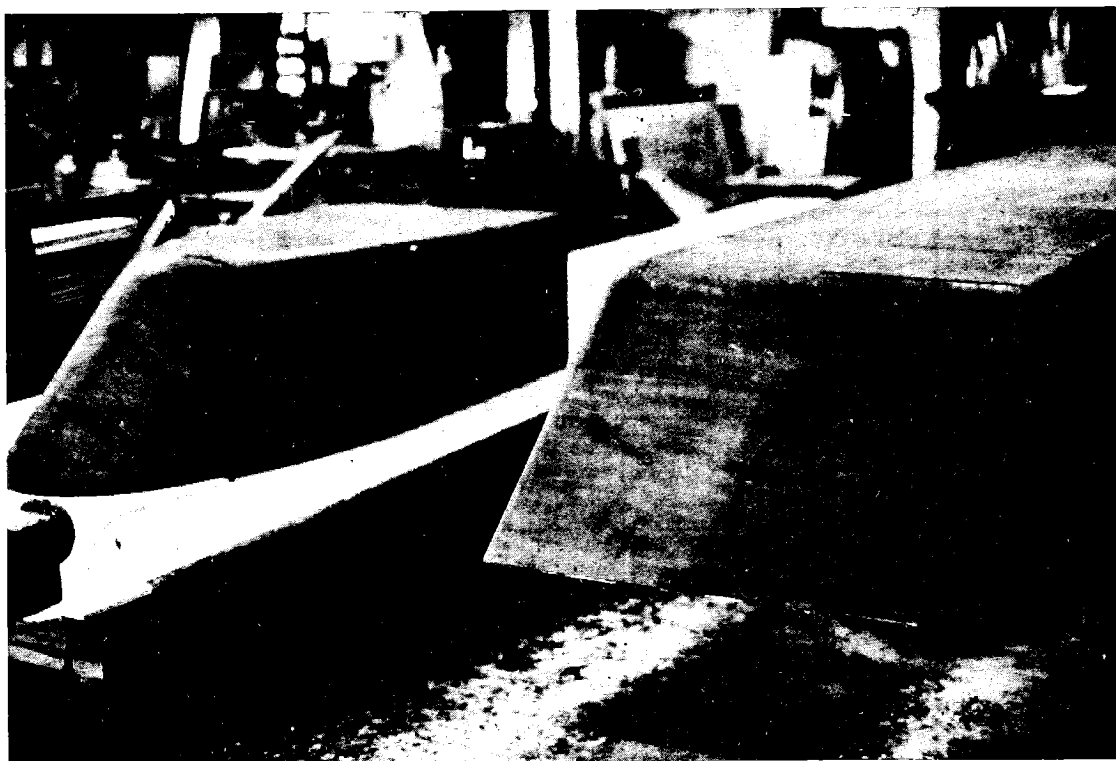
24. Resultat av fullskaleprov med "Jelppari" med och utan rostfri klädsel.



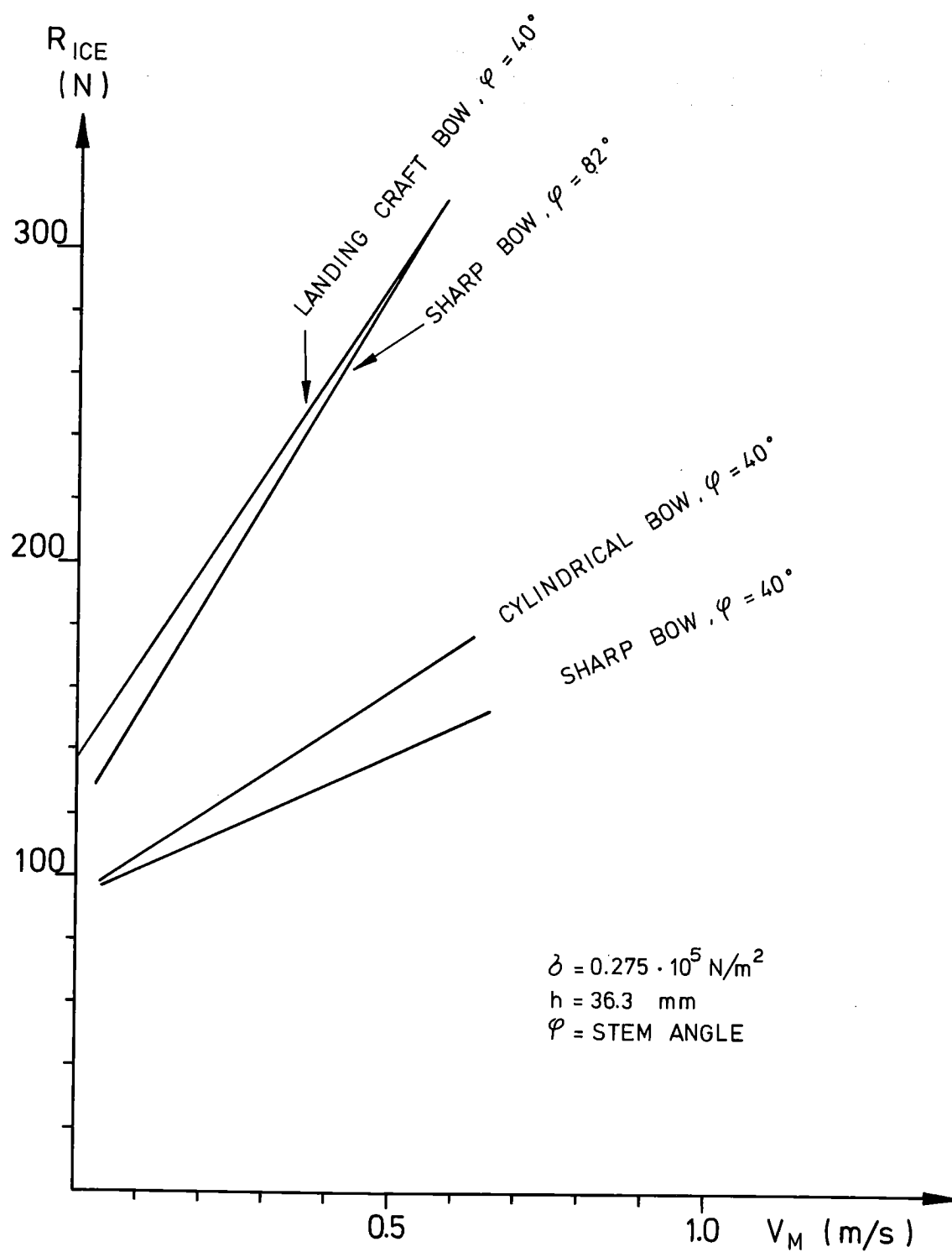
26. Resultatsammanställning av analytisk beräkning av ismotståndet för olika huvudvinklar i förskeppet, enligt [6].



27. Förenklad framställning av huvudresultatet av en försöksserie med varierad stävlutning enligt [7].



28. Modellförskepp av typ landstigningsfartyg och med cylindrisk form.



29. Resultat av modellförsök med förskeppen som visas på fig. 28 jämfört med en mer normal form enligt [7].

Avslutning

Det råder ingen tvekan om att utvecklingen av isbrytande fartyg inträtt i en ny fas sedan det blev möjligt att utföra modellförsök och analysera ismotståndets komponenter rationellt. Då man beaktar att möjligheterna till rationell analys borde tillämpas även på flera praktiskt viktiga men svårdefinierbara iskontinuer, såsom vallar, skruvning, sörja etc., kan man konstatera att arbetsfältet är obegränsat.

L I T T E R A T U R

- /1/ Капительян, В.И., Позняк, И.И., Рывлин, А.Я.: Сопротивление льда движению судна. (Ice Resistance to Motion of a Ship). „Судостроение”, Ленинград 1968.
- /2/ Lewis, J.W., Edwards, R.Y.: Methods for Predicting Icebreaking and Ice Resistance Characteristics of Icebreakers. SNAME, 1970.
- /3/ Edwards, R.Y., Jr., Lewis, J.W., Wheaton, J.W., and Coburn J., Jr., "Full-Scale and Model Tests of a Great Lakes Icebreaker," Trans., SNAME, Vol. 81, 1973
- /4/ Milano, V.R.: Ship Resistance to Continuous Motion in Ice. Dissertation. Stevens Institute of Technology, 1972.
- /5/ Milano, V.R.: Ship Resistance to Continuous Motion in Ice. SNAME 1973.
- /6/ Enkvist, E.: On the Ice Resistance Encountered by Ships Operating in the Continuous Mode of Icebraking. Svenska Tekniska Vetenskapsakademien i Finland. Meddelande No 24, 1972.
- /7/ Johansson, B.M., Mäkinen E.: Icebreaking Model Tests: Systematic Variation of Bow Lines and Main Dimensions of Hull Forms Suitable for the Great Lakes. Marine Technology, Vol. 10, No 3, 1973
- /8/ Mäkinen, E.: Ship Model Testing in Ice. Possibilities and Reliability. Second international conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions, University of Iceland. 1973.
- /9/ Soininen, H.: Eräiden jäissä suoritettujen laivamallikokeiden analyysi mallimittakaavassa (En analys av några fartygsmodellförsök i is). Diplomarbete, Tekniska Högskolan.
- /10/ Капительян, В.И., Рывлин, А.Я., Фаддеев, О.В., Ягодкин, В.Я. Ледоколы (Isbrytare). Издательство „Судостроение” Ленинград 1972. Engelsk översättning erhålles från The Defence Documentation Center, Cameron Station, Alexandria, Virginia 22314, USA.
- /11/ Хейсин, Д.Е., Попов, Ю.Н. Ледовые качества судов. (Fartygs egenskaper vid navigation i is). Труд 309. Гидрометеоиздат, Ленинград 1973. Engelsk översättning liksom för ref. 10.
- /12/ Juurmaa, K., Pohjola H. The study of Winter Navigation in the Gulf of Bothnia. Kommer att publiceras genom Styrelsen för Vintersjöfartsforskning.
- /13/ Rapeli, P.E. Rimppi, M. Description of the Icebreaking Model Basin. WIMB General Report No 1, 1970. Opublicerad.