

Lab. v. Scheepsbouwkunde
Technische Hogeschool
Delft

Skipsmodellrankens meddelelse nr. 54 - Oktober 1958.

Hydrofoilbåter - hydrofoilskip

Av

overingeniør **H. AA. WALDERHAUG**

SKIPSMODELLTANKEN

OTTO FALCH

OSLO

I vår kunne man i Shipbuilding & Shipping Record lese følgende notis:

«The Grumman Aircraft Engineering Corporation of New York has been awarded a \$75,000 contract to study the feasibility of a hydrofoil passenger liner with a speed of 100 miles an hour.

The contract was awarded by the Maritime Administration. Hydrofoils, which lift a part of the vessel out of the water, have been used successfully in small craft but have never been attempted on larger vessels.»

Denne lille notisen gir uttrykk for det som nå synes å skje på området hydrofoilbåter, nemlig at ekspertene på området er i stand til å konstruere praktisk brukbare, mindre hydrofoilbåter med moderat fart, og at de har gått løs på problemene i forbindelse med byggingen av større hydrofoilskip med stor fart.

For den ukyndige på området hydrofoilbåter, og det er vel de fleste av oss, kan det være vanskelig å avgjøre om det er sunn fornuft i Maritime Administrations disposisjon. Dette skal vi forsøke å finne ut i det følgende, og siden hydrofoilbåter har vært svært lite omtalt i norske tidsskrifter, skal vi også skrive litt om hydrofoilbåtens historie etc.

Historikk. Som i all annen historie, er det vanskelig å få fatt i den aller første begynnelse, men vi gjør antagelig ingen stor feil om vi sier at den første vellykte hydrofoilbåt så dagens lys omkring århundreskiftet. Skaperen var italieneren Forlanini. Han ble etterfulgt av landsmennene Grocco, som oppnådde en hastighet av nesten 50 knop med sin båt, og Guidoni, som kanskje nedla det største arbeid på dette felt. Guidoni plaserte riktignok sine hydrofoils under flottørene på sjøfly, men det gjør ikke resultatene mindre nyttige for båtbyggere. I 15 år, fra 1911 og utover, arbeidet han med slike hydrofoils, og de profilene han kom frem til, kan på flere måter måle seg med moderne profil. Imidlertid støtte han på kavitasjons- og stabilitetsproblemer, og det ser ut til at det tvang ham til å stoppe da flyvektene og hastighetene ble for store.

I Amerika var det også noen som interesserte seg for hydrofoilbåter, og så tidlig som i 1906 søkte en amerikaner ved navn W. M. Meacham om britisk


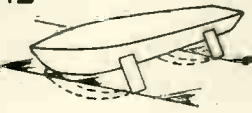

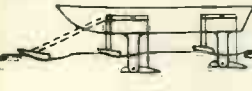


patent på en hydrofoiltype. I 1911, d.v.s. samtidig med Guidoni, gjorde Richardson og Curtiss forsøk med hydrofoils under sjøflyflottører. Mest kjent er imidlertid Graham Bells og Casey Baldwins Hydro-Drome-serie, hvorav den mest fremragende var HD-4. Den var ferdig i 1918 og oppnådde en fart av 60 knop.

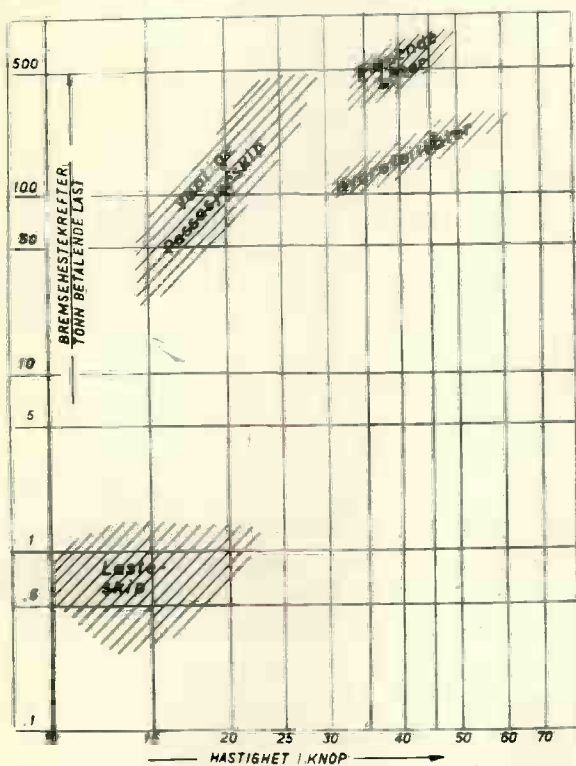
Utviklingen av flyet og hydrofoilbåten begynte noenlunde samtidig, og det er vel ikke utenkelig at flyet stjal så stor oppmerksomhet av så mange dyktige folk at det gikk ut over hydrofoilbåten. I hvert fall er det, bortsett fra Guidonis arbeid, ikke stort å høre om hydrofoilbåter før i 30-årene.

Annet trinn i utviklingen ble innledet med at dr. Otto Tietjens prøvde sin første hydrofoilbåt i Philadelphia i 1932. Hans båt nr. 2 ble prøvd i Tyskland i 1936 samtidig med prøvene av von Schertels første vellykkede hydrofoilbåt. V. Grunberg introduserte sitt hydrofoilsystem i Frankrike i 1935, og teoretiske arbeider ble utført i Russland av Keldysch, Lavrentiev og Kotchin omkring 1934. Samtidig ble eksperimenter utført av Vladimirov. I Amerika startet National Advisory Committee for Aeronautics på et forsøksprogram i 1936, og i Tyskland drev W. Sottorf eksperimenter med hydrofoilprofil for store hastigheter.

Under den annen verdenskrig ble det tyske hydrofoilbåtprogram støttet både av marinen og hæren, men likevel ble ingen av de båttypene som ble utviklet, tatt i bruk. Etter krigen er imidlertid resultatene fra de tyske forsøkene blitt benyttet både øst og vest for jernteppet, og hydrofoilbåten er utviklet til praktisk (og økonomisk) brukbarhet for størrelser opp mot 100 fot og hastigheter opp mot 50 knop. De mest kjente i vest er «Freccia del Sole» og «Freccia d'Oro», bygd av Supramar Company etter von Schertels system. De svenske ingeniørene Almquist og Elgström utviklet et hydrofoilsystem av Grunbergs type, og International Aquavian har bl. a. bygd «Aquaströll 24/40» etter dette system.

Utviklingen øst for jernteppet vet vi mindre om, men nylig er det i en del tidsskrifter vist bilder av østtyske og russiske hydrofoilbåter. Det viser seg bl. a. at russerne nå har såkalte hydrobusser i drift på Volga. Disse hydrobussene tar 66 passasjerer og gjør 35—40 knop.

 <p>A1</p>	<p>Forlanini Brocco Guldani Bell & Baldwin W. Carl</p>
 <p>A2</p>	<p>Tietjens Von Schertel - Sachsenberg Supramar Østtysk type</p>
 <p>B1</p>	<p>V. Arunberg Almqvist og Elgström International Aquavion Dr. Allan og William Denny Brothers Ltd. Russisk type?</p>
 <p>B2</p>	<p>W. M. Meacham Prikket: Christopher Hook</p>
 <p>C1</p>	<p>Richardson og White</p>
 <p>C2</p>	<p>Amerikansk</p>



Figur 1 (øverst).

Figur 2 (nederst).

I fig. 1 er vist en del hydrofoilsystemer. Inn- delingen av systemene i de 3 klassene A, B og C, er vår egen og må ikke betraktes som noen almin- nelig anerkjent klasseinndeling for hydrofoilbåter.

Pro og kontra. Hydrofoilbåtens viktigste fordel er nok den relativt lave motstanden ved store ha- stigheter. Bare farten blir stor nok, er det ingen annen båttype som kan måle seg med den. Det vil med andre ord si at driftsregnskapet bli gunstigere enn for en konvensjonell båttype. For samme ha- stighet vil hydrofoilbåten kreve minst kapitalutlegg til maskineri, og dessuten vil vekten av maskineriet og brenselbeholdning være lavere for hydrofoil- båten enn for konvensjonelle båttypen, inklusive planende båter. En annen og meget vesentlig fordel er at hydrofoilbåtens motstandsøkning i bølger er ubetydelig. Dessuten er bevegelsene og dermed ekstra materialpåkjenninger i bølger minimale, og hydrofoilbåten vil derfor kunne gå med full fart selv i ganske grov sjø. Vi kan f. eks. nevne at den italienske «Freccia del Sole» har gått fra Messina til øya Stromboli med en fart av 39 knop gjennom 2,5 meter høye bølger. «Freccia del Sole» tilsvarende vår type A 2 (se fig. 1), den er 68 fot lang, de- plasementet er 28 tonn, og den tar 70 passasjerer. Maksimal hastighet er 43 knop ved 1,350 hk, mens marsjfarten er 38 knop ved 1,100 hk. Som et an- net eksempel kan nevnes den svenske «Pilen» som gikk fra Stockholm til Finnland og tilbake med en gjennomsnittlig topp- og marsjfart i overkant av henholdsvis 37 knop og 31 knop. Ombord var 23 mennesker pluss ballast, og været var dårlig med grov sjø og vindstyrke opptil 27 knop, d.v.s. stiv kuling. «Pilen» er 57,4 fot lang og utstyrt med en dieselmotor på 860 hk. Den er av typen B 1 i fig. 1.

Akselerasjons- og bremsestrekingen for en hy- drofoilbåt er kort. «Aquastroff 24/40» trenger 45 s. fra stillstand til full fart, mens bremsestrekingen fra full fart til stillstand er 0,9 og 1,7 båtlengder henholdsvis med og uten hjelp av reversert motor. Svingeradien ligger under det vanlige for andre båttypen, og den er meget lett manøvrerbar. På grunn av at bølgesystemet etter en hydrofoilbåt er ubetydelig, kan en gå med stor fart i trange far- vann uten fare for fortoyde båter, brygger o. l.

Den største ulempen, som hydrofoilbåten for øvrig deler med alle andre hurtiggående båter, er at nyttelasten er liten i forhold til totalvekten. Det som for hydrofoilbåtens vedkommende kommer i tillegg, er vekten av hydrofoilsystemet inklusive forsterkninger i skroget der kreftene tas opp. For- øvrig vil skroget kanskje kunne gjøres lettere enn

vanlige skrog, idet de jo ikke er i kontakt med bølgenes mens båten er i fart.

Det har vært hevdet at vingene vil være meget sårbare for drivende gjenstander, grunnstøtinger etc., men det er et spørsmål om ikke en slik frykt er overdrevet. Det er ikke urimelig at en kollisjon med drivgods eller en grunnstøtning kan få mer katastrofale følger for en planende båt enn for en hydrofoilbåt, idet den siste i verste fall vil kunne fortsette ferden som deplaserende båt med ødelagte hydrofoils, men noenlunde intakt skrog. Kjente tilfelle av sammenstøt mellom hydrofoilbåter og drivgods synes å tyde på at vingene vil tåle svært meget før de ødelegges. Som eksempel kan nevnes en hydrofoilbåt som med 60 knops fart støtte mot en drivende jernbanesville. Vingen fikk ingen permanent skade, og båten fortsatte med 40 knops fart. Andre hydrofoilbåter har støtt mot flytende trestubber og sogar fast fjell uten at vingene er blitt alvorlig skadet.

Det har vært regnet for et minus for hydrofoilbåtene at skrog-vingesystemet er komplisert med derav følgende forhøyede byggekostnader, men det spørs om ikke dette fullt ut oppveies av hydrofoilbåtens større transportkapasitet. En hydrofoilbåt for 10 passasjerer med 50 knops fart har samme transportkapasitet som en annen passasjerbåt for 50 passasjerer med 10 knops fart, og byggekostnadene for hydrofoilbåten med 10 passasjerplasser må altså sammenlignes med byggekostnadene for passasjerbåten med 50 passasjerplasser. En ulempe er det at vingenes effektivitet vil være sterkt avhengig av overflatens beskaffenhet, d.v.s. at det må legges stor vekt på å hindre begroing. Vinger som ikke kan trekkes opp under skipsbunnen, vil skape vansker under dokking og ved anløp av grunne havner, noe som sannsynligvis vil føre til at alle større hydrofoilskip vil bli bygd med opptrekkbare vinger. Dette vil føre til ekstra komplikasjoner ved konstruksjonen.

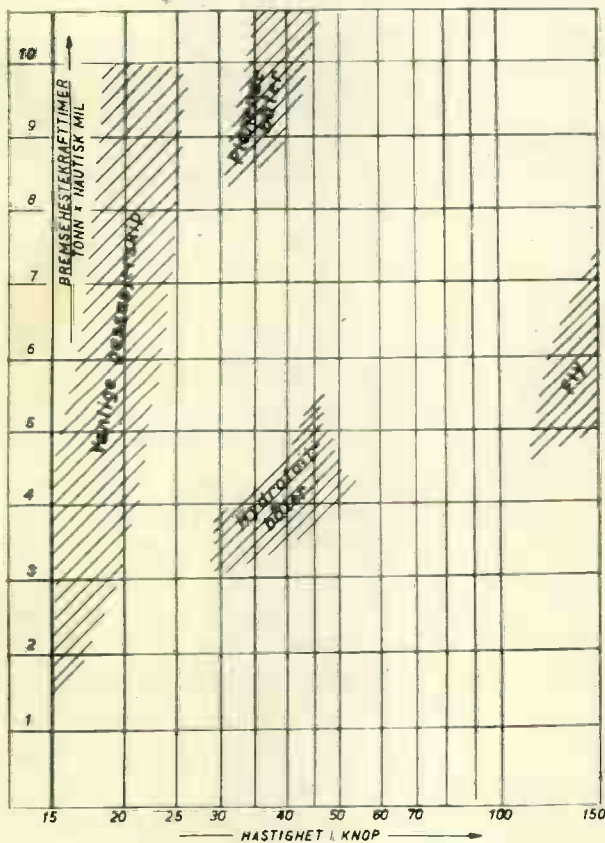
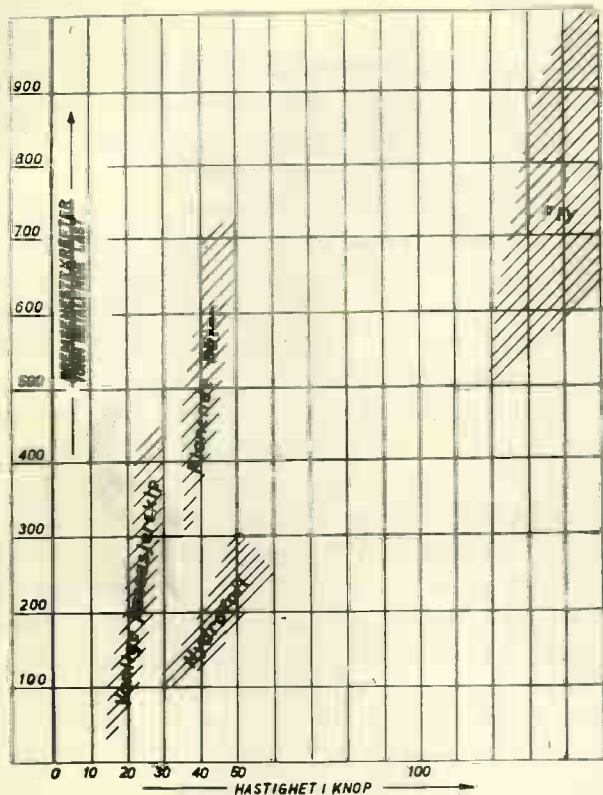
Motstand og propulsjon. Vi har allerede nevnt at hydrofoilbåten ved store hastigheter har mindre motstand enn noen annen båttype, men det som egentlig har interesse, er hvor mange maskinhestekrefter vi må regne med pr. tonn betalende last, som funksjon av hastigheten. Vi har gjort et overslag over dette forholdet for forskjellige transportmidler, og i fig. 2 er resultatet gitt i kurveform. Lasteskip og passasjerskip er plasert i samme diagram, idet vi har regnet at en passasjer tilsvarte en betalende last på 0,1 tonn. Brensel er ikke regnet med i betalende last. Forholdet mellom motorens bremsehestekraft og vekten av den betalende last vil gi en pekepinn om transportmidlets lønnsom-

het, idet vi har sett bort fra bl. a. byggekostnadene. Nå har ikke lasteskipene noen særlig interesse for oss, idet det neppe blir aktuelt å frakte last sjøveien med 50—100 knops fart. I fig. 3 har vi derfor sløffet lasteskipene og vist diagrammet i vanlig skala, og vi har også plasert flyet i diagrammet.

Med hensyn til lønnsom passasjertransport ser vi at hydrofoilbåtene ligger meget godt an, idet dens nærmeste konkurrent ved store hastigheter, den planende båt, krever en maskinytelse som er 2—3 ganger større enn den hydrofoilbåten trenger. Fig. 3 er satt opp for stille vann. I bølger vil hydrofoilbåten ligge enda gunstigere an, idet dens motstandstillegg på grunn av bølger er ubetydelig, mens dette tillegg for andre båter er meget stort. Den nærmeste konkurrent, den planende båt, vil ikke kunne gå med full fart i bølger av noen størrelse, i hvert fall ikke hvis den skal frakte passasjerer.

I fig. 3 har vi vist hvor mange bremsehestekrefter som trengs for hvert tonn betalende last for forskjellige transportmidler og som funksjon av hastigheten. La oss nå heller stille et annet spørsmål: hvor mange bremsehestekrafttimer trengs for å frakte én passasjer fra f. eks. Bergen til Newcastle, eller litt annerledes: la oss undersøke forholdet bremsehestekrafttimer pr. tonn betalende last pr. nautisk mil (à 1,852 m). Dette er vist i fig. 4, og igjen viser hydrofoilbåten seg å ligge godt an, men nå ser vi at flyet har nærmet seg de andre transportmidlene betraktelig. Flyet har imidlertid en del minusposter som ikke kommer med i dette diagrammet, og det ser ute til å være opplagt at hydrofoilbåten har fremtiden for seg i passasjertransporten for hastigheter mellom la oss si 30 knop og 60 knop — for å være forsiktig.

Bevegelser i bølger. Ved å studere fig. 1 vil vi innse at hydrofoilbåter av typene A og B vil oppføre seg overfor en møtende bølge omtrent som en vanlig båt, i hvert fall hvis bølgenes er lange. Kortere bølger vil de skjære rett gjennom på grunn av farten og tregheten. Type C 1 og C 2 vil derimot kunne bevege seg i jevn, horisontal flukt gjennom alle bølger som har litt mindre høyde enn gapet mellom vingene og bunnen i båten. Dessuten vil vi ved type C 1 og C 2 kunne unngå visse ulemper som ellers kan inntreffe når båten og bølgenes beveger seg i samme retning. Det har vi vist i fig. 5, hvor pilespissene antyder retningen av vannpartiklens hastighet ved overflaten. Nede i vannet vil vannpartiklene bevege seg på samme måte, men utslagene avtar etter som dybden øker. En vinge som går inn i en møtende bølge, vil som vist øverst i fig. 5 få økt løftekraft, og idet den går ut av bølgen, vil løftekraften avta. Vingen vil derfor



Figur 3 (øverst).

Figur 4 (nederst).

prøve å følge bølgen i likhet med en vanlig båt. Men dersom hydrofoillåten beveger seg unna bølgene, vil forholdet bli stikk motsatt, som vist nederst i fig. 5. Her vil løftkraften øke når vingen går ut av bølgen og avta når den går inn i bølgen. Med andre ord, dersom vingene har en konstant innstilt vinkel i forhold til skroget, så vil hydrofoillåten når den løper unna sjøen, ha en tendens til å hoppe ut av sjøen ved bølgedal og skjære seg ned i sjøen ved bølgetopp. Denne ulempen kan unngås ved f. eks. alternativ C 2 i fig. 1. Vingeprofilets omdreiningssakse ligger her foran løftkraftens angrepspunkt, så når løftkraften øker, vil profilets angrepsvinkel avta og vice versa. Dermed vil løftkraften kunne holdes noenlunde konstant, og båten vil bevege seg i jevn horisontal banen upåvirket av bølgene. Det samme kan forøvrig oppnås om vingene utstyres med flaps i akterkanten i likhet med flyvinger, og flapsene styres på en måte som tilsvarer den ovenfor nevnte.

Stabilitet. Vi skal bare i korthet berøre hydrofoillåtenes stabilitet, tverrskips og langskips. Av fig. 6, som viser en del vingetyper en face, ser vi at nr. 1 alltid er stabil. Nr. 2 er stabil dersom ikke for lite av vingen tar ned i sjøen, som ved den antydende vannlinje (VL. 2"). Ved en forandring til formen 3, vil den alltid være stabil. Nr. 4 vil ved en liten krenkning være ustabil, og nr. 5 er labil. For nr. 3 og 4 vil metasentret være identisk med vingens krumningscenter (konstant krumning). Metasenterhøyden GM, d.v.s. avstanden mellom metasentret M og båten tyngdepunkt G må være positiv dersom båten skal være stabil, og publiserte data fra bygde vingskip viser en GM på mellom 1 m og 2 m. Vinge nr. 1 er bygd med anhedral, og her vil en negativ metasenterhøyde gi en stabil båt. For båt nr. 2 er forholdet litt mer innviklet, men dersom vi kaller skjæringspunktet mellom båten senterlinje og normalen til vingen i vannflaten A, båten tyngdepunkt G, vingebredden i vannflaten b og krenningsvinkelen φ , kan vi skrive det opprettende moment ved en krenkning som:

$$\delta M_R = C_L \cdot \frac{1}{2} \rho V^2 b \cdot B \cdot GA \operatorname{tg} \varphi$$

I en sving vil både vingen med anhedral og med dihedral gi en ekstra kraft rettet innover mot sentrum av kurven. Forskjellen er bare at for en vinge med dihedral og positiv metasenterhøyde, vil kraften gå gjennom et punkt over tyngdepunktet og altså gi båten en helning innover som et fly. For vinger med anhedral derimot vil ekstrakraften gå gjennom et punkt under tyngdepunktet og altså gi båten en helning utover. Avgjørende for båten helning i en sving er da de kreftene som er nevnt,

og dessuten innflytelsen av vingenes støtte, rorkraften og sentrifugalkraften.

Båtens langskipsstabilitet er bestemt av vingetypen (se fig. 1) og hvor vingen er plasert langskips. Det avgjørende er da forholdet mellom ΔL_F og ΔL_A , hvor ΔL_F angir en forandring i løftkraften på forre vinge og ΔL_A angir en forandring i løftkraften på aktre vinge, begge forårsaket av den samme forandring i trimvinkel. Båten vil være langskipsstabil når $\Delta L_F < \Delta L_A$. Dersom $\Delta L_F > \Delta L_A$, er båten farlig.

Fremtid. Løftkraften på en vinge kan skrives som

$$L = k_1 \cdot V^2 l_1^2$$

mens båtens vekt eller deplasement kan skrives tilnærmet som

$$\Delta = k_2 \cdot l_2^3$$

hvor k_1 og k_2 kan regnes noenlunde konstant. V er skipshastigheten, l_1 er f. eks. vingens lengde og l_2 er skipslengden. Siden løftkraften skal være lik skipets deplasement, vil vi finne at

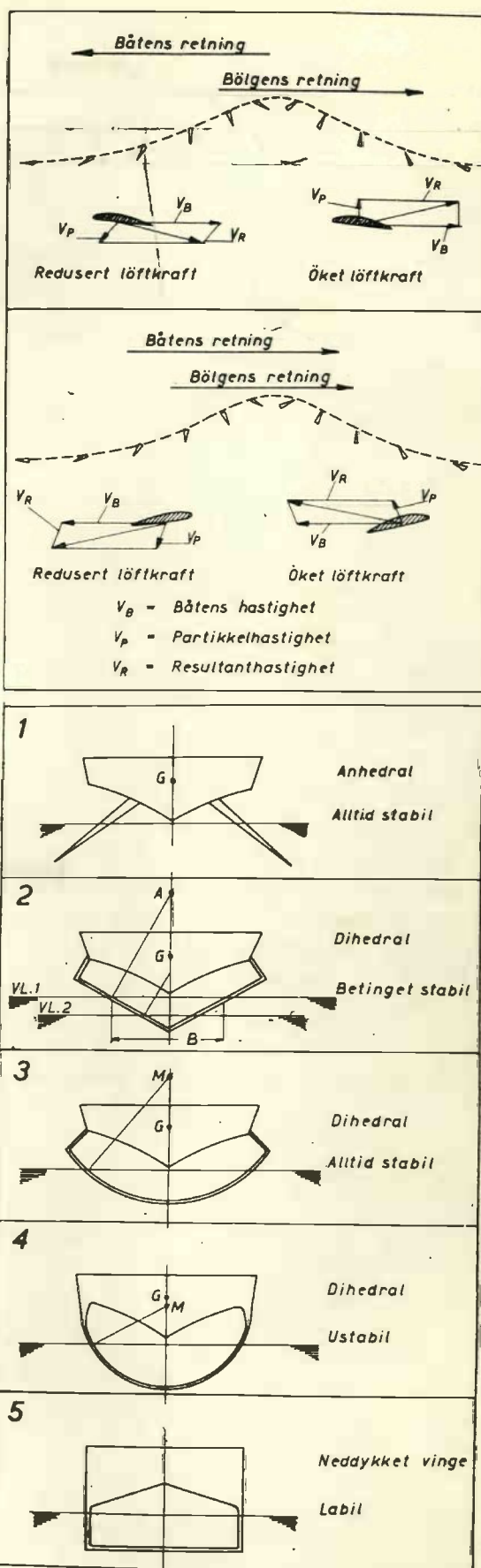
$$l_1^2 = \frac{k_3}{V^2} l_2^3$$

Vi kan ikke gjøre regning med å drive store hydrofoilskip opp i vesentlig større fart enn den mindre hydrofoilskip opererer med, så vi kan holde V i formelen ovenfor konstant. Det fører til at vingenes lineære dimensjoner blir proporsjonal med f. eks. skipets lengde opphøyd i 3/2 potens, og når skipsdimensjonene blir store, vil det føre til urimelig store vingeeareal med stor friksjons- og restmotstand.

Om vi antar en løftekoeffisient på 0,2, får vi vingeearealet

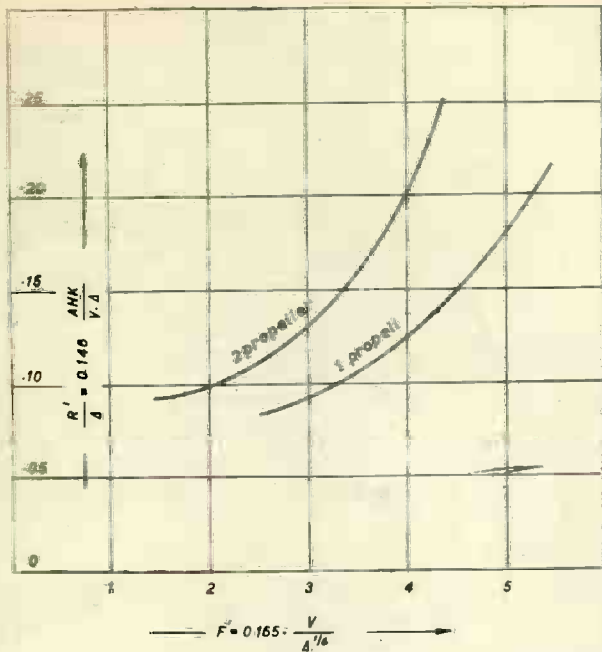
$$Am^2 = 362 \frac{\Delta \text{ tonn}}{(V \text{ knop})^2}$$

og det ser ut til at vi her har en mulighet for å finne en øvre grense for hydrofoilskipets størrelse. V betyr her båtens maksimalhastighet. Under starten må nok løftekoeffisienten være vesentlig større enn 0,2. Imidlertid viser det seg nå at om vi går ut fra en rimelig stor hastighet, f. eks. 50 knop, så vil vi kunne gå til meget store skipsstørrelser før vingeearealet blir urimelig stort. Det ser derfor ut som om det vil være andre ting som setter en grense for hydrofoilskipenes størrelse, og den alvorligste hindring er da kanskje vekten av maskineriet i forhold til ytelsen. Dersom ytelsen skal fordeles på 2 propellakser, ser det ut til at vi i dag ikke kan komme opp i større maskinkraft enn 20,000 BHK under forutsetning av at maskineriet skal passe for hydrofoilskip. Hvor stort hydrofoilskip kan vi drive frem med dette, og hvor stor fart kan vi gjøre regning med? Vi må da støtte oss til de få



Figur 5 (øverst).

Figur 6 (nederst).



Figur 7.

data som finnes om hydrofoilskip, og for enkelthets skyld vil vi regne ut den spesifikke motstand dividert med propulsjonsvirkningsgraden, d.v.s. vi regner ut uttrykket.

$$\frac{R'}{\Delta} = \frac{75 \cdot \text{AHK}}{0,5144 \cdot V \cdot 1000 \Delta} = 0,146 \frac{\text{AHK}}{V \cdot \Delta}$$

hvor AHK er hestekraften tilført propellen, R' og Δ er målt i tonn og V i knop. R' er lik skipsmotstanden dividert med propulsjonsvirkningsgraden. Denne «godhetsfaktor» vil vi sette opp på basis av Froudes tall, definert som

$$F^2 = \sqrt{\frac{0,5144 \cdot V}{g \cdot (\Delta/1,04)^{1/3}}} \approx 0,165 \frac{V}{\Delta^{1/6}}$$

hvor V er i knop og Δ i tonn. De data vi kan finne i litteraturen, gir oss nå en kurve som vist i fig. 7, og ved hjelp av denne finner vi at vi med

20,000 BHK kan drive frem et hydrofoilskip med 500 tonn deplasement med en fart av vel 45 knop. Beregningen ovenfor er selvfølgelig overslagsmessig, vi har bl. a. sett bort fra at motstanden også vil være en funksjon av Reynolds' tall, men vi får i hvert fall en viss idé om hva som ligger innenfor mulighetens grense, praktisk-økonomisk.

Et slikt skip skulle kunne bygges så lett at det tok en betalende last på ca. 100 tonn, men siden det her dreier seg om et skip som skal gå litt lengre strekninger, f. eks. i Nordsjøfart, vil en del av de 100 tonn gå med til vekt av proviant, ferskvann etc. Siden skipet må bygges ekstra lett for i det hele tatt å få ombord noe betalende last, er det klart at det ikke kan settes inn i langfart hvor vekten av olje og vann snart ville redusere marginen for betalende last til under lønnsomhetsgrensen.

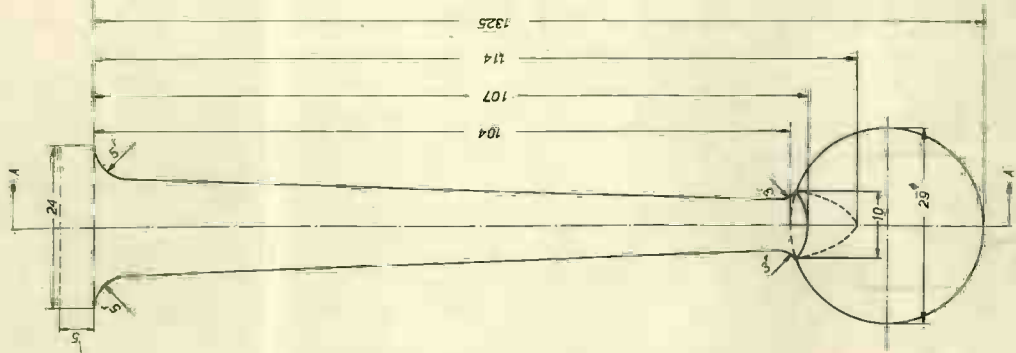
For å komme tilbake til innledningen, så ser det ut til at en undersøkelse av hydrofoilskipets muligheter i passasjertrafikken er vel verdt Maritime Administration's 75,000 dollars, og *monstro om ikke hydrofoilskipene ville egne seg glimrende for vår egen sjøverts passasjertransport. I så fall bør vi begynne å arbeide med saken. Et moment er det også at passasjertransport med skip etter hvert utvilsomt vil møte stor konkurranse fra flyene. Og da kan hydrofoilskipet komme til å avgjøre konkurransen, til glede for de som seiler skipene såvel som for de som bygger dem.*

*

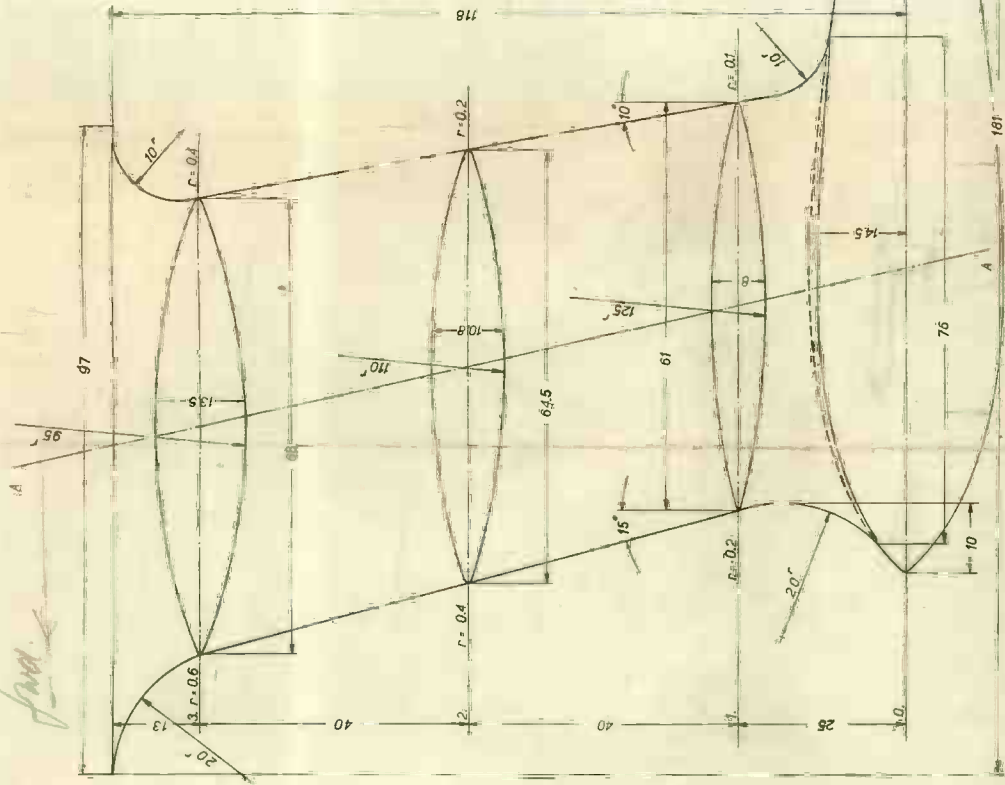
Etter at ovenstående ble skrevet, har vi brakt i erfaring at amerikanerne på sitt forskningsprogram for utvikling av hydrofoilskip allerede har ofret flere millioner dollars, men kan de bygge et slikt skip som er nevnt og gjøre det konkurransedyktig økonomisk, så er det ikke tvil om at pengene til forskningen er vel anbrakt.

Fig. 5

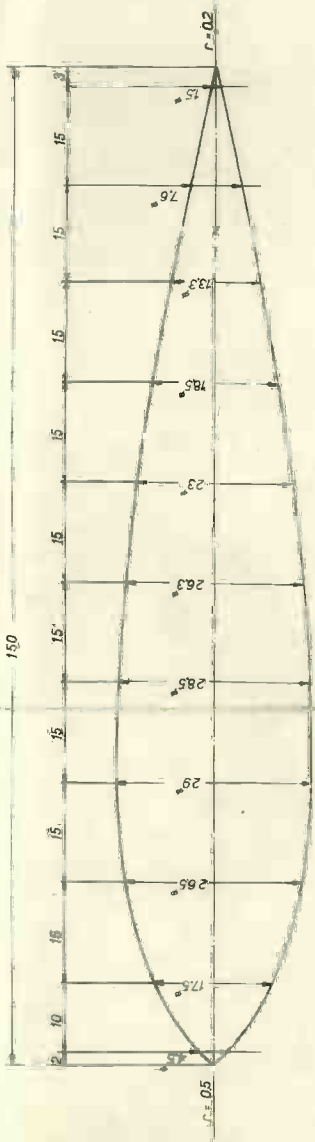
Tillegg for tilpassing
 på modell: 5mm
 1/44 flens.



104

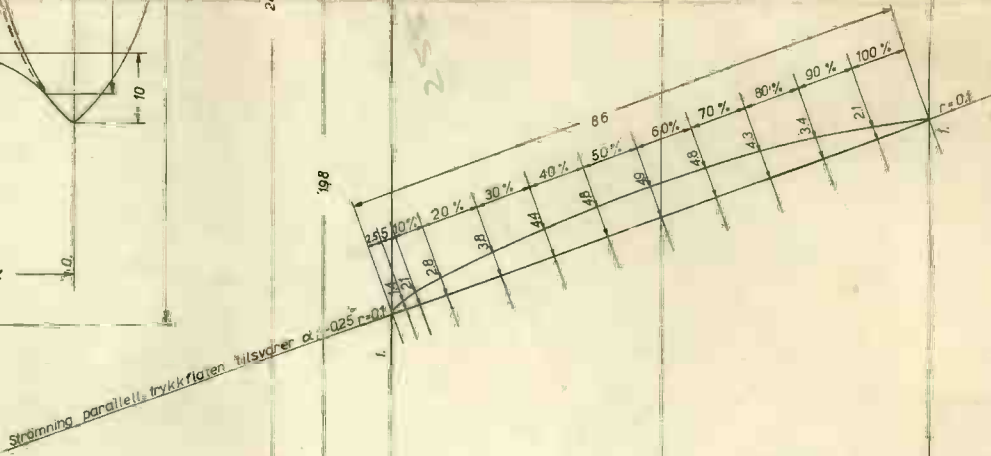


2

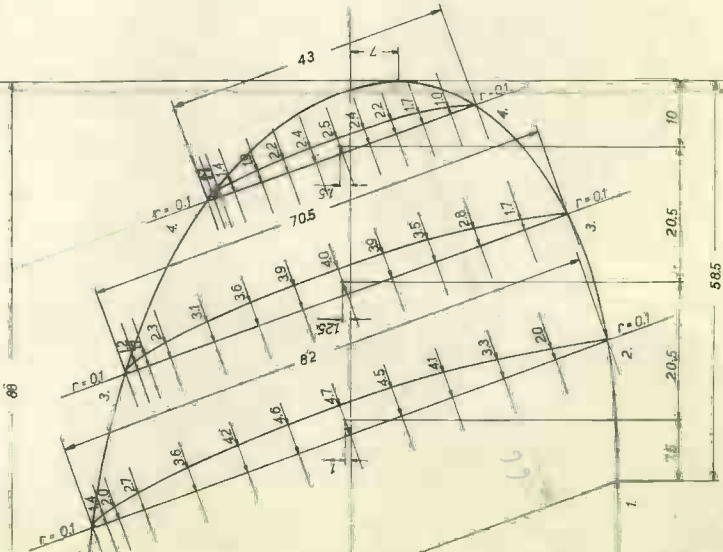


2nd = 5.17

2



Strømning parallell, trykkflaten tilsvarer $\alpha = 0.25$



$\alpha = 1:24$

om beregning av fjær i
 publikum

AFT FOIL

modell måler i mm

ingekompet

271