

IV C. 174

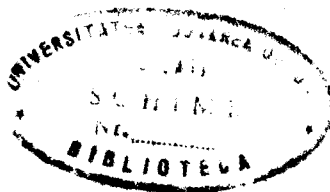
UNIVERSITATEA DIN GALATI
FACULTATEA DE MECANICA

Ion Ioniță

TEZA DE DOCTORAT

STUDIU TEORETIC SI EXPERIMENTAL

ASUPRA DEPLASARII NAVELOR CU PERNA DE AER



191539

CONDUCATOR STIINTIFIC
PROFESOR INGINER CONSTANTIN NASTASE

Mulțumesc călduros tuturor celor care, prin îndrumările și sprijinul acordate cu multă sollicitudine, au contribuit la apariția acestei teze.

Adresez recunoscătoare mulțumiri conducătorului științific, tovarășul Profesor Inginer Constantin Năstase, pentru îndrumările substanțiale, permanente și deosebit de binevoitoare pe care mi le-a acordat cu multă dăruire profesională, tovarășului Academician Profesor Doctor Docent Inginer Dumitru Dumitrescu, care m-a îndrumat cu multă grijă și bunăvoință pe întreaga durată a doctoratului, precum și tovarășului Profesor Doctor Inginer Alexandru A. Vasilescu, de la care am primit îndrumări deosebit de utile în pregătirea și redactarea tezei.

Mulțumesc de asemenea tovarășului Profesor Doctor Inginer Petre Augustin pentru îndrumările prețioase și sprijinul binevoitor, acordate în studierea fenomenelor aerodinamice prezentate în teză, precum și tovarășilor ing. Gelu Kahu, Director general al Centralei industriale navale, ing. Lucian Aburel, Director al ICEPRONAV Galați, ing. Ion Hatos și ing. Matei Kiraly, pentru sollicitudinea permanent manifestată în rezolvarea multiplelor probleme legate de verificarea experimentală a fenomenelor prezentate în teză.

În nici un caz în ultimul rând, mulțumesc deosebit de mult tovarășilor Profesor Doctor Inginer Ion Crudu, Rector al Universității din Galați și Profesor Doctor Inginer Amedeu Orănescu, Decan al Facultății de mecanică, pentru că au sprijinit efectiv și permanent dezvoltarea la Universitatea din Galați a cercetărilor în domeniul navelor cu pernă de aer.

CUPRINS

	Pag.
1. INTRODUCERE.....	1
2. REZISTENTA APEI SI AERULUI LA INAINTAREA NAVELOR CU PERNA DE AER.....	8
2.1. Rezistența de val.....	10
2.1.1. Teoria Newman-Poole.....	10
2.1.1.1. Cazul unei distribuții oarecare de presiune.....	10
2.1.1.2. Cazul distribuției de presiune dreptunghiulare.....	14
2.1.2. Teoria Everest-Hogben.....	16
2.1.2.1. Cazul navei fără derivă.....	21
2.1.2.2. Cazul navei cu derivă.....	21
2.1.3. Teoria Murthy.....	23
2.2. Rezistența de impuls.....	28
2.3. Rezistența aerodinamică.....	30
2.4. Rezistența de stropi.....	32
2.5. Rezistența de formă și rezistența de frecare.....	35
2.6. Rezistența de jet și rezistența de asietă.....	37
3. CONTRIBUTII PERSONALE LA STUDIAREA SI DETERMINAREA COMPONENTELOR DE REZISTENTA LA INAINTAREA NAVELOR CU PERNA DE AER.....	39
3.1. Rezistența de val.....	39
3.1.1. Variația rezistenței de val în funcție de viteză.....	40
3.1.2. Variația rezistenței de val în funcție de unghiul de derivă.....	58
3.1.3. Variația rezistenței de val în funcție de raportul de aspect.....	59
3.1.4. Rezistența de val a navei O23 E.....	60
3.2. Rezistența de asietă.....	63
3.2.1. Distribuția de presiuni din perna de aer.....	64
3.2.2. Rezistența de asietă a navei O23 E.....	79
3.3. Rezistența de jet.....	83
3.3.1. Cazul navei cu asietă dreaptă.....	83
3.3.2. Cazul navei cu asietă pozitivă.....	84
3.3.3. Rezistența de jet a navei O23 E.....	85
3.4. Rezistența de impuls.....	97
3.4.1. Metodă de calcul pentru sistemul integrat de sustentaj și propulsie aeroreactivă la navele experimentale cu pernă de aer.....	98
3.4.2. Calculul sistemului integrat de sustentaj și propulsie la nava O23 E.....	102

3.4.3.Rezistența de impuls a navei o23 E.....	104
3.5.Rezistența aerodinamică a navei o23 E.....	105
3.5.1.Mărimi date sau măsurate inițial.....	105
3.5.2.Mărimi măsurate la experimentare.....	106
3.6.Transpunerea la prototip a rezultatelor obținute pe model.....	113
4.SOLUTII CONSTRUCTIVE DE MARIRE A EFICIENTEI NAVELOR CU PERNA DE AER,BREVETATE DE AUTOR.....	116
4.1.Navă amfibie pe pernă de aer cu propulsie combinată...	116
4.2.Sistem integrat de sustentație și propulsie pentru nave cu pernă de aer.....	120
4.3.Navă cu două regimuri de deplasare.....	123
4.3.1.Determinarea formelor și dimensiunilor optime ale corpului navei.....	125
4.3.2.Proiectarea,executarea și experimentarea modelului la bazinul hidrodinamic.....	129
4.3.3.Proiectarea structurii corpului și instalațiilor navei.....	130
5.PRECIZARI.....	133
6.BIBLIOGRAFIE.....	143

1. INTRODUCERE

La deplasarea unei nave în apă și aer, întregul ei corp este supus unor reacțiuni hidro- și aero-dinamice. Aceste reacțiuni, care sînt forțe de suprafață, se compun din forțe de presiune, normale la suprafața corpului și forțe tangențiale, care acționează în planul tangent suprafeței corpului în punctul considerat.

Acest sistem de forțe hidrodinamice se reduce la vectorul principal \bar{R} și momentul principal \bar{M} , față de centrul de aplicație a forțelor.

$$\bar{R} = \int_S \bar{p} ds$$
$$\bar{M} = \int_S (\bar{p} \times \bar{r}) ds$$

\bar{p} - vectorul forțelor superficiale de tensiune, care în punctul considerat este suma vectorială a tensiunilor normale sau presiunilor p și tensiunilor tangențiale ζ .

\bar{r} - vectorul de poziție al centrului de greutate al ariei elementare ds , față de centrul de aplicație al forțelor (originea coordonatelor, fig. 1.1.)

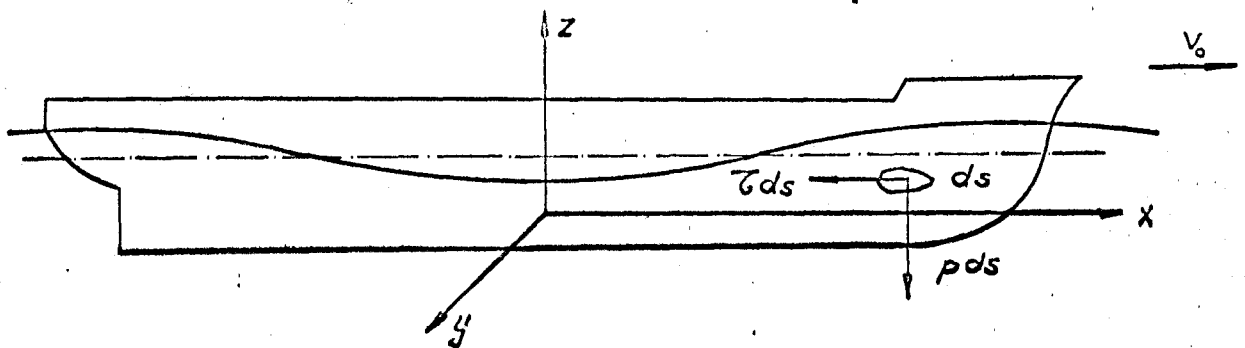


Fig. 1.1. Reacțiunea apei la deplasarea navei.

Vectorul rezultat \bar{R} poate fi descompus după direcțiile celor trei axe de coordonate, în care axa x coincide cu direcția deplasării navei, axa y se află în planul orizontal care conține axa x , iar axa z este verticală.

În acest caz se poate scrie:

$$\bar{R} = \bar{i}R_x + \bar{j}R_y + \bar{k}R_z$$

Mărimea R_x reprezintă rezistența apei și aerului la înaintarea navei și ea este orientată întotdeauna în sens invers față de vectorul vitezei navei.

Considerînd că nava se deplasează uniform pe direcția axei x , se poate scrie :

$$R_x = \int_S [\zeta \cos(\zeta, x) + p \cos(p, x)] ds$$

Intrucît în prezenta lucrare ne vom ocupa în special de

rezistența la înaintare, în continuare vom nota $R_x = R$.

Rezistența totală la înaintare R , poate fi reprezentată sub forma unei sume de doi termeni :

$$R = R_f + R_p = \int_S \tau \cos(\tau, x) ds + \int_V p \cos(p, x) dV,$$

în care R_f este rezistența de frecare, iar R_p este rezistența de presiune.

Pentru a ține cont de natura proceselor hidromecanice, rezistența de presiune poate fi reprezentată la rândul ei ca o sumă de doi termeni :

$$R_p = R_o + R_w$$

în care R_o este rezistența de formă sau rezistența de vîrtejuri, iar R_w este rezistența de val.

În concluzie, rezistența totală R a apei la înaintarea navei în regim de deplasament, se poate studia ca o sumă a trei componente : rezistența de frecare R_f , rezistența de formă R_o , și rezistența de val R_w .

$$R = R_f + R_o + R_w$$

Existențele de frecare și de formă apar din cauza vîscozității fluidelor, deci datorită existenței stratului limită, iar rezistența de val apare din cauza diferenței de densitate a celor două fluide în care se deplasează nava.

Căutînd să mărim viteza navelor de deplasament, trebuie să ținem cont de următoarele concluzii comparative stabilite prin cercetări teoretice și experimentale /19/:

- cu excepția navelor lente, cu forme pline, raportul dintre rezistența R_o și rezistența totală R este mic și anume :

$$\frac{R_o}{R} < 0,08 \dots\dots 0,15$$

- pentru nave cu forme pline și $F_L = \frac{v}{\sqrt{gD}} = 0,10 \dots\dots 0,15$ și pentru nave cu forme fine și $F_L = 0,15 \dots\dots 0,20$, rezistența de val R_w este practic neînsemnată ;

- în ape adînci, pentru viteze relative mici ($F_L < 0,25$) partea principală a rezistenței de înaintare o constituie rezistența de frecare și anume :

$$\frac{R_f}{R} = 0,70 \dots\dots 0,75$$

- pentru viteze corespunzătoare numărului Froude, $F_L = 0,25$:

$$\frac{R_w}{R} < 0,15 \dots\dots 0,20$$

- pentru viteze corespunzătoare numărului Froude $F_L = 0,30$

$$\frac{R_W}{R} = 0,25 \dots 0,30$$

iar pentru $F_L = 0,35 \dots 0,50$ raportul $\frac{R_W}{R}$ ajunge la 0,50 sau chiar mai mult.

- rezistențele de frecare și de formă cresc și ele cu pătratul vitezei navei, astfel :

$$R_f = c_f \rho \frac{F_1 v^2}{2}$$

$$R_e = c_e \rho \frac{F_2 v^2}{2}$$

In formulele de mai sus au fost folosite notațiile :

c_f, c_e - coeficienții adimensionali de rezistență de frecare și respectiv, de formă;

ρ - densitatea fluidului;

F_1 - suprafața de frecare dintre corpul navei și fluidul în care se deplasează aceasta;

F_2 - suprafața de referință, de obicei aria secțiunii transversale față de direcția curentului;

v - viteza curentului de fluid;

Din concluziile prezentate mai sus, rezultă că pentru a nu provoca creșterea excesivă a rezistenței la înaintare, viteza navei poate fi mărită prin ieșirea navei din apă, pentru a înlocui rezistențele de vîscozitate provocate de apă, cu rezistențe provocate de aer și pentru a diminua rezistența de val, care participă cu o pondere mare în rezistența totală, în cazul navelor rapide de deplasament. In acest sens au fost dezvoltate următoarele tipuri de nave rapide: glisoare, nave cu aripi portante, nave cu pernă de aer.

In figura 1.2., este reprezentată variația puterii instalației de forță în funcție de viteza navei, pentru principalele tipuri de nave rapide /49/. Din diagramele prezentate în această figură, rezultă că pentru viteze mari, navele cu pernă de aer folosesc cele mai mici puteri instalate.

In figura 1.3. este reprezentată variația $d = f(v)$ pentru principalele tipuri de mijloace de transport aeriene și navale /49/, d fiind factorul de utilizare a deplasamentului, iar v - viteza mijlocului de transport. Zonele din figură au următoarea semnificație: 1-nave de deplasament pentru transportat mărfuri; 2-nave cu pernă de aer; 3-elicoptere; 4-avioane; 5-nave cu aripi portante; 6-nave de deplasament pentru transportat pasageri.

Se observă că navele cu pernă de aer sînt superioare celorlalte tipuri de nave, asigurînd transportarea pe apă cu vitezele cele mai mari, la coeficienți superiori de utilizare a deplasamentului.

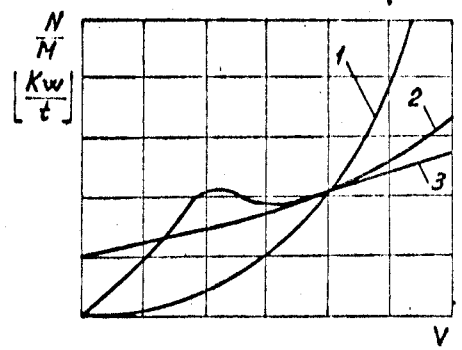


Fig.1.2. Dependenta $N/M-f(v)$ pentru nave :
 1 - nave de deplasament;
 2 - nave cu aripi portante ;
 3 - nave cu pernă de aer ;

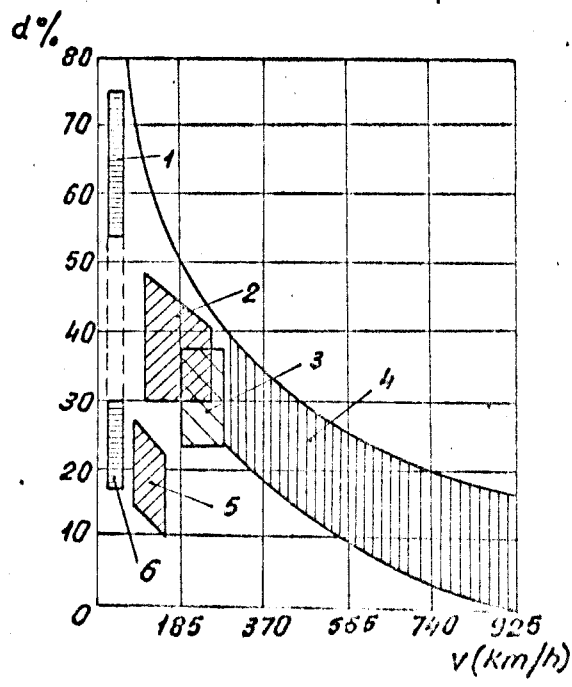


Fig.1.3. Dependenta $d = f(v)$ pentru mijloace de transport.

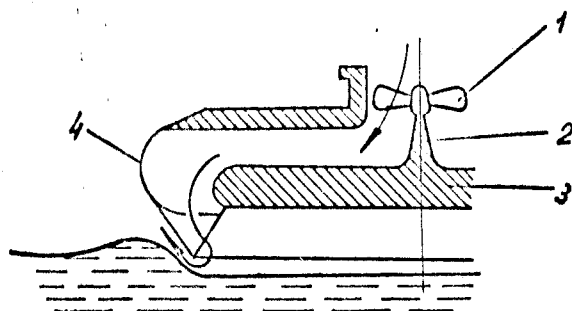
Dacă în loc de coeficientul de utilizare a deplasamentului, în ordonată se reprezintă masa ce revine unității de putere (t/CP), se obține o diagramă asemănătoare, toate mijloacele de transport analizate grupîndu-se în stînga unei linii convenționale, denumite linia Karman-Gabrielli /27/.

În principiu, nava cu pernă de aer este concepută astfel încît la partea ei inferioară dispune de un spațiu liber, perna de aer, limitată lateral de pereți rigizi sau flexibili. Un ventilator, numit de sustentare, aspiră aer din atmosferă și îl refulază în perna de aer de sub corpul rigid al navei. În acest fel corpul navei nu se sprijină direct pe apă, ci prin intermediul pernei de aer, care permite înlocuirea frecării dintre corpul navei și apă.

cu frecarea între corpul rigid și aer, a cărui vâscozitate este mult mai redusă.

Principiul navei cu pernă de aer a fost aplicat pe scară largă în două variante constructive /58/ :

- nava amfibie, cu fustă flexibilă extinsă pe întregul perimetru al pernei de aer (fig.1.4);



- 1- ventilator;
- 2- canal de aer;
- 3- corpul navei;
- 4- fustă flexibilă.

Fig.1.4 Schema navei cu pernă de aer amfibii.

- nava neamfibie, cu pereți laterali longitudinali rigizi și cu fuste flexibile la extremitățile prova și pupa (fig.1.5).

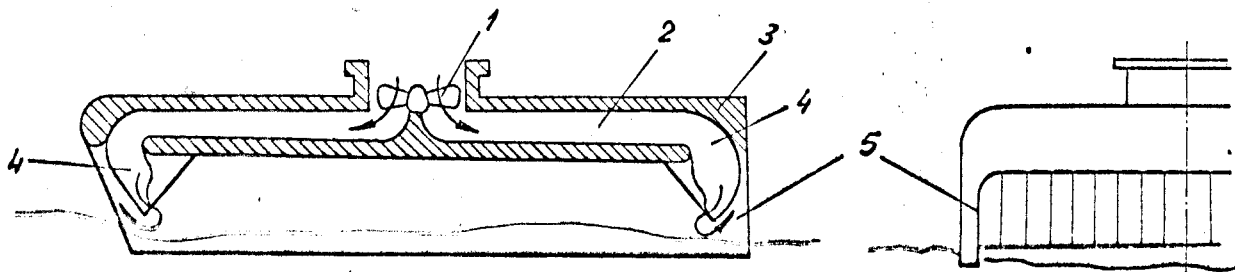


Fig.1.5 Schema navei cu pernă de aer cu pereți laterali longitudinali rigizi.

- 1- ventilator;
- 2- canal de aer;
- 3- corpul navei;
- 4- fustă flexibilă;
- 5- pereți longitudinali rigizi.

Principalele caracteristici ale navei cu pernă de aer cu fustă flexibilă extinsă pe întregul perimetru al pernei de aer sînt:

- viteze mari de deplasare, de ordinul (60 - 100)nd;
- capacitate de navă amfibie, care se poate deplasa pe orice teren ca: apă liberă, apă cu gheață spartă, gheață subțire, zăpadă, nisip, mlaștini, terenuri neamenajate, ape cu funduri mici, etc;
- propulsoare aeriene, cu randament mai scăzut decît la propulsoarele hidraulice (fig.1.6);
- nivelul apreciabil de zgomot și anume 70 dBA în cabine și 80 dBA în exterior la 30 m distanță /92/, datorită turbinelor cu gaze cu turație ridicată și a propulsoarelor aeriene.

Navele cu pereți laterali longitudinali rigizi și cu fuste flexibile la extremitățile prova și pupa, se caracterizează prin

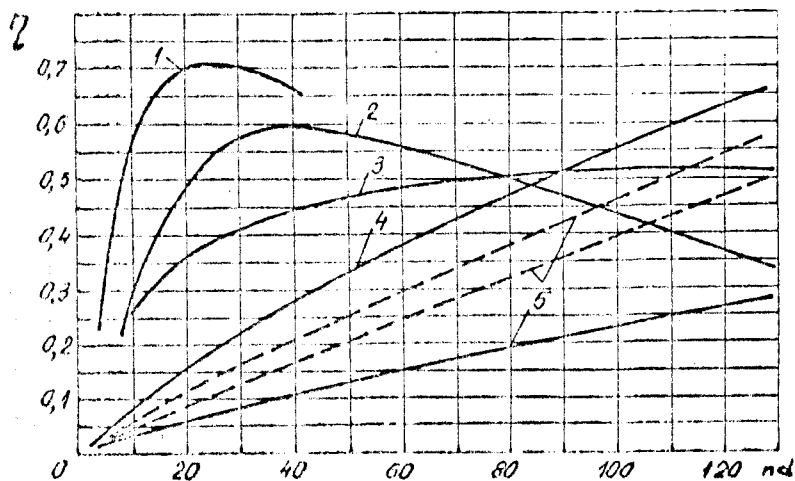


Fig.1.6 Variația randamentului de propulsie în funcție de viteză/100/.

1- elice hidraulice subcavitante; 2- elice hidraulice supercavitante; 3- propulsor cu jet hidroractiv; 4- elice aeriene; 5- propulsoare cu jet aeroreactiv.

următoarele:

- putere instalată specifică mult mai redusă (60 CP/t) față de navele cu pernă de aer amfibii, la care acest indicator este (60 ... 110) CP/t;
- posibilitatea utilizării propulsoarelor hidraulice, cu randament mai ridicat pentru gama uzuală de viteze (40 ... 60) nd (fig.1.6);
- se pot deplasa numai în apă liberă, dar utilizând propulsoare cu jet hidroractiv, pescajul navei poate fi redus la (0,1 ... 0,3)m;
- nivel de zgomot mult mai redus, datorită utilizării propulsoarelor hidraulice;
- manevrabilitate mai bună, datorită prezenței pereților laterali longitudinali rigizi, cu efect favorabil asupra stabilității de drum;
- viteze de marș mai reduse, datorită prezenței suplimentare a componentei de frecare în rezistența la înaintare a navei.

Această particularitate constituie un dezavantaj numai la navele cu pereți laterali rigizi de dimensiuni reduse; pentru navele mari cu pernă de aer, de ordinul miilor de tone, singura soluție constructivă acceptabilă este folosirea pereților laterali rigizi /92/.

Conform catalogului Jane's Surface Skimmers 1973/1974, în anul 1973 se construiau nave cu pernă de aer în 19 țări ale lumii.

În România, începând cu anul 1959, au fost făcute cercetări în domeniul navelor cu pernă de aer, inițial de către Institutul de cercetări pentru mecanică aplicată, care a realizat nava experimentală R3 pentru Delta Dunării, iar în anul 1969 aceste cercetări au fost continuate de către ICEPRONAV Galați, în colaborare

cu Universitatea din Galați.

După mai multe cercetări pe modele seminaturale, în anul 1972 a fost realizată nava experimentală amfibie O23E, de masă totală 1,6 t, cu o putere specifică instalată de 106 CP/t, care transportă 6 pasageri cu viteza de 57 Km/h.

De asemenea, în anul 1975 a fost predată Marinei Militare o navă amfibie cu pernă de aer ale cărei date constituind secret militar, nu pot fi prezentate.

Pentru cercetarea proceselor caracteristice navelor cu pernă de aer, începând cu anul 1973, la Universitatea din Galați funcționează laboratorul Nave cu pernă de aer, în cadrul căruia au fost realizate studii de sustentație, stabilitate și rezistență la înaintare, pentru ecran nedeformabil și sustentație pe apă. De asemenea, în cadrul acestui laborator au fost brevetate câteva soluții originale în vederea reducerii consumului de combustibil la navele cu pernă de aer.

În prezent, în cadrul laboratorului Nave cu pernă de aer al Universității din Galați, în colaborare cu ICEPRONAV Galați, se execută lucrările de proiectare, construire și experimentare a unor nave românești cu pernă de aer, în scopul reducerii și eliminării importului de nave rapide.

În prezenta lucrare vor fi prezentate câteva mijloace prin care se poate reduce consumul de combustibil al navelor cu pernă de aer, acționând asupra componentelor de rezistență la înaintare. În capitolul 2 vor fi analizate aceste componente, pentru a vedea cum pot fi ele micșorate.

2. REZISTENȚA APEI ȘI AERULUI LA ÎNĂLȚAREA NAVELOR CU PERNA DE AER

Ca și la navele de alte tipuri, rezistența celor două fluide la înălțarea NPA se stabilește analitic ca sumă a unor componente care se determină considerând că ele nu se influențează reciproc. Acest principiu, care dă rezultate satisfăcătoare pentru celelalte tipuri de nave, este respectat deocamdată și pentru NPA, deși influența reciprocă a diferitelor componente ale rezistenței este probabil, în acest caz, mult mai importantă. Astfel de exemplu, aspirația unui volum mare de aer în interiorul corpului de către sistemul de susținere, nu poate să nu influențeze mărimea rezistenței aerodinamice. În această privință, în prezent nu au fost stabilite reguli generale, întrucât interacțiunea dintre diferitele componente ale rezistenței este determinată într-o măsură deosebit de mare de caracteristicile constructive ale fiecărei NPA.

Rezistența la înălțare a unei NPA are, în cazul general, următoarele componente /15/, separate în funcție de natura lor:

$$R = R_V + R_S + R_F + R_{fr} + R_a + R_i \quad (2.1)$$

R_V - rezistența de val, determinată de acțiunea asupra apei a unui sistem mobil de presiuni dat de perna de aer și de părțile imerse ale corpului navei;

R_S - rezistența de stropi, determinată de interacțiunea jeturilor de aer cu apa și interacțiunea stropilor de apă cu corpul navei;

R_F - rezistența de formă a părților imerse;

R_{fr} - rezistența de frecare a părților imerse;

R_a - rezistența aerodinamică a NPA, ținând cont de interacțiunea dintre curentul de aer întâlnit și jeturile de aer care limitează zona de presiune mărită;

R_i - rezistența de impuls, datorată variației cantității de mișcare a aerului aspirat de ventilatoarele de susținere.

Cu această mențiune asupra caracterului convențional al împărțirii, având în vedere interdependența dintre componentele separate, Everest și Hogben /29/ de la National Physical Laboratory au propus împărțirea rezistenței totale a NPA în următoarele categorii de componente:

I. Rezistența de înclinare sau rezistența de asietă, egală cu produsul dintre greutatea modelului și unghiul de înclinare față de orizontală.

In această categorie trebuie inclusă rezistența de val R_v și rezistența de așietă la viteză nulă R_{as} , datorită înclinării longitudinale a navei.

II. Rezistența cantității de mișcare a aerului aspirat de sistemul de sustentatie, egală cu produsul dintre viteza de marș și debitul masic de aer, deci rezistența de impuls R_i .

III. Rezistența cantității de mișcare a aerului evacuat, egală cu produsul dintre componenta orizontală a vectorului vitezei de ieșire a aerului din pernă și debitul masic de aer. Această componentă a fost evidențiată pentru prima dată și numai de către Everest și Hogben, fără însă ca ei să efectueze un studiu asupra mărimii ei. In capitolul 3 al lucrării, sînt prezentate cercetările personale făcute pentru determinarea cantitativă a acestei componente, pe care o vom denumi componentă de jet, R_j .

IV. Rezistența aerodinamică a NPA, R_a , mărime evidențiată de cercetători.

V. Rezistența de formare a stropilor, de umzire a fundului și de contact cu apa. Revizuire prima clasificare făcută, constatăm că în această categorie trebuie incluse rezistența de stropi R_s , rezistența de formă a părților imerse R_f și rezistența de frecare a părților imerse R_{fr} .

Componentele de rezistență notate mai sus cu I și II au fost calculate separat și apoi au fost scăzute din rezistența totală la înaintare. Diferența, numită rezistență reziduală, este reprezentată în fig. 2.1., în funcție de numărul Froude și greutatea modelului, conform experimentărilor făcute de Everest și Hogben /29/.

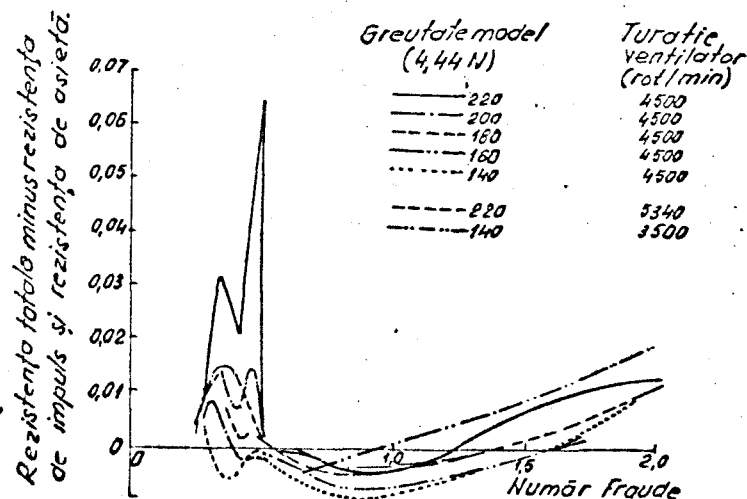


Fig. 2.1 Variația rezistenței reziduale în funcție de numărul Froude și greutatea modelului, după Everest și Hogben

In cele ce urmează, vom considera că rezistența totală la

menținerea unei NPA este:

$$R = R_v + R_{as} + R_i + R_j + R_a + R_s + R_f + R_{fr} \quad (2.2)$$

cu notațiile explicate anterior și vom analiza fiecare componentă în parte.

2.1. Rezistența de val

Rezistența de val a NPA este determinată de acțiunea asupra apei a unui sistem mobil de presiuni, care constă din presiunea pernei de aer și din acțiunea asupra apei a părților imerse ale corpului navei.

În cele ce urmează ne vom ocupa de rezistența de val provocată de câmpul mobil de presiune uniformă, fenomen caracteristic navelor cu pernă de aer.

2.1.1. Teoria Newman-Poole

Această teorie a fost elaborată pe baza cercetărilor efectuate la David Taylor Model Basin, Washington și a fost publicată /72/ în anul 1962.

În etapa inițială se consideră un câmp de presiune care se deplasează cu viteză constantă pe axa unui canal cu lățime și adâncime finite și constante. În următoarele etape ale analizei se introduce restricția că acest câmp de presiune este uniform și limitat perimetral de un dreptunghi sau o elipsă.

În scopul rezolvării problemei, a fost necesară modificarea rezultatelor lui Wehausen, pentru a introduce efectul pereților pentru un câmp de presiuni de distribuție oarecare, distribuție dreptunghiulară și distribuție eliptică.

2.1.1.1. Cazul unei distribuții oarecare de presiune

Considerăm un sistem cartezian în coordonate (x, y, z) cu planul $Y=0$ la suprafața liberă neperturbată și cu Y pozitiv orientat în sus.

Dacă distribuția de presiune $p(x, z)$ se deplasează cu viteză constantă v în direcția $+x$ pe suprafața unui fluid de adâncime constantă, lucrul mecanic L consumat pentru formarea valurilor este dat de Wehausen prin relația:

$$L = \frac{v}{\pi \rho g} \int_{\theta_0}^{\pi/2} \frac{k_0^3 \cos \theta}{1 - \gamma h \sec^2 \theta \operatorname{sech}^2 k_0 h} \left\{ [P(\theta)]^2 + [Q(\theta)]^2 \right\} d\theta \quad (2.3)$$

în care :

$$P(\theta) = \iint_{-\infty}^{+\infty} p(x, z) \cos[k_0(x \cos \theta + z \sin \theta)] dx dz$$

$$Q(\theta) = \iint_{-\infty}^{+\infty} p(x, z) \sin[k_0(x \cos \theta + z \sin \theta)] dx dz$$

$$\theta_0 = \frac{\gamma h}{\cos \sqrt{\gamma h}} \quad \text{pentru } \gamma h < 1$$

$$\theta_0 = 0 \quad \text{pentru } \gamma h > 1$$

$$\nu = \frac{\delta}{v^2}$$

$k_0 = k_0(\theta)$ este rădăcina reală și pozitivă a expresiei:

$$k_0 - \nu \sec^2 \theta \operatorname{th} k_0 h = 0$$

$$0_0 < \theta < \frac{\pi}{2}$$

Schimbând variabila de integrare cu $k = k_0 h$ rezultă:

$$\cos \theta = \sqrt{\nu h \frac{\operatorname{th} k}{k}}$$

$$\sin \theta = \sqrt{1 - \nu h \frac{\operatorname{th} k}{k}}$$

$$\frac{d\theta}{dk} = \frac{\sqrt{\nu h}}{2 k \operatorname{ch}^2 k} \frac{\operatorname{ch} k \operatorname{sh} k - k}{\sqrt{\operatorname{th} k (k - \nu h \operatorname{th} k)}}$$

și deci:

$$L = \frac{\nu \nu}{2 \pi \rho g h^2} \int_{k_0}^{\infty} \frac{k^2 \operatorname{th} k}{\sqrt{k^2 - \nu h \operatorname{th} k}} \left\{ [P(k)]^2 + [Q(k)]^2 \right\} dk \quad (2.4)$$

unde:

$$P(k) + iQ(k) = \iint_{-\infty}^{\infty} p(x, z) \exp\left(\frac{ix}{h} \sqrt{\nu h k \operatorname{th} k} + \frac{iz}{h} \sqrt{k^2 - \nu h k \operatorname{th} k}\right) dx dz$$

iar k_0 este rădăcina reală pozitivă a ecuației:

$$k_0 - \nu h \operatorname{th} k_0 = 0 \quad \text{dacă } \nu h > 1 \quad \text{și}$$

$$k_0 = 0 \quad \text{dacă } \nu h \leq 1$$

Din considerente energetice se poate scrie $R_v = \frac{L}{v}$

Ecuatiile de mai sus sînt valabile pentru o suprafață liberă nelimitată, dar ele sînt ușor adaptabile pentru cazul unui canal cu lățime constantă, prin utilizarea „metodei imaginilor”.

Pentru simplificarea calculelor algebrice, se consideră că distribuția inițială de presiune este simetrică față de axa longitudinală a canalului, pe care o adoptăm să coincidă cu axa x .

Dacă distanța dintre pereții canalului este w , condiția de limită pe acești pereți poate fi satisfăcută prin localizarea imaginii distribuțiilor de presiune de-a lungul axei z , marcată de punctele $z = \pm nw$ unde $n = 1, 2, 3, \dots$

În acest caz distribuția totală de presiune va fi periodică $p(x, z+nw) = p_0(x, z)$, adică pentru $z < \frac{w}{2}$, $p_0(x, z)$ este distribuția inițială de presiune amplasată în interiorul canalului. Este necesar să începem cu un număr finit $2N$ de imagini, astfel încît ($n=1, 2, 3, \dots, N$) pentru a asigura convergența integralelor.

În acest caz funcțiile $P + iQ$ pot fi scrise :

$$P+iQ = \sum_{n=-N}^N (P_0 + iQ_0) e^{inw/h} \sqrt{k^2 - \nu h k \operatorname{th} k} \quad (2.5)$$

unde

$$P_0 + iQ_0 = \iint_{S_0} p_0(x, z) \exp \left\{ \frac{ix}{h} \sqrt{\gamma h k} \operatorname{th} k + \frac{iz}{h} \sqrt{k^2 - \gamma h k} \operatorname{th} k \right\} dx dz \quad (2.6)$$

iar S_0 este suprafața pe care acționează presiunea p_0 .
 Întrucît $P_0 + iQ_0$ nu depinde de n , suma din (2.5) poate fi calculată cu formula:

$$\sum_{n=-N}^N e^{inz} = \frac{\sin \left[\frac{1}{2} - z(2N+1) \right]}{\sin \frac{1}{2} z}$$

astfel încît:

$$P + iQ = \frac{\sin \left[(2N+1) \frac{w}{2h} \sqrt{k^2 - \gamma h k} \operatorname{th} k \right]}{\sin \left[\frac{w}{2h} \sqrt{k^2 - \gamma h k} \operatorname{th} k \right]} (P_0 + iQ_0)$$

iar lucrul mecanic total absorbit pentru provocarea rezistenței de val a tuturor distribuțiilor de presiune $2N+1$ este în acest caz:

$$L = \frac{\gamma v}{2\pi \rho g h^2} \int_{k_0}^{\infty} \frac{k^2 \operatorname{th} k \sin^2 \left[\frac{2N+1}{2h} \sqrt{k^2 - \gamma h k} \operatorname{th} k \right]}{\sqrt{k^2 - \gamma h k} \operatorname{th} k \sin^2 \left[\frac{w}{2h} \sqrt{k^2 - \gamma h k} \operatorname{th} k \right]} \left\{ [P_0(k)]^2 + [Q_0(k)]^2 \right\} dk \quad (2.7)$$

Rezistența de val a unei distribuții singulare de presiune (de exemplu presiunea centrală $n=0$) într-un canal, este dată de media rezistenței tuturor imaginilor pentru limita $N \rightarrow \infty$, adică:

$$R_v = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{L}{(2N+1)v}$$

în ipoteza existenței acestei limite.

Deci,

$$R_v = \frac{\gamma}{2\pi \rho g h^2} \lim_{N \rightarrow \infty} \int_{k_0}^{\infty} \frac{k^2 \operatorname{th} k \sin^2 \left[\frac{2N+1}{2h} w \sqrt{k^2 - \gamma h k} \operatorname{th} k \right]}{\sqrt{k^2 - \gamma h k} \operatorname{th} k (2N+1) \sin^2 \left[\frac{w}{2h} \sqrt{k^2 - \gamma h k} \operatorname{th} k \right]} \left\{ [P_0(k)]^2 + [Q_0(k)]^2 \right\} dk \quad (2.8)$$

Funcția $\theta = \frac{w}{2h} \sqrt{k^2 - \gamma h k} \operatorname{th} k$ este monoton crescătoare în funcție de k , al cărui domeniu de variație este între 0 și ∞ , astfel încît k are valori între k_0 și ∞ . Rezultă că putem pune (2.8) sub forma:

$$R_v = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2N+1} \int_{k_0}^{\infty} F(k) \frac{\sin^2 \left[(2N+1)\theta \right]}{\sin^2 \theta} dk = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2N+1} \int_0^{\infty} f(\theta) \frac{\sin^2 \left[\theta(2N+1) \right]}{\sin^2 \theta} d\theta$$

unde

$$f(\theta) = \frac{F(k)}{d\theta/dk} = \frac{\gamma w}{4\pi \rho g h^3} \frac{k^2 \operatorname{th} k}{\theta(d\theta/dk)} (P_0^2 + Q_0^2)$$

Impărțind intervalul de integrare, rezultă că

$$R_V = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2N+1} \left\{ \int_0^{\pi/2} f(\theta) \frac{\sin^2 (2N+1)\theta}{\sin^2 \theta} d\theta + \sum_{n=1}^{\infty} \int_{(2N-1)\frac{\pi}{2}}^{(2N+1)\frac{\pi}{2}} f(\theta) \frac{\sin^2 (2N+1)\theta}{\sin^2 \theta} d\theta \right. \\ \left. = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2N+1} \left\{ \int_0^{\pi/2} f(\theta) \frac{\sin^2 (2N+1)\theta}{\sin^2 \theta} d\theta + \int_{-\pi/2}^{\pi/2} f(\theta+n\pi) \frac{\sin^2 (2N+1)\theta}{\sin^2 \theta} d\theta \right\} \right.$$

Limitele acestor integrale pot fi obținute direct folosind teoria seriilor Fourier, astfel:

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2N+1} \int_0^{\pi/2} f(\theta) \frac{\sin^2 (2N+1)\theta}{\sin^2 \theta} d\theta = \frac{\pi}{2} f(0)$$

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2N+1} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} f(\theta+n\pi) \frac{\sin^2 (2N+1)\theta}{\sin^2 \theta} d\theta = f(n\pi)$$

și prin urmare :

$$R_V = \frac{\pi}{2} \sum_{m=0}^{\infty} \xi_m f(m\pi) \quad (2.9)$$

unde $\xi_0 = 1$ și $\xi_m = 2$ dacă $m \geq 1$ sau

$$R_V = \frac{\nu}{\rho g w h} \sum_{m=0}^{\infty} \xi_m \frac{k_m^2 \operatorname{th} k_m \{ [P_0(k_m)]^2 + [Q_0(k_m)]^2 \}}{2k_m - \nu h \operatorname{th} k_m - \nu h k_m \operatorname{sech}^2 k_m} \quad (2.10)$$

unde k_m este rădăcina reală pozitivă a ecuației:

$$k_m^2 - \nu h k_m \operatorname{th} k_m = \frac{4\pi^2 m^2 h^2}{w^2} \quad (2.11)$$

Pentru $\nu h < 1$ $k_0 = 0$ și termenul cu $m=0$ din ecuația (2.10) tinde către zero. Intrucît h tinde către 1 dinspre valori mai mari, adică $h \rightarrow 1+0$, termenul cu $m=0$ tinde către limita finită.

$$\frac{k_0^2 \operatorname{th} k_0 (P_0^2 + Q_0^2)}{2k_0 - \nu h \operatorname{th} k_0 - \nu h k_0 \operatorname{sech}^2 k_0} \rightarrow \frac{3}{2} \left[\iint_{S_0} p_0(x, z) dx dz \right]^2$$

Cînd νh trece prin 1, rezistența de val are un salt ΔR de mărime:

$$\Delta R = \frac{3 \left[\iint_{S_0} p_0(x, z) dx dz \right]^2}{\rho g w h^2} \quad (2.12)$$

Rezultă că această discontinuitate va da naștere la o scădere bruscă a rezistenței la creșterea vitezei, cînd se trece prin numărul Froude critic

$$\frac{gh}{v^2} = 1$$

Această discontinuitate se anulează pentru $w \rightarrow \infty$ și deci ea este o consecință a pereților canalului.

Cu excepția acestui punct singular, numitorul fiecărui termen din expresia (2.10) este pozitiv.

Rezultă că termenii din (2.10) sînt complet limitați și chiar mai mult, putem renunța la semnul de valoare absolută de la numitor.

În acest fel am obținut rezistența de val a unei distribuții de presiune dintr-un canal, sub forma unor serii finite. Pentru adîncime infinită ($h \rightarrow \infty$) limita expresiei (2.10) devine:

$$R_V = \frac{\nu^2}{4\rho g w} \sum_{m=0}^{\infty} \sum_m \frac{\left[1 + \sqrt{1 + \left(\frac{4\pi m}{\nu w}\right)^2}\right]}{\sqrt{1 + \left(\frac{4\pi m}{\nu w}\right)^2}} (P_{\infty}^2 + Q_{\infty}^2) \quad (2.13)$$

unde,

$$P_{\infty} + iQ_{\infty} = \iint P_0(x, z) \exp\left(-\frac{1}{2} i \nu x \sqrt{1 + \sqrt{1 + \left(\frac{4\pi m}{\nu w}\right)^2}} + 2\pi i y m / w\right) dx dz$$

2.1.1.2. Căzul distribuției de presiune dreptunghiulare

Cînd cîmpul este uniform și are o formă dreptunghiulară, cu dimensiunile L și B , sînt respectate condițiile:

$$\begin{aligned} p_0(x, z) &= p_0 \quad \text{pentru } |x| < \frac{L}{2} \quad \text{și } |z| < \frac{B}{2} \\ p_0(x, z) &= 0 \quad \text{pentru } |x| > \frac{L}{2} \quad \text{și } |z| > \frac{B}{2} \end{aligned}$$

unde L și B sînt lungimea, respectiv lățimea cîmpului de presiune, iar presiunea p_0 este constantă.

Înlocuind în (2.6) și integrînd în limitele indicate pentru x și z , rezultă:

$$P_0(k) = \frac{4p_0 h^2 \sin\left(\frac{L}{2h} \sqrt{\nu h k} \operatorname{th} k\right) \sin\left(\frac{B}{2h} \sqrt{k^2 - \nu h k} \operatorname{th} k\right)}{\sqrt{\nu h k} \operatorname{th} k \sqrt{k^2 - \nu h k} \operatorname{th} k} \quad (2.14)$$

$$Q_0(k) = 0$$

Înlocuind (2.14) în (2.10) și utilizînd (2.11), se ajunge la rezultatul că rezistența de val a unei distribuții de presiune dreptunghiulare uniforme este:

$$R_V = \frac{4p_0^2 w}{\rho^2 g} \sum_{m=0}^{\infty} \sum_m \frac{k_m \sin^2\left(\frac{\pi B}{2w} m\right) \sin^2\left(\frac{L}{2h} \sqrt{\nu h k_m} \operatorname{th} k_m\right)}{2k_m - \nu h \operatorname{th} k_m - \nu h k_m \operatorname{sech}^2 k_m} \quad (2.15)$$

Un caz special interesant este $w=B$, cînd distribuția de presiune se extinde complet de-a latul canalului și problema devine bidimensională. În expresia (2.15) singurul termen diferit de zero rămîne cel cu $m=0$ și rezultă:

$$R_v = \frac{4\rho_0^2 w}{g} \frac{k_0 \sin^2\left(\frac{L}{2h} \sqrt{\gamma h k_0 \operatorname{th} k_0}\right)}{2k_0 - \gamma h \operatorname{th} k_0 - \gamma h k_0 \operatorname{sech}^2 k_0}$$

sau pentru că $k_0 - \gamma h \operatorname{th} k_0 = 0$

$$R_v = \frac{4\rho_0^2 w}{g} \frac{\sin^2\left(\frac{k_0 L}{2h}\right)}{1 - \frac{2k_0}{\operatorname{sh} 2k_0}} \quad (2.16)$$

Această expresie este nulă pentru $\gamma h < 1$ și pentru o gamă infinită de viteze pentru care:

$$v^2 = \frac{gL \operatorname{th}(2\pi n h/L)}{2\pi n} \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

Seriile infinite date de ecuațiile (2.15) și formele lor particulare pentru adâncimea infinită au fost calculate utilizând computerele digitale IBM tip 704 și 7090. Rezultatele acestor calcule sînt arătate în figurile 2.2 - 2.4.

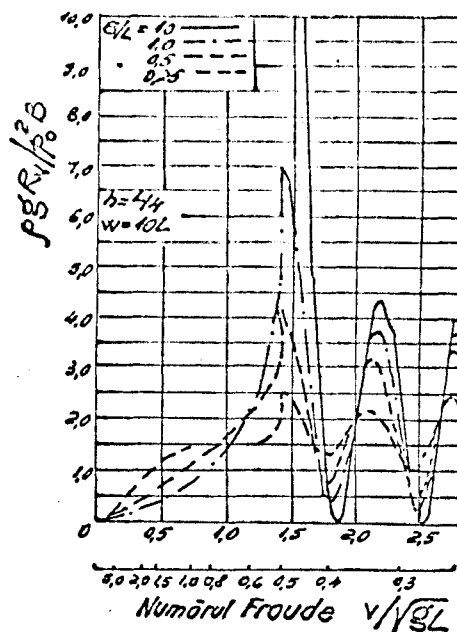
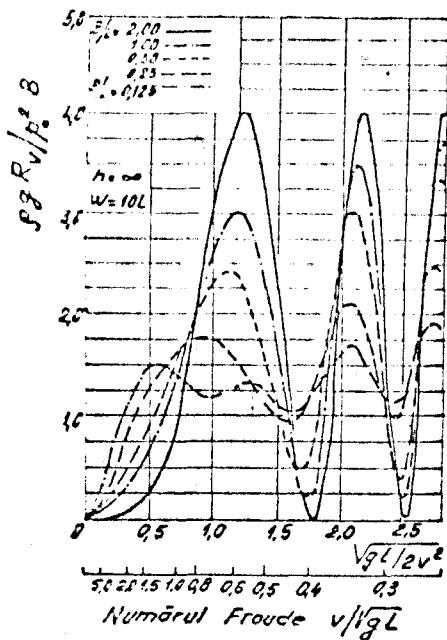


Fig.2.2. Rezistența de val a unui câmp de presiune dreptunghiular într-un canal de adâncime infinită, pentru diverse rapoarte B/L.

Fig.2.3. Rezistența de val a unui câmp de presiune dreptunghiular într-un canal cu adâncime $h=L/4$, pentru diverse rapoarte B/L. Pentru $B/L=10$ valoarea maximă este 24 pentru numărul Froude critic $1/2$ și apoi devine nulă pentru numere Froude mai mari.

Figurile 2.2 și 2.3 arată rezistența de val a unei distri-

buții de presiune dreptunghiulare într-un canal foarte lat ($w/L=10$), pentru adâncime infinită și pentru adâncime finită $h=L/4$. Curbele sînt figurate pentru diverse rapoarte B/L , în funcție de reciprocul numărului Froude, $\sqrt{gL/2v^2}$.

Figura 2.4 arată rezultatele obținute pentru un singur raport lățime/lungime ($B/L = 0,5$) și diverse valori pentru adâncimea canalului h .

O trăsătură remarcabilă a acestor rezultate o constituie creștele și golurile pronunțate ce apar la numere Froude scăzute datorită efectelor de interferență.

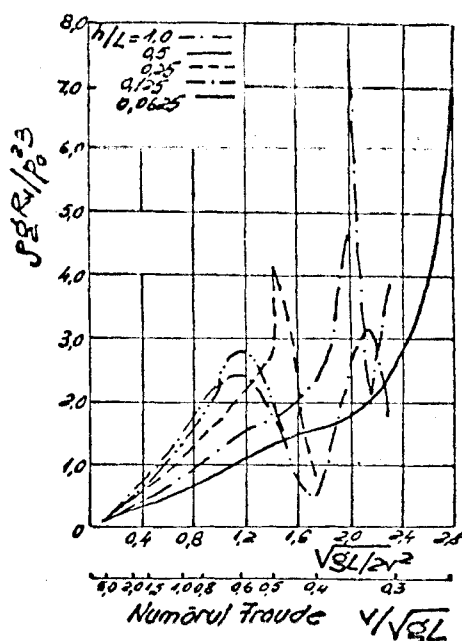


Fig.2.4. Rezistența de val a unui câmp de presiune dreptunghiular pentru $B/L = 1/2$ și diverse adâncimi h .

Din figurile 2.3 și 2.4 se observă că în punctul $gh/v^2=1$ există un salt de rezistență. Din relația (2.12) se poate observa că acest salt se anulează dacă lățimea bazinului tinde la infinit. Ecuația (2.4) arată că în acest caz rezistența este finită și continuă în punctul $gh/v^2=1$, însă există o discontinuitate în ramura descendentă.

În concluzie, rezultatele prezentate în fig.2.2 - 2.4 pot fi utilizate pentru orice lățime de bazin sau pentru cazul unei suprafețe libere nelimitate, cu excepția vecinătății numărului critic Froude $gh/v^2=1$ pentru care lățimea bazinului prezintă importanță.

2.1.2. Teoria Everest-Hogben

La National Physical Laboratory, Ship Division, Anglia, Everest și Hogben s-au ocupat /29,30/ de studiul formării valurilor

gi de rezistența de val, publicînd o teorie proprie în anul 1969, după ce au verificat experimental formula de calcul dată de Newman și Poole /72/.

Constatănd că lucrarea /72/ tratează doar rezistența de val a formei simetrice dreptunghiulare sau eliptice, Everest și Hogben au stabilit o teorie valabilă pentru orice formă în plan a pernei și orice unghi de derivă.

Ei au prezentat perna de aer de formă arbitrară printr-un câmp de linii orizontale de surse, care pot fi construite succesiv prin integrarea distribuțiilor de surse punctiforme.

În cadrul acestei teorii este reprezentat un sistem de axe de coordonate care se deplasează odată cu câmpul de surse, cu originea pe axa bazinului, la nivelul apei calme. Axele x, y, z , coincid cu direcțiile longitudinală, transversală și respectiv verticală, cu axa pozitivă în jos.

Cota unui punct de pe suprafața apei, agitată de valurile libere ce iau naștere într-un bazin adînc de lățime h , în urma unui câmp de surse de poziție $m_r(x_r, y_r, z_r)$, simetric față de planul diametral al bazinului și care se deplasează cu viteza v , este dată de relația:

$$\zeta_s = \frac{gJ}{hv} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_r m_r \left\{ A_r \cos \alpha_n x + B_r \sin \alpha_n x \right\} \cos \beta_n y \quad (2.17)$$

unde:

$$A_r = \frac{e^{-z_r \left(\frac{\alpha_n^2}{k} \right)}}{2 - \frac{k^2}{\alpha_n^2}} \cos \alpha_n x_r \cos \beta_n y_r$$

$$B_r = \frac{e^{-z_r \left(\frac{\alpha_n^2}{k} \right)}}{2 - \frac{k^2}{\alpha_n^2}} \sin \alpha_n x_r \cos \beta_n y_r$$

$$k = \frac{g}{v^2} \quad \alpha_n = k \sec \theta_n$$

$$\beta_n = k \sin \theta_n \sec^2 \theta_n = \frac{2\pi n}{h}$$

θ_n = unghiul dintre direcția de propagare a valurilor și planul diametral al bazinului, pentru componenta de val n .

Ecuția (2.17) poate fi exprimată într-o formă geometrică care să reprezinte valul liber simetric dintr-un bazin adînc, astfel:

$$\zeta_m = \frac{1}{2} \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n \left\{ \sin \xi_n \cos \alpha_n x + \cos \xi_n \sin \alpha_n x \right\} \cos \beta_n y \quad (2.18)$$

unde coeficienții $a_n \sin \xi_n$ și $a_n \cos \xi_n$ din ecuația (2.18) pot fi exprimați în funcție de poziția sursei și pot fi de asemenea determi-

prin analiza suprafețelor de val măsurate.

Comparând coeficienții din ecuațiile (2.17) și (2.18), se formează un sistem de ecuații cu m_r , a_n și ξ_n astfel;

$$\begin{aligned} a_n \sin \xi_n &= \frac{16\pi}{hv} \sum_r m_r A_r \\ a_n \cos \xi_n &= \frac{16\pi}{hv} \sum_r m_r B_r \end{aligned} \quad (2.19)$$

Cînd amplitudinile a_n pot fi determinate fie prin măsurare, fie cu ecuațiile (2.19), rezistența de val poate fi calculată cu relația;

$$R_v = \frac{\rho g h}{16} \sum_{n=-\infty}^{\infty} (2 - \cos^2 \theta_n) a_n^2 \quad (2.20)$$

cu $a_n = a_{-n}$

Pentru a putea aplica cele de mai sus la NPA, se definește relația dintre densitatea de sursă σ și presiunea din pernă p_p , astfel;

$$4\pi\sigma = v \frac{\partial S}{\partial x} = \frac{v}{\rho g} \frac{\partial p_p}{\partial x} \quad (2.21)$$

Relația (2.21) arată că densitatea de sursă este proporțională cu gradientul de presiune. Aceasta provoacă unele dificultăți, pentru că în cazul NPA $\frac{\partial p_p}{\partial x} \rightarrow 0$ pretutindeni, în afară de perimetrul pernei (excluzînd părțile paralele cu axa x), unde $\frac{\partial p_p}{\partial x} \rightarrow \infty$.

Pentru depășirea acestei dificultăți, se ține cont că frontiera poate fi reprezentată printr-o linie de surse de densitate σ' , astfel încît;

$$\frac{\sigma'_r}{v'} = \int \frac{\sigma_r}{v} dx = \frac{1}{4\pi \rho g} \int \frac{\partial p_p}{\partial x} dx = \frac{p_p}{4\pi \rho g} \quad (2.22)$$

integrarea în raport cu x fiind făcută de-a lungul frontierei.

Componentele de bază cu ajutorul cărora poate fi construită perna sînt, deci, liniile orizontale de surse elementare, de densitate uniformă, dispuse în interiorul perimetrului. În cele mai multe cazuri practice, poate fi făcută o reprezentare satisfăcătoare cu ajutorul unui număr relativ mic de surse elementare, fiecare dintre ele definită prin densitatea de sursă, poziția centrului și înclinarea față de planul diametral al bazinului.

Pentru cazul unui astfel de cîmp de linii de surse, care fac unghiul φ cu planul diametral al bazinului, ecuațiile (2.19) devin:

$$\begin{aligned} a_n \sin \xi_n &= \frac{16\pi}{hv} \sum_r \sigma'_r F_r A_r \\ a_n \cos \xi_n &= \frac{16\pi}{hv} \sum_r \sigma'_r G_r B_r \end{aligned} \quad (2.23)$$

unde:

$$F_r = \frac{1}{\cos \alpha_n x_r} \left\{ \frac{\sin \left[\frac{1}{2} (\alpha_n^A + \beta_n) \delta y_r \right] \cos (\alpha_n x_r + \beta_n y_r)}{\alpha_n^A + \beta_n} + \frac{\sin \left[\frac{1}{2} (\alpha_n^A - \beta_n) \delta y_r \right] \cos (\alpha_n x_r - \beta_n y_r)}{\alpha_n^A - \beta_n} \right\}$$

$$G_r = \frac{1}{\sin \alpha_n x_r} \left\{ \frac{\sin \left[\frac{1}{2} (\alpha_n^A + \beta_n) \delta y_r \right] \sin (\alpha_n x_r + \beta_n y_r)}{\alpha_n^A + \beta_n} + \frac{\sin \left[\frac{1}{2} (\alpha_n^A - \beta_n) \delta y_r \right] \sin (\alpha_n x_r - \beta_n y_r)}{\alpha_n^A - \beta_n} \right\} \quad (2.24)$$

$$A = c t \cos \varphi$$

$\delta y_r \operatorname{cosec} \varphi =$ lungimea liniei de sursă σ_r

$$\frac{\sigma_r}{v} = \frac{p_D}{4\pi \rho g}$$

În analiză făcute mai sus, sursele au fost dispuse arbitrar, cu excepția condiției de simetrie față de planul diametral al bazinului. Această restricție de simetrie poate fi evitată prin următorul artificiu. Dacă este necesar un câmp asimetric, el este așezat la o distanță mare față de unul din pereții laterali ai bazinului, iar simetric cu el față de planul diametral, se așează un câmp fictiv de imagini, identic cu cel real. Perechea de câmpuri astfel definită este simetrică, dar dacă distanța dintre ele este suficient de mare, fiecare jumătate a sistemului poate fi tratată în scopuri practice ca un câmp unitar asimetric. Dacă lățimea bazinului este suficient de mare, în mod efectiv este reprezentat cazul apei libere.

Pentru ecuațiile arătate mai sus a fost întocmit un program de calcul la care mărimea de intrare a fost formată astfel încât orice formă în plan arbitrară poate fi definită în funcție de coordonatele unei serii de puncte consecutive dispuse în interiorul perimetrului. Calculatorul a racordat apoi aceste puncte printr-o linie dreaptă a surselor elementare. Se poate aplica de asemenea orice unghi de derivă dorit, în cadrul coordonatelor redefinite la nevoie.

Una din mărimile de ieșire ale calculatorului este rezistența de val. Programul de calcul a fost încercat cu succes deplin în cazul teoriei bidimensionale și ulterior a fost comparat cu rezultatele obținute pentru o platformă dreptunghiulară în apă liberă, pe baza teoriilor Newman-Poole și Barratt.

S-a constatat o bună corespondență în cazul tridimensional prin utilizarea unui bazin mare și larg pentru a aproxima condițiile de apă liberă și limitând numărul de termeni din sumă la aproximativ o sută. Rezistența de val a unei NPA dreptunghiulare ($L_p/B_p = 1,5$) ce se deplasează într-un bazin de lățime $10B_p$ este arătată în figura 2.5, în comparație cu rezultatele teoriei Barratt.

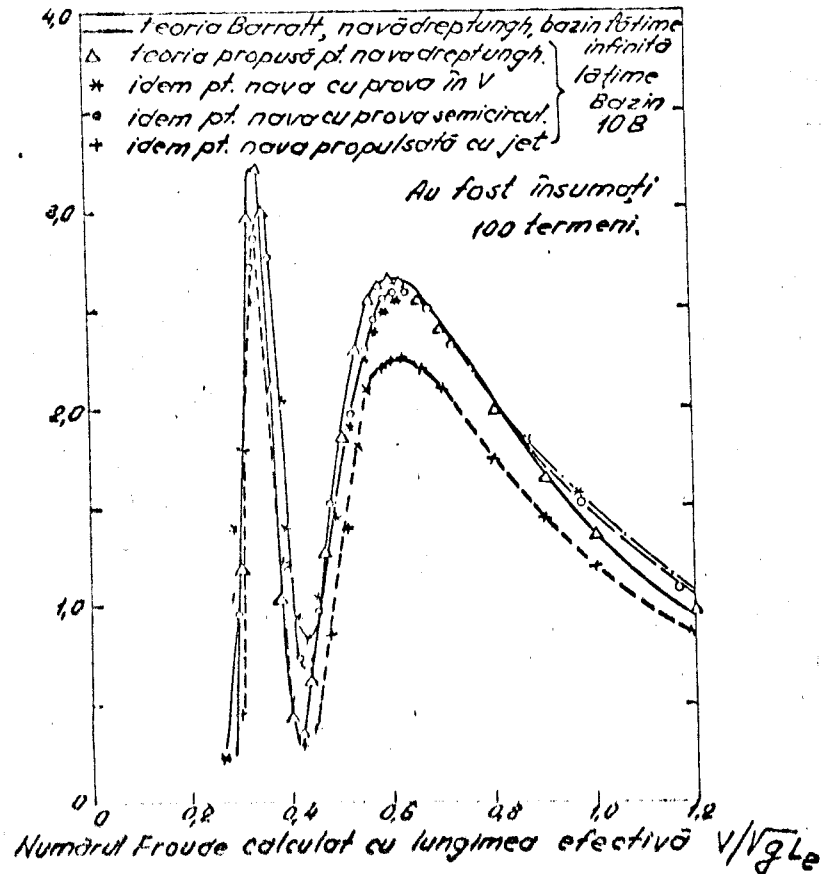


Fig.2.5. Rezistența de val a unor NPA dreptunghiulare, cu prova în V sau semicirculară.

$$L_e/B = 3/2; \quad L_e = \frac{\text{Aria pernei}}{\text{Lățimea maximă}}$$

În cazurile în care perimetrul pernei este curbat și nu este posibilă reprezentarea lui într-un număr limitat de linii drepte, poate fi obținută o bună aproximare prin utilizarea unui număr mare de linii de surse elementare. De exemplu, au fost făcute calcule în care un cerc a fost reprezentat prin 72 linii de surse elementare.

Incontestabil, corelația s-ar putea face mai bine în cazul unui număr mărit de linii de sursă. Ținând cont de restricțiile teoriei liniare la numere Froude scăzute ($< 2/9$), timpul mărit de calcul asociat cu creșterea numărului de surse, nu este justificabil.

2.1.2.1. Cazul navei fără derivă

Pînă la apariția acestei teorii, rezistența de val a unei nave cu o formă în plan mai complicată a fost calculată cu ajutorul formulelor stabilite pentru o navă dreptunghiulară sau eliptică [72]. În acest scop a fost utilizată o lungime efectivă de pernă (L_{ep}) definită prin suprafața pernei împărțită prin lățime, în locul lungimii de gabarit a pernei. Această înlocuire afectează atât raportul L_p/B_p , cât și Froude.

Prin metoda propusă de Everest și Hogben este posibilă reprezentarea unui câmp de presiune de formă oarecare, utilizînd liniile elementare de surse. Rezultatele obținute cu nava avînd prova semicirculară și în V ($L_{ep}/B_p = 1,5$) sînt ilustrate în fig. 2.5, în comparație cu rezultatele unei nave dreptunghiulare cu același raport de aspect. Ținînd cont de definiția diferită a numărului Froude în funcție de lungimea reală (L_p) sau cea efectivă (L_{ep}) calculată ca mai sus, există unele diferențe de fază în comparație cu forma dreptunghiulară cu același raport de aspect, dar, pe de altă parte, curbele sînt foarte asemănătoare și tind să justifice simplificarea de calcul utilizată în trecut.

Aceste rezultate indică o oarecare sensibilitate a rezistenței de val a formelor indicate mai sus, în condiții de derivă nulă.

2.1.2.2. Cazul navei cu derivă

Pentru a putea aplica metoda propusă, a fost utilizată o imagine simetrică fictivă de pernă, astfel încît NPA să se poată deplasa în derivă. Dacă este aleasă o depărtare mare între navă și imaginea sa, nu va avea loc interferența de val, iar soluția pentru nava singulară în derivă poate fi efectiv determinată.

Unghiurile de derivă în domeniul $0-90^\circ$ au fost considerate pentru $0,4 < Fn < 1,4$. Rezistențele de val măsurate, care au fost înjumătățite pentru a elimina efectul navei imagine, sînt prezentate în fig. 2.6. a.

În cadrul acestor măsurători, numărul Froude a fost calculat cu lungimea pernei măsurată între axele jeturilor de aer, iar rezistența de val adimensională a fost calculată cu dimensiunile normale față de planul diametral al navei, independent de unghiul de derivă (vezi fig. 2.6a).

Examinarea diagramelor arată o creștere foarte rapidă a rezistenței de val cu unghiul de derivă, în domeniul $10^\circ \dots 30^\circ$.

Efectul este mai puternic pentru numere Froude în domeniul $0,4 \dots 0,5$ și unghiul de derivă între 0° și 45° , rezistența de val

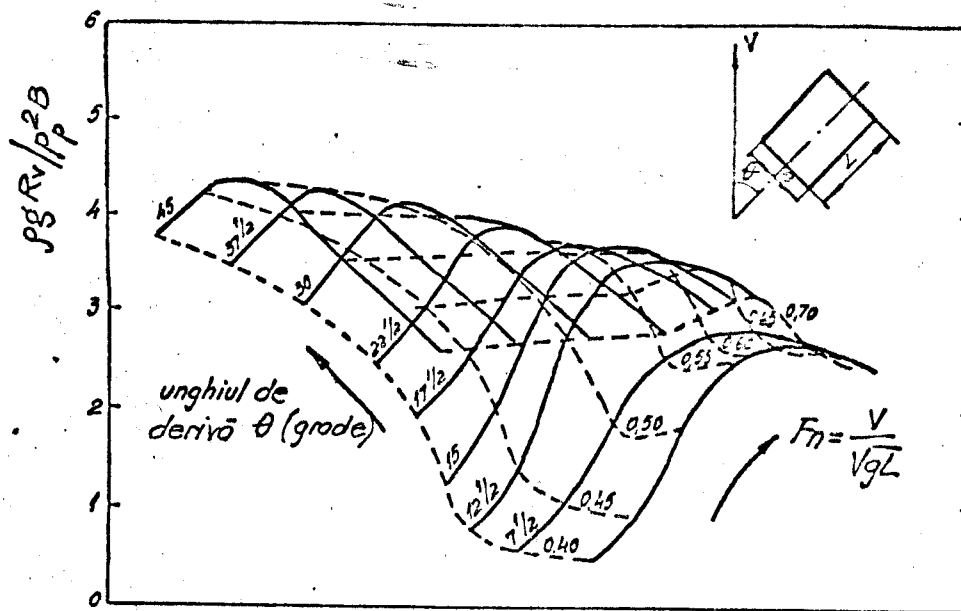


Fig.2.6a. Variația rezistenței de val în apă adâncă, cu numărul Froude și unghiul de derivă. Platformă dreptunghiulară, $L/B = 3/2$.

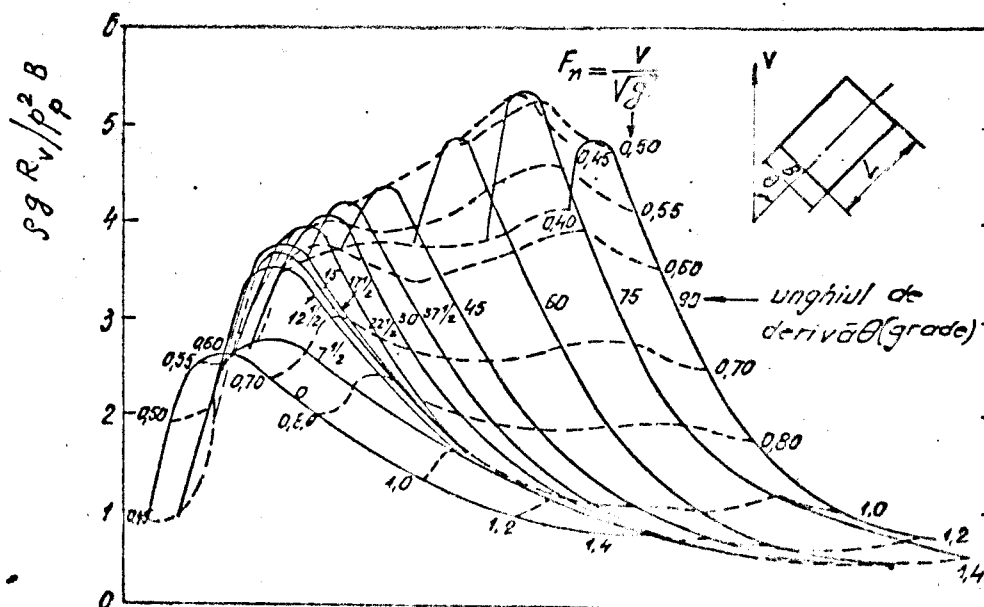


Fig.2.6.b. Variația rezistenței de val în apă adâncă, cu numărul Froude și unghiul de derivă. Platformă dreptunghiulară, $L/B = 3/2$.

Această creștere puternică a rezistenței de val la viteze joase are influență asupra pierderilor de stabilitate care au fost observate la nava în derivă. Mai există și alți factori influenți, dar mișcările de val la periferia pernei au o semnificație specială, pentru că contactul dintre apă și fustă la locul vîrfurilor de val provoacă un moment de așchierare și un moment de răsturnare la derivă. Suprafața apei deformată de sub navă este de asemenea importantă, pentru că curentul transversal de aer de-a lungul tălpii valului provoacă pierderea rigidității fustei flexibile.

te două efecte sînt mai pronunțate pentru nava în derivă, la viteze corespunzătoare numărului Froude de creastă, calculat cu lățimea modelului.

Din examinarea diagramelor 2.6 se mai observă că la numere Froude $> 0,9$, deriva are doar o influență redusă asupra rezistenței de val.

De asemenea se observă că există o ușoară creștere a rezistenței de val cînd nava se deplasează în derivă cu viteze mari.

Pentru unghi de derivă mic, rezultatele sînt apropiate de cele determinate pentru nava dreptunghiulară, cu același raport L_{ep}/B_p .

2.1.3. Teoria Murthy

Cu ajutorul acestei teorii /66/, T.K.S. Murthy de la Universitatea din Southampton, Anglia, a stabilit o expresie generală pentru rezistența de val a unui cîmp de presiune de formă oarecare, ce se deplasează cu derivă la suprafața apei. Spre deosebire însă de teoria propusă de Everest și Hogben /29,30/, care indică formule de calcul ce conțin serii infinite, care pot fi utilizate doar aproximativ prin calcularea unui număr finit de termeni (în cazul respectiv 100), Murthy ajunge la o formă de integrală definită, care poate asigura problemei o soluție mai apropiată de realitate.

De asemenea, în cadrul teoriei Everest-Hogben pot exista imprecizii datorită necesității de a utiliza un număr cît mai mare de surse pentru a reprezenta perna, precum și necesității de a asigura o distanță corespunzătoare între pernă și imaginea ei, pentru a preveni efectele interferenței.

Prin aplicarea teoriei Murthy dispar aceste dezavantaje. În expunerea teoriei sale, Murthy pleacă de la formula rezistenței de val dată de Havelock în 1922, pentru un cîmp oarecare de presiune $p_p(x,y)$ limitat de un domeniu S care se deplasează cu viteza v la suprafața apei adînci:

$$R_v = \frac{k_o^2}{\pi \rho v^2} \int_0^{\pi/2} [P_c^2 + P_o^2 + Q_c^2 + Q_o^2] \sec^5 \theta \, d\theta \quad (2.25)$$

unde:

$$\left. \begin{matrix} P_c \\ P_o \\ Q_c \\ Q_o \end{matrix} \right\} = \iint_S p_p(x,y) \left\{ \begin{matrix} \cos \\ \sin \\ \sin \\ \cos \end{matrix} \right\} (kx \cos \theta) \left\{ \begin{matrix} \cos \\ \sin \\ \cos \\ \sin \end{matrix} \right\} (ky \sin \theta) \, dx \, dy \quad (2.26)$$

$$k_o = \frac{\rho g}{v^2}$$

$$k = k_0 \sec^2 \theta$$

θ putînd fi considerat ca o simplă variabilă de integrare, deși el are o semnificație fizică.

În această formulare, axa x este considerată pozitivă în direcția mișcării.

Wehausen a dat în 1961 formula rezistenței de val pentru un câmp de presiune simetric față de direcția deplasării (axa x), astfel:

$$R_V = \frac{k_0^2}{\pi \rho v^2} \int_0^{\pi/2} \left[\{P(\theta)\}^2 + \{Q(\theta)\}^2 \right] \sec^5 \theta d\theta \quad (2.27)$$

unde;

$$\left. \begin{array}{l} P(\theta) \\ Q(\theta) \end{array} \right\} = \iint_S p_p(x,y) \begin{Bmatrix} \cos \\ \sin \end{Bmatrix} k(x \cos \theta + y \sin \theta) dx dy \quad (2.28)$$

Renunțînd la restricția de simetrie longitudinală, expresia lui Wehausen poate fi scrisă într-o formă aplicabilă în cazul general:

$$R_V = \frac{k_0^2}{2\pi v^2 \rho} \int_0^{\pi/2} \left[\{P(\theta)\}^2 + \{Q(\theta)\}^2 \right] \sec^5 \theta d\theta \quad (2.29)$$

Expresia (2.29) a lui Wehausen este utilizată de către Murthy pentru determinarea celor două expresii $P(\theta)$ și $Q(\theta)$ din sistemul (2.28) în comparație cu cele patru din sistemul (2.26).

Formula (2.29) este aplicabilă la apă adîncă. Cînd apa are adîncimea limitată h , se utilizează expresia lui Wehausen:

$$R_V = \frac{1}{\pi \rho g} \int_{\theta_0}^{\pi/2} \frac{k_0^2 \cos \theta}{1 - k \sec^2 \theta \operatorname{sech}^2 k_0 h} \left[\{P(\theta)\}^2 + \{Q(\theta)\}^2 \right] d\theta \quad (2.30)$$

care se poate deduce și din relația (2.3).

Determinarea funcțiilor $P(\theta)$ și $Q(\theta)$ din sistemul (2.28) poate fi obținută într-o formă închisă, dacă este cunoscută distribuția lui $p_p(x,y)$ în interiorul domeniului și dacă pentru periferia acestui domeniu există o expresie analitică. Uneori granița domeniului poate fi exprimată printr-o formă simplă dacă se utilizează alte axe Ox' , Oy' , păstrînd originea O , a cărei amplasare în interiorul suprafeței S este arbitrară.

Noile axe pot fi de exemplu, axe de simetrie longitudinală sau transversală ale domeniului, caz în care se poate obține o simplificare apreciabilă a calculelor.

Se consideră funcțiile $P(\theta)$ și $Q(\theta)$, granița domeniului fiind dată de ecuația carteziană raportată la axele obținute prin rotația axelor Ox și Oy cu unghiul β , între cele două sisteme rec-

tangulare fiind valabile relațiile:

$$x = x' \cos \beta + y' \sin \beta$$

$$y = y' \cos \beta - x' \sin \beta$$

În acest caz, sistemul (2.28) devine ;

$$\left. \begin{aligned} P(\theta, \beta) \\ Q(\theta, \beta) \end{aligned} \right\} = \iint_S p_p(x', y') \begin{Bmatrix} \cos \\ \sin \end{Bmatrix} \left\{ k[x' \cos(\beta + \theta) + y' \sin(\beta + \theta)] \right\} dx' dy' \quad (2.31)$$

Rezistența de val a unui câmp de presiune reprezentat în coordonatele sistemului (x', y') , care se deplasează cu unghiul de derivă β față de axa Ox , se obține utilizând funcțiile $P(\theta, \beta)$ și $Q(\theta, \beta)$ ale sistemului (2.31).

Pentru exemplificare, se determină rezistența de val a unei NPA cu pernă dreptunghiulară de presiune uniformă, care se deplasează în derivă cu unghiul β față de axa Ox .

Axele x' și y' coincid cu axele de simetrie ale dreptunghiului pernei, astfel încât sînt respectate condițiile:

$$x' = \pm \frac{L_p}{2}$$

$$y' = \pm \frac{B_p}{2}$$

Impărțind perna în fîșii laterale, cu ajutorul sistemului (2.31) se poate scrie ;

$$P(\theta, \beta) = p_p \int_{-L_p/2}^{L_p/2} dx' \left\{ \frac{\sin k[x' \cos(\beta + \theta) + y' \sin(\beta + \theta)]}{k \sin(\beta + \theta)} \right\}_{y' = -B_p/2}^{B_p/2}$$

care devine în final:

$$P(\theta, \beta) = \frac{4p_p}{k \sin(\beta + \theta) \cos(\beta + \theta)} \sin\left[\frac{kL_p}{2} \cos(\beta + \theta)\right] \sin\left[\frac{kB_p}{2} \sin(\beta + \theta)\right] \quad (2.32)$$

În mod similar:

$$Q(\theta, \beta) = p_p \int_{-L_p/2}^{L_p/2} dx' \left\{ \frac{-\cos k[x' \cos(\beta + \theta) + y' \sin(\beta + \theta)]}{k \sin(\beta + \theta)} \right\}_{y' = -B_p/2}^{B_p/2} \quad (2.33)$$

Ca ajutorul ecuațiilor (2.29) și (2.32) se poate scrie:

$$\bar{M}_T = \frac{k_0^2}{2\pi \rho v} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \left\{ \frac{4 p_p \sin\left[\frac{kL_p}{2} \cos(\beta + \theta)\right] \sin\left[\frac{kB_p}{2} \sin(\beta + \theta)\right]}{k^2 \sin(\beta + \theta) \cos(\beta + \theta)} \right\}^2 \sec^5 \theta d\theta \quad (2.34)$$

și înlocuind $k_0 = \frac{R}{v^2}$
 $k = \frac{R}{v^2} \sec^2 \theta$

se obține expresia:

$$R_v = \frac{8p_p^2 v^2}{\pi \rho g} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \frac{\sin^2 \left[\frac{gL_p}{2v^2} \sec^2 \theta \cos(\beta + \theta) \right] \sin^2 \left[\frac{GB_p}{2v^2} \sec^2 \theta \sin(\beta + \theta) \right]}{\sin^2(\beta + \theta) \cos^2(\beta + \theta) \cdot \cos^3 \theta} d\theta \quad (2.35)$$

în care mai pot fi făcute înlocuirile:

$$\frac{B_p}{L_p} = \lambda \quad \text{și} \quad F_L = \frac{v}{\sqrt{gL_p}}$$

rezultând în final rezistența de val căutată:

$$R_v = \frac{8p_p^2 L_p F_L^2}{\pi \rho g} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \frac{\sin^2 \left[\frac{\sec^2 \theta}{2 F_L^2} \cos(\beta + \theta) \right] \sin^2 \left[\frac{\lambda \sec^2 \theta}{2 F_L^2} \sin(\beta + \theta) \right]}{\sin^2(\beta + \theta) \cos^2(\beta + \theta)} \cos^3 \theta d\theta \quad (2.36)$$

Dacă greutatea NPA este suportată integral de perna de aer, adică dacă $G = p_p L_p B_p$, se poate scrie expresia rezistenței specifice de val astfel:

$$\frac{1}{G} R_v = \frac{8}{\pi} \frac{p_p}{\rho g B_p} F_L^2 \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \frac{\sin^2 \left[\frac{1}{2 F_L^2} \sec^2 \theta \cos(\beta + \theta) \right] \sin^2 \left[\frac{\lambda \sec^2 \theta}{2 F_L^2} \sin(\beta + \theta) \right]}{\sin^2(\beta + \theta) \cos^2(\beta + \theta)} \cdot \cos^3 \theta d\theta \quad (2.37)$$

S-a obținut deci expresia rezistenței de val cu ajutorul unei integrale definite, expresia de sub semnul de integrare fiind în funcție de numărul Froude calculat cu lungimea pernei, independent de raportul de aspect și de unghiul de derivă.

Această integrală a fost calculată de Murthy cu un computer digital ICL 1907, numai pentru câteva valori ale parametrilor F_L , λ și β , rezultatele fiind reprezentate în fig. 2.7 și 2.8.

Ugoara creștere a rezistenței la 30° amintește de creșterea rezistenței aerodinamice a unui corp paralelipipedic orientat într-un anumit fel față de curentul de aer.

Dintre toate teoriile prezentate pentru rezistența de val, teoria Murthy dă rezultatele cele mai precise, întrucât utilizează serii finite. Tratănd și deplasarea cu un unghi oarecare de derivă, ea poate fi utilizată în orice calcule de rezistență de val.

Din aceste motive autorul a considerat-o cea mai potrivită

tă pentru studierea teoretică a rezistenței de val.

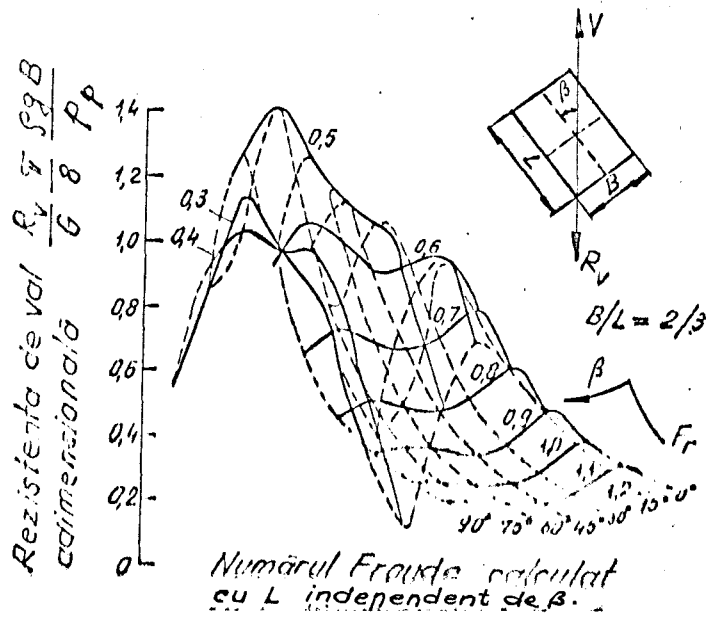


Fig.2.7. Rezistența de val a unei NPA dreptunghiulare, în derivă, apă adâncă.

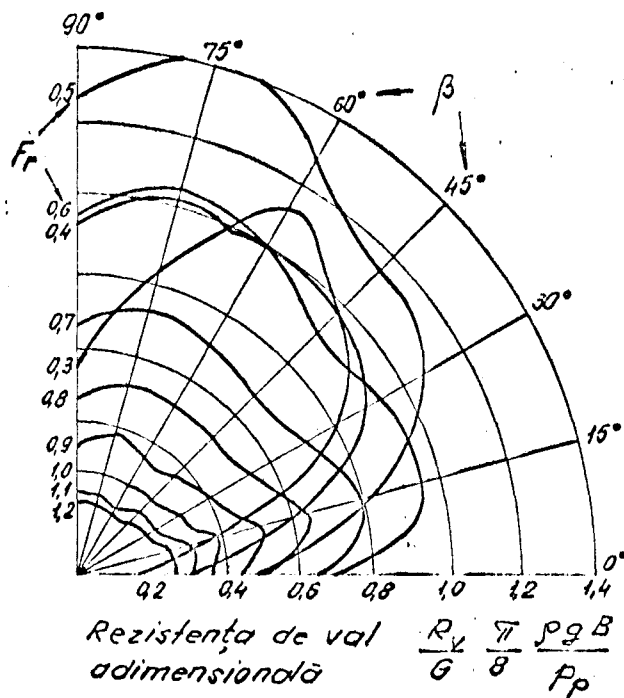


Fig.2.8. Variația rezistenței de val în funcție de unghiul de derivă.

În capitolul 3 se va vedea că această teorie a stat la baza elaborării programului de calcul pentru studierea rezistenței de val a navelor cu pernă de aer, în condițiile variației parametrilor F_L , λ și β .

2.2. Rezistența de impuls.

Rezistența de impuls se datorește variației cantității de mișcare a aerului antrenat în sistemul de sustentație, în proiecție pe direcția deplasării navei.

Din fig.2.9., care reprezintă schematic modul de formare a rezistenței de impuls, rezultă că aceasta ia naștere din cauza nesimetrii câmpului de viteze la intrarea aerului în ventilator.

În partea anterioară a racordului de aspirație există zone de depresiune, iar în partea posterioară, zone de presiune mărită.

Rezultanta acestor forțe de presiune, care este rezistența de impuls, are deci punctul de aplicație în zona prizei de aspirație a ventilatorului, poziția sa fiind determinată de caracteristicile constructive ale prizei de aspirație.

Rezistența de impuls se calculează cu formula:

$$R_i = \int Vv \quad (2.38)$$

în care V este debitul volumic de aer al sistemului de sustentație.

De cele mai multe ori se are în vedere debitul de aer pentru sustentarea la punct fix, care poate fi măsurat relativ ușor la o navă construită. Măsurarea debitului de aer la o navă cu pernă de aer în deplasare este însoțită de mari dificultăți. Debitul de aer al unei NPA în marș poate varia substanțial, datorită schimbării poziției punctului de funcționare pe caracteristica ventilatorului, din cauza deformației suprafeței apei de sub navă la diferite viteze, precum și apariției pe corpul NPA a unei forțe aerodinamice portante, care micșorează presiunea necesară în perna de aer.

De asemenea, presiunea dinamică a curentului de aer la priza de aspirație a ventilatorului poate modifica saltul de presiune realizat de ventilator și deci poziția punctului de funcționare de pe

caracteristica ventilatorului.

Gradul de utilizare a presiunii dinamice a curentului de aer întâlnit depinde de construcția prizei de aer și de raportul dintre viteza de deplasare a navei și viteza de intrare a aerului în priză.

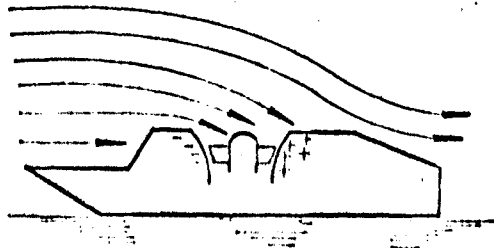


Fig. 2.9. Schema formării rezistenței de impuls

În figura 2.10. sînt reprezentate relațiile care caracterizează gradul de utilizare a presiunii dinamice pentru cîteva sisteme constructive ale prizei de aer.

În unele cazuri, influența portanței aerodinamice a NPA și a construcției prizei de aspirație duce la o variație de (20...30)% a debitului de aer în timpul deplasării. /6/.

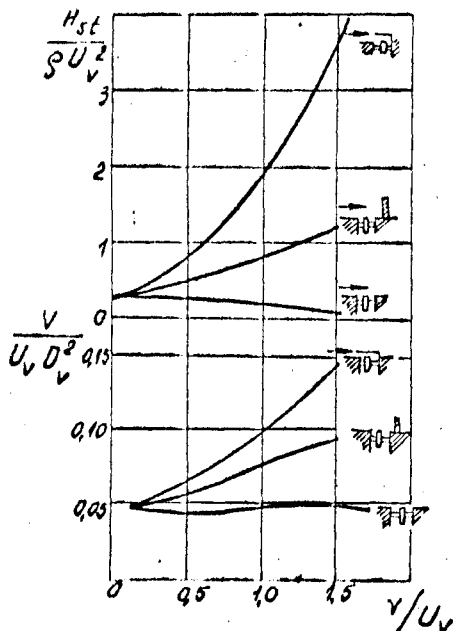


Fig.2.10. Influența formei constructive a prizei de aspirație și a curentului de aer întâlnit asupra presiunii și debitului unui ventilator de NPA.

U_v - viteza periferică a capetelor palelor ventilatorului;

D_v - diametrul ventilatorului.

În prezent, în practica de proiectare, influența acestor factori nu este luată în considerație din lipsa unor date experimentale statistice.

Rezistența de impuls a navelor actuale pe pernă de aer reprezintă (30...35)% din rezistența totală la înaintare, pentru vitezele actuale de deplasare /92/.

2.3. Rezistența aerodinamică.

Rezistența aerodinamică la înaintarea navei este rezultanta pe direcția înaintării (axa x), a forțelor de presiune p a aerului care acționează normal asupra corpului navei pe întreaga lui suprafață S.

$$R_a = \int_S p \cos(p,x) dS \quad (2.39)$$

Pentru determinarea experimentală pe modele a rezistenței aerodinamice, în tunelele aerodinamice, se utilizează coeficientul adimensional de rezistență aerodinamică c_a , dat de formula:

$$c_a = \frac{R_a}{\frac{\rho_a v^2}{2} S_{\Sigma}} \quad (2.40)$$

în care: ρ_a - densitatea aerului;
 v - viteza curentului de aer față de navă sau partea de corp considerată;
 S_{Σ} - aria secțiunii frontale a corpului NPA.

Menționăm că mărimea S_{Σ} depinde de unghiul de asietă al navei în marg și de dimensiunile fustelor flexibile, care majorează mult această arie frontală. Din acest motiv, pentru aceeași lumină, rezistența totală la înaintare în apă calmă a unei nave crește atunci când acestea i se adaugă fuste flexibile.

Unghiul de asietă influențează nu numai asupra ariei S_{Σ} , ci și asupra aspectului liniilor de curent de aer ce spală nava și deci, asupra mărimii coeficientului de rezistență aerodinamică c_a . Mărimea acestui coeficient trebuie determinată pe model, în tunel aerodinamic pentru fiecare tip de navă în parte. Pentru calcule aproximative însă, conform indicațiilor lui R.I.Cox /100/ se poate utiliza mărimea $c_a = 0,4$.

Valoarea acestui coeficient este 0,50 pentru navele construite SRN1 și VA-3, $c_a = 0,30$ pentru SRN3 și SRN5 și $c_a = 0,25$ pentru SRN2, o navă deosebit de bine studiată aerodinamic /92/.

Deasemenea, trebuie avut în vedere că valoarea coeficientului rezistenței aerodinamice este influențată de raportul L_p/B_p al pernei, care schimbă aspectul liniilor de curent de aer ce înconjoară corpul navei. În acest sens se recomandă utilizarea următoarelor valori orientative:

$$c_a = 0,43 \quad \text{pentru } L_p/B_p = 1$$

$$c_a = 0,31 \quad \text{pentru } L_p/B_p = 3$$

Citeodată, coeficientul de rezistență aerodinamică nu se calculează cu aria proiecției frontale a corpului, ci cu aria pernei S_p , astfel încît:

$$R_a = c'_a \frac{\rho_a v^2}{2} S_p \quad (2.41)$$

În această formă cunoscută, de exemplu, pentru SRN3, valoarea $c'_a = 0,1$, care recalculează în funcție de aria proiecției frontale dă valoarea $c_a = 0,30$ indicată mai sus /100%.

Rezistența aerodinamică a navei este mult influențată de vînt. Presiunea dinamică a curentului de aer întîlnit $\rho_a v^2/2$ trebuie calculată ținînd cont de compunerea vectorului vitezei navei \bar{v}_m cu vectorul vitezei vîntului \bar{v}_v , după relația:

$$\bar{v} = \bar{v}_n + \bar{v}_v \quad (2.42)$$

La transpunerea rezultatelor măsurărilor în tunel aerodinamic se fac corecții pentru rezistența balustradelor, scărilor și altor detalii care nu se montează pe modelul experimentat în tunel. Conform normelor de aviație, corecția pentru apendici mici este (3...7)% din rezistența aerodinamică.

Separat se calculează rezistența cîrmelor și stabilizatoarelor aerodinamice și altor elemente care se află în jatul de aer al elicelor aeriene.

Viteza aerului în pupa propulsoarelor aeriene este mult superioară vitezei de deplasare a navei și este puțin influențată de aceasta. De aceea, rezistența aerodinamică a suprafețelor suflate depinde prea puțin de viteza de deplasare și ea se calculează ținînd cont de viteza aerului din discul propulsorului.

În scopul reducerii rezistenței aerodinamice la nava experimentală HD2 a firmei engleze Hovercraft Development Ltd, prizele de aspirație ale celor două ventilatoare de sustentare ale navei au fost plasate la pupa, pentru a diminua desprinderea stratului limită. Astfel s-a obținut reducerea substanțială a coeficientului de rezistență aerodinamică /30/, care a ajuns dependentă de debitul de aer aspirat de sistemul de sustentare.

La Colegiul de Aeronautică din Cranfield, Anglia, au fost făcute studii minuțioase asupra rezistenței aerodinamice a navelor cu pernă de aer /2 /, pentru diverse forme ale corpului și diverse unghiuri de derivă între 0° și 180° .

În afară de concluziile referitoare la formele optime de corpuri, care nu sînt general aplicabile, s-a ajuns la următoarele două concluzii generale:

- rezistența aerodinamică crește mult odată cu derivarea na-

ve. cu unghiuri mici (fig.2.11.), ceea ce arată că trebuie acordată o importanță deosebită instalației de guvernare și navigației pe vînt, cînd direcțiile curentului de aer nu mai coincid cu direcția deplasării navei;

- la experimentarea modelelor în tunel, utilizarea unui ecran de susținere mobil nu aduce schimbări mari în rezultatele obținute.

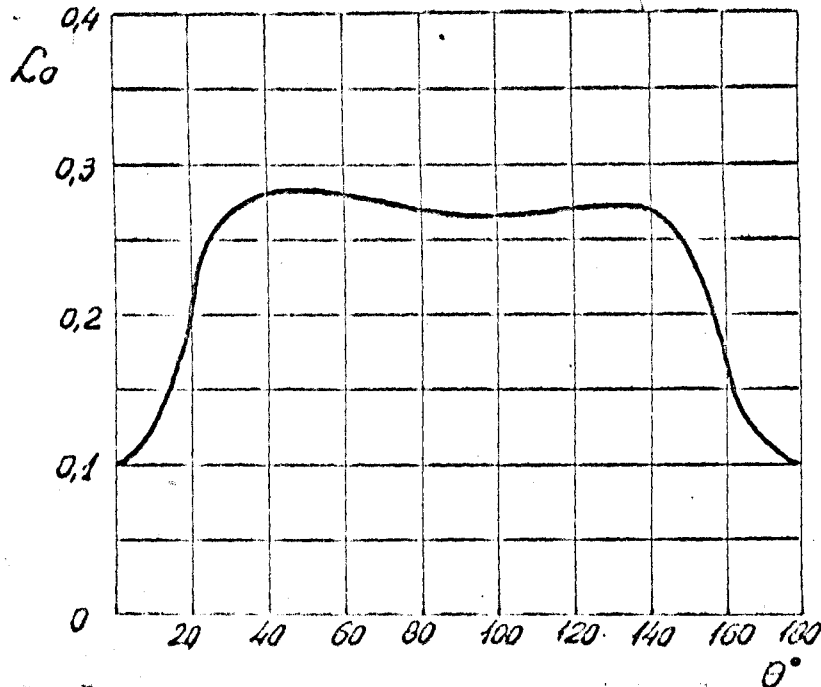


Fig.2.11. Variația coeficientului de rezistență aerodinamică în funcție de unghiul de derivă /29/.

Aria de referință este produsul $L_{max} B_{max}$.

2.4. Rezistența de stropi

Rezistența de stropi R_s sau rezistența de umezire, este o componentă care se datorește stropilor de apă formați prin interacțiunea jetului de aer de susținere cu suprafața apei, precum și contactului accidental al fustei flexibile cu apa. În această componentă sînt incluse: rezistența de contact a corpului navei cu stropii, rezistența hidrodinamică a fustei flexibile, precum și rezistența suplimentară la înaintare a navei, care apare la creșterea masei navei datorită umezirii diverselor suprafețe.

Rezistența de stropi este puternic influențată de mărimea luminii relative h/L și de înălțimea relativă a valurilor h_w/L .

Cu ajutorul relației (2.38), între lumina h , presiunea din pernă p_n și rezistența de impuls R_i se poate stabili funcția:

$$R_i = \int V_s v = \int v D_p h P \sqrt{2 p_p / \rho} \quad (2.43)$$

care arată că pentru o navă rezistența de impuls depinde de mărimea luminii h și presiunea din pernă p_p .

Dacă considerăm suma rezistențelor de impuls și de stropi $R_i + R_s$, minimul ei poate indica o valoare optimă a luminii (fig.2.12).

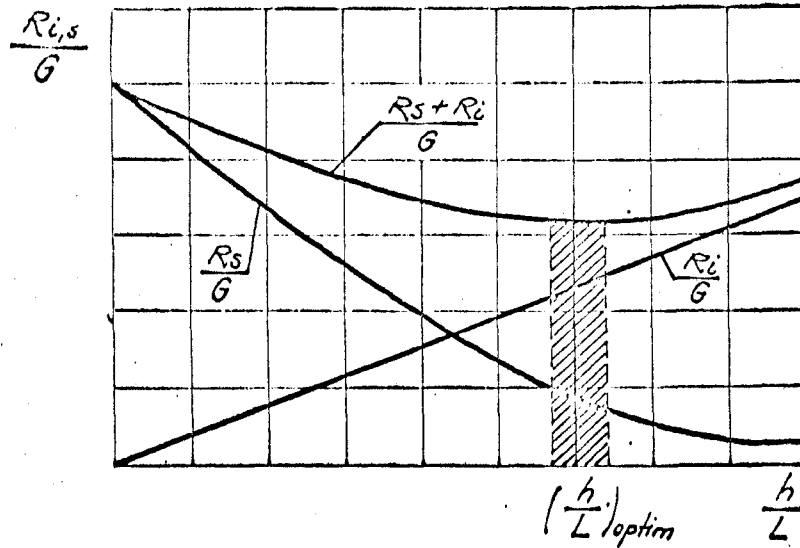


Fig.2.12. Determinarea raportului optim h/L în funcție de minimul $R_i + R_s$.

Un exemplu al participării importante a componentei de stropi în rezistența totală, este ilustrat de fig.2.13., preluată din /98/, care reprezintă participația diferitelor componente în rezistența la înaintare a unei NPA naturale amfibii mari.

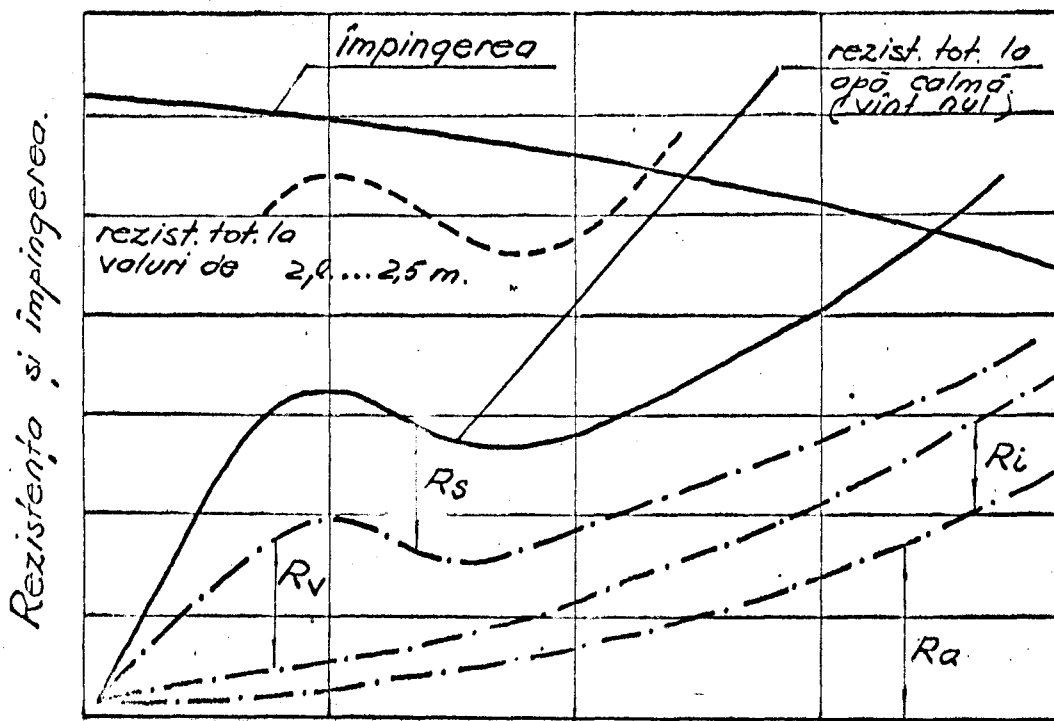


Fig.2.13. Participația componentelor în rezistența totală la înaintare a unei NPA naturale mari /98/.

Conform lucrării /98/ pentru valori ale luminii relative $h/L < 0,002$, creșterea de rezistență de stropi este rapidă. Trebuie avut în vedere însă că această creștere se înregistrează la realizarea contactului dintre fusta flexibilă și apă, deci la anularea luminii. Creșterea rezistenței de stropi depinde de fapt de valoarea absolută h , ceea ce înseamnă că pentru navele mari, la o aceeași lumină relativă h/L , rezistența de stropi este mai redusă.

Intrucât pînă în prezent nu există o metodă satisfăcătoare pentru calcularea rezistenței de stropi, această componentă se determină cu relația (2.2) scrisă astfel:

$$R_s = R - (R_v + R_i + R_a + R_f + R_{fr} + R_{as} + R_j) \quad (2.44)$$

celelalte componente de rezistență calculîndu-se analitic sau experimental. Rezistența totală la înaintare R se determină experimental.

În acest mod a fost calculată componenta de stropi pentru primele NPA ale firmei engleze British Hovercraft Corporation, reușindu-se întocmirea diagramelor din fig. 2.14. publicate în lucrarea /27/.

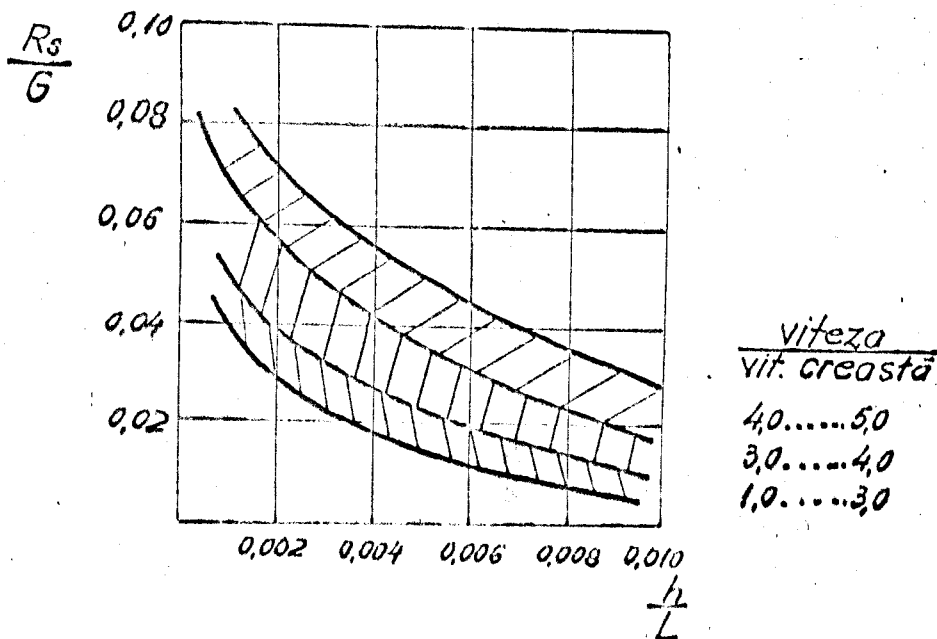


Fig. 2.14. Rezistența de stropi în apă calmă pentru primele NPA amfibii cu fustă flexibilă /27/.

După părerea autorilor, pentru a preveni contactul fusteii cu apă, este necesară realizarea unei luminii relative $h/L > 0,003$. Bineînțeles și în acest caz ar trebui avută în vedere mă-

rimea navei și deci valoarea absolută a luminii h .

O determinare directă a componentei de stropi poate fi făcută prin măsurarea rezistenței totale la înaintare deasupra apei libere și deasupra apei acoperite cu o peliculă deformabilă elastică, cum ar fi uleiul sau folia subțire de poliētilenă, așa cum s-a procedat la NPL, Ship Division, Feltham /192/.

2.5. Rezistența de formă și rezistența de frecare

La NPA neamfibii, care au pereți laterali rigizi imerși sau chile pentru elice hidraulice, rezistența totală la înaintare are componente hidrodinamice similare navelor de deplasament.

Convenim să denumim rezistența de val și rezistența de profil a părților imerse cu un singur termen, rezistența de formă R_f . O altă componentă hidrodinamică este rezistența de frecare R_{fr} , datorată frecării dintre apă și părțile imerse ale navei.

Cele trei componente enumerate se determină prin mijloacele cunoscute la navele de deplasament, tractînd modelul în bazin, calculînd și scăzînd rezistența de frecare din rezistența totală și modălınd rezistența reziduală după Froude.

Particularitățile de calcul pentru NPA constau în determinarea regimului de curgere a emulsiilor de aer-apă din zona de contact și în determinarea suprafeței udate, care variază în funcție de numărul R_e .

Pentru suprafața udată cunoscută S_m , rezistența de frecare a modelului se calculează cu formula;

$$r_{frm} = S_{frm} \frac{\rho v^2}{2} S_m \quad (2.45)$$

S_{frm} - coeficientul de frecare al plăcii echivalente.

Ținînd cont de posibilitatea existenței unei porțiuni laminare în stratul limită al modelului experimentat, se recomandă /15/ utilizarea formulei:

$$S_{frm} = \frac{0,455}{(\lg R_e)^{2,58}} - \frac{1700}{R_e} \quad (2.46)$$

Pentru nava naturală coeficientul de frecare se calculează cu formula Prandtl-Schlichting:

$$S_{frn} = \frac{0,455}{(\lg R_e)^{2,58}} \quad (2.47)$$

asfel încît rezistența de frecare pentru nava naturală este:

$$R_{frn} = S_{frn} \frac{\rho v_n^2}{2} S_n \quad (2.48)$$

Pentru calcularea rezistenței de frecare a pereților laterali imerși, A.G.Ford recomandă următoarele /100/.

Coeficientul de frecare S_{fr} este determinat în cea mai mare măsură de numărul Reynolds, dar la calcularea lui trebuie ținut cont de rugozitatea suprafeței părților imerse. Intrucît rezistența de val a pereților laterali este mică, în practica de calcul se ține cont de aceasta pri majorarea coeficientului de frecare S_{fr} calculat cu formula Schöenherr:

$$S_{fr} = \frac{1}{(3,46 \lg Re - 5,6)^2} \quad (2.49)$$

Adaosul de rugozitate se adoptă în funcție de materialul din care sînt executați pereții laterali imerși, dar nu sînt publicate și datele necesare.

Dacă se ține cont de influența rugozității pereților, valorile coeficientului de frecare ajung să difere cu 40% între model și nava naturală /92/.

Coeficientul de frecare al unor pereți laterali executați din material plastic /100/ pentru o NPA de clasa B de dimensiuni reduse a fost $S_{fr} = 0,005$.

R. Trillo recomandă utilizarea diagramei Schlichting /81/ reprezentată în figura 2.15 pentru calcularea coeficientului de frecare.

În stadiul inițial de proiectare, se exprimă mărimea suprafeței udate a pereților laterali în funcție de dimensiunile principale ale navei /60/. În acest scop se notează :

- raportul $L_c/L_p = c_1$, dintre lungimea pereților laterali și lungimea pernei;
- coeficientul de creștere a suprafeței udate a pereților laterali datorită mărimii lor tridimensionale, c_2 .

Pentru calcule aproximative se adoptă $c_1 = c_2 = 1,1$.

Între pescajul pereților laterali la exterior T_e și cel din interior T_i , există relația:

$$T_e = T_i + \frac{p_D}{\gamma_w} \quad (2.50)$$

γ_w - greutatea specifică a apei.

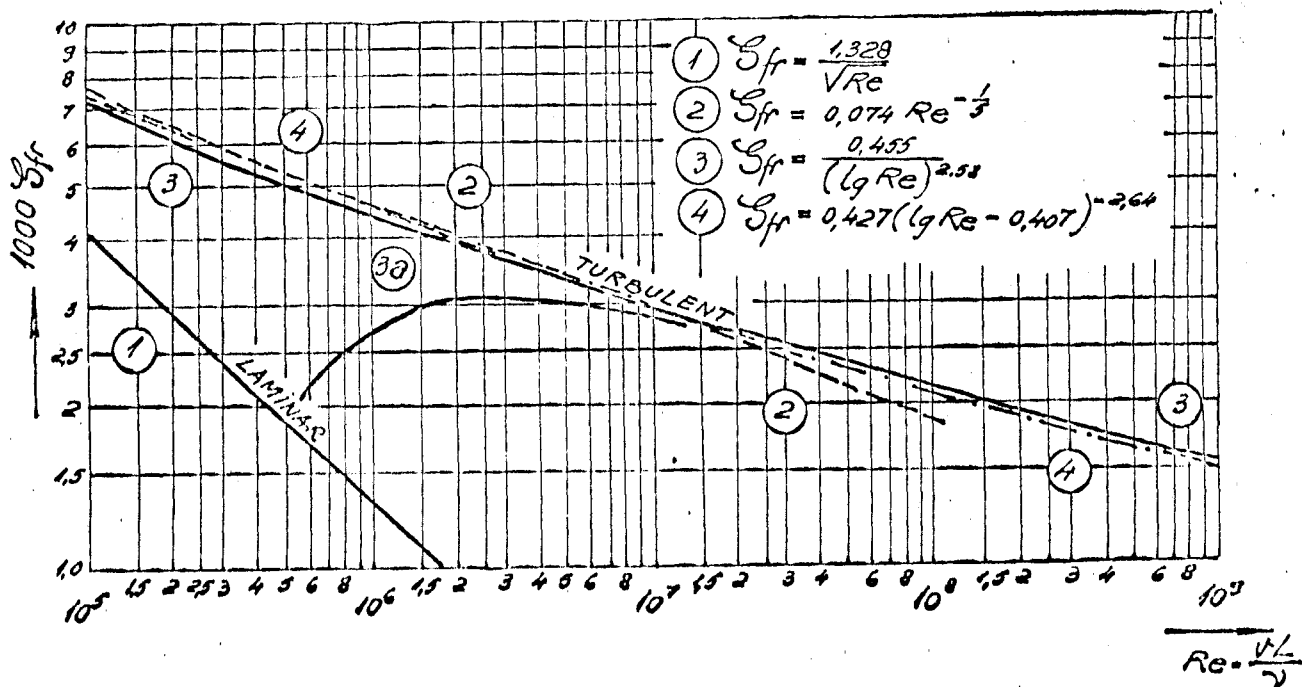


Fig.2.15. Diagrama Schlichting pentru calculul coeficientului de frecare.

Intrucât adâncimea golului pernei variază în funcție de numărul Froude, și partea de suprafață udată dată de diferența de pescaje variază în funcție de numărul Froude. Din acest motiv, partea variabilă corespunzătoare a rezistenței de frecare se calculează separat cu formula:

$$R_{fr}^* = 2 S_{fr} c_1 G \frac{L_p}{B_p} F_r^2 f\left(\frac{L_p}{B_p}, F_r\right) \quad (2.51)$$

Partea constantă a rezistenței de frecare a pereților laterali imerși se calculează cu formula:

$$R_{fr}^0 = 2 S_{fr} c_1^2 c_2 G \frac{L_p}{B_p} \frac{T_i}{L_p} \frac{F_r^2}{p_p / \gamma_w L_p} \quad (2.52)$$

2.6. Rezistența de jet și rezistența de asietă

Rezistența de jet și rezistența de asietă sînt componente de rezistență la înaintare care apar la schimbarea asietei longitudinale a navei cu pernă de aer. În timpul deplasării navei, din

cauza rezistenței de val, mai ales la viteze critice $F_L = v/gL = 0,5 \dots 0,7$ se produce deformarea puternică a suprafeței apei, cu formarea unui val înalt în prova, care provoacă micșorarea sau anularea luminii în această zonă, intrarea în apă a marginii inferioare din prova a fustei flexibile și, deci, creșterea rezistenței de stropi. Pentru atenuarea acestui efect defavorabil, navele cu pernă de aer navigă cu asietă longitudinală pozitivă, mai mult sau mai puțin apupate, după cum se poate vedea și la nava SRN5 în fig.2.16. În acest caz însă, lumina navei nu mai este constantă de-a lungul perimetrului pernei, ceea ce provoacă apariția componentelor de jet și de asietă ale rezistenței la înaintare, componente semnalate de Everest și Hogben /29/, dar nestudiate pînă în prezent /6,27,16,22,53,100,77/.

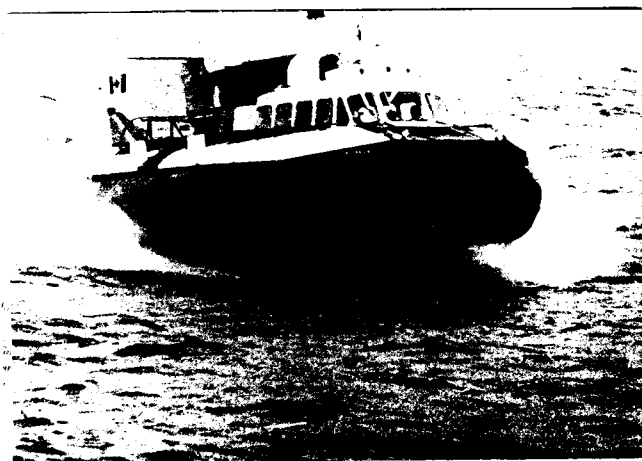


Fig.2.16. Nava SRN5 în timpul probelor de marș.

În capitolele 3.2. și 3.3. ale acestei lucrări, sînt prezentate studiile teoretice și experimentale întreprinse în cadrul laboratorului Instalațiile navelor cu pernă de aer (INPA), pentru determinarea celor două componente.

int
lor
 F_L
 F_L
 λ
 β
 β
obti
mele
în li
portu
tei &
tarea

3. CONTRIBUTII PERSONALE LA STUDIAREA SI DETERMINAREA COMPONENTELOR DE REZISTENTA LA INAVANTAREA NAVELOR CU PERNA DE AER.

3.1. Rezistența de val.

Din motivele arătate în capitolul 2, pentru studiarea rezistenței de val a fost utilizată teoria Murthy, cu variația următorilor parametri:

-numărul Froude $F_L = \frac{V}{\sqrt{g L_p}}$, în domeniul $F_L = 0,10 \dots 3,0$;

-raportul de aspect $\lambda = \frac{B_p}{L_p}$, în domeniul $\lambda = 0,40 \dots 0,75$ (se recomandă $\lambda = 0,50 \dots 0,70$ pentru nave amfibii și $\lambda = 0,40 \dots 0,50$ pentru nave neamfibii /8/).

-unghiul de derivă β , în domeniul $\beta = (0 \dots 90)^\circ$.

Folosind formula (2.37), a fost scrisă expresia coeficientului adimensional de rezistență de val r_v , astfel:

$$r_v = \frac{\pi}{8} \frac{R_v}{G} \frac{\rho g B_p}{\rho_f} = F_L^2 \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \frac{\sin^2 \left[\frac{1}{2 F_L^2} \sec^2 \theta \cos(\beta + \theta) \right] \sin^2 \left[\frac{\lambda \sec^2 \theta}{2 F_L^2} \sin(\beta + \theta) \right]}{\sin^2(\beta + \theta) \cos^2(\beta + \theta)} \cos^3 \theta d\theta \quad (3.1)$$

În scopul determinării valorilor $r_v = f(F_L, \lambda \text{ și } \beta)$, a fost întocmit un program de calcul, cu următoarele valori ale parametrilor susmenționați:

F_L	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65
F_L	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	-
λ	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	-	-	-	-
β	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
β	60	65	70	75	80	85	90	-	-	-	-	-

Prin rularea programului pe un calculator FELIX C 256 au fost obținute datele prezentate în tabelele 3.1...3.8, fiind reținute primele trei zecimale rotunjite. Cu ajutorul acestor date, nepublicate în literatura de specialitate, s-au studiat influențele vitezei, raportului de aspect și unghiului de derivă ale navei asupra rezistenței de val, cu scopul de a folosi concluziile acestui studiu la proiectarea și exploatarea navelor cu pernă de aer.

Au fost întocmite următoarele serii de diagrame:

- $r_v = f(F_L)$ pentru $\lambda, \beta = \text{const.}$ (fig. 3.1.1...3.8.4)
- $r_v = f(\beta)$ pentru $F_L, \lambda = \text{const.}$ (fig. 3.9.1...3.16.2)
- $r_v = f(\lambda)$ pentru $F_L, \beta = \text{const.}$ (fig. 3.17.1...3.35.3)

După analizarea diagramelor susmenționate, au fost reținute următoarele concluzii:

3.1.1. Variația rezistenței de val în funcție de viteză.

Rezistența de val a navelor cu pernă de aer variază substanțial în funcție de viteza navei, datorită următorilor factori influenți:

Inerția particulelor de apă ale suprafeței de sprijin. Pentru viteze reduse de deplasare, corespunzătoare criteriului Froude $F_L = 0,50 \dots 0,65$, se produce deformarea puternică a suprafeței de sprijin lichide, ceea ce face ca mărimea coeficientului rezistenței de val să fie apreciabilă. Cu cât crește viteza de deplasare, din cauza inerției particulelor de apă, deformarea suprafeței lichide de sprijin este mai slabă, astfel încât valoarea coeficientului rezistenței de val r_v scade de la valorile maxime $0,40 \dots 1,7$ pînă la valori $r_v = 0,05$ pentru $F_L = 2,5$. Fenomenul descris mai sus constituie principalul avantaj al navelor cu pernă de aer: la navigația cu viteze mari, prin schimbarea regimului de deplasare, rezistența de val scade substanțial. Acest fenomen definește nava cu pernă de aer ca o navă rapidă, utilizabilă economic pentru viteze corespunzătoare numărului $F_L > 1,0$.

Datorită interferenței defavorabile sau favorabile a sistemelor de valuri ale colțurilor domeniului dreptunghiular al câmpului uniform de presiune folosit ca model matematic de studiu, coeficientul de rezistență de val își mărește uneori mult valoarea, dar toate aceste crește de rezistență sînt înregistrate pînă la ieșirea navei din apă, deci pentru regimuri cu număr Froude $F_L = 0,50 \dots 0,65$. După ieșirea navei din apă, influența interferenței sistemelor de valuri susmenționate este practic nulă (exemplu fig. 3.1.1, 3.4.1 și 3.5.1).

Unghiul de derivă. Odată cu apariția unui unghi de derivă nenul, pentru navele cu raport de aspect subunitar, rezistența de val crește substanțial. Astfel, pentru $\lambda = 0,40$, creșterea este de la $r_v = 0,43$ pentru $\beta = 0$ și $F_L = 0,25$ la $r_v = 1,204$ pentru $\beta = 5^\circ$ și $F_L = 0,25$ și la $r = 1,360$ pentru $\beta = 65^\circ$ și $F_L = 0,40$.

Tab. 3.1. Valori $r_x = f(F_L, \beta)$ pentru $\lambda = 0,40$

$\beta \backslash \bar{x}$	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
0	0,057	0,107	0,061	0,430	0,140	0,409	0,133	0,109	0,210	0,292	0,332	0,342	0,340	0,323	0,303	0,292	0,269	0,256	0,238	0,137	0,087	0,075	0,063
5	0,144	0,242	0,172	1,204	0,603	0,424	0,465	0,430	0,271	0,369	0,398	0,516	0,426	0,468	0,369	0,418	0,329	0,338	0,177	0,179	0,092	0,068	0,049
10	0,485	0,286	0,441	0,681	0,340	0,377	0,170	0,349	0,370	0,516	0,512	0,481	0,565	0,505	0,422	0,447	0,359	0,336	0,321	0,136	0,073	0,049	0,034
15	2,231	0,312	0,745	0,500	0,600	0,477	0,255	0,467	0,556	0,634	0,658	0,586	0,550	0,480	0,425	0,385	0,338	0,300	0,273	0,115	0,063	0,041	0,028
20	0,594	0,399	0,636	0,635	0,694	0,455	0,437	0,599	0,701	0,717	0,668	0,594	0,523	0,456	0,397	0,349	0,307	0,273	0,243	0,100	0,056	0,035	0,024
25	1,659	0,598	0,530	0,643	0,666	0,552	0,579	0,722	0,773	0,737	0,662	0,577	0,500	0,430	0,371	0,324	0,282	0,249	0,222	0,088	0,047	0,030	0,020
30	0,874	0,656	0,617	0,690	0,719	0,617	0,688	0,800	0,811	0,744	0,650	0,558	0,477	0,409	0,353	0,306	0,267	0,234	0,207	0,079	0,041	0,025	0,017
35	1,066	0,801	0,731	0,731	0,766	0,684	0,782	0,852	0,829	0,747	0,649	0,554	0,469	0,398	0,339	0,290	0,251	0,217	0,190	0,069	0,035	0,022	0,015
40	0,712	0,761	0,763	0,776	0,810	0,737	0,827	0,909	0,873	0,771	0,653	0,544	0,452	0,377	0,317	0,268	0,229	0,198	0,172	0,061	0,031	0,019	0,013
45	0,852	0,860	0,718	0,697	0,869	0,719	0,926	1,001	0,919	0,779	0,640	0,522	0,427	0,351	0,292	0,245	0,209	0,179	0,156	0,054	0,027	0,017	0,011
50	0,693	0,763	0,881	0,910	0,723	0,791	1,070	1,078	0,937	0,766	0,615	0,494	0,399	0,326	0,269	0,226	0,192	0,164	0,142	0,050	0,025	0,016	0,010
55	1,158	0,839	0,973	1,143	0,587	0,951	1,200	1,121	0,931	0,742	0,585	0,466	0,374	0,304	0,252	0,209	0,178	0,153	0,131	0,046	0,023	0,014	0,009
60	1,241	0,779	0,994	1,050	0,577	1,129	1,296	1,136	0,914	0,716	0,561	0,444	0,354	0,287	0,238	0,198	0,167	0,145	0,123	0,044	0,023	0,013	0,008
65	0,824	1,312	0,396	0,785	0,666	1,269	1,360	1,138	0,899	0,692	0,542	0,430	0,340	0,278	0,229	0,189	0,161	0,139	0,119	0,043	0,023	0,013	0,008
70	0,749	0,690	0,696	0,482	0,780	1,362	1,402	1,140	0,894	0,692	0,534	0,423	0,335	0,275	0,221	0,184	0,159	0,135	0,118	0,043	0,023	0,013	0,008
75	0,598	0,185	0,993	0,277	0,824	1,417	1,411	1,144	0,897	0,663	0,526	0,424	0,332	0,277	0,217	0,182	0,158	0,135	0,121	0,043	0,023	0,013	0,009
80	1,445	0,287	1,233	0,179	0,831	1,459	1,376	1,124	0,891	0,668	0,526	0,425	0,341	0,288	0,226	0,187	0,158	0,138	0,118	0,045	0,023	0,013	0,010
85	2,299	0,334	1,553	0,181	0,898	1,440	1,362	1,098	0,836	0,640	0,513	0,425	0,339	0,306	0,235	0,202	0,174	0,149	0,139	0,047	0,024	0,014	0,012
90	1,297	0,386	1,345	0,055	0,851	1,387	1,230	1,032	0,797	0,613	0,478	0,380	0,313	0,261	0,216	0,178	0,157	0,139	0,126	0,048	0,024	0,014	0,010

Tab. 3.2. Valori $r_x = f(F_L, \beta)$ pentru $\lambda = 0,45$

	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
0	0,063	0,112	0,058	0,512	0,165	0,472	0,130	0,124	0,256	0,357	0,397	0,406	0,392	0,374	0,351	0,322	0,305	0,279	0,264	0,144	0,106	0,069	0,048
5	0,168	0,215	0,219	0,541	0,576	0,951	0,304	0,395	0,280	0,596	0,539	0,441	0,434	0,540	0,500	0,404	0,434	0,363	0,367	0,162	0,113	0,065	0,041
10	0,881	0,940	0,330	0,692	0,313	0,475	0,524	0,369	0,516	0,653	0,626	0,637	0,526	0,550	0,512	0,422	0,436	0,360	0,324	0,140	0,084	0,055	0,034
15	1,491	0,807	0,817	0,480	0,542	0,578	0,365	0,425	0,661	0,738	0,677	0,663	0,571	0,537	0,460	0,411	0,374	0,330	0,292	0,125	0,069	0,045	0,030
20	0,378	0,390	0,505	0,568	0,695	0,597	0,472	0,636	0,769	0,774	0,719	0,647	0,565	0,495	0,433	0,377	0,335	0,296	0,264	0,109	0,060	0,038	0,026
25	0,362	0,710	0,482	0,757	0,721	0,589	0,602	0,755	0,824	0,795	0,716	0,627	0,542	0,467	0,404	0,353	0,308	0,271	0,242	0,097	0,053	0,033	0,023
30	0,891	0,748	0,741	0,719	0,743	0,660	0,712	0,837	0,862	0,800	0,705	0,608	0,519	0,445	0,383	0,331	0,290	0,255	0,226	0,088	0,047	0,029	0,020
35	0,935	0,799	0,753	0,774	0,796	0,719	0,798	0,898	0,883	0,798	0,695	0,595	0,508	0,432	0,371	0,320	0,278	0,243	0,213	0,080	0,041	0,025	0,017
40	0,697	0,755	0,804	0,793	0,834	0,778	0,861	0,935	0,908	0,815	0,702	0,594	0,499	0,421	0,357	0,304	0,261	0,227	0,198	0,072	0,036	0,022	0,015
45	0,875	0,819	0,872	0,809	0,914	0,778	0,908	1,006	0,960	0,839	0,706	0,585	0,484	0,402	0,337	0,285	0,244	0,210	0,183	0,064	0,033	0,020	0,013
50	0,785	0,979	0,674	0,737	0,905	0,759	1,016	1,097	1,002	0,846	0,694	0,566	0,462	0,380	0,317	0,266	0,227	0,194	0,169	0,060	0,030	0,019	0,012
55	0,980	0,984	0,970	0,992	0,733	0,828	1,154	1,172	1,022	0,840	0,675	0,543	0,440	0,360	0,300	0,250	0,213	0,184	0,157	0,056	0,029	0,017	0,011
60	1,209	0,802	1,049	1,210	0,576	0,966	1,281	1,218	1,026	0,824	0,656	0,526	0,423	0,344	0,286	0,239	0,202	0,175	0,149	0,053	0,028	0,016	0,011
65	0,916	0,656	0,609	1,175	0,516	1,102	1,381	1,245	1,024	0,808	0,642	0,513	0,409	0,335	0,277	0,230	0,196	0,170	0,145	0,052	0,028	0,016	0,011
70	0,576	1,248	0,355	0,935	0,520	1,203	1,456	1,265	1,030	0,792	0,638	0,510	0,404	0,333	0,270	0,225	0,194	0,166	0,144	0,052	0,028	0,016	0,011
75	1,146	1,246	0,280	0,724	0,481	1,267	1,479	1,283	1,044	0,786	0,632	0,516	0,405	0,338	0,266	0,223	0,194	0,165	0,149	0,053	0,028	0,016	0,011
80	1,320	1,036	0,426	0,571	0,459	1,322	1,435	1,261	1,035	0,793	0,631	0,515	0,414	0,353	0,276	0,230	0,195	0,169	0,158	0,053	0,029	0,017	0,011
85	1,745	0,826	0,788	0,548	0,533	1,320	1,440	1,236	0,962	0,751	0,609	0,511	0,409	0,372	0,287	0,248	0,215	0,183	0,172	0,058	0,030	0,018	0,015
90	0,399	0,508	0,526	0,380	0,747	1,257	1,355	1,158	0,922	0,723	0,570	0,458	0,375	0,313	0,261	0,216	0,191	0,168	0,161	0,058	0,030	0,018	0,013

Tab. 3.3. Valori $U = f(K, p)$ pentru $\lambda = 0.50$

K \ p	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	
0	0,071	0,117	0,080	0,534	0,196	0,528	0,127	0,143	0,506	0,418	0,464	0,470	0,449	0,421	0,386	0,369	0,385	0,398	0,289	0,465	0,487	0,487	0,487	0,487
5	0,137	0,536	0,381	1,190	0,322	0,644	0,278	0,348	0,345	0,449	0,656	0,583	0,441	0,525	0,435	0,432	0,453	0,434	0,369	0,387	0,404	0,404	0,404	0,404
10	1,215	0,515	0,564	0,606	0,500	0,640	0,336	0,271	0,528	0,629	0,609	0,613	0,639	0,581	0,522	0,507	0,445	0,443	0,352	0,462	0,470	0,470	0,470	0,470
15	0,512	1,385	0,871	0,577	0,471	0,685	0,441	0,501	0,704	0,751	0,767	0,705	0,646	0,589	0,515	0,441	0,388	0,363	0,320	0,488	0,488	0,488	0,488	0,488
20	0,829	0,430	0,576	0,439	0,704	0,534	0,479	0,677	0,801	0,819	0,778	0,691	0,646	0,533	0,467	0,411	0,360	0,323	0,286	0,419	0,406	0,406	0,406	0,406
25	1,647	0,766	0,522	0,568	0,700	0,638	0,618	0,788	0,871	0,849	0,770	0,677	0,586	0,506	0,449	0,382	0,335	0,297	0,262	0,406	0,406	0,406	0,406	0,406
30	0,654	0,532	0,843	0,784	0,780	0,697	0,734	0,873	0,912	0,855	0,760	0,657	0,563	0,483	0,416	0,360	0,334	0,277	0,244	0,409	0,402	0,402	0,402	0,402
35	0,539	0,797	0,756	0,808	0,826	0,759	0,818	0,931	0,937	0,857	0,748	0,641	0,546	0,466	0,401	0,346	0,302	0,265	0,235	0,409	0,407	0,407	0,407	0,407
40	0,618	0,730	0,819	0,843	0,878	0,801	0,889	0,976	0,953	0,862	0,748	0,639	0,541	0,460	0,392	0,336	0,291	0,254	0,223	0,402	0,402	0,402	0,402	0,402
45	0,699	0,809	0,846	0,858	0,912	0,839	0,921	1,017	0,993	0,888	0,761	0,639	0,535	0,449	0,378	0,323	0,277	0,239	0,209	0,407	0,404	0,404	0,404	0,404
50	0,721	0,779	0,897	0,794	0,993	0,796	0,978	1,099	1,047	0,913	0,764	0,631	0,521	0,432	0,363	0,307	0,262	0,225	0,196	0,407	0,406	0,406	0,406	0,406
55	0,666	1,004	0,662	0,777	0,926	0,773	1,089	1,191	1,090	0,923	0,757	0,618	0,508	0,416	0,347	0,292	0,249	0,214	0,185	0,406	0,404	0,404	0,404	0,404
60	1,196	0,926	0,993	1,045	0,928	0,828	1,223	1,263	1,115	0,822	0,747	0,605	0,491	0,402	0,335	0,280	0,238	0,207	0,177	0,403	0,403	0,403	0,403	0,403
65	0,992	1,087	1,145	1,276	0,548	0,916	1,345	1,315	1,130	0,915	0,789	0,597	0,479	0,394	0,326	0,273	0,232	0,201	0,173	0,402	0,403	0,403	0,403	0,403
70	0,504	0,581	0,823	1,276	0,422	0,989	1,443	1,354	1,150	0,906	0,741	0,598	0,477	0,394	0,321	0,269	0,231	0,199	0,173	0,402	0,403	0,403	0,403	0,403
75	1,464	0,638	0,563	1,221	0,274	1,040	1,475	1,385	1,177	0,905	0,739	0,606	0,481	0,402	0,318	0,268	0,233	0,198	0,171	0,406	0,404	0,404	0,404	0,404
80	0,069	1,339	0,199	1,108	0,204	1,100	1,422	1,362	1,163	0,914	0,737	0,609	0,490	0,420	0,329	0,276	0,234	0,203	0,170	0,406	0,403	0,403	0,403	0,403
85	1,427	1,447	0,436	1,134	0,269	1,113	1,432	1,341	1,073	0,858	0,701	0,597	0,481	0,440	0,340	0,284	0,250	0,219	0,187	0,407	0,403	0,403	0,403	0,403
90	0,048	1,443	0,041	0,991	0,172	1,039	1,351	1,250	1,034	0,826	0,663	0,535	0,440	0,368	0,308	0,257	0,226	0,200	0,178	0,407	0,403	0,403	0,403	0,403

Tab. 3.4. Valori $U = f(K, p)$ pentru $\lambda = 0.55$

K \ p	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	
0	0,077	0,121	0,061	0,674	0,228	0,582	0,122	0,159	0,536	0,489	0,534	0,530	0,503	0,464	0,435	0,383	0,364	0,356	0,308	0,472	0,486	0,486	0,486	0,486
5	0,126	0,252	0,388	0,947	0,870	0,803	0,482	0,292	0,462	0,582	0,708	0,632	0,521	0,502	0,456	0,501	0,433	0,440	0,424	0,419	0,411	0,407	0,407	0,407
10	1,289	0,637	0,304	0,586	0,526	0,710	0,191	0,358	0,379	0,709	0,756	0,761	0,615	0,629	0,607	0,495	0,444	0,406	0,407	0,413	0,409	0,403	0,403	0,403
15	0,593	1,006	0,921	0,725	0,732	0,741	0,325	0,588	0,672	0,839	0,818	0,743	0,694	0,608	0,545	0,488	0,423	0,383	0,350	0,415	0,407	0,407	0,407	0,407
20	1,236	0,499	0,714	0,546	0,717	0,693	0,506	0,674	0,849	0,894	0,831	0,747	0,658	0,575	0,503	0,444	0,390	0,346	0,311	0,428	0,407	0,403	0,403	0,403
25	0,712	0,874	0,710	0,714	0,803	0,685	0,651	0,821	0,922	0,905	0,825	0,728	0,631	0,546	0,473	0,442	0,361	0,318	0,283	0,415	0,403	0,403	0,403	0,403
30	0,441	1,069	0,777	0,766	0,799	0,746	0,754	0,903	0,958	0,911	0,815	0,707	0,608	0,520	0,450	0,389	0,339	0,300	0,264	0,405	0,405	0,403	0,403	0,403
35	1,384	0,787	0,846	0,847	0,854	0,800	0,858	0,963	0,485	0,914	0,804	0,691	0,590	0,503	0,431	0,373	0,325	0,286	0,253	0,409	0,403	0,403	0,403	0,403
40	0,499	0,577	0,846	0,880	0,896	0,842	0,901	1,013	1,004	0,914	0,797	0,683	0,580	0,496	0,424	0,366	0,318	0,278	0,245	0,409	0,408	0,403	0,403	0,403
45	1,134	0,851	0,871	0,894	0,936	0,872	0,948	1,043	1,029	0,833	0,810	0,688	0,581	0,492	0,417	0,357	0,308	0,267	0,234	0,405	0,404	0,403	0,403	0,403
50	0,943	0,992	0,897	0,913	0,996	0,861	0,968	1,100	1,081	0,967	0,824	0,691	0,577	0,482	0,406	0,345	0,296	0,256	0,223	0,408	0,404	0,403	0,403	0,403
55	0,604	1,019	0,837	0,767	1,051	0,787	1,031	1,188	1,138	0,993	0,831	0,687	0,567	0,470	0,394	0,333	0,285	0,246	0,213	0,406	0,403	0,403	0,403	0,403
60	1,038	0,736	0,605	0,800	0,934	0,751	1,143	1,276	1,182	1,008	0,832	0,682	0,558	0,457	0,384	0,324	0,275	0,237	0,206	0,403	0,403	0,403	0,403	0,403
65	1,057	1,054	1,038	1,071	0,725	0,760	1,266	1,348	1,244	1,013	0,831	0,680	0,550	0,454	0,377	0,318	0,270	0,235	0,202	0,402	0,403	0,403	0,403	0,403
70	0,654	1,223	1,278	1,281	0,510	0,771	1,375	1,403	1,249	1,012	0,840	0,686	0,550	0,458	0,374	0,314	0,270	0,233	0,202	0,403	0,403	0,403	0,403	0,403
75	1,333	0,497	1,058	1,442	0,265	0,784	1,405	1,445	1,289	1,015	0,844	0,699	0,558	0,467	0,372	0,314	0,273	0,233	0,209	0,405	0,404	0,403	0,403	0,403
80	0,262	0,320	0,870	1,453	0,140	0,838	1,341	1,448	1,270	1,028	0,840	0,705	0,569	0,471	0,384	0,324	0,276	0,239	0,224	0,408	0,402	0,403	0,403	0,403
85	2,116	0,160	1,070	1,583	0,188	0,861	1,400	1,410	1,167	0,956	0,790	0,682	0,553	0,450	0,376	0,350	0,303	0,258	0,245	0,404	0,403	0,403	0,403	0,403
90	0,748	0,177	0,548	1,368	0,055	0,769	1,283	1,303	1,128	0,926	0,753	0,612	0,506	0,423	0,357	0,360	0,263	0,232	0,206	0,403	0,404	0,403	0,403	0,403

Tab. 3.5. Valori $r_v = f(F_v, \beta)$ pentru $\lambda = 0,60$.

$\beta \backslash F_v$	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
0	0,002	0,125	0,062	0,751	0,263	0,639	0,122	0,179	0,412	0,554	0,603	0,594	0,557	0,518	0,468	0,430	0,392	0,358	0,332	0,168	0,106	0,073	0,069
5	0,164	0,258	0,283	1,038	0,284	1,058	0,150	0,256	0,612	0,685	0,699	0,654	0,617	0,565	0,570	0,493	0,488	0,479	0,445	0,213	0,112	0,066	0,051
10	1,091	1,109	0,648	0,733	0,360	0,740	0,323	0,347	0,707	0,796	0,800	0,788	0,739	0,700	0,563	0,590	0,480	0,448	0,393	0,166	0,090	0,052	0,042
15	1,643	0,539	0,934	0,836	0,553	0,751	0,285	0,488	0,853	0,887	0,849	0,841	0,734	0,674	0,569	0,528	0,459	0,404	0,367	0,150	0,081	0,049	0,036
20	0,779	0,525	0,855	0,678	0,590	0,668	0,540	0,760	0,919	0,935	0,878	0,804	0,703	0,624	0,540	0,477	0,422	0,371	0,332	0,135	0,075	0,045	0,032
25	1,371	0,929	0,931	0,834	0,714	0,718	0,661	0,851	0,967	0,959	0,881	0,779	0,677	0,586	0,507	0,443	0,388	0,342	0,304	0,124	0,067	0,042	0,029
30	0,508	0,471	0,704	0,874	0,826	0,789	0,780	0,933	1,008	0,966	0,868	0,757	0,652	0,561	0,484	0,419	0,366	0,322	0,285	0,113	0,061	0,039	0,028
35	0,486	0,753	0,841	0,873	0,873	0,844	0,861	0,994	1,031	0,968	0,858	0,742	0,634	0,542	0,465	0,403	0,351	0,307	0,272	0,107	0,058	0,036	0,024
40	0,395	0,867	0,869	0,910	0,920	0,885	0,918	1,040	1,054	0,972	0,851	0,729	0,622	0,531	0,456	0,394	0,342	0,301	0,265	0,102	0,054	0,033	0,022
45	0,526	0,908	0,894	0,940	0,963	0,902	0,966	1,076	1,071	0,981	0,858	0,734	0,624	0,531	0,453	0,390	0,337	0,294	0,258	0,096	0,050	0,031	0,021
50	0,791	0,930	0,877	0,951	0,988	0,915	0,979	1,108	1,111	1,013	0,878	0,745	0,627	0,528	0,448	0,382	0,329	0,285	0,249	0,090	0,047	0,029	0,019
55	0,859	1,125	0,986	0,913	1,078	0,845	0,995	1,178	1,171	1,051	0,896	0,751	0,625	0,523	0,441	0,374	0,320	0,277	0,241	0,086	0,046	0,028	0,018
60	1,008	1,016	0,689	0,738	1,093	0,745	1,064	1,264	1,229	1,081	0,909	0,754	0,622	0,517	0,434	0,367	0,313	0,272	0,234	0,084	0,044	0,027	0,017
65	1,102	0,876	0,603	0,793	0,958	0,666	1,163	1,349	1,277	1,099	0,917	0,760	0,620	0,514	0,429	0,364	0,309	0,268	0,232	0,082	0,044	0,026	0,017
70	0,930	0,728	1,003	0,997	0,737	0,922	1,266	1,444	1,326	1,107	0,935	0,773	0,624	0,522	0,428	0,362	0,310	0,269	0,233	0,084	0,045	0,027	0,018
75	0,919	1,251	1,292	1,269	0,449	0,948	1,281	1,465	1,379	1,113	0,946	0,792	0,637	0,537	0,429	0,363	0,316	0,270	0,241	0,086	0,047	0,027	0,019
80	0,564	1,432	1,481	1,404	0,277	0,983	1,203	1,429	1,352	1,130	0,938	0,799	0,648	0,564	0,441	0,374	0,319	0,278	0,260	0,091	0,049	0,029	0,021
85	3,235	0,947	1,913	1,651	0,316	0,611	1,291	1,438	1,244	1,042	0,871	0,765	0,623	0,580	0,452	0,404	0,350	0,299	0,285	0,098	0,051	0,030	0,025
90	1,492	0,791	1,349	1,424	0,151	0,496	1,155	1,314	1,201	1,015	0,837	0,687	0,573	0,480	0,407	0,346	0,303	0,266	0,235	0,097	0,052	0,032	0,025

Tab. 3.6. Valori $r_v = f(F_v, \beta)$ pentru $\lambda = 0,65$.

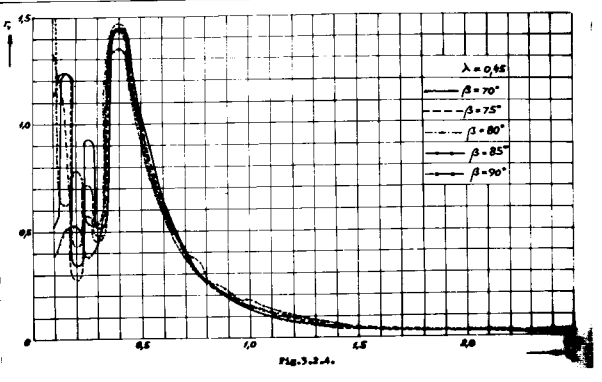
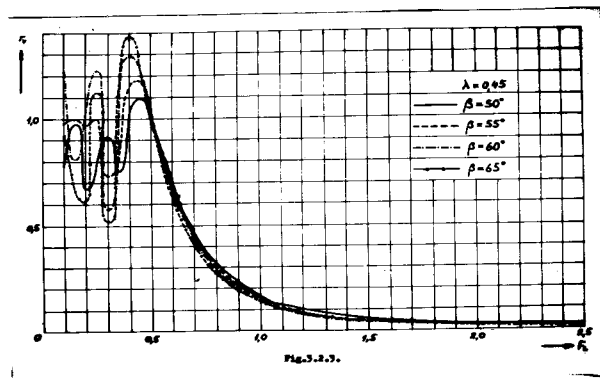
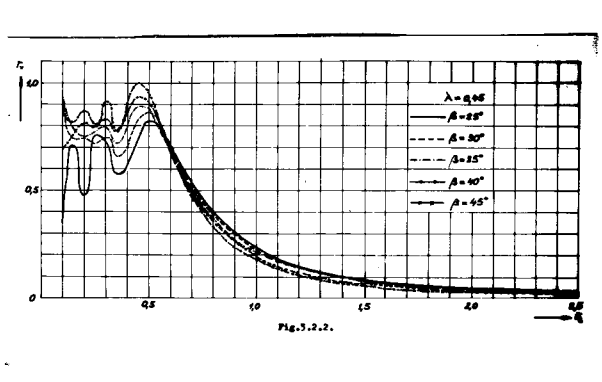
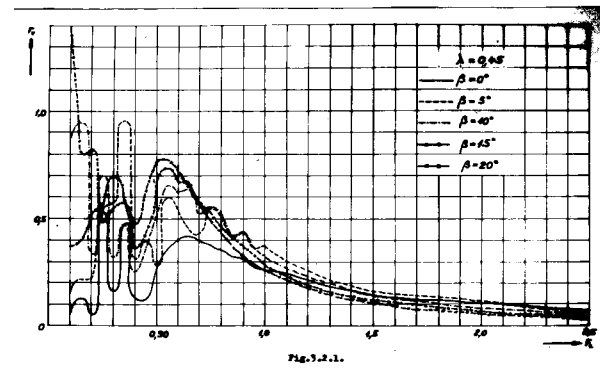
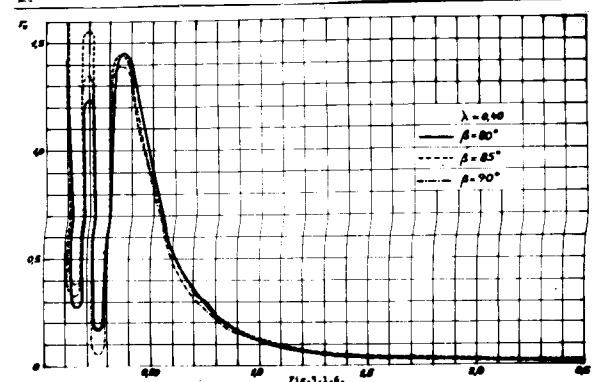
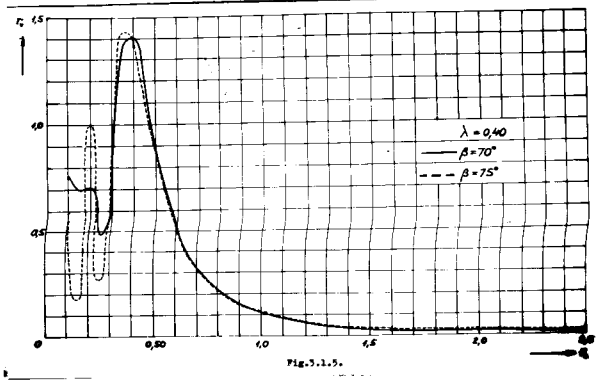
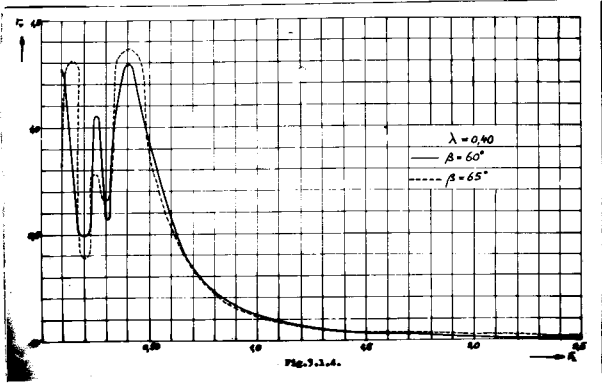
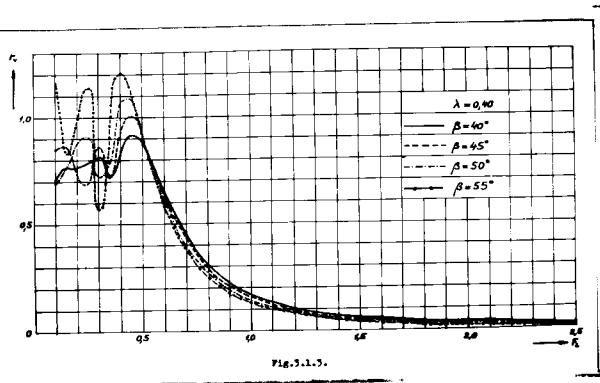
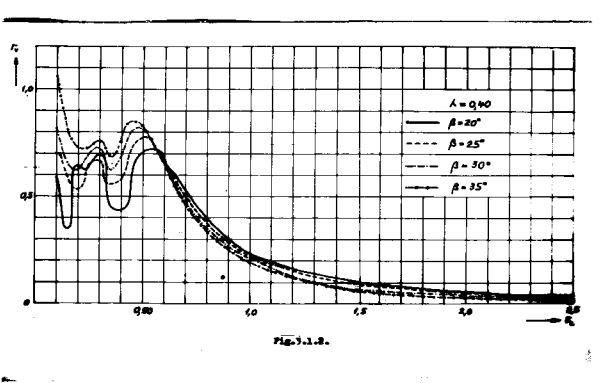
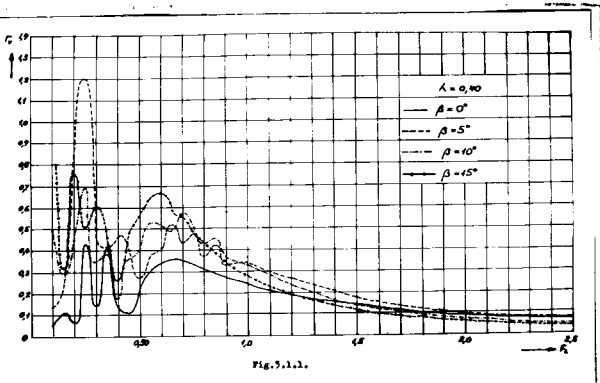
$\beta \backslash F_v$	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
0	0,089	0,127	0,062	0,828	0,295	0,692	0,116	0,206	0,464	0,627	0,674	0,659	0,612	0,560	0,514	0,466	0,424	0,387	0,351	0,160	0,114	0,071	0,053
5	0,161	0,371	0,298	1,405	0,842	0,684	0,528	0,232	0,728	0,687	0,706	0,803	0,692	0,611	0,597	0,614	0,601	0,484	0,458	0,176	0,116	0,067	0,050
10	0,836	0,549	0,280	0,922	0,442	0,730	0,315	0,352	0,681	0,801	0,927	0,834	0,798	0,729	0,705	0,574	0,546	0,479	0,414	0,164	0,099	0,057	0,044
15	2,354	1,001	0,923	0,995	0,506	0,835	0,484	0,576	0,749	0,897	0,962	0,879	0,780	0,705	0,635	0,539	0,501	0,433	0,383	0,154	0,084	0,051	0,038
20	0,534	0,554	0,585	0,757	0,646	0,722	0,514	0,719	0,923	0,978	0,953	0,856	0,759	0,664	0,583	0,509	0,451	0,400	0,353	0,142	0,077	0,048	0,034
25	1,262	0,985	1,073	0,733	0,881	0,799	0,690	0,871	1,008	1,014	0,938	0,830	0,723	0,626	0,545	0,474	0,416	0,368	0,327	0,131	0,071	0,044	0,031
30	0,820	1,050	0,790	0,806	0,856	0,835	0,803	0,964	1,051	1,020	0,924	0,810	0,698	0,602	0,518	0,450	0,392	0,346	0,306	0,122	0,065	0,041	0,029
35	1,384	0,728	0,847	0,904	0,900	0,893	0,881	1,020	1,077	1,021	0,913	0,792	0,679	0,582	0,499	0,433	0,377	0,330	0,292	0,115	0,062	0,039	0,027
40	0,353	1,018	0,925	0,932	0,937	0,927	0,938	1,066	1,098	1,027	0,907	0,781	0,666	0,570	0,488	0,422	0,367	0,322	0,285	0,111	0,059	0,037	0,025
45	1,063	0,868	0,931	0,960	0,972	0,946	0,976	1,104	1,118	1,032	0,908	0,780	0,666	0,569	0,487	0,420	0,365	0,319	0,281	0,106	0,056	0,035	0,023
50	0,769	0,947	0,892	0,979	0,999	0,951	0,997	1,126	1,143	1,056	0,927	0,794	0,675	0,572	0,488	0,418	0,361	0,314	0,275	0,101	0,053	0,033	0,022
55	1,126	1,123	0,887	1,020	1,051	0,915	0,983	1,168	1,195	1,099	0,955	0,810	0,680	0,573	0,486	0,414	0,355	0,309	0,269	0,097	0,051	0,031	0,020
60	0,985	0,781	0,956	0,888	1,153	0,795	1,000	1,240	1,259	1,142	0,979	0,822	0,684	0,573	0,483	0,411	0,350	0,305	0,264	0,095	0,050	0,030	0,020
65	1,142	1,323	0,670	0,697	1,148	0,648	1,057	1,324	1,319	1,171	0,997	0,836	0,689	0,575	0,482	0,409	0,349	0,303	0,262	0,093	0,050	0,030	0,020
70	1,228	0,728	0,542	0,672	1,009	0,483	1,135	1,390	1,380	1,188	1,024	0,857	0,697	0,586	0,483	0,410	0,351	0,306	0,265	0,095	0,051	0,030	0,020
75	0,597	0,339	0,758	0,849	0,755	0,373	1,118	1,444	1,442	1,199	1,042	0,884	0,715	0,606	0,487	0,414	0,361	0,309	0,276	0,099	0,053	0,031	0,021
80	1,219	1,097	1,193	1,008	0,566	0,383	1,026	1,397	1,306	1,218	1,029	0,891	0,726	0,638	0,500	0,424	0,364	0,318	0,298	0,105	0,056	0,033	0,024
85	3,664	1,266	1,918	1,323	0,622	0,410	1,139	1,426	1,292	1,116	0,946	0,844	0,691	0,650	0,509	0,458	0,398	0,340	0,327	0,112	0,057	0,035	0,029
90	1,216	1,345	1,340	1,072	0,427	0,266	0,985	1,283	1,247	1,090	0,915	0,760	0,636	0,537	0,457	0,391	0,347	0,301	0,265	0,112	0,061	0,037	0,029

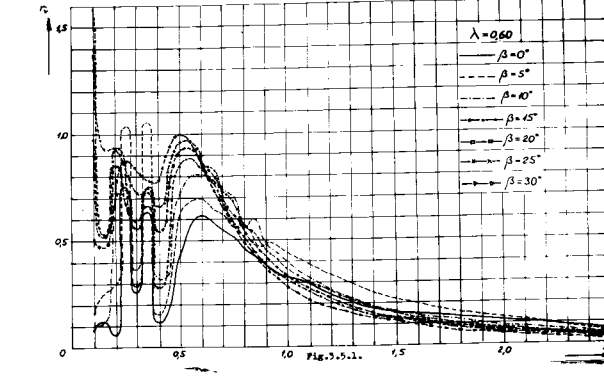
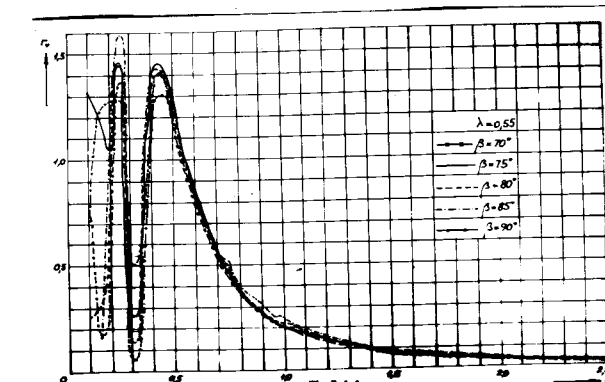
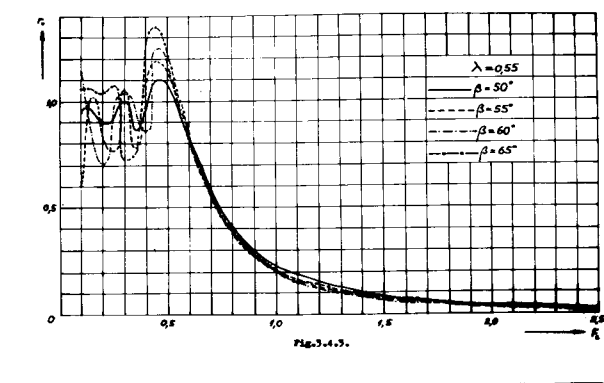
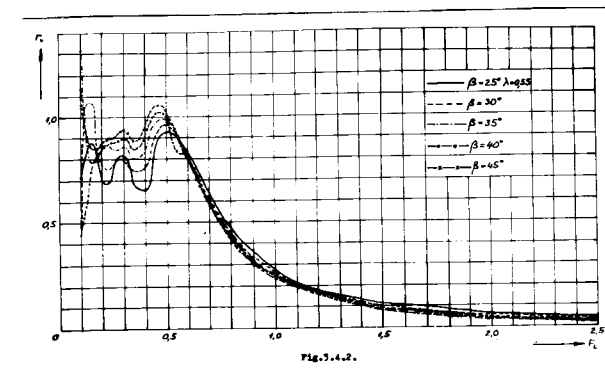
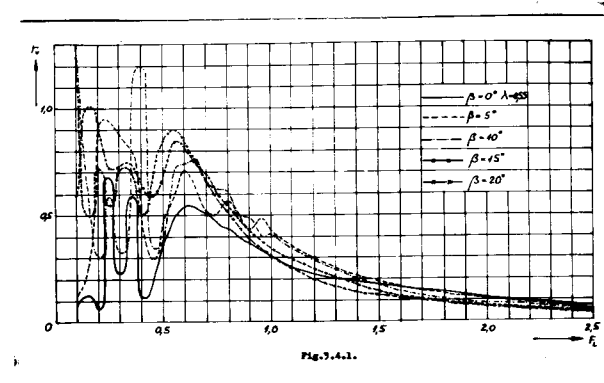
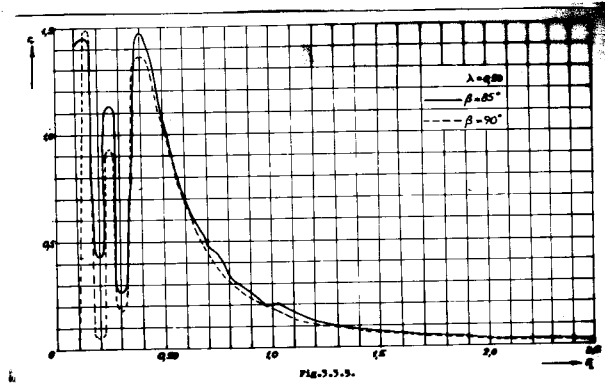
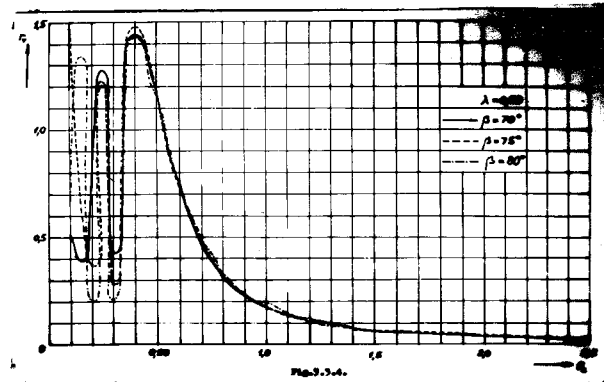
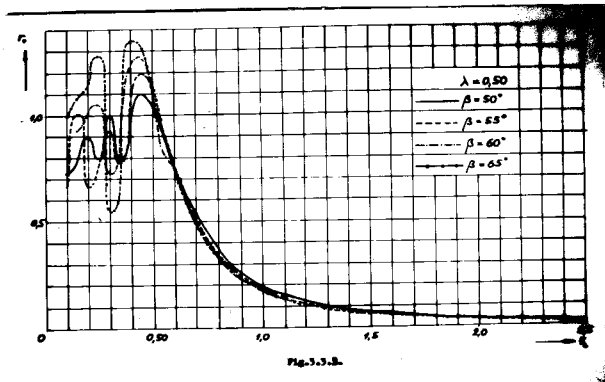
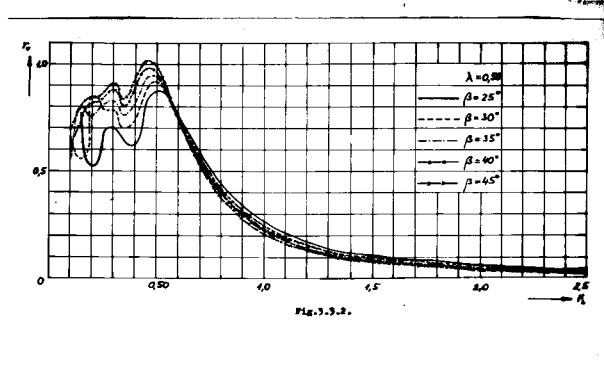
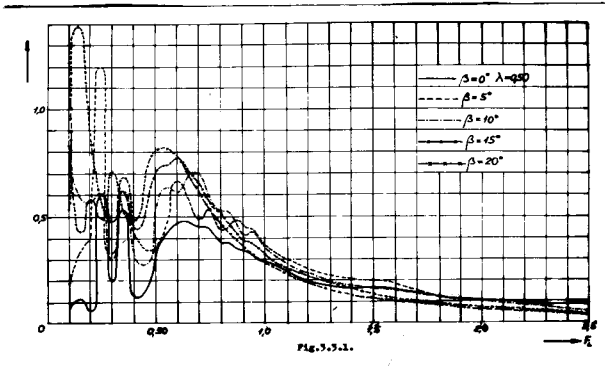
Tab.3.7. Valori $r_c = f(F_c, \beta)$ pentru $\lambda = 0,70$

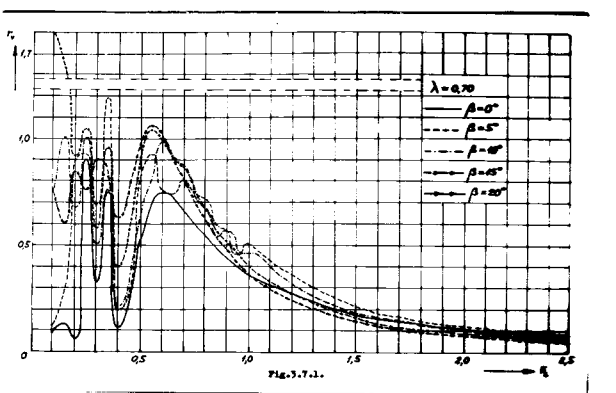
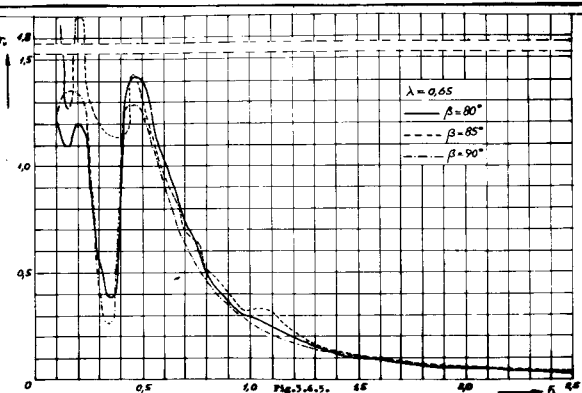
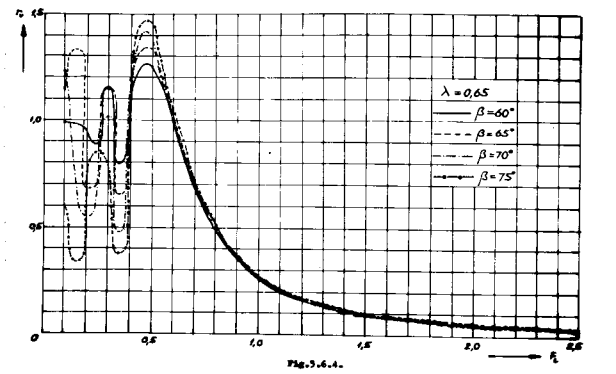
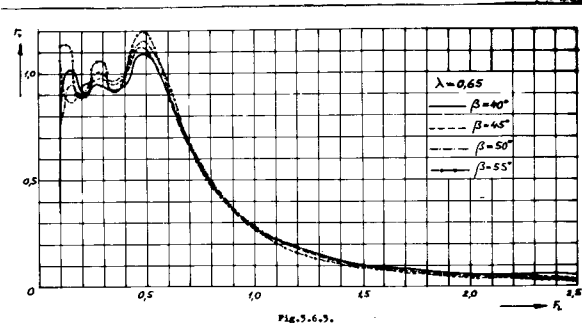
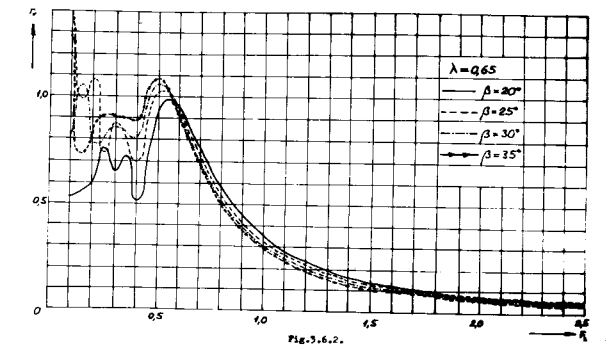
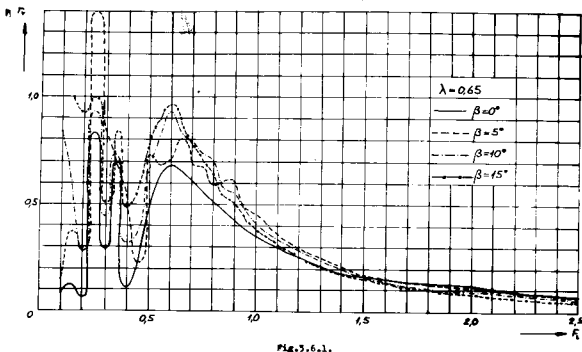
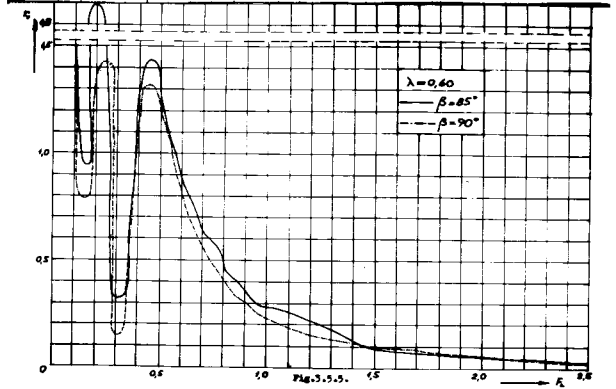
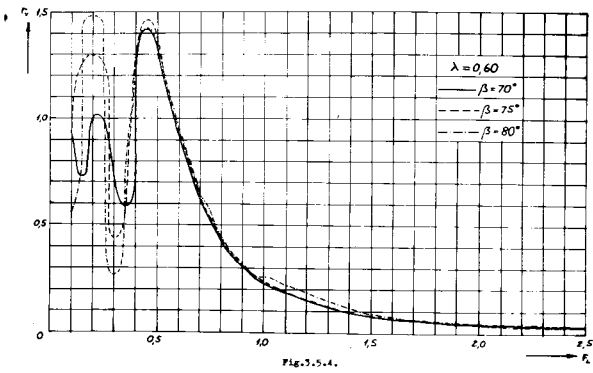
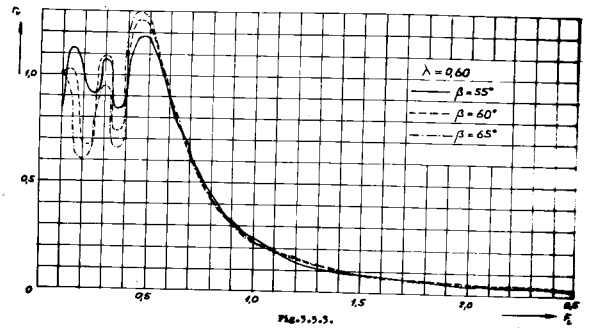
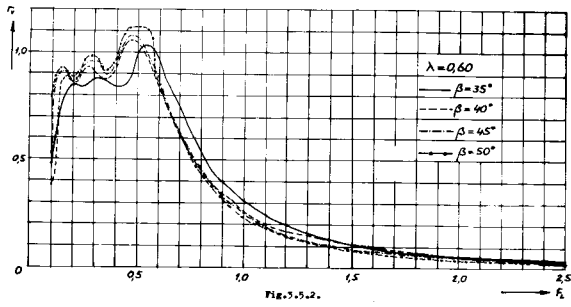
$\beta \backslash F_c$	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
0	0,096	0,131	0,061	0,906	0,331	0,745	0,115	0,227	0,526	0,695	0,746	0,721	0,669	0,610	0,551	0,493	0,450	0,407	0,371	0,189	0,124	0,080	0,070
5	0,126	0,272	0,089	0,927	0,579	1,188	0,192	0,249	0,803	0,923	0,758	0,737	0,805	0,745	0,713	0,542	0,564	0,456	0,504	0,225	0,127	0,083	0,062
10	0,764	1,064	0,678	1,026	0,509	0,760	0,214	0,326	0,651	0,804	0,987	0,920	0,872	0,769	0,675	0,595	0,573	0,483	0,467	0,188	0,103	0,064	0,046
15	1,809	1,613	0,921	1,043	0,690	0,957	0,398	0,574	0,899	1,038	0,998	0,912	0,870	0,749	0,675	0,576	0,520	0,464	0,408	0,163	0,087	0,055	0,039
20	0,752	0,602	0,844	0,758	0,899	0,822	0,627	0,787	0,982	1,062	1,010	0,909	0,816	0,705	0,626	0,543	0,480	0,427	0,377	0,149	0,080	0,050	0,035
25	0,937	1,074	1,075	0,789	0,747	0,795	0,727	0,907	1,061	1,072	0,990	0,881	0,772	0,670	0,582	0,508	0,446	0,393	0,351	0,139	0,075	0,047	0,032
30	1,102	0,838	0,903	0,923	0,861	0,885	0,825	0,987	1,095	1,072	0,980	0,861	0,744	0,642	0,555	0,481	0,420	0,370	0,327	0,130	0,071	0,044	0,031
35	0,911	0,713	1,014	0,914	0,918	0,933	0,907	1,046	1,118	1,075	0,968	0,843	0,726	0,622	0,536	0,463	0,404	0,354	0,312	0,123	0,067	0,041	0,029
40	0,435	1,107	0,939	0,957	0,955	0,972	0,958	1,089	1,139	1,078	0,962	0,833	0,713	0,610	0,523	0,452	0,393	0,345	0,304	0,119	0,064	0,040	0,027
45	0,875	0,861	0,971	0,982	0,987	0,990	0,989	1,123	1,162	1,085	0,961	0,828	0,709	0,606	0,520	0,450	0,391	0,342	0,303	0,115	0,061	0,038	0,026
50	1,029	0,982	0,927	1,006	1,010	0,985	1,010	1,147	1,178	1,101	0,976	0,842	0,719	0,613	0,525	0,452	0,391	0,341	0,300	0,111	0,058	0,036	0,024
55	1,151	1,204	0,885	1,042	1,026	0,973	0,989	1,165	1,217	1,141	1,007	0,864	0,732	0,621	0,529	0,453	0,389	0,340	0,296	0,108	0,056	0,035	0,023
60	1,009	1,049	0,869	1,072	1,128	0,875	0,959	1,211	1,277	1,191	1,041	0,885	0,743	0,627	0,532	0,453	0,387	0,338	0,293	0,106	0,056	0,034	0,022
65	1,170	0,878	1,052	0,840	1,238	0,966	0,966	1,280	1,340	1,230	1,069	0,908	0,755	0,635	0,534	0,455	0,389	0,339	0,294	0,105	0,056	0,034	0,022
70	1,467	1,144	0,668	0,557	1,235	0,459	1,002	1,337	1,409	1,254	1,104	0,936	0,769	0,649	0,539	0,460	0,393	0,344	0,298	0,107	0,058	0,034	0,023
75	0,625	0,921	0,304	0,481	1,077	0,288	0,941	1,388	1,478	1,269	1,131	0,973	0,794	0,675	0,546	0,465	0,406	0,349	0,311	0,112	0,060	0,036	0,024
80	1,515	0,605	0,745	0,529	0,912	0,271	0,831	1,326	1,429	1,288	1,112	0,978	0,804	0,713	0,559	0,475	0,411	0,359	0,338	0,119	0,064	0,038	0,027
85	0,265	0,117	1,218	0,831	1,016	0,293	0,966	1,377	1,318	1,175	1,012	0,919	0,754	0,717	0,565	0,513	0,440	0,381	0,370	0,128	0,067	0,040	0,033
90	0,320	0,065	0,541	0,526	0,796	0,118	0,787	1,215	1,267	1,149	0,987	0,828	0,700	0,593	0,508	0,435	0,381	0,338	0,297	0,126	0,070	0,043	0,033

Tab.3B. Valori $r_c = f(F_c, \beta)$ pentru $\lambda = 0,75$

$\beta \backslash F_c$	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
0	0,102	0,135	0,062	0,904	0,363	0,795	0,114	0,253	0,581	0,770	0,813	0,787	0,728	0,654	0,589	0,533	0,476	0,434	0,392	0,196	0,109	0,071	0,060
5	0,145	0,309	0,369	1,225	0,579	1,000	0,397	0,291	0,817	0,792	0,891	0,961	0,868	0,780	0,654	0,646	0,533	0,507	0,486	0,223	0,113	0,081	0,057
10	0,983	1,037	0,293	0,965	0,568	0,830	0,359	0,401	0,724	0,877	1,009	1,060	0,907	0,811	0,748	0,702	0,546	0,551	0,442	0,199	0,097	0,068	0,045
15	0,726	1,287	0,884	0,983	0,745	1,031	0,383	0,587	0,902	1,050	1,077	1,033	0,913	0,786	0,700	0,636	0,530	0,497	0,419	0,173	0,088	0,059	0,039
20	1,269	0,632	0,855	0,736	0,914	0,875	0,542	0,810	1,056	1,109	1,052	0,976	0,866	0,756	0,661	0,584	0,506	0,453	0,401	0,158	0,083	0,053	0,036
25	1,754	1,164	1,005	0,955	0,927	0,921	0,724	0,934	1,099	1,121	1,047	0,941	0,822	0,716	0,620	0,546	0,475	0,420	0,373	0,148	0,079	0,049	0,034
30	1,049	0,850	0,932	0,876	0,919	0,934	0,853	1,014	1,136	1,127	1,035	0,913	0,793	0,684	0,591	0,512	0,448	0,395	0,349	0,139	0,075	0,047	0,032
35	0,957	0,728	0,864	0,960	0,940	0,981	0,931	1,071	1,161	1,128	1,023	0,895	0,774	0,663	0,572	0,494	0,432	0,378	0,334	0,131	0,071	0,045	0,031
40	0,641	1,077	0,992	0,972	0,976	1,015	0,981	1,110	1,178	1,130	1,015	0,884	0,760	0,657	0,559	0,483	0,420	0,369	0,325	0,127	0,069	0,043	0,030
45	0,670	1,001	0,999	0,997	0,999	1,031	1,007	1,139	1,197	1,138	1,017	0,881	0,755	0,646	0,554	0,480	0,417	0,366	0,323	0,124	0,066	0,041	0,028
50	0,853	0,999	0,963	1,012	1,011	1,030	1,018	1,164	1,215	1,148	1,025	0,890	0,763	0,654	0,561	0,485	0,421	0,368	0,324	0,122	0,064	0,040	0,028
55	1,016	1,219	0,929	1,050	1,021	1,015	1,002	1,170	1,239	1,180	1,055	0,914	0,782	0,667	0,571	0,490	0,423	0,370	0,323	0,119	0,062	0,039	0,026
60	1,075	0,863	0,722	1,147	1,072	0,955	0,944	1,184	1,280	1,232	1,096	0,944	0,801	0,679	0,579	0,495	0,424	0,372	0,323	0,117	0,061	0,038	0,025
65	1,193	1,369	1,066	1,075	1,223	0,791	0,898	1,226	1,346	1,277	1,133	0,975	0,819	0,693	0,586	0,501	0,429	0,374	0,326	0,117	0,062	0,038	0,025
70	1,572	0,520	1,117	0,706	1,345	0,515	0,883	1,264	1,416	1,307	1,175	1,012	0,839	0,712	0,595	0,510	0,436	0,382	0,332	0,119	0,064	0,038	0,025
75	0,985	0,951	0,581	0,403	1,341	0,303	0,767	1,303	0,487	1,322	1,241	1,057	0,871	0,744	0,605	0,518	0,453	0,390	0,348	0,125	0,068	0,040	0,027
80	1,162	1,703	0,386	0,277	1,202	0,265	0,640	1,221	1,422	1,341	1,184	1,060	0,879	0,788	0,618	0,527	0,458	0,401	0,378	0,134	0,072	0,043	0,031
85	0,305	1,235	0,930	0,514	1,382	0,281	0,792	1,295	1,317	1,217	1,070	0,909	0,814	0,782	0,621	0,568	0,494	0,424	0,419	0,144	0,076	0,046	0,031
90	0,083	1,068	0,052	0,125	1,146	0,072	0,581	1,112	1,260	1,193	1,048	0,873	0,760	0,649	0,557	0,481	0,419	0,374	0,329	0,141	0,078	0,050	0,036







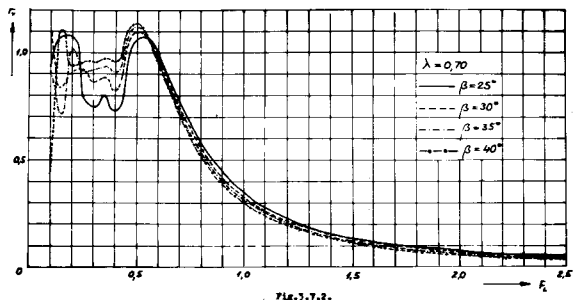


Fig. 3.7.2.

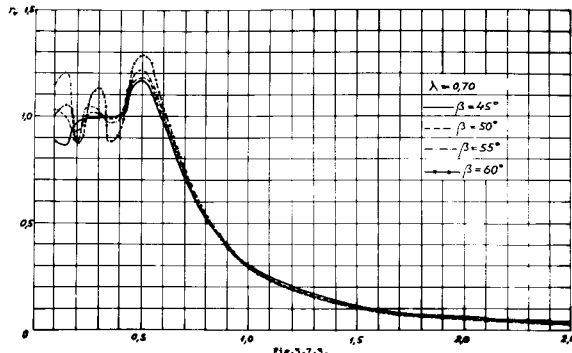


Fig. 3.7.3.

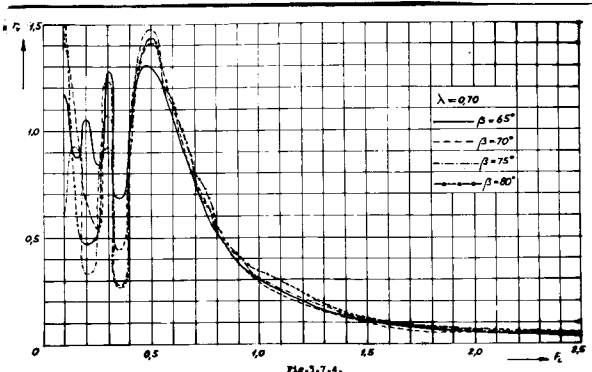


Fig. 3.7.4.

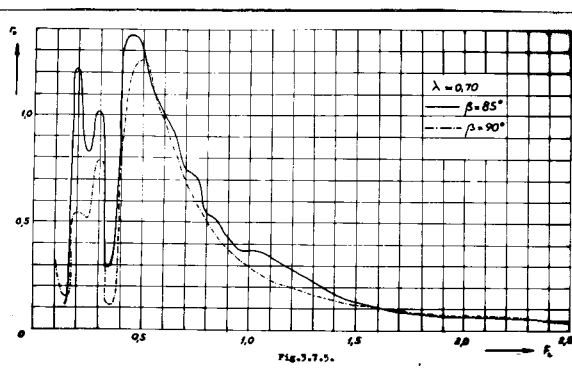


Fig. 3.7.5.

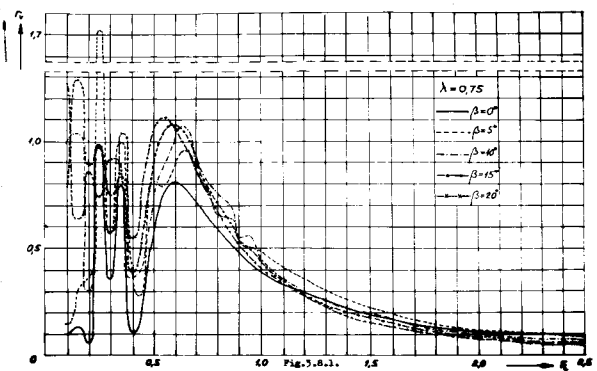


Fig. 3.8.1.

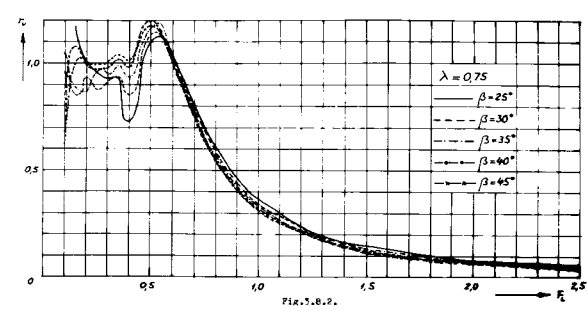


Fig. 3.8.2.

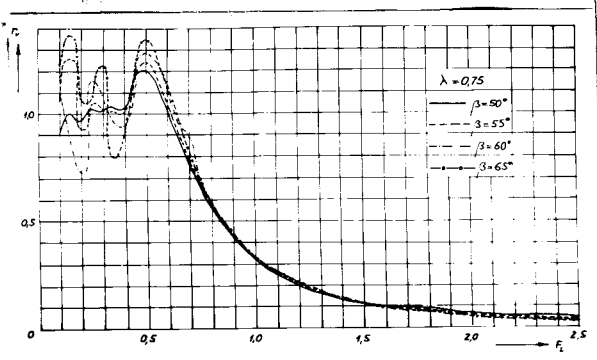


Fig. 3.8.3.

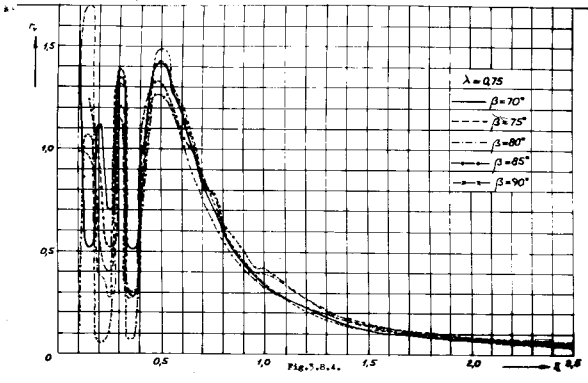
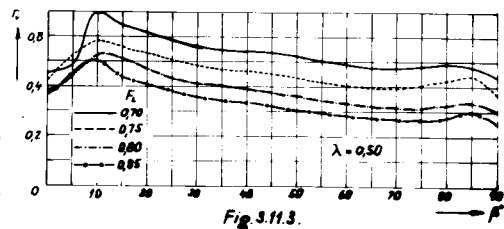
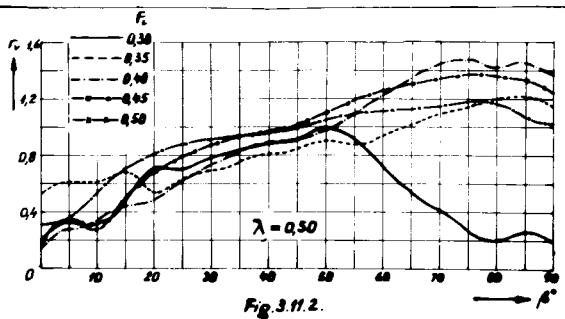
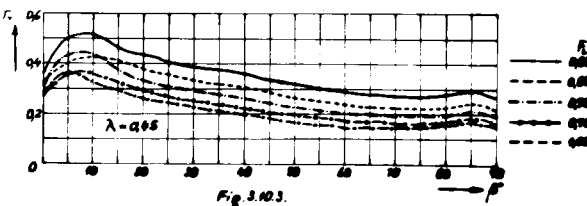
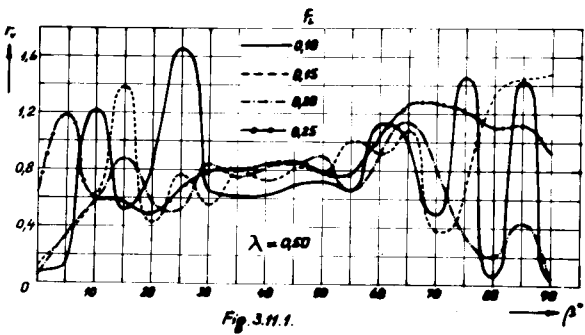
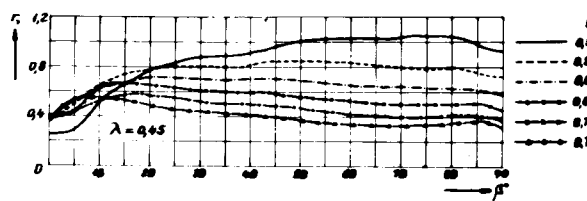
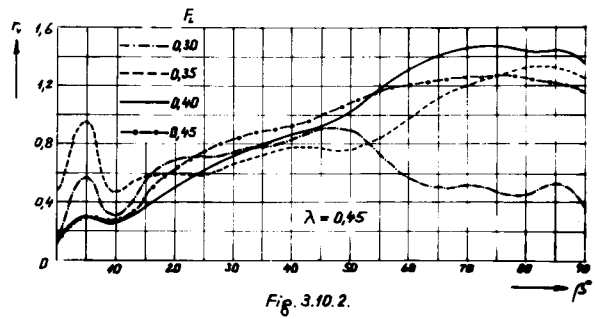
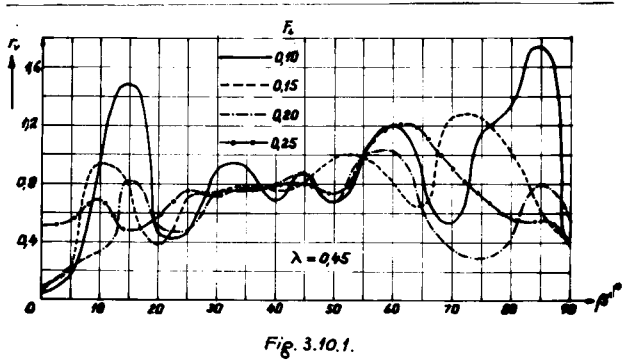
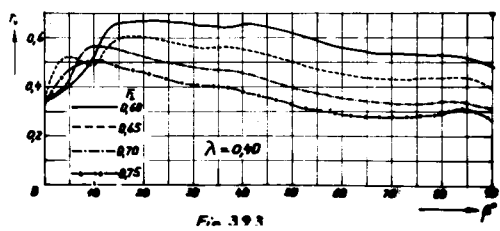
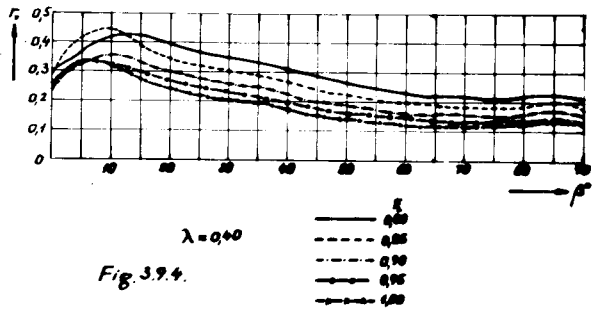
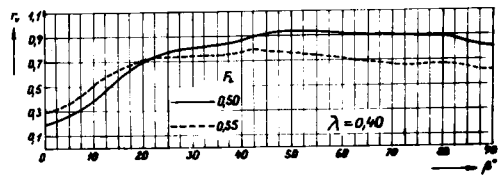
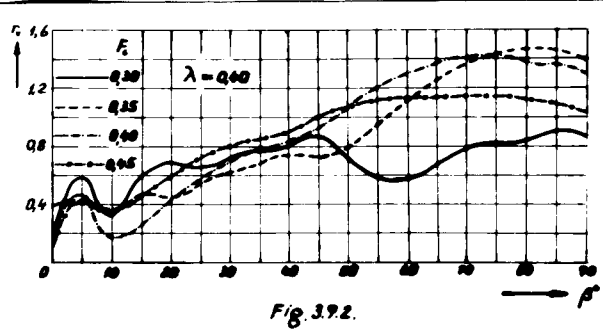
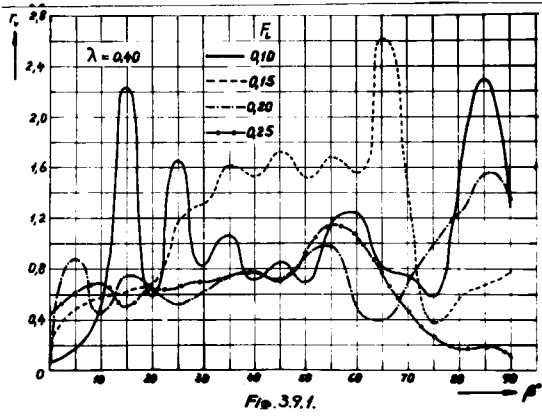


Fig. 3.8.4.



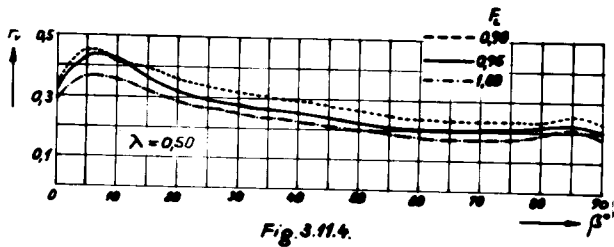


Fig. 3.11.4.

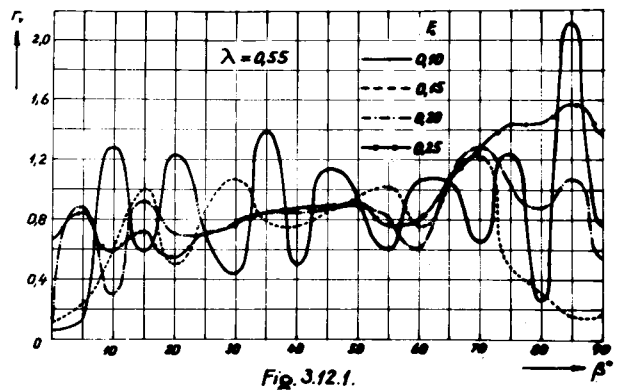


Fig. 3.12.1.

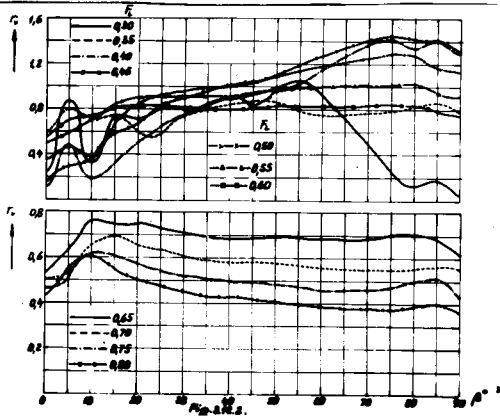


Fig. 3.12.2.

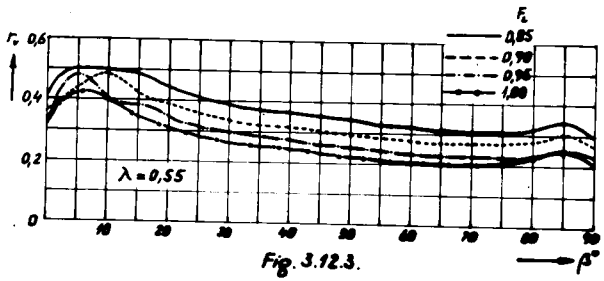


Fig. 3.12.3.

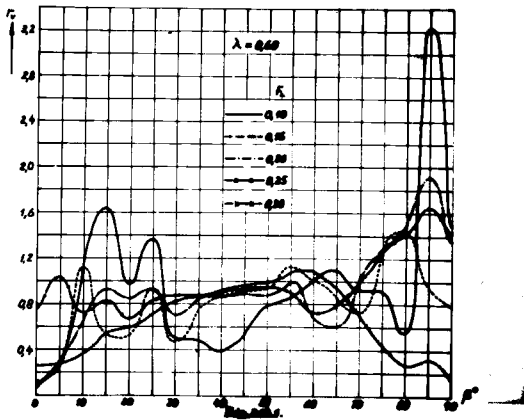


Fig. 3.13.1.

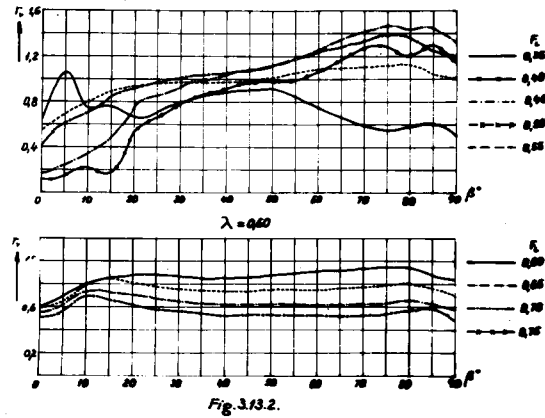


Fig. 3.13.2.

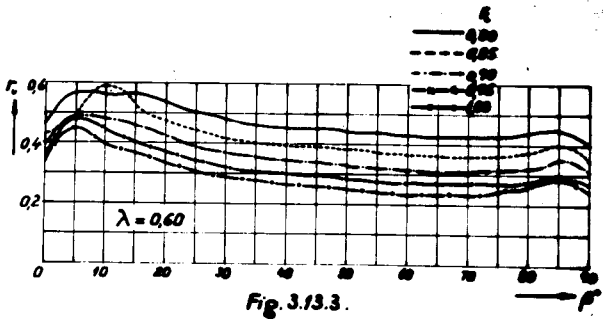


Fig. 3.13.3.

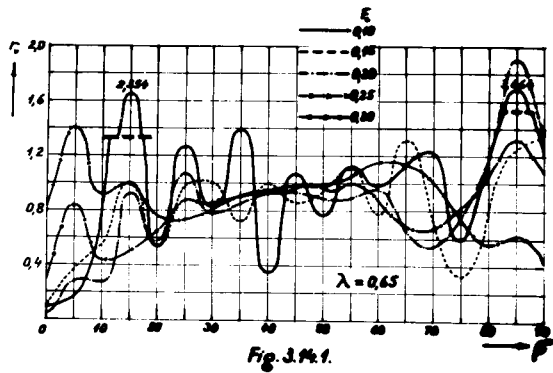


Fig. 3.14.1.

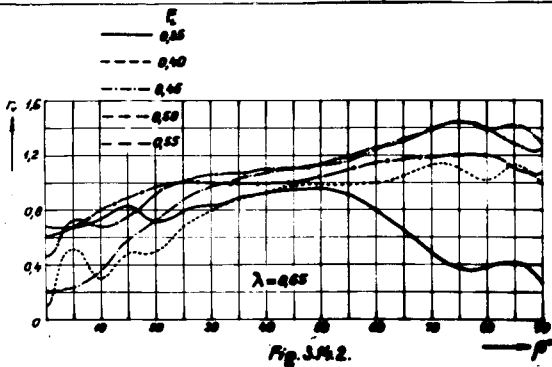


Fig. 3.14.2.

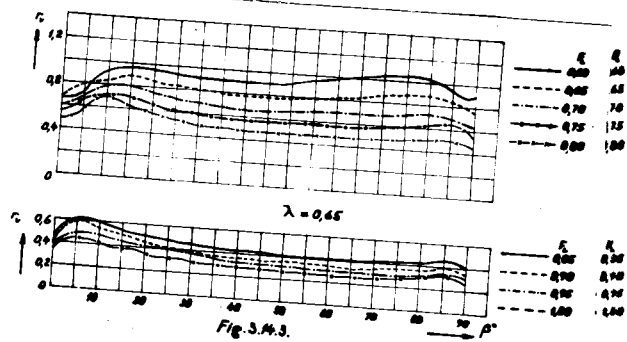
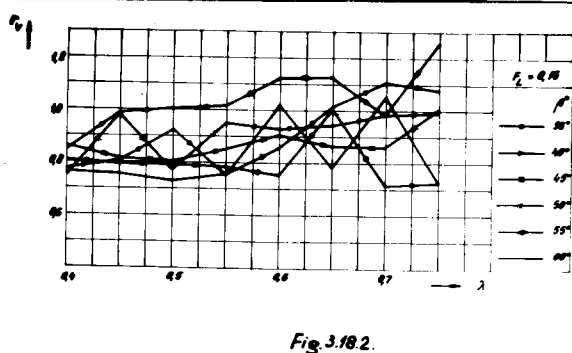
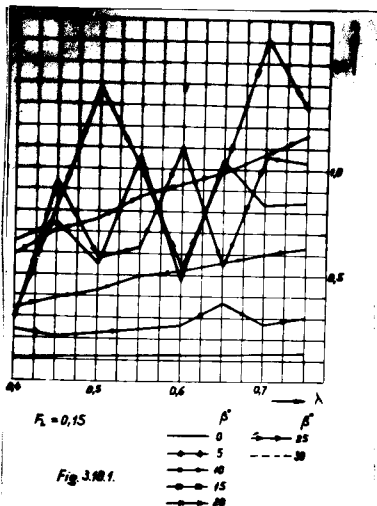
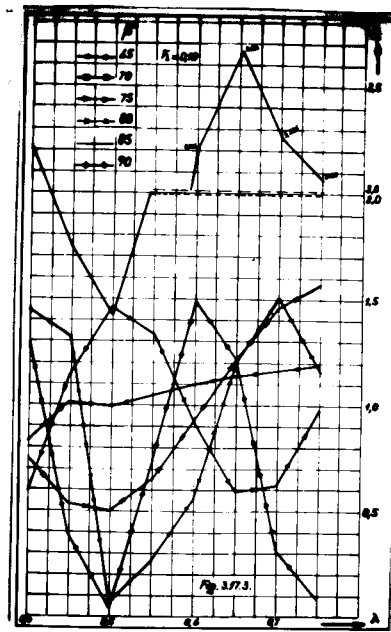
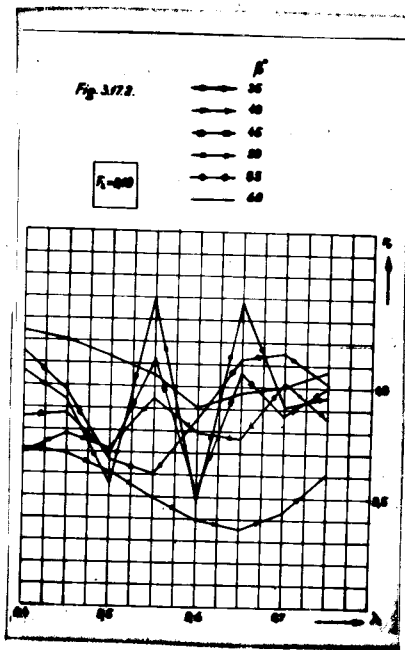
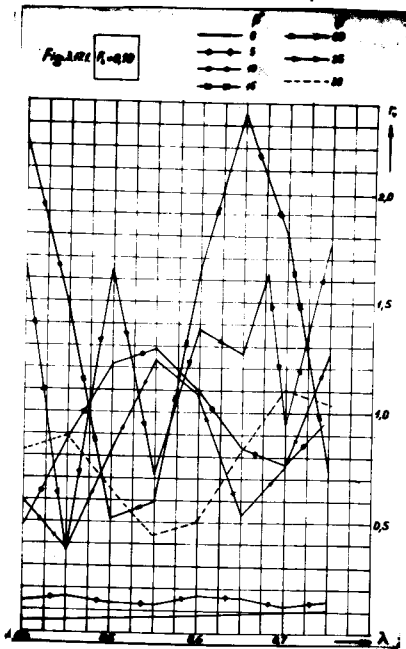
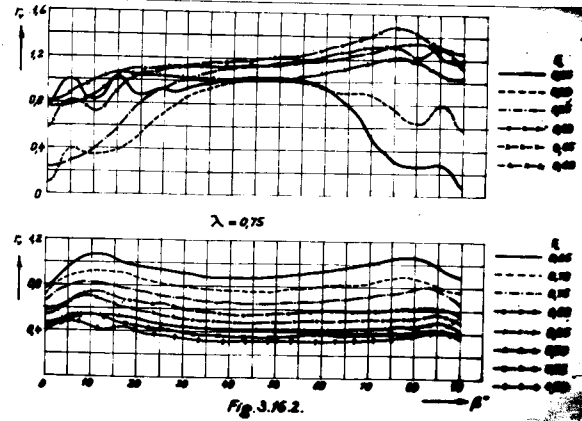
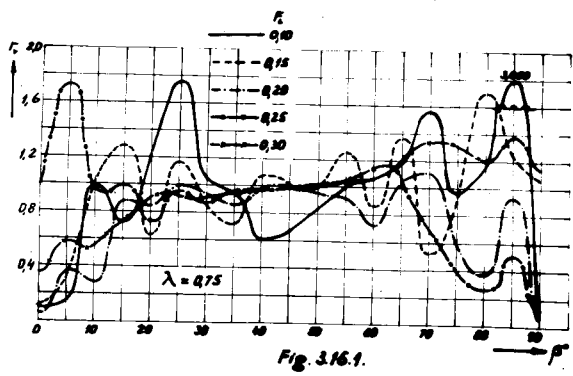
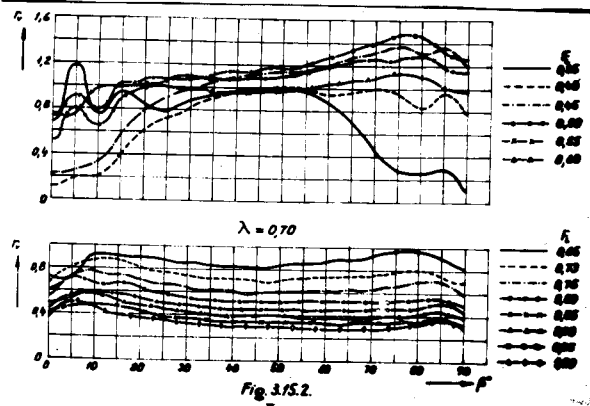
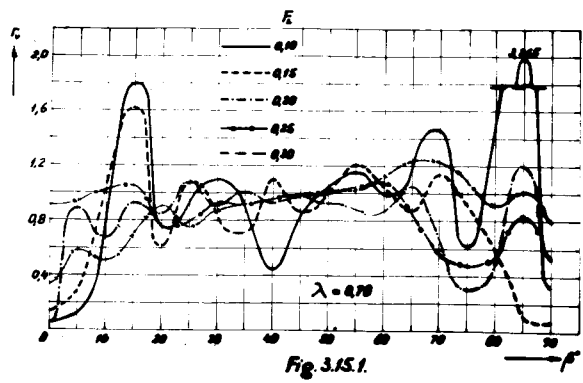


Fig. 3.14.3.



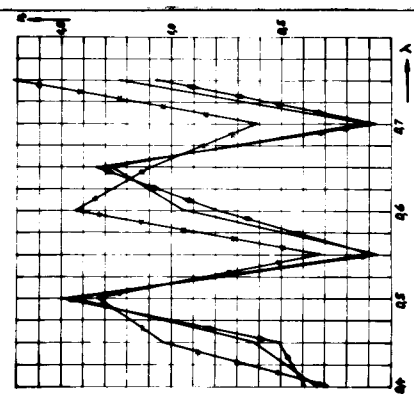


Fig. 3.193.

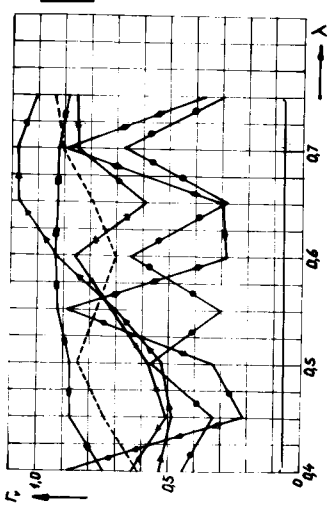


Fig. 3.191.

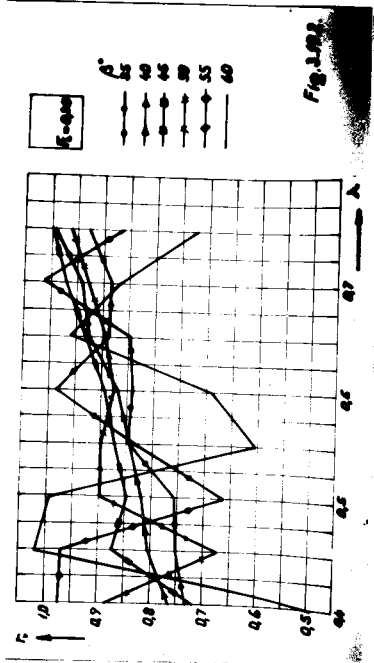


Fig. 3.192.

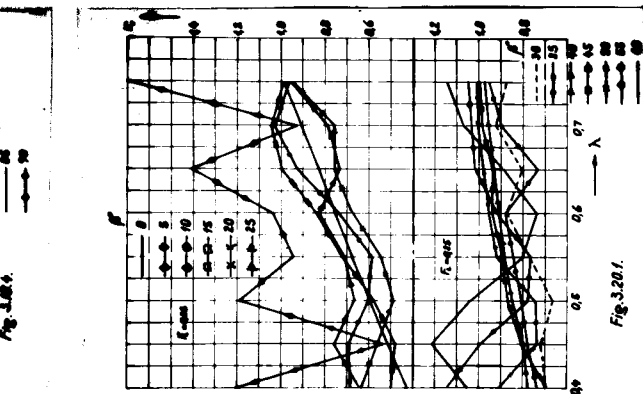


Fig. 3.201.

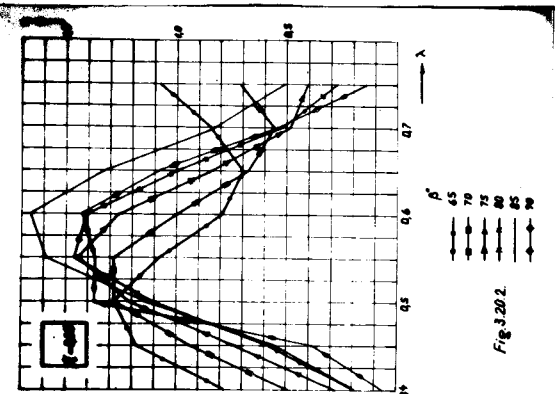


Fig. 3.202.

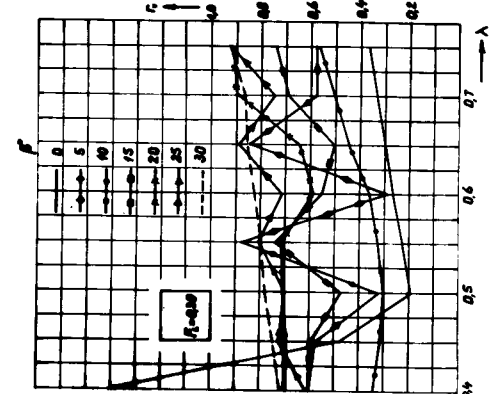


Fig. 3.211.

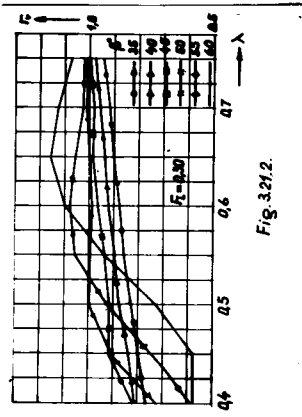


Fig. 3.212.

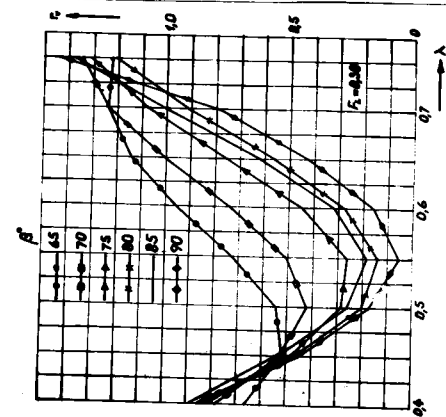


Fig. 3.213.

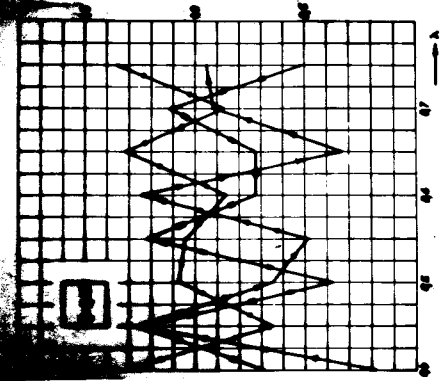


Fig. 3.194.

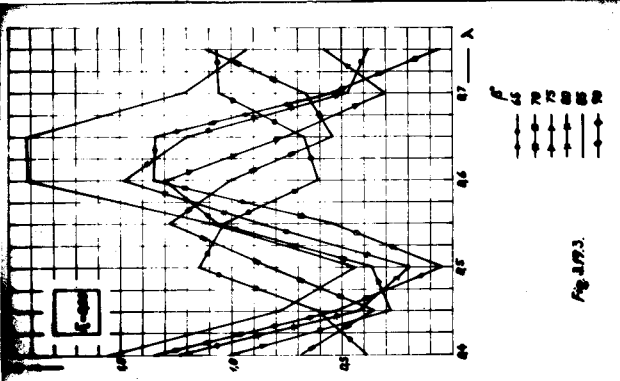


Fig. 3.203.

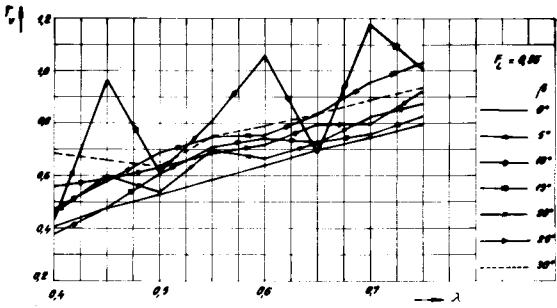


Fig. 3.22.1.

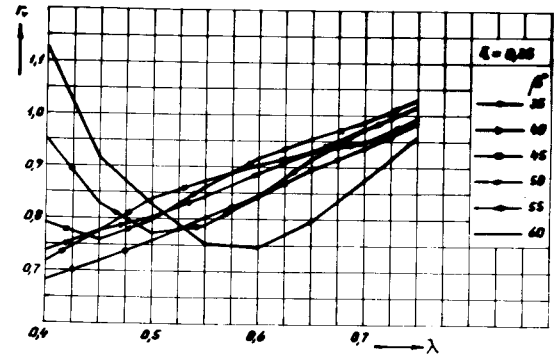


Fig. 3.22.2.

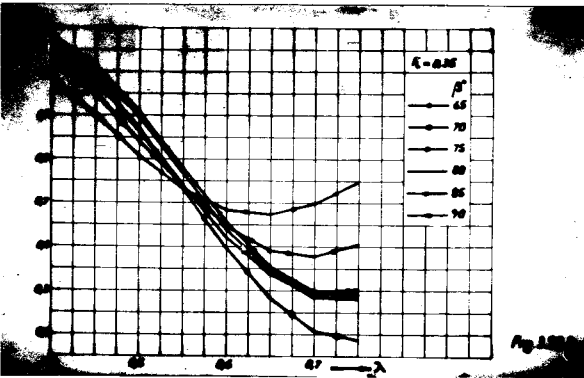


Fig. 3.22.3.

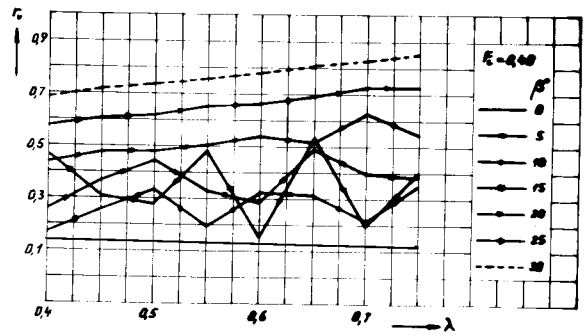


Fig. 3.23.1.

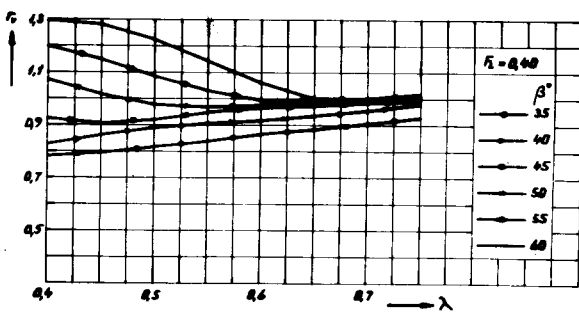


Fig. 3.23.2.

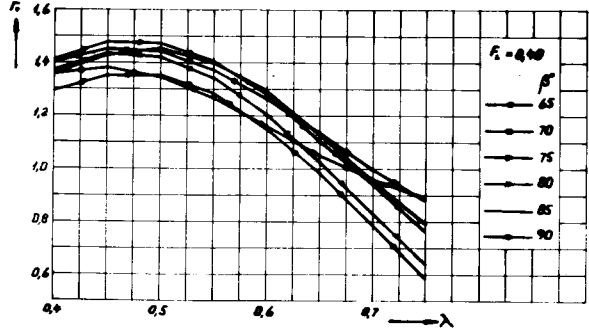


Fig. 3.23.3.

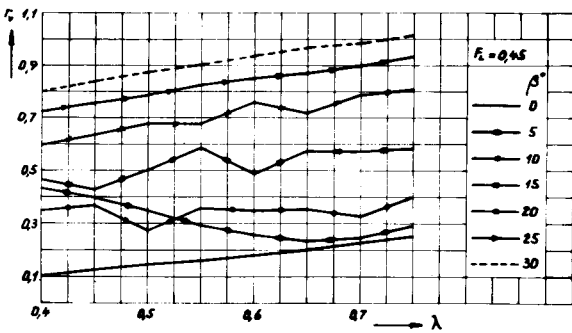


Fig. 3.24.1.

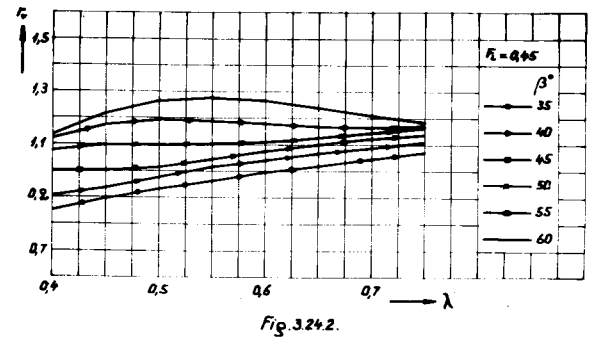


Fig. 3.24.2.

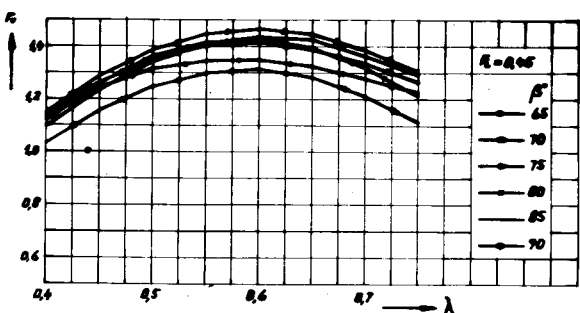


Fig. 3.24.3.

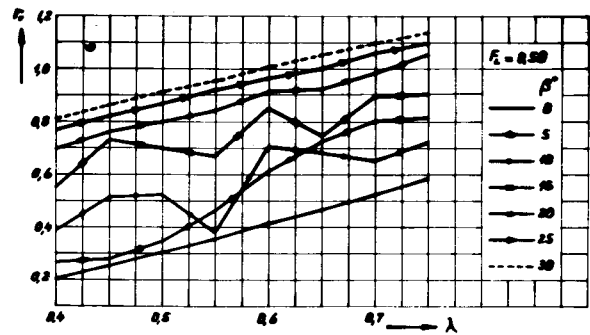
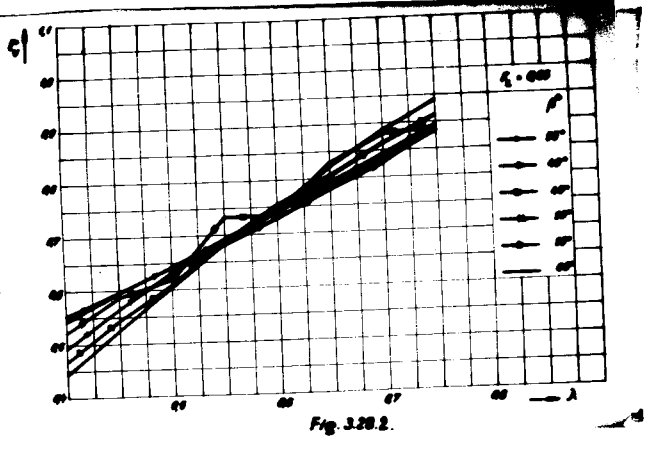
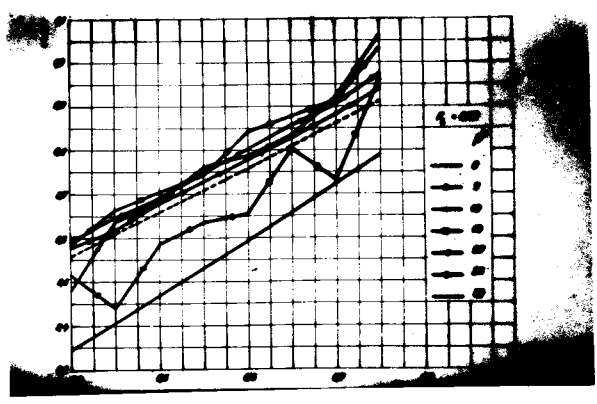
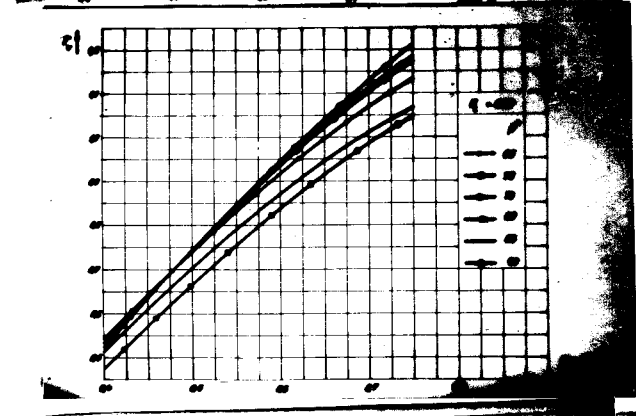
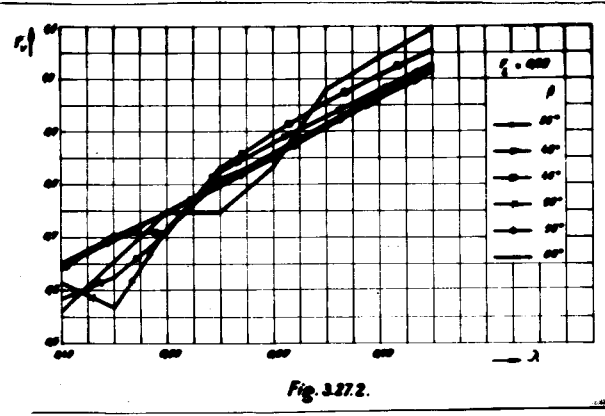
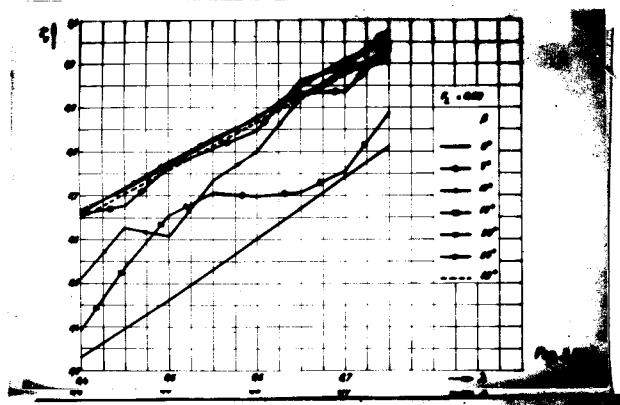
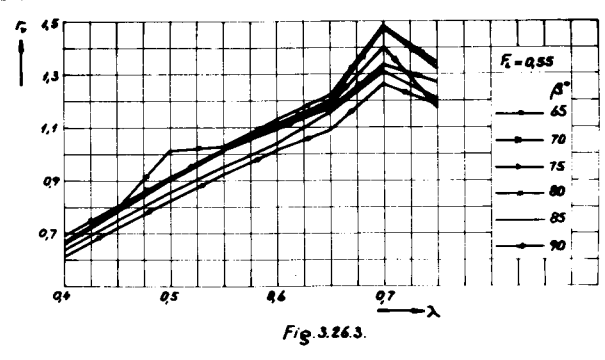
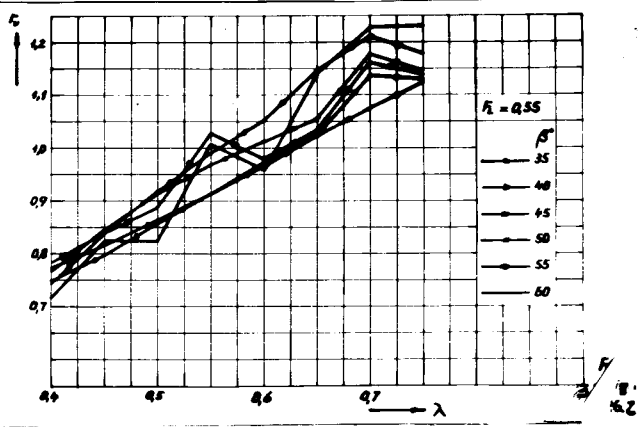
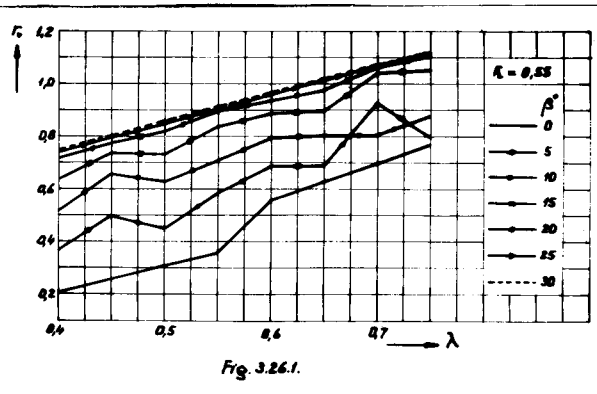
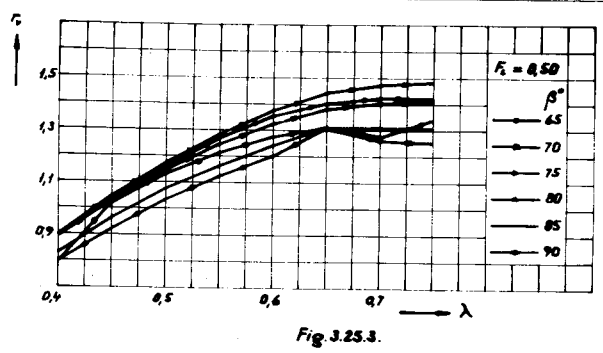
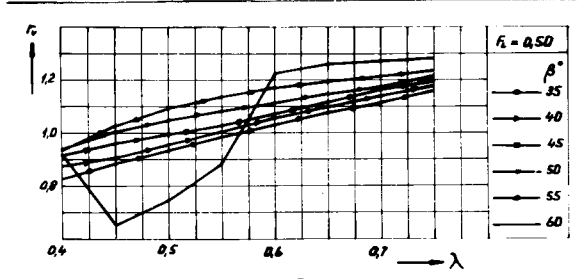
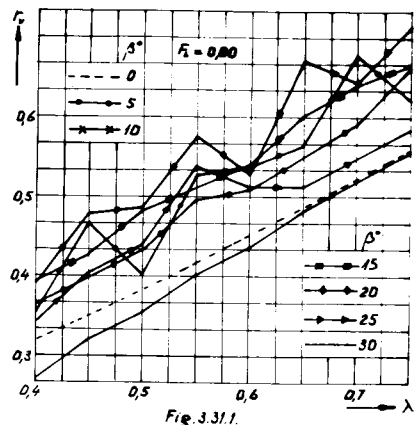
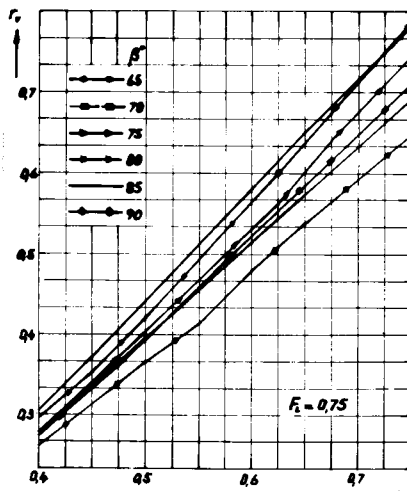
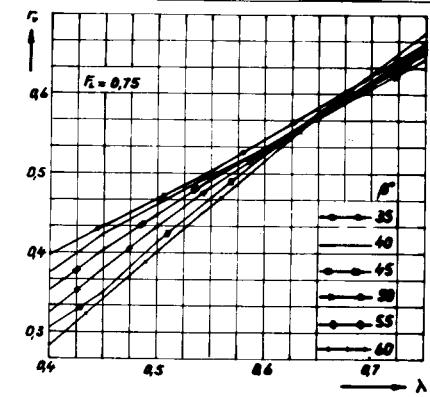
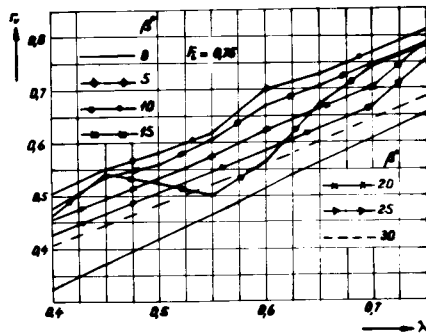
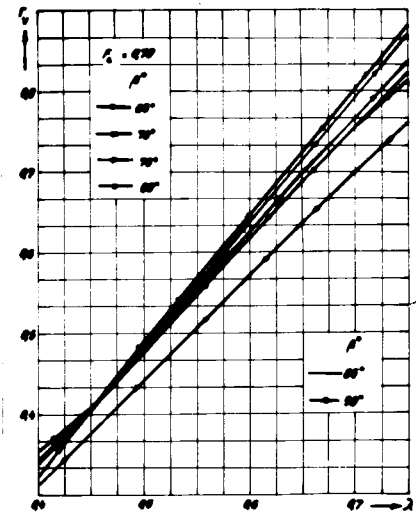
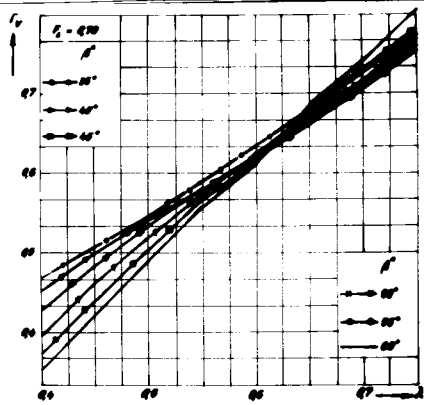
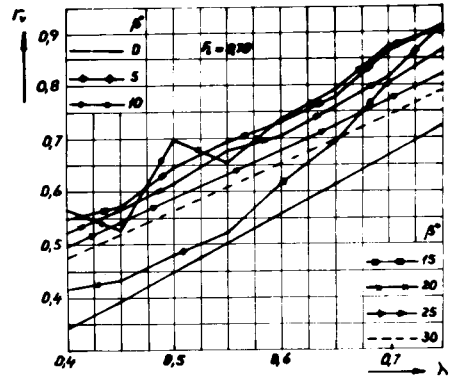
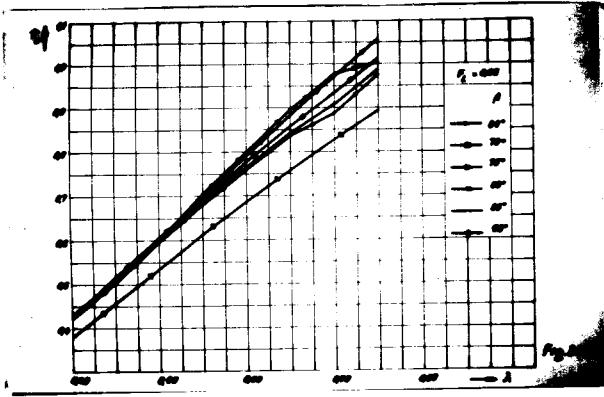


Fig. 3.25.1.





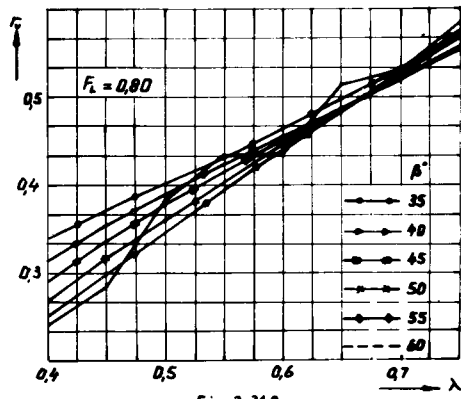


Fig. 3.31.2.

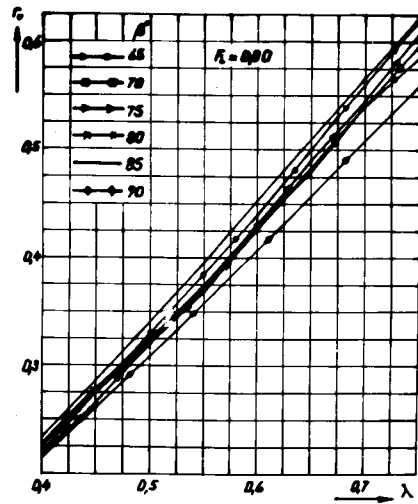


Fig. 3.31.3.

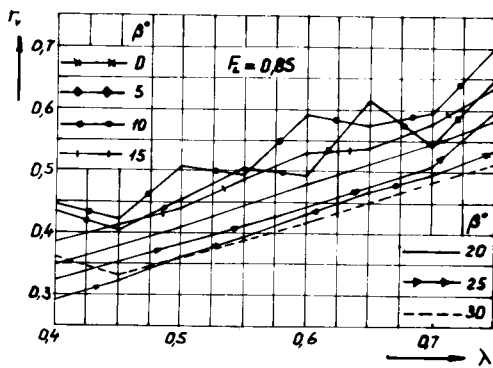


Fig. 3.32.1.

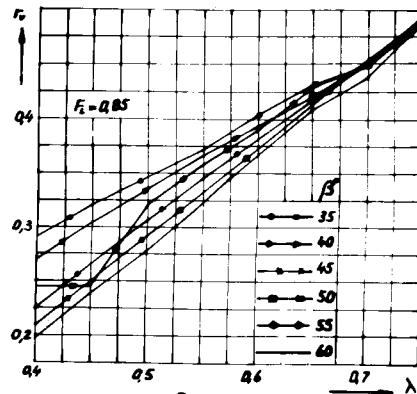


Fig. 3.32.2.

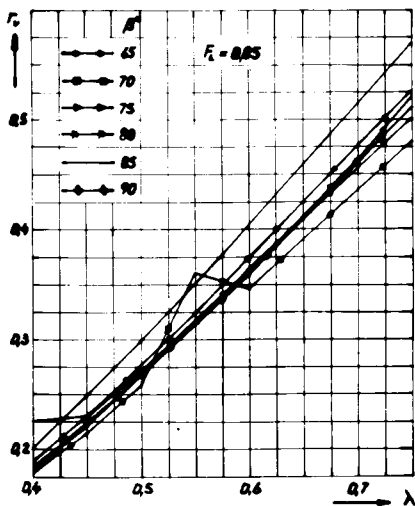


Fig. 3.32.3.

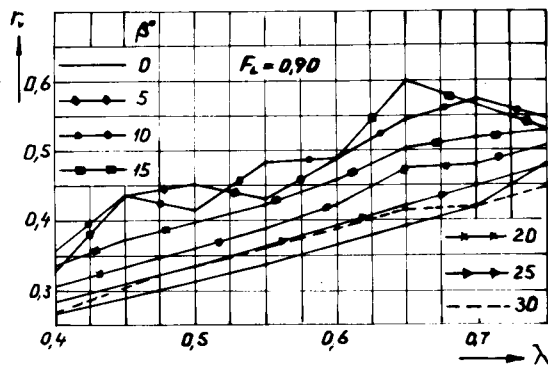


Fig. 3.33.1.

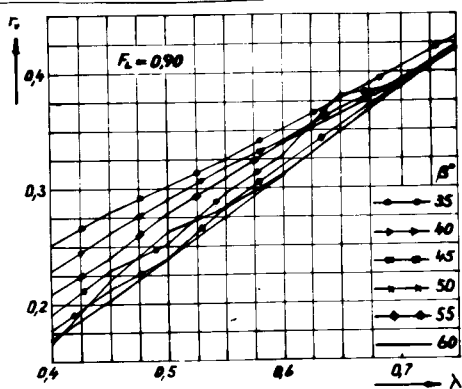


Fig. 3.33.2.

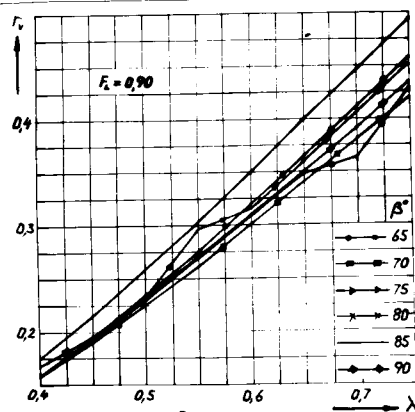


Fig. 3.33.3.

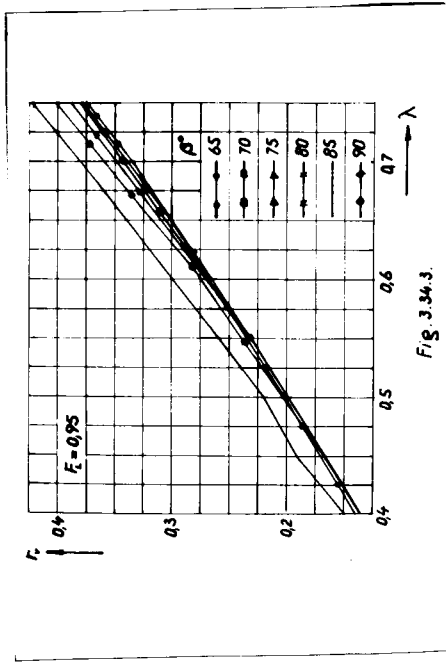


Fig. 3.34.3.

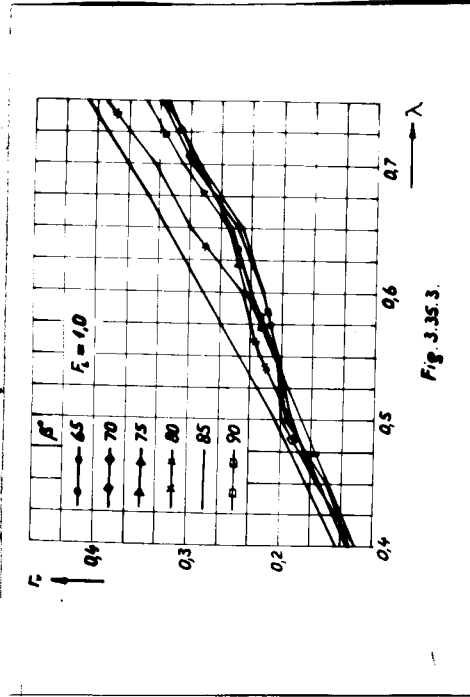


Fig. 3.35.3.

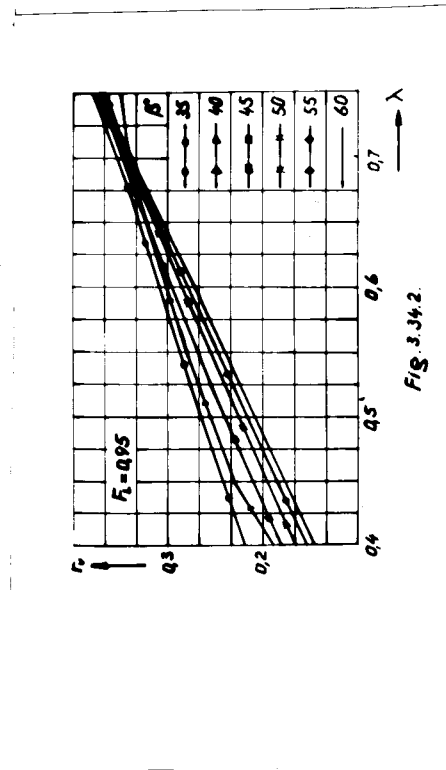


Fig. 3.34.2.

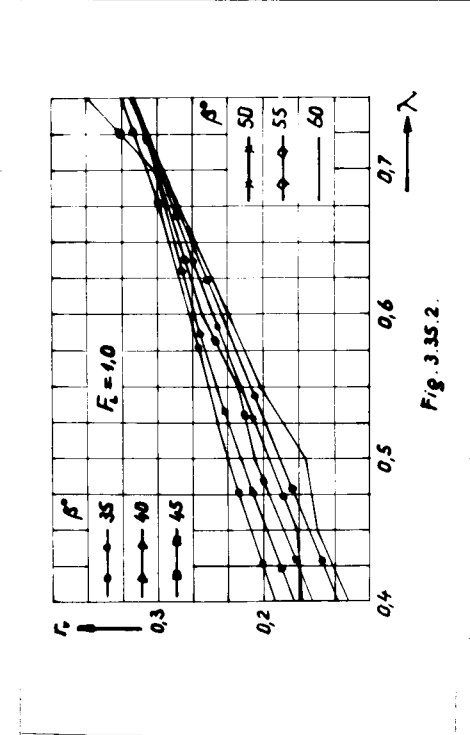


Fig. 3.35.2.

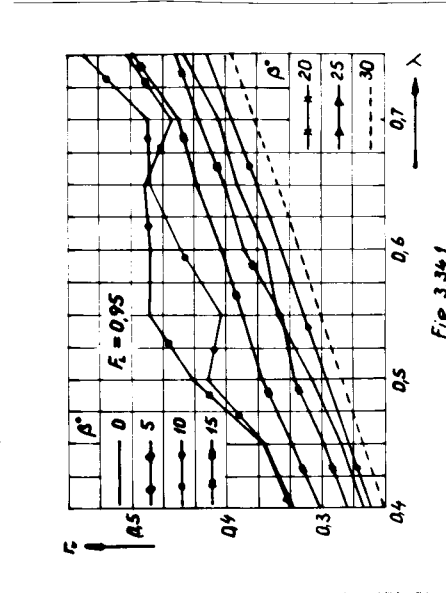


Fig. 3.34.1.

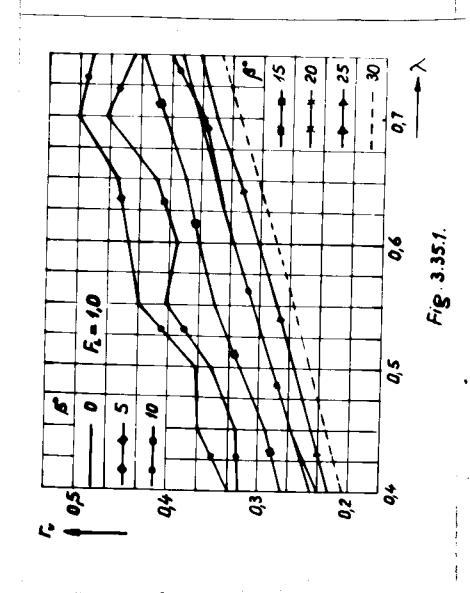


Fig. 3.35.1.

Această variație prezintă o importanță deosebită, mai ales în exploatarea navelor cu pernă de aer, când se pot întâlni des situații de navigație cu unghi de derivă nenul. O discuție mai detaliată a acestui aspect va fi făcută la subcapitolul 3.1.2.

Raportul de aspect. Forma în plan a navei, determinată și de raportul dintre lățimea și lungimea pernei, exercită o influență importantă asupra rezistenței de val. Deși acest lucru va fi tratat mai amănunțit la subcap. 3.1.3, arătăm aici că pentru derivă nulă ($\beta = 0$) se constată o deplasare a crestei principale de rezistență de la $F_L = 0,66$ pentru $\lambda = 0,40$ la $F_L = 0,60$ pentru $\lambda = 0,75$. În toate cazurile ($\lambda = 0,40 \dots 0,75$) pentru derivă nulă se observă creste secundare de rezistență, ce apar numai la anumite viteze, creste care se datoresc interferenței defavorabile a sistemelor de valuri ale colțurilor dreptunghiului pernei. Valoarea acestor maxime secundare depășește cu (10...15)% înălțimea crestei principale de rezistență.

3.1.2. Variația rezistenței de val în funcție de unghiul de derivă.

Studierea influenței unghiului de derivă al navei asupra rezistenței la înaintare prezintă o importanță deosebită pentru exploatarea navelor cu pernă de aer, în special a celor amfibii, care pot deriva foarte ușor (fig. 3.36 și fig. 3.37).

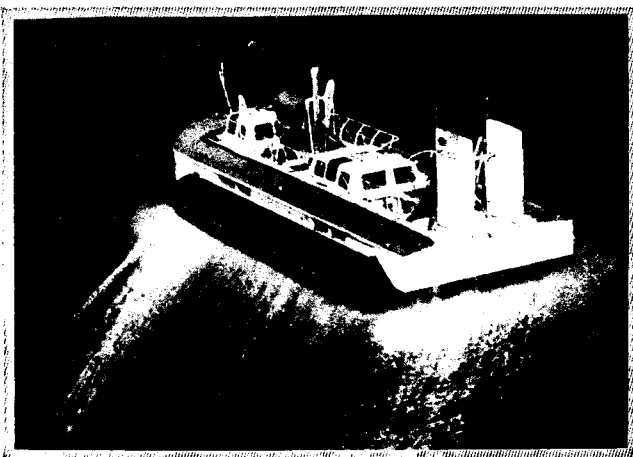


Fig. 3.36.

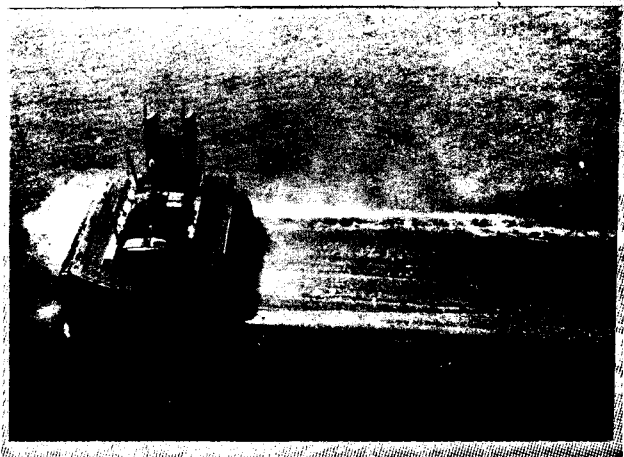


Fig. 3.37.

În acest sens, analizând diagramele prezentate în figurile 3.9.1...3.16.2, observăm următoarele:

-Pentru viteze mici de deplasare, corespunzătoare numerelor

$F_L = 0,10 \dots 0,15$ se constată creșteri mari ale coeficientului de rezistență de val, în domeniile unghiurilor de derivă $\beta = (10 \dots 25)^\circ$

(mai
re. F
și r
val
-Oda
exer
val.
-Pen
ale
de v
tenț
aten
tare
rea

velo
și t
feso
punz
mai
osebi
ri de
narea
foart
 $F_L = 0$
în ex
mande
inter
tate

cărui
ție, f
a per

văm u
-Coef
cu rap
de dep

(mai ales $\beta = 15^\circ$) și $\beta = (75 \dots 85)^\circ$, mai ales $\beta = 85^\circ$. Astfel, la numere $F_L = 0,10$ pentru $\lambda = 0,70$ (cazul navei 023 E), $r_v = 1,809$ la $\beta = 15^\circ$ și $r_v = 3,265$ la $\beta = 85^\circ$, deși pentru $\beta = 0$ coeficientul rezistenței de val este doar $r_v = 0,096$ (fig.3.15.1).

-Odată cu creșterea vitezei de deplasare a navei, unghiul de derivă exercită influențe din ce în ce mai reduse asupra rezistenței de val. Aceste influențe sînt în general reduse pentru $F_L > 0,30$.

-Pentru orice viteze de deplasare, se constată că la derive reduse ale navei cu pernă de aer ($\beta = 10 \dots 15)^\circ$, coeficientul de rezistență de val r_v crește mult. Aceasta înseamnă că pentru reducerea rezistenței la înaintare a navelor cu pernă de aer, trebuie acordată o atenție deosebită stabilității de drum, care se obține prin proiectarea aerodinamică corespunzătoare a formei navei și prin folosirea de ampenaje direcționale de stabilitate.

Influența unghiului de derivă asupra rezistenței de val a navelor cu pernă de aer a fost relevată de Murthy /66/, care a elaborat și teoria prezentată în cap.2. La integrarea pe calculator însă, profesorul Murthy a avut în vedere numai domeniile de viteze corespunzătoare numerelor $F_L > 0,30$. După cum am văzut însă mai sus, tocmai în domeniile de viteze $F_L < 0,30$ apar crește de rezistență deosebit de pronunțate și considerăm că este meritul prezentei lucrări de a fi evidențiat acest aspect. Murthy a arătat /66/ că răsturnarea accidentală a unor nave cu pernă de aer poate fi explicată foarte bine prin creșterea excesivă a rezistenței de val pentru $F_L = 0,5 \dots 0,6$ și $\beta = (75 \dots 85)^\circ$. De aceste concluzii trebuie ținut cont în exploatarea navelor cu pernă de aer. În instrucțiunile pentru comandant trebuie să fie specificate domeniile de viteză în care este interzisă schimbarea bruscă de direcție, conform diagramelor prezentate în această lucrare.

3.1.3. Variația rezistenței de val în funcție de raportul de aspect.

Raportul între lățimea și lungimea pernei a fost un factor a cărui influență asupra rezistenței de val a fost studiată cu atenție, întrucît el este determinant în dimensionarea corpului navei, a pernei și a sistemului de sustentație.

Analizînd diagramele prezentate în fig.3.17.1...3.35.3, observăm următoarele:

-Coeficientul rezistenței de val variază aproximativ liniar odată cu raportul de aspect, pentru derivă nulă ($\beta = 0$), la toate vitezele de deplasare. Pentru unghiuri de derivă nenule ($\beta \neq 0$) în general a-

ceastă variație este neliniară, cu unele excepții pentru $F_L=0,45$ (fig.3.24.2), $F_L=0,60$ (fig.3.27.3), $F_L=0,65$ (fig.3.28.2 și 3.28.3), $F_L=0,70$ (fig.3.29.2 și 3.29.3), $F_L=0,75$ (fig.3.30.2 și 3.30.3), $F_L=0,80$ (fig.3.31.2 și 3.31.3), $F_L=0,85$ (fig.3.32.2 și 3.32.3), $F_L=0,90$ (fig.3.33.2 și 3.33.3), precum și pentru $F_L=0,95$ (fig.3.34 și 3.34.3).

În domeniul de viteze superioare celei de creastă și pentru unghiuri de derivă peste 20° , variația coeficientului de rezistență de val devine din nou liniară.

-La derivă nulă ($\beta=0$) coeficientul de rezistență de val crește odată cu raportul de aspect, mai ales pentru viteze mari. Pentru $F_L < 0,25$ această creștere este nesemnificativă, la $F_L=0,20$ ea fiind chiar nulă. Pentru $F_L > 0,25$ creșterea coeficientului rezistenței de val la derivă nulă, odată cu raportul de aspect, devine apreciabilă. O excepție notabilă este cazul $F_L=0,30$ (fig.3.21.1) la care coeficientul r_v prezintă o valoare excesivă pentru $\lambda=0,40$ și o valoare mare pentru $\lambda=0,45$.

-La derivă nenulă ($\beta \neq 0$) coeficientul de rezistență de val r_v are valori date de interferența sistemelor de valuri ale colțurilor pentru viteze mici ($F_L < 0,25$), valori de maximum pentru $F_L=0,25$ și $\lambda=0,55$ (fig.3.20.2), $F_L=0,40$ și $\lambda=0,45 \dots 0,50$ (fig.3.23.3), $F_L=0,45$ și $\lambda=0,55 \dots 0,60$ (fig.3.24.3), valori de minimum pentru $F_L=0,30$ și $\lambda=0,55$ (fig.3.21.3), $F_L=0,35$ și $\lambda=0,65 \dots 0,75$ (fig.3.22.3) și este continuu crescător pentru viteze superioare celei de creastă.

3.1.4. Rezistența de val a navei 023 E.

În continuare vom ilustra modul de utilizare a diagramei prezentate, în calcularea rezistenței de val a navei experimentale românești 023E, care are următoarele caracteristici constructive:

- Lungimea maximă	, L_{max}	(m)	-----	5,65
- Lățimea pernei	, B_p	(m)	-----	3,60
- Suprafața pernei	, S_p	(m ²)	-----	18,411
- Masa totală	, M	(kg)	-----	4700

Cu ajutorul datelor prezentate, calculăm:

- Lungimea efectivă. $L_e = \frac{S_p}{B_p} = 5,12m$

- Raportul de aspect $\lambda = \frac{B_p}{L_e} = 0,70$

- Presiunea din pernă $p_p = \frac{Mg}{S_p} = 906 \frac{N}{m^2}$ sau $92 \frac{kgf}{m^2}$

și folosind datele obținute în tabelul 3.7 pentru coeficientul adimensional al rezistenței de val r_v , precum și formula (3.1) determinăm rezistența de val R_v astfel :

$$R_v = \frac{8Gp_p}{\pi \rho g B_p} r_v = \frac{8Mp_p F_L^2}{\pi \rho B_p} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \frac{\sin^2 \left[\frac{1}{2 F_L^2} \sec^2 \theta \cos(\beta + \theta) \right] \sin^2 \left[\frac{\lambda \sec^2 \theta}{2 F_L^2} \sin(\beta + \theta) \right]}{\sin^2(+\theta) \cos^2(+\theta)} \cdot \cos^3 \theta d\theta \quad (3.1)$$

Rezultatele calculelor sînt prezentate în tabelul (3.9) și în diagrama din figura 3.38. Analizînd această diagramă, se observă că la $F_L = 0,10$, pentru $\beta = 15^\circ$ rezistența de val crește la 1747 N, iar pentru $\beta = 85^\circ$ ea ajunge chiar la 3154N, deși pentru $\beta = 0$, valoarea ei este doar 94N. Aceasta înseamnă că pentru viraje bruște, ia naștere un val înalt care poate provoca răsturnarea navei, așa cum s-a întîmplat cu cîteva nave SRN5 în Anglia. Fenomenul se datorește interferenței defavorabile a valurilor și el se înregistrează mai puțin pregnant și la alte numere Froude, cum sînt de exemplu $F_L = 0,30$ pentru $\beta = 65^\circ$ și $\beta = 70^\circ$ și $F_L = 0,50$ pentru zona unghiurilor de derivă din jurul valorii $\beta = 75^\circ$.

Tab.3.9. Rezistența de val R_v (N) a navei 023E

$\beta \backslash F_L$	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
0	94	127	59	875	320	720	111	219	508	671	721	696	646	589	532	476	435	393	358	183	120	85	71
5	122	263	859	895	559	1147	185	241	776	892	732	712	778	720	689	524	545	440	487	217	123	80	60
10	738	1028	655	771	492	734	207	315	629	777	953	889	842	743	652	575	553	467	457	182	99	62	60
15	1747	1558	890	1007	666	924	384	554	868	1003	964	881	840	723	652	556	502	448	394	157	84	53	38
20	726	581	815	732	868	794	606	760	949	1026	976	872	788	681	605	524	464	412	364	144	77	48	34
25	905	1037	1038	762	722	768	702	878	1025	1035	956	851	746	647	562	491	431	380	339	134	72	45	31
30	1064	809	872	892	832	855	797	953	1058	1035	947	832	719	620	536	465	406	357	316	126	69	42	30
35	880	689	979	883	887	901	876	1010	1080	1038	935	814	701	601	518	447	390	342	301	119	65	41	28
40	420	1069	907	924	922	939	925	1052	1100	1041	929	805	689	589	505	437	380	333	294	115	62	39	26
45	845	833	938	949	953	956	955	1085	1122	1048	928	800	685	585	502	435	378	330	293	111	59	37	25
50	994	949	895	972	976	951	976	1108	1138	1063	943	813	694	592	507	437	378	329	290	107	56	35	23
55	1112	1163	855	1006	991	940	955	1125	1175	1102	973	835	707	600	511	438	376	328	286	104	54	34	22
60	975	1013	839	1035	1090	845	926	1170	1233	1150	1005	855	718	606	514	438	374	326	283	102	54	33	21
65	1130	848	1016	811	1196	672	933	1236	1294	1188	1072	877	729	613	516	439	376	327	284	101	54	33	21
70	1417	1105	645	538	1193	443	968	1291	1361	1211	1066	904	743	627	521	444	380	332	288	103	56	33	22
75	604	290	294	465	1040	278	909	1341	1428	1226	1092	940	967	652	527	449	392	337	300	108	58	35	23
80	1463	584	720	511	881	262	803	1281	1380	1244	1074	945	777	689	540	459	397	347	326	115	62	77	26
85	3154	113	1176	803	981	283	933	1330	1273	1135	977	888	728	693	546	496	431	368	357	124	65	39	32
90	309	63	523	508	769	114	760	1174	1224	1110	953	800	676	573	491	420	368	326	287	122	68	42	42

În zona vitezelor corespunzătoare creștei de rezistență ($F_L = 0,60 \dots 0,65$), rezistența de val crește imediat ce nava intră în derivă ($\beta \neq 0$) și se menține ridicată în permanență, fără a se mai produce interferențe de val.

Pentru numere Froude $F_L > 0,65$ rezistența de val scade substanțial, astfel încât se poate spune că pentru orice unghi de derivă, la numere $F_L > 1,0$ rezistența de val este neglijabilă. Această concluzie este ilustrată și de fig. 3.36 și 3.37 care reprezintă /70/ deplasarea în derivă a navei experimentale engleze HD-1, cu viteză corespunzătoare numărului Froude $F_L > 1,0$, figuri în care se observă înălțimea neglijabilă a valurilor formate, astfel încât nava alunecă pe suprafața apei, deformînd-o foarte puțin, indiferent de unghiul de derivă.

La nava experimentală O23E studiată de noi, stabilitatea de drum este asigurată de un ampenaj vertical apreciazabil (fig.3.40) care împiedică creșterea rezistenței de val a navei prin deplasarea în derivă.

În tabelul 3.10 sînt prezentate comparativ rezultatele obținute pentru calculul rezistenței de val la nava O23E prin metodele prezentate în capitolul 2. Se observă că rezultatele obținute în prezenta lucrare sînt foarte apropiate de cele obținute prin celelalte metode, avînd avantajul că prin metoda Murthy propusă, se poate cunoaște și comportarea navei la diverse unghiuri de derivă, precum și influența raportului de aspect.

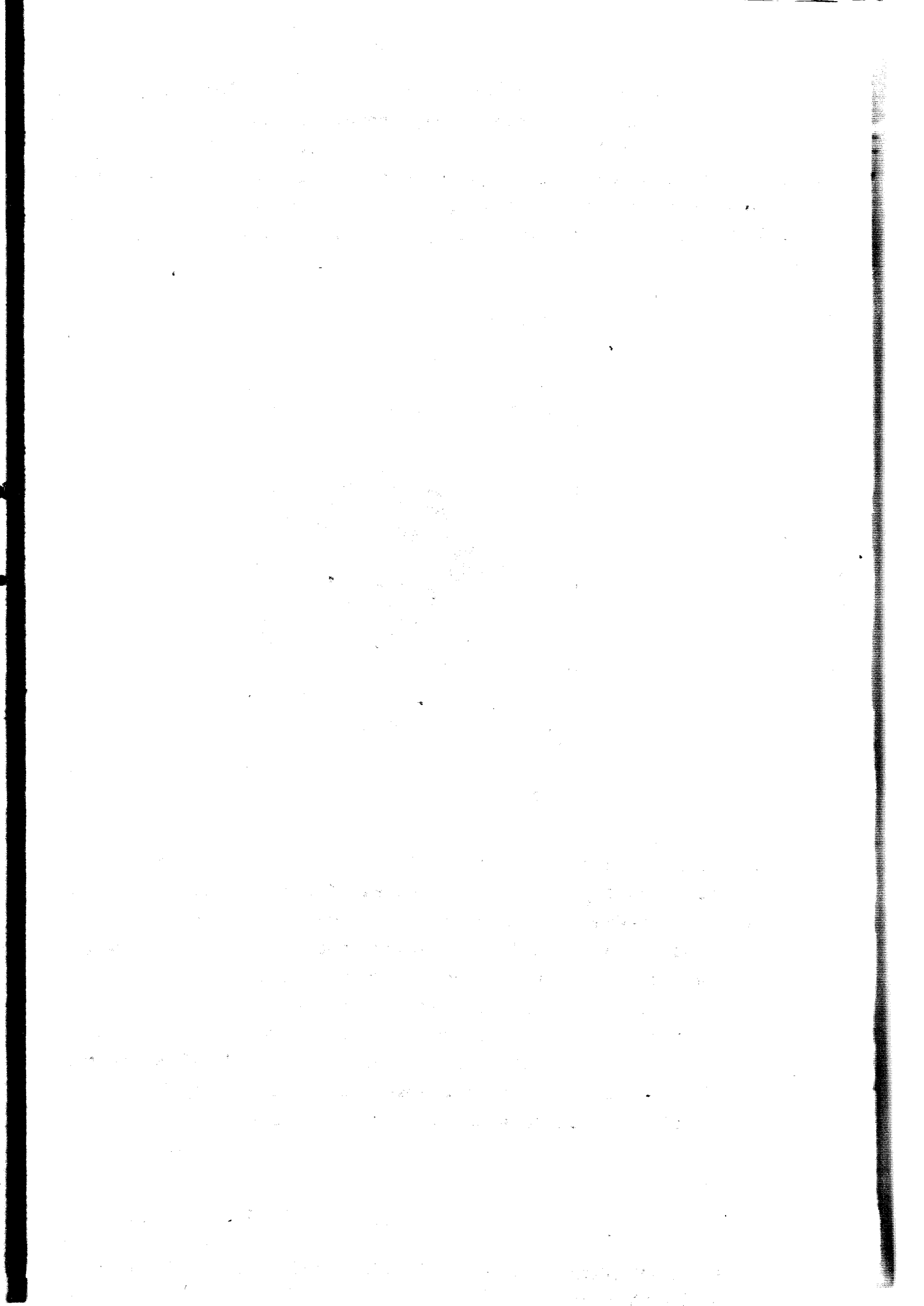
Rezistența de val $R_w(N)$ la nava O23E, calculată
prin metodele studiate în cap. 2.

Tab 3 10

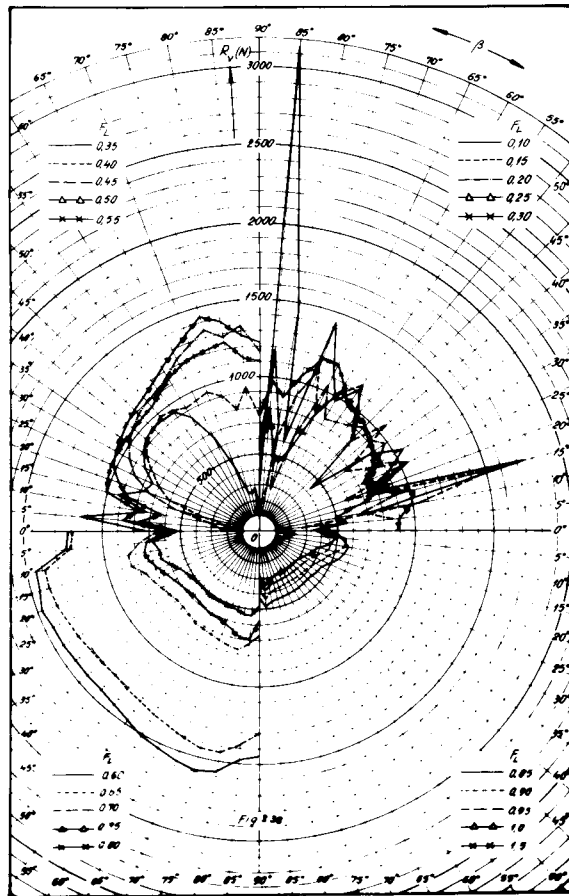
	$V \left(\frac{m}{s} \right)$	F_L																					
		0,71	1,42	2,125	2,34	2,41	2,84	2,98	3,55	4,26	4,33	4,97	5,12	5,68	6,38	7,10	7,81	8,40	10,65	14,20	17,75	21,30	28,90
Zlobin /8/	$\lambda = 0,70$ drept.	46,8	133	234	—	—	362	—	511	639	—	585	—	490	426	352	—	—	—	117	—	66	43,6
Newman /3/ (Eisley)	$\lambda = 0,70$ drept.	—	—	—	—	—	—	—	494	—	708	—	615	—	—	353	—	—	187	120	85,5	61,5	48
Murthy /6/	$\lambda = 0,67$ drept.	—	—	164	—	—	299	—	454	676	—	637	—	473	425	348	290	251	—	—	—	—	—
Everest și Hogben /2/	$\lambda = 0,67$ drept.	—	—	326	—	855	128	—	507	—	708	663	—	556	467	360	302	254	—	—	—	—	—
	$\lambda = 0,67$ drept.	—	—	400	874	—	133	101	208	—	681	80	—	529	441	366	316	272	—	—	—	—	—
	$\lambda = 0,67$ HD-2	—	—	400	775	—	240	200	208	—	668	93,6	—	553	467	394	347	302	—	—	—	—	—
Prezenta lucrare	$\lambda = 0,70$ drept.	94	59	320	483	580	111	126	508	721	715	646	589	532	435	358	309	266	183	120	85	71	—

În legătură cu nava O23E, consultînd diagramele prezentate în fig. 3.17.1 ... 3.35.3, observăm următoarele:

Pentru viteze reduse, corespunzătoare numărului Froude



$F_L = 0,10 \dots 0,15$, raportul de aspect $\lambda = 0,70$ este un raport defavorabil pentru care se înregistrează rezistențe de val exagerate la $\beta = 15^\circ$ (fig.3.17.1 și 3.18.1) și $\beta = 85^\circ$ (fig.3.17.3). Pentru aceste viteze, rapoartele de aspect favorabile ar fi $\lambda < 0,60$, valori care devin însă discutabile pentru cazurile particulare $F_L = 0,25$ (fig.3.20.1 și 3.20.2) și $F_L = 0,45$ (fig.3.24.2 și 3.24.3).



Pentru viteze mai mari ($F_L > 0,55$), se observă că pentru toate unghiurile de derivă, rezistența de val R_v crește odată cu valoarea raportului de aspect λ . Probabil că acesta a fost motivul pentru care prestigioasa firmă engleză British Hovercraft Corporation, după ce a construit navele SRN4 și SRN5 cu raport de aspect 0,59, a trecut la „alungirea” (stretched) acestor nave /23/ prin introducerea unui tronson cilindric central, ajungându-se astfel la raportul de aspect 0,47.

În legătură cu cele prezentate mai sus, considerăm că o navă amfibie cu pernă de aer trebuie să aibă raportul de aspect $\lambda = 0,45 \dots 0,50$.

3.2. Rezistența de asietă

La înclinarea longitudinală a navei (fig.3.39) nu mai

este respectată egalitatea $\bar{P} = \bar{G}$, în care :

- \bar{P} - vectorul rezistenței forțelor de presiune, care acționează asupra fundului navei;
- \bar{G} - vectorul greutății corpului navei.

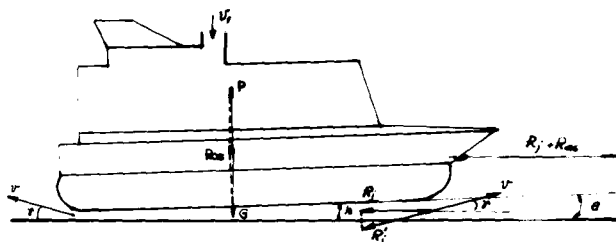


Fig. 3.39.

În cazul navei apupate cu un unghi de asietă longitudinală θ , apare o componentă orizontală R_{as} , orientată în sens contrar deplasării navei, denumită componentă de asietă a rezistenței la înaintare.

$$R_{as} = P \sin\theta = \sin\theta \int_{S_p} p_p \, dS_p \quad (3.2)$$

Componenta de asietă este aplicată în centrul de greutate al pernei, deci al navei în echilibru dinamic, este orizontală și conținută în planul diametral.

3.2.1. Distribuția de presiune din perna de aer

Componentele de rezistență de asietă R_{as} și de jet R_j au fost amănunțit studiate și determinate experimental în laboratorul Instalații nave pernă aer al Universității din Galați. În cele ce urmează vom prezenta experimentările făcute cu acest prilej.

O navă amfibie cu pernă de aer se deplasează atât deasupra terenurilor nedeformabile, cât și deasupra apei, a cărei suprafață deformabilă modifică distribuția de presiuni din pernă. Experimentările au fost făcute cu model sustentat deasupra unui ecran nedeformabil și deasupra apei. Pentru a elimina suprapunerea efectelor altor componente ale rezistenței la înaintare, care apar numai la deplasarea navei, au fost executate experimentări la punct fix ($v=0$), ceea ce a permis efectuarea unor măsurători de mare precizie. În etapele următoare de studiu, pe măsura realizării în țară a bazei materiale de experimentare, va trebui determinat efectul curentului de aer întâlnit asupra distribuției de presiune din pernă.

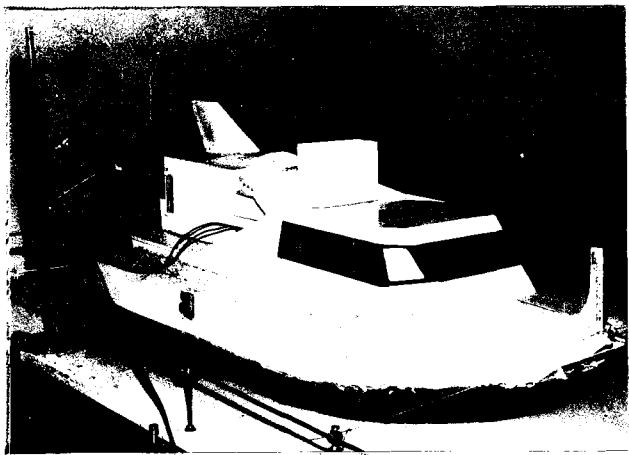
A fost utilizat modelul navei experimentale O23E (fig.3.4)

executat în laboratorul Instalații nave pernă aer al Universității din Galați. Modelul are următoarele caracteristici:

- scara geometrică a modelului 1:6;
- lungimea pernei $L_{pm} = 0,942\text{m}$;
- lățimea pernei $B_{pm} = 0,60\text{ m}$;
- suprafața pernei $S_{pm} = 0,511\text{ m}^2$;
- presiunea medie excedentară a aerului din pernă $p_p = 151 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$;
- lumina $h = 3\text{mm}$;
- alimentarea cu aer a pernei se face prin sistemul cameră de aer;
- fusa flexibilă cu degete deschise, pe întregul perimetru al pernei ;

În timpul experimentărilor au fost măsurate : temperatura, presiunea barometrică și umiditatea relativă a aerului din încăperea, constatându-se o variație maximă de 2%. Considerăm că această variație a influențat neglijabil comportarea sistemului de susținere a modelului.

Distribuția de presiuni din pernă de aer a fost determinată cu ajutorul unei sonde (fig.3.41) racordate la un micromanometru de compensație tip MK-1 (fabricație Betrieb fur Automatisierung



und Mechanisierung der Farbmehllindustrie, Kety) cu precizia de citire 0,01 mm CA.

Fig. 3.40.

Pentru măsurarea presiunilor la modelul susținut pe apă, au fost luate măsuri de îndepărtare a apei ce pătrunde în

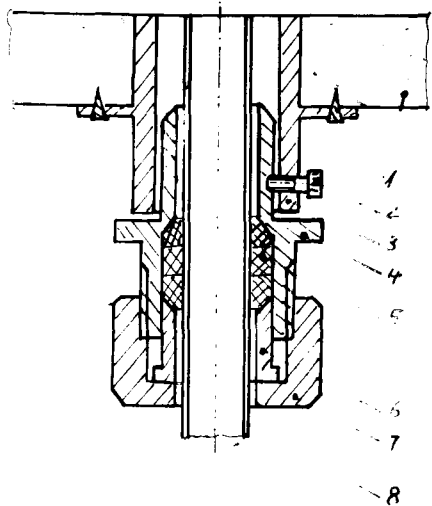


Fig. 3.41.

Fig.3.41. Sonda de presiune montată pe ecran nedeformabil.

- 1.- ecran susținere; 2.- șurub blocare; 3.-piesă suport; 4.-corp sondă; 5.-garnitură; 6.-presgarnitură; 7.-capac; 8.-tub sticlă.

tubulatură, în timpul executării măsurătorilor, montându-se un colector de apă și un teu de control (fig.3.42, 3.43 și 3.44).

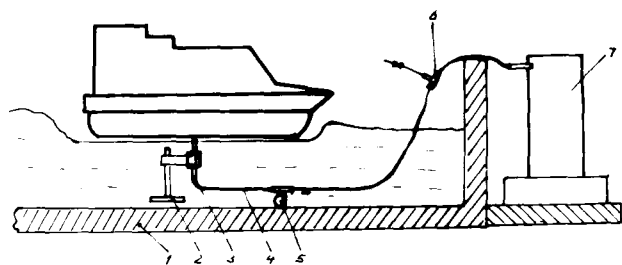


Fig. 3.42.

Fig.3.42 Instalația de măsurat presiuni în bazin.

- 1.- pereții bazinului experimental;
- 2.- suport sondă; 3.- sondă de presiune; 4.-tuburi de legătură; 5.- colector de apă; 6.- teu de control și purjare; 7.- micromanometru compensator.

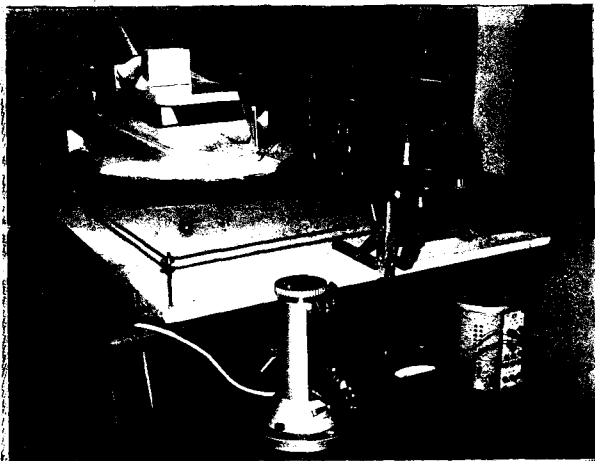


Fig.3.43.

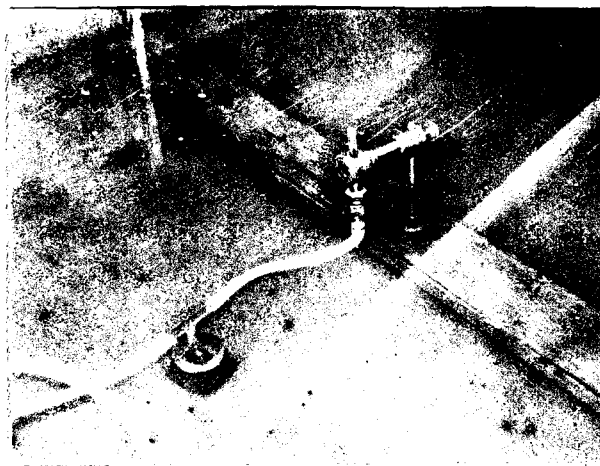


Fig. 3.44.

Pentru măsurarea unghiului de asietă longitudinală θ , lucrările de specialitate /4,7/ recomandă utilizarea unor pendule de înălțime mare montate pe model, sau măsurarea cotei extremităților prova și pupa față de un plan de bază. Întrucât aceste procedee nu ne-au satisfăcut, în cadrul laboratorului INPA au fost studiate și construite două clinometre care vor fi descrise în continuare.

Clinometrul cu pendul (fig.3.45) folosește amplificarea în două trepte de roți dințate a unghiului măsurat de un pendul de lungime 200 mm, astfel încât la un grad măsurat, corespund 72 grade sexagesimale pe cadranul aparatului.

S-a ajuns ca pentru diametrul cadranului 200mm, o divi-

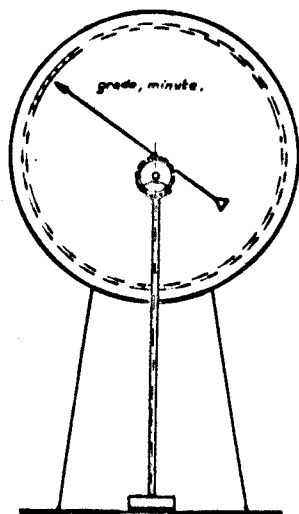


Fig. 3.45.

ziune să reprezinte 1 minut. Cu toate măsurile luate pentru a obține un aparat cât mai ușor, masa de 310 gr a acestui clinometru cu pendul o considerăm mult mai mare, ea reprezentând 4% din masa modelului experimentat. Un astfel de clinometru de precizie mare poate fi utilizat cu succes la modelele de mase mult mai mari sau la experimentările navelor naturale.

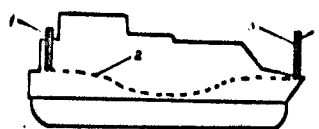


Fig. 3.46.

Clinometrul cu vase comunicante din fig. 3.46 este format din două tuburi verticale de sticlă 1, puse în legătură printr-un tub de cauciuc 2. Sistemul de tuburi este umplut cu un lichid colorat, iar înălțimea coloanelor de lichid este citită cu ajutorul riglelor gradate 3, așezate în dreptul tuburilor 1.

Pentru distanța de 1m între tuburile de sticlă, precizia de măsurare a clinometrului cu vase comunicante este 3,53 min/mm, iar masa totală a lui reprezintă cca 1% din masa modelului. Pentru experimentările efectuate, s-a considerat mai indicată utilizarea clinometrului cu vase comunicante, de construcție mai simplă, masă mai redusă și fără piese în mișcare.

Pentru determinarea cîmpului de presiuni din pernă au fost făcute măsurători în 37 puncte, determinate de intersecția a 4 planuri longitudinale L0, L15, L30, și L45, cu 10 planuri transversale T5, T15, T25, ... T95. Numerele care însoțesc indicativile L sau T ale planurilor, reprezintă distanța exprimată în procente din lungimea pe direcția respectivă, măsurată de la planul diametral și respectiv de la extremitatea pupa a fustei, conform fig.3.47, în care sînt indicate și cotele în mm ale planurilor considerate.

Măsurătorile de presiuni s-au făcut pentru diverse unghiuri de asietă longitudinală θ , în scopul reprezentării funcției $p_p = f(\theta)$ pentru cîmpul de presiuni al pernei.

Rezultatele acestor măsurători sînt redată în tabelele 3.11 ... 3.14 pentru ecran nedeformabil și în tabelele 3.15 ... 3.18 pentru apă cu densitatea măsurată $\rho_{20}^{10} = 999 \text{ kg/m}^3$. Cu ajutorul

acestor rezultate, s-au construit diagramele de variație a presiunii din pernă în funcție de unghiul de asietă $h_p = f(\theta)$ pentru cele 37 puncte considerate ale jumătății de pernă (fig. 3.48 ... 3.55), în scopul interpolării grafice pentru valorile rotunde $\theta = 5'; 10'; 15'$.

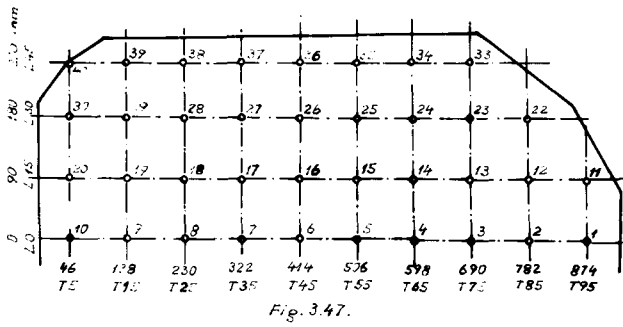


Fig. 3.47.

Distributia presiunilor in planul L0

Tab. 3.11.

Ecran nedeformabil - Valori măsurate.

Punctul	θ_0			θ_1					θ_2					θ_3				
	z_{pv} mm	z_{pp} mm	h_p mmCA	z_{pv} mm	Δz_{pv} mm	z_{pp} mm	Δz_{pp} mm	h_p mmCA	z_{pv} mm	Δz_{pv} mm	z_{pp} mm	Δz_{pp} mm	h_p mmCA	z_{pv} mm	Δz_{pv} mm	z_{pp} mm	Δz_{pp} mm	h_p mmCA
1	49,5	9,5	15,70	50,5	1,0	10,0	0,5	15,67	51,0	1,5	11,0	1,5	15,60	51,5	2,0	11,5	2,0	15,53
2	49,0	9,0	15,69	50,0	1,0	10,0	1,0	15,67	50,5	1,5	10,0	1,0	15,58	51,0	2,0	11,0	2,0	15,56
3	49,0	9,0	15,67	50,0	1,0	9,5	0,5	15,61	50,5	1,5	10,0	1,0	15,51	51,0	2,0	10,5	1,5	15,37
4	49,0	9,0	15,60	50,0	1,0	9,5	0,5	15,49	50,5	1,5	10,0	1,0	15,29	51,0	2,0	11,0	2,0	15,24
5	48,0	8,0	15,50	48,5	0,5	9,0	1,0	15,40	50,0	2,0	10,0	2,0	15,23	50,5	2,5	10,5	2,5	15,04
6	48,0	8,0	15,20	50,0	2,0	10,0	2,0	15,12	50,5	2,5	10,5	2,5	15,09	51,0	3,0	11,0	3,0	14,85
7	48,0	9,0	14,51	49,0	1,0	9,5	0,5	14,48	49,5	1,5	10,0	1,0	14,38	50,5	2,5	11,0	2,0	14,21
8	48,0	8,5	13,90	48,5	0,5	9,0	0,5	13,87	49,0	1,0	10,0	1,5	13,64	50,5	2,5	10,5	2,0	13,40
9	48,0	8,5	15,22	48,5	0,5	9,0	0,5	15,35	49,5	1,5	9,5	1,0	15,47	50,5	2,5	10,5	2,0	15,68
10	48,0	8,0	14,92	48,5	0,5	9,0	1,0	15,32	49,0	1,0	9,5	1,5	15,70	50,5	2,5	10,5	2,5	15,87
$\Delta z_{pv} = 0$			$\Delta z_{pp} = 0,9 \text{ mm}; \Delta z_{pp} = 0,8 \text{ mm}$					$\Delta z_{pv} = 1,45 \text{ mm}; \Delta z_{pp} = 1,40 \text{ mm}$					$\Delta z_{pv} = 2,35 \text{ mm}; \Delta z_{pp} = 2,15 \text{ mm}$					
$\Delta z_{pp} = 0$			$\Delta z_{tm} = \Delta z_{pv} + \Delta z_{pp} = 1,7 \text{ mm}$					$\Delta z_{tm} = \Delta z_{pv} + \Delta z_{pp} = 2,85 \text{ mm}$					$\Delta z_{tm} = \Delta z_{pv} + \Delta z_{pp} = 4,50 \text{ mm}$					
$\theta_0 = 0^\circ$			$\theta_1 = \kappa \Delta z_{tm} = 3,53 \cdot 1,7 = 6,0 \text{ min}$					$\theta_2 = \kappa \Delta z_{tm} = 3,53 \cdot 2,85 = 10,05 \text{ min}$					$\theta_3 = \kappa \Delta z_{tm} = 3,53 \cdot 4,50 = 15,9 \text{ min}$					

Distributia presiunilor in planul L15

Tab. 3.12.

Ecran nedeformabil - Valori măsurate.

Punctul	θ_0			θ_1					θ_2					θ_3				
	z_{pv} mm	z_{pp} mm	h_p mmCA	z_{pv} mm	Δz_{pv} mm	z_{pp} mm	Δz_{pp} mm	h_p mmCA	z_{pv} mm	Δz_{pv} mm	z_{pp} mm	Δz_{pp} mm	h_p mmCA	z_{pv} mm	Δz_{pv} mm	z_{pp} mm	Δz_{pp} mm	h_p mmCA
11	51,5	7,5	15,72	52,0	0,5	8,0	0,5	15,59	52,5	1,0	8,5	1,0	15,41	54,0	2,5	10,0	2,5	15,16
12	51,5	8,0	15,77	52,0	0,5	9,0	1,0	15,70	52,5	1,0	9,0	1,0	15,65	53,5	2,0	10,5	2,5	15,50
13	51,5	8,0	15,68	52,0	0,5	8,5	0,5	15,60	52,5	1,0	9,0	1,0	15,49	54,0	2,5	10,0	2,0	15,30
14	51,0	7,5	15,63	51,5	0,5	7,5	0	15,51	52,0	1,0	8,0	0,5	15,34	53,0	2,0	10,0	2,5	15,16
15	51,5	7,5	15,47	52,0	0,5	8,0	0,5	15,34	52,5	1,0	8,5	1,0	15,17	53,5	2,0	9,5	2,0	14,93
16	51,5	7,0	15,28	52,0	0,5	7,5	0,5	15,13	52,5	1,0	8,0	1,0	14,96	53,5	2,0	9,0	2,0	14,87
17	51,5	7,0	14,94	52,0	0,5	7,5	0,5	14,97	52,5	1,0	8,0	1,0	14,94	53,5	2,0	9,0	2,0	14,87
18	51,0	7,0	15,08	52,0	1,0	7,5	0,5	15,11	52,5	1,5	8,0	1,0	15,08	53,5	2,5	9,0	2,0	15,02
19	52,0	5,5	15,27	52,5	0,5	6,0	0,5	15,18	52,5	8,5	7,0	1,5	15,17	54,0	2,0	7,5	2,0	15,17
20	51,5	6,0	13,97	52,0	0,5	6,5	0,5	14,59	53,0	1,5	7,5	1,5	15,46	53,5	2,0	8,0	2,0	15,69
$\Delta z_{pv} = 0$			$\Delta z_{pp} = 0,55 \text{ mm}; \Delta z_{pp} = 0,55 \text{ mm}$					$\Delta z_{pv} = 1,05 \text{ mm}; \Delta z_{pp} = 1,05 \text{ mm}$					$\Delta z_{pv} = 2,15 \text{ mm}; \Delta z_{pp} = 2,15 \text{ mm}$					
$\Delta z_{pp} = 0$			$\Delta z_{tm} = \Delta z_{pv} + \Delta z_{pp} = 1,1 \text{ mm}$					$\Delta z_{tm} = \Delta z_{pv} + \Delta z_{pp} = 2,1 \text{ mm}$					$\Delta z_{tm} = \Delta z_{pv} + \Delta z_{pp} = 4,30 \text{ mm}$					
$\theta_0 = 0^\circ$			$\theta_1 = \kappa \Delta z_{tm} = 3,53 \cdot 1,1 = 3,88 \text{ min}$					$\theta_2 = \kappa \Delta z_{tm} = 3,53 \cdot 2,1 = 7,41 \text{ min}$					$\theta_3 = \kappa \Delta z_{tm} = 3,53 \cdot 4,30 = 15,6 \text{ min}$					

Distributia presiunilor in planul L30

Tab. 3.13.

Ecran nedeformabil - Valori măsurate

Punctul	θ_0			θ_1					θ_2					θ_3				
	z_{pv} mm	z_{pp} mm	h_p mm CA	z_{pv} mm	Δz_{pv} mm	z_{pp} mm	Δz_{pp} mm	h_p mm CA	z_{pv} mm	Δz_{pv} mm	z_{pp} mm	Δz_{pp} mm	h_p mm CA	z_{pv} mm	Δz_{pv} mm	z_{pp} mm	Δz_{pp} mm	h_p mm CA
22	48,0	10,0	15,69	49,5	1,5	11,0	1,0	15,67	52,0	4,0	15,0	5,0	15,54	54,0	6,0	16,0	6,0	15,51
23	48,0	10,0	15,67	49,0	1,0	11,0	1,0	15,57	51,0	3,0	13,0	3,0	15,50	53,5	5,5	16,0	6,0	15,34
24	48,0	10,0	15,58	49,0	1,0	11,0	1,0	15,44	51,0	3,0	12,5	2,5	15,23	53,5	5,5	15,5	5,5	15,16
25	47,5	10,0	15,37	49,0	1,5	11,0	1,0	15,26	51,0	3,5	13,0	3,0	15,09	53,0	5,5	15,5	5,5	15,04
26	47,5	9,5	15,31	48,5	1,0	11,0	1,5	15,22	50,5	3,0	12,5	3,0	15,15	53,0	5,5	15,0	5,5	15,00
27	47,0	9,5	15,13	48,5	1,5	10,5	1,0	15,24	50,5	3,5	13,0	3,5	15,31	53,0	6,0	15,5	6,0	15,17
28	47,0	9,5	15,20	48,0	1,0	10,5	1,0	15,16	50,0	3,0	12,5	3,0	15,17	52,5	5,5	15,0	6,0	15,26
29	47,5	10,0	15,29	48,5	1,0	11,0	1,0	15,62	49,5	2,0	12,5	2,5	15,95	52,5	5,0	15,5	5,5	16,10
30	46,5	9,0	15,83	48,0	1,5	10,5	1,5	16,21	49,0	2,5	12,0	3,0	16,37	52,5	6,0	16,0	7,0	16,47
	$\Delta z_{pv} = 0$			$\Delta z_{pv} = 1,2 \text{ mm}; \Delta z_{pp} = 1,1 \text{ mm}$					$\Delta z_{pv} = 2,85 \text{ mm}; \Delta z_{pp} = 2,85 \text{ mm}$					$\Delta z_{pv} = 5,6 \text{ mm}; \Delta z_{pp} = 5,9 \text{ mm}$				
	$\Delta z_{pp} = 0$			$\Delta z_{tm} = \Sigma \Delta z = 2,3 \text{ mm}$					$\Delta z_{tm} = \Sigma \Delta z = 5,70 \text{ mm}$					$\Delta z_{tm} = \Sigma \Delta z = 11,5 \text{ mm}$				
	$\theta_0 = 0^\circ$			$\theta_1 = k \Delta z_{tm} = 3,53 \cdot 2,3 = 8,1 \text{ min}$					$\theta_2 = k \Delta z_{tm} = 3,53 \cdot 5,70 = 20,1 \text{ min}$					$\theta_3 = k \Delta z_{tm} = 3,53 \cdot 11,5 = 40,6 \text{ min}$				

Distributia presiunilor in planul L45

Tab. 3.14.

Ecran nedeformabil - Valori măsurate

Punctul	θ_0			θ_1					θ_2					θ_3				
	z_{pv} mm	z_{pp} mm	h_p mm CA	z_{pv} mm	Δz_{pv} mm	z_{pp} mm	Δz_{pp} mm	h_p mm CA	z_{pv} mm	Δz_{pv} mm	z_{pp} mm	Δz_{pp} mm	h_p mm CA	z_{pv} mm	Δz_{pv} mm	z_{pp} mm	Δz_{pp} mm	h_p mm CA
33	47,0	9,5	15,57	49,0	2,0	12,0	2,5	15,28	51,0	4,0	15,0	5,5	15,40	53,5	6,5	16,5	7,0	14,87
34	45,5	10,0	15,49	48,5	3,0	11,5	1,5	15,39	50,5	5,0	15,0	5,0	15,25	52,5	7,0	17,0	7,0	15,14
35	45,0	10,0	15,43	47,0	2,0	12,0	2,0	15,34	49,0	4,0	14,5	4,5	15,18	52,0	7,0	17,5	7,5	15,15
36	45,0	10,0	15,38	46,5	1,5	12,0	2,0	15,22	49,0	4,0	14,5	4,5	15,07	51,5	6,5	16,0	6,0	15,04
37	44,5	10,0	15,31	46,5	2,0	12,0	2,0	15,37	49,0	4,5	15,0	5,0	15,58	50,5	6,0	16,0	6,0	15,81
38	44,0	9,5	15,23	46,0	2,0	11,0	1,5	15,49	49,5	5,5	15,0	5,5	15,99	50,5	6,5	16,5	7,0	16,03
39	44,0	9,5	15,73	46,0	2,0	11,5	2,0	16,34	48,0	4,0	48,0	4,0	16,54	50,0	6,0	15,5	6,0	16,67
40	44,0	9,0	15,59	46,0	2,0	11,0	2,0	15,90	48,0	4,0	48,0	4,0	16,37	50,0	6,0	15,5	6,5	16,57
	$\Delta z_{pv} = 0$			$\Delta z_{pv} = 2,0 \text{ mm}; \Delta z_{pp} = 2,0 \text{ mm}$					$\Delta z_{pv} = 4,5 \text{ mm}; \Delta z_{pp} = 4,5 \text{ mm}$					$\Delta z_{pv} = 6,5 \text{ mm}; \Delta z_{pp} = 6,5 \text{ mm}$				
	$\Delta z_{pp} = 0$			$\Delta z_{tm} = \Sigma \Delta z = 4,0 \text{ mm}$					$\Delta z_{tm} = \Sigma \Delta z = 9,0 \text{ mm}$					$\Delta z_{tm} = \Sigma \Delta z = 13,0 \text{ mm}$				
	$\theta_0 = 0^\circ$			$\theta_1 = k \Delta z_{tm} = 3,53 \cdot 4,0 = 14,1 \text{ min}$					$\theta_2 = k \Delta z_{tm} = 3,53 \cdot 9,0 = 31,7 \text{ min}$					$\theta_3 = k \Delta z_{tm} = 3,53 \cdot 13,0 = 46 \text{ min}$				

Distributia presiunilor în planul L0.

Tab. 2.15.

Sustențatie pe apă - Valori măsurate.

Punctul	θ_0			θ_1					θ_2					θ_3				
	z_{pv} mm	z_{pp} mm	h_p mm CA	z_{pv} mm	Δz_{pv} mm	z_{pp} mm	Δz_{pp} mm	h_p mm CA	z_{pv} mm	Δz_{pv} mm	z_{pp} mm	Δz_{pp} mm	h_p mm CA	z_{pv} mm	Δz_{pv} mm	z_{pp} mm	Δz_{pp} mm	h_p mm CA
1	30,5	24,0	15,45	33,0	2,5	26,0	2,0	15,35	35,0	4,5	28,0	4,0	15,37	37,5	7,0	30,5	6,5	15,34
2	31,0	24,0	15,52	33,0	2,0	26,0	2,0	15,36	36,0	5,0	28,5	4,5	15,39	37,0	6,0	31,0	7,0	15,35
3	30,0	23,0	15,40	32,0	2,0	25,5	2,5	15,25	35,5	5,5	28,0	5,0	15,30	37,5	7,5	30,0	7,0	15,25
4	30,0	24,0	15,40	31,5	1,5	26,0	2,0	15,14	35,0	5,0	28,0	4,0	15,16	36,5	6,5	30,5	6,5	15,12
5	30,0	23,5	15,21	32,0	2,0	26,0	2,5	15,02	34,5	4,5	27,5	4,0	14,96	36,0	6,0	30,0	6,5	14,97
6	30,5	24,0	14,95	33,0	2,5	26,0	2,0	14,77	35,0	4,5	27,5	3,5	14,72	37,5	7,0	30,5	6,5	14,74
7	30,0	24,0	14,41	32,0	2,0	26,0	2,0	14,20	34,5	4,5	28,5	4,5	14,28	37,0	7,0	31,0	7,0	14,25
8	30,0	24,5	13,24	32,0	2,0	26,0	1,5	13,10	34,0	4,0	28,0	3,5	12,98	37,0	7,0	31,0	6,5	12,39
9	31,0	23,5	13,74	33,0	2,0	25,0	1,5	13,34	35,5	4,5	28,0	4,5	13,46	36,5	5,5	30,0	6,5	13,52
10	29,5	24,5	14,11	32,0	2,5	26	1,5	14,36	34,0	4,5	28,0	3,5	14,75	36,0	6,5	30,5	6,0	14,75
$\Delta z_{pvm} = 0$				$\Delta z_{pvm} = 2,05 \text{ mm}; \Delta z_{ppm} = 1,95 \text{ mm}$					$\Delta z_{pvm} = 4,65 \text{ mm}; \Delta z_{ppm} = 4,10 \text{ mm}$					$\Delta z_{pvm} = 6,6 \text{ mm}; \Delta z_{ppm} = 6,6 \text{ mm}$				
$\Delta z_{ppm} = 0$				$\Delta z_{tm} = \Sigma \Delta z = 4,0 \text{ mm}$					$\Delta z_{tm} = \Sigma \Delta z = 8,75 \text{ mm}$					$\Delta z_{tm} = \Sigma \Delta z = 13,2 \text{ mm}$				
$\theta_0 = 0^\circ$				$\theta_1 = \kappa \Delta z_{tm} = 3,53 \cdot 4,0 = 14,1 \text{ min}$					$\theta_2 = \kappa \Delta z_{tm} = 3,53 \cdot 8,75 = 30,9 \text{ min}$					$\theta_3 = \kappa \Delta z_{tm} = 3,53 \cdot 13,2 = 46,6 \text{ min}$				

Distributia presiunilor în planul L15

Tab. 3.16.

Sustențatie pe apă - Valori măsurate.

Punctul	θ_0			θ_1					θ_2					θ_3				
	z_{pv} mm	z_{pp} mm	h_p mm CA	z_{pv} mm	Δz_{pv} mm	z_{pp} mm	Δz_{pp} mm	h_p mm CA	z_{pv} mm	Δz_{pv} mm	z_{pp} mm	Δz_{pp} mm	h_p mm CA	z_{pv} mm	Δz_{pv} mm	z_{pp} mm	Δz_{pp} mm	h_p mm CA
11	30,5	24,0	15,58	33,0	2,5	26,0	2,0	15,37	34,5	4,0	28,0	4,0	15,45	37,0	6,5	30,5	6,5	15,28
12	31,0	24,0	15,58	33,0	2,0	26,0	2,0	15,39	35,0	4,0	28,5	4,5	15,47	37,5	6,5	30,5	5,5	15,45
13	30,0	23,0	15,53	32,0	2,0	25,5	2,5	15,29	34,5	4,5	28,0	5,0	15,37	37,0	7,0	30,0	7,0	15,20
14	30,0	24,0	15,39	31,5	1,5	26,0	2,0	15,16	34,0	4,0	27,5	3,5	15,23	36,5	6,5	30,5	6,0	14,92
15	30,0	23,5	15,20	32,0	2,0	26,0	2,5	14,91	35,5	5,5	28,0	4,5	14,92	36,5	6,5	30,0	7,0	14,62
16	30,5	24,0	14,86	33,0	1,5	26,0	2,0	14,47	34,0	3,5	27,5	3,5	14,65	36,5	6,0	30,0	6,5	14,25
17	30,0	24,0	14,45	32,0	2,0	26,5	2,5	13,96	35,0	5,0	28,5	4,5	14,17	36,5	6,5	30,0	6,5	13,74
18	30,0	24,5	14,44	32,0	2,0	26,0	1,5	13,07	35,0	5,0	28,5	4,0	14,10	37,0	7,0	31,5	7,5	13,58
19	31,0	23,5	14,13	33,0	2,0	25,0	1,5	13,84	35,0	4,0	28,0	4,5	13,90	38,0	7,0	30,5	6,0	13,92
20	29,5	24,5	13,84	32,0	2,5	26,5	2,0	14,31	34,0	5,5	28,5	4,0	14,57	36,0	6,5	31,0	7,0	14,93
$\Delta z_{pvm} = 0$				$\Delta z_{pvm} = 2,05 \text{ mm}; \Delta z_{ppm} = 2,05 \text{ mm}$					$\Delta z_{pvm} = 4,30 \text{ mm}; \Delta z_{ppm} = 4,20 \text{ mm}$					$\Delta z_{pvm} = 6,6 \text{ mm}; \Delta z_{ppm} = 6,55 \text{ mm}$				
$\Delta z_{ppm} = 0$				$\Delta z_{tm} = \Sigma \Delta z = 4,1 \text{ mm}$					$\Delta z_{tm} = \Sigma \Delta z = 8,50 \text{ mm}$					$\Delta z_{tm} = \Sigma \Delta z = 13,15 \text{ mm}$				
$\theta_0 = 0^\circ$				$\theta_1 = \kappa \Delta z_{tm} = 3,53 \cdot 4,1 = 14,5 \text{ min}$					$\theta_2 = \kappa \Delta z_{tm} = 3,53 \cdot 8,50 = 30,0 \text{ min}$					$\theta_3 = \kappa \Delta z_{tm} = 3,53 \cdot 13,15 = 46,5 \text{ min}$				

Distributia presiunilor în planul L30

Tab. 3.17.

Sustentatie pe apă - Valori măsurate.

Punctul	θ_0			θ_1					θ_2					θ_3				
	z_{pv} mm	z_{pp} mm	h_p mm CA	z_{pv} mm	Δz_{pv} mm	z_{pp} mm	Δz_{pp} mm	h_p mm CA	z_{pv} mm	Δz_{pv} mm	z_{pp} mm	Δz_{pp} mm	h_p mm CA	z_{pv} mm	Δz_{pv} mm	z_{pp} mm	Δz_{pp} mm	h_p mm CA
22	31,0	24,0	15,28	33,0	2,0	26,5	2,5	15,27	36,0	5,0	28,5	4,5	15,15	37,5	6,5	31,0	7,0	15,01
23	30,5	23,5	15,44	33,0	2,5	26,0	2,5	15,17	35,5	5,0	27,5	4,0	15,20	37,5	7,0	30,5	7,0	15,15
24	30,0	24,0	15,16	32,0	2,0	25,5	1,5	14,97	35,5	5,5	28,0	4,0	14,81	37,0	7,0	30,5	6,5	14,74
25	30,0	24,0	14,96	31,5	1,5	26,0	2,0	14,72	35,0	5,0	28,0	4,0	14,61	36,0	6,0	31,5	7,5	14,57
26	30,5	24,5	14,69	33,0	2,5	26,0	1,5	14,34	36,0	5,5	29,5	5,0	14,37	37,0	6,5	31,5	7,0	14,44
27	30,0	23,5	14,58	32,0	2,0	25,5	2,0	14,33	35,0	5,0	28,0	4,5	14,50	37,5	7,5	30,0	6,5	14,41
28	29,5	24,0	14,44	32,0	2,5	26,0	2,0	14,31	33,5	4,0	28,5	4,5	14,18	36,5	7,0	30,0	6,0	14,16
29	30,0	24,0	14,41	32,0	2,0	26,0	2,0	14,62	35,0	5,0	29,0	5,0	15,21	36,5	6,5	31,0	7,0	15,22
30	30,0	24,5	14,37	32,0	2,0	26,5	2,5	15,59	35,0	5,0	29,0	4,5	16,00	37,0	7,0	31,0	6,5	15,91
$\Delta z_{pv} = 0$				$\Delta z_{pv} = 2,1 \text{ mm}; \Delta z_{pp} = 2,1 \text{ mm}$					$\Delta z_{pv} = 5,0 \text{ mm}; \Delta z_{pp} = 4,45 \text{ mm}$					$\Delta z_{pv} = 6,78 \text{ mm}; \Delta z_{pp} = 6,78 \text{ mm}$				
$\Delta z_{pp} = 0$				$\Delta z_{tm} = \Sigma \Delta z = 4,2 \text{ mm}$					$\Delta z_{tm} = \Sigma \Delta z = 9,45 \text{ mm}$					$\Delta z_{tm} = \Sigma \Delta z = 13,56 \text{ mm}$				
$\theta_0 = 0^\circ$				$\theta_1 = k \Delta z_{tm} = 3,53 \cdot 4,2 = 14,8 \text{ mm}$					$\theta_2 = k \Delta z_{tm} = 3,53 \cdot 9,45 = 33,4 \text{ mm}$					$\theta_3 = k \Delta z_{tm} = 3,53 \cdot 13,56 = 47,9 \text{ mm}$				

Distributia presiunilor în planul L45

Tab. 3.18.

Sustentatie pe apă - Valori măsurate

Punctul	θ_0			θ_1					θ_2					θ_3				
	z_{pv} mm	z_{pp} mm	h_p mm CA	z_{pv} mm	Δz_{pv} mm	z_{pp} mm	Δz_{pp} mm	h_p mm CA	z_{pv} mm	Δz_{pv} mm	z_{pp} mm	Δz_{pp} mm	h_p mm CA	z_{pv} mm	Δz_{pv} mm	z_{pp} mm	Δz_{pp} mm	h_p mm CA
33	30,0	24,0	15,31	32,0	2,0	26,0	2,0	13,85	35,0	5,0	28,0	4,0	15,13	37,5	7,5	31,0	7,0	14,77
34	30,0	24,5	15,57	32,0	2,0	26,0	1,5	15,11	35,5	5,5	28,5	4,0	14,99	37,0	7,0	32,0	7,5	14,85
35	31,0	23,5	15,42	33,0	2,0	25,0	1,5	14,99	35,0	4,0	28,0	4,5	15,14	38,5	7,5	30,5	7,0	14,99
36	29,5	24,5	15,36	32,0	2,5	26,0	1,5	14,99	35,0	5,5	29,0	4,5	15,37	37,5	8,0	32,0	7,5	15,41
37	30,0	23,5	15,94	32,0	2,0	26,0	2,5	15,77	35,0	5,0	28,0	4,5	16,07	36,5	6,5	30,5	7,0	16,02
38	30,0	24,0	15,20	31,5	1,5	26,0	2,0	16,40	35,5	5,5	28,5	4,5	15,78	37,0	7,0	31,0	7,0	15,87
39	31,0	24,0	16,05	33,0	2,0	26,0	2,0	16,16	35,0	4,0	28,0	4,0	16,27	38,5	7,5	31,0	7,0	16,80
$\Delta z_{pv} = 0$				$\Delta z_{pv} = 2,0 \text{ mm}; \Delta z_{pp} = 1,9 \text{ mm}$					$\Delta z_{pv} = 4,93 \text{ mm}; \Delta z_{pp} = 4,28 \text{ mm}$					$\Delta z_{pv} = 7,22 \text{ mm}; \Delta z_{pp} = 7,14 \text{ mm}$				
$\Delta z_{pp} = 0$				$\Delta z_{tm} = \Sigma \Delta z = 3,9 \text{ mm}$					$\Delta z_{tm} = \Sigma \Delta z = 9,21 \text{ mm}$					$\Delta z_{tm} = \Sigma \Delta z = 14,36 \text{ mm}$				
$\theta_0 = 0^\circ$				$\theta_1 = k \Delta z_{tm} = 3,53 \cdot 3,9 = 13,8 \text{ mm}$					$\theta_2 = k \Delta z_{tm} = 3,53 \cdot 9,21 = 32,4 \text{ mm}$					$\theta_3 = k \Delta z_{tm} = 3,53 \cdot 14,36 = 50,9 \text{ mm}$				

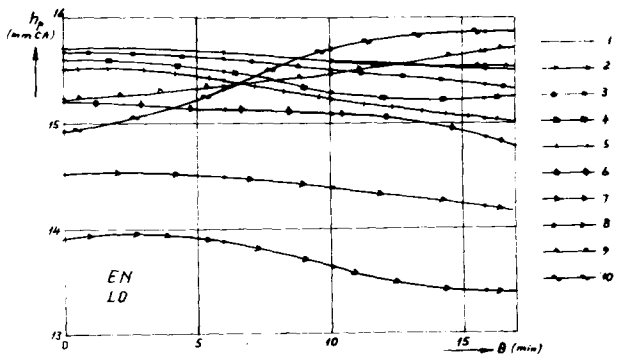


Fig. 3.48.

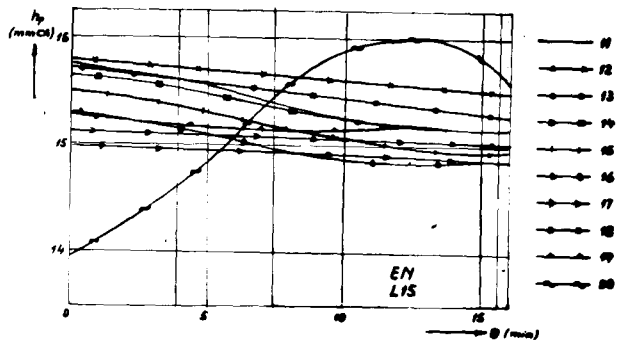


Fig. 3.49.

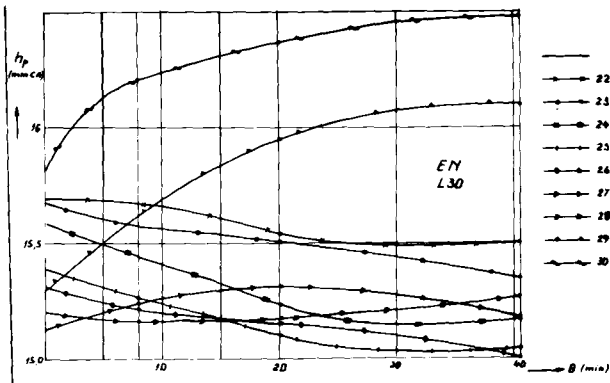


Fig. 3.50.

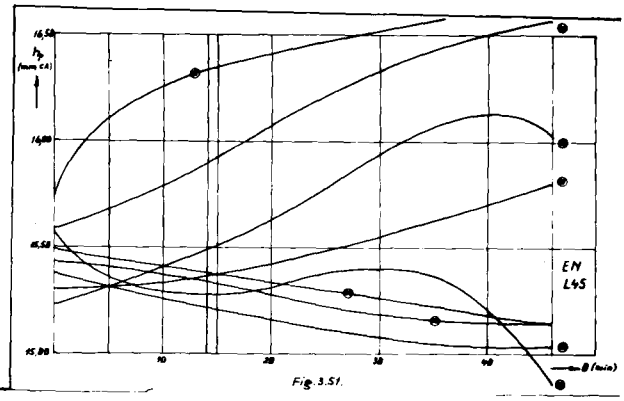


Fig. 3.51.

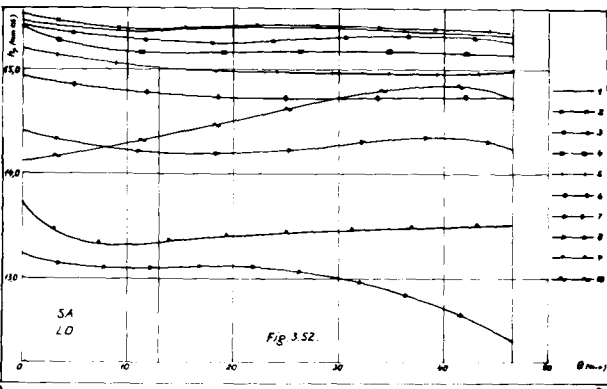


Fig. 3.52.

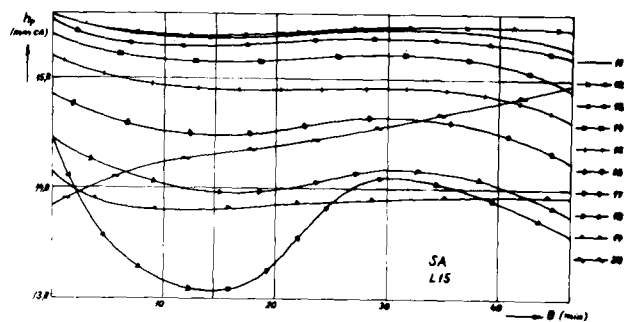


Fig. 3.53.

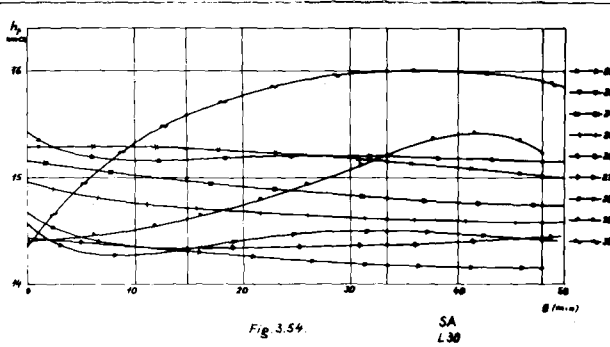


Fig. 3.54.

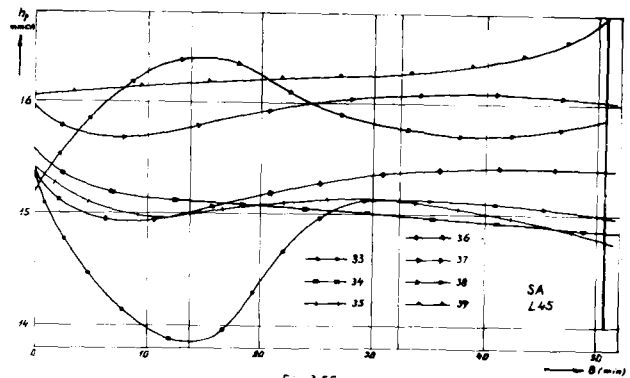


Fig. 3.55.

nalul
ne de
tii e
de je

unui
rului
2.0 d
difer

Datele obținute sînt reprezentate în tabelul 3.19. pentru ecran nedeformabil și în tab. 3.20. pentru sustentație pe apă.

Pe baza acestor date au fost construite diagramele de variație a presiunii în perna de aer, reprezentată prin secțiuni longitudinale în fig.3.56...3.59 și prin secțiuni transversale în fig.3.60...3.69 pentru ecran nedeformabil și în fig.3.70...3.73 și respectiv, fig.3.74...3.83 pentru sustentație pe apă.

Din analizarea acestor diagrame tragem următoarele concluzii:

1. Alimentarea pernei de aer printr-un racord care unește direct ca-

Distribuția presiunilor în perna de aer
Ecran nedeformabil - Valori interpolate h_p (mmCA) Tab.3.19

Planul LD											
Punctul	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Q (mmCA)	0	15,70	15,69	15,67	15,60	15,50	15,20	14,51	13,90	15,22	14,92
	5	15,68	15,68	15,62	15,52	15,44	15,13	14,49	13,90	15,32	15,22
	10	15,60	15,58	15,51	15,29	15,23	15,08	14,38	13,66	15,47	15,70
	15	15,53	15,55	15,39	15,23	15,07	14,91	14,23	13,42	15,44	15,87

Planul L15											
Punctul	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Q (mmCA)	0	15,72	15,77	15,68	15,63	15,47	15,28	14,94	15,08	15,27	15,97
	5	15,54	15,68	15,56	15,46	15,28	15,07	14,97	15,10	15,17	14,84
	10	15,25	15,60	15,43	15,24	15,06	14,87	14,91	15,06	15,17	15,89
	15	15,17	15,52	15,32	15,17	14,94	14,86	14,87	15,02	15,17	15,83

Planul L30											
Punctul	ext	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Q (mmCA)	0	-	15,69	15,67	15,58	15,37	15,31	15,13	15,20	15,29	15,83
	5	-	15,68	15,60	15,49	15,30	15,25	15,20	15,17	15,30	16,13
	10	-	15,65	15,56	15,40	15,23	15,20	15,26	15,16	15,68	16,23
	15	-	15,60	15,53	15,32	15,16	15,17	15,30	15,16	15,83	16,31

Planul L45											
Punctul	ext	ext	33	34	35	36	37	38	39	40	
Q (mmCA)	0	-	-	15,57	15,49	15,43	15,38	15,31	15,23	15,73	15,59
	5	-	-	15,36	15,45	15,41	15,31	15,31	15,31	16,11	15,67
	10	-	-	15,29	15,41	15,37	15,26	15,24	15,41	16,26	15,79
	15	-	-	15,28	15,30	15,33	15,21	15,20	15,31	16,35	15,93

Distribuția presiunilor în perna de aer
Sustentație pe apă - Valori interpolate h_p (mmCA) Tab.3.20

Planul LD											
Punctul	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Q (mmCA)	0	15,45	15,52	15,40	15,40	15,21	14,95	14,41	13,24	13,74	14,11
	5	15,38	15,42	15,33	15,23	15,11	14,85	14,31	13,13	13,37	14,20
	10	15,34	15,37	15,27	15,15	15,04	14,79	14,22	13,10	13,32	14,29
	15	15,36	15,38	15,24	15,14	15,01	14,76	14,19	13,11	13,36	14,40

Planul L15											
Punctul	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Q (mmCA)	0	15,58	15,58	15,53	15,39	15,20	14,86	14,45	14,44	14,13	13,84
	5	15,43	15,45	15,35	15,24	15,03	14,64	14,19	13,33	13,86	14,08
	10	15,38	15,39	15,29	15,17	14,93	14,52	14,03	13,15	13,80	14,24
	15	15,37	15,39	15,29	15,16	14,90	14,47	13,96	13,07	13,81	14,32

Planul L30											
Punctul	ext	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Q (mmCA)	0	-	15,28	15,44	15,16	14,96	14,69	14,58	14,44	14,41	14,37
	5	-	15,28	15,21	15,08	14,84	14,43	14,31	14,39	14,44	14,91
	10	-	15,28	15,16	15,02	14,76	14,36	14,27	14,24	14,57	15,32
	15	-	15,27	15,17	14,96	14,72	14,32	14,31	14,30	14,62	15,59

Planul L45											
Punctul	ext	ext	33	34	35	36	37	38	39	ext	
Q (mmCA)	0	-	-	15,31	15,57	15,47	15,36	15,94	15,20	16,05	-
	5	-	-	14,43	15,24	15,09	14,97	15,70	15,06	16,00	-
	10	-	-	13,97	15,14	14,97	14,91	15,69	16,27	16,16	-
	15	-	-	13,87	15,11	15,01	15,03	15,80	16,00	16,17	-

nalul sistemului de sustentație cu perna, produce variații de presiune de oca 17% din presiunea medie a aerului din pernă. Aceste variații au efecte defavorabile asupra componentelor de val, de stropi și de jet.

Ca remediu, în cazul de față considerăm că era utilă montarea unui deflector de egalizare a presiunilor, amplasat la intrarea aerului în pernă (fig.3.84.).

2.0 dată cu creșterea unghiului de asietă longitudinală θ , crește și diferența de presiune din pernă între diferitele puncte, mai ales în

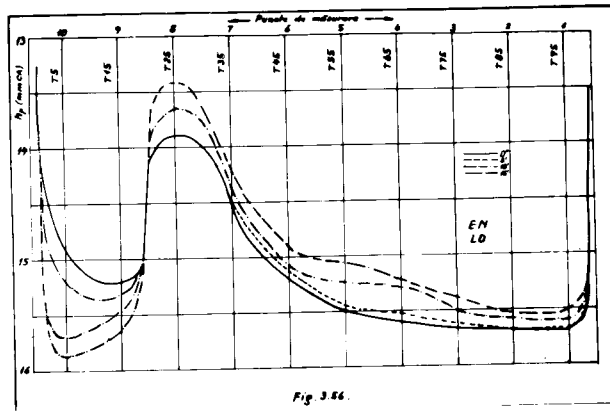


Fig. 3.56.

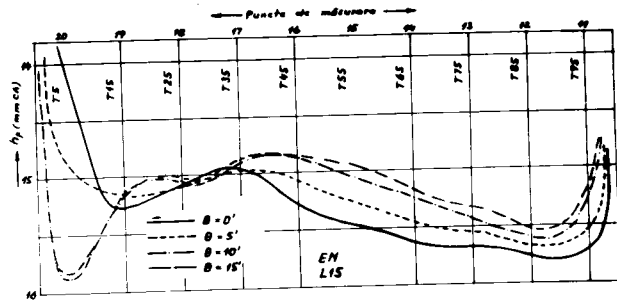


Fig. 3.57.

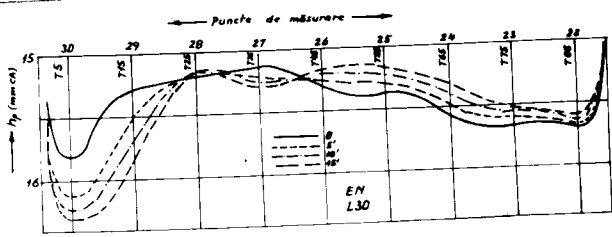


Fig. 3.58.

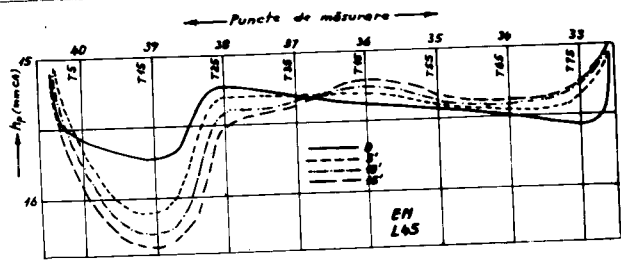


Fig. 3.59.

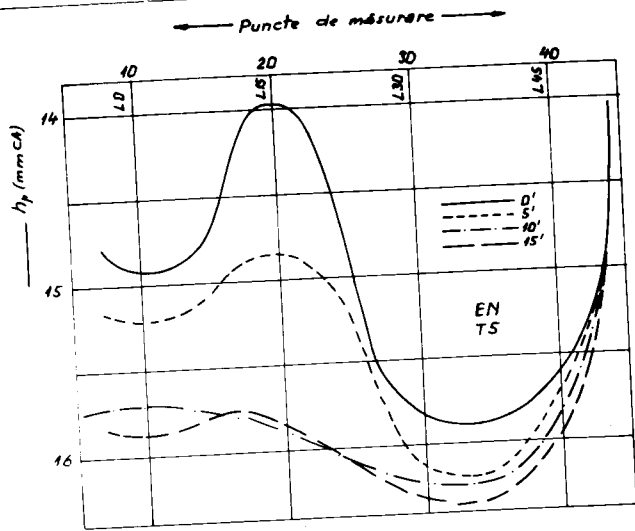


Fig. 3.60.

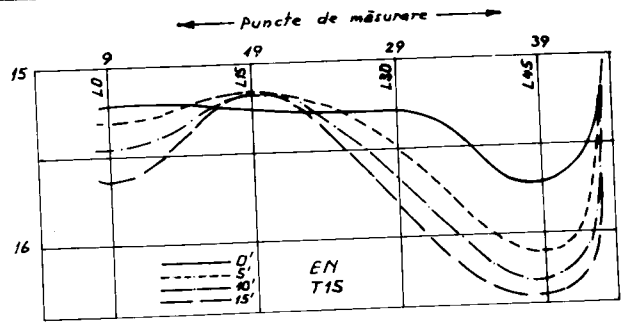


Fig. 3.61.

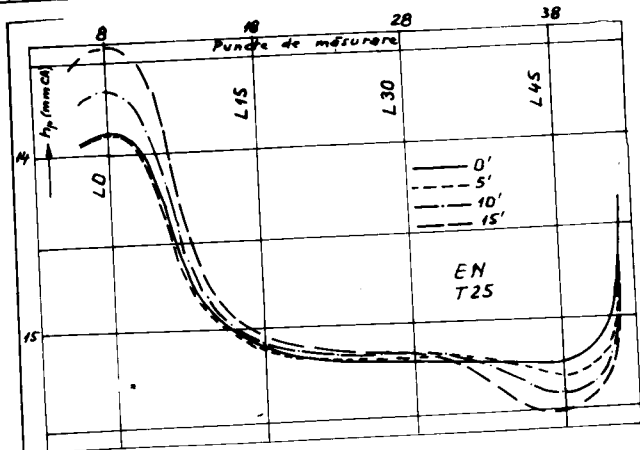


Fig. 3.62.

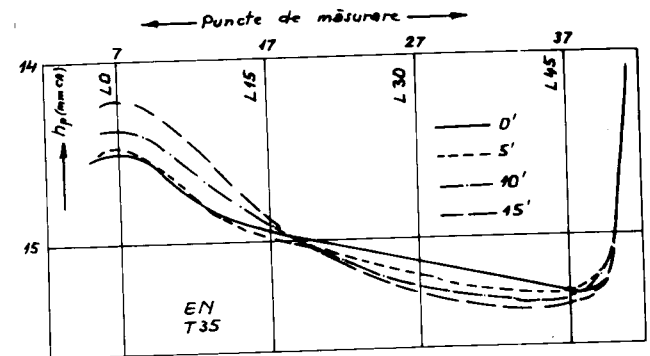


Fig. 3.63.

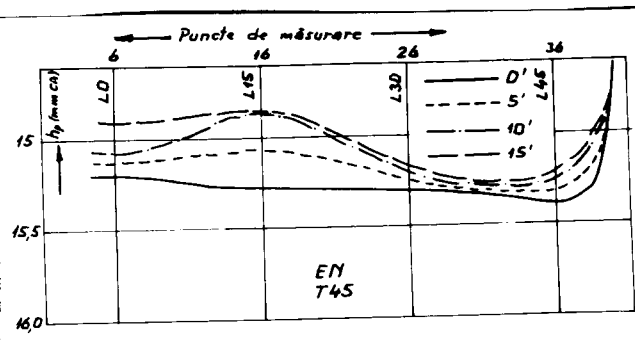


Fig. 3.64.

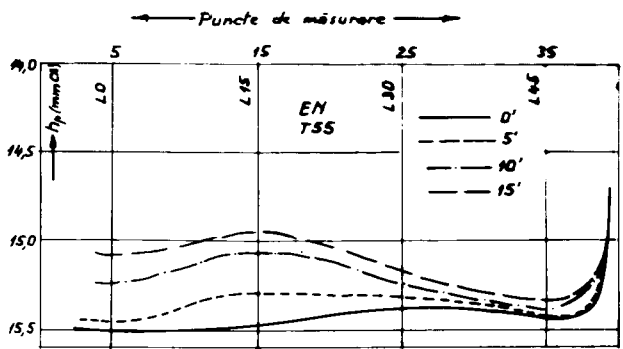


Fig. 3.65.

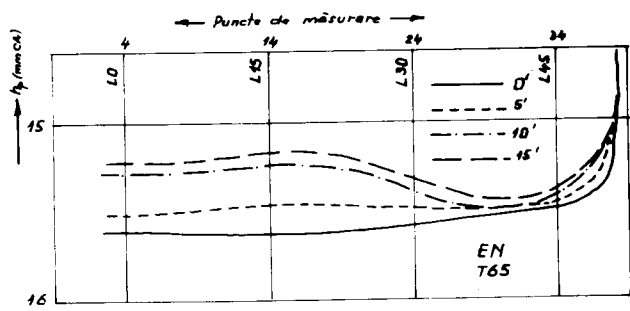


Fig. 3.66.

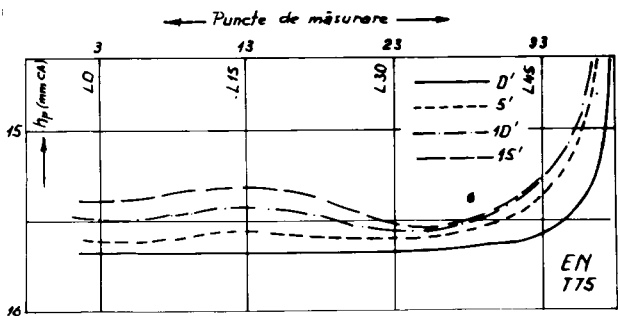


Fig. 3.67.

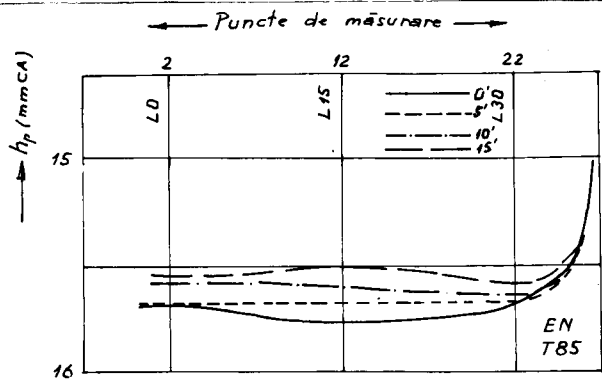


Fig. 3.68.

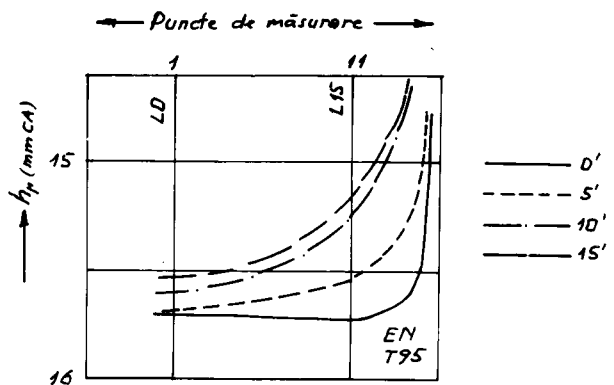


Fig. 3.69.

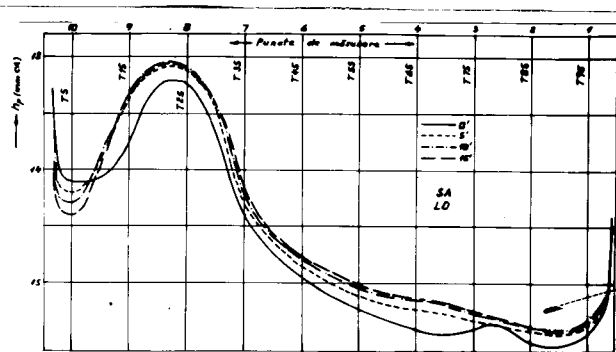


Fig. 3.70.

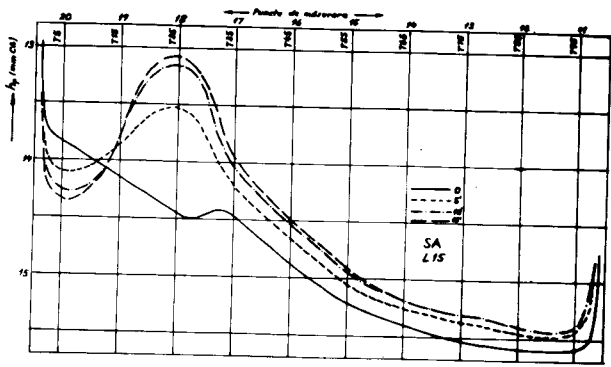


Fig. 3.71.

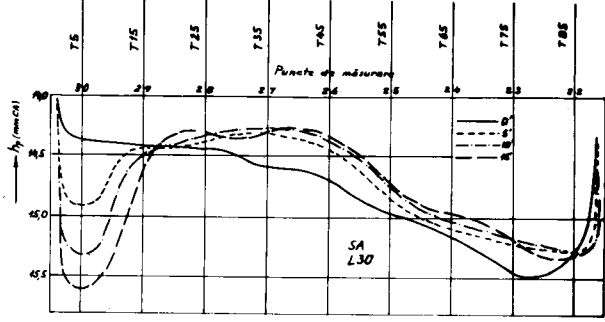


Fig. 3.72.

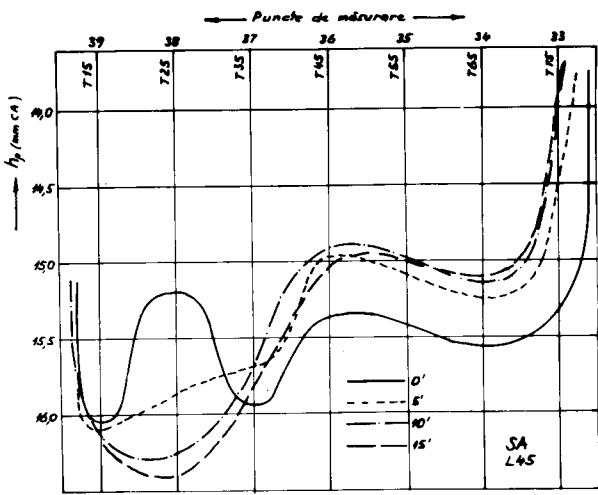


Fig. 3.73.

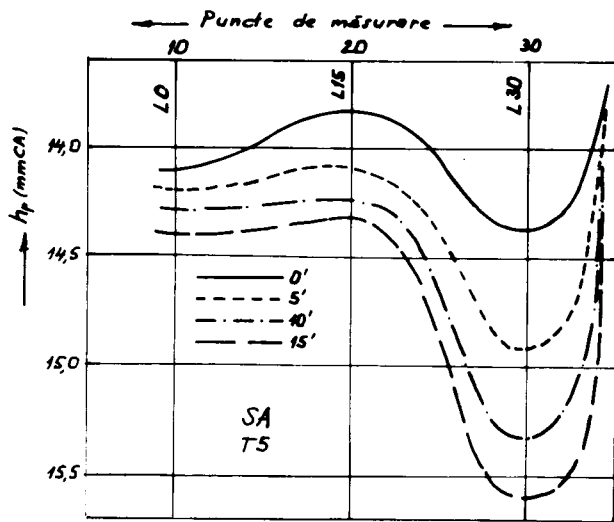


Fig. 3.74.

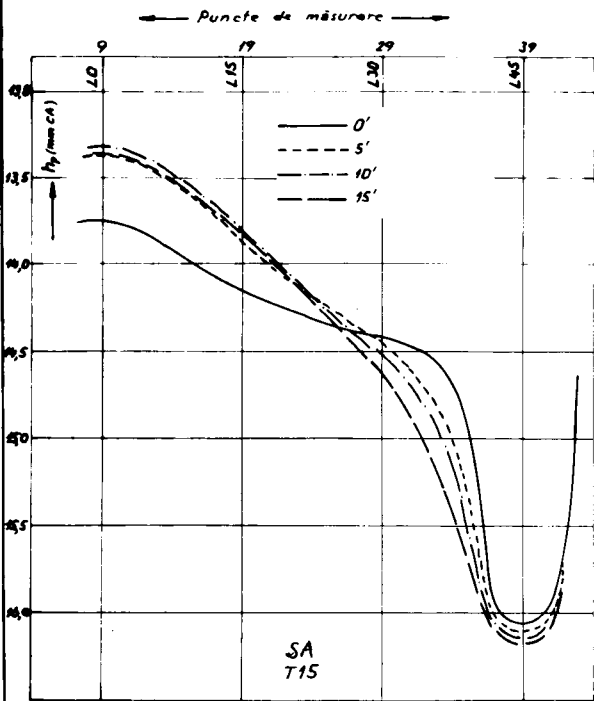


Fig. 3.75.

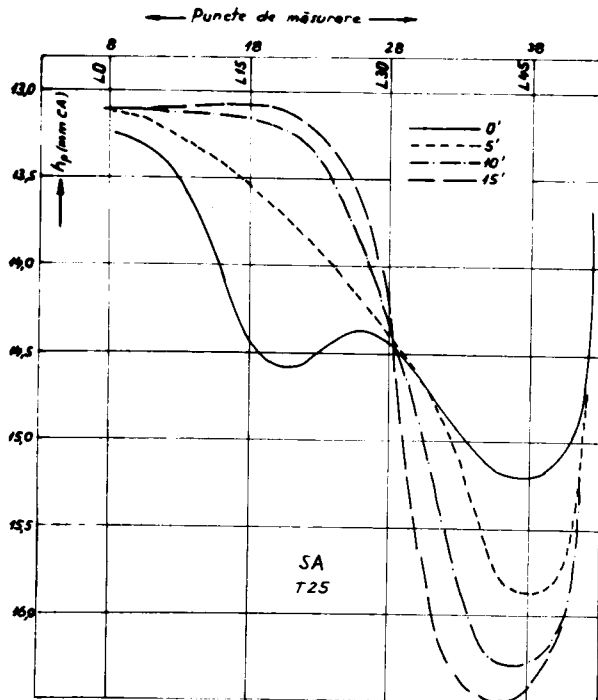


Fig. 3.76.

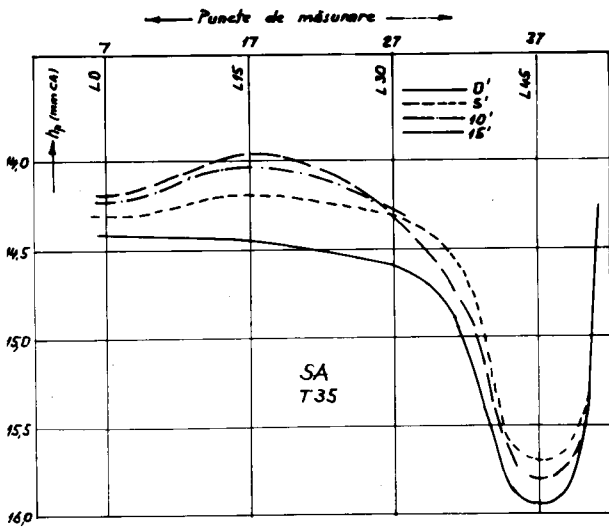


Fig. 3.77.

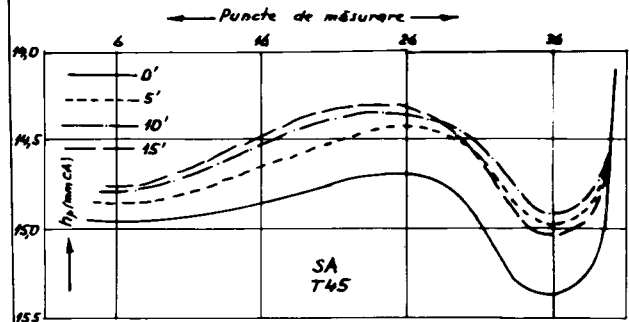


Fig. 3.78.

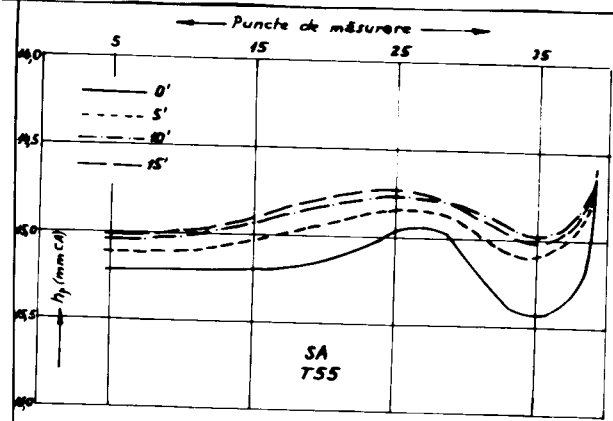


Fig. 3.79.

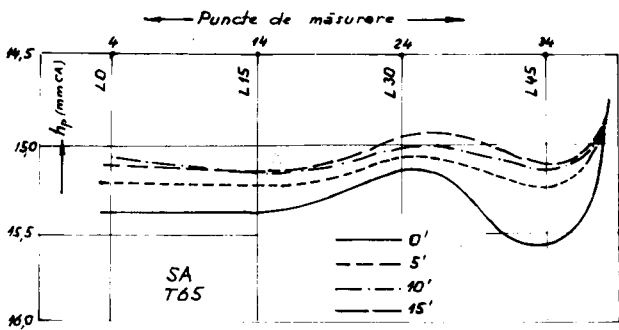


Fig. 3.80.

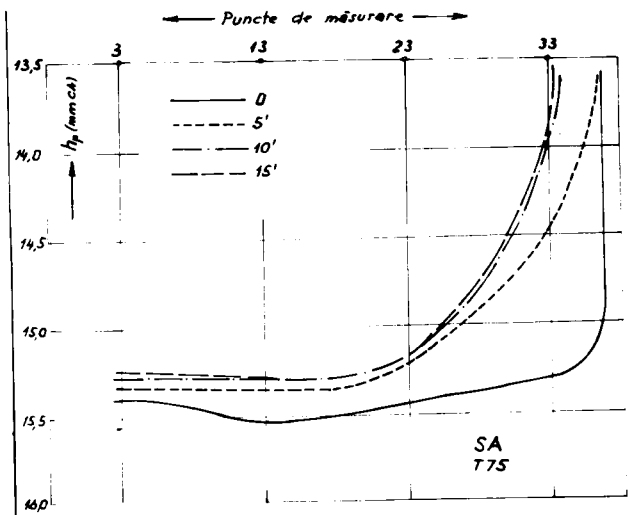


Fig. 3.81.

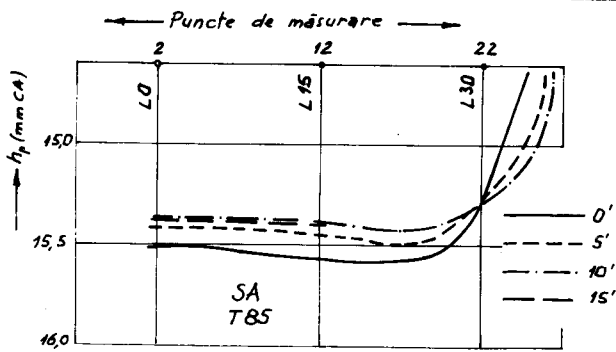


Fig. 3.82.

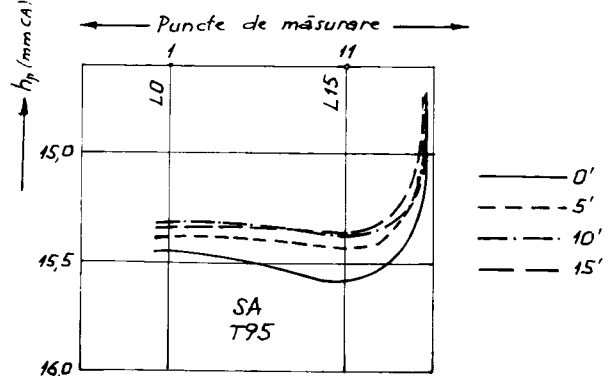


Fig. 3.83.

No.	θ	h	h ₀	h ₁	h ₂	h ₃	h ₄	h ₅	h ₆	h ₇	h ₈	h ₉	h ₁₀	h ₁₁	h ₁₂	h ₁₃	h ₁₄	h ₁₅	h ₁₆	h ₁₇	h ₁₈	h ₁₉	h ₂₀	h ₂₁	h ₂₂	h ₂₃	h ₂₄	h ₂₅	h ₂₆	h ₂₇	h ₂₈	h ₂₉	h ₃₀	h ₃₁	h ₃₂	h ₃₃	h ₃₄	h ₃₅	h ₃₆	h ₃₇	h ₃₈	h ₃₉	h ₄₀	h ₄₁	h ₄₂	h ₄₃	h ₄₄	h ₄₅	h ₄₆	h ₄₇	h ₄₈	h ₄₉	h ₅₀	h ₅₁	h ₅₂	h ₅₃	h ₅₄	h ₅₅	h ₅₆	h ₅₇	h ₅₈	h ₅₉	h ₆₀	h ₆₁	h ₆₂	h ₆₃	h ₆₄	h ₆₅	h ₆₆	h ₆₇	h ₆₈	h ₆₉	h ₇₀	h ₇₁	h ₇₂	h ₇₃	h ₇₄	h ₇₅	h ₇₆	h ₇₇	h ₇₈	h ₇₉	h ₈₀	h ₈₁	h ₈₂	h ₈₃	h ₈₄	h ₈₅	h ₈₆	h ₈₇	h ₈₈	h ₈₉	h ₉₀	h ₉₁	h ₉₂	h ₉₃	h ₉₄	h ₉₅	h ₉₆	h ₉₇	h ₉₈	h ₉₉	h ₁₀₀	h ₁₀₁	h ₁₀₂	h ₁₀₃	h ₁₀₄	h ₁₀₅	h ₁₀₆	h ₁₀₇	h ₁₀₈	h ₁₀₉	h ₁₁₀	h ₁₁₁	h ₁₁₂	h ₁₁₃	h ₁₁₄	h ₁₁₅	h ₁₁₆	h ₁₁₇	h ₁₁₈	h ₁₁₉	h ₁₂₀	h ₁₂₁	h ₁₂₂	h ₁₂₃	h ₁₂₄	h ₁₂₅	h ₁₂₆	h ₁₂₇	h ₁₂₈	h ₁₂₉	h ₁₃₀	h ₁₃₁	h ₁₃₂	h ₁₃₃	h ₁₃₄	h ₁₃₅	h ₁₃₆	h ₁₃₇	h ₁₃₈	h ₁₃₉	h ₁₄₀	h ₁₄₁	h ₁₄₂	h ₁₄₃	h ₁₄₄	h ₁₄₅	h ₁₄₆	h ₁₄₇	h ₁₄₈	h ₁₄₉	h ₁₅₀	h ₁₅₁	h ₁₅₂	h ₁₅₃	h ₁₅₄	h ₁₅₅	h ₁₅₆	h ₁₅₇	h ₁₅₈	h ₁₅₉	h ₁₆₀	h ₁₆₁	h ₁₆₂	h ₁₆₃	h ₁₆₄	h ₁₆₅	h ₁₆₆	h ₁₆₇	h ₁₆₈	h ₁₆₉	h ₁₇₀	h ₁₇₁	h ₁₇₂	h ₁₇₃	h ₁₇₄	h ₁₇₅	h ₁₇₆	h ₁₇₇	h ₁₇₈	h ₁₇₉	h ₁₈₀	h ₁₈₁	h ₁₈₂	h ₁₈₃	h ₁₈₄	h ₁₈₅	h ₁₈₆	h ₁₈₇	h ₁₈₈	h ₁₈₉	h ₁₉₀	h ₁₉₁	h ₁₉₂	h ₁₉₃	h ₁₉₄	h ₁₉₅	h ₁₉₆	h ₁₉₇	h ₁₉₈	h ₁₉₉	h ₂₀₀	h ₂₀₁	h ₂₀₂	h ₂₀₃	h ₂₀₄	h ₂₀₅	h ₂₀₆	h ₂₀₇	h ₂₀₈	h ₂₀₉	h ₂₁₀	h ₂₁₁	h ₂₁₂	h ₂₁₃	h ₂₁₄	h ₂₁₅	h ₂₁₆	h ₂₁₇	h ₂₁₈	h ₂₁₉	h ₂₂₀	h ₂₂₁	h ₂₂₂	h ₂₂₃	h ₂₂₄	h ₂₂₅	h ₂₂₆	h ₂₂₇	h ₂₂₈	h ₂₂₉	h ₂₃₀	h ₂₃₁	h ₂₃₂	h ₂₃₃	h ₂₃₄	h ₂₃₅	h ₂₃₆	h ₂₃₇	h ₂₃₈	h ₂₃₉	h ₂₄₀	h ₂₄₁	h ₂₄₂	h ₂₄₃	h ₂₄₄	h ₂₄₅	h ₂₄₆	h ₂₄₇	h ₂₄₈	h ₂₄₉	h ₂₅₀	h ₂₅₁	h ₂₅₂	h ₂₅₃	h ₂₅₄	h ₂₅₅	h ₂₅₆	h ₂₅₇	h ₂₅₈	h ₂₅₉	h ₂₆₀	h ₂₆₁	h ₂₆₂	h ₂₆₃	h ₂₆₄	h ₂₆₅	h ₂₆₆	h ₂₆₇	h ₂₆₈	h ₂₆₉	h ₂₇₀	h ₂₇₁	h ₂₇₂	h ₂₇₃	h ₂₇₄	h ₂₇₅	h ₂₇₆	h ₂₇₇	h ₂₇₈	h ₂₇₉	h ₂₈₀	h ₂₈₁	h ₂₈₂	h ₂₈₃	h ₂₈₄	h ₂₈₅	h ₂₈₆	h ₂₈₇	h ₂₈₈	h ₂₈₉	h ₂₉₀	h ₂₉₁	h ₂₉₂	h ₂₉₃	h ₂₉₄	h ₂₉₅	h ₂₉₆	h ₂₉₇	h ₂₉₈	h ₂₉₉	h ₃₀₀	h ₃₀₁	h ₃₀₂	h ₃₀₃	h ₃₀₄	h ₃₀₅	h ₃₀₆	h ₃₀₇	h ₃₀₈	h ₃₀₉	h ₃₁₀	h ₃₁₁	h ₃₁₂	h ₃₁₃	h ₃₁₄	h ₃₁₅	h ₃₁₆	h ₃₁₇	h ₃₁₈	h ₃₁₉	h ₃₂₀	h ₃₂₁	h ₃₂₂	h ₃₂₃	h ₃₂₄	h ₃₂₅	h ₃₂₆	h ₃₂₇	h ₃₂₈	h ₃₂₉	h ₃₃₀	h ₃₃₁	h ₃₃₂	h ₃₃₃	h ₃₃₄	h ₃₃₅	h ₃₃₆	h ₃₃₇	h ₃₃₈	h ₃₃₉	h ₃₄₀	h ₃₄₁	h ₃₄₂	h ₃₄₃	h ₃₄₄	h ₃₄₅	h ₃₄₆	h ₃₄₇	h ₃₄₈	h ₃₄₉	h ₃₅₀	h ₃₅₁	h ₃₅₂	h ₃₅₃	h ₃₅₄	h ₃₅₅	h ₃₅₆	h ₃₅₇	h ₃₅₈	h ₃₅₉	h ₃₆₀	h ₃₆₁	h ₃₆₂	h ₃₆₃	h ₃₆₄	h ₃₆₅	h ₃₆₆	h ₃₆₇	h ₃₆₈	h ₃₆₉	h ₃₇₀	h ₃₇₁	h ₃₇₂	h ₃₇₃	h ₃₇₄	h ₃₇₅	h ₃₇₆	h ₃₇₇	h ₃₇₈	h ₃₇₉	h ₃₈₀	h ₃₈₁	h ₃₈₂	h ₃₈₃	h ₃₈₄	h ₃₈₅	h ₃₈₆	h ₃₈₇	h ₃₈₈	h ₃₈₉	h ₃₉₀	h ₃₉₁	h ₃₉₂	h ₃₉₃	h ₃₉₄	h ₃₉₅	h ₃₉₆	h ₃₉₇	h ₃₉₈	h ₃₉₉	h ₄₀₀	h ₄₀₁	h ₄₀₂	h ₄₀₃	h ₄₀₄	h ₄₀₅	h ₄₀₆	h ₄₀₇	h ₄₀₈	h ₄₀₉	h ₄₁₀	h ₄₁₁	h ₄₁₂	h ₄₁₃	h ₄₁₄	h ₄₁₅	h ₄₁₆	h ₄₁₇	h ₄₁₈	h ₄₁₉	h ₄₂₀	h ₄₂₁	h ₄₂₂	h ₄₂₃	h ₄₂₄	h ₄₂₅	h ₄₂₆	h ₄₂₇	h ₄₂₈	h ₄₂₉	h ₄₃₀	h ₄₃₁	h ₄₃₂	h ₄₃₃	h ₄₃₄	h ₄₃₅	h ₄₃₆	h ₄₃₇	h ₄₃₈	h ₄₃₉	h ₄₄₀	h ₄₄₁	h ₄₄₂	h ₄₄₃	h ₄₄₄	h ₄₄₅	h ₄₄₆	h ₄₄₇	h ₄₄₈	h ₄₄₉	h ₄₅₀	h ₄₅₁	h ₄₅₂	h ₄₅₃	h ₄₅₄	h ₄₅₅	h ₄₅₆	h ₄₅₇	h ₄₅₈	h ₄₅₉	h ₄₆₀	h ₄₆₁	h ₄₆₂	h ₄₆₃	h ₄₆₄	h ₄₆₅	h ₄₆₆	h ₄₆₇	h ₄₆₈	h ₄₆₉	h ₄₇₀	h ₄₇₁	h ₄₇₂	h ₄₇₃	h ₄₇₄	h ₄₇₅	h ₄₇₆	h ₄₇₇	h ₄₇₈	h ₄₇₉	h ₄₈₀	h ₄₈₁	h ₄₈₂	h ₄₈₃	h ₄₈₄	h ₄₈₅	h ₄₈₆	h ₄₈₇	h ₄₈₈	h ₄₈₉	h ₄₉₀	h ₄₉₁	h ₄₉₂	h ₄₉₃	h ₄₉₄	h ₄₉₅	h ₄₉₆	h ₄₉₇	h ₄₉₈	h ₄₉₉	h ₅₀₀	h ₅₀₁	h ₅₀₂	h ₅₀₃	h ₅₀₄	h ₅₀₅	h ₅₀₆	h ₅₀₇	h ₅₀₈	h ₅₀₉	h ₅₁₀	h ₅₁₁	h ₅₁₂	h ₅₁₃	h ₅₁₄	h ₅₁₅	h ₅₁₆	h ₅₁₇	h ₅₁₈	h ₅₁₉	h ₅₂₀	h ₅₂₁	h ₅₂₂	h ₅₂₃	h ₅₂₄	h ₅₂₅	h ₅₂₆	h ₅₂₇	h ₅₂₈	h ₅₂₉	h ₅₃₀	h ₅₃₁	h ₅₃₂	h ₅₃₃	h ₅₃₄	h ₅₃₅	h ₅₃₆	h ₅₃₇	h ₅₃₈	h ₅₃₉	h ₅₄₀	h ₅₄₁	h ₅₄₂	h ₅₄₃	h ₅₄₄	h ₅₄₅	h ₅₄₆	h ₅₄₇	h ₅₄₈	h ₅₄₉	h ₅₅₀	h ₅₅₁	h ₅₅₂	h ₅₅₃	h ₅₅₄	h ₅₅₅	h ₅₅₆	h ₅₅₇	h ₅₅₈	h ₅₅₉	h ₅₆₀	h ₅₆₁	h ₅₆₂	h ₅₆₃	h ₅₆₄	h ₅₆₅	h ₅₆₆	h ₅₆₇	h ₅₆₈	h ₅₆₉	h ₅₇₀	h ₅₇₁	h ₅₇₂	h ₅₇₃	h ₅₇₄	h ₅₇₅	h ₅₇₆	h ₅₇₇	h ₅₇₈	h ₅₇₉	h ₅₈₀	h ₅₈₁	h ₅₈₂	h ₅₈₃	h ₅₈₄	h ₅₈₅	h ₅₈₆	h ₅₈₇	h ₅₈₈	h ₅₈₉	h ₅₉₀	h ₅₉₁	h ₅₉₂	h ₅₉₃	h ₅₉₄	h ₅₉₅	h ₅₉₆	h ₅₉₇	h ₅₉₈	h ₅₉₉	h ₆₀₀	h ₆₀₁	h ₆₀₂	h ₆₀₃	h ₆₀₄	h ₆₀₅	h ₆₀₆	h ₆₀₇	h ₆₀₈	h ₆₀₉	h ₆₁₀	h ₆₁₁	h ₆₁₂	h ₆₁₃	h ₆₁₄	h ₆₁₅	h ₆₁₆	h ₆₁₇	h ₆₁₈	h ₆₁₉	h ₆₂₀	h ₆₂₁	h ₆₂₂	h ₆₂₃	h ₆₂₄	h ₆₂₅	h ₆₂₆	h ₆₂₇	h ₆₂₈	h ₆₂₉	h ₆₃₀	h ₆₃₁	h ₆₃₂	h ₆₃₃	h ₆₃₄	h ₆₃₅	h ₆₃₆	h ₆₃₇	h ₆₃₈	h ₆₃₉	h ₆₄₀	h ₆₄₁	h ₆₄₂	h ₆₄₃	h ₆₄₄	h ₆₄₅	h ₆₄₆	h ₆₄₇	h ₆₄₈	h ₆₄₉	h ₆₅₀	h ₆₅₁	h ₆₅₂	h ₆₅₃	h ₆₅₄	h ₆₅₅	h ₆₅₆	h ₆₅₇	h ₆₅₈	h ₆₅₉	h ₆₆₀	h ₆₆₁	h ₆₆₂	h ₆₆₃	h ₆₆₄	h ₆₆₅	h ₆₆₆	h ₆₆₇	h ₆₆₈	h ₆₆₉	h ₆₇₀	h ₆₇₁	h ₆₇₂	h ₆₇₃	h ₆₇₄	h ₆₇₅	h ₆₇₆	h ₆₇₇	h ₆₇₈	h ₆₇₉	h ₆₈₀	h ₆₈₁	h ₆₈₂	h ₆₈₃	h ₆₈₄	h ₆₈₅	h ₆₈₆	h ₆₈₇ </
-----	---	---	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	---------------------

dul de alimentare și secțiunea de scăpare a aerului, repartizată pe întregul perimetru al pernei. Din acest motiv, considerăm că la navele cu pernă de aer tip cameră, racordul de alimentare trebuie plasat central sau, ținând cont de valoarea raportului de aspect $\lambda = B_p/L_p$, trebuie utilizate două sau mai multe racorduri de alimentare, plasate în planul diametral. Cel mai bun mijloc de uniformizare a câmpului de presiuni rămâne însă utilizarea pernei de aer alimentate prin ajutaje periferice, plasate pe întregul perimetru de scăpare a aerului din pernă.

4. Variațiile de presiune din perna de aer, atât datorită influenței poziției racordului de alimentare a pernei, cât și datorită variației unghiului de asietă longitudinală θ , în cazul sustentației pe apă, sînt mult mai mari decît în cazul ecranului nedeformabil. Explicăm acest efect prin deformabilitatea suprafeței apei sub influența aerului din pernă, suprafața deformată a apei contribuind la creșterea diferențelor de presiune statică și dinamică ale curenților de aer din pernă.

3.2.2. Rezistența de asietă a navei o23 E.

Conform formulei (3.2) componenta de asietă este:

$$R_{as} = \sin\theta \int_{S_p} p_p dS_p = \sin\theta \rho_w \int_{S_p} h_p dS_p \quad (3.3)$$

Pentru calcularea integralei de suprafață din formula (3.3), suprafața pernei a fost împărțită în 64 elemente, conform fig. 3.85, măsurîndu-se presiunea în centrul fiecărui element de suprafață.

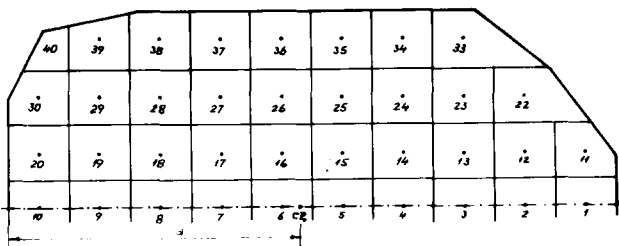


Fig. 3.85.

La integrare, s-a considerat că în zona fiecărui element de suprafață, presiunea este constantă și egală cu cea măsurată în centrul de greutate al elementului.

Pentru elementele de suprafață marginale au fost făcute corecții, atât pentru mărimea suprafeței reale de sprijin, cât și pentru mărimea presiunii

medii a elementului. Astfel, întrucît la toate elementele de suprafață marginale valoarea p_{pi} măsurată a presiunii ajunge la zero la periferia pernei (fig. 3.86), pentru aceste elemente s-a considerat că presiunea medie este:

$$p_{pmi} = k'_1 p_{pi} = k'_1 \gamma_w h_{pi} \quad (3.4)$$

cu $k'_1 = 0,96$.

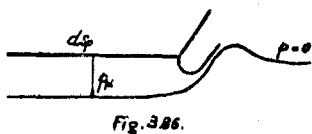


Fig. 3.86.

Pe de altă parte, suprafața reală a pernei este mai mare decât cea geometrică datorită presiunii dinamice a curentului de aer scăpat (fig. 3.86). Această majorare de suprafață se produce nu

la elementele marginale, astfel încît pentru forța elementară a componentei de asietă trebuie să scriem:

$$dR_{as} = \sin \theta \cdot \gamma_w K'_1 h_p K''_1 dS_p \quad (3.5)$$

Pentru elementele marginale $K'_1 = K''_1 = 1$, iar pentru cele marginale valoarea produsului lor $K'_1 K''_1$ rezultă din condiția :

$$G = mg = \int_{S_p} K'_1 K''_1 \gamma_w h_{pi} dS_p \quad (3.6)$$

pentru $\theta = 0$

In relațiile (3.4), (3.5) și (3.6) au fost folosite notațiile:

- G, m - greutatea și respectiv masa modelului ;
- γ_w - greutatea specifică a apei.

Punctul de aplicație al rezultantei forțelor de presiune a fost calculat cu formula:

$$a = \frac{\sum K'_1 \gamma_w h_{pi} S_i a_i}{\sum K'_1 \gamma_w h_{pi} S_i} \quad (3.7)$$

în care:

- a - distanța de la muchia pupa a fustei, la punctul de aplicație al rezultantei (fig. 3.85);
- a_i - distanța de la muchia pupa pînă la centrul de greutate al elementului de suprafață i ;
- S_i - elementul de suprafață i.

Calcululele expuse mai sus au fost executate și cu presiune medie din pernă de aer:

$$p_{pm} = \frac{G}{S_p} = \frac{mg}{\sum S_i} = 151 \text{ N/m}^2 \quad (3.8)$$

Pe baza rezultatelor obținute cu ajutorul tabelelor de calcul 3.21 ... 3.24 pentru ecran nedeformabil și 3.25 ... 3.28

$\theta = 10^\circ$ Ecran nedetormabil Tab. 3.23

pc	mmCA	k_i	$\frac{P_p}{k_i \cdot h_p}$ N/m ²	k_i'	S_i m ²	$k_i' P_p S_i$ N	$P_{pm} S_i$ N	a_i m	$k_i' P_p S_i a_i$	$P_{pm} S_i a_i$
1	15.60	0.96	146.92	1.07	0.00807	1,269	1,219	0.895	1,136	1,091
2	15.58	1.00	152.84	1.00	0.00807	1,233	1,219	0.800	0.986	0.975
3	15.51	1.00	152.15	1.00	0.00807	1,228	1,219	0.706	0.867	0.861
4	15.29	1.00	149.99	1.00	0.00807	1,210	1,219	0.612	0.741	0.746
5	15.23	1.00	149.41	1.00	0.00807	1,206	1,219	0.518	0.625	0.637
6	15.08	1.00	147.93	1.00	0.00807	1,194	1,219	0.424	0.506	0.517
7	14.38	1.00	141.0	1.00	0.00807	1,138	1,219	0.330	0.376	0.402
8	13.66	1.00	134.00	1.00	0.00807	1,081	1,219	0.235	0.254	0.286
9	15.47	1.00	151.76	1.00	0.00807	1,225	1,219	0.141	0.173	0.172
10	15.70	0.96	147.86	1.07	0.00807	1,277	1,219	0.047	0.060	0.057
11	15.25	0.96	143.62	1.07	0.01405	2,159	2,123	0.889	1,919	1,887
12	15.60	1.00	153.04	1.00	0.01614	2,470	2,439	0.800	1,976	1,951
13	15.43	1.00	151.37	1.00	0.01614	2,443	2,439	0.706	1,725	1,722
14	15.24	1.00	149.50	1.00	0.01614	2,413	2,439	0.612	1,477	1,493
15	15.06	1.00	147.74	1.00	0.01614	2,385	2,439	0.518	1,235	1,263
16	14.87	1.00	145.87	1.00	0.01614	2,355	2,439	0.424	0.999	1.034
17	14.97	1.00	146.27	1.00	0.01614	2,361	2,439	0.330	0.779	0.805
18	15.06	1.00	147.74	1.00	0.01614	2,385	2,439	0.235	0.560	0.573
19	15.17	1.00	148.82	1.00	0.01614	2,402	2,439	0.141	0.339	0.344
20	15.89	0.96	147.65	1.07	0.01614	2,385	2,439	0.047	0.121	0.115
22	15.45	0.96	147.39	1.07	0.02057	3,244	3,108	0.800	2,597	2,486
23	15.56	1.00	152.64	1.00	0.01614	2,444	2,439	0.706	1,740	1,722
24	15.40	1.00	151.07	1.00	0.01614	2,438	2,439	0.612	1,492	1,493
25	15.23	1.00	149.40	1.00	0.01614	2,412	2,439	0.518	1,249	1,263
26	15.06	1.00	147.74	1.00	0.01614	2,407	2,439	0.424	1,021	1,034
27	15.26	1.00	149.70	1.00	0.01614	2,416	2,439	0.330	0.797	0.805
28	15.16	1.00	148.72	1.00	0.01614	2,400	2,439	0.235	0.564	0.573
29	15.08	1.00	148.82	1.00	0.01614	2,403	2,439	0.141	0.330	0.344
30	16.23	0.96	152.85	1.07	0.01506	2,463	2,275	0.054	0.123	0.123
31	15.25	0.96	144.00	1.07	0.02118	3,263	3,200	0.741	2,418	2,371
33	15.41	0.96	145.13	1.07	0.01614	2,467	2,439	0.612	1,510	1,493
35	15.37	0.96	144.75	1.07	0.01614	2,461	2,439	0.518	1,275	1,263
36	15.26	0.96	143.72	1.07	0.01614	2,443	2,439	0.424	1,036	1,034
37	15.24	0.96	144.47	1.07	0.01614	2,456	2,439	0.330	0.810	0.805
38	15.11	0.96	145.13	1.07	0.01614	2,500	2,439	0.235	0.580	0.572
39	16.26	0.96	153.14	1.07	0.01390	2,271	2,099	0.144	0.308	0.302
40	16.25	0.96	153.04	1.07	0.00647	0.660	0.978	0.071	0.173	0.069
Σ	-	-	-	-	0.5085	77,673	77,186	-	34,835	34,677

$\theta = 15^\circ$ Ecran nedetormabil Tab. 3.24

pc	mmCA	k_i	$\frac{P_p}{k_i \cdot h_p}$ N/m ²	k_i'	S_i m ²	$k_i' P_p S_i$ N	$P_{pm} S_i$ N	a_i m	$k_i' P_p S_i a_i$	$P_{pm} S_i a_i$
1	15.53	0.96	146.262	1.07	0.00807	1,316	1,219	0.895	1,178	1,091
2	15.55	1.00	152.55	1.00	0.00807	1,231	1,219	0.800	0.985	0.975
3	15.39	1.00	150.98	1.00	0.00807	1,218	1,219	0.706	0.860	0.861
4	15.23	1.00	149.41	1.00	0.00807	1,206	1,219	0.612	0.738	0.746
5	15.07	1.00	147.84	1.00	0.00807	1,193	1,219	0.518	0.618	0.637
6	14.91	1.00	146.27	1.00	0.00807	1,180	1,219	0.424	0.500	0.517
7	14.23	1.00	139.60	1.00	0.00807	1,127	1,219	0.330	0.372	0.402
8	13.62	1.00	137.65	1.00	0.00807	1,062	1,219	0.235	0.250	0.286
9	15.64	1.00	153.43	1.00	0.00807	1,238	1,219	0.141	0.175	0.172
10	15.87	0.96	149.46	1.07	0.00807	1,345	1,219	0.047	0.063	0.057
11	15.17	0.96	142.87	1.07	0.01405	2,143	2,123	0.889	1,905	1,887
12	15.62	1.00	152.25	1.00	0.01614	2,457	2,439	0.800	1,966	1,951
13	15.32	1.00	150.29	1.00	0.01614	2,426	2,439	0.706	1,713	1,722
14	15.17	1.00	148.82	1.00	0.01614	2,402	2,439	0.612	1,470	1,493
15	14.94	1.00	146.56	1.00	0.01614	2,366	2,439	0.518	1,226	1,263
16	14.86	1.00	145.78	1.00	0.01614	2,353	2,439	0.424	0.998	1,034
17	14.87	1.00	145.87	1.00	0.01614	2,355	2,439	0.330	0.777	0.805
18	15.02	1.00	147.35	1.00	0.01614	2,378	2,439	0.235	0.559	0.573
19	15.17	1.00	148.82	1.00	0.01614	2,402	2,439	0.141	0.339	0.344
20	15.83	0.96	149.09	1.07	0.01614	2,534	2,439	0.047	0.119	0.115
22	15.60	0.96	146.92	1.07	0.02057	3,233	3,108	0.800	2,586	2,486
23	15.53	1.00	152.35	1.00	0.01614	2,459	2,439	0.706	1,736	1,722
24	15.32	1.00	150.29	1.00	0.01614	2,426	2,439	0.612	1,485	1,493
25	15.16	1.00	148.72	1.00	0.01614	2,400	2,439	0.518	1,241	1,263
26	15.17	1.00	148.82	1.00	0.01614	2,402	2,439	0.424	1,018	1,034
27	15.30	1.00	150.09	1.00	0.01614	2,423	2,439	0.330	0.800	0.805
28	15.16	1.00	148.72	1.00	0.01614	2,400	2,439	0.235	0.564	0.573
29	15.03	1.00	148.29	1.00	0.01614	2,507	2,439	0.141	0.353	0.344
30	16.31	0.96	153.01	1.07	0.01506	2,475	2,275	0.054	0.134	0.123
31	15.28	0.96	143.91	1.07	0.02118	3,261	3,200	0.741	2,416	2,371
33	15.38	0.96	144.85	1.07	0.01614	2,462	2,439	0.612	1,507	1,493
35	15.33	0.96	144.38	1.07	0.01614	2,454	2,439	0.518	1,271	1,263
36	15.21	0.96	143.25	1.07	0.01614	2,435	2,439	0.424	1,032	1,034
37	15.38	0.96	144.85	1.07	0.01614	2,462	2,439	0.330	0.812	0.805
38	15.51	0.96	146.07	1.07	0.01614	2,517	2,439	0.235	0.591	0.572
39	16.35	0.96	153.98	1.07	0.01390	2,290	2,099	0.144	0.330	0.302
40	16.33	0.96	153.80	1.07	0.00647	0.665	0.978	0.071	0.176	0.069
Σ	-	-	-	-	0.51085	77,603	77,186	-	34,765	34,677

$\theta = 0^\circ$ Sustentiv pe apă Tab. 3.25

pc	mmCA	k_i	$\frac{P_p}{k_i \cdot h_p}$ N/m ²	k_i'	S_i m ²	$k_i' P_p S_i$ N	$P_{pm} S_i$ N	a_i m	$k_i' P_p S_i a_i$	$P_{pm} S_i a_i$
1	15.45	0.96	145.51	1.07	0.00807	1,291	1,219	0.895	1,155	1,091
2	15.52	1.00	152.25	1.00	0.00807	1,229	1,219	0.800	0.983	0.975
3	15.40	1.00	151.07	1.00	0.00807	1,219	1,219	0.706	0.861	0.861
4	15.40	1.00	151.07	1.00	0.00807	1,219	1,219	0.612	0.746	0.746
5	15.21	1.00	149.21	1.00	0.00807	1,209	1,219	0.518	0.624	0.637
6	14.95	1.00	148.66	1.00	0.00807	1,184	1,219	0.424	0.502	0.517
7	14.41	1.00	141.44	1.00	0.00807	1,147	1,219	0.330	0.377	0.402
8	13.24	1.00	129.88	1.00	0.00807	1,048	1,219	0.235	0.246	0.286
9	13.74	1.00	134.73	1.00	0.00807	1,088	1,219	0.141	0.153	0.172
10	14.11	0.96	132.89	1.07	0.00807	1,179	1,219	0.047	0.055	0.057
11	15.58	0.96	146.73	1.07	0.01405	2,332	2,123	0.889	2,073	1,887
12	15.58	1.00	152.85	1.00	0.01614	2,467	2,439	0.800	1,974	1,951
13	15.53	1.00	152.35	1.00	0.01614	2,459	2,439	0.706	1,736	1,722
14	15.39	1.00	150.78	1.00	0.01614	2,437	2,439	0.612	1,491	1,493
15	15.20	1.00	149.11	1.00	0.01614	2,407	2,439	0.518	1,247	1,263
16	14.86	1.00	145.78	1.00	0.01614	2,353	2,439	0.424	0.998	1,034
17	14.45	1.00	141.76	1.00	0.01614	2,288	2,439	0.330	0.755	0.805
18	14.44	1.00	141.66	1.00	0.01614	2,286	2,439	0.235	0.537	0.573
19	14.13	1.00	138.61	1.00	0.01614	2,237	2,439	0.141	0.315	0.344
20	13.84	0.96	130.34	1.07	0.01614	2,278	2,439	0.047	0.107	0.115
22	15.28	0.96	143.91	1.07	0.02057	3,255	3,108	0.800	2,605	2,486
23	15.47	1.00	151.47	1.00	0.01614	2,465	2,439	0.706	1,726	1,722
24	15.26	1.00	148.72	1.00	0.01614	2,400	2,439	0.612	1,469	1,493
25	14.96	1.00	146.76	1.00	0.01614	2,369	2,439	0.518	1,221	1,263
26	14.69	1.00	144.11	1.00	0.01614	2,326	2,439	0.424	0.986	1,034
27	14.58	1.00	143.09	1.00	0.01614	2,309	2,439	0.330	0.762	0.805
28	14.44	1.00	141.66	1.00	0.01614	2,286	2,4			

D = 10 Sustentatie pe apa Tab. 3 27

pel	η_a	k_f	$\frac{P_p}{k_f \cdot \eta_a \cdot D^3}$ N/m ³	k_f^2	S_i m ²	$k_f^2 \cdot P_p \cdot S_i$ N	$\eta_a \cdot S_i$ N	α °	$k_f^2 \cdot P_p \cdot S_i \cdot \alpha$	$P_p \cdot S_i \cdot \alpha$
1	15,14	0,96	144,47	107	0,00807	1,282	1,219	0,895	1,14	1,091
2	15,37	1,00	150,78	100	0,00807	1,247	1,219	0,800	0,97	0,975
3	15,27	1,00	149,80	100	0,00807	1,209	1,219	0,700	0,854	0,861
4	15,15	1,00	148,62	100	0,00807	1,199	1,219	0,612	0,784	0,791
5	15,04	1,00	147,54	100	0,00807	1,191	1,219	0,510	0,711	0,721
6	14,79	1,00	145,09	100	0,00807	1,171	1,219	0,424	0,647	0,657
7	14,22	1,00	139,50	100	0,00807	1,126	1,219	0,330	0,572	0,582
8	13,10	1,00	128,51	100	0,00807	1,037	1,219	0,235	0,444	0,456
9	13,32	1,00	130,67	100	0,00807	1,054	1,219	0,144	0,349	0,357
10	14,29	0,96	134,58	100	0,00807	1,195	1,219	0,072	0,056	0,057
11	15,38	0,96	144,85	107	0,01405	2,239	2,123	0,889	1,990	1,887
12	15,39	1,00	150,98	100	0,01614	2,437	2,439	0,800	1,950	1,951
13	15,29	1,00	150,00	100	0,01614	2,421	2,439	0,706	1,709	1,722
14	15,17	1,00	148,82	100	0,01614	2,402	2,439	0,612	1,470	1,493
15	14,93	1,00	146,46	100	0,01614	2,364	2,439	0,518	1,225	1,263
16	14,52	1,00	142,46	100	0,01614	2,299	2,439	0,424	0,975	1,034
17	14,03	1,00	137,63	100	0,01614	2,222	2,439	0,330	0,733	0,805
18	13,15	1,00	129,00	100	0,01614	2,082	2,439	0,235	0,489	0,573
19	13,80	1,00	135,38	100	0,01614	2,185	2,439	0,144	0,308	0,344
20	14,24	0,96	134,11	107	0,01614	2,444	2,439	0,047	0,113	0,115
22	15,28	0,96	143,97	107	0,02057	3,256	3,108	0,800	2,605	2,486
23	15,10	1,00	148,72	100	0,01614	2,400	2,439	0,706	1,694	1,722
24	15,02	1,00	147,35	100	0,01614	2,378	2,439	0,612	1,455	1,493
25	14,76	1,00	144,80	100	0,01614	2,337	2,439	0,518	1,211	1,263
26	14,36	1,00	140,87	100	0,01614	2,274	2,439	0,424	0,964	1,034
27	14,27	1,00	139,99	100	0,01614	2,260	2,439	0,330	0,746	0,805
28	14,34	1,00	140,67	100	0,01614	2,271	2,439	0,235	0,534	0,573
29	14,57	1,00	142,36	100	0,01614	2,298	2,439	0,144	0,324	0,344
30	15,32	0,96	144,28	107	0,01506	2,190	2,275	0,054	0,129	0,123
33	13,97	0,96	131,57	107	0,02118	3,065	3,200	0,741	2,271	2,371
34	15,14	0,96	142,39	107	0,01614	2,567	2,439	0,612	1,571	1,493
35	14,97	0,96	140,99	107	0,01614	2,538	2,439	0,518	1,365	1,283
36	14,91	0,96	140,42	107	0,01614	2,528	2,439	0,424	1,072	1,034
37	15,69	0,96	147,77	107	0,01614	2,660	2,439	0,330	0,878	0,805
38	16,27	0,96	153,23	107	0,01614	2,774	2,439	0,235	0,638	0,572
39	16,10	0,96	152,07	107	0,01390	2,320	2,099	0,144	0,315	0,302
40	15,82	0,96	148,99	107	0,00687	1,061	0,978	0,011	0,075	0,069
Σ	-	-	-	-	0,51085	76,067	77,186	-	34,423	34,677

D = 10 Sustentatie pe apa Tab. 3 28

pel	η_a	k_f	$\frac{P_p}{k_f \cdot \eta_a \cdot D^3}$ N/m ³	k_f^2	S_i m ²	$k_f^2 \cdot P_p \cdot S_i$ N	$\eta_a \cdot S_i$ N	α °	$k_f^2 \cdot P_p \cdot S_i \cdot \alpha$	$P_p \cdot S_i \cdot \alpha$
1	15,36	0,96	144,66	107	0,00807	1,284	1,219	0,895	1,149	1,091
2	15,38	1,00	150,88	100	0,00807	1,248	1,219	0,800	0,974	0,975
3	15,24	1,00	149,50	100	0,00807	1,266	1,219	0,706	0,851	0,861
4	15,14	1,00	148,53	100	0,00807	1,199	1,219	0,612	0,734	0,746
5	15,01	1,00	147,25	100	0,00807	1,188	1,219	0,518	0,615	0,631
6	14,76	1,00	144,80	100	0,00807	1,169	1,219	0,424	0,496	0,517
7	14,19	1,00	139,20	100	0,00807	1,123	1,219	0,330	0,371	0,402
8	13,11	1,00	128,61	100	0,00807	1,038	1,219	0,235	0,244	0,266
9	13,36	1,00	131,06	100	0,00807	1,058	1,219	0,144	0,149	0,172
10	14,40	0,96	135,62	100	0,00807	1,204	1,219	0,047	0,057	0,057
11	15,37	0,96	144,75	107	0,01405	2,238	2,123	0,889	1,990	1,887
12	15,39	1,00	150,98	100	0,01614	2,437	2,439	0,800	1,950	1,951
13	15,29	1,00	149,99	100	0,01614	2,421	2,439	0,706	1,709	1,722
14	15,16	1,00	148,72	100	0,01614	2,400	2,439	0,612	1,469	1,493
15	14,90	1,00	146,12	100	0,01614	2,359	2,439	0,518	1,222	1,263
16	14,47	1,00	141,95	100	0,01614	2,291	2,439	0,424	0,971	1,034
17	13,96	1,00	136,95	100	0,01614	2,210	2,439	0,330	0,729	0,805
18	13,07	1,00	128,22	100	0,01614	2,070	2,439	0,235	0,486	0,573
19	13,87	1,00	135,48	100	0,01614	2,187	2,439	0,144	0,308	0,344
20	14,32	0,96	134,87	107	0,01614	2,428	2,439	0,047	0,114	0,115
22	15,27	0,96	143,81	107	0,02057	3,254	3,108	0,800	2,603	2,486
23	15,17	1,00	148,82	100	0,01614	2,402	2,439	0,706	1,696	1,722
24	14,96	1,00	146,76	100	0,01614	2,369	2,439	0,612	1,450	1,492
25	14,77	1,00	144,40	100	0,01614	2,331	2,439	0,518	1,207	1,263
26	14,32	1,00	140,48	100	0,01614	2,267	2,439	0,424	0,961	1,034
27	14,19	1,00	140,38	100	0,01614	2,266	2,439	0,330	0,748	0,805
28	14,30	1,00	140,81	100	0,01614	2,264	2,439	0,235	0,532	0,573
29	14,62	1,00	144,72	100	0,01614	2,315	2,439	0,144	0,326	0,344
30	15,32	0,96	144,28	107	0,01506	2,190	2,275	0,054	0,129	0,123
33	13,97	0,96	131,57	107	0,02118	3,065	3,200	0,741	2,255	2,371
34	15,14	0,96	142,39	107	0,01614	2,567	2,439	0,612	1,568	1,493
35	14,97	0,96	140,99	107	0,01614	2,538	2,439	0,518	1,378	1,283
36	14,91	0,96	140,42	107	0,01614	2,528	2,439	0,424	1,085	1,034
37	15,69	0,96	147,77	107	0,01614	2,660	2,439	0,330	0,861	0,805
38	16,27	0,96	153,23	107	0,01614	2,774	2,439	0,235	0,604	0,572
39	16,10	0,96	152,07	107	0,01390	2,320	2,099	0,144	0,351	0,302
40	15,82	0,96	148,99	107	0,00687	1,061	0,978	0,011	0,075	0,079
Σ	-	-	-	-	0,51085	76,134	77,196	-	34,423	34,677

Calculul componentei de asietă Res Tab. 3 29

Tabel centralizator.

$\Sigma S_i = 0,51085 \text{ m}^2 \approx 0,511 \text{ m}^2$; $m = 7,87 \text{ kg}$; $P_p = \frac{mg}{\Sigma S_i} = 151,086 \approx 151 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$; $\Sigma P_p S_i = 77,186 \text{ N}$

$\Sigma \eta_a S_i \alpha_i = 34,677 \text{ Nm}$; $a_m = \frac{\Sigma P_p S_i \alpha_i}{\Sigma P_p S_i} = 0,449 \text{ m}$.

D	unghiul de asietă θ	unit. măsur.	Ecran nedeforabil				Sustentatie pe apa			
			0	5	10	15	0	5	10	15
1	unghiul de asietă θ	min.	0	5	10	15	0	5	10	15
2	$\Sigma k_f^2 P_p S_i$	N	17,828	77,869	77,673	77,603	76,024	76,386	76,067	76,134
3	$\Sigma r_1 = \frac{\Sigma k_f^2 P_p S_i \alpha_i - \Sigma P_p S_i a_m}{\Sigma k_f^2 P_p S_i}$	adim.	+0,008	+0,009	+0,006	+0,006	-0,005	-0,010	-0,015	-0,014
4	$\Sigma k_f^2 P_p S_i \alpha_i$	Nm	35,253	35,115	34,835	34,765	35,026	34,656	34,423	34,401
5	$a = \frac{\Sigma k_f^2 P_p S_i \alpha_i}{\Sigma k_f^2 P_p S_i}$	m	0,453	0,451	0,448	0,448	0,456	0,454	0,453	0,452
6	$\Sigma r_2 = \frac{a - a_m}{a}$	adim.	+0,009	+0,004	+0,002	+0,002	+0,015	+0,011	+0,009	+0,007
7	$R_{as} = \sin \theta \Sigma k_f^2 P_p S_i$	N	0	0,113	0,225	0,341	0	0,112	0,224	0,339

unghi
relat
meto
ativ
al,
ste
siuni
elect
siste
=0,5
unui
sau ar
creste
marea
asieta
dea la
la vit
siune
perime
pernă
ponent
pernă

pentru sustentare pe apă, în tabelul 3.29 au fost calculate mărirea și punctul de aplicație a componentei de asietă, în funcție de unghiul de asietă θ . În același tabel sînt prezentate și erorile relative comise prin utilizarea presiunii medii din pernă p_{pm} , metodă care simplifică mult calculele. Se observă că erorile relative ϵ_{r1} și ϵ_{r2} nu depășesc 1,5% pentru nici o situație de calcul, deci pentru determinarea mărimii R_{as} și poziției a, a componentei de asietă, se poate utiliza presiunea medie, în locul presiunilor locale.

Calcululele prezentate au fost executate cu un calculator electronic Felix CE-126B.

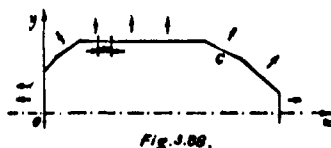
3.3. Rezistența de jet

În timpul deplasării navei cu pernă de aer, din cauza rezistenței de val, mai ales la viteza critică dată de $F_L = v / \sqrt{gL} = 0,5 \dots 0,7$, se produce deformarea suprafeței apei, cu formarea unui val înalt în prova, care provoacă în această zonă micșorarea sau anularea luminii, intrarea în apă a fustei flexibile și deci, creșterea rezistenței hidrodinamice de formă a navei. Pentru atenuarea acestui efect defavorabil, navele cu pernă de aer navigă cu asietă longitudinală pozitivă, ușor apupate, după cum se poate vedea la nava SRN5 (fig.2.16). Același efect de apupare se produce la viteze mari din cauza deplasării spre prova a centrului de presiune al apei asupra pernei navei.

În aceste cazuri lumina navei nu este constantă de-a lungul perimetrului pernei. Neuniformitatea distribuției de presiune din pernă și a luminii de-a lungul perimetrului provoacă apariția componentei de jet R_j .

3.3.1 Cazul navei cu asietă dreaptă

Considerăm distribuția de presiune din perna de aer definită de domeniul din fig.3.88:



$$x = (0, L_p^e) ;$$

$$y = (0, \pm B_p / 2)$$

Rezultanta cantităților de mișcare ale aerului scăpat din pernă (fig.3.39), pe perimetrul pernei C, este:

$$R_j' = \int_c v dm = \int_c \sqrt{2p_p / \rho_a} \rho_a D_p h \sqrt{2p_p / \rho_a} dC \quad (3.9)$$

Rezistența de jet R_j este componenta orizontală a acestei rezultante, deci considerînd că δ este unghiul mediu de inclinare al vectorului vitezei aerului scăpat din pernă (fig.3.39), putem scrie:

$$R_j = R_j' \cos \delta = \cos \delta \int_c 2p_p D_p h dC \quad (3.10)$$

D_p - coeficientul de debit al pernei, definit ca raportul dintre debitul de aer scăpat și debitul de aer ce ar scăpa pe întreaga lumină h .

În cazul navei cu asietă dreaptă ($h=ct$) și cu distribuția uniformă de presiune în pernă ($p_p = ct$) se poate scrie .:

$$R_j = 2p_p D_p h \cos \delta \int_c dC = 0 \quad (3.11)$$

întrucît perimetrul pernei este un contur închis. În cazul navei cu asietă dreaptă, dacă distribuția de presiuni este neuniformă ($p_p \neq ct$), rezultă:

$$R_j = 2D_p h \cos \delta \int_c p_p dC \neq 0 \quad (3.12)$$

Înțelegem astfel că o navă cu distribuție de presiune neuniformă, sustentată pe un ecran nădeformabil orizontal, trebuie amarată, pentru a nu se deplasa sub efectul componentei de jet.

Pentru ca rezistența de val a navei să nu crească datorită distribuției de presiune neuniforme, prin proiectare se urmărește realizarea uniformității cîmpului de presiune din perna de aer /74/.

3.3.2. Cazul navei cu asietă pozitivă

În acest caz (fig.3.39) aerul are în prova o secțiune de scăpare mai mare, astfel încît distribuția de presiune din pernă nu mai poate fi uniformă. Conform relației (3.10), rezultă:

$$R_j = \int_c v \cos \delta dm = 2D_p \cos \delta \int_c p_p h dC \neq 0 \quad (3.13)$$

ceea ce înseamnă că pentru navă cu asietă pozitivă, apare o componentă orizontală, conținută în planul diametral datorită simetriei pernei, a cărei orientare este contrară sensului de deplasare al navei și care este rezistența de jet.

Dacă experimentăm o navă cu pernă de aer la care împingerea propulsorului este nulă, pentru un unghi oarecare de asietă

na
pul
aut
niv
urm
sup
tiv
(E
sco
sco

pozitivă θ , vor apare cele două componente $R_j + R_{as}$, al cărei efect însumat poate fi măsurat direct, ca forța ce solicită cablul de fixare al navei (fig.3.39).

3.3.3. Rezistența de jet a navei O23E

Determinarea acestei componente de rezistență a fost făcută pe modelul prezentat la 3.21, folosindu-se datele din tabelul 3.19 și 3.20.

Poziția în plan a modelului a fost fixată cu ajutorul unor fire reglate astfel, încît să aibă componente nule pe direcția forțelor de jet și de sustentanță (fig.3.89).

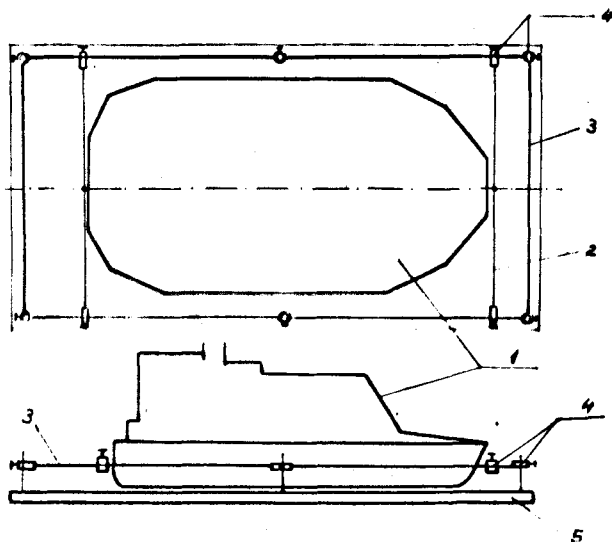


Fig.3.89 Fixarea modelului.

- 1.- modelul experimentat; 2.- fir de fixare;
- 3.- bară de ghidare; 4.- piesă culisantă cu șuruburi de blocare a firului și a piesei.

Pentru măsurarea forțelor orizontale, care, constituie suma $R_j + R_{as}$, autorul a conceput o instalație dinamometrică de tipul balanțelor analitice (fig. 3.90), care a fost realizată prin autodotare în laboratorul Instalații nave pernă aer (INPA) al Universității Galați (fig. 3.91).

Sensibilitatea obținută la această instalație, la care s-a urmărit ca frecările să fie reduse la minimum este 0,002 mN, mult superioară celei necesare experimentărilor făcute. Din acest motiv, erorile relative de măsurare sînt de ordinul miimilor ($\epsilon_r = 0,002$) pentru o forță curentă de 100 mN.

S-a încercat și utilizarea unei punți tensometrice în acest scop, dar precizia de măsurare a rezultat mult mai mică, ea fiind condiționată de mărimea scalei galvanometrului de măsurare.

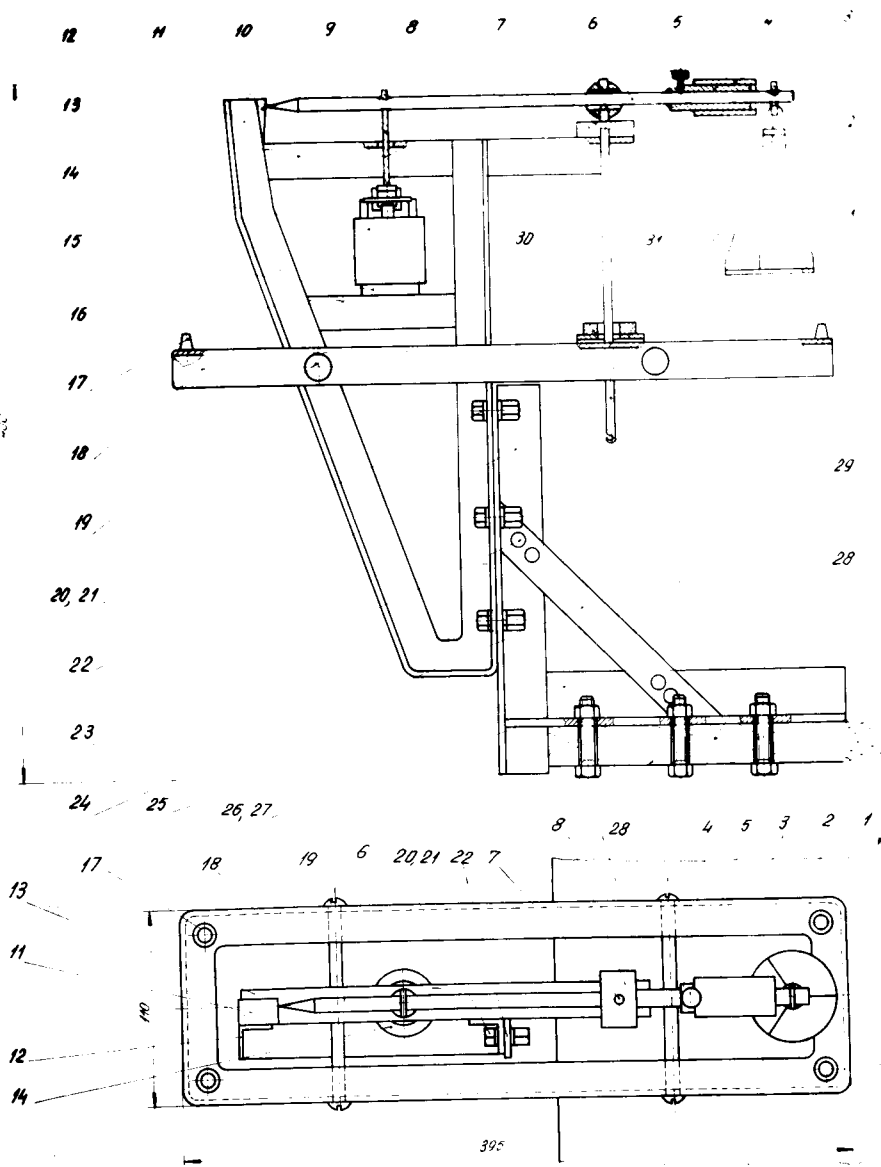


Fig. 3.9.

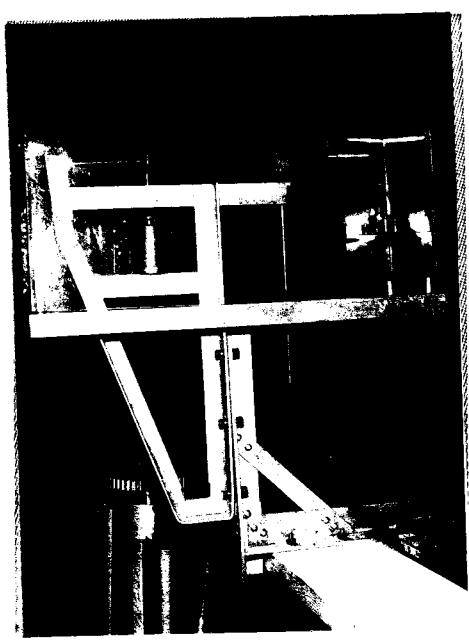
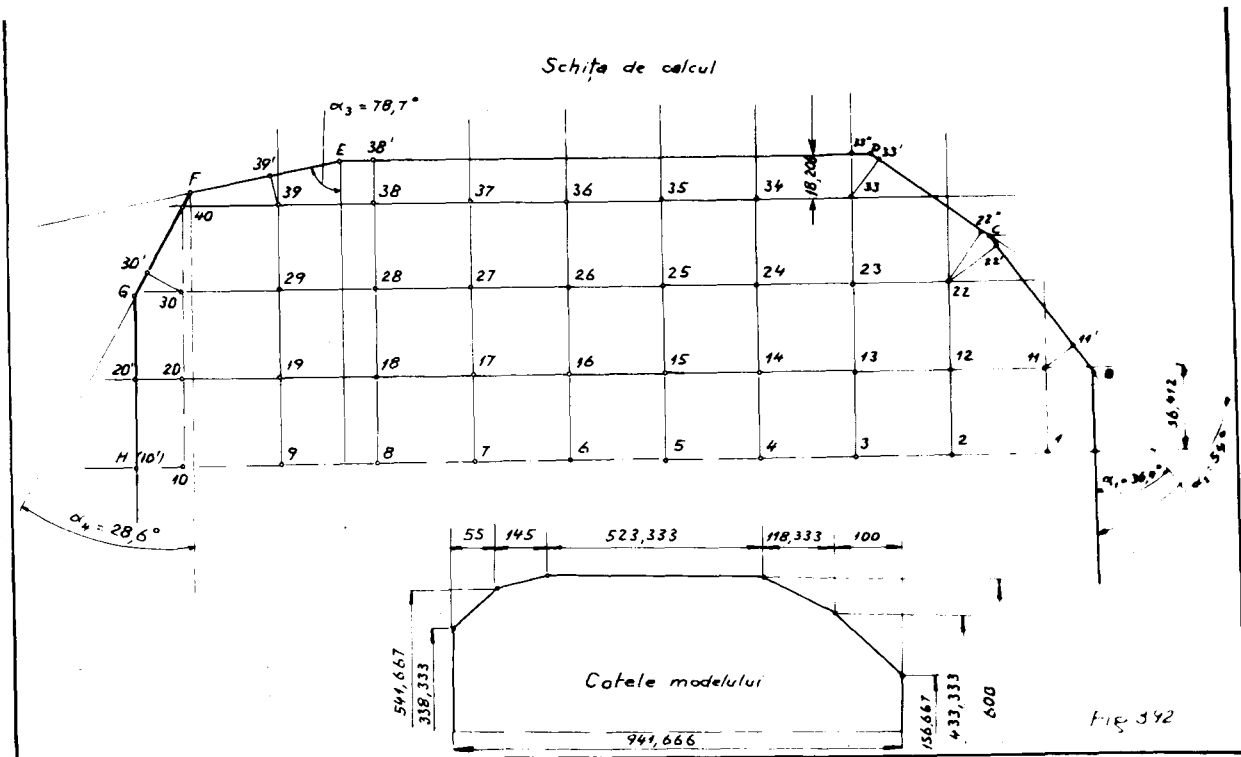


Fig. 3.91.

Pentru calcularea componentei de jet utilă
zăm formula (3.10),
care în cazul navei
asietă dreaptă, ia f
ma (3.12).

Perimetrul de contur închis al pernei de aer este format din segmente de linie dreaptă (fig.3.92), astfel încît vom executa calculele, prin integrarea de-a lungul acestor segmente.



Rezultanta componentei de jet pe un segment de perimetru i este:

$$R_{ji} = 2D_p \cos \delta \cos \alpha_i \int h_p dC \quad (3.14)$$

α_i - unghiul dintre segmentul i considerat și planul transversal al navei (fig.3.92) sau pentru că unghiul δ nu este cunoscut

$$R_{ji} / \cos \delta = 2D_p \cos \alpha_i \int h_p dC \quad (3.15)$$

Pentru reprezentarea funcției $h=f(C)$, am considerat că nava se înclină longitudinal în jurul axei transversale care trece prin centrul de presiune al pernei. Intersecția acestei axe cu planul diametral al navei dă punctul C (fig. 3.93), care la echilibru coincide cu proiecția centrului de masă al navei în planul pernei.

Calculul tabelar pe baza căruia s-a reprezentat funcția $h=f(C)$ este prezentat în tabelul 3.30.

În tabelele 3.31 și 3.32 sînt prezentate calculele tabelare ale funcțiilor :

$$R_j / \cos \delta = f(h, p_p, C) \quad \text{pentru unghiurile de asietă longi-}$$

tudinală $\theta=0; 5^{\circ}; 10^{\circ};$ și 15° , în cazurile ecran nedeformabil și respectiv, sustentație pe apă.

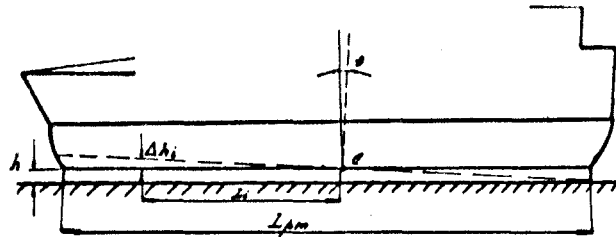


Fig 3.93.

Tab 3.30

Calculul funcției $h=f(c)$

Punctul	L (mm)	$\theta = 5^{\circ}; \operatorname{tg} \theta = 4,455 \cdot 10^{-3}$		$\theta = 10^{\circ}; \operatorname{tg} \theta = 2,910 \cdot 10^{-2}$		$\theta = 15^{\circ}; \operatorname{tg} \theta = 4,365 \cdot 10^{-2}$	
		$\Delta h_i = L \cdot \operatorname{tg} \theta$ (mm)	$h_i = h + \Delta h_i$ (mm)	$\Delta h_i = L \cdot \operatorname{tg} \theta$ (mm)	$h_i = h + \Delta h_i$ (mm)	$\Delta h_i = L \cdot \operatorname{tg} \theta$ (mm)	$h_i = h + \Delta h_i$ (mm)
A, B	+471	+0,686	3,686	+1,371	4,371	+2,056	5,056
C	+371	+0,540	3,540	+1,080	4,080	+1,619	4,619
D	+254	+0,370	3,370	+0,739	3,739	+1,109	4,109
E	-269	-0,392	2,608	-0,783	2,217	-1,164	1,836
F	-418	-0,609	2,391	-1,216	1,784	-1,825	1,175
G, H	-471	-0,686	2,314	-1,371	1,629	-2,056	0,944

Aceste calcule au putut fi efectuate cu ajutorul funcțiilor $h=f(c)$ și $p_p/\rho w^2 = h_p = f(c)$, reprezentate grafic în figurile 3.94 ... 3.97 pentru ecran nedeformabil și în figurile 3.98 ... 3.101 pentru sustentație pe apă.

La determinarea prin calcul a funcției $h=f(c)$ în cazul sustentației pe apă, întrucît lumina h nu poate fi măsurată direct, am recurs la concluziile lucrării /48/, conform căreia la aparatele tip cameră lumina h variază ca și la ecran nedeformabil. Totuși, din cauza distribuției neuniforme de presiune din pernă, în cadrul cercetărilor ulterioare, cu ajutorul instalațiilor construite adhoc, vor trebui făcute corecții pentru funcția $h=f(c)$ determinată în modul susmenționat.

Ca și la componenta de asietă R_{as} , a fost verificată posibilitatea calculării componente de jet R_j cu ajutorul valorilor medii ale luminii h și presiunii din pernă, conform formulei (5.8). Prin acest procedeu, nu se poate ține cont de diferențele

Calculul componentei de jet R_j în funcție de unghiul de asietă θ , pentru ecran nedeformabil.

Tab. 3.31

$D_p = 0,70 ; R_{ji} / \cos r = 4 D_p \cos \alpha_i \int h p_p dC$

Segment	α_i (grad)	$\cos \alpha_i$	$\theta = 0 ; h = 3 \text{ mm}$		$\theta = 5'$		$\theta = 10'$		$\theta = 15'$	
			$\int h p_p dC$	$R_{ji} / \cos r$ (N)	$\int h p_p dC$	$R_{ji} / \cos r$ (N)	$\int h p_p dC$	$R_{ji} / \cos r$ (N)	$\int h p_p dC$	$R_{ji} / \cos r$ (N)
A-B	0	+1	12,06	+0,1014	0,050	+0,140	0,052097	+0,145872	0,071688	+0,200726
B-C	36,4	+0,805	21,14	+0,1776	0,084	+0,190	0,094264	+0,212471	0,123976	+0,279442
C-D	54,0	+0,587	12,85	+0,1080	0,067	+0,110	0,076082	+0,125048	0,090599	+0,148909
E-F	281,3	-0,196	6,10	-0,0512	0,051	-0,028	0,023479	-0,012885	0,035188	-0,019311
F-G	331,4	-0,878	15,88	-0,1334	0,036	-0,089	0,032177	-0,079105	0,023263	-0,057190
G-H	360	-1	47,50	-0,2260	0,059	-0,169	0,043284	-0,121196	0,025550	-0,071540
$R_{j \text{ total}} / \cos r = \sum R_{ji} / \cos r =$				-0,0236		+0,154		+0,270205		+0,481036

Calculul componentei de jet R_j în funcție de unghiul de asietă θ , pentru sustentatie pe apă.

Tab 3.32

$D_p = 0,70 ; R_{ji} / \cos r = 4 D_p \cos \alpha_i \int h p_p dC$

Segment	α_i (grad)	$\cos \alpha_i$	$\theta = 0 ; h = 3 \text{ mm}$		$\theta = 5'$		$\theta = 10'$		$\theta = 15'$	
			$\int h p_p dC$	$R_{ji} / \cos r$ (N)	$\int h p_p dC$	$R_{ji} / \cos r$ (N)	$\int h p_p dC$	$R_{ji} / \cos r$ (N)	$\int h p_p dC$	$R_{ji} / \cos r$ (N)
A-B	0	+1	0,035704	+0,099971	0,043624	+0,122147	0,051571	+0,144399	0,061050	+0,170940
B-C	36,4	+0,805	0,077443	+0,174558	0,092817	+0,209210	0,115499	+0,260336	0,123805	+0,279056
C-D	54,0	+0,587	0,064434	+0,105904	0,072148	+0,118583	0,079668	+0,130959	0,093633	+0,153896
E-F	281,3	-0,196	0,069382	-0,038077	0,057484	-0,031548	0,046353	-0,025444	0,034877	-0,019141
F-G	331,4	-0,878	0,050546	-0,124261	0,041676	-0,102458	0,030840	-0,075818	0,017891	-0,043982
G-H	360	-1	0,069995	-0,195986	0,055358	-0,155002	0,039060	-0,109368	0,023086	-0,064641
$R_{j \text{ total}} / \cos r = \sum R_{ji} / \cos r =$				+0,022109		+0,160932		+0,325094		+0,476128

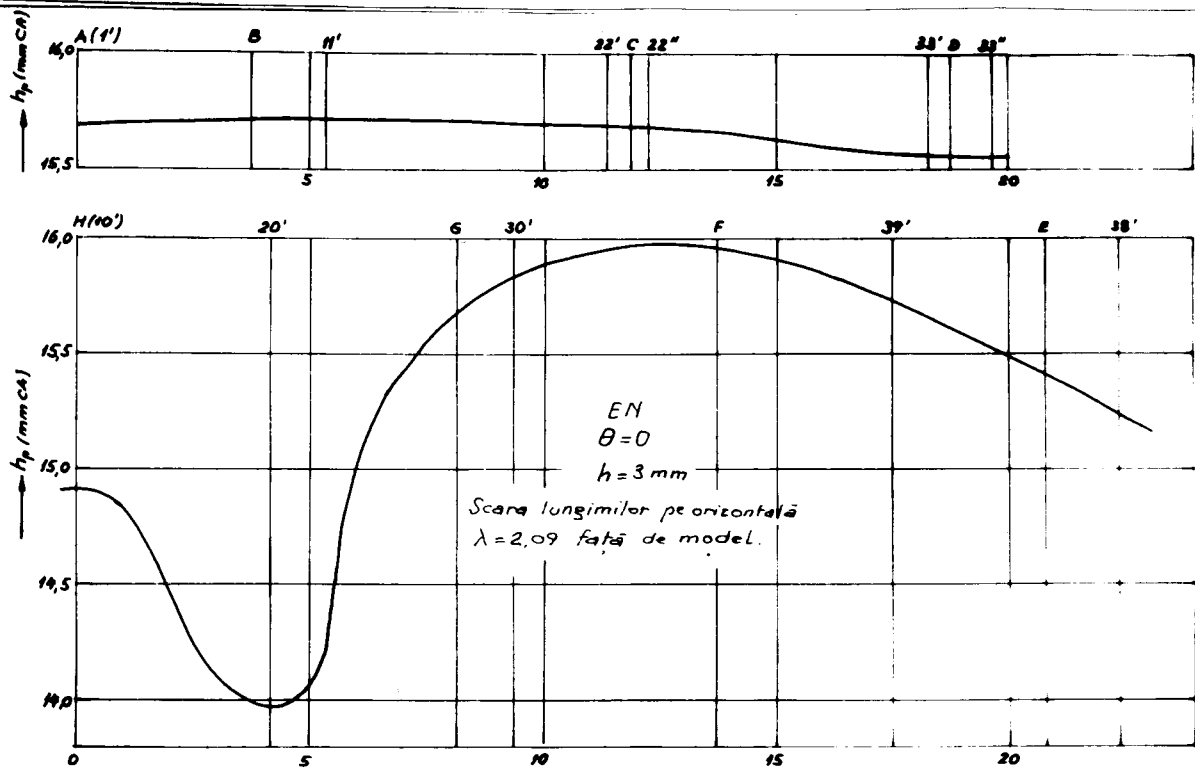


Fig. 3.94.

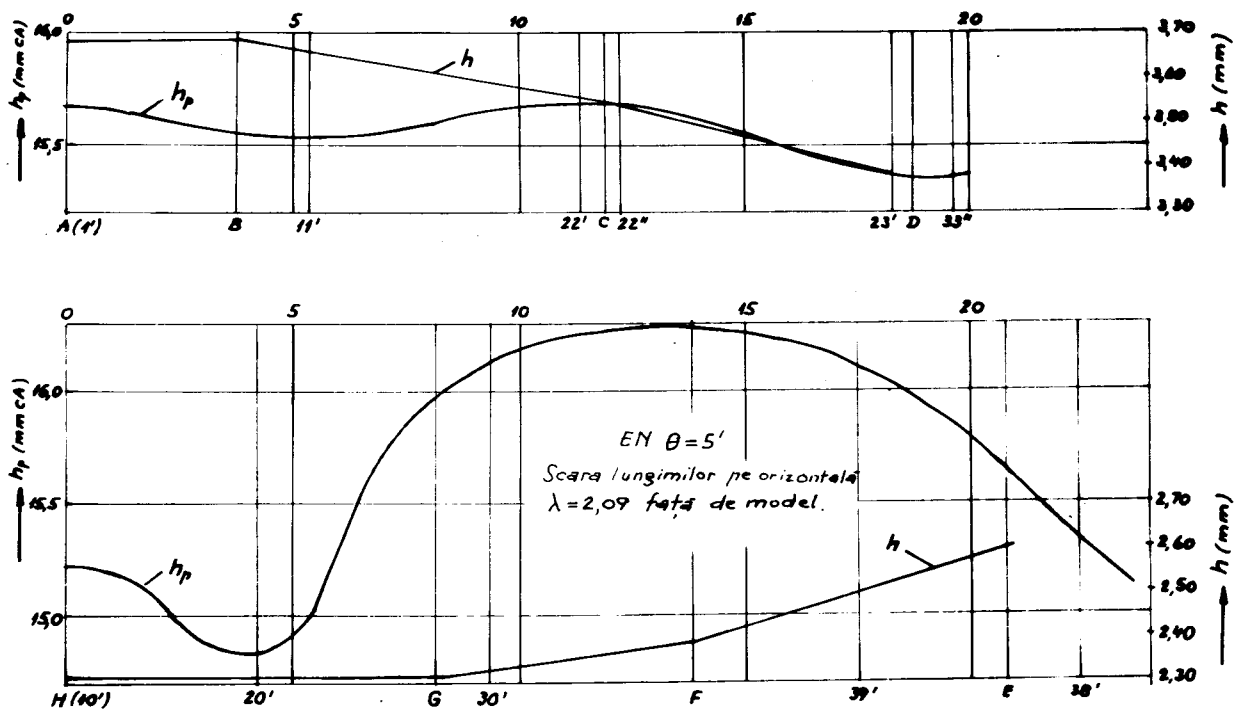


Fig. 3.95.

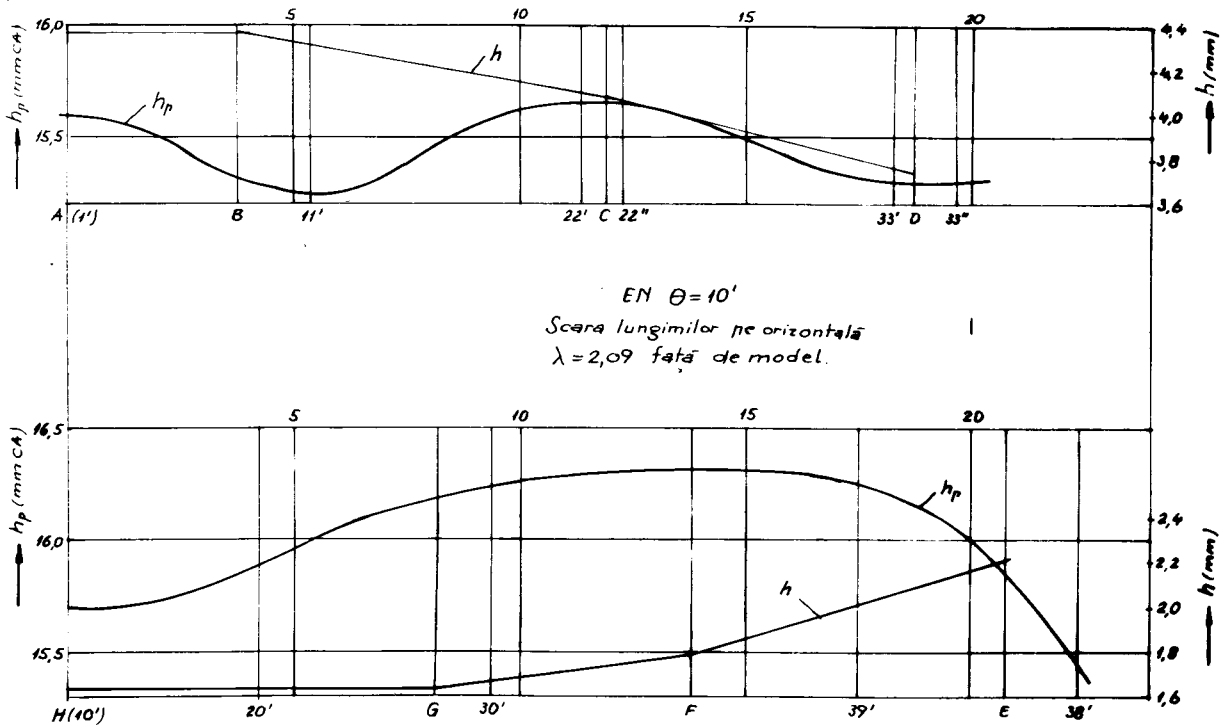


Fig. 3.96.

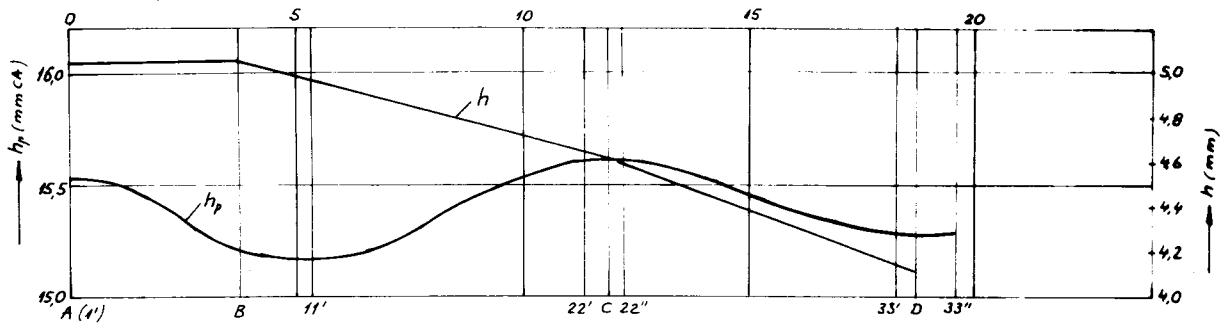
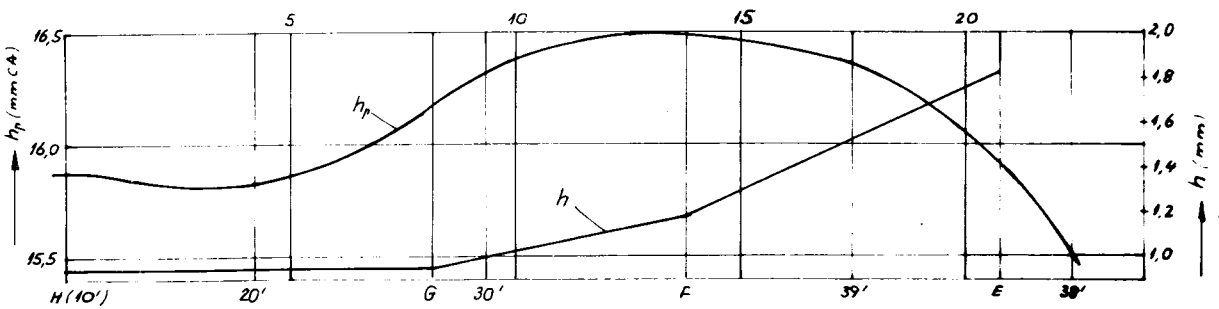
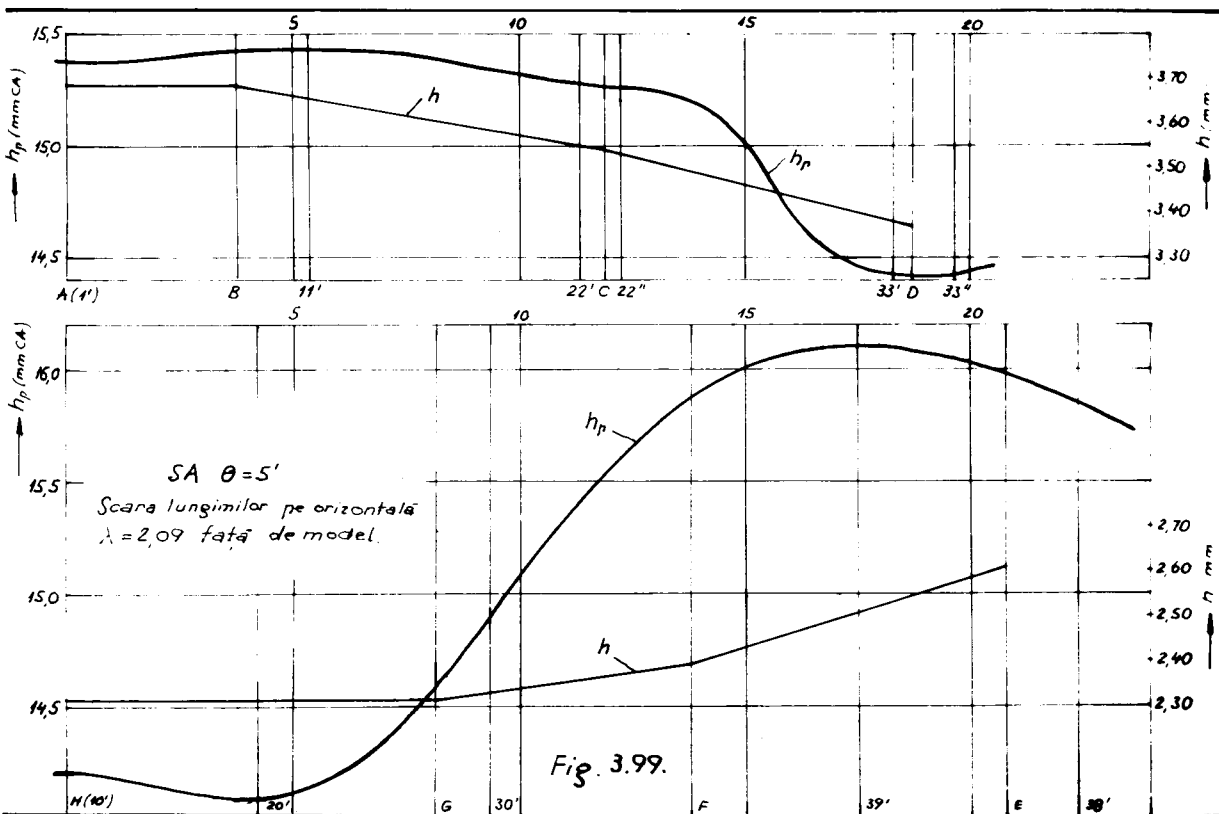
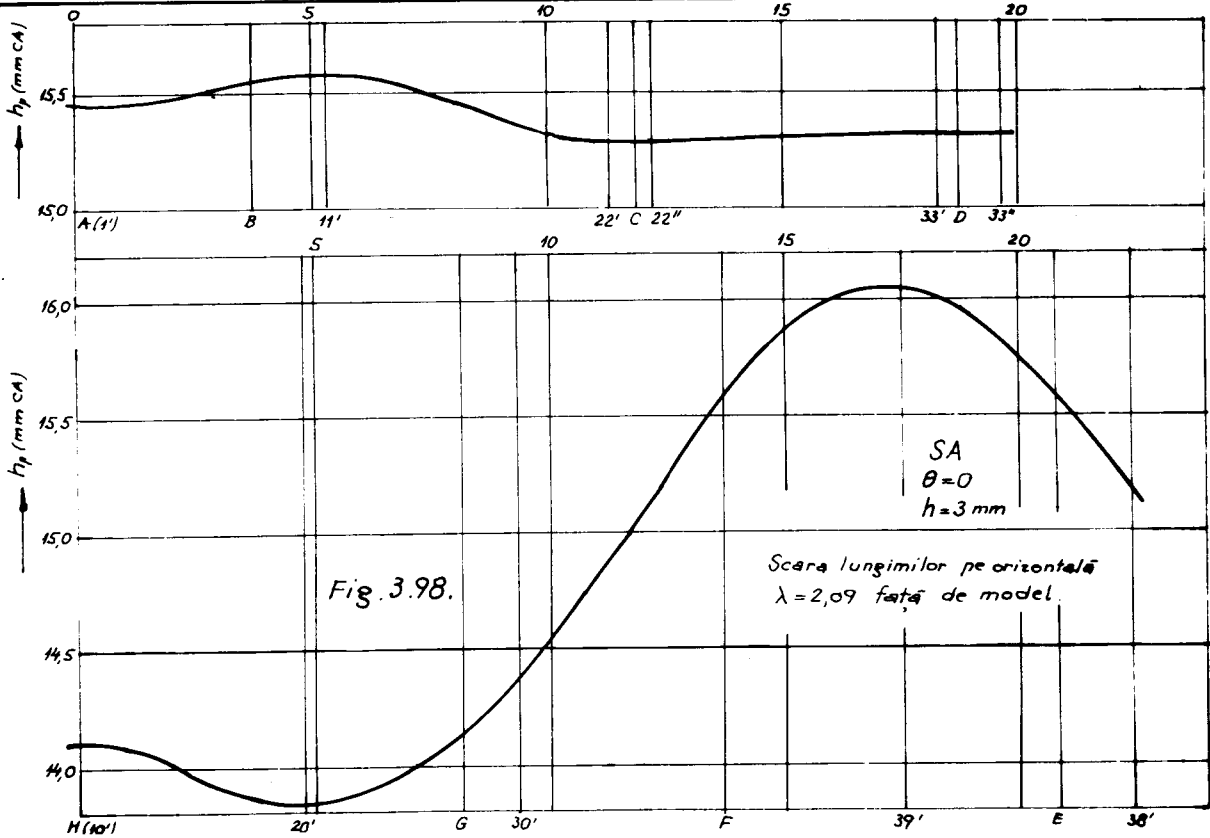


Fig. 3.97.





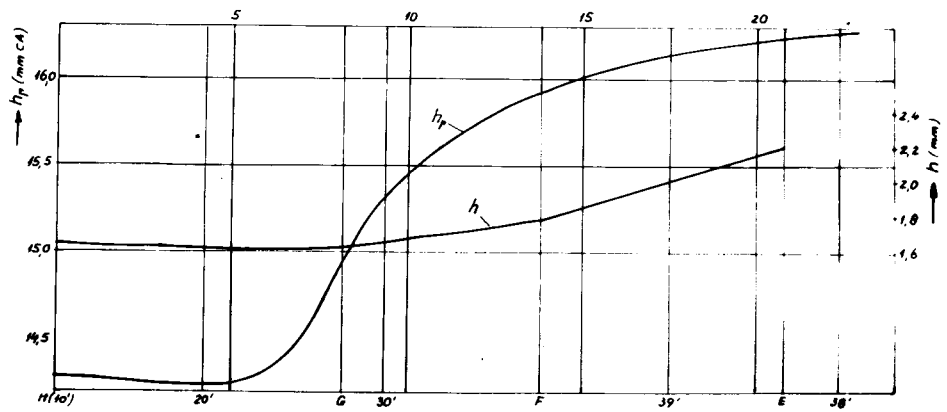
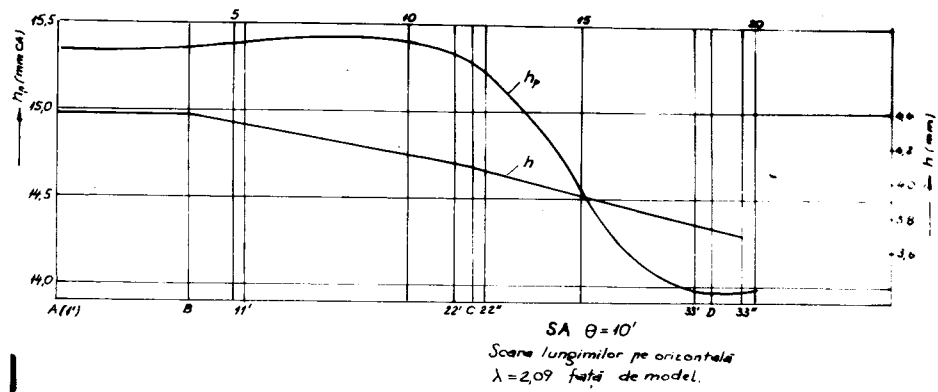


Fig. 3.100.

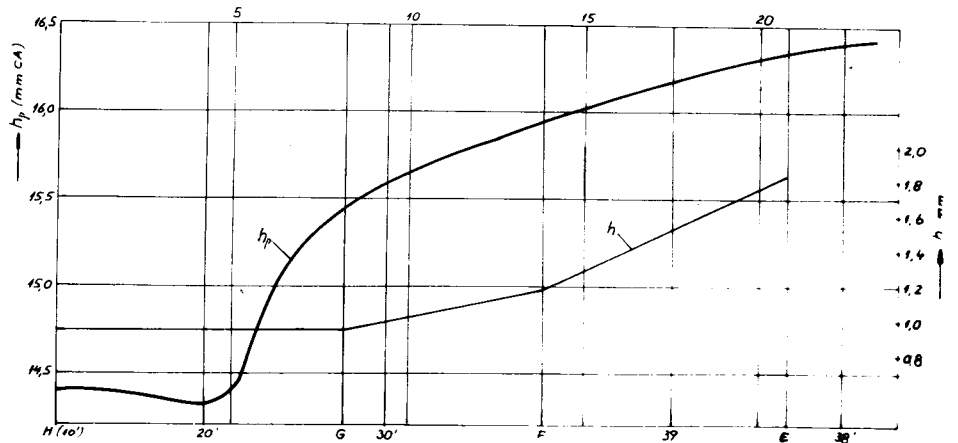
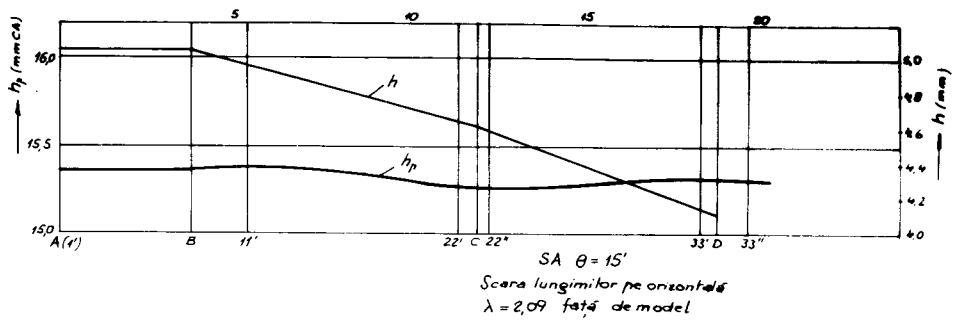


Fig. 3.101.

care apar între distribuțiile de presiune la ecran nedeformabil și sustentaj pe apă, în ambele cazuri rezultând aceleași valori care în tabelul 3.33 au fost notate R_{jm} .

Calculul funcției $R_{jm} = f(\theta)$ cu valoarea medie p_{pm}											
$R_{jim} / \cos \alpha = 4 D_p \cos \alpha; h_{mi} p_{pm} C_i$ $D_p = 0,70$ $p_{pm} = 151 \text{ N/m}^2$											
Segm.	α_i (grad)	$\cos \alpha_i$	C_i (m)	$\theta = 0$		$\theta = 5'$		$\theta = 10'$		$\theta = 15'$	
				h_{mi} (10^{-2} m)	$R_{ji} / \cos \alpha$ (N)	h_{mi} (10^{-2} m)	$R_{ji} / \cos \alpha$ (N)	h_{mi} (10^{-2} m)	$R_{ji} / \cos \alpha$ (N)	h_{mi} (10^{-2} m)	$R_{ji} / \cos \alpha$ (N)
A-B	0	+1	0,0784	3,000	+0,09944	3,686	+0,12218	4,371	+0,14489	5,056	+0,16759
B-C	36,4	+0,805	0,1703	3,000	+0,17388	3,613	+0,20942	4,225	+0,24492	4,837	+0,28039
C-D	54,0	+0,587	0,1432	3,000	+0,10662	3,455	+0,12176	3,909	+0,13874	4,364	+0,15510
E-F	281,3	-0,196	0,1484	3,000	-0,03689	2,499	-0,03074	2,001	-0,02460	1,505	-0,01851
F-G	331,4	-0,878	0,1160	3,000	-0,12918	2,352	-0,101302	1,706	-0,07348	1,059	-0,04562
G-H	360	-1	0,1703	3,000	-0,21601	2,314	-0,16661	1,629	-0,11729	0,944	-0,06797
$\Sigma R_{jim} / \cos \alpha = R_{jm} / \cos \alpha$					-0,00214		+0,155		+0,313		+0,471
Valoarea $R_{jen} / \cos \alpha$ calculată în tab. 3.31					-0,0236		+0,154		+0,270		+0,481
Eroarea relativă $\epsilon_{ren} = \frac{R_{jen} / \cos \alpha - R_{jm} / \cos \alpha}{R_{jen} / \cos \alpha}$					+0,909		-0,0065		-0,159		+0,021
Valoarea $R_{jse} / \cos \alpha$ calculată în tab. 3.32.					+0,0221		+0,161		+0,325		+0,476
Eroarea relativă $\epsilon_{rse} = \frac{R_{jse} / \cos \alpha - R_{jm} / \cos \alpha}{R_{jse} / \cos \alpha}$					+1,097		+0,037		+0,037		+0,010

Erorile relative comise astfel ajung pînă la $\epsilon_r = 109,7\%$, deci calcularea componentei de jet cu ajutorul valorilor medii pentru lumina h și presiunea din pernă p este inacceptabilă.

În tabelele 3.34 și 3.35 sînt prezentate măsurătorile directe ale sumei forțelor $R_j + R_{as}$, pentru ecran nedeformabil și respectiv pentru sustentaj pe apă, ^{efectuate} cu ajutorul balanței din fig. 3.90.

Reprezentînd grafic aceste date (fig. 3.102 și 3.103) observăm că funcțiile $(R_j + R_{as}) = f(\theta)$ sînt liniare. Pentru determinarea lor, în tabelul 3.36 am folosit procedeul imaginat de Askovitz pentru metoda celor mai mici pătrate /80/.

Ecuatia generală a dreptelor $(R_j + R_{as}) = f(\theta)$ este:

$$(R_j + R_{as}) = a\theta + b \quad (3.14)$$

- pentru ecran nedeformabil

$$a = \frac{n_{en} [\Sigma \theta (R_j + R_{as})]_{en} - (\Sigma \theta)_{en} \Sigma (R_j + R_{as})_{en}}{n_{en} (\Sigma \theta^2)_{en} - (\Sigma \theta)^2_{en}} = 0,053679 \quad (3.15)$$

$$b = \frac{(\sum \theta)_{en}^2 \sum (R_j + R_{as})_{en} - (\sum \theta)_{en} [\sum \theta (R_j + R_{as})]_{en}}{n_{en} (\sum \theta^2)_{en} - (\sum \theta)_{en}^2} = -0,012489 \quad (3.16)$$

$$(R_j + R_{as})_{en} = 0,053679 \theta - 0,012489 \quad (3.17)$$

-pentru sustentatie pe apă:

$$a = \frac{n_{sa} [\sum \theta (R_j + R_{as})]_{sa} - (\sum \theta)_{sa} \sum (R_j + R_{as})_{sa}}{n_{sa} (\sum \theta^2)_{sa} - (\sum \theta)_{sa}^2} = 0,052617 \quad (3.18)$$

Măsurători directe pentru $R_j + R_{as}$ Tab. 3.34
 $\Sigma Z = 62 \text{ mm}$ Ecran nedetormabil

Nr. crt	Z_{pv} (mm)	Z_{pp} (mm)	ΣZ (mm)	$A_{21} - Z_2 - Z_3$ (mm)	θ (min)	$R_j + R_{as}$ S (gr)	$R_j + R_{as}$ (N)
1	45,5	22,0	67,5	+5,5	+19,42	107,03	1,050
2	45,0	21,5	66,5	+4,5	+15,89	83,79	0,822
3	45,0	21,5	66,5	+4,5	+15,89	89,30	0,876
4	27,0	39,0	66,0	+4,0	+14,12	78,19	0,767
5	26,5	38,0	64,5	+2,5	+8,82	44,24	0,434
6	26,5	38,5	65,0	+3,0	+10,57	58,92	0,578
7	27,0	38,5	65,5	+3,5	+12,36	63,71	0,625
8	27,0	39,0	66,0	+4,0	+14,12	74,11	0,727
9	45,5	21,0	66,5	+4,5	+15,89	86,24	0,846
10	45,0	21,0	66,0	+4,0	+14,12	75,43	0,740
11	45,0	20,5	65,5	+3,5	+12,36	70,54	0,692
12	44,0	22,0	66,0	+4,0	+14,12	69,83	0,685
13	43,5	22,0	65,5	+3,5	+12,36	67,99	0,667
14	44,0	21,0	65,0	+3,0	+10,59	53,82	0,528
15	44,0	21,5	65,5	+3,5	+12,36	65,75	0,645
16	43,5	20,5	64,0	+2,0	+7,06	35,27	0,346
17	43,5	21,0	64,5	+2,5	+8,82	48,73	0,478
18	43,5	21,5	65,0	+3,0	+10,59	56,47	0,554
19	44,0	20,0	64,0	+2,0	+7,06	39,96	0,392
20	43,5	20,0	63,5	+1,5	+5,30	27,12	0,266
21	43,0	20,0	63,0	+1,0	+3,53	17,64	0,175
22	42,5	20,5	63,0	+1,0	+3,53	15,70	0,154
23	43,0	20,5	63,5	+1,5	+5,30	29,56	0,290
24	42,5	20,5	63,0	+1,0	+3,53	18,14	0,178
25	43,5	20,5	64,0	+2,0	+7,06	37,72	0,370
26	43,5	20,5	64,0	+2,0	+7,06	36,60	0,359
27	43,0	19,0	62,0	0	0	1,53	0,015
28	42,5	19,5	62,0	0	0	0,51	0,005
29	43,0	19,5	62,5	+0,5	+1,77	9,17	0,090
30	42,5	20,0	62,5	+0,5	+1,77	5,40	0,053

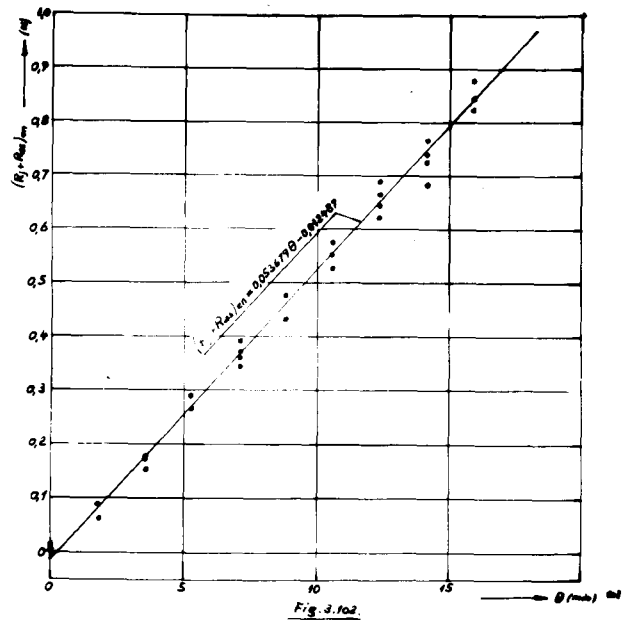
Măsurători directe pentru $R_j + R_{as}$ Tab. 3.35
 $\Sigma Z = 58 \text{ mm}$ Sustenție pe apă

Nr. crt	Z_{pv} (mm)	Z_{pp} (mm)	ΣZ (mm)	$A_{21} - Z_2 - Z_3$ (mm)	θ (min)	$R_j + R_{as}$ S (gr)	$R_j + R_{as}$ (N)
1	31,0	30,5	61,5	+3,5	+12,37	69,32	0,680
2	31,0	30,0	61,0	+3,0	+10,60	56,17	0,551
3	47,0	15,0	62,0	+4,0	+14,10	90,07	0,883
4	47,0	14,0	61,0	+3,0	+10,60	62,69	0,615
5	47,5	14,5	62,0	+4,0	+14,10	70,85	0,695
6	47,0	14,5	61,5	+3,5	+12,37	67,69	0,664
7	46,5	14,0	60,5	+2,5	+8,83	46,48	0,456
8	46,0	13,5	59,5	+1,5	+5,29	28,75	0,282
9	47,0	14,0	61,0	+3,0	+10,60	57,70	0,566
10	46,5	13,5	60,0	+2,0	+7,06	39,96	0,392
11	46,5	13,5	60,0	+2,0	+7,06	37,00	0,363
12	46,0	13,0	59,0	+1,0	+3,53	21,71	0,213
13	46,5	13,5	60,0	+2,0	+7,06	42,20	0,414
14	45,0	13,0	58,0	0	0	3,57	0,035
15	46,0	13,0	59,0	+1,0	+3,53	18,86	0,185
16	46,0	13,5	59,5	+1,5	+5,29	33,64	0,330
17	46,0	12,5	58,5	+0,5	+1,76	9,48	0,093
18	45,5	12,5	58,0	0	0	2,85	0,028
19	45,5	12,5	58,0	0	0	2,34	0,023
20	46,0	13,0	59,0	+1,0	+3,53	25,69	0,252
21	46,0	12,5	58,5	+0,5	+1,76	12,44	0,122
22	45,5	12,5	58,0	0	0	1,22	0,012
23	47,0	13,5	60,5	+2,5	+8,83	53,31	0,523
24	47,5	14,0	61,5	+3,5	+12,37	63,40	0,622
25	46,5	13,0	59,5	+1,5	+5,29	31,19	0,306
26	46,5	13,5	60,0	+2,0	+7,06	33,03	0,324
27	46,0	12,0	58,0	+1,0	+3,53	23,04	0,226
28	46,0	13,0	59,0	+1,0	+3,53	24,46	0,240
29	45,5	12,5	58,0	0	0	0,82	0,008
30	47,0	13,5	60,5	+2,05	+8,83	48,32	0,474

$$b = \frac{(\sum \theta)_{sa}^2 \sum (R_j + R_{as})_{sa} - (\sum \theta)_{sa} [\sum \theta (R_j + R_{as})]_{sa}}{n_{sa} (\sum \theta^2)_{sa} - (\sum \theta)_{sa}^2} = 0,020402 \quad (3.19)$$

$$(R_j + R_{as})_{sa} = 0,052617 \theta + 0,020402 \quad (3.20)$$

Calculul funcțiilor $R_j + R_{as} = f(\theta)$ prin metoda celor mai mici pătrate, procedeul Atkovitz /62/. Insumări.					Tab.3.36.				
Ecran nedeforabil					Sustentație pe apă.				
Nr crt.	θ (min)	$R_j + R_{as}$ (N)	$\theta(R_j + R_{as})$	θ^2	Nr crt.	θ (min)	$R_j + R_{as}$ (N)	$\theta(R_j + R_{as})$	θ^2
1	19,42	1,050	20,391	377,14	1	12,37	0,680	8,412	153,02
2	15,89	0,822	13,062	252,49	2	10,60	0,551	5,841	112,36
3	15,89	0,876	13,920	252,49	3	14,10	0,883	12,450	198,81
4	14,12	0,767	10,830	199,37	4	10,6	0,615	6,519	112,36
5	8,82	0,434	3,828	77,79	5	14,10	0,695	9,800	198,81
6	10,59	0,578	6,121	112,15	6	12,37	0,664	8,214	153,02
7	12,36	0,625	7,725	152,77	7	8,83	0,456	4,026	77,97
8	14,12	0,727	10,265	199,37	8	5,29	0,282	1,492	27,98
9	15,89	0,846	13,443	252,49	9	10,6	0,566	6,000	112,36
10	14,12	0,740	10,449	199,37	10	7,06	0,392	2,768	49,84
11	12,36	0,692	8,553	152,77	11	7,06	0,363	2,563	49,84
12	14,12	0,685	9,672	199,37	12	3,53	0,213	0,752	12,46
13	12,36	0,667	8,244	152,77	13	7,06	0,414	2,923	49,84
14	10,59	0,528	5,592	112,15	14	0	0,025	0	0
15	12,36	0,645	7,972	152,77	15	3,53	0,185	0,653	12,46
16	7,06	0,346	2,443	49,84	16	5,29	0,330	1,746	27,98
17	8,82	0,478	4,216	77,79	17	1,76	0,093	0,164	3,10
18	10,59	0,554	5,867	112,15	18	0	0,028	0	0
19	7,06	0,392	2,768	49,84	19	0	0,023	0	0
20	5,30	0,266	1,410	28,09	20	3,53	0,252	0,890	12,46
21	3,53	0,173	0,611	12,46	21	1,76	0,122	0,215	3,10
22	3,53	0,154	0,544	12,46	22	0	0,012	0	0
23	5,30	0,290	1,537	28,09	23	8,83	0,523	4,618	77,97
24	3,53	0,178	0,628	12,46	24	12,37	0,612	7,694	153,02
25	7,06	0,370	2,612	49,84	25	5,29	0,306	1,619	27,98
26	7,06	0,359	2,535	49,84	26	7,06	0,324	2,287	49,84
27	0	0,015	0	0	27	3,53	0,226	0,798	12,46
28	0	0,005	0	0	28	3,53	0,290	0,847	12,46
29	1,77	0,090	0,159	3,13	29	0	0,008	0	0
30	1,77	0,053	0,094	3,13	30	8,83	0,474	4,185	77,97
Σ	225,39	14,408	175,491	3334	Σ	100,00	10,552	97,476	1779



Componenta de auzietă se determină precis, întrucât ea nu depinde decât de greutatea și înclinarea navei (formula 3.2). Scăzând deci această mărime din suma $R_j + R_{as}$ putem obține componenta de jet R_j . Pe de altă parte, această componentă a fost calculată anterior cu ajutorul măsurătorilor făcute pentru presiunea din pernă (tab.3.31 și 3.32), astfel încât ea poate fi

comparată cu rezultatele obținute prin măsurători directe, așa cum s-a procedat în tab.3.37. Comparând coloanele $R_j / \cos \theta$ și R_j din acest tabel, se constată o corespondență satisfăcătoare a rezultatelor, diferențele datorându-se înclinării față de orizontală a rezultantei jetului de aer scăpat din pernă (unghiul γ în fig. 3.39), precum și erorilor de măsurare.

Pentru componenta de jet R_j din același tabel, se poate observa o apropiere a rezultatelor obținute pentru ecran nedeforabil și sustentație pe apă, astfel încât sîntem îndreptățiți să propunem formula:

$$R_j = 0,305 \theta \quad (N) \quad (3.21)$$

valabilă atât pentru ecran nedeforabil, cât și pentru sustentație pe apă. Formula (3.21) a fost stabilită pentru unghiul de auzietă θ exprimat în minute și pentru masa modelului

$$m = \frac{p_p S_{pm}}{g} = 7,87 \text{ Kg} \quad (3.22)$$

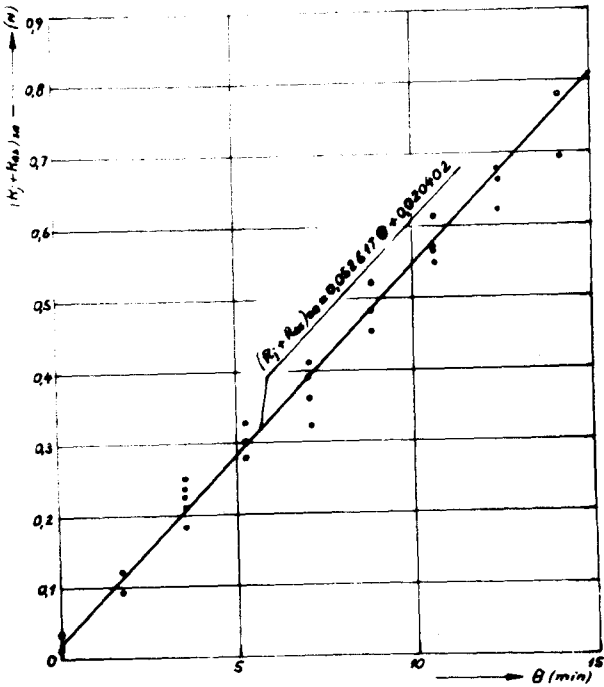


Fig. 3.403.

Pentru același unghi de asietă și același tip de navă, rezistența de jet R_j depinde de mărimea presiunii din pernă, deci de greutatea navei. Din acest motiv, modelarea componentei R_j se va putea face cu ajutorul raportului adimensional $r_j = R_j/mg$ (3.23) care va trebui să aibă aceeași valoare pentru model și nava reală. Pentru modelul navei 023 E

$$r_j = 3,95 \cdot 10^{-3} \theta \quad (3.24)$$

Rezistența de jet a navei naturale 023 E, de masă $M=1700 \text{ Kg}$ va fi:

$$R_{jn} = r_j Mg = 65,87 \theta \quad (N) \quad (3.25)$$

unghiul de asietă θ fiind exprimat în minute.

Tabel comparativ pentru R_j

Tab. 3.37.

	Nr. cat.	θ (min)	$R_j/\cos\theta$ (N)	$R_j + R_{as}$ (N)	R_{as} (N)	R_j (N)
Ecran nedeformabil	1	0	-0,024	-0,012	0	-0,012
	2	5	+0,154	+0,256	+0,113	+0,143
	3	10	+0,270	+0,524	+0,225	+0,299
	4	15	+0,481	+0,793	+0,341	+0,452
Sustentatie pe apă.	5	0	+0,022	+0,020	0	+0,020
	6	5	+0,161	+0,283	+0,112	+0,171
	7	10	+0,325	+0,547	+0,224	+0,323
	8	15	+0,476	+0,810	+0,339	+0,471

3.4. Rezistența de impuls.

Conform formulei (2.38) această componentă de rezistență la înaintare este produsul dintre densitatea aerului, debitul său volumic și viteza navei. Pentru o navă cu sistem integrat de sustentatie și propulsie, așa cum este cazul navei 023 E, prezintă dificultăți cunoașterea debitului de aer folosit pentru sustentatie, întrucât nu se știe raportul care se stabilește în funcționare, între puterile sistemelor de sustentatie și propulsie.

Intîmpinîndu-se dificultăți în această privință la nava 023 E,

tată în continuare.

3.4.1. Metodă de calcul pentru sistemul integrat de sustentație și propulsie aeroreactivă la navele experimentale cu pernă de aer.

În proiectarea navelor cu pernă de aer, datorită experienței insuficiente acumulate în acest domeniu, o serie de date cum sînt: pierderile de presiune dintre ventilator și pernă, pierderile de viteză în ajutorul de propulsie, randamentul ventilatorului, coeficientul de debit, etc., sînt mai puțin cunoscute statistic, mai ales că pentru o navă experimentală cu pernă de aer, la care ventilatorul este cuplat direct la motorul de antrebare, nu se poate adopta un ventilator tipizat, ale cărui caracteristici să fie cunoscute și utilizabile în procesul susamintit.

În scopul determinării mărimilor susmenționate, se recurge la construirea de nave experimentale, pe care se fac măsurătorile necesare.

Pentru realizarea sustentației și propulsiei cu jet aeroreactiv, la navele cu pernă de aer de dimensiuni reduse este indicată folosirea sistemului integrat de sustentație și propulsie aeroreactivă, la care același ventilator alimentează cu aer atât perna de sustentație, cît și ajutorul aeroreactiv de propulsie. În cazul navelor de acest tip, o serie de date funcționale cum sînt: presiunea, debitul și randamentul ventilatorului, raportul dintre puterile sistemelor de sustentație și propulsie, caracteristicile de împingere și randament ale propulsorului, se pot determina prin calcul, cu ajutorul unor măsurători de verificare efectuate pe nava construită. La o navă cu pernă de aer experimentală în funcțiune, cu sistem integrat de sustentație și propulsie aeroreactivă, pot fi determinate prin măsurare directă următoarele mărimi:

- masa totală M , (Kg);
- suprafața pernei de aer S_p , (m^2);
- perimetrul de scăpare a aerului P , (m);
- lumina realizată h , (m);
- unghiul de înclinare a fustei față de orizontală θ , (grd);
- puterea totală consumată pentru sustentație și propulsie N_t , (Kw);
- împingerea la punct fix a propulsorului F_o , (N).

Cu ajutorul datelor de mai sus, obținute din măsurători, se pot

determina prin calcul următoarele mărimi:

- presiunea,debitul și randamentul ventilatorului;
- raportul de repartizare a puterilor între sustentație și propulsie;
- diagramele de variație ale împingerii și randamentului propulsorului, în funcție de viteza navei.

În cele ce urmează se expune o metodă de calcul pentru determinarea acestor mărimi.

1. Presiunea aerului din pernă:

$$p_p = \rho g M / S_p \quad (\text{N/m}^2) \quad (3.22)$$

2. Coeficientul de debit. Datorită devierii cu unghiul θ a jetului de aer scăpat din pernă, nu întreaga lumină h participă la formarea secțiunii de scăpare, ci numai o parte din aceasta și anume $D_p h$ (fig. 3.104). Mărimea D_p reprezintă raportul dintre debitul de aer scăpat din perna de perimetru P și mărimea $h P \sqrt{2 p_p / \rho}$. Coeficientul D_p depinde în primul rând de unghiul θ de inclinare a fustei flexibile. Pentru cazul unui perete lung, von Mises /16/ dă următoarele valori:

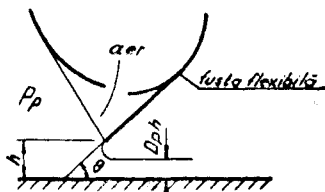


Fig. 3.104.

Pentru cazul unui perete lung, von Mises /16/ dă următoarele valori:

θ°	0	45	90	135	180
D_p	0,500	0,537	0,611	0,746	1,000

Cu ajutorul acestor 5 valori, a fost determinată formula aproximativă de calcul:

$$D_p = 0,5 + 0,4\theta 10^{-3} + 0,109\theta^2 10^{-4} + 0,494\theta^3 10^{-7} + 0,345\theta^4 10^{-9} \quad (3.26)$$

Utilizînd formula (3.26), în care θ este exprimat în grade sexagesimale, se pot calcula și valorile intermediare D_p .

Harvey Chaplin /16/, bazat pe calcule teoretice pentru $\theta = 0^\circ; 90^\circ$ și 180° , a propus formula:

$$D_p = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{\sin \theta}{\frac{\eta+2}{\eta-2} (1 + \cos \theta) - \sin \theta \cos \theta} \right] \quad (3.27)$$

Conform verificărilor experimentale, valorile coeficientului de debit D_p sînt puțin mai mici decît cele date de formula (3.27), din cauza vîscozității aerului.

În afară de unghiul de înclinare θ a fustei flexibile, asupra coeficientului de debit D_p influențează și viteza de trecere a aerului de-a lungul pereților interiori ai fustei flexibile. Din acest motiv, devierea jetului de aer scăpat este mai mare la fustele flexibile de tip ajutor, față de cele tip cameră. Pentru perna de aer tip cameră, lucrarea /100/ recomandă $D_p = 0,70$, fără a se mai ține cont de unghiul de înclinare θ .

3. Debitul volumic de aer scăpat din pernă

$$V_s = D_p h P \sqrt{2p_p / \rho} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (3.28)$$

ρ - densitatea aerului, (Kg/m^3).

4. Presiunea aerului la ieșirea din ventilator. Între perna de aer, unde presiunea este p_p și ventilator, se produc o serie de pierderi de presiune, care depind de traseul canalului de susținere. Întrucît după discul ventilatorului, datorită mișcării turbionare a aerului, nu se poate face o măsurare precisă a vitezei și presiunii sale, se poate recurge la aprecierea pierderilor de presiune pe baza datelor statistice /37/, care exprimă aceste pierderi în funcție de presiunea din pernă p_p . Notînd Δp_e - pierderile de presiune susmenționate și $k_p = \Delta p_e / p_p$, presiunea aerului la ieșirea din ventilator se calculează cu formula:

$$p_t = (1 + k_p) p_p \quad (\text{N}/\text{m}^2) \quad (3.29)$$

5. În primă aproximație, pe baza datelor statistice, adoptăm randamentul ventilatorului în limitele $\eta_v = 0,40 \dots 0,70$.

6. Puterea sistemului de susținere

$$N_s = p_t V_s / 10^3 \eta_v \quad (\text{Kw}) \quad (3.30)$$

7. Puterea sistemului de propulsie

$$N_p = N_t - N_s \quad (\text{Kw}) \quad (3.31)$$

8. Debitul de aer al ajutorului de propulsie. Datorită tur-

bionării curentului de aer în ajutorul de propulsie, măsurătorile de viteză sînt imprecise. Se poate calcula debitul de aer consumat pentru propulsie cu relația:

$$V_p = 10^3 N_p \eta_v / p_p \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (3.32)$$

9. Viteza reală de ieșire a aerului din ajutorul de propulsie

$$v_a = \varphi \sqrt{2p_t / \rho} \quad (\text{m/s}) \quad (3.33)$$

φ - coeficient de pierdere de viteză, care ține cont de reducerea presiunii aerului între discul ventilatorului și secțiunea de trecere spre ajutoraj, precum și de reducerea vitezei aerului în ajutoraj datorită turbionărilor și existenței stratului limită.

10. Forța de împingere a propulsorului, F , este dată de relația

$$F = \rho V_p (v_a - v) \quad (\text{N}) \quad (3.34)$$

v - viteza navei, (m/s).

Pentru împingere la punct fix ($v=0$),

$$F_0 = \rho V_p v_a \quad (\text{N}) \quad (3.35)$$

adică $\eta_v = 10^{-3} F_0 \varphi^{-1} N_p^{-1} \sqrt{p_t / 2\rho} \quad (3.36)$

În relația (3.36) toate mărimile din dreapta sînt cunoscute, dar puterea sistemului de propulsie N_p a fost calculată cu ajutorul unui randament adoptat η_v (relațiile 3.30 și 3.31). Comparăm acum valoarea calculată η_v (relația 3.36), cu cea adoptată la punctul 5. Dacă cele două valori diferă cu mai mult de 1%, aplicăm metoda aproximațiilor succesive, reluînd calculul începînd cu punctul 6.

11. Construirea diagramei de variație a împingerii în funcție de viteza navei $F=F(v)$, cu ajutorul formulei (3.34).

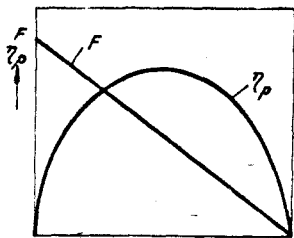


Fig. 3.105.

12. Construirea diagramei de variație a randamentului de propulsie în funcție de viteza navei $\eta_p = G(v)$.

$$\eta_p = Fv / 10^3 N_p \quad (3.37)$$

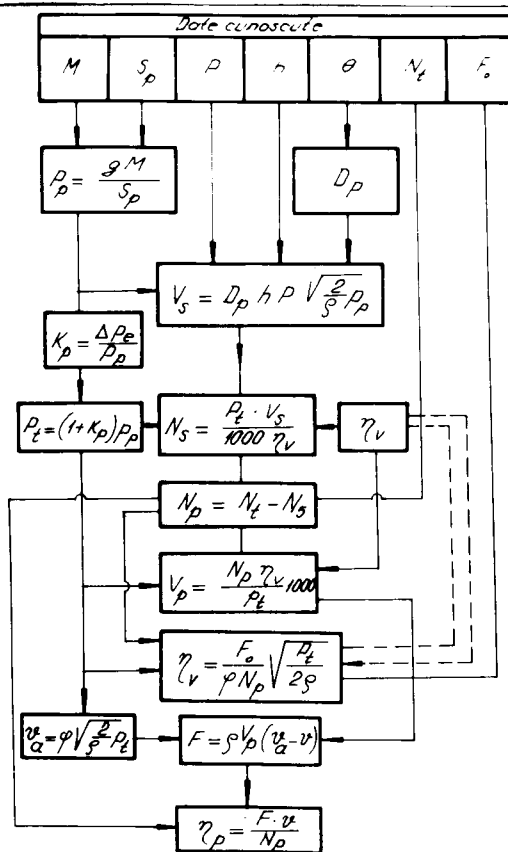


Fig. 3.106.

O parte din datele calculate pot fi comparate cu ale altor nave cu pernă de aer construite, folosind unele diagrame statistice /69,37/. In fig.3.105 sînt reprezentate grafic funcțiile $F=F(V)$ și $\eta_p=G(v)$, iar în fig.3.106 este redată ordinograma de calcul pentru metoda expusă.

3.4.2. Calculul sistemului integrat de sustentație și propulsie aeroreactivă la nava experimentală O23 E.

Date inițiale de calcul, cu excepția celor prezentate anterior:

- unghiul de înclinare al fustei, $\theta = 68^\circ$
- lumina realizată efectiv..... $h = 0,018m$
- perimetrul pernei..... $P = 16,3 m$
- puterea instalată a motorului, $N_t = 170 CP$
- coeficientul de pierderi de viteză în ajutoraj..... $\varphi = 0,95$
- densitatea aerului..... $\rho_{20}^4 = 1,2 Kg/m^3$

Tab.3.38.

Nr. crt.	Formula de calcul			Valoarea calculată	Obs.
0	1	2	3	4	5
1	p_p	N/m^2	$p_p = gM/S_p$	906	

Tab.3.38.(continuare)

0	1	2	3	4	5
2	D_p	-	interpolare grafică după von Mises	0,572	
			$D_p = 0,5 + 0,4\theta \cdot 10^{-3} + 0,109\theta^2 10^{-4} - 0,494\theta^3 10^{-7} + 0,345\theta^4 10^{-9}$	0,569	
			$D_p = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{\sin\theta}{\frac{\eta+2}{\eta-2}(1+\cos\theta) - \sin\theta \cos\theta} \right]$	0,579	...
			recomandare /8/	0,700	
			se adoptă cazul defavorabil.	0,700	
3	V_s	m^3/s	$V_s = D_p h P \sqrt{2 p_p / \rho_{20}^4}$	7,98	
4	p_t	N/m^2	$p_t = (1+k_p) p_p$	1450	$k_p = 0,60$ după /73/
5	η_v	-	se adoptă	0,46	
6	N_s	Kw	$N_s = 10^{-3} p_t V_s / \eta_v$	25,15	
7	N_p	Kw	$N_p = N_t - N_s$	99,97	
8	F_o	N	măsurători directe	1765	
9	φ	-	se adoptă	0,95	
10	A	Kw	$A = 10^{-3} \varphi^{-1} F_o \sqrt{p_t / 2 \rho_{20}^4}$	45,67	
11	η_{v1}	-	$\eta_{v1} = A / N_p$	0,457	
12	$\Delta\eta$	%	$\Delta\eta = (\eta_{v1} - \eta_v) 10^2 / \eta_{v1}$	-0,7	
13	η_{vf}	-	valoare finală	0,458	
14	v_a	m/s	$v_a = \varphi \sqrt{2 p_t / \rho_{20}^4}$	46,70	
15	V_p	m^3/s	$V_p = 10^3 N_p \eta_{vf} / p_t$	31,58	

Tab.3.38.(continuare).

0	1	2	3	4	5
16	$F=F(v)$ N		$F = \int V_p (v_a - v) = 1770 - 37,9 v$		tab.3.39 și fig.3.107
17	$\eta_p = G(v)$	-	$\eta_p = 10^{-3} Fv/N_p$		idem

3.4.3. Rezistența de impuls a navei O23 E.

Pornind de la formula 2.43, pentru nava cu sistem integrat de sustentatie și propulsie aeroreactivă, pe baza metodei prezentate în subcap.3.4.1, formula 3.28, se poate scrie:

$$R_i = \int V_s v = \int v D_p h P \sqrt{2 p_p / \rho} = 1,4 D_p h P \sqrt{\rho p_p} \cdot v \quad (3.38)$$

În tab.3.39 este calculată, iar în fig.3.107 este reprezentată grafic funcția $R_i = f(v)$ pentru nava O23 E.

Calculul funcțiilor $F, \eta_p, R_i = f(v)$ la nava O23E Tab.3.39

Nr. crt.	Mă- ri- măș.	Unif. măș.	Valori									
			0	0,25	0,50	0,75	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	
1	F	-	0	0,25	0,50	0,75	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	
2	v	m/s	0	1,77	3,54	5,32	7,09	10,63	14,17	17,72	21,26	
3	v	km/h	0	6,37	12,74	19,15	25,52	38,27	51,01	63,79	76,54	
4	F	N	1770	1703	1636	1568	1501	1367	1233	1098	964	
5	η_p	-	0	0,030	0,058	0,083	0,106	0,145	0,175	0,195	0,205	
6	R_i	N	0	16,78	33,56	50,44	67,22	100,78	134,35	167,90	201,57	

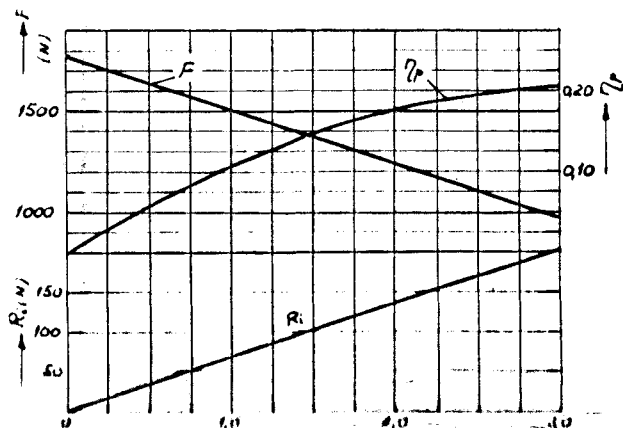


Fig. 3.107

3.5. Rezistența aerodinamică a navei O23 E.

Conform formulei (2.40), pentru calcularea rezistenței aerodinamice trebuie determinată experimental valoarea coeficientului adimensional de rezistență aerodinamică c_a . În acest scop a fost executat un model la scara $\lambda = 15$, (fig. 3.108) care a fost încercat la tunelul aerodinamic al Institutului Politehnic "Gheorghe Gheorghiu-Dej" din București /12/. Modelul a fost dublat față de planul de sustentație, pentru a elimina rezistența suplimentară a acestui plan. Dimensiunile la care a fost necesar să fie executat modelul pentru a putea fi experimentat în tunelul susamintit, nu au permis utilizarea unui ventilator de sustentație. Din acest motiv, liniile de curent de aer care spală modelul nu sînt influențate de circulația aerului prin sistemul de sustentație. Această diferență față de realitate, care nu provoacă erori mari, este utilizată la tunele aerodinamice de prestigiu, care se ocupă foarte atent de aerodinamica navelor cu pernă de aer /2 /.

Măsurătorile au fost făcute pentru unghiurile de derivă $\theta = 0^\circ$, 15° și 30° , în gama de viteze permisă de instalațiile tunelului aerodinamic, pentru a determina variația $c_x = f(Re)$. În cele ce urmează coeficientul aerodinamic c_a va fi notat c_x , așa cum se procedează la tunelul aerodinamic.

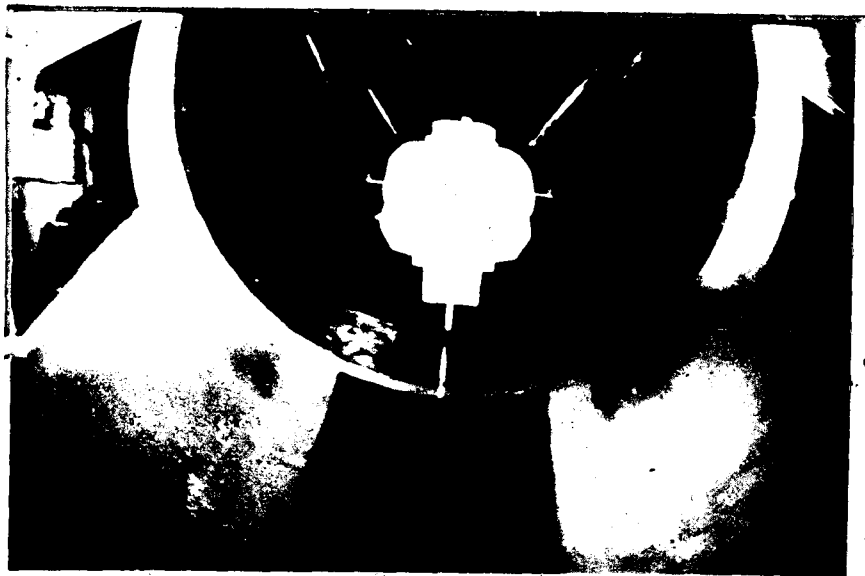


Fig. 3.108.

3.5.1. Mărimi date sau măsurate inițial.

- unghiul de derivă al modelului $\beta = 0^\circ, 15^\circ$ și 30°
- scara geometrică a lungimilor modelului $\lambda = 15$

- suprafața pernei modelului $S_{pm} = S_p / \lambda^2 = 0,0819 \text{ m}^2$
- lungimea efectivă a pernei modelului $L_{em} = L_e / \lambda = 0,341 \text{ m}$
- unghiul de inclinare a brațului micromanometric $\alpha = 30^\circ$
- densitatea alcoolului din micromanometru $\rho_{alc}^{20} = 811 \text{ Kg/m}^3$
- coeficientul de dilatare cubică la alcool $\beta_a = 0,0011$
- raportul dintre diametrul tubului micromanometric și diametrul cuvei $d/D = 0,05$
- presiunea barometrică $p_0 = 1,015666 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$
- temperatura aerului la începutul experimentării t_1 (indicată la tabelul de calcul respectiv)
- temperatura aerului la sfîrșitul experimentării t_2 (indicată la tabelul de calcul respectiv)
- temperatura medie a aerului în timpul experimentării $t_m = (t_1 + t_2) / 2$
- densitatea aerului la temperatura t_m $\rho_{aer}^{t_m} = \frac{p_0}{RT_m} = 1,29157 \text{ Kg/m}^3$
- viscozitatea cinematică a aerului la temperatura t_m

$$\nu_{t_m} = 1,33 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

3.5.2. Mărimi măsurate la experimentare.

- denivelarea alcoolului în micromanometru h (mm)
- forța orizontală $P_x (\text{Kg}) g(\text{m/s}^2) = P_x g$ (N)

3.5.3. Calcule.

3.1. Denivelarea reală a micromanometrului, ținînd cont de coborîrea nivelului din cuva de alcool

$$h_1 = \left[1 + \frac{1}{\sin \alpha} \left(\frac{d}{D} \right)^2 \right] h = \left[1 + \frac{1}{\sin 30^\circ} (0,05)^2 \right] h = 1,005 h \quad (3.40)$$

3.2. Denivelarea h_2 a tubului Pitot plasat în zona de experiență, în funcție de denivelarea h_1 a micromanometrului tunelului

$$h_2 = K_1 h_1 \quad (3.41)$$

Pentru sufleria IPB, K_1 extras /12/ din diagrama

$$h_2 = f(h_1) \text{ este } K_1 = 1,01.$$

3.3. Corecția de temperatură pentru densitatea alcoolului

$$\rho_{alc}^{t_m} = \rho_0 \frac{1 + \beta_a t_0}{1 + \beta_a t_m} = 811 \frac{1 + 0,0011 \cdot 20}{1 + 0,0011 \cdot t_m} \quad (3.42)$$

3.4. Presiunea din punctul A a curențului de aer este dată de suma presiunii hidrostatice la suprafața absolutului

$$\frac{\rho_{\text{aer}} t_m v^2}{2} = \rho_{\text{alo}} h_2 \sin \alpha = \int t(\text{alo}) g h_2 \sin \alpha \quad (3.43)$$

Viteza curențului de aer este

$$v = \sqrt{\frac{2}{\rho_{\text{aer}} t_m} \int \rho_{\text{alo}} g h_2 \sin \alpha} = 3,14 \sqrt{\frac{\int \rho_{\text{alo}} t_m}{\rho_{\text{aer}} t_m} h_2} \quad (3.44)$$

3.5. Numărul Reynolds

$$Re = \frac{v \cdot l_m}{\nu_{\text{aer}}} = \frac{0,341}{1,22 \cdot 10^{-6}} \cdot v = 2,86 \cdot 10^4 \cdot v \quad (3.45)$$

3.6. Rezistența globală la înaintare a modelului și a firelor de suspendare

$$R_{xg} = G_x K_2$$

K_2 - raportul brațelor de pârghie ale balanței

$$K_2 = 1$$

3.7. Coeficientul global de rezistență la înaintare

$$c_{xg} = \frac{R_{xg}}{\frac{\rho_{\text{aer}} t_m}{2} v^2 S_{pm}} \quad (3.47)$$

3.8. Rezistența la înaintare a firelor și tijelor

$$r_{xf} = B_x K_2 \quad (N) \quad (3.48)$$

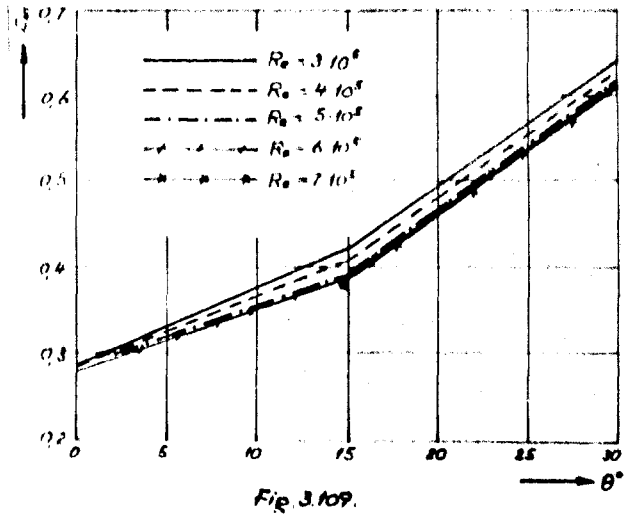
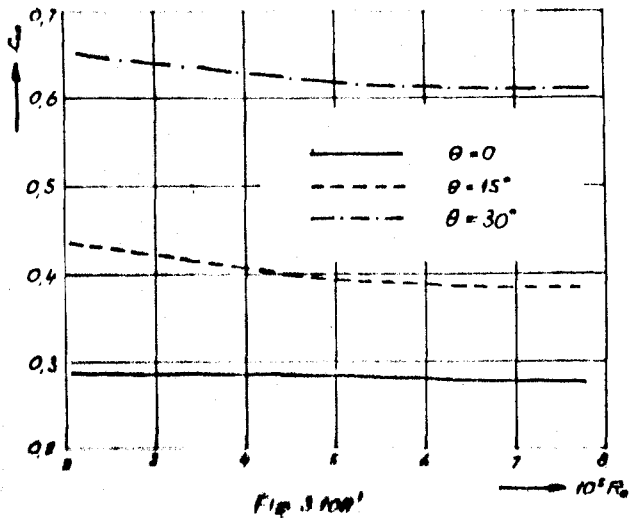
3.9. Coeficientul de rezistență la înaintare a firelor și tijelor

$$c_{xf} = \frac{r_{xf}}{\frac{\rho_{\text{aer}} t_m}{2} v^2 S_{pm}} \quad (3.49)$$

3.10. Coeficientul de rezistență la înaintare a modelului

$$c_{xn} = c_{xg} - c_{xf} = \frac{2}{\rho_{\text{aer}} t_m v^2 S_{pm}} (R_{xg} - r_{xf}) \quad (3.50)$$

În tabelul 3.40 este prezentată calcularea coeficientului adimensional de rezistență aerodinamică c_x pentru unghiuri de derivă $\beta = 0^\circ; 15^\circ$ și 30° și numere $Re = (2,15 \dots 7,71)10^5$, iar în fig. 3.108 și 3.109 sînt reprezentate grafic funcțiile $c_{xn} = f(Re)$ și respectiv $c_{xn} = f(\beta)$.

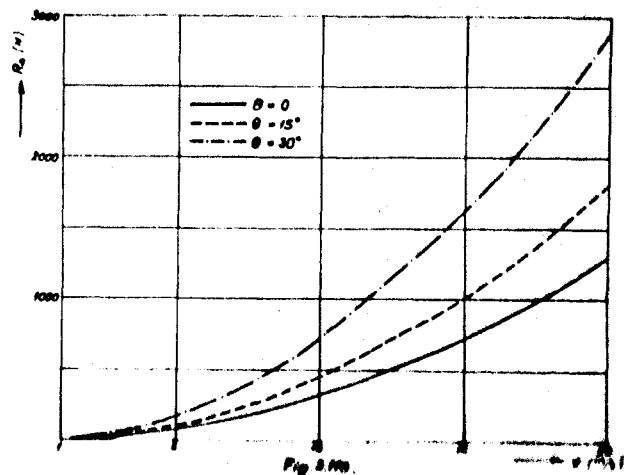


Se observă că $c_{xn} \neq f(Re)$ pentru $Re > 6 \cdot 10^5$:

În tabelul 3.41 este prezentată calcularea componentei de rezistență aerodinamică $R_a = f(v, \theta)$, iar în 3.110 sînt reprezentate grafic aceste funcții.

Calculul componentei R_a pentru nave O28E - Fig. 3.41

Date cunoscute		Date calculate						
v	v	Re	c_x	R_a	N	R_a	N	
v m/s	3,6	$3,9 \cdot 10^5$	0,285	3,36	3,36	3,36	3,36	
v km/h	10,8	$11,7 \cdot 10^5$	0,408	29,4	4,81	4,81	4,81	
	18,0	$19,5 \cdot 10^5$	0,630	81,6	7,49	7,49	7,49	
	36,0	$39 \cdot 10^5$		326	4,52	4,52	4,52	
	54,0	$58,6 \cdot 10^5$		734	10,18	10,18	10,18	
	72,0	$78,2 \cdot 10^5$		1305	16,22	16,22	16,22	
				0	0	0	0	
				15	15	15	15	
				30	30	30	30	



Tab. 3.40.a

$$\lambda = 15; S_{pm} = \frac{S_p}{2} = 0,0819 \text{ m}^2; L_{cm} = 0,341 \text{ m}; \beta = 30^\circ$$

$$\rho_{alc}^{t_o} = 811 \text{ Kg/m}^3; \beta_a = 0,0011; \frac{d}{D} = 0,05; p_o = 762 \text{ torr}$$

$$\nu_{aer}^{t_m} = 1,33 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}; k_1 = 1,01; k_2 = 1; R_{aer} = 287 \text{ J/Kg.grd.}$$

$$\beta = 0^\circ; t_1 = 0^\circ\text{C}; t_2 = 2^\circ\text{C};$$

Mărimi mea	Formula de calcul	Unit. măs.	Valori			
h	-	m	0,011	0,057	0,100	0,140
G_x/g	-	Kg	0,112	0,592	1,027	1,435
g_x/g	-	Kg	0,003	0,031	0,064	0,093
t_m	$t_m = \frac{1}{2}(t_1 + t_2)$	$^\circ\text{C}$	1 $^\circ$			
h_1	$h_1 = 1,005h$	m	0,0110	0,05	0,1005	0,1407
h_2	$h_2 = k_1 h_1$	m	0,01166	0,057858	0,101505	0,142107
$\rho_{alc}^{t_m}$	$\rho_{alc}^{t_m} = \rho_{alc}^{t_o} \frac{1 + \beta_a t_o}{1 + \beta_a t_m}$	$\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$	828			
$\rho_{aer}^{t_m}$	$\rho_{aer}^{t_m} = \frac{p_o}{R_{aer} T_m}$	$\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$	1,29157			
v	$v = 3,14 \sqrt{\frac{\rho_{alc}^{t_m}}{\rho_{aer}^{t_m}} h_2}$	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$	8,401	19,124	25,330	29,970
Re	$Re = 2,56 \cdot 10^4 \cdot v$	-				
R_{xg}	$R_{xg} = K_2 \frac{G_x}{g}$	N	1,099	5,808	10,075	14,077
$\frac{\rho_{aer}^{t_m}}{2} S_{pm} v^2$	$S_{pm} v^2 = 0,04095 \cdot \rho_{aer}^{t_m} v^2$	N	3,7328	19,3433	33,9347	47,5058
c_{xg}	$c_{xg} = \frac{R_{xg}}{\frac{\rho_{aer}^{t_m}}{2} S_{pm} v^2}$	-	0,2944	0,3003	0,2969	0,2963

$$r_{xf} \quad r_{xf} = k_2 \frac{g_x}{g} \quad N \quad 0,0294 \quad 0,3041 \quad 0,6278 \quad 0,9123$$

$$c_{xf} \quad c_{xf} = 2r_{xf} / \rho_{aer}^t S_{pm} v^2 \quad - \quad 0,001816 \quad 0,01171 \quad 0,018500 \quad 0,047204$$

$$c_{xn} \quad c_{xn} = c_{xg} - c_{xf} \quad - \quad 0,286524 \quad 0,284579 \quad 0,278400 \quad 0,277096$$

Tab. 3.40.b

$$\lambda = 15; \quad S_{pm} = S_p / \lambda^2 = 0,0819 \text{ m}^2; \quad L_{em} = 0,341 \text{ m}; \quad \alpha = 30^\circ;$$

$$\rho_{alc}^t = 811 \text{ Kg/m}^3; \quad \beta_a = 0,0011; \quad \frac{d}{D} = 0,05; \quad p_o = 762 \text{ torr};$$

$$\gamma_{aer}^t = 1,33 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}; \quad k_2 = 1; \quad k_1 = 1,01; \quad R_{aer} = 287 \text{ J/Kg.grd.}$$

$$\beta = 15^\circ; \quad t_1 = 2^\circ\text{C}; \quad t_2 = 4^\circ\text{C};$$

Mări- mea	Formula de calcul	Unit măs.	Valori
h	-	m	0,0115 0,057 0,100 0,140
G_x/g	-	Kg	0,170 0,807 1,400 1,945
g_x/g	-	Kg	0,003 0,031 0,064 0,093
t_m	$t_m = \frac{1}{2}(t_1 + t_2)$	$^\circ\text{C}$	3°C
h_1	$h_1 = 1,005 h$	m	0,11558 0,0570 0,1005 0,1407
h_2	$h_2 = k_1 h_1$	m	0,011278 0,057858 0,1010 0,1400
ρ_{alc}^t	$\rho_{alc}^t = \rho_{alc}^o \frac{1 + \beta_a t}{1 + \beta_a t_m}$	$\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$	826
ρ_{aer}^t	$\rho_{aer}^t = \frac{p_o}{R_{aer} T_m}$	$\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$	1,282212
v	$v = 3,14 \sqrt{\frac{\rho_{alc}^t}{\rho_{aer}^t} h_2}$	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$	8,464 19,170 25,391 30,043

Re	$Re = 2,56 \cdot 10^4 \cdot v$	-	$2,17 \cdot 10^5$	$4,9 \cdot 10^5$	$6,5 \cdot 10^5$	$7,69 \cdot 10^5$
R_{xg}	$R_{xg} = k_2 \frac{G_x}{g} g$	N	1,668	7,917	13,734	19,080
$\frac{\rho_{aer}^{t_m}}{2} S_{pm} v^2$	$= 0,04095 \rho_{aer}^{t_m} v^2$	M	3,762	19,296	33,851	47,391
c_{xg}	$c_{xg} = \frac{R_{xg}}{\frac{\rho_{aer}^{t_m}}{2} S_{pm} v^2}$	-	0,443	0,410	0,406	0,403
r_{xf}	$r_{xf} = k_2 \frac{g_x}{g} g$	N	0,0294	0,3041	0,6278	0,9123
c_{xf}	$c_{xf} = \frac{r_{xf}}{\frac{\rho_{aer}^{t_m}}{2} S_{pm} v^2}$	-	0,008	0,016	0,019	0,019
c_{xn}	$c_{xn} = c_{xg} - c_{xf}$	-	0,435	0,394	0,387	0,387

Tab.3.40.c.

$\lambda = 15; S_{pm} = \frac{S_D}{\lambda^2} = 0,0819 \text{ m}^2; L_{em} = 0,341 \text{ m}; \alpha = 30^\circ$

$\rho_{alc}^{t_o} = 811 \text{ Kg/m}^3; \beta_a = 0,0011; \frac{d}{D} = 0,05; p_o = 762 \text{ torr}$

$\nu_{aer}^{t_m} = 1,33 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}; k_1 = 1,01; k_2 = 1; R_{aer} = 287 \text{ J/Kg.grd}$

$\beta = 30^\circ; t_1 = 4^\circ\text{C}; t_2 = 5^\circ\text{C};$

Mări- mea	Formula de calcul	Unit măs.	Valori			
h	-	m	0,011	0,057	0,100	0,140
G_x/g	-	Kg	0,250	1,245	2,170	3,040
g_x/g	-	Kg	0,003	0,031	0,064	0,093

$$t_m \quad t_m = \frac{1}{2} (t_1 + t_2) \quad ^\circ\text{C} \quad 4,5^\circ$$

$$h_1 \quad h_1 = 1,005 \cdot h \quad \text{m} \quad 0,011055 \quad 0,057285 \quad 0,1005 \quad 0,1407$$

$$h_2 \quad h_2 = k_1 h_1 \quad \text{m} \quad 0,011166 \quad 0,057858 \quad 0,101505 \quad 0,142107$$

$$\rho_{\text{alc}}^{t_m} \quad \rho_{\text{alc}}^{t_m} = \rho_{\text{alc}}^{t_0} \frac{1 + \beta_a t_0}{1 + \beta_a t_m} \quad \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \quad 825$$

$$\rho_{\text{aer}}^{t_m} \quad \rho_{\text{aer}}^{t_m} = \frac{p_0}{R_{\text{aer}} T_m} \quad \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \quad 1,27528$$

$$v \quad v = 3,14 \sqrt{\frac{\rho_{\text{alc}}^{t_m}}{\rho_{\text{aer}}^{t_m}} h_2} \quad \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad 8,439 \quad 19,210 \quad 25,445 \quad 30,107$$

$$\text{Re} \quad \text{Re} = 2,56 \cdot 10^4 \cdot v \quad - \quad 2,16 \cdot 10^5 \quad 4,92 \cdot 10^5 \quad 6,51 \cdot 10^5 \quad 7,71 \cdot 10^5$$

$$R_{\text{xg}} \quad R_{\text{xg}} = k_2 \frac{G_x}{g} g \quad \text{N} \quad 2,452 \quad 12,213 \quad 21,288 \quad 29,822$$

$$\frac{\rho_{\text{aer}}^{t_m}}{2} S_{\text{pm}} v^2 = 0,04095 \rho_{\text{aer}}^{t_m} v^2 \quad \text{N} \quad 3,719 \quad 19,271 \quad 33,811 \quad 47,336$$

$$c_{\text{xg}} \quad c_{\text{xg}} = \frac{R_{\text{xg}}}{\frac{\rho_{\text{aer}}^{t_m}}{2} S_{\text{pm}} v^2} \quad - \quad 0,659 \quad 0,634 \quad 0,630 \quad 0,630$$

$$r_{\text{xf}} \quad r_{\text{xf}} = k_2 \frac{g_x}{g} g \quad \text{N} \quad 0,0294 \quad 0,3041 \quad 0,6278 \quad 0,9123$$

$$c_{\text{xf}} \quad c_{\text{xf}} = \frac{r_{\text{xf}}}{\frac{\rho_{\text{aer}}^{t_m}}{2} S_{\text{pm}} v^2} \quad - \quad 0,008 \quad 0,016 \quad 0,019 \quad 0,019$$

$$c_{\text{xn}} \quad c_{\text{xn}} = c_{\text{xg}} - c_{\text{xf}} \quad - \quad 0,651 \quad 0,618 \quad 0,611 \quad 0,611$$

3.6. Transpunerea la prototip a rezultatelor obținute pe model.

Intrucât cercetările întreprinse de autor au fost făcute în laborator pe modele, transpunerea acestora la nava în mărime naturală nu se poate realiza decât pe baza teoriei similitudinii.

Pentru aceasta se poate proceda în două moduri:

a) Diagramele obținute pe model în coordonate dimensionale se retranscriu în coordonate adimensionale, care devin pe această cale valabile atât pentru model, cât și pentru prototip.

b) Rezultatele obținute pe model în coordonate dimensionale se introduc în ecuațiile analitice care descriu fenomenul cercetat, determinându-se în felul acesta valorile căutate ale mărimilor fizice pe model. Rezultatele finale de pe model, cum sînt rezistența de jet sau rezistența de asietă, se modelează pe baza legilor de similitudine, obținîndu-se mărimile corespundente la prototip. Această metodă a fost folosită de autor în prelucrarea rezultatelor obținute.

Menționăm că pentru a putea dezvolta calculele în conformitate cu metoda a) de mai sus, în mod evident se impune stabilirea curbelor caracteristice relative comune pentru model și prototip, așa cum este cunoscut în literatura de specialitate [95].

Avînd în vedere cele expuse în prezentul capitol cu privire la modul de determinare a componentelor rezistenței de înaintare, la elaborarea unui proiect de navă cu pernă de aer propun să se procedeze în felul descris mai jos.

Conform cerințelor temei de proiectare, cu ajutorul indicatorilor statistici [69, 100], se determină masa totală a navei ca sumă a maselor corpului, instalațiilor de sustentație și propulsie, instalațiilor de bord și accesorilor, precum și a încălțăturii utile.

Cunoscîndu-se masa totală a navei și zona ei de navigație, deci înălțimea maximă a valurilor, se determină dimensiunile principale ale pernei și corpului navei, cu respectarea rapoartelor uzuale între dimensiuni [6, 16, 27, 37, 69, 100], ținînd cont și de concluziile de la subcapitolul 3.1.3.

Dimensionarea instalației de forță, care deservește sistemele de propulsie și sustentație, se face cu ajutorul diagramei rezistenței la înaintare, ale cărei componente se determină astfel: Componenta de val se determină analitic, folosind tabelele 3.1.1...3.1.4 sau diagramele 3.1.1...3.35.3, care dau valoarea coeficientului adimensional de rezistență de val. Modelarea acestei componente se face

numai automat, întrucît prin experimentare ea nu se poate separa de componenta de stropi [29,30,32]. Modelarea matematică a rezistenței de val se poate face datorită utilizării coeficientului adimensional exprimat de formula 3.1, care depinde de trei mărimi relative (F_L , λ și β), ale căror valori sînt aceleași pentru orice mărime a modelului sau navei.

-Componenta de impuls se determină cu formula 2.38, cu condiția cunoașterii debitului de aer al sistemului de sustentație la viteza de deplasare a navei. În lipsa datelor experimentale necesare, în prezent proiectarea se execută cu debitul de viteză nulă [16].

-Componenta aerodinamică se determină pe model nesustentat, cu ajutorul coeficientului adimensional de rezistență (formula 2.41 și subcapitolul 3.5), în mod similar cu profilele de aviație, deși se recunoaște că o determinare precisă a acestui coeficient trebuie să țină cont de interdependența dintre liniile de curent de aer întîlnit și cele ale sistemului de sustentație [2]. Astfel de determinări nu se fac deocamdată din cauză că instalațiile experimentale necesare sînt foarte costisitoare.

-Componenta de stropi se determină numai experimental, pe modele naturale, în mod similar cu rezistența reziduală a navelor de deplasament, ca diferența dintre rezistența totală obținută prin tractare și toate celelalte componente (formula 2.44), determinate în modul prezentat în această teză. În lucrarea [92] se arată că din cauza lipsei unei teorii de similitudine pentru fenomenul formării de stropi, se recurge la similitudinea Froude, ceea ce este deosebit de gresit, întrucît acest fenomen, în afară de gravitație, este legat de tensiunea superficială a apei, care se modelează cu criteriul de similitudine Weber.

-Componentele de vîscozitate a apei se calculează prin metodele uzuale, dar în cazul navelor cu pernă de aer se ține cont de variația pescajului în funcție de numărul Froude (subcap. 2.5).

-Rezistența de asietă se calculează cu formula 3.3. Pentru model și nava naturală se pot scrie relațiile:

$$R_{asm} = \sin \theta \gamma_w \int_{S_p} h_{pm} dS_{pm}$$

$$R_{asn} = \sin \theta \gamma_w \int_{S_p} h_{pn} dS_{pn}$$

Ținînd cont că modelul și nava naturală sînt similare geometric (scara lungimilor λ) și că pentru amîndouă se folosește apă ($\gamma_w = \text{ct}$)

$$\frac{R_{asm}}{R_{asn}} = \frac{\int_{S_p} h_{pm} dS_{pm}}{\int_{S_p} \lambda h_{pm} \lambda^2 dS_{pm}} = \frac{1}{\lambda^3}$$

deci

$$R_{asn} = \lambda^3 R_{asm}$$

-Componenta de jet se poate calcula prin integrarea cantităților de mișcare ale aerului introdus și evacuat din pernă, conform formulei 3.13. La transferarea la nava naturală a rezultatelor obținute pe model, avem în vedere că prin modelare se respectă similitudinile geometrică și dinamică și că modelul și nava folosesc în condiții omoloage aceleași fluide, aerul și apa. Pentru model și nava naturală se poate scrie:

$$R_{jm} = 2D_p \cos \sigma \int_C p_{pm} h_m dC_m$$

$$R_{jn} = 2D_p \cos \sigma \int_C p_{pn} h_n dC_n$$

$$\frac{R_{jm}}{R_{jn}} = \frac{2D_p \cos \sigma \int_C p_{pm} h_m dC_m}{2D_p \cos \sigma \int_C p_{pn} h_n dC_n} = \frac{\int_C \rho_w h_{pm} h_m dC_m}{\int_C \rho_w h_{pn} h_n dC_n} = \frac{\rho_w \int_C h_{pm} h_m dC_m}{\rho_w \int_C \lambda h_{pm} \lambda h_m \lambda dC_m}$$

$$R_{jn} = \lambda^3 R_{jm}$$

Pentru greutatețile G ale modelului și navei, ținând cont că la punct fix dislocă volumele V de apă, se poate scrie:

$$G_m = \rho_w V_m$$

$$G_n = \rho_w V_n$$

$$\frac{G_m}{G_n} = \frac{\rho_w V_m}{\rho_w V_n} = \frac{V_m}{\lambda^3 V_n}$$

$$G_n = \lambda^3 G_m$$

sau ținând cont de modelarea componentei de jet

$$R_{jn}/G_n = R_{jm}/G_m = r_j$$

regăsind astfel formula 3.25.

Dintre toate componentele de rezistență la înaintarea navelor cu pernă de aer, numai componentele de asietă și de jet pot fi modelate cu ajutorul raportului dintre componenta respectivă și greutate, conform celor arătate mai sus. Raportul dintre rezistența totală la înaintare și greutate este utilizat în literatura de specialitate [22,69,92] ca un indicator al performanțelor navei, dar acest raport nu poate fi folosit în modelarea rezistenței totale la înaintare.

4.SOLUTII CONSTRUCTIVE DE MARIRE A EFICIENTEI NAVELOR
CU PERNA DE AER, BREVETATE DE AUTORUL TEZEI.

In acest capitol sint prezentate trei soluții constructive brevetate de autor, care au ca scop mărirea eficienței navelor cu pernă de aer prin reducerea consumului de combustibil și îmbunătățirea proprietăților lor de navigație și confort.

4.1. Navă amfibie pe pernă de aer cu propulsie combinată.

La navele cu pernă de aer este deosebit de interesantă capacitatea de navă amfibie, care conferă acestui mijloc de transport anumite avantaje, pe care nu le poate avea un vehicul care se deplasează numai în apă. Totuși, în cele mai multe cazuri de exploatare, caracterul de navă amfibie este utilizat de către vehicul un timp foarte scurt, în comparație cu perioada în care nava se deplasează în apă și anume, numai la ieșirea pe mal sau la trecerea unor praguri între două ape adânci.

Sint cunoscute nave amfibii cu pernă de aer care folosesc ca propulsare elicea aeriană sau ajutorul aeroreactiv. Propulsia cu elice hidraulică a fost utilizată pînă în prezent numai la navele cu pernă de aer neamfibii, care navigă numai în apă /58/.

Utilizarea propulsoarelor aeriene prezintă dezavantajele expuse în continuare. În comparație cu elicele hidraulice, propulsoarele aeriene și mai ales elicele aeriene au dimensiuni de gabarit mult mai mari, iar pentru navele cu viteze de marg pînă la 60 ... 80 noduri, propulsoarele aeriene funcționează cu randamente mai scăzute (fig.4.1.).

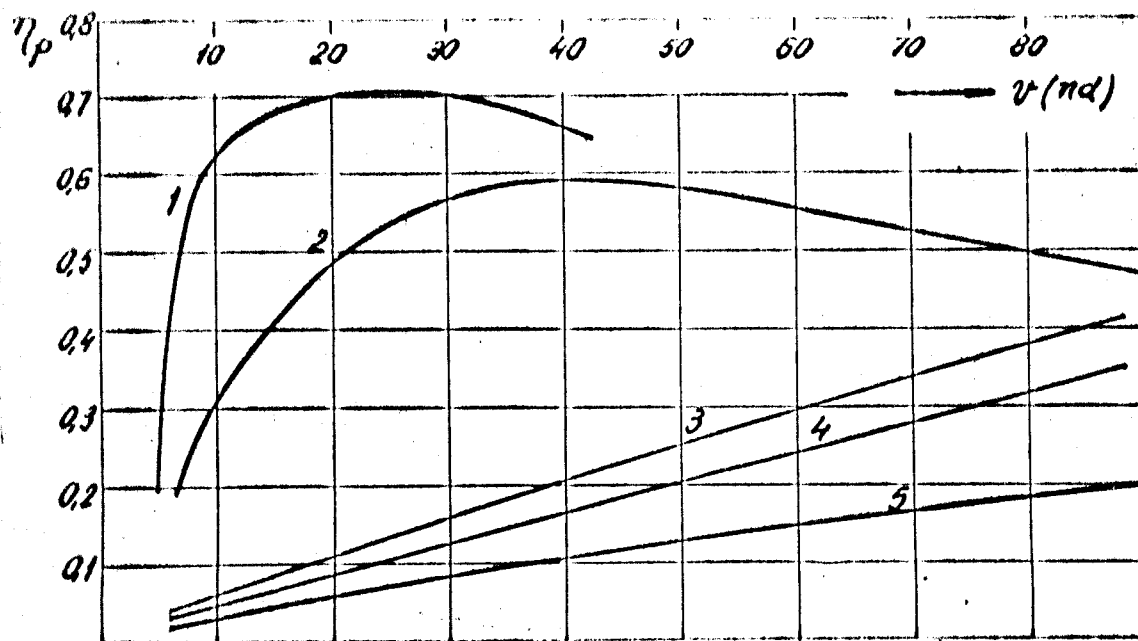


Fig.4.1. Variația randamentelor medii ale diferitelor tipuri de propulsare în funcție de viteza navei /100%.

1,2-elice hidraulice; 3,4,5-propulsoare cu jet aeroreactiv, cu diverse sarcini specifice.

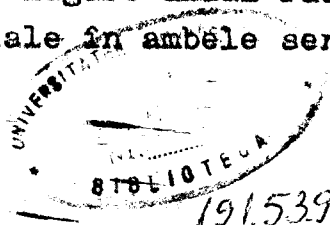
Elicele aeriene funcționează cu un nivel acustic ridicat, apropiat de al avioanelor, ceea ce face ca pentru navele cu pernă de aer propulsate cu elice aeriene să fie necesară amenajarea unor porturi speciale, depărtate de zonele populate /100%. În comparație cu elicele aeriene, ajutajele aeroreactive sînt silențioase în funcționare, constructiv sînt mult mai simple, asigură navei o manevrabilitate mai bună, au dimensiuni de gabarit mult mai reduse, se exploatează și se întrețin mult mai ușor, dar ele nu sînt larg utilizate, din cauza randamentului lor scăzut (fig.4.1).

Avînd în vedere raționamentele expuse mai sus, rezultă că pentru perioada de deplasare în apă, care reprezintă (95...98)% din durata totală de exploatare, o navă cu pernă de aer poate utiliza propulsia cu elice hidraulică de randament maxim, iar pentru perioadele relativ scurte în care nava trebuie să fie amfibie, se poate decupla și ridica la bord propulsorul hidraulic, folosindu-se în continuare propulsia cu jet aeroreactiv, al cărui randament scăzut are în această situație repercursiuni mici în raport cu avantajele sale.

Vom prezenta în continuare modalitatea concretă de aplicare a ideilor enunțate, cu ajutorul fig.4.2, care reprezintă schema de principiu a unui sistem integrat de sustentație și propulsie combinată și a instalațiilor de guvernare ale navei corespunzătoare.

Sistemul susmenționat este format dintr-o mașină principală 1, un agregat ventilator 2, un sistem propulsor cu ajutaje aeroreactive 3, precum și dintr-o coloană cu propulsor elice hidraulică 4.

Mașina principală 1 antrenează consumatorii de energie 2 și 4 printr-un arbore de transmisie orizontal 5, extins longitudinal astfel încît traversează pupa navei și se termină printr-un cuplaj cu dinți 6. Pe arborele 5 se află un reductor 7 cu schimbare de direcție de 90° , pentru antrenarea agregatului ventilator 2, ce are axa de rotație verticală. Agregatul ventilator 2 este format din două unități distincte, dintre care un ventilator 8, al cărui rotor este cuplat rigid pe un arbore 9, antrenat în permanență de mașina principală 1 și un ventilator 10, al cărui rotor este coaxial cu al ventilatorului 8, are lagăre axial-radiale duble 11 pentru preluarea eforturilor axiale în ambele sensuri și se poate



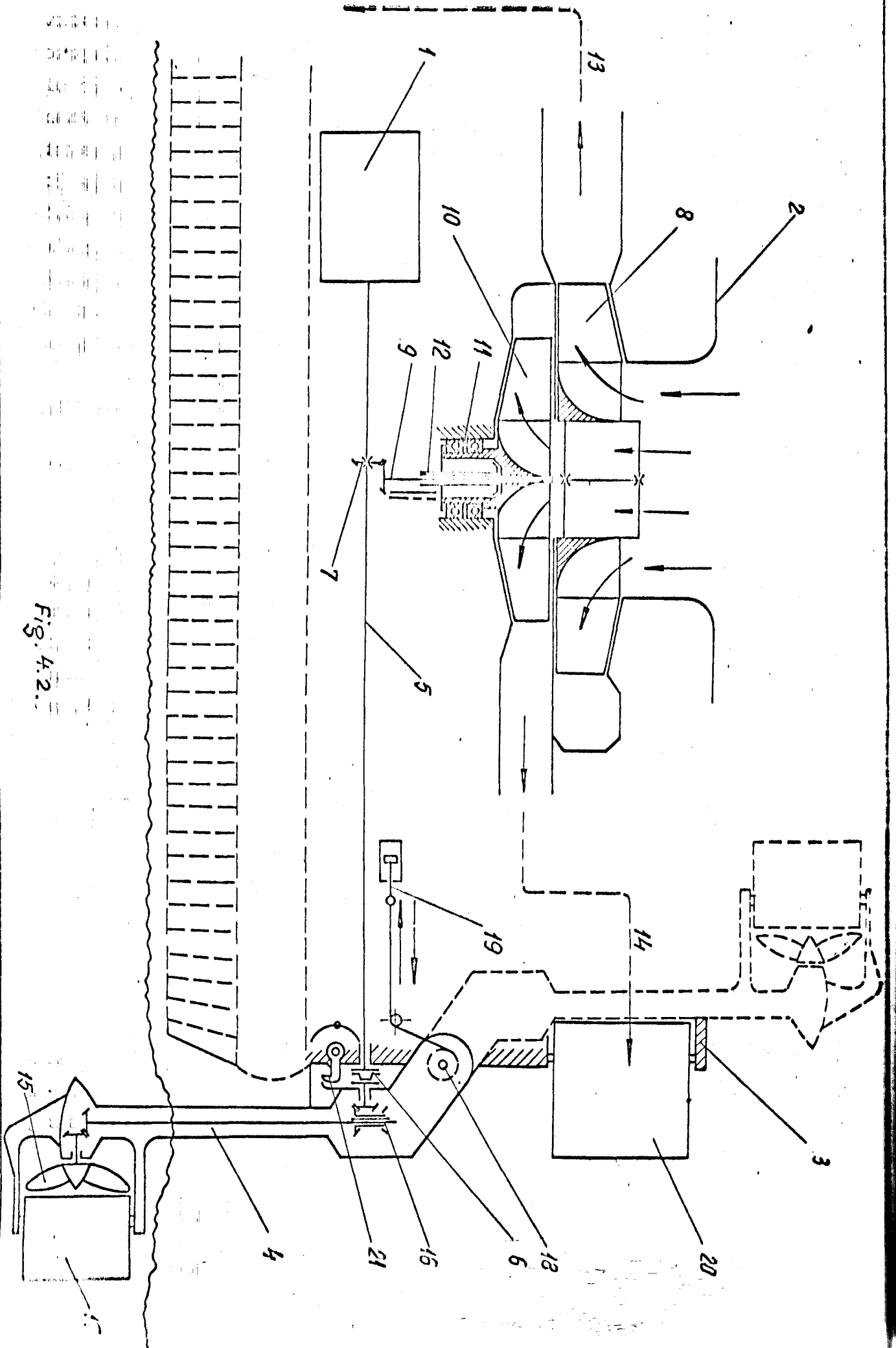


FIG. 4.2.

roti liber față de arborele de antrenare 9. Aspirația aerului de către ventilatorul 10 se face prin butucul cu spițe al rotorului de ventilator 8. Antrenarea ventilatorului 10 de către arborele 9 se face cu ajutorul unui ambreiaj 12. Ventilatorul 8 deserveste sistemul de sustentatie, alimentind în permanentă perna de aer în sensul săgeții 13, iar ventilatorul 10 deserveste propulsorul cu jet aeroreactiv, alimentind la nevoie ajutajele 3 în sensul indicat de săgeata 14. Coloana cu propulsor 4 are o transmisie în Z. la elicea hidraulică 15, este dotată cu un mecanism 16 de inversare a sensului de marș și cu o cîrmă 17, acționată hidraulic. Antrenarea elicei hidraulice 15 este făcută de către arborele 5 prin intermediul cuplajului cu dinți 6. Coloana 4 este fixată de corpul navei prin intermediul unui ax orizontal transversal 18, astfel încît cu ajutorul unui sistem hidraulic 19, poate fi scoasă din apă și ridicată la bordul navei, prin rotirea cu 180° în jurul axului 18. Cînd se dorește trecerea de la propulsia hidraulică la cea aeriană, sistemul hidraulic 19 comandă ridicarea coloanei 4 și cuplarea ambreiajului 12. Din acel moment cuplajul cu dinți 6 este deschis, iar rezerva de putere a mașinii principale este folosită pentru antrenarea ventilatorului de propulsie 10, care alimentează ajutajele propulsorului aerian 3. Cu ajutorul acestui propulsor, nava poate schimba natura suprafeței de sprijin, ieșind, de exemplu, din apă pe mal.

Guvernarea și frînarea navei se realizează în funcție de sistemul propulsor utilizat. În cazul propulsorului hidraulic, frînarea se realizează prin inversarea sensului de marș al elicei 15, cu ajutorul mecanismului inversor 16, iar guvernarea, cu ajutorul cîrmei hidraulice 17. Cînd este utilizat propulsorul aerian, pentru guvernare sînt folosite cîrmele aerodinamice 20, plasate în jetul aeroreactiv al propulsorului, iar pentru frînare, ajutaje aeroreactive de marș înapoi, neprezentate în figură.

Sistemul hidraulic 19 antrenează coloana 4 în mișcare de ridicare prin intermediul unor cabluri, care nu pot prelua decît eforturi de întindere, pentru a permite rotirea liberă a coloanei 4, în cazul în care aceasta atinge fundul apei, sau un obiect rigid. Cînd este comandată inversarea sensului de marș, mișcarea de basculare a coloanei 4 nu mai este permisă, pentru că intervine un element de blocare 21, care se cuplează simultan cu acționarea mecanismului inversor 16.

Avantajele tehnico-economice ale sistemului prezentat sînt:
1. Se reduce prețul de cost al transportului, prin mărirea substanțială a randamentului mediu de propulsie. Astfel pentru o navă cu

viteza nominală de marș 60 noduri, care pe 95% din cursă ar fi propulsată cu elice hidraulică de randament 0,55, iar în restul de 5% din cursă ar fi propulsată cu ajutorul aeroreactiv de randament 0,20, ar rezulta un randament mediu de $\sim 0,53$, față de randamentul $\sim 0,38$ pe care îl pot realiza elicele aeriene la această viteză.

2. Se reduc dimensiunile de gabarit ale navei, prin renunțarea la elicele aeriene.

3. Scade mult nivelul de zgomot al instalației de propulsie, ceea ce reduce cheltuielile de construcție pentru navă și elimină necesitatea unor porturi speciale, depărtate de zonele populate.

Soluția prezentată în această lucrare este protejată prin brevetul de invenție RSR nr.59446.

4.2. Sistem integrat de sustentatie și propulsie pentru nave cu pernă de aer.

La navele cu pernă de aer sînt cunoscute sisteme integrate de sustentatie și propulsie, la care atît ventilatorul de sustentatie, cît și propulsorul, sînt antrenate de aceeași mașină, pentru a se obține masă specifică (t/Kw) redusă, randament ridicat și simplitate constructivă. Navele amfibii cu pernă de aer obligate a utiliza propulsoare aeriene, pot folosi elice cu pale orientabile (fig.4.3.) sau ajutorul cu jet reactiv de aer (fig.4.4.).

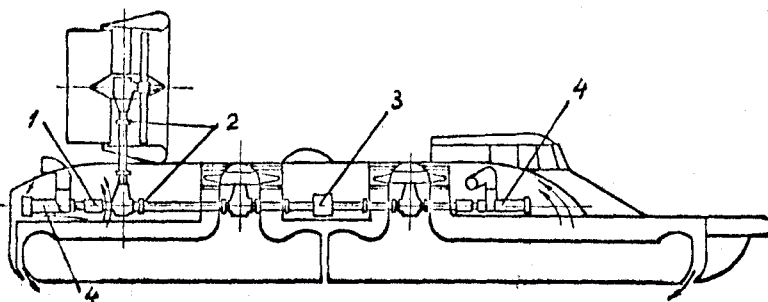


Fig.4.3. Schema sistemului integrat de sustentatie și propulsie cu elice aeriană, la nava americană Sk-1.

1-cuplaj hidraulic; 2-flanșe de cuplare; 3-lagăre; 4-turbine de gaze.



Fig.4.4. Schema sistemului integrat de sustentatie și propulsie aeroreactivă.

Instalația cu propulsor ajutaj cu jet reactiv de aer prezintă față de soluția cu elice, avantajul simplității constructive.

Forța de împingere F a unui propulsor aeroreactiv este dată de relația (3.34.):

$$F = \rho V_p (v_a - v) \quad (N) \quad (3.34.)$$

din care se observă că pentru o anumită viteză v de deplasare a navei, forța de împingere a propulsorului poate fi mărită prin creșterea mărimilor V_p sau v_a .

$$V_p = abv_a \quad (m^3/s) \quad (4.1.)$$

a, b - dimensiunile liniare ale secțiunii de ieșire a ajutorului aeroreactiv, (m).

Pentru o anumită viteză v_a , creșterea debitului de aer V_p al propulsorului poate fi realizată doar prin mărirea secțiunii de ieșire a ajutorului, deci a dimensiunilor navei la pupa. Această mărire este mult limitată de formele navei și nu poate reprezenta o soluție acceptabilă.

Viteza de ieșire a aerului din ajutorul aeroreactiv este:

$$v_a = \varphi \sqrt{2p_t / \rho} \quad (m/s) \quad (3.33.)$$

Ținând cont de formula (3.29.):

$$p_t = (1 + k_p) p_p \quad (N/m^2) \quad (3.29.)$$

se observă că pentru creșterea vitezei de ieșire v_a a aerului din ajutorul de propulsie, trebuie mărită presiunea din pernă p_p .

Debitul de aer al sistemului de sustentație este dat de formula (3.28.):

$$V_s = D_p h p_p \sqrt{2p_p / \rho} \quad (m^3/s) \quad (3.28.)$$

Componenta de val a rezistenței la înaintare a navei este dată de formula (3.1):

$$R_v = \frac{8mp_p}{\pi B_p \rho} F_1^2 \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \frac{\sin^2 \left[\frac{1}{2F_1^2} \sec^2 \theta \cos \theta \right] \sin^2 \left[\frac{\lambda \sec^2 \theta}{2F_1^2} \sin \theta \right]}{\sin^2 \theta} \cos^3 \theta \, d\theta \quad (3.1.)$$

Din formula (3.28) se observă că creșterea presiunii din pernă p_p are ca efect mărirea debitului de aer scăpat V_s . Din formula (3.1) se observă că simultan cu efectul susmenționat, creșterea presiunii din pernă conduce și la mărirea componentei de val a rezistenței la înaintare.

In concluzie, creșterea presiunii aerului din pernă provoacă mărirea puterii necesare atât pentru sustentație, datorită creșterii debitului de aer scăpat din pernă, cât și pentru propulsie,

datorită creșterii rezistenței de val. Din acest motiv, pe baza experienței de proiectare a navelor cu pernă de aer, lucrările de specialitate /100/ recomandă valorile optime ale presiunii din pernă în funcție de masa navei (fig.4.5).

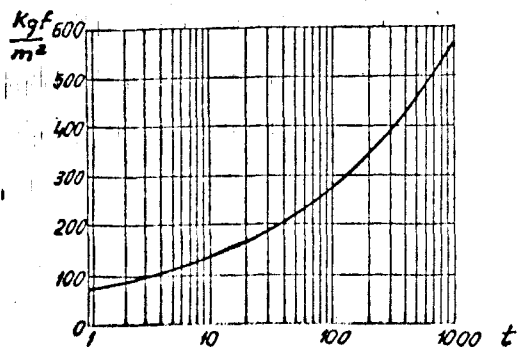


Fig.4.5.

Din cele prezentate mai sus, rezultă că folosirea aceleiași presiuni în pernă și la ajutorul de propulsie, provoacă funcționarea cu randament scăzut a sistemului integrat de susținere și propulsie.

În cele ce urmează se propune o soluție de mărire a randamentului sistemului susmenționat, în felul următor:

- pentru ajutoarele de propulsie, folosirea aerului comprimat într-o treaptă secundară a ventilatorului, care astfel devine dubluetajat;
- reglarea puterii propulsorului prin reglarea debitului de aer al treptei secundare a ventilatorului dubluetajat.

În fig. 4.6. este reprezentată o secțiune schematică prin agregatul ventilator propus. El este format dintr-o treaptă prima-

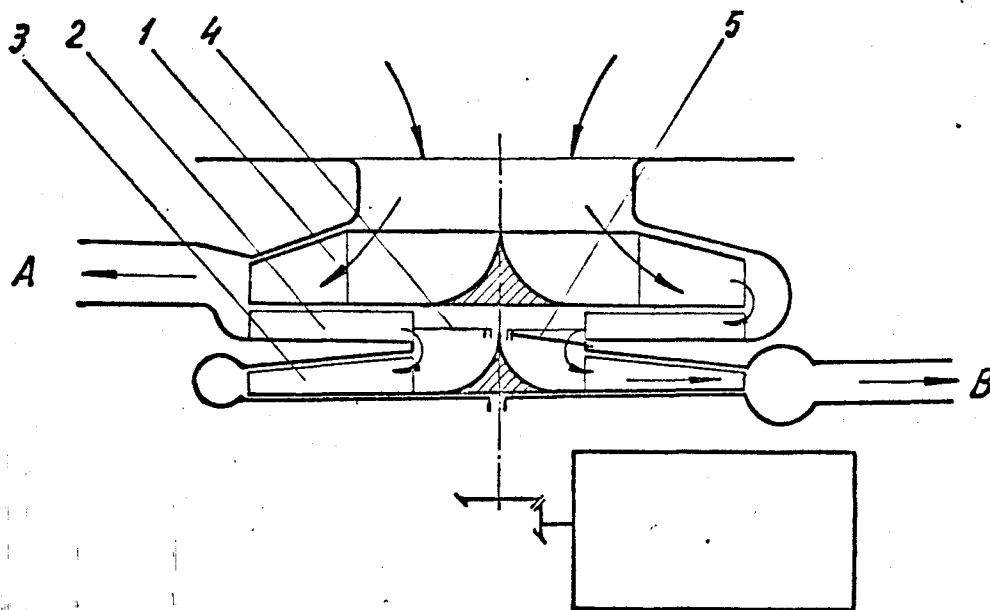


Fig. 4.6.

ră 1, care comprimă aerul necesar susținutiei. După comprimarea în treapta 1 o parte din aer este condus prin canalele de susținere

în sensul săgeții A. Restul aerului comprimat în treapta primară 1 trece prin paleții directori radiali 2 și intră în treapta secundară 3 a agregatului ventilator, unde suferă o nouă comprimare. Debitul de aer care pătrunde în treapta secundară 3 este reglat cu ajutorul unei clapete circulare 4, așezată coaxial cu arborele ventilatorului și care se poate deplasa la acționarea din exterior a manetei de comandă 5. Aerul comprimat din treapta secundară 3 este canalizat spre ajutajele de propulsie în sensul săgeții B.

Procedeul propus prezintă următoarele avantaje:

- permite mărirea puterii propulsorului fără a se recurge la creșterea presiunii din perna de aer sau la mărirea dimensiunilor ajutajelor de propulsie;
- permite reglarea mai economică a puterii propulsorului.

Acest procedeu este protejat prin brevetul de invenție românesc nr.59.417.

4.3. Navă cu două regimuri de deplasare.

În Capitolul 1 s-a arătat că navele cu pernă de aer ating cele mai mari viteze de deplasare. În cazul pierderii capacității de sustentare pe pernă de aer, navele construite pînă în prezent au corpuri etanșe care le asigură nescufundabilitatea, dar nu sînt studiate pentru deplasarea în regim de deplasament. Există de asemenea cazuri cînd din cauza valurilor prea mari, o navă nu mai poate naviga pe pernă de aer și ar trebui să aibă posibilitatea de a naviga în continuare în regim de deplasament. Un domeniu larg de aplicare pentru navele cu pernă de aer este cel militar, care cere unei nave cel puțin două regimuri de deplasare: regimul de patrulare sau de croazieră și regimul de viteză maximă. Dintre cele două regimuri, numai al doilea este asigurat în condiții economice de o navă cu pernă de aer. Regimul de patrulare, care se desfășoară cu viteză redusă, nu mai trebuie asigurat cu sustentarea pe pernă de aer, el putînd fi realizat cu ajutorul navei în regim de deplasament. În acest caz însă, rezistența la înaintare crește excesiv de mult, datorită formelor corpului, care nu sînt studiate hidrodinamic în acest sens, precum și datorită fustelor flexibile, care fiind imerse, măresc mult rezistența de vîscozitate a navei.

Soluția imaginată de autor (brevet de invenție R.S.R. Nr. 61368) rezolvă cerințele arătate mai sus, prin aceea că pentru marșul de viteză redusă, nava propusă se deplasează în regim de

deplasament, cu ajutorul a două carene studiate hidrodinamic/18, 31/, iar pentru marșul cu viteză mărită, nava este ridicată pe o pernă de aer limitată longitudinal de doi pereți verticali rigizi imerși, montați sub cele două carene și transversal de fuste flexibile, escamotabile în interiorul corpului.

În fig. 4.7, 4.8 și 4.9 este reprezentată schematic variația maritimă a navei propuse, în vederile laterală, în plan și respectiv, dinspre pupa.

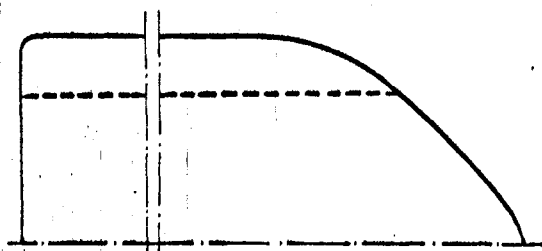
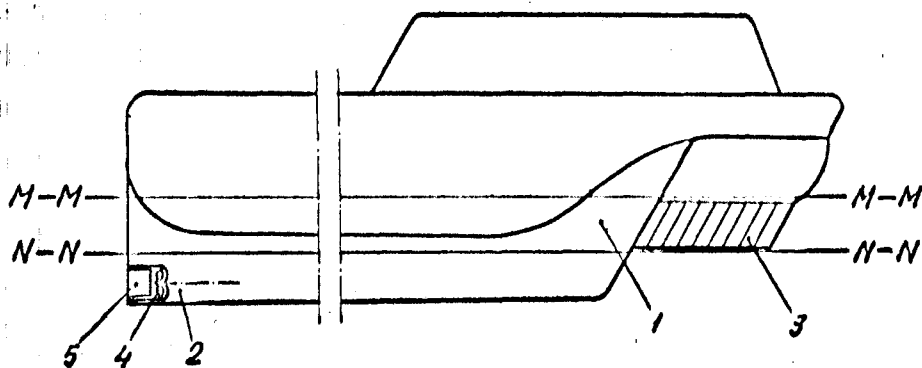


Fig. 4.8.

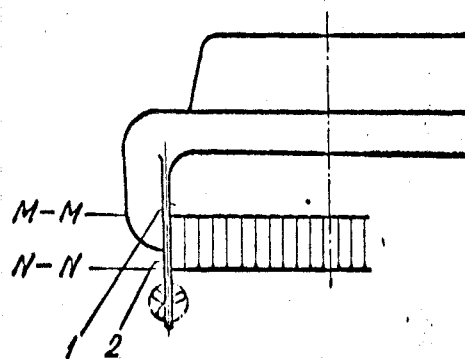


Fig. 4.9.

Conform invenției, nava dispune de două carene 1, care îi asigură flotabilitatea în regimul de deplasament, regim ce se realizează cu viteze inferioare și căruia îi corespunde linia de plutire M-M. Pentru trecerea la regimul de deplasare pe pernă de aer, în scopul obținerii unor viteze mult mai mari, intră în funcțiune sistemul de sustentație, care asigură ridicarea navei pe pernă de aer, astfel încât linia de plutire devine N-N, situată sub carenele 1. Perna de aer este limitată lateral de doi pereți verticali rigizi imerși 2, montați sub carenele 1, iar la extremitățile pro- va și pupa, de fuste flexibile 3, escamotabile în interiorul cor-

pului navei, atunci cînd se navigă în regim de deplasament.

Pereții verticali rigizi imerși 2 sînt necesari pentru asigurarea etanșității pernei de aer și în situația suprafeței apei deformată de valuri, situație caracteristică navigației pe mare.

Pentru ambele regimuri de deplasare, propulsarea navei se realizează cu ajutorul a două elice hidraulice 4, cu pale orientabile, studiate pentru cele două regimuri, iar guvernarea navei este asigurată de două cîrme 5.

Soluția propusă prezintă următoarele avantaje:

- mărește siguranța de navigație prin folosirea regimului de deplasament, atunci cînd din diferite motive perna de aer nu poate fi folosită;
- permite mărirea, în mod economic, a autonomiei de navigație prin folosirea carenelor, pentru perioada de deplasare în regim de deplasament;
- permite mărirea vitezei medii de deplasare a navei și deci a eficienței acesteia;
- îmbunătățește navigabilitatea navei pe mare montată, carenele contribuind la mărirea capacității de amortizare a oscilațiilor longitudinale ale navei și prin aceasta ameliorează și condițiile de confort.

Varianta fluvială a navei cu două regimuri de deplasare nu mai are nevoie de pereții verticali rigizi imerși 2, perna de aer fiind limitată lateral de carenele 1.

Aplicarea concretă a soluției brevetate a fost planificată de autor în următoarele etape de realizare:

- 4.3.1. Determinarea formelor și dimensiunilor optime ale corpului navei, pentru cele două regimuri de deplasare.
- 4.3.2. Proiectarea, executarea și experimentarea modelului la bazinul hidrodinamic.
- 4.3.3. Proiectarea structurii corpului și instalațiilor navei.
- 4.3.4. Proiectarea, executarea și experimentarea modelului semi-natural (scara 1:2) al navei.
- 4.3.5. Executarea și experimentarea navei naturale (scara 1:1).

În cele ce urmează vor fi prezentate cîteva din rezultatele obținute pînă în prezent de autor, în legătură cu nava cu două regimuri de deplasare.

- 4.3.1. Determinarea formelor și dimensiunilor optime ale corpului navei.

Alegerea formelor și a dimensiunilor principale ale corpului

navei a respectat următoarele condiții:

- masa și capacitatea de transport a navei, impuse prin tema de proiectare;
- instalațiile de forță puse la dispoziție de industria românească;
- rapoartele între dimensiuni trebuie să asigure o interferență favorabilă a sistemelor de valuri ale celor două carene în regim de deplasament;
- posibilitatea folosirii parțiale a corpului modelului seminatURAL și a navei naturale de tipul hidrobus fluvial cu pernă de aer, care se construiește în prezent la ICEPRONAV Galați. Această navă va avea pereți laterali rigizi de tipul cunoscut în tehnică, care pot fi relativ ușor înlocuiți cu carene studiate hidrodinamic, obținându-se avantajele indicate la pct.4.3.

În urma experimentărilor făcute în bazinul hidrodinamic al Universității din Galați, folosind și concluziile altor bazine / 31,78,8 /, autorul consideră că forma optimă a corpurilor de carene / 78 / va fi cea dată în fig.4.10.

Asimetria corpurilor de carene este provocată intenționat pentru a nu mări cantitatea de mișcare a apei dintre cele două carene, mărire care ar provoca creșterea rezistenței la înaintare. Se observă de asemenea că formele extremităților sînt studiate pentru viteze relative mari. După cum vom argumenta ulterior, viteza nominală de marș a navei în regim de deplasament va fi cea corespunzătoare numărului Froude $F_L = 0,35$.

Stabilirea rapoartelor optime între dimensiunile pernei a fost făcută pe baza cercetărilor efectuate de Everest /31/ la National Physical Laboratory, Ship Division, pentru catamarane.

Conform acestor cercetări teoretice și experimentale, rezistența de val a unui catamaran variază mult în funcție de numărul Froude și distanța relativă dintre cele două carene (S/L), care în cazul navei cu două regimuri de deplasare este tocmai raportul de aspect λ (fig. 4.11).

După cum se observă în fig. 4.11, pentru a folosi interferența favorabilă a sistemului de valuri ale celor două carene ale unui catamaran, (fig.4.12), acesta trebuie să aibă distanța relativă dintre carene $S/L = 0,32$, iar viteza nominală de marș trebuie să corespundă numărului Froude $F_L = 0,354$.

Desigur, aceste concluzii stabilite de Everest, care constituie date preliminare de proiectare pentru noi, vor trebui verificate experimental în cazul navei cu două regimuri de deplasare.

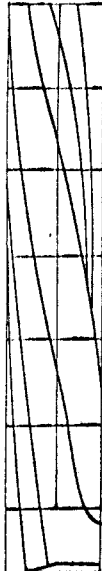
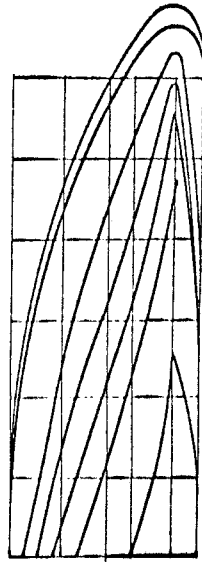
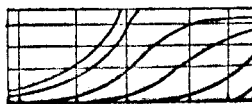
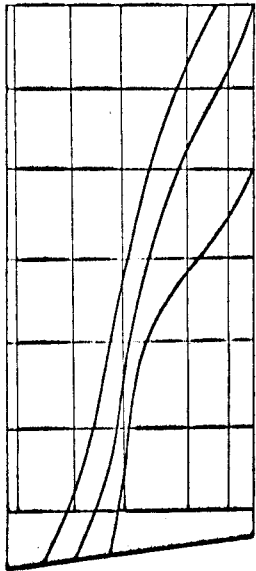
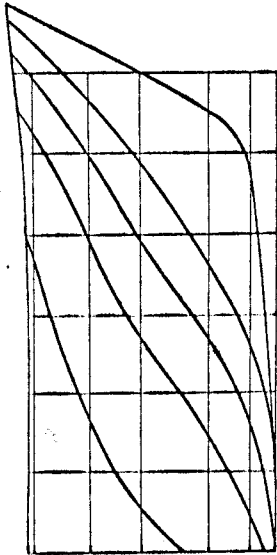
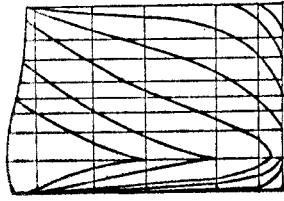


Fig. 4.10.

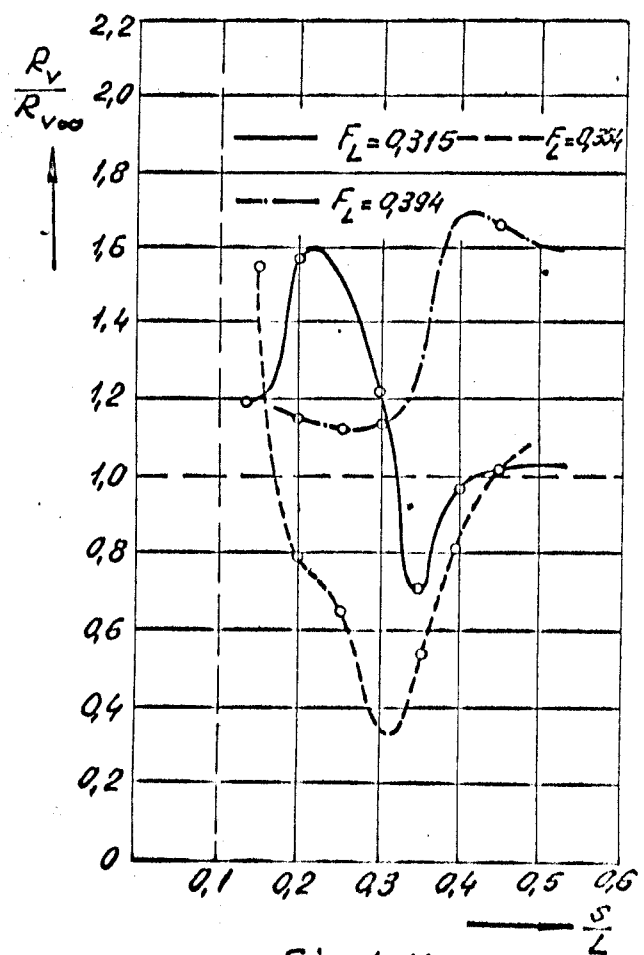


Fig. 4.11.

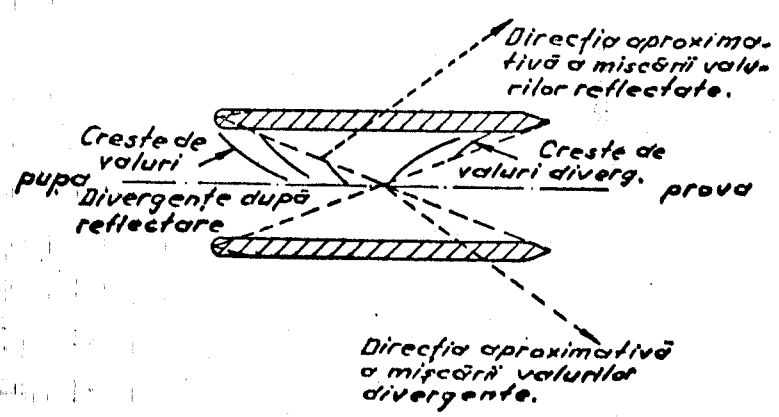
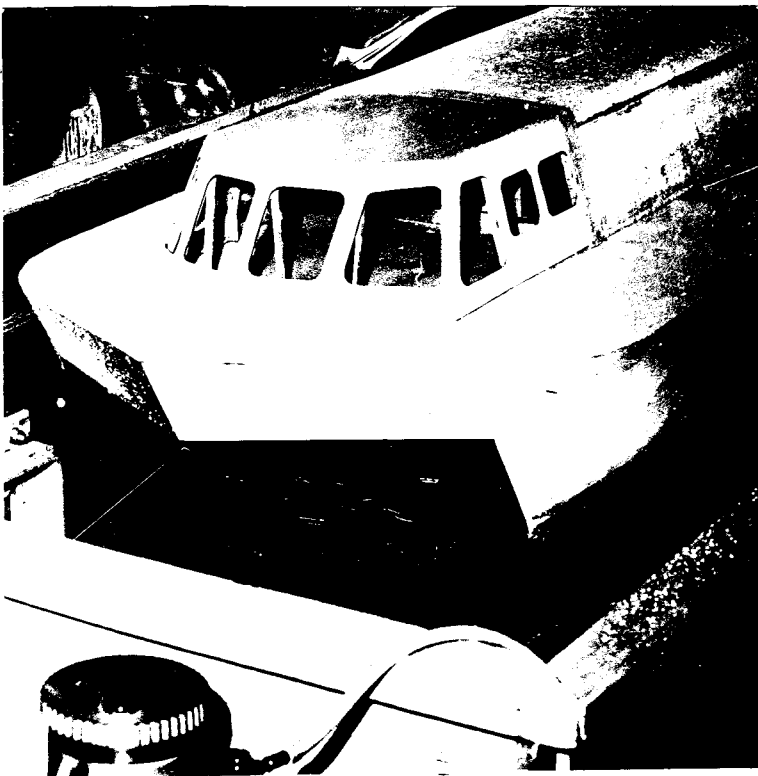
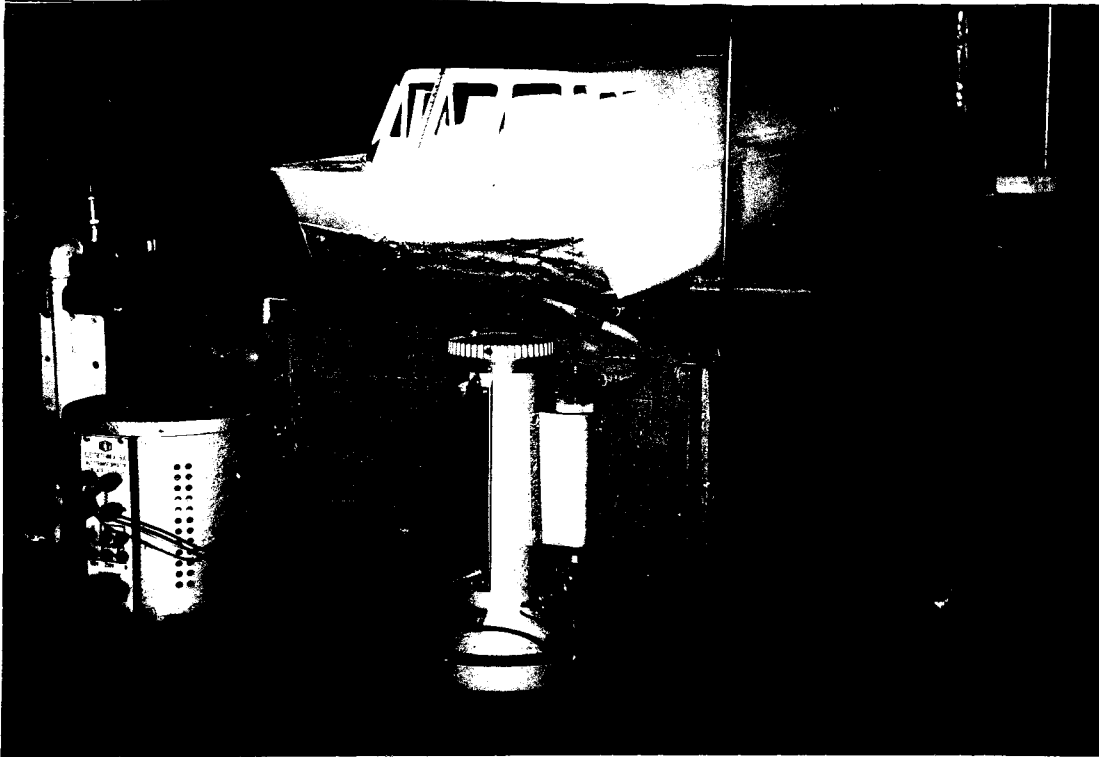


Fig. 4.12

4.3.2. Proiectarea, executarea și experimentarea modelului la bazinul hidrodinamic.

În scopul verificării soluției propuse, a fost executat modelul navei la scara $\lambda=10$ (fig. 4.13, 4.14, 4.15) care a fost tractat în bazinul hidrodinamic, pentru regimul de deplasament.



Pentru masa modelului $m = 9,95$ Kg au fost obținute rezultatele indicate în fig. 4.16.

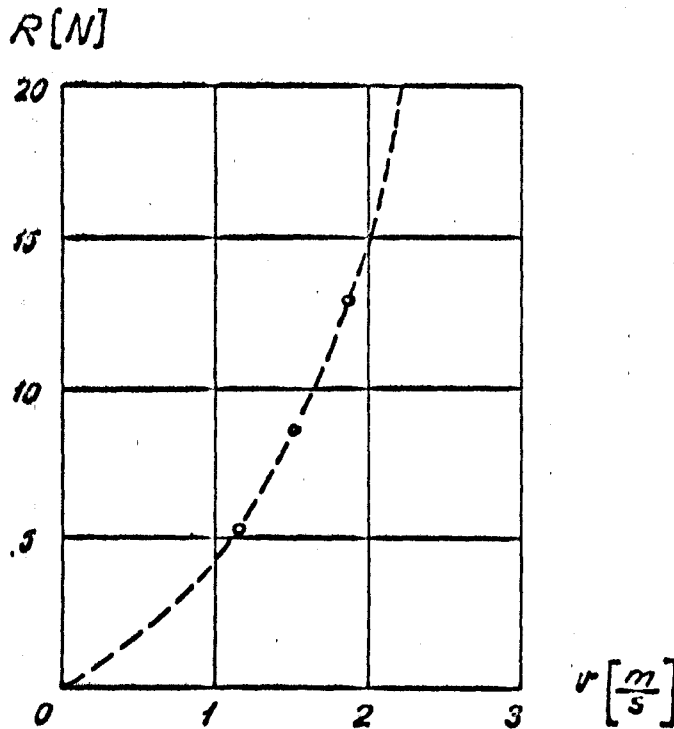


Fig. 4.16

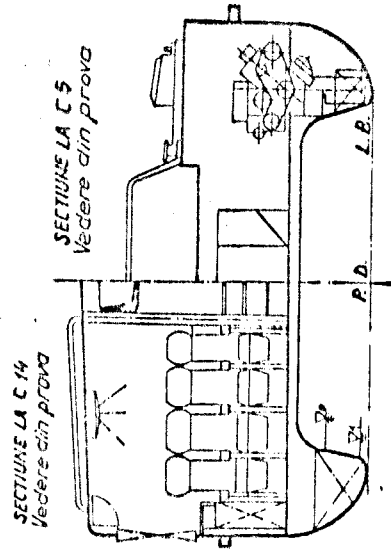
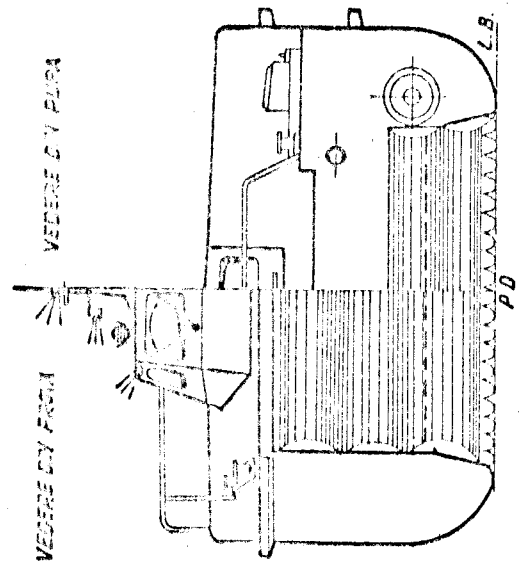
Cu ocazia acestor tractări, s-a constatat că extremitățile corpului trebuie modificate, pentru a reduce rezistența de val, așa cum s-a arătat la pct.4.3.1. În prezent se confecționează modelul cu formele prezentate în fig. 4.10.

După definitivarea formelor de carene pentru regimul de deplasament, se va putea trece la tractarea modelului în regim de susținere pe pernă de aer.

4.3.3. Proiectarea structurii corpului și instalațiilor navei.

Pe baza studiilor efectuate până în prezent s-au putut stabili următoarele caracteristici tehnice ale navei naturale cu două regimuri de deplasare:

- Lungimea maximă	15,56 m
- Lungimea între perpendiculare	14,80 m
- Lățimea la carene	5,8 m
- Lățimea maximă	6,2 m
- Înălțimea totală a corpului	2,9 m
- Pescajul în regim de deplasament	0,50 m
- Pescajul navei susținute	0,15 m
- Lungimea pernei	12,357m
- Lățimea pernei	3,96 m
- Înălțimea pernei	0,85 m
- Aria pernei	55,4 m ²
- Presiunea în pernă	2213 N/m ²
- Masa totală a navei	12,5 t



Scala 1:75

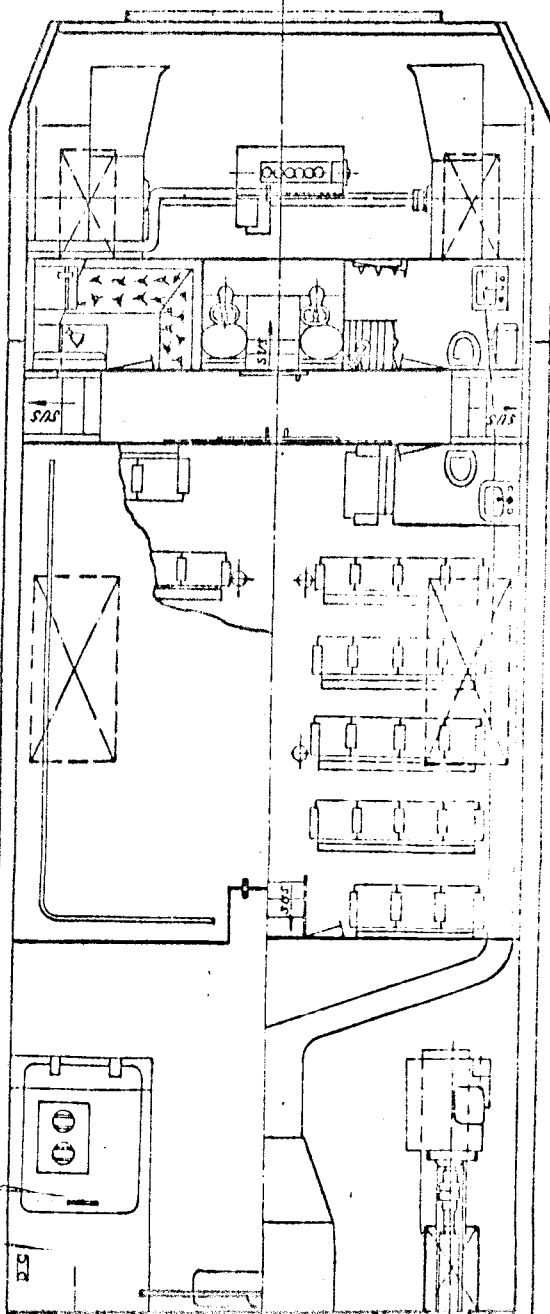
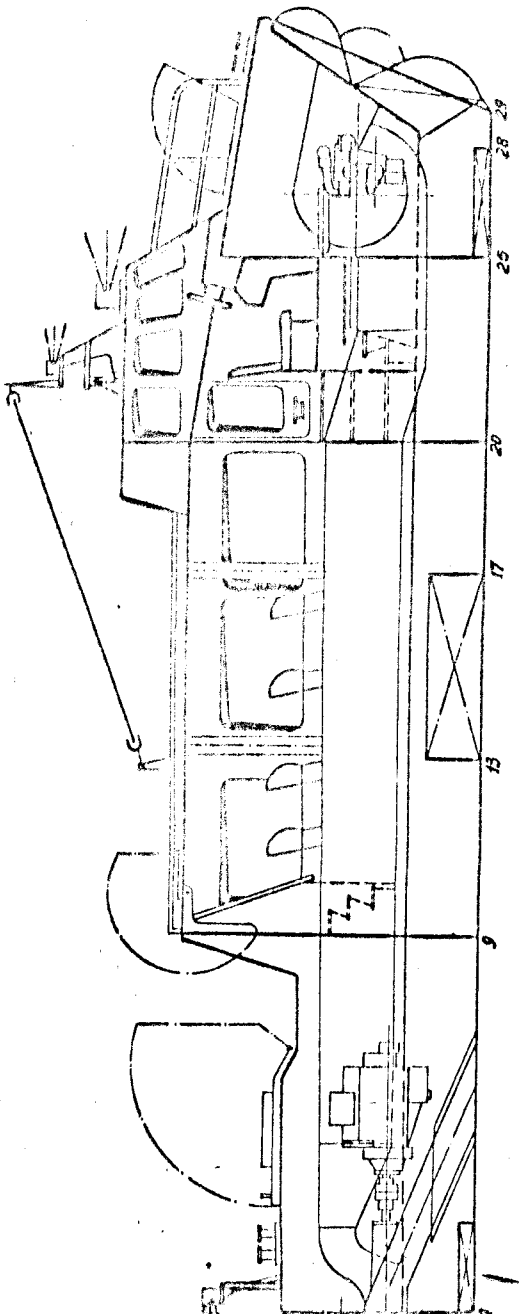


Fig. 4.17.

- Capacitatea de transport 44 persoane
- Echipaj 3 persoane
- Autonomie de navigație 400 km
- Viteză optimă în regim de deplasament 14 Km/h
- Viteza maximă de calcul în regim de deplasament... 29 Km/h
- Viteza navei sustentate 60 Km/h
- Puterea instalată: -două motoare Diesel de 215 CP, fabricație românească, tip D2156 HMN8 pentru propulsie cu jet hidroreactiv;
-un motor Diesel de 135 CP, fabricație românească, tip 797.05 pentru sustentație.

In fig. 4.17 este reprezentat planul general al navei cu două regimuri de deplasare, conform caracteristicilor susmenționate.

Instalațiile auxiliare ale navei vor fi de tipurile clasice, studiate pentru a avea mase minime. O excepție va constitui instalația de escamotare a fustelor flexibile, nefolosită la alte nave.

5.1
de
cer
cu
ICE
cap
pag
legi
tei
la
hidr
buzu
în c
tați
elab
tre
perin
de pa
1976
velor
facul
niul
stand
lații
prelu
întru
domen
star
defo
bazi
velo
inst
oriz
dina
inst

5. PRECIZARI

Această teză de doctorat a fost elaborată în baza convenției de colaborare Nr. 743 din 10 octombrie 1974 și a contractului de cercetare științifică Nr. 7602 din 1 iulie 1976, ambele încheiate cu Institutul de cercetare și proiectare pentru construcții navale, ICEPRONAV-Galați. Ea cuprinde 4 capitole, dintre care ultimele două, capitolul 3 și capitolul 4 sînt originale, iar în capitolul 2, la pag. 32 și 33 sînt prezentate considerații și o diagramă originală în legătură cu rezistențele de impuls și de stropi.

Cercetările originale întreprinse pentru determinarea componentei de jet a rezistenței la înaintare au fost utilizate cu succes la prelucrarea datelor obținute prin tractarea modelului în bazin hidrodinamic, pentru determinarea rezistenței la înaintare a hidrobuzului fluvial rapid pe pernă de aer, de 36 locuri, care se află în construcție la ICEPRONAV Galați.

Metoda originală de calcul pentru sistemul integrat de sustentare și propulsie aeroreactivă la navele cu pernă de aer a fost elaborată și folosită cu succes cu ocazia probelor efectuate de către ICEPRONAV Galați cu nava experimentală cu pernă de aer O23E.

Pentru crearea condițiilor materiale necesare cercetării experimentale a proceselor expuse în teză, cu sprijinul Comitetului de partid și al conducerii Universității, în perioada anilor 1969-1976, autorul a proiectat și amenajat laboratorul instalațiilor navelor cu pernă de aer (INPA), care funcționează în prezent în localul facultății de mecanică pentru cercetări și lucrări didactice în domeniul navelor cu pernă de aer.

În desenele anexate sînt prezentate încăperile în care se află standurile ecran nedeformabil și bazin de sustentare A, cu instalațiile aferente. Nu au fost prezentate desene pentru atelierul de prelucrări metale, prelucrări nemetale și instalații electrice, întrucît acestea deși sînt absolut necesare, nu sînt caracteristice domeniului studiat.

Au fost proiectate și realizate prin autodotare următoarele:
stand pentru studierea sustentăției la punct fix și pe ecran nedeformabil a navelor cu pernă de aer;
bazin pentru studierea sustentăției la punct fix și pe apă a navelor cu pernă de aer;
instalație dinamometrică gravitațională pentru măsurarea forțelor orizontale în gama ($10^{-4} \dots 0,5$)N cu precizia de măsurare $0,5 \cdot 10^{-5}$ N;
dynamometru tensometric pentru măsurarea forțelor orizontale;
instalație piezometrică pentru cîmpul de presiuni din perna de aer.

- cu precizia de măsurare 0,01 mm CA;
- instalații de acționare electrică a electromotoarelor de susținere, cu reglarea turației prin tensiunea de alimentare;
- modelul funcțional al navei amfibii cu pernă de aer Q23E, la scara $\lambda = 6$ cu sistem integrat de susținere și propulsie aeroreactivă, pentru experimentare pe standurile de ecran nedeformabil și susținere pe apă;
- modelul navei Q23E la scara $\lambda = 14$ pentru determinarea componentei aerodinamice de rezistență la înaintare, în tunelul aerodinamic al Institutului Politehnic București;
- modelul funcțional al navei cu două regimuri de deplasare, care constituie obiectul unuia din brevetele de invenție obținute în domeniul navelor cu pernă de aer;
- clinometre cu vase comunicante;
- stand pentru determinarea caracteristicii de sarcină a ventilatoarelor axiale.

Se află în curs de executare următoarele lucrări:

- bazin industrial de susținere pe apă la punct fix a navelor cu pernă de aer prevăzut cu: posibilități de vizualizare a proceselor în interiorul și exteriorul pernei de aer (periscop reglabil pe înălțime și orientabil), instalație electrică automată de alimentare cu apă cu posibilitatea reglării nivelului în domeniul (50 ... 800) mm, instalație electromecanică de transportat modele, instalație electrohidraulică de ridicare a modelelor, instalație electromecanică de închidere a capacului de acces sub tunel;
- platformă industrială de susținere pe ecran nedeformabil și la punct fix a navelor cu pernă de aer, dotată cu: instalație tensometrică pentru măsurarea împingerii la punct fix a NPA, instalație tensometrică pentru determinarea poziției în spațiu a centrului de masă la NPA, instalație electrohidraulică pentru ridicarea NPA, cu caracteristicile: sarcina 1000 kg, înălțimea 1000mm, pentru vizitarea fustelor flexibile în perna de aer, instalație de măsurare și reglare a luminii NPA;
- navă cu pernă de aer amfibiă cu motor de 90 CP ;
- modelul telecomandat prin cordon pentru studierea deplasării pe diverse suprafețe de sprijin, împreună cu platforma corespunzătoare;
- model telecomandat prin radio pentru probe de rotație;
- clinometru cu fascicol luminos;
- instalație electromecanică de acționare a carcaselor de protecție a modelelor;
- dispozitiv de măsurare trirectangulară a modelelor de NPA;

STAND FRAN NEREFORAMRII
VEREDE DE CUS

STAND ECRAAN NEDEFORMABIL

VEDERE DE SUS

SCARA 1:20

dulap pentru aparate electrice

redactor electric sustenabil

dulap pentru câști antifon

balanță pentru tracțiune la punct fix

micromanometru compensator MK-1

modelul 023 E

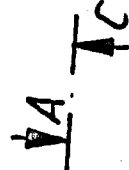
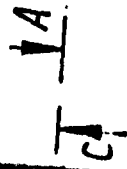
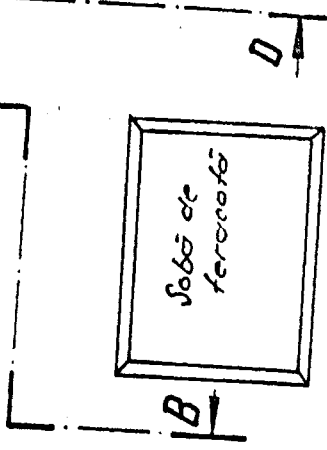
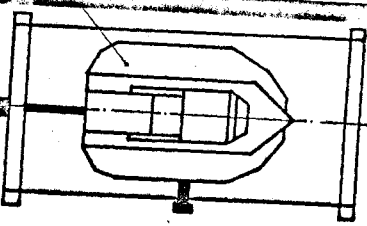
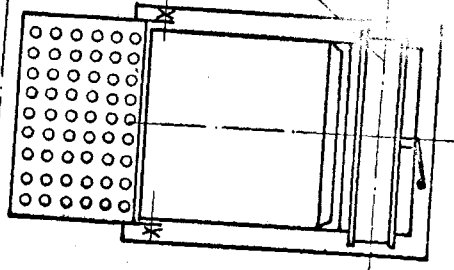
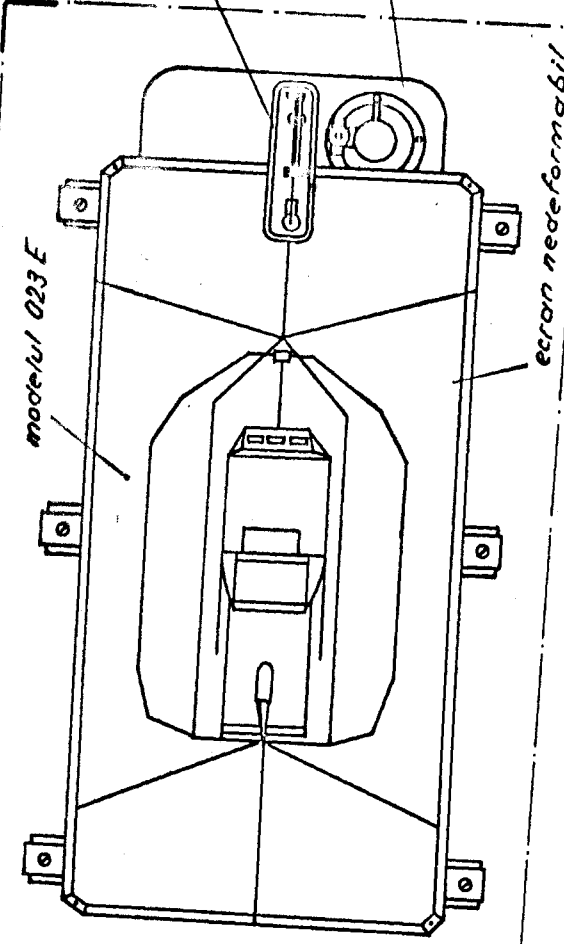
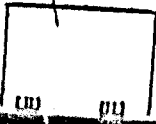
ecran ne deformabil

modelul navei 023 E pentru furtel aerodinamic

sabă de ferocafă

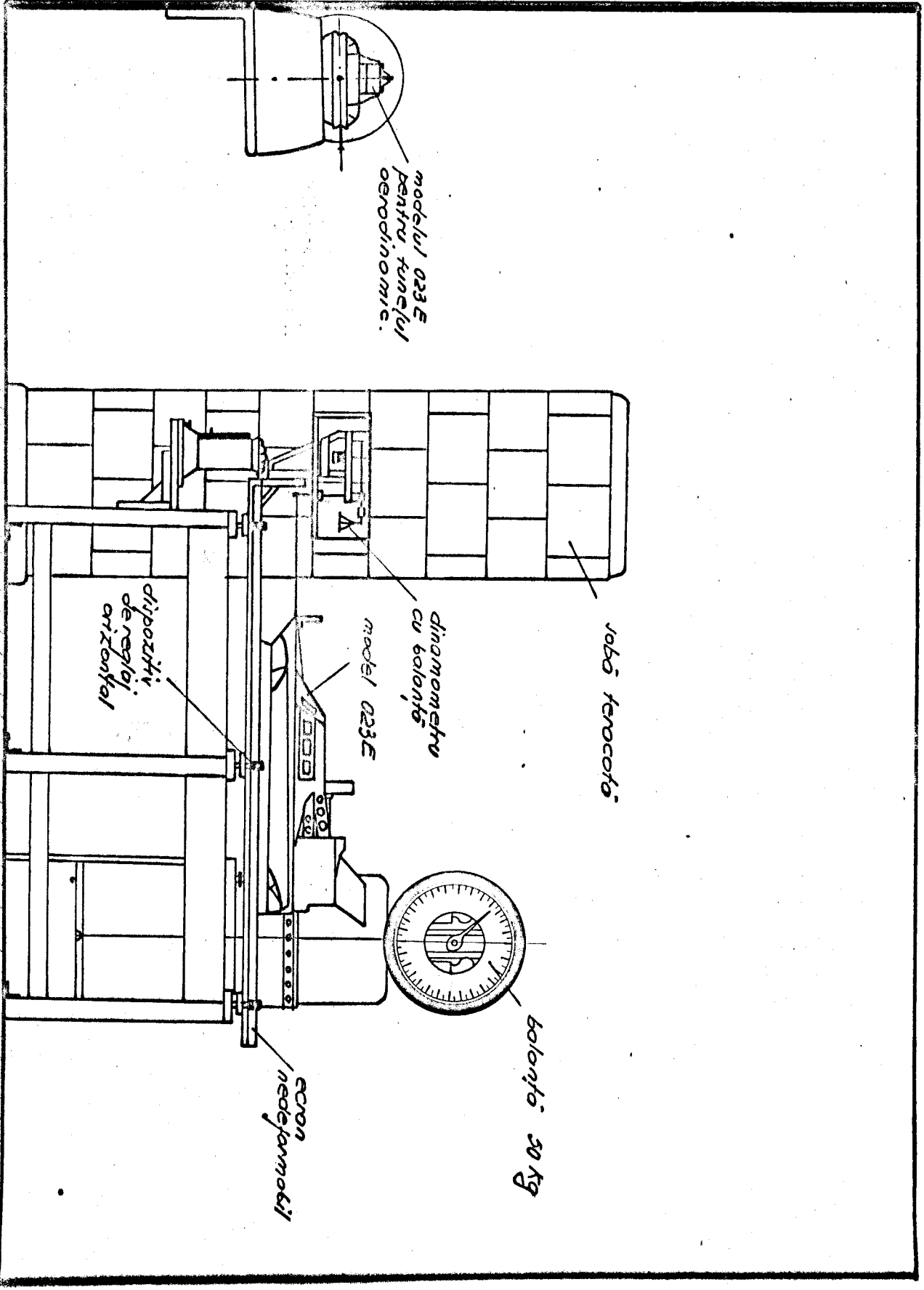
balanța de 50 kg.

barometru cu mercur



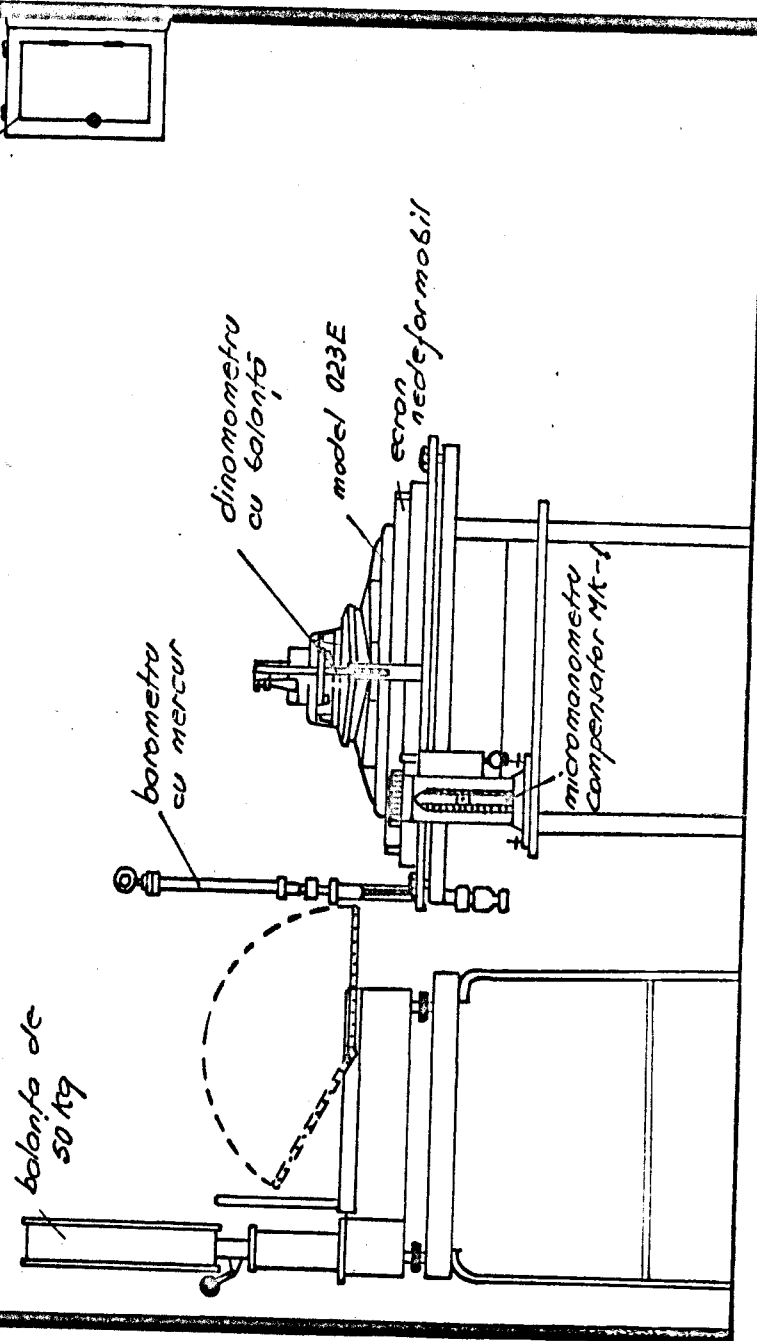
STAND ECRAN NEDEFORMABIL

SECTIONEA 4-4 Score 1 20



STANU EGARAN NEDEFORMABIL
SECTIUNEA B-B
Scara 1:20

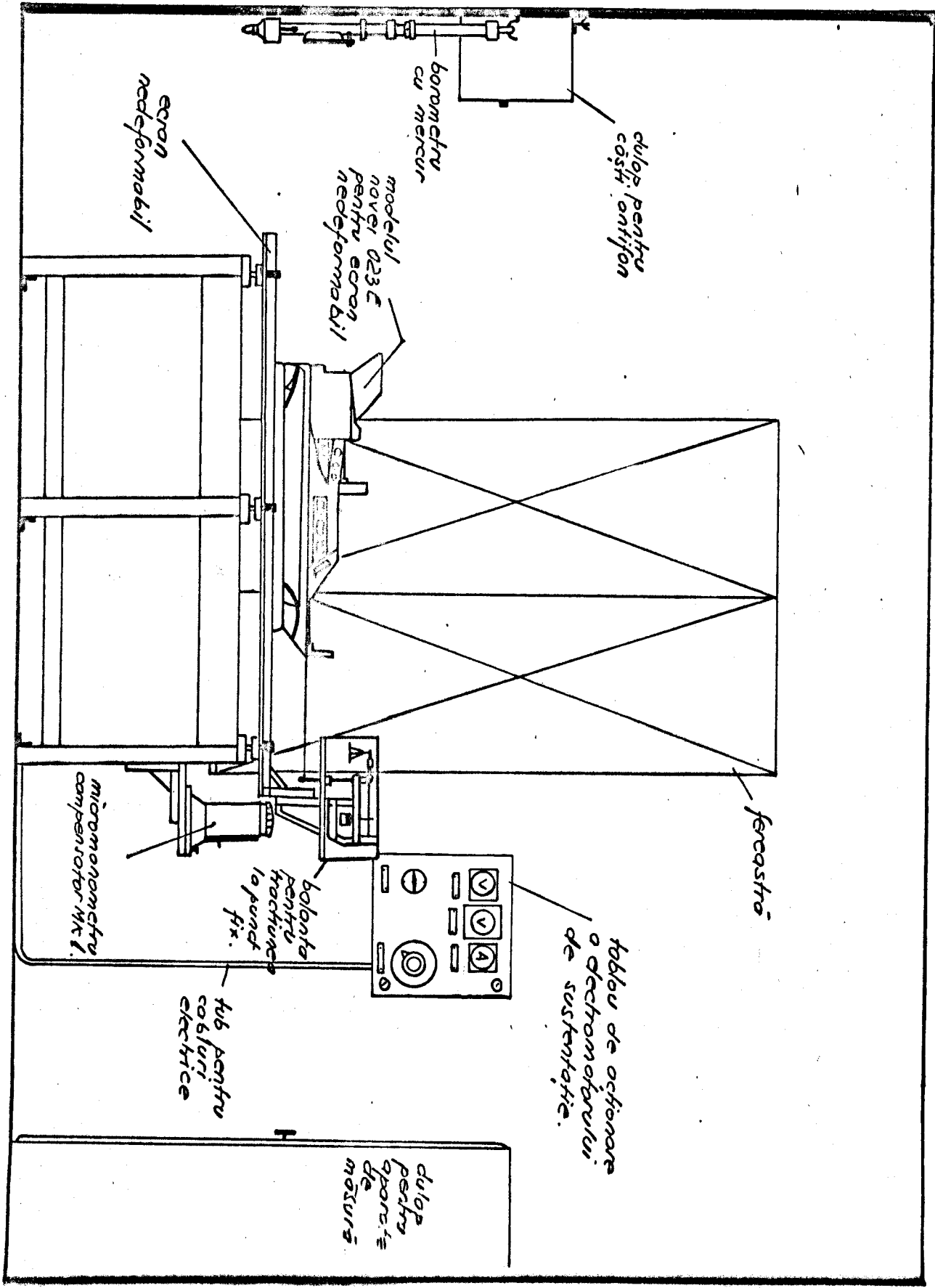
dubla pentru
cãsti antifo.



STAND ECRAN NEDEFORMABIL

SECTIUNEA C-C

- 1389 -



STAND ECRAN NEDEFORMABIL SECTIONEA D-0

Scara 1:20

modelul navei 023E
pt. tunel aerodinamic

023E

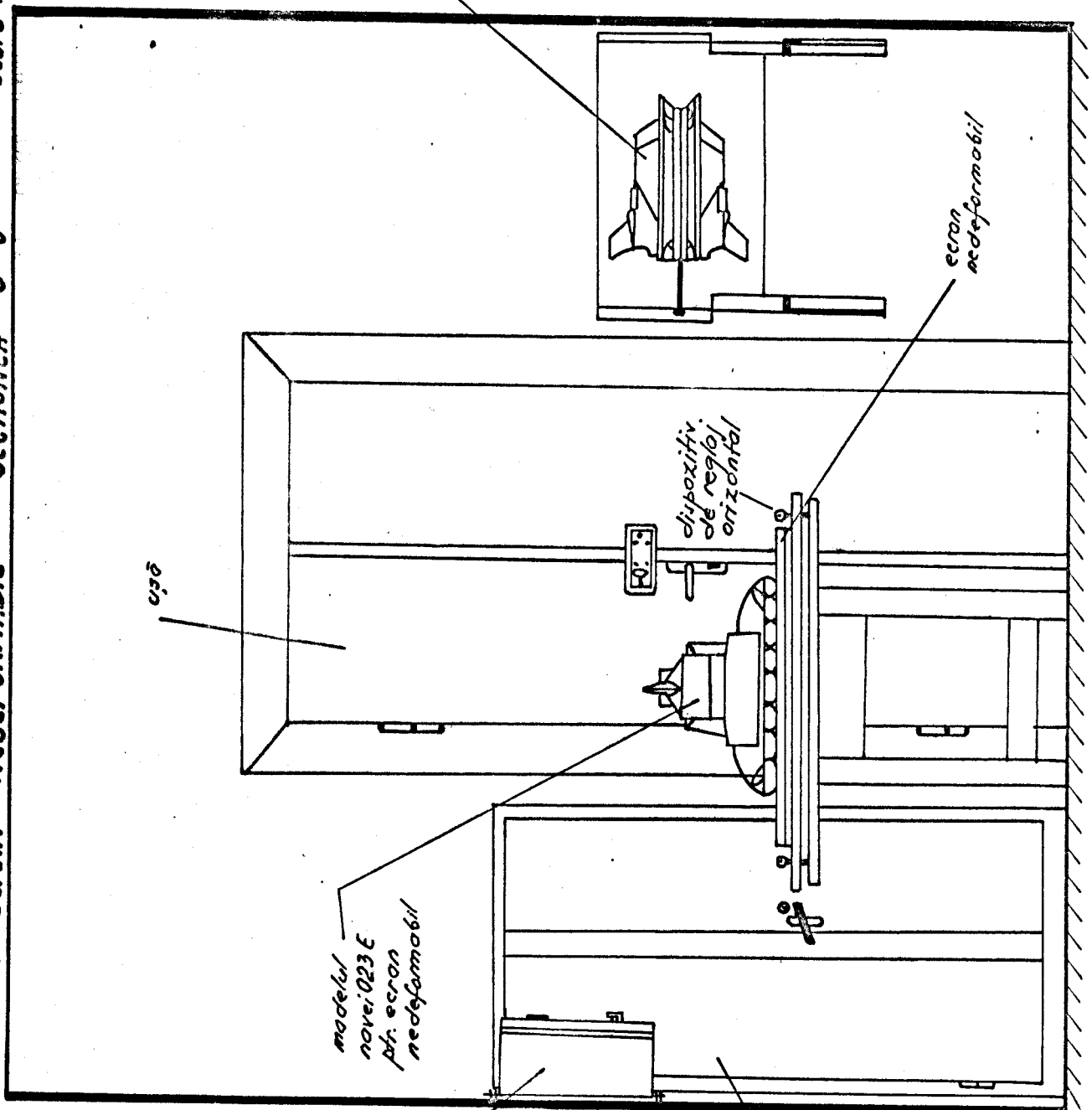
modelul
navei 023E
pt. ecran
nedeformabil

dispozitiv
de reglaj
orizontal

ecran
nedeformabil

scara
ecran
nedeformabil
sistem

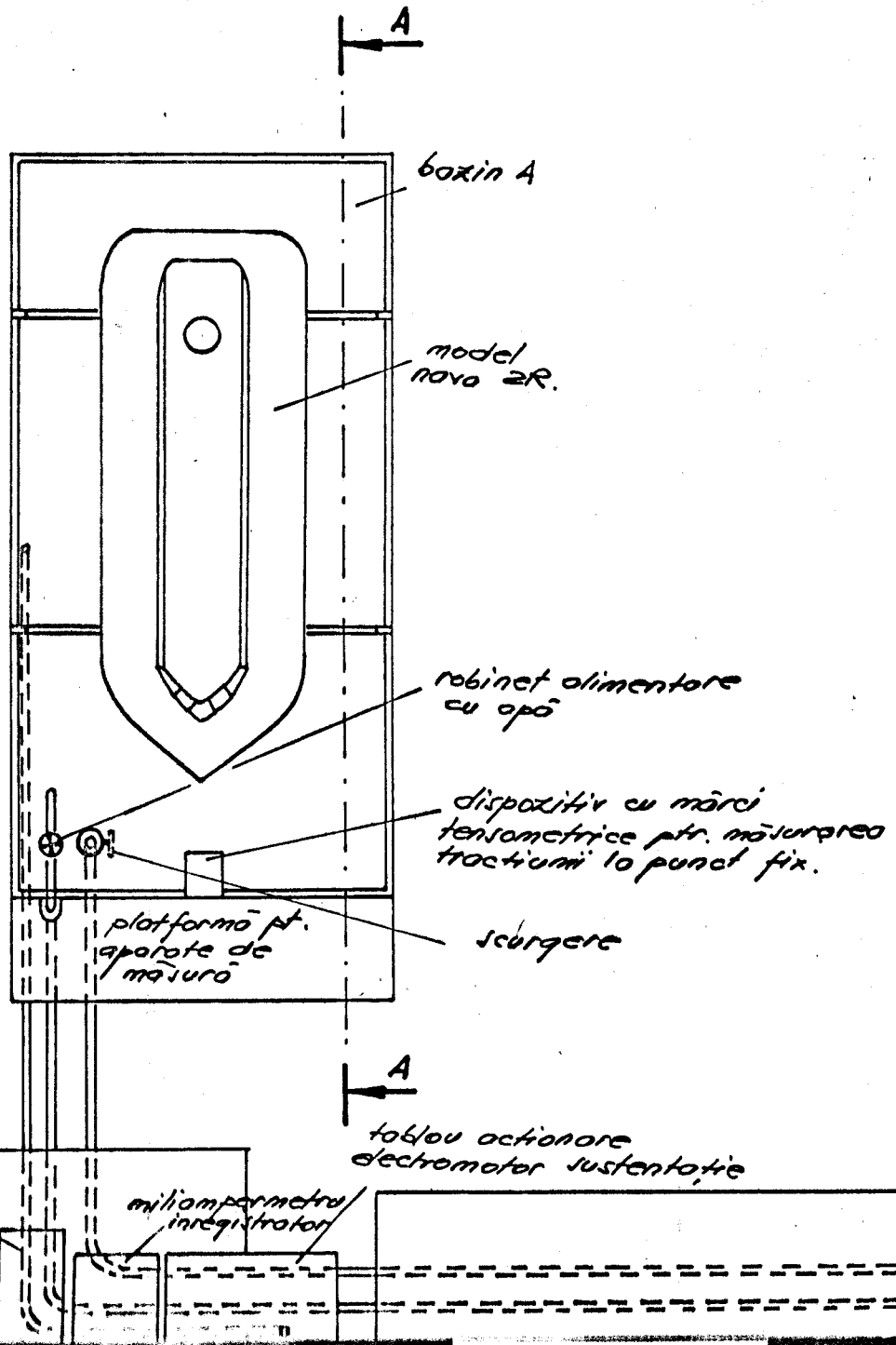
scara
ecran
nedeformabil
sistem



BAZIN DE SUSTENTATIE A VEDERE DE SUS

Scara 1:20

șabla
teracotă

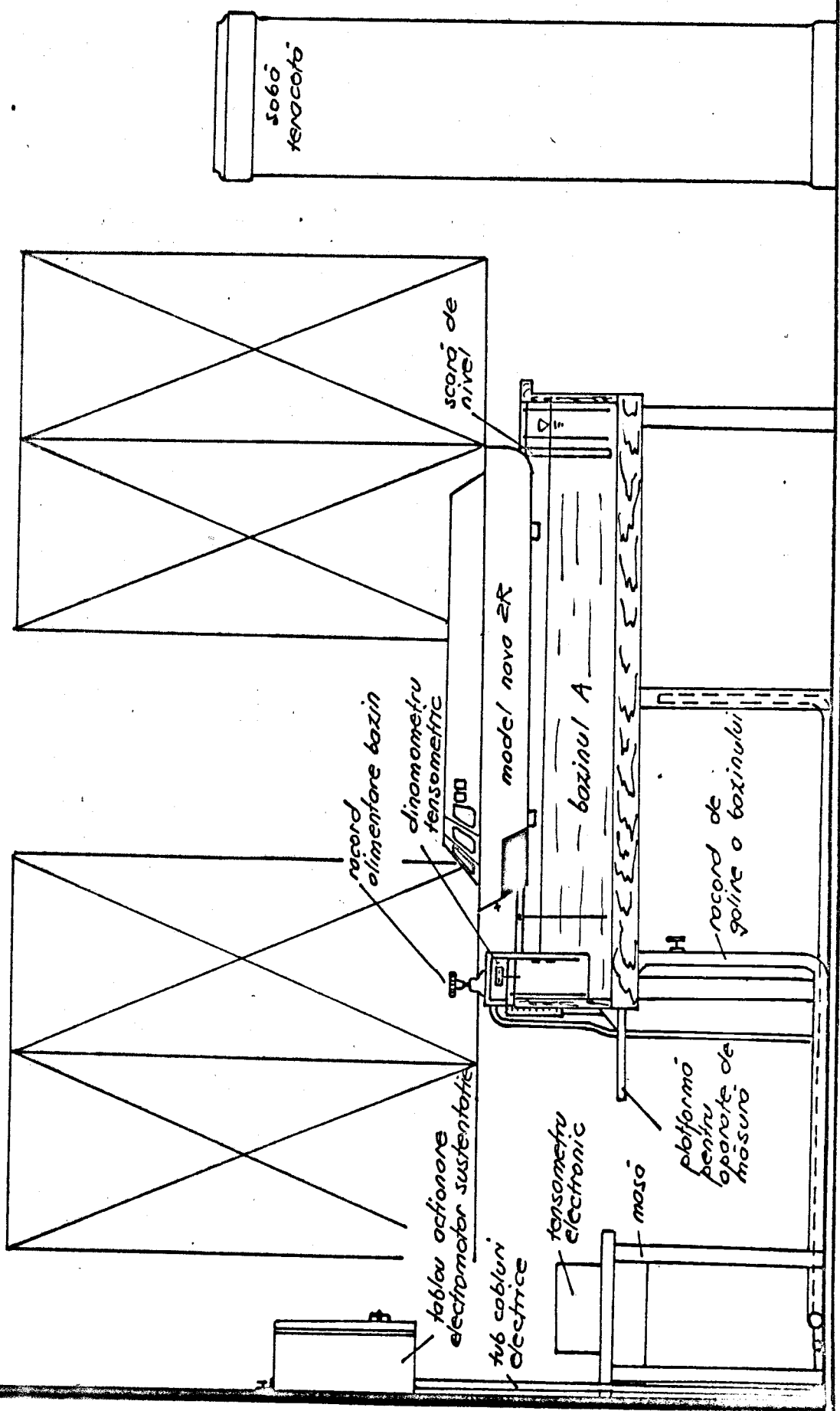


BAZIN DE SUSTENTATIE A

SECTIUNEA A-A

Scara 1:20

- 949 -



- stand pentru vizualizarea deformării liniilor de curent de aer la NPA;
- stand pentru determinarea experimentală a coeficientului de debit la sistemul de sustentatie al NPA.

Realizările obținute în domeniul studierii navelor cu pernă de aer au fost oglindite și în activitatea didactică. Astfel, în cursul de instalații navale pe care-l predă autorul, începând cu anul 1976 a fost introdus capitolul Instalațiile de sustentatie ale navelor cu pernă de aer, cu 4 ore. De asemenea, în cadrul lucrărilor didactice de laborator sînt prevăzute și se pot executa de către studenți următoarele lucrări:

1. Determinarea presiunii medii din perna de aer și verificarea ei prin măsurători directe.
2. Determinarea distribuției de presiune din perna de aer pentru ecran nedeformabil.
3. Determinarea distribuției de presiune din perna de aer pentru sustentatie pe apă.
4. Determinarea componentei de jet a rezistenței la înaintare a navelor cu pernă de aer.
5. Determinarea caracteristicii de sarcină în funcție de debit pentru ventilatoarele axiale.

Cu ajutorul instalațiilor care se execută în prezent se va putea trece și la efectuarea altor lucrări în domeniul navelor cu pernă de aer.

În privința bibliografiei, autorul a considerat utilă indicarea unui număr minim de 101 lucrări, din cele aproximativ 350 titluri consultate.

6. BIBLIOGRAFIE

- /1/ Alexander A.J. „Effect of Forward Speed on Hovercraft with Particular Reference to Cushion Breakdown” Proceedings of the Research Symposium on Air Cushion Vehicles, Swansea, 1964. University College of Swansea, Dept. of Mechanical Engineering 1964, p. 10 - 12. Hovering Craft and Hydrofoil, vol. 3, July 1964.
- /2/ Andrews E.J. „The External Aerodynamics of Hovercraft” The Aeronautical Journal of the Royal Aeronautical Society - June 1970 - vol. 74.
- /3/ Augustin P. „Teoria aeroelasticității. Statică.” Ed. Academiei R.S.R., 1966.
- /4/ Bașchevici K.P.g.a. „Poziționne i dinamiceschie haracteristichi sil i momentov letatelinh apparatov na vozdușnoi podușche ” Trudî TAGI, im. Jucovscovo, v. 976, Moscova 1965.
- /5/ Belavin N.I. „Ecranoplanî” - Sudostroenie, Leningrad 1968.
- /6/ Benua Iu.Iu.g.a. „Osnovî teorii sudov na vozdușnoi podușche” Sudostroenie, Leningrad 1970.
- /7/ Bertin J. „French Marine Air Cushion Vehicles” The Aeronautical Journal of the Royal Aeronautical Society, vol. 74 sept. 1970.
- /8/ Birkhoff G., Hydrodynamics, Princeton, New Jersey. Princeton University Press, 1960.
- /9/ Bogdanov - Cerrin A.M., Mecanica în tehnica aviației, Ed. Tehnică, 1954.
- /10/ Bolșacov U.P. „ Teoria volnovovo soprotivlenia çorablei na vozdușnoi podușche” - Academia Militară Maritimă U.R.S.S. - Leningrad 1962.
- /11/ Brindle C.A. „Hovercraft - the Second Decade” Hovering Craft & Hydrofoil, vol. 11 N6 march 1972.
- /12/ Carafoli E. „Travaux du laboratoire aerodynamique” vol. 1, Publications Scientifiques de l'Ecole Polytechnique, Bucarest 1938.
- /13/ Chang Paul K. „ Separation of Flow” - Pergamon Press 1973 Oxford, London, Edinburg, New York, Toronto, Sydney, Paris, Braunschweig.
- /14/ Chaplin J.B. „The Air Cushion Vehicle Evaluation & Potential” Naval Engineers Journal 1966 N3 p.421-442.
- /15/ Clicico V.V. „Ghidrodinamicescoe soprotivlenie SVP osnovnih constructivnih shem ” T.N.I.I. im. Krîlova - Trudî, ed. 215 - Leningrad 1964.
- /16/ Colîzaev B.A.g.a. „Osobennosti proçetirovania sudov s novimi prinçipami dvijenia” - Sudostroenie, Leningrad 1974.

- /17/ Constantinescu Paul „Lucrări de mecanica fluidelor și aerodinamică experimentală” Inst.Polit.Buc.,1956.
- /18/ Corlett E.C.B. „Twin Hull Ships”- The Royal Institution of Naval Architects, Quart.Trans. oct. 1969, vol.111 N4.
- /19/ Costiucov A.A. „Soprotivlenie vodi dvijenifu sudov” Sudostroenie Leningrad 1966.
- /20/ Crewe P.R., Eggington W.J., „The Hovercraft - A New Concept in Maritime Transport” - Quart.Trans of the Royal Institution of Naval Architects, 1960, vol. 102, N3.
- /21/ Dancea Ion „Programarea calculatoarelor numerice pentru rezolvarea problemelor cu caracter tehnic și de cercetare științifică” Ed. Dacia, Cluj 1973.
- /22/ Decker J.L. „High Speed Marine Vehicles - A Design Outlook” Hovering Craft and Hydrofoil vol. 12 N3, december 1972 pag. 14 - 21.
- /23/ Devnim S.I., Aerodinamiceskii pasciot plohoobtekaemih sudovih konstrukcii, Izd.Sudostroenie, Leningrad 1967.
- /24/ Dodescu Gh., Toma M. „Metode de calcul numeric” Ed.didactică și pedagogică, București 1976.
- /25/ Eck Bruno „Fans.Design and Operation of centrifugal, axial - flow and cross - flow Fans” Pergamon Press, Oxford, New York, Toronto, Sydney, Braunschweig 1973.
- /26/ Egorov I.T., Sokolov V.T. „Ghidrodinamica bistrohodnih sudov” - Sudostroenie, Leningrad 1971.
- /27/ Elsley G.H., Deveren A.J. „Hovercraft Design and Construction” -David & Charles Newton Abbot 1969.
- /28/ Epstein L.A. „Metodi teorii razmernosti i podobia v zadaciakh gidromehaniki sudov” Sudostroenie, Leningrad 1970.
- /29/ Everest J.T., Hogben N. „Research on Hovercraft over Calm Water” Quart.Trans.RINA vol.109 july 1967 p. 311 - 326.
- /30/ Everest J.T., Hogben N. „A Theoretical and Experimental Study of the Wave Making of Arbitrary Planform and Angle of Yaw” Trans.RINA vol.III july 1969 p.343 - 365.
- /31/ Everest J.T. „Some Research on the Hydrodynamics of Catamarans and Multi-Hulled Vessels in Calm Water” - North East Coast Institution Trans.Mai 1968 vol.84 N5.
- /32/ Everest J.T. „Factors Affecting Hovercraft Performance at Low Speeds Over Water” Proceedings of the Research Symposium on Air Cushion Vehicles, Swansea,1964. University College of Swansea, Dept.of Mechanical Engineering 1964, p. 28-32. National Physical

- /33/ Fedanuevichi K.K.g.u. „Rasciot turbulentnogo pogrnicinogo sloea nenjimaemoi jidoosti” - Sudostroenie - Leningrad 1973.
- /34/ Goman A.D.g.u. „Heat and Mass Transfer in Recirculating Flows” - Academic Press, London and New York, 1969.
- /35/ Hallyday D., Resnick R. „Physics” John Wiley and Sons, Inc., New York, London, Sidney, 1975.
- /36/ Hunt R.D. „The VT 1 Hovercraft Development”. Hovering Craft & Hydrofoil, vol. 11 N5 febr. 1972.
- /37/ Ioniță Ion „Diagrame de proiectare pentru complexul de sustentație la navele cu pernă de aer” Transporturi auto, navale și aeriene, anul III (20) Nr.7, iulie 1973, București.
- /38/ Ioniță Ion „Sistem integrat de sustentație și propulsie pentru nave cu pernă de aer”. Buletinul Conferinței specialiștilor în construcția de nave, vol. I., Galați 1976.
- /39/ CNST - OSIM. Certificat de inventator Nr.59417 acordat autorului ing.Ion Ioniță, pentru invenția cu titlul „Sistem integrat de sustentație și propulsie pentru nave”.
- /40/ Ioniță I. „Metodă de calcul pentru sistemul integrat de sustentație și propulsie aeroreactivă la navele experimentale cu pernă de aer”. Buletinul Conferinței specialiștilor în construcția de nave, vol. I, Galați 1976.
- /41/ Ioniță I. „Navă amfibie pe pernă de aer cu propulsie combinată”, Buletinul Conferinței specialiștilor în construcția de nave, vol. I, Galați 1976.
- /42/ CNST - OSIM. Certificat de inventator Nr.59446 acordat autorului ing.Ion Ioniță, pentru invenția cu titlul „Navă amfibie pe pernă de aer cu propulsie combinată”. Descrierea invenției 59446, titular Universitatea din Galați.
- /43/ CNST - OSIM. Certificat de inventator Nr.61368 acordat autorului ing. Ion Ioniță, pentru invenția cu titlul „Navă cu două regimuri de deplasare”. Descrierea invenției 61368, titular ICEPRONAV Galați.
- /44/ Ioniță I. „Navă cu două regimuri de deplasare” Buletinul sesiunii științifice a Institutului de marină din Constanța, mai 1977.
- /45/ Ioniță I. „Studiu teoretic executat pe calculator asupra variației rezistenței de val în funcție de viteză la navele amfibii cu pernă de aer” Buletinul sesiunii științifice a Institutului de marină din Constanța, mai 1977.
- /46/ Jane's Surface Skimmers: Hovercraft & Hydrofoil 1972 - 1973, Sampson Low, Jane's Yearbooks, London.
- /47/ Jarinov K.V. „Issledovanie sil i momentov, deistviușcih na apparat na vozdušnoi podușke camernogo tipa pri visenii nad ekranom”. Trudy TAGI im. Jucovscovo, vol. 976, Moscova 1965.

- /48/ Jaumotte A.g.a. „ Cushion Mechanism of a Peripheral Jet AUV in Hovering Flight Over Water" Hovering Craft and Hydrofoil, april 1972, vol. 11 N7.
- /49/ Kozlov V.I. „ Sudovje energheticeschie ustanovchi" Sudostroenie, Leningrad 1969.
- /50/ Kuehmann D. „ Aerodynamic design" The Fourth Reynolds - Prandtl Lecture. Journal of the Royal Aeronautical Society, vol. 73 febr. 1969.
- /51/ Kurzon A.G.g.a. „ Gazoturbinnje ustanovchi bistrohodnih sudov" Sudostroenie, Leningrad 1969.
- /52/ Landau L., Lifchitz E. „ Mecanique des fluides" Ed. Mir - Moscova 1971.
- /53/ Liubomirov I.L. „ Silfi i momentfi geiatvuiuscie na apparati na vozdušnoi poduşche camernogo tipa pri dvijenii po vode" NTO Sudproma, vol. 54, Leningrad 1964.
- /54/ Lunde J.K. „ On the Linearized Theory of Wave Resistance for Displacement Ships in Steady and Accelerated Motion" paper presented at summer meeting of The Society of Naval Architects and Marine Engineers in Washington, D.C. sept. 6 - 7, 1951.
- /55/ Marinescu Al. „ Metode, aparate şi instalaţii de măsură în aeromecanică" Ed. Academiei R.S.R. 1970.
- /56/ Mavliudov M.A.g.a. „ Dvijiteli bistrohodnih sudov (ghidrodinamiceschii rasciot) " Sudostroenie, Leningrad 1973.
- /57/ Mantle P.J. „ Design Aspects of Air Cushion Craft". Hovering Craft and Hydrofoil, vol. 9 N5 febr. 1970.
- /58/ Mc Leavy Roy „ Jane's Suaface Skimmers, Hovercraft and Hydrofoils, 1973 - 1974", Jane's Yearbooks, London.
- /59/ Mc Cracken Daniel D., Dorn William S. „ Numerical methods and Fortran programming" John Wiley and Sons, Inc., New York, London, Sidney, 1965.
- /60/ Mengoli Pierangelo „ I veicoli navali a cuscino d'aria - Elementi di progetto" - La Marina Italiana N6 1969 pag. 187 - 196.
- /61/ Miller R. Eugene „ An Analysis of Rigid Sidewall Surface Effect Craft for High - Speed Personnel Transportation" Marine Technology 1970, 7, N1 pag. 55 - 68.
- /62/ Millward A. „ The Air - Lubricated Hull" Hovering Craft and Hydrofoil, vol. 12 N12 sept. 1973.
- /63/ „ Mitsui Hovercraft" - Schiff. and Hafen 1971 23 N5 pag. 368-369.
- /64/ Moldenhawer A. „ Podusckowce" - Wydawnictwa komunikacji i laczności - Warszawa 1966.
- /65/ Molly Neal „ World's first hybrid takes shape. A description of Vosper Thornycroft's VT 1. constructional details and syst

- Air Cushion Vehicles 1969, 13N 82 p. 13 - 20 Express Informa-
ția, Sudostroenie 1969 №39.
- /66/ Murthy T.K.S. „ The Wave Resistance of a Drifting Hovercraft”
Hovering Craft and Hydrofoil vol. 9 N4 ian. 1970 p. 20-24.
- /67/ Murthy T.K.S. „ The Wave Resistance of a Triangular Hovercraft
Cushion” Hovering Craft and Hydrofoil 1971 vol. 10 N5 pag. 23-
26.
- /68/ Murthy T.K.S. „ Semi - Submerged Air - Cushion Vehicle” Ho-
vering Craft and Hydrofoil, vol. 12 N12 sept. 1973.
- /69/ Nakonechny B.V. „ A Synthesis of Design Data for Existing and
Near - future Air - Cushion Vehicles” Naval Engineers Journal
Dec. 1971, vol. 83 Nr. 6.
- /70/ Năstase Adriana „ Utilizarea calculatoarelor în optimizarea
formelor aerodinamice” București, Ed. Academiei R.S.R., 1973.
- /71/ Năstase C. „ Calculul și construcția navei” Ed. didactică și
pedagogică, București, 1964.
- /72/ Newman J.N., Poole F.A.P. „ The Wave Resistance of a Moving
Pressure Distribution in a Canal” Schiffstechnik Bd 9 - 1962
Heft 45.
- /73/ Orănescu O. „ Exploatarea navelor și porturilor” Ed. didactică
și pedagogică, București, 1964.
- /74/ Pavlenco G.E. „ Soprotivlenie vodi dvijeniю sudov” Izd. Morskoi
Transport, Moscova 1956.
- /75/ Patrașev A.N. ș.a. „ Pricladnaia ghidromechanica” Voennoe izd.,
Moscova 1970.
- /76/ Pickles J.M. „ Hybrid ACV Research at Adelaide University”
Hovering Craft and Hydrofoil 1969 ian. vol. 8 N4 p. 21 - 24.
- /77/ Prohorov S.D., Sadrin V.P. „ Metodi experimentalinogo opredele-
nia aeroghidrodinamiceshikh haracteristic sudov na vozdušnoi
poduşche” T.N.I.I. im. Krîlova Trudî vîp. 215, Leningrad 1964.
- /78/ Rama Wahab, ș.a. „ On the Behaviour of the ASR Catamaran in
Waves” Marine Technology vol. 8, 3 iuly 1971.
- /79/ „Reduced - noise twin - propeller SRN6 Mk6” Hovering Craft &
Hydrofoil, vol. 11 N11 august 1972.
- /80/ Schenck H.Jr. „ Theories of Engineering Experimentation” Second
edition, Mc Graw Hill, New York, St. Louis, San Francisco, To-
ronto, London, Sydney.
- /81/ Schlichting H. „ Boundary Layer Theory” Mc Graw Hill, New York
1955.
- /82/ Sedov L.I. „ Metodi podobia i razmernosti v mehaniche” - Nauka,
Moscova 1972.
- /83/ Sgrumala M. „ Tehnologia fabricației navei” Ed. didactică și
pedagogică, București, 1964.

- /84/ Shih - I Pai „ Fluid dynamics of jets" D. van Nostrand Company, Inc., Toronto, New York, London, 1960.
- /85/ „SRN5 and N6 stretched versions" - Hovering Craft & Hydrofoil, vol. 11 N5 febr. 1972.
- /86/ „SRN6 - A High Performance Overwater Transport". - British Hovercraft Corporation Ltd, Yeovil Somerset and East Cowes Isle of Wight, England. Publ. No. SP 1263 - aug. 1966.
- /87/ Stanton Jones R.S. „ Hovercraft Skirt Development. An Engineering and Performance Review. Quart. Trans. of the Royal Institution of Naval Architects", oct. 1968.
- /88/ Stepanov G.In. „ Ghidrodinamicescaia teoria aparatov na vozduhnoi poduzhe", Mashiz Moscova 1963.
- /89/ Strand T. „ Inviscid - Incompressible Flow Theory of Static Two - Dimensional Solid Jets in Proximity to the Ground" Journal of the Aerospace Sciences, vol. 29, febr. 1962, N2.
- /90/ Swales P.D.s.a. „ Pressure, Flow Visualisation and Ventilation" Hovering Craft and Hydrofoil, vol. 13 N1 oct. 1973.
- /91/ Thunholm C.H.J. „ Effects of a Moving Ground Surface on the Characteristics of Annular Jets as Found in Wind Tunnel Test"- Hovering Craft and Hydrofoil, vol. 3 July 1964.
- /92/ Trillo, Robert L. „ Marine Hovercraft Technology" Leonard Hill, London 1971.
- /93/ Voronin P.S., Sadrin V.P. „ Vlianie skorosti dvizhenia na harakteristichi sudov i aparatov na vozduhnoi poduzhe" Trudf TAGI, im. Jucovscovo, vol. 976, Moscova 1965.
- /94/ Vasilescu Al. A. „ Curs de hidromecanică" Ed. didactică și pedagogică, București 1962.
- /95/ Vasilescu Al. A. „ Analiza dimensională și teoria similitudinii" Ed. Academiei R.S.R., București 1969.
- /96/ „ Voyageur - A Versatile Cargo Carrier" Hovering Craft and Hydrofoil ian. 1972 vol. 11 N4 p. 14 - 17.
- /97/ Wachnik George Z. „ Air Cushion Vehicles - New Technology in The Navy" Naval Engineers Journal, August 1973, p. 65 - 81.
- /98/ Wheeler R.L. „ The Amphibious Hovercraft". Intern. Hovercraft Conf., Inst. Product. Engr., April, Paper (1968).
- /99/ Zaitsev N.A.s.a. „ Otecestvennie suda na podvodnih orileah" Sudostroenie, Leningrad 1967.
- /100/ Zlobin G.P., Simonov In.A. „ Suda na vozduhnoi poduzhe" (po materialam inostrannoi peciati) Sudostroenie - Leningrad 1971.
- /101/ Zolotov S.S.s.a. „ Zadacnik po gidromekhanike dlea sudostroitelei" Izd. Sudostroenie, Leningrad 1969.