A XIV-a Conferinţă internaţională – multidisciplinară,
*"Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii româneşti"*,
SEBEŞ, 2014

# STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR EXPERIMENTALE EFECTUATE ASUPRA SQUATULUI NAVELOR MARITIME

Petru – Sergiu ȘERBAN, Valeriu Nicolae PANAITESCU

## CURRENT STATE OF RESEARCHES PERFORMED ON SHIP SQUAT

In the recent years research efforts in ship hydromechanics are devoted to the practical navigation problems in getting larger ships safely into existing harbours, which are usually characterized by narrow and shallow waters.

This paper presents an analysis of the current state of researches on ship squat, especially on ship models used to measure it.

Keywords: ship, squat, model, similarity
Cuvinte cheie: navă, squat, model, similitudine

### 1. Introducere

Majoritatea navelor sunt proiectate și optimizate pentru a opera în mare liberă, navigând dintr-un port în altul, la viteză economică, cu o încărcătură maximă posibilă. Cu toate acestea, aproape toate navele sunt obligate să intre la un moment dat în porturi pentru operațiuni de descărcare – încărcare a mărfii, care, în general, sunt accesate prin canale înguste, cu restricții în adâncime și lățime.

Manevrabilitatea navelor este afectată pe timpul tranzitului acestor zone, datorită forțelor hidrodinamice de interacțiune cauzate de reducerea distanței dintre corpul navei și fundul apei și/sau marginile laterale ale canalului. Astfel, apare fenomenul de squat definit ca o

scădere a rezervei de apă sub chilă, cauzată de mişcarea relativă a operei vii prin volumul de apă înconjurător. În comparație cu poziţia neutră, carena va intra mai mult în apă, ducând astfel la o creștere de pescaj, concomitent cu modificarea unghiului de asietă.

Pentru a studia efectul squatului asupra navelor s-au efectuat cercetări experimentale pe diferite modele de navă, în canale cu secțiuni transversale variate [1].

Lucrarea prezintă o analiză proprie a stadiului actual al cercetării asupra squatului (îndesare, zgribulire, ghemuire), în special asupra modelelor de navă folosite pentru măsurarea acestuia.

Cercetările științifice asupra squatului au fost începute de Constantine (1960), acesta studiind comportamentul squatului pentru viteze subcritice, critice și supercritice. În domeniul subcritic ($F_{rh}$<1), Tuck (1966) a demonstrat că în condiții de ape libere, de adâncime constantă, afundarea și înclinarea navei variază liniar cu parametrul [2]:

$$f(F_{rh}) = \frac{F_{rh}^2}{\sqrt{1 - F_{rh}^2}}, \qquad (1)$$

unde $F_{rh} = \sqrt{V^2/gh}$ reprezintă numărul de adâncime Froude.

Această teorie a fost dezvoltată și de alții, cum ar fi: Beck (1975), Naghdi și Rubin (1984), Cong și Hsiung (1991), Ankudinov și Dagget (1966), Eloot (2008) [2].

## 2. Tipuri de modele testate

Între anii 2001 și 2004, la Universitatea Ghent, Belgia, s-a studiat fenomenul squatului în zone cu fund mâlos pe trei modele de navă (Tabelul 1). Cercetările au fost efectuate într-un bazin cu dimensiunile 88 m x 7 m x 0,5 m.

Majoritatea experimentelor au fost efectuate pe un model de port-container de 6000 TEU[1] (D), modelul matematic fiind dezvoltat pe baza măsurătorilor obținute de la această navă. Pentru a observa influența formei corpului navei asupra squatului, au fost efectuate teste

[1] TEU – twenty-foot equivalent unit. Unitatea echivalentă 1 TUE este o unitate inexactă de capacitate de încărcare, adesea folosită pentru a descrie capacitatea unei nave port-container şi terminale de containere. Se bazează pe volumul nestandardizat al unei cutii metalice de dimensiuni standard (lungime 6,1 m - 20 picioare; înălţimea, variind între 1,30 m - 4 picioare 3 inci şi 2,90 m - 9 picioare 6 inci , cu înălțimea cea mai comună de 2,59 m- 8 picioare 6 inci ), care poate fi transferată cu uşurinţă între diferitele moduri de transport, nave, trenuri şi camioane. 2 TUE – recipient de 13,7 m – 45 picioare.

suplimentare pe un model de port-container de 8000 TEU (U) și un tanc petrolier (E) [2].

Tabelul 1 [2]

| Descriere | Simbol | Model | | |
|---|---|---|---|---|
| | | D | U | E |
| Scara | | 1/75 | 1/80 | 1/75 |
| Lungimea între perpendiculare | $L_{pp}$ (m) | 289,8 | 331,8 | 286,8 |
| Lăţimea maximă | B (m) | 40,25 | 42,8 | 46,8 |
| Pescajul | T (m) | 13,5 | 14,54 | 15,5 |
| Coeficientul de finețe bloc | $C_B$ | 0,59 | 0,65 | 0,82 |

Un alt studiu realizat asupra modelelor la scară a determinat squatul produs de o navă cu un coeficient de finețe bloc de 0,6, aflată într-un canal cu adâncime mică. Dimensiunile principale ale navei utilizate în modelarea matematică au fost: $L$ = 121,92 m, $B$ = 16,255 m şi $T$ = 6,501 m, iar lăţimea canalului $W$ = 2,09 $L$ şi adâncimea $h$ = 2,0 $T$. Experimentele şi calculele au fost bazate pe ecuațiile valului de tip Boussinesq, obținându-se o bună corelație între valorile experimentale și cele calculate [3]. În 2013, pentru măsurarea squatului s-a utilizat un model de tanc petolier KVLCC[2] la scara 1:45,714, aflat într-un bazin cu adâncime variabilă. Dimensiunile modelului dar și ale navei reale sunt prezentate în Tabelul 2 [4].

Tabelul 2 [4]

| Descriere | Simbol | Navă | Model |
|---|---|---|---|
| Lungimea între perpendiculare | $L_{pp}$ (m) | 320 | 7 |
| Lățimea maximă | B (m) | 58 | 1,269 |
| Pescajul | T (m) | 20,8 | 0,455 |
| Deplasamentul | $\Delta$ ($m^3$) | 312635 | 3,273 |
| Suprafața udă a carenei | $S_{wa}$ ($m^2$) | 27197 | 13,01 |
| Poziția centrului de carenă | $x_B$ (m) | 3,5 | 0,077 |

Bazinul de carene, în care au fost efectuate testele, măsoară 220 m lungime, 9 m lățime și 3,8 m adâncime. Adâncimea apei (h) în bazin a fost variată cu ajutorul unui planșeu fals de dimensiuni 60 m x 7,5 m, obținându-se astfel valori diferite ale raportului h/T (figura 1) [4].

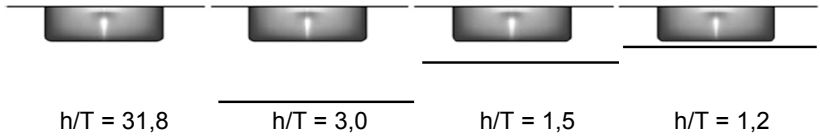


Fig. 1 Rapoartele h/T dintre adâncime și pescaj [4]

[2] KRISO Very Large Crude Carrier.

Afundarea și înclinarea navei datorită squatului depind de un număr mare de parametri, cum ar fi geometria navei, condițiile de încărcare, viteza navei, acțiunea propulsorului, batimetria canalului, prezența altor nave pe șenal etc. Luând în considerare influența acestor parametri asupra unei nave, Flanders Hydraulics Research a studia fenomenul squatului în ape restricționate în lățime și adâncime. Astfel, au fost efectuate teste pe modele (Tabelul 3), cu diferite pescaje, aflate într-un canal de adâncime și lățime variabilă. Modelele au fost libere în mișcarea pe verticală și de tangaj, facilitând astfel o determinare a squatului cât mai apropiată de realitate [5].

Tabelul 3 [5]

| Descriere | Simbol | Model | | |
|---|---|---|---|---|
| | | D | F | U |
| Lungimea între perpendiculare | $L_{pp}$ (m) | 3,864 | 3,800 | 4,106 |
| Lățimea maximă | B (m) | 0,536 | 0,640 | 0,530 |
| Raportul între $L_{pp}$ și B | $L_{pp}/B$ | 7,2 | 5,9 | 7,7 |

Majoritatea studiilor teoretice, numerice și experimentale asupra determinării squatului iau în considerare un singur parametru, viteza navei, și pleacă de la premiza că nava se deplasează pe un drum drept cu viteză constantă pe centrul canalului. În realitate, o navă este supusă efectului vântului și curentului, poate accelera sau decelera sau să își modifice drumul. Într-un canal cu două sensuri, traiectoria navei este excentrică, iar hidrodinamica acesteia este influențată de interacțiunea cu alte nave pe timpul manevrelor de depășire [5].

## 3. Criterii de similitudine, metode de măsurare

Pentru a studia comportamentul navelor folosind modele, trebuie stabilite criteriile de similitudine: geometric, cinematic şi dinamic. Dacă toate dimensiunile sunt reduse cu o anumită valoare, iar unghiurile sunt menținute, atunci similitudinea geometrică este îndeplinită [6]:

$$\lambda = \frac{L_n}{L_m},\ \lambda^2 = \frac{A_n}{A_m},\ \lambda^3 = \frac{\Delta_n}{\Delta_m}, \tag{2}$$

unde $\lambda$ – scala, L – lungimea, A – aria, $\Delta$ – deplasamentul, iar indicii n – nava, m – model.

Pentru similaritatea cinematică și dinamică, numerele Froude, Strouhal, Webber și Reynolds trebuie să fie aceleași atât pentru navă, cât și pentru model. Pentru a reduce riscul apariției erorilor mari datorită

inegalității numerelor Reynolds și Webber, modelul de navă trebuie să fie suficient de mare.

Conform legii similarității lui Froude, din egalitatea numerelor Froude pentru navă și model se obţine valoarea vitezei modelului [6]:

$$F_{rh_m} = F_{rh_n} = \frac{V_m}{\sqrt{gh_m}} = \frac{V_n}{\sqrt{gh_n}}, \qquad (3)$$

În realitate, apar erori atunci când rezultatele obținute pe model sunt extrapolate pentru navă, fenomen cunoscut sub numele de efect de scală. Acesta se datorează inegalității altor numere adimensionale ale modelului și navei.

La Sharif University of Technology au fost efectuate, într-un bazin de încercări, teste de laborator, folosind două modele de navă construite din fibră de sticlă (Tabelul 4).

Tabelul 4 [6]

| Descriere | Simbol | Model | |
|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 |
| Scara | | 1/40 | 1/70 |
| Lungimea | L (m) | 2,5 | 2,38 |
| Lățimea maximă | B (m) | 0,31 | 0,323 |
| Pescajul | T (m) | 0,16 | 0,16 |
| Coeficientul de finețe bloc | $C_B$ | 0,7 | 0,75 |

Pe modele au fost marcate liniile de plutire, perpendicularele prova și pupa. Pentru a se putea stabili cu exactitate rezerva de apă sub chilă, s-a instalat un planșeu fals ajustabil cu sensibilitate de 0,5 mm.

Squatul a fost măsurat fotografiind cu o cameră digitală poziția verticală a modelului la cuplul maestru în momentul trecerii prin dreptul liniilor gradate dispuse pe lungimea bazinului.

Testele au fost efectuate pentru patru rapoarte dintre adâncime și pescaj (h/T), astfel: 1,05, 1,10, 1,15, 1,20 și cu viteze începând de la 0,2 m/s. Conform recomandărilor ITTC[3], pentru a reducere erorile de măsurare, fiecare test a fost efectuat de trei ori [6].

## 4. Concluzii

- Determinarea cât mai precisă a squatului navelor este un aspect foarte important pentru siguranța navigației, în special în zonele cu ape limitate lateral și în adâncime, unde acest fenomen este mai

[3] International Towing Tank Conference

pronunțat și are efecte vizibile. Studii asupra determinării squatului s-au efectuat încă din anii '60, dar în ultimii ani cercetările au luat amploare.

- În studiile efectuate, modelele de navă folosite sunt la scară mai mică decât limita necesară pentru ca rezultatele obținute să fie lipsite de erori, însă folosirea unor modele la scară corespunzătoare ar presupune și folosirea unor bazine de carene sau canale de dimensiuni mari.
- Pentru a obține rezultate concludente, încercările de laborator au cuprins o serie largă de combinații între adâncimea și lățimea canalului, precum și între adâncime și pescajul modelelor.
- Majoritatea valorilor obținute experimental sunt în concordanță cu valorile calculate prin diferite metode computaționale.

**BIBLIOGRAFIE**

[1] Kerkhove, G., Vantorre, M., Delefortrie, G., *Advanced model testing techniques for ship behaviour in shallow and confined water* în: AMT'09, 2009, Nantes, Franța.
[2] Delefortrie, G., Vantorre, M., Eloot, K., Verwilligen, J., Lataire, E., *Squat prediction in muddy navigation areas* în: Ocean Engineering, nr. 37/2010, pag. 1464–1476.
[3] Yao, J., Zou, Z., *Calculation of ship squat in restricted waterways by using a 3D panel method* în: 9th International Conference on Hydrodynamics, 2010, Shanghai, China.
[4] Toxopeus, S., Simonsen, C., Guilmineau, E., Visonneau, M., Xing, T., Stern F., *Investigation of water depth and basin wall effects on KVLCC2 in manoeuvring motion using viscous-flow calculation* în: J-Mar Sci Technol, 2013.
[5] Eloot, K., Verwilligen, J., Vantorre, M., *An overview of squat measurements for container ships in restricted water* în: SOCW 2008, Glasgow, Marea Britanie.
[6] Zeraatgar, H., Vakilabadi, K., Yousefnejad, R., *Parametric analysis of ship squat in shallow water by model test* în: Brodo Gradnja, nr. 62/2011, pag. 37–43.

Drd. Ing. Petru – Sergiu ȘERBAN
instructor principal, Academia Navală "Mircea cel Bătrân" din Constanța,
e-mail: sergiu.serban@anmb.ro
Prof. univ.em.Dr. Ing. Valeriu Nicolae PANAITESCU
Universitatea "Politehnica" din București, Facultatea de Energetică,
membru AGIR
e-mail: valeriupanaitescu@yahoo.com