

## PREFAȚĂ

Această lucrare este redactată, pentru a veni în ajutorul elevilor liceelor industriale cu profil naval, a studenților care frecventează cursurile unei specializări din domeniu naval, a oricui care activează în cadrul firmelor de proiectare sau șantierelor navale din România și străinătate sau a oricui dorește să realizeze pentru un anumit corp cu forme complexe calcule pentru studierea fenomenului de flotabilitate a corpurilor.

Teoria navei face parte din categoria disciplinelor de domeniu din formarea viitorilor ingineri navaliști, abordând problematici fundamentale privind formele navei și calitățile nautice de bază ale acesteia (flotabilitate, stabilitate, nescufundabilitate, oscilații, rezistență la înaintare)

Îndrumarul de proiect este organizat în 4 capitole, fiecare dintre acestea aducând informații legate de cele mai importante teme care trebuie verificate în cadrul realizării calculelor caracteristicilor hidrostactice necesare pentru evaluarea flotabilității navei. Fiecare capitol cuprinde mai multe subcapitole, pentru păstrarea unei acuratețe cât mai ridicate a firului logic de lucru. Fiecare capitol, aduce și prezentarea numerică a unui proiect realizat pentru o *navă de aprovizionare a platformelor*. Pentru a sări în ajutorarea celor care doresc să realizeze aceste calcule ale caracteristicilor hidrostactice, fiecare capitol are o secțiune destinată unei fișe de lucru. Pentru cei care doresc o familiarizare mai mare cu acest capitol din cadrul teoriei navei, sunt propuse spre rezolvare probleme pentru fiecare temă în parte

Primul capitol este dedicat explicării elementelor de geometrie a navei, și a realizării planului de forme. Al doilea capitol prezintă modul de citire al planului de forme, element ce va ajuta la realizarea calculelor de flotabilitate ale navei.

Ultimele două capitole sunt destinate calculului elementelor care caracterizează elementele geometrice ale navei: calculul practic de carene drepte prin mai multe metode și diagrama Bonjean.

Competențele specifice acumulate în urma parcurgerii acestui îndrumar sunt de utilizare a aparatului fizico – matematic, a instrumentelor informatice și a limbajului tehnic de comunicare specific domeniului naval. Obiectivele avute de acest îndrumar sunt:

- Obiective generale:
  - Asigurarea cunoștințelor și formarea unor deprinderi privind studiul teoretic, experimental și practic al fenomenelor fizice relevante ce stau la baza proiectării, construcției și utilizării optime a navelor.
- Obiective specifice:
  - Transmiterea informațiilor fundamentale privind nomenclatura specifică, formele navei și calitățile nautice de bază – flotabilitatea navei
  - Înțelegerea fenomenelor fizice legate de flotabilitatea navei
  - Însușirea modelelor fizico – matematice de calcul a performanțelor de flotabilitate a navei, precum și a modalităților de aplicare practică
  - Prezentarea și acomodarea cu structura tipică a documentației tehnice necesare studierii fenomenului de flotabilitate
  - Formarea deprinderilor de analiză, sinteză, comparație, calcul și evaluare, care să permită luarea unei decizii corecte și sigure în realizarea proiectelor
  - Formarea cunoștințelor practice și aplicarea lor folosind tabele și diagrame

Adresez cele mai sincere mulțumiri prof. univ. dr. ing. Leonard Domnișoru și conf. univ. dr. ing. Teodor Popa pentru sugestiile și recomandările făcute în calitate de referenți științifici.

*Februarie 2024*

*Autoarea*

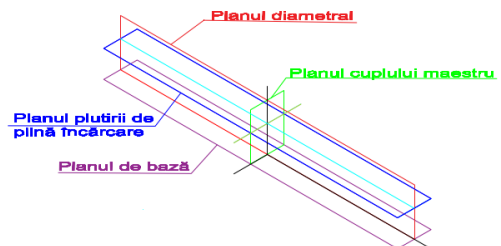
# CAPITOLUL 1

## PLANUL DE FORME

**Proprietatea navei de a se menține pe o anumită linie de plutire sau în imersiune la o anumită adâncime este reprezentată de proprietatea de flotabilitate (en.: buoyancy) a acesteia.** [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26]. Pornind de la formele acesteia, parcurgând următoarele capitole vom reuși la final să caracterizăm suprafața exterioară a corpului plutitor pentru care dorim să lucrăm proprietățile de flotabilitate ale acesteia.

**Planul de forme (en.: lines plan) este reprezentarea grafică a suprafeței teoretice (en.: theoretical surface) a navelor, prin proiecțiile pe planurile longitudinal (en.: shear plan – side view), transversal (en.: body plan – front view) și orizontal (en.: half breadth plan – top view) a diferitelor perechi de curbe.** [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [25], [27], [29], [30], [31], [32], [33], [34], [35], [36], [37], [38], [39], [40], [41].

Planurile principale ale navei sunt prezentate în figura 1-1.a. și figura 1-1.b., unde sunt marcate **planul diametral (en.: the center plane)**, **cuplul maestru (en.: midship cross plane)**, **plutirea 0 sau planul plutirii de bază (en.: the base plan)** și a **plutirea de plină încărcare (en.: the complete water line)** pentru modelul unei nave.



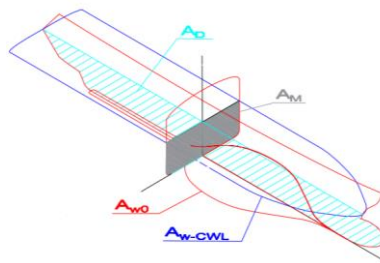
**Figura 1-1.a.** Planurile principale ale corpului navei [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22],[25], [29], [30], [32], [33], [34], [35], [36], [37], [38], [39].

De asemenea, în figura 1-1.b sunt prezentate și ariile folosite pentru determinarea coeficienților de finețe (en.: finesse coefficients) ai suprafeței

transversale maestre imerse ( $A_M$ ) și a suprafeței de derivă ( $A_D$ ). Despre coeficienții de finețe se va discuta în *subcapitolul 3.10*.

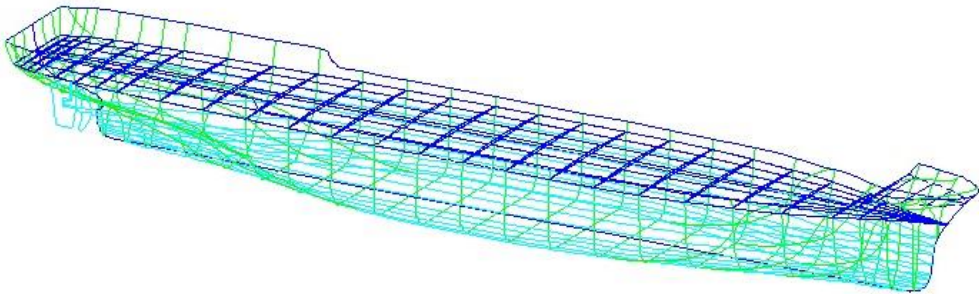
Planul de forme (figura 1-2.b.) constituie reprezentarea geometrică a corpului teoretic al navei, reprezentat în figura 1-2.a. ca model tridimensional, prin secționarea acestuia cu trei plane ortogonale denumite astfel [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [25], [38]:

- **PLANUL DIAMETRAL – P.D.** [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [25], [38], [39], [40], [41] – plan vertical longitudinal care împarte corpul navei în două părți simetrice. Privind în sensul de înaintare al navei acestea sunt:
  - Bordul BABORD (en.: Port side) – Bb. (Ps.) – situat în partea stângă a P.D.
  - Bordul TRIBORD (en.: Starboard) – Tb. (Sb) – situat în partea dreaptă a P.D.
- **PLANUL TRANSVERSAL AL CUPLULUI MAESTRU** [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [25], [38], [39], [40], [41] - plan transversal vertical, care trece prin secțiunea maestră și împarte corpul navei în două părți nesimetrice:
  - Prova navei (en.: Bow part) – Pv. – orientată în sensul normal de marș al navei
  - Pupa navei (en.: Stern part) – Pp. – orientată în sensul opus deplasării de marș a navei
- **PLANUL PLUTIRII DE PLINĂ ÎNCĂRCARE – C.W.L.** [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [25], [38], [39], [40], [41] – planul orizontal – longitudinal, care coincide cu suprafața liberă a apei liniștite la plutirea de plină încărcare și împarte corpul navei în două părți nesimetrice:
  - Partea imersă / carena (en.: submerged part of the ship) – partea navei aflată sub apă
  - Partea emersă (en.: emerged part of the ship) – partea navei aflată deasupra apei



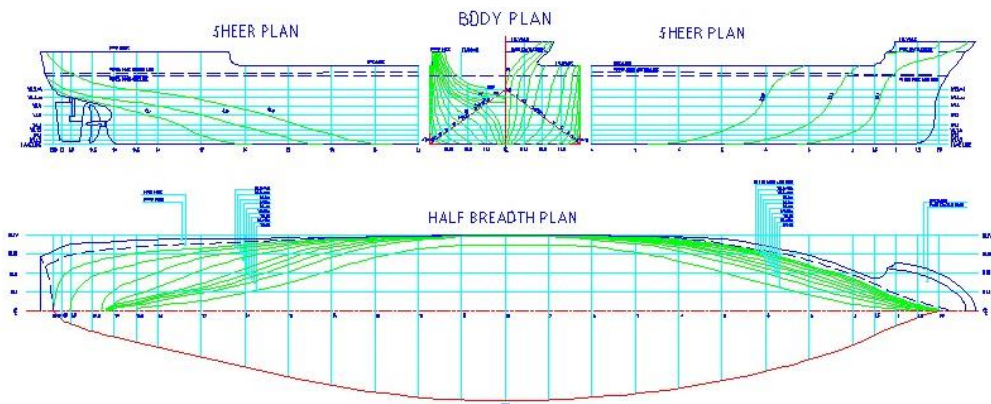
*Figura 1-1.b. Planurile principale ale corpului navei [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [25], [38], [39], [40], [41]*

Figura 1-2.a. prezintă un model 3D-CAD (modelul tridimensional) al formelor cuplelor teoretice, a plutirilor și a longitudinalelor.



*Figura 1-2.a. Planul de forme 3D-CAD [42]*

Pe lângă planul orizontal de secționare al plutirii se utilizează și **planul de bază – P.B.** [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [25], [38], [39], [40], [41] – al navei în scopul obținerii de proiecții auxiliare.



*Figura 1-2.b. Planul de forme 2D [42]*

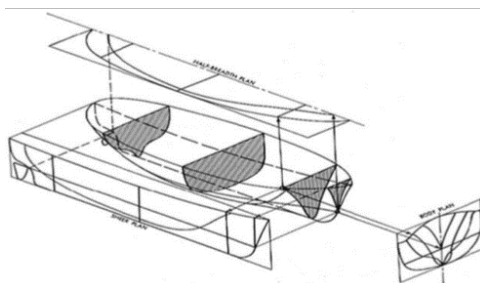
## 1.1. Considerații teoretice privind trasarea planului de forme

După determinarea dimensiunilor principale ale navei (en.: main dimensions of the ship), a coeficienților de finețe, a deplasamentului (en.: displacement) și cubaturii navei (volumul teoretic al navei), precum și după analiza preliminară a performanțelor de flotabilitate, stabilitate, manevrabilitate, rezistență la înaintare și propulsie, se poate trece la proiectarea planului de forme. [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10],

[11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [25], [38], [39], [40], [41].

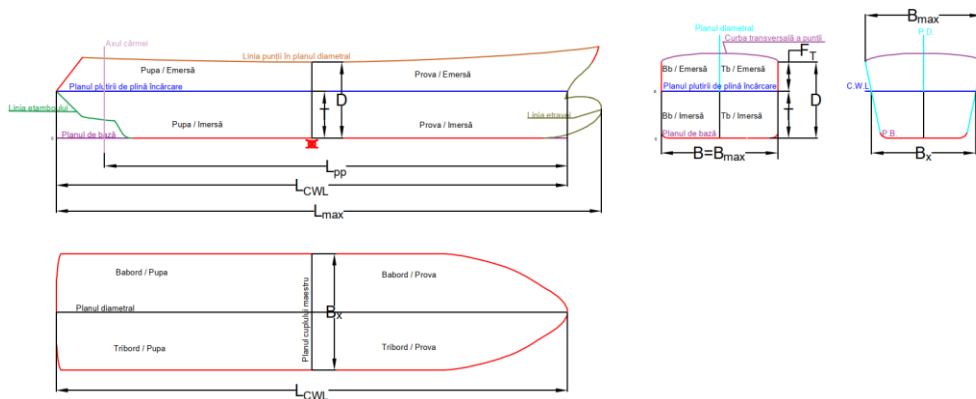
Fundamentul necesar proiectării optime a formelor corpului navei este constituit de performanțele stabilității, comportarea la valuri și vânturi, manevrabilitatea, rezistența la înaintare și propulsie. [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [25], [38], [39], [40], [41].

În urma proiectării corpului navei pe cele trei plane de proiecție (care secționează nava conform figurii 1-3), prezentate anterior, vor rezulta trei proiectii, figura 1-4, denumite respectiv [2], [3], [4], [5], [8], [11], [31], [13], [17], [19], [20], [21], [32], [33], [34], [35]:



**Figura 1-3.** Secționarea corpului navei [22]

- Longitudinal – care prezintă secțiuni ale navei determinate de planul diametral și plane paralele cu acesta ce împart lățimea maximă a cuplului maestru în părți egale, sau oarecare;
- Transversal – care prezintă secțiuni ale navei determinate de planul cuplului maestru și plane transversale ce împart lungimea plutirii de maximă încărcare (secțiunea determinată în corpul navei de suprafața liberă a apei atunci când nava este încărcată la nivelul maxim admisibil) în părți egale, sau oarecare;
- Orizontal – care prezintă secțiuni ale navei determinate de plane orizontale ce împart pescajul navei (distanța de la plutirea de maximă încărcare la planul de bază) în părți egale sau inegale.



**Figura 1-4.** Secțiunile principale ale navei

[2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [25], [38], [39], [40], [41]

Pe planșa de desen, figura 1-5, longitudinalul se așază în zona stânga – sus, iar transversalul în zona dreapta – sus, pe aceeași orizontală cu longitudinalul. [1], [2], [3], [4], [5], [8], [11], [13], [17], [19], [20], [21], [32], [33], [34], [35] Orizontalul se așază în zona stânga – jos, pe aceeași verticală cu longitudinalul. [1], [2], [3], [4], [5], [8], [11], [12], [13], [17], [19], [20], [21], [32], [33], [34], [35] Cele trei proiecții ale navei se reprezintă pe caroiaje cu următoarele dimensiuni [1], [2], [3], [4], [5], [8], [11], [12], [13], [17], [19], [20], [21], [32], [33], [34], [35]:

- Caroiajul longitudinal – lungimea egală cu lungimea plutirii de maximă încărcare  $L_{CWL}$  și înălțimea egală cu înălțimea de construcție a navei  $D$  (egală cu cota, în planul cuplului maestru, a punctului de intersecție al punții navei cu bordul vertical)
- Caroiajul transversalului – lățimea egală cu lățimea maximă a cuplului maestru  $B_x$  și înălțimea egală cu înălțimea de construcție a navei  $D$
- Caroiajul orizontal – lungimea egală cu lungimea plutirii de maximă încărcare  $L_{CWL}$  și înălțimea egală cu jumătate din lățimea maximă a cuplului maestru  $\frac{B_x}{2}$

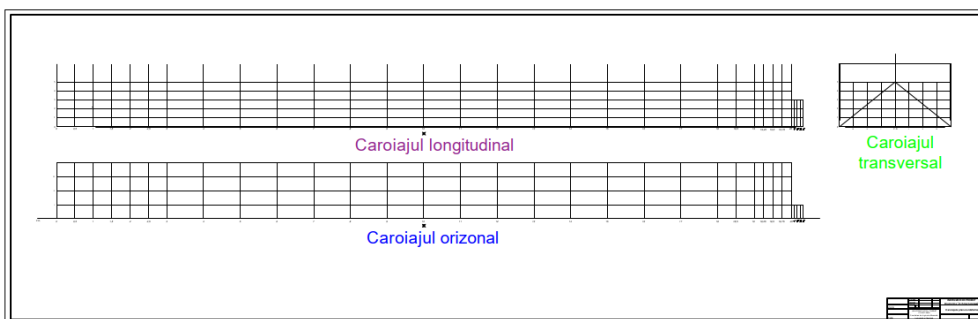


Figura 1-5. Prezentarea foii de lucru pentru realizarea planului de forme

### 1.1.1. Longitudinalul planului de forme – fig. 1-6

*Longitudinalul, figura 1-6, este format din curbele definite de intersecția suprafeței teoretice a corpului navei cu planuri paralele cu P.D.* Curbele astfel obținute se numesc longitudinale și se notează de la P.D. spre borduri cu I, II, III, etc. Pe desen, longitudinalul este împărțit, pe orizontală, în 20 de părți egale de plane de secțiuni transversale, iar pe verticală este împărțit în 5 părți egale de plane de secțiuni orizontale până la cota

pescajului. Astfel lungimea  $L_{CWL}$  va fi împărțită în segmente egale de lungime  $\lambda = \frac{L_{CWL}}{20}$ , adică distanța dintre două cuple succesive, și pe înălțime  $t = \frac{T}{5}$ , adică distanța între două plutiri succesive. [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [25], [29], [38], [39], [40], [41]

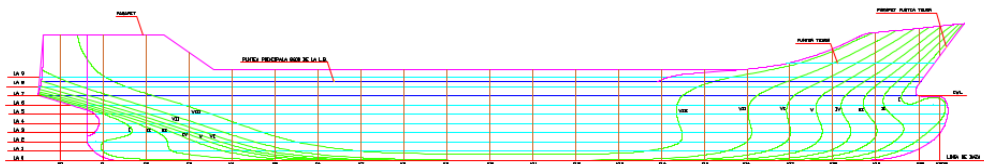


Figura 1-6. Longitudinalul planului de forme [43]

**Observație!** În cazul formelor mai complexe, se pot folosi și cuple intermediare pentru realizarea cât mai corectă a desenului. De asemenea, există posibilitatea folosirii a mai mult de 5 plutiri pentru realizarea planului de forme (se pot folosi până la maxim 10 plutiri), dar nu se recomandă folosirea a mai puțin de 5 plutiri.

În cadrul longitudinalului din planul diametral al planului de forme se pot observa următoarele linii importante [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [25], [38]:

- Linia chilei (en.: base line) sau chila navei (en.: keel line) – L.K. – poate fi orizontală sau înclinată. Linia chilei este linia de intersecție a planului diametral cu fața superioară a chilei. Chila navei este reprezentată de șirul tablelor de înveliș a fundului din dreptul P.D.-ului
- Formele extremităților navei
  - Linia provei sau linia etravei poate avea forme diferite în funcție de destinația navei. Linia etravei este linia rezultată din intersecția planului diametral cu fața exterioară a etravei. Etrava este construcția de rezistență care închide nava la extremitatea anterioară.
  - Linia etamboului sau linia pupei poate avea diferite forme, determinate de destinația navei, tipul propulsorului și tipul organului activ al instalației de guvernare. Linia etamboului este linia rezultată din intersecția P.D.-ului cu fața exterioară a etamboului. Etamboul este construcția de rezistență care închide nava la extremitatea posterioară.
- Linia punții (en.: deck line) în borduri – trasarea L.P.B.-ului se realizează măsurând înălțimea de constricție D, pe proiecția cuplei