

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ

ΣΧΟΛΗ Σ.Τ.Ε

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

**ΜΕΛΕΤΗ ΚΥΡΙΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΠΛΟΙΟΥ
ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ DIESEL**



ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ

ΚΑΒΒΑΔΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Α.Μ. 4183

ΑΪΒΑΛΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ Α.Μ. 3648

ΜΕΘΕΝΙΤΗΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ Α.Μ. 3867

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ

ΔΡ.Κ. ΜΑΥΡΙΔΗΣ

ΠΑΤΡΑ 2007

1.ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΕΚΛΟΓΗΣ ΚΥΡΙΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ	7
1.1 Εκλογή του Μήκους	9
1.1.1. Επίδραση του μήκους επί την αντίσταση.	10
1.1.2 Επίδραση του μήκους επί της αντοχής και του βάρους της μεταλλικής κατασκευής	23
1.1.3 Επίδραση του μήκους επί του βάρους του εξοπλισμού	29
1.1.4 Επίδραση του μήκους επί του βάρους της προωστηρίου εγκατάστασης και καυσίμου	30
1.1.5 Επίδραση του μήκους επί της εκμετάλλευσης των χώρων και της γενικής διάταξης	30
1.1.6 Λοιποί παράγοντες επίδρασης του μήκους	31
1.1.7 Υπολογισμός του μήκους από εμπειρικές σχέσεις	32
1.2 Εκλογή του πλάτους	34
1.2.1 Επίδραση του πλάτους επί της ευστάθειας.	34
1.2.2 Επίδραση του πλάτους επί της αντίστασης	40
1.2.3 Επίδραση του πλάτους επί βάρους της μεταλλικής κατασκευής	43
1.2.4 Λοιποί παράγοντες επίδρασης του πλάτους.	45
1.3 Εκλογή του κοίλους	48
1.3.1 Επίδραση των κανονισμών ασφαλείας επί του κοίλους.	48
1.3.2 Επίδραση του κοίλους επί του όγκου και της διαρρύθμισης των χώρων κυτών	49
1.3.3 Επίδραση του κοίλους επί την ευστάθεια.	50
1.3.4 Επίδραση του κοίλους επί του βάρους της μεταλλικής κατασκευής.	51
1.4 Εκλογή του βυθίσματος.	52
1.4.1 Επίδραση του βυθίσματος επί την αντίσταση και πρόωση.	53
1.4.2 Επίδραση του βυθίσματος επί της ευστάθειας.	53
1.4.3 Επίδραση του βυθίσματος επί στην συμπεριφορά του σκάφους σε κυματισμούς και τις ελικτικές ικανότητες	54
1.4.4 Επίδραση του βυθίσματος επί της αντοχής.	55
1.4.5 Επίδρασεις περατότητας διαδρομής.	55

2.ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ DIESEL-ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	58
2.1 Κινητήρες Diesel για ναυτική χρήση	59
2.2 Κριτήρια επιλογής κινητήρα	60
2.3 Βασικά χαρακτηριστικά μεγέθη	61
2.3.1 Τυποποιημένες συνθήκες στις οποίες δίνεται η μέγιστη συνεχή ισχύς	62
2.4 Τύποι ναυτικών κινητήρων	64
2.5 Κατάταξη ναυτικών κινητήρων	67
2.6 Εφαρμογές ναυτικών κινητήρων	68
2.7 Καύση	69
2.7.1 Καύσιμα	71
2.7.2 Κινηματικό ιξώδες	72
2.7.3 Ασυνήθη καύσιμα	72
2.7.4 Αλλαγή μείγματος, απόπλυση	73
2.8 Υπερπλήρωση	73
2.8.1 Υπερπλήρωση σταθερής πίεσης	74
2.8.2 Υπερπλήρωση κρουστική	75
2.8.3 Υπερπλήρωση 4-χ κινητήρων	76
2.8.4 Υπερπλήρωση 2-χ κινητήρων	76
2.8.5.Λειτουργία με βαρύ καύσιμο	77
2.9 Λιπαντικά λαδιά κινητήρων DIESEL	78
2.10 Επιλογή τύπου κινητήρα DIESEL	80
2.11 Λοιπά χαρακτηριστικά	81
2.11.1 Θερμικός ισολογισμός κινητήρα	81
2.11.2 Σύστημα προσαγωγής αέρα	82
2.11.3 Σύστημα απαγωγής καυσαερίων	83
2.11.4 Λέβητας καυσαερίων	84
2.11.5 Σύστημα ψύξεως	84
2.11.6 Ρύποι από κινητήρες DIESEL	86
3. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	91

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρακάτω εργασία είναι πάνω στα πλαίσια της πτυχιακής άσκησης με θέμα: Μελέτη κύριων διαστάσεων πλοίου και επιλογή κινητήρων Diesel.

Η εργασία αυτή χωρίζεται σε δύο μέρη. Στο πρώτο μέρος δίνεται μια γενική περιγραφή των βασικών παραγόντων που πρέπει να γνωρίζουμε ,για να επιλέξουμε τις κύριες διαστάσεις ενός πλοίου. Οι κύριες διαστάσεις είναι: το μήκος L ,το πλάτος B ,το βύθισμα T και το κοίλος.

Το δεύτερο κομμάτι της εργασίας αυτής έχει να κάνει με τους κινητήρες Diesel που χρησιμοποιούμε στην ναυτιλία.

Το υλικό που έχει χρησιμοποιηθεί για την εργασία αυτή προέρχεται από βιβλία και εργασίες που ασχολούνται με το συγκεκριμένο αντικείμενο καθώς και από επιστημονικό υλικό που υπάρχει στο διαδίκτυο.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όπως έχουμε αναφέρει η εργασία αυτή χωρίζεται σε δύο κεφάλαια. Το πρώτο κεφάλαιο έχει να κάνει με τις κύριες διαστάσεις ενός πλοίου. Εδώ εξετάζουμε τους παράγοντες που επηρεάζουν την εκλογή των κύριων διαστάσεων του πλοίου οι οποίοι είναι: το μήκος L , το πλάτος B , το βύθισμα και το κοίλος. Όλοι αυτοί οι παράγοντες θα αναλυθούν και θα εξεταστούν ο καθένας ξεχωριστά ως προς την επίδραση τους πάνω στο πλοίο.

Παράλληλα, το δεύτερο κεφάλαιο ασχολείται με τους κινητήρες Diesel και την χρήση τους στη ναυτιλία. Θα εξετάσουμε τα διάφορα χαρακτηριστικά μεγέθη των κινητήρων αυτών. Ακόμη, θα λάβουμε γνώση για την εφαρμογή τους καθώς επίσης και για τα διάφορα χαρακτηριστικά τους μαθηματικά και μη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΕΚΛΟΓΗΣ ΚΥΡΙΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ

*Επιμέλεια
Καβαδάς Κωνσταντίνος*

Βασικός στόχος κατά τον προσδιορισμό των κυρίων διαστάσεων είναι, ως γνωστόν η ικανοποίηση των απαιτήσεων του πλοιοκτήτη που αφορούν κυρίως:

α) τη μεταφορική ικανότητα (DWT, ωφέλιμο φορτίο και όγκο κυτών),
β) την ταχύτητα και ακτίνα ενέργειας (δράσης), γ) τους κανόνες ασφαλείας και τις κατασκευαστικές προδιαγραφές ενός αναγνωρισμένου Νηογνώμονα.

Η ικανοποίηση των ανωτέρω απαιτήσεων πρέπει να συνδυάζεται με την κατά το δυνατόν οικονομικότερη (βέλτιστη) λύση ως προς το ελάχιστο κόστος ναυπήγησης και εκμετάλλευσης (λειτουργίας) του πλοίου.

Η επιλογή των κυρίων διαστάσεων, δηλαδή του μήκους L , πλάτους B , βυθίσματος T , κοίλου καταστρώματος D , συνεπώς και του ύψους εξάλων F_b , καθώς και του συντελεστή γάστρας C_b προκαθορίζουν τις δυνατότητες του υπό μελέτη πλοίου για την ικανοποίηση των προαναφερθέντων απαιτήσεων του πλοιοκτήτη. Είναι χαρακτηριστικό ότι λανθασμένοι συνδυασμοί των προαναφερθέντων βασικών μεγεθών είναι σχεδόν αδύνατο να διορθωθούν εκ των υστέρων και πάντα οδηγούν σε αντιοικονομικές ή και τεχνικά ανεπαρκείς λύσεις.

Η διαδικασία εκλογής των κυρίων διαστάσεων και χαρακτηριστικών μεγεθών στηρίζεται στη διαδοχική προσέγγιση τους με βάση τη σειρά: προεκτίμηση του εκτοπίσματος, εκλογή του μήκους, προσδιορισμός του C_B , προσδιορισμός του πλάτους βυθίσματος και κοίλου. Η σειρά αυτή ισχύει για πλοία, εκτοπίσματος και πρέπει να τροποποιηθεί ανάλογα για πλοία κυβισμού.

Τα κριτήρια εκλογής των κυρίων διαστάσεων θα συζητηθούν αναλυτικά στις επόμενες παραγράφους. Οι βασικοί παράγοντες εκλογής των κυρίων μεγεθών συνοψίζονται στα εξής:

1. Μήκος L : Είναι συνάρτηση του εκτοπίσματος και της ταχύτητας. Επηρεάζει σημαντικά το βάρος της μεταλλικής κατασκευής και της ενδιαίτησης / εξοπλισμού και κατ' επέκταση το κόστος ναυπήγησης. Επίσης επιδρά σημαντικά τόσο επί της αντίστασης του σκάφους για πλεύση σε ήρεμο νερό, όσο και επί του "καλοθάλασσου" του πλοίου σε κυματισμούς (κινήσεις, επιταχύνσεις, δυναμικές φορτίσεις σκάφους, πρόσθετη αντίσταση και απώλεια ταχύτητας λόγω κυματισμών).

2. Συντελεστής γάστρας C_B : Είναι συνάρτηση του αριθμού Froude. Επηρεάζεται από τους ίδιους παράγοντες, όπως και το μήκος.

3. Πλάτος B, Βύθισμα T, Κοίλο D: Η συνδυασμένη εκλογή τους επηρεάζεται από τους εξής παράγοντες:

- ευστάθεια
- απαιτούμενο ύψος εξάλων
- ασφάλεια έναντι κατάκλισης (εφόσον απαιτείται).

Οι κύριες διαστάσεις L, B, T επηρεάζονται επίσης συχνά από την περατότητα της διαδρομής, δηλαδή τις διαστάσεις διωρύγων, λιμένων και καναλιών, όπου πρέπει να διέρχονται τα υπό μελέτη πλοία. Κυρίως οι περιορισμοί αναφέρονται στο επιτρεπόμενο βύθισμα.

Μερικές χαρακτηριστικές διαστάσεις γνωστών διωρύγων και καναλιών (μέγιστες επιτρεπόμενες διαστάσεις πλοίου) είναι:

Διώρυγα Panama L < 289.56m (γενικά για -εμπορικά πλοία)
< 294.13m (επιβατηγά και containerships)
B < 32.31m (κατ εξαίρεση 32.61m, εφόσον T < 11.28m TFW-
βύθισμα Tropical Fresh Water)
T < 12.04m (αφορά το μέγιστο επιτρεπόμενο για
TFW κατά περίπτωση)

Διώρυγα Suez B < 71,02m (233 ft)
T < 10.67m (αφορά πρυμναίο βύθισμα σε περίπτωση
ερματισμού)
< 12.80m (μέγιστο επιτρεπόμενο βύθισμα για B
< 47.55m, αφορά έμπορτους πλόες southbound)
< 16.15m (μέγιστο επιτρεπόμενο βύθισμα για B
< 42.67m, αφορά έμπορτους πλόες northbound).

Κανάλι St.Lorenz: L άνευ ορίου

(B. Αμερική-Καναδάς Great Lakes)

L < 222m B < 23m T < 7,6m

Κανάλι B.A. Θάλασσας: L < 31 5m

(Nord-Ostseekanal, E < 40m

B. Ευρώπη) T < 9 , 5m

Τέλος ως προς το μήκος μπορεί, σε ειδικές περιπτώσεις, να τεθεί

περιορισμός από το μήκος της ναυπηγικής κλίνης ή δεξαμενής ενός επιλεγμένου Ναυπηγείου με το οποίο συνεργάζεται ο πλοιοκτήτης (κατασκευή και συντήρηση).

1.1. Εκλογή τον Μήκους

Η ικανοποίηση των κυρίων απαιτήσεων του πλοιοκτήτη (μεταφορική ικανότητα, ταχύτητα, ακτίνα ενέργειας και κανονισμοί ασφαλείας) είναι δυνατή με: διάφορα μήκη ναυπήγησης. Έτσι είναι λογικό η αναζήτηση του τελικού μήκους να πραγματοποιείται με οικονομικά κριτήρια, που καθορίζονται από τα ενδιαφέροντα του Ναυπηγείου ή του πλοιοκτήτη. Στην πρώτη περίπτωση διατυπώνεται το κριτήριο "ελάχιστου κόστους ναυπήγησης", ενώ στη δεύτερη συνήθως, το κριτήριο "ελάχιστου απαιτούμενου ναύλου ανά τόνο φορτίου" (αγγλ. RFR: Required Freight Rate).

Συμπερασματικά, από τα στοιχεία που παρουσιάζονται, μια επιμήκυνση, για σταθερό όγκο κυτών και εκτόπισμα, οδηγεί πάντα σε αύξηση του βάρους της μεταλλικής κατασκευής και μείωση της απαιτούμενης ισχύος πρόωσης.

Ως προς την κατανομή βαρών, η αύξηση του βάρους της μεταλλικής κατασκευής και η σύγχρονη αύξηση του βάρους της ενδιαίτησης/εξοπλισμού οδηγεί σε μείωση του ωφέλιμου φορτίου για σταθερό εκτόπισμα. Η με την επιμήκυνση συνεπαγόμενη μείωση της ισχύος πρόωσης και του αντίστοιχου βάρους της μηχανολογικής εγκατάστασης/καυσίμων δεν εξισορροπεί τις αυξήσεις των άλλων βαρών, έτσι ώστε για τη διατήρηση ενός σταθερού ωφέλιμου φορτίου απαιτείται η αύξηση του εκτοπίσματος, με νέα αύξηση της ισχύος πρόωσης.

Ως προς το κόστος ναυπήγησης αύξηση του μήκους συνεπάγεται αύξηση του κόστους κατασκευής του σκάφους, αλλά και περιορισμένη μείωση του κόστους της προωστικής εγκατάστασης (προσέγγιση κόστους ναυπήγησης). Η εύρεση της βέλτιστης, οικονομικής λύσης πραγματοποιείται με την συστηματική μεταβολή διαφόρων μηκών που επιλέγονται με βάση ένα αρχικό μήκος. Το τελευταίο προκύπτει από συγκρίσεις με όμοια πλοία, διαγράμματα ή και ημι-εμπειρικούς τύπους.

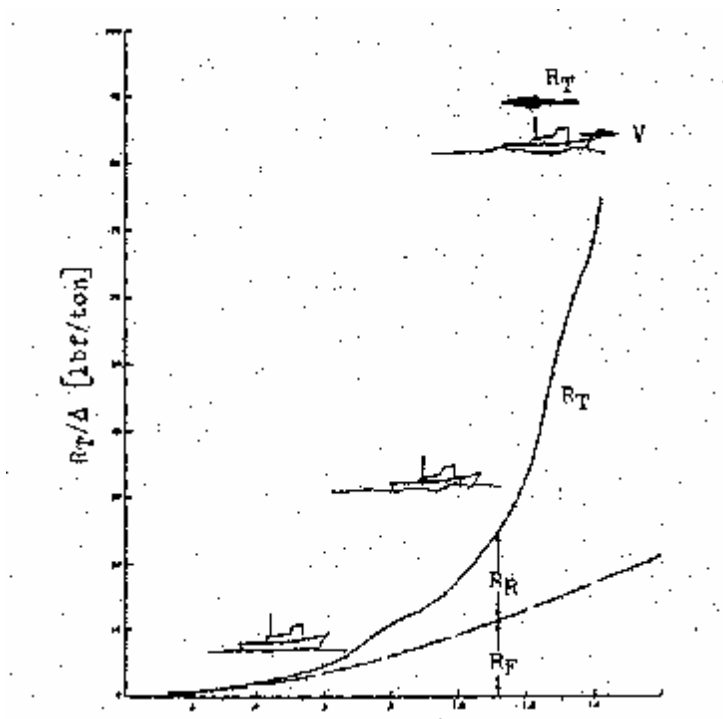
1.1.1. Επίδραση του μήκους επί την αντίσταση

Θεωρείται ότι η ολική αντίσταση R_T ενός πλοίου με τη βρεχόμενη επιφάνεια S για πλεύση με ταχύτητα V σε ήρεμο νερό, πυκνότητας ρ , μπορεί να αναλυθεί σύμφωνα με την παραδοχή του Froude (1868) ως εξής [9]:

$$R_T = R_F + R_R$$

όπου R_T : ολική αντίσταση (Total Resistance) ή αντίσταση ρυμούλκησης (Towing R .) η οποία έχει δύο συνισταμένες, την αντίσταση τριβής R_f και την υπόλοιπη αντίσταση R_R επεξηγούνται τα κατωτέρω.

Στο επόμενο σχήμα δίδονται ποιοτικά χαρακτηριστικά της αντίστασης ρυμούλκησης και των συνισταμένων της για σχετικές ταχύτητες $v [kn] / \sqrt{L [ft]}$



Σχήμα 1.1: Τυπική καμπύλη ολικής αντίστασης ως προς την σχετική ταχύτητα v / \sqrt{L} για σκάφη εκτοπίσματος (χωρίς δυναμική άντωση).

R_f : αντίσταση τριβής (Frictional R .) = $1/2 C_F \rho S V^2$

όπου

$C_f = f(RN)$: αδιάστατος συντελεστής τριβής εξαρτώμενος από τον αδιάστατο αριθμό

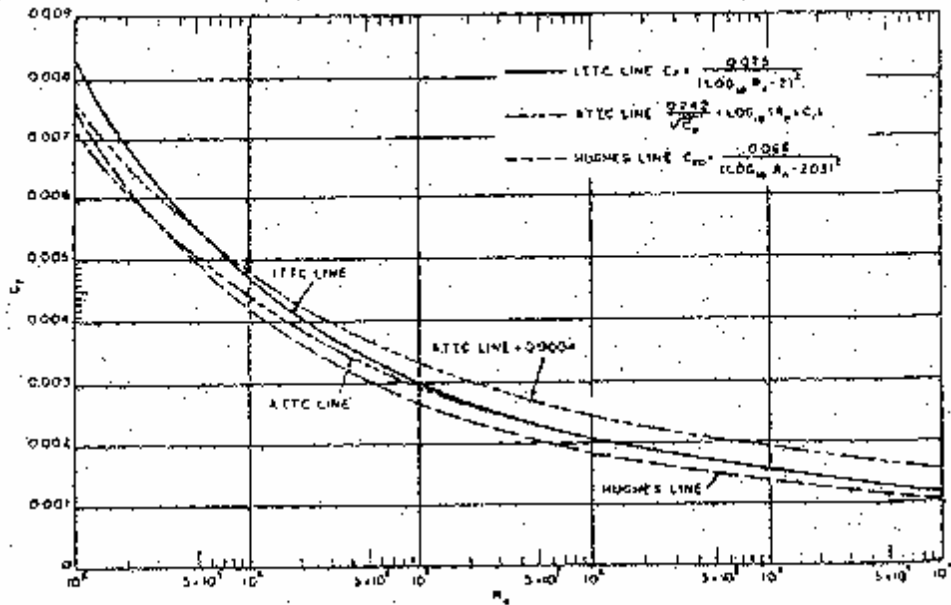
Reynolds, δηλαδή $R_n = \frac{V \cdot L}{\nu}$, ν = κινηματικό ιξώδες νερού για $(= 1,19 \cdot 10^{-6} [m^2/s])$ θαλάσσιο νερό, $15^\circ C$, $L = L_{WL}$.

$$C_F = 0,075 / (\log_{10} R_n - 2)^2$$

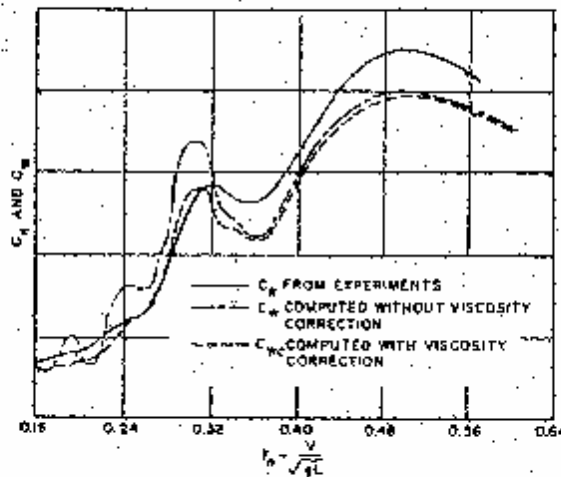
κατά ITTC 1957.

S : βρεχόμενη επιφάνεια, γάστρας

$$\approx (3,4 + V^{1/3} + 0,5L_{WL}) V^{1/3} \text{ κατά Lap.}$$



Σχήμα 1.2: Βασικές σχέσεις υπολογισμού συντελεστή αντίστασης τοιβής, $C_F = f(R_n)$ [9].



Σχήμα 1.3: ποιοτική σχέση συντελεστών υπόλοιπης αντίστασης C_R και κυματισμού C_W από τον αριθμό Φρουδέ Fr - Ευγυκώσεις αποτελεσμάτων από πειράματα και υπολογισμούς για πρότυπο σκάφος [9].

Επίσης

RR: υπόλοιπη αντίσταση (Residuary R.)

$$R_R = \frac{1}{2} C_R \rho S V^2$$

όπου

$C_R = f(F_n, R_n)$: αδιάστατος συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης εξαρτώμενος από τον αδιάστατο αριθμό Froude, δηλαδή

$$F_n = \frac{V}{\sqrt{g \cdot L}}$$

g: επιτάχυνση βαρύτητας, τον αριθμό Reynolds αλλά και τη μορφή της γάστρας του σκάφους (αντίσταση σχήματος ή μορφής - Form Resistance). Η υπόλοιπη αντίσταση R_R μπορεί να αναλυθεί περαιτέρω ως εξής:

$$R_R = R_W + R_{PV}$$

όπου R_W : αντίσταση κυματισμού (Wave R.)

$$R_W = \frac{1}{2} C_W \rho S V^2$$

C_W : αδιάστατος συντελεστής αντίστασης κυματισμού,

= $f(F_n, \text{μορφή γάστρας})$

R_{PV} : αντίσταση πίεσης (σχήματος) λόγω συνεκτικότητας (Pressure Viscous R.)

$$R_{PV} = \frac{1}{2} C_{PV} \rho S V^2$$

C_{PV} : αδιάστατος συντελεστής αντίστασης πίεσης λόγω συνεκτικότητας

= $f(F_n, R_n, \text{μορφή γάστρας})$

Όπως αναφέρθηκε, η υπόλοιπη αντίσταση R_R και ο αντίστοιχος συντελεστής C_R είναι συνάρτηση τόσο των αριθμών F_n και R_n , όσο και της μορφής της γάστρας του σκάφους. Κατά την απλοποιημένη παραδοχή του Froude δεχόμεθα αρχικά:

$$C_R = f_1(F_n) + f_2(F_n, R_n) + f_3(F_n)$$

δηλαδή παραλείπονται οι επιδράσεις του R_n επί της υπόλοιπης αντίστασης.

Αν επίσης θεωρήσουμε τη βρεχόμενη επιφάνεια S σύμφωνα με τον τύπο του Taylor [9]:

$$S = C_S \sqrt{V \cdot L}$$

όπου

$$C_S = f(B/T, C_M),$$

και το συντελεστή τριβής. C_p για τυρβώδη ροή κατά Prandtl:

$$C_F = 0,072 \cdot R_n^{-0,2}$$

προκύπτει για αύξηση του μήκους με το λόγο:

$$\lambda = \frac{L_1}{L_0}$$

αύξηση της αντίστασης τριβής R_F με το λόγο:

θεωρώντας τον συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης συναρτήσει του αριθμού F_n :

$$\frac{(R_R)_1}{(R_R)_0} = \lambda^{1/\alpha}$$

όπου ο εκθέτης α κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 3 και 5, ανάλογα με τον F_n και τη γάστρα, προκύπτει για την υπόλοιπη αντίσταση ο λόγος:

$$\frac{(R_R)_1}{(R_R)_0} = \lambda^{-(\alpha-1)/2}, \quad 3 \leq \alpha \leq 5,$$

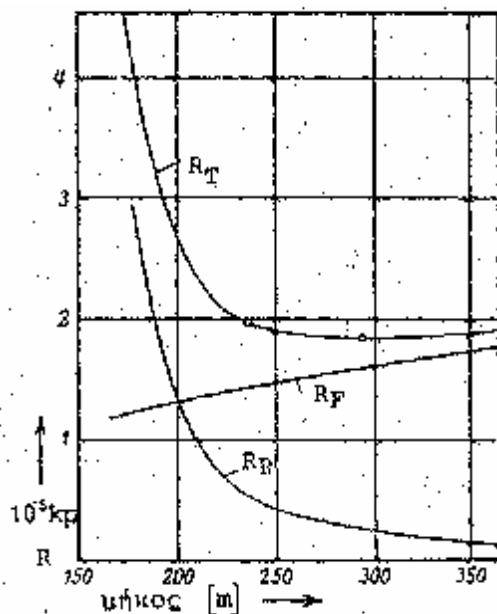
δηλαδή μείωση της υπόλοιπης αντίστασης με το λόγο λ^{-1} έως λ^{-2} . Για την ολική αντίσταση προκύπτει:

$$(R_T)_1 = (R_F)_0 \cdot \lambda^{3/2} + (R_R)_0 \cdot \lambda^{-(\alpha-1)/2}$$

Συνοπτικά, για συνήθη μήκη L και αριθμούς Provide $F_n \geq 0,15$ η μείωση της υπόλοιπης αντίστασης R_R με την αύξηση του λ είναι πλέον δραστική από την αύξηση της βρεχόμενης επιφάνειας, και κατ' επέκταση της αντίστασης τριβής R_F με αποτέλεσμα τη μείωση της ολικής αντίστασης.

Το παρακάτω σχήμα του D.W.Taylor ("The Speed and Power of Ships", 1943), που βασίζεται στην ανάλυση συστηματικών πειραμάτων ρυμούλκησης προτύπων για πλοία σταθερού εκτοπίσματος 30000t και ταχύτητας 29kn, δείχνει την ελάχιστη ολική αντίσταση για $L \sim 300$ m καθώς και τη δραστική μείωση της υπόλοιπης αντίστασης με την αύξηση του μήκους.

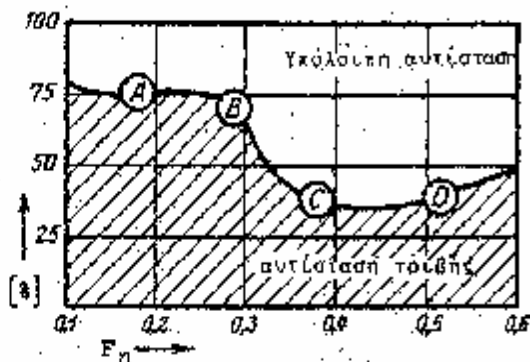
Είναι προφανές, ότι η συμπεριφορά των καμπυλών αυτών αλλάζει, ανάλογα με την ποσοστιαία συμμετοχή των συνισταμένων R_R και R_F στην ολική αντίσταση R_T .



Σχήμα 1.4: Επίδραση του μήκους επί της αντίστασης ενός πλοίου σταθερού εκτοπίσματος $\Delta=30000$ t και ταχύτητας $v=29$ kn κατά D.W.Taylor (1943).

Έτσι για μικρούς αριθμούς Froude ($\leq 0,15$), όπως ισχύει π.χ. για δεξαμενόπλοια, η αντίσταση τριβής αποτελεί το κύριο μέρος της ολικής ($\sim 80\%R_T$), ενώ για σχετικά ταχέα πλοία ($F_n > 0,25$) οι όροι αντιστρέφονται (βλ. ακόλουθο σχήμα και Πίνακα 1.2).

- A: θραδύ φορτηγό
- B: υπερωκεάνειο επιβατηγό
- C: μικρό επιβατηγό ή καταδομικά
- D: τορπιλλάκατος

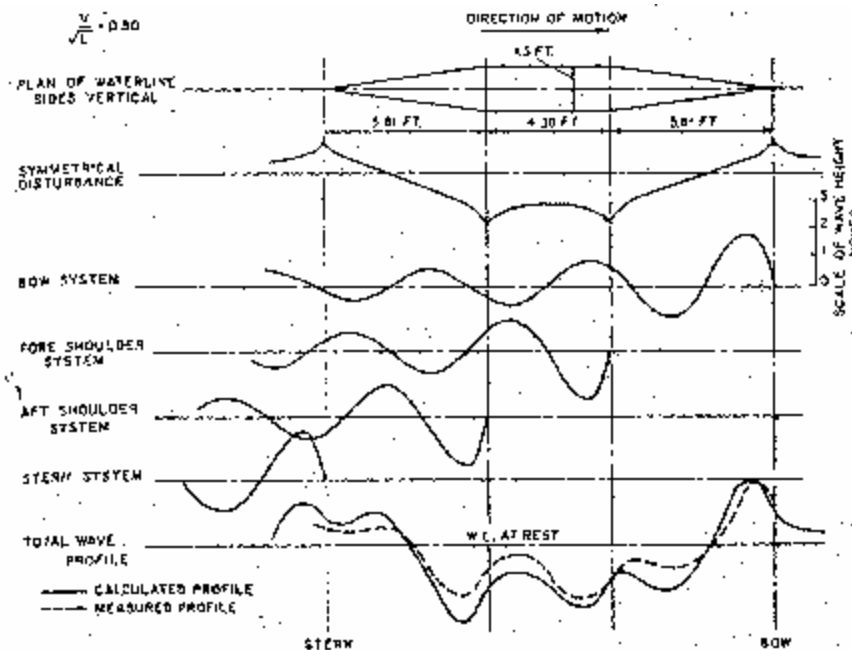


Σχήμα 1.5: Σχετικό μέγεθος αντίστασης τριβής και υπόλοιπης αντίστασης για διαφορετικούς, τύπους, πλοίων με χαρακτηριστικούς αριθμούς Froude κατά F. Horn (1930)

Πέραν της έμμεσης επίδρασης του μήκους επί των αντιστάσεων R_R και R_F δέον να επιχειρείται η αποφυγή δυσμενών αριθμών Froude, κατά τους οποίους παρουσιάζεται συντονισμός των πρωραίων και πρυμναίων συστημάτων κυματώσεων με αποτέλεσμα την αύξηση της αντίστασης κυματισμών R_w . Αυτό συμβαίνει όταν η κορυφή/κοίλο του πρωραίου συστήματος συμπίπτει με την

αντίστοιχη κορυφή/κοίλο του πρυμναίου συστήματος με αποτέλεσμα, λόγω υπέρθεσης, αύξηση του εύρους του συνιστάμενου συστήματος κυμάτων και κατ' επέκταση της αντίστασης κυματισμού. Η τελευταία αντιστοιχεί στην απολεσθείσα ενέργεια του σκάφους λόγω διαταραχής της επιφάνειας του νερού και είναι ανάλογη του τετραγώνου του εύρους των δημιουργουμένων κυμάτων.

Είναι, γνωστό από αναλυτικές και πειραματικές έρευνες ότι η συμμετρική κατανομή της πίεσης που προκύπτει γύρω από ένα διπλό σφηνοειδές σώμα, με παράλληλο μέσο (βλ. σχήμα 1.6 κατά Wigley [9]) που κινείται με σταθερή ταχύτητα στην επιφάνεια ήρεμου νερού, δημιουργεί αρχικοί δύο κορυφές κύματος περί την πρωραία και πρυμναία κάθετο και ένα εκτεταμένο κοίλο κατά μήκος του παράλληλου μέσου του σκάφους.



Σχήμα 1.6: Συστήματα κυματισμών για ένα διπλοσφηνοειδές πρότυπο σκάφος κατά Wigley [9].

Το σύστημα των κυμάτων αυτών (α) που είναι γνωστό και ως "πρωτογενές σύστημα κυματισμών", κινείται με την ταχύτητα του σκάφους, δηλαδή παραμένει στην ίδια θέση ως προς το κινούμενο σκάφος και λόγω της διπλοσυμμετρικής κατανομής των πιέσεων δεν αναλώνει οιαδήποτε ενέργεια, εφόσον το πλοίο κινείται με σταθερή ταχύτητα. Όμως το πρωτογενές σύστημα είναι, η γενεσιουργός αιτία ως προς τα ακόλουθα τέσσερα "δευτερογενή" συστήματα:

- β) Το πρωραίο σύστημα κυματισμού, που αρχίζει με μια κορυφή (bow).
- γ) Το σύστημα της πρωραίας παρειάς (fore shoulder) , που αρχίζει με κοίλο.
- δ) Το σύστημα της πρυμναίας παρειάς (aft shoulder), που αρχίζει επίσης με κοίλο.
- ε) Το πρυμναίο σύστημα που αρχίζει με κορυφή (stern).

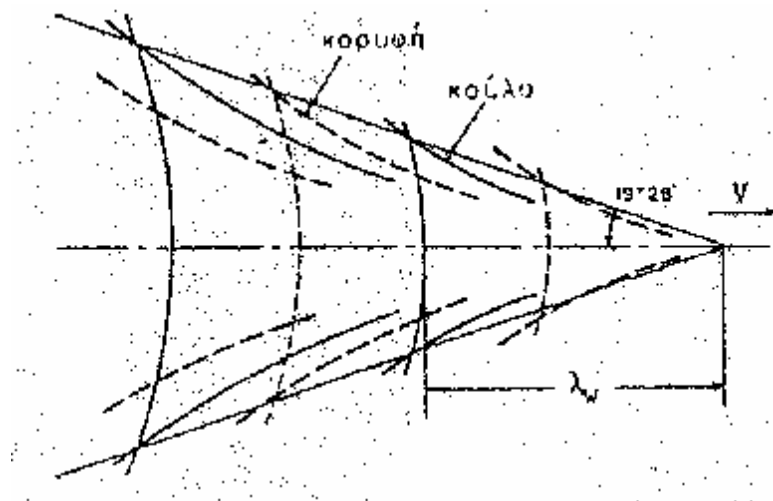
Σημαντικά πίσω από το σκάφος και τα τέσσερα δευτερογενή συστήματα (β) έως (ε) αποκτούν καθαρά ημιτονοειδή μορφή με συνεχώς ελαττούμενο εύρος και μήκος που αντιστοιχεί στο μήκος ενός ελεύθερου κύματος που κινείται με την ταχύτητα του σκάφους V . Για τέτοια κύματα στην επιφάνεια του νερού ισχύει η σχέση:

$$\lambda_w = \frac{2\pi}{g} V^2$$

όπου λ_w : μήκος ελεύθερου κύματος επιφάνειας με ταχύτητα προχώρησης V σε βαθύ νερό.

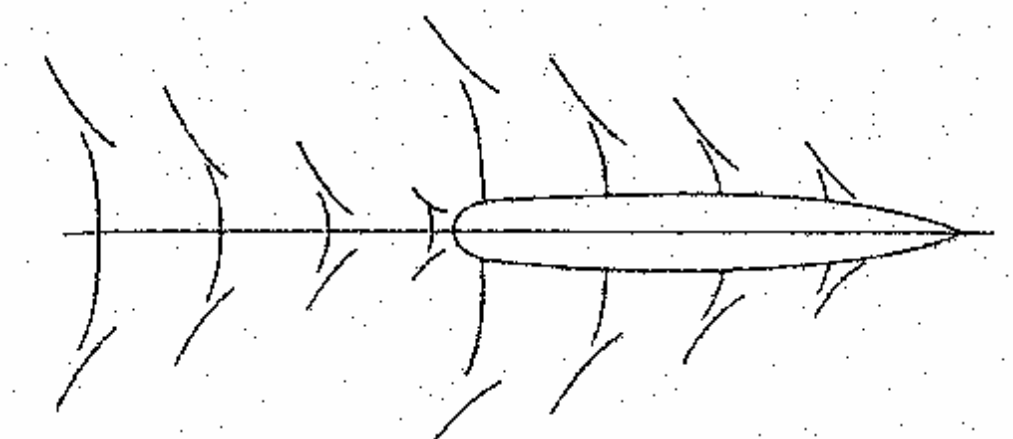
Σύμφωνα με τη θεωρία του Lord Kelvin (1887) ένα μεμονωμένο "σημείο πίεσης" (pressure point) κινούμενο ευθεία με ταχύτητα V στην επιφάνεια του νερού δημιουργεί πίσω του δύο συστήματα κυμάτων (Σχ. 1.7).

Όπως φαίνεται από το σχήμα, το χαρακτηριστικό μοντέλο των κυμάτων του Kelvin αποτελείται από δύο υποσυστήματα: ένα, εγκάρσιο που αρχίζει με κορυφή ή κοίλο στο σημείο πίεσης, ανάλογα με το ύψος της, και με το προαναφερθέν μήκος κύματος, καθώς και ένα αποτελούμενο από διαγώνια, συγκλίνοντα κύματα που όμως οριοθετούνται από δύο ευθείες γραμμές υπό γωνία $19^\circ 28'$ (υπόθεση: βαθύ νερό) ως προς την ευθεία κίνησης του σημείου πίεσης.



Σχήμα 1.7: Συστήματα κυματισμών όπισθεν σημείου πίεσης κινούμενου με ταχύτητα V κατά Lord Kelvin (1887) [9].

Αν θεωρήσουμε το προαναφερθέν "πρωτογενές" σύστημα πιέσεων (α), (σχ. 1.6) ως συντιθέμενο από άπειρο αριθμό "σημείων πίεσης" κατά Kelvin, τότε προφανώς τα δευτερογενή συστήματα (β) έως (ε) πολλαπλασιάζονται ανάλογα. Όμως ήδη η απλοποιημένη υπέρθεση δύο μόνο βασικών κυμάτων, δηλαδή του κύματος πλώρας (β) και πρύμνης (ε) οδηγεί στην ουσιαστική εξήγηση του φαινομένου της αντίστασης κυματισμού.



Σχήμα 1.8: Σκαρίφημα απλοποιημένης υπέρθεσης κύματος πλώρας και πρύμνης.

Όπως φαίνεται και από το αναλυτικό σχήμα 1.6 από την υπέρθεση των δευτερογενών συστημάτων προκύπτει ένα μη συμμετρικό περίγραμμα της επιφάνειας του κύματος περί το σκάφος. Έτσι λόγω της αντίστοιχης μη σύμμετρης κατανομής πιέσεων δημιουργείται μια δύναμη, αντίθετη με την κατεύθυνση κίνησης του σκάφους που είναι γνωστή ως αντίσταση κυματισμού.

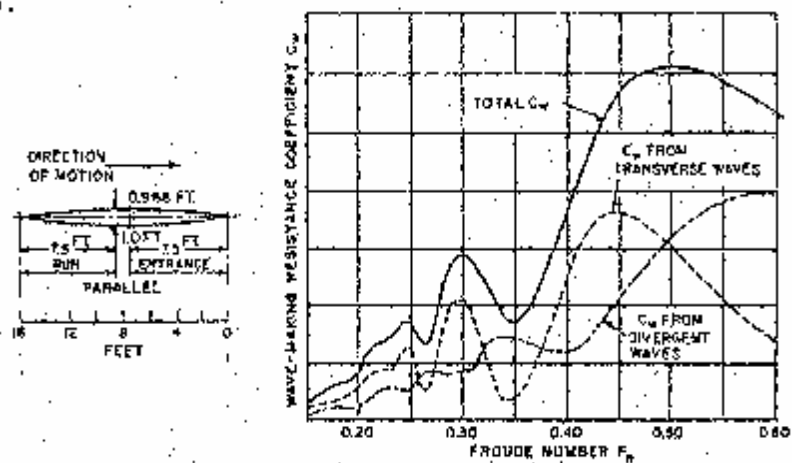
Εφόσον η ταχύτητα του πλοίου αλλάξει, το μήκος κύματος των δευτερογενών κυμάτων αλλάζει ανάλογα, ενώ τα σημεία γένεσης μένουν σταθερά, με αποτέλεσμα τη διαφοροποιημένη υπέρθεση των συστημάτων και της απορρέουσας αντίστασης κυματισμών.

Ο αδιάστατος συντελεστής της αντίστασης κυματισμού:

$$C_W = \frac{R_W}{\frac{\rho}{2} v^2 \cdot S}$$

πέραν από την εξάρτηση του από τη μορφή της γάστρας του πλοίου παρουσιάζει έντονες διακυμάνσεις συναρτήσει της -ταχύτητας του σκάφους, ή του αριθμού Froude, ανάλογα με το αποτέλεσμα της υπέρθεσης των δευτερογενών συστημάτων (συντονισμός ή απόσβεση). Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα της

συνάρτησης $C_w = f(F_n)$ δίδεται στο ακόλουθο σχήμα 1.9 για ένα μοντέλο με παραβολοειδή ίσαλο.



Σχήμα 1.9: Ανάλυση των συνισταμένων της αντίστασης κυματισμού για ένα μοντέλο με παραβολοειδή ίσαλο [9].

Για να έχουμε ευνοϊκή περιοχή λειτουργίας του σκάφους, ως προς τον αριθμό Froude, δηλαδή, μια σχετικά μειωμένη αντίσταση κυματισμού θα πρέπει τουλάχιστον από την υπέρθεση του πρωραίου (β) και πρυμναίου (ϵ) συστήματος κυματισμού να προκύψει απόσβεση. Έτσι, ο λόγος μήκους ισάλου L_{WL} , που αντιστοιχεί περίπου στην απόσταση των σημείων γένεσης των δύο συστημάτων, ως προς το μισό μήκος κύματος λ_w πρέπει να είναι ένας περιττός αριθμός, δηλαδή:

Αντίθετα, στις δυσμενείς περιοχές αριθμού Froude ο ίδιος λόγος είναι ένας άρτιος αριθμός.

Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται οι δυσμενείς και ευνοϊκές περιοχές αριθμών Froude, όπως προκύπτουν από πειράματα πρότυπων και επιβεβαιώνονται προσεγγιστικά με εφαρμογή των προαναφερθέντων σχέσεων μεταξύ L_{WL} και λ_w .

Δυσμενείς περιοχές (συντονισμός)

$$F_n = V/\sqrt{g \cdot L_{pp}} : 0,45-0,50, \quad 0,29-0,31, \quad 0,23$$

Ευνοϊκές περιοχές (απόσβεση)

$$F_n = V/\sqrt{g \cdot L_{pp}} : 0,33-0,36, \quad 0,25, \quad 0,21$$

Πίνακας 1.1. Δυσμενείς και ευνοϊκές περιοχές αριθμών Froude ως προς την αντίσταση κυματισμού για συνήθη σκάφη.

F_n	(R_F/R_T)	$C_W=f(F_n)$	L^*/λ_w	$L^*/(0,5\lambda_w)$	Τύπος πλοίων
0,15	80%	Εξάρση	5,0	10	δεξαμενόπλοιο μεγάλου μεγέθους (VLCC)
0,19	70%	Κοίλο	4,5	9	δεξαμενόπλοιο μεσαίου μεγέθους
0,23	60%	Εξάρση	3	6	φορτηγό μέσης ταχύτητας
0,25	60%	Κοίλο	2,5	5	Ταχύ φορτηγό
0,29-0,31	50%	Εξάρση	2	4	Αλιευτικό
0,33-0,36	40%	Κοίλο	1,5	3	Ταχύ φορτηγό - Ψυγείο
0,40		Εξάρση	1	2	
0,50	30±35%	Εξάρση	0,64	1,28	Καταδρομικό
0,563		Κοίλο	0,5	1	

Παρατηρήσεις: L^* : απόσταση κορυφής προωαίου από το πρυμναίο σύστημα κυματισμών, $L^* \approx L_{WL}$

$$\lambda_w: \text{μήκος διεγειρομένων κυμάτων} = \frac{2\pi}{g} v^2$$

Αν κατά την εκλογή του μήκους διαπιστωθεί ότι η περιοχή λειτουργίας του πλοίου ευρίσκεται εντός των ορίων δυσμενών αριθμών Froude, είναι δυνατόν η αποφυγή ή μετρίαση των ανεπιθύμητων συντονισμών των συστημάτων κυματώσεων με τα εξής μέσα:

- 1) Αλλαγή μήκους.
- 2) Αναμόρφωση (εξομάλυνση) παρειών γάστρας.
- 3) Αλλαγή ταχύτητας.

Στον ακόλουθο πίνακα 1.2 [3] παρουσιάζονται, τα τυπικά σημεία λειτουργίας συνήθων τύπων πλοίων. Μπορεί να παρατηρηθεί ότι τα σημεία λειτουργίας ορισμένων σκαφών είναι σε ανεπιθύμητες περιοχές αριθμών Froude. Όμως σημειώνεται, ότι στις περιπτώσεις αυτές, είτε η ποσοστιαία συμμετοχή του R_w στην ολική αντίσταση είναι μικρή (χαμηλοί αριθμοί Froude), είτε πρόκειται για πλοία μεσαίων έως μικρών ταχυτήτων συνδυαζόμενα με μικρά μήκη σκαφών (αλιευτικά). Ως προς τα πολεμικά σκάφη, με $F_n \geq 0,5$, επιχειρείται με κατάλληλη διαμόρφωση της γάστρας η μετρίαση των συντονιστικών φαινομένων από τη φασική σύγκλιση των προωαίων και πρυμναίων συστημάτων κυματώσεων.

Κριτική – Οριακή και Οικονομική Ταχύτητα (Critical - boundary and economic speed): Σε σχέση με την επιλογή του κατάλληλου μήκους σε συνδυασμό με τον συντελεστή γάστρας C_g ή C_p και την αντιστοιχούσα ταχύτητα, π.χ. χρησιμοποιώντας το βασικό τύπο του Alexander (βλ. I, 2.1):

$$V [kn] / \sqrt{L_{PP} [ft]} = 2 (K_1 - C_B)$$

όπου $K_1=1,08$ για ταχύτητα δοκιμών $V_T(\text{trial})$

= 1,05 για ταχύτητα υπηρεσίας V_g (service),

ή τον τύπο του Troost:

$$V_S [kn] / \sqrt{L_{PP} [ft]} = 1,85 - 1,6 C_P$$

όπου V_g : μέση υπηρεσιακή ταχύτητα (Sustained Sea Speed Service Speed), \cong 0,94 V_{Tp} (ταχύτητα δοκιμών),

προκύπτει η ανάγκη του ορισμού ενός ορίου ταχύτητας (οριακή ή κριτική ταχύτητα) η υπέρβαση της οποίας, με βάση τα χαρακτηριστικά του σκάφους, εκφρασμένα εδώ με το L και C_B , οδηγεί σε απότομη αύξηση της απαιτούμενης ισχύος πρόωσης.

Όπως μπορεί να δειχθεί, ενώ το μέρος της απαιτούμενης ισχύος πρόωσης, που αντιστοιχεί στην αντίσταση τριβής, αυξάνει περίπου με τον εκθέτη 2,8 της ταχύτητας, το ανάλογο της υπόλοιπης αντίστασης έχει εκθέτη μεγαλύτερο ίσο του 5. Έτσι προκύπτει για την ισχύ πρόωσης P :

$$P \propto V^n, \text{ όπου } n \geq 3$$

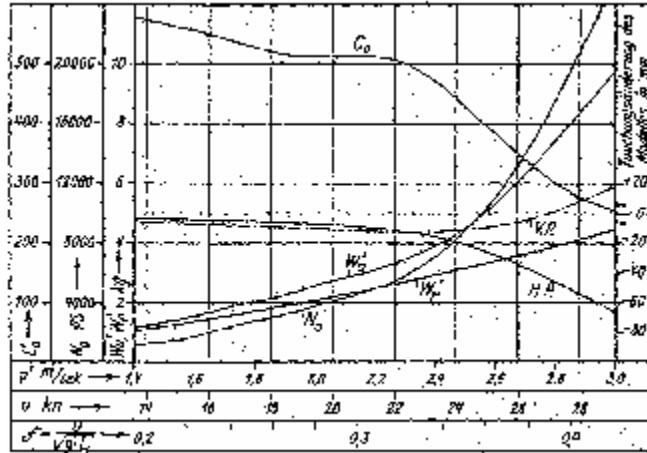
Ως οριακή η κριτική ταχύτητα ορίζεται εκείνη κατά την υπέρβαση της οποίας ο εκθέτης n γίνεται μεγαλύτερος του 3:

$$n (V \geq V_{CR}) \cong 3$$

Μια απλή παραστατική εξήγηση της οριακής ταχύτητας είναι η απότομη πτώση της σταθεράς του Αγγλικού Ναυαρχείου:

$$C_M = \frac{V^3 \Delta^{2/3}}{P}$$

σε μια παράσταση $C_M = f'(V)$ (βλ. ακόλουθο σχήμα).



Σχήμα 1.10: Αποτελέσματα πειραμάτων ρυμούλκησης προτύπου κατά F. Horn.

$C_D \equiv C_H$

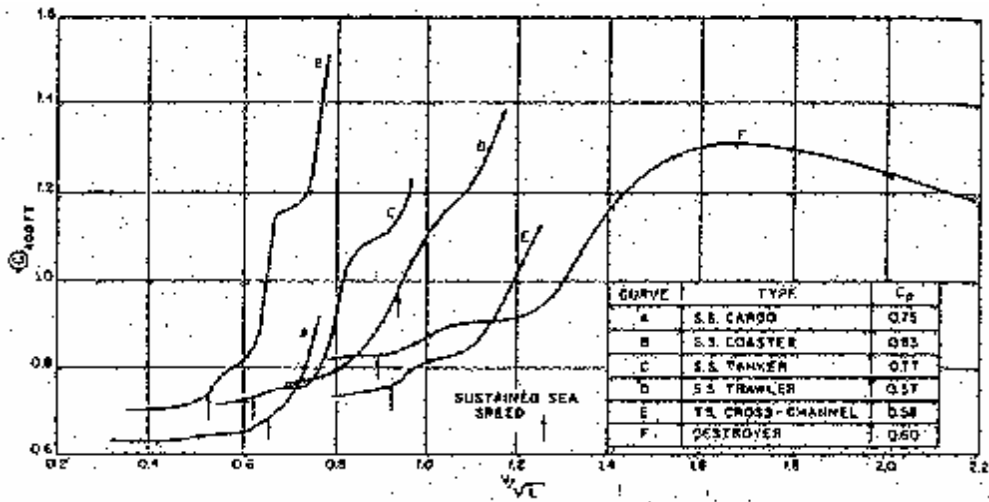
$N_D \equiv F_Z$ (ισχύς ρυμούλκησης)

$W'_0 \equiv R_T$

$W'_1 \equiv R_F$

V.P.: Βύθισμα πωραίας καθέτου

H.P.: Βύθισμα κρυμνιάς καθέτου



Σχήμα 1.11: Χαρακτηριστικές καμπύλες αγγλοσαξονικού συντελεστή ολικής αντίστασης (C) για διάφορους τύπους πλοίων με επισήμανση της υπηρεσιακής ταχύτητας [9].

$$C \equiv \frac{R_T}{\Delta} \cdot \frac{1000}{K^2}, \quad K \equiv 0,5834 \frac{V}{\Delta^{1/3}}$$

C_{400FT} : για οκάση μήκους 400 ft.

R_T [tonf], Δ [tonf], V [kn].

αγγλοσαξονικές μονάδες:

1 tonf = 1 long ton = 1,016 metric tons

Είναι φυσιολογικό η "υπηρεσιακή" ταχύτητα να επιλέγεται σχεδόν πάντα μικρότερη της "κριτικής" κατά ένα ορισμένο ποσοστό που εξαρτάται από τη μορφή της καμπύλης $P = f(V)$ ή $C_w = f(F_n)$ (βλ. σχήμα 1.11).

Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η οικονομική λειτουργία του σκάφους σε περιοχές ταχυτήτων με σχετικά μειωμένη αντίσταση και δίδεται η δυνατότητα αναπλήρωσης απωλειών χρόνου κατά το ταξίδι, με μικρή αύξηση της ταχύτητας, χωρίς σημαντική αύξηση της απαιτούμενης ισχύος πρόωσης.

Η ταχύτητα δοκιμών του σκάφους, η οποία λογίζεται περίπου 6% ανώτερη της αντίστοιχης υπηρεσιακής είναι συνήθως άμεσα κοντά στην κριτική ταχύτητα.

Έτσι, αν υποθεθεί ότι οι υπηρεσιακές συνθήκες είναι ταυτόσημες με εκείνες των δοκιμών, προκύπτει:

$$P(V_T) = 1,25 P(V_S)$$

εφόσον η ταχύτητα δοκιμών V_T υπερβαίνει την κριτική και η αντίστοιχη ιπποδύναμη αυξάνει με εκθέτη τουλάχιστον 4 ως προς την ταχύτητα.

Όμως οι υπηρεσιακές συνθήκες προδιαγράφουν συνήθως αυξήσεις της αντίστασης, λόγω ρύπανσης της γάστρας, καιρικών συνθηκών κλπ, που είναι της τάξης των 10-25%. Έτσι μπορεί να υποστηριχθεί ότι στην πράξη η επίτευξη της υπηρεσιακής ταχύτητας απαιτεί περίπου την ίδια ιπποδύναμη όπως για την ταχύτητα δοκιμών, αλλά βέβαια υπό συνθήκες δοκιμών (καθαρή γάστρα, ήρεμο και βαθύ νερό, άπνοια κλπ.).

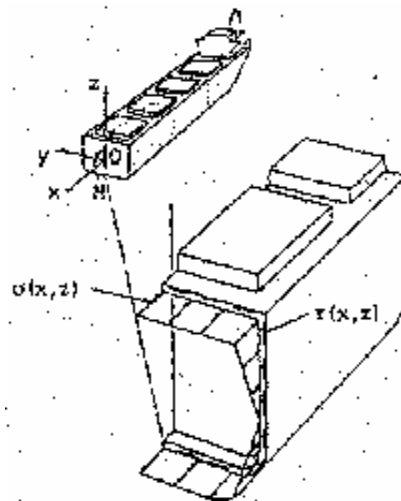
Συμπεράσματα:

1. Η εκλογή του μήκους του σκάφους, με κριτήριο την αντίσταση, βασίζεται στο μέγεθος της σχετικής ταχύτητας, δηλαδή τον αριθμό Froude, που συσχετίζει την ταχύτητα με το μήκος παρά στην απόλυτη ταχύτητα.
2. Σχετικά βραδέα σκάφη, με μικρό αριθμό Froude ($\leq 0,20$), παρουσιάζουν μεγάλο ποσοστό αντίστασης, τριβής, ως προς την ολική (βλ. πίνακα 1.2) και απαιτούν, για μειωμένη αντίσταση τριβής την ελάχιστη δυνατή βρεχόμενη επιφάνεια, που αντιστοιχεί γεωμετρικά σε κοντές, πλήρεις γάστρες, δηλαδή υψηλούς συντελεστές C_B και C_P , αλλά μικρά μήκη L , και συντελεστές λυγηρότητας
3. Σχετικά $L/V^{1/3}$ ταχεία σκάφη ($F_n \geq 0,25$) αντιθέτως, με σημαντικό ποσοστό αντίστασης κυματισμού, απαιτούν σχετικά λεπτόγραμμες γάστρες, δηλαδή χαμηλούς συντελεστές C_B και C_P υψηλό συντελεστή λυγηρότητας $L/V^{1/3}$ κατάλληλη κατανομή του εκτοπίσματος ως προς το μήκος, με κέντρο άντωσης

πρύμνηθεν της μέσης τομής και σχετικά μεγάλα μήκη L.

1.1.2. Επίδραση του μήκους επί της αντοχής και του βάρους της μεταλλικής κατασκευής

Με σκοπό τη διερεύνηση της επίδρασης του μήκους επί της διαμήκουσ αντοχής και του βάρους της μεταλλικής κατασκευής θεωρείται, απλοποιημένα, ότι το σκάφος είναι μια «καμπτόμενη δοκός (βλ. σχ. 1.12), για την οποία ως γνωστό ισχύει η σχέση:



Σχήμα 1.12: Θεώρηση σκάφους, ως καμπτόμενη δοκός.

$$\sigma(x, z) = M(x) \cdot Z / I(x)$$

όπου σ ; καμπτική τάση στο σημείο (x, z)

M: καμπτική ροπή στο σημείο (τομή) x

I: ροπή αδρανείας στην τομή x

Η παραδοχή της καμπτομένης δοκού είναι ανεκτή ιδιαίτερα για σκάφη με υψηλούς λόγους L/B και L/D.

Η μεγάλη καμπτική τάση προκύπτει στη μέση τόσο κατά την καταπόνηση σε ήρεμο νερό (steel water behding), όσο και κατά τις τυπικές καταπόνησεις σε κυματισμούς.

Ιδιαίτερα. στις δύο οριακές περιπτώσεις/ που εξετάζονται συνήθως/ θεωρώντας το πλοίο ως κινούμενο επί της κορυφής ή του κοίλου ενός κύματος, ίδιου περίπου μήκους και ταχύτητας, παρουσιάζεται περίσσεια

ταλάντωσης περί το μέσον του σκάφους, εφόσον η κορυφή του φορτίζοντος κύματος είναι, κοντά στη μέση τομή (hogging), είτε η περίσσεια ταλάντωσης βρίσκεται στα άκρα του σκάφους/ πράγμα που συμβαίνει, όταν το κοίλο του κύματος είναι στο κέντρο του πλοίου (sagging) (σχήμα 1.13b και c) .

Η μέγιστη καμπτική ροπή, που παρουσιάζεται στη μέση τομή, μπορεί να προσεγγισθεί ως εξής :

$$M_{max} = M(x = \frac{L}{2}) = C \Delta L$$

Εξαιτώμενη από τον τύπο του $\kappa \lambda \epsilon$

όπου C : σταθερά εξαρτώμενη από τον τύπο του πλοίου, κατάσταση φόρτωσης, μήκος (ύψος) κύματος και το είδος φόρτισης. Ενδεικτικά αναφέρεται για φορτηγό πλοίο στην εμφορτη κατάσταση και μηχανή στο μέσο η ελαφρά πρύμνηθεν (γερμ. Νηογνώμονας, G.L.)

Γενικά για φορτηγό έχουμε:

$$C = 0,012 \quad (\text{ήρεμο νερό}) \quad \text{γενικά για φορτηγό} = 0,025 \quad (\text{"hogging", πρόσθετη ροπή}) = -0,013 (\text{"sagging", πρόσθετη ροπή})$$

Για έμφορτο δεξαμενόπλοιο έχουμε:

$$C = -0,006 \quad \text{έως} \quad +0,003 \quad (\text{ήρεμο νερό}). = 0,020 \quad (\text{"hogging", πρόσθετη ροπή}) = -0,028 \quad \text{έως} \quad -0,020 \quad (\text{"sagging", πρόσθετη ροπή})$$

Έτσι προκύπτει για τις μέγιστες καμπτικές τάσεις, στο κατάστρωμα και πυθμένα της μέσης τομής:

όπου $W_{1,2}$: ροπές αντίστασης =

$z_{1,2}$: αποστάσεις καταστρώματος και πυθμένα αντίστοιχα από τον ουδέτερο άξονα

I_M : ροπή αδράνειας μέσης τομής.

Εξετάζοντας, κάθε μια από τις προαναφερθείσες, οριακές πτώσεις, για πλεύση σε ήρεμο νερό και κυματισμούς, θεωρείται ότι το εκτόπισμα Δ είναι σταθερό όπως και η διανομή των βαρών και της άντωσης καθώς και η προκύπτουσα καμπύλη φόρτισης της δοκού. Έτσι τυχόν αλλαγές στην καμπτική ροπή $M(x)$ είναι απλές συναρτήσεις του μήκους.

Θεωρώντας μια αύξηση του μήκους κατά το λόγο $\lambda = L_1/L_0$ (δείκτης 1: ζητούμενο, 0: πατρικό) προκύπτει αύξηση της ροπής κατά τον ίδιο λόγο:

$$M_1 = \lambda \cdot M_0$$

Περίπτωση Α: Υποτίθεται για το υπό μελέτη πλοίο, ότι το εκτόπισμα Δ , πλάτος B , βύθισμα T καθώς και η μέση τομή (επιφάνεια και περιγράμμα) μενουν σταθερά..

Ζητούνται οι επιδράσεις μια μεταβολής του μήκους κατά το λόγο λ .

Λόγω του σταθερού εκτοπίσματος, πλάτους και βυθίσματος, προκύπτει:

$$C_{B1} = \frac{1}{\lambda} C_{B0}$$

Εφόσον η μέση τομή μένει σταθερή κατά την επιφάνεια και το σχήμα, η ροπή αντίστασης παραμένει αμετάβλητη, αλλά οι καμπτικές τάσεις μεταβάλλονται με το λόγο λ :

$$\sigma_1 = \frac{M_1}{W_1} = \frac{\lambda M_0}{W_0} = \lambda \cdot \sigma_0$$

Αν απαιτηθεί η διατήρηση του ύφους των τάσεων, δηλαδή:

$$\sigma_1 = \sigma_0$$

προκύπτει για τις ροπές αδρανείας:

θεωρώντας για τη ροπή $I_1 = \lambda \cdot I_0$, αδρανείας, της μέσης τομής μια σωληνοειδή καμπτόμενη δοκό διατομής A_f αναπτύγματος περιμέτρου ρ και μέσου πάχους t :

$$I = k \cdot A_f \cdot d^2 = k \cdot \rho \cdot t \cdot d^2$$

d : απόσταση ακραίας ίνας από τον ουδέτερο άξονα

k : συντελεστής ιδιομορφίας σχήματος μέσης τομής,

προκύπτει για σταθερή μέση τομή, δηλαδή σταθερά k , ρ και d , σταθεράς λόγος (I/t) και κατ' επέκταση:

$$t_1 = \lambda \cdot t_0$$

Συμπερασματικά, για την τήρηση της αυτής καμπτικής τάσης απαιτείται, τι αύξηση του μέσου πάχους t κατά το λόγο των μηκών.

Αν το βάρος της μεταλλικής κατασκευής του σκάφους τεθεί υπό τη μορφή:

$$W_H = K_H \cdot A_H \cdot t$$

όπου A_H : επιφάνεια περιβλήματος σκάφους

t : μέσο πάχος ελασμάτων

K_H : συντελεστής ιδιομορφίας σχήματος μέσης τομής και τύπου πλοίου,

προκύπτει για το υπό μελέτη πλοίο:

$$W_{H1} = K_H \cdot A_{H1} \cdot t_1 = \lambda \cdot K_H \cdot A_{H1} \cdot t_0$$

Η επιφάνεια A_H μπορεί να προσεγγισθεί με τον τύπο του Taylor, ο οποίος βέβαια ισχύει αρχικά μόνο για τη βρεχόμενη επιφάνεια του περιβλήματος, αλλά μπορεί να επεκταθεί για μια υποτιθέμενη ίσαλο στο ύψος του καταστρώματος:

$$A_H = C_H \cdot \sqrt{V \cdot L}$$

όπου

$$C_H = f(B/D, C_{MD})$$

Έχει όμως υποτεθεί ότι η μέση τομή μένει σταθερή ως προς την επιφάνεια και το περίγραμμα της, δηλαδή B/D , $\sigma_0 = \epsilon_M(T=0)$ και C_u σταθερά. Έτσι προκύπτει για τις επιφάνειες περιβλήματος:

$$A_{H1} = C_H \cdot \sqrt{V \cdot L_1} = \sqrt{\lambda} \cdot A_{H0}$$

και για τα βάρη:

$$W_{H1} = \lambda \cdot K_H \cdot \sqrt{\lambda} \cdot A_{H0} = \lambda^{3/2} \cdot W_{H0}$$

Συμπερασματικά, εφόσον το εκτόπισμα, πλάτος, βύθισμα και μέση τομή μένουν σταθερά μια επιμήκυνση του σκάφους κατά λόγο λ συνεπάγεται μείωση του συντελεστή γάστρας C_B κατά το λόγο $(1/\lambda)$ και αύξηση του βάρους της μεταλλικής κατασκευής του κυρίου σκάφους κατά $\lambda^{3/2}$.

Περίπτωση Β: θεωρείται ότι το εκτόπισμα Δ και ο συντελεστής γάστρας C_g παραμένουν σταθερά, ενώ το γινόμενο $B \cdot T$ μεταβάλλεται αντίστροφα ανάλογα του μήκους, δηλαδή:

$$\Delta_i = \Delta_0$$

$$C_{B1} = C_{B0}$$

$$(B \cdot T)_i = 1/\lambda (B \cdot T)_0$$

Επίσης θεωρείται ότι για μικρές μεταβολές των διαστάσεων ρ συντελεστής ιδιομορφίας για τον υπολογισμό του βάρους της μεταλλικής κατασκευής K_H μένει αμετάβλητος.

Εφόσον απαιτηθεί η διατήρηση του αυτού ύψους των καμπτικών τάσεων

προκύπτει:

$$\sigma_1 \approx \sigma_0$$

$$M_1 \cdot \frac{z_1}{I_1} = M_0 \cdot \frac{z_0}{I_0}$$

όπου

$$I_1 = k_1 \cdot \rho_1 \cdot t_1 \cdot d_1^2$$

$$(\rho_1/\rho_0) \approx (B_1/B_0) \approx (T_1/T_0) \approx \frac{1}{\sqrt{\lambda}}$$

$$(d_1/d_0) \approx (T_1/T_0) \approx \frac{1}{\sqrt{\lambda}}$$

$$k_1 \approx k_0.$$

Έτσι έχουμε για τις ροπές αδρανείας:

$$I_1 = k_0 \cdot \rho_0 \cdot t_1 \cdot d_0^2 \cdot \lambda^{-\frac{3}{2}}$$

και λόγω

$$(z_1/z_0) \approx (T_1/T_0) \approx \lambda^{-\frac{1}{2}}$$

$$(M_1/M_0) \approx \lambda$$

προκύπτει για τα μέσα πάχη ελασμάτων:

$$t_1 = \lambda^2 \cdot t_0.$$

Τέλος αντικαθιστώντας την τελευταία σχέση στην εξίσωση του βάρους της μεταλλικής κατασκευής του κυρίως σκάφους:

$$W_{H1} = K_H \cdot A_{H1} \cdot t_1$$

$$A_{H1} = \lambda^{1/2} \cdot A_{H0}$$

όπου

$$W_{H1} = \lambda^{3/2} \cdot W_{H0}$$

(για μικρές μεταβολές των διαστάσεων B, D συντελεστή CMD βλ. περίπτωση A).

Έτσι, προκύπτει:

$$W_{H1} = \lambda^{3/2} \cdot W_{H0}$$

δηλαδή σε περίπτωση που κατά την επιμήκυνση το CB κρατηθεί σταθερό, η αύξηση του βάρους WH είναι δραστικότερη από την περίπτωση A., όπου είχαμε μείωση του CB κατά το λόγο (1/λ) και σταθερό πλάτος, βύθισμα και μέση τομή.

Συμπέρασμα

1. Όπως έχει ήδη δειχθεί το κόστος

της μεταλλικής κατασκευής ενός σκάφους είναι αλληλένδετο με το. βάρος του. Έτσι σχετικά υψηλό βάρος της μεταλλικής κατασκευής, σαν απόρροια μιας επιμήκυνσης εις βάρος άλλων χαρακτηριστικών του σκάφους (βλ. ανωτέρω λογισμούς) συνεπάγεται πάντα και υψηλό κόστος. Ως εκ τούτου, το μήκος δέον πρέπει να κρατείται μικρό.

2. Πέραν της διαμήκουσ αντοχής, που εξετάστηκε προηγουμένως, και αφορά την κατασκευή όλων των τύπων πλοίων, οι εξίσου σημαντικές στρεπτικές καταπονήσεις πλοίων "ανοικτών" καταστρωμάτων ("Open-deck ships"), όπως σε πλοία container-ships, I.ASH κλπ. είναι άμεσα εξαρτώμενες, από το μήκος του σκάφους το οποίο θα πρέπει να είναι κατά το δυνατό μικρό. Βέβαια η μεταφορά του εκτοπίσματος από τη διαμήκη στην εγκάρσια και καθ' ύψος κατεύθυνση συνεπάγεται μερική μετάθεση των προβλημάτων της διαμήκουσ αντοχής στην αντίστοιχη εγκάρσια και απαιτεί προσοχή.

1.1.3. Επίδραση του μήκους επί του βάρους του εξοπλισμού

Κατά κανόνα αύξηση του μήκους συνεπάγεται αύξηση βάρους του εξοπλισμού.

Εξετάζοντας τις επιδράσεις μιας μέσης αύξησης του μήκους επί των διαφόρων στοιχείων που συνθέτουν τον εξοπλισμό του σκάφους παρατηρείται:

- αύξηση του μήκους των σωληνώσεων (κυτών,, έρματος, πυρόσβεσης κλπ.), καλωδιώσεων, αεραγωγών, επενδύσεων κλπ.
- αύξηση της επιφάνειας της διαμήκουσ προβολής του σκάφους άνωθεν της ισάλου με αποτέλεσμα την αύξηση του δείκτη εξοπλισμού των Νηογνωμόνων και κατ'επέκταση του βάρους των αγκύρων, αλυσίδων, εργατών αγκύρων κλπ.

- αύξηση της επιφάνειας της διαμήκουσ προβολής των υφάλων με αποτέλεσμα την απαίτηση για ανάλογη αύξηση της επιφάνειας του πηδαλίου (ο λόγος των επιφανειών δέον να μείνει σταθερός).

Θεωρείται ότι η αύξηση του βάρους του εξοπλισμού εξαρτάται, από το λόγο μηκών $x'-Li/Lo$ ως εξής:

$$W_{QT} \propto \lambda^{\alpha T}$$

†

Και πάλι αύξηση του βάρους W_{QT} συνεπάγεται αύξηση του κόστους (υλικά και εργατοώρες) .

1.1.4. Επίδραση του μήκους επί του βάρους της προωστήριου εγκατάστασης και καυσίμου

Όπως έχει ήδη αναλυθεί στην παράγραφο 1.1,1, για συνήθη πλοία με αριθμό Froude F_n 0,15 αύξηση του μήκους συνεπάγεται κατά κανόνα μείωση της ολικής αντίστασης για δεδομένη ταχύτητα, και εκτόπισμα.

Έτσι λόγω της συνεπαγόμενης με ίωσης της απαιτούμενης ισχύος πρόωσης προκύπτει μείωση του βάρους της προωστήριου εγκατάστασης, μείωση του βάρους του μεταφερόμενου καυσίμου (για σταθερή ακτίνα δράσης). Απόρροια αυτού είναι το μειωμένο κόστος αγοράς της κύριας μηχανής καθώς και το μειωμένο λειτουργικό κόστος ως προς την ανάλωση καυσίμου, λιπαντικού κλπ,

1.1.5. Επίδραση του μήκους επί της εκμετάλλευσης των χώρων και της γενικής διάταξης

Το μήκος ενός φορτηγού πλοίου επηρεάζει σημαντικά τη διαμόρφωση και την τεχνική της φορτοεκφόρτωσης των χώρων φορτίου του. Έτσι ο αριθμός και το μήκος των χωρών κυτών, καθώς και τα αντίστοιχα ανοίγματα των στομιών, είναι άμεσα συνδεδεμένα με το μήκος, όπως και με το μέγεθος και τη θέση του μηχανοστασίου.

Ιδιαίτερες απαιτήσεις ως προς τη διαμόρφωση των χώρων κυτών παρουσιάζονται κατά κανόνα σε ετερογενή φορτία, σχετικά με το είδος, τη μορφή και το μέγεθος του εκάστοτε φορτίου και λιγότερο σε ομοιογενή, δηλαδή τα μαζικά φορτία χύμα (ξηρά ή υγρά) ή και σε τεμάχια.

Η απαίτηση για ένα συγκεκριμένο αριθμό και μέγεθος κυτών ή στομιών κυτών συνεπάγεται πάντα ένα ελάχιστο κάτω όριο ως προς το δυνατό μήκος.

Ειδικά για φορτηγά χύδην φορτίου και ιδιαίτερα μεταλλευματοφόρα η απαίτηση για έναν περιπτώ αριθμό κυτών, έτσι ώστε να είναι δυνατή η εναλλασσόμενη φόρτωση των χώρων για λόγους αντοχής και ευστάθειας, αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την εκλογή του μήκους.

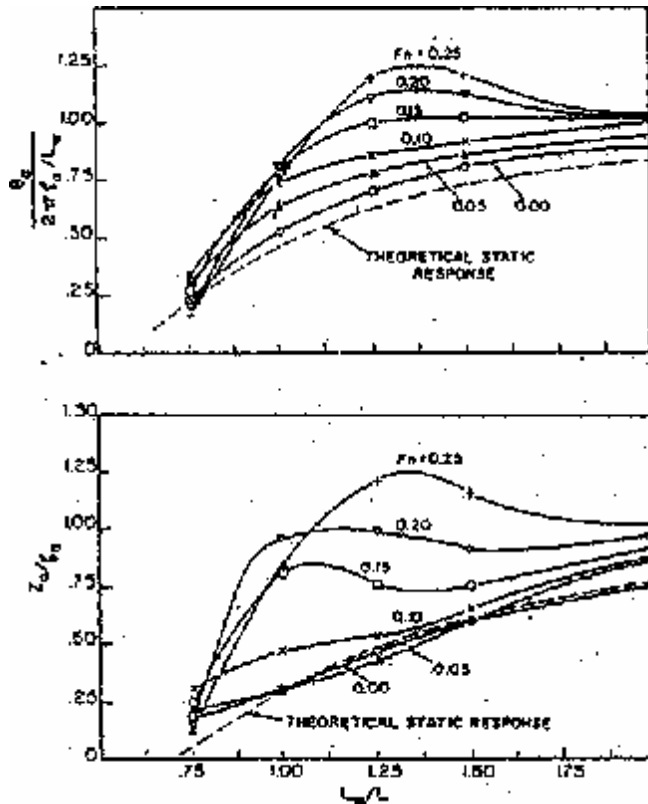
Επίσης για πλοία μεταφορών τυποποιημένων/ μεγάλων τεμαχίων, όπως τυποποιημένα εμπορευματοκιβώτια (ISO-Containers), φορτηγίδες, trailer, οχήματα και σιδηρόδρομοι, δηλαδή πλοία Containerships , LASH, Ro/Ro, Οχηματαγωγά /Σιδηροδρομοφόρα, η σύνδεση του μήκους με ένα πολλαπλάσιο του εκάστοτε τυποποιημένου μήκους , επιβάλλει την επιλογή του μήκους εντός ορισμένων ορίων, με μικρές δυνατότητες εξισορρόπησης τυχόν διαφορών στα άκρα του πλοίου και το μηχανοστάσιο.

Τέλος για δεξαμενόπλοια υγρού-φυσικού-αερίου (LNG – tan- kar) σε περίπτωση εγκατάστασης σφαιρικών δεξαμενών το προκύπτει από το πλάτος λόγω της κοινής διαμέτρου της δεξαμενής στην εγκάρσια και διαμήκη κατεύθυνση και του δεδομένου αριθμού των δεξαμενών διαμήκως.

1.1 .6. Λοιποί παράγοντες επίδρασης του μήκους

1. Συμπεριφορά σε κυματισμούς: Προς αποφυγή εντόνων κινήσεων σε κυματισμούς που οδηγούν πέραν των δυσμενών φορτίσεων της κατασκευής σε αύξηση της αντίστασης (πρόσθετη αντίσταση κυματισμών -"added resistance in waves") και απώλεια ταχύτητας ("involuntary speed loss"), πρέπει να αποφεύγονται οι περιοχές συντονισμού των κινήσεων του σκάφους στους έξι βαθμούς ελευθερίας: καθ' ύψος κίνηση (heave), προνευτα<7μ<3ς διατοιχισμός (roll), εγκάρσια κίνηση (sway), διαμήκης στροφική περί τον κατακόρυφο «άξονα (yaw) . Ως προς την εκλογή του μήκους ενδιαφέρει η περίπτωση συντονισμού για προσπίπτοντα κύματα πλώραθεν (head seas) που δ i εγείρουν κυρίως κινήσεις προνευστασμού και καθ' ύψος. Στο προηγούμενο σχήμα 1.14 [9] Φαίνεται ότι για

μήκος κύματος $L_w/L * 1$ έως 1,30 παρουσιάζεται συντονισμός και για τις δύο κινήσεις, οι οποίες είναι Βεβαίως και μαθηματικοί αλληλοεξαρτώμενες.



Σχήμα 1.13: Εύρος κινήσεων προνευτασμού θ_a και καθ' ύψος ζ_a για ένα μοντέλο της σειράς Series 60 ($C_g = 0,60$) σε πρωραίους κυματισμούς εύρους ζ_a και μήκους L_w -παράμετρος αριθμός.

Βέβαια η αποφυγή του συντονισμού με ένα ορισμένο μήκος κύματος είναι δύσκολη στην πράξη λόγω της δεδομένης ύπαρξης όλων των μηκών κυμάτων στα φάσματα των φυσικών θαλασσών της υδρογείου που διακινούνται τα ποντοπόρα εμπορικά πλοία.

2. Περαιότητα διαδρομής: βλέπε διαστάσεις γνωστών διωρύγων.

1.1.7 Υπολογισμός του μήκους από εμπειρικές σχέσεις

Χαρακτηριστικό των συναρτησιακών αυτών σχέσεων είναι ο συσχετισμός του μήκους με την ταχύτητα καθώς και του εκτοπίσματος Δ , το πρόσθετο βάρος DWT ή τη χωρητικότητα του σκάφους με βάση στατιστικά στοιχεία ομοίων πλοίων.

Ενδεικτικά επαναλαμβάνεται ο τύπος του Schneekluth για "πλοία ελάχιστου κόστους ναυπήγησης".

Το μαθηματικό αυτό μοντέλο αναπτύχθηκε με βάση τα στοιχεία βελτιστοποιημένων πλοίων ως προς ανωτέρω οικονομικό κριτήριο "ελάχιστου κόστους- ναυπήγησης" και προϋποθέτει απόλυτη ελευθερία ως προς την περατότητα της διαδρομής:

$$L = \Delta^{0,3} \cdot V^{0,3} \cdot C$$

όπου $L \equiv L_{PP}$ [m], Δ [t], V [kn]

$$C = 3,2, \text{ για } C_B = 0,145/F_n \text{ και } 0,48 \leq C_B \leq 0,85.$$

$$C = 3,2 \frac{C_B + 0,5}{(0,145/F_n) + 0,5}, \text{ για } C_B \neq 0,145/F_n$$

Ο τύπος ισχύει για:

$$\Delta \geq 1.000 \text{ t}$$

$$F_n = 0,16 \div 0,32.$$

Παρατηρήσεις:

1. Εφόσον τίθεται περιορισμός από βύθισμα, η και πλάτος η σταθερά C πρέπει να αυξηθεί.
2. Εφόσον ο όγκος κάτωθεν του κυρίου καταστρώματος είναι σχετικά μεγάλος σε σχέση με το εκτόπισμα, η σταθερά C αυξάνει.
3. Εφόσον προβλέπεται σχετικά μεγάλος βολβός, η σταθερά C μειώνεται .
4. Ναυπηγηθέντα σκάφη τελευταίων ετών παρουσιάζουν σχετικά μικρές τιμές C.
5. Το προκύπτον μήκος ανταποκρίνεται περισσότερο στα συμφέροντα του Ναυπηγείου ("ελάχιστο κόστος ναυπήγησης:"). Οι τιμές μπορεί να προσαυξηθούν κατά 10% περίπου ώστε να εξυπηρετούν καλύτερα τις ανάγκες του πλοιοκτήτη που απαιτούν συνυπολογισμό του λειτουργικού κόστους.

Ένας όμοιος τύπος για το βέλτιστο μήκος από την άποψη του πλοιοκτήτη δίδεται από τον Jager [6].

$$(L)^{1/2} = (p+q)^{1/3} + (p-q)^{1/3}$$

$$L \equiv L_{pp} [m], V [kn], \Delta [t]$$

$$p = b \cdot \Delta^{1/3} \cdot V$$

$$q = b \cdot \Delta^{1/3} (V^2 - 2\Delta^{1/3})^{1/2}$$

$$b = 1, \text{ μεγάλα ταχεία επιβατηγά}$$

$$= \frac{5}{8}, \text{ φορτηγά, βραδέα επιβατηγά (υπηρεσιακή ταχύτητα μικρότερη κριτικής)}$$

$$= \frac{2}{3}, \text{ αεροπλοϊκά φορτηγά, αλλευτικά, αναψυχής (υπηρεσιακή ταχύτητα μεγαλύτερη κριτικής)}.$$

1.2. Εκλογή του Πλάτους

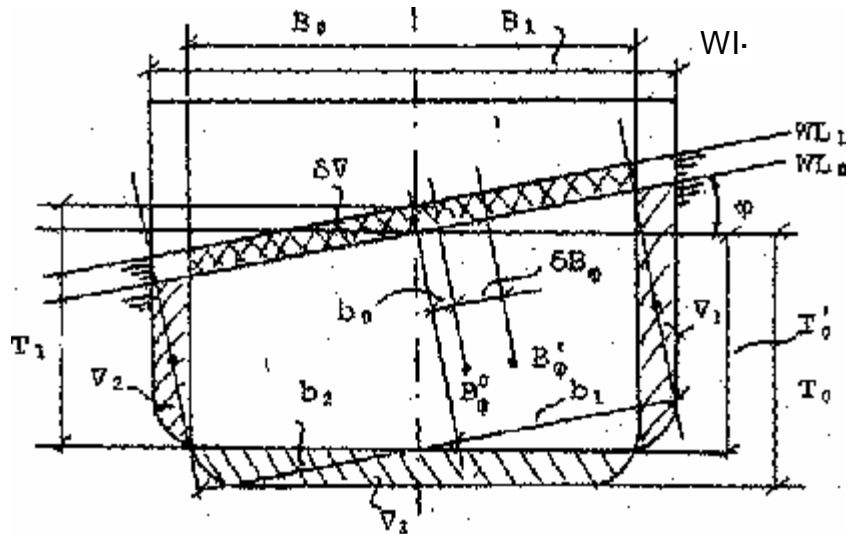
Όπως έχει προαναφερθεί η ενδεδειγμένη διαδικασία εκλογής των κυρίων διαστάσεων και λοιπών βασικών μεγεθών του σκάφους εμπεριέχει μετά την εκλογή του μήκους, την επιλογή του συντελεστή γάστρας CB και ακολουθεί το πλάτος, σε συνδυασμό με το βύθισμα. Ο συντελεστής γάστρας C0 θα αναλυθεί αργότερα στην παράγραφο 2.1 .

Αν υποθέσουμε ότι το μήκος L και το CB είναι γνωστά, όπως επίσης και σε πρώτη προσέγγιση το εκτόπισμα Δ, ή ο αντίστοιχος όγκος V, τότε προκύπτει για το γινόμενο B·T:

δηλαδή η εκλογή του πλάτους B γίνεται με βάση το δεδομένο γινόμενο B·T. Έτσι αλλαγές του πλάτους απαιτούν αντίστροφα ανάλογες αλλαγές στο βύθισμα και έμμεσα στο κοίλο D.

1.2.1 . Επίδραση του πλάτους επί της ευστάθειας

Προς εξέταση μιας αλλαγής του πλάτους επί της ευστάθειας θεωρείται ότι η αύξηση του πλάτους συνοδεύεται από αντίστοιχη μείωση του βυθίσματος, έτσι ώστε το εκτόπισμα να μείνει σταθερό (βλ. σκαρίφημα).



Σχήμα 1.14: Σκαρίφημα: Επίδραση του πλάτους επί της ευστάθειας.

Εξετάζεται το σκάφος κεκλιμένο υπό γωνία φ και με αρχική ίσαλο WL_0 και κέντρο άντωσης στο B^0 . Με την αύξηση του πλάτους, το οποίο συνεπάγεται αύξηση του όγκου εκτοπίσματος κατά $(V_1 + V_2)$ θεωρείται ότι το βύθισμα μειώνεται αντίστοιχα, στο ύψος του T_0 , έτσι ώστε ο αντίστοιχος όγκος εκτοπίσματος V_a να εξισορροπεί την αύξηση $(V_1 + V_2)$. Όμως, η αύξηση του πλάτους συνεπάγεται αύξηση του βάρους της μεταλλικής κατασκευής κατά W_4 , εφόσον τεθεί η απαίτηση αμετάβλητης αντοχής για σταθερή καταπόνηση της κατασκευής (βλ. 1.2.3). Έτσι προκύπτει νέα, αυξητική μεταβολή του βυθίσματος στο ύψος T_1 και η διαφορά μεταξύ του νέου και αρχικού εκτοπίσματος πριν την εκπλάτυνση, είναι :

$$\delta W = W_1 + W_2 - W_4$$

όπου $W_1 = w \cdot V_1$, $W_2 = w \cdot V_2$, w : ειδικό βάρος νερού

W_4 : αύξηση βάρους μεταλλικής κατασκευής.

Θεωρώντας ως b_0, b_1, b_2 τις αποστάσεις των κέντρων εφαρμογής των αντίστοιχων όγκων δV , V_1 και V_2 από την κατακόρυφο που διέρχεται από το αρχικό κέντρο άντωσης B^0 βρίσκουμε για τη μετατόπιση δB_φ :

$$\delta B_{\phi} = \frac{W_1 \cdot b_1 - W_2 \cdot b_2 + \delta W \cdot b_0}{W_0 + W_4}$$

όπου $W_0 = w \nabla_0$: αρχικό εκτόπισμα

$W_0 + W_4$: νέο εκτόπισμα.

Εφόσον θεωρηθεί ότι δεν έχουμε αλλαγή του εκτοπίσματος, δηλαδή η αύξηση του βάρους W δεν υφίσταται λόγω μείωσης π.χ. του κοίλου, προκύπτει:

$$\delta W = W_1 + W_2$$

και

$$\delta B_{\phi} = \frac{W_1 \cdot b_1 - W_2 \cdot b_2 + \delta W \cdot b_0}{W_0}$$

Η επίδραση μιας αύξησης του πλάτους επί της αρχικής ευστάθειας, δηλαδή το GM, μπορεί να αναλυθεί ως ακολούθως.

θεωρείται ότι το μέτρο μεταβολής τον πλάτους $\beta = B_1/B_0$ είναι δεδομένο, όπως. επίσης ότι το εκτόπισμα και οι "λοιπές κύριες διαστάσεις L και T είναι σταθερά. Επίσης ο κατακόρυφος πρισματικός συντελεστής C_{PV} μένει αμετάβλητος:

$$(C_{PV})_1 = \frac{(C_B)_1}{(C_{WP})_1} = (C_{PV})_0 = \frac{(C_B)_0}{(C_{WP})_0}$$

Έτσι προκύπτει για τον συντελεστή γάστρας:

$$(C_B)_1 = \frac{V_1}{(L_1 B_1 T_1)} = \frac{V_0}{(L_0 \beta B_0 T_0)} = \frac{(C_B)_0}{\beta}$$

και ανάλογα:

$$(C_{WP})_1 = (C_{WP})_0 \cdot \beta^{-1}$$

Υπενθυμίζοντας τη γνωστή σχέση:

$$\overline{GM} = \overline{KB} + \overline{BM} - \overline{KG}$$

όπου κατά Morrish

$$\overline{KB} = T(2,5 - C_{PV})/3$$

ή

$$= T - \frac{1}{3} \left(\frac{T}{2} + \frac{V}{A_{WP}} \right)$$

και

$$\overline{KG} = k_D \cdot D,$$

όπου k_D : συντελεστής που λαμβάνεται από όμοια πλοία

παρατηρείται ότι τόσο το \overline{KB} όσο και το \overline{KG} δεν εξαρτώνται άμεσα από το πλάτος B . Έτσι αναλύοντας το \overline{BM} :

$$\overline{BM} = I_T / V$$

όπου η ροπή αδράνειας της ισόλου επιφάνειας:

$$I_T = k_T \cdot L \cdot B^3$$

όπου k_T : συντελεστής ιδιομορφίας ισόλου

$\approx 0,04 \div 0,06$ για συνήθεις ισόλους

και V σταθερό, μπορεί να θεωρηθεί ότι για μικρές μεταβολές του B ο συντελεστής k_T μένει αμετάβλητος και έτσι:

$$(I_T)_1 = k_T \cdot L \cdot B_1^3 = k_T \cdot L \cdot \beta^3 B_0^3 = (I_T)_0 \cdot \beta^3$$

Αν θέσουμε:

$$(\overline{BM})_1 = (\overline{BM})_0 + \delta(\overline{BM}) = \frac{(I_T)_1}{V} = \beta^3 (\overline{BM})_0$$

και

$$\beta = \frac{B_0 + \delta B}{B_0} = 1 + \frac{\delta B}{B}$$

$$\beta^3 = 1 + 3 \frac{\delta B}{B} + \dots$$

προκύπτει:

$$\delta(\overline{BM}) / \overline{BM} = 3 \delta B / B$$

και εφόσον η κατακόρυφη κατανομή των βαρών θεωρείται αμετάβλητη, δηλαδή $\delta(\overline{KG}) = 0$ έχουμε αυτομάτως:

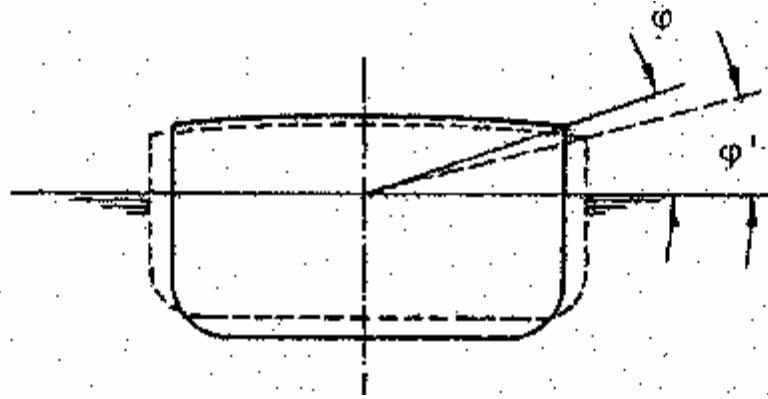
$$\delta(\overline{GM}) = \delta(\overline{BM}) = \overline{BM} \cdot 3 \frac{\delta B}{B}$$

δηλαδή, προσεγγιστικά-, από τις ανωτέρω προϋποθέσεις, αύξηση του πλάτους κατά 5% συνεπάγεται αύξηση του \overline{GM} , κατά 15% περίπου.

Στους ανωτέρω λογισμούς θεωρήθηκε το βύθισμα σταθερό, αλλά είχαμε μεταβολή του c_B κατά το λόγο $1/\beta$. Εφόσον αντιθέτως το βύθισμα αλλάζει κατά το λόγο $(1/\beta)$ και το C_B μένει σταθερό, όπως και το εκτόπισμα, τότε με αύξηση του πλάτους έχουμε μικρή μείωση του \overline{KB} , δραστική αύξηση του \overline{BM} , ως ανωτέρω, και τέλος σχετική μείωση του \overline{KG} , με αποτέλεσμα και πάλι την σημαντική αύξηση του \overline{GM} .

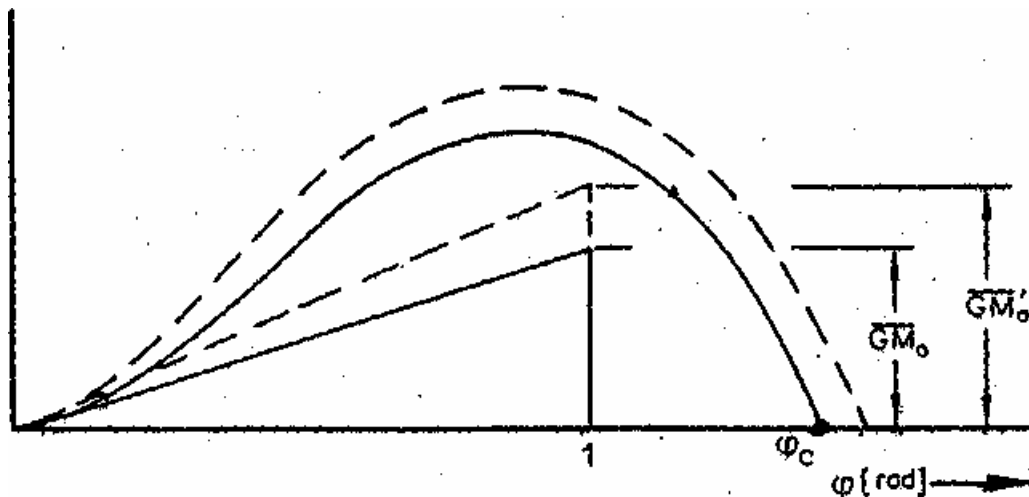
Ως προς την ευστάθεια μεγάλων κλίσεων, εφόσον κατά την εκπλάτυνση μειωθεί αντίστοιχα το βύθισμα, και κατ' επέκταση το κοίλο, έτσι ώστε το εκτόπισμα να μείνει σταθερό, η άκρη του καταστρώματος προφανώς βυθίζεται για μικρότερες, γωνίες κλίσης στο νερό. Όμως για σταθερή επιφάνεια μέσης τομής, αλλά αυξημένο λόγο B/D προκύπτει γενικά αύξηση του εύρους

της ευστάθειας όπως και μεγαλύτερο μέγιστο για το μοχλοβραχίονα επαναφοράς έτσι ώστε να αντισταθμίζεται το αρνητικό στοιχείο της πρόωρης καταβύθισης του καταστρώματος.



Σκαρίφημα: Επίδραση αύξησης του πλάτους επί της ευστάθειας για σταθερό εμβαδό μέσης τομής - πρόωρη βύθιση άκρης καταστρώματος.

Περισσότερα στοιχεία για την επίδραση των κυρίων διαστάσεων επί της ευστάθειας δίδονται στην πηγή [18].



Σκαρίφημα: Επίδραση αύξησης του πλάτους επί του μοχλοβραχίονα επαναφοράς - αύξηση μεγέθους αρχικής ευστάθειας (\overline{GM}_0) και συνήθως αύξηση του εύρους της ευστάθειας μεγάλων κλίσεων (γωνία κατάκλισης φ_c)

1.2.2. Επίδραση του πλάτους επί της αντίστασης..

Γενικά θεωρείται ότι αύξηση του πλάτους ή του λόγου B/T οδηγεί σε υψηλότερη αντίσταση και απαιτούμενη ισχύ πρόωσης. Όμως οι θεωρήσεις αυτές είναι πολύ γενικές και πολλές φορές ανατρέπονται στην πράξη, εφόσον οι λοιποί παράμετροι, πέραν του λόγου B/T, δεν συνυπολογισθούν. Πάντως για ταχεία σκάφη, με ποσοστιαία υψηλή υπόλοιπη αντίσταση, προκύπτει ότι αυξανόμενο πλάτος δημιουργεί έντονους κυματισμούς και υψηλή αντίσταση κυματισμού λόγω των μεγάλων κλίσεων των ίσαλων, ως προς τη γραμμή συμμετρίας. Αντιθέτως για βραδέα σκάφη με σχετικά υψηλή αντίσταση τριβής συνίσταται, για το δεδομένο όγκο εκτοπίσματος, η επίτευξη της ελάχιστης δυνατής βρεχόμενης επιφάνειας, η οποία συμπίπτει με λόγο (B/T), ίσον περίπου 2,5 κα.1 Cg so,80'. Θεωρείται ότι και για ταχεία σκάφη η ολική αντίσταση ελαχιστοποιείται "για B/T s2,5. Από έρευνες των Mumford και Moor προκύπτει:

$$\frac{(R_T)_1}{(R_T)_0} = \left(\frac{B_1}{B_0} \right)^x \cdot \left(\frac{T_1}{T_0} \right)^y$$

όπου οι εκθέτες x και y δίδονται στον ακόλουθο πίνακα συναρτήσεων του αριθμού Froude και του τύπου του σκάφους

Πίνακας: Εκθέτες Mumford $x=f(F_n)$, $y=f(F_n)$.

F_n		0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31	0,32	0,33	0,34	0,35
ΦΟΡΤΗΓΑ	x	0,21	0,26	0,25	0,25	0,24	0,23	0,22	0,21	0,20	0,19	—	—
	y	0,31	0,32	0,33	0,34	0,34	0,35	0,36	0,37	0,38	0,39	—	—
ΑΛΙΕΥΤΙΚΑ	x	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	1,00
	y	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,81

Πάντως θα πρέπει να προστεθεί το εξής: Αν κατά την εκπλάτυση το βύθισμα μείνει σταθερό, όπως το εκτόπισμα και το μήκος, παρά τη μείωση του λόγου (L/B) και την αύξηση του (B/T) προκύπτει μείωση του c_b (και C_p) και συχνά μείωση της υπόλοιπης αντίστασης. Το ακόλουθο παράδειγμα ενός φορηγού - Ψυγείου η αντίσταση του οποίου έχει υπολογισθεί σύμφωνα με τη γνωστή μέθοδο Taylor-Gertler αποδεικνύει τα ανωτέρω.

Δεδομένα

Δ	= 9,480t	∇	= 9,200m ³
L_{PP}	= 132m	$L/\nabla^{1/3}$	= 6,3
B	= 18,9m	L/B	= 7,0
T	= 6,3m	B/T	= 3,0
C_p	= 0,603	C_B	= 0,585
C_M	= 0,970		
V	= 22kn	F_n	= 0,315

Παραμετρικές μεταβολές: θεωρείται ότι το θύθισμα T και ο συντελεστής C_M μένουν σταθερά, έτσι προκύπτει:

$$\frac{V}{T \cdot C_M} = L \cdot B \cdot C_P : \text{σταθερό}$$

1. Μεταβολή B και C_P

L : σταθερό

L/B	6,5	7,0	7,5
B/T	3,2	3,0	2,8
C_P	0,56	0,60	0,65
$\frac{(R_T)_1}{(R_T)_0}$	0,80	1,00	1,32

2. Μεταβολή L και C_P

B : σταθερό

L	124	132	140
L/B	6,6	7,0	7,4
$L/V^{1/3}$	5,9	6,3	6,7
C_P	0,64	0,60	0,57
$\frac{(R_T)_1}{(R_T)_0}$	1,42	1,00	0,79

3. Μεταβολή L και B

C_P : σταθερό

L	124	132	140
B	20,1	18,9	17,8
L/B	6,2	7,0	7,85
B/T	3,2	3,0	2,8
$\frac{(R_T)_1}{(R_T)_0}$	1,18	1,00	0,93

Παρατηρήσεις

1. Αύξηση του μήκους επιδρά πάντα θετικά στην αντίσταση (μείωση).
2. Μείωση του C_P συνεπάγεται επίσης μείωση της αντίστασης.

3. Για δεδομένο μήκος, (και βύθισμα) αύξηση του πλάτους/ αλλά μείωση του C_r συνεπάγεται μείωση της αντίστασης! (βλ. Πίνακα 1) .
4. Η επίδραση του B/T στην αντίσταση (βλ. Πίνακες 1 και 3) είναι σχετικά αμελητέα.

1.2.3. Επίδραση του πλάτους επί του βάρους της μεταλλικής κατασκευής

Για να διερευνηθεί η επίδραση του πλάτους επί του βάρους της μεταλλικής κατασκευής θεωρείται αρχικά η ροπή αδρανείας της μέσης τομής μπορεί να παρασταθεί προσεγγιστικά από τον τύπο (βλ. και 1.1.2):

$$I = k \cdot A_f \cdot d^2 = k \cdot p \cdot t \cdot d^2$$

όπου d : απόσταση της ακραίας ίνας από τον ουδέτερο άξονα

A_f : επιφάνεια διατομής μέσης τομής

p : ανάπτυγμα περιμέτρου

t : μέσο πάχος

k : συντελεστής ιδιομορφίας σχήματος μέσης τομής.

Αν υποτεθεί ότι η ροπή κάμψης και η καταπόνηση της μέσης τομής, μένουν αμετάβλητες, κάτι που προκύπτει από την απαίτηση

σταθερού μήκους, όπως επίσης, ότι η κατανομή των στοιχείων της

μεταλλικής κατασκευής και η μορφή της μέσης τομής δεν αλλάζουν σημαντικά, πράγμα που σημαίνει, ότι η απόσταση d και ο συντελεστής k μένουν σταθερά, προκύπτει η απαίτηση:

$p \cdot t$: σταθερό,

εφόσον θεωρηθεί, ότι το, ύψος των καμπτικών τάσεων στη μέση τομή δεν πρέπει να μεταβληθεί. Έτσι αν θέσουμε προσεγγιστικά για την περίμετρο:

$$p = 2(B+D)$$

ή για το υπό μελέτη σκάφος:

$$p_1 = 2(B_1+D_1)$$

και ιδιαίτερα σε περίπτωση που το κοίλο μείνει αμετάβλητο, δηλαδή δεν μειωθεί αντιστρόφως του πλάτους:

$$p_1 = 2(B_1 + D) = 2(B + \delta B + D)$$

προκύπτει από την απαίτηση:

$$(p \cdot t)_1 = (p \cdot t)_0$$

Λόγω

$$\left(\frac{p_1}{p_0}\right) = 1 + \frac{\delta B}{(B+D)}$$

$$\left(\frac{t_1}{t_0}\right) = \left(1 + \frac{\delta B}{(B+D)}\right)^{-1} \approx 1 - \frac{\delta B}{(B+D)} + \dots$$

Έτσι αν το βάρος της μεταλλικής κατασκευής του κυρίως σκάφους προσεγγισθεί με τον τύπο (βλ. 1.1.2)

$$W_H = k_H \cdot A_H \cdot t$$

όπου η επιφάνεια περιβλήματος του σκάφους υποτίθεται κατά ως:

$$A_H = C_H \cdot \sqrt{V \cdot L}$$

Με

$$C_H = f(B/D, C_{MD})$$

προκύπτει για το βάρος:

$$(W_H)_1 = k_H \cdot \sqrt{V \cdot L} \cdot (C_H)_1 \cdot t_1$$

Από την τελευταία σχέση συνάγεται:

- με την αύξηση του λόγου B/D αυξάνει, η επιφάνεια του περιβλήματος,, όπως: προκύπτει από τον συντελεστή GH,
- με την αύξηση του πλάτους κατά δB το μέσο πάχος των ελασμάτων μειώνεται, εφόσον το κοίλο D και ο λόγος L/D θεωρούνται σταθερά,

- οι δύο ανωτέρω μεταβολές, επιδρούν αντισταθμιστικά στο βάρος της μεταλλικής κατασκευής με σύνηθες αποτέλεσμα την ελαφρά αύξηση των βάρους λόγω της πλέον δραστηκής αύξησης της επιφάνειας του περιβλήματος,
- εφόσον το κοίλο δεν μένει σταθερό, αλλά μειωθεί αντίστροφα της αύξησης του πλάτους προκύπτει αύξηση του πάχους των ελασμάτων, λόγω αύξησης του λόγου L/D, και βέβαια αύξηση του βάρους της μεταλλικής κατασκευής,
- τέλος, γενικά αύξηση του πλάτους περί τη μέση τομή συνεπάγεται σημαντικές μεταβολές, στην κατανομή των φορτίσεων λόγω μεγαλύτερης ,συγκέντρωσης των δυνάμεων βάρους και πίεσης του νερού στο σημείο αυτό. Έτσι προκύπτει αύξηση της ροπής κάμψης στη μέση τομή με αποτέλεσμα την απαίτηση για πρόσθετη αύξηση του μέσου πάχους των ελασμάτων προς επίτευξη της απαιτούμενης ροπής αντίστασης και αύξηση του βάρους και κατ επέκταση του κόστους του σκάφους.

1.2.4. Λοιποί παράγοντες επίδρασης του πλάτους

1 .· Συμπεριφορά σε κυματισμούς: Κατά την επιλογή του πλάτους με κριτήριο την αρχική ευστάθεια, δηλαδή την επίτευξη ενός ικανοποιητικού \overline{GM} , πρέπει να συνυπολογισθεί η συμπεριφορά του πλοίου σε κυματισμούς και ιδιαίτερα οι κινήσεις διατοιχισμών. Για λόγους ασφάλειας και λειτουργικότητας, όπως ναυτία επιβαινόντων,. καταπονήσεις κατασκευής, εξοπλισμού και εμπορευμάτων-, απώλεια ταχύτητας λόγω υπερβολικών κινήσεων, πρόβλημα δυναμικής ευστάθειας και κατάκλιση, επιδιώκεται:

-περιορισμένο εύρος διατοιχισμών

-περιορισμένες επιταχύνσεις διατοιχισμών και συνεπώς στην εγκάρσια κατεύθυνση μακριά από τον άξονα διατοιχισμών του σκάφους.

Η περίοδος διατοιχισμών του σκάφους εξαρτάται από την περίοδο των προσπιπτόντων κυμάτων.. Όμως αν περιορισθούμε στην εξέταση της πλέον επικίνδυνης περιοχής του συντονισμού της περιόδου των κυμάτων με την ιδιοπερίοδο διατοιχισμών του σκάφους, όπου οι κινήσεις και οι επιταχύνσεις μεγιστοποιούνται, θεωρούμε για την ίδια περίοδο διατοιχισμών του σκάφους

όπου T_{ϕ} [sec]: ιδιοπερίοδος διατοιχισμών,
 i_{ϕ} [m] : ακτίνα αδράνειας της μάζας του σκάφους συμπεριλαμβανομένης και της πρόσθετης μάζας, περί το διαμήκη άξονα διατοιχισμού

$$i_{\phi} = k_{\phi} \cdot B,$$

όπου $k_{\phi} = 0,32 \pm 0,45$, ανάλογα με τον τύπο και μέγεθος του σκάφους,

$$i_{\phi} \approx 0,38B \text{ (μέσος όρος)}$$

g [m/s²]: επιτάχυνση βαρύτητας

\overline{GM} [m] : μετακεντρικό ύψος.

Αν υποθέσουμε ότι:

$$\overline{GM} \approx B^3$$

$$i_{\phi} \approx B$$

προκύπτει:

$$T_{\phi} \approx \frac{B}{\sqrt{\overline{GM}}} \approx \frac{1}{\sqrt{B}}$$

δηλαδή σχετικά μεγάλο πλάτος και υψηλό \overline{GM} συνεπάγεται μικρές ιδιοπεριόδους διατοιχισμού που συντονίζονται με χαμηλές περιόδους κυμάτων,, αντιστοιχούσες, σε μικρά μήκη κυμάτων [9].

Φορτηγά	12 ± 18 sec
Ακτοπλοϊκά φορτηγά	7 ± 10 sec
Φορτηγά φ. χύδην	12 ± 20 sec
Δεξαμενόπλοια	~ 20 sec
Φορτηγά ψυγεία	16 ± 18 sec
Επιβατηγά	~ 20 sec
Πορθμεία	10 ± 14 sec
Αλιευτικά (Trawler)	10 ± 13 sec
Ρυμουλκά ανοικτής θαλ.	8 ± 12 sec

Πίνακας 1.3. Συνήθεις τιμές ιδιοπεριόδων διατοιχισμών για εμπορικά πλοία.

Χαμηλές περίοδοι διατοιχισμών προκαλούν υψηλές εγκάρσιες επιτάχυνσεις ιδιαίτερα, μακριά από του άξονα διατοιχισμών. Ο τελευταίος δεν είναι σταθερός, αλλά μεταβάλλει συνεχώς τη θέση του σε μια περιοχή μεταξύ ισάλου

και κέντρου άντωσης του σκάφους. Στον προηγούμενο πίνακα αναφέρονται ενδεικτικές τιμές περιόδων διατοιχισμού για συνήθη εμπορικά σκάφη.

Τέλος κατά Kempf προτείνεται η χρήση του "αριθμού διατοιχισμών" (Rollzahl), ο οποίος ορίζεται ως:

$$R = \frac{2\pi \cdot i \cdot \varphi}{\sqrt{B \cdot GM}}$$

και είναι ένα αδιάστατο μέγεθος που δέον να κυμαίνεται μεταξύ 8 και 14 για καλή συμπεριφορά σε κυματισμούς. Παρατηρείται ότι για σύγχρονα επιβατηγά σκάφη ο αριθμός R είναι συχνά μικρότερος του 8 λόγω των κανονισμών ασφαλείας για την ευστάθεια σε περίπτωση βλάβης [3].

2. Περιορισμοί του πλάτους για ορισμένους τύπους:

Πλοία μεταφορών τυποποιημένων και ογκωδών φορτίων (τεμάχια), όπως Ro-Ro, Containerships, LASH, σιδηροδρομοφόρα, οχηματαγωγά κλπ. απαιτούν πλάτη που αντιστοιχούν σε αντίστοιχο αριθμό στοιβαγμένων φορτίων στην εγκάρσια κατεύθυνση. Για τα Containerships υπάρχει μια σχετική ευελιξία λόγω της ύπαρξης των πλευρικών δεξαμενών και του σχετικά μικρού πλάτους ενός τυποποιημένου κιβωτίου (81).

Περιορισμοί προκύπτουν για πλοία που διακινούνται μέσω διωρύγων και καναλιών (π.χ. πλοία PANMAX) ή εξυπηρετούνται από συγκεκριμένες ναυπηγικές κλίνες.

Από τον περιορισμό του βυθίσματος ορισμένων τύπων, όπως δεξαμενόπλοια, bulkcarriers, Ψυγεία, ποταμόπλοια, προκύπτει αυτόματα μία αύξηση του πλάτους, ή του λόγου B/T, σε συχνά ανεπιθύμητα μεγέθη.

3. Ελικτικές ικανότητες:

θεωρείται ότι γενικά μείωση του λόγου L/B οδηγεί σε βελτίωση των ελικτικών δυνατοτήτων του σκάφους, ιδιαίτερα ως προς την ικανότητα στροφής σε μικρό κύκλο.

1.3. Εκλογή του Κοίλου

Το κοίλο ή πλευρικό ύψος του κυρίου καταστρώματος ενός πλοίου είναι καθοριστικό για δύο βασικά στοιχεία του:

- τον διαθέσιμο όγκο κυτών, το ύψος εξάλων.

Είναι αυτονόητο ότι το κοίλο είναι γεωμετρικά συνδεδεμένο με το επιτρεπόμενο βύθισμα. Έμμεσα συνδέεται με το μήκος, λόγω της διαμήκου αντοχής και το πλάτος, ως προς την ευστάθεια του σκάφους.

Θεωρείται ότι το κοίλο είναι η "φθηνότερη" κύρια διάσταση ενός πλοίου. Συγκεκριμένα, αύξηση του κοίλου κατά 10% συνεπάγεται αύξηση του βάρους της μεταλλικής κατασκευής κατά 8% για $L/D=10$ και 4% για $L/D=14$, [3] δηλαδή ο διαθέσιμος, όγκος αυξάνει πλέον δραστικά από την συνεπαγόμενη αύξηση του βάρους της κατασκευής και κατά συνέπεια δέον να προτιμείται έναντι αλλαγών των λοιπών, κυρίων διαστάσεων, σε περίπτωση ανεπάρκειας, όγκου

1.3.1 Επίδραση των κανονισμών ασφαλείας επί του κοίλου

Η εκλογή του κοίλου επηρεάζεται σημαντικά από τους εξής κανονισμούς ασφαλείας και λειτουργίας:

. Κανονισμοί Γραμμής Φόρτωσης (Διεθνής Διάσκέψη Γραμμής Φόρτωσης 1966) που καθορίζουν το κατάστρωμα εξάλων και το επιτρεπόμενο ύψος εξάλων, δηλαδή την επιτρεπόμενη διαφορά μεταξύ κοίλου και βυθίσματος (βλ.. [12]) .

Κανονισμοί στεγανής υποδιαίρεσης (Διεθνής, σύμβαση περί. ασφάλειας της: ανθρώπινης ζωής στη θάλασσα - SOLAS 1960 και 1974) που καθορίζουν το κατάστρωμα στεγανής υποδιαίρεσης του σκάφους [12] . Οι κανονισμοί αυτοί ισχύουν βέβαια για όλα τα επιβατηγά σκάφη, αλλά και για μεγάλες κατηγορίες φορτηγών σκαφών, όπως δεξαμενόπλοια .μήκους μεγαλύτερου 150m (τύπος Α της Γραμμής Φόρτωσης) και λοιπά φορτηγά (τύπος Β') που αναφέρονται σε εκπτώσεις επί του απαιτούμενου ύψους εξάλων. Βέβαια κατά την στεγανή υποδιαίρεση σύμφωνα με την καμπύλη των κατακλισίμων μηκών πάντα προτιμάται σχετικά υψηλή θέση του καταστρώματος φρακτών και αραιές φράκτες παρά το αντίθετο.

Κανονισμοί καταμέτρησης (Εθνικοί και Διεθνείς Κανονισμοί-Γραμμή χωρητικότητας 1963) επηρεάζουν ίσως λιγότερο από παλαιότερα τη θέση κυρίου καταστρώματος λόγω βελτιωμένου υπολογισμού των κλειστών-εκμεταλλεύσιμων χώρων ανεξάρτητα από την ύπαρξη "ανοιγμάτων καταμέτρησης" (βλ. πλοία με προστατευτικό κατάστρωμα Shelterdecker [12]).

Κανονισμοί Νηογνωμόνων προδιαγράφουν ένα άνω. όριο για το λόγο L/D, ο οποίος συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 14 και 16. Εφόσον το άνω. όριο $L/D=14^{16}$ (ανάλογα με το Νηογνώμονα) δεν τηρείται απαιτείται ιδιαίτερη εξέταση της διαμήκουσ αντοχής., την οποία ο Νηογνώμονας πρέπει, να εγκρίνει. Ιδιαίτερα για ορισμένα μικρά σκάφη ακτοπλοΐας ή φορτηγιδοφόρα και bulk - carriers προασπισμένων περιοχών (π.χ. Great Lakes έχουν επιτραπεί στο παρελθόν λόγοι. L/D έως 20 από διάφορους Νηογνώμονες (π.χ. ABS).

1.3.2. Επίδραση του κοίλου επί του όγκου και της διαρρύθμισης των χώρων κυτών

Όπως προαναφέρθηκε αύξηση του κοίλου συνεπάγεται αύξηση του διαθέσιμου, όγκου κυτών ή του αριθμού χωρητικότητας (RSumte) ο οποίος ως γνωστόν εκφράζει το διαθέσιμο όγκο κυτών χύμα ως προς το πρόσθετο βάρος. Έτσι, ενώ μια αύξηση του μήκους συνεπάγεται την σύγχρονη αύξηση του εκτοπίσματος, η αύξηση του κοίλου έχει σαν αποτέλεσμα την επέκταση του διαθέσιμου όγκου καθ' ύψος και δεν επιδρά σημαντικά σε οιαδήποτε αλλαγή του εκτοπίσματος, πέραν της μικρής αύξησης του βάρους της μεταλλικής κατασκευής εφόσον οι λοιπές διαστάσεις μείνουν σταθερές. Το ύψος του κυρίου σκάφους είναι, ιδιαίτερα σημαντικό για τέτοια φορτηγά πλοία.- για τα .οποία λόγω του είδους του μεταφερόμενου φορτίου απαιτείται η κάθετη υποδιαίρεση του σκάφους με διάφορα επίπεδα.

Ενδεικτικά αναφέρονται τα. πλοία Ro/Ro, τα οχηματαγωγά τα πλοία ψυγεία/ αλλά και τα συμβατικά φορτηγά γενικού φορτίου τα οποία/ για λόγους εύκολης στοιβασίας και φορτοεκφόρτωσης/ διαθέτουν ενδιάμεσα καταστρώματα, με τα οποία το σκάφος υποδιαιρείται στην κατακόρυφη κατεύθυνση. Προφανώς ο αριθμός και. το εκμεταλλεύσιμο ύψος των ενδιάμεσων καταστρωμάτων καθορίζεται από το είδος και τον τρόπο συσκευασίας τρυ φορτίου.. Έτσι, ενώ για πλοία γενικού φορτίου υπάρχει, μια ευελιξία ως προς το διαθέσιμο, ύψος των καταστρωμάτων, αυτό δεν συμβαίνει σε πλοία Ro/Ro,

οχηματαγωγά/σιδηροδρομοφόρα και-πλοία ψυγεία, όπου το ύψος είναι δεδομένο από τον τρόπο στοιβασίας και, φορτοεκφόρτωσης.

Τέλος για ογκώδη' φορτία-τεμάχια, με τυποποιημένες διαστάσεις, προκύπτουν συγκεκριμένες απαιτήσεις ως προς το ύψος των κοίλου-Χαρακτηριστικά, το κοίλο πλοίων μεταφοράς τυποποιημένων εμπορευματοκιβωτίων προκύπτει από τον αριθμό των καθ' ύψος: στοιβαγμένων containers, (ύψος 8,5'/κιβώτιο). Εδώ συνυπολογίζεται και το ύψος των κατωφλίων των στομιών κυτών καθώς και το ύψος των διαπυθμένων. Με το ίδιο κριτήριο, σύγχρονα φορτηγά πολλαπλής χρήσης (multicurpose/semi-containerships) διαθέτουν ανάλογο ύψος ώστε να τους δίδεται η δυνατότητα μεταφοράς ενός ακεραίου αριθμού κιβωτίων στην περιοχή των ανοιγμάτων των στομιών κυτών τους.

1.3.3. Επίδραση του κοίλου επί της ευστάθειας

Η επίδραση του κοίλου επί της ευστάθειας είναι ποικιλότροπη και πρέπει να εξετασθεί ξεχωριστά, ως προς την αρχική και την ευστάθεια μεγάλων κλίσεων.

Με την αύξηση του πλευρικού, ύψους, αυξάνει το βάρος, της μεταλλικής κατασκευής περί το κατάστρωμα με αποτέλεσμα την ανύψωση του αντίστοιχου κέντρου βάρους. Επίσης τα κέντρα βαρών των υπερκατασκευών και του εξοπλισμού υψώνουν αναλογικά, με αποτέλεσμα την αύξηση του ολικού \overline{KG} τόσο στην άφορτη όσο και έμφορτη κατάσταση. Έτσι/ για μικρές γωνίες κλίσης, αύξηση του κοίλου μειώνει γενικά τις τιμές του μοχλοβραχίονα επαναφοράς μέχρι τη γωνία που αντιστοιχεί στη βύθιση της πλευράς του κυρίου καταστρώματος.

Πέραν της γωνίας αυτής, όμως, επιτυγχάνεται σημαντική αύξηση του μοχλοβραχίονα ευστάθειας καθώς και διεύρυνση της περιοχής θετικών τιμών της ροπής επαναφοράς, σε σχέση με το αρχικό σκάφος.

Συμπερασματικά, μια αύξηση του κοίλου επιδρά αρνητικά στην ευστάθεια μικρών κλίσεων, ενώ για μεγάλες γωνίες προσφέρει θετικά στοιχεία εφόσον συνοδεύεται από ικανοποιητικό ύψος εξάλων. Γενικά το ύψος του κοίλου καθορίζεται από τον παράγοντα "φορτίο" και τυχόν, προβλήματα ευστάθειας

πρέπει να αντιμετωπίζονται με άλλα δραστικά μέσα, π.χ. προσαρμογή του πλάτους.

Σχετικά με την εκλογή του ύψους εξάλων, δηλαδή της διαφοράς μεταξύ κοίλου και βυθίσματος, γίνεται, αναφορά αργότερα στην παράγραφο 3.7.

1.3.4. Επίδραση του κοίλου επί του βάρους της μεταλλικής κατασκευής

Αν θεωρήσουμε το σκάφος σαν καμπτόμενη δοκό (βλ. 1.1.2) και εξετάσουμε τη διαμήκη αντοχή της είναι προφανές ότι με την αύξηση του κοίλου D και μείωση του λόγου L/D , προκύπτει γενικά μείωση των καμπτικών τάσεων λόγω αύξησης της ροπής αντίστασης της δοκού, ενώ η ροπή κάμψης μένει σταθερή για σταθερό μήκος.

Η ροπή αντίστασης της δοκού αυξάνεται λόγω απομάκρυνσης των μαζών του καταστρώματος και του πυθμένα από τον ουδέτερο άξονα. Έτσι τα πάχη των ελασμάτων μπορούν να μειωθούν και το βάρος της μεταλλικής κατασκευής ανά κυβικό μέτρο, όγκου μειώνεται σημαντικά όπως και το αντίστοιχο κόστος κατασκευής.

Όπως, ήδη έχει αναλυθεί προηγουμένως αν θέσουμε για το βάρος της μεταλλικής κατασκευής του σκάφους (βλ. 1.1.2):

$$W_H = k_H \cdot A_H \cdot t$$

όπου A_H : επιφάνεια περιβλήματος σκάφους

t : μέσο πάχος ελασμάτων

k_H : αριθμητικός συντελεστής ιδιομορφίας μέσης τομής

και η επιφάνεια περιβλήματος θεωρηθεί ως:

$$A_H = k_H \cdot \rho \cdot L = k_H \cdot 2(B+D) \cdot L$$

όπου ρ : περίμετρος, της μέσης τομής προκύπτει για το βάρος:

$$W_H = a_H \cdot t + b_H \cdot D \cdot t$$

δηλαδή το βάρος αυξάνει ανάλογα με το πάχος t και το κοίλο D . Όμως με δεδομένη τη ροπή αδρανείας της μέσης τομής:

$$I \propto p \cdot t \cdot d^2 \propto p \cdot t \cdot D^2$$

και τη ροπή αντίστασης

$$W = I/\bar{d} \propto p \cdot t \cdot d \propto p \cdot t \cdot D$$

προκύπτει, για τις καμπτικές τάσεις, στη μέση τομή (βλ. 1.1.2)

$$\sigma = \frac{M_{max}}{W} = \frac{\Delta \cdot L}{C \cdot W}$$

Με σταθερά το Δ , L και C προκύπτει:

$$\sigma \propto \frac{1}{p \cdot t \cdot D} \propto \frac{1}{a \cdot t \cdot D + b \cdot t \cdot D^2}$$

δηλαδή εφόσον το ύψος των τάσεων θεωρηθεί αμετάβλητο η μείωση του πάχους t είναι σημαντικότερη από την αύξηση του κοίλου D με αποτέλεσμα την απόλυτη μείωση του βάρους του σκάφους. W_H : Πάντως το αποτέλεσμα αυτό στηρίζεται σε απλοποιημένες, παραδοχές και μπορεί να ανατραπεί ελαφρώς στην πράξη, χωρίς όμως να αλλάξει τις γενικές επιδράσεις.

1.4. Εκλογή του βυθίσματος

Όπως προαναφέρθηκε, κατά την εκλογή του πλάτους μετά τς>ν προκαθορισμό του εκτοπίσματος, του μήκους και του συντελεστή γάστρας, το γινόμενο $B \cdot T$ θεωρείται δεδομένο.. Έτσι η εκλογή του πλάτους (βλ. 1.2) συνεπάγεται, έμμεσα και την εκλογή του βυθίσματος έστω μέσω των συνήθων τιμών του λόγου B/T (βλ. Πίνακα 1.2), εφόσον το γινόμενο $B \cdot T$ δεν είναι γνωστό. Επίσης, με την επιλογή του κοίλου, το μέγιστο επιτρεπόμενο βύθισμα καθορίζεται ως γνωστόν από το απαιτούμενο ύψος εξάλων, το οποίο υπολογίζεται με βάση το μήκος L , το κοίλο D , το CB και διάφορα άλλα στοιχεία του σκάφους. Οι βασικοί παράγοντες που επιδρούν στην εκλογή του βυθίσματος αναλύονται ακολούθως.

1.4.1. Επίδραση του βυθίσματος επί της αντίστασης και πρόωσης

Το βύθισμα του σκάφους επιδρά σημαντικά στις συνισταμένες της ολικής αντίστασης, δηλαδή στην αντίσταση τριβής και κυματισμού, τόσο για βραδέα όσο και ταχέα σκάφη.

Όπως προαναφέρθηκε στην παράγραφο 1.2.2 προς μείωση της αντίστασης της τριβής, που κυριαρχεί σε σχετικά βραδέα σκάφη με μικρό αριθμό Froude, απαιτείται, η επίτευξη ελάχιστης βρεχόμενης επιφάνειας, η οποία μπορεί να δειχθεί, ότι συνδέεται με τιμές $B/T=2,0-2,5$, ανάλογα με το CB και τη μορφή των νομέων στα άκρα.

Επίσης για την ελαχιστοποίηση της αντίστασης κυματισμού επιδιώκεται μεταφορά εκτοπίσματος από την. ίσαλο προς τα κάτω με αποτέλεσμα στενόμακρες γάστρες.

Έχει επιβεβαιωθεί από πειράματα ότι ο λόγος B/T περί το 2,5 εξυπηρετεί τόσο την αντίσταση τριβής, όσο και την αντίσταση κυματισμού κατά το βέλτιστο τρόπο. Από την πλευρά της πρόωσης επιδιώκεται κατά το δυνατόν μεγάλο βύθισμα για την εγκατάσταση έλικας μεγάλης διαμέτρου, με καλή απόδοση λόγω της μέτριας φόρτισης των πτερυγίων και του χαμηλού αριθμού στροφών. Ο κανόνας αυτός ισχύει για όλους τους τύπους πλοίων και ιδιαίτερα για πλοία ρυμούλκησης (ρυμουλκά και- αλιευτικά).. Όμως θα πρέπει να συνυπολογισθεί, ότι σε κατάσταση μη πλήρους φόρτωσης ή πρωραίας διαγωγής η μεγάλη έλικα αναδύεται πιο εύκολα από τις μικρότερες.

Τέλος για ορισμένα σκάφη η εγκατάσταση μεγάλης, έλικας είναι αδύνατη λόγω του απαιτούμενου υψηλού αριθμού στροφών έλικας και. μηχανής (μικρά σκάφη), ή για πολυέλικα σκάφη. Γενικά για διπλέλικα σκάφη ο λόγος B/T είναι υψηλότερος από τα αντίστοιχα μονέλικα (2,6 έναντι 2,4*2,5).

1.4.2 Επίδραση του βυθίσματος επί της ευστάθειας

Η επίδραση του βυθίσματος επί της ευστάθειας δεν είναι προφανής, όπως η του πλάτους και του κοίλου. Από την σχέση:

$$\overline{GM} = \overline{KB} + \overline{BM} - \overline{KG}$$

μπορεί να θεωρηθεί, ότι αύξηση του βυθίσματος συνεπάγεται αύξηση του kb. Εφόσον η αύξηση του βυθίσματος συνδυασθεί με μεταφορά εκτοπίσματος προς την. ίσαλο (νομείς V), δηλαδή με αύξηση της πληρότητας της ισάλου καθώς, και του πλάτους, η επίδραση επί της αρχικής, ευστάθειας είναι δραστική λόγω της σύγχρονης αύξησης του \overline{BM} , ενώ το \overline{KG} δεν αυξάνει σημαντικά.

Θα πρέπει πάντως να σημειωθεί, ότι πέραν της διαδικασίας της μελέτης, όπου το εκτόπισμα θεωρείται δεδομένο, εφόσον εξετάζεται η ευστάθεια, για διάφορες καταστάσεις φόρτωσης, πρέπει να συνυπολογισθεί ως προς το \overline{BM} , με

$$\overline{BM} = \frac{I_T}{V}$$

Ότι για αυξανόμενο βύθισμα η αύξηση του LT είναι συνήθως λιγότερο δραστική της αύξησης εκτοπίσματος V, έτσι ώστε να προκύπτει μείωση του \overline{BM} , και κατ' επέκταση του \overline{GM} .

1.4.3. Επίδραση του βυθίσματος στην συμπεριφορά του σκάφους σε κυματισμούς και τις ελικτικές ικανότητες

Η επίδραση του βυθίσματος στην συμπεριφορά του σκάφους σε κυματισμούς είναι ιδιαίτερα σημαντική στις μη έμφορτες καταστάσεις, κ.χ. κατάσταση ερματισμού.

Το ελάχιστο βύθισμα στην πλώρα, προς αποφυγή έντονης σφυρόκρουσης (slamming) είναι προσεγγιστικά:

$$T_F \geq 0,02L.$$

Επίσης το ελάχιστο βύθισμα στην πρύμνη προς αποφυγή ανάδυσης της έλικας (Propeller Racing) συνίσταται να είναι:

$$T_A \geq D_P + e + 0,4 \text{ m}$$

όπου D_P : διάμετρος έλικας

e : απόσταση κάτω άκρων των πτερυγών της έλικας από το βασικό επίπεδο αναφοράς

= 0,1 ± 0,2m (για σκάφη χωρίς ποδόστημα).

Τέλος για ικανοποιητικές ελικτικές ικανότητες το γινόμενο ($L \cdot T$), δηλαδή η διαμήκης προβολή της επιφάνειας υφάλων, πρέπει, να βρίσκεται σε λογική σχέση με την προβεβλημένη επιφάνεια του πηδαλίου A_R :

$$\frac{L \cdot T}{A_R} = 30 \approx 80$$

όπου οι τιμές δεξιά καθορίζονται από τον τύπο του πλοίου (κάτω όριο τιμών: ρυμουλκά, άνω όριο: ταχεία επιβατηγά, δεξαμενόπλοια).

1.4.4. Επίδραση του βυθίσματος επί της αντοχής

Με δεδομένη την αρνητική επίδραση μεγάλων μηκών επί της διαμήκους αντοχής και των στρεπτικών καταπονήσεων (βλ. 1.1.) είναι προφανής η τάση σε σύγχρονα σκάφη να παρουσιάζουν κατά το δυνατόν μεγάλα βυθίσματα (και πλάτη). Βέβαια αυτό οδηγεί σε υψηλότερες υδροστατικές πίεσης στον πυθμένα, η ενίσχυση του οποίου συνεπάγεται αύξηση του βάρους της μεταλλικής κατασκευής. Η τελευταία όμως, εφόσον οι λοιπές διαστάσεις μείνουν αμετάβλητες, δεν είναι σημαντική, σε σύγκριση με ανάλογες αυξήσεις άλλων διαστάσεων, θα πρέπει να σημειωθεί, ότι εφόσον συγχρόνως αυξηθεί και το πλάτος, λόγω των μεγάλων προβαλλομένων επιφανειών στον πυθμένα είναι δυνατόν να δημιουργηθούν προβλήματα "εγκάρσιας αντοχής" που απαιτούν σημαντικές ενισχύσεις και συνεπάγονται αισθητές αυξήσεις βαρών.

1.4.5. Επιδράσεις περατότητας διαδρομής

Το βύθισμα είναι η κύρια διάσταση κάθε πλοίου που επηρεάζεται πλέον δραστικά από τα περιορισμένα βάθη των διαδρομών διακίνησης του. Τα επιτρεπόμενα βυθίσματα καθορίζονται από επικρατούντα βάθη στους λιμένες, εισόδους λιμένων, κανάλια, διώρυγες, εκβολές ποταμών, κόλπους και στενωπούς θαλασσών, συνυπολογιζομένων των φυσικών-τακτικών (π.χ. παλιρροιακά φαινόμενα) ή ακανόνιστων διακυμάνσεων. Γενικά μια αύξηση του βυθίσματος είναι ανεπιθύμητη από τους πλοιοκτήτες λόγω της δυσχέρειας της ναυσιπλοΐας.

Περιορισμοί στο βύθισμα οδηγούν αυτομάτως σε αυξήσεις άλλων διαστάσεων, κυρίως του πλάτους

Χαρακτηριστικά όρια γνωστών διωρύγων, καναλιών, ποταμών:

Κανάλι Παναμά: $T < 13\text{m}$

Διώρυγα Κουέζ: $T < 18\text{m}$ (1984)

Κανάλι Β.Α.Θάλασσας: $T < 9,5\text{m}$

Κανάλι St. korenz: $T < 7,6\text{m}$

Εκβολές X-a Plata: $T < 8,2\text{m}$,

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

Κινητήρες Diesel – Τεχνικά Χαρακτηριστικά

**Επιμέλεια
Αϊβαλής Νικόλαος
Μεθενίτης Αθανάσιος**

Πρόκειται για μηχανές εσωτερικής καύσης. Με τον όρο αυτό στη μηχανολογία χαρακτηρίζουμε θερμικές μηχανές στις οποίες η πρόσδοση θερμότητας με τη μορφή καύσης, είναι αναπόσπαστα συνδεδεμένη με την παραγωγή του ωφέλιμου έργου της μηχανής. Η παραγωγή αυτή ολοκληρώνεται άμεσα στη μονάδα της εγκατάστασης με εργαζόμενο μέσο τα παραγόμενα από την καύση καυσαέρια. Συγκεκριμένα, η λειτουργία των μηχανών εσωτερικής καύσεως οφείλεται στην θερμική ενέργεια του καυσίμου που εκλύεται στο εσωτερικό του κυλίνδρου αυξάνοντας την πίεση των καυσαερίων. Τα καυσαέρια αναγκάζουν το έμβολο να κινηθεί ευθύγραμμα στο εσωτερικό του κυλίνδρου. Η ευθύγραμμη αυτή κίνηση του εμβόλου μετατρέπεται σε περιστροφική του άξονα της μηχανής με τη βοήθεια του μηχανισμού του διωστήρα – στροφάλου.

Αρχικός στόχος του σχεδιασμού του κινητήρα Diesel ήταν η καύση κονιορτοποιημένου άνθρακα. Ο φιλόδοξος αυτός στόχος του σχεδιαστή δεν επιτευχθεί τότε και αποτελεί ακόμη και σήμερα άλυτο πρόβλημα. Σήμερα έχει γίνει δυνατή η καύση στον κινητήρα Diesel μιας μεγάλης ποικιλίας καυσίμων προϊόντων της απόσταξης του αργού πετρελαίου με πυκνότητες που κυμαίνονται μεταξύ της πυκνότητας της κηροζίνης και του βαρέως πετρελαίου τύπου μαζούτ II. Η δυνατότητα του κινητήρα Diesel να καίει ικανοποιητικά καύσιμα χαμηλής ποιότητας & τιμής καθιστά την μηχανή αυτή ιδιαίτερα αποδοτική για μικρές & μέσες ισχύς.

Από θερμοδυναμική άποψη, λόγω της υψηλής συμπίεσης και των μεγάλων θερμοκρασιών καύσης που αναπτύσσονται κατά τη λειτουργία του, ο κινητήρας Diesel παρουσιάζει τον μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης από όλες τις θερμικές μηχανές.

Βασικά μειονεκτήματα των κινητήρων αυτών, τα οποία όμως δεν παίζουν καθοριστικό ρόλο πάντοτε στις εφαρμογές, είναι το σχετικά μεγάλο μέγεθος & βάρος του κινητήρα για δεδομένη ισχύ και το μεγάλο κόστος κατασκευής. Τα μειονεκτήματα αυτά οφείλονται στην ανάγκη αντοχής του κινητήρα στις υψηλές πιέσεις που είναι απαραίτητες για την ανάπτυξη ευνοϊκών συνθηκών καύσης και στο υψηλό κόστος της πολύπλοκης μονάδος που χρησιμοποιείται για το διασκορπισμό του καυσίμου.

Τα τελευταία χρόνια στον τομέα εμβολοφόρων μηχανών εσωτερικής καύσης έχουν σημειωθεί σημαντικές πρόοδοι. Πράγματι, με τον κατάλληλο σχεδιασμό των θαλάμων καύσης, την βελτίωση των συστημάτων ανάφλεξης και

την χημική επεξεργασία των καυσαερίων, έχει σημειωθεί σημαντική μείωση της περιεκτικότητας των καυσαερίων σε ρυπαντές, χωρίς να επηρεασθεί αρνητικά η απόδοση του κινητήρα.

Στις μηχανές Diesel , συγκεκριμένα στις μηχανές μεγάλης ισχύος, έχει επιτευχθεί μία αύξηση της συνολικής ισχύος της εγκατάστασης με την χρήση εμβόλων διαμέτρου 100mm. Ταυτόχρονα, κατέστη δυνατόν, να καούν αποδοτικά, χωρίς υπερβολική φθορά των εξαρτημάτων του κινητήρα, καύσιμα με μεγάλο ιξώδες και υψηλή περιεκτικότητα σε θείο. Τα χαμηλής ποιότητας καύσιμα αυτά, είναι σημαντικά φθηνότερα και χρησιμοποιούνταν παλαιότερα στους καυστήρες λεβήτων. Επίσης, η θερμική απόδοση αυτών των εγκαταστάσεων βελτιώθηκε σημαντικά με τη χρήση της θερμότητας των καυσαερίων για θέρμανση ή παραγωγή ισχύος.

Ο κινητήρας Diesel χρησιμοποιείται κατά κόρον για την πρόωση πλοίων. Σημαντικότερος λόγος είναι ο βαθμός απόδοσης που για μεγάλες τιμές ισχύος ξεπερνά το 50%. Γενικότερα ως θερμική μηχανή ο κινητήρας Diesel σε ναυτικές εφαρμογές παρουσιάζει πάντα μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης από τις μηχανές που τον ανταγωνίζονται.

Στις μεγάλες απαιτήσεις ισχύος (> 2500KW) χρησιμοποιείται και ο ατμοστρόβιλος με συνθήκες και περιπλοκότητα που δίνουν αρκετά καλό β.α., ενώ έχει σαφώς μικρότερο αρχικό κόστος, βάρος, κατανάλωση λαδιού και έξοδα συντήρησης.

Ο αεροστρόβιλος χρησιμοποιείται κυρίως σε πολεμικά πλοία (σε συνδυασμό με κινητήρα Diesel) ή σε εμπορικά ειδικών απαιτήσεων (μικρού μηχανοστασίου, υψηλής ταχύτητας).

2.1 Κινητήρες Diesel για ναυτική χρήση

Οι βραδύστροφοι κινητήρες Diesel μεγάλης ισχύος (πάνω από 4000 PS) έχουν μελετηθεί, σχεδιαστεί και κατασκευαστεί ειδικά ως ναυτικές μηχανές πρόωσης. Είναι μηχανές που καταφέρνουν να συνδυάσουν:

- i)Υψηλή απόδοση
- ii)Απλότητα κατασκευής
- iii)Μεγάλη αξιοπιστία
- iv)Συνήθως με δυνατότητα αναστροφής

Πολλοί μεσόστροφοι και ταχύστροφοι κινητήρες έχουν υποστεί κατάλληλες μετατροπές ώστε να προσαρμοστούν στις απαιτήσεις μιας ναυτικής μηχανής. Τέτοιες μετατροπές περιλαμβάνουν:

- i) Προσθήκη διάταξης για την μείωση στροφών (μειωτήρας)
- ii) Δυνατότητα αναστροφής της φοράς περιστροφής (μειωτήρας και συμπλέκτης ή αναστροφή της μηχανής)
- iii) Αντικατάσταση του ψυγείου αέρα με ψυγείο θάλασσας
- iv) Αναπροσαρμογή της ονομαστικής ισχύος του κινητήρα για αυξημένη αξιοπιστία σε ναυτικές εφαρμογές.

Η εγκατάσταση ενός κινητήρα Diesel, πέραν των μετατροπών του κατασκευαστή για δυνατότητα χρήσης του σε ναυτικές εφαρμογές, περιλαμβάνει και τις ακόλουθες εργασίες που πρέπει να γίνουν από τον Μηχανικό:

2.2 Κριτήρια επιλογής κινητήρα:

- i) επιλογή κατάλληλης ισχύος
- ii) επιλογή μεταξύ μηχανών διαφορετικού τύπου
- iii) αποδοτική συνεργασία κινητήρα-έλικας και εκτός του σημείου κανονικής λειτουργίας
- iv) συνεργασία με έλικα μεταβλητού βήματος

Ωστόσο, για να επιτύχουμε την καλύτερη δυνατή απόδοση, χρειάζεται μελέτη όλων των παρελκομένων. Τα παρελκόμενα έχουν να κάνουν με:

- Συστήματα εκκίνησης,
- εισαγωγής αέρα, εξαγωγής καυσαερίου,
- συστήματα καυσίμου, λαδιού λίπανσης, ψύξεως,
- συστήματα χειρισμού και παρακολούθησης λειτουργίας,
- αξιοποίηση θερμότητας καυσαερίων και νερού ψύξεως χιτωνίων

Καθώς επίσης με μελέτη αξονικού συστήματος, όπως:

- Εκλογή μειωτήρα,
- σχεδιασμός άξονα,
- υπολογισμός αριθμού και είδους εδράνων,
- μελέτη ευθυγράμμισης,

- έλεγχος σε στρεπτικές, καμπτικές και αξονικές ταλαντώσεις

Τέλος για την ολοκληρωμένη άποψη επιλογής κινητήρα, θα πρέπει να μελετηθεί και η έδραση του. Η έδραση λοιπόν του κινητήρα:

- Διαμόρφωση του σκάφους ώστε να εδρασθεί ο κινητήρας
- Χρήση ελαστικής έδρασης σε μεσόστροφους – ταχύστροφους κινητήρες

2.3 Βασικά χαρακτηριστικά μεγέθη

Τα βασικά χαρακτηριστικά μεγέθη που θα πρέπει να γνωρίζουμε ώστε να οδηγηθούμε σε ορθή επιλογή κινητήρα παραθέτονται παρακάτω και είναι:

D =Διάμετρος κυλίνδρου m

S =Διαδρομή εμβόλου m

$r=s/2$ =ακτίνα στροφάλου m

h = στροφές ανά πρώτο λεπτό RPM

$f=n/60$ συχνότητα sec^{-1}

$c_m=2sf$ μέση ταχύτητα εμβόλου m/s

$A=\pi D^2/4$ επιφάνεια εμβόλου m^2

V_h =όγκοςεμβολισμούκυλίνδρου

s/D λόγος διαδρομής προς διάμετρο κυλίνδρου -

z αριθμός κυλίνδρων -

$V_H=zV_h$ συνολικός όγκος εμβολισμού m^3

V_c όγκος χώρου συμπίεσης m^3

$\epsilon=(V_c+V_h)/V$ λόγος συμπίεσης

p_i μέση ενδεικνύμενη πίεση N/m^2

p_e μέση πραγματική πίεση N/m^2

$p_e= p_i n_m$

n_m μηχανικός βαθμός απόδοσης -

$p_r=p_i-p_e$ μέση πίεση μηχανικών απωλειών N/m^2

p_z μέγιστη πίεση καύσεως N/m^2

$P_e=a p_e V_H f$ πραγματική ισχύς W

$a=1$ για 2-Χ κινητήρα, $a=0.5$ για τετράχρονο κινητήρα
 $M_d=P_e/(2\pi f)$ ροπή στρέψης κινητήρα Nm
 $n_e=P_e/(m_B H_u)$ πραγματικός βαθμός απόδοσης -
 $b_e=3600/(n_e H_u)$ ειδική κατανάλωση καυσίμου kg/kWh
 $m_B=b_e P_e$ κατανάλωση καυσίμου kg/h
 H_u κατώτερη θερμογόνο δύναμη καυσί kJ/Kg
 m_g ολική παροχή αέρα kg/s
 $\lambda z=m_z/m_g$ λόγος αέρα που παρίσταται στην καύση προς συνολικό αέρα
 $\lambda=m_g/m_{\min} m_b$ ολικός λόγος αέρα -
 $m_g -m_z$ παροχή αέρα απόπλυσης kg/s
 G Μάζα του κινητήρα χωρίς παρελκόμενα kg

2.3.1 Τυποποιημένες συνθήκες στις οποίες δίνεται η Μέγιστη Συνεχής Ισχύς

Κατά τις μετρήσεις ενός κινητήρα στην πέδη, προδιαγράφονται σύμφωνα με το ISO 3046/1 - 1986 οι ακόλουθες συνθήκες περιβάλλοντος:

Βαρομετρική πίεση : 750 mmHg (1bar)

Θερμοκρασία αναρροφώμενου αέρα: 25 °C

Σχετική υγρασία: 30%

Θερμοκρασία μέσου ψύξεως του αέρα υπερπλήρωσης 25 °C

Κατώτερη θερμογόνο δύναμη καυσίμου 42700 (kJ/kg)

Οι παράμετροι λειτουργίας ενός κινητήρα Diesel (ισχύς, ειδική κατανάλωση, παροχή καυσαερίων, κλπ.) δίδονται από τον κατασκευαστή μετά από μετρήσεις στην πέδη. Όταν ο κινητήρας εργάζεται επί πλοίου, τότε επικρατούν διαφορετικές συνθήκες περιβάλλοντος οι οποίες επηρεάζουν την συμπεριφορά και αποδοτικότητά του.

Για να εκτιμηθεί η ειδική κατανάλωση του κινητήρα σε πραγματικές συνθήκες, αλλά και η αντίστοιχη ισχύς ψύξεως (για τον υπολογισμό των κυκλωμάτων ψύξης) και η ισχύς καυσαερίων (για τυχόν χρήση τους από λέβητα καυσαερίων) πρέπει να γίνονται οι κατάλληλες διορθώσεις των μετρημένων τιμών, ώστε να ανταποκρίνονται στις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας.

Επιπλοίου ,ρεαλιστικές συνθήκες περιβάλλοντος αποτελούν οι παρακάτω:

Βαρομετρική πίεση : 750 mmHg (1bar)

Θερμοκρασία αναρροφώμενου αέρα: 45°C

Σχετική υγρασία:

60%

Θερμοκρασία μέσου ψύξεως του αέρα υπερπλήρωσης:

32

°C

Συνήθως, ο κάθε κατασκευαστής παρέχει στοιχεία για τον υπολογισμό της διόρθωσης που απαιτείται όταν ο κινητήρας εργάζεται σε διαφορετικές συνθήκες περιβάλλοντος από τις πρότυπες. Ελλείπει στοιχείων από τον κατασκευαστή, μπορούν να γίνουν οι παρακάτω προσεγγίσεις, όταν ο κινητήρας λειτουργεί σε συνθήκες περιβάλλοντος διαφορετικές από τις πρότυπες.

Όταν κατά την λειτουργία κινητήρα Diesel στο πλοίο χρησιμοποιείται καύσιμο με διαφορετική θερμογόνο δύναμη, η ειδική κατανάλωση πρέπει να πολλαπλασιάζεται με το λόγο $42700/H_u'$ όπου H_u' η θερμογόνο δύναμη του καυσίμου που καταναλώνεται.

Αύξηση της θερμοκρασίας εισόδου του αέρα για σταθερή ισχύ έχει ως αποτέλεσμα:

- Αύξηση της ειδικής κατανάλωσης του καυσίμου κατά 0.2-1.0% για κάθε 10 K αύξησης της θερμοκρασίας του αέρα
- Μείωση της παροχής αέρα (και καυσαερίων) σε ευθεία αναλογία προς το λόγο των απόλυτων θερμοκρασιών του αέρα
- Αύξηση της θερμοκρασίας εξόδου των καυσαερίων κατά 1.5-2.0 K για κάθε βαθμό αύξησης της θερμοκρασίας του αέρα

Αύξηση της θερμοκρασίας εισόδου του νερού ψύξεως του αέρα υπερπλήρωσης, για σταθερή ισχύ, έχει ως αποτέλεσμα:

- Αύξηση της ειδικής κατανάλωσης του καυσίμου κατά 0.2-0.6% για κάθε 10 K

- αύξησης της θερμοκρασίας του νερού
- Μείωση της παροχής αέρα (και καυσαερίων) κατά 0.5-2% για κάθε 10 K αύξηση της θερμοκρασίας του νερού
 - Αύξηση της θερμοκρασίας εξόδου των καυσαερίων κατά 3-6 K για κάθε 10 K αύξησης της θερμοκρασίας του αέρα.

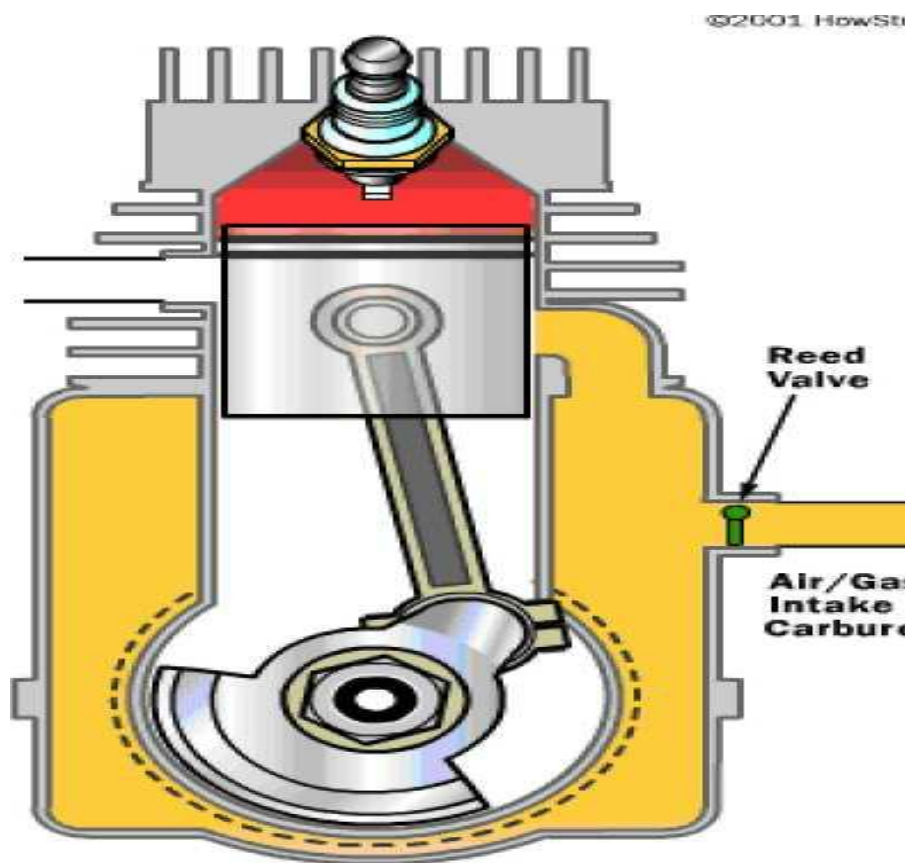
2.4 Τύποι ναυτικών κινητήρων

Οι τύποι ναυτικών κινητήρων που συναντώνται σήμερα και εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά λειτουργίας τους, είναι οι εξής:

- A) 2-X ή 4-X κινητήρες
- B) Φυσικής αναπνοής ή υπερπληρωμένοι
- Γ) Διάταξη κυλίνδρων, τύπου L, τύπου V, άλλων τύπων
- Δ) Διάταξη με διωστήρα-στρόφαλο (4-X) ή με βάκτρο-διωστήρα-στρόφαλο (2-X)
- E) Στροφές λειτουργίας (βραδύστροφοι, μεσόστροφοι, ταχύστροφοι)

2-X κινητήρες

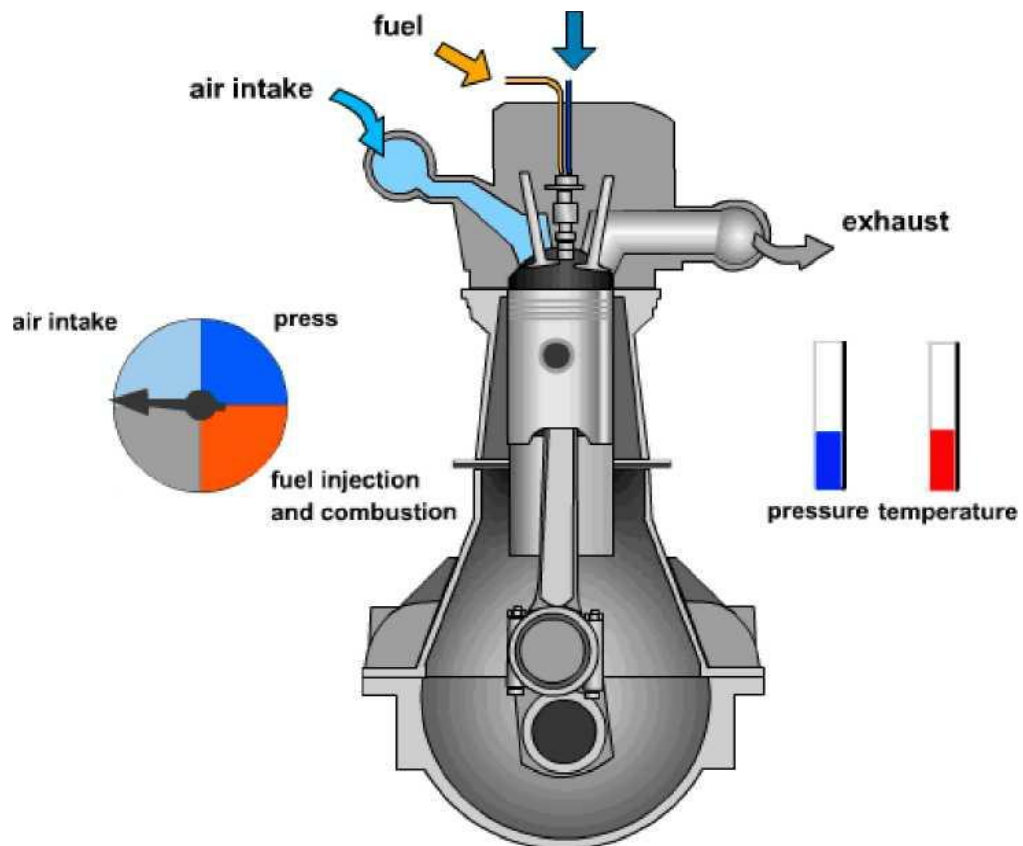
Θυρίδες εισαγωγής αέρα και θυρίδες ή βαλβίδες εξαγωγής των καυσαερίων.
Σε ναυτικές εφαρμογές είναι σχεδόν πάντα αργόστροφοι.



4-X κινητήρες

Συνήθως έχουν δύο βαλβίδες εισαγωγής και δύο βαλβίδες εξαγωγής.

Είναι μεσόστροφοι (μεσαίες και μεγάλες τιμές ισχύος) ή ταχύστροφοι (μικρές τιμές ισχύος)



2.5 Κατάταξη ναυτικών κινητήρων

Βραδύστροφοι κινητήρες

- 1100-80000kW (1480-110000 HP), 55-250 rpm, BMEP έως 20 BAR, βαθμός απόδοσης έως 53%, BSFC 165g/kWh, ειδική μάζα 25-40 kg/kW
- Διάμετροι εμβόλου από 260 έως 1080 mm, διαδρομή από 980-3188 mm Αριθμός κυλίνδρων 4-12 σε σειρά
- Ζύγωμα-βάκτρο (Απομόνωση στροφαλοθαλάμου από θαλάμους καύσης)
- Μεγάλος λόγος διαμέτρου/διαδρομή εμβόλου
- Ευθείας απόπλυσης με βαλβίδα εξαγωγής στην κεφαλή του κυλίνδρου
- Απευθείας σύνδεση με την έλικα
- Υπερπλήρωση με σύστημα σταθερής πίεσης (1 ή περισσότεροι υπερπληρωτές συνδεδεμένοι παράλληλα)
- Ψύξη αέρα σε ψυγείο μετά κάθε συμπιεστή
- Ηλεκτρικοί φυσητήρες (ενεργοποιούνται σε φορτία μικρότερα 40%)
- Εκδόσεις με πολύ μεγάλη διαδρομή εμβόλου s/D έως 3.8 λειτουργία σε ταχύτητες 5rpm σύνδεση με μεγάλης διαμέτρου έλικα (υψηλή απόδοσης) σε bulk carriers & μεγάλα tankers
- Μηχανές με s/D=2.8 και N=100 rpm σε οοηιάϊηοΓδΜρδ
- Μηχανές με μικρότερους λόγους s/D σε πλοία με περιορισμό σε βύθισμα, διάμετρο έλικας ή ύψος μηχανοστασίου
- Μπορεί να λειτουργήσουν με χαμηλής ποιότητας (φθηνά) καύσιμα
- Κυριότεροι κατασκευαστές: MAN -B&W, SULZER, Mitsubishi και

Μεσόστροφοι - ταχύστροφοι κινητήρες

- Μεσόστροφοι 400 έως 1000 rpm - ταχύστροφοι πάνω από 1000 rpm
- Μέχρι 23850kW (32000 HP), BMEP έως 25 bar, Βαθμός απόδοσης έως 50%,BSFC185g/kWh, Διάμετρος εμβόλων 160-640 mm
- Σε σειρά 5-9 κύλινδροι, σε διάταξη V 8-20 κύλινδροι
- Ελαφρύτεροι και μικρότεροι από αντίστοιχης ισχύος αργόστροφες μηχανές(10-15kg/kW σε σύγκριση με 35-40kg/kW των αργόστροφων για ισχύ στην περιοχή

των 10000kW) Ακόμα κι αν συνυπολογιστούν μειωτήρας –συμπλέκτης -ψυγεία κλπ. προκύπτει 20-30% μικρότερο βάρος).

- Μικρότερο αρχικό κόστος.
- Σύνδεση με την έλικα με μειωτήρα (Αν χρησιμοποιηθεί έλικα μεταβλητού βήματος δεν απαιτείται αναπόδιση του κινητήρα)
- Υπερπλήρωση με σύστημα σταθερής πίεσης ή σύστημα παλμών πίεσης και ψύξη αέρα (σε V ένας υπερπληρωτής για κάθε σειρά κυλίνδρων)
- Χρήση σε επιβατηγά (Ferry type vessels) και όπου απαιτείται χαμηλό ύψος μηχανοστασίου, σε ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη
- Χρήση 2 ή περισσότερων κινητήρων (ευχέρεια στη συντήρηση, ασφάλεια)
- Χρειάζονται καλής ποιότητας καύσιμα (πιο ακριβά) - Τελευταία έχουν σχεδιαστεί και μηχανές με καύσιμο βαρύ ή ενδιάμεσο πετρέλαιο

2.6 Εφαρμογές ναυτικών κινητήρων

Μικρά σκάφη

- 4-X Ταχύστροφος κινητήρας
- Σε συνδυασμό με τυποποιημένους μειωτήρες με λόγο μείωσης μέχρι 6:1 (9:1), ενσωματωμένους πολλές φορές στον κινητήρα, με δυνατότητα αναστροφής (ο κινητήρας δεν αναστρέφει συνήθως).
- Σε μεγαλύτερες τιμές ισχύος ταχύστροφοι αναστρεφόμενοι κινητήρες

Ρυμουλκά, μεγάλα αλιευτικά και μεσαίου μεγέθους εμπορικά. Επίσης σε επιβατηγά, κρουαζιερόπλοια και μεγάλα εμπορικά με απαιτήσεις χαμηλού μηχανοστασίου

- 4-X Μεσόστροφος κινητήρας
- Σε συνδυασμό με μειωτήρες στροφών.
- Σε διατάξεις δύο, τριών ή τεσσάρων που κινούν μία ή δύο έλικες
- Σε σύγκριση με τον βραδύστροφο κινητήρα, η λύση περισσότερων του ενός

μεσόστροφων έχει μικρότερο βάρος και αρχικό κόστος αλλά λίγο μεγαλύτερη ειδική κατανάλωση καυσίμου

Για μεγάλα πλοία μέσης ταχύτητας συνήθως επιλέγουμε:

- 2-Χ βραδύστροφος κινητήρας
- Ανώτερος από οποιαδήποτε άλλη μηχανή πρόωσης.
- Καίει καύσιμο λεβήτων (χαμηλής ποιότητας, χαμηλής τιμής)
- Βέλτιστη ειδική κατανάλωση καυσίμου
- Μεγάλο βάρος, ύψος μηχανοστασίου και αρχικό κόστος
- Μόνο σε L_NG και αεροπλανοφόρα τον ανταγωνίζεται ο ατμοστρόβιλος (επειδή υπάρχει διαθέσιμο εξατμιζόμενο φυσικό αέριο, boil-off και επειδή το κόστος και το βάρος 2-Χ κινητήρων στην περίπτωση των αεροπλανοφόρων είναι πολύ μεγάλα)

2.7 Καύση

Τα κύρια συστατικά των συνήθων καυσίμων ναυτικών μηχανών είναι ο άνθρακας (C), το υδρογόνο (H₂), το θείο (S) και το άζωτο (N₂) ενώ σε πολύ μικρές ποσότητες βρίσκονται ακόμη βανάδιο, αλουμίνιο και άλλα συστατικά.

Η κατά μάζα περιεκτικότητα του καυσίμου στα επιμέρους στοιχεία συμβολίζεται με τα πεζά γράμματα c, h, s, n αντίστοιχα. Ισχύει $c+h+s+n = 1$

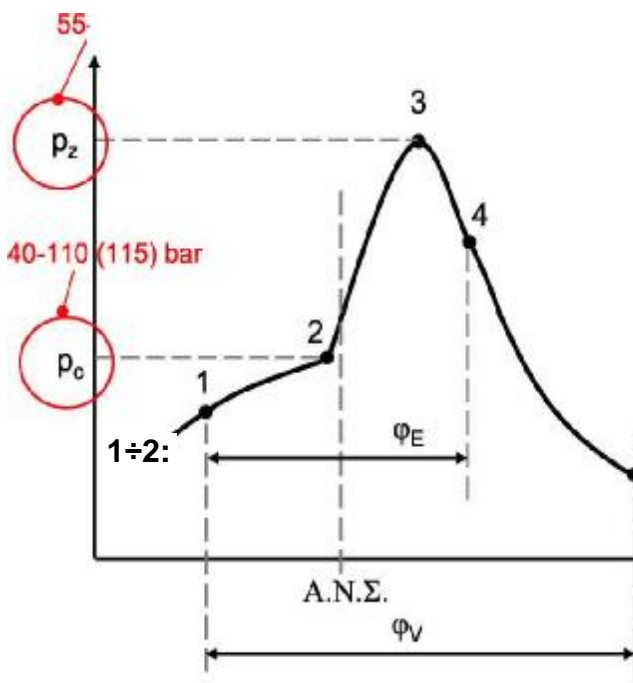
Ορίζουμε τις παρακάτω ποσότητες οι οποίες παριστάνουν τα γραμμομόρια συστατικού ανα χιλιόγραμμο καυσίμου: όπου M_C , M_{H_2} , M_S και M_{N_2} τα μοριακά βάρη των διαφόρων συστατικών.

Κατά μάζα σύνθεση πραγματικού ξηρού αέρα:

- O₂: 23.14%

- N₂: 75.53%
- Ar: 1.28%
- CO₂: 0.05%

Το καύσιμο εκτοξεύεται στον κύλινδρο και αυτοαναφλέγεται (αέρας υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας)



1: Έναρξη διασκορπισμού, 5÷30°
Στροφαλοφόρου προ Α.Ν.Σ. Πίεση
ανοίγματος διασκορπιστών 200-400
bar(1000 bar)

1÷2: Καθυστέρηση ανάφλεξης που
εξαρτάται από τα p_c , T_c και από τον
αριθμό κητανίου του καυσίμου
(MDO) ή τον δείκτη
αρωματικότητας

υδρογονανθράκων (CCAI, HFO)

2÷3: Πρώτη φάση καύσης με απότομη αύξηση της πίεσης. Ταχύτητα καύσης
 $w_m < 5 \text{ bar} / ^\circ \text{ Στρ}$ για MDO και $w_m = 15 \text{ bar} / ^\circ \text{ Στρ}$ για HFO (λόγω μεγαλύτερης
καθυστέρησης ανάφλεξης)

3÷4: Ελεγχόμενη καύση. Καίγεται το 40-60% του καυσίμου

4÷5: Τελευταία φάση της καύσης

Βραδύστροφοι: < 10%

Μεσόστροφοι: 10-25%

Ταχύστροφοι: 15-35%

2.7.1 Καύσιμα

Κλάσματα απόσταξης αργού πετρελαίου

Προϊόν	Gallons / Barrel
Βενζίνη	19.5
Πετρέλαιο θέρμανσης & πετρέλαιο diesel (Distillate Fuel)	9.2
Κηροζίνη (τύπου Jet Fuel)	4.1
Φυσικό Αέριο	2.8
Βαρύ καύσιμο για εφαρμογές στη βιομηχανία, τρι	2.3
Κάρβουνο (κοκ)	1.8
Άσφαλτος	1.3
Λιπαντικά	0.5
Κηροζίνη	0.2
Λοιπά	0.3

Σύνολο	1 Barrel = 42 Gallons
---------------	------------------------------

Τυπικά καύσιμα για Ναυτικούς κινητήρες Diesel

ΚΑΥΣΙΜΟ	Φλασκό πετρέλαιο (Αεριοί Gas Oil)	Τυποποιημένα καύσιμα πλοίων κατ'ISO-F-			
		Πετρέλαιο Diesel DMX Marine Diesel	Μέσο πετρέλαιο RME-25 Intermediate Fuel	Βαρύ πετρέλαιο RMG-35 Residual Fuel	Βαρύ Πετρέλαιο RML-55 Residual Fuel
Πυκνότητα, kg/dm σε 15 °C, max	0,83	(0,82+0,8	0,991	0,991	(1,010)*
Ιξώδες (κινηματικό) cSt (mm/s) σε 50 °C	2,6	5	180	380	700
cSt σε 100 °C			25	35	55

Αριθμός κητανίου CCAI,max*	50 + 60 (790)	45 (830)	- (850)	- (845)	- (860)
Σημείο αναφλέξεως ατμών, °C, pmin		43	60	60	60
Σημείο ροής, °C, max		-	30	30	30
Τέφρα, %, max	0,01	0,01	0,10	0,15	0,20
C, % (υπόλοιπο: Ramsbottom 10% Conradson	0,1	0,20	-	-	-
Στερεά, %, max*	-	-	15	18	22
Νερό, %, max	-	-	1	1	1
Θείο, %, max	-	-	1,0	1,0	1,0
Βανάδιο, ppm, max	-	1,0	5,0	5,0	5,0
Αλουμίνιο, ppm, Max (ως δείκτης)*	-	-	200	300	600
Κατωτέρα θερμογό- νος δύναμη, Hu. kJ/ka*	-	-	30	30	30
	42.140	42.700	39.650	39.550	<39.300

2.7.2. Κινηματικό Ιξώδες

Το Ιξώδες αποτελεί μέτρο της αντίστασης στη μεταβολή της κινητικής κατάστασης ενός ρευστού με την εμφάνιση διατμητικών τάσεων μεταξύ επάλληλων στρωμάτων του ρευστού όταν αυτό βρίσκεται σε κίνηση

2.7.3 Ασυνήθη καύσιμα

Σε πλοία LNG το φυσικό αέριο μεταφέρεται υγροποιημένο αφού ψυχθεί στη θερμοκρασία βρασμού (-161°C).

Λόγω ύπαρξης θερμικών απωλειών ατμοποιείται ημερησίως περίπου 0.1% της μεταφερόμενης ποσότητας (boil-off).

Το ατμοποιούμενο φυσικό αέριο καίγεται στην εγκατάσταση πρόωσης (λέβητας, αεριοστρόβιλος, κινητήρας Diesel)

Κινητήρες Diesel που καίνε φυσικό αέριο ξεκινάνε με πετρέλαιο μόνο, και στη συνέχεια καίνε 5% πετρέλαιο (μέσο ανάφλεξης) και 95% φυσικό αέριο επιτυγχάνοντας ισχύ ίση με το 86% της ονομαστικής τους ισχύος.

Το φυσικό αέριο έχει τάση κρουστικής καύσης, επομένως λαμβάνονται ιδιαίτερα μέτρα κατά την καύση φυσικού αερίου (μείωση λόγου συμπίεσης,

άνοιγμα αρκετά προ του ΑΝΣ της βαλβίδας εισαγωγής του αερίου, αύξηση της συνολικής παροχής αέρα, καλύτερη ψύξη του χιτωνίου)

Σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης (εξάντληση καυσίμων) καύση από τον κινητήρα αργού πετρελαίου (φορτίου)

2.7.4 Αλλαγή μείγματος, απόπλυση

Για να επιτευχθεί πλήρης καύση απαιτείται πραγματικός λόγος αέρα καύσης (αέρα που παρίσταται στην καύση) λ :

που κυμαίνεται στην πράξη από 1.3 έως 2.2

Ο ολικός λόγος αέρα λ

έχει συνήθως τις εξής τιμές:

$$4-X: \lambda=1.3 \div 2.5$$

$$2-X: \lambda=2.5 \div 5$$

2.8 Υπερπλήρωση

Υπερπλήρωση είναι η αύξηση του αέρα καύσης πάνω από την ποσότητα που αντιστοιχεί σε φυσική αναπνοή. Με την υπερπλήρωση αυξάνεται σημαντικά η συγκέντρωση ισχύος και ο β.α. του κινητήρα.

Μηχανική υπερπλήρωση χρησιμοποιήθηκε στο παρελθόν και σήμερα χρησιμοποιείται μόνο σε μικρής ισχύος κινητήρες.

Στις περισσότερες περιπτώσεις χρησιμοποιείται στροβιλοϋπερπληρωτής (turbocharger). Αποτελείται:

- Από στρόβιλο ο οποίος κινείται από τα καυσέρια
- Συμπιεστή σε κοινό άξονα με το στρόβιλο ο οποίος παρέχει αέρα για καύση με αυξημένη πίεση

Ως βαθμός υπερπληρώσεως ορίζεται ο λόγος της μέσης πραγματικής πίεσης του υπερπληρωμένου κινητήρα προς την μέση πραγματική πίεση του κινητήρα με φυσική αναπνοή.

Μετά την συμπίεση του αέρα από τον συμπιεστή, ακολουθεί ψύξη του (aftercooler) ώστε να μειωθεί η πυκνότητα του αέρα (μεγαλύτερη μάζα αέρα εισέρχεται στον κύλινδρο για σταθερό όγκο).

Η ψύξη του αέρα επιτρέπεται έως θερμοκρασία τέτοια ώστε να μην συμπυκνώνεται ο υδρατμός που περιέχεται σ' αυτόν (π.χ. για πίεση υπερπλήρωσης 2.5 bar, ελάχιστη θερμοκρασία αέρα σχετικής υγρασίας 60% χωρίς υγροποίηση των υδρατμών που περιέχει είναι η θερμοκρασία των 35 °C).

Τα όρια ψύξης του αέρα υπερπλήρωσης είναι συνήθως μεταξύ 30 και 60 °C.

Γενικά εφαρμόζονται δύο τρόποι υπερπλήρωσης:

- Σταθερής πίεσης
- Κρουστική (παλμών)

2.8.1 Υπερπλήρωση σταθερής πίεσης

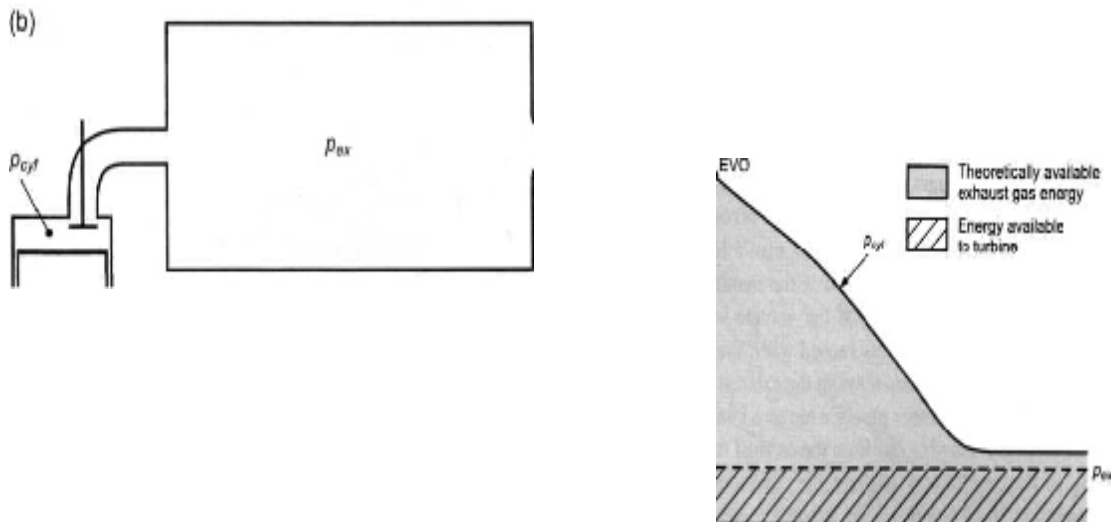
Τα καυσαέρια όλων των κυλίνδρων οδηγούνται σε συλλέκτη όπου εξισώνονται οι πιέσεις και οι θερμοκρασίες τους. Με τον τρόπο αυτό ο Στρόβιλος δέχεται ροή με σταθερή πίεση και θερμοκρασία.

Πλεονεκτήματα

- Σταθερή ροή και επομένως υψηλός β.α. του στροβίλου
- Υψηλές επιδόσεις σε υψηλά φορτία
- Απλός σχεδιασμός αγωγού καυσαερίων

Μειονεκτήματα

- Χάνεται μέρος της δυνατότητας έργου των καυσαερίων
- Μέτριες επιδόσεις σε χαμηλά φορτία και χαμηλές στροφές
- Αργή επιτάχυνση του στροβίλου



2.8.2 Υπερπλήρωση κρουστική (παλμών)

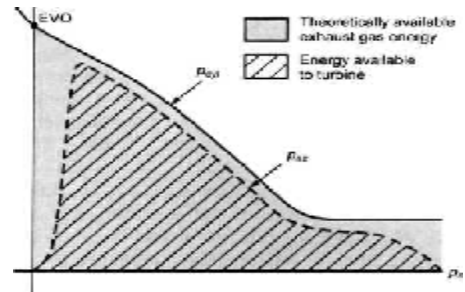
Τα καυσαέρια οδηγούνται χωριστά στον Στρόβιλο από κάθε ομάδα ενός ή περισσότερων κυλίνδρων με τέτοιο τρόπο ώστε να μην χάσουν την κινητική τους ενέργεια. Οι συνθήκες των καυσαερίων διαφέρουν χρονικά και ανάμεσα στις ομάδες αλλά και στην ίδια ομάδα.

Πλεονεκτήματα

- Υψηλό ποσό ενέργειας στο στρόβιλο
- Καλές επιδόσεις σε χαμηλές στροφές και φορτίο
- Γρήγορη επιτάχυνση του στροβίλου

Μειονεκτήματα

- Χαμηλότερος β.α. του στροβίλου ο οποίος εργάζεται με μεταβαλλόμενες χρονικά ιδιότητες καυσαερίου.
 - Αρκετά πολύπλοκο σύστημα αγωγών καυσαερίων.
 - Πιθανότητα προβλημάτων από την ανάκλαση κυμάτων στους αγωγούς καυσαερίων



Σταθερής πίεσης: Χρησιμοποιείται για βαθμούς υπερπλήρωσης $\gamma > 1.8$
 Κρουστική (παλμών): Χρησιμοποιείται για βαθμούς υπερπλήρωσης $\gamma < 1.8$

2.8.3 Υπερπλήρωση 4-Χ κινητήρων

Η υπερπλήρωση 4-Χ κινητήρων είναι σχετικά εύκολο πρόβλημα διότι ελέγχονται και ρυθμίζονται ανεξάρτητα οι χρόνοι ανοίγματος και κλεισίματος των βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής.

Με τη χρήση στροβιλοϋπερπληρωτών επιτυγχάνονται τα εξής περίπου αποτελέσματα:

- Βαθμός πληρώσεως
 $\lambda_L = 0.85 \div 0.95$
- Πίεση υπερπληρώσεως $p_L = 1.5 \div 3.0$ (4.0) bar
- Βαθμός υπερπληρώσεως $\gamma = 1.3 \div 3.6$ bar

2.8.4 Υπερπλήρωση 2-Χ κινητήρων

Η υπερπλήρωση 2-Χ κινητήρων είναι δυσκολότερο πρόβλημα διότι:

- Ο χρόνος που διατίθεται για την αλλαγή μίγματος είναι μικρός (60÷80σ Στρ.)
- Απαιτείται μεγαλύτερη παροχή αέρα για την επίτευξη ικανοποιητικής απόπλυσης
- Η θερμοκρασία των καυσαερίων στην έξοδο του υπερπληρωτή είναι χαμηλότερη λόγω του μεγαλύτερου λόγου αέρα. Τυπικές τιμές:
 - 4-Χ 350÷420 °C
 - 2-Χ 260÷290 °C

Σε μερικά φορτία και στο ξεκίνημα ο συμπιεστής παρέχει πολύ μικρή ποσότητα αέρα. Στις περιπτώσεις αυτές χρησιμοποιείται ανεμιστήρας ο οποίος κινείται από

ηλεκτροκινητήρα (όταν η πίεση υπερπλήρωσης πέσει κάτω από μία ορισμένη τιμή.

Με τη χρήση στροβιλουπερπληρωτών επιτυγχάνονται τα εξής περίπου αποτελέσματα:

- Βαθμός πληρώσεως $\lambda_L=0.8 \div 0.88$
- Πίεση υπερπληρώσεως $p_L=1.4 \div 2.5 \text{ bar}$
- Βαθμός υπερπληρώσεως $Y=1.3 \div 2.3 \text{ bar}$

Η χαρακτηριστική της απαιτούμενης πίεσης υπερπλήρωσης συναρτήσει του φορτίου διαφέρει από τη χαρακτηριστική της παρεχόμενης από τον στροβιλοϋπερπληρωτή πίεσης. Αυτό σημαίνει ότι

- Ένας υπερπληρωτής που έχει σχεδιαστεί ώστε να παρέχει την απαιτούμενη πίεση πληρώσεως στο πλήρες φορτίο (100%) θα παρέχει σημαντικά μικρότερη πίεση από την απαιτούμενη σε μερικό φορτίο (π.χ. 50%).
 - Αν ο σχεδιασμός του υπερπληρωτή είχε γίνει ώστε π.χ. να παρέχει την απαιτούμενη πίεση πληρώσεως στο 50% του φορτίου, τότε θα παρείχε πολύ μεγαλύτερη πίεση από την ζητούμενη στο πλήρες φορτίο (100%)
 - Στην περίπτωση αυτή το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με τη μείωση της παροχής καυσαερίων προς το στρόβιλο ενώ ένα μέρος τους οδηγείται επ'ευθείας στην ατμόσφαιρα
 - Η περίσσεια αυτή της παροχής καυσαερίων στο μέγιστο φορτίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εξής:
- Κίνηση στροβίλου ισχύος που παρέχει μηχανικά την ισχύ του στο στροφαλοφόρο άξονα (ικανοποιητική υπερπλήρωση σε μερικό φορτίο, βελτίωση β.α. του κινητήρα, αύξηση του κόστους εγκατάστασης)
 - Εναλλακτικά κίνηση στροβίλου για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος

2.8.5 Λειτουργία με βαρύ καύσιμο

Κατά τη λειτουργία με βαρύ καύσιμο παρατηρείται αυξημένη ρύπανση και φθορά του κινητήρα. Η ρύπανση οφείλεται:

- Σε στερεά υπολείμματα και επικαθίσεις τους που προκαλούν άρπαγμα των ελατηρίων του εμβόλου, επικαθίσεις στους διασκορπιστές και τις θυρίδες (μείωση της διατομής) επικαθίσεις στα έμβολα και τα χιτώνια.

- Στις μηχανές με έμβολο-διωστήρα, το λάδι του στροφαλοθαλάμου έρχεται σε επαφή με τα κατώτερα μέρη του χιτωνίου και ρυπαίνεται
- Στις μηχανές με βάκτρο, το κάτω τμήμα του εμβόλου είναι απομονωμένο από το στροφαλοθάλαμο και για τη λίπανση του εμβόλου χρησιμοποιείται κυλινδρέλαιο το οποίο καίγεται (καταναλώνεται) στον κύλινδρο.
 - Η φθορά είναι μηχανική και διαβρωτική (χημική):
 - Μηχανική λόγω σωματιδίων που υπάρχουν στο καύσιμο
 - Διαβρωτική λόγω σχηματισμού H_2SO_4 (ψυχρή διάβρωση) και V_2O_5 (θερμή)
- Επηρεάζονται χιτώνια, έμβολα, ελατήρια, βαλβίδες εξαγωγής, αγωγοί και λέβητες καυσαερίων, σιγαστήρες
- Μέτρα προστασίας: Καθαρισμός καυσίμου, απομόνωση στο στροφαλοθάλαμο από θάλαμο καύσης, ενίσχυση (και επιχρωμίωση) ελατηρίων, χιτωνίων, ψύξη εμβόλων, βαλβίδων εξαγωγής (αποφυγή θερμής διάβρωσης)

2.9 Λιπαντικά λάδια κινητήρων Diesel

Σκοπός της χρήσης λαδιών λίπανσης σε κινητήρες είναι η λίπανση, η ψύξη, ο καθαρισμός, και η προστασία από τη διάβρωση των κινούμενων μερών του κινητήρα. Αυτά επιτυγχάνονται με την προσθήκη κατάλληλων ενεργών ουσιών για κάθε σκοπό. Οι ουσίες αυτές:

- Σχηματίζουν επιφανειακό στρώμα στην κρίσιμη περιοχή του πρώτου ελατηρίου του εμβόλου (υψηλές πιέσεις, θερμοκρασίες, χαμηλή ταχύτητα εμβόλου στο ANΣ που δεν ευνοεί υδροδυναμική λίπανση)
- Διαλύουν και καθαρίζουν τα υπολείμματα και επομένως εμποδίζουν τον σχηματισμό τους
 - Ελαττώνουν την εξάρτηση του ιξώδους από τη θερμοκρασία
 - Προ σδίδουν στο λάδι $pH=11$ έτσι ώστε να εξουδετερώνει τα οξέα. Η ικανότητα του λαδιού να εξουδετερώνει τα οξέα χαρακτηρίζεται με τον TBN (Total Base Number, mg KOH ανά gr λαδιού που αντιστοιχεί σε ισοδύναμη ικανότητα όλων των αλκαλίων του λαδιού, 15-80mg KOH/g)

Με τη λειτουργία του κινητήρα μειώνεται ο TBN αλλά εξασθενούν και οι υπόλοιπες ιδιότητες του λαδιού επομένως πρέπει σε τακτά χρονικά διαστήματα το λάδι να αλλάζεται.

2-Χ με βάκτρο και ζύγωμα

- Αλλαγή λαδιού λίπανσης εδράνων μετά από 20000-30000 h
- Συμπλήρωση λαδιού λίπανσης εδράνων 0.75kg/kWa
- Κατανάλωση κυλινδρελαίου 0.8g/kWh

4-Χ με διωστήρα-στρόφαλο

- Αλλαγή λαδιού λίπανσης εδράνων (βαρύ πετρέλαιο) μετά από 4000-10000 h
- Αλλαγή λαδιού λίπανσης εδράνων (MDO) μετά από 4000-10000 h
- Συμπλήρωση λαδιού λίπανσης εδράνων 1.5kg/kWa
Κατανάλωση κυλινδρελαίου (1.3g/kWh για μεγάλους 4-Χ)

Φθορά χιτωνίων

- Βραδύστροφοι: βαρύ πετρέλαιο RMG-35: 0.15mm/1000h
βαρύ πετρέλαιο RME-350.03-0 mm/1000h
πετρέλαιο Diesel:
- Μεσόστροφοι: βαρύ πετρέλαιο RMG-35: 0.01-0.05mm/1000h
πετρέλαιο Diesel:
- Ταχύστροφοι: πετρέλαιο Diesel: 0.008-0.01mm/1000 h
ελαφρύ πετρέλαιο: 0.005-0.006 mm/1000 h

2.10 Επιλογή τύπου κινητήρα Diesel

Μικρά ταχύπλοα σκάφη: 4-X ταχύστροφος κινητήρας

Μικρά εμπορικά πλοία μεσαίας-υψηλής ταχύτητας <3000 kW: 4-X μεσόστροφος κινητήρας

Μεγάλα πλοία μεσαίας ταχύτητας > 10000 kW : 2-X βραδύστροφος κινητήρας

Αμφισβητούμενη περιοχή: 3000 - 10000 kW

Αμφισβητούμενη περιοχή: 3000 - 10000kW

Καύσιμο:

- Ο β.α. του 2-X κινητήρα μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο του 4-X.
- 2-X κινητήρας, βαρύ καύσιμο. 4-X κινητήρας, MDO (50% ακριβότερο. Σε μεγάλες τιμές ισχύος βαρύ καύσιμο ή ενδιάμεσο καύσιμο (5% ακριβότερο)
 - Τυπικές καταναλώσεις: 2-X $B_e=163-190$ g/kWh, 4-X $b_e=177-20$ g/kWh

Κυλινδρέλαιο:

- Μεγάλοι 4-X 1.3 g/kWh
- 2-X 0.8 g/kWh

Μάζα:

- Μεσόστροφος / βραδύστροφο : 2:1. Βάρη παρελκομένων μεγαλύτερα για 4-X λόγω του μειωτήρα

Χώρος:

- Ίδιο μήκος και πλάτος περίπου αλλά πλεονεκτεί ο 4-X στο ύψος (μικρότερη απαίτηση ύψους μηχανοστασίου)

Συντήρηση - αξιοπιστία:

- Μεσόστροφος: Περισσότερους κυλίνδρους και βαλβίδες, μειωτήρα (ίσως συμπλέκτη) επομένως περισσότερα εξαρτήματα για συντήρηση. Μικρότερη αξιοπιστία, μεγαλύτερο χρόνο επισκευών/συντήρησης. Αρχικό κόστος:
 - Ο 4-Χ κινητήρας είναι κατά 5-10% φθηνότερος από τον 2-Χ σε χαμηλές μέσες ισχύεις, ενώ πλησιάζουν οι τιμές τους καθώς πλησιάζουμε την ισχύ των 30000kW

2.11.ΛΟΙΠΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

211.1 Θερμικός Ισολογισμός κινητήρα

Η ενέργεια που περιέχεται στο καύσιμο μετατρέπεται στις εξής μορφές:

- Μηχανική ισχύς πέδης: $n_e=0.48$ (0.45-0.53)
- Θερμική ισχύς καυσαερίων $a=0.26$ (0.22-0.3)
- Θερμική ισχύς ψύξεως $k=0.25$ (0.24-0.30)
- Ισχύς ακτινοβολίας $r=0.01$ (0.005-0.015)
- Σύνολο 1.00

Η κατανομή του k μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι περίπου η εξής:

- Ψύξη χιτωνίων: $k_1=0.30$ k
- Ψύξη εμβόλων: $k_2=0.10$ k
- Λιπαντικό λάδι: $k_3=0.05$ k
- Ψύξη αέρα υπερπλήρωσης: $k_4=0.55$ k

Βραδύστροφοι κινητήρες

	RTA62,R1	RTA62,R1 with	RTA62,R2 with	K80MC-C,L2	L35MC
b_e ,	173	167	159	165	178
n_e	0,487	0,505	0,530	0,511	0,474
a	0,269	0,259	0,245	0,266	0,265
	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

K ₁	0,076	0,076	0,084	0,056	0,070
K ₂ +K ₃	0,038	0,038	0,043	0,032	0,034
k	0,235	0,227	0,216	0,218	0,251

Μεσόστορφοι κινητήρες Diesel

	18V 32D eng Driven pupms	12V ZA40S without eng	PC without eng	2-6L 58/64 eng.	without Driver	D 2866 LE ταχύστροφ.
b _e ,	186	183	190	174		197
n _e	0,453	0,461	0,444	0,484		0,428
a	0,289	0,269	0,323	0,274		0,303
	1,000	1,000	1,000	1,000		1,000
K ₁	0,087	0,091	0,068	0,049		0,0186
K ₂ K ₃	0,044	0,049	0,034	0,044		0,0186
K	0,243	0,260	0,217	0,225		0,221

2.11.2 Σύστημα προσαγωγής αέρα

Οι κινητήρες Diesel αναρροφούν αέρα από τον χώρο του μηχανοστασίου. Η απαιτούμενη παροχή για όλους τους κινητήρες του μηχανοστασίου είναι:

Η παροχή αέρα πρέπει να προσαυξάνεται για την απαγωγή της θερμότητας που οφείλεται στις απώλειες ακτινοβολίας.

Συνήθως

2 ή 3 χ m_L

Ενδεικτική τιμή για βαρύ καύσιμο 20m³/kWh

Αναρροφήσεις με κατάλληλες διατάξεις ώστε να εμποδίζεται η είσοδος του θαλασσινού νερού και φίλτρα για μεγάλα αντικείμενα ή σκόνη (ρύπανση των φίλτρων αέρα των κινητήρων Diesel).

Ο αέρας κατευθύνεται προς τις αναρροφήσεις των κινητήρων και προς σημεία που απαιτούν ψύξη ή αερισμό (π.χ. θέσεις προσωπικού).

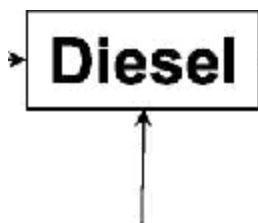
2.11.3 Σύστημα απαγωγής καυσαερίων

Για τον υπολογισμό των διαστάσεων των αγωγών καυσαερίων απαιτούνται δύο στοιχεία, η παροχή και η θερμοκρασία των καυσαερίων. Τα στοιχεία αυτά δίδονται συνήθως ως συνάρτηση του φορτίου από τον κατασκευαστή. Ελλείψει στοιχείων τέτοιων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι παρακάτω σχέσεις:

Η παροχή καυσαερίων:

$$m_k = m_g + m_B$$

Η θερμοκρασία των καυσαερίων στην έξοδο του στροβιλουπερπληρωτή μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση.



$$t_{KD} = t_0 + \frac{H_u a}{\left\{ \left(\frac{\dot{m}_g}{\dot{m}_B} \right) + 1 \right\} c_p}$$

2.11.4 Λέβητας Καυσαερίων

Γενικά

- Εναλλάκτης θερμότητας ο οποίος μεταφέρει μέρος της υπολειπόμενης μετά τον υπερπληρωτή ενέργειας του καυσαερίου σε νερό και υδρατμό.
- Ο παραγόμενος ατμός μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για θερμαντικούς σκοπούς είτε σε στροβιλογεννήτρια για παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος
- Με χρήση στροβιλογεννήτριας είναι πολλές φορές δυνατή η κάλυψη των εν πλω αναγκών του πλοίου σε ηλεκτρική ισχύ κατά την κανονική πορεία.

Περιορισμοί

- Στα προϊόντα καύσης περιέχεται θειικό οξύ του οποίου η θερμοκρασία συμπυκνώσεως είναι 140 °C. Επομένως σκόπιμο είναι η κατώτερη θερμοκρασία στην έξοδο του εναλλάκτη να είναι μεγαλύτερη των 160 °C για να αποφεύγεται η διάβρωση των τμημάτων χαμηλής θερμοκρασίας του λέβητα.
- Σημαντικό στοιχείο αποτελεί η θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων από τον στροβιλουπερπληρωτή. Όσο υψηλότερη, τόσο μεγαλύτερο το ποσοστό της αξιοποιούμενης ενέργειας.

Παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς ως ποσοστό ισχύος καυσίμου

2-X κινητήρας Diesel 1.7-2.7 %

4-X κινητήρας Diesel 3.4-5.0 %

2.11.5. Συστήματα ψύξεως

Η Ψύξη των κινητήρων Diesel είναι απαραίτητη για τους παρακάτω λόγους:

- Μείωση της θερμοκρασίας των διαφόρων μερών του κινητήρα, ώστε οι αναπτυσσόμενες τάσεις να μην ξεπερνούν τις επιτρεπόμενες για κάθε υλικό
- Διατήρηση κατά το δυνατόν ομοιόμορφης διανομής θερμοκρασιών ώστε να μειώνονται οι θερμικές τάσεις
- Περιορισμός των θερμοκρασιών ώστε να αποφεύγεται η ψυχρή και θερμή διάβρωση
- Περιορισμός της επιφανειακής θερμοκρασίας των λιπαινόμενων μερών που

ολισθαίνουν το ένα πάνω στο άλλο ώστε να μη μειώνεται πολύ το ιξώδες του εργαζόμενου λιπαντικού

- Επίτευξη καλύτερου βαθμού πληρώσεως με ψύξη και αύξηση της πυκνότητας του αέρα πληρώσεως

Τα είδη συστημάτων ψύξεως αναφέρονται ως:

Ψύξη χιτωνίων

Ψύξη εμβόλων

Ψύξη ελαίου λιπάνσεως

Ψύξη αέρα υπερπλήρωσης

Ιδιότητα	Μονάδες	Γλυκό νερό	Λάδι	Αέρας
ν	$10^{-6} \cdot \text{m}^2 / \text{s}$	0,36 ÷ 1,79	20 ÷ 150	10 ÷ 25
λ	W/mk	0,55 ÷ 0,67	0,12 ÷ 0,15	0,23 ÷ 0,41
ρ	Kg/m ³	1000	800 ÷ 900	0,9 ÷ 1,25
c_p	kJ/kg K	4,19	1,67	1,05
w	m/s	1 + 5	1 + 3	15 ÷ 30
α	W/m ² K	3500 ÷ 11600	230 ÷ 1160	36 ÷ 42
Ιδιότητα	Μονάδες	Θαλασ. Νερό	Πέτρ. Diesel	Βαρύ Πετρέλ
ν	$10^{-6} \cdot \text{m}^2 / \text{s}$	1,05 ÷ 1,84	35 (38°C)	3.500 (38°C)
λ	W/mk	0,613	0,14	0,14
ρ	Kg/m ³	1025	875	927
c_p	kJ/kg K	3,9	2,1	1,9

w	m/s	7,73 (15kn)	Φυς. Κυκλοφ.	Φυς. Κυκλοφ
α	W/m ² K	10500	40 ÷ 50	8 ÷ 12

2.11.6 Ρύποι από κινητήρες Diesel

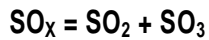
Μονοξείδιο του άνθρακα (CO) - Υδρογονάνθρακες (HC)

- Προϊόντα ατελούς καύσης - πυρόλυσης λόγω μη πλήρους ομογενοποίησης του μείγματος στον θάλαμο καύσης (Θύλακες πτωχού και πλουσίου μείγματος)
- Χαμηλά φορτία => Ελαφρείς HC (μεθάνιο, φορμαλδεύδη κλπ)
- Υψηλά φορτία => CO, Βαρείς HC (PAH, PAN, φουράνια, διοξίνες)

Δημιουργία NO_x

- **NO_x = NO + NO₂**
 - Κύριος μηχανισμός σχηματισμού NO_x σε κινητήρες Diesel
- $$N_2 + O \rightarrow NO + N \quad (1)$$
- $$N + O_2 \rightarrow NO + O \quad (2)$$
- $$N + OH \rightarrow NO + H \quad (3)$$
- NO₂ προϊόν περαιτέρω οξείδωσης του NO
 - Παράγοντες που επιδρούν θετικά στον σχηματισμό NO_x
 - Υψηλή θερμοκρασία (μεγάλη ενέργεια ενεργοποίησης ενδόθερμης αντίδρασης)
 - Στοιχειομετρία
 - Χρονική κλίμακα καύσης (διαθέσιμος χρόνος)

Οξειδία του Θείου (SO_x)



Αναλογία $[SO_3]/[SO_2] \sim 0.05$ αναλόγως πίεσης, θερμοκρασίας και περιεκτικότητας καυσαερίου σε θείο

Εμπειρικές σχέσεις υπολογισμού εκπομπής οξειδίων θείου από μηχανές Diesel

$$SO_2 \text{ (kg/to}^n\text{)} = 21 \text{ S(\% κ.β.)}$$

αργόστροφες

$$SO_2 \text{ (kg/ton)} = 21.9 \text{ S(\% κ.β.)} \cdot 2.1$$

μεσόστροφες

Σωματίδια (Particulate Matter, PM)

- Μείγμα οργανικών και ανοργάνων χημικών ενώσεων, ευρισκόμενες σε μορφή σωματιδίων (στερεή κατάσταση)
 - Αιθάλη (άμορφος άνθρακας - soot)
 - Τέφρα (ανόργανες ουσίες, κατάλοιπα καύσεως - ash)
 - Οργανικές ενώσεις (σε στερεά μορφή)
- Διαχωρισμός βάσει μέσου μεγέθους σωματιδίων (PM_{2.5}, PM₁₀, κλπ)

Παραγωγή καυσαερίων ανά τόνο καυσίμου

Ρύπος	Παραγώμενη ποσότητα ανά τόνο	Παρατηρήσεις
CO ₂	3.15 τόνοι	Ναυτιλία : 450x10 ⁶ τόνοι ετησίως
CO	7.4 kg	
No _x	60-90 kg	5x10 ⁶ τόνοι ετησίως, 7%
So _x	50 kg	4.5-6.5 x10 ⁶ τόνοι ετησίως, 4%
PAH, PAN	2.4 kg	
PM	7.6 kg	

Βλαβερές ιδιότητες ρύπων

Ρύπος	Περιβαλλοντική επίπτωση
-------	-------------------------

CO	Τοξικό αέριο, Δηλητήριο
NO_x	Τοξικό αέριο, Φωτοχημικό νέφος, Όξινη βροχή, Αναπνευστικά
SO_x	Όξινη βροχή, Αναπνευστικά προβλήματα
PAH, P AN	Καρκινογένεση
PM	Αναπνευστικά - Καρδιακά προβλήματα
CO₂	Φαινόμενο Θερμοκηπίου

- **Βιοσυσσώρευση (bioaccumulation)**
Η συσσώρευση χημικών ουσιών στα κύτταρα ή τους ιστούς ενός οργανισμού.
- **Βιολογική μεγέθυνση (bioamplification ή biomagnification):**
Η διαδικασία κατά την οποία τοξικές ουσίες μεταφέρονται μεταξύ οργανισμών μέσω της τροφικής αλυσίδας



SO_x

- Χρησιμοποίηση καυσίμου με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο.
- Αρκετά υψηλό κόστος σε περίπτωση δέσμευσης SO_x στα καυσαέρια με νερό

NO_x (μείωση μέγιστης θερμοκρασίας και διάρκειάς της)

- Χαμηλότερη θερμοκρασία εισόδου του αέρα καύσης (καλύτερη ψύξη).
- Μεγαλύτερη περίσσεια αέρα
- Χαμηλότερος ρυθμός εκτόξευσης καυσίμου
- Καύσιμο με μικρότερη καθυστέρηση ανάφλεξης

- Μικρότερος βαθμός συμπίεσης
- Νερό εκτοξευόμενο στο θάλαμο καύσης
- Σκοπός: Μείωση NO_x χωρίς αύξηση ειδικής κατανάλωσης, αύξηση άλλων ρύπων.

NO_x

Επιλεκτική καταλυτική αναγωγή

- Ανάμιξη καυσαερίων με αμμωνία και θέρμανση για παραγωγή N₂ και H₂O
- $4\text{NO} + 4\text{NH}_3 + \text{O}_2 \rightarrow 4\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$
- Κόστος το μισό ενός μεσόστροφου κινητήρα 7000
- Όγκος
- Κατανάλωση αμμωνίας 7 gr/BHP_h

Επιλεκτική καταλυτική αναγωγή με χρήση ουρίας

- Με θέρμανση η ουρία παράγει αέριο αμμωνία
- Ισοδύναμη αύξηση ειδικής κατανάλωσης 2-4%
- Κόστος εγκατάστασης 100\$/kW

CO, HC, PM

Συνδυασμός οξειδωτικού καταλύτη - φίλτρου.

Επιτυχία ρεαλιστικού συστήματος:

- **NO_x 10%**
- **HC 10%**
- **CO 10%**

- **PM 80%**

Για κινητήρα 10000 kW, κόστος 1.000.000\$ όγκος 45 m³

3. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αντωνίου. Α, «Μελέτη πλοίου», 2^η έκδοση, Εκδόσεις Σελλούντος, Αθήνα, 1984
2. Λουκάκης. Θ, Πέρας. Π., «Υδροστατική και ευστάθεια πλοίου», εκδόσεις Σελλούντος, Αθήνα 1987.
3. Φραγκούλης. Β, «Τεχνική του πλοίου –Ναυπηγεία» Τόμος Α, Εκδόσεις Φραγκούλης, Αθήνα 1966.
4. Strohbusch, E., «Entwerfen von Schiffen I-IV», Πανεπιστημιακές σημειώσεις ,(γερμανικά), Techn. Univ. Berlin , 1971.
5. Taggart ,R.(ed), «Ship design and construction» ,(αγγλικά) ,SNAME Publ ,New York , 1980.
6. Schneekluth, H, «Entwerfen von Schiffen» (γερμανικά), 3.Aulf. ,Koehler Verl .,Herford ,1985.
7. «Στοιχεία Θερμικών μηχανών» - Παναγώτη Δ. Σπαρή
8. «Ναυτικές Μηχανές» - Ι.Π. Ιωαννίδη
9. «Βασικές Αρχές Πρόωσης» - Ε.Μ.Π.
10. «Ναυτικές Μηχανές» - Χρήστος Αθ. Φραγκόπουλος
11. «Εγκαταστάσεις Πρόωσης» - Ι.Π. Ιωαννίδη
12. «Μέθοδος προμελέτης ναυτικών συστημάτων με κινητήρες Diesel»

