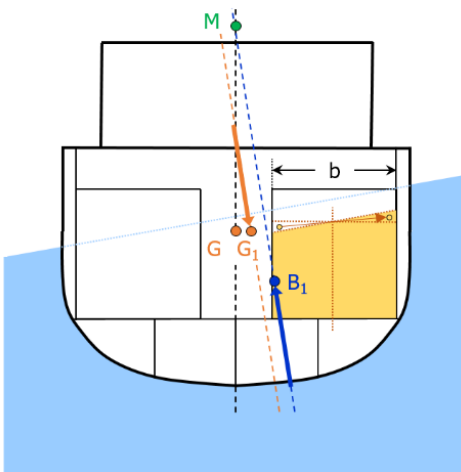


Η επίδραση των ελεύθερων επιφανειών των υγρών στην ευστάθεια ενός πλοίου

Όταν μία δεξαμενή πετρελαίου, ποσίμου νερού, ballast, ή μεταφοράς κάποιου άλλου υγρού δεν είναι τελείως γεμάτη ή τελείως άδεια δημιουργείται ελεύθερη επιφάνεια, η οποία λαμβάνει την ίδια κλίση με το πλοίο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ακούσια μεταφορά βάρους, η οποία μειώνει την ευστάθεια του πλοίου. Στην συνέχεια θα αναλύσουμε το φαινόμενο και θα δώσουμε έναν τύπο υπολογισμού της μεταβολής του μετακεντρικού ύψους λόγω της ύπαρξης ελεύθερων επιφανειών σε ένα πλοίο.

1. Μοντελοποίηση της μετακίνησης βάρους λόγω ελεύθερων επιφανειών ως φαινομενική ανύψωση.



Σχήμα 1. Η ύπαρξη ελεύθερων επιφανειών υγρών σε δεξαμενές ενός πλοίου προκαλεί μία ακούσια μετακίνηση βάρους κάθε φορά που το πλοίο λαμβάνει κλίσεις.

Αν σε μία δεξαμενή ενός πλοίου υπάρχει υγρό ειδικού βάρους γ_{tank} σε ένα ύψος όπου η δεξαμενή δεν είναι τελείως γεμάτη ούτε τελείως άδεια και το πλοίο λάβει εγκάρσια κλίση φ , τότε η ελεύθερη επιφάνεια του υγρού στη δεξαμενή θα λάβει την ίδια κλίση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μία ακούσια μετακίνηση υγρού (δηλαδή βάρους), η οποία μετακινεί αντίστοιχα το κέντρο βάρους του πλοίου. Αν υποθέσουμε –χωρίς απώλεια της γενικότητας– ότι η δεξαμενή είναι ορθογώνια με πλάτος b και μήκος l , τότε το βάρους του υγρού που μετακινείται είναι:

$$w = \gamma_{tank} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{b}{2} \cdot \frac{b}{2} \cdot \tan\varphi \cdot l \right)$$

και η οριζόντια απόσταση της μετακίνησής του (απόσταση των κέντρων των τριγώνων) είναι:

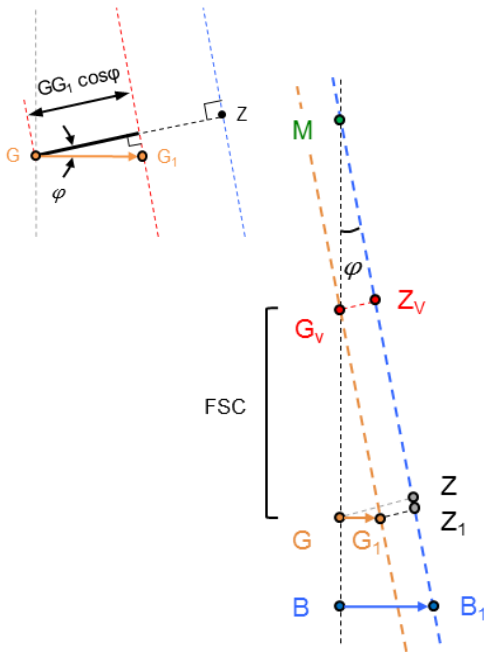
$$d = 2 \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{b}{2} = \frac{2b}{3}$$

Με βάση όσα γνωρίζουμε από τις μετακινήσεις βαρών, το κέντρο βάρους του πλοίου θα μετακινηθεί οριζόντια κατά

$$\overline{GG_1} = \frac{w \cdot d}{\Delta}$$

Σημείωση

Στην πραγματικότητα το κέντρο βάρους του υγρού στη δεξαμενή –άρα και το κέντρο βάρους του πλοίου– θα μετακινηθεί και προς τα πάνω. Όμως, η κατακόρυφη μετακίνηση του κέντρου βάρους του πλοίου είναι συνάρτηση του $\tan^2\varphi$, δηλαδή πολύ μικρή σε σχέση με την οριζόντια μετακίνηση και αγνοείται.



Σχήμα 2. Η επίδραση της ελεύθερης επιφάνειας του υγρού σε μία δεξαμενή μπορεί να μοντελοποιηθεί ως ανύψωση του κέντρου βάρους του πλοίου.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, λόγω της μετακίνησης του υγρού μέσα στη δεξαμενή ο μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου όταν αυτό έχει λάβει γωνία εγκάρσιας κλίσης φ θα μειωθεί:

$$\overline{G_1 Z_1} = \overline{G Z} - \overline{G G_1} \cdot \cos \varphi$$

Αντίστοιχα θα μειωθεί και η ροπή επαναφοράς του πλοίου:

$$M_R = \Delta \cdot \overline{G_1 Z_1}$$

Μαθηματικά, η οριζόντια μετακίνηση του κέντρου βάρους του πλοίου ισοδύναμη με την ανύψωση του κέντρου βάρους στο σημείο G_V αφού είναι $\overline{G_1 Z_1} = \overline{G_V Z_V}$. Η απόσταση $\overline{G G_V}$, η οποία συχνά αναφέρεται ως **FSC** (free surface coefficient), ονομάζεται **φαινομενική ανύψωση του κέντρου βάρους λόγω της ύπαρξης ελεύθερων επιφανειών** και αποδεικνύεται ότι δίνεται από την σχέση:

$$FSC = \frac{\gamma_{tank} \cdot i_{tank}}{\Delta}$$

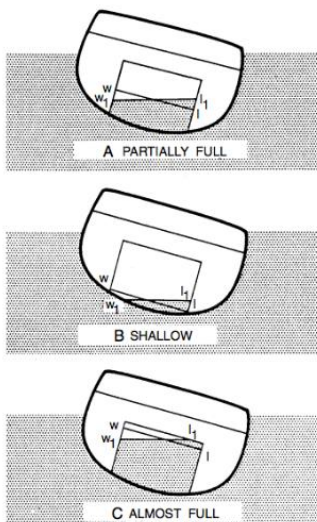
όπου:

γ_{tank} είναι το ειδικό βάρος του υγρού στη δεξαμενή

i_{tank} είναι η ροπή αδρανείας της επιφάνειας του υγρού της δεξαμενής ως προς τον άξονα περιστροφής της και

Δ είναι το εκτόπισμα βάρους του πλοίου.

2. Παρατηρήσεις σχετικά με το φαινόμενο των ελεύθερων επιφανειών



Σχήμα 3. Όταν η στάθμη του υγρού σε μία δεξαμενή είναι πολύ ψηλά ή πολύ χαμηλά το φαινόμενο των ελεύθερων επιφανειών περιορίζεται. Πηγή: Th. Gillmer, Br. Johnson, *Introduction to Naval Architecture*, E. & F.N. Spon Ltd, 1982.

1 Ο υπολογισμός του FSC , και κατά συνέπεια η επίδραση των ελεύθερων επιφανειών στην ευστάθεια, είναι ανεξάρτητος από τη θέση της δεξαμενής στο πλοίο και από την ποσότητα του υγρού. Μοναδική προϋπόθεση είναι όταν το υγρό λαμβάνει κλίσεις να μην έρχεται σε επαφή με τον πυθμένα ή το άνω έλασμα της δεξαμενής.

2 Στις περιπτώσεις όπου η στάθμη του υγρού στην δεξαμενή είναι πολύ υψηλή ή πολύ χαμηλή και το υγρό έρχεται σε επαφή με τον πυθμένα ή το άνω έλασμα της δεξαμενής (rocketing), τότε περιορίζεται η μείωση της ευστάθειας του πλοίου από την ελεύθερη επιφάνεια.

3 Η παρουσία περισσότερων της μιας ελεύθερων επιφανειών επιδρά αθροιστικά στον υπολογισμό του FSC και κατ' επέκταση στην μείωση της ευστάθειας. Δηλαδή, είναι:

$$FSC = \sum \frac{\gamma_{tank} \cdot i_{tank}}{\Delta}$$

- 4 Αν δύο δεξαμενές με ελεύθερες επιφάνειες συνδεθούν μεταξύ τους μέσω επιστομίου, τότε δρουν ως μία ενιαία δεξαμενή και το FSC είναι πολύ μεγαλύτερο από την περίπτωση που το επιστόμιο που τις συνδέει είναι κλειστό και δρουν η καθεμία ξεχωριστά.

Εφαρμογή

Αν χωρίσουμε μία ορθογώνια δεξαμενή μήκους l και πλάτους b στη μέση διαμορφώνοντας δύο δεξαμενές πλάτους $b/2$, πόσο θα μεταβληθεί το FSC του πλοίου όταν λαμβάνει εγκάρσιες κλίσεις, θεωρώντας ότι το εκτόπισμά του παραμένει σταθερό;

Λύση

Στην περίπτωση της μίας δεξαμενής πλάτους b ο συντελεστής FSC είναι:

$$FSC_1 = \frac{\gamma_{tank} \cdot i_{tank(1)}}{\Delta} = \frac{\gamma_{tank}}{\Delta} \cdot \frac{l \cdot b^2}{12}$$

Αντίστοιχα, στην περίπτωση των δύο δεξαμενών πλάτους $b/2$ ο συντελεστής FSC είναι:

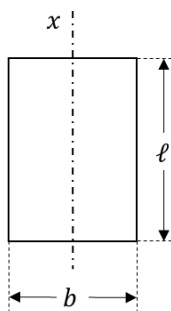
$$FSC_2 = \frac{\gamma_{tank} \cdot i_{tank(2)}}{\Delta} + \frac{\gamma_{tank} \cdot i_{tank(2)}}{\Delta} = 2 \cdot \frac{\gamma_{tank} \cdot i_{tank(2)}}{\Delta}$$

$$FSC_2 = 2 \cdot \frac{\gamma_{tank}}{\Delta} \cdot \frac{l \cdot \left(\frac{b}{2}\right)^2}{12} = 2 \cdot \frac{\gamma_{tank}}{\Delta} \cdot \frac{l \cdot \frac{b^2}{4}}{12} = \frac{2}{4} \cdot \frac{\gamma_{tank}}{\Delta} \cdot \frac{l \cdot b^2}{12}$$

$$FSC_2 = \frac{1}{2} \cdot FSC_1$$

Δηλαδή, στην περίπτωση των δύο δεξαμενών το FSC είναι το μισό σε σχέση με την περίπτωση της μιας δεξαμενής.

Δοκιμάστε μόνοι τις περιπτώσεις των τριών (πλάτους $b/3$ η κάθε μία) ή/και των τεσσάρων (πλάτους $b/4$ η κάθε μία) δεξαμενών.



$$I_x = \frac{\ell \cdot b^2}{12}$$

Σχήμα 4. Ο τύπος υπολογισμού της ροπής αδρανείας ορθογωνίου που περιστρέφεται γύρω από τον άξονα x .