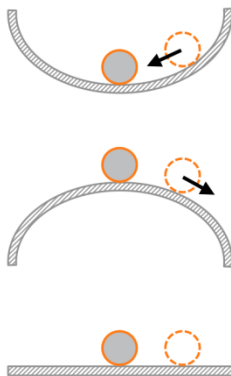


Ισορροπία πλοίου στη θάλασσα

Πρώτο μέρος: Το βάρος στη ναυπηγία

Στην παρούσα διάλεξη παρουσιάζεται η έννοια της ευστάθειας στην περίπτωση των πλοίων, καθώς και η έννοια της ισορροπίας ως προϋπόθεση αυτής. Στην συνέχεια αναλύεται η έννοια του βάρους και του κέντρου βάρους στα πλοία μέσω του μοντέλου της σημειακής φόρτισης που χρησιμοποιείται στην ευστάθεια.

1. Ευστάθεια συστημάτων



Σχήμα 1. Οι τρεις περιπτώσεις ισορροπίας στην περίπτωση ενός μηχανικού συστήματος.

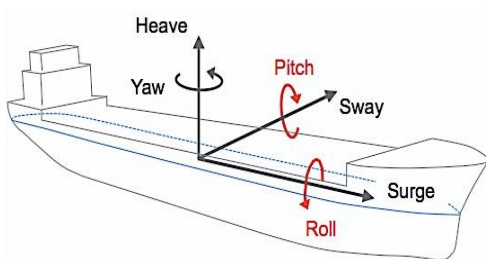
Ένα σύστημα που ισορροπεί σε μία συγκεκριμένη κατάσταση ευσταθεί, όταν μετά από μικρή εκτροπή του από την κατάσταση ισορροπίας του, αυτό επανέρχεται σε αυτή.

Κάθε σύστημα μπορεί να βρίσκεται σε τρεις καταστάσεις ως προς την ευστάθειά του (βλ. σχήμα 1):

Θετική ευστάθεια: συστήματα που μετά από εκτροπή τους από τη θέση ισορροπίας επανέρχονται σε αυτή.

Αρνητική ευστάθεια: συστήματα που μετά από εκτροπή τους από τη θέση ισορροπίας τους, αυτά δεν επανέρχονται σε αυτή.

Ουδέτερη ευστάθεια: συστήματα που μετά από εκτροπή τους από τη θέση ισορροπίας τους, αυτά ισορροπούν σε μία νέα θέση.



Σχήμα 2. Οι έξι βαθμοί ελευθερίας κάθε πλοίου στη θάλασσα. Οι κινήσεις του roll και του pitch είναι οι πιο σημαντικές για την ευστάθειά του.

Τα πλοία είναι από τα πλέον πολύπλοκα δυναμικά συστήματα αφού έχουν 6 βαθμούς ελευθερίας, δηλαδή κάθε κίνησή τους αναλύεται σε 6 ανεξάρτητες μεταβλητές: 3 μετακινήσεις και 3 περιστροφές (βλ. σχήμα 2).

Οι πιο κρίσιμες κινήσεις κάθε πλοίου, για τις οποίες θα εξεταστεί η ευστάθεια με περισσότερη προσοχή, είναι:

- α. ο διατοιχισμός (roll) [εγκάρσια ευστάθεια]
- β. ο προνευτασμός (pitch) [διαμήκης ευστάθεια]

Η ευστάθεια ενός πλοίου επηρεάζει:

- α. την επιχειρησιακή του ικανότητα
- β. την επιβιωσιμότητά του
- γ. την δυνατότητα εργασίας του προσωπικού
- δ. την ασφάλεια του υλικού

και για αυτό αποτελεί έναν από τους βασικούς σταθμούς (φάσεις) κατά τη σχεδιάσή του.

2. Οι δυνάμεις σε πλοίο που ισορροπεί σε ήρεμη θάλασσα.

Για να εξεταστεί η ευστάθεια ενός πλοίου πρέπει να έχει εξασφαλιστεί η ισορροπία του. Δηλαδή, πρέπει:

η συνισταμένη των δυνάμεων να είναι μηδέν $\sum \vec{F} = 0$
και η συνισταμένη των ροπών να είναι μηδέν $\sum \vec{M} = 0$.

Ποιες είναι οι δυνάμεις που δέχεται ένα πλοίο;

	Βάρος	Άντωση
Πού οφείλεται;	Δύναμη πεδιακή (οφείλεται στο βαρυτικό πεδίο της Γης.	Δύναμη πίεσης (οφείλεται στην πίεση του περιβάλλοντος υγρού.
Από τι εξαρτάται;	Από τη μάζα του σώματος.	Από το υγρό και τον βυθισμένο σε αυτό όγκο του σώματος.
Πώς υπολογίζεται;	$W = m \cdot g$	$F_B = \int_A p \cdot dA \quad (= \rho \cdot g \cdot V)$
Πού εφαρμόζεται;	Στο κέντρο βάρους (G)	Στο κέντρο άντωσης (B)

ΠΡΟΣΟΧΗ

Το βάρος και η άντωση είναι κατανεμημένες φορτίσεις. Όμως, σε ό,τι αφορά τη μελέτη της ευστάθειας πλοίου, το απλούστερο μοντέλο των σημειακών φορτίσεων για τις δυνάμεις αυτές δίνει αξιόπιστα/ικανοποιητικά αποτελέσματα.

3. Το βάρος στη ναυπηγία

Συνολικό Βάρος = Μόνιμο Βάρος + Πρόσθετο Βάρος

Μόνιμο βάρος (Light Ship Displacement)

- Μεταλλική κατασκευή (Steel weight)
- Ενδιαιτήσεις και εξοπλισμός πλοίου (Outfit weight)
- Προωστήριο σκεύος και μηχανολογικά εξαρτήματα (Machinery weight)
- Weight margin

Πρόσθετο βάρος (Dead Weight)

- Ωφέλιμο φορτίο (Payload)
- Καύσιμα και λιπαντικά (Fuel weight)
- Εφόδια και πόσιμο νερό (Provision weight)
- Επιβάτες και αποσκευές (Crew weight)
- Μη μόνιμο έρμα (Ballast water)

Μονάδες μέτρησης

Metric Ton: 1 [MT] = 9806,7 [N]

Long Ton: 1 [LT] = 2240 [lbf] = 1,016 [MT]

Κέντρο Βάρους (G)

είναι το σημείο ως προς το οποίο η συνισταμένη των ροπών όλων των βαρών του πλοίου είναι μηδέν.

Το κέντρο βάρους είναι ένα θεωρητικό/μαθηματικό σημείο που χρησιμοποιείται για τη μαθηματική μοντελοποίηση της συμπεριφοράς των πλοίων και όχι ένα υλικό σημείο. Στην περίπτωση ομογενών σωμάτων (δηλαδή σωμάτων με σταθερή πυκνότητα σε όλο τον όγκο τους), το κέντρο βάρους ταυτίζεται με το γεωμετρικό κέντρο του σώματος. Σε πιο πολύπλοκες περιπτώσεις, ο υπολογισμός της θέσης του γίνεται βασιζόμενοι στο θεώρημα των ροπών:

$$x_G \cdot \sum_i W_i = \sum_i x_i \cdot W_i \Rightarrow x_G = \frac{\sum x_i \cdot W_i}{\sum W_i}$$

όπου:

W_i τα επιμέρους βάρη που αποτελούν ένα πλοίο

x_i η θέση κάθε βάρους W_i ως προς έναν άξονα αναφοράς (π.χ. κατακόρυφη θέση ως προς την τρόπιδα)

Η συνήθης πρακτική είναι ο καθορισμός της θέσης του κέντρου βάρους κάθε πλοίου πειραματικά (πείραμα ευστάθειας) σε συγκεκριμένη κατάσταση φόρτωσης και ο υπολογισμός της μετακίνησης του κέντρου βάρους ανάλογα με τη μεταβολή των φορτίων στο πλοίο.

ΠΡΟΣΟΧΗ

Κάθε φορά που αλλάζει η κατανομή βαρών σε ένα πλοίο, μεταβάλλεται η θέση του κέντρου βάρους του πλοίου.

Γρήγοροι μνημονικοί κανόνες σχετικά με τη μετακίνηση του κέντρου βάρους:

Όταν σε ένα πλοίο:

- προστίθεται βάρος,

το κέντρο βάρους του πλοίου μετακινείται προς την κατεύθυνση της προσθήκης βάρους.

- αφαιρείται βάρος,

το κέντρο βάρους του πλοίου μετακινείται αντίθετα από την κατεύθυνση αφαίρεσης του βάρους.

- μετακινείται βάρος,

το κέντρο βάρους του πλοίου κινείται παράλληλα με την μετακίνηση του βάρους.