

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13

13 ΑΡΧΙΚΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όπως είναι γνωστό, στο πλοίο,

όπως και σε κάθε αντικείμενο που επιπλέει στην επιφάνεια του νερού, ασκούνται δύο ίσες και αντίθετες δυνάμεις.

Το βάρος τον και η άντωση.

Η ισορροπία αυτών των δύο δυνάμεων είναι απαραίτητη προϋπόθεση για να επιπλέει το πλοίο, δεν εξασφαλίζει, όμως, την ευστάθειά τον.

Τονίζεται ότι οι δύο αυτές δυνάμεις είναι ίσες και αντίθετες,

τόσο στην περίπτωση ενός σκάφους που επιπλέει όρθιο όσο και ενός σκάφους που έχει ανατραπεί.

ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ

Με τον όρο "ισορροπία" εννοούμε ότι
η συνισταμένη των δυνάμεων και ροπών
που ασκούνται σε ένα στερεό σώμα είναι μηδενική.
Στο πλοίο που επιπλέει, ασκούνται δύο ίσες, κατακόρυφες και
αντίθετες δυνάμεις,
το βάρος και η άντωση.

Το βάρος W ασκείται στο κέντρο βάρους G με φορά προς τα κάτω και υπολογίζεται όπως είδαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Η άντωση A είναι η συνισταμένη όλων των υδροστατικών δυνάμεων που ασκούνται στο πλοίο από το νερό και ασκείται στο κέντρο άντωσης B , με φορά προς τα πάνω.

Οι υδροστατικές αυτές δυνάμεις είναι ουσιαστικά μοιρασμένες σε όλα τα ύφαλα του πλοίου, αλλά υποθέτουμε ότι η συνισταμένη τους A ενεργεί σε ένα σημείο B , που ταυτίζεται με το γεωμετρικό κέντρο του βυθισμένου μέρους του πλοίου.

Ας θεωρήσουμε ένα βυθισμένο σώμα,
όπου το βάρος και ή άντωση είναι ίσες και αντίθετες.
Σε αυτή την περίπτωση, το κέντρο βάρους και το κέντρο άντωσης
δεν μεταβάλλονται από τις κινήσεις του σώματος μέσα στο νερό.

Υπάρχουν τότε τρεις περιπτώσεις:

1) το κέντρο βάρους και κέντρο άντωσης να συμπίπτουν.

Σε αυτήν την περίπτωση, οι δύο δυνάμεις δεν δημιουργούν ροπή, γιατί ασκούνται στο ίδιο σημείο.

Η ισορροπία λέγεται αδιάφορη, γιατί, σε οποιαδήποτε θέση ή εγκάρσια κλίση βρεθεί το σώμα, δεν δημιουργείται ροπή. . (σχ. 13.1α)

2) το κέντρο βάρους να είναι ψηλότερα από το κέντρο άντωσης.

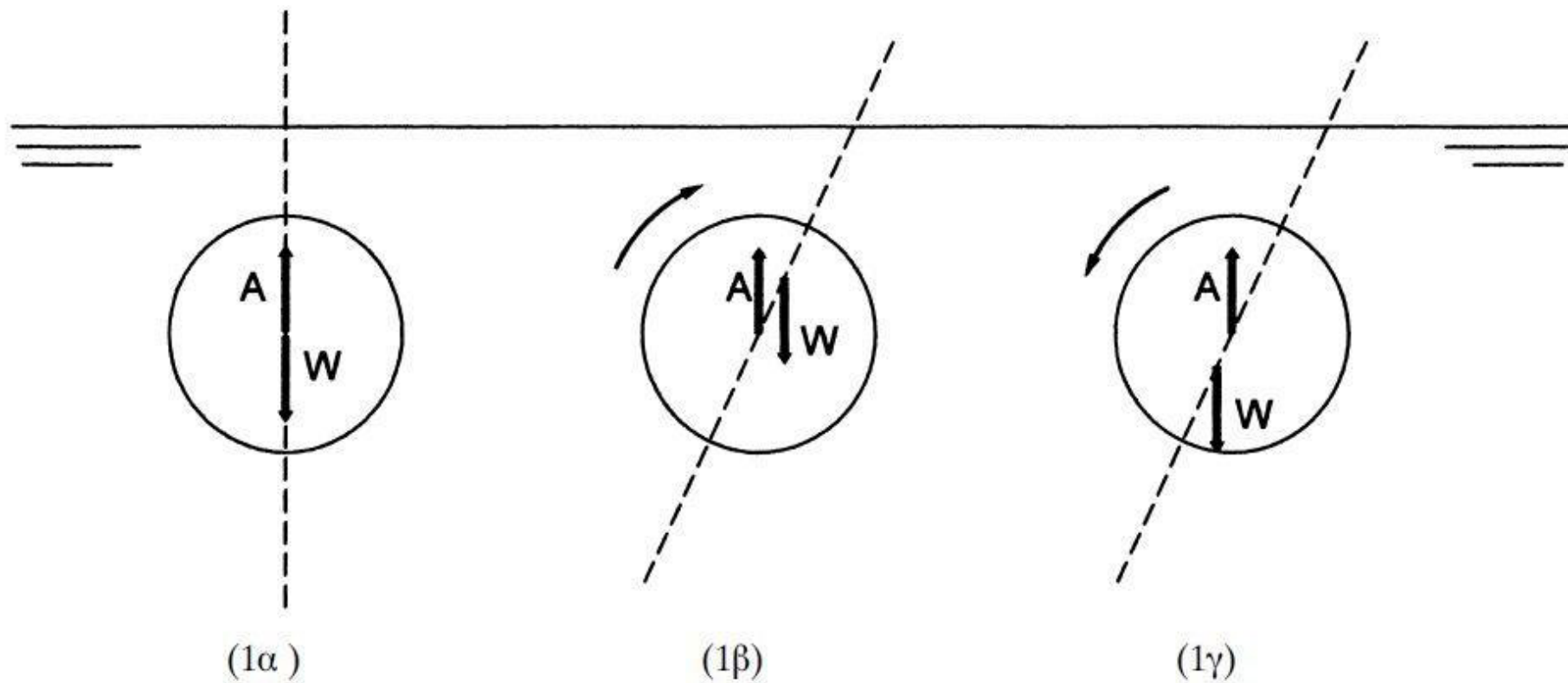
Σε αυτήν την περίπτωση,

μικρή εγκάρσια κλίση του σώματος δημιουργεί ροπή ανατροπής
και η ισορροπία λέγεται ασταθής. (σχ. 13.1β)

3) το κέντρο βάρους να είναι χαμηλότερα από το κέντρο άντωσης.

Σε αυτήν την περίπτωση,

μικρή εγκάρσια κλίση δημιουργεί ροπή επαναφοράς στην αρχική θέση και η ισορροπία λέγεται ευσταθής. (σχ. 13.1γ)



Σχ. 13.1 Καταστάσεις ισορροπίας βυθισμένου σώματος

Στην περίπτωση ενός πλοίου που επιπλέει,

η κατάσταση είναι διαφορετική.

Συνήθως, το κέντρο βάρους είναι ψηλότερα από το κέντρο άντωσης.
(σχ. 13.2α)

Είναι σπάνιες οι περιπτώσεις,

όπως στα ιστιοπλοϊκά σκάφη με την βαριά καρίνα,

όπου το κέντρο βάρους είναι κάτω από το κέντρο άντωσης.

Οι εξωτερικές δυνάμεις που μπορεί να ασκηθούν σε ένα πλοίο

είναι πολλές και διαφόρων ειδών,
όπως η επίδραση ανέμου ή κύματος,
η φορτοεκφόρτωση,
η στροφή,
η προσάραξη,
η ρυμούλκηση,
η πρόσδεση κλπ.

Επίσης, υπάρχουν και εσωτερικές δυνάμεις,

όπως η μετατόπιση φορτίου,

έρματος,

επιβατών κλπ.,

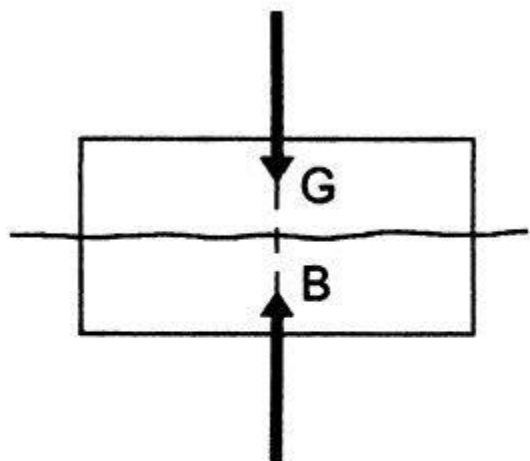
που επίσης προκαλούν κλίση στο πλοίο.

Ας θεωρήσουμε μία εξωτερική δύναμη

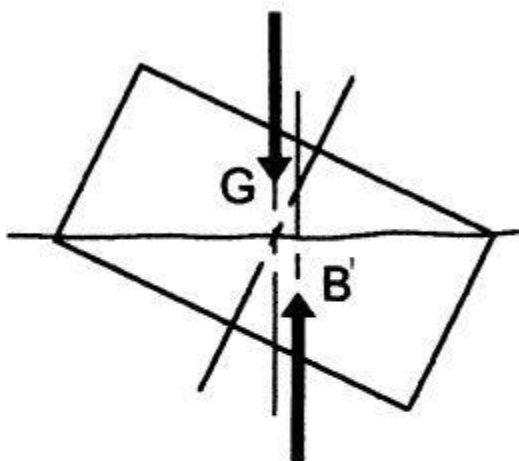
που προκαλεί κλίση στο πλοίο (σχ. 13.2β)

Το σχήμα του βυθισμένου τμήματος του πλοίου αλλάζει
γιατί μία τριγωνική σφήνα βυθίζεται
και μία τριγωνική σφήνα αναδύεται.

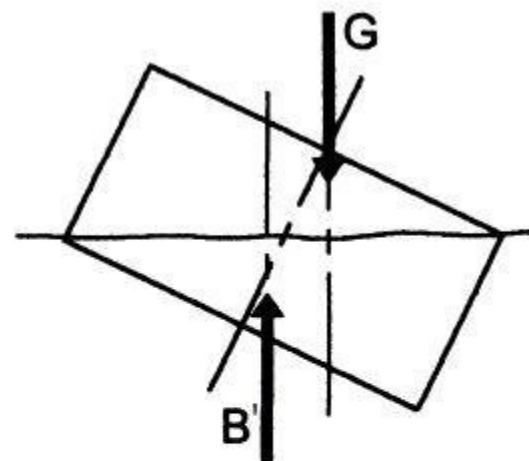
Το κέντρο άντωσης, όπως είναι φυσικό,
μετατοπίζεται προς την πλευρά της κλίσης στην νέα θέση Β'.
Το κέντρο βάρους παραμένει σταθερό,
γιατί θεωρούμε ότι δεν έγινε μετατόπιση βαρών.



(2α)



(2β)



(2γ)

Σχ. 13.2 Καταστάσεις ισορροπίας σώματος που επιπλέει

αν το κέντρο άντωσης δεν μετακινούταν
και παρέμενε στην αρχική του θέση,
θα είχαμε ασταθή ισορροπία,
όπως στην περίπτωση του βυθισμένου σώματος,
και το πλοίο θα ανατρεπόταν.

Στην νέα θέση,

το βάρος και η άντωση δεν είναι στην ίδια κατακόρυφο
και, κατά συνέπεια, δημιουργείται μία ροπή
μέχρι να βρεθούν στην ίδια κατακόρυφο.

Το ζεύγος των δύο δυνάμεων είναι δυνατό
να προκαλέσει **ροπή επαναφοράς**,

οπότε η ισορροπία λέγεται **ευσταθής** (σχ. 13.2β)

ή ροπή ανατροπής, οπότε η ισορροπία λέγεται **ασταθής** (σχ. 13.2γ).

Αδιάφορη ισορροπία είναι σπάνιο να υπάρξει,
γιατί το κέντρο βάρους και άντωσης
δεν συμπίπτουν
παρά μόνο περιστασιακά και κατά σύμπτωση.

ΜΕΤΑΚΕΝΤΡΙΚΟ ΥΨΟΣ

Ας θεωρήσουμε ένα πλοίο που παίρνει μία μικρή κλίση ϕ

και είναι σε κατάσταση ευσταθούς ισορροπίας

Το κέντρο άντωσης μετατοπίζεται στη νέα θέση B'

και δημιουργείται μία ροπή επαναφοράς.

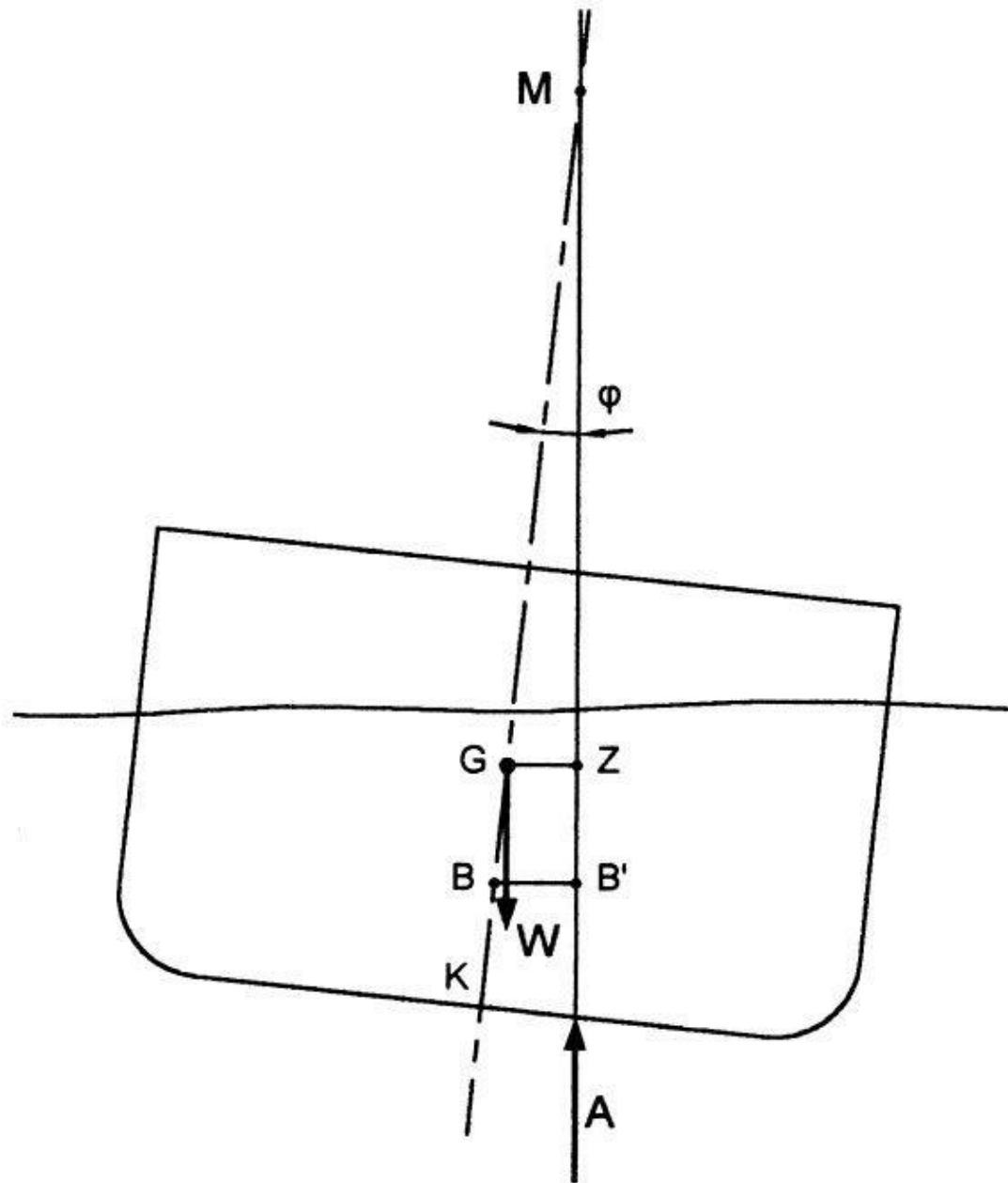
Η απόσταση GZ ανάμεσα στην κατακόρυφο του βάρους

και της άντωσης ονομάζεται **μοχλοβραχίονας επαναφοράς**

(righting arm).

Αυτή η απόσταση δημιουργεί τη ροπή επαναφοράς

που είναι $W \cdot GZ$.



Σχ. 13.3 Μετακεντρικό ύψος

Το σημείο **M**, όπου η άντωση τέμνει τον άξονα του πλοίου,
λέγεται **μετάκεντρο (metacenter)**.

Το μετάκεντρο παραμένει πρακτικά σταθερό
για μικρές κλίσεις του πλοίου μέχρι περίπου 10° ,
υπό την προϋπόθεση ότι οι ναυπηγικές γραμμές του πλοίου
είναι ομαλές γύρω από την ίσαλο.

Αν οι θέσεις των M και G είναι γνωστές,
τότε ο μοχλοβραχίονας επαναφοράς GZ
μπορεί να υπολογιστεί με τον τύπο

$$GZ = GM \times \eta\mu\phi.$$

Η απόσταση GM είναι, κατά συνέπεια,
σημαντική ως κριτήριο της ευστάθειας σε μικρές γωνίες κλίσης.
Η απόσταση αυτή ονομάζεται
μετακεντρικό ύψος (metacentric height).

Το GM είναι θετικό στην ευσταθή ισορροπία,
όταν το M είναι πάνω από το G ,
και αρνητικό στην ασταθή,
οπότε το G είναι πάνω από το M .

Ο τύπος που δίνει το GM είναι

$$\mathbf{GM = KM - KG}$$

Η απόσταση KM δίνεται από τις υδροστατικές καμπύλες του πλοίου, γιατί έχει σχέση με τη μορφή της γάστρας και τις ναυπηγικές γραμμές.

Η απόσταση KG υπολογίζεται με βάση τη φόρτωση του πλοίου.
Η πρώτη λοιπόν εκτίμηση για την ευστάθεια του πλοίου δίνεται
αν το GM είναι θετικό
και αν υπάρχει ικανοποιητικό ύψος εξάλων.
Από την τιμή του μετακεντρικού ύψους εξαρτάται
η περίοδος διατοιχισμού του πλοίου
και η αντίσταση που προβάλλει στις μικρές κλίσεις.

Πλοίο δηλ. με μεγάλο μετακεντρικό ύψος ,
άρα και μεγάλο GZ,
διατοιχίζεται γρηγορά και κλίνει δύσκολα,
γιατί η ροπή επαναφοράς είναι μεγάλη.

Αντίθετα,
πλοίο με μικρά GM και GZ
διατοιχίζεται αργά και κλίνει εύκολα.

στην πρώτη περίπτωση,

το πλήρωμα και οι επιβάτες

θα ταλαιπωρούνται από τη γρήγορη επαναφορά του πλοίου.

Αντίθετα, στη δεύτερη περίπτωση,

οι συνθήκες του ταξιδιού θα είναι πιο άνετες

αλλά μικρότερα τα περιθώρια ευστάθειας.

ΚΑΜΠΥΛΗ ΜΟΧΛΟΒΡΑΧΙΟΝΑ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ

Το κριτήριο για την ύπαρξη επαρκούς ευστάθειας
είναι κατ' αρχην το θετικό GM,
δηλ. η ύπαρξη θετικού μοχλοβραχίονα επαναφοράς GZ.
Ο μοχλοβραχίονας επαναφοράς,
όταν το πλοίο παίρνει εγκάρσιες κλίσεις,
δεν παραμένει σταθερός, αλλά μεταβάλλεται
και δημιουργείται μία καμπύλη του GZ
σε σχέση με την γωνία εγκάρσιας κλίσης.

Η καμπύλη αυτή είναι διαφορετική για κάθε πλοίο και κάθε κατάσταση φόρτωσης του.

Γενικά, όμως, έχει τη μορφή της καμπύλης του σχήματος 13.4.

Η καμπύλη αυτή πρέπει να υπολογίζεται πριν από κάθε ταξίδι από τον πλοίαρχο με βάση τα στοιχεία της φόρτωσης.



Σχ. 13.4 Καμπύλη μοχλοβραχίονα επαναφοράς

Η καμπύλη αυτή είναι πολύ σημαντική για την ευστάθεια του πλοίου
και όλα τα διεθνή κριτήρια ευστάθειας παραπέμπουν σε αυτή.

Συγκεκριμένα:

- 1) η μέγιστη τιμή του GZ πρέπει να είναι σε γωνία ίση ή μεγαλύτερη των 300
- 2) το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη, που ουσιαστικά μας δείχνει το έργο που απαιτείται για την κλίση του πλοίου, πρέπει να είναι μεγαλύτερο από ορισμένη τιμή για διάφορες γωνίες κλίσης και
- 3) το GZ πρέπει να έχει τιμή τουλάχιστον 0,20 μ., σε γωνία κλίσης πάνω από 300 .

Στο σημείο όπου η καμπύλη τέμνει τον άξονα των γωνιών μηδενίζεται το GZ και, κατά συνέπεια, το πλοίο ανατρέπεται. η γωνία ανατροπής, σε περίπτωση άθικτης ευστάθειας, όταν δηλ. δεν έχουμε εισροή νερού στο πλοίο η μετακίνηση φορτίου, είναι πράγματι της τάξεως των 60 - 70 μοιρών.

Υπάρχουν δε πολλά πλοία όπως τα ναυαγοσωστικά η ιστιοπλοϊκά,
όπου η γωνία ανατροπής ξεπερνά τις 120° ,
δηλ. το πλοίο μπορεί να είναι σχεδόν ανάποδα
και παρόλα αυτά να επανέρχεται στην όρθια θέση.
η μορφή αυτή της καμπύλης
εξασφαλίζει το ότι σε μικρές γωνίες κλίσης μέχρι 30° ,
το πλοίο έχει πολλά περιθώρια ευστάθειας,
καθώς το GZ και η επιφάνεια από κάτω του συνεχώς μεγαλώνουν.
Απαιτείται δηλ. περισσότερο έργο για να μεγαλώσει η γωνία κλίσης του
πλοίου.

Αν τα αποτελέσματα του υπολογισμού που έχει κάνει ο πλοίαρχος
δεν ικανοποιούν τα κριτήρια ευστάθειας
πρέπει να αλλάξει η φόρτωση
και να γίνει νέος υπολογισμός ευστάθειας.