



# Ειδικές Ναυπηγικές Κατασκευές και Ιστιοφόρα σκάφη

Διδάσκουσα:

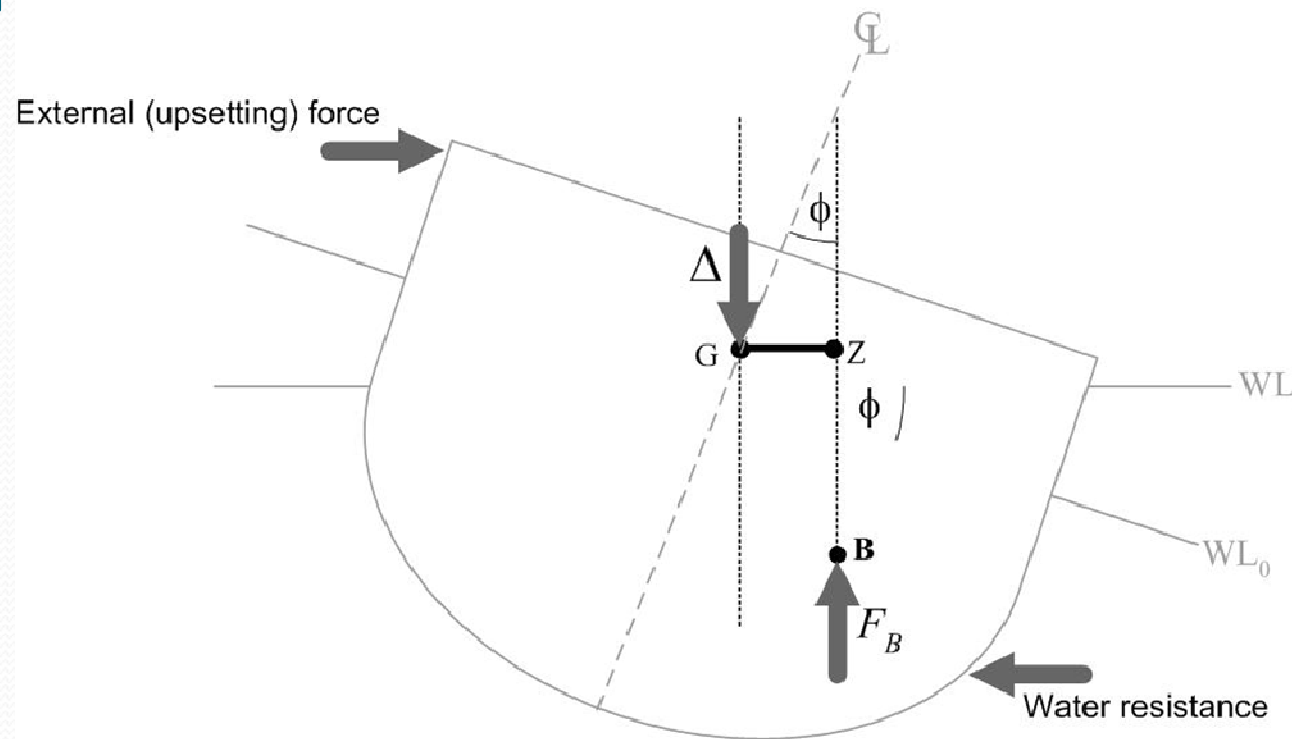
Σ. Κ. Πέππα, Καθηγήτρια Εφαρμογών

# Ευστάθεια ιστιοπλοϊκών

# Εγκάρσια Ευστάθεια

- Η ευστάθεια ιστιοπλοϊκών σχετίζεται κυρίως με την εγκάρσια ευστάθεια → το σκάφος παίρνει κλίση γύρω από το διαμήκη άξονα.
- **Εξωτερικές δυνάμεις** μπορεί να προκαλέσουν κλίσεις σε ένα πλοίο →  $\text{Force} \times \text{Dist} = \text{Moment}$  (Ροπή κλίσης – heeling moment)
- **Εσωτερικές δυνάμεις** μπορούν να προκαλέσουν ροπή επαναφοράς (Righting moment) ως αντίδραση για να εξισορροπήσουν τις εξωτερικές δυνάμεις.
  - ✓ Οι δύο εσωτερικές δυνάμεις είναι το βάρος του πλοίου  $W(=\Delta_s)$  και η δύναμη άντωσης ( $F_B$ ) και αποτελούν ζεύγος δύο αντίθετων δυνάμεων.

# Εγκάρσια Ευστάθεια



External (upsetting) moment vs. internal (righting) moment

Από τη γεωμετρία συμπεραίνουμε:

- ✓ Το σκάφος θα πάρει κλίση δυσκολότερα (είναι πιο ευσταθές) εάν αυξηθεί το  $GZ$
- ✓ Χαμηλώνοντας το κ.β.,  $G$  αυξάνεται το  $GZ$
- ✓ Μετακινώντας το κέντρο άντωσης  $B$  προς την υπήνεμη πλευρά αυξάνεται το  $GZ$ .
- ✓ Εάν το  $GZ$  αλλάξει κατεύθυνση έτσι το  $Z$  είναι αριστερά του  $G$ - ο μοχλοβραχίονας θα βοηθήσει στην ανατροπή του σκάφους αντί στην επαναφορά



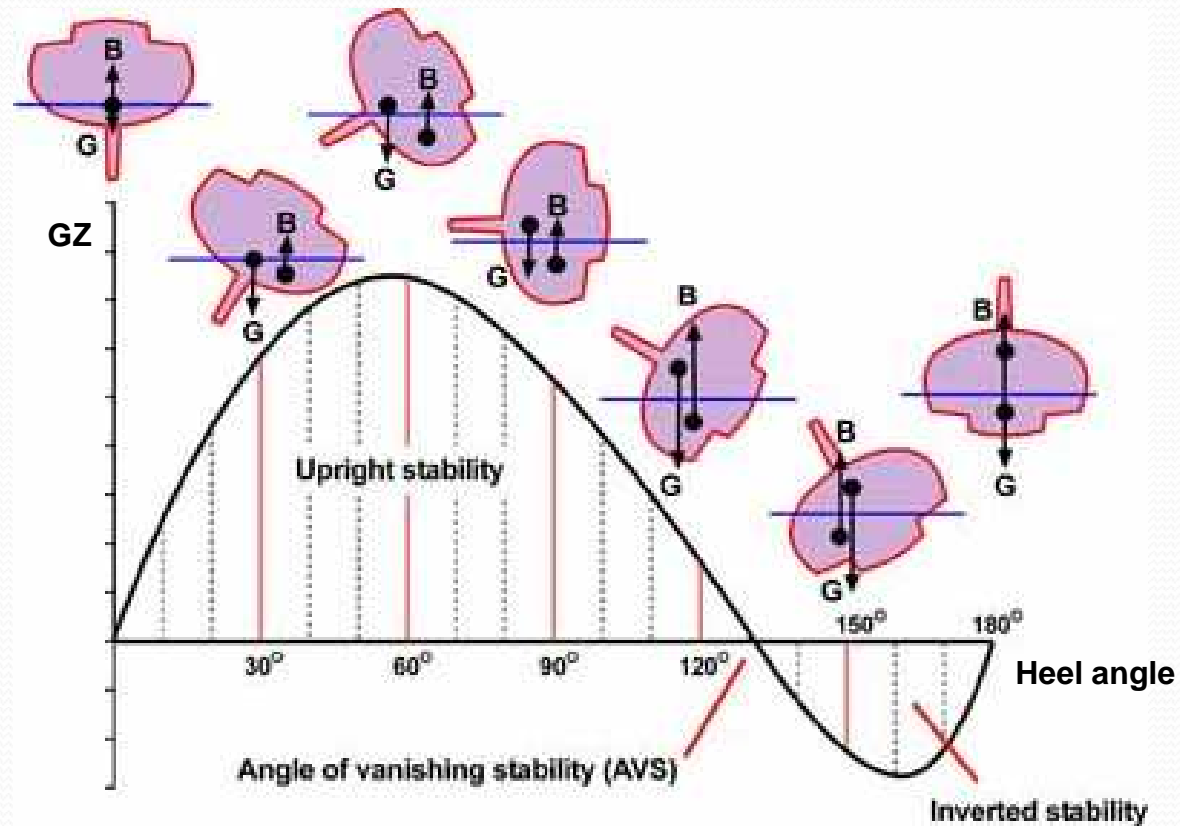
# Εγκάρσια ευστάθεια

- Η εγκάρσια απόσταση μεταξύ του κ.β. και του κέντρου άντωσης ορίζεται ως μοχλοβραχίονας επαναφοράς **RIGHTING ARM (GZ)**.
- Η ροπή που δημιουργείται από τις δυνάμεις βάρους και άντωσης ορίζεται ως ροπή επαναφορά **RIGHTING MOMENT (RM)** και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$RM = GZ \cdot \Delta$$

# Εγκάρσια Ευστάθεια

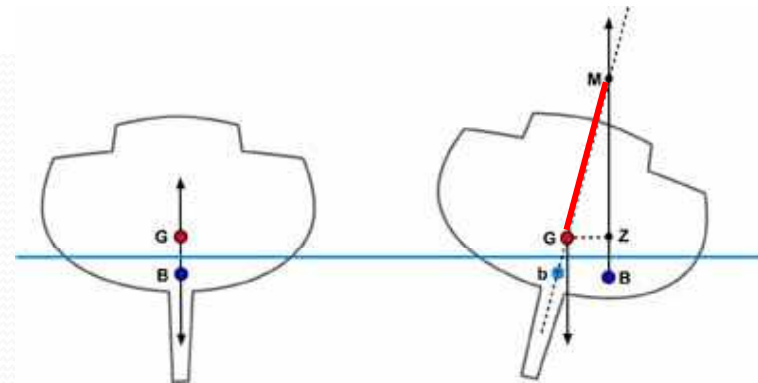
Ο μοχλοβραχίονας επαναφοράς,  $GZ$  υπολογίζεται συναρτήσει της γωνίας κλίσης ( $\varphi$ )



Διάγραμμα του μοχλοβραχίονα ροπής επαναφοράς (righting moment arm  $GZ$ ) συναρτήσει της γωνίας κλίσης (heel angle) του σκάφους, όπου φαίνεται και η γωνία ανατροπής (capsize) του σκάφους.

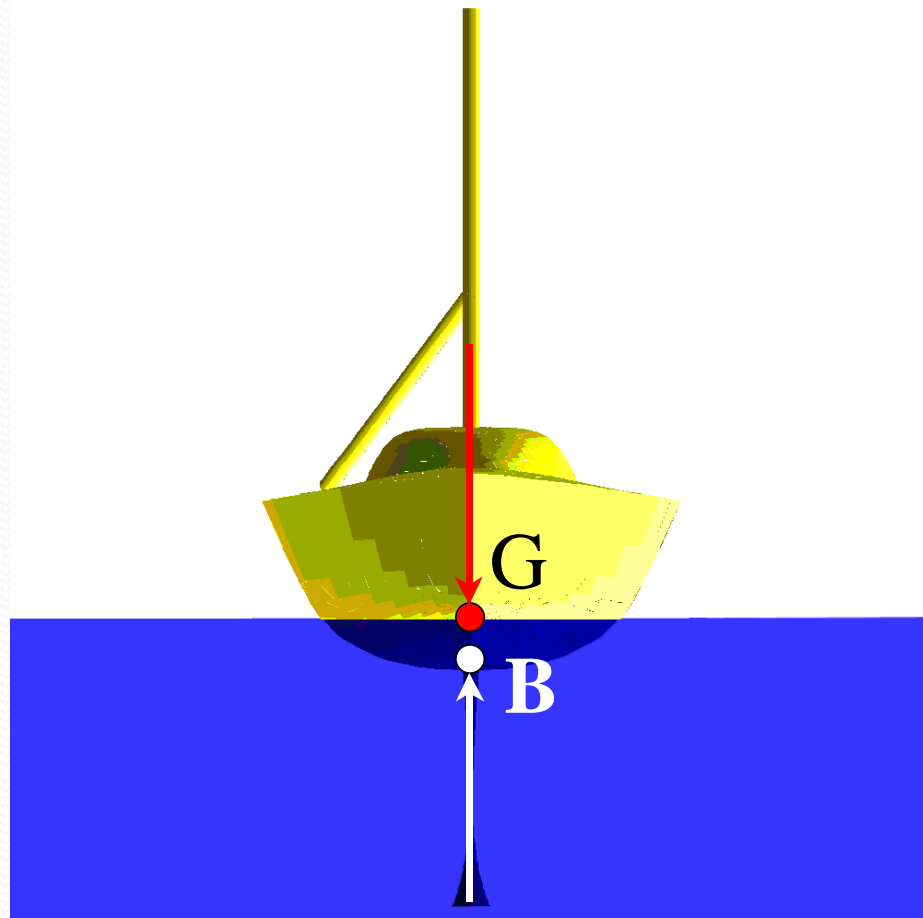
# Εγκάρσια Ευστάθεια

- Μετάκεντρο (M) είναι το σημείο περί το οποίο το πλοίο περιστρέφεται
- Μετακεντρικό ύψος (GM): η απόσταση του κ.β. από το μετάκεντρο





# Εγκάρσια Ευστάθεια

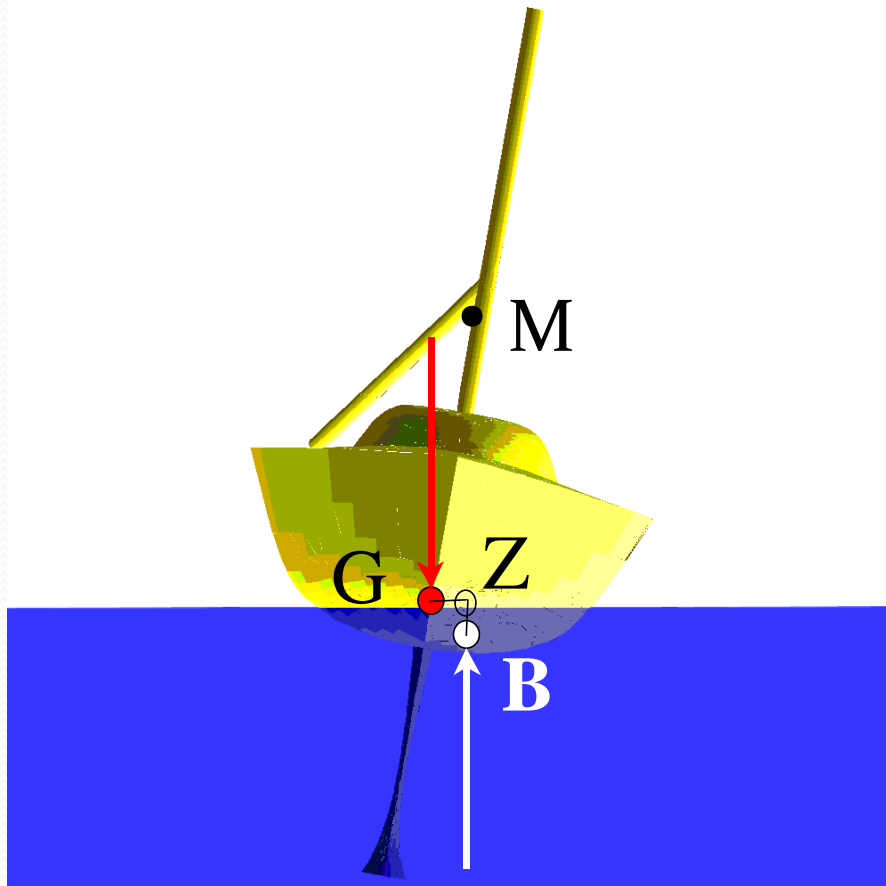


Ιστιοφόρο σε κατακόρυφη θέση

Ισορροπία δυνάμεων και ροπών



# Εγκάρσια Ευστάθεια



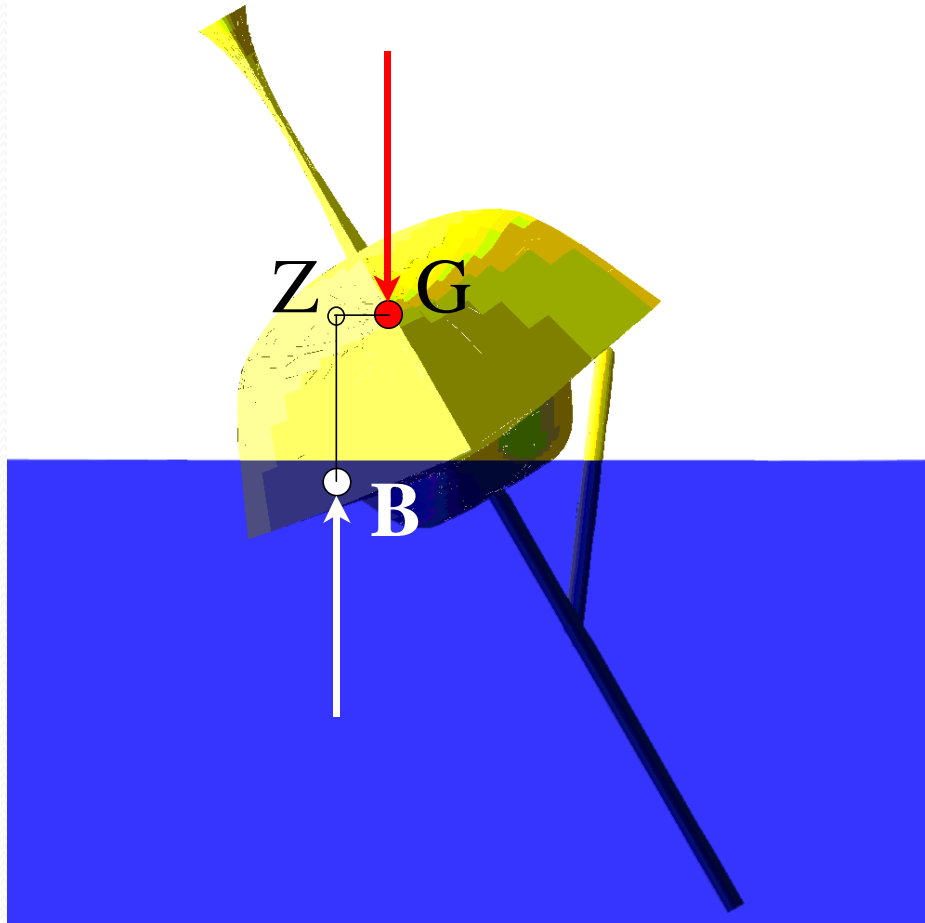
Ισορροπία υπό γωνία κλίσης

Το G παραμένει στη θέση του

Το B μετατοπίζεται

Δημιουργείται Μοχλοβραχίονας  
επαναφοράς λόγω της μεταξύ  
τους απόστασης

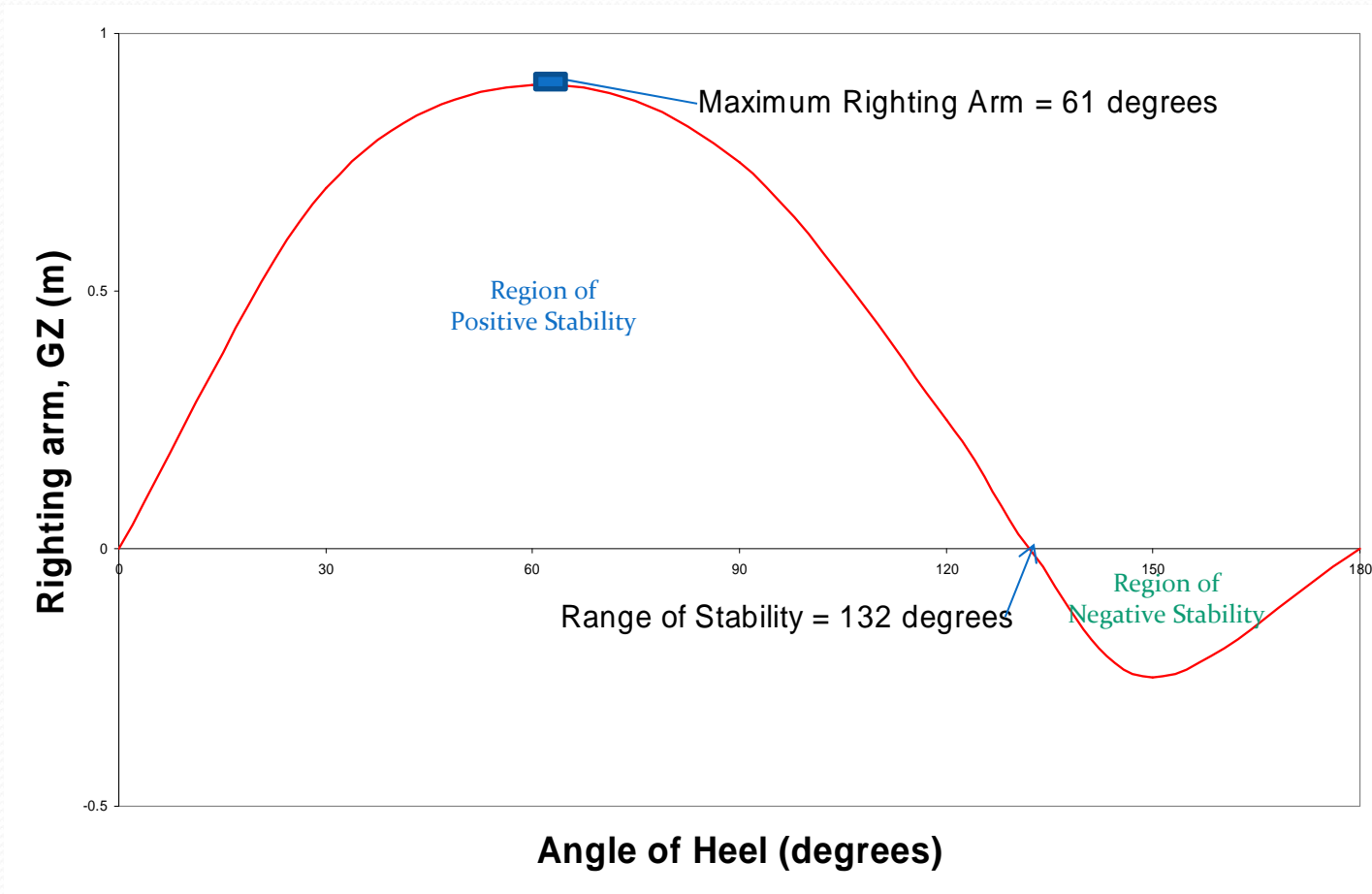
# Εγκάρσια Ευστάθεια



Το  $GZ$  είναι αρνητικό & το yacht θα συνεχίσει να περιστρέφεται και θα ανατραπεί

# Εγκάρσια Ευστάθεια

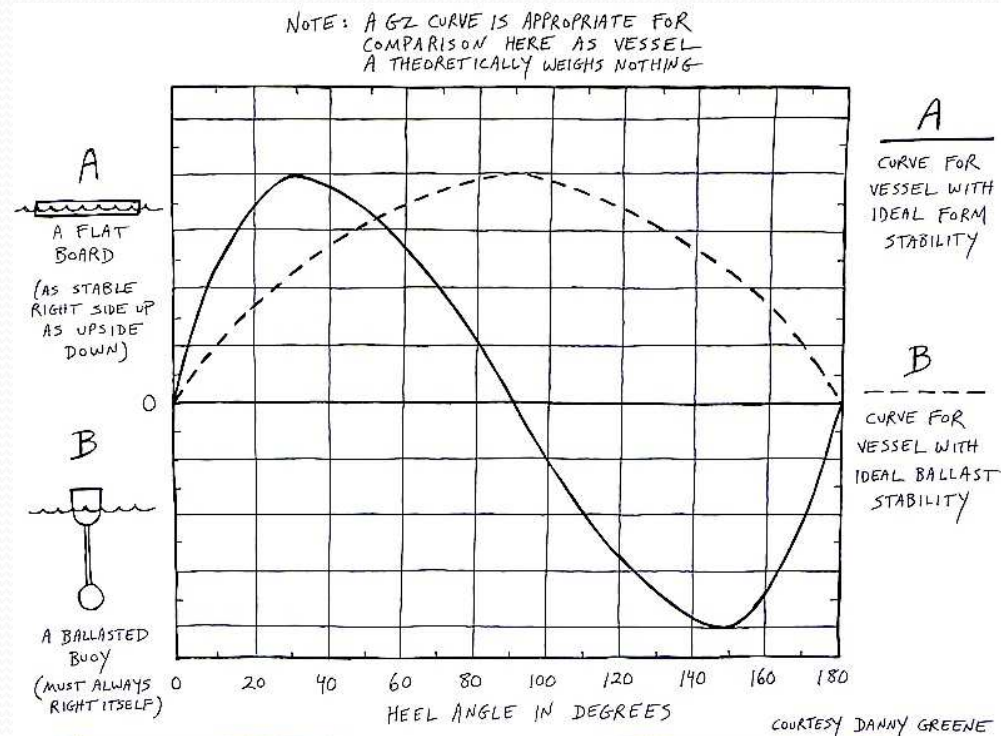
Καμπύλη μοχλοβραχίονα επαναφοράς (Righting Arm or GZ curve)





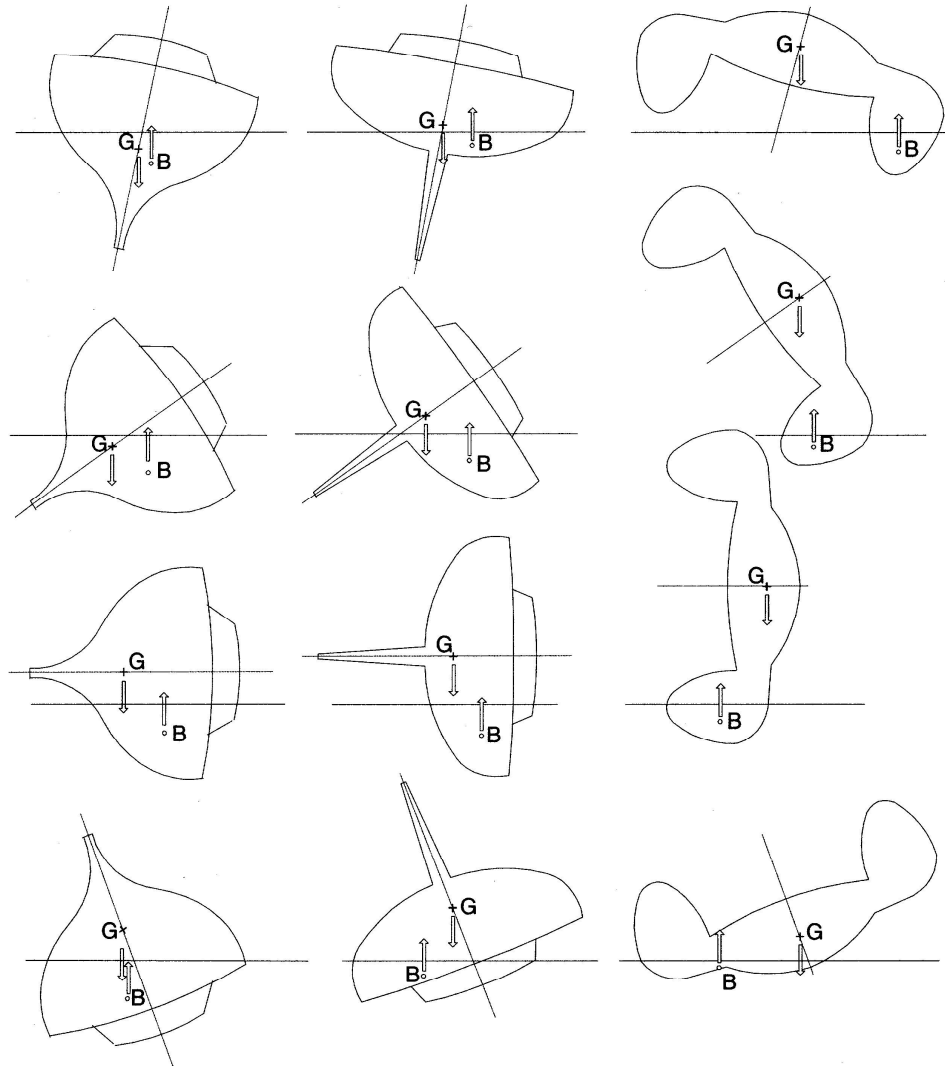
# Εγκάρσια Ευστάθεια

- Εάν το εύρος της ευστάθειας του σκάφους (range of stability) φτάνει τις 180 degrees τότε το σκάφος είναι self-righting
- Η καμπύλη GZ curve χρησιμοποιείται για να συγκρίνουμε διαφορετικούς τύπους σχεδίασης και να δούμε αν ικανοποιούνται οι κανονισμοί

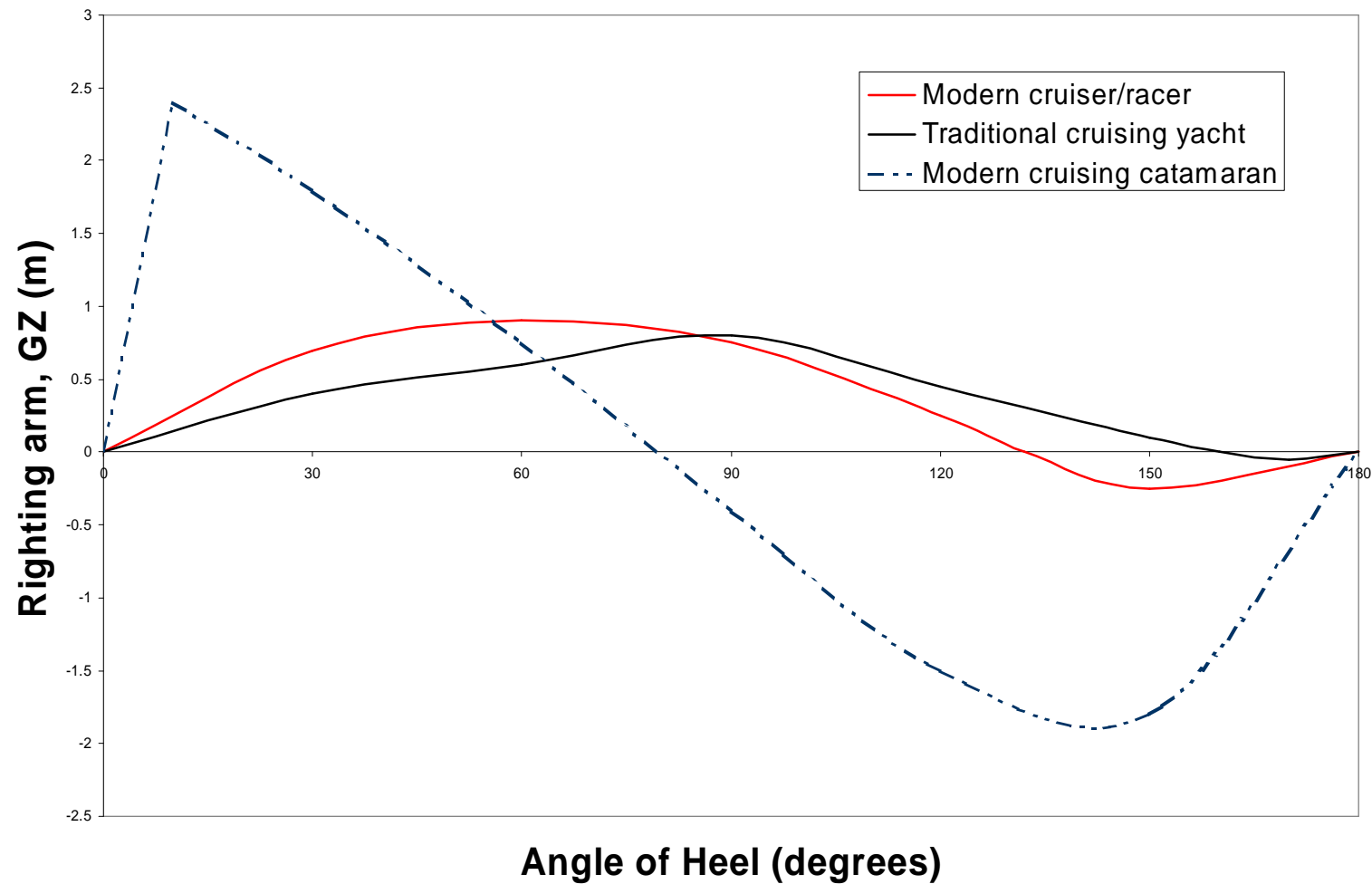


# Εγκάρσια Ευστάθεια

Χαρακτηριστικά ευστάθειας  
διαφορετικών γαστρών



# Εγκάρσια Ευστάθεια



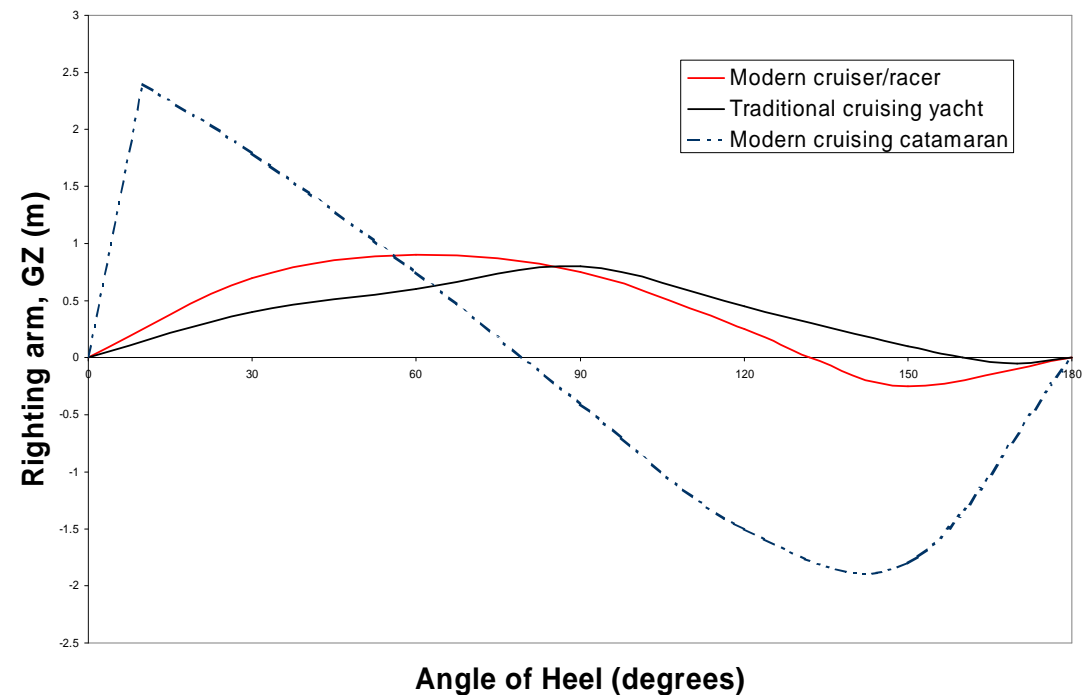
Καμπύλη μοχλοβραχίονα επαναφοράς στατικής ευστάθειας (GZ curves) για διαφορετικά σκάφη



# Εγκάρσια Ευστάθεια

## Παραδοσιακό Cruiser

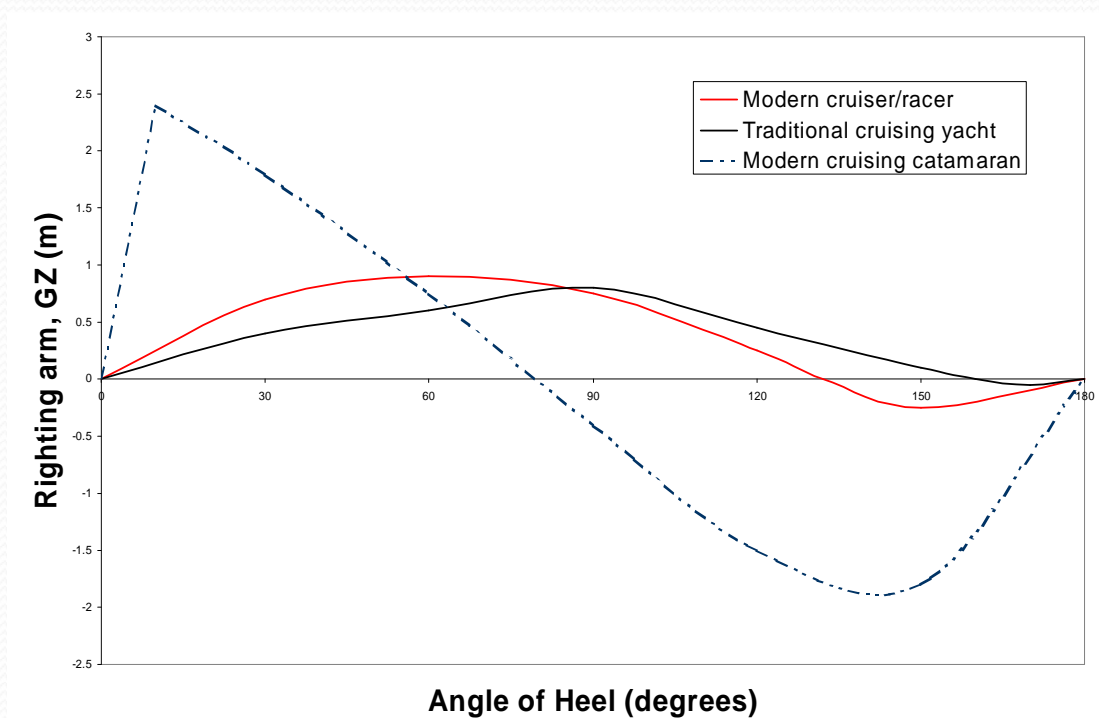
- Μεγάλο εκτόπισμα, μικρό πλάτος & χαμηλό κέντρο βάρους
- Σχετικά μικρή αρχική ευστάθεια εξαιτίας του μικρού πλάτους
- Η ευστάθεια αυξάνεται έως τις 90 degrees
- Το εύρος της ευστάθειας φτάνει τις 160 degrees



# Εγκάρσια Ευστάθεια

## Σύγχρονο Cruiser/Racer

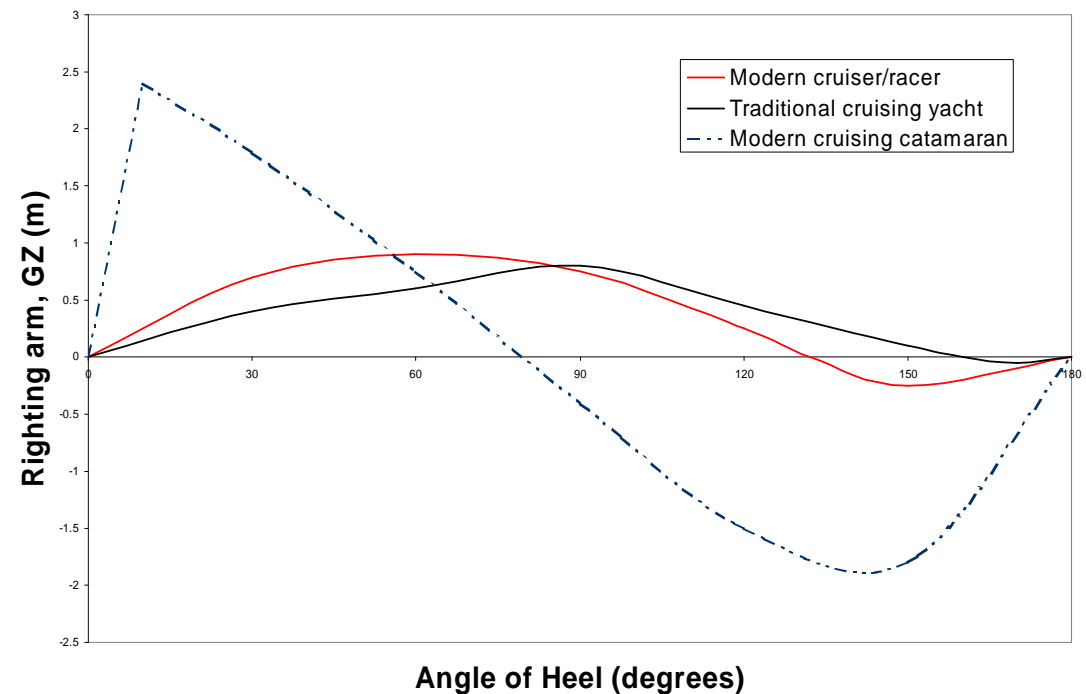
- Μικρότερο εκτόπισμα, μεγαλύτερο πλάτος & ψηλότερο κέντρο βάρους
- Μεγαλύτερη αρχική ευστάθεια εξαιτίας του μεγαλύτερου πλάτους
- Η ευστάθεια αυξάνει μέχρι τις 60 degrees
- Μικρότερο εύρος ευστάθειας μέχρι 132 degrees



# Εγκάρσια Ευστάθεια

## Σύγχρονο Catamaran Cruiser

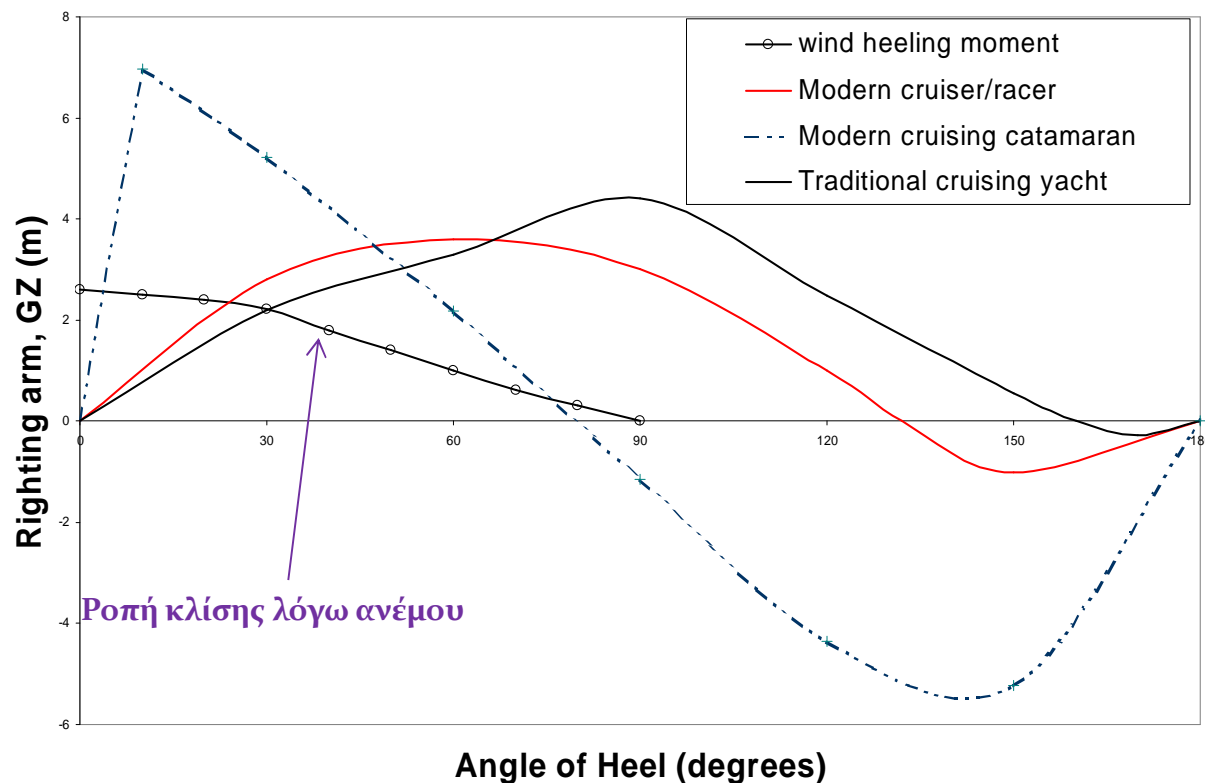
- Πολύ μεγάλο πλάτος. Μικρό εκτόπισμα χωρίς έρμα & υψηλό κέντρο βάρους
- Πολύ υψηλή αρχική ευστάθεια, αλλά περιορισμένη σε μικρές γωνίες
- Η ημιγάστρα από την πλευρά που προσπίπτει ο άνεμος ξενερίζει στις 10 μοίρες με αποτέλεσμα να μειωθεί ο μοχλοβραχίονας επαναφοράς απότομα
- Μικρότερο εύρος ευστάθειας 80 degrees
- Πολύ ευσταθές όταν ανατραπεί  
Very stable when inverted





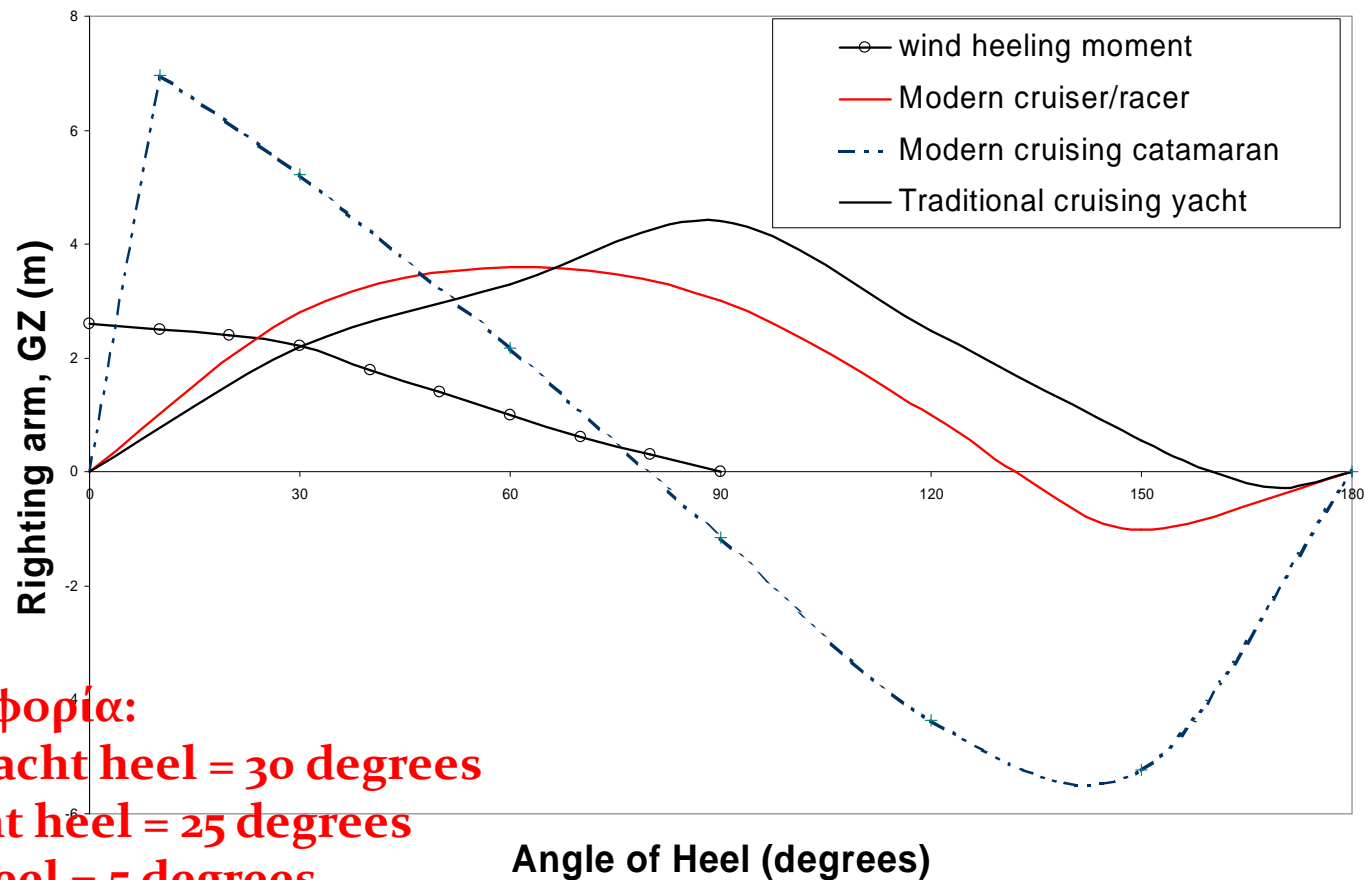
# Εγκάρσια Ευστάθεια

- Το σκάφος είναι σε κατάσταση ισορροπίας υπό γωνία εγκάρσιας κλίσης (heeling angle) όταν:
- Ροπή επαναφοράς (righting moment) = ροπή κλίσης (heeling moment)



Καμπύλη GZ & ροπής ανέμου για διαφορετικά σκάφη

# Εγκάρσια Ευστάθεια

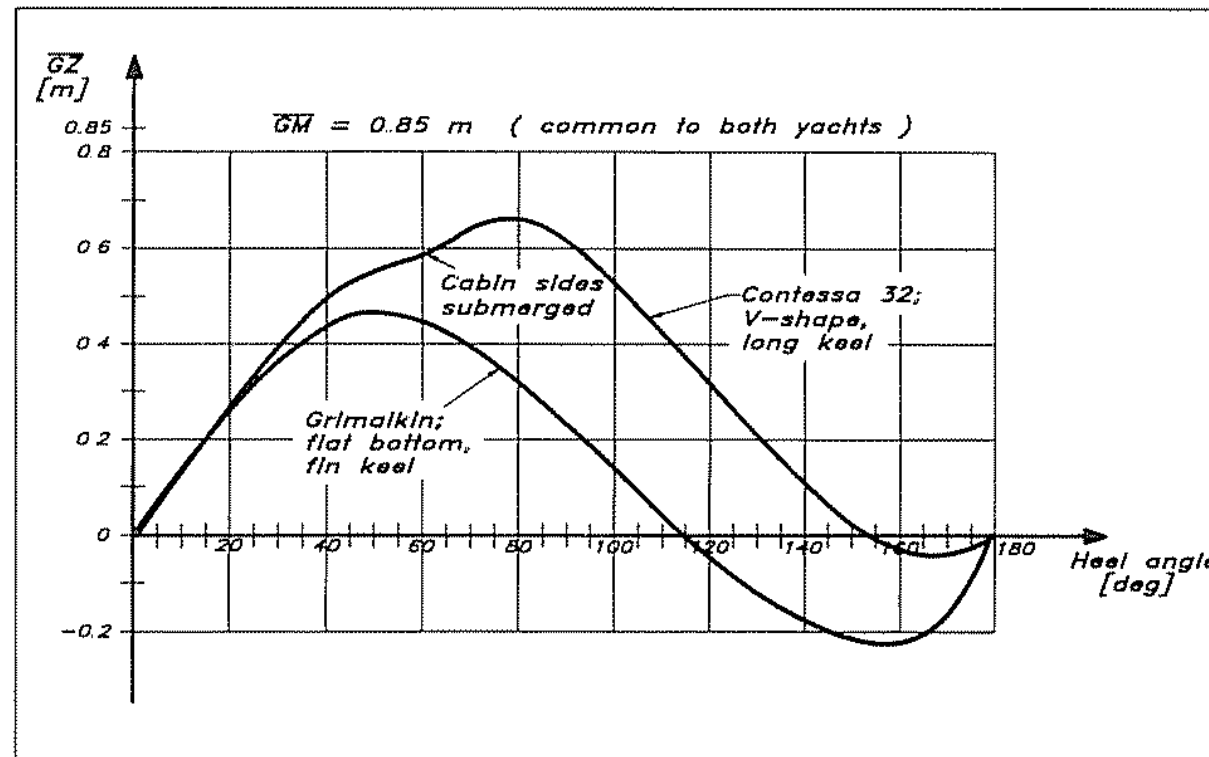


Για την ίδια ιστιοφορία:

- traditional yacht heel = 30 degrees
- modern yacht heel = 25 degrees
- catamaran heel = 5 degrees

# Εγκάρσια Ευστάθεια

- Σύγκριση των καμπυλών ευστάθειας ενός παραδοσιακού long keel σκάφους με ένα σύγχρονο fin keel παρόμοιου μήκους:
- Παρόλο που τα δύο σκάφη έχουν το ίδιο GM η ροπή επαναφοράς (RM) δεν είναι ίδια αφού έχουν διαφορετικό βάρος (το fin keel είναι ελαφρύτερο)
- $RM = \Delta \cdot GZ = \Delta \cdot GM \cdot \sin\phi$

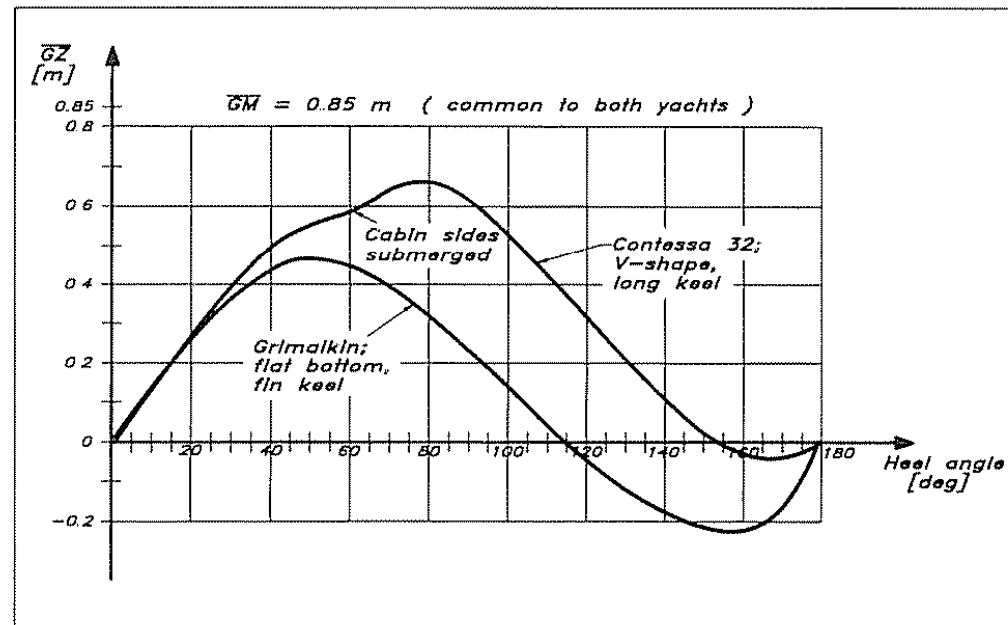


Καμπύλη GZ για διαφορετικά σκάφη



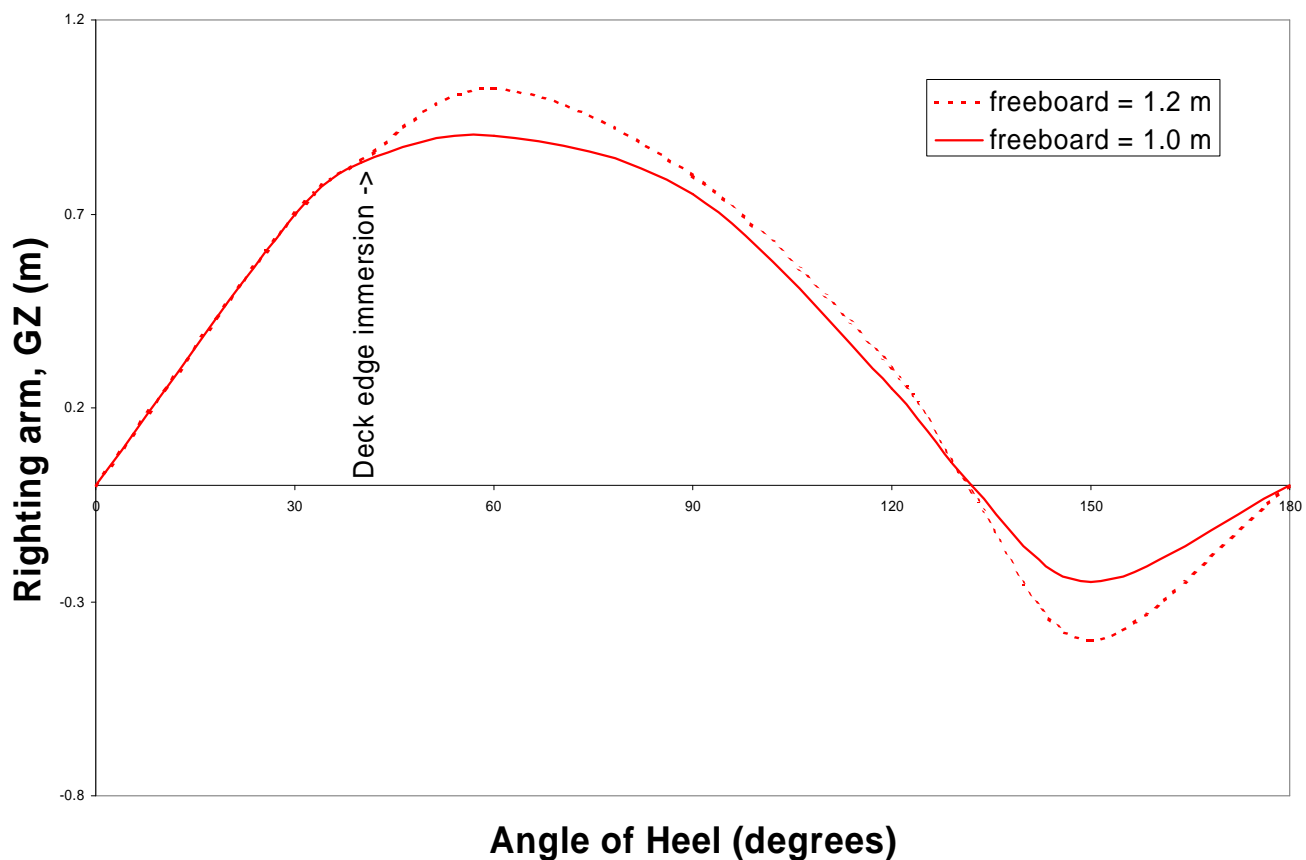
# Εγκάρσια Ευστάθεια

- Το max GZ είναι 40% μεγαλύτερο για το long keel σκάφος και συμβαίνει περίπου στις 80° ενώ του fin keel είναι περίπου στις 50°.
- Το long keel σκάφος είναι ευσταθές μέχρι τις 155° ενώ για το fin keel μηδενική ροπή λαμβάνει χώρα στις 115°.
- Υπάρχει ένα εύρος 25° που το long keel είναι ευσταθές αναποδογυρισμένο ενώ για το fin keel το εύρος είναι περίπου 65°. Αυτό σημαίνει ότι είναι πιο δύσκολο να επανέλθει το fin keel σκάφος στην όρθια θέση και μπορεί να παραμείνει αναποδογυρισμένο για αρκετό χρόνο ίσως αρκετά λεπτά ενώ το long keel θα επανέλθει στην όρθια θέση σχεδόν αμέσως.
- Συμπεραίνουμε ότι τα παραδοσιακά σκάφη είναι ασφαλέστερα κάτω από δυσμενείς καιρικές συνθήκες σε σύγκριση με πιο σύγχρονες σχεδιάσεις.



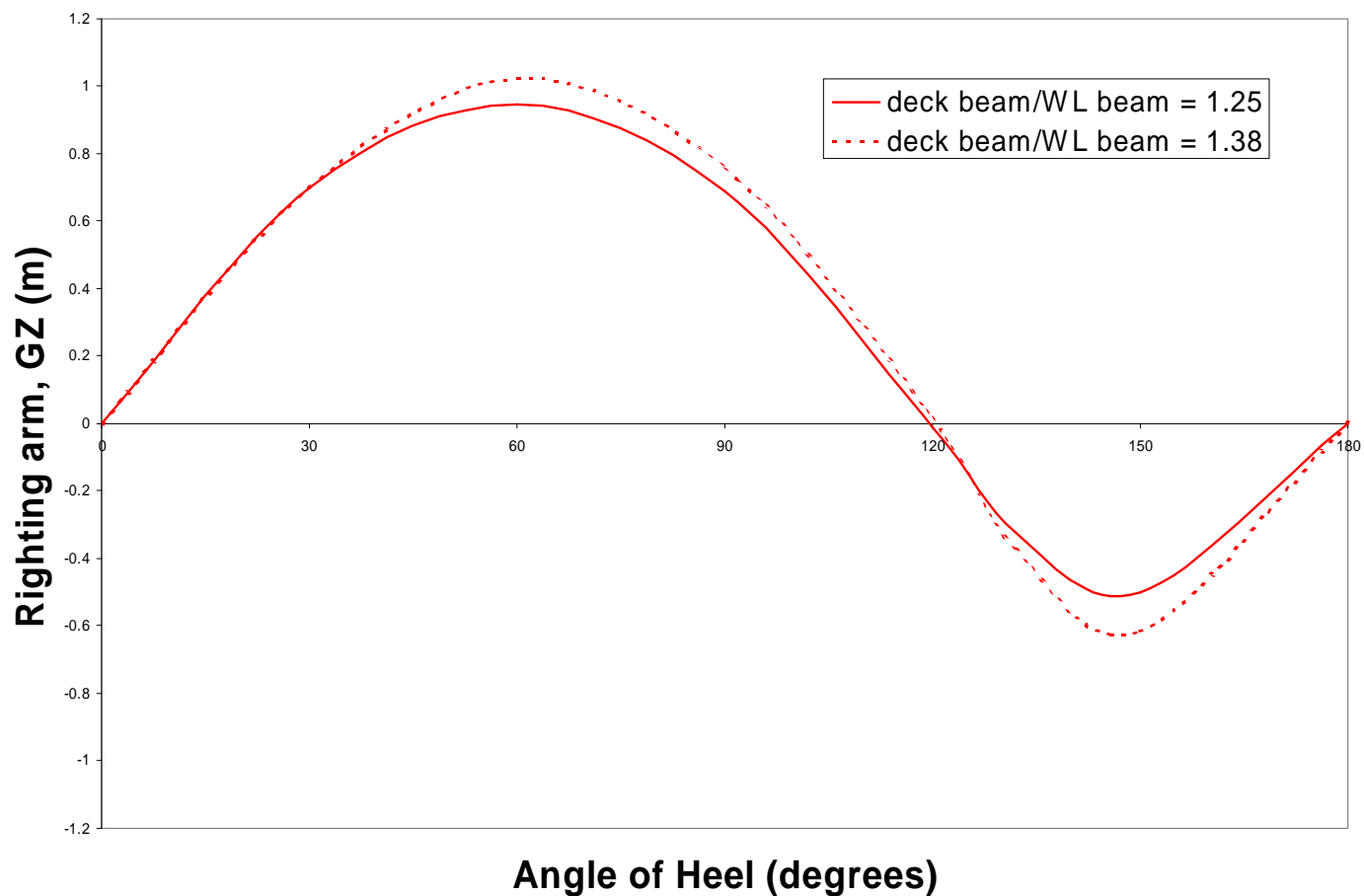
# Εγκάρσια Ευστάθεια

- Το ύψος εξάλων (Freeboard) έχει σημαντική επίδραση σε γωνίες μεγαλύτερες από τη γωνία βύθισης της ακμής του καταστρώματος



# Εγκάρσια Ευστάθεια

- Ο λόγος πλάτους του καταστρώματος /πλάτος της WL (flare) έχει σημαντική επίδραση σε γωνίες  $> \sim 40^\circ$





# Εγκάρσια Ευστάθεια

## Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την ευστάθεια (τις καμπύλες GZ)

- Υπερβολικές γωνίες κλίσης, ύψους εξάλων, κυρτότητα καταστρώματος και σχεδίαση υπερκατασκευών (coachroof design)
- Ένα καλό ύψος εξάλων βελτιώνει τη μέγιστη ροπή επαναφοράς και τη γωνία θετικής ευστάθειας
- Τα σκάφη με χαμηλό ύψος υπερκατασκευών είναι πιο ευσταθή από αυτά με ψηλές και στενές υπερκατασκευές
- Το χαμηλό κέντρο βάρους είναι πάντα ένας θετικός παράγοντας για την ευστάθεια

# Εγκάρσια Ευστάθεια

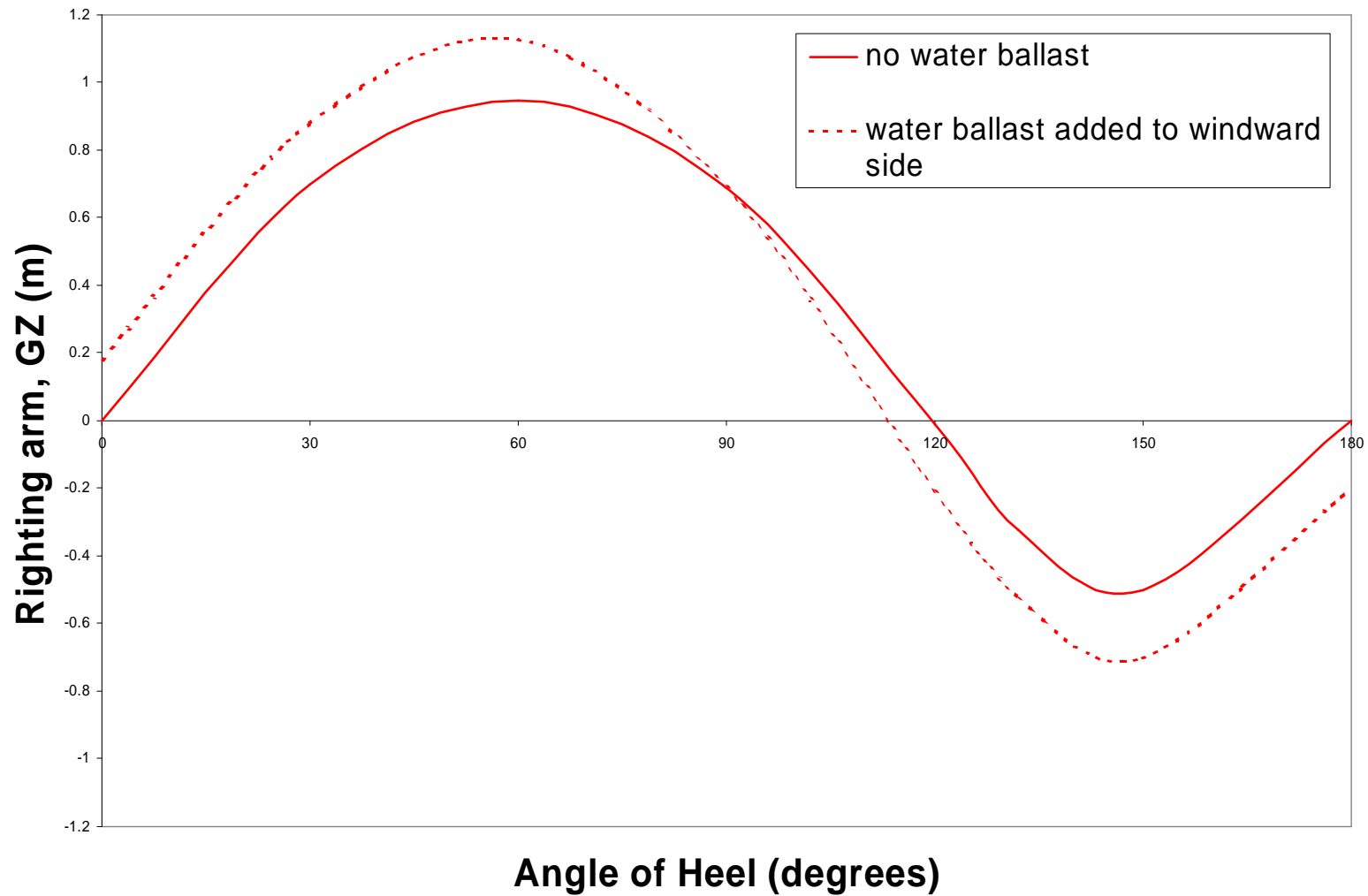
Έρμα

- Για την μείωση της γωνίας εγκάρσιας κλίσης χρησιμοποιείται συχνά έρμα το οποίο προστίθεται στην πλευρά πρόσπτωσης του ανέμου π.χ. δεξαμενές νερού ή μετακίνηση πληρώματος





# Εγκάρσια Ευστάθεια





# Εγκάρσια Ευστάθεια

## Canting keel

Άλλη μέθοδος αύξησης της ροπής επαναφοράς είναι η χρήση canting keels:

- Οι καρίνες αυτές αποτελούνται από λεπτόγραμμο βραχίονα και συγκεντρωμένο έρμα σε βολβοειδή μορφή στο άκρο τους
- Ο βραχίονας είναι αρθρωμένος και επιτρέπει εκτροπή προς τα αριστερά και δεξιά, έτσι ώστε η ροπή που αναπτύσσεται να ανθίσταται στην ροπή που ασκούν τα πανιά λόγω ανέμου



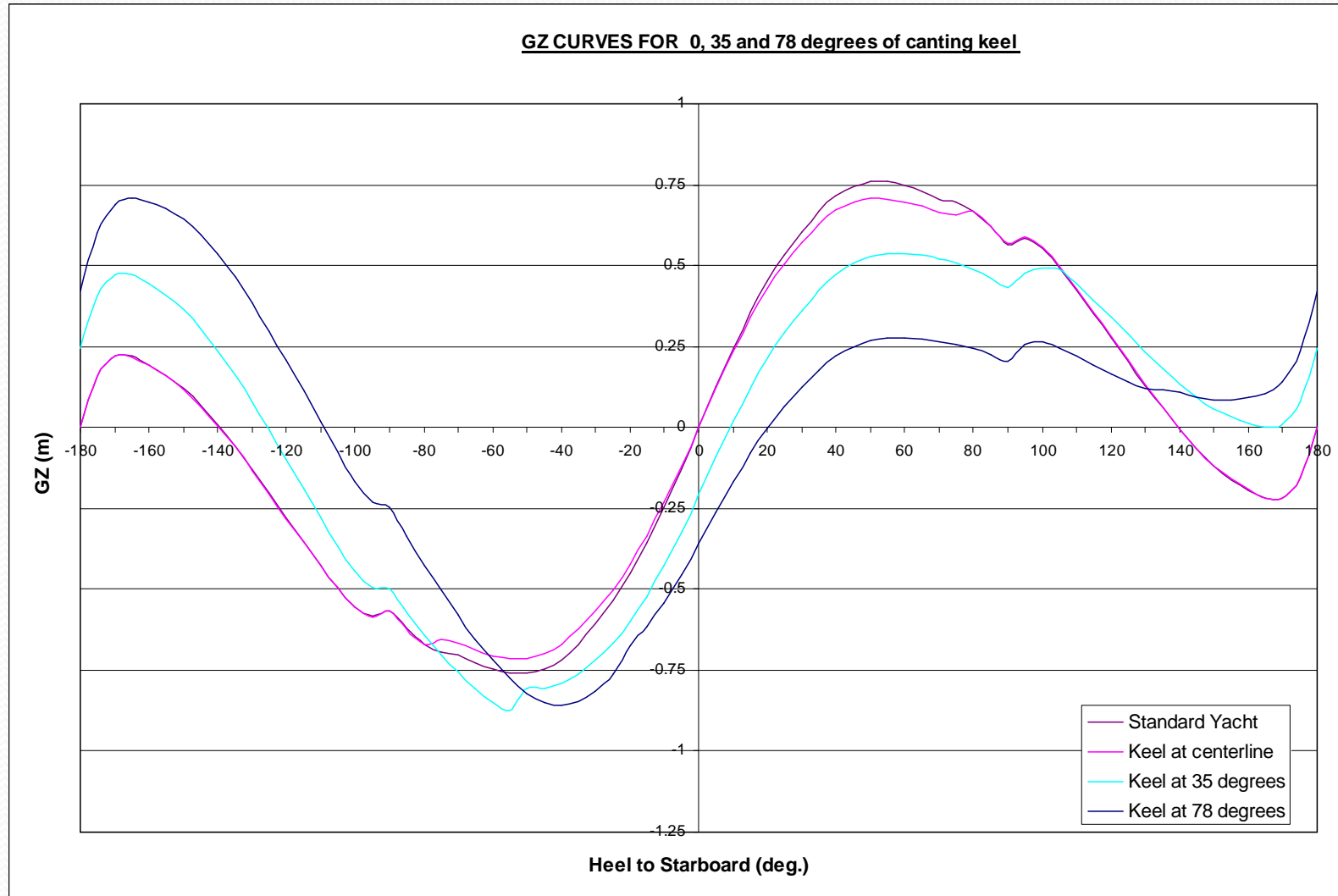
# Εγκάρσια Ευστάθεια Canting Keel

- Η καρίνα αυτή έγινε γνωστή από το σκάφος VO70 (Volvo Open 70) που συμμετείχε στο Volvo Ocean Race, ιστιοπλοϊκό αγώνα που καλύπτει τον γύρο του κόσμου.
- Στο σκάφος αυτό ο βολβός αυτός τοποθετημένος στα 5 μέτρα κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας και με δυνατότητα εκτροπής ως και  $40^\circ$  παράγει ιδιαίτερα μεγάλη ροπή επαναφοράς μέχρι και (176,000 Nm) επιτρέποντας στο σκάφος να φτάσει μέχρι και τους 30Kn.
- Η συγκεκριμένη εφαρμογή βρίσκεται ακόμα στο στάδιο της ανάπτυξης και παρουσιάζει προβλήματα διαρροής στο άνοιγμα της γάστρας που κινείται η καρίνα και στα υδραυλικά συστήματα που την ελέγχουν
- Το 2006 στον διεθνή αγώνα VELUX 5 το σκάφος Open 60 εγκαταλείφθηκε για τους παραπάνω λόγους και δεν βρέθηκε ποτέ





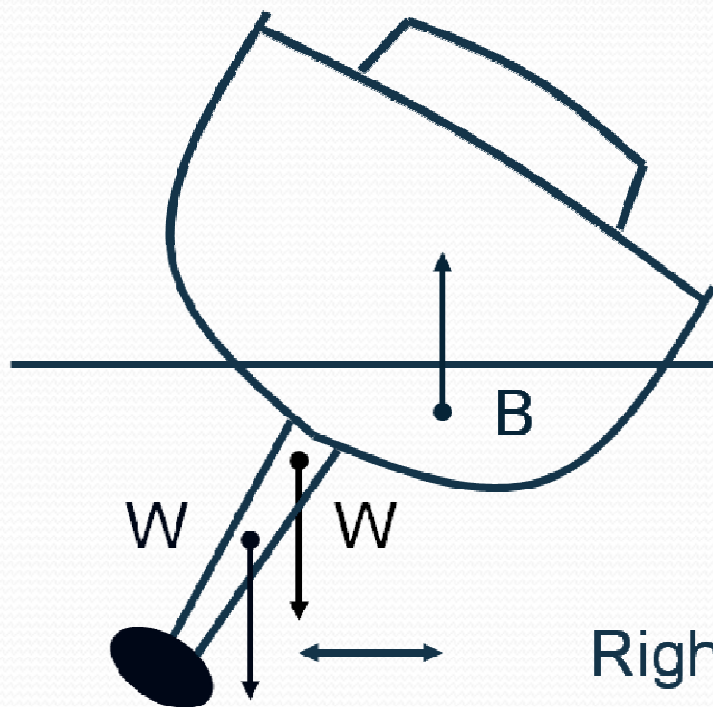
# Canting Keel



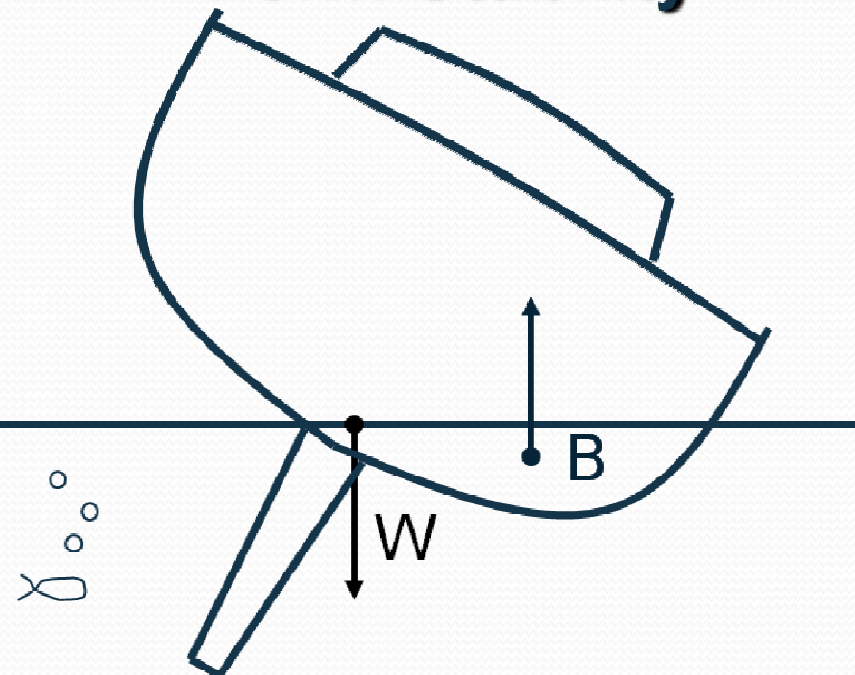


# Στατική ευστάθεια- Επίδραση του πλάτους

## “Ballast Stability”



## “Form Stability”

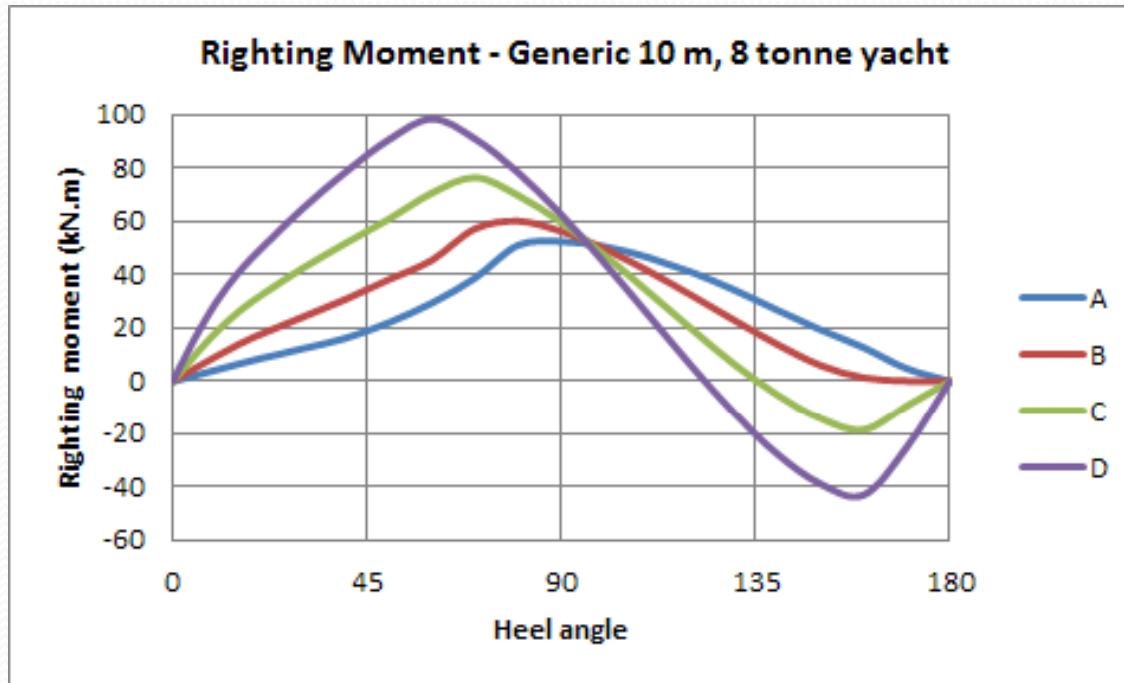


Righting Arms!

**Equal Righting Arms!**



# Καμπύλες στατικής ευστάθειας



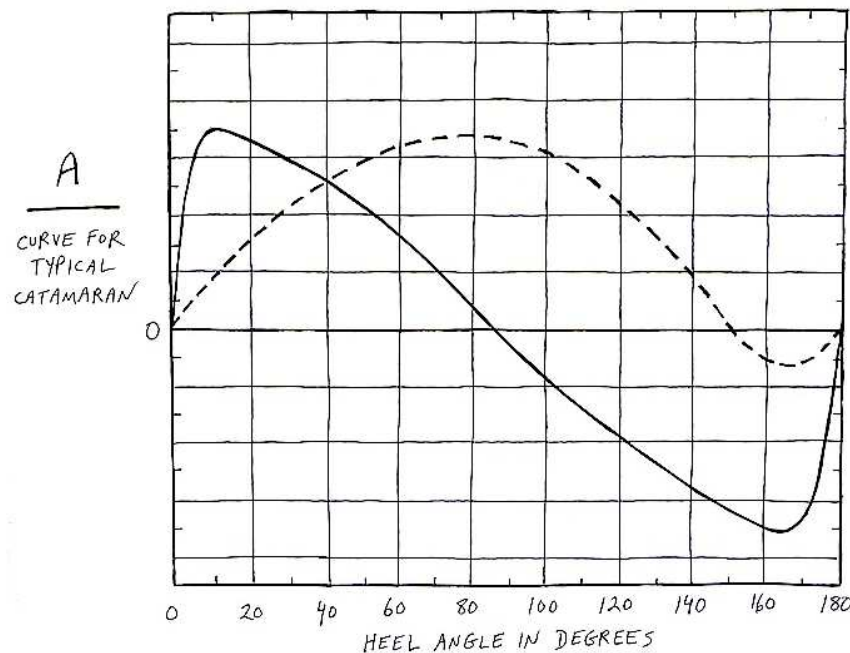
B=Breath  
 $B_A < B_B < B_C < B_D$

- Το στενό σκάφος "A" έχει μικρότερο GZ σε μικρές γωνίες κλίσης, αλλά θα αυτοεπανέλθει (self-right) σε οποιαδήποτε ανατροπή. Η καλή ευστάθεια του επιτυγχάνεται με τη χρήση έρματος για να διατηρεί το G όσο γίνεται χαμηλότερα.
- Το πλατύ σκάφος "D" έχει μεγαλύτερο GZ αλλά εάν ανατραπεί χρειάζεται αρκετό χρόνο να επανέλθει σε όρθια θέση με τη βοήθεια του κύματος. Η μεγάλη αρχική ευστάθεια του οφείλεται στο μεγάλο πλάτος εξαιτίας του οποίου το κέντρο άντωσης του κεκλιμένου σκάφους μετακινείται περισσότερο προς την υπήνεμη πλευρά.



# Καμπύλες στατικής ευστάθειας

## Μονόγαστρα vs Catamaran



*Righting arm (GZ) stability curves for a typical catamaran and a typical narrow, deep-draft, heavily ballasted monohull.*

➤ Η μέγιστη ευστάθεια για το catamaran επιτυγχάνεται στις  $10^\circ$ . Η γωνία ανατροπής είναι λιγότερο από  $90^\circ$ , πράγμα που σημαίνει πως το cat, εξαιτίας του βάρους της υπερκατασκευής και του πανιού, θα ανατραπεί πριν φτάσει στην οριζόντια θέση.

➤ Η καμπύλη για ένα στενό, με μεγάλο βύθισμα και heavily ballasted μονόγαστρο, μοιάζει με αυτή του πλωτήρα (buoy). Τα μονόγαστρα έχουν γωνία ανατροπής σε μεγάλες γωνίες (περίπου  $150^\circ$ ), και το εύρος αρνητικής ευστάθειας πολύ μικρό.

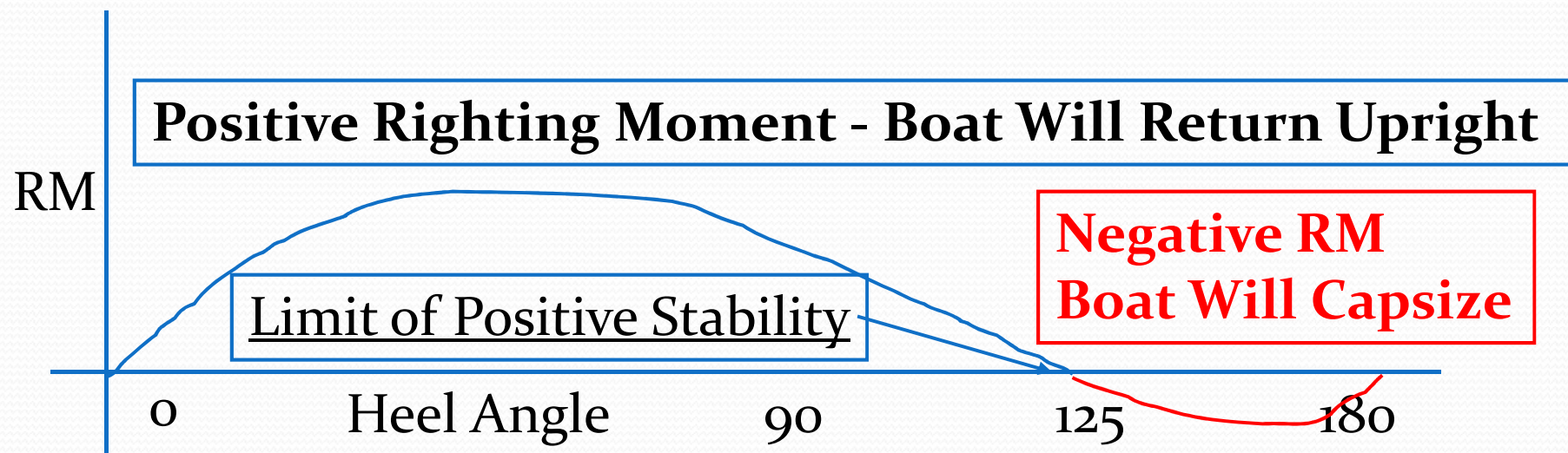
➤ Το catamaran, εξαιτίας του μικρού εκτοπίσματος και της μεγάλης αρχικής ευστάθειας ανταποκρίνονται καλά σε μικρές γωνίες κλίσης.

➤ Τα μονόγαστρα εξαιτίας του μεγάλου εκτοπίσματος (το περισσότερο είναι έρμα) έχουν μειωμένη ευστάθεια σε μικρές γωνίες κλίσης αλλά είναι δύσκολο να ανατραπούν σε δυσμενείς συνθήκες με μεγάλες κλίσεις.



## Στατική ευστάθεια

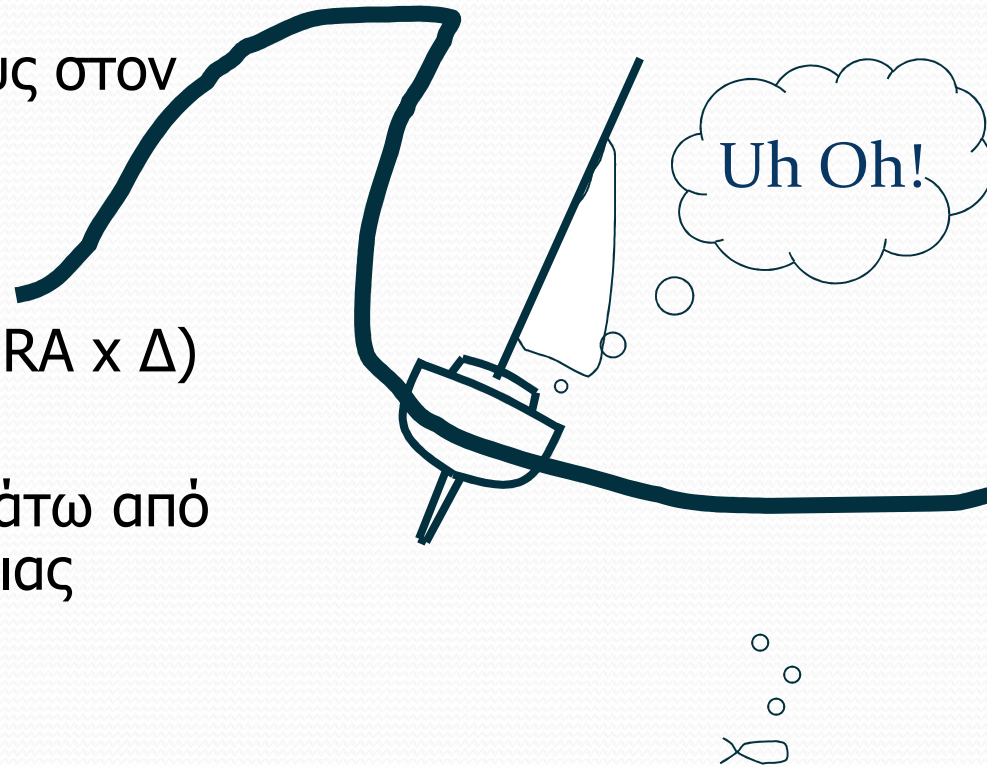
- Το μεγάλο πλάτος δίνει ευστάθεια σε μικρές γωνίες ( $<40^\circ$ )
- Το χαμηλό κέντρο βάρους πάντα προσδίδει ευστάθεια
- Για την ίδια αρχική ευστάθεια ένα στενό σκάφος χρειάζεται χαμηλότερο CG



# Δυναμική ευστάθεια

Η απόκριση ενός σκάφους στον άνεμο και στο κύμα είναι συνάρτηση:

- Θέση των πανιών
- Στατικής ευστάθειας ( $RA \times \Delta$ )
- Ροπή αδράνειας
- Επιφάνεια πάνω και κάτω από την καμπύλη ευστάθειας
- Διατοιχισμού
- *Τύχη*





# Ευστάθεια

## Για την αποφυγή ανατροπής:

- Μεγάλη επιφάνεια με θετική ροπή επαναφοράς(και μικρή αρνητική)
  - Υψηλό ποσοστό ευστάθειας
  - Μεγάλο εκτόπισμα
  - Χαμηλό κέντρο βάρους



## Ευστάθεια

- Τα σύγχρονα σκάφη έχουν μεγαλύτερο GM από τα παραδοσιακά εξαιτίας του μεγάλου λόγου B/T
- Πάντως στην πλειοψηφία των σκαφών το GM βρίσκεται στην περιοχή 0.75 έως 1.50 m
- Δεν υπάρχει σημαντική συσχέτιση μεταξύ του GM και του μήκους
- Όσον αφορά τώρα το εύρος της θετικής ροπής επαναφοράς, παρατηρούμε ότι, αν και αρκετά σκάφη τη διατηρούν έως και τις 180°, πολλές φορές δεν υπερβαίνει πολύ τις 100°. Από στατιστικά στοιχεία προκύπτει ένας μέσος όρος γύρω στις 122°, τιμή σχετικά χαμηλή από πλευράς ασφάλειας για τα ιστιοπλοϊκά.

# Ευστάθεια

## Η γωνία Dellenbaugh

- Επειδή η ευστάθεια των ιστιοπλοϊκών εξαρτάται άμεσα και από τη ροπή εγκάρσιας κλίσης που παράγουν τα πανιά, έχει επικρατήσει να αξιολογείται από τη γωνία Dellenbaugh.
- Η γωνία αυτή ορίζεται ως η γωνία εγκάρσιας κλίσης, για πλεύση όρτσα με άνεμο 8 m/sec. Υπολογίζεται από τον απλό τύπο:

$$Dellenbaugh\ angle = 279 \cdot \frac{A_S \cdot HA}{m \cdot GM} \quad [13.6\ deg]$$

- Ο μοχλοβραχίονας HA του τύπου ορίζεται ως η κάθετη απόσταση μεταξύ του κέντρου ιστιοφορίας (centre of effort) και του κέντρου της πλάγιας υδροδυναμικής δύναμης της γάστρας.
- $A_S$ : η επιφάνεια των πανιών
- Η γωνία Dellenbaugh δεν μας δίνει πληροφορίες για την ευστάθεια σε μεγάλες κλίσεις.



# Ευστάθεια

## Η γωνία Dellenbaugh

$$\text{Dellenbaugh angle} = 279 \cdot \frac{A_S \cdot HA}{m \cdot \overline{GM}} \quad [13.6 \text{ deg}]$$

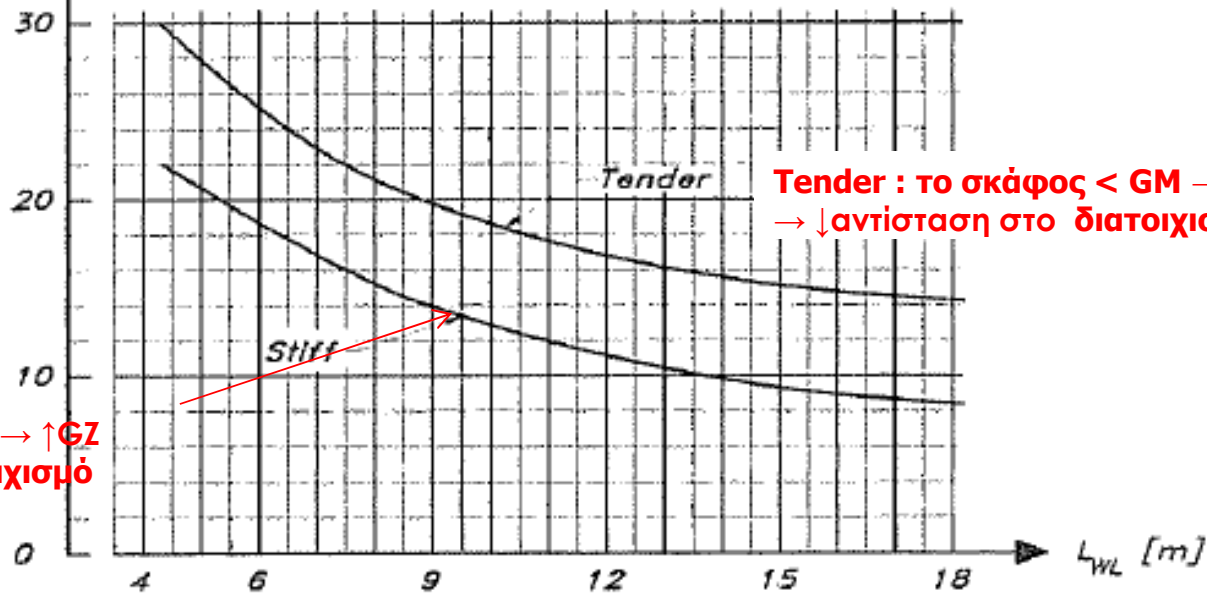
Dellenbaugh angle [deg]

$A_S$  : Sail area (triangular) [m<sup>2</sup>]

HA : Heeling arm [m]

m : Displacement [kg]

$\overline{GM}$  : Metacentric height [m]

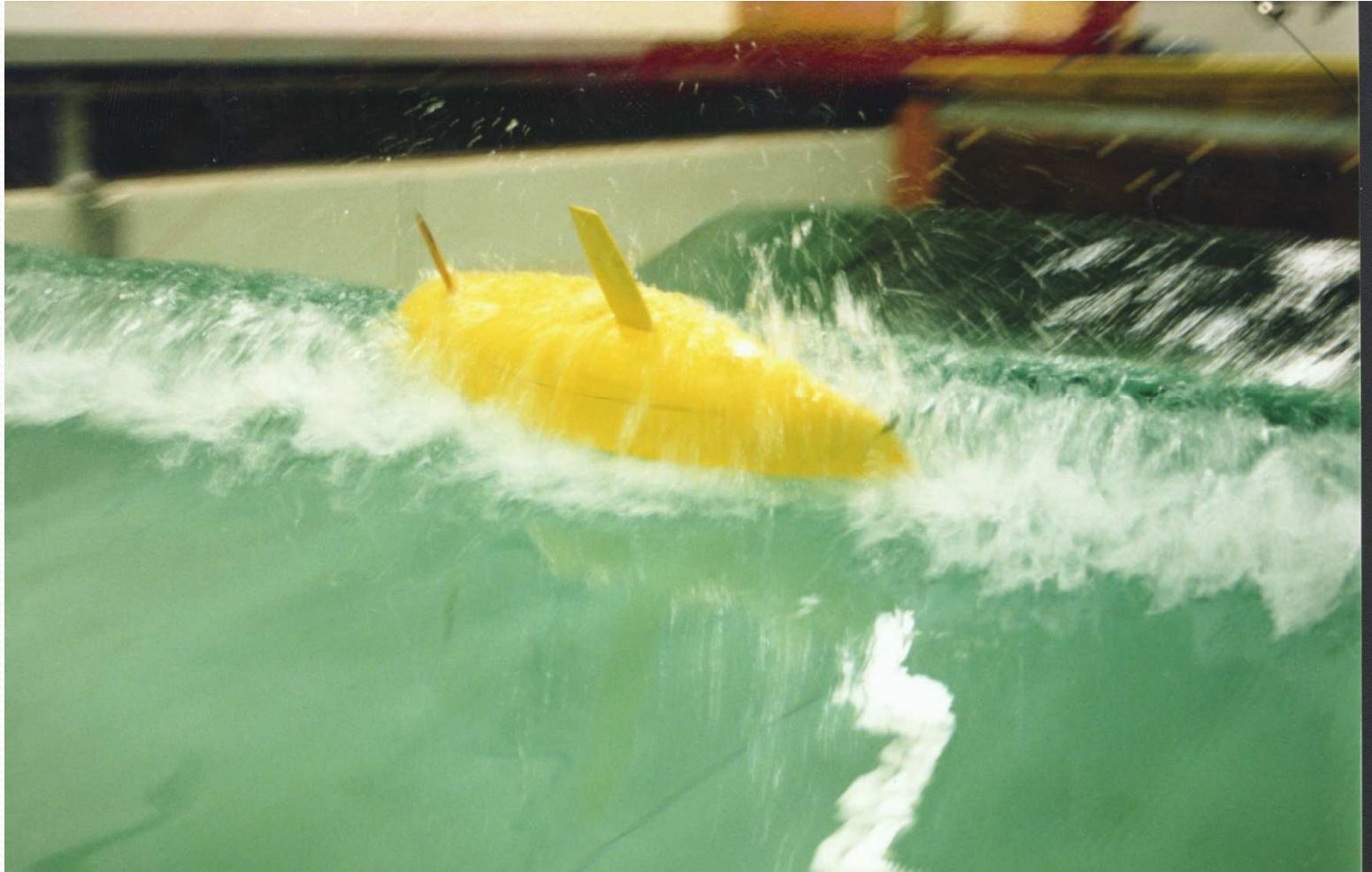


**Stiff** : το σκάφος > GM → ↑GZ  
→ ↑αντίσταση στο διατοίχιση

**Tender** : το σκάφος < GM → ↓GZ  
→ ↓αντίσταση στο διατοίχιση

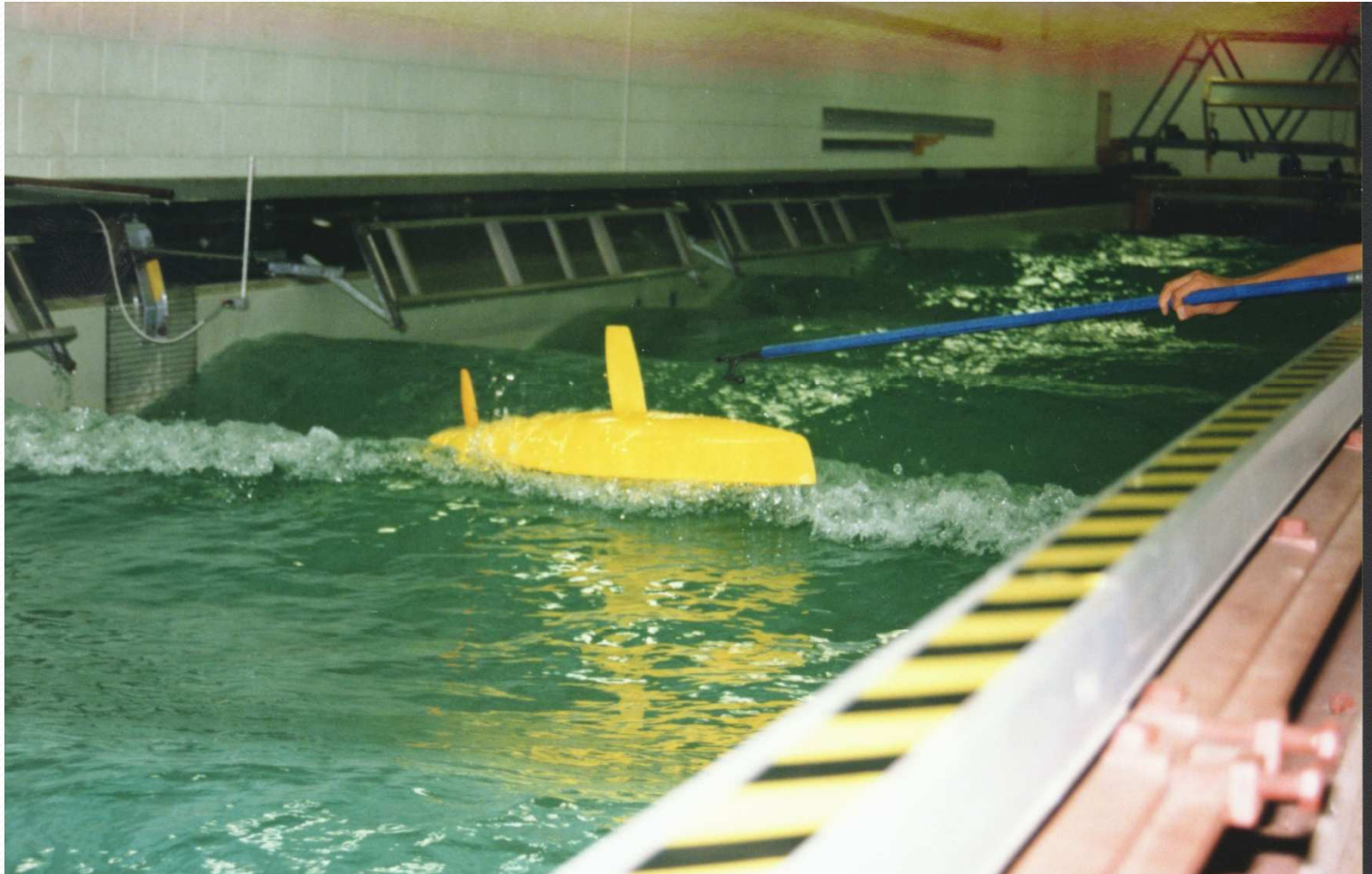


# Re-Righting



Tank tests – solitary waves

# Re-Righting



Tank tests – irregular waves



# Η αξιοπλοΐα των ιστιοπλοϊκών σκαφών

- Η ποσοτική εκτίμηση της αξιοπλοΐας στην ανοικτή θάλασσα είναι ένα πολύ δύσκολο πρόβλημα.
- Είναι εξαιρετικά δύσκολο να βρούμε κριτήρια ευστάθειας για όλους τους τύπους ιστιοπλοϊκών, καθώς θα πρέπει να ληφθεί υπόψη το είδος πλεύσης σε συγκεκριμένη κατάσταση θάλασσας κτλ.
- Μια προσπάθεια γενίκευσης των κριτηρίων ασφαλείας για σκάφη μήκους 6 έως 24 μέτρα, που να εξαρτάται από γεωμετρικά χαρακτηριστικά και τον μοχλοβραχίονα επαναφοράς, στηρίχθηκε από τον ISO και κατέληξε στην θέσπιση του δείκτη ευστάθειας.



# Δείκτης ευστάθειας (STIX)

- Ο δείκτης ευστάθειας (STability IndeX) αποτελεί μια μέθοδο συνολικής εκτίμησης της ευστάθειας του πλοίου λαμβάνοντας υπόψη πολλούς παράγοντες που μπορούν να την επηρεάσουν.
- Προκύπτει από μια εμπειρική σχέση που περιλαμβάνει 8 όρους που σχετίζονται είτε με θέματα ευστάθειας είτε πλευστότητας. Αναπτύχθηκε από τους Moon και Oossanen και τυγχάνει ιδιαίτερης βαρύτητας καθώς οι σύγχρονοι ιστιοπλοϊκοί οργανισμοί τον έχουν υιοθετήσει.
- Οι υπολογισμοί για τον δείκτη ευστάθειας και τα απαραίτητα στοιχεία για τον υπολογισμό του, αφορούν μια δεδομένη κατάσταση φόρτωσης σε κάποιο εκτόπισμα (περιλαμβάνει 2 άτομα πληρώματος, και το στάνταρ εξοπλισμό δίχως φορτίο). Αν το μέγιστο εκτόπισμα ξεπερνά κατά 15% το βάρος αυτό τότε ο υπολογισμός γίνεται στο μέγιστο εκτόπισμα
- Ακριβώς επειδή ανάμεσα από διάφορα άλλα κριτήρια ευστάθειας ο δείκτης STIX λαμβάνει τόσο πολύ υπόψη του την μεταβολή του μοχλοβραχίονα GZ, επιλέχτηκε σαν βασικό κριτήριο έλεγχου της στατικής ευστάθειας της μελέτης που εξετάζουμε.

# Παράγοντας Δυναμικής Ευστάθειας FDS (Dynamic Stability Factor)

- Ο παράγοντας αυτός αντικατοπτρίζει την υπάρχουσα ενέργεια επαναφοράς η οποία πρέπει να ξεπεραστεί από εξωτερικό αίτιο έτσι ώστε να επέλθει απώλεια ευστάθειας. Δίνεται από την σχέση

$$FDS = \left( \frac{A_{GZ}}{15.81\sqrt{L_H}} \right)$$

- $A_{GZ}$  είναι η επιφάνεια κάτω από την καμπύλη GZ σε m\*degrees από 0° μέχρι και  $\varphi_D$  ή  $\varphi_V$ , όποια είναι μικρότερη.
- $\varphi_D$  η γωνία εισροής υδάτων και
- $\varphi_V$  η γωνία που μηδενίζεται ο μοχλοβραχίονας
- $L_H$  είναι το ολικό μήκος

Σε κάθε περίπτωση πρέπει ο FDS να βρίσκεται στα όρια  $0.5 \leq FDS \leq 1.5$



# Παράγοντας Επαναφοράς από την Ανεστραμμένη θέση FIR (Inversion Recovery Factor)

- Ο παράγοντας αυτός αντικατοπτρίζει την ικανότητα του σκάφους να επανέρχεται στην όρθια από την ανεστραμμένη θέση ( $180^\circ$ ) και υπολογίζεται από την σχέση

$$FIR = \frac{\phi_V}{12 - \frac{m}{1600}} \quad \text{αν } m < 40000$$

$$FIR = \frac{\phi_V}{100} \quad \text{αν } m \geq 40000$$

- Σε κάθε περίπτωση πρέπει ο FIR να βρίσκεται στα όρια  $0.4 \leq FIR \leq 1.5$



# Παράγοντα Επαναφοράς από την Όρθια Θέση FKR (Knockdown Recovery Factor)

- Ο παράγοντας αυτός αντικατοπτρίζει την ικανότητα του σκάφους να αποβάλλει το νερό από τα πανιά του και να επανέρχεται στην όρθια θέση ισορροπίας από την οριζόντια θέση (90 μοίρες)

- Αρχικά υπολογίζουμε

$$F_R = \frac{GZ_{90} \cdot m}{2A_S h_{CE}}$$

- $GZ_{90}$  ο μοχλοβραχίονας επαναφοράς στις 90 μοίρες
- $A_S$  η προβεβλημένη επιφάνεια της ιστιοφορίας
- $h_{CE}$  η κατακόρυφη απόσταση του C.E. της  $A_S$  από την ίσαλο πλεύσεως

- Αν  $F_R \geq 1.5$   $FKR = 0.875 + 0.0833 \cdot F_R$

- αν  $F_R \leq 1.5$   $FKR = 0.5 + 0.333 \cdot F_R$

- αν  $\varphi_V < 90$   $FKR = 0.5$

- Σε κάθε περίπτωση πρέπει ο FKR να βρίσκεται στα όρια  $0.5 \leq FKR \leq 1.5$

# Παράγοντας Εκτοπίσματος – Μήκους FDL (Displacement Length Factor)

- Ο παράγοντας αυτός υπολογίζει την ευνοϊκή επίδραση της αύξησης του εκτοπίσματος υπό σταθερό μήκος στην αντίσταση του σκάφους σε ανατροπή.
- Υπολογίζεται από την σχέση

$$FDL = \left[ 0.6 + \left( \frac{15 * m * F_L}{L_{BS}^3 (333 - 8L_{BS})} \right) \right]^{0.5}$$

- $L_{BS} = (2L_{WL} + L_H)/3$  το βασικό μήκος
- $F_L = (L_{BS}/11)^{0.2}$
- Σε κάθε περίπτωση πρέπει ο FDL να βρίσκεται στα όρια  $0.75 \leq FDL \leq 1.5$



# Παράγοντας Πλάτους – Εκτοπίσματος FBD (Beam Displacement Factor)

- Ο παράγοντας αυτός αξιολογεί κατά πόσο η εξοχή του καταστρώματος και το αυξημένο πλάτος σε σχέση με το εκτόπισμα, αυξάνουν την πιθανότητα ανατροπής του ιστιοπλοϊκού σε πλάγιους κυματισμούς.
- Από την παρακάτω σχέση

$$F_B = \frac{3.3B_H}{(0.03 * m)^{0.3}} \quad \text{όπου } B_H \text{ το μέγιστο πλάτος της γάστρας}$$

ελέγχουμε:

$$\text{αν } F_B \geq 2.2 \quad , \quad \text{τότε} \quad FBD = \left[ \frac{13.31B_{WL}}{(B_H * F_B^3)} \right]^{0.5}$$

$$\text{αν } F_B < 1.45 \quad , \quad \text{τότε} \quad FBD = \left[ \frac{F_B^2 B_{WL}}{(B_H * 1.682)} \right]^{0.5}$$

αλλιώς

$$FBD = 1.118 \left[ \frac{B_{WL}}{B_H} \right]^{0.5}$$

$$0.75 \leq FBD \leq 1.25$$



# Παράγοντας Ροπής Ανέμου FWM (Wind Moment Factor)

- Ο παράγοντας αυτός αξιολογεί τον κίνδυνο εισροής υδάτων, εξαιτίας ενός αιφνίδιου ανέμου.
- Ως  $\phi_D$  επιλέγουμε την μικρότερη των  $\phi_{DH}$  και  $\phi_{DC}$ , όπου  $\phi_{DH}$  η γωνία εισροής υδάτων εξετάζοντας τις βασικές εισόδους στο εσωτερικό του σκάφους και  $\phi_{DC}$  η γωνία εισροής υδάτων σε χώρους βραδείας απάντλησης.
- Αν  $\phi_D > 90$  τότε  $FWM = 1.0$
- Αν  $\phi_D < 90$  τότε  $FWM = v_{AW}/17$

$v_{AW}$  = η σταθερή ταχύτητα φαινομένου ανέμου σε (m/s) που απαιτείται για να πάρει το σκάφος κλίση  $\phi_D$  ενώ υπάρχει πλήρη ιστιοκορμία.

$$v_{AW} = \left( \frac{13 * m * GZ_D}{[A_S (h_{CE} + h_{LP}) |\cos \phi_D|^{1.3}]} \right)^{0.5}$$

$GZ_D$  = μοχλοβραχίονας επαναφοράς για γωνία κλίσης  $\phi_D$

$h_{CE} + h_{LP}$  η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ του κέντρου της συνολικής επιφάνειας των πανιών  $A_S$  από το κέντρο της προβεβλημένης επιφάνειας των υφάλων στο διάμηκες επίπεδο συμμετρίας.

$$0.5 \leq FWM \leq 1.0$$

# Παράγοντας Εισροής Υδάτων FDF(Downflooding Factor)

- Ο παράγοντας αυτός αντικατοπτρίζει τον κίνδυνο εισροής υδάτων σε περίπτωση που το σκάφος έρθει στην οριζόντια θέση ( $\varphi=90^\circ$ ) και δίνεται από την σχέση

$$FDF = \varphi_D / 90$$

με  $\varphi_D/90$  την μικρότερη των  $\varphi_{DH}$ ,  $\varphi_{DC}$  και  $\varphi_{A1}$  (η γωνία κατά την οποία ανοίγματα συνολικής επιφάνειας μεγαλύτερης των  $50L_H^2$  ξεκινούν να βυθίζονται)

$$0.5 \leq FDF \leq 1.25$$



# Υπολογισμός STIX

- Αφού υπολογισθούν οι παράγοντες που αναφέρθηκαν παραπάνω, ο δείκτης ευστάθειας STIX προκύπτει από την παρακάτω εξίσωση

$$\mathbf{STIX = (7 + 2.25L_{BS}) * (FDS * FIR * FKR * FDL * FBD * FWM * FDF)^{0.5 + \delta}}$$

- $\delta = 5$  , αν υπάρχει περιθώριο άντωσης και επιπλέον  $GZ_{90} > 0$  όταν το σκάφος έχει κατακλυστεί πλήρως με νερό
- $\delta = 0$  , σε οποιαδήποτε άλλη περίπτωση



# Υπολογισμός STIX

Η τιμή που προκύπτει συγκρίνεται με τις ελάχιστες απαιτούμενες τιμές ανά κατηγορία STIX οι οποίες και παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα

Κατηγορία Σχεδίασης	A	B	C	D
Ελάχιστη Τιμή Δείκτη STIX	32	23	14	5

**Design Category A ~ 'OCEAN'**

**Design Category B ~ 'OFFSHORE'**

**Design Category C ~ 'INSHORE'**

**Design Category D ~ 'SHELTERED WATERS'**