

2. Μερικά εργαλεία

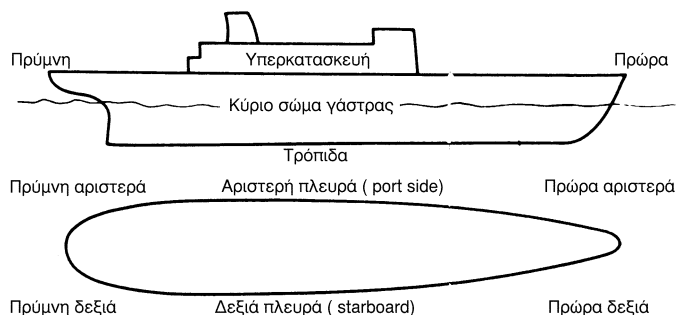
Κανένα επάγγελμα δεν μπορεί να αναπτυχθεί σωστά χωρίς εργαλεία, είτε πρόκειται για την κηπουρική, τη ναυπηγική ή τη διαστημική τεχνολογία. Πολλά από τα εργαλεία που χρειάζονται για τη μελέτη της ναυπηγικής είναι ήδη διαθέσιμα, προσφερόμενα από τα μαθηματικά, την εφαρμοσμένη μηχανική και τη φυσική και είναι απαραίτητο να θεωρήσουμε ότι, καθώς προχωράει η ύλη του παρόντος βιβλίου, προχωράει επίσης και η γνώση σε όλα τα συνδεδεμένα θέματα. Η γνώση, για παράδειγμα, του στοιχειώδους διαφορικού λογισμού και των ολοκληρωμάτων υποτίθεται ότι αναπτύσσεται παράλληλα με αυτό το κεφάλαιο. Επιπλέον, τα εργαλεία που χρειάζονται πρέπει να είναι ενδεδειγμένα. Οι ορισμοί πρέπει να είναι ακριβείς, ενώ τα τεχνάσματα που υιοθετούνται από τα μαθηματικά πρέπει να προσαρμόζονται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να εφαρμόζονται άμεσα στις μορφές και στα προβλήματα του πλοίου. Τα εργαλεία αυτά, συνεπώς, είναι μέσα εξέτασης αυτής της επιστήμης.

Είναι επίσης βολική η υιοθέτηση μιας ορολογίας ή μιας συγκεκριμένης γλώσσας και συντομογραφιών για πολλά από τα τεχνάσματα που χρησιμοποιούνται. Σε αυτό το κεφάλαιο, που θέτει σταθερά θεμέλια πάνω στα οποία θα βασιστεί το παρόν αντικείμενο, παρουσιάζονται και εξετάζονται μερικά από τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται από το ναυπηγό. Τέλος, υπάρχουν σύντομες σημειώσεις για την στατιστική θεωρία και διάφορους προσεγγιστικούς τύπους.

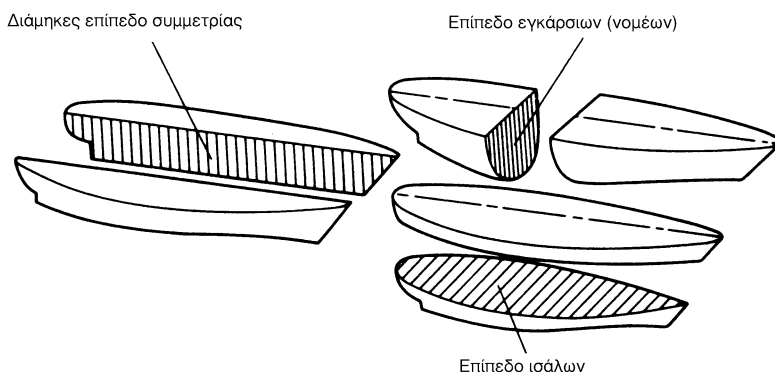
Βασικές γεωμετρικές έννοιες

Τα βασικά τμήματα ενός τυπικού πλοίου μαζί με τους όρους που αντιστοιχούν σ'αυτά παρουσιάζονται στο Σχ. 2.1. Επειδή οι υπερκατασκευές και τα υπερστεγάσματα είναι μικρής σημασίας ή επιρροής, αγνοούνται στην αρχή, και η γάστρα του πλοίου θεωρείται ως ένα κοίλο σώμα, καμπύλο σε όλες τις κατευθύνσεις, καλυμμένο με ένα υδατοστεγές κατάστρωμα. Τα περισσότερα πλοία έχουν ένα μόνο επίπεδο συμμετρίας, που ονομάζεται *διάμηκες επίπεδο συμμετρίας* το οποίο και θεωρείται ως το βασικό επίπεδο αναφοράς. Το σχήμα ενός πλοίου που προκύπτει από τομές παράλληλες σε αυτό το επίπεδο είναι γνωστό ως *σχέδιο διαμήκων τομών* (*sheer plan* ή *profile*). Η *ισάλος επιφάνεια σχεδίασης* είναι ένα επίπεδο κάθετο προς το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας, επιλεγμένο ως επίπεδο αναφοράς στο οριζόντιο επίπεδο. Μπορεί να είναι παράλληλο ή όχι με την τρόπιδα. Επίπεδα κάθετα προς αμφότερα το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας και το επίπεδο της ισάλου επιφάνειας σχεδίασης λέγονται *εγκάρσια επίπεδα*, και μια εγκάρσια τομή του πλοίου συνήθως παρουσιάζει συμμετρία ως προς το διάμηκη άξονα συμμετρίας. Επίπεδα σε ορθή γωνία με το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας και παράλληλα προς την επιφάνεια της ισάλου σχε-

δίασης ονομάζονται *ίσαλοι επιφάνειες* (*waterplanes*), είτε είναι στο νερό είτε όχι και είναι συνήθως συμμετρικές ως προς το διαμήκη άξονα συμμετρίας. Τα επίπεδα των ισάλων δεν είναι απαραίτητο να είναι παράλληλα στην τρόπιδα. Έτσι η καμπύλη μορφή ενός πλοίου μεταφέρεται καλύτερα στο νου μας με τις τομές του σε ορθογώνια επίπεδα. Τα επίπεδα αυτά απεικονίζονται στο Σχ. 2.2.



Σχ. 2.1



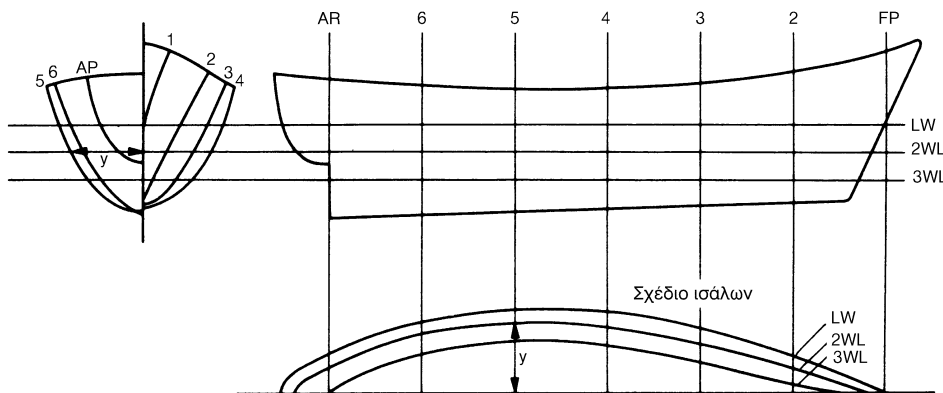
Σχ. 2.2

Εγκάρσιες τομές τοποθετημένες επαλληλώς (η μία πάνω στην άλλη) σχηματίζουν ένα *σχέδιο εγκάρσιων τομών* (νομέων, *body plan*), στο οποίο, κατά σύμβαση, όταν οι τομές είναι συμμετρικές, δείχνονται μόνο ημιτομές, με τις προωαίες ημιτομές στη δεξιά πλευρά του άξονα συμμετρίας και τις πρυμναίες ημιτομές στην αριστερή. Ημιεπιφάνειες ισάλων τοποθετημένες η μία πάνω στην άλλη σχηματίζουν ένα *σχέδιο ισάλων* (ημιπλατών, *half breadth plan*). Οι επιφάνειες ισάλων, παρατηρούμενες από το πλάι στο επίπεδο των διαμήκων τομών (*sheer*) ή των εγκάρσιων τομών (*body plan*) ονομάζονται *ίσαλοι* (*waterlines*). Το σχέδιο διαμήκων τομών (*sheer*), το σχέδιο εγκάρσιων τομών και το σχέδιο ισάλων είναι φανερά συνδεδεμένα μεταξύ τους (βλ. Σχ 2.3) και ονομάζονται συνολικά *σχέδιο ναυπηγικών γραμμών* (*line plan* ή *sheer drawing*). Εφόσον τα επίπεδα των ισάλων και τα εγκάρσια επίπεδα είναι τοποθετη-

μένα σε ίσα διαστήματα μεταξύ τους, χρειάζονται επίσης σημεία αναφοράς για την εκκίνηση. Το επίπεδο ισάλου στο οποίο σχεδιάζεται το πλοίο ονομάζεται *ισαλος φόρτωσης (load water plane, LWP)* ή *ισαλος σχεδίασης (design water plane)*. Επιπλέον ίσαλοι για την εξέταση του σχήματος του πλοίου σχεδιάζονται σε ίσα διαστήματα πάνω και κάτω από την ίσαλο σχεδίασης, αφήνοντας συνήθως ένα άνισα κατανεμημένο τμήμα κοντά στην τρύπιδα, το οποίο εξετάζεται καλύτερα χωριστά.

Σχέδιο εγκάρσιων τομών (νομέων)

Σχέδιο διαμήκων τομών



Σχ. 2.3 Σχέδιο ναυπηγικών γραμμών

Ένα σημείο αναφοράς στο προωραίο άκρο του πλοίου προκύπτει από την τομή της ισάλου φόρτωσης και του περιγράμματος της πλώρης, και η κάθετη προς το LWP γραμμή στο σημείο αυτό, ονομάζεται *προωραία κάθετος (fore perpendicular, FP)*. Δεν έχει σημασία πού βρίσκονται οι κάθετοι, με την προϋπόθεση ότι είναι ακριβείς και καθορισμένες για τη διάρκεια ζωής του πλοίου, ότι περιλαμβάνουν το μεγαλύτερο μέρος του βρεχόμενου τμήματος και ότι δεν υπάρχουν σημαντικές ασυνέχειες μεταξύ τους. Η *πρυμναία κάθετος (alter perpendicular, AP)* λαμβάνεται συχνά να διαπερνά τον άξονα του πηδαλίου ή της τομής του LWL και του προφίλ της πρύμνης. Αν το σημείο είναι αρκετά αιχμηρό, λαμβάνεται πολλές φορές καλύτερα στο πρυμναίο κόψιμο (cut up) ή σε μία θέση στη περιοχή όπου υπάρχει μία ασυνέχεια στην μορφή του πλοίου. Η απόσταση μεταξύ αυτών των δυο αυτών γραμμών αναφοράς λέγεται *μήκος μεταξύ καθέτων (LBP ή L_{pp})*. Τα άλλα δύο μήκη που θα αναφερθούν και δε χρειάζονται περαιτέρω επεξήγηση είναι το *ολικό μήκος* και το *μήκος ισάλου*.

Η απόσταση μεταξύ των καθέτων χωρίζεται σε ένα κατάλληλο αριθμό ίσων διαστημάτων, συχνά είκοσι, με εικοσιμία ισαπέχουσες τεταγμένες συμπεριλαμβανομένων των FP και AP. Αυτές οι τεταγμένες είναι βέβαια οι άκρες των εγκάρσιων επιπέδων που φαίνονται στο σχέδιο διαμήκων τομών (sheer) ή στο σχέδιο ισάλων και το σχήμα τους απεικονίζεται κατά το ήμισυ στο σχέδιο εγκάρσιων τομών. Οι τεταγμένες μπορούν επίσης να ορίσουν ένα οποιοδήποτε σύνολο από όμοια κατανεμημένες γραμμές

αναφοράς χαραγμένες σε ένα ακανόνιστο σχήμα. Η απόσταση από το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας κατά μήκος μιας τεταγμένης στο σχέδιο ισάλων ονομάζεται *ημιπλάτος (offset)* και αυτή η απόσταση παρουσιάζεται ξανά στο σχέδιο εγκάρσιων τομών, όπου φαίνεται από διαφορετική κατεύθυνση. Όλες αυτές οι αποστάσεις για όλα τα επίπεδα ισάλων και όλες τις τεταγμένες σχηματίζουν ένα *πίνακα ημιπλάτων (table of offsets)*, ο οποίος ορίζει το σχήμα της γάστρας και από τον οποίο μπορεί να σχεδιαστεί το σχέδιο γραμμών. Ένας απλός πίνακας ημιπλάτων χρησιμοποιείται στο Σχ. 3.30 για τον υπολογισμό των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του πλοίου.

Απαιτείται ένα επίπεδο αναφοράς κοντά στο μέσο μήκος του πλοίου και συνήθως επιλέγεται το εγκάρσιο επίπεδο στο μέσο της απόστασης μεταξύ των καθέτων. Αυτό το επίπεδο αναφοράς ονομάζεται *επίπεδο μέσης τομής (amidships ή midships)* και η τομή του πλοίου σε αυτό το επίπεδο ονομάζεται *μέση τομή (midship section)*. Μπορεί να μην είναι η μεγαλύτερη, από πλευράς επιφάνειας η πλάτους, τομή και μπορεί να μην έχει καμία άλλη σημασία εκτός από τη θέση της στο μισό διάστημα μεταξύ των καθέτων. Η θέση της ορίζεται συνήθως από το σύμβολο Φ .

Το σχήμα, οι γραμμές, τα ημιπλάτη και οι διαστάσεις πρωταρχικού ενδιαφέροντος για τη θεωρία της ναυπηγικής είναι αυτά που βρέχονται από τη θάλασσα και ονομάζονται ναυπηγικές γραμμές, τεταγμένες, ημιπλάτη κ.λπ. *εκτοπίσματος*. Εκτός αν δηλώνεται διαφορετικά, αυτό το βιβλίο αναφέρεται συνήθως σε διαστάσεις εκτοπίσματος, συνεπώς εξωτερικώς του περιβλήματος της γάστρας του πλοίου. Ξεχωριστό ενδιαφέρον για τον κατασκευαστή του πλοίου έχουν οι γραμμές των κατασκευαστικών νομέων που διαφέρουν από τις *γραμμές εκτοπίσματος (displacement lines)* κατά το πάχος του ελάσματος της γάστρας, ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής του πλοίου. Οι διαστάσεις των γραμμών αυτών αυτές ονομάζονται *διαστάσεις σχεδίασης (moulded dimensions)*. Συνεπώς, οι ορισμοί των διαστάσεων εκτοπίσματος είναι παρόμοιοι με αυτούς που ακολουθούν, αλλά διαφέρουν κατά το πάχος του ελάσματος.

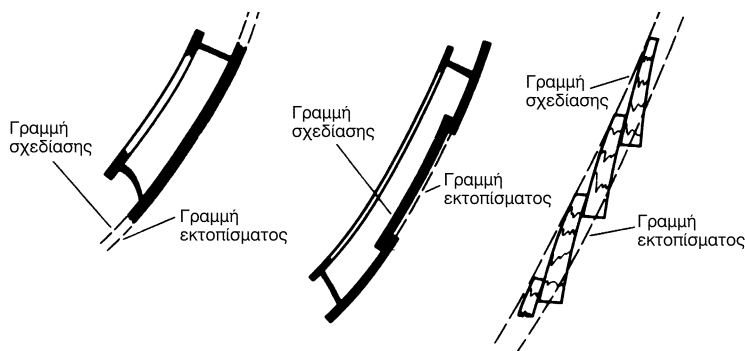
Το *σχεδιαστικό βύθισμα (moulded draught)* είναι η κάθετη απόσταση σε ένα εγκάρσιο επίπεδο από την άνω όψη της οριζόντιας τρόπιδας (flat keel) μέχρι την ίσαλο σχεδίασης. Αν δε διευκρινίζεται διαφορετικά, η μέτρηση αναφέρεται στη μέση τομή.

Το βύθισμα στη μέση τομή είναι το μέσο βύθισμα, εκτός αν το μέσο βύθισμα αναφέρεται απευθείας στις ενδείξεις της κλίμακας βυθισμάτων.

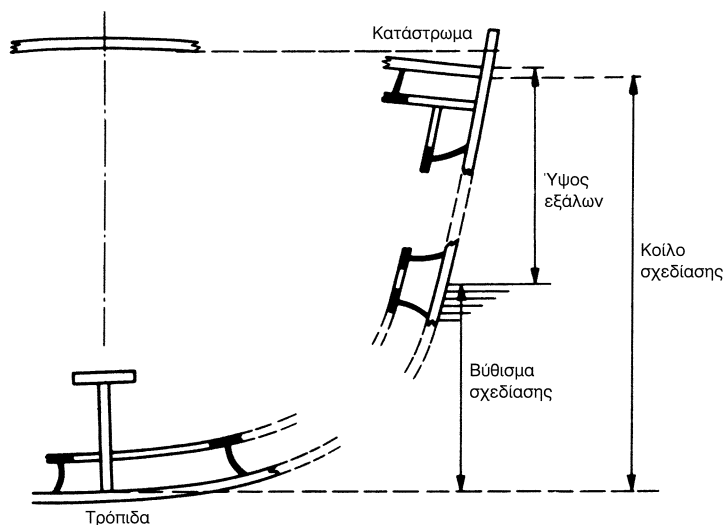
Το *σχεδιαστικό (moulded) κοίλο* είναι η κάθετη απόσταση σε ένα εγκάρσιο επίπεδο από την άνω όψη της οριζόντιας τρόπιδας (flat keel) μέχρι το ίχνος στην πλευρά του πλοίου, της εσωτερική πλευράς του ελάσματος καταστρώματος. Αν δε διευκρινίζεται διαφορετικά, αναφέρεται σε διάσταση μετρούμενη στη μέση τομή.

Ύψος εξάλων (*freeboard*) είναι η διαφορά μεταξύ του ύψους του κοίλου, μετρούμενου στην πλευρά, και του βυθίσματος. Αντιστοιχεί στην κάθετη απόσταση στο εγκάρσιο επίπεδο από την γραμμή της ισάλου μέχρι το ίχνος της άνω πλευράς του καταστρώματος στην πλευρά του πλοίου.

Το μέγιστο πλάτος σχεδίασης (moulded breadth extreme) είναι το μέγιστο μετρούμενο οριζοντίως πλάτος σε οποιοδήποτε νομέα. Οι αγγλικοί όροι breadth και beam είναι συνώνυμοι.



Σχ. 2.4 Εναλλακτικές γραμμές σχεδίασης και εκτοπίσματος (για συγκολλητά, καρφωτά και ξύλινα σκάφη).



Σχ. 2.5

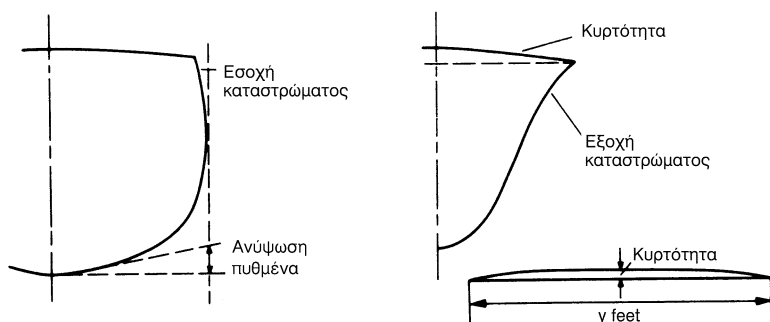
Στη συνέχεια αναφέρονται και κάποιες άλλες γεωμετρικές έννοιες, χρήσιμες για τον καθορισμό του σχήματος της γάστρας. Ανύψωση πυθμένα (Rise of floor) είναι η απόσταση πάνω από την τρόπιδα, στην οποία η εφαπτομένη στον πυθμένα στη θέση της τρόπιδας ή κοντά σε αυτήν τέμνει τη γραμμή του μέγιστου πλάτους στη μέση τομή. Βλ. Σχ. 2.6.

Εσοχή καταστρώματος (Tumble home) είναι η απόκλιση μιας τομής από το κατακόρυφο επίπεδο με κατεύθυνση προς τον άξονα συμμετρίας της, καθώς προσεγγίζεται η ακμή του καταστρώματος. Η αντίθετη τάση ονομάζεται flare (εξοχή καταστρώματος). Βλ. Σχ.2.6.

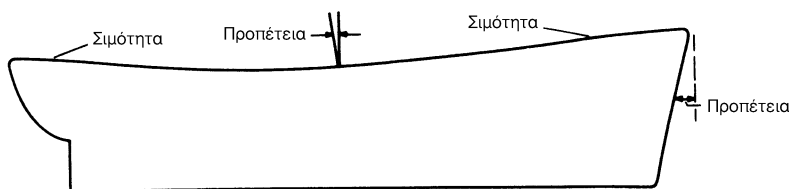
Κυρτότητα καταστρώματος (*deck camber ή round down*) είναι η καμπυλότητα που εφαρμόζεται στο κατάστρωμα κατά το εγκάρσιο. Έχει τα κοίλα προς τα κάτω, έχει μορφή παραβολής ή κυκλικής καμπύλης, και μετρείται στο αγγλοσαξονικό σύστημα σαν x [in] σε y [feet] (Σχ.2.6).

Σιμότητα (*sheer*) είναι η τάση του καταστρώματος να ανυψώνεται πάνω από το οριζόντιο επίπεδο στα άκρα στη διαμήκη όψη (προφίλ).

Προπέτεια (*rake*) είναι η απόκλιση από την κάθετο μιας οποιοδήποτε χαρακτηριστικής γραμμής, όπως μιας καπνοδόχου, ενός ιστού, του περιγράμματος της πλώρης, των υπερκατασκευών κ.λπ., στη διαμήκη όψη (προφίλ) (Σχ. 2.7).



Σχ. 2.6

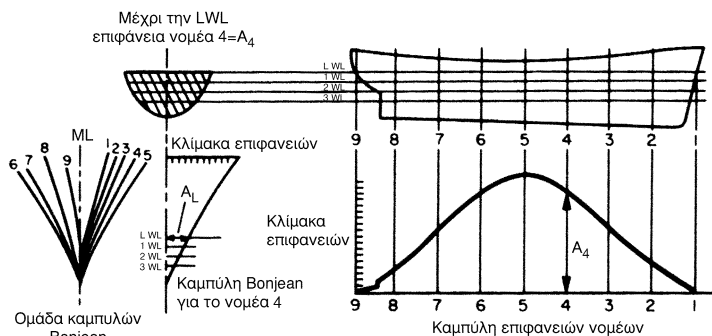


Σχ. 2.7

Υπάρχει ειδική ορολογία για τις γωνιακές κινήσεις του πλοίου ως στερεού από την κατάσταση ισορροπίας. Η γωνιακή απόκλιση του σώματος από την κάθετο σε ένα εγκάρσιο πεδίο ονομάζεται *εγκάρσια κλίση* (*heel*). Η γωνιακή απόκλιση του σώματος στο διάμηκες επίπεδο συμμετρίας ονομάζεται *διαγωγή* (*trim*). Η γωνιακή απόκλιση από τη μέση πορεία του πλοίου στο οριζόντιο επίπεδο ονομάζεται yaw ή drift. Να σημειωθεί ότι όλες οι ανωτέρω γωνίες λογίζονται ως στατικές κινήσεις και δεν εμπεριέχουν ρυθμούς μεταβολής, που θα μελετηθούν σε επόμενα κεφάλαια.

Υπάρχουν δύο καμπύλες που μπορούν να προκύψουν από τα ημιπλάτη οι οποίες ορίζουν το σχήμα της γάστρας με επιφάνειες αντί αποστάσεις, και θα αποδειχθούν μεγάλης αξίας στη συνέχεια. Κατασκευάζοντας τεταγμένες με ύψος ανάλογο με την επιφάνεια κάθε νομέα μέχρι το LWP στον οριζόντιο άξονα, λαμβάνουμε μια καμπύλη γνωστή ως *καμπύλη επιφανειών* (*curve of areas*). Το Σχ. 2.8. δείχνει μια

τέτοια καμπύλη με το νομέα τέσσερα (4) ως παράδειγμα. Το ύψος της καμπύλης επιφάνειας στο νομέα με αριθμό 4 αναπαριστά την επιφάνεια της τομής στην τεταγμένη αριθμό 4. Το ύψος στον αριθμό 5 είναι ανάλογο της επιφάνειας της τομής αριθμού 5 κ.ο.κ. Ένα δεύτερο είδος καμπύλης επιφάνειας μπορεί να βρεθεί από την εξέταση κάθε τομής. Το Σχ. 2.8. λαμβάνει ξανά το νομέα 4 ως παράδειγμα. Σχεδιάζοντας οριζόντιες τεταγμένες ανάλογες του εμβαδού των νομέων μέχρι την κάθε ισάλο, μετρούμενες από έναν κατακόρυφο άξονα, παίρνουμε μία καμπύλη που ονομάζεται *καμπύλη Bonjean*. Έτσι, η απόσταση που μετράται από τον κάθετο άξονα προς τα έξω στο LWL είναι ανάλογη προς το εμβαδόν του νομέα μέχρι το LWL, η απόσταση που μετράται προς τα έξω στο 1WL είναι ανάλογη προς το εμβαδόν του νομέα μέχρι το 1WL κ.ο.κ. Η καμπύλη Bonjean μπορεί να σχεδιαστεί για κάθε νομέα και τότε παράγεται ένα σύνολο καμπυλών.



Σχ. 2.8

Ο όγκος εκτοπίσματος, ∇ , είναι ο ολικός όγκος του ρευστού που εκτοπίζεται από το πλοίο. Αυτό γίνεται καλύτερα κατανοητό αν φανταστούμε το ρευστό υγρό σαν μία στερεά παραφίνη και το πλοίο να έχει απομακρυνθεί απ' αυτήν. Είναι τότε ο όγκος του αποτυπώματος που αφήνει η γάστρα. Για ευκολία στους υπολογισμούς, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι είναι το άθροισμα των όγκων του κύριου σώματος και των παρελκομένων όπως είναι τυχόν προεκτάσεις της τροπίδας πρύμνηθεν της πρυμναίας καθέτου AP, το πηδάλιο, τα παρατροπίδια, οι έλικες κλπ., αφαιρουμένων των εισαγωγών θαλάσσιου νερού για ψύξη και άλλων ανοιγμάτων.

Τέλος, για τον προσδιορισμό της γεωμετρίας της γάστρας υπάρχουν ορισμένοι συντελεστές, οι οποίοι θα αποδειχτεί στη συνέχεια ότι αποτελούν μέτρο της πληρότητας ή όχι της γάστρας.

Ο *συντελεστής πληρότητας της ισάλου επιφάνειας*, C_{wp} , είναι ο λόγος του εμβαδού της ισάλου επιφάνειας προς το εμβαδόν του περιγεγραμμένου ορθογωνίου. Κυμαίνεται από περίπου 0.70 για πλοία με ασυνήθιστα λεπτόγραμμα άκρα έως περίπου 0.90 για πλοία με μεγάλο παράλληλο τμήμα στο μέσον.

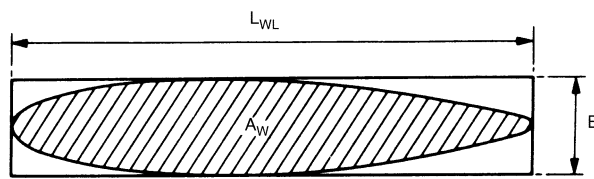
$$C_{WP} = \frac{A_W}{L_{WL}B}$$

Ο συντελεστής μέσης τομής, C_M , είναι ο λόγος του εμβαδού της μέσης τομής προς το εμβαδόν του ορθογωνίου του οποίου οι πλευρές είναι ίσες με το βύθισμα και το μέγιστο πλάτος, μετρημένα, στη μέση τομή. Η τιμή του συνήθως ξεπερνά το 0.85 σε πλοία εκτός από τα μικρά σκάφη αναψυχής, αλιευτικά κ.λπ.

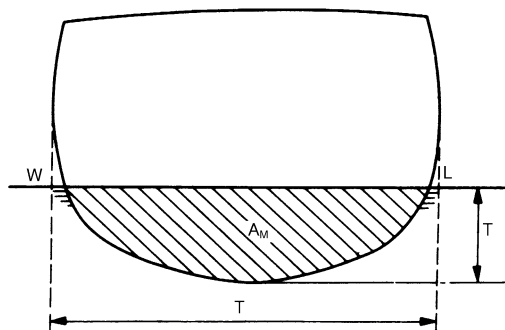
$$C_M = \frac{A_M}{BT}$$

Ο συντελεστής γάστρας, C_B , είναι ο λόγος του όγκου εκτοπίσματος προς τον όγκο ενός ορθογωνίου παραλληλεπίπεδου του οποίου οι πλευρές είναι ίσες με το μέγιστο πλάτος, το μέσο βύθισμα και το μήκος μεταξύ καθέτων.

$$C_B = \frac{\nabla}{BTL_{PP}}$$



Σχ.2.9 Συντελεστής ισάλου επιφάνειας



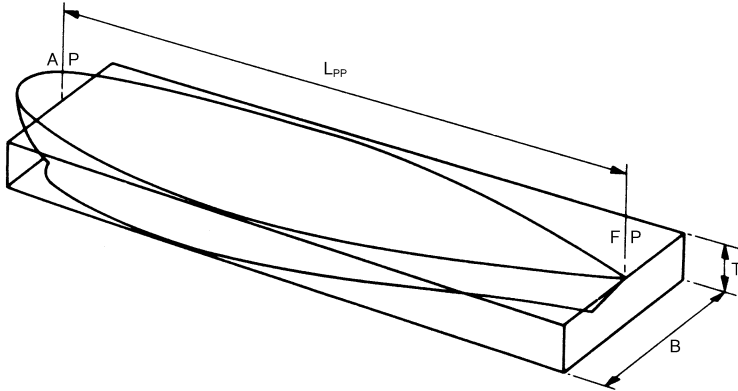
Σχ.2.10 Συντελεστής μέσης τομής

Οι μέσες τιμές του συντελεστή γάστρας μπορεί να είναι 0.88 για ένα δεξαμενόπλοιο, 0.60 για ένα αεροπλανοφόρο και 0.50 για ένα σκάφος αναψυχής (yacht).

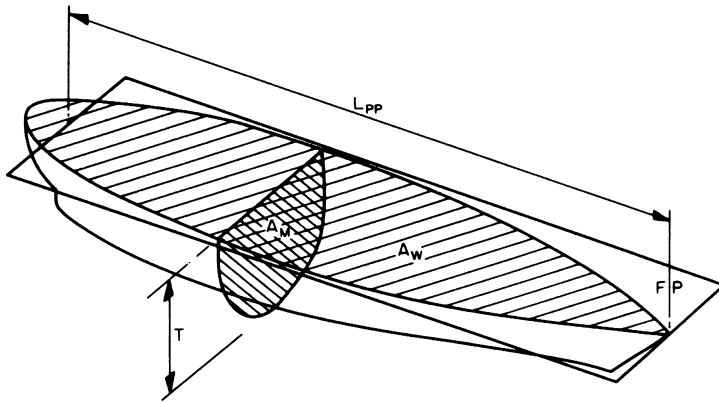
Ο διαμήκης πρισματικός συντελεστής, C_P , ή απλά ο πρισματικός συντελεστής είναι ο λόγος του όγκου εκτοπίσματος προς τον όγκο ενός πρίσματος που έχει μήκος ίσο με το μήκος μεταξύ καθέτων και μία εγκάρσια επιφάνεια ίση με την επι-

φάνεια της μέσης τομής. Οι αναμενόμενες τιμές συνήθως ξεπερνούν το 0.55.

$$C_P = \frac{\nabla}{A_M L_{PP}}$$



Σχ.2.11 Συντελεστής γάστρας



Σχ.2.12 Διαμήκης πρισματικός συντελεστής

Ο κατακόρυφος πρισματικός συντελεστής, C_{VP} , είναι ο λόγος του όγκου εκτοπίσματος προς τον όγκο ενός πρίσματος που έχει μήκος ίσο με το βύθισμα και εμβαδόν εγκάρσιας τομής ίσο με το εμβαδόν της επιφάνειας ισάλου.

$$C_{VP} = \frac{\nabla}{A_w T}$$

Πριν αφήσουμε προς το παρόν αυτούς τους συντελεστές, θα πρέπει να παρατηρήσουμε ότι στους παραπάνω ορισμούς χρησιμοποιήθηκαν οι διαστάσεις εκτοπίσματος και όχι οι διαστάσεις σχεδίασης (moulded), γιατί γενικά αυτό είναι που ενδιαφέρει στα πολύ πρώιμα στάδια της σχεδίασης. Η πρακτική σ' αυτόν τον τομέα ποικίλλει. Όπου η διαφορά είναι σημαντική, όπως για παράδειγμα στο κατασκευαστικό σχέδιο

ενός δεξαμενόπλοιου σύμφωνα με τους Κανόνες του Lloyd's, πρέπει να ελέγχεται ο ορισμός που χρησιμοποιείται. Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι οι τιμές των διαφορών συντελεστών εξαρτώνται από τις θέσεις ορισμού των καθέτων του πλοίου.

Ιδιότητες ακανόνιστων σχημάτων

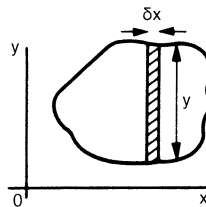
Τώρα που ορίστηκε η γεωμετρία του πλοίου, είναι απαραίτητο να προβλέψουμε ποιες ιδιότητες των σχημάτων αυτών θα φανούν χρήσιμες και να μάθουμε πώς υπολογίζονται.

ΕΠΙΠΕΔΑ ΣΧΗΜΑΤΑ

Οι ίσαλοι επιφάνειες, οι εγκάρσιοι νομείς, τα επίπεδα καταστρώματα, οι φρακτές, η καμπύλη επιφανειών και τα αναπτύγματα των καμπύλων επιφανειών είναι μερικά από τα απλά σχήματα των οποίων οι ιδιότητες παρουσιάζουν ενδιαφέρον. Το εμβαδόν μιας επιφάνειας στο επίπεδο Oxy , που καθορίζεται σε Καρτεσιανές συντεταγμένες, είναι

$$A = \int y dx$$

στο οποίο όλες οι λωρίδες μήκους y και πλάτους δx αθροίζονται σε όλη την έκταση του x . Επειδή το y για μορφές πλοίων είναι σπάνια μία ακριβής μαθηματική συνάρτηση του x , η ολοκλήρωση πρέπει να γίνει με μία προσεγγιστική μέθοδο που θα βρούμε σε αυτό το σημείο.



Σχ. 2.13

Εστω οι πρώτες ροπές επιφάνειας γύρω από κάθε άξονα. (Για τα διαγράμματα που φαίνονται στο Σχ. 2.14, τα x_1 και y_1 είναι μήκη και τα x και y είναι συντεταγμένες.)

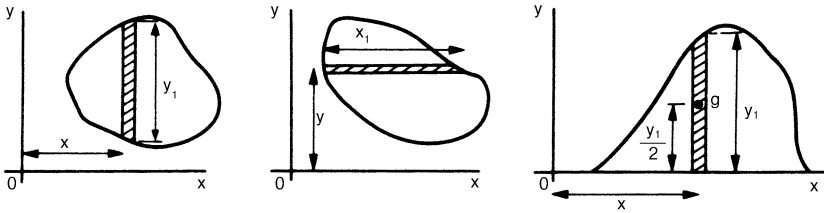
$$M_{yy} = \int x y_1 dx \text{ και } M_{xx} = \int x_1 y dy$$

Διαιρώντας την κάθε έκφραση με το εμβαδόν της επιφάνειας παίρνουμε τις συντεταγμένες του κέντρου επιφάνειας, $(\bar{x}, \bar{y})$:

$$\bar{x} = \frac{1}{A} \int x y_1 dx \text{ και } \bar{y} = \frac{1}{A} \int x_1 y dy$$

Για την ειδική περίπτωση ενός σχήματος που από τη μία πλευρά συνορεύει με τον άξονα x

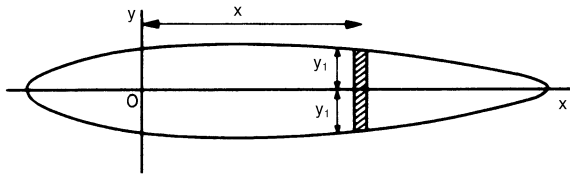
$$M_y^* = \int \frac{1}{2} y^2 dx \text{ και } \bar{y} = \frac{1}{2A} \int y_1^2 dx$$



Σχ. 2.14

Για ένα απλό σχήμα τοποθετημένο συμμετρικά γύρω από τον άξονα x όπως είναι μία επιφάνεια ισάλου, $M_{xx} = \int x_1 y \, dy = 0$ και η απόσταση του κέντρου επιφάνειας από τον άξονα y , που στην συγκεκριμένη περίπτωση της επιφάνειας ισάλου καλείται *κέντρο πλευστότητας* (CF), δίνεται από τον τύπο

$$\bar{x} = \frac{M_{yy}}{A} = \frac{\int xy_1 \, dx}{\int y_1 \, dx}$$



Σχ. 2.15

Είναι βολικό να εξετάσουμε τέτοιου είδους συμμετρικά σχήματα ως προς τη δεύτερη ροπή επιφάνειας, αφού συνήθως είναι δυνατό να απλοποιήσουμε τη διαδικασία επιλέγοντας ένα άξονα συμμετρίας για τα σχήματα του πλοίου. Οι δεύτερες ροπές επιφάνειας ή οι ροπές αδράνειας γύρω από τους δύο άξονες για τις επιφάνειες των ισάλων που παρουσιάζονται στο Σχ. 2.15 δίνονται από τους τύπους

$$I_T = \frac{1}{3} \int y_1^3 dx \text{ γύρω από τον } O_x \text{ για κάθε ημιεπιφάνεια}$$

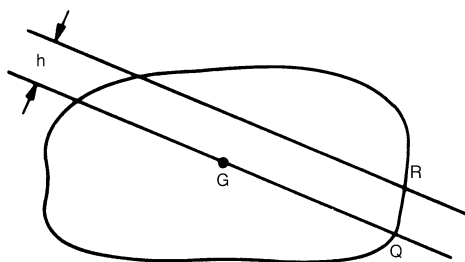
$$I_{yy} = \int x^2 y_1 dx \text{ γύρω από τον } O_y \text{ για κάθε ημιεπιφάνεια}$$

Το θεώρημα των παράλληλων αξόνων δείχνει ότι η δεύτερη ροπή επιφάνειας ενός επίπεδου σχήματος γύρω από οποιονδήποτε άξονα, Q , ενός συνόλου παράλληλων αξόνων είναι ελάχιστη όταν αυτός ο άξονας περνάει από το κέντρο της επιφάνειας και ότι η δεύτερη ροπή επιφάνειας γύρω από οποιονδήποτε άξονα, R , παράλληλο

*Σημείωση: $M_y = M_{xx}$

στον Q και σε απόσταση h από αυτόν δίνεται από τον τύπο (Σχ. 2.16),

$$I_R = I_Q + Ah^2$$



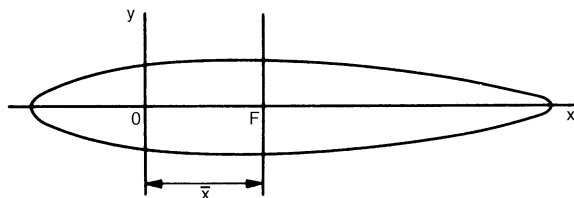
Σχ. 2.16

Από αυτό έπεται ότι η ελάχιστη διαμήκης δεύτερη ροπή επιφάνειας μιας ισόλου είναι γύρω από έναν άξονα ο οποίος διέρχεται από το κέντρο πλευστότητας και δίνεται από τον τύπο (Σχ. 2.17)

$$I_L = I_{yy} - A\bar{x}^2$$

δηλ.

$$I_L = \int x^2 y_1 dx - A\bar{x}^2$$



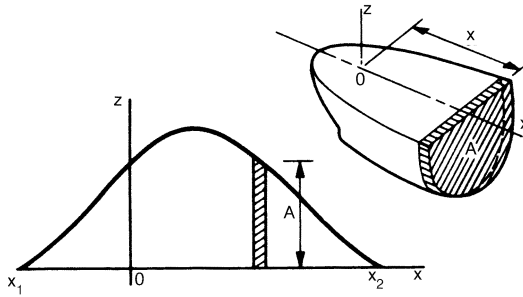
Σχ. 2.17

ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΑ ΣΧΗΜΑΤΑ

Έχουμε ήδη δείξει πώς αναπαριστάσουμε το τρισδιάστατο σχήμα του πλοίου με ένα επίπεδο σχήμα, την καμπύλη επιφανειών, αναπαριστώντας την κάθε επιφάνεια νομέα με ένα μήκος (Σχ. 2.8). Αυτός είναι ένας βολικός τρόπος για να αναπαραστήσουμε το τρισδιάστατο σχήμα του κυρίως βρεχόμενου τμήματος (εκτός των παρελκόμενων). Ο όγκος εκτοπίσματος δίνεται από τον τύπο

$$\nabla = \int_{x_1}^{x_2} A dx$$

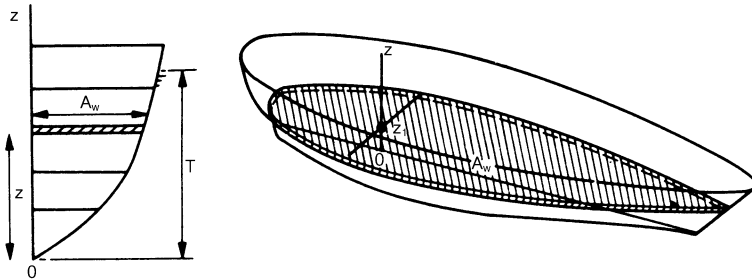
δηλ. είναι το άθροισμα όλων των λωρίδων με επιφάνεια νομέα A για το συνολικό εύρος του x (Σχ. 2.18).



Σχ. 2.18

Το σχήμα του πλοίου μπορεί να αναπαρασταθεί επίσης από την καμπύλη των επιφανειών των ισάλων σε έναν κατακόρυφο άξονα (Σχ. 2.19), όπου το πλάτος της καμπύλης σε οποιοδήποτε ύψος, z , πάνω από την τρόπιδα αντιπροσωπεύει το εμβαδόν της επιφάνειας της ισάλου σε αυτό το βύθισμα. Ο όγκος εκτοπίσματος είναι πάλι το σύνολο όλων των παρόμοιων με την επιφάνεια A_w λωρίδων, για το συνολικό εύρος του z από το 0 μέχρι το βύθισμα T ,

$$\nabla = \int_0^T A_w dz$$



Σχ. 2.19

Οι πρώτες ροπές του όγκου στη διαμήκη κατεύθυνση γύρω από τον Oz και στην κάθετη κατεύθυνση ως προς την τρόπιδα δίνονται από τούς τύπους

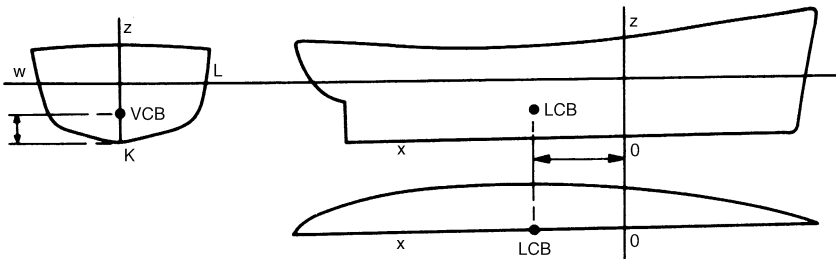
$$M_L = \int A x dx \quad \text{και} \quad M_v = \int_0^T A_w z dz$$

Διαιρώντας με τον όγκο σε κάθε περίπτωση παίρνουμε τις συντεταγμένες του κέντρου όγκου. Το κέντρο όγκου του ρευστού που εκτοπίζεται από το πλοίο είναι γνωστό ως *κέντρο άντωσης*. Οι προβολές του στη διαμήκη κατεύθυνση και στην εγκάρσια τομή ονομάζονται *διάμηκες κέντρο άντωσης* (LCB) και *κατακόρυφο κέντρο άντωσης* (VCB) αντίστοιχα.

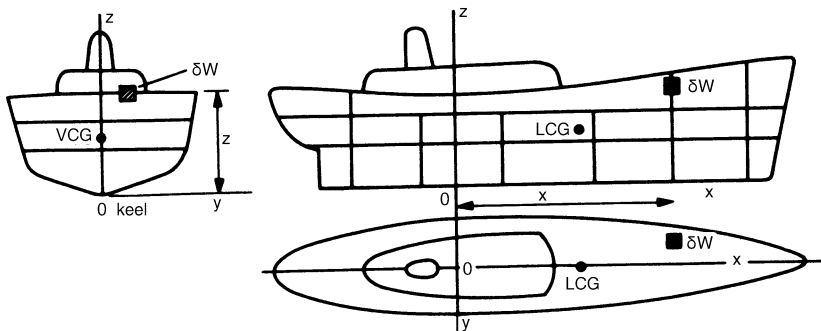
$$\text{LCB από τον άξονα } Oy = \frac{1}{\nabla} \int A x dx$$

$$\text{VCB πάνω από την τρόπιδα} = \frac{1}{V} \int A_w z dz$$

Αν το πλοίο δεν είναι συμμετρικό κάτω από την ίσαλο, το κέντρο άντωσης δε θα βρίσκεται στο διαμήκες επίπεδο συμμετρίας. Η προβολή του κατά το διάμηκες μπορεί να αναφέρεται ως το εγκάρσιο κέντρο άντωσης (TCB). Αν λάβουμε το z ως την απόσταση κάτω από την ίσαλο, η δεύτερη έκφραση αναπαριστά, βέβαια, τη θέση του VCB κάτω από την ίσαλο. Ορίζοντάς το τυπικά, το κέντρο άντωσης ενός πλεούμενου σώματος είναι το κέντρο του όγκου του εκτοπιζόμενου ρευστού στο οποίο πλέει το σώμα. Η πρώτη ροπή του όγκου γύρω από το κέντρο όγκου είναι μηδέν.



Σχ. 2.20 Προβολές του κέντρου άντωσης



Σχ. 2.21 Προβολές του κέντρου βάρους

Το βάρος ενός σώματος είναι το άθροισμα των βαρών όλων των τμημάτων που το συνθέτουν. Οι πρώτες ροπές των βαρών γύρω από συγκεκριμένο σύστημα αξόνων διαιρούμενες με το συνολικό βάρος ορίζουν τις συντεταγμένες του κέντρου βάρους ή κέντρου βαρύτητας (CG) σε σχέση με αυτό το σύστημα αξόνων. Οι προβολές του κέντρου βαρύτητας του πλοίου σε διαμήκη όψη και σε τομή είναι γνωστές ως το διάμηκες κέντρο βάρους (LCG), το κατακόρυφο κέντρο βάρους (VCG) και το εγκάρσιο κέντρο βάρους (TCG).

$$\text{LCG από τον } O_y = \frac{1}{W} \int x dW$$

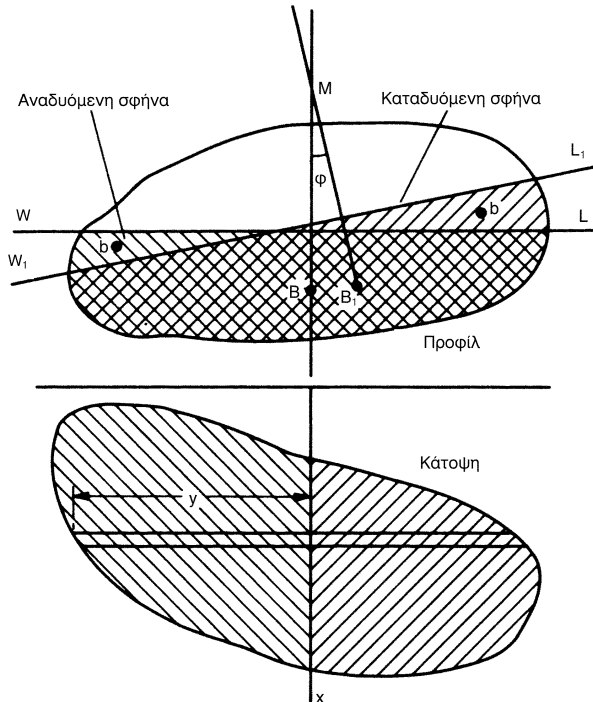
$$\text{VCG πάνω από την τρύπιδα} = \frac{1}{W} \int z dW$$

$$\text{TCG από το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας} = \frac{1}{W} \int y dW$$

Ορίζοντας το τυπικά, το *κέντρο βάρους* ενός σώματος είναι το σημείο στο οποίο, κατά τη στατική θεώρηση, μπορεί να θεωρηθεί ότι δρα συγκεντρωμένο όλο το βάρος του σώματος. Η πρώτη ροπή του βάρους γύρω από το κέντρο βάρους είναι μηδέν.

ΜΕΤΑΚΕΝΤΡΟ

Ας θεωρήσουμε ένα σώμα που πλέει όρθιο και ελεύθερα στην ίσαλο WL, του οποίου το κέντρο άντωσης βρίσκεται στο B. Ας αφήσουμε τώρα το σώμα να περιστραφεί κατά μία γωνία στο επίπεδο του χαρτιού χωρίς να αλλάξουμε τον όγκο εκτοπίσματος (είναι πιο βολικό στη σχεδίαση αν θεωρήσουμε το σώμα σταθερό και την ίσαλο να περιστρέφεται και να έρχεται στη θέση W_1L_1). Το κέντρο άντωσης για αυτό το νέο βυθιζόμενο σχήμα είναι στο B_1 . Ευθείες που διέρχονται από τα B και B_1 και είναι κάθετες στις αντίστοιχες ισάλους τέμνονται στο M, που είναι γνωστό ως *μετάκεντρο* (metacentre), αφού φαίνεται ότι το σώμα περιστρέφεται γύρω απ' αυτό για μικρές γωνίες περιστροφής.



Σχ. 2.22

Το *μετάκεντρο* είναι το σημείο τομής της καθέτου σε μία ελαφρά κεκλιμένη ίσαλο ενός σώματος, το οποίο περιστρέφεται χωρίς αλλαγή εκτοπίσματος γύρω από το κέντρο άντωσης που αντιστοιχεί σε αυτήν την ίσαλο επιφάνεια, και του κατακόρυφου επιπέδου που διέρχεται από το κέντρο άντωσης που αντιστοιχεί στην όρθια κατάσταση. Ο όρος *μετάκεντρο* χρησιμοποιείται για μικρές αποκλίσεις από την όρθια κατάσταση. Το σημείο τομής των καθέτων διαμέσου των κέντρων άντωσης που αντιστοιχούν σε διαδοχικές επιφάνειες ισάλων ενός σώματος, το οποίο περιστρέφεται απειροελάχιστα κατά μία επαλληλία γωνιών κλίσης χωρίς αλλαγή του εκτοπίσματος, ονομάζεται *προμετάκεντρο* (pro-metacentre).

Εάν το σώμα περιστρέφεται χωρίς αλλαγή του εκτοπίσματος, ο όγκος της καταδυόμενης σφήνας πρέπει να είναι ίσος με τον όγκο της αναδυόμενης σφήνας. Επίσης, η κίνηση του κέντρου άντωσης ολόκληρου του σώματος από το B στο B₁ οφείλεται στη μεταφορά αυτού του όγκου από την αναδυόμενη στην καταδυόμενη πλευρά. Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε:

- α) ότι ο όγκος των δύο σφηνών πρέπει να είναι ίσος·
- β) ότι οι πρώτες ροπές των δύο σφηνών γύρω από τη γραμμή της τομής τους πρέπει, για λόγους ισορροπίας, να είναι ίσες και
- γ) ότι η μεταφορά της πρώτης ροπής των σφηνών πρέπει να ισούται με τη μεταβολή στη πρώτη ροπή ολόκληρου του σώματος.

Καταγράφοντας τις παρατηρήσεις αυτές με μαθηματικά σύμβολα,

$$\begin{aligned}
 \text{Όγκος καταδυόμενης σφήνας} &= \int y \times \frac{1}{2} y \phi \, dx \\
 &= \text{Όγκος αναδυόμενης σφήνας} \\
 \text{Πρώτη ροπή καταδυόμενης σφήνας} &= \int \left(\frac{1}{2} y^2 \phi \right) \times \frac{2}{3} y \, dx \\
 &= \text{Πρώτη ροπή αναδυόμενης σφήνας} \\
 \text{Μεταφορά της πρώτης ροπής των σφηνών} &= 2 \times \int \frac{1}{3} y^3 \phi \, dx = \frac{2}{3} \phi \int y^3 \, dx \\
 \text{Μεταφορά της πρώτης ροπής ολόκληρου του σώματος} &= \nabla \times \overline{BB'} = \nabla \cdot \overline{BM} \cdot \phi \\
 \therefore \nabla \cdot \overline{BM} \cdot \phi &= \frac{2}{3} \phi \int y^3 \, dx
 \end{aligned}$$

Αλλά έχουμε ήδη δει ότι $I = \frac{2}{3} \int y^3 \, dx$ γύρω από τον άξονα κλίσης για τα δύο μισά της ισάλου επιφάνειας

$$\therefore \overline{BM} = \frac{I}{\nabla}$$

Αυτή είναι μια σπουδαία γεωμετρική ιδιότητα ενός πλεούμενου σώματος. Αν το πλεούμενο σώμα είναι πλοίο, υπάρχουν δύο $\overline{BM}$ ιδιαίτερου ενδιαφέροντος, το