

**ΑΕΝ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΠΛΟΙΑΡΧΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ ΦΙΛΙΠΠΙΔΗ ΘΕΟΔΩΡΟΥ**



# ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

## Α.Ε.Ν. ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

### ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΠΑΠΑΧΡΗΣΤΟΥ ΒΕΛΛΙΣΑΡΙΟΣ

### ΘΕΜΑ

ΚΟΠΩΣΕΙΣ ΠΛΟΙΟΥ (VESSEL'S FATIGUE)

ΤΟΥ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ: ΦΙΛΙΠΠΙΔΗ ΘΕΟΔΩΡΟΥ

Α.Γ.Μ. 4135

Ημερομηνία ανάληψης εργασίας:

Ημερομηνία παράδοσης εργασίας:

A/A	Όνοματεπώνυμο	Ειδικότητα	Αξιολόγηση	Υπογραφή
1				
2				
3				
ΤΕΛΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ				

Ο ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ ΣΧΟΛΗΣ :

## **Περιεχόμενα**

Περίληψη.....	5
Πρόλογος.....	5, 6, 7
Κεφάλαιο 1 <sup>ο</sup>	
Εισαγωγή.....	8
1.1 Διάκριση ναυπηγημάτων.....	9
1.2 Διάκριση ως προς την αποστολή.....	9, 10
1.3 Ναυπηγήματα ειδικών υπηρεσιών ή ειδικής αποστολής.....	10
1.4 Διαδικασία σχεδίασης.....	10, 11, 12
1.5 Βασική ονοματολογία.....	12, 13, 14
Κεφάλαιο 2 <sup>ο</sup>	
2.1 Το πλοίο ως δοκός.....	15
2.2 Παραμορφώσεις.....	15, 16, 17
2.3 Παραμορφώσεις του πλοίου ως ράβδου.....	17
2.4 Παρατηρήσεις.....	17
Κεφάλαιο 3 <sup>ο</sup>	
3.1 Ορισμοί.....	18, 19
3.2 Αντοχή υλικών.....	19
3.2.1 Η έννοια των τάσεων.....	19
3.2.2 Ορθές τάσεις.....	19, 20
3.3 Συστήματα και μονάδες μέτρησης.....	20, 21
3.4 Σκληρότητα υλικού.....	21
3.5 Θεωρία λυγισμού.....	21, 22
3.6 Κριτήριο κατασκευαστικής αστοχίας του πλοίου.....	22, 23
3.7 Εγκάρσια αντοχή.....	23
3.8 Τοπική αντοχή.....	23

3.9 Φορτίσεις.....	23, 24, 25
Κεφάλαιο 4 <sup>ο</sup>	
4.1 Κατηγοριοποίηση καταπονήσεων.....	26
4.2 Καταπονήσεις σε διατοιχισμό και άλλες καταπονήσεις κατά την κίνηση του πλοίου.....	27
4.3 Κοπώσεις από σφυροκρούσεις.....	27, 28
Κεφάλαιο 5 <sup>ο</sup>	
5.1 Απαιτήσεις νηογνωμόνων για την αντοχή του πλοίου.....	29
5.2 Συσκευές υπολογισμού κοπώσεως.....	29, 30
5.3 Σημασία των υπολογισμών.....	31
5.4 Σχεδιαστικοί Παράγοντες και Κόπωση.....	31, 32, 33
5.5 Κοπώσεις σε πλοία Carper.....	34, 35
5.6 Έλεγχος Τάσεων και Μείωση τους.....	35
5.7 Αξιοπιστία Ναυπηγικών Κατασκευών.....	35, 36
5.8 Ατυχήματα από κοπώσεις.....	36, 37
Συμπεράσματα.....	37
Βιβλιογραφία.....	37, 38

## **Περίληψη**

Η πτυχιακή εργασία αυτή έχει ως σκοπό μία μελέτη σχετικά με τις κοπώσεις που ασκούνται σε ένα πλοίο και ερευνά και αναφέρεται σε προβλήματα και ζημιές που προκύπτουν από αυτές. Αρχικά η εργασία αυτή δίνει χρήσιμους ορισμούς για το πλοίο με μία μικρή εισαγωγή, στην συνέχεια επικεντρώνεται στην μελέτη του πλοίου ως δοκού, γίνεται αναφορά στις παραμορφώσεις του πλοίου και στην περιγραφή διάφορων υλικών που χρησιμοποιούνται για την ναυπήγηση πλοίου καθώς και την αντοχή αυτών. Γίνεται μια ενδελεχή αναφορά σε ορισμούς όπως τάσεις φορτίσεις και αντοχή που είναι πολύ χρήσιμοι στον τομέα αυτό. Τέλος η εργασία κλείνει με συσκευές υπολογισμού κοπώσεων και τρόπους μείωσης αυτών αλλά και συμπεράσματα μέσα από αυτήν την έρευνα που πραγματοποιήθηκε.

## **Πρόλογος**

### **Ναυπήγηση Πλοίου**

Ο άνθρωπος κατασκεύαζε πλοία από την απώτερη αρχαιότητα. Ο πρωτόγονος άνθρωπος έπλεε πάνω σε κορμούς δέντρων ή σε σχεδίες. Με την ανάπτυξη των πρώτων ανταλλαγών αναπτύχθηκε και η θαλασσοπλοΐα. Τα πρώτα σκάφη κατασκευάστηκαν από ξύλο και κινούνταν με κουπιά και αργότερα με πανιά. Οι μεταφορές από την ξηρά γίνονταν κυρίως με ανθρώπους και αχθοφόρα ζώα. Την πρώτη αυτή περίοδο, το έργο των θαλασσίων μεταφορικών μέσων περιοριζόταν στη μεταφορά φορτίων μικρών σε όγκο, αλλά μεγάλης αξίας. Είναι γνωστό ότι από το 6000 π.Χ άρχισαν να κατασκευάζονται μεγάλα πλοία στην Ανατολική Μεσόγειο. Οι Αιγύπτιοι κατασκεύαζαν πλοία από καλάμια, των οποίων τα άκρα έστρεφαν προς τα επάνω, ώστε να παίρνουν τη μορφή της πλώρης και της πρύμνης. Ακόμη ανατολικότερα, στην

Ερυθρά Θάλασσα, άρχισε η ναυπήγηση πλοίων από ξύλο, με αρκετή χωρητικότητα, χωρίς όμως τρόπιδα. Περί το 3000 π.Χ τα αιγυπτιακά πλοία χρησιμοποιούσαν ξύλινα κουπιά για πρόωση, καθώς και για ελιγμούς από την πρύμνη. Αργότερα, άρχισαν να χρησιμοποιούν και ιστίο για την εκμετάλλευση της προωθητικής δύναμης του ανέμου. Τα ελληνικά πλοία έχουν ιστορία που αρχίζει από το 3000 π.Χ. Οι Μινωικοί Κρήτες είχαν ήδη ναυπηγήσει, περί το 2000 π.Χ, ξύλινα πλοία με μακριά τρόπιδα και ιστία. Είχαν μικρό σχετικά πλάτος και μεγάλο μήκος, ώστε να διευκολύνονται η κωπηλασία και οι χειρισμοί. Οι Φοίνικες, την ίδια περίπου εποχή, ναυπήγησαν το «στρογγύλο» πλοίο, με σκάφος αρκετά πλατύ και μεγάλη χωρητικότητα ώστε να μεταφέρει μεγάλες ποσότητες εμπορευμάτων. Με αυτόν τον τύπο πλοίου ίσως περιέπλευσαν την Αφρική. Οπωσδήποτε, όμως, έφτασαν μέχρι τη Βρετάνη στον Ατλαντικό Ωκεανό. Οι αρχαίοι Έλληνες είχαν ναυπηγήσει= διάφορους τύπους πλοίων, στην μακρά ιστορική διαδρομή τους. Κύριο χαρακτηριστικό τους ήταν η χρησιμοποίηση πολυάριθμων κωπηλατών διατεταγμένων σε σειρά ή σειρές σε κάθε πλευρά. Η πλέον, όμως, εντυπωσιακή εξέλιξη στη ναυπηγική τους τέχνη ήταν η ναυπήγηση, κατά την κλασική περίοδο, της τριήρους. Οι τριήρεις είχαν μήκος περί τα 45 m και μέγιστο πλάτος περί τα 6 m. Το σκάφος δεν είχε κατάστρωμα, οι δε κωπηλάτες κάθονταν σε τρεις σειρές σε κάθε πλευρά. Περισσότερο γνωστές έγιναν οι περίφημες αθηναϊκές τριήρεις. Ναυπηγήθηκαν, επίσης, πεντήρεις και πεντηκόντοροι. Οι Ρωμαίοι δεν έκαναν ουσιαστικές αλλαγές εκτός από την αύξηση της χωρητικότητας και την εξέλιξη της ιστιοφορίας. Οι Κινέζοι ναυπήγησαν στην αρχαιότητα το διπλό κανόε, στη συνέχεια δε το περίφημο jung, πλοίο τόσο πετυχημένο ώστε να διατηρηθεί σε χρήση ως τον 19<sup>ο</sup> αιώνα. Αλλά και τα πλοία των Σκανδιναβών ήταν σπουδαία, ιδιαίτερα το εμπορικό knorr, το οποίο διέθετε τετραγωνικό ιστίο. Οι επιτυχείς βελτιώσεις της ιστιοφορίας, που έγιναν κατά τον Μεσαίωνα, επέτρεψαν στα πλοία να ταξιδεύουν με άνεμο που έπνεε και από πρωραίες διευθύνσεις. Χαρακτηριστικός τύπος τέτοιου πλοίου ήταν οι βυζαντινοί δρόμωνες. Την περίοδο αυτή άρχισε η εποχή των μεγάλων ανακαλύψεων. Με την ανάπτυξη των συναλλαγών, τη διεύρυνση του κοινωνικού καταμερισμού της εργασίας και τη συσσώρευση κεφαλαίων, οι θαλάσσιες μεταφορές διαμορφώνονται σε ανεξάρτητο κλάδο μεταφοράς προσώπων και εμπορευμάτων. Στα μέσα του 18ου αιώνα, ναυπηγήθηκαν τα πρώτα σιδερένια ατμόπλοια. Λίγο αργότερα ξεκίνησε και η κατασκευή πλοίων από χάλυβα. Η απλή ατμομηχανή βελτιώθηκε σημαντικά με την κατασκευή λεβήτων μεγάλης ιπποδύναμης. Ο Ρόμπερτ Φούλτον κατασκεύασε, το 1807, το «North River». Ήταν το πρώτο ατμόπλοιο που ανέλαβε τακτική υπηρεσία. Το 1858 ναυπηγήθηκε στην Αγγλία το «Great Eastern» από τον Άιζαμπαρντ Μπρούνελ. Το πλοίο αυτό είχε τη δυνατότητα να πλέει από την Αγγλία στην Κεϋλάνη με επιστροφή χωρίς ανεφοδιασμό. Προς το τέλος του 19ου αιώνα, χρησιμοποιούνται για την κίνηση των πλοίων οι ατμοστρόβιλοι, οι οποίοι έχουν μεγάλη ιπποδύναμη και επιτυγχάνουν μεγαλύτερη ταχύτητα. Στις αρχές του εικοστού αιώνα είχε ήδη αρχίσει η χρήση των μηχανών εσωτερικής καύσεως (με καύσιμο diesel oil ή Fuel oil) ως συστήματος πρόωσης. Τα πλεονεκτήματα των μηχανών αυτών είναι σημαντικά, γιατί μειώνουν το προσωπικό του μηχανοστασίου, καταλαμβάνουν μικρό χώρο και η ανάλωση των ποσοτήτων της καύσιμης ύλης είναι μικρότερη από αυτή των ατμομηχανών. Κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου, άρχισε η χρήση ηλεκτρονικών

οργάνων, τόσο κατά την πλεύση όσο και στις τηλεπικοινωνίες των πλοίων. Μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο ναυπηγήθηκαν πλοία, στην πλειοψηφία τους πολεμικά, που χρησιμοποιούν για την πρόωσή τους πυρηνική ενέργεια. Τα πλοία αυτά έχουν σοβαρά πλεονεκτήματα (υψηλή ταχύτητα και μεγάλη αυτονομία) αλλά το κόστος κατασκευής και λειτουργίας τους είναι ακόμη υψηλό. Αλλά, έτσι και αλλιώς, η χρήση πυρηνικών καυσίμων και η λειτουργία πυρηνικού αντιδραστήρα καθιστούν αυτά τα πλοία πέρα από ασύμφορα και άκρως επικίνδυνα. Η σύγχρονη ναυπήγηση, δηλαδή η σχεδίαση και η κατασκευή ενός πλοίου, είναι συνδυασμός τέχνης και επιστήμης. Μέχρι την εποχή των ιστιοφόρων τα πλοία σχεδιάζονταν και κατασκευάζονταν σύμφωνα με την υπάρχουσα, κάθε φορά, πρακτική εμπειρία. Η ταχεία πρόοδος και ανάπτυξη των φυσικών επιστημών, που σημειώθηκε στις αρχές του 19ου αιώνα, είχε ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη της υδροδυναμικής, δηλαδή της μελέτης της κίνησης των ρευστών, της υδροστατικής, δηλαδή της μελέτης των ρευστών σε κατάσταση ηρεμίας και της επιστήμης των υλικών και της δομής τους. Αποτέλεσμα όλων αυτών ήταν η σημαντική διεύρυνση των γνώσεων για την μέχρι τότε τέχνη της ναυπηγικής, η ναυπήγηση πλοίων με πολύ μεγάλο εκτόπισμα και μέγεθος, καθώς και η αύξηση του ορίου της ταχύτητας και του βαθμού ασφάλειας του πλοίου.

# 1<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

## Εισαγωγή.

Η Θαλάσσια Τεχνολογία (Marine ή Ocea Η Θαλάσσια Τεχνολογία (Marine ή Ocean Technology) καλύπτει όλες τις εφαρμογές της τεχνολογίας που σχετίζονται με την εξερεύνηση, την αξιοποίηση και την εξερεύνηση, την αξιοποίηση και την προστασία της θάλασσας και των φυσικών πόρων της, περιλαμβάνοντας τη θαλάσσια ατμόσφαιρα, τις ακτές, το θαλάσσιο πυθμένα και τον υποθαλάσσιο χώρο. Η Θαλάσσια Τεχνολογία απαιτεί τη σύνθεση της τεχνογνωσίας που αναπτύχθηκε και αναπτύσσεται από τους επιστημονικούς κλάδους της ναυπηγικής, της τεχνολογίας των λιμενικών και παρακτίων έργων, της τεχνολογίας για την εξερεύνηση και εκμετάλλευση του θαλάσσιου και υποθαλάσσιου φυσικού πλούτου, της μηχανολογίας, της ηλεκτρολογίας, της ηλεκτρονικής, κ.ά. Αποσκοπεί στη σύλληψη, σχεδίαση, κατασκευή και λειτουργία πλωτών και υποβρύχιων κατασκευών και ναυπηγημάτων που έχουν σαν κύριο κοινό χαρακτηριστικό την παροχή και υποστήριξη διάφορων υπηρεσιών που σχετίζονται με το θαλάσσιο περιβάλλον. Μέσα στο πλαίσιο αυτό, η Ναυτιλιακή Τεχνολογία εκφράζει μια ενότητα της Θαλάσσιας Τεχνολογίας που καλύπτει τόσο τα πλωτά και υποβρύχια ναυπηγήματα των ποταμών, λιμνών και θαλασσών, όσο και τις υποδομές και τον εξοπλισμό ξηράς (λιμάνια, ναυπηγεία, κ.ά.), που προορίζονται τόσο για τη διεκπεραίωση της μεταφοράς φορτίων και επιβατών, όσο και για την παροχή ειδικών (μη μεταφορικών) ναυτιλιακών υπηρεσιών. Η Τεχνολογία Πλοίου συνδυάζει την εφαρμογή της Ναυπηγικής και της Ναυτικής Μηχανολογίας στη σύλληψη, σχεδίαση, κατασκευή και λειτουργία των θαλάσσιων μεταφορικών μέσων και στην συγκεκριμένη περίπτωση ειδικότερα αυτών που στηρίζουν τις θαλάσσιες εμπορικές μεταφορές. Επίσης, στο βαθμό που η εμπορική ναυτιλία αποτελεί μια βιομηχανική εφαρμογή έντονης ανταγωνιστικότητας, είναι απαραίτητη η αριστοποίηση της διαχείρισης της τεχνολογίας, καθώς και η συνεχής οικονομοτεχνική της αξιολόγηση. Κατά συνέπεια, στα πλαίσια της διαχείρισης της τεχνολογίας που εφαρμόζεται στα πλοία εξετάζεται η προώθηση της τεχνολογίας εκείνης που επιτυγχάνει τη μεγιστοποίηση των εσόδων και τη ελαχιστοποίηση του κόστους για τη ναυτιλία, σε απόλυτη όμως συμμόρφωση με το θεσμικό πλαίσιο της ασφάλειας της ναυσιπλοΐας και της προστασίας του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Τα περισσότερα ναυπηγήματα της ναυτιλίας είναι αυτοπροωθούμενα, όπως είναι η περίπτωση των εμπορικών, πολεμικών και άλλων πλοίων, ενώ ένας μικρός αριθμός ναυπηγημάτων κυρίως αυτά των ειδικών υπηρεσιών πέρα από την διαφοροποίησή τους ως προς το σχήμα δεν έχουν την δυνατότητα αυτοπροώθησης, αλλά ρυμουλκούνται από άλλα αυτοπροωθούμενα. Πολλά από αυτά τα εξειδικευμένα ναυπηγήματα δραστηριοποιούνται στην ωκεανογραφική έρευνα, την εξόρυξη του φυσικού πλούτου των ωκεανών, την υποστήριξη των ναυπηγο-επισκευαστικών δραστηριοτήτων, των λιμενοκατασκευών και τέλος στην γενικότερη εξυπηρέτηση των αυτοπροωθούμενων ναυπηγημάτων της ναυτιλίας.



## **1.1 Διάκριση ναυπηγημάτων**

Η γενική διάκριση των ναυπηγημάτων γίνεται συνήθως στη βάση της αποστολής τους, ενώ για τα ναυπηγήματα των μεταφορών (δηλαδή για τα πλοία) η κατάταξη αυτή μπορεί να εξειδικευθεί ως προς τον τύπο του μεταφερόμενου φορτίου και ως προς τη τεχνική της στήριξης τους στο υγρό στοιχείο, καθώς και ως προς άλλα περισσότερο εξειδικευμένα χαρακτηριστικά, όπως για παράδειγμα το σύστημα πρόωσης τους.

## **1.2 Διάκριση ως προς την αποστολή.**

Με εξαίρεση τα ναυπηγήματα που αφορούν την πολεμική ναυτιλία, η γενική διάκριση των λοιπών ναυπηγημάτων ως προς την αποστολή τους έχει ως ακολούθως: Α . Πλοία εμπορικών μεταφορών

### A .1 Φορτηγά

- Δεξαμενόπλοια (Tankers):
- Μεταφοράς χύδην φορτίου (Bulk): - ξηρού π.χ. άνθρακα (coal). τσιμέντο (cement).
- μετάλλευμα (Ore). σιτάρι (grain). - συνδυασμένου (OBO, PROBO, OO).
- Μεταφοράς γενικού φορτίου (General Cargo).
- Εμπορευματοκιβωτίων (Container ships). – Μεταφοράς οχημάτων και βαρέων
- τροχήλατων φορτίων (Ro-Ro).
- Ψυγεία (Refrigeration ships/Reefers).
- Μεταφοράς φορτηγίδων (Barge carriers).
- Μεταφοράς βαρέων φορτίων (Heavy Lift Ships and Lo-Lo).
- Πολλαπλών χρήσεων (Multi-purpose carriers).
- Μεταφοράς διαφορετικών φορτίων (Con/Bulkers, Breakbulker/Bulker, Con/Bulk/Ro-Ro,
- Ro-Lo)

### A .2 Επιβατηγά

- Επιβατηγά (Passenger-ferries).
- Επιβατηγά-Οχηματαγωγά (Car-ferries).

### B . Ναυπηγήματα ναυτιλιακής υποστήριξης

- Πλοία ανεφοδιασμού (Replenishment ships).
- Πλοία συνεργεία (Workshop boats).
- Συνοδευτικά πλοία (Escort ships).
- Ρυμουλκά (Tug boats).
- Ναυαγοσωστικά (Salvage ships).
- Παγοθραυστικά (Ice breakers).
- Διανομής φορτίου ή μαούνες/φορτηγίδες (Mini-bulcas or Barges)
- Πλοία πιλότοι (Pilot boats).

- Ναυπηγήματα υποδοχής ναυτιλιακών αποβλήτων (Shipping discharge reception crafts or
- SLOPS).
- Βυθοκόροι ή εσκαπτικά πλοία (Dredges).
- Γερανοφόρα πλοία (Crane ships).
- Πλωτές και μόνιμες ναυπηγο-επισκευαστικές δεξαμενές (Floating and Dry Docks).
- Σκάφη τεχνικής επιθεώρησης υποβρυχίων κατασκευών και ναυπηγημάτων (Submarine
- technical surveying crafts).
- Ναυπηγήματα καταπολέμησης της πετρελαιοειδούς ρύπανσης (Oil pollution fighting
- crafts, π.χ. skimmers)
- Πλωτές φορτο-εκφορτωτικές εγκαταστάσεις (Floating cargo handling installations)

### **1.3 Ναυπηγήματα ειδικών υπηρεσιών ή ειδικής αποστολής**

- Αλιευτικά πλοία ή Αλιευτικά πλοία/εργοστάσια (Fishing boats or Fishing ships/factories).
- Πλοία πόντισης καλωδίων (Cable layers).
- Εξέδρες γεωτρήσεων, πλωτές ή μόνιμες (Offshore drilling rigs, floating or permanent).
- Ωκεανογραφικής έρευνας, πλωτά ή υποβρύχια (Oceanographic research, floating or submersibles).
- Μετεωρολογικά πλοία (Meteorological vessels).
- Πλοία σεισμολογικής έρευνας (Earthquake research ships).
- Πλοία αναψυχής (recreation vessels): Κρουαζιερόπλοια (Cruise ships), τουριστικά (Motor-boats and Sailboats).

### **1.4 Διαδικασία σχεδίασης.**

Αναπόφευκτα, η απόφαση για την επιλογή ενός νέου πλοίου οδηγεί στη διαδικασία σχεδίασης του, που χαρακτηρίζεται από τα ακόλουθα στάδια:

A. Βασική σχεδίαση ή προμελέτη (BASIC DESIGN) i) Μελέτη αρχικής σχεδίασης ή εφικτότητας (Concept ή Feasibility Design)

ii) Προκαταρκτική μελέτη σχεδίασης (Preliminary Design)

B. Μελέτη σχεδίασης συμβολαίου (CONTRACT DESIGN)

Γ. Μελέτη λεπτομερής σχεδίασης (DETAIL DESIGN)

A. Βασική σχεδίαση ή προμελέτη

Τα υπο-στάδια (i) και (ii) συγκροτούν στο στάδιο σχεδίασης υπό το γενικό όρο Βασική Σχεδίαση ή Προμελέτη του πλοίου και περιλαμβάνουν τις παράπανω οικονομο-τεχνικές μελέτες που σχετίζονται με το στόχο και τους προσδιοριστικούς παράγοντες της επένδυσης. Στις μελέτες αυτές λαμβάνονται υπόψη οι βασικές απαιτήσεις του πλοιοκτήτη που αφορούν:

i. τη μεταφορική ικανότητα του πλοίου (σε νεκρό βάρος ή χωρητικότητα ή σε αριθμό εμπορευματοκιβωτίων ή επιβατών ή/και οχημάτων)

ii. την ταχύτητα του πλοίου την εμβέλεια ή αυτοδυναμία του πλοίου iv. το νηογνώμονα και την κλάση του πλοίου. Στην Προμελέτη καλύπτονται οι φάσεις:

- εκτίμησης των απαιτήσεων του πελάτη ή πλοιοκτήτη,
- συγκέντρωσης στοιχείων για όμοιες απαιτήσεις, και
- προσαρμογής των στοιχείων σε υφιστάμενους κανονισμούς, νόμους και προδιαγραφές. Κατά συνέπεια, η προκαταρκτική μελέτη αποτελεί τη βάση για τη διατύπωση των προσφορών από τα διάφορα ναυπηγεία που εκδηλώνουν ενδιαφέρον για την ανάληψη του ναυπηγικού έργου.

B. Με την ανάθεση της ναυπήγησης στο ναυπηγείο της συμφερότερης προσφοράς, η διαδικασία σχεδίασης εισέρχεται στο στάδιο της Μελέτης Συμβολαίου (Contract Design). Στο στάδιο αυτό η ακριβής διατύπωση των τεχνικών προδιαγραφών του πλοίου αποτελεί μέρος της συμβατικής δέσμευσης μεταξύ πλοιοκτήτη και ναυπηγείου, σε συνδυασμό με τους διάφορους εμπορικούς όρους και προϋποθέσεις του συμβολαίου, όπως τον τρόπο πληρωμής, τις εγγυήσεις, το χρονοδιάγραμμα παράδοσης, τις ποινικές ρήτρες σε τυχόν τεχνικές ή χρονικές παρεκλίσεις, κ.ά.

Γ. Το στάδιο της Μελέτης Λεπτομερούς Σχεδίασης (Detail Design) περιλαμβάνει τη λεπτομερή διατύπωση όλων των στοιχείων κατασκευής του πλοίου, με σκοπό τη διευκόλυνση της παραγωγικής διαδικασίας. Έτσι στο στάδιο αυτό, η ακριβής σχεδίαση του πλοίου προσαρμόζεται στην παραγωγή (design for production) και ελέγχεται από αυτή, σε αντίθεση με τα προηγούμενα στάδια σχεδίασης που είναι αποδεσμευμένα από την παραγωγική διαδικασία και ελέγχονται από καθαρά ναυπηγο-μηχανολογικά κριτήρια προσαρμογής του πλοίου στις απαιτήσεις του πελάτη και στο πλαίσιο των κανονισμών, νόμων και άλλων εξωγενών περιορισμών. Σε όλα τα στάδια της σχεδίασης του πλοίου και ειδικότερα κατά την Προμελέτη εξετάζεται η προσαρμοστικότητα των επιλεγμένων σχεδιαστικών στοιχείων του «συστήματος πλοίο» στη εισαγωγή νέων στοιχείων, στα πλαίσια της σχεδιαστικής διαδικασίας που

είναι γνωστή σαν «ανάλυση συστήματος» (system analysis). Επίσης, καταγράφεται η ευαισθησία του συστήματος στις σχεδόν αναπόφευκτες μεταβολές των διάφορων σχεδιαστικών στοιχείων για την επίτευξη της βέλτιστης προσαρμοστικότητας, στα πλαίσια της διαδικασίας που ονομάζεται «ανάλυση ευαισθησίας» (sensitivity analysis). Ο συνεχής επανακαθορισμός των επί μέρους επιλογών είναι μια χαρακτηριστική διαδικασία κατά τη σχεδίαση του πλοίου και επαναλαμβάνεται σε σημεία που κρίνεται ότι μπορεί να εκτιμηθεί συνολικά (και με οικονομικά κριτήρια) η απόδοση της σχεδίασης του όλου «συστήματος πλοίο» ή επιμέρους υπο-συστημάτων (όπως π.χ. του συστήματος πρόωσης). Σε όλα τα στάδια της σχεδίασης του πλοίου και ειδικότερα κατά την Προμελέτη εξετάζεται η προσαρμοστικότητα των επιλεγμένων σχεδιαστικών στοιχείων του «συστήματος πλοίο» στη εισαγωγή νέων στοιχείων, στα πλαίσια της σχεδιαστικής διαδικασίας που είναι γνωστή σαν «ανάλυση συστήματος» (system analysis). Επίσης, καταγράφεται η ευαισθησία του συστήματος στις σχεδόν αναπόφευκτες μεταβολές των διάφορων σχεδιαστικών στοιχείων για την επίτευξη της βέλτιστης προσαρμοστικότητας, στα πλαίσια της διαδικασίας που ονομάζεται «ανάλυση ευαισθησίας» (sensitivity analysis). Ο συνεχής επανακαθορισμός των επί μέρους επιλογών είναι μια χαρακτηριστική διαδικασία κατά τη σχεδίαση του πλοίου και επαναλαμβάνεται σε σημεία που κρίνεται ότι μπορεί να εκτιμηθεί συνολικά (και με οικονομικά κριτήρια) η απόδοση της σχεδίασης του όλου «συστήματος πλοίο» ή επιμέρους υπο-συστημάτων (όπως π.χ. του συστήματος πρόωσης). Για παράδειγμα, ο καθορισμός των κύριων χαρακτηριστικών ενός δεξαμενόπλοιου ακολουθεί την προσέγγιση του Πίνακα Ι. Με την πρώτη ανακεφαλαίωση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων επιβάλλεται η επανάληψη της διαδικασίας από το (1) μέχρι και το (9) με τον Πίνακα 1. Σχεδιαστική προσέγγιση κύριων χαρακτηριστικών δεξαμενόπλοιου (ή πλοίου εκτοπίσματος) επανακαθορισμό των σχεδιαστικών στοιχείων που εμπεριέχονται σε αυτά. Η διαδικασία αυτή παρουσιάζεται διαγραμματικά στην Εικόνα 20. Μετά από μικρό αριθμό ανακυκλώσεων επιτυγχάνεται ο ακριβής και τελικός καθορισμός των κύριων χαρακτηριστικών του πλοίου σύμφωνα με τη βέλτιστη συνολική ανταπόκριση των χαρακτηριστικών αυτών σε όλα τα βασικά κριτήρια της σχεδίασης. Η σχεδιαστική αυτή διαδικασία αναπτύσσεται συνεχώς αναλυτικότερα και καλύπτει το πλοίο σαν ένα ολοκληρωμένο σύστημα. Επιτυγχάνει την συγκλίση στη συνολική τελική επιλογή που είναι το αποτέλεσμα στο τέλος της Λεπτομερούς Σχεδίασης του πλοίου. Ειδικότερα, η συνεχώς αναλυτικότερη σχεδιαστική προσέγγιση καλύπτει όλη την κατασκευή και τον εξοπλισμό του πλοίου.

### **1.5 Βασική ονοματολογία.**

Στην παράγραφο αυτή δίνονται αλφαβητικά όσα από τα στοιχεία της βασικής ονοματολογίας πλοίου δεν έχουν δοθεί.

1) Άφορτο πλοίο (light ship). Το βάρος του πλοίου όπως παραδίνεται από το ναυπηγείο με όλη την κατασκευή του συμπληρωμένη και με υγρά στην κανονική στάθμη λειτουργίας στους λέβητες, στις μηχανές και στα μηχανήματα, αλλά χωρίς πλήρωμα,

εφόδια, πετρέλαιο, λάδι λιπάνσεως, πόσιμο και τροφοδοτικό νερό και φορτίο. Εκφράζεται σε μετρικούς τόνους (MT) ή αγγλικούς (LT).

2) Άφορτη ίσαλος (light waterline, LWL). Η ίσαλος στην οποία πλέει το άφορτο πλοίο.

3) Βοηθητικοί χώροι (auxiliary spaces). Χώροι του πλοίου που δεν είναι απόλυτα ζωτικοί για την εκπλήρωση της αποστολής του.

4) Βρεχόμενη επιφάνεια (wetted surface). Η επιφάνεια του τμήματος του πλοίου που βρίσκεται σε επαφή με το νερό (κατάσταση ηρεμίας). Εκφράζεται σε m ή ft και μεταβάλλεται όταν μεταβάλλονται τα βυθίσματα του πλοίου.

5) Γραμμή φορτώσεως (loadline). Χαράζεται στις πλευρές του πλοίου και δείχνει το μέγιστο σημείο που επιτρέπεται να φθάσει η ίσαλος, σύμφωνα με τις απαιτήσεις των κανονισμών.

6) Δεξαμενές (tanks). Χώροι του πλοίου που προορίζονται για την αποθήκευση υγρών (νερό, πετρέλαιο ή λάδι λιπάνσεως) και φέρουν τον ανάλογο εξοπλισμό.

7) Δεξαμενές φορτίου (cargo tanks). Δεξαμενές για τη μεταφορά φορτίου σε δεξαμενόπλοια (πετρελαιοφόρα, υδροφόρες κ.λπ.).

8) Δεξαμενές ζυγοσταθμίσεως (ballast tanks). Δεξαμενές που χρησιμοποιούνται για τη ρύθμιση του μέσου βυθίσματος και της διαγωγής του πλοίου στις διάφορες καταστάσεις φορτώσεως. Για το σκοπό αυτό οι δεξαμενές αυτές άλλοτε γεμίζονται με θαλάσσιο νερό (υγρό έρμα) και άλλοτε είναι κενές.

9) Διαστάσεις (dimensions). Μεγέθη (μήκη) που χαρακτηρίζουν πολύ χονδρικά τη μορφή και το μέγεθος του πλοίου. Η μέτρησή τους γίνεται με συγκεκριμένο τρόπο που ορίζεται στον ορισμό της κάθε διαστάσεως.

10) Εκτόπισμα (displacement). Είναι το βάρος του νερού (σε μετρικούς ή αγγλικούς τόνους) που εκτοπίζουν τα ύφαλα του πλοίου. Είναι ίσο με το βάρος του πλοίου.

11) Εκτόπισμα άφορτο (light ship displacement). Το εκτόπισμα του άφορτου πλοίου.

12) Εκτόπισμα έμφορτο (full load displacement). Το εκτόπισμα του πλοίου όταν πλέει στο μεγαλύτερο βύθισμα που επιτρέπεται.

13) Ενδιαιτήματα (living quarters). Χώροι του πλοίου που προορίζονται για τη διαμονή του πληρώματος. Στα επιβατικά πλοία έχουμε και ενδιαιτήματα επιβατών.

14) Έξαλα (free board portion). Το μέρος του πλοίου που βρίσκεται έξω από το νερό.

15) Ηλεκτροστάσιο (generator room). Χώρος, μέσα στον οποίο είναι εγκατεστημένες οι γεννήτριες παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος. Μπορεί να είναι ανεξάρτητο διαμέρισμα, μερικές όμως φορές είναι και κοινό με το μηχανοστάσιο.

16) Ίσαλος ζώνη (waterlinezone). Περιοχή στο περίβλημα του πλοίου που περιλαμβάνεται περίπου μεταξύ των ισάλων που αντιστοιχούν στο άφορτο και στο πλήρως έμφορτο πλοίο.

17) Καταμέτρηση του πλοίου (admeasurement). Μετρήσεις και υπολογισμοί για την εύρεση της χωρητικότητας του πλοίου (βλ. παρακάτω αριθ. 37).

18) Κέντρο βάρους (center of gravity). Το σημείο στο οποίο επενεργεί η συνισταμένη όλων των βαρών που συνθέτουν το πλοίο, καθώς και εκείνων που μεταφέρονται από αυτό.

## **2<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ**

### **2.1 Το Πλοιο ως δοκός**

Η καταπόνηση του πλοίου ως δοκού είναι κρίσιμη σε συνθήκες έντονου κυματισμού. Επειδή στην περίπτωση αυτή αφενός υπάρχουν δυναμικά προβλήματα και αφετέρου οι καταπονήσεις βρίσκονται σε συνάρτηση με τη μορφή του κυματισμού, οι θεωρητικοί υπολογισμοί είναι πολύ δύσκολοι. Για να απλουστευθεί το πρόβλημα της μελέτης της αντοχής του πλοίου ως δοκού, σε σημείο που να είναι δυνατή η λύση του, γίνονται οι παρακάτω παραδοχές:

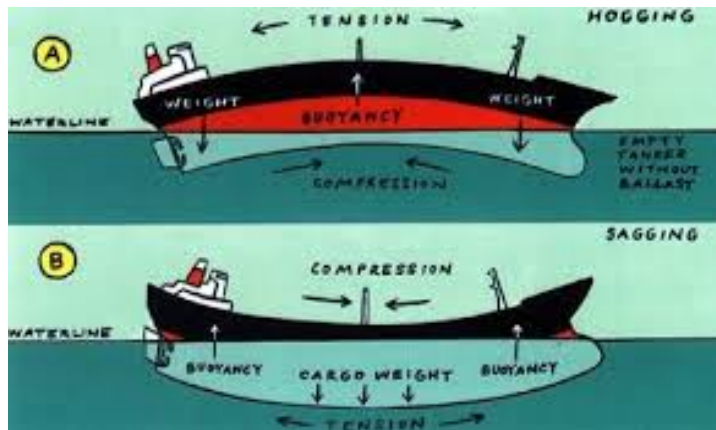
A) Το φαινόμενο θεωρείται ως στατικό, δηλαδή οι δυνάμεις αντώσεως που ασκούνται στο πλοίο από το νερό δε θεωρείται ότι μεταβάλλονται με τον χρόνο.

B) Η στήριξη του πλοίου πάνω στο νερό εξετάζεται για τρεις περιπτώσεις α) Σε ήρεμο νερό β) Σε κύμα με μήκος ίσο με το μήκος του πλοίου και με την κορυφή του στο μέσο του πλοίου (Hogging) γ) Σε κύμα που έχει μήκος ίσο με το μήκος του πλοίου και τις δύο κορυφές του στα άκρα του πλοίου (sagging).

### **2.2 Παραμορφώσεις**

Τα σύγχρονα πλοία λόγω της μεταλλικής τους κατασκευής και της εξ αυτής ελαστικότητας που παρουσιάζουν, πολλές φορές υφίστανται παραμορφώσεις οι οποίες μπορεί να οφείλονται είτε σε φυσικές αιτίες όπως π.χ. σε μεγάλο κυματισμό, η σε λανθασμένους χειρισμούς πλεύσης, είτε τέλος σε κακή στοιβάσια φορτίου, οι οποίες όμως επαναλαμβανόμενες μπορεί γρήγορα να καταστούν αυτές μόνιμες.

Τέτοιες παραμορφώσεις είναι: η κύρτωση, η κοίλωση και η στρέψη πλώρης. Πολλοί συμπεριλαμβάνουν και την μόνιμη κλίση, καθώς και τη μόνιμη διαγωγή επί εξαιρετικών περιπτώσεων τύπων πλοίων.



A) Κατάσταση hogging. B) Κατάσταση sagging

1. **Κύρτωση πλοίου**, το λεγόμενο "χόγκινγκ", εκ του αγγλικού όρου "hogging", χαρακτηρίζεται εκείνη η παραμόρφωση κατά την οποία τα ακραία βυθίσματα (πλώρης και πρύμνης) είναι μεν μεταξύ του ίσα, αλλά μεγαλύτερα του βυθίσματος στο μέσον του πλοίου. Αυτό έχει ως συνέπεια να φαίνεται το πλοίο *κυρτωμένο* περί τη μέση. Η παραμόρφωση αυτή μπορεί να οφείλεται είτε σε επαναλαμβανόμενη πλεύση, υπό υψηλό κυματισμό μικρού μήκους κύματος, που σημαίνει ότι κάποιες στιγμές το πλοίο βρίσκεται επί της κορυφής κύματος με συνέπεια ολόκληρο το βάρος πλοίου και η συνολική άντωση πλοίου ν' ασκούνται στο μέσον αυτού, κατά το εγκάρσιο και όχι κατά το διάμηκες κάθετο επίπεδο, που τούτο προδίδει τους λανθασμένους χειρισμούς πλεύσης ως προς την κατεύθυνση, όπως επίσης και σε επαναλαμβανόμενη κακή στοιβασία φορτίου, δηλαδή με περισσότερα μεταφερόμενα βάρη στα ακραία κύτη (αμπάρια) παρά στα κεντρικά, που καταλήγει να είναι και η κύρια αιτία.
2. **Κοίλωση πλοίου**, το λεγόμενο "σάγκινγκ", εκ του αγγλικού όρου "sagging", χαρακτηρίζεται η ακριβώς αντίθετη παραμόρφωση της κύρτωσης, όπου τα ακραία βυθίσματα παρατηρούνται ίσα μεταξύ τους αλλά μικρότερα του βυθίσματος στο μέσον του πλοίου. Αυτό έχει ως συνέπεια το πλοίο να φαίνεται να *κοιλώνει* περί το μέσον αυτού. Και σ' αυτή τη περίπτωση οι αιτίες είναι οι ίδιες που αναφέρονται παραπάνω στη περίπτωση της κύρτωσης. Επειδή όμως η επαναλαμβανόμενη κύρτωση λόγω κυματισμού θα είναι ισάριθμη με τη περίπτωση το πλοίο να βρεθεί μόνο κατά τις άκρες πάνω σε δύο κορυφές κυμάτων συνεπάγεται ότι κύρια αιτία τελικά αυτών των παραμορφώσεων είναι η κακή στοιβασία φορτίου.
3. **Στρέβλωση πλώρης**, αυτή μπορεί να συμβεί συνήθως σε μικρά ή ελαφρά πλοία μετά από συνεχή καταπόνηση της λεγόμενης μάσκας της πλώρης, από



δεξιά ή αριστερά, σε υφιστάμενο κυματισμό συνήθως με κάποια σχετική ταχύτητα του σκάφους, που θα πρέπει συνεπώς να μειωθεί.

Οι δύο παραπάνω πρώτες παραμορφώσεις απαντώνται κυρίως σε μεγάλου μήκους πλοία, που όσο κι αν παρατηρείται κάποια μικρή διαφορά των βυθισμάτων, δεν παύουν να εγκυμονούν κίνδυνο κοπής του πλοίου. Γι' αυτό και εφιστάται η ιδιαίτερη προσοχή, ακόμα και κατά τη διάρκεια της φόρτωσης, η συνεχής παρακολούθηση των βυθισμάτων των πλοίων, όπως και το αυτό κατά την εκφόρτωση, όταν αυτή καθυστερεί. Η τρίτη μπορεί επίσης να επέλθει και μετά από σύγκρουση με άλλο πλοίο είτε σε πρόσκρουση σε λιμενική εγκατάσταση.

### **2.3 Παραμορφώσεις του πλοίου ως ράβδου.**

Μετά τον υπολογισμό των ροπών κάμψεως κατά μήκος του πλοίου (για κάθε κατάσταση φορτώσεως και μορφή ανώσεως) μπορούμε να υπολογίσουμε τις τάσεις που καταπονούν το πλοίο και στη συνέχεια την παραμόρφωση του πλοίου ως ράβδου. Για να γίνει όμως αυτό είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε είτε την τιμή του J είτε την τιμή του Z. Τα μεγέθη αυτά μπορούν να βρεθούν είτε σε κατασκευαστικά σχέδια του πλοίου είτε να υπολογιστούν· οι σχετικοί όμως υπολογισμοί, αν και απλοί, είναι μακροσκελείς και ξεφεύγουν από τα όρια. Άλλοι υπολογισμοί στη συνέχεια με βάση τις αρχές της αντοχής των υλικών οδηγούν και στον υπολογισμό της παραμορφώσεως του πλοίου ως ράβδου.

### **2.4 Παρατηρήσεις**

Όταν ο Πλοίαρχος του πλοίου αντιληφθεί μόνιμη παραμόρφωση του πλοίου υποχρεούται να ενημερώσει άμεσα τον Νηογνώμονα που παρακολουθεί το πλοίο για περαιτέρω οδηγίες. Επίσης πολλές φορές κατά τον έλεγχο των λιμενικών Αρχών προ της έκδοσης άδειας απόπλου όταν διαπιστώνεται ότι το πλοίο έχει κοινώς "πατήσει τη μπάλα", δηλαδή έχει υπερβεί την ίσαλο γραμμή φόρτωσης οι Πλοίαρχοι προσφιλώς υποστηρίζουν ότι έχουν υποστεί "σάγκινγκ" που εύκολα μεν διαπιστώνεται αλλά και δεν απαλλάσσει όμως τούτο των ευθυνών.

## 3<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### 3.1 Ορισμοί

**Α) Αντοχή υλικών :** Η αντοχή των υλικών είναι ο κλάδος της εφαρμοσμένης μηχανικής που μελετά την αντοχή των στερεών υπό ένταση, την κατανομή των τάσεων στα στερεά, τις παραμορφώσεις καθώς και τις σχέσεις τάσεων - παραμορφώσεων.

Ως μέρος της αντοχής των υλικών θεωρούνται η αντοχή σε εφελκυσμό, σε θλίψη, σε κάμψη και σε διάτμηση. Οι μηχανικές αυτές ιδιότητες μελετούνται και σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος αλλά και σε άλλες θερμοκρασίες χαμηλότερες και υψηλότερες.

**Β) Τάση:** Η μηχανική τάση σε διατομή, δηλαδή στην επιφάνεια νοητής τομής, στερεού σώματος ορίζεται ως η δύναμη που ασκείται ανά μονάδα επιφάνειας της διατομής.

**Γ) Φορτία:** Ονομάζονται οι δυνάμεις και οι ροπές που εφαρμόζονται εξωτερικά σε ένα σώμα. Τα ο βάρους ενός σώματος συμπεριλαμβάνεται συχνά στα φορτία.

**Δ) Επιτρεπόμενη τάση:** Για να είναι εξασφαλισμένη η αντοχή των κατασκευών, είναι αυτονόητο, ότι δεν πρέπει κατά τη φόρτισή τους να εξαντλούνται τα όρια της αντοχής τους, γιατί αν αυτό συμβεί και το υλικό παρουσιάσει π.χ. ένα μη εμφανές ελάττωμα, τότε όλη η κατασκευή θα καταρρεύσει. Επιτρεπόμενη τάση (σεπ), ονομάζεται η τάση με την οποία επιτρέπεται να καταπονηθεί ένα υλικό, για να είναι εξασφαλισμένη η αντοχή του, (και φυσικά κάτω από συγκεκριμένα περιθώρια ασφάλειας).

**Ε) Συντελεστής ασφαλείας:** Ονομάζεται ο λόγος μεταξύ της τάσεως που θα προκαλούσε κατασκευαστική ανεπάρκεια (π.χ. θραύση) σε ένα υλικό και της μέγιστης τάσεως που επιτρέπεται, σύμφωνα με τους κανονισμούς να εμφανιστεί στο υλικό στην πράξη.

**ΣΤ) Εφελκυσμός :** Ονομάζεται η εντατική κατάσταση κατά την οποία σε ένα σώμα ασκούνται δυνάμεις αντίθετης φοράς που τείνουν να το επιμηκύνουν (πάνω σχήμα). Ο εφελκυσμός είναι μία από τις δύο μονοαξονικές εντατικές καταστάσεις ενός παραμορφώσιμου στερεού σώματος. Η άλλη μονοαξονική εντατική κατάσταση είναι η θλίψη.

**Ζ) Θλίψη :** Ονομάζεται η εντατική κατάσταση κατά την οποία σε ένα σώμα ασκούνται δυνάμεις αντίθετης φοράς που τείνουν να το συμπιέσουν (σχήμα). Η θλίψη είναι μία από τις δύο μονοαξονικές εντατικές καταστάσεις ενός παραμορφώσιμου στερεού σώματος. Η άλλη μονοαξονική εντατική κατάσταση είναι ο εφελκυσμός.

**Η) Διατμητική τάση:** Χαρακτηρίζεται το πηλίκο της παράλληλης ή εφαπτομενικής δύναμης που εφαρμόζεται σε μια επιφάνεια ρευστού, προς το εμβαδόν της επιφάνειας αυτής. Συνέπεια του παραπάνω ορισμού είναι ότι κάθε ρευστό (υγρό ή αέριο) που βρίσκεται σε ισορροπία δε δέχεται διατμητική τάση .Η Διατμητική τάση εφαρμόζεται εφαπτομενικά σε αντίθεση με την πίεση που εφαρμόζεται κάθετα στην επιφάνεια του ρευστού.

## **3.2 Αντοχή υλικών**

### **3.2.1 Η έννοια των τάσεων**

Κάθε σώμα αποτελείται από μόρια τα οποία έλκονται μεταξύ τους , με αποτέλεσμα να μένουν ενωμένα απαρτίζοντας ένα σώμα. Αν στο σώμα ενεργήσει μια εξωτερική δύναμη,τότε τα μόρια του σώματος αναπτύσσουν εσωτερικές δυνάμεις. Τάση ονομάζεται η συνισταμένη των εσωτερικών δυνάμεων που αναπτύσσουν τα μόρια ενός σώματος ανά μονάδα επιφάνειάς του, όταν στο σώμα ενεργούν εξωτερικές δυνάμεις. Θεωρούμε ότι οι εσωτερικές δυνάμεις είναι ομοιόμορφα καταναμημένες στις εξεταζόμενες επιφάνειες. Από τις διάφορες επιφάνειες που μπορεί να μελετήσει κάποιος σε ένα σώμα, ιδιαίτερο ενδιαφέρον στην αντοχή των υλικών παρουσιάζουν οι διατομές τους. Με κριτήριο τη διεύθυνση των δυνάμεων ως προς τις διατομές στις οποίες ενεργούν οι δυνάμεις τη διεύθυνση των δυνάμεων ως προς τη τις διατομές στις οποίες ενεργούν οι τάσεις διακρίνονται σε ορθές και διατμητικές ή πλάγιες ή εγκάρσιες

### **3.2.2 Ορθές τάσεις.**

Όταν η εσωτερική δύναμη είναι κάθετη στη διατομή ενός σώματος, τότε οι τάσεις που αναπτύσσονται ονομάζονται ορθές και συμβολίζονται με  $\sigma$ . Αν ονομάσουμε  $F$  την εσωτερική δύναμη που αναπτύσσεται κάθετα στη διατομή ενός σώματος και  $A$  το εμβαδόν της διατομής, τότε τη ορθή τάση δίνεται από τη σχέση : Ξέροντας την ασκούμενη δύναμη και το εμβαδόν διατομής μπορούμε να βρούμε σε μονάδες πίεσης , την ασκούμενη δύναμη ανά μονάδα επιφάνειας της εγκάρσιας διατομής. Διαιρώντας τη δύναμη με το εμβαδό της εγκάρσιας διατομής , παίρνουμε τη μέση ένταση που έχουν αυτές οι καταναμημένες, κάθετες στη διατομή δυνάμεις, δηλαδή τη μέση αξονική τάση ( $\sigma$ ) που ασκείται στη διατομή του μέλους της κατασκευής. Συνήθως χρησιμοποιούμε θετικό πρόσημο για εφελκυστική τάση (tensile stress) και αρνητικό πρόσημο για

θλιπτική τάση (compressive stress). Τα οποία είναι η μονάδα μέτρησης της πίεσης στο διεθνές σύστημα μονάδων ή «Μετρικό σύστημα» ονομάζεται και Pascal (Pa) προς τιμήν του Γάλλου φιλοσόφου, φυσικού και μαθηματικού Μπλεζ Πασκάλ. Όπως σε όλες τις μονάδες μέτρησεις, έτσι και στα Pascal, έχουμε και τα πολλαπλάσιά του. Αυτά είναι τα kPa, τα MPa, τα GPa. Έτσι έχουμε : Διατμητικές ή πλάγιες ή εγκάρσιες τάσεις. Όταν η εσωτερική δύναμη δρα μέσα στο επίπεδο της διατομής ενός σώματος, τότε οι τάσεις που αναπτύσσονται διατμητικές ή πλάγιες ή εγκάρσιες και συμβολίζονται με  $\tau$ . Επίσης στην περίπτωση φόρτισης ενός μέλους με δύο εγκάρσια και αντίθετα μεταξύ τους εξωτερικά φορτία, μεταξύ των σημείων στα οποία ασκούνται, υπάρχει μια κάθετη στην εσωτερική περιοχή του υλικού στην οποία τα εξωτερικά φορτία προκαλούν εσωτερικές διατμητικές δυνάμεις. Οι δυνάμεις αυτές, ασκούνται σε όλο το εμβαδόν της διατομής και η συνισταμένη τους, μας δίνει τη μέση διατμητική τάση ( $\tau$ ). Αν ονομάσουμε  $F$  την εσωτερική δύναμη που δρα μέσα στο επίπεδο της διατομής ενός σώματος και  $A$  το εμβαδόν της διατομής, τότε η διατμητική τάση δίνεται από τη σχέση: Η σχέση ισχύει μόνο για ομοιόμορφη κατανομή των διατμητικών τάσεων επί της διατομής. Ωστόσο, υπάρχουν και περπτώσεις στις οποίες δεν έχουμε ομοιόμορφη κατανομή των διατμητικών τάσεων. Η εσωτερική δύναμη  $F$  που δρα μέσα στο επίπεδο της διατομής ενός σώματος ονομάζεται τέμνουσα δύναμη.

### **3.3 Συστήματα και μονάδες μέτρησης.**

Συστήματα μετρήσεως που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση μεγεθών είναι τα ακόλουθα : • Το Διεθνές Σύστημα (SI) • Το Σύστημα C.G.S. • Το Τεχνικό Σύστημα (Τ.Σ.) Διεθνές Σύστημα SI (Systeme International d'Unites), επικρατεί σήμερα παγκοσμίως . Με ελάχιστες εξαιρέσεις σε κάποιες χώρες είναι το μόνο σύστημα μετρήσεων που χρησιμοποιείται στην πράξη. Επίσης για το Σύστημα C.G.S. είναι γνωστό πως το όνομά του προκύπτει από τα αρχικά των μονάδων Centimeter, Gram, Second, οι οποίες αποτελούν τις βασικές μονάδες μετρήσεως του συστήματος για τα μεγέθη του μήκους, της μάζας και του χρόνου αντίστοιχα. Όλκιμα και ψαθυρά υλικά. Δεν εμφανίζουν όλα τα υλικά την ίδια συμπεριφορά στις καταπονήσεις. Έτσι τα υλικά ταξινομούνται σε κατηγορίες ανάλογα με τη συμπεριφορά τους στις καταπονήσεις. Με κριτήριο την εμφάνιση πλαστικής περιοχής πριν από τη θραύση τους ή όχι, τα υλικά ταξινομούνται σε όλκιμα και ψαθυρά. Στην κατηγορία των όλκιμων υλικών ανήκουν τα υλικά που μπορούν να υποστούν μόνιμες (πλαστικές) παραμορφώσεις πριν από τη θραύση τους. Στην κατηγορία των ψαθυρών υλικών ανήκουν τα υλικά που θραύονται με το τέλος της ελαστικής περιοχής τους. Με άλλα λόγια, ως ψαθυρά χαρακτηρίζονται τα υλικά που δεν παρουσιάζουν πλαστική περιοχή και ως όλκιμα αυτά που παρουσιάζουν πλαστική περιοχή πριν από το σημείο της θραύσεως τους. Δηλαδή, τα ψαθυρά υλικά θραύονται πριν αναπτύξουν μόνιμες παραμορφώσεις σε αντίθεση με τα όλκιμα. (α) Διάγραμμα εφελκυσμού ενός όλκιμου υλικού (β) Διάγραμμα εφελκυσμού ενός ψαθυρού υλικού Το σχήμα παρουσιάζει το τυπικό διάγραμμα εφελκυσμού όλκιμου υλικού, ενώ το 12(β) πατουσιάζει το τυπικό διάγραμμα εφελκυσμού ενός ψαθυρού υλικού. Από τη σύγκριση των δύο διαγραμμάτων είναι εμφανές ότι τα όλκιμα υλικά παρουσιάζουν πλαστική περιοχή πριν το όριο θραύσης σε αντίθεση με τα ψαθυρά

υλικά που δεν παρουσιάζουν πλαστική περιοχή πριν το όριο θραύσης. Στην καταπόνηση σε θλίψη, τα όλκιμα υλικά παρουσιάζουν πλαστική παραμόρφωση χωρίς να θραύονται, ενώ τα ψαθυρά θραύονται, χωρίς να υφίστανται πλαστική παραμόρφωση. Παραδείγματα όλκιμων υλικών είναι ο χαλκός, το αλουμίνιο, ο χάλυβας κ.ά.. Παραδείγματα ψαθυρών υλικών είναι η πέτρα, το μπετόν, ο χυτοσίδηρος, το γυαλί κ.ά.. Τα όλκιμα υλικά μπορούν κατόπιν επεξεργασίας, να γίνουν λαμαρίνες ή σύρματα. Σε αντίθεση με τα όλκιμα υλικά, τα ψαθυρά δεν μπορούν να γίνουν λαμαρίνες ούτε σύρματα.

### **3.4 Σκληρότητα υλικού.**

Σκληρότητα ενός υλικού ονομάζεται το μέγεθος που μετρά την αντίσταση του υλικού στην προσπάθεια εισόδου σε αυτό άλλων υλικών, τα οποία πιέζουν την επιφάνειά του με μία κάθετη δύναμη. Η σκληρότητα αναφέρεται πρακτικά στα μέταλλα. Η σκληρότητα ενός μετάλλου ουσιαστικά αποτελεί μέτρο της ασιστάσεως που εμφανίζουν τα μόρια του μετάλλου όταν άλλα υλικά, πιο σκληρά από αυτό, προσπαθούν να διεισδύσουν στο μέταλλο με εφαρμογή κάθετης δύναμης. Η σκληρότητα έχει σημασία στη μελέτη της αντοχής υλικών, γιατί με τη βοήθειά της, μπορούμε να υπολογίζουμε το όριο θραύσεως των υλικών. Επομένως, μας ενδιαφέρει ο προσδιορισμός του μεγέθους της σκληρότητας. Υπάρχουν ειδικές μέθοδοι μετρήσεως της σκληρότητας, οι οποίες ονομάζονται μέθοδοι σκληρομέτρησης. Οι μέθοδοι σκληρομέτρησης διακρίνονται στις στατικές, στις οποίες ανήκουν η μέθοδος Brinell, η μέθοδος Vickers και η μέθοδος Rockwell, στις δυναμικές ανήκουν η μέθοδος Bauman και η μέθοδος Poldi και τέλος, στις μεθόδους αναπηδήσεως, στις οποίες ανήκουν η μέθοδος Shore και η μέθοδος Leesen.

### **3.5 Θεωρία λυγισμού.**

Λυγισμός ονομάζεται η ασταθής κατάρρευση ενός πρισματικού φορέα υπό την επίδραση θλιπτικών φορτίων που υπερβαίνουν κάποια τιμή. Ο λυγισμός μπορεί να ξεκινήσει λόγω μικρής εκκεντρότητας του φορτίου ή λόγω κατασκευαστικών ατελειών/ανομοιομορφιών των πρισματικών φορέων. Η μαθηματική προσέγγιση στο πρόβλημα ξεκίνησε τον 18ο αιώνα από τον Euler, ο οποίος πρότεινε μια σχέση για τον προσδιορισμό του κρίσιμου φορτίου ελαστικού λυγισμού. Ως κρίσιμο φορτίο  $P_{cr}$  λυγισμού ορίζεται το ελάχιστο θλιπτικό φορτίο το οποίο μπορεί να προκαλέσει λυγισμό του φορέα. Η χρήση κολονών (υποστυλωμάτων) είναι πολύ διαδεδομένη (κυρίως στα πλοία) καθ' όσον χρησιμοποιούνται για την μείωση του ανυποστήρικτου μήκους δοκών και για τη μεταφορά/διανομή κατακόρυφων φορτίων. Τα υποστυλώματα δέχονται θλιπτικά φορτία και πρέπει να ελέγχονται για λυγισμό (ειδικά που αυτά έχουν μεγάλο μήκος) Αντικείμενο της παρούσας ενότητας είναι ο έλεγχος έναντι λυγισμού, πρισματικών φορέων που δέχονται θλιπτικά φορτία. Ο λυγισμός εξαρτάται κυρίως από τις γεωμετρικές ιδιότητες της διατομής του φορέα παρά από τις μηχανικές ιδιότητες του υλικού από το οποίο είναι κατασκευασμένος. Θεωρούμε μια τέλεια ράβδο (perfect column) της οποίας θα εξετάσουμε την ευστάθεια όταν η αξονική θλιπτική δύναμη  $P$  που επιβάλεται αυξάνεται σταδιακά. Στο αρχικό στάδιο της φόρτισης, όπου η  $P$  είναι

μικρότερη μιας κρίσιμης τιμής  $P_K$  που θα υπολογίσουμε πιο κάτω, η ισορροπία της ράβδου είναι ευσταθής. Αυτό σημαίνει ότι αν η ράβδος καμπυλωθεί ελαφρά από κάποια εξωτερική αιτία, επανέρχεται αμέσως στην αρχική της ευθύγραμμη θέση, μόλις η αιτία εξαφανιστεί. II. Άμα όμως η  $P$ , καθώς αυξάνει, λάβει την τιμή της  $P_K$ , τότε η ράβδος, μετά το εξωτερικό ερέθισμα, δεν επανέρχεται πια στην αρχική της θέση, αλλά παραμένει στην ίδια θέση της καμπύλωσης, όπου και ισορροπεί. Η ισορροπία της στο στάδιο αυτό χαρακτηρίζεται σαν αδιάφορη. Μικρή αύξηση της  $P$ , πέρα από την τιμή της  $P_{cr}$  προκαλεί απότομα στη ράβδο ακόμα μεγαλύτερη καμπύλωση από εκείνη που προκάλεσε αρχικά η εξωτερική αιτία, με άμεσο επακόλουθο την καταστροφή της. Στο στάδιο αυτό η ισορροπία της ράβδου χαρακτηρίζεται σαν ασταθής. Ύστερα από τα παραπάνω, θα ονομάζουμε λυγισμό, το φαινόμενο κατά το οποίο μια ευθύγραμμη λεπτή ράβδος, όταν υποβληθεί σε κεντρική θλίψη με αυξανόμενη ένταση, μεταβαίνει, από κάποια τιμή της δύναμης και μετά, σε κατάσταση ασταθούς ισορροπίας, με αποτέλεσμα να καμπυλώνει με την επίδραση της παραμικρής εξωτερικής αιτίας. Η συγκεκριμένη τιμή της δύναμης, μετά από την οποία εμφανίζεται το φαινόμενο του λυγισμού ονομάζεται κρίσιμο φορτίο λυγισμού  $P_{cr}$  και αντιστοιχεί στη μεταξύ ευσταθούς και ασταθούς ισορροπίας μεταβατική κατάσταση του υλικού. Είναι φανερό ότι στο στάδιο I, η παραπάνω ράβδος υφίσταται μόνο θλιπτική καταπόνηση, με ορθές τάσεις που δίνονται από τη σχέση  $\sigma = P/F$ . Στην ιδανική περίπτωση που η ράβδος είναι εντελώς ευθύγραμμη και το θλιπτικό φορτίο ασκείται αξονικά ακριβώς στο κεντροειδές της διατομής της, είναι δυνατόν να έχουμε ισορροπία της ράβδου ακόμα και όταν η  $P$  είναι μεγαλύτερη της  $P_{cr}$ . Όμως η ισορροπία αυτή είναι τόσο ασταθής, που η παραμικρή εξωτερική ενόχληση, μπορεί να προκαλέσει ένα ελάχιστο βέλος κάμψης, που αυξάνεται απότομα και οδηγεί τη ράβδο στη θραύση της. Σαν κατάσταση είναι ανάλογη με την ισορροπία ενός μολυβιού κατακόρυφα στη μύτη του, που είναι δυνατή μόνο θεωρητικά. Πραγματικά, στην πράξη υπάρχουν πάντοτε αίτια που μπορούν να προκαλέσουν πλάγια παραμόρφωση της ράβδου, όπως ελαφρά καμπυλότητα που μπορεί να γίνει στη ράβδο όταν κατασκευάζεται, έκκεντρη τοποθέτηση του φορτίου πάνω σ' αυτή, κλπ. Γι αυτό οι συντελεστές ασφάλειας έναντι λυγισμού είναι πάντα μεγαλύτεροι.

### **3.6 Κριτήριο κατασκευαστικής αστοχίας του πλοίου.**

Με τον όρο αστοχία, εννοούμε εδώ την κατασκευαστική (από την πλευρά αντοχής και μόνο) ανεπάρκεια ολόκληρου του πλοίου ή στοιχείων της κατασκευής του. Στην προηγούμενη παράγραφο αναφέραμε συνοπτικά πόσο πολύπλοκα καταπονείται ένα πλοίο. Παρόλα αυτά, για πρακτικούς λόγους, είναι απαραίτητο να βρεθεί ένα κριτήριο, με το οποίο θα κρίνεται η πιθανότητα κατασκευαστικής ανεπάρκειάς του. Ως τέτοιο κριτήριο ορίζεται από τους νηογνώμονες και τους ναυπηγούς το μέγεθος των τάσεων εφελκυσμού και θλίψεως, όταν θεωρηθεί ότι το πλοίο κάμπτεται ως διαμήκης δοκός. Με την παραπάνω υπόθεση φυσικά δεν λαμβάνονται υπόψη πλήθος από άλλες καταπονήσεις, οι οποίες όμως κατ' αρχήν θεωρείται ότι δεν θα υπερβαίνουν τις

επιτρεπόμενες τιμές αν οι τάσεις θλίψεως και εφελκυσμού που προαναφέραμε παραμείνουν μέσα σε προκαθορισμένα όρια. Αν και τα ναυπηγεία, οι νηογνώμονες και οι μελετητές εξετάζουν και άλλες πιο ειδικές καταπονήσεις, η παραπάνω υπόθεση, εκτός των άλλων, επιτρέπει στους χειριστές (με υπολογισμούς που μπορούν να κάνουν οι ίδιοι ή που μπορούν να γίνουν με τη βοήθεια ειδικών υπολογιστών που υπάρχουν στα σύγχρονα πλοία), να επιβεβαιώνουν την ανταπόκριση του πλοίου τους στους κανονισμούς σε κάθε κατάσταση φορτώσεως ή/και να αποφεύγουν λανθασμένες και επικίνδυνες φορτώσεις.

### **3.7 Εγκάρσια αντοχή.**

Η εγκάρσια αντοχή του πλοίου εξασφαλίζεται γενικά ως επακόλουθο της υπάρξεως επαρκούς αντοχής κατά τη διαμήκη έννοια, σε συνδυασμό και με την εφαρμογή των σχετικών κανονισμών των νηογνομόνων. Τα στοιχεία της ανθεκτικής κατασκευής των πλοίων συντελούν στην εξασφάλιση της εγκάρσιας αντοχής και αυτά είναι:

- 1) Οι εγκάρσιες φρακτές (bulkheads).
- 2) Οι ενισχυμένοι νομείς στην προέκταση των εγκαρσίων φρακτών πάνω από το κατάστρωμα στεγανής υποδιαίρεσεως (web frames).
- 3) Τα ελάσματα της οροφής των διπυθμένων (double bottom floors).
- 4) Οι αγκώνες (brackets) μεταξύ των εγκαρσίων ενισχυτικών δοκών του καταστρώματος (καμάρια) και των νομέων, καθώς και μεταξύ των νομέων και των ενισχύσεων της οροφής των διπυθμένων.
- 5) Οι δοκοί ανάμεσα στα καταστρώματα.

### **3.8 Τοπική αντοχή.**

Κατά την αρχική σχεδίαση του πλοίου ή όταν πραγματοποιείται η εγκατάσταση νέων μηχανημάτων ή συστημάτων, πρέπει να πραγματοποιείται ειδική μελέτη και τοπική ενδυνάμωση, ώστε να εξασφαλίζεται η τοπική αντοχή της περιοχής.

### **3.9 Φορτίσεις**

Μια πολύ σημαντική κατηγορία ζημιών που παρατηρείται στα πλοία και σε ναυπηγικές κατασκευές γενικότερα οφείλεται στην συνεχή επιβολή φορτίσεων, οι οποίες δεν πλησιάζουν κατ' ανάγκη τα κρίσιμα φορτία άμεσης αστοχίας της κατασκευής

(λυγισμού, διαρροής), η συνεχής όμως και επαναληπτική επιβολή τους στην κατασκευή επιφέρει απώλειες αντοχής οι οποίες υπό ορισμένες προϋποθέσεις μπορούν να έχουν και καταστροφικές συνέπειες. Για να αποδειχθούν τα πλοία και γενικά οι θαλάσσιες κατασκευές οικονομικά συμφέρουσες, η διάρκεια ζωής τους στο στάδιο του σχεδιασμού εκτιμάται στα 25 – 30 χρόνια. Σε αυτή την περίοδο θα υποστούν ποικιλότητες και συχνά επαναλαμβανόμενες φορτίσεις. Οι συνεχείς φορτοεκφορτώσεις, η δράση των κυμάτων και η εκτενής διάρκεια ζωής συντελούν στο να προκύψουν ζημιές της κατασκευής λόγω κόπωσης. Κόπωση καλείται το φαινόμενο της αστοχίας ενός υλικού που προκαλείται από επαναλαμβανόμενη επιβολή εξωτερικών φορτίσεων για σχετικά μεγάλο χρονικό διάστημα. Οι σχεδιαστές χρησιμοποιούν μεγάλους συντελεστές ασφαλείας στο σχεδιασμό των στοιχείων της κατασκευής, ως αποτέλεσμα συντηρητικού σχεδιασμού. Η ανάγκη αυτή πηγάζει από την αβεβαιότητα αλλά και την άγνοια για την ανταπόκριση της κατασκευής σε φορτία και περιβάλλοντα πέρα από το πειραματικό. Η αποκτηθείσα εμπειρία της συμπεριφοράς των ναυπηγικών κατασκευών στο χρόνο συνετέλεσε στη βελτίωση των σχεδιαστικών εφαρμογών με γνώμονα την ελαχιστοποίηση των ζημιών και τη μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Ακόμη και σήμερα όμως, η έλλειψη σαφών πληροφοριών για τη συμπεριφορά των υλικών σε διαβρωτικά περιβάλλοντα καθιστά αβέβαιη τη συμπεριφορά των κατασκευών που υφίστανται μακροχρόνια κοπωτική φόρτιση σε συνδυασμό με διάβρωση. Οι φορτίσεις που δρουν στη μεταλλική κατασκευή μπορούν να ταξινομηθούν σε : 1) Στατικές 2) Δυναμικές μη – περιοδικές και 3) Δυναμικές περιοδικές. Οι στατικές φορτίσεις περιλαμβάνουν τα βάρη του μεταφερόμενου φορτίου, των κατασκευών και του μόνιμου εξοπλισμού ή των προμηθειών και των προσωρινών κατασκευών. Στατικές επίσης κατά προσέγγιση μπορούν να θεωρηθούν οι φορτίσεις λόγω θαλασσιών ρευμάτων (σταθερές), του ανέμου, της απόθεσης πάγου και χιονιού. Γενικά όμως, ως κύριες στατικές φορτίσεις της κατασκευής θεωρούνται η άντωση και το βάρος του φορτίου του πλοίου. Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί πως σε περίπτωση στατικών φορτίσεων οι παραμορφώσεις που αντιστοιχούν στις παραμένουσες τάσεις λόγω συγκολλήσεων προστίθενται στις παραμορφώσεις από τυχόν κακοτεχνίες προσαρμογής ή κάποιων θερμικών κατεργασιών. Οι δυναμικές περιοδικές φορτίσεις είναι ο σημαντικότερος παράγοντας πρόκλησης μακροχρόνιας εμφάνισης ρωγμών λόγω κόπωσης. Οι φορτίσεις από κύματα συγκεντρώνουν το ενδιαφέρον αυτής της κατηγορίας. Η επίδραση ενός κύματος είναι είτε άμεση, επιφέροντας μεταβολές στην κατανομή της άντωσης, είτε έμμεση, προκαλώντας την ίδια την περιοδική φόρτιση. Ο άνεμος επίσης προκαλεί επαναληπτικές φορτίσεις, ενώ ο σταθερός άνεμος δύναται να προκαλέσει φαινόμενα αποκόλλησης ροής ρευστού (αέρα), πράγμα που συμβαίνει και με τα κύματα σε περιοχές με ασυνέχεια στην κατασκευή. Η συμβολή του ανέμου υπολογίζεται ότι αντιστοιχεί περίπου στο 5% της συνολικής εξωτερικής φόρτισης της κατασκευής, και δρα κυρίως στις υπερκατασκευές. Η επίδρασή του είναι εντονότερη σε ογκώδεις και ασυνεχείς υπερκατασκευές όπου είναι δυνατόν να παρουσιασθούν και φαινόμενα ανώμαλης ροής. Ακόμα, μπορεί να προκαλέσει ροπές ανατροπής γι' αυτό άλλωστε πρέπει να ελέγχονται και οι μοχλοβραχίονες επαναφοράς. Τα θαλάσσια ρεύματα από την άλλη πλευρά λαμβάνονται υπόψη για τις περιοχές υψηλού κινδύνου λόγω των φαινομένων ανώμαλης ροής για μόνιμες κατασκευές (εξέδρες, εξόρυξης



πετρελαίου). Η ταχύτητα ενός ρεύματος θεωρείται ότι είναι άθροισμα πολλών συνιστωσών όπως η παλίρροια, ο άνεμος, τα μη γραμμικά κύματα, η μετακίνηση θαλασσιών μαζών μεγάλης κλίμακας (ρεύμα του Κόλπου του Μεξικού) κ.α. Οι συνιστώσες και συνεπώς η επίδραση του ρεύματος δίνεται ως συνάρτηση του βάθους και συνεπώς η δράση τους ως φορτίσεις στα πλοία περιορίζεται στην επιφανειακή φόρτιση και περιλαμβάνεται στην επίδραση των θαλάσσιων κυματισμών. Τα κύματα είναι μια μορφή ενέργειας που επιδρά στο πλοίο ως μια διατμητική ή κρουστική δύναμη στα πλευρικά τοιχώματα και στον πυθμένα της γάστρας. Ο θαλάσσιος χώρος που περιβάλλει ένα πλοίο ακολουθεί μια περίπλοκη κίνηση και η ορθολογική περιγραφή της είναι δυνατή μόνο με στοχαστικές διαδικασίες. Στην περίπτωση των εξεδρών εξόρυξης πετρελαίου η δράση των θαλάσσιων κυματισμών μπορεί να εξετασθεί ως αποτέλεσμα μίας συνιστώσας δύναμης που ασκείται στο σώμα (π.χ. ένας κατακόρυφος κύλινδρος που είναι και η συνήθης μορφή κατασκευής σε εξέδρες εξόρυξης πετρελαίου). Η δύναμη αυτή είναι άθροισμα αδρανειακών δυνάμεων και δυνάμεων αντίστασης. Κατά συνέπεια, μια αύξηση των συντελεστών αντίστασης και αδράνειας αυξάνει σημαντικά τις φορτίσεις λόγω των θαλάσσιων κυματισμών, ειδικά σε περιπτώσεις ακινησίας.

## 4<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### 4.1 Κατηγοριοποίηση καταπονήσεων

1) **Στατικά γενικά φορτία:** Που δημιουργούν τάσεις:

A) Κάμψεως του πλοίου ως ράβδου.

B) Κάμψεως των εγκάρσιων στοιχείων της κατασκευής του που οφείλονται κυρίως σε υδροστατικά φορτία.

Γ) Στρέψεως λόγω της ασυμμετρίας κατανομής των διαφόρων βαρών μεταξύ της δεξιάς και της αριστερής πλευράς του πλοίου.

2) **Στατικά τοπικά φορτία:** Που περιλαμβάνουν:

A) Φορτία που οφείλονται στη στήριξη μεγάλων βαρών όπως ο ιστός του πλοίου, βαριά μηχανήματα του μηχανοστασίου και του καταστρώματος.

B) Φορτία κατά τη διάρκεια προσαράξεως η δεξαμενισμού.

3) **Δυναμικά φορτία:** Που μπορούν να οφείλονται σε διάφορα αίτια όπως:

A) Δυνάμεις κρούσεως του πυθμένα (slamming), όταν η πλώρη βγαίνει έξω από το νερό και επανέρχεται λόγω κυμάτων.

B) Ωση της έλικας.

Γ) Κινήσεις του πλοίου σε κυματισμό ( διατοιχισμός, προνευστασμός, ταλαντώσεις εμβαπτίσεως).

**Πρόνευση:** Στη ναυτική ορολογία Πρόνευση ή Προνευστασμός (κοινώς σκαμπανέβασμα, pitching) καλείται η κατά το διάμηκες ταλάντωση πλοίου. Ο προνευστασμός συνήθως δεν αποκτά την ένταση του διατοιχισμού, πλην όμως προκαλεί σοβαρές κοπώσεις στο σκάφος.

**Διατοιχισμός:** Η διατοίχιση ή διατοιχισμός (rolling), κοινώς «μπότζι» (λέγεται ακόμη και «σάλος»), είναι όρος της Ναυτιλίας και αφορά μορφή ταλάντωσης του πλοίου κατά τον εγκάρσιο άξονα δηλαδή οι κλίσεις δεξιά και αριστερά που παίρνει το πλοίο «εξ υπαμοιβής» (= διαδοχικά), είτε «εν πλω» (όταν κινείται), είτε «εν όρμω» (αγκυροβολημένο). Αιτία που προκαλεί τη διατοίχιση είναι είτε ο υφιστάμενος πλάγιος κυματισμός (κατάσταση θαλάσσης), είτε κυματισμός από το φαινόμενο της αποθαλασσίας, είτε και από άλλο παράγοντα όπως από κυματισμό που προκάλεσε διερχόμενο άλλο πλοίο. Ενώ η σταθερή (στατική και μόνιμη) κλίση γύρω από τον διαμήκη άξονα λέγεται απλά 'κλίση' (heeling). Αυτή την κλίση μετράει και το κλινόμετρο.

## **4.2 Καταπονήσεις σε διατοιχισμό και άλλες καταπονήσεις κατά την κίνηση του πλοίου.**

Κατά τις κινήσεις των πλοίων εξαιτίας του κυματισμού, προκαλούνται οι παρακάτω καταπονήσεις:

1) Καταπόνηση, κατά τον διατοιχισμό, των εγκαρσίων στοιχείων της ανθεκτικής κατασκευής, όπως είναι οι φρακτές και οι αγκώνες (racking strains). Αυτού του είδους οι καταπονήσεις δημιουργούν μεγάλες τάσεις στις γωνίες της εγκάρσιας τομής, με αποτέλεσμα την πιθανότητα θραύσεων στους αγκώνες του καταστρώματος και του διαπέδου των αμπαριών (στην οροφή του διπύθμενου).

2) Παραμορφώσεις «μέσα-έξω» των ελασμάτων στα άκρα του πλοίου, όταν καλύπτονται και αποκαλύπτονται από το κύμα (panting).

3) Κτυπήματα της πλώρης όταν βγαίνει και ξαναμπαίνει με δύναμη στο νερό, κατάσταση που δημιουργεί ταλάντωση σε ολόκληρο το πλοίο (slamming pounding).

4) Κόπωση (fatigue) που οφείλεται στο γεγονός της συνεχούς εναλλαγής των τάσεων στο κατάστρωμα και στον πυθμένα (από εφελκυσμό σε θλίψη και αντιστρόφως), καθώς το πλοίο διασχίζει τα κύματα.

5) Φόρτιση των εκτεθειμένων καταστρωμάτων από τις πιέσεις του νερού (shipping green water) σε συνθήκες έντονης θαλασσοταραχής.

6) Παραμορφώσεις και τάσεις λόγω της εξωτερικής πίεσεως του νερού πάνω στα ελάσματα του περιβλήματος. Αν και οι κανονισμοί κατασκευής των πλοίων περιέχουν προβλέψεις για την κατασκευαστική ανταπόκριση των πλοίων στις παραπάνω καταπονήσεις, οι χειριστές θα πρέπει να λαμβάνουν όλα τα αναγκαία μέτρα (σωστή φόρτωση και ερματισμός, ελάττωση ταχύτητας, μεταβολή πορείας κ.λπ.), ώστε οι δυσμενείς επιπτώσεις στην αντοχή και την ασφάλεια του πλοίου να ελαχιστοποιούνται.

## **4.3 Κοπώσεις από σφυροκρούσεις.**

Καταπονήσεις από σφυροκρούσεις (slamming) εμφανίζονται όταν λόγω του κυματισμού η πλώρη ενός πλοίου ξενερίζει, έτσι ώστε η βασική γραμμή της τρόπιδάς του να σχηματίζει μικρή γωνία με το οριζόντιο επίπεδο και στη συνέχεια βυθίζεται ξανά μέσα στο νερό. Αυτή η διαδικασία δημιουργεί μεγάλες δυνάμεις μέσα σε μικρό χρονικό διάστημα. Οι κρούσεις που εμφανίζονται είναι τόσο μεγάλες, που θέτουν σε ταλάντωση ολόκληρο το πλοίο και συχνά αναγκάζουν τους χειριστές να αλλάξουν πορεία και να ελαττώσουν ταχύτητα. Ακόμη και ελαφρές ή περιστασιακές σφυροκρούσεις μπορούν να δημιουργήσουν καταπονήσεις λυγισμού και πλαστικές παραμορφώσεις στα ελάσματα του πυθμένα της πλώρης. Οποιαδήποτε έντονη σφυροκρούση μπορεί να θέσει σε ταλάντωση ολόκληρο το πλοίο, γεγονός που μπορεί να διαρκέσει μέχρι και ένα ολόκληρο λεπτό, με επακόλουθο την εμφάνιση μεγάλων καμπτικών τάσεων, παραμορφώσεων στον πυθμένα και στις φρακτές και σοβαρών

ζημιών ή/και ολικής απώλειας του εξοπλισμού του πλοίου. Οι κατασκευαστικές αστοχίες που μπορούν να προκύψουν σε περίπτωση εντόνων σφυροκρούσεων είναι:

1) Υπέρβαση του ορίου αντοχής των ελασμάτων και των ενισχύσεων του πυθμένα στην πλήρη λόγω τάσεων κάμψεως και πιθανότητα θραύσεως συγκολλήσεων με ενδεχόμενη εισροή νερού.

2) Πλαστικές παραμορφώσεις των παραπάνω στοιχείων με ανάγκη αντικαταστάσεώς τους σε επόμενο δεξαμενισμό.

3) Ανάλογες ζημιές σε διαμήκη στοιχεία της κατασκευής από την ταλάντωση του πλοίου ως δοκού.

4) Αστοχίες από εναλλασσόμενη καταπόνηση (low-cycle fatigue).

5) Αστοχίες από δυναμικές κρούσεις (σοκ) σε ναυτιλιακό εξοπλισμό και στις συσκευές επικοινωνίας του πλοίου, καθώς και σε σωληνώσεις και ηλεκτρικές γραμμές μεταφοράς. Σε πολλά απ' τα σύγχρονα πλοία υπάρχουν διαγράμματα, που συσχετίζουν την κατάσταση της θάλασσας, την πορεία του πλοίου και την ταχύτητά του με την πιθανότητα εμφάνισης σοβαρών κατασκευαστικών αστοχιών, όπως αυτές που αναφέραμε παραπάνω. Είτε υπάρχουν είτε όχι τέτοιες πιθανότητες αστοχίας, οι χειριστές, με βάση την εμπειρία τους θα πρέπει, με κατάλληλη μεταβολή της πορείας, με μείωση της ταχύτητας ή/ και με συνδυασμό των δύο, να φροντίζουν για την αποφυγή εντόνων καταστάσεων σφυροκρούσεως της πλήρης.

## **5<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ**

### **5.1 Απαιτήσεις νηογνωμόνων για την αντοχή του πλοίου.**

Οι κανονισμοί των νηογνωμόνων για την εξασφάλιση της αντοχής του πλοίου ως ράβδου διαφέρουν μεταξύ τους. Η βασική όμως ιδέα πάνω στην οποία στηρίζονται οι κανονισμοί αρκετών νηογνωμόνων όπως το American Bureau of Shipping, το Lloyd's Register of Shipping και το Det Norske Veritas είναι σχεδόν η ίδια. Πιο συγκεκριμένα οι παραπάνω νηογνώμονες θεωρούν ότι η μέγιστη ροπή κάμψεως είναι άθροισμα μιας συνιστώσας που οφείλεται στη στήριξη (πλεύση) του πλοίου σε ήρεμο νερό και μιας άλλης που εκφράζει την επίδραση του κύματος. Η ροπή σε ήρεμο νερό υπολογίζεται προσεγγιστικά με διαδικασίες που καθορίζονται στους αντίστοιχους κανονισμούς. Οι όροι Hogging και Sagging στην περίπτωση των νηογνωμόνων έχουν κάπως διαφορετική έννοια από ό,τι έχουμε αναφέρει μέχρι τώρα. Κατάσταση Hogging έχουμε όταν τα ελάσματα του καταστρώματος εφελκύνονται και του πυθμένα καταπονούνται σε θλίψη, ενώ κατάσταση Sagging έχουμε όταν συμβαίνουν ακριβώς τα αντίθετα. Ανάλογα με το αν η στήριξη του πλοίου σε ήρεμο νερό δημιουργεί κατάσταση Hogging ή Sagging, οι κανονισμοί προδιαγράφουν τις λεπτομέρειες Φορτώσεως, για τις οποίες πρέπει να γίνονται οι σχετικοί υπολογισμοί. Οι συνθήκες αυτές έχουν επιλεγεί έτσι, ώστε οι υπολογισμοί να δίνουν τις χειρότερες καταπονήσεις. Η επίδραση του κυματιστού στη ροπή κόψεως βρίσκεται με βάση τους κανονισμούς των νεογνό-ναν από τύπους που προκύπτουν από προχωρημένες θεωρήσεις της επιδράσεως, του κυματιστού, καθώς και από δεδηγμένα της απειρίας με βάση στατιστικά στοιχεία από τη συμπεριφορά πλοίων σε θαλασσοταραχή. Με τα ανωτέρω στοιχεία ελέγχεται η επάρκεια του υλικού της μόσης τούς και άλλων τογών του πλοίου.

### **5.2 Συσκευές υπολογισμού κοπώσεως.**

Οι υπολογισμοί αυτοί είναι αρκετά πολύπλοκοι και δύσκολα μπορούν να γίνουν απ' τους χειριστές των πλοίων. Πολύ συχνά τέτοιοι υπολογισμοί πρέπει να πραγματοποιούνται για διάφορες εναλλακτικές καταστάσεις φορτώσεως και ερματισμού, ώστε να διαπιστώνεται ποιος από τους πιθανούς τρόπους φορτώσεως είναι ο πιο ιδεώδης από την άποψη βυθισμάτων, διαγωγής, καταπονήσεων και εγκάρσιας ευστάθειας. Για να ξεπεραστεί αυτή η δυσκολία, στα σύγχρονα πλοία υπάρχουν εγκατεστημένοι υπολογιστές και κατάλληλο λογισμικό, με τη βοήθεια των οποίων μπορούν να υπολογιστούν με μεγάλη ευκολία και σε πολύ σύντομο χρόνο όλα τα παραπάνω στοιχεία. Στο σχετικό λογισμικό έχουν εισαχθεί εκ των προτέρων από

τον κατασκευαστή όλα τα απαραίτητα σταθερά στοιχεία του συγκεκριμένου πλοίου. Τέτοια στοιχεία για παράδειγμα είναι διάφορες πληροφορίες από το υδροστατικό διάγραμμα, η ροπή αντιστάσεως διαφόρων εγκαρσίων τομών του πλοίου, η καμπύλη κατανομής του βάρους του άφορτου εκτοπίσματος, οι καμπύλες Bonjean και τα απαραίτητα στοιχεία των δεξαμενών και αμπαριών. Επίσης σε πολλές συσκευές μπορούν να εισαχθούν και στοιχεία για τις μέγιστες επιτρεπόμενες τάσεις θλίψεως-εφελκυσμού, καθώς και για τις επιτρεπόμενες διατμητικές τάσεις. Οι χειριστές μπορούν να εισάγουν στον υπολογιστή όλα τα μεταβλητά στοιχεία που επηρεάζουν τη φόρτωση, όπως είναι οι στάθμες των υγρών στις διάφορες δεξαμενές και οι ποσότητες και τα ειδικά βάρη του φορτίου στα αμπάρια. Με τα στοιχεία αυτά ο υπολογιστής υπολογίζει και δίνει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για να κριθεί αν ο συγκεκριμένος τρόπος φορτώσεως είναι αποδεκτός. Επίσης πολύ εύκολα μπορούν να εξετασθούν, εκ των προτέρων, διάφοροι εναλλακτικοί τρόποι φορτώσεως, παρέχοντας την δυνατότητα να επιλεγεί ο ιδανικός. Ειδικά οι τάσεις θλίψεως, εφελκυσμού και οι διατμητικές δίνονται (εκτός από τις απόλυτες τιμές τους) και ως ποσοστά των μεγίστων επιτρεπομένων τιμών, σύμφωνα με τις μελέτες του πλοίου που εξασφαλίζουν την ικανοποίηση των απαιτήσεων των κανονισμών. Έτσι πολύ εύκολα ο πλοίαρχος μπορεί να απορρίψει ως μη παραδεκτές, όλες τις φορτώσεις που δίνουν τιμές τάσεων πάνω από το 100% των επιτρεπομένων. Σε πολλές περιπτώσεις, το λογισμικό επιτρέπει και τον υπολογισμό των παραμορφώσεων του πλοίου ως ράβδου.

Ένα παράδειγμα προγράμματος υπολογισμού κοπώσεως και φορτοεκφόρτωσης σε ένα δεξαμενόπλοιο το ANKO.

The screenshot shows the Autoload 6.0 software interface for ship stability analysis. The top section displays various floating status parameters such as Draft, Trim, Deadweight, Displacement, and Buoyancy. Below this, there are two 3D visualizations of the ship's hull, one showing the full length and another showing a cross-section. The bottom part of the interface features a detailed table of cargo and tank data.

#	Name	File	Ulsag(m)	Sounds(m)	Volum(m <sup>3</sup> )	Spgr	Weight(MT)	Max. Wght(MT)	Mx(MT.m)	M <sub>y</sub> (MT.m)	Vcg(m)	F/S Corf(MT.m)	Status	Pump Rate
1	FPT		0.00	10.560	0.00	1.025	0.0	1579.5	0.0	0.0	0.000	0.0	INTACT	
2	NO_1_COT.C	80.00	5.004	14.083	9314.3	0.849	7909.4	9896.0	736443.6	3086.2	9.764	33789.4	INTACT	
3	NO_1_WBT.S	0.00	21.200	0.000	0.0	1.025	0.0	2533.9	0.0	0.0	0.000	0.0	INTACT	
4	NO_1_WBT.P	0.00	21.200	0.000	0.0	1.025	0.0	2533.9	0.0	0.0	0.000	0.0	INTACT	
5	NO_2_WBT.S	0.00	19.670	0.000	0.0	1.025	0.0	2442.0	0.0	0.0	0.000	0.0	INTACT	
6	NO_2_COT.C	97.99	1.234	17.596	7765.4	0.849	6595.0	6730.6	455702.9	5719.0	10.949	7205.8	INTACT	
7	NO_2_WBT.P	0.00	19.670	0.000	0.0	1.025	0.0	2442.0	0.0	0.0	0.000	0.0	INTACT	
8	NO_2_COT.P	97.98	1.763	17.296	7765.7	0.849	6594.4	6730.6	455599.8	58389.0	10.943	1688.4	INTACT	
9	NO_3_WBT.S	0.00	19.600	0.000	0.0	1.025	0.0	4883.9	0.0	0.0	0.000	0.0	INTACT	
10	NO_3_WBT.P	0.00	19.600	0.000	0.0	1.025	0.0	4883.9	0.0	0.0	0.000	0.0	INTACT	
11	NO_3_COT.C	97.99	1.600	17.251	15986.5	0.849	13490.4	13766.0	592909.4	3015.5	10.933	1430.5	INTACT	
12	NO_4_COT.P	97.99	1.775	17.295	7942.8	0.849	6744.8	6863.5	125524.1	61021.2	10.927	1742.9	INTACT	
13	NO_4_WBT.S	0.00	19.940	0.000	0.0	1.025	0.0	4856.6	0.0	0.0	0.000	0.0	INTACT	
14	NO_4_WBT.P	70.00	10.268	9.672	3316.0	1.025	3398.9	4856.6	65158.2	49595.7	2.769	106.0	INTACT	

### **5.3 Σημασία των υπολογισμών.**

Όπως προαναφέραμε, οι τάσεις που υπολογίζονται με την παραπάνω μέθοδο, δεν έχουν απόλυτη ακρίβεια (δηλ. δεν μπορούν π.χ. να συγκριθούν απευθείας με τις τάσεις θραύσεως του υλικού, όπως γίνεται σε περιπτώσεις καταπονήσεως άλλων, απλών κατασκευών). Αυτή η αδυναμία συγκρίσεως οφείλεται στις πολλές παραδοχές που γίνονται για να μπορέσει να απλοποιηθεί το πρόβλημα σε βαθμό που να είναι δυνατή η λύση του. Η αξία των αποτελεσμάτων είναι σχετική, δηλαδή μπορούν να χρησιμοποιηθούν για σύγκριση με άλλες περιπτώσεις. Ειδικότερα μπορούν να γίνουν συγκρίσεις και να εξαχθούν συμπεράσματα στις παρακάτω περιπτώσεις:

- 1) Σύγκριση μεταξύ πλοίων του ίδιου τύπου και των ιδίων περίπου χαρακτηριστικών.
- 2) Εξέταση των επιπτώσεων από μετασκευές στη γενικότερη αντοχή της ανθεκτικής κατασκευής ενός πλοίου.
- 3) Συγκρίσεις μεταξύ διαφόρων τρόπων φορτώσεως ενός πλοίου. Ειδικότερα κατά την χρησιμοποίηση του πλοίου πρέπει να κατανοηθεί η σημασία της σωστής (κατά μήκος του πλοίου) φορτώσεως, λαμβάνοντας υπόψη ότι φόρτωση μόνο των κεντρικών αμπαριών ενός πλοίου αυξάνει τις τάσεις στην περίπτωση Sagging, ενώ φόρτωση μόνο ακραίων αμπαριών έχει το ίδιο αποτέλεσμα για την περίπτωση Hogging

### **5.4 Σχεδιαστικοί παράγοντες και κόπωση**

Ο σχεδιασμός μιας μεταλλικής κατασκευής μπορεί να ταξινομηθεί στις εξής διαδικασίες, σύμφωνα με τη χρονική σειρά εκτέλεσής του: 1) Η συνολική διαμόρφωση της κατασκευής 2) Χαρακτηριστικά στοιχείων και λεπτομέρειες διατάξεων 3) Επιλογή υλικού 4) Διαδικασίες και προδιαγραφές ανέγερσης. Πιο αναλυτικά : 1) Η συνολική διαμόρφωση της κατασκευής Η συνολική διαμόρφωση κάθε ναυπηγικής κατασκευής θα πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται ότι ελαχιστοποιούνται οι φορτίσεις που οφείλονται στο περιβάλλον λειτουργίας. Περικοπές που μπορούν να γίνουν σε διάφορα σημεία της κατασκευής μπορούν να οδηγήσουν στην εμφάνιση κοπωτικών φαινομένων καθώς μπορούν να προκύψουν εναλλακτικοί τρόποι παραλαβής των φορτίων, προκαλώντας με αυτόν τον τρόπο αστοχίες. Κατά το σχεδιασμό της κατασκευής στο σύνολό της πρέπει να αποφεύγεται η διάχυση φορτίων σε ανεξέλεγκτες περιοχές της. Θα πρέπει συγχρόνως να εξασφαλίζεται και επαρκής χρόνος για την επισκευή τυχόν τοπικών αστοχιών χωρίς να υπερφορτίζεται η υπόλοιπη κατασκευή. 2) Χαρακτηριστικά στοιχείων και λεπτομέρειες διατάξεων Όπου είναι εφικτό, η διάταξη των ενισχύσεων της κατασκευής θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε να εξασφαλίζεται η ομοιόμορφη παραλαβή της εξωτερικής φόρτισης. Η ονομαστική τάση

σε ένα δεδομένο στοιχείο της κατασκευής πρέπει να ενισχύεται εξ' αιτίας της γεωμετρίας της λεπτομέρειας. Ο λόγος της μέγιστης προς την ονομαστική τάση, ο καλούμενος συντελεστής συγκεντρώσεως τάσεων, επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, όπως ο τρόπος διάχυσης των φορτίων, τα πάχη των ελασμάτων, το μέγεθος γωνίας συγκόλλησης, το εμβαδόν της επιφάνειας συγκόλλησης κ.α. Η διάταξη των κατασκευαστικών στοιχείων σε τοπικό επίπεδο είναι μία σημαντική παράμετρος, τόσο από πλευράς διαμόρφωσης (επιδρώντας στο συντελεστή συγκεντρώσεως τάσεων) όσο και από πλευρά προσπέλασης (επιδρώντας και στην ποιότητα της εργασίας). Τα ενισχυτικά της γάστρας πρέπει να επιλέγονται και να συγκολλούνται λαμβάνοντας υπόψη και την προσπέλαση στους διάφορους χώρους. Για αυτό το λόγο, η σύνδεση των σωληνώσεων με γωνίες μικρότερες των 30 μοιρών πρέπει να αποφεύγεται. 3) Επιλογή υλικού Ως υλικό κατασκευής ο χάλυβας επιλέγεται για την αντοχή του, τη συγκολλητότητά του και τη διάρκεια της εκμεταλλεύσιμης ζωής του. Το υλικό που επιλέγεται οφείλει γενικά να διαθέτει αφ' ενός κατάλληλη χημική σύσταση αφ' ετέρου και μηχανικές ιδιότητες που βελτιστοποιούν τη χρήση του. Η χρήση χαλύβων υψηλής αντοχής απαιτεί προδιαγραφές υψηλής σκληρότητας και ταυτόχρονα ανοχή σε κατασκευαστικές ατέλειες. Εάν ένα υλικό με υψηλή σκληρότητα δύναται να παραλάβει υψηλά φορτία για δεδομένες κατασκευαστικές ατέλειες χωρίς την εμφάνιση ελάχιστης πλαστικής παραμόρφωσης πριν τη θραύση κατά τη διάρκεια της ζωής της κατασκευής, τότε το υλικό αυτό κρίνεται ως κατάλληλο για τη συγκεκριμένη εφαρμογή. Στο θέμα της χημικής σύνθεσης του υλικού υπάρχει γενικά έλλειψη στοιχείων που να συσχετίζουν τη σύνθεση του υλικού με την παρουσία ρωγμών. Το θέμα αυτό άλλωστε χαρακτηρίζεται ως δευτερεύουσας σημασίας για τους ναυπηγικούς χάλυβες. Όσον αφορά τη μικροδομή του υλικού, η διαδικασία διάδοσης ρωγμών που οφείλονται σε κόπωση εξηγείται ικανοποιητικά από διάφορους μηχανισμούς οι οποίοι μπορούν να καθορισθούν με φρακτογραφικό έλεγχο. Η πραγματική μορφή κόπωσης από διάβρωση χαρακτηρίζεται από εύθραυστες γραμμώσεις. Ο ρυθμός διάβρωσης εξαρτάται και από τη μορφολογία της κατασκευής, ενώ στο θαλάσσιο περιβάλλον μπορεί να προκύψει και αυξημένη επίδρασή της. Η επίδραση εξαρτάται όμως κυρίως από άλλες παραμέτρους, όπως η χημική σύσταση του υλικού και η μετάδοση ή μη πρόσθεση θερμότητας κατά τη διαδικασία της συγκόλλησης. 4) Διαδικασίες και προδιαγραφές ανέγερσης Η διαδικασία της ανέγερσης (συγκολλήσεις) της κατασκευής επιφέρει μία υποβάθμιση της σκληρότητας του υλικού συγκόλλησης, η οποία μπορεί να επεκταθεί και στο βασικό μέταλλο, πέρα από τη θερμικά επηρεαζόμενη ζώνη. Εάν οι κατασκευαστικές ανοχές που χρησιμοποιούνται είναι εκτός προδιαγραφών (αυτό μπορεί να προκύψει ως αποτέλεσμα κατασκευαστικών παραμορφώσεων κακοτεχνιών), είναι δυνατό να ελαττωθεί η δυσθραυστότητα του υλικού όταν δρουν εφελκυστικές τάσεις για μεγάλο χρονικό διάστημα. Η διάρκεια ζωής μια συγκολλητής κατασκευής σε σχέση με την κόπωση επηρεάζεται άμεσα από τη γεωμετρία της. Αυτό συμβαίνει επειδή τα τοπικά εντατικά πεδία εξαρτώνται από τη γεωμετρία, ενώ οι υψηλές τάσεις επιδρούν με τη σειρά τους στην έναρξη και τη διάδοση των κοπωτικών ρωγμών. Η καταστροφική επίδραση υψηλών συντελεστών συγκέντρωσης τάσης στην αντοχή σε κόπωση είναι ευρέως γνωστή από πειραματικά αποτελέσματα. Έχει παρατηρηθεί ότι οι ξαφνικές αλλαγές στις διαστάσεις των ενισχύσεων επιφέρουν μείωση της αντοχής

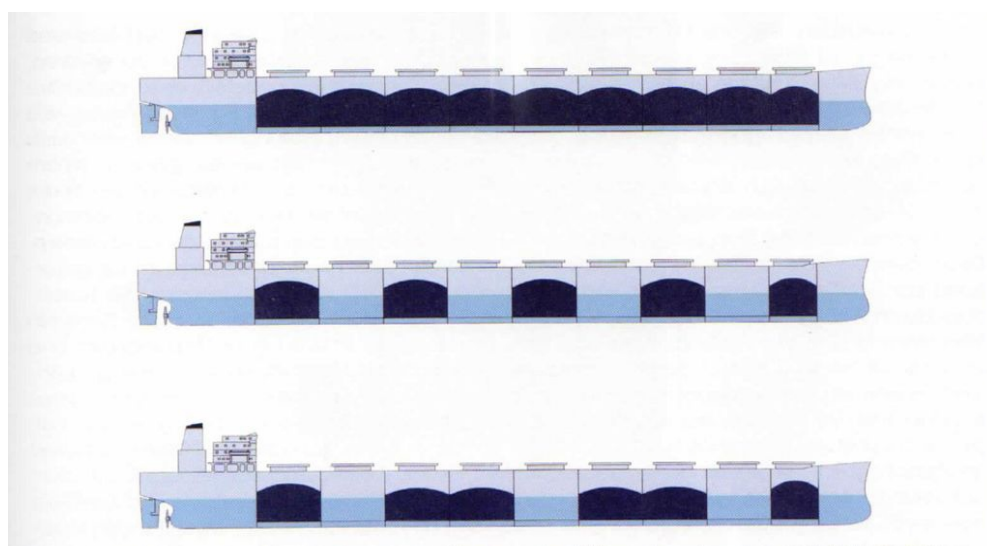


σε κόπωση. Επίσης, έχει παρατηρηθεί ότι ο αριθμός των επαναλήψεων φόρτισης που απαιτείται για να επέλθει αστοχία εξαρτάται και από την κατάσταση της επιφάνειας. Έτσι, μια λεία επιφάνεια επιβιώνει πολύ περισσότερο από κάποια επισκευασμένη ή ανώμαλη επιφάνεια. Σε συγκολλητές κατασκευές που έχουν απλή γεωμετρία όπως οι αυχενικές συγκολλήσεις, οι συγκεντρώσεις τάσεων προσδιορίζονται με θεωρητικούς τρόπους (μέθοδο πεπερασμένων στοιχείων) αλλά και με εμπειρικούς τρόπους (φωτοελαστικές τεχνικές). Στις θεωρητικές μεθόδους οι συνδέσεις εξιδανικεύονται εφόσον το πρόσωπο της συγκόλλησης αναπαρίσταται με μια επίπεδη επιφάνεια. Οι συντελεστές αυτοί αφορούν συνεπώς μόνο στη γεωμετρία της σύνδεσης, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη τοπικές ανωμαλίες όπως η τυχόν αποκοπή άκρου της συγκόλλησης. Μια ικανοποιητική προσέγγιση συνίσταται στη χρήση δύο συντελεστών συγκεντρώσεως τάσεων, έτσι ώστε να λαμβάνεται υπόψη το τοπικό άκρο της συγκόλλησης αλλά και η γεωμετρία της κατασκευής. Στις συγκολλητές κατασκευές η μέγιστη τάση συνήθως εμφανίζεται είτε στο άκρο είτε στη ραφή και άρα είναι θεμιτό να χρησιμοποιούνται δυο συντελεστές στις περιοχές αυτές. Στις αυχενικές συγκολλήσεις των ναυπηγικών κατασκευών η έναρξη της ρωγμής από κόπωση εξαρτάται και από το είδος του φορτίου. Κατά κανόνα, η έναρξη παρατηρείται στο άκρο της συγκόλλησης. Σε μερικές περιπτώσεις όμως ξεκινά και από τη ραφή, ανάλογα με τα πάχη των κατασκευαστικών στοιχείων. Οι συντελεστές συγκεντρώσεως τάσεων στις ναυπηγικές κατασκευές είναι πολύ δύσκολο να καθορισθούν με συστηματικό τρόπο διότι η μορφολογία είναι σύνθετη, η φόρτιση πολυαξονική και η γεωμετρία των συγκολλήσεων ποικιλόμορφη. Για το λόγο αυτό έχουν εφαρμοσθεί ειδικές μέθοδοι ώστε να αποκτηθεί ένα ρεαλιστικό μοντέλο απεικόνισης του κάθε συνδέσμου, όπως η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων (ισοπαραμετρικά στοιχεία- κελύφη) και η φωτοελαστική μέθοδος. Πράγματι, για υπολογισμούς κόπωσης είναι απαραίτητες οι τιμές των τάσεων ώστε να επιλεγεί η σωστή καμπύλη κόπωσης. Στα πραγματικά κατασκευαστικά στοιχεία η μέτρηση της εφελκυστικής τάσης γίνεται με μηχανοσκόπια, κυρίως ηλεκτρονικά. Η τοποθέτηση τους υλοποιείται σύμφωνα με τους κανονισμούς των οργανισμών μετρήσεων και ανάλογα με το μέγεθος και το πάχος του εξεταζόμενου στοιχείου. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων δίνουν το μέγεθος της επιμήκυνσης και με τη χρήση των αρχών της μηχανικής, αποκτώνται τιμές και για τις τάσεις. Το σημαντικότερο όμως είναι πως είμαστε σε θέση να αντλήσουμε πληροφορίες και για την έναρξη μιας ρωγμής από κόπωση στην εξεταζόμενη περιοχή. Η έναρξη μιας ρωγμής συνήθως χαρακτηρίζεται από μία ελάττωση της εφελκυστικής τάσης της τάξεως του 15%. Το μέγεθος της ρωγμής σε αυτό το στάδιο εξέλιξής της είναι αδύνατο να εκτιμηθεί με το γυμνό μάτι. Με την ίδια μέθοδο ελέγχεται και μελετάται η διάδοση της ρωγμής. Ένα άλλο σημαντικό θέμα είναι η επίδραση του πάχους του υλικού. Οι καμπύλες κόπωσης που δίνονται στις συνήθεις μελέτες βασίζονται σε δεδομένα που λαμβάνονται από συγκολλημένα ελάσματα, γωνιακές συνδέσεις και συνήθη γεωμετρία. Τα πάχη των δοκιμίων αυτών είναι όμως συνήθως μικρότερα από αυτά που χρησιμοποιούνται στις ναυπηγικές κατασκευές (12 mm). Ως αποτέλεσμα τα δεδομένα που αποκτήθηκαν εμφανίζουν μη-συντηρητική συμπεριφορά σε σύγκριση με τις πραγματικές θαλάσσιες κατασκευές. Έτσι, προέκυψε ανάγκη να

συνεχιστεί η έρευνα και σε παχύτερα δοκίμια, η οποία υλοποιήθηκε μέσω διαφόρων ερευνητικών προγραμμάτων.

### **5.5 Κοπώσεις σε πλοία Capex**

Στο σχήμα φαίνεται (γραφικά) πώς μπορεί να παραμορφωθεί ένα πλοίο ανάλογα με τον τρόπο φορτώσεως του. Μεγάλες παραμορφώσεις φυσικά συνεπάγονται και μεγάλες τάσεις. Τα μεγάλα πλοία μεταφοράς στερεού φορτίου χύμα και κυρίως όσα απ' αυτά μεταφέρουν μεγάλα φορτία, γνωστά ως capesize με μέσο DEAD- WIGHT της τάξεως των 156000 MT που σε ιδιαίτερες περιπτώσεις μπορεί να φθάσει και τις 200000 MT (Very Large Ore Carriers – VLOC και Very Large Bulk Carriers – VLBC), μπορούν να παρουσιάσουν σοβαρά προβλήματα κατασκευαστικής ανεπάρκειας στην περίπτωση που η φόρτωσή τους δεν γίνει σωστά. Ιδιαίτερα σοβαρό είναι το πρόβλημα όταν φορτώνονται βαριά φορτία (π.χ. σιδηρομετάλλευμα).



A) Ομοιόμορφη φόρτωση. B) Φόρτωση εναλλάξ. Γ) Ομογενής φόρτωση.

Σε αυτές τις περιπτώσεις λόγω του μεγάλου ειδικού βάρους του φορτίου είναι πιθανόν να μπορεί να γίνει πλήρης φόρτωση, διατηρώντας όμως κενά κάποια αμπάρια. Όπως παρατηρείται στο σχήμα αυτό μπορεί να δημιουργήσει μεγάλες ροπές και μεγάλες τέμνουσες δυνάμεις και κατ' επέκταση επικίνδυνες τάσεις. Αντίθετα αν η φόρτωση γίνει όπως φαίνεται στο σχήμα έστω και αν όλα τα κύττη δεν είναι γεμάτα μέχρι την οροφή τους, οι καταπονήσεις θα είναι πολύ μικρότερες. Ανεξάρτητα από το ποια θα

είναι η κατάσταση στο τέλος της φορτώσεως, υπάρχει σοβαρό ενδεχόμενο να αναπτυχθούν επικίνδυνες τάσεις και κατά τη διάρκειά της αν για παράδειγμα από βιασύνη για τον απόπλου του πλοίου ή από επιπολαιότητα δεν ακολουθηθεί η σωστή σειρά φορτώσεως. Ως σωστή σειρά φορτώσεως ορίζουμε εδώ εκείνη που σε καμία χρονική στιγμή δεν θα έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργηθούν στην σιδηρά κατασκευή του πλοίου τάσεις καταπονήσεως μεγαλύτερες από τις επιτρεπόμενες. Τα σχέδια φορτώσεως των πλοίων παρέχουν σχετικές κατευθυντήριες οδηγίες. Οι χειριστές οφείλουν να είναι ευαισθητοποιημένοι και προετοιμασμένοι κατάλληλα, (π.χ. με προμελέτες φορτώσεως που θα κάνουν χειροκίνητα ή με την βοήθεια των ειδικών υπολογιστών που υπάρχουν στα σημερινά πλοία), προκειμένου να είναι εκ των προτέρων γνωστές οι καταπονήσεις που θα δημιουργηθούν κατά την διάρκεια των διαφόρων φάσεων της προοδευτικής πληρώσεως των κυτών, με την σειρά φορτώσεως της οποίας η καταλληλότητα εξετάζεται. Αν σε κάποια φάση της φορτώσεως από τους υπολογισμούς προκύπτουν μη παραδεκτές μεγάλες τάσεις καταπονήσεως, το σχέδιο φορτώσεως πρέπει να αλλάξει. Για μεγαλύτερη ασφάλεια σε υπερσύγχρονα πλοία αυτού του τύπου υπάρχουν τοποθετημένοι σε διάφορα σημεία ειδικοί αισθητήρες (strain gages), που σημαίνουν συναγερμό στην γέφυρα όταν οι τάσεις υπερβούν το ανώτατο επιτρεπόμενο όριο.

## **5.6 Έλεγχος τάσεων και μείωση τους**

Σε ό,τι αφορά στις τάσεις στο λιμάνι η μετακίνηση φορτίου από απομακρυσμένες από το μέσο του πλοίου δεξαμενές προς άλλες που βρίσκονται πιο κοντά στο μέσον του, θα επιφέρει ελάττωση της ροπής και επομένως και της τάσεως καταπονήσεως. Σε ό,τι όμως αφορά στις τάσεις στην θάλασσα τα πράγματα είναι πιο πολύπλοκα. Αν η μέγιστη συνολική τάση στη θάλασσα (που επιδιώκουμε να μειωθεί) εμφανίζεται σε καταπόνηση ή hogging, τότε η μετακίνηση φορτίου από τα άκρα του πλοίου προς το μέσο αποτελεί την ενδεδειγμένη ενέργεια. Αν συμβαίνει το αντίθετο, δηλαδή η μέγιστη συνολική τάση στη θάλασσα (που επιδιώκουμε να μειωθεί) εμφανίζεται σε καταπόνηση Sagging, τότε η ενδεδειγμένη ενέργεια είναι ακριβώς η αντίθετη: δηλαδή φορτίο πρέπει να μετακινηθεί από το μέσο προς τα άκρα του πλοίου. Σε κάθε τέτοια προσέγγιση, οι χειριστές των πλοίων θα πρέπει να παρακολουθούν ταυτόχρονα τις μεταβολές στο μέγεθος της ελεύθερης επιφάνειας και των βυθισμάτων που θα επιφέρουν οι μετακινήσεις που προαναφέρθηκαν. Στα σύγχρονα πλοία οι υπολογισμοί ταυτόχρονα όλων αυτών των παραμέτρων μπορούν να γίνουν εύκολα με τους διατιθέμενους υπολογιστές και το σχετικό λογισμικό.

## **5.7 Αξιοπιστία ναυπηγικών κατασκευών**

Η θεωρία αξιοπιστίας αποβλέπει στην ορθολογική διαπραγμάτευση των αβεβαιοτήτων που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά το σχεδιασμό των μεταλλικών κατασκευών και κατά τον υπολογισμό της ασφάλειάς τους. Το γνωστικό αντικείμενο της περιοχής αυτής

έχει εξελιχθεί ραγδαία τα τελευταία χρόνια, όπως προκύπτει από τον αριθμό των βιβλίων και δημοσιεύσεων που κυκλοφορούν διεθνώς, οι πρακτικές εφαρμογές περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων και τη σύνταξη κανονισμών σχεδιασμού και ανέγερσης κατασκευών. Η εφαρμογή της θεωρίας της αξιοπιστίας κατασκευών στο πεδίο της ναυπηγικής στόχο έχει : 1) Την επίτευξη οικονομίας κόστους – βάρους για κάποιο προκαθορισμένο αποδεκτό βαθμό ασφάλειας της κατασκευής για όλη την κατασκευή 2) Την εξασφάλιση ενιαίου επιπέδου αξιοπιστίας Η σωστή χρήση της προϋποθέτει την σε βάθος κατανόηση των διαφόρων φυσικών προβλημάτων και δεν μπορεί να γίνει κατά μηχανιστικό τρόπο. Η αβεβαιότητα αποτελεί χαρακτηριστικό γνώρισμα πολλών φυσικών και μη διεργασιών και ως έννοια βρίσκεται πολύ κοντά σε θεμελιώδεις αρχές της επιστημονικής σκέψης και διαδικασίας. Στην περίπτωση των ναυπηγικών κατασκευών μπορούμε γενικά να κατατάξουμε την αβεβαιότητα σε αυτή που αφορά :

- 1) Οι φορτίσεις που ασκούνται στην κατασκευή γενικά
- 2) Τις μηχανικές ιδιότητες της κατασκευής.

## **5.8 Ατυχήματα από κοπώσεις.**

### **Eurobulker x**

Το πλοίο ναυπηγήθηκε το 1974 στα Ισπανικά ναυπηγεία Astilleros Espanoles στην Σεβίλλη. Διέθετε κινητήρα Sulzer 11.000 ίππων. Η ολική του χωρητικότητα ήταν 19.996 κόρων. Είχε ικανότητα μεταφοράς 35.264 κόρων και το ολικό του μήκος ήταν 200 μέτρα περίπου. Το πλοίο ανήκε στον Έλληνα εφοπλιστή Σταύρο Ηλία. Ήταν αγορασμένο από την πλοιοκτήτρια εταιρεία Medway στην οποία ανήκε από το 1994 έως το 1998. Όταν το πλοίο ανήκε σε αυτήν την εταιρεία ονομαζόταν Matumba. Την ίδια ονομασία την είχε όταν ανήκε στον εφοπλιστή Μούσκα από το 1992 έως το 1994. Το 1998 ο τελευταίος ιδιοκτήτης άλλαξε την ονομασία σε Eurobulker X. Το πλήρωμα ήταν αλλοδαπό με εξαίρεση τον Έλληνα υποπλοίαρχο Νικόλαο Πανταζή. Τον Σεπτέμβριο του 2002 ενώ ήταν αγκυροβολημένο στο Λευκαντί Ευβοίας και φόρτωνε τσιμέντο για παράδοση στην Αλεξάνδρεια της Αιγύπτου, άρχισαν να πνέουν άνεμοι έντασης 8 με 9 της κλίμακας μποφόρ. Το πλοίο χτυπήθηκε από έντονο κυματισμό και κόπηκε στα δύο. Τόνοι από υγρά καύσιμα, μαζούτ, και τσιμέντου χύθηκαν στις γύρω περιοχές του Νότιου Ευβοϊκού. Τα καύσιμα και το μαζούτ καθαρίστηκαν από τις παραλίες με την άμεση κινητοποίηση του YEN αλλά και της Λιμεναρχειακής Αρχής Χαλκίδας. Το ναυάγιο όμως ήταν το κύριο θέμα των δελτίων ειδήσεων το μαζούτ που χύθηκε προκάλεσε μεγάλο πρόβλημα στην θαλάσσια πανίδα και χλωρίδα του κόλπου. Η υπόθεση βρίσκεται ακόμα σε εξέλιξη στα μεγάλα δικαστήρια της Ελλάδος τα οποία είναι αρμόδια για την διαλεύκανση της υπόθεσης. Σήμερα το ναυάγιο είναι

χώρος συγκέντρωσης της θαλάσσιας πανίδας γι' αυτό υπάρχει έντονη αλιευτική δράση στην περιοχή του ναυαγίου.



## **Συμπεράσματα**

Συμπέρασμα ύστερα από αυτήν την ενδελεχή μου έρευνα πάνω στις κοπώσεις πλοίου λόγω της πτυχιακής μου είναι ότι πολλά προβλήματα μπορούν να δημιουργηθούν στην μεταλλική κατασκευή του πλοίου που οφείλονται στις κοπώσεις. Πρέπει διαρκώς μέσω τακτικών επιθεωρήσεων να γίνεται επιθεώρηση στην κατασκευή του πλοίου για τυχόν στρεβλώσεις και οτιδήποτε αστοχίες οφείλονται λόγω της υπερβολικής έκθεσης του πλοίου σε κοπώσεις. Επίσης κατά την φόρτωση αλλά και την εκφόρτωση θα πρέπει πάντα να μεριμνούμε ώστε στο πλοίο μας να μην υπάρχουν έντονα φαινόμενα κοπώσεων μέσω της σωστής κατανομής βαρών. Τα νέα προγράμματα τύπου ANKO κ.α. μας βοηθούν να αντιληφθούμε χωρίς εμφανή δυσκολία την άμεση εμφάνιση στρεβλώσεων και κοπώσεων στο πλοίο καθιστώντας έτσι άμεσο και εύκολο τον τρόπο μείωσης αυτών. Τέλος όταν το πλοίο είναι συνέχεια με αυξημένο αριθμό κοπώσεων αυτό μπορεί να επιφέρει από στρεβλώσεις νομέων και διάφορων μετάλλων έως ολική απώλεια πλοίου.

## **Βιβλιογραφία**

- Κερμανίδης Θ. Αντοχή Υλικών, εκδόσεις πανεπιστημίου Πατρών τόμος 1 Πάτρα
- Κερμανίδης Θ. Αντοχή Υλικών, εκδόσεις πανεπιστημίου Πατρών τόμος 2 Πάτρα

- Ultimate strength of ship hulls under combined vertical horizontal bending and shearing forces by J K Paik A K Thayamballi S S Che.
- Παπανικολάου Α. Μελέτη πλοίου τόμος Α 1989 Αθήνα
- Βιβλίο Ευστάθεια Κοπώσεις Πλοίου Ιωάννης Εμ. Κολλινιάτης Β έκδοση 2016
- Βιβλίο Η Μεταλική Κατασκευή Πλοίου Πέτρος Α Καρύδης Β έκδοση 2017
- Βιβλίο Ναυτική Τέχνη Ευγενίδειο Ίδρυμα 2018
- Ναυπηγεία Ιωάννης Εμ. Κολλινιάτης
- Στοιχεία Ναυπηγείας Ν. Ζωγραφάκης
- Πτυχιακή: Έρευνα και μελέτη προβλημάτων και ζημιών που ανακύπτουν από τις κοπώσεις πλοίων του Σπυρίδωνα Διβριώτη
- Πτυχιακή: Έλεγχος δοκιμής ακεραιότητας και βελτιστοποίηση των νομών του πλοίου βάση κανονισμών νηογνώμονα του Χορταγιά Κωνσταντίνου
- Πτυχιακή: Ναυπηγεία, κατασκευαστικές αντισταθμίσεις για την μείωση των κοπώσεων στα πλοία της Μαρίας Καΐση