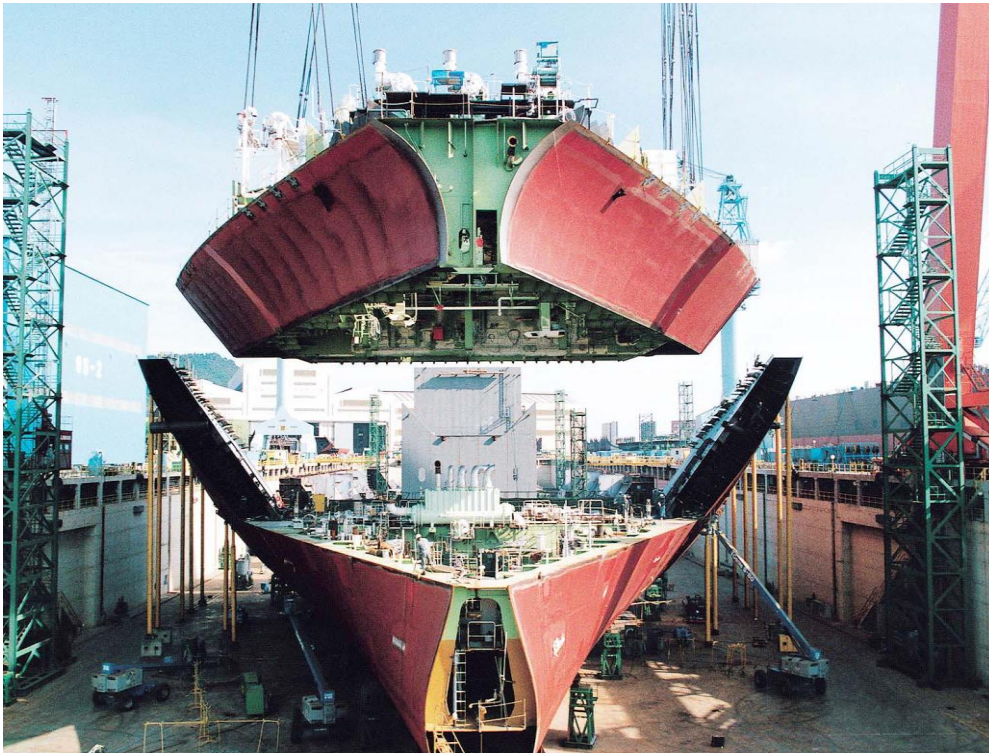


~ΝΑΥΠΗΓΙΑ,ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΑΝΣΤΙΣΤΑΘΜΙΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΙΩΣΗ ΚΟΠΩΣΕΩΝ ΣΤΑ ΠΛΟΙΑ~

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ  
ΝΑΥΤΙΚΟΥ  
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΠΛΟΙΑΡΧΩΝ**



**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΘΕΜΑ :**

**~ΝΑΥΠΗΓΙΑ,ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ  
ΑΝΣΤΙΣΤΑΘΜΙΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΕΙΩΣΗ ΚΟΠΩΣΕΩΝ  
ΣΤΑ ΠΛΟΙΑ~**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΡΙΑ : ΚΑΪΣΗ ΜΑΡΙΑ**

**Α.Γ.Μ: 3608**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΙΩΑΝΝΙΔΗΣ ΑΡΓΥΡΙΟΣ**

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ**

**Α.Ε.Ν ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΙΩΑΝΝΙΔΗΣ ΑΡΓΥΡΙΟΣ**

**ΘΕΜΑ : ΝΑΥΠΗΓΙΑ, ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΕΙΣ  
ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΙΩΣΗ ΚΟΠΩΣΕΩΝ ΣΤΑ ΠΛΟΙΑ**

**ΤΗΣ ΣΠΟΥΔΑΣΤΡΙΑΣ : ΚΑΪΣΗ ΜΑΡΙΑΣ**

**Α.Γ.Μ : 3608**

**Ημερομηνία ανάληψης της εργασίας: 09/05/2017**

**Ημερομηνία παράδοσης της εργασίας:**

<i>A/A</i>	<i>Όνοματεπώνυμο</i>	<i>Ειδικότητα</i>	<i>Αξιολόγηση</i>	<i>Υπογραφή</i>
<i>1</i>				
<i>2</i>				
<i>3</i>				
<b>ΤΕΛΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ</b>				

**Ο ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ ΣΧΟΛΗΣ : ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΤΣΟΥΛΗΣ**

## **ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**

<b><u>ΕΥΧΑΡΙΣΤΗΡΙΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ</u></b> .....	5
<b><u>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</u></b> .....	6
<b><u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ ΕΩΣ ΤΟΝ 7<sup>Ο</sup> ΑΙΩΝΑ</u></b>	
<b><u>Π.Χ.</u></b> .....	7
<b><u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΝΑΥΠΗΓΙΚΗΣ ΤΕΧΝΗΣ</u></b>	
<b><u>ΣΤΟΥΣ ΒΥΖΑΝΤΙΝΟΥΣ ΧΡΟΝΟΥΣ</u></b>	
<b><u>2.1 ΠΟΛΕΜΙΚΑ ΠΛΟΙΑ</u></b> .....	9
<b><u>2.2 ΕΜΠΟΡΙΚΑ ΠΛΟΙΑ</u></b> .....	11
<b><u>2.3 ΙΣΤΙΟΦΟΡΑ ΠΛΟΙΑ ΜΕΤΑ ΤΟΝ 15<sup>Ο</sup> ΑΙΩΝΑ</u></b> .....	12
<b><u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΜΗΧΑΝΟΚΙΝΗΤΑ ΠΛΟΙΑ</u></b>	
<b><u>3.1 ΑΤΜΟΠΛΟΙΑ</u></b> .....	13
<b><u>3.2 ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΙΝΗΤΑ</u></b> .....	15
<b><u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΚΟΠΩΣΕΙΣ ΠΛΟΙΟΥ</u></b> .....	18
<b><u>4.1 ΑΝΤΟΧΗ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ ΑΣΤΟΧΙΑ</u></b>	
<b><u>ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ</u></b> .....	20
<b><u>4.2 Η ΑΝΤΟΧΗ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ ΩΣ ΡΑΒΔΟΥ</u></b> .....	21
<b><u>4.3 ΚΟΠΩΣΕΙΣ ΣΕ ΠΛΟΙΑ CAPER</u></b> .....	23

**4.4 ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΑΣΕΩΝ ΚΑΙ Η ΜΕΙΩΣΗ ΤΟΥΣ.....25**

**4.5 ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΚΑΙ ΚΟΠΩΣΗ.....26**

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΑΝΤΟΧΗ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ ΓΕΝΙΚΑ**

**5.1 ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΑΝΤΟΧΗ.....31**

**5.2 ΤΟΠΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΚΑΙ ΚΟΠΩΣΕΙΣ ΑΠΟ  
ΣΦΥΡΟΚΡΟΥΣΕΙΣ.....32**

**5.3 ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΚΟΠΩΣΕΩΝ.....34**

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΝΑΥΠΗΓΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ...36**

**6.1 ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ.....37**

**6.2 ΕΙΔΗ ΠΥΘΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΔΙΠΥΘΜΕΝΑ.....41**

**6.3 ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΠΕΡΙΒΛΗΜΑ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗ.....45**

**6.4 Η ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΩΝ.....51**

**ΒΙΒΛΙΟΓΡΦΙΑ - ΠΗΓΕΣ.....55**

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΗΡΙΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, τον πλοίαρχο Αργύριο Ιωαννίδη για τη βοήθεια και την καθοδήγηση που μου προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της πτυχιακής μου εργασίας.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον διευθυντή των μηχανικών της Ακαδημίας Εμπορικού Ναυτικού Μακεδονίας, τον ναυπηγό Γεώργιο Γκοτζαμάνη για την παροχή βιβλιογραφίας, ώστε να υλοποιήσω την πτυχιακή μου εργασία.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι άνθρωποι από τις αρχές της ύπαρξής τους ασχολήθηκαν με πολλές και διάφορες τέχνες για να μπορέσουν να επιβιώσουν. Δύο από αυτές, οι οποίες είναι στενά και αναπόφευκτα συνδεδεμένες είναι η ναυτιλία και η ναυπηγία. Η εξέλιξη του ανθρώπινου είδους οδήγησε κατά συνέπεια και στην εξέλιξη αυτών των δύο τεχνών. Η ανάγκη για αύξηση των οικονομικών πόρων, οδήγησε τους ανθρώπους να εξαπλωθούν σταδιακά σε όλο τον κόσμο κάνοντας εμπορικές συναλλαγές. Αυτό προϋπέθετε και την κατασκευή πλοίων ικανών να πραγματοποιήσουν αυτά τα ταξίδια. Έτσι, η ναυπηγική τέχνη δεν έμεινε πίσω αλλά έκανε αλματώδεις κινήσεις παράλληλα με την ναυτιλία. Η ναυτιλία και η ναυπηγία είναι συνδεδεμένες στενά με την ιστορία και τον τρόπο ζωής στη χώρα μας. Από την αρχαιότητα, οι άνθρωποι κατασκεύαζαν πλοία τα οποία ήταν είτε κορμοί δέντρων ή σχεδίες. Με την ανάπτυξη του εμπορίου όμως εξελίχθηκε και η ναυσιπλοΐα. Τα πρώτα πλοία ήταν κατασκευασμένα από ξύλο, τα οποία αρχικά κινούνταν με κουπιά και μεταγενέστερα με ιστία. Σκοπός αυτών των πλοίων ήταν η μεταφορά φορτίων με μικρό όγκο. Αργότερα, οι άνθρωποι ξεκίνησαν τη χρήση ιστίων για την εκμετάλλευση της προωθητικής δύναμης του ανέμου. Οι αρχαίοι Έλληνες με τις γνώσεις και την εμπειρία τους είχαν ναυπηγήσει διάφορους τύπους πλοίων.

Κατά τον 18<sup>ο</sup> αιώνα, κατασκευάστηκαν τα πρώτα σιδερένια ατμόπλοια και στη συνέχεια άρχισε η ναυπήγηση χαλύβδινων πλοίων. Από τις αρχές του 1900, ξεκίνησε η χρήση των μηχανών εσωτερικής καύσεως ως σύστημα πρόωσης.

Η ραγδαία ανάπτυξη της ναυπήγησης την οδήγησε στο να αποτελεί συνδυασμό επιστήμης και τέχνης. Η πρόοδος και ανάπτυξη των επιστημών, 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, της δομής τους και της αντοχής τους. Όλα αυτά είχαν ως αποτέλεσμα την εξέλιξη της τέχνης της ναυπηγικής, τη ναυπήγηση πλοίων με πολύ μεγάλο εκτόπισμα και μέγεθος, την αύξηση της ταχύτητας των πλοίων και το επίπεδο ασφαλείας του πλοίου.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ ΕΩΣ ΤΟΝ 7<sup>Ο</sup>

### ΑΙΩΝΑ Π.Χ.

Σύμφωνα με ιστορικούς ερευνητές, γύρω στο 9000 π.Χ. εμφανίστηκαν τα πρώτα πλωτά σκάφη. Όπως πολλοί τομείς εκείνη την εποχή, έτσι και η εξέλιξη της ναυπηγίας καθυστέρησε αρκετά χρόνια. Η πρώτη ναυπηγική κατασκευή ήταν διαμορφωμένοι κορμοί δέντρων και σχεδίες που επέπλεαν στο νερό. Ο άνθρωπος κατάφερε να δημιουργήσει πρόωση σε αυτά με την κίνηση των ποδιών του ή των χεριών του μέσα στο νερό, μετατρέποντάς τα σε σκάφη. Για αρκετούς αιώνες, οι άνθρωποι έκαναν χρήση κωπήλατων μονόξυλων, δηλαδή μικρά πλοία που ήταν κατασκευασμένα από μεταφέρουν εμπορεύματα.



*Εικόνα 1: Σχεδία στους προϊστορικούς χρόνους*

Με το πέρασμα των χρόνων, τα πλοίαρια εξελίχθηκαν τόσο ως προς τη μορφή τους όσο και ως προς το σκοπό ναυπήγησής τους. Η βελτίωσή τους διαπιστώνεται στο μέγεθος, δηλαδή στη δυνατότητα μεταφοράς εμπορευμάτων και στην ταχύτητα που πραγματοποιείται με αύξηση των αριθμών των κουπιών. Τα διαμορφωμένα πλέον πλοία είχαν ως βασικό μέσο πρόωσης τα κουπιά, τα οποία χειρίζονταν 20 κωπηλάτες. Παράλληλα η εφεύρεση των πανιών για τη χρήση της δύναμης του αέρα για κίνηση είχε ως αποτέλεσμα να κατασκευαστούν τα πρώτα μεγάλα πλοία. Όμως, ο τρόπος με τον οποίο ναυπηγούνταν τα πλοία σε συνδυασμό με τη χρήση ξύλου δεν επέτρεπαν

την αύξηση του μήκους των πλοίων, με αποτέλεσμα την υιοθέτηση των πλοίων με πολλές σειρές κωπηλατών. Τα ελληνικά πλοία της εποχής ήταν γρήγορα, κομψά και δεν είχαν κατάστρωμα. Το πλήρωμα ήταν πολυάριθμο με τα τότε δεδομένα. Το πλήρωμα το αποτελούσαν 50 έως 120 άντρες, οι οποίοι ήταν συγχρόνως και κωπηλάτες. Το γνωστό όνομα αυτών των πλοίων ήταν «μονήρεις», δηλαδή πλοία που είχαν μία σειρά κουπιών και το μήκος τους ήταν 15 έως 30 μέτρα. Μετά από μερικά χρόνια ναυπηγήθηκαν «διήρεις» και «τριήρεις». Παράλληλα, τα πλοία κατηγοριοποιήθηκαν σε εμπορικά και πολεμικά πλοία. Τα πολεμικά πλοία ήταν ελαφρά, χαμηλά και στενά σκάφη με στόχο να είναι περισσότερο ευέλικτα. Τα περισσότερα είχαν έμβολο στην πλώρη και υπερυψωμένο κατάστρωμα. Από την άλλη μεριά, τα εμπορικά πλοία ήταν ψηλότερα, φαρδύτερα και βαθύτερα με στόχο να κουβαλούν μεγαλύτερο όγκο εμπορευμάτων. Το χαρακτηριστικό τους όνομα ήταν «στρογγυλά» και είχαν λιγότερους κωπηλάτες και μεγαλύτερη επιφάνεια ιστίων. Τον 7<sup>ο</sup> αιώνα π.Χ., τα πλοία απέκτησαν μεγαλύτερη ταχύτητα λόγω της δεύτερης σειράς κωπηλατών που προστέθηκαν σε αυτά. Τον 1<sup>ο</sup> αιώνα π.Χ. οι Έλληνες βελτίωσαν ακόμη περισσότερο τα πλοία τους, βρίσκοντας τη χρυσή τομή μεταξύ μεγέθους, ευελιξίας, ταχύτητας και όγκου καθώς πρόσθεσαν και τρίτη σειρά κωπηλατών, και δημιούργησαν τις γνωστές «τριήρεις». Οι «τριήρεις» είχαν μήκος περίπου 36 μέτρα, πλάτος 6 μέτρα, είχαν τρεις σειρές από κουπιά και τετράγωνο πανί για τις μεγάλες αποστάσεις, ενώ είχαν και μεταλλικό έμβολο, το οποίο βοηθούσε να εμβολίζονται τα εχθρικά πλοία σε ναυμαχίες. Είχαν μικρό βύθισμα περίπου 1 μέτρο έτσι ώστε να μπορούν να μεταφέρονται με ευκολία στη ξηρά. Οι «τριήρεις» ήταν τα κύρια πλοία που χρησιμοποιήθηκαν στη ναυμαχία της Σαλαμίνας και μεταγενέστερα στους κλασσικούς χρόνους, διότι ήταν πλοία που είχαν δυνατότητες και σαν εμπορικά πλοία αλλά και σαν πολεμικά πλοία.



Εικόνα 2: Τριήρης των αρχαίων ελληνικών χρόνων



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΝΑΥΠΗΓΙΚΗΣ ΤΕΧΝΗΣ ΣΤΟΥΣ ΒΥΖΑΝΤΙΝΟΥΣ ΧΡΟΝΟΥΣ.**

### **2.1 ΠΟΛΕΜΙΚΑ ΠΛΟΙΑ**

Το πλοίο το οποίο αποτέλεσε την μονάδα μάχης του Βυζαντινού Ναυτικού ήταν ο Δρόμων. Ο Δρόμων, ήταν διάδοχος της ρωμαϊκής Λιβυρνίδος, η οποία ήταν τύπος ελαφρού και ταχέως πολεμικού πλοίου. Υιοθετήθηκε ευρέως από το ρωμαϊκό ναυτικό και μετά τη ναυμαχία του Ακτίου ξεκίνησε να αντικαθιστά τα βαρύτερα σκάφη (τετρήρεις, πενήρεις κ.α.). Ο Δρόμων είχε δύο σειρές 50 κουπιών σε κάθε πλευρά του και σε κάθε κουπί υπήρχαν από δύο κωπηλάτες, συνολικά είχε περίπου 200 κωπηλάτες πλήρωμα. Επίσης, είχε ιστίο στον κύριο ιστό του, μήκος 55 μέτρα και πλάτος 6 μέτρα. Στο κατάστρωμά του επέβαιναν 100 έως 300 άντρες που διακρίνονταν σε κωπηλάτες και πολεμιστές. Το κατάστρωμά του ήταν πάνω από τους κωπηλάτες, με σκοπό να προστατεύονται από τα εχθρικά βλήματα. Στη μάχη, το πλοίο μπορούσε να φθάσει ταχύτητα περίπου 7 κόμβων. Η πρώτη πολεμική του εμφάνιση αναφέρεται επί Ιουστινιανού στην Β΄ ναυτική επιχείρηση κατά των Βανδάλων της Αφρικής το 533 μ.Χ. Ο στόλος αποτελούταν από 500 οπλιταγωγά και ιππαγωγά πλοία με συνολικό πλήρωμα 20.000 και από 92 δρόμωνες.

Κατά τον 10<sup>ο</sup> αιώνα μ.Χ., οι Δρόμωνες κατηγοριοποιήθηκαν σε τρεις τύπους. Ο πρώτος τύπος ήταν ο μικρός (ελάσσων), ο δεύτερος τύπος ήταν ο μέσος και ο τρίτος τύπος ήταν ο μεγάλος (μείζων). Ο μικρός Δρόμων είχε από 25 κουπιά σε κάθε πλευρά. Ήταν μικρότερος σε μέγεθος, ελαφρύτερος, ανέπτυσσε μεγάλη ταχύτητα κι χρησιμοποιούνταν σε αποστολές και καταδιώξεις. Ο μέσος Δρόμων είχε από 50 κουπιά σε κάθε πλευρά σε δύο εναλλασσόμενες σειρές, δηλαδή 25 ανά σειρά. Οι κωπηλάτες της άνω σειράς, ήταν περισσότερο ικανοί για μάχη κατά τη διάρκεια της μάχης. Τέλος, ο μεγάλος Δρόμων είχε 70 πολεμιστές, 230 κωπηλάτες σε δύο εναλλασσόμενες σειρές ενώ είχε 2 κωπηλάτες σε κάθε κουπί. Το μέγεθος του μεγάλου Δρόμωνα υπολογίζεται περίπου από 35 μέτρα και έφθανε έως 50 μέτρα. Η ταχύτητα του πλοίου με κωπηλασία υπολογίζεται στα 6-7 ναυτικά μίλια την ώρα.

Επίσης, γινόταν και χρήση των ιστίων για την αύξηση της ταχύτητας. Υπήρχε ένα μεγάλο τετράγωνο ιστίο, τριγωνικά ιστία και μικρότερα βοηθητικά ιστία. Στο μεγάλο Δρόμωνα, υπήρχε θωράκιο στο μεσαίο ιστίο, κατασκευασμένο από ξύλο, το οποίο χρησιμοποιούταν ως παρατηρητήριο αλλά και ως μέσο εκτόξευσης διάφορων όπλων. Επίσης, τα πλοία αυτά ήταν εξοπλισμένα με διάφορα όπλα που εκσφενδόνιζαν πυρά σε μεγάλη απόσταση, όπως καταπέλτες, γερανούς και τοξοβαλίστρες.

Όλα τα πληρώματα στα βυζαντινά πλοία ήταν ελεύθεροι πολίτες και επέλεγαν να ασχοληθούν με τη θάλασσα. Σε αντίθεση με τις γαλέρες της Δύσης όπου αποτελούνταν από σκλάβους ή κατάδικους. Κατά τη διάρκεια της προετοιμασίας για ναυμαχία, οι στρατιώτες οπλίζονταν με κλιβάνια (θώρακες από μεταλλικό δίχτυ), σκουτάρια (ασπίδες), κασπίδες (περικεφαλαίες), κοντάρια, μένauλα (ακόντια), λογχοδρέπανα κ.α. Μερικοί στρατιώτες παρατάσσονται προς την πλώρη και άλλοι στρατιώτες κατά μήκος της μαχόμενης πλευράς του άνω καταστρώματος. Γενικά, το σχέδιο του Δρόμωνος για τη διεξαγωγή της ναυμαχίας δεν παρουσιάζει ουσιαστικές διαφορές από την τακτική της τριήρους στην αρχαιότητα. Ο πιο συχνός τρόπος σχηματισμού ήταν γραμμή μετώπου σε ευθεία παράταξη. Τα πλοία βρισκόταν σε κοντινή απόσταση και αυτό ανάλογα με το βεληνεκές των όπλων.

Εν κατακλείδι, η ναυπηγική τέχνη και γνώση των βυζαντινών τους βοήθησε να κατασκευάσουν πλοία ικανά και πλήρως εξοπλισμένα, με αποτέλεσμα να βγαίνουν νικητές στις περισσότερες ναυμαχίες.



Εικόνα 3: Ο Δρόμων, μονάδα μάχης του Βυζαντινού Πολεμικού

## **2.2 ΕΜΠΟΡΙΚΑ ΠΛΟΙΑ**

Τα εμπορικά πλοία κατά τους Βυζαντινούς χρόνους είχαν σχετικά μικρό μέγεθος και στρογγυλό κύτος. Έφεραν δύο με τρία κατάρτια με τρίγωνο ιστίο. Η πρόωσή τους οφειλόταν στη χρήση αιολικής ή ανθρώπινης δύναμης (κωπηλασία) ή και στα δύο. Παράλληλα, γινόταν χρήση δύο πηδαλίων, τα οποία βρισκόταν στην πρύμνη. Κατά κύριο λόγο, τα πιο πολλά από αυτά ήταν ιστιοφόρα και όχι κωπήλατα. Αυτό οφειλόταν στο ότι η χρήση του ανθρώπινου παράγοντα ήταν οικονομικά ασύμφορη, καθώς επίσης ότι η κατασκευή τους απαιτούσε επιπλέον εργασίες και υλικά.

Με την ανάπτυξη του εμπορίου από τον 12<sup>ο</sup> αιώνα και ύστερα, οι εμπορικές ανάγκες του Βυζαντίου ήταν μεγαλύτερες από τις πολεμικές. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα, τα εμπορικά πλοία να είναι πιο πολλά από τα πολεμικά αλλά ακόμα και τα τελευταία να χρησιμοποιούνται ως μεταφορικά (τα συγκεκριμένα ονομάζονταν βοηθητικά σκάφη). Επιπλέον, χρησιμοποιούσαν αρκετά ξένους τύπους πλοίων, όπως το λίνγον και η γριπάρεα.



Εικόνα 4: Εμπορικό πλοίο των Βυζαντινών χρόνων

## **2.3 ΙΣΤΙΟΦΟΡΑ ΠΛΟΙΑ ΜΕΤΑ ΤΟΝ 15<sup>Ο</sup> ΑΙΩΝΑ**

Ως Ιστιοφόρο χαρακτηρίζεται οποιοδήποτε σκάφος ή πλωτό ναυπήγημα που αποκλειστικό μέσο πρόωσής του έχει την αιολική ενέργεια (τον άνεμο) επί των ιστίων του (πανιά) τα οποία και φέρει, εξ ου και η ονομασία του.

Η εξέλιξη του ιστιοφόρου δεν είχε ιδιαίτερη ανάπτυξη από την αρχαιότητα μέχρι το 15<sup>ο</sup> αιώνα μ.Χ. Τα πλοία αυτά, έδειχναν μεγαλύτερη αδυναμία στη χρήση των ιστίων σε αντίθεση με την αυτή των κουπιών, αφενός για την μερική ανάπαυση των πληρωμάτων και αφετέρου με τα ιστία μπορούσαν να αναπτύξουν μεγαλύτερη ταχύτητα λόγω της εκμετάλλευσης του ανέμου από την πρύμνη.

Εν καιρώ, μια από τις λίγες αλλαγές που έγιναν ήταν ότι το κύριο τετράγωνο ιστίο που έδινε κίνηση στο πλοίο, μετατράπηκε σε τραπεζοειδές με βοηθητικά τρίγωνα ιστία. Τέλη του 14<sup>ου</sup> με αρχές του 15<sup>ου</sup> αιώνα, έκαναν την πρώτη τους εμφάνιση τα λεγόμενα πανιά λατίνια (τρίγωνα πανιά), με τα οποία οι γαλέρες (κωπήλατα πλοία που αντιστοιχούν σε μια μικρότερη έκδοση του Δρόμωνα), πέτυχαν τη μέγιστη εξέλιξη. Συγχρόνως, εμφανίσθηκαν τα αργοκίνητα ιστιοφόρα σκάφη όπως το γαλιόνι (ιστιοφόρο χωρίς κουπιά, με μεγάλη χωρητικότητα και βαρύ οπλισμό. Αποτελεί εξέλιξη της γαλέρας.), οι καράκες (ιστιοφόρο πλοίο χωρίς κουπιά. Πολεμικό ή φορτηγό με μεγάλες υποδομές πλώρης και πρύμνης το οποίο έφερε τρία κατάρτια) και λίγο αργότερα οι караβέλες (παλιό ιστιοφόρο πλοίο, περισσότερο ακτοπλοϊκό και στη συνέχεια εξερευνητικό). Μικρά μεν, πλην όμως ευέλικτα, τα οποία και χρησιμοποίησαν οι πρώτοι εξερευνητές όπως ο Χριστόφορος Κολόμβος, ο Βάσκο ντα Γκάμα, κ.ά. Η επικράτηση των ιστιοφόρων επί των κωπήλατων σκαφών ολοκληρώθηκε με την ανακάλυψη της Αμερικής, όταν οι νέοι θαλάσσιοι δρόμοι που προέκυψαν, εκτός της Μεσογείου, για τα κωπήλατα σκάφη ήταν πλέον μακρινοί, δύσκολοι έως αδύνατοι και άσκοποι. Στην νίκη αυτή των ιστιοφόρων, συνέβαλλαν η ιστιοπλοΐα, η ανακάλυψη της πυξίδας και η εξέλιξη της ναυπηγίας.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΜΗΧΑΝΟΚΙΝΗΤΑ ΠΛΟΙΑ**

### **3.1 ΑΤΜΟΠΛΟΙΑ**

Ατμόπλοιο Α/Π (Steam ship S/S ή Steamer) ονομάζεται το πλοίο που χρησιμοποιεί, για την πρόωσή του, ατμομηχανή, δηλαδή τη μηχανή που εκμεταλλεύεται την ενέργεια και την πίεση του ατμού προκειμένου να παράγει κίνηση. Τα ατμόπλοια ήταν η εξέλιξη των πλοίων που κινούνταν με ιστία. Τα προηγούμενα είδη πλοίων είχαν ως υλικό κατασκευής τους το ξύλο. Τα μηχανοκίνητα κατασκευάστηκαν από χάλυβα, ο οποίος αποτέλεσε το μελλοντικό υλικό κατασκευής πλοίων.

Το έτος 1807 ναυπηγήθηκε το Κλερμόντ, το πρώτο σκάφος το οποίο κινούνταν με ατμό και ήταν τροχήλατο. Κατασκευαστής του ήταν ο Ροβέρτος Φούλτον. Από το 1850 ξεκίνησε η ευρύτερη αντικατάσταση του εγκάρσιου άξονα των τροχήλατων με τον διαμήκη ελικοφόρο άξονα. Από ναυπηγικής άποψης, η εμφάνιση των ατμόπλοιων οδήγησε στο διαχωρισμό ναυπήγησης φορτηγών πλοίων και επιβατηγών πλοίων που αποτέλεσαν από τότε τους δύο βασικούς κλάδους στη ναυτιλία. Κατά τη διάρκεια του 20<sup>ου</sup> αιώνα, ναυπηγήθηκαν ορισμένα από τα μεγαλύτερα και διασημότερα ατμοκίνητα επιβατηγά πλοία, που έφεραν τις πρώτες ατμοτουρμπίνες. Με την χρήση των ατμοστρόβιλων αυτών, δόθηκε η ικανότητα στα πλοία αυτά να πραγματοποιήσουν υπερωκεάνια ταξίδια. Συγκεκριμένα, τέτοια πλοία είναι ο Τιτανικός, ο Βρετανικός, Μαυριτάνια, κ.λπ. Σε ό,τι αφορά τα φορτηγά πλοία, κίνηση ματ αποτέλεσε η ναυπήγηση των πλοίων για μεταφορές ομοειδών φορτίων, που ονομάστηκαν "Λίμπερτυ". Το 1939 κατελκύστηκε για πρώτη φορά στα ναυπηγεία "J.L. Thomson and Son" του Σάντερλαντ της Αγγλίας ο ναυπηγικός τύπος πλοίου εκτοπίσματος 10.000 τόνων και ολικής χωρητικότητας 5.300 περίπου κόρων, ατμοκίνητο, με υπερυψωμένο μεσόστεγο και χαμηλά το πρόστεγο και το επίστεγο, ισχύος παλινδρομικής μηχανής 2.500 HP που του έδινε ταχύτητα, πλήρους φόρτου, 10 κόμβους, το οποίο ονομάστηκε "Dorington Court". Χαρακτηριστικό του ήταν επίσης τα δύο προραία ενιαία κύτη και ένα πρυμναίο κύτος φορτίου.

Ένας από τους κυριότερους λόγους που τα Λίμπερτν ξεχώρισαν στην παγκόσμια ναυπηγική τέχνη ήταν πως κολλούσαν τα κομμάτια λαμαρίνας με ηλεκτροκόλληση και όχι καρφωτά, όπως συνηθιζόταν μέχρι τότε. Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου ήταν ότι η μία λαμαρίνα δεν πατούσε πάνω στην άλλη για να καρφωθεί με πυρωμένα καρφιά, με αποτέλεσμα τη γρηγορότερη και οικονομικότερη κατασκευή του. Τα μοναδικά Λίμπερτν που ήταν καρφωτά ήταν τα καναδέζικα.

Στο ξεκίνημά τους, ορισμένα από αυτά παρουσίασαν ρήγματα (κρακ) στο κατάστρωμα και μερικά κόπηκαν στη μέση, με αποτέλεσμα να βυθιστούν. Για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων, τοποθετήθηκαν καρφωτές λωρίδες λαμαρίνας στο κατάστρωμα, κοντά στα καπάκια των κυτών και ένας διαμήκης πήχης, με καμπυλότητα, πρόσθετος στο εξωτερικό περίβλημα μέχρι το ύψος του καταστρώματος. Κατά τη διάρκεια του Β' Π.Π, τα πλοία τύπου Λίμπερτν ανέλαβαν όλη την ευθύνη των μεταφορών. Αν και αργοκίνητα, ήταν εκείνα που μετέφεραν εκατομμύρια τόνους πυρομαχικά, εφόδια υλικά, άρματα, τρόφιμα, πετρέλαια και κάρβουνο, ατμομηχανές, στρατιωτικά οχήματα, ζώα και ζωοτροφές, φαρμακευτικό υλικό και πάσης φύσεως ειδών μέριμνας σε όλα τα μέτωπα του πολέμου από τη Βόρεια θάλασσα μέχρι τη Μεσόγειο. Εκείνα που διέθεταν πολεμικό εξοπλισμό συνέβαλαν στον πόλεμο ενάντια των γερμανικών δυνάμεων. Με το πέρας του πολέμου, τα Λίμπερτν αφοσιώθηκαν σε περισσότερο αξιόλογες αποστολές, πραγματοποιώντας εφοδιασμό σε περιοχές που είχαν καταστραφεί ολοσχερώς. Χάρης στις δυνατότητες της κατασκευής και της μεταφορικής ικανότητάς τους, τα πλοία αυτά γίνανε παγκοσμίως γνωστά και αποτέλεσαν ορόσημο για την εξέλιξη της ναυτικής και ναυπηγικής τέχνης, καθιερώνοντας καινούριες μεθόδους για τον τρόπο ναυπηγήσεως των μεταγενέστερων πλοίων.

### **3.2 ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΙΝΗΤΑ**

Στις αρχές του 20ού αι. άρχισε να χρησιμοποιείται για την κίνηση των πλοίων η μηχανή εσωτερικής καύσης (ντιζελομηχανή). Αργότερα αντικατέστησε τις μηχανές ατμού. Η τεράστια τεχνολογική εξέλιξη του 20ού αιώνα επέτρεψε την κατασκευή πλοίων με μεγάλες διαστάσεις και ταχύτητα, εξοπλισμένων επιπλέον με σύγχρονα όργανα και μηχανήματα που κάνουν το ταξίδι ευκολότερο και ασφαλέστερο.

Όπως και παλαιότερα, έτσι και στον 20<sup>ο</sup> αιώνα, τα πλοία χωρίστηκαν με βάση το εμπόριο που μετέφεραν. Επομένως, προκύπτουν ξανά ως κατηγορίες τα φορτηγά και επιβατηγά πλοία. Με τον όρο φορτηγό πλοίο εννοούμε το πλοίο εκείνο το οποίο μεταφέρει φορτία κάθε είδους και μορφής (στερεά, υγρά, υγροποιημένα, χύμα ή τυποποιημένα). Ως επιβατηγό πλοίο θεωρούμε το πλοίο εκείνο που μεταφέρει επιβάτες με ναύλο.

Συγκεκριμένα, τα πλοία μεταφοράς αγαθών διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- Φορτηγό ξηρού φορτίου (Dry Cargoes Vessel) ή απλά Φορτηγό
- Φορτηγό υγρού φορτίου (Liquid Cargoes Vessel) ή απλά Δεξαμενόπλοιο

Τα φορτηγά πλοία μεταφέρουν γενικά στερεά φορτία, χύμα ή τυποποιημένα (σε κιβώτια, δοχεία, σάκους, παλέτες), σε αντίθεση με τα δεξαμενόπλοια που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά υγρών φορτίων ,κυρίως πετρελαίου και παραγώγων του, καθώς και χημικά σε υγρή μορφή, υγροποιημένα αέρια, λάδια, λιπαντικά, κρασί κτλ. Οι κατασκευαστικές διαφορές που εντοπίζονται μεταξύ αυτών των δύο τύπων πλοίων αφορούν κατά κύριο λόγο στους χώρους φορτίου και στον αντίστοιχο εξοπλισμό.

Τα επιβατικά πλοία έχουν την ικανότητα να μεταφέρουν ανθρώπους. Αυτό απαιτεί η διαμόρφωσή τους να είναι σε ορισμένα σημεία διαφορετική από αυτή των φορτηγών. Η καταλληλότητα έχει σχέση με ειδικές απαιτήσεις κατά την ναυπήγηση ή μετασκευή του πλοίου, στη στεγανή υποδιαίρεση αυτού, στο είδος και την επάρκεια σωστικών και πυροσβεστικών μέσων, καθώς και στην ενδιαίτηση επιβατών. Οι παραπάνω απαιτήσεις τροποποιούνται ανάλογα των περιοχών πλοών π.χ. εντός διαύλων, ή ακτοπλοϊκών, ή ωκεανοπλόων πλοίων ή ημερόπλοιων κ.λπ. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των επιβατικών πλοίων που δεν διαθέτουν τα φορτηγά είναι οι σταθερωτήρες πλοίου. Οι σταθερωτήρες πλοίου ή πηδάλια αντιδιατοίχισης ή

περισσότερο γνωστά ως πτερύγια ευστάθειας (stabilizers), ονομάζονται οι υδραυλικοί μηχανισμοί που προσφέρει η σύγχρονη τεχνολογία και ειδικότερα εκείνη των πλοίων, οι οποίοι περιορίζουν στο ελάχιστο τους κλυδωνισμούς από τον κυματισμό, διατηρώντας την ισορροπία και ευστάθεια του πλοίου. Για το λόγο αυτό, με τέτοιους μηχανισμούς είναι εφοδιασμένα τα σύγχρονα επιβατηγά αλλά και όλα τα κρουαζιερόπλοια στα οποία η έννοια "άνεση" (των επιβατών) είναι κυρίαρχη.

Συνεχίζοντας με τα φορτηγά πλοία, τα πιο σύγχρονα από αυτά έχουν ένα κύριο κατάστρωμα, υπερυψωμένο πρόστεγο και τις υπερκατασκευές, όπως και το μηχανοστάσιο, στο πίσω μέρος. Οι εξαιρέσεις αυτού του σχεδιασμού εμφανίζονται σε ορισμένα καράβια που προορίζονται για εξειδικευμένες μεταφορές φορτίων όπως πχ τα αυτοκινητάδικα , τα ζωάδικα και τα φορτηγιδοφόρα που φέρουν τις υπερκατασκευές τους και τη γέφυρα συνήθως στο πλωριό μέρος.

Όσον αφορά τα αμπάρια των φορτηγών πλοίων, έχουν μεγάλα ανοίγματα, με σκοπό να διευκολύνεται η γρήγορη φορτοεκφόρτωση και στοιβασία των φορτίων με μηχανικά μέσα. Επίσης, είναι αισθητά υπερυψωμένα από το κατάστρωμα. Ορισμένα από αυτά αν και όχι όλα, διαθέτουν δικά τους φορτοεκφορτωτικά μέσα όπως κρένια, μπίγες και γερανούς.

Στο εσωτερικό του σκάφους, ειδικότερα κάτω από το κύριο κατάστρωμα διαθέτουν δεξαμενές έρματος, οι οποίες χρησιμοποιούνται και για το ' ανέβασμα ' του κέντρου βάρους του πλοίου και έτσι τη βελτίωση της ευστάθειας του, όταν φορτώνεται πολύ βαριά φορτία με αποτέλεσμα το κέντρο βάρους του πλοίου να 'κατεβαίνει' πολύ χαμηλά.

Στη συνέχεια, θα γίνει μια περαιτέρω ανάλυση των κατηγοριών στις οποίες διακρίνονται τα φορτηγά πλοία, τόσο από άποψης μορφής και τύπου, όσο και από πλευράς λειτουργικότητας τους μέσα στον χώρο των διεθνών μεταφορών.

Παλιότερα, τα φορτηγά πλοία διαχωρίζονταν έντονα σε δύο κατηγορίες:

- Φορτηγό ελεύθερο (Tramp)
- Φορτηγό γραμμής (Liner)

Από κατασκευαστικής άποψης, το ελεύθερο φορτηγό είναι γενικά πλοίο με απλή κατασκευή, για να είναι κατάλληλο για τη μεταφορά κυρίως χύμα φορτίων και τις περισσότερες φορές δεν διαθέτει δικά του μέσα φορτοεκφόρτωσης. Από



πλευράς απασχόλησης, φορτώνει οπουδήποτε για οπουδήποτε, για αυτό το λόγο, τις περισσότερες φορές ταξιδεύει και χωρίς φορτίο και ναύλο.

Από την άλλη, το φορηγό γραμμής περνάει από πολλά λιμάνια, στα οποία φορτοεκφορτώνει και σπάνια ταξιδεύει χωρίς φορτίο ή ναύλο. Στην ουσία, απασχολείται σε συγκεκριμένα ή περίπου συγκεκριμένα ταξίδια, σαν να εκτελεί προκαθορισμένο δρομολόγιο. Επιπλέον, διαθέτει τα δικά του μέσα που είναι απαραίτητα για την διαδικασία φορτοεκφόρτωσης.

Με το πέρασμα των χρόνων, και κατά συνέπεια την αλλαγή των πλοίων, τόσο κατασκευαστικά όσο και σχετικά με τον εξοπλισμό των μέσων φορτοεκφόρτωσης, τα πράγματα έχουν αλλάξει.

Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, τα πλοία γραμμής να αλλάξουν μορφή και να βελτιωθούν, και να προκύψουν μοντέρνα πλοία νέας γενιάς, με κύρια χαρακτηριστικά τους τη μεγάλη σχετικά ταχύτητα και την ιδανική διαμόρφωση των χώρων τους, ώστε να δέχονται μεγαλύτερες ποσότητες φορτίων.

Τα ελεύθερα φορηγά, από την άλλη πλευρά, εξελίσσονται στο μέγεθος και στα μέσα φορτοεκφόρτωσης και διακρίνονται σε αυτά που μεταφέρουν ομοειδή χύμα φορτία και σε εκείνα που μεταφέρουν γενικά φορτία, συνήθως τυποποιημένα.

Φθάνουμε λοιπόν στο συμπέρασμα ότι, τα φορηγά πλοία τη σήμερον ημέρα μπορούν να ταξινομηθούν σε τέσσερις μεγάλες κατηγορίες:

- Γενικών φορτίων (Ελεύθερα φορηγά)
- Ομοειδών φορτίων (Ελεύθερα φορηγά)
- Εξειδικευμένων μεταφορών (Φορηγά γραμμής)
- Συνδυασμένων μεταφορών (Φορηγά μικτών φορτίων)

Συμπερασματικά, προκύπτει ότι από τα αρχαιότερα χρόνια οι άνθρωποι στηρίζονταν αρκετά στην ναυτιλία για να μπορέσουν να ζήσουν, τόσο σε σχέση με τις προσωπικές τους οικονομικές ανάγκες όσο και με τις πολεμικές υποχρεώσεις του λαού τους. Με την ικανότητά τους να κατασκευάσουν πλοία, "όργωσαν" τις θάλασσες, ανέπτυξαν το διεθνές εμπόριο και εξέλιξαν την ναυπηγική τέχνη. Επομένως, η ναυτιλία υπήρξε ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που συνέβαλε στην ανάπτυξη της παγκόσμιας οικονομίας.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΚΟΠΩΣΕΙΣ ΠΛΟΙΟΥ**

Δεν είναι σπάνιες οι περιπτώσεις μικρών ή μεγάλων ναυτικών ατυχημάτων που μπορούν να αποδοθούν στην κατασκευαστική ανεπάρκεια της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου. Περιπτώσεις παραμορφώσεως ελασμάτων, ανεπάρκειας συγκολλήσεων και μερικές φορές ακόμη και κοπής του πλοίου σε δύο τμήματα, είναι γνωστές σε όσους ασχολούνται με το πλοίο. Καταστάσεις όπως οι παραπάνω μπορούν να παρουσιασθούν όχι μόνο σε ασυνήθεις περιπτώσεις, όπως είναι η προσάραξη ενός πλοίου, αλλά ακόμη και σε συνθήκες κανονικής εκμεταλλεύσεώς του. Εξάλλου η καθέλκυση ενός πλοίου είναι μια διαδικασία που θέτει σε μεγάλη δοκιμασία την ανθεκτική κατασκευή του. Προϋπόθεση για την ασφάλιση ενός πλοίου είναι να είναι καταχωρημένο και να διατηρεί την κλάση του σ' έναν αναγνωρισμένο νηογνώμονα. Για να εξασφαλισθούν τα παραπάνω θα πρέπει:

- Τα σχέδια και οι μελέτες κατασκευής του πλοίου να είναι σύμφωνα με τους κανονισμούς και να έχουν εγκριθεί από τον νηογνώμονα.
- Τα σχέδια να έχουν εφαρμοσθεί πιστά κατά την κατασκευή του πλοίου, γεγονός που ελέγχεται από τους επιθεωρητές του νηογνώμονα.

Με τακτικές επιθεωρήσεις να ελέγχεται η καλή κατάσταση της μεταλλικής κατασκευής, των μηχανών και των συστημάτων του πλοίου. Οι κανονισμοί των νηογνωμόνων και η εφαρμογή τους εξασφαλίζουν την κατασκευαστική επάρκεια του πλοίου. Στην πράξη όμως δεν αποκλείεται να εμφανισθούν προβλήματα στην ανθεκτική κατασκευή του, κυρίως σε καταστάσεις κακοκαιρίας, κακών χειρισμών, λανθασμένης φορτώσεως ή συνδυασμού τους. Επειδή μέρος αυτών των προβλημάτων θα μπορούσε να αποφευχθεί με την ορθότερη σχεδίαση και κυρίως με τη σωστή χρησιμοποίηση του πλοίου, είναι απαραίτητη η μελέτη της αντοχής του και των παραγόντων που την επηρεάζουν.

Η μελέτη της αντοχής του πλοίου μπορεί να απλουστευθεί αν οι καταπονήσεις καταταγούν στις παρακάτω κατηγορίες:

- Στατικά γενικά φορτία που δημιουργούν τάσεις:  
α) Κάμψεως του πλοίου ως ράβδου.

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

γ) Στέψεως, λόγω της ασυμμετρίας κατανομής των διαφόρων βαρών μεταξύ της δεξιάς και της αριστερής πλευράς του πλοίου.

- Στατικά τοπικά φορτία που περιλαμβάνουν:

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

β) φορτία κατά τη διάρκεια προσαράξεως ή δεξαμενισμού.

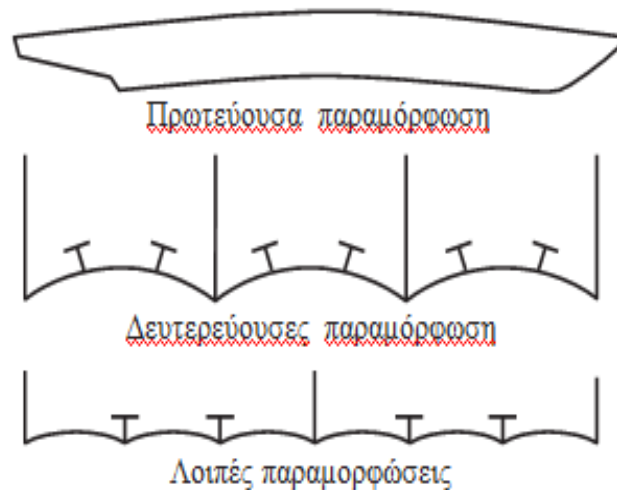
- Δυναμικά φορτία που μπορούν να οφείλονται σε διάφορα αίτια όπως:

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

β) Ώση της έλικας.

γ) Κινήσεις του πλοίου σε κυματισμό (διατοιχισμός, προνευτασμός, ταλαντώσεις εμβαιπίσεως).

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι οι καταπονήσεις του πλοίου είναι πολύπλοκες και ορισμένες από αυτές μεταβάλλονται, συνεχώς, με το χρόνο. Αυτό καθιστά εξαιρετικά δύσκολη τη μελέτη τους.



Σχ. 17.1

Βασικά είδη παραμορφώσεων που δημιουργούνται στα πλοία.

## **4.1 ΑΝΤΟΧΗ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ ΑΣΤΟΧΙΑ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ**

Αντοχή υλικών είναι το κεφάλαιο της Μηχανικής που ερευνά τη δημιουργία τάσεων σε σώματα βρισκόμενα κάτω από την επίδραση εξωτερικών δυνάμεων, στις οποίες περιλαμβάνεται και το βάρος τους. Μία ράβδος για παράδειγμα, η οποία είναι τοποθετημένη πάνω σε στηρίγματα και υπόκειται στην επίδραση ορισμένων δυνάμεων, κάθετων στον άξονά της ή και ροπών, υφίσταται ένα είδος καταπονήσεως που στην αντοχή υλικών ονομάζεται κάμψη. Τα στηρίγματα μπορεί να βρίσκονται στα δύο άκρα της ράβδου ή η δοκός να στηρίζεται σε περισσότερα σημεία ή και να βρίσκεται σε πλήρη επαφή μ' ένα επίπεδο κάτω από αυτήν. Οι δυνάμεις και οι ροπές που ασκούνται στη ράβδο από τα στηρίγματα αυτά ονομάζονται αντιδράσεις και αποτελούν, μαζί με τις δυνάμεις (και πιθανόν τις ροπές) που επιβάλλονται στη ράβδο εξωτερικά, ένα σύστημα που βρίσκεται σε ισορροπία. Αυτό σημαίνει ότι οι γνωστές συνθήκες ισορροπίας της Μηχανικής μπορούν να εφαρμοσθούν για την εύρεση των αντιδράσεων. Με τον όρο αστοχία, εννοούμε εδώ την κατασκευαστική (από την πλευρά αντοχής και μόνο) ανεπάρκεια ολόκληρου του πλοίου ή στοιχείων της κατασκευής του και είναι γνωστό 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.

## **4.2 Η ΑΝΤΟΧΗ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ ΩΣ ΡΑΒΔΟΥ**

Επειδή στην περίπτωση και του κυματισμού αφενός υπάρχουν και επί πλέον δυναμικές καταπονήσεις και αφετέρου οι δυνάμεις που ασκούνται βρίσκονται σε απόλυτη συνάρτηση με τη μορφή του κυματισμού, οι θεωρητικοί υπολογισμοί είναι αρκετά δύσκολοι. Για να απλουστευθεί το πρόβλημα της μελέτης της αντοχής του πλοίου ως ράβδου, σε σημείο που να είναι δυνατή η λύση του με κάπως απλοποιημένες μεθόδους, γίνονται οι παρακάτω παραδοχές. Το φαινόμενο θεωρείται ως στατικό, δηλαδή η στήριξη του πλοίου πάνω στο νερό εξετάζεται για τρεις καταστάσεις:

α) Σε ήρεμο νερό (χωρίς κύματα).

β) Σε κύμα με μήκος ίσο με το μήκος του πλοίου που έχει την κορυφή του στο μέσο του πλοίου (κατάσταση hogging).

Με τον όρο hogging περιγράφεται μονολεκτικά η περίπτωση όπου η παραμόρφωση του πλοίου ως ράβδου το κάνει να στρέφει τα κυρτά προς τα πάνω.

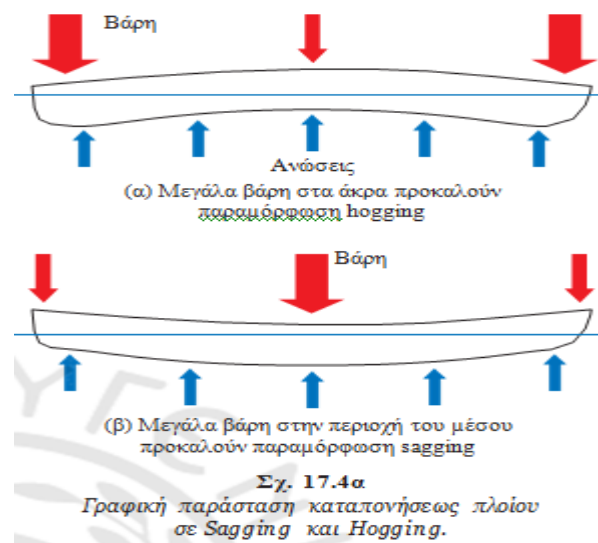
γ) Σε κύμα που έχει μήκος ίσο με το μήκος του πλοίου και τις δύο κορυφές του στα άκρα του πλοίου (κατάσταση sagging).

Με τον όρο sagging περιγράφεται μονολεκτικά η περίπτωση όπου η παραμόρφωση του πλοίου ως ράβδου το κάνει να στρέφει τα κυρτά προς τα κάτω (να κάνει κοιλιά προς τα κάτω).

Για να γίνει η διάκριση μεταξύ hogging και sagging πιο κατανοητή, στο παρακάτω σχήμα 17.4α βλέπουμε, γραφικά, ένα πλοίο που πλέει σε ήρεμο νερό. Τα κόκκινα βέλη αναπαριστούν τα βάρη που συνθέτουν το συνολικό βάρος του πλοίου και τα μπλε βέλη τις επί μέρους ανώσεις που συνθέτουν την συνολική άνωση όπου ισορροπεί το βάρος.

Στο πάνω μέρος του σχήματος 17.4α(α) τα βάρη στην περιοχή της πλώρης και της πρύμης υπερτερούν εκείνων που εφαρμόζονται στην περιοχή του μέσου. Τότε λέμε ότι έχουμε καταπόνηση του πλοίου hogging.

Αντίθετα στο κάτω μέρος του σχήματος 17.4α(β) τα βάρη στην περιοχή της πλώρης και της πρύμης υπολείπονται εκείνων που εφαρμόζονται στην περιοχή του μέσου. Λέμε τότε ότι έχουμε καταπόνηση του πλοίου sagging.

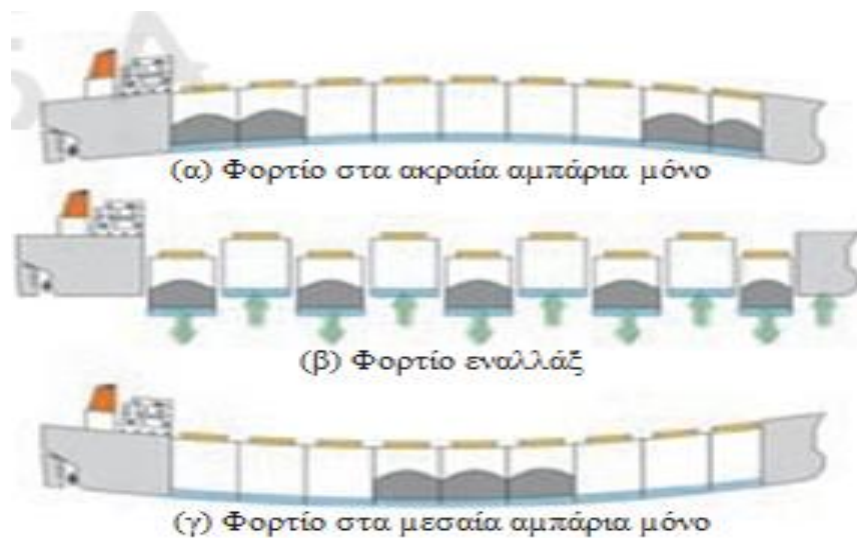


Με τις παραπάνω παραδοχές το πρόβλημα της μελέτης της αντοχής του πλοίου ως ράβδου αρχίζει να μοιάζει με εκείνο της απλής ράβδου , με τις εξής παρατηρήσεις:

- 1) Οι δυνάμεις πάνω στη ράβδο αποτελούνται από τα βάρη του πλοίου και εκείνα του φορτίου.
- 2) Οι αντιδράσεις στη ράβδο αποτελούνται από τις δυνάμεις της ανώσεως που εξαρτώνται από την κατανομή του όγκου των υφάλων κατά μήκος του πλοίου και από τη μορφή της ισάλου του (ευθεία ή μη), για κάθε μία από τις καταστάσεις που προαναφέραμε.
- 3) Στον υπολογισμό των ιδιοτήτων των εγκαρσίων τομών του πλοίου (π.χ. ουδέτερος άξονας, ροπή αδράνειας κ.λπ.) θεωρείται ότι συμμετέχουν όλα τα στοιχεία της μεταλλικής κατασκευής του (π.χ. ελάσματα, διαμήκεις ενισχύσεις) που έχουν διαμήκη συνέχεια (για ένα σημαντικό μήκος προς κάθε πλευρά του μέσου του πλοίου που καθορίζεται από τους κανονισμούς).

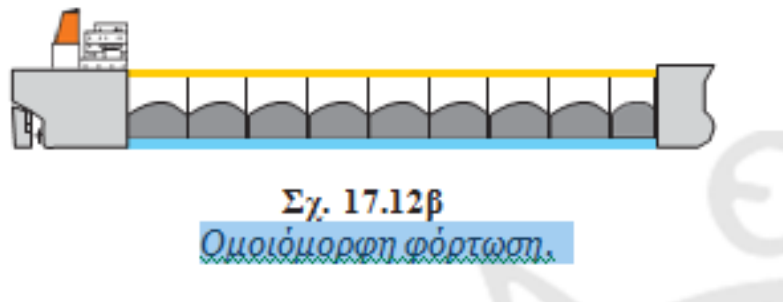
### **4.3 ΚΟΠΩΣΕΙΣ ΣΕ ΠΛΟΙΑ CAPER**

Στο σχήμα 17.12α 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).

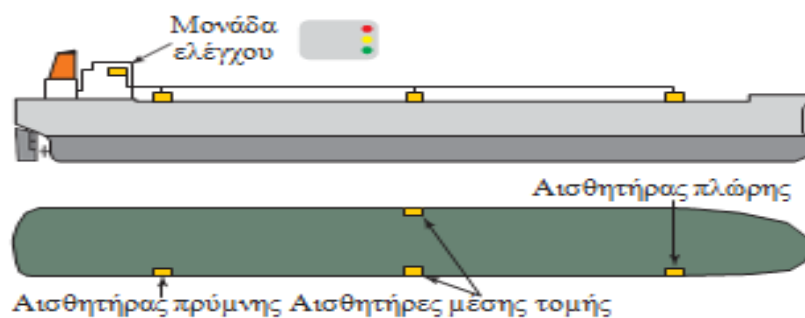


**Σχ. 17.12α**  
*Τρόποι φορτώσεως bulk carrier.*

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 17.12α αυτό μπορεί να δημιουργήσει μεγάλες ροπές και μεγάλες τέμνουσες δυνάμεις και κατ' επέκταση επικίνδυνες τάσεις. Αντίθετα αν η φόρτωση γίνει όπως φαίνεται στο σχήμα 17.12β έστω και αν όλα τα κύτη 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.



**Σγ. 17.12γ**  
**Τρόποι φορτώσεως bulk carrier.**

Τα συνηθισμένα σημεία τοποθέτησεως αυτών των αισθητήρων φαίνονται στο σχήμα 17.12γ.

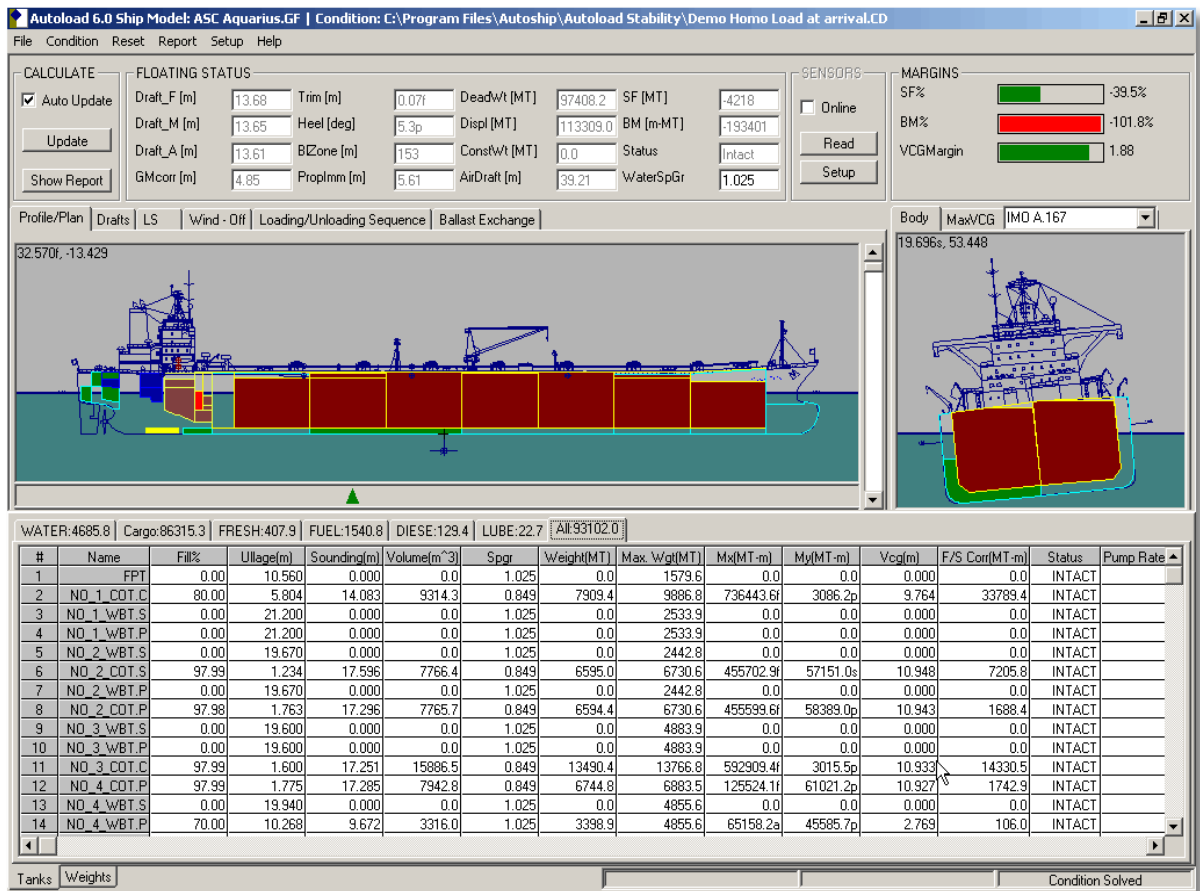
Οι χειριστές οφείλουν να είναι ευαισθητοποιημένοι και προετοιμασμένοι κατάλληλα, (π.χ. με προμελέτες φορτώσεως που θα κάνουν χειροκίνητα ή με την βοήθεια των ειδικών υπολογιστών που υπάρχουν στα σημερινά πλοία), προκειμένου να είναι εκ των προτέρων γνωστές οι καταπονήσεις που θα δημιουργηθούν κατά την 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.

#### **4.4 ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΑΣΕΩΝ ΚΑΙ Η ΜΕΙΩΣΗ 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.



## 4.5 ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΚΑΙ ΚΟΠΩΣΗ

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 ή

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 μηκυνσιόμετρα, 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.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΑΝΤΟΧΗ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ ΓΕΝΙΚΑ**

### **5.1 ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΑΝΤΟΧΗ**

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 frame).
3. Τα ελάσματα της οροφής των διπύθμενων (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 διπύθμενων.
5. Οι δοκοί ανάμεσα στα καταστρώματα.

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

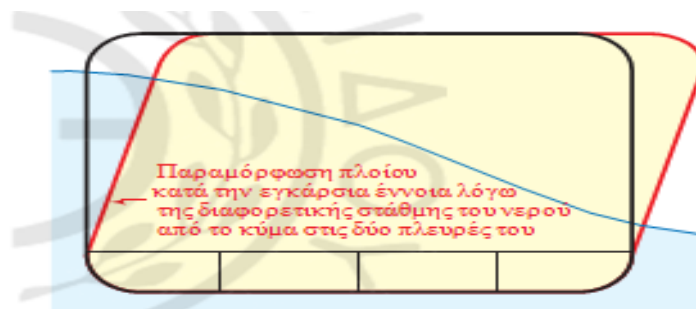
- 1) Καταπόνηση, κατά τον διατοιχισμό, των εγκαρσίων στοιχείων της ανθεκτικής κατασκευής, όπως είναι οι φρακτές και οι αγκώνες (racking strains). Αυτού του είδους οι καταπονήσεις (σχ. 18.2α) δημιουργούν μεγάλες τάσεις στις γωνίες της εγκάρσιας τομής, με αποτέλεσμα την πιθανότητα θραύσεων στους αγκώνες του καταστρώματος και του δαπέδου 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) Χτυπήματα 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.

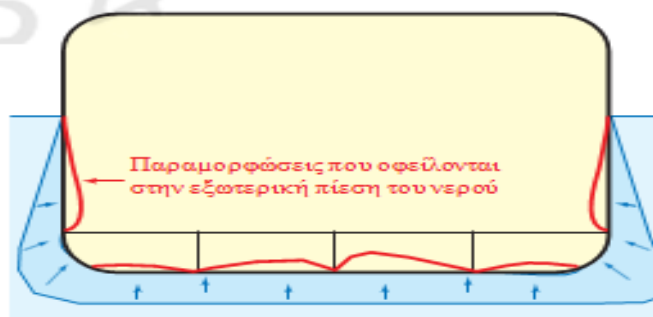
5) Φόρτιση των εκτεθειμένων καταστρωμάτων από τις πιέσεις του νερού (Shipping green water) σε συνθήκες έντονης θαλασσοταραχής.

6) Παραμορφώσεις και τάσεις λόγω της εξωτερικής πίεσεως του νερού πάνω στα ελάσματα του περιβλήματος (σχ. 18.2β)

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.



Σχ. 18.2α  
Καταπόνηση πλοίου λόγω διαφορετικής στάθμης νερού.



Σχ. 18.2β  
Καταπονήσεις και παραμορφώσεις του περιβλήματος λόγω εξωτερικής πίεσεως νερού.



## **5.2 ΤΟΠΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΚΑΙ ΚΟΠΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΣΦΥΡΟΚΡΟΥΣΕΙΣ**

Καταπονήσεις από σφυροκρούσεις (slamming) εμφανίζονται όταν λόγω του κυματισμού η πλώρη ενός πλοίου ξενερίζει, έτσι ώστε η βασική γραμμή της τρόπιδας 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 σφυρόκρουση 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 πλώρη λόγω τάσεων κάμψης και πιθανότητα θραύσεως συγκολλησεων 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 εμφανίσεως σοβαρών κατασκευαστικών αστοχιών. 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 πλώρης.

### **5.3 ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΚΟΠΩΣΕΩΝ**

Οι υπολογισμοί της διαμήκουσ αντοχής του πλοίου 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 κτλ.

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 εξεταστούν, 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 επιτρεπόμενων 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 επιτρεπόμενων. Σε πολλές περιπτώσεις, το λογισμικό επιτρέπει και τον υπολογισμό των παραμορφώσεων του πλοίου ως ράβδου.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΝΑΥΠΗΓΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ**

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

## **6.1 ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ**

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 θαλασσιών 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.

α/α	Είδος φόρτισης	Επίδραση στην κόπωση
1	Κύματα	Έναρξη και διάδοση ρωγμών από κόπωση
2	Ρεύματα και άνεμος (στατικά)	Μέση τάση στην έναρξη και διάδοση της ρωγμής. Ραγδαία κατάρρευση
3	Ρεύματα και άνεμος (δυναμικά)	Έναρξη και διάδοση της ρωγμής από κόπωση
4	Νεκρό βάρος	Μέση τάση στην έναρξη και διάδοση ρωγμής. Ραγδαία κατάρρευση
5	Κατασκευή	Μέση τάση στην έναρξη και διάδοση ρωγμής
6	Καθέλκυση. Τοποθέτηση μηχανών και βοηθητικών μηχανημάτων	Έναρξη ρωγμής από κόπωση. Κατασκευαστικά ελαττώματα. Μήκος αρχικής ρωγμής και εν συνεχεία διάδοσή της
7	Μεταβαλλόμενες φορτίσεις	Έναρξη ρωγμής. Ραγδαία κατάρρευση

8	Μεταφορά εμπορευμάτων	Έναρξη και διάδοση ρωγμής από κόπωση. Ραγδαία κατάρρευση
9	Φόρτωση και εκφόρτωση	Έναρξη και διάδοση ρωγμής από κόπωση. Ραγδαία κατάρρευση
10	Άντωση και υδροστατική φόρτιση	Μέση τάση στην έναρξη και διάδοση της ρωγμής. Ραγδαία κατάρρευση
11	Πρόσκρουση σε πάγο	Έναρξη ρωγμής. Ραγδαία κατάρρευση

### **Κοπωτικές φορτίσεις της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου**

Κατά τον καθορισμό των φορτίσεων θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη το περιβάλλον λειτουργίας καθώς και οι συνθήκες επιβολής των δυναμικών φορτίσεων. Θα πρέπει αρχικά να καθορίζονται όλες οι πηγές προέλευσης των εναλλασσόμενων φορτίσεων που δρουν στην κατασκευή. Αυτές κατά κανόνα οφείλονται σε :

- 1) Περιβαλλοντικές φορτίσεις (κύματα, άνεμος κ.α.)
- 2) Κινούμενα φορτία, ταλαντώσεις και κραδασμοί κατασκευών
- 3) Αδρανειακές επιταχύνσεις κινούμενων κατασκευών
- 4) Αλλαγές θερμοκρασίας

Από τις εναλλασσόμενες περιβαλλοντικές φορτίσεις οι σημαντικότερες όλων είναι αυτές που οφείλονται στη δράση των κυμάτων που συναντά το πλοίο κατά την πλεύση. Οι φορτίσεις που οφείλονται στα κύματα καθώς το πλοίο ακολουθεί την πορεία του αποτελούν την σοβαρότερη πηγή κοπωτικών ζημιών και ρωγμών.

Το μέγεθος και η κατανομή της φόρτισης του πυθμένα εξαρτώνται από τα μήκη των κυμάτων και την κατεύθυνσή τους, σε σχέση προς το μήκος και το βύθισμα του πλοίου. Το κύριο κατάστρωμα υποβάλλεται σε φορτίσεις λόγω των κυμάτων χαμηλότερων συχνοτήτων και σε φορτίσεις που οφείλονται στα μεταφερόμενα φορτία.



Κατά τον σχεδιασμό του πυθμένα και των καταστρωμάτων πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή σε τοπικό επίπεδο και στην εξασφάλιση συνέχειας της κατασκευής, για να περιορίζεται η ανάπτυξη συγκεντρώσεων τάσεων. Τα πλευρικά ελάσματα υποβάλλονται σε έντονες δυναμικές φορτίσεις και σε υδροστατικές φορτίσεις λόγω των μεταφερόμενων φορτίων στο εσωτερικό των δεξαμενών. Ως αποτέλεσμα αναπτύσσονται εντατικά πεδία χαμηλών τάσεων – υψηλών συχνοτήτων στα διαμήκη πλευρικά ενισχυτικά και στις συνδέσεις τους με τη δευτερεύουσα κατασκευή (νομείς, φρακτές). Οι φορτίσεις αυτές έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση των τάσεων στα διαμήκη ενισχυτικά των πλευρών. Το ίδιο μπορεί να προκύψει σε πιο περιορισμένο βαθμό και στα ενισχυτικά των διαμήκων φρακτών.

Ουσιαστικά, κάθε περιοχή συγκέντρωσης τάσεων και κάθε συγκόλληση αποτελεί δυνατή εστία κοπωτικών ρωγμών. Θα πρέπει λοιπόν να λαμβάνεται αυτό υπόψη κατά το σχεδιασμό της κατασκευής.

## **6.2 ΕΙΔΗ ΠΥΘΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΔΙΠΥΘΜΕΝΑ**

Παραδοσιακά, η ανέγερση του πλοίου έχει ως σημείο έναρξης την περιοχή του πυθμένα και συγκεκριμένα την τρόπιδα. Στις μικρές κατασκευές, η τρόπιδα αποτελεί σημαντικό στοιχείο της κατασκευής διότι συμβάλλει σε ένα μεγάλο βαθμό στην αντοχή. Στα μεγάλα πλοία βέβαια η τρόπιδα δεν είναι παρά ένα ακόμα έλασμα του πυθμένα, του οποίου το πάχος είναι αυξημένο σε σχέση με τα υπόλοιπα ελάσματα του πυθμένα.

### **Ο απλός πυθμένας**

Οι τρόποι ενίσχυσης του πυθμένα είναι δύο : ο απλός πυθμένας και ο διπλός πυθμένας (διπύθμενο) . Ο απλός πυθμένας συναντάται σε μικρότερα και παλαιότερα πλοία. Στα μικρότερα πλοία με απλό πυθμένα οι ανοικτές έδρες τοποθετούνται σε

κάθε ισαπόσταση νομέα και είναι ενισχυμένες κατά μήκος του ελεύθερου άκρου. Κατά μήκος του διαμήκους κατακόρυφου επιπέδου υπάρχει η κεντρική σταθμίδα, και παράλληλα με αυτή μία πλευρική σταθμίδα σε κάθε πλευρά για πλοία με πλάτος μικρότερο από 10 μέτρα. Όταν το πλάτος είναι μεγαλύτερο από 10 μέτρα και μικρότερο από 17 μέτρα, τοποθετούνται δύο πλευρικές σταθμίδες σε κάθε πλευρά. Εάν ο λόγος πλευρών των ελασμάτων του πυθμένα υπερβαίνει το 4, τοποθετούνται πρόσθετα συνεχή ή διακοπτόμενα διαμήκη ζυγά. Σε ορισμένες περιπτώσεις γίνεται χρήση ξύλινης επένδυσης για διευκόλυνση της στοιβασίας του φορτίου. Η επένδυση αυτή δεν συμβάλλει στην αντοχή της μεταλλικής κατασκευής.

### **Το διπύθμενο**

Σε πλοία με διπύθμενο, γίνεται χρήση ενός πρόσθετου, συνεχούς ελάσματος που εξασφαλίζει τη στεγανότητα του χώρου που περικλείει με τον εξωτερικό πυθμένα και την πλευρική κατασκευή. Το έλασμα αυτό καλείται εσωτερικός πυθμένας, και τοποθετείται σε ένα ελάχιστο ύψος πάνω από τον εξωτερικό πυθμένα, που καθορίζεται από τους κανονισμούς κατασκευής. Σκοπός της διάταξης αυτής είναι η πρόσθετη ασφάλεια του φορτίου αλλά και του σκάφους συνολικά, διότι σε περίπτωση προσάραξης θα πρέπει και τα δύο ελάσματα του πυθμένα να υποστούν διάρρηξη για να υποστεί ζημιά το φορτίο λόγω κατάκλισης του αμπαριού. Οι χώροι αυτοί δεν παραμένουν ανεκμετάλλευτοι καθώς χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά θαλάσσιου έρματος ή καυσίμου. Το ύψος του διπύθμενου μεταβάλλεται σταδιακά με μέγιστο ύψος στο χώρο του μηχανοστασίου και στην περιοχή της πλώρης. Εξασφαλίζεται έτσι μεγαλύτερη χωρητικότητα για τη μεταφορά των απαιτούμενων ποσοτήτων υγρών.

Η κατασκευή του διπύθμενου μπορεί να έχει διάμηκες ή εγκάρσιο σύστημα ενίσχυσης. Σε πλοία με μήκος που υπερβαίνει τα 120 μέτρα, κατά κανόνα χρησιμοποιείται το διάμηκες σύστημα για οικονομία βάρους. Πειράματα έχουν δείξει ότι σε πλοία με εγκάρσιο σύστημα ενίσχυσης του διπύθμενου υπάρχει κίνδυνος λυγισμού των ελασμάτων του εσωτερικού και του εξωτερικού πυθμένα.

Στην περιοχή του μηχανοστασίου, που απέχει από τη μέση τομή του πλοίου και συνεπώς οι διαμήκεις τάσεις είναι αρκετά μικρότερες, χρησιμοποιείται το εγκάρσιο σύστημα.

Το έλασμα του εσωτερικού πυθμένα που είναι πλησιέστερο στο σύνορο με την πλευρική κατασκευή μπορεί να έχει κλίση για να διευκολυνθεί η αποστράγγιση νερών. Σε πλοία όμως που προορίζονται για τη μεταφορά επιβατών ο εσωτερικός πυθμένας εκτείνεται ως το πλευρικό έλασμα για μεγαλύτερη ασφάλεια, εφόσον μπορεί να προκύψει ζημιά των σεντινών σε μεγάλη έκταση. Η κεντρική στρώση του εσωτερικού πυθμένα μπορεί να θεωρηθεί ως πέλμα ενισχυτικού που αποτελείται από την τρόπιδα και την κεντρική σταθμίδα, και για το λόγο αυτό μπορεί να έχει μεγαλύτερο πάχος από τις υπόλοιπες στρώσεις.

Ο εσωτερικός πυθμένας στηρίζεται σε έδρες που είναι διατεταγμένες στην εγκάρσια κατεύθυνση και για τα δύο συστήματα ενίσχυσης. Όταν οι έδρες αποτελούν σύνορο δεξαμενής ή συμπίπτουν με φρακτή είναι στεγανές. Στεγανές (συμπαγείς) έδρες χρησιμοποιούνται και σε άλλες περιοχές του διπύθμενου για να προσφέρουν επαρκή αντοχή στην κατασκευή. Η πρόσβαση στους χώρους του διπύθμενου γίνεται μέσω ανθρωποθυρίδων που διανοίγονται στις έδρες. Υπάρχουν επίσης μικρότερα ανοίγματα στα άνω και κάτω άκρα των συμπαγών εδρών για να γίνεται εξαερισμός και αποστράγγιση των χώρων. Μεταξύ των συμπαγών εδρών γίνεται χρήση ανοικτών εδρών.

### **Διπύθμενο με εγκάρσιο σύστημα ενίσχυσης**

Στην περίπτωση που το διπύθμενο έχει εγκάρσιο σύστημα ενίσχυσης, η στήριξη του εσωτερικού πυθμένα παρέχεται από συμπαγείς και ανοικτές έδρες. Σε περιοχές με υψηλές φορτίσεις (μηχανοστάσιο, πωραία κατασκευή, εδράσεις φρακτών) χρησιμοποιούνται μόνο συμπαγείς έδρες. Σε άλλες περιοχές της κατασκευής, η ισαπόσταση των συμπαγών εδρών μπορεί να φθάσει τα 3 μέτρα, με ανοικτές έδρες ενδιάμεσα. Το ανυποστήρικτο μήκος των ανοικτών εδρών μειώνεται με κατακόρυφα ενισχυτικά. Εάν το πλάτος είναι μεγαλύτερο από 10 μέτρα και μικρότερο από 20 μέτρα, γίνεται χρήση μιας πλευρικής σταθμίδας, η οποία διακόπτεται στα σημεία

διέλευσης των εδρών. Εάν το πλάτος είναι μεγαλύτερο από 20 μέτρα, τοποθετείται και δεύτερη πλευρική σταθμίδα.

### **Διπύθμενο με διάμηκες σύστημα ενίσχυσης**

Στην περίπτωση που το διπύθμενο έχει διάμηκες σύστημα ενίσχυσης, στο χώρο του μηχανοστασίου τοποθετούνται συνεχόμενες συμπαγείς έδρες ενώ σε άλλες περιοχές της κατασκευής τοποθετούνται εναλλάξ με ανοικτές έδρες. Εάν το πλάτος είναι μεγαλύτερο από 14 μέτρα, τοποθετείται μια πλευρική σταθμίδα σε κάθε πλευρά της κεντρικής σταθμίδας ενώ αν το πλάτος είναι μεγαλύτερο από 21 μέτρα, απαιτείται και δεύτερη. Πρόσθετες πλευρικές σταθμίδες τοποθετούνται στο χώρο του μηχανοστασίου και σε χώρους που υποβάλλονται σε εξωτερικές κρουστικές φορτίσεις λόγω κυμάτων.

Θα πρέπει να εξασφαλίζεται η συνέχεια των διαμήκων ενισχυτικών στο διπύθμενο σε όσο το δυνατό μεγαλύτερο μήκος τους. Αυτό επιτυγχάνεται με τη διάνοιξη οπών στις έδρες και την κατάλληλη διαμόρφωση της κατασκευής στις περιοχές αυτές ώστε να διασφαλίζεται η στεγανότητα και η αποφυγή πρόσθετων καμπτικών τάσεων στα σημεία στήριξης.

Στα σύνορα του εσωτερικού πυθμένα με την πλευρική κατασκευή έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορες διατάξεις. Ο εσωτερικός πυθμένας πρέπει να είναι συγκολλημένος στο κυρτό έλασμα της γάστρας (έλασμα σεντίνας) ενώ ένας αγκώνας εξασφαλίζει την απαιτούμενη ακαμψία της σύνδεσης. Ο αγκώνας είναι συγκολλημένος στην πλευρική στρώση του εσωτερικού πυθμένα και στο νομέα. Σε ορισμένες περιπτώσεις η πλευρική στρώση του εσωτερικού πυθμένα έχει κλίση προς τα κάτω. Η διάταξη αυτή χρησιμοποιείται για να περισυλλέγει νερό που στη συνέχεια αποστραγγίζεται με αντλίες σεντινών. Σε φορτηγά χύδην φορτίου η πλευρική στρώση έχει αντίθετη κλίση, και έτσι σχηματίζεται ένας μεγάλος χώρος που χρησιμοποιείται ως δεξαμενή έρματος (κάτω πλευρική δεξαμενή).

### **6.3 ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΠΕΡΙΒΛΗΜΑ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗ**

#### **Ελάσματα του εξωτερικού περιβλήματος**

Η γάστρα του πλοίου είναι μια μεγάλη επιφάνεια που έχει σχετικά απλή μορφή στην περιοχή της μέσης τομής του πλοίου και γενικότερα στο παράλληλο τμήμα. Στο πρωραίο και στο πρυμναίο άκρο όμως η επιφάνεια έχει διπλή καμπυλότητα και έτσι η διάταξη των ελασμάτων γίνεται πιο περίπλοκη. Από κατασκευαστικής πλευράς το πρόβλημα που τίθεται είναι η βέλτιστη διάταξη των ελασμάτων έτσι ώστε να περιορισθεί η χρήση υλικού και να διατηρηθεί η αντοχή της κατασκευής με την ελάχιστη δυνατή μείωση της λόγω συγκολλήσεων. Μέρος της διαδικασίας επιλογής της διάταξης των ελασμάτων της γάστρας είναι και η σύνταξη του σχεδίου του αναπτύγματος της γάστρας, που ουσιαστικά είναι μια απεικόνιση σε δύο διαστάσεις μιας τρισδιάστατης επιφάνειας. Το ανάπτυγμα της γάστρας περιέχει τη μορφή των ελασμάτων που θα πρέπει να μορφοποιηθούν κατάλληλα ώστε να αποδοθεί η σωστή μορφή της γάστρας, σύμφωνα με το σχέδιο ναυπηγικών γραμμών και το σχέδιο των εγκάρσιων τομών. Η διάταξη των ελασμάτων εξαρτάται από την έκταση του παράλληλου τμήματος ενώ η ακριβής θέση των διαμήκων συγκολλήσεων επιλέγεται κάνοντας χρήση προγραμμάτων σε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Το πλάτος των ελασμάτων εξαρτάται από τις θέσεις των διαμήκων ζυγών και των καταστρωμάτων, ενώ καταβάλλεται προσπάθεια να χρησιμοποιηθούν ελάσματα με το μέγιστο δυνατό πλάτος και μήκος για να περιοριστεί ο αριθμός των εστιών συγκεντρώσεων τάσεων.

Στα άκρα του πλοίου, όπου ελαττώνεται το πλάτος και το κοίλο, μειώνεται αντίστοιχα και το πλάτος και ο αριθμός των ελασμάτων. Η ελάττωση του αριθμού των ελασμάτων επιτυγχάνεται με τη σταδιακή αντικατάσταση δύο παράλληλων ελασμάτων με ένα έλασμα.

Τα ελάσματα είναι διατεταγμένα έτσι ώστε το μήκος τους να είναι παράλληλο με το μήκος του πλοίου σε στρώσεις, ενώ συνδέονται μεταξύ τους με διαμήκεις συγκολλήσεις και εγκάρσιες συγκολλήσεις. Γενικά, η αρχική παραμόρφωση λόγω συγκολλήσεων ελαττώνεται όταν επιλέγονται μεγάλα ελάσματα, και έτσι αυτά προτιμώνται. Οι μέγιστες διαστάσεις των ελασμάτων με τη σειρά τους εξαρτώνται

από τα μηχανήματα εξέλασης και κοπής που χρησιμοποιούνται στο στάδιο παραγωγής.

Η επιλογή των παχών των ελασμάτων της γάστρας βασίζεται σε υπολογισμούς της απαιτούμενης αντοχής και λειτουργικότητας, που αφορούν τα παρακάτω :

- 1) Διαμήκης αντοχή
- 2) Εγκάρσια αντοχή (υδροστατική και υδροδυναμική πίεση λόγω κρούσης κυμάτων)
- 3) Τοπικές φορτίσεις, ιδιαίτερα στα άκρα του πλοίου (σφυρόκρουση και ταλαντώσεις στην πρύμνη). Τοπικές φορτίσεις επίσης παρουσιάζονται σε δεξαμενισμό και στην καθέλκυση.
- 4) Μειώσεις πάχους λόγω διάβρωσης και φθορών γενικά, σε διάφορα σημεία της γάστρας
- 5) Μείωση της αντοχής τοπικά λόγω κόπωσης, ιδιαίτερα σε συγκολλήσεις

Οι παραπάνω παράγοντες λαμβάνονται υπόψη στους κανονισμούς των νηογνωμόνων. Έτσι, μπορούμε να πούμε ότι, για να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις διαμήκους αντοχής, το μέγιστο πάχος απαιτείται στην περιοχή της μέσης τομής, με σταδιακή μείωση προς τα άκρα. Σε κάθε εγκάρσια τομή, το πάχος αυξάνεται από τον ουδέτερο άξονα προς τις ίνες που βρίσκονται στη μέγιστη απόσταση από αυτόν. Για να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις εγκάρσιας αντοχής, η θεωρούμενη φόρτιση αυξάνεται γραμμικά από την ίσαλο γραμμή με το βάθος. Σε περιοχές της κατασκευής άνωθεν της ίσαλου γραμμής οι θεωρούμενες φορτίσεις είναι μικρότερες.

Για να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις της τοπικής φόρτισης στα άκρα της κατασκευής επιλέγεται μικρότερη ισαπόσταση νομέων. Έτσι, αυξάνεται η ακαμψία και γενικά η στιβαρότητα της κατασκευής.

Η επίδραση της διάβρωσης αντιμετωπίζεται με αύξηση του πάχους γενικά, που κυμαίνεται από 1 – 3 mm, ανάλογα με την περιοχή της κατασκευής. Η κόπωση επιφέρει μείωση της ικανότητας παραλαβής φορτίων μετά από ένα αριθμό επαναλαμβανόμενων φορτίσεων. Γενικά τα αποτελέσματα της κόπωσης εμφανίζονται σε συνδυασμό με τη διάβρωση και μπορούν να παρουσιαστούν ρωγμές, κυρίως στην

περιοχή της μέσης τομής. Η εμφάνιση των ρωγμών αυτών είναι συχνότερη σε πλοία που δεν συντηρούνται επαρκώς.

### **Ενίσχυση του εξωτερικού περιβλήματος**

Όπως οι υπόλοιπες περιοχές της κατασκευής, έτσι και το πλευρικό περίβλημα ενισχύεται με διάμηκες ή εγκάρσιο σύστημα. Σε φορηγά πλοία που έχουν εγκάρσιο σύστημα ενίσχυσης, τοποθετούνται νομείς με κατάλληλα διαμορφωμένα άκρα, είτε κάνοντας χρήση αγκώνων, είτε με αύξηση του πλάτους του κορμού. Εκτός των απλών νομέων, χρησιμοποιούνται και ενισχυμένοι νομείς που τοποθετούνται ανά 3 – 5 απλούς νομείς. Οι ενισχυμένοι νομείς είναι συναρμοσμένοι, αποτελούνται δηλαδή από συγκολλημένα στοιχεία (κορμό και πέλμα) και έχουν μεγαλύτερες διαστάσεις από τους απλούς νομείς. Πρώρα και πρύμα των φρακτών σύγκρουσης οι ενισχυμένοι νομείς τοποθετούνται ανά 5 απλούς νομείς.

Οι κανονισμοί επιτρέπουν την τοποθέτηση των νομέων σε ένα σχετικά ευρύ πεδίο τιμών (ισαπόσταση νομέων). Οι κανονισμοί του αμερικανικού νηογνώμονα για παράδειγμα επιτρέπουν να γίνει χρήση ισαπόστασης από 540 mm έως 1000 mm, που σε ορισμένες περιπτώσεις πλησιάζει το βέλτιστο από πλευράς βάρους, αλλά όχι και το βέλτιστο από πλευράς κόστους ανέγερσης. Μία μικρή αύξηση της ισαπόστασης των νομέων επιφέρει αύξηση του βάρους συνολικά αλλά και μείωση του κόστους.

Οι κανονισμοί ορίζουν ότι η αντοχή των νομέων θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε να μπορούν να παραλάβουν υδροστατικό φορτίο στο ύψος του καταστρώματος υποδιαίρεσης (bulkhead deck), δηλαδή στο κατάστρωμα μέχρι το οποίο εκτείνονται καθ' ύψος οι εγκάρσιες φρακτές. Εκτός αυτού, συμβάλλουν στη στήριξη των εγκαρσίων ζυγών των καταστρωμάτων. Τέλος, συμβάλλουν στην αντοχή του εξωτερικού περιβλήματος όταν αυτό έρχεται σε ανεπιθύμητη επαφή με εξωτερικά στοιχεία (προβλήτες, άλλα πλοία κλπ.). Απαιτείται προσοχή κατά το σχεδιασμό των άκρων των νομέων, ώστε να διασφαλίζεται η μεταφορά και διάχυση φορτίων από τα οριζόντια στα κατακόρυφα στοιχεία της κατασκευής. Αυτό επιτυγχάνεται με υπολογισμό της καμπτικής ροπής κατά μήκος του νομέα. Επειδή οι καμπτικές τάσεις μεγιστοποιούνται στα άκρα μίας δοκού, είναι δυνατό να επιτευχθεί σωστός

σχεδιασμός με κατάλληλη διαμόρφωση του αγκώνα (αύξηση του πλάτους του κορμού και πρόσθεση πέλματος). Μία τρίτη κατηγορία φορτίων που καλούνται να παραλάβουν οι ενισχύσεις της πλευρικής κατασκευής είναι οι ομοεπίπεδες στρεπτικές τάσεις (racking stresses) που αναπτύσσονται κατά το διατοιχισμό και κατά την κρούση κυμάτων στα έξαλα. Τις φορτίσεις αυτές τις παραλαμβάνουν σε σημαντικό βαθμό οι εγκάρσιες φρακτές.

Εάν επιλεγεί διάμηκες σύστημα ενίσχυσης της πλευρικής κατασκευής συχνά χρησιμοποιούνται βολβολάμες, οι διαστάσεις των οποίων αυξάνονται προς την κατεύθυνση του πυθμένα. Το διάμηκες σύστημα ενίσχυσης υπερτερεί έναντι του εγκάρσιου διότι οι πρωτεύουσες ενισχύσεις συμβάλλουν σε σημαντικό ποσοστό στη διαμήκη αντοχή και έτσι ελαττώνεται το απαιτούμενο πάχος του ελάσματος. Η σημαντική μείωση της ισαπόστασης των ενισχυτικών αυξάνει σημαντικά την αντοχή του ελάσματος σε λυγισμό και έτσι επέρχεται η αντίστοιχη μείωση του πάχους. Σε πλοία λοιπόν που η κρίσιμη φόρτιση είναι η διαμήκης, προτείνεται το διάμηκες σύστημα ενίσχυσης. Σε μικρότερα πλοία, για τα οποία η κρίσιμη φόρτιση είναι η εγκάρσια (υδροστατική και υδροδυναμική) το εγκάρσιο σύστημα είναι αποδοτικότερο.

Σε πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων χρησιμοποιείται κυψελοειδής διάταξη για να αυξηθεί η στρεπτική ακαμψία της διατομής, καθώς το άνοιγμα του καταστρώματος εκτείνεται σχεδόν σε όλο το πλάτος του πλοίου. Η κυψελοειδής διάταξη συνίσταται κατά κανόνα σε εξωτερικό και εσωτερικό περίβλημα με οριζόντιες σταθμίδες. Τα δύο περιβλήματα καθώς και οι σταθμίδες ενισχύονται με διαμήκη ενισχυτικά ενώ τοποθετούνται και νομείς σε σταθερές ισαποστάσεις.

### **Ενίσχυση της κατασκευής σε κρουστικές φορτίσεις κυμάτων**

Κατά την πλευση του πλοίου, οι πλευρές του υφίστανται μία συνεχή τοπική αυξομείωση της υδροστατικής πίεσης λόγω της κρούσης των κυμάτων. Για το λόγο αυτό, απαιτείται πρόσθετη ενίσχυση της πλευρικής κατασκευής, ιδιαίτερα στην περιοχή της πλώρης. Κατά κανόνα τοποθετούνται πρόσθετες ενισχύσεις στην περιοχή



της πλήρης σε διατάξεις που είναι αποδεκτές από τους νηογνώμονες. Η πρόσθετη ενίσχυση συνίσταται σε μία από τις παρακάτω εναλλακτικές διατάξεις :

- 1) Διαμήκεις πλευρικές σταθμίδες σε απόσταση 2 μέτρα περίπου η μία από την άλλη, συνδεδεμένες μεταξύ τους με λάμες ή πρόσθετους νομείς (ranging beams). Οι πρόσθετοι αυτοί νομείς συνδέονται με τους νομείς με αγκώνες, εάν είναι μακριά μπορεί να τοποθετηθεί και διάτρητη φρακτή.
- 2) Πλευρικές σταθμίδες σε απόσταση 2 μέτρων περίπου η μία από την άλλη, στηριζόμενες από ενισχυμένους νομείς.
- 3) Διάτρητα οριζόντια ελάσματα σε απόσταση μικρότερη των 2,5 μέτρων το ένα από το άλλο. Το εμβαδόν των διατρήσεων δε θα πρέπει να είναι μικρότερο του 10% του συνολικού εμβαδού της λάμας.

Πέραν των παραπάνω, απαιτείται η συνέχιση των πρόσθετων ενισχύσεων σε απόσταση 0,15 L του μήκους του πλοίου πρυμναία της προωαίας δεξαμενής ζυγοστάθμισης στην περιοχή του πυθμένα. Αν αυξηθεί το πάχος του ελάσματος του πυθμένα τότε δεν απαιτούνται οι πρόσθετες ενισχύσεις στην περιοχή αυτή. Πρόσθετες ενισχύσεις απαιτούνται και μεταξύ των ενδιάμεσων καταστρώματων και του κυρίου καταστρώματος σε απόσταση 0,15 L από την προωαία κάθετο του πλοίου εφόσον το ανυποστήρικτο άνοιγμα υπερβαίνει τα 2,6 μέτρα στα κατώτερα καταστρώματα ή τα 3 μέτρα στα ανώτερα ενδιάμεσα καταστρώματα.

### **Παρατροπίδια**

Στα μεγάλα σύγχρονα πλοία με κάθετες πλευρές και οριζόντιο πυθμένα, η μορφή της γάστρας δε συμβάλλει στη μείωση του διατοιχισμού. Για να περιοριστεί ο διατοιχισμός τοποθετούνται σε κάθε πλευρά ελάσματα στην περιοχή του κάτω κυρτού της γάστρας κατά μήκος του παράλληλου τμήματος του πλοίου. Το παρατροπίδιο συμβάλλει επίσης στην τοπική αντοχή του κυρτού ελάσματος και προστατεύει την περιοχή κατά τις πιθανές προσαράξεις. Θα πρέπει να επιλέγεται η θέση και ο προσανατολισμός του με προσοχή για να μην αυξηθεί η αντίσταση της γάστρας. Στα άκρα του ελάσματος αυτού το πλάτος μειώνεται σταδιακά. Οι κανονισμοί των νηογνωμόνων ορίζουν με λεπτομέρεια τις αποδεκτές διατάξεις και

διατομές του ελάσματος καθώς και τους τρόπους συγκόλλησής του με τη γάστρα του πλοίου, για να αποφευχθεί η συγκέντρωση τάσεων.

### **Επιλογή συστήματος ενίσχυσης ανάλογα με τον τύπο του πλοίου**

Κατά την επιλογή του κατάλληλου συστήματος ενίσχυσης της πλευρικής κατασκευής, πρέπει να ληφθούν υπόψη οι λειτουργικές ανάγκες του πλοίου, το μέγεθός του, το είδος του φορτίου και οι συνθήκες μεταφοράς (τρόπος στοιβασίας, απαιτούμενη θερμοκρασία περιβάλλοντος κλπ.).

Στα φορτηγά πλοία μεταφοράς ξηρού φορτίου εκτός των πλοίων μεταφοράς μεταλλευμάτων, χρησιμοποιείται το εγκάρσιο σύστημα ενίσχυσης. Το εγκάρσιο σύστημα προσφέρει οικονομία βάρους, καθώς σε αυτά τα πλοία η απόσταση μεταξύ των εγκάρσιων φρακτών είναι μεγαλύτερη από το κοίλο του πλοίου. Όταν ο λόγος της απόστασης των φρακτών προς το ύψος των καταστρωμάτων υπερβαίνει το 2, η χρήση απλών νομέων είναι από πλευράς βάρους ο καλύτερος τρόπος ενίσχυσης της κατασκευής. Αν ο λόγος αυτός μειωθεί, προτείνεται να προστίθενται ενισχυμένοι νομείς και πλευρικές σταθμίδες.

Η πλευρική κατασκευή των bulk carriers έχει επίσης εγκάρσιο σύστημα ενίσχυσης που αποτελείται από απλούς και ενισχυμένους νομείς.

Η πλευρική κατασκευή των συμβατικών δεξαμενοπλοίων (απλής γάστρας) μπορεί να φέρει διάμηκες ή εγκάρσιο σύστημα ενίσχυσης. Στα πλοία αυτού του τύπου, η απόσταση μεταξύ του καταστρώματος και του πυθμένα υπερβαίνει την απόσταση μεταξύ των εγκάρσιων φρακτών στις πλευρικές δεξαμενές και έτσι χρησιμοποιείται το διάμηκες σύστημα ενίσχυσης.

Σε δεξαμενόπλοια με εγκάρσιο σύστημα πλευρικής ενίσχυσης, χρησιμοποιείται η διάταξη δακτυλίων σε όλη την περιφέρεια της διατομής. Οι δακτύλιοι τοποθετούνται σε απόσταση 3 μέτρων περίπου μεταξύ τους. Οι νομείς που δεν αποτελούν μέρος δακτυλίων, συνδέονται στα άνω και κάτω άκρα τους με διαμήκη ενισχυτικά μέσω αγκώνων. Στις πλευρές του πλοίου τοποθετούνται διαμήκεις σταθμίδες, ο αριθμός των οποίων εξαρτάται από το κοίλο του πλοίου και από τις διατάξεις του εκάστοτε νηογνώμονα. Οι πλευρικές σταθμίδες συνδέονται με λώρους στις εγκάρσιες φρακτές και έτσι σχηματίζεται ένας οριζόντιος δακτύλιος. Στις συνδέσεις αυτές τοποθετούνται πρόσθετες ενισχυτικές λάμες στήριξης των πλευρικών σταθμίδων στην περίπτωση

που υπάρχουν διαμήκεις φρακτές. Μπορούν τότε να μειωθούν οι διαστάσεις των πλευρικών σταθμίδων και των κάτω αγκώνων.

#### **6.4 Η ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΩΝ**

Τα καταστρώματα των πλοίων χρησιμοποιούνται για διάφορους σκοπούς. Μπορεί να είναι καταστρώματα διασφάλισης στεγανότητας, καταστρώματα αντοχής ή τμήματα των χώρων ενδιαίτησης στις υπερκατασκευές. Το κυριότερο κατάστρωμα σε εμπορικά πλοία είναι το κατάστρωμα εξάλων που εξασφαλίζει τη στεγανότητα των εσωτερικών χώρων του πλοίου. Όλα γενικά τα καταστρώματα συμβάλλουν στην αντοχή του πλοίου, εκείνο όμως που συμβάλλει περισσότερο είναι το κύριο κατάστρωμα, που περιλαμβάνει τις υψηλότερες διαμήκεις τάσεις λόγω κάμψης του πλοίου και εκτείνεται σε όλο του το μήκος.

Τα καταστρώματα δεν είναι επίπεδες αλλά κυρτές επιφάνειες, με μορφή τέτοια που να διευκολύνει τη διαφυγή νερών προς τις πλευρές του πλοίου. Η εγκάρσια κλίση (camber) εξασφαλίζεται με χρήση παραβολικής μορφής ή με έλασμα συγκολλημένο υπό σταθερή κλίση. Τα καταστρώματα στηρίζονται σε ορθογώνια πλέγματα ενισχύσεων οι διατάξεις των οποίων εξαρτώνται από τη θέση και το είδος του καταστρώματος.

Καμπυλότητα (σιμότητα) διαθέτει το κατάστρωμα και στη διαμήκη κατεύθυνση. Η καμπυλότητα αυτή συναντάται στα σημερινά μεγάλα πλοία κοντά στα άκρα του πλοίου.

Στα καταστρώματα οι τάσεις οφείλονται σε :

- 1) Κάμψη του πλοίου ως δοκός. Η κάμψη προκαλεί ομοεπίπεδες θλιπτικές και εφελκυστικές φορτίσεις στα στοιχεία της κατασκευής που είναι διατεταγμένα στο οριζόντιο επίπεδο ενώ προκαλεί μεταβαλλόμενες ορθές τάσεις στα πλευρικά ελάσματα καθώς επίσης και διατμητικές φορτίσεις. Η ισορροπία μεταξύ των καταστρωμάτων και των πλευρικών ελασμάτων εξασφαλίζεται με την ανάπτυξη διατμητικών τάσεων κατά μήκος του άξονα σύνδεσής τους. Για

το λόγο αυτό παρουσιάζεται το φαινόμενο της υστέρησης διάτμησης και έχουμε μη – γραμμικές κατανομές των τάσεων.

- 2) Φορτίσεις που είναι είτε :
  - a) Ομοιόμορφα κατανεμημένες – υγρό ή στερεό φορτίο
  - b) Γραμμικές φορτίσεις – φρακτή
  - c) Σημειακά φορτίσεις – υποστυλώματα
- 3) Έμμεσες υδροστατικές πιέσεις (εγκάρσια φόρτιση)
- 4) Ίδιο βάρος

Ανάλογες φορτίσεις ασκούνται και σε ελάσματα όπως η οροφή του διπύθμενου.

### **Τα ελάσματα των καταστρωμάτων**

Όπως και στα ελάσματα της γάστρας, έτσι και στα ελάσματα των καταστρωμάτων το μέγιστο πάχος απαιτείται σε απόσταση 0,4 L εκατέρωθεν της μέσης τομής, με σταδιακή μείωση προς τα άκρα. Στα καταστρώματα αντοχής που διαθέτουν μεγάλα ανοίγματα (φορηγά και bulk carriers), απαιτούνται σημαντικές αυξήσεις πάχους, διότι ελαττώνεται σημαντικά το μήκος της περιφέρειας της διαθέσιμης διατομής. Αυξήσεις απαιτούνται και σε περιοχές της κατασκευής όπου δρουν υψηλά τοπικά φορτία (μόνιμα ή κινητά μηχανήματα φόρτωσης, απόληξη υπερκατασκευών, άλλες ασυνέχειες κλπ.).

Το κατάστρωμα αντοχής καλείται να παραλάβει τις παρακάτω φορτίσεις :

- 1) Εφελκυσμό και θλίψη λόγω διαμήκους κάμψης του πλοίου (πρωτεύουσες τάσεις).
- 2) Βάρη μηχανημάτων, υπερκατασκευών.
- 3) Φορτίσεις λόγω κρούσης θαλάσσιου νερού σε θαλασσοταραχή (διαβροχή).
- 4) Εσωτερικές πιέσεις όταν το κατάστρωμα περικλείει δεξαμενή υγρού φορτίου (δεξαμενόπλοια).
- 5) Πρόσθετη διαμήκη φόρτιση όταν το πλοίο έχει διατοιχισμό.

Τα υπόλοιπα καταστρώματα παραλαμβάνουν αντίστοιχες φορτίσεις. Για παράδειγμα, ένα ενδιάμεσο κατάστρωμα φορηγού πλοίου εφελκύεται και θλίβεται σε βαθμό που εξαρτάται από την απόσταση του από τον ουδέτερο άξονα, φέρει κάθετες φορτίσεις λόγω του μεταφερόμενου φορτίου και τέλος και διατμητικές τάσεις. Οι διατμητικές

τάσεις μεγιστοποιούνται στον ουδέτερο άξονα της κάθε εγκάρσιας τομής του πλοίου. Μεταβάλλονται επίσης και στη διαμήκη κατεύθυνση, σύμφωνα με την απλή θεωρία κάμψης των δοκών ενώ η τέμνουσα δύναμη μεγιστοποιείται σε συγκεκριμένες αποστάσεις από τα άκρα του πλοίου για κάθε πλοίο και κατάσταση φόρτωσής του. Για κάθε εγκάρσια τομή, οι διατμητικές τάσεις έχουν μέγιστα εκεί περίπου που οι ορθές τάσεις ελαχιστοποιούνται, εφόσον βέβαια τα συγκεκριμένα καταστρώματα συμβάλλουν στη διαμήκη αντοχή.

Όπως και τα ελάσματα του εξωτερικού περιβλήματος, οι μακριές πλευρές είναι παράλληλες με τη διαμήκη κατεύθυνση του πλοίου.

Προσεκτικός σχεδιασμός απαιτείται επίσης σε περιοχές σύνδεσης υπερκατασκευών με καταστρώματα. Στις περιοχές αυτές διαχέεται φορτίο από την υπερκείμενη κατασκευή στο κατάστρωμα, που θα πρέπει να διαθέτει την απαραίτητη αντοχή. Σε περιπτώσεις που η επιλογή κατάλληλης διάταξης είναι δύσκολη, τοποθετείται ένα εύκαμπτο έλασμα που δρα ως επίθεμα στο κατάστρωμα στα πλευρικά ελάσματα της υπερκείμενης κατασκευής. Το επίθεμα παραλαμβάνει τότε την πρόσθετη φόρτιση και αποφεύγεται η συγκέντρωση τάσεων. Συμβάλλει επίσης στην παραλαβή της διαμήκου, ομοεπίπεδης φόρτισης του καταστρώματος.

Σε περιοχές του κύριου καταστρώματος μεταξύ των ανοιγμάτων των αμπαριών, επειδή η κατασκευή δεν παραλαμβάνει άμεσα διαμήκη φόρτιση λόγω κάμψης του πλοίου, επιτρέπεται η μείωση του πάχους του ελάσματος. Σε αυτές τις περιοχές της κατασκευής αναπτύσσεται όμως κατά κανόνα ένα διαξονικό εντατικό πεδίο που οφείλεται στη μεταφορά της υδροστατικής πίεσης που δρα στα εξωτερικά ελάσματα της γάστρας. Η διαμήκης φόρτιση στα ελάσματα που παραλαμβάνουν τη διαμήκη φόρτιση μεταφέρεται στα ελάσματα αυτά μέσω διατμητικών τάσεων που προκαλούν την ίδια περίπου διαμήκη παραμόρφωση σε όλο το πλάτος του πλοίου.

### **Η ενίσχυση των καταστρωμάτων**

Όταν χρησιμοποιείται διάμηκες σύστημα ενίσχυσης, η πρωτεύουσα ενίσχυση, όπως σε όλη την κατασκευή, συνίσταται σε διαμήκη εξελασμένα ενισχυτικά που τοποθετούνται σε μικρές, σταθερές ισαποστάσεις. Επειδή όμως το άνοιγμα μεταξύ των φρακτών είναι μεγάλο, απαιτείται και δευτερεύον σύστημα ενίσχυσης, που να παραλαμβάνει τα φορτία από τις πρωτεύουσες ενισχύσεις και να τα μεταφέρει στην

πλευρική κατασκευή, τις φρακτές και τον πυθμένα. Επειδή οι διατομές που χρησιμοποιούνται στο δευτερεύον σύστημα ενίσχυσης είναι πολύ πιο άκαμπτες από αυτές της πρωτεύουσας, οι μετατοπίσεις είναι πολύ μικρότερες και έτσι η κατασκευή διατηρεί τη μορφή της.

Αντίστοιχα, στο εγκάρσιο σύστημα ενίσχυσης, η πρωτεύουσα ενίσχυση του ελάσματος συνίσταται σε εγκάρσια ζυγά που τοποθετούνται σε σταθερές ισαποστάσεις που καθορίζονται από τους κανονισμούς, ίδιες με αυτές των νομέων της πλευρικής κατασκευής. Με αυτό τον τρόπο δημιουργείται μία σειρά εγκάρσιων δακτυλίων σε όλη την περιφέρεια της διατομής που διαθέτει αυξημένη αντοχή και δυσκαμψία. Επίσης, τοποθετούνται εγκάρσια ζυγά ευθυγραμμισμένα με τους ενισχυμένους νομείς, ιδίως σε δεξαμενόπλοια και bulk carriers. Στα φορτηγά πλοία τέτοιες διατάξεις δημιουργούν προβλήματα στοιβασίας του φορτίου.

Η δευτερεύουσα ενίσχυση των καταστρωμάτων με εγκάρσιο σύστημα ενίσχυσης αντίστοιχα συνίσταται σε διαμήκη ζυγά με μεγαλύτερες διαστάσεις και ακαμψία από τα εγκάρσια ζυγά.

Τα εγκάρσια ζυγά των καταστρωμάτων παραλαμβάνουν τις παρακάτω φορτίσεις :

- 1) Συνεργασία με το έλασμα στην παραλαβή ομοεπίπεδων φορτίσεων.
- 2) Συμβολή στην παραλαβή φορτίσεων κάθετα στην επιφάνεια του καταστρώματος.
- 3) Μεταφορά φορτίσεων από και προς τους νομείς.
- 4) Παραλαβή ομοεπίπεδων θλιπτικών φορτίσεων λόγω μεταφοράς της υδροστατικής και υδροδυναμικής πίεσης που ασκείται στις πλευρές του πλοίου.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΠΗΓΕΣ**

- ❖ Η εξέλιξη των πλοίων – Οδυσσέας Περαντζάκης (Φεβρουάριος 2018)  
<http://impschool.gr/ergakimeres/images/etos1314/dimotiko/st-dim/ilektr-syskeves/ploia-st3.pdf>
- ❖ Πλοίο (Φεβρουάριος 2018)  
<https://www.neo.gr/website/ergasiamathiti/88.htm>
- ❖ Πτυχιακή εργασία : Ελληνική ναυπηγική βιομηχανία ιστορία, εξέλιξη και προοπτικές – Χρήστος Ισπικούδης (Φεβρουάριος 2018)  
<https://maredu.gunet.gr/modules/document/file.php/>
- ❖ Πτυχιακή εργασία : Η ελληνόκτητη ναυτιλία κατά τους Βυζαντινούς χρόνους – Νικόλαος Τσαρτσίδης (Μάρτιος 2018)  
<https://maredu.gunet.gr/modules/document/file.php/>
- ❖ Πτυχιακή εργασία : Ναυπήγηση πλοίου – Επαμεινώνδας Κρητικός ( Μάιος 2018)  
[http://oceanis.lib.teipir.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/1365/log\\_00016.pdf?sequence=1](http://oceanis.lib.teipir.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/1365/log_00016.pdf?sequence=1)
- ❖ Τριήρης, Δρόμων, Ιστιοφόρο, Ατμόπλοιο, Σταθερωτήρες πλοίου, Επιβατηγό πλοίο – Wikipedia (Φεβρουάριος 2018)
- ❖ Η επικράτηση των ατμόπλοιων – Greek Shipping Miracle (Μάρτιος 2018)  
<http://www.greekshippingmiracle.org/el/history/1900.html>
- ❖ Η ιστορία των Λίμπερτυ μέσα από τα μάτια ενός Έλληνα ναυτικού – Ναυτικά χρονικά (Απρίλιος 2018)  
<http://www.naftikachronika.gr/2017/01/22/ta-limparty-mou-fanikane-yperokeania/>
- ❖ Βιβλίο : Ναυτική Τέχνη – Ευγενίδειο ίδρυμα (Απρίλιος 2018)  
[http://www.pi-schools.gr/lessons/tee/maritime/FILES/biblia/biblia/naytikh\\_texni\\_a/kef03.pdf](http://www.pi-schools.gr/lessons/tee/maritime/FILES/biblia/biblia/naytikh_texni_a/kef03.pdf)
- ❖ Βιβλίο : Ευστάθεια - Κοπώσεις  
Ιωάννης Εμ. Κολλινιάτης Β' έκδοση 2016
- ❖ Βιβλίο : Η μεταλλική κατασκευή του πλοίου  
Πέτρος Α. Καρύδης Β' έκδοση 2017