

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ  
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΣΤ3

*ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ*

" Κώδικες Ηλεκτρονικού Υπολογιστή για  
επίλυση προβλημάτων διακίνησης  
ρευστών εντός σωληνώσεων και  
συστημάτων άντλησης σε πλοία "

ΓΙΩΡΓΟΣ ΤΣΟΥΜΠΑΣΙΔΗΣ  
ΓΙΩΡΓΟΣ ΤΟΚΟΥΡΟΓΛΟΥ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Α.ΤΣΟΡΜΠΑΤΖΙΔΗΣ, ΑΕΡΟΝΑΥΠΗΓΟΣ

Ν.ΜΗΧΑΝΙΩΝΑ 2013

## Περίληψη

Ο σκοπός της πτυχιακής εργασίας είναι η παρουσίαση λογισμικού και κώδικα που απαιτείται για την επίλυση προβλημάτων διακίνησης ρευστών εντός σωληνώσεων και συστημάτων άντλησης σε πλοία. Αρχικά στο κεφάλαιο 1 γίνεται μία εισαγωγή για τις κατηγορίες πλοίων, τα βασικά μέρη σχεδίασης ενός πλοίου και για τις δεξαμενές των πλοίων.

Η Μηχανική των Ρευστών η οποία ανήκει στην ευρύτερη ενότητα των Φυσικών επιστημών, αναλύεται στο δεύτερο κεφάλαιο. Στο ίδιο κεφάλαιο αναπτύσσονται και οι έννοιες της ροής ρευστού γενικότερα και ειδικότερα γίνεται μία ανάλυση της ροής των ασυμπίεστων ρευστών σε σωλήνες και ο μαθηματικός υπολογισμός αυτής.

Συνεχίζεται η εργασία με την ανάπτυξη του θέματος των σωληνώσεων. Θα μας απασχολήσουν αρχικά τα υλικά κατασκευής και επειδή το πλοίο αποτελεί ένα σύστημα με σχετική αυτονομία, μελετούμε πιο λεπτομερειακά τα δίκτυα που σχηματίζουν στα πλοία.

Στο τέταρτο κεφάλαιο εξηγείται γιατί χωρίς την ύπαρξη της αντλίας, η ροή του υγρού είναι αδύνατη, ειδικά όταν οι δύο χώροι έχουν ίδιο υψόμετρο και πίεση. Παρουσιάζεται η συνεργασία της αντλίας με το δίκτυο και αναφέρονται περιπτώσεις δικτύων στα πλοία.

Εν κατακλείδι, στο τελευταίο κεφάλαιο, αρχικά επιλύονται κάποια υποδειγματικά προβλήματα περιπτώσεων με απλούς υπολογισμούς και τύπους, οι οποίοι μπορούν να γίνουν σε οποιοδήποτε υπολογιστικό πρόγραμμα, και στη συνέχεια γίνεται μια μικρή παρουσίαση του λογισμικού PIPE της ARL, το οποίο είναι κατάλληλο για το σχηματισμό δικτύων σωληνώσεων και αντλιών και περιπτώσεων χρήσης.

## Περιεχόμενα

Περίληψη.....	1
Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή .....	5
1.1 Κατηγορίες πλοίων.....	5
1.2 Βασικά μέρη σχεδίασης ενός πλοίου.....	8
1.3 Δεξαμενές πλοίου .....	9
1.3.1 Δεξαμενή φορτίου (Cargo Tank) .....	9
1.3.2 Δεξαμενή έρματος (Ballast Tank) .....	10
1.3.3 Δεξαμενή καύσιμου πετρελαίου (Fuel / Diesel Oil Tank) .....	11
1.3.4 Δεξαμενή Λαδιού Λίπανσης (Lube ή Lubricant Oil Tank).....	11
1.3.5 Δεξαμενή Γλυκού Νερού (Fresh Water Tank) .....	11
1.3.6 Δεξαμενή Ζυγοστάθμισης (Trimming Tank).....	12
1.3.7 Δεξαμενή κύτους (Deer Tank) .....	12
Κεφάλαιο 2 Μηχανική των Ρευστών.....	13
2.1 Γενικά.....	13
2.2 Ροή ρευστού.....	14
2.2.1 Βασικές έννοιες .....	14
2.2.2 Είδη ροής.....	16
2.3 Ροή ασυμπίεστων ρευστών σε σωλήνες.....	19
2.4 Υπολογισμός ροής σε σωλήνες .....	20
Κεφάλαιο 3 Σωλήνες .....	22
3.1 Γενικά.....	22
3.2 Υλικά κατασκευή σωλήνων .....	24
3.2.1 Σωλήνες από χάλυβα .....	24
3.2.2 Σωλήνες από χυτοσίδηρο.....	27
3.2.3 Σωλήνες από χαλκό .....	27
3.2.4 Σωλήνες από άλλα μέταλλα.....	28
3.2.5 Πλαστικοί σωλήνες.....	28
3.2.6 Σωλήνες από άλλα υλικά .....	29
3.3 Δίκτυα σωληνώσεων σε πλοία.....	30
3.3.1 Δίκτυα νερού .....	30
3.3.2 Δίκτυο κυτών .....	32

3.3.3 Δίκτυο σεντινών .....	32
3.3.4 Δίκτυο καυσίμων.....	32
3.3.5 Δίκτυο λιπάνσεως.....	32
3.3.6 Δίκτυα αερισμού- εξαερισμού .....	32
Κεφάλαιο 4 Συστήματα Άντλησης.....	33
4.1 Γενικά για τις αντλίες .....	33
4.2 Συνεργασία αντλίας με δίκτυο .....	35
4.3 Περιπτώσεις δικτύων σε πλοία.....	42
Κεφάλαιο 5 Χρήση Υπολογιστικών Προγραμμάτων .....	44
5.1 Επίλυση Προβλημάτων με Υπολογιστικά Φύλλα.....	44
5.1.1 Σύνδεση σωλήνων σε σειρά.....	44
5.1.2 Παράλληλη σύνδεση σωλήνων.....	45
5.1.3 Πρόβλημα των τριών δεξαμενών.....	46
5.2 Επίλυση προβλημάτων με το λογισμικό <i>PIPE</i> της <i>ARL</i> .....	47

## Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή

### 1.1 Κατηγορίες πλοίων

Είναι γνωστό σήμερα σε όλους ότι η μεταφορά των εμπορευμάτων από ένα σημείο της γης σε ένα άλλο γίνεται κυρίως μέσα από τη θάλασσα, με κάθε μορφής και μεγέθους πλοία. Αλλά και η μεταφορά ανθρώπων επίσης, κατά μεγάλο μέρος, γίνεται με τα πλοία.

Η ιστορία των λεγόμενων «θαλασίων μεταφορών» έχει την αρχή της στην αρχαιότητα, στην εποχή του «μονόξυλου». Οι θαλάσσιες μεταφορές εξελίχθηκαν και αναπτύχθηκαν, στα χρόνια που πέρασαν, ώστε στις μέρες μας να αποτελούν μία γιγαντιαία οικονομική και κοινωνική ανθρώπινη δραστηριότητα. Στην αρχή, γινόταν σε τοπικό επίπεδο για την κάλυψη των εμπορικών αναγκών μιας συγκεκριμένης χώρας. Αργότερα όμως ξεπέρασαν τα συγκεκριμένα γεωγραφικά όρια της χώρας και επεκτάθηκαν σε ευρύτερη περιοχή αρχικά, για να καταλήξουν τελικά στη διεθνή μορφή που διατηρούν ακόμα και σήμερα.

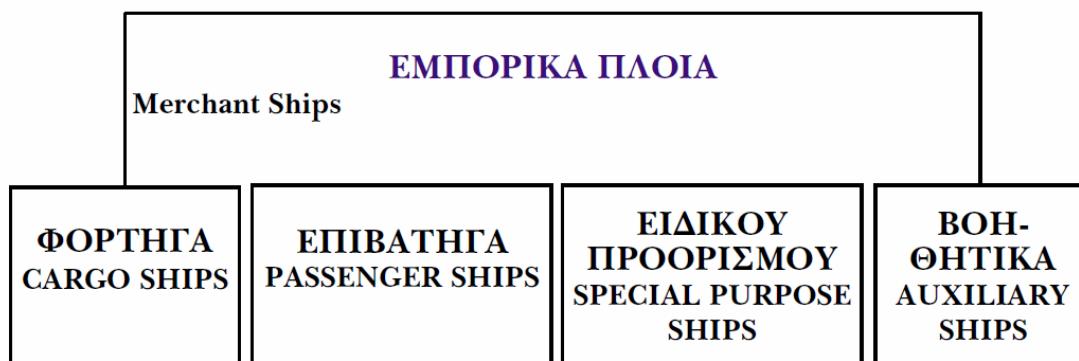
Παρατηρώντας, ιστορικά τουλάχιστον, τον μεγάλο πρωταγωνιστή των θαλασίων μεταφορών, το πλοίο, διαπιστώνουμε εύκολα ότι και αυτό ακολούθησε τη φυσιολογική ροή της γενικότερης εξέλιξης, προσαρμοζόμενο και βελτιούμενο, σύμφωνα με την τεχνολογία για να εξυπηρετούνται καλύτερα και οι ανθρώπινες ανάγκες.

Η μορφή, το μέγεθος και ο ειδικός εξοπλισμός των πλοίων είναι τα κυριότερα σημεία πάνω στα οποία εντοπίζονται οι σπουδαιότερες διαχρονικές και μη αλλαγές, αλλά και οι βασικές διαφοροποιήσεις τους. Τα ίδια άλλωστε στοιχεία είναι αυτά που χαρακτηρίζουν τον τύπο ή την κατηγορία του πλοίου, γεγονός που μας δίνει και τη δυνατότητα να τα κατατάξουμε σε μικρότερες ομοειδείς ομάδες προκειμένου να τα μελετήσουμε καλύτερα.

Να σημειωθεί ακόμα ότι η κατά κάποιο τρόπο διαφοροποίηση των πλοίων σε πολλές και διαφορετικές κατηγορίες και τύπους, ήρθε και ως φυσιολογικό αποτέλεσμα της τεράστιας βιομηχανικής ανάπτυξης, τουλάχιστον των τελευταίων ετών στην οποία οφείλεται η μεγάλη ποικιλία των βιομηχανικών προϊόντων που πρέπει ή και μπορούν να μεταφερθούν με τα πλοία. Τα προϊόντα αυτά μπορεί να είναι πρώτες ύλες, υλικά λειτουργίας και συντήρησης των βιομηχανικών μονάδων και βέβαια τα παραγόμενα προϊόντα που προορίζονται για το εμπόριο και την τελική κατανάλωση τους από τον άνθρωπο.

Συμπερασματικά, διάφοροι πολύ ουσιώδεις λόγοι (ανθρώπινες ανάγκες, βιομηχανική ανάπτυξη, τεχνολογική εξέλιξη, οικονομική οργάνωση και διαχείριση της ναυτιλιακής επιχείρησης κτλ.) συντέλεσαν στη δημιουργία διαφόρων τύπων πλοίων, τα οποία μπορούμε να κατατάξουμε σε κατηγορίες λαμβάνοντας υπόψη κριτήρια που έχουν σχέση με το υλικό κατασκευής, το είδος και την περιοχή μεταφορών, το μέσο πρόωσης και, κυρίως, το σκοπό και την αποστολή που εξυπηρετούν. [1]

Μια πρώτη γενική κατάταξη των εμπορικών πλοίων είναι αυτή που τα διαχωρίζει σε τέσσερις μεγάλες κατηγορίες, όπως φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 1.1

Κύριος διαχωρισμός των Εμπορικών Πλοίων

Το μεγαλύτερο μέρος των πλοίων που χρησιμοποιούνται αποκλειστικά στον τομέα των θαλάσσιων μεταφορών είναι τα Φορτηγά πλοία. Όταν λέμε Φορτηγό πλοίο είναι εκείνο το οποίο μεταφέρει φορτία κάθε είδους και κάθε μορφής (στερεά, υγρά, υγροποιημένα, χύμα ή τυποποιημένα κτλ.) εκτός από επιβάτες με ναύλο. Αυτός είναι, κατά κάποιον τρόπο, ο τυπικός ή νομικός χαρακτηρισμός της γενικής έννοιας Φορτηγού πλοίου.



Εικόνα 1.2

Φορτηγά πλοία

Τα επιβατικά πλοία είναι η δεύτερη μεγάλη κατηγορία πλοίων, ύστερα από τα φορτηγά, τουλάχιστο σε αριθμό πλοίων. Αυτά τα πλοία έχουν ως κύριο προορισμό τους τη μεταφορά

κυρίως επιβατών, ενώ μερικά από αυτά είναι έτσι διαμορφωμένα, ώστε να μεταφέρουν οχήματα και ακόμα μικρές ποσότητες εμπορευμάτων.



Εικόνα 1.3

#### Επιβατικό πλοίο

Τα αλιευτικά πλοία (Ψαράδικα, Fishing vessel) ασχολούνται αποκλειστικά με το ψάρεμα στη θάλασσα. Έχουν τη μορφή κλασικών φορτηγών πλοίων, μικρού μεγέθους και είναι εφοδιασμένα με ειδικό εξοπλισμό, ώστε να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις του προορισμού τους.



Εικόνα 1.3

#### Αλιευτικό πλοίο

Τα βοηθητικά πλοία και τα πλωτά ναυπηγήματα, δεν ασχολούνται άμεσα με τις θαλάσσιες μεταφορές, όμως συμμετέχουν στο γενικότερο σύστημα του θαλάσσιου εμπορίου και μεταφορών, προσφέροντας, κατά κάποιο σαφή τρόπο, «βοηθητικές» υπηρεσίες στα πλοία εκείνα που πραγματοποιούν τη μεταφορά επιβατών ή εμπορευμάτων.

Τέτοια πλοία είναι τα Ρυμουλκά, τα Ναυαγοσωστικά, τα Λιμνόπλοια και τα Ποταμόπλοια, οι Πλοηγίδες, οι Βυθοκόροι, τα Παγοθραυστικά κτλ.





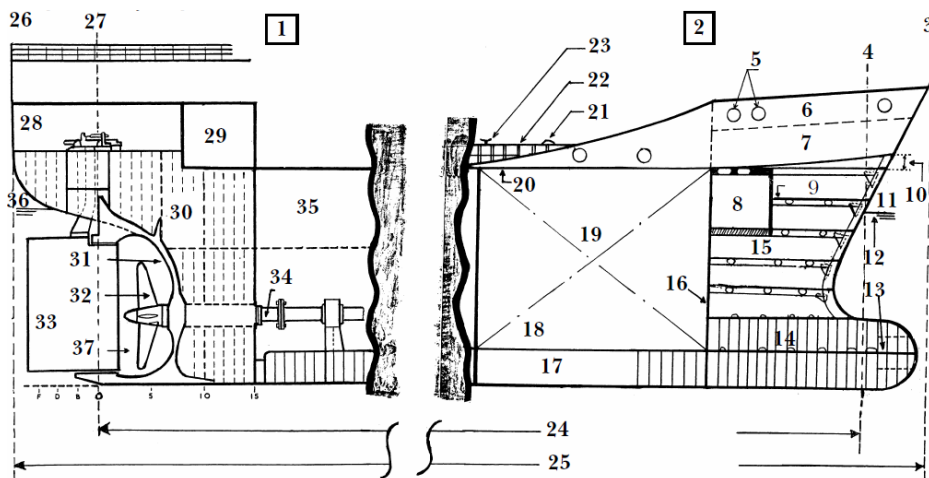
Εικόνα 1.4

Ναυαγοσωστικό και ρυμουλκό πλοίο

## 1.2 Βασικά μέρη σχεδίασης ενός πλοίου

Μέσα στο πλαίσιο τόσο της σχεδίασης και της κατασκευής του πλοίου, όσο και της παραπέρα αποδοτικής εκμετάλλευσής του, είναι αναγκαία η ύπαρξη μιας ειδικής ονοματολογίας με συγκεκριμένους όρους και έννοιες, προκειμένου να καθορίζονται με σαφήνεια και ακρίβεια τα διάφορα μέρη και οι χώροι του πλοίου.

Έχοντας ως δεδομένα, τουλάχιστον, το ειδικό και ιδιόμορφο σχήμα του πλοίου, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι πρέπει να τηρούνται αυστηρά κάποιοι συγκεκριμένοι κανόνες που έχουν θεσπιστεί ειδικά γι' αυτούς τους σκοπούς, έτσι ώστε η αποτελεσματικότητα των παραπάνω να είναι πλήρης και απόλυτη. [2]



Εικόνα 1.5

Σχηματική παράσταση του Πλωρίου και του Πρυμνιού τμήματος ενός πλοίου



1. Πρύμη 2. Πλώρη 3. Στείρα 4. Πλωριά κάθετη 5. Όκια κάβων 6. Παραπέτο 7. Αποθήκες 8. Φρεάτιο αλυσίδων αγκυρών 9. Ενισχύσεις 10. Σιμότητα 11. Ίσαλος 13. Βολβοειδής πλώρη 14. Εγκάρσιες ενισχύσεις 15. Πλωριά δεξαμενή ζυγοστάθμισης 16. Στεγανή φρακτή 17. Διπύθμενο 18. Πανιόλο αμπαριού 19. Αμπάρι 20. Επίπεδο κυρίου καταστρώματος 21. Μάτια 22. Ρέλια 23. Κοτσανέλο 24. Μήκος μεταξύ καθέτων 25. Ολικό μήκος πλοίου 26. Ποδόστημα 27. Πρυμνιά κάθετη 28. Μηχανισμός πηδαλίου 29. Δεξαμενή γλυκού νερού 30. Πρυμνιά δεξαμενή ζυγοστάθμισης 31. Ελικόστημα 32. Έλικα 33. Πτερύγιο πηδαλίου 34. Άξονας έλικας 35. Μηχανοστάσιο 37. Κλωβός έλικας

### 1.3 Δεξαμενές πλοίου

Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται κυρίως στις δεξαμενές πλοίου, στον τρόπο μεταφοράς μέσω των σωληνώσεων και στις αντλίες. Γενικά, όταν λέμε «Δεξαμενή» εννοούμε ένα στεγανό χώρο μέσα στον οποίο μπορεί να αποθηκευτεί ένα οποιοδήποτε υγρό. Στο πλοίο υπάρχουν αρκετές τέτοιες δεξαμενές, για διάφορες χρήσεις, όπως για την αποθήκευση και φύλαξη πετρελαίων, λαδιών, πόσιμου νερού, θαλασσέριματος κτλ.

Ειδικά μάλιστα για τα Δεξαμενόπλοια (πετρελαιοφόρα, χημικά, υδροφόρα κτλ.) ακόμα και τα αμπάρια όπου φορτώνονται τα φορτία τους, ονομάζονται «Δεξαμενές». Τα υγρά κατευθύνονται, προς και από τις δεξαμενές, μέσα από ένα δίκτυο σωληνώσεων και με τη βοήθεια ειδικών αντλιών που υπάρχουν στο πλοίο γι' αυτό το σκοπό.

Γενικά, όλες οι δεξαμενές πλοίων διαθέτουν και «εκτονωτικά» ανοίγματα (εξαεριστικά, όπως λέγονται) για να βγαίνει προς τα έξω ο αέρας, όταν αυτές γεμίζονται με το υγρό, καθώς επίσης και η υπερχειλίση του υγρού. Όλα τα εξαεριστικά καταλήγουν πάνω στο κατάστρωμα για να μπορεί να ελέγχεται η συγκεκριμένη λειτουργία τους.

Επίσης, όλες οι δεξαμενές διαθέτουν και «μετρητή» (ένας κατακόρυφος σωλήνας από το ύψος του κυρίου καταστρώματος ή άλλου σταθερού σημείου μέχρι περίπου τον πυθμένα της δεξαμενής), για να υπολογίζουμε κάθε φορά το ύψος του υγρού που υπάρχει μέσα στη δεξαμενή και, στη συνέχεια, με τη βοήθεια ειδικού πίνακα (που έχει ήδη ετοιμάσει ο ναυπηγός) να βρίσκει την ποσότητα του νερού. [3]

Ανάλογα με τη χρήση τους, αυτές οι δεξαμενές του πλοίου μπορεί να είναι:

#### 1.3.1 Δεξαμενή φορτίου (Cargo Tank)

Είναι η δεξαμενή η οποία χρησιμοποιείται για την αποθήκευση του υγρού (χύμα) φορτίου (το αμπάρι δηλαδή) και υπάρχει αποκλειστικά στα Δεξαμενόπλοια, τα πλοία δηλαδή που μεταφέρουν πετρέλαιο και παράγωγα πετρελαίου, χημικά σε υγρή κατάσταση υγροποιημένα αέρια, νερό, λάδι, κρασί, κτλ.

Τα φορτία κατευθύνονται προς αυτές τις δεξαμενές μέσα από αντίστοιχες σωληνώσεις και με τη βοήθεια αντλιών των εγκαταστάσεων της ξηράς, όπου γίνεται η φόρτωση.

Αντίθετα, η εκφόρτωση αυτών των δεξαμενών γίνεται μέσα από το δίκτυο σωληνώσεων του πλοίου και με τη βοήθεια των ειδικών αντλιών που διαθέτει απαραίτητα το πλοίο και οι οποίες λέγονται αντλίες φορτίου (Cargo pumps).

### 1.3.2 Δεξαμενή έρματος (Ballast Tank)

Είναι δεξαμενή στην οποία «φορτώνουμε» θαλάσσερμα (σαβούρα, νερό δηλαδή θαλασσινό) με σκοπό να αυξήσουμε το βάρος του πλοίου για να βυθιστεί περισσότερο στο νερό. Αυτή η ενέργεια λέγεται «ερματισμός» (στην απλή γλώσσα του πλοίου λέγεται «σαβούρωμα»).

Ο ερματισμός του πλοίου γίνεται με σκοπό να βαρύνει το πλοίο, να βυθιστεί η γάστρα του περισσότερο στο νερό κι ακόμα, να βυθιστούν περισσότερο η έλικα και το πηδάλιο, ώστε να ανταποκρίνονται και να αποδίδουν καλύτερα. Γι' αυτό, όπως είναι ευνόητο, ο ερματισμός είναι οπωσδήποτε απαραίτητος όταν το πλοίο πρόκειται να ταξιδέψει χωρίς φορτίο, με σκοπό να βαρύνει και να «πατήσει» περισσότερο στο νερό και να βελτιωθεί η όλη συμπεριφορά του πάνω στο νερό.

Για το σκοπό αυτό, υπάρχουν στο πλοίο πολλές τέτοιες δεξαμενές, οι οποίες είναι μοιρασμένες στο σκάφος με ανάλογο και αρμονικό τρόπο, ώστε παρόμοια να είναι και η βύθιση του πλοίου. Η συνολική χωρητικότητά τους μπορεί να ξεπερνάει ακόμα και το ένα τρίτο της συνολικής μεταφορικής ικανότητας του πλοίου.

Δεξαμενές έρματος, με την πραγματική έννοια του όρου, διαθέτουν μόνο τα Φορτηγά πλοία ξηρού φορτίου και τα LPG/LNG, ενώ τα Δεξαμενόπλοια, όταν χρειάζεται, σαβουρώνουν κάποιο ή κάποια από τα αμπάρια τους, αφού προηγουμένως τα καθαρίσουν και τα πλύνουν καλά, ώστε να μην υπάρχουν σε αυτά υπολείμματα φορτίων.

Οι δεξαμενές έρματος των Φορτηγών πλοίων είναι:

**Οι δεξαμενές των διπυθμένων (Double Bottom Tank):** Είναι ένας κενός χώρος που παρεμβάλλεται ανάμεσα στον εξωτερικό πυθμένα του πλοίου και στον πυθμένα των αμπαριών. Ο χώρος αυτός προορίζεται κατ αρχήν να προστατεύει το πλοίο από την εισροή νερού προς τα αμπάρια του, σε περίπτωση ρήγματος στον εξωτερικό πυθμένα, από προσάραξη ή πρόσκρουση. Πέρα όμως απ' αυτό, ο χώρος αυτός είναι τελικά χωρισμένος με στεγανά διαφράγματα κατά το διάμηκες και κατά το εγκάρσιο.

**Οι πάνω δεξαμενές (Upper Wing Tank):** Αυτές βρίσκονται στο πάνω μέρος του εσωτερικού των αμπαριών και ακριβώς κάτω από το κύριο κατάστρωμα, αριστερά και δεξιά του σκάφους. Σε πολλά πλοία, αυτές ειδικά οι δεξαμενές χρησιμοποιούνται και για φόρτωση ελαφρών φορτίων, κυρίως σιτηρών. Για το λόγο αυτό διαθέτουν εισόδους - ανθρωποθυρίδες πάνω στο κατάστρωμα για να φορτώνεται το σιτηρό, καθώς και εξόδους - ανθρωποθυρίδες στη βάση τους, ώστε να ρέει το φορτίο προς το αμπάρι.

**Οι πλευρικές δεξαμενές (Side Tank):** Τέτοιες δεξαμενές μπορεί να υπάρχουν σε μερικά πλοία παλαιότερης κυρίως τεχνολογίας και όχι σε όλο το μήκος τους, αλλά σε μία ή και σε δύο θέσεις πάνω στο κυρίως σκάφος. Μια πλευρική δεξαμενή ξεκινάει από τα διπύθμενα, συνεχίζει σε όλο το (πλαϊνό) ύψος του αμπαριού προς τα πάνω και ενώνεται με την πάνω δεξαμενή έρματος, φτιάχνοντας έτσι μια ενιαία δεξαμενή από τον πυθμένα μέχρι το κατάστρωμα (ομοιόμορφα και ανάλογα, μία προς τα αριστερά και μία προς τα δεξιά).

**Δεξαμενές ζυγοστάθμισης** (αναλύονται παρακάτω).

Όλες οι δεξαμενές έρματος ερματίζονται (σαβουρώνονται) και αφερματίζονται (ξεσαβουρώνονται) με τη βοήθεια ειδικής αντλίας, η οποία λέγεται «αντλία έρματος» (Ballast pump). Μια μικρή εξαίρεση μόνο υπάρχει στο ξεσαβούρωμα των «πάνω δεξαμενών» το οποίο γίνεται χωρίς τη βοήθεια αντλίας αλλά, απλώς, με τη βαρύτητα του νερού (By Gravity). Αυτό γίνεται εύκολα γιατί οι δεξαμενές αυτές βρίσκονται πάντα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, ακόμα κι όταν το πλοίο είναι φορτωμένο, οπότε πολύ εύκολα το νερό ρέει προς τα έξω.

### **1.3.3 Δεξαμενή καύσιμου πετρελαίου (Fuel / Diesel Oil Tank)**

Είναι δεξαμενή μέσα στην οποία αποθηκεύεται το πετρέλαιο που χρησιμοποιείται ως καύσιμο για τις μηχανές του πλοίου. Υπάρχουν χωριστές δεξαμενές για την αποθήκευση του Fuel, το οποίο καταναλώνει η κυρία μηχανή και άλλες για το Diesel το οποίο χρειάζεται για τη λειτουργία των ηλεκτρομηχανών.

Για το fuel συνήθως χρησιμοποιούνται δεξαμενές των διπυθμένων και ειδικά από τη σειρά των κεντρικών δεξαμενών. Ενώ, οι δεξαμενές του diesel, επειδή συνήθως είναι και μικρότερες (διότι η κατανάλωση του diesel είναι ασύγκριτα μικρότερη από την αντίστοιχη του fuel) συνήθως βρίσκονται μέσα στο μηχανοστάσιο.

Τα πετρέλαια κατευθύνονται προς τις αντίστοιχες δεξαμενές μέσα από ειδική σωλήνωση και με τη βοήθεια αντλίας που διαθέτει το σκάφος ή η εγκατάσταση ξηράς από όπου τα προμηθευόμαστε.

Στη συνέχεια, από τις δεξαμενές τους μέχρι τη θέση κατανάλωσης, οδηγούνται με τη βοήθεια των ειδικών «αντλιών πετρελαίου» του πλοίου μας.

Να τονίσουμε εδώ ότι ειδικά οι δεξαμενές των διπυθμένων που προορίζονται για το fuel έχουν στο εσωτερικό τους και ειδικές γραμμές σωληνώσεων (σερπαντίνες, όπως λέγονται στη γλώσσα του πλοίου), μέσα από τις οποίες περνάει ατμός για να ζεστάνει το πετρέλαιο της δεξαμενής, ώστε η αντλία πετρελαίου, που βρίσκεται στο μηχανοστάσιο, να μπορεί να το «τραβήξει» με ευκολία και να το φέρει κοντά στις εγκαταστάσεις κατανάλωσης.

Όπως είναι γνωστό, όταν τα υγρά θερμαίνονται, διαστέλλονται και κατ' επέκταση «αραιώνουν», οπότε είναι ευκολότερη η μετακίνησή τους με τις αντλίες.

### **1.3.4 Δεξαμενή Λαδιού Λίπανσης (Lube ή Lubricant Oil Tank)**

Είναι δεξαμενή, μάλλον μικρή, η οποία βρίσκεται μέσα στο μηχανοστάσιο και στην οποία αποθηκεύεται το λάδι που χρησιμοποιείται για τη λίπανση των μηχανών. Όταν χρησιμοποιούνται περισσότερα λάδια, είναι ευνόητο ότι θα υπάρχουν αντίστοιχα και περισσότερες τέτοιες δεξαμενές.

### **1.3.5 Δεξαμενή Γλυκού Νερού (Fresh Water Tank)**

Είναι δεξαμενή, η οποία συνήθως βρίσκεται στους πρυμνιούς χώρους του μηχανοστασίου και χρησιμεύει για την αποθήκευση του γλυκού νερού που είναι απαραίτητο κυρίως για τις ανάγκες των ανθρώπων που επιβαίνουν στο πλοίο, αλλά και για ορισμένες λειτουργίες και χρήσεις του μηχανοστασίου.

Συχνά υπάρχουν δύο (η και περισσότερες) διαφορετικές δεξαμενές γλυκού νερού, ώστε τουλάχιστον το πόσιμο νερό να αποθηκεύεται σε χωριστή δεξαμενή από το νερό των άλλων χρήσεων (νερό «λάτρως», όπως λέγεται αυτό).

### **1.3.6 Δεξαμενή Ζυγοστάθμισης (Trimming Tank)**

Είναι δεξαμενή έρματος, η οποία όμως βρίσκεται σε τέτοια θέση στο πλοίο ώστε, όταν βάζουμε έρμα (νερό - σαβούρα), να επηρεάζεται αισθητά η κλίση του πλοίου. Ακριβώς δε γι' αυτό λέγεται και «Δεξαμενή ζυγοστάθμισης».

Όλα τα πλοία διαθέτουν δύο τέτοιες δεξαμενές στα άκρα τους, μία στην πλώρη και μία στην πρύμη, οι οποίες ονομάζονται αντίστοιχα «**Πλωριά δεξαμενή ζυγοστάθμισης**» (Fore Peak Tank) και «**Πρυμιά δεξαμενή ζυγοστάθμισης**» (After Peak Tank).

Οι δεξαμενές αυτές, κατ' αρχήν, χρησιμοποιούνται κανονικά ως δεξαμενές έρματος, σε συνδυασμό και με τις άλλες δεξαμενές έρματος του πλοίου. Όμως, επειδή βρίσκονται στα ακραία σημεία του πλοίου, και οποιαδήποτε πρόσθεση ή αφαίρεση βάρους σε αυτές επηρεάζει έντονα και αισθητά την αλλαγή διαγωγής του πλοίου, γι' αυτό και τις χρησιμοποιούμε όταν θέλουμε να κάνουμε αισθητή αλλαγή στα ακραία βυθίσματα του πλοίου. Επειδή δε η θέση τους είναι πάνω στον κεντρικό διαμήκη άξονα του πλοίου, το άδειασμα ή το γέμισμά τους δεν επηρεάζει καθόλου την εγκάρσια κλίση του πλοίου.

### **1.3.7 Δεξαμενή κύτους (Deep Tank)**

Είναι κατά βάση μία δεξαμενή φορτίου, η οποία όμως υπάρχει στο Φορτηγό πλοίο και όχι σε Δεξαμενόπλοιο.

Αρκετά φορτηγά πλοία, κυρίως παλαιότερης τεχνολογίας αλλά και σημερινά, που ασχολούνται στη μεταφορά «Γενικών φορτίων» διαθέτουν μέσα στα αμπάρια τους δεξαμενές μικρού σχετικά κυβισμού, στις οποίες μπορούν να φορτώνουν μικρές ποσότητες κυρίως ειδικών υγρών φορτίων (Special Liquid Cargoes) παράλληλα με το ξηρό φορτίο του υπόλοιπου αμπαριού.

Οι δεξαμενές αυτές, επειδή ακριβώς είναι εγκατεστημένες μέσα στο αμπάρι, λέγονται και «Δεξαμενές κύτους». Πέρα δε απ' αυτά, για τη φόρτωση και εκφόρτωση των φορτίων τους, διατίθεται ειδική εγκατάσταση (σωληνώσεις, αντλία κτλ.), όπως και στις δεξαμενές φορτίου του Δεξαμενόπλοιου.

## Κεφάλαιο 2 Μηχανική των Ρευστών

### 2.1 Γενικά

Η Μηχανική Ρευστών ανήκει στην ευρύτερη ενότητα των Φυσικών επιστημών. Εξελίχθηκε ως ανεξάρτητος τεχνικός κλάδος με σημαντικές εφαρμογές σε κάθε τομέα της παραγωγικής δραστηριότητας και ισχυρή διασύνδεση με άλλους επιστημονικούς κλάδους (θερμοδυναμική, μετάδοση θερμότητας, υδρολογία, μετεωρολογία, ναυπηγία, ιατρική κ.α.).

Ασχολείται με τα φαινόμενα που συναντώνται στα ρευστά υλικά σώματα. Στο άκουσμα της λέξης ρευστό έρχονται στο νου μας τα υγρά και τα αέρια. Πράγματι, ρευστό θεωρείται μια ουσία που έχει την ιδιότητα να ρέει, ιδιότητα που σαφώς έχουν τα υγρά και τα αέρια. Τα υγρά ρέουν και λαμβάνουν το σχήμα του σωλήνα ή δοχείου, στο οποίο τοποθετούνται, έχοντας σταθερό όγκο. Τα αέρια δεν έχουν σταθερό όγκο και καταλαμβάνουν εξ ολοκλήρου τον όγκο του δοχείου στο οποίο βρίσκονται. Η μηχανική ασχολείται, λοιπόν, με τα ρευστά σώματα όταν αυτά βρίσκονται σε μακροσκοπική ισορροπία (**στατική των ρευστών**) και, κυρίως, όταν αυτά ρέουν (**δυναμική των ρευστών**).

Η στατική των ρευστών, μας επιτρέπει να κατανοήσουμε σημαντικές ιδιότητες και φαινόμενα (όπως την ατμοσφαιρική και υδροστατική πίεση, την άνωση και τις δυνάμεις που ασκούν τα ρευστά), να αντιμετωπίσουμε πρακτικά προβλήματα και να αξιοποιήσουμε τα συμπεράσματά μας σε πολλές εφαρμογές όπως μανόμετρα, υδραυλικά πιεστήρια, διαχωριστές βαρύτητας κ.λπ.).

Η δυναμική των ρευστών, αποτελεί τον πυρήνα των ζητημάτων που σχετίζονται με τη μεταφορά της μάζας. Και σε οποιαδήποτε παραγωγική διαδικασία, τα δίκτυα διακίνησης υγρών και αερίων αποτελούν σημαντική τεχνική παράμετρο. Η κατανόηση της συμπεριφοράς των ρευστών είναι απαραίτητα για την αντιμετώπιση προβλημάτων σχετικά με τη ροή των ρευστών στους αγωγούς, τη χρήση αντλιών, αεροσυμπιεστών και άλλου σχετικού εξοπλισμού διακίνησης των ρευστών. Παράλληλα, μας διευκολύνει να κατανοήσουμε τις διεργασίες διαχωρισμού που βασίζονται στη διάχυση και μεταφορά μάζας, στις αεροδυναμικές και υδροδυναμικές διεργασίες κατά την κίνηση στερεών μέσα σε ρευστά (πλοία, αυτοκίνητα, αεροπλάνα κ.λπ.), καθώς επίσης και διεργασίες που σχετίζονται με τη μετάδοση θερμότητας.

Το πεδίο της Μηχανικής των Ρευστών είναι ευρύτατο και αγγίζει σχεδόν κάθε ανθρώπινη προσπάθεια. Οι επιστήμες της μετεωρολογίας, της φυσικής ωκεανογραφίας και της υδρολογίας ασχολούνται με τις φυσικές ροές του νερού και του αέρα. Η ιατρική με τη ροή του αέρα (μελέτη του αναπνευστικού συστήματος), με την κυκλοφορία του αίματος (αιμοδυναμική) κ.α.. Όλα τα προβλήματα καύσεως περιλαμβάνουν τη διακίνηση ρευστών, όπως επίσης τα πιο κλασικά προβλήματα αρδεύσεως, του ελέγχου των πλημμυρών, της παροχής νερού, της στεγανώσεως, της διαθέσεως των λυμάτων, της διακίνησης του πετρελαίου και του φυσικού αερίου.

Η σημασία των ρευστών για τον τομέα της ναυτιλίας είναι τεράστια. Εκτός από τα ζητήματα που σχετίζονται με την άνωση, την πλεύση και την κίνηση του πλοίου στη θάλασσα, το ίδιο το πλοίο αποτελεί μια σχετικά αυτόνομη παραγωγική μονάδα, στην οποία συναντάμε πολλά είδη ρευστών (νερό διαφόρων χρήσεων, καύσιμα, λάδια, υδρατμό, αέρα κ.λπ.). Οι σωληνώσεις και τα μηχανήματα διακινήσεως αυτών των ρευστών δεν περιορίζονται μόνο στο μηχανοστάσιο, αλλά εκτείνονται σε όλο το πλοίο. Η μελέτη και η κατανόηση επομένως της συμπεριφοράς των ρευστών είναι εξαιρετικά σημαντική για το Μηχανικό.

## 2.2 Ροή ρευστού

Ο Ηράκλειτος παίρνει σαν παράδειγμα τη ροή του ποταμού για να εκφράσει τις διαλεκτικές απόψεις του περί αέναης κινήσεως και αλλαγής. Το φαινόμενο της ροής προσφέρεται άμεσα και καθημερινά στην ανθρώπινη εμπειρία. Σπάνια στη φύση συναντάμε τα δύο σημαντικότερα ρευστά του πλανήτη μας σε κατάσταση στατικής ισορροπίας. Ο αέρας βρίσκεται διαρκώς σε προσανατολισμένη κίνηση (άνεμοι), το νερό κάνει το φυσικό του κύκλο (εξάτμιση, συμπύκνωση, βροχές, ποτάμια, θαλάσσια ρεύματα, κυματισμοί κ.λπ.). Η μυθολογία είναι γεμάτη με θεότητες νερών, ποταμών, ωκεανών και ανέμων. Θεότητες που εντοπίστηκαν από τη λογική σκέψη και την επιστημονική προσέγγιση. Ήδη από τα πρώτα βήματά του ο άνθρωπος, στήριξε τον πολιτισμό του σε έργα αρδεύσεως και υδρεύσεως, τις μακρινές του περιπλανήσεις και στην αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας. Στην πορεία του χρόνου, η σημασία των φαινομένων ροής του νερού και του αέρα, προστέθηκαν και πολλά άλλα.

Οποιαδήποτε σύγχρονη παραγωγική διαδικασία, είναι αδιανόητη χωρίς ειδική μέριμνα διακινήσεως ρευστών. Αρκεί να σκεφτούμε τα δίκτυα διακινήσεως ρευστών που συναντάμε σε ένα πλοίο (δίκτυα νερού, καυσίμων, λιπαντικών, ατμού, ψυκτικών μέσων, κ.λπ.) ώστε να κατανοήσουμε τη σημασία των φαινομένων ροής και την αναγκαιότητα της μελέτης τους.

### 2.2.1 Βασικές έννοιες

Λέγοντας ροή ρευστού, εννοούμε τη διακίνηση του ρευστού στο χώρο, το φαινόμενο της μετατοπίσεως του (ή της κυλίσεως του) μέσα από περιβάλλουσα επιφάνεια, συνήθως στερεό τοίχωμα (αγωγός ροής). Ο αγωγός μπορεί να είναι ανοιχτός ή κλειστός. Σε αρκετές περιπτώσεις δεν υπάρχουν στερεά τοιχώματα.

Για τη μελέτη της ροής ρευστού αναπτύχθηκαν δύο μέθοδοι. Η πρώτη καλούμενη θεώρηση κατά Lagrange, εξετάζει την πορεία ενός στοιχειώδους σωματιδίου του ρευστού (όπως στην κλασική μηχανική) και προσπαθεί να εκφράσει σε κάθε χρονική στιγμή τις μεταβολές της ταχύτητας και των άλλων ιδιοτήτων του. Η πολυπλοκότητα όμως της κινήσεως του στοιχειώδους σωματιδίου καθιστούν εξαιρετικά δύσκολη ως αδύνατη μια τέτοια ανάλυση. Έτσι η χρήση της περιορίζεται μόνο σε συγκεκριμένες ειδικές περιπτώσεις.

Η δεύτερη μέθοδος, καλούμενη θεώρηση κατά Euler, βασίζεται στην έννοια του πεδίου ροής, το οποίο παρουσιάζει αναλογίες με τα άλλα πεδία της φυσικής. Σύμφωνα με αυτή, αντί να επικεντρώνουμε στη μελέτη ενός στοιχειώδους σωματιδίου του ρευστού, μελετάμε την ταχύτητα και τις άλλες ιδιότητες του σε συγκεκριμένα σημεία του χώρου, στον οποίο ρέει το ρευστό. Με τη μέθοδο αυτή, αναφερόμαστε σε σημεία του χώρου και



αποφεύγουμε την αναφορά σε στοιχεία του ρευστού. Σήμερα αυτή η μέθοδος είναι η πιο διαδεδομένη και στις περισσότερες περιπτώσεις η πιο αποτελεσματική.

Σημαντική έννοια για τη μελέτη των φαινομένων της ροής αποτελεί το πεδίο ροής. Ως πεδίο ροής χαρακτηρίζεται ο χώρος στον οποίο κινείται το ρευστό. Σε κάθε σημείο του, σύμφωνα με τη θεώρηση κατά Euler, αντιστοιχεί και ένα διάνυσμα ταχύτητας που θα έχει μια στοιχειώδη μάζα του ρευστού η οποία θα βρεθεί σ' αυτό το σημείο.

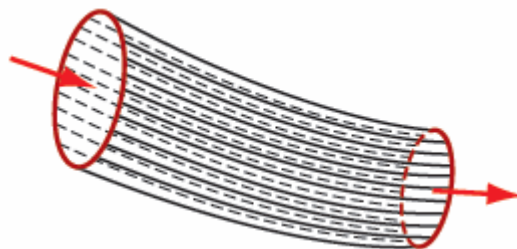
Ροϊκή γραμμή ονομάζεται κάθε συνεχής γραμμή εντός του πεδίου ροής η οποία έχει την ιδιότητα, σε κάθε σημείο της, το διάνυσμα της ταχύτητας του πεδίου ροής να αποτελεί την εφαπτομένη της.

Ροϊκές γραμμές διερχόμενες από μια κλειστή καμπύλη, διαμορφώνουν ένα ροϊκό σωλήνα (Εικόνα 2.1). Πρόκειται για ένα φανταστικό σωλήνα εντός του πεδίου ροής, ο οποίος περιβάλλεται από ροϊκές γραμμές. Η ροή γίνεται κατά μήκος του σωλήνα και δεν υπάρχει ροή ρευστού διά μέσου των τοιχωμάτων.

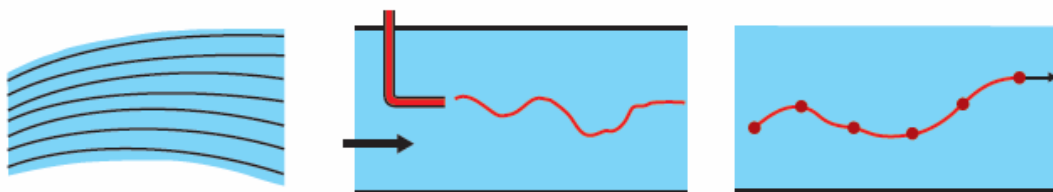
Ο χώρος που περικλείεται σε ένα ροϊκό σωλήνα είναι πλήρης ρέοντος ρευστού και καλείται φλέβα ροής.

Ινώδης φλέβα ροής (streakline) καλείται η συνεχής γραμμή που συνδέει τα στοιχεία του ρευστού που έχουν περάσει από την ίδια θέση του πεδίου ροής σε διαφορετικές χρονικές στιγμές.

Τροχιά καλείται η συνεχής γραμμή που ενώνει τις διαδοχικές θέσεις από τις οποίες διέρχεται ένα στοιχείο του ρευστού κατά την κίνηση του στο πεδίο ροής.



Εικόνα 2.1  
Ροϊκές γραμμές και ροϊκός σωλήνας



Εικόνα 2.2  
Ροϊκές γραμμές, Ινώδης φλέβα, Τροχιά

Όγκος ελέγχου καλείται ένα τμήμα του πεδίου ροής, προσδιορισμένο αυθαίρετα. Αποτελεί ανοιχτό σύστημα σε μία ή περισσότερες εισόδους και εξόδους. Για τον όγκο ελέγχου γράφονται οι εξισώσεις μεταβολής της μάζας, της ορμής και της ενέργειας καθώς το ρευστό περνάει μέσα απ' αυτόν. Το όριο του όγκου ονομάζεται επιφάνεια ελέγχου.



Όπως και κάθε άλλο φαινόμενο μεταφοράς, έτσι και η ροή ρευστού, έχει ως βασικό χαρακτηριστικό της το ρυθμό με τον οποίο πραγματοποιείται. Ρυθμός ροής ή παροχή καλείται η ποσότητα του ρευστού που διέρχεται από μια διατομή κάθετη στην κατεύθυνση ροής στη μονάδα του χρόνου. [4]

### 2.2.2 Είδη ροής

Η μελέτη της ροής μπορεί να ταξινομηθεί με διαφορετικά κριτήρια: Είτε σε σχέση με τη μεταβολή των χαρακτηριστικών τους στο χρόνο (*μόνιμη και μεταβλητή ροή*) ή στο χώρο (*ομοιόμορφη και ανομοιόμορφη ροή, μονοδιάστατη, δισδιάστατη και τρισδιάστατη ροή*), είτε συγκρίνοντας τις ταχύτητες των στοιχειωδών μαζών σε μία διατομή (*δυναμική ροή και ροή οριακού στρώματος*). Η σημαντικότερη όμως ταξινόμηση (*στρωτή και τυρβώδης ροή*) σχετίζεται με τον ίδιο το μηχανισμό της ροής. Φυσικά, ανάλογα με το διακινούμενο ρευστό διακρίνουμε τη ροή των ασυμπίεστων και συμπιεστών ρευστών. Τέλος, ανάλογα με τους αγωγούς, διακρίνουμε τη ροή σε ανοικτούς και κλειστούς αγωγούς.

**Μόνιμη** (ή σταθερή) καλείται η ροή όταν σε κάθε σημείο του πεδίου της ροής οι συνθήκες ροής (ταχύτητα, θερμοκρασία, πίεση και πυκνότητα ρευστού) δε μεταβάλλονται με το χρόνο. Αν κάποια από τα παραπάνω μεγέθη αλλάζουν στην πορεία του χρόνου, έχουμε **μεταβλητή** ροή. Στο μόνιμο πεδίο ροής οι παραγωγοί όλων των φυσικών μεγεθών ως προς το χρόνο είναι μηδενικές.

Στις εφαρμογές που αφορούν στους μηχανικούς εξετάζονται κυρίως μόνιμα πεδία ροής. Ως τέτοια θεωρούμε την ύδρευση, άρδευση, αποχέτευση, μεταφορά καυσίμων, θέρμανση με ζεστό νερό, αερισμό, κλιματισμό, κ.λπ.. Σε όλες αυτές τις εφαρμογές υπάρχουν περίοδοι, που η ροή δεν είναι μόνιμη (π.χ. κατά την έναρξη λειτουργίας ή το κλείσιμο ενός δικτύου), αλλά για τη σχεδίαση και κατασκευή των δικτύων εξετάζουμε τη ροή όταν έχει αποκατασταθεί στη μόνιμη μορφή της.

**Ομοιόμορφη** καλείται η ροή όταν σε κάποια χρονική στιγμή έχουμε την ίδια μέση ταχύτητα σε όλο το πεδίο ροής (σε επόμενη χρονική στιγμή η ταχύτητα μπορεί να αλλάξει ομοιόμορφα σε όλο το πεδίο). Στην αντίθετη περίπτωση έχουμε **ανομοιόμορφη** ροή.

**Μονοδιάστατη, δισδιάστατη και τρισδιάστατη** ροή: Η ροή εξεταζόμενη από τη σκοπιά της συμπεριφοράς μιας στοιχειώδους ποσότητας ρέοντος ρευστού στο χώρο είναι γενικά τρισδιάστατη. Σε πολλές όμως περιπτώσεις, μπορεί να θεωρηθεί, με ικανοποιητική προσέγγιση, μονοδιάστατη.

Μονοδιάστατη καλείται η ροή όταν οι παράμετροί της (ταχύτητα, πίεση, θερμοκρασία, πυκνότητα κ.λπ.) μεταβάλλονται μόνο κατά την κύρια διεύθυνση της ροής. Πρέπει να διευκρινιστεί πως ο χαρακτηρισμός μιας ροής ως μονοδιάστατης δεν έχει σχέση με το ευθύγραμμο ή καμπυλόγραμμο των γραμμών ροής ή του αγωγού. Έτσι, η ροή σε κυλινδρικό σωλήνα (και σε κάθε μορφής δίκτυο σωληνώσεων) μπορεί να θεωρηθεί μονοδιάστατη, ανεξάρτητα με το αν ο σωλήνας είναι ευθύγραμμος ή όχι.

Η προσέγγιση όμως της ροής ως μονοδιάστατης, δεν θα είναι ικανοποιητική αν για παράδειγμα πρέπει να πάρουμε υπόψη τη μεταβολή των τοπικών ταχυτήτων σε μια

διατομή. Το μέτρο των τοπικών ταχυτήτων σε μία διατομή κάθετη στη διεύθυνση ροής, μεταβάλλεται κατά διεύθυνση κάθετη στην κύρια διεύθυνση της ροής. Επομένως, η ταχύτητα μεταβάλλεται και κατά τον άξονα  $y$ . Σ' αυτήν την περίπτωση η ροή θα θεωρηθεί δισδιάστατη. Ως δισδιάστατη αντιμετωπίζεται η ροή σε κανάλια, ποταμούς κ.λπ.

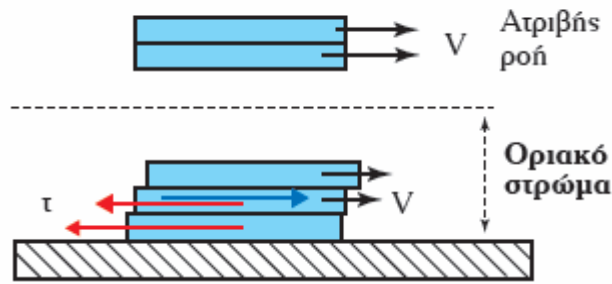
Και αυτή όμως η προσέγγιση θα καταστεί ανεπαρκής στην περίπτωση που θέλουμε λόγω χάριν να μελετήσουμε ένα στροβιλισμό του ρευστού που δημιουργήθηκε στη φλέβα ροής. Οι ταχύτητες των στοιχειωδών ποσοτήτων εντός της δίνης, θα μεταβάλλονται και προς τις τρεις διευθύνσεις του χώρου και η ροή πρέπει να μελετηθεί ως τρισδιάστατη. Για παράδειγμα, οι κινήσεις των αερίων μαζών στην ατμόσφαιρα εξετάζονται στον τρισδιάστατο χώρο.

Στα περισσότερα προβλήματα της Μηχανικής των Ρευστών, είναι επαρκής η μονοδιάστατη ή τρισδιάστατη προσέγγιση.

Η συμπεριφορά ενός ρέοντος πραγματικού ρευστού επηρεάζεται από τα τοιχώματα των αγωγών ροής. Μια θεμελιώδης αρχή της Μηχανικής των Ρευστών είναι ότι το στερεό τοίχωμα επηρεάζει καθοριστικά τη ροή μιας στοιβάδας του ρευστού που βρίσκεται σε άμεση γεινίαση μ' αυτό και η οποία καλείται οριακό στρώμα (ή περατωτική στιβάδα, boundary layer).

Τα στερεά τοιχώματα οδηγούν σε ανάπτυξη διατμητικών τάσεων λόγω τριβών, που αντιτίθεται στην κίνηση του ρευστού. Αποτέλεσμα είναι να μειώνεται η ταχύτητα του ρευστού που κινείται κοντά στο τοίχωμα. Το φαινόμενο επεκτείνεται σε ένα στρώμα που συνορεύει με το τοίχωμα. Το πλάτος εξαρτάται από το ρυθμό ροής, την τραχύτητα, το ιξώδες του ρευστού κ.α..

Στην εικόνα 2.3 μπορείτε να παρατηρήσετε ότι μεταξύ του τοιχώματος και της ευρισκόμενης σε επαφή με αυτό στοιχειώδους στιβάδας του ρευστού, αναπτύσσεται διατμητική τάση  $\tau$  (η οποία οφείλεται στις δυνάμεις προσφύσεως μεταξύ των μορίων του ρευστού και του τοιχώματος, καθώς και στην τραχύτητα της στερεάς επιφάνειας) που αντιστέκεται στη ροή. Έτσι, μια στοιχειώδης στιβάδα ρευστού θα μένει ακίνητη, προσκολλημένη στο τοίχωμα. Η επόμενη στιβάδα θα δέχεται διατμητική τάση αντιστάσεως από την υποκείμενη και θα κινείται με μικρή ταχύτητα. Αλλά και στις επόμενες στιβάδες αναπτύσσονται διατμητικές τάσεις, λόγω των δυνάμεων συνοχής μεταξύ των μορίων του ρευστού και της ολισθήσεως της κάθε στιβάδας ανάμεσα στην υποκείμενη και υπερκείμενη. Η ροή εντός του οριακού στρώματος καλείται ιξώδης (viscid flow). Έξω από το οριακό στρώμα, όταν πλέον οι ταχύτητες των στοιχειωδών στιβάδων εξισώνονται, δεν παρουσιάζεται ολίσθηση και η ροή γίνεται ατριβής (inviscid flow).



Εικόνα 2.3  
Οριακό στρώμα

Ο χαρακτηρισμός της ροής από δυναμική άποψη χωρίζεται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: τη **στρωτή** και τη **τυρβώδης** ροή.

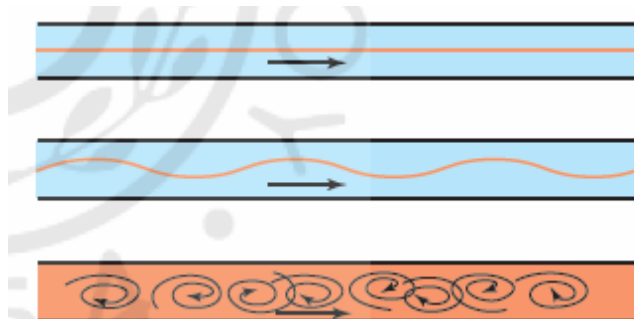
Κατά τη στρωτή ή γραμμική ροή (laminar flow) οι γειτονικές στρώσεις του ρευστού κινούνται σχηματίζοντας λείες (όχι απαραίτητα ευθείες) γραμμές ροής (γραμμή ροής είναι η γραμμή στην οποία είναι εφαπτόμενο το άνωσμα της ταχύτητας ροής), χωρίς να πραγματοποιείται ανάμιξη μακροσκοπικής κλίμακας μεταξύ δυο γειτονικών στρώσεων.

Η στρωτή ροή πραγματοποιείται όταν οι δυνάμεις συνεκτικότητας (εξαιτίας των διατμητικών τάσεων, δηλ. οι δυνάμεις τριβών που οφείλονται στην παρουσία στερεών τοιχωμάτων) είναι μεγαλύτερες από τις δυνάμεις αδράνειας. Οι στρωτές ροές αποτελούν θεωρητική περίπτωση και πολύ σπάνια συμβαίνουν στη φύση.

Στην τυρβώδη ή στροβιλώδες ροή (turbulent flow) τα ρευστά σωματίδια έχουν ακανόνιστη, σχεδόν τυχαία, διακυμαινόμενη κίνηση. Η ταχύτητα σε κάθε σημείο του ρευστού μεταβάλλεται με το χρόνο τόσο κατά μέγεθος, όσο και κατά διεύθυνση. Η ροή κατά στρώσεις με λείες γραμμές ροής που παρατηρείται στη στρωτή ροή, διασπάται πλήρως και συμβαίνει έντονη μακροσκοπική ανάμιξη μεταξύ δυο γειτονικών στρώσεων.

Η τυρβώδης ροή πραγματοποιείται όταν οι δυνάμεις αδράνειας είναι μεγαλύτερες από τις δυνάμεις συνεκτικότητας.

Στο φυσικό περιβάλλον, όλες σχεδόν οι ροές είναι τυρβώδεις.



Εικόνα 2.4  
Με την αύξηση της ταχύτητας από στρωτή μία ροή γίνεται τυρβώδης.

## 2.3 Ροή ασυμπίεστων ρευστών σε σωλήνες

Στην προηγούμενη παράγραφο ασχοληθήκαμε με τη ροή των ρευστών γενικά. Αναφερθήκαμε σε βασικές έννοιες και ταξινομήσεις της ροής και στις βασικές παραμέτρους που την επηρεάζουν. Σε αυτήν την παράγραφο θα ασχοληθούμε με ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που αντιμετωπίζει κάθε μηχανικός: τη ροή ρευστών σε κυλινδρικούς αγωγούς. Οι αγωγοί αυτοί είναι οι πλέον διαδεδομένοι στη διακίνηση των ρευστών.

Το πρότυπο του σωλήνα ως κυλινδρικού κοίλου αγωγού, δια μέσω του οποίου ρέουν υγρά ή αέρια, το προσφέρει η ίδια η φύση. Σήμερα, η καθημερινή μας ζωή, αλλά και οποιαδήποτε παραγωγική διαδικασία, είναι αδιανόητες χωρίς τα πολύμορφα δίκτυα σωληνώσεων (ύδρευση, θέρμανση, αποχέτευση, ψυκτικές εγκαταστάσεις, αεραγωγοί, διακίνηση καυσίμων, διακίνηση αερίων και ατμών, κ.λπ.).

Μελετώντας τη ροή σε κυλινδρικούς αγωγούς, θα επικεντρώσουμε στη σταθερή ροή των ασυμπίεστων ρευστών σε κλειστούς αγωγούς.

Σε προηγούμενη ενότητα διαχωρίσαμε τη ροή, ανάλογα με τον τρόπο που κινούνται οι στοιχειώσεις όγκοι σε δύο είδη: τη στρωτή και την τυρβώδη. Βασικό χαρακτηριστικό που διαχωρίζει τα δύο αυτά είδη είναι η ύπαρξη ή μη στροβιλισμών. Στη στρωτή ροή δεν υπάρχουν, ενώ αποτελούν το χαρακτηριστικό γνώρισμα της τυρβώδους.

Το αν η ροή ενός υγρού σε κλειστό κυλινδρικό αγωγό είναι στρωτή ή τυρβώδης, καθορίζεται, από τον αδιάστατο αριθμό Reynolds:

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} \quad \text{Σχέση 2.1}$$

όπου:  $v$  η ταχύτητα του υγρού,  $d$  η διάμετρος του σωλήνα και  $\nu$  το κινηματικό ιξώδες. Για τιμές του αριθμού Reynolds μικρότερες του 2100 ( $Re < 2100$ ), η ροή είναι στρωτή. Ακολουθεί μια κρίσιμη περιοχή στην οποία η ροή μετατρέπεται σταδιακά σε τυρβώδη ( $2100 < Re < 4000$  περίπου). Για μεγαλύτερες τιμές του  $Re$  ( $Re > 4000$ ) η ροή είναι τυρβώδης.



Εικόνα 2.5  
Τυρβώδης και στρωτή ροή

Η σχέση 2.1 δείχνει πως η στρωτή ροή εννοείται σε σωλήνες μικρής διαμέτρου, με χαμηλές ταχύτητες ροής και ρευστά μεγάλου ιξώδους (παχύρρευστα). Στην περίπτωση που μελετάμε τη ροή κάποιου συγκεκριμένου ρευστού σε σωλήνα διαμέτρου  $d$ , θα έχουμε στρωτή ροή για χαμηλές ταχύτητες  $v$  ( $Re < 2100$ ). Αυξάνοντας την ταχύτητα, η στρωτή ροή διαταράσσεται, καθώς δημιουργούνται σποραδικές δίνες. Με επιπλέον αύξηση της ταχύτητας, η ροή θα γίνει τυρβώδης, με διαμόρφωση στροβιλισμών σε όλο το χώρο της ροής, με εξαίρεση ένα πολύ λεπτό στρώμα που βρίσκεται σε επαφή με τα τοιχώματα του σωλήνα. Αλλά και στην τυρβώδη ροή υπάρχουν διαβαθμίσεις. Έτσι, για πολύ μεγάλες ταχύτητες, άρα και μεγάλους αριθμούς Reynolds, περνάμε στην πλήρως τυρβώδη ροή.

Αντίστοιχα συμπεράσματα προκύπτουν αν δεν μεταβάλλεται η ταχύτητα, αλλά η διάμετρος του σωλήνα ή το κινηματικό ιξώδες του ρευστού.

Σημειώνουμε ότι τα όρια μεταβάσεως από τη στρωτή στην τυρβώδη ροή δεν δύνανται να προσδιοριστούν με ακρίβεια. Σε κατάλληλες συνθήκες (έλλειψη διαταραχών από αντλίες και από τα διάφορα εξαρτήματα ροής), πιθανόν να έχουμε στρωτή ροή για τιμές του αριθμού Reynolds λίγο μεγαλύτερες από 2100, αφού η κρίσιμη περιοχή πιθανόν να επεκταθεί ως και την τιμή  $Re = 10000$ . Τις συνθήκες όμως αυτές δεν τις συναντάμε στην πράξη. Επιπλέον, στις περισσότερες περιπτώσεις υπάρχουν υψηλές απαιτήσεις παροχής και ο αριθμός Reynolds είναι σημαντικά μεγαλύτερος από τις παραπάνω τιμές.

Η σημασία του αριθμού Reynolds ως καθοριστικού παράγοντα στη ροή σε κλειστούς αγωγούς, οφείλεται στο γεγονός ότι ουσιαστικό ρόλο στη ροή, παίζουν οι δυνάμεις αδράνειας και οι δυνάμεις ιξώδους διατμήσεως.

## 2.4 Υπολογισμός ροής σε σωλήνες

Για τη μελέτη της μόνιμης ροής ασυμπιέστου ρευστού σε σωλήνα, έχουμε στη διάθεση μας 4 εξισώσεις:

Εξίσωση συνέχειας:

$$Q = \frac{\pi \cdot d_i^2}{4} \cdot v_i = \text{σταθ.}$$

Σχέση 2.2

Εξίσωση ενέργειας (Bernoulli):

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2 \cdot g} + (y_1 - y_2) = \Sigma h$$

Σχέση 2.3

Εξίσωση απωλειών (Darcy-Weisbach):

$$\Sigma h = \left( f \cdot \frac{L}{d} + \Sigma K_i \right) \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Σχέση 2.4

ή

$$\Sigma h = \frac{8}{\pi^2 \cdot g \cdot d^5} \cdot \left( f \cdot \frac{L}{d} + \Sigma K_i \right) \cdot Q^2$$

Σχέση 2.5

Διάγραμμα Moody:

$$f = F\left(Re = \frac{v \cdot d}{\nu}, \frac{\epsilon}{d}\right)$$

Σχέση 2.6

Οι δύο πρώτες εξισώσεις έχουν προκύψει με την εφαρμογή των νόμων της φυσικής (αρχές διατήρησης της μάζας και της ενέργειας αντίστοιχα). Η τρίτη, έχει προκύψει εμπειρικά, με αξιοποίηση της διαστατικής ανάλυσεως και πειραματικών μετρήσεων.

Η πιο ιδιόμορφη είναι η τέταρτη σχέση, η οποία δεν είναι εξίσωση, αλλά σχέση διαγράμματος. Αν η ροή είναι στρωτή, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε αντί του διαγράμματος, την εξίσωση ( $f=64/Re$ ) και η διαδικασία επιλύσεως απλοποιείται. Όμως στα περισσότερα προβλήματα, η ροή είναι τυρβώδης. Υπάρχει βέβαια η δυνατότητα να χρησιμοποιήσουμε αντί του διαγράμματος Moody, ορισμένες εμπειρικές εξισώσεις, οι οποίες όμως είναι πολύπλοκες και προϋποθέτει χρήση υπολογιστή και κάποια εξοικείωση με την αριθμητική μέθοδο υπολογισμών. Έτσι, η πιο απλή και ελεγχόμενη διαδικασία υπολογισμού του συντελεστή τριβής  $f$ , παραμένει η χρήση του διαγράμματος Moody.

Κατά τη μελέτη της ροής σε σωλήνα, συναντάμε τέσσερις ομάδες μεγεθών:

- Μεγέθη σωλήνα: μήκος  $L$ , διάμετρος  $d$ , τραχύτητα  $\epsilon$ .
- Μεγέθη ρευστού: ειδικό βάρος  $\gamma$ , κινηματικό ιξώδες  $\nu$ .
- Μεγέθη ροής: Παροχή  $Q$ , ταχύτητα  $v$ , αριθμός Reynolds  $Re$ , συντελεστής τριβής  $f$ , συντελεστές τοπικών απωλειών  $K_i$ .
- Ενεργειακά μεγέθη: ύψος απωλειών  $\Sigma h$ , ύψος μεταβολής της δυναμικής ενέργειας  $\frac{[(v_1)^2 - (v_2)^2]}{2g}$  και της ενέργειας πίεσεως  $(p_1 - p_2) \cdot \gamma$ .

Τα προβλήματα υπολογισμού ροής ρευστού σε σωλήνα ταξινομούνται συνήθως σε τρεις κατηγορίες:

1. Υπολογισμός απωλειών ύψους
2. Υπολογισμός παροχής
3. Υπολογισμός διαμέτρου σωλήνα.

Για την επίλυση τους αξιοποιούμε τις παραπάνω σχέσεις. [5]

## Κεφάλαιο 3 Σωλήνες

### 3.1 Γενικά

Όπως γνωρίζουμε, η μεταφορά ρευστών γίνεται κυρίως με τους αγωγούς ροής. Υπάρχουν οι ανοικτοί αγωγοί, στους οποίους ρέουν υγρά υπό την επίδραση της βαρύτητας και οι κλειστοί αγωγοί ή αγωγοί πίεσεως, στους οποίους ρέουν υγρά ή αέρα υπό πίεση.

Οι ανοικτοί αγωγοί διακρίνονται σε φυσικούς (χαρακτηριστική περίπτωση αποτελούν τα ποτάμια) και σε τεχνικούς (κανάλια αρδεύσεως, αγωγοί ομβρίων, αποχετευτικοί αγωγοί κ.α.). Κοινό χαρακτηριστικό των υγρών που ρέουν σ' αυτούς, είναι η ύπαρξη ελεύθερης επιφάνειας. Στους υδραυλικούς υπολογιστές υπεισέρχεται επομένως και η ιδιότητα της επιφανειακής τάσεως. Οι ανοικτοί αγωγοί συναντώνται ελάχιστα στις βιομηχανικές εφαρμογές και δεν θα αχοληθούμε με αυτούς.

Ένας αγωγός, αποτελείται από ευθύγραμμους σωλήνες και διάφορα εξαρτήματα: Εξαρτήματα συνδέσεως σωλήνων, αλλαγής διατομής (συστολές και διαστολές), αλλαγή διευθύνσεως (γωνίες), εξαρτήματα διακλαδώσεως της ροής (ταυ, σταυροί), εξαρτήματα ρυθμίσεως παροχής και ταχύτητας (βαλβίδες, δικλείδες, επιστόμια), όργανα μετρήσεως της ροής και πολλά άλλα που εξυπηρετούν λειτουργικές ανάγκες του αγωγού (φίλτρα, αντικραδασμικά συστήματα, ολισθαίνουσες συνδέσεις κ.λπ.). Οι σωλήνες μαζί με τα εξαρτήματα, αποτελούν μία σωλήνωση. Ο αγωγός συμπληρώνεται από τα μηχανήματα που προσφέρουν την ενέργεια, η οποία είναι αναγκαία για τη διακίνηση των ρευστών. Στα υγρά, το ρόλο αυτό τον αναλαμβάνουν οι αντλίες. Τέλος, ειδική σημασία έχει η στεγανοποίηση των αγωγών στα σημεία συνδέσεως των σωλήνων, εξαρτημάτων και συσκευών. Προς τούτο χρησιμοποιούνται διάφορα υλικά στεγανοποιήσεως και ειδικά συστήματα.

Ο σχεδιασμός και η διαμόρφωση ενός αγωγού, εξαρτάται από το σκοπό, τον οποίο αυτός καλείται να εξυπηρετήσει. Υπάρχουν αγωγοί εκατοντάδων χιλιομέτρων και μεγάλης μεταφορικής ικανότητας, όπως οι αγωγοί μεταφοράς φυσικού αερίου, οι αγωγοί μεταφοράς πετρελαίου από τον τόπο αντλήσεως σε λιμάνια φορτώσεως και άλλοι για τη μεταφορά νερού υδρεύσεως σε αστικά κέντρα. Στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις, δεκάδες υγρά και αέρια μεταφέρονται με κατάλληλους αγωγούς. Στο πλοίο, αγωγοί τροφοδοτούν τη μηχανή με καύσιμα, λιπαντικά και νερό ψύξεως.

Οι σωλήνες αποτελούν τη βάση κάθε σωληνώσεως. Κατασκευάζονται από διάφορα υλικά, μεταλλικά ή μη, και διατίθενται σε διάφορες διατομές και διάφορα πάχη τοιχωμάτων.

Η επιλογή των κατάλληλων σωλήνων, καθορίζει σε σημαντικό βαθμό την επιλογή και των λοιπών εξαρτημάτων, δηλαδή τη διαμόρφωση της σωληνογραμμής. Παράμετροι που σχετίζονται με την επιλογή είναι:

A) Η παροχή



Η παροχή συνδέεται με τη διάμετρο (ανάλογη του τετραγώνου της διαμέτρου). Για μεγάλες παροχές, επιλέγουμε σχετικά μεγάλες διαμέτρους. Μεγάλες παροχές μπορούμε να επιτύχουμε και με μικρότερες διαμέτρους, αλλά σ' αυτήν την περίπτωση αυξάνουν πολύ οι ταχύτητες ροής και οι απώλειες, επομένως οι ενεργιακές απαιτήσεις του συστήματος, καθώς και οι πιέσεις λειτουργίας.

#### Β) Οι απαιτήσεις σε αντοχή

Οι κλειστοί αγωγοί λειτουργούν υπό πίεση. Αν και οι πιέσεις στη σωληνογραμμή μεταβάλλονται, διακρίνουμε αγωγούς που λειτουργούν σε υψηλή, μέση ή χαμηλή πίεση. Οι σωλήνες που θα επιλεγθούν θα πρέπει να αντέχουν τις αναπτυσσόμενες πιέσεις. Υπάρχουν και επιπλέον απαιτήσεις αντοχής σε θράση ή εφελκυσμό, οι οποίες σε ορισμένες περιπτώσεις παίζουν σημαντικό ρόλο. Η αντοχή των σωλήνων σχετίζεται με το υλικό, το πάχος του τοιχώματος και τον τρόπο κατασκευής τους.

#### Γ) Οι απαιτήσεις αντοχής σε θερμοκρασία.

Υπάρχουν ρευστά που διακινούνται σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος, άλλα που διακινούνται σε θερμοκρασίες κάτω του μηδενός και άλλα που βρίσκονται σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Οι σωλήνες που επιλέγονται θα πρέπει να αντέχουν και να ανταποκρίνονται σωστά στις θερμοκρασιακές απαιτήσεις του συστήματος ροής.

#### Δ) Οι απαιτήσεις αντιστάσεως στη διάβρωση.

Τα ρευστά που κυκλοφορούν στους αγωγούς, διαμορφώνουν στο εσωτερικό των σωλήνων διαβρωτικό περιβάλλον, που σε ορισμένες περιπτώσεις είναι πολύ έντονο. Ανάλογα με το περιβάλλον αυτό, πρέπει να επιλεγεί και σωλήνας κατασκευασμένος από υλικό που παρουσιάζει αντίσταση στη διάβρωση.

Διαβρωτικό περιβάλλον υπάρχει και στο εξωτερικό του σωλήνα και πρέπει επίσης να ληφθεί υπόψη.

#### Ε) Το κόστος (κατασκευής, λειτουργίας και συντηρήσεως)

Η οικονομική διάσταση είναι αυτονόητη για οποιαδήποτε παραγωγική διαδικασία. Επιλέγουμε τους σωλήνες, λαμβάνοντας υπόψη όλα τα προηγούμενα, αλλά προσπαθώντας να ελαχιστοποιήσουμε το κόστος. Έτσι επιλέγουμε λόγω χάριν όχι κάποιον πολύ ακριβό σωλήνα που παρουσιάζει τη μέγιστη αντίσταση στη διάβρωση, αλλά ένα σωλήν σχετικά φθηνότερο, ο οποίος θα έχει ίσως λιγότερο χρόνο ζωής και θα αντικατασταθεί γρηγορότερα. Ο σωλήνας που θα επιλέξουμε πρέπει να έχει μεγάλη ποικιλία εξαρτημάτων ροής, σχετικά φθηνών και ευκόλων στην τοποθέτηση. Επειδή η τιμή αυξάνει με την αύξηση της διαμέτρου, επιλέγουμε όσο το δυνατό μικρότερη διάμετρο. Η τιμή αυξάνει επίσης με το πάχος των τοιχωμάτων, για το οποίο φροντίζουμε να μην είναι υπερβολικό, ανταποκρινόμενο όμως στις απαιτήσεις αντοχής.

Γενικά το κόστος των σωλήνων εξαρτάται από το υλικό, τον τρόπο κατασκευής και τις συμπληρωματικές επεξεργασίες που απαιτούνται κατά τη διαμόρφωση της σωληνώσεως. Επειδή όμως η επιλογή του σωλήνα καθορίζει τη διαμόρφωση του αγωγού, καθώς επίσης

και η ευκολία στις εργασίες συναρμολογήσεως τροποποιήσεως, συντηρήσεως και αντικαταστάσεως τμημάτων του αγωγού.

## 3.2 Υλικά κατασκευή σωλήνων

Η πρώτη παράμετρος που σχετίζεται με την επιλογή ενός σωλήνα, είναι το υλικό κατασκευής και η επεξεργασία του. Τα υλικά κατασκευής των σωλήνων είναι κυρίως κράματα του σιδήρου, αλλά χρησιμοποιούνται επίσης και άλλα μέταλλα και μη σιδηρούχα κράματα. Τα παραδοσιακά μη μεταλλικά υλικά σωλήνων (πηλός, κεραμικά) σχεδόν εκτοπίστηκαν από τα μεταλλικά, αλλά και από πιο σύγχρονα μη μεταλλικά υλικά (τσιμέντο, αμίαντος κ.α.), τα οποία όμως στις βιομηχανικές σωληνώσεις δεν έχουν σημαντική παρουσία. Το δεύτερο μισό του 20<sup>ου</sup> αιώνα, θεαματική είναι η εισβολή των σωλήνων από πλαστικά υλικά (πολυμερή, ελαστομερή).

Παρακάτω αναφέρουμε συνοπτικά τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, τις βασικές επεξεργασίες, καθώς και τις επιτρεπόμενες χρήσεις για κάθε κατηγορία σωλήνων, ανάλογα με το υλικό και τον τρόπο παραγωγής τους. [6]

### 3.2.1 Σωλήνες από χάλυβα

Ο σίδηρος και ο χάλυβας έχουν εξαιρετικές μηχανικές ιδιότητες και οι σωλήνες που κατασκευάζονται απ' αυτούς (σιδηροσωλήνες ή χαλυβδοσωλήνες) παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα όπως:

Έχουν μεγάλη αντοχή σε τάσεις και αρκετές κατηγορίες τους είναι κατάλληλες για χρήση σε εγκαταστάσεις υψηλής πίεσεως.

Παρουσιάζουν πολύ καλή συμπεριφορά στις υψηλές θερμοκρασίες.

Έχουν αξιόλογη αντοχή στη θραύση και είναι σχετικά μαλακοί, με αποτέλεσμα η επεξεργασία τους (είτε εν ψυχρώ είτε εν θερμώ) να είναι αρκετά εύκολη.

Η συνδεσιμότητά τους, είτε με σπειρώματα, είτε με συγκολλήσεις, είτε με φλάντζες, είναι εξαιρετική.

Τα μειονεκτήματά τους σχετίζονται με τη μικρή αντίσταση του απλού χάλυβα στη διάβρωση, το σχετικά μεγάλο βάρος και το κόστος.

Υπάρχουν διαφορετικές ποιότητες ανθρακούχων χαλύβων με διαφοροποιήσεις στην αναλογία του περιεχομένου άνθρακα. Επομένως, η ποιότητα ενός χαλυβδοσωλήνα, εξαρτάται από την ποιότητα του χάλυβα που αποτέλεσε την πρώτη ύλη. Μια ευρέως αποδεκτή ταξινόμηση των απλών ανθρακοχαλύβων είναι η ακόλουθη:

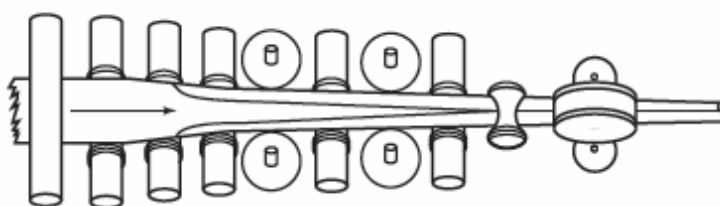
- Χάλυβες χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα (0,05-0,3%)
- Χάλυβες μέσης περιεκτικότητας σε άνθρακα (0,3-0,6%)
- Χάλυβες μεγάλης περιεκτικότητας σε άνθρακα (0,6-2%)

Πολύ σπουδαίο ρόλο στις ιδιότητες των χαλυβδοσωλήνων παίζει ο τρόπος κατασκευής τους. Ανάλογα με αυτόν, διακρίνουμε δύο μεγάλες κατηγορίες: Τους σωλήνες χωρίς ραφή και τους σωλήνες με ραφή.

Οι χαλυβδοσωλήνες χωρίς ραφή κατασκευάζονται σε ειδικούς κυλίνδρους, στους οποίους ο χάλυβας εισάγεται πυρακτωμένος, περνά από πολλές καλύπτρες, καλούπια ή ράουλα που του δίνουν το επιθυμητό κυλινδρικό σχήμα και διάμετρο. Διατρητικό εργαλείο ανοίγει την εσωτερική οπή και διαμορφώνει την εσωτερική διάμετρο. Στη συνέχεια κόβεται σε σωληνόβεργες μήκους από 5 ως 12 μέτρα περίπου.

Οι σωλήνες χωρίς ραφή έχουν εξαιρετικά λείες επιφάνειες και παρουσιάζουν υψηλή αντοχή. Χρησιμοποιούνται σε σωληνώσεις πίεσεως όπως λέβητες, εναλλάκτες κ.λ.π..

Οι χαλυβδοσωλήνες με ευθεία ραφή κατασκευάζονται από λαμαρίνες κατάλληλου πλάτους, οι οποίες περνούν από ειδικά μηχανήματα μέχρι να πάρουν το σωληνοειδές κυλινδρικό σχήμα (Εικόνα 3.1). Στη συνέχεια, τα διαμήκη άκρα τους συγκολλώνται. Λόγω αυτού του τρόπου κατασκευής, οι σωλήνες με ραφή έχουν μικρότερη αντοχή στις πιέσεις από τους σωλήνες χωρίς ραφή. Η αντοχή τους εξαρτάται από την ποιότητα της ραφής. Με πλεονέκτημα το μικρότερο κόστος, χρησιμοποιούνται ευρύτατα σε διάφορα δίκτυα (ύδρευση, θέρμανση, λάδια, πετρέλαιο, δίκτυα πυροσβέσεως κ.α.).



Εικόνα 3.1  
Κατασκευή σωλήνων με ευθεία ραφή

Οι σωλήνες μεγάλων διαμέτρων και χαμηλών απαιτήσεων σε αντοχή, κατασκευάζονται με ελικοειδή ραφή, περιορίζοντας κατά πολύ το κόστος (Εικόνα 3.2). Το χαλύβδινο έλασμα διαμορφώνεται ελικοειδώς και συγκολλείται. Οι σωλήνες ελικοειδούς ραφής είναι πιο δύσκαμπτοι από τους σωλήνες ευθείας ραφής. Για τούτο, οι σωλήνες αυτοί μετά την κατασκευή τους, υποβάλλονται σε ειδική θερμική κατεργασία με πύρωμα σε ειδικούς φούρνους.



Εικόνα 3.2  
Διαμόρφωση ελάσματος για σωλήνα ελικοειδούς ραφής

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα των σωλήνων από χάλυβα, είναι η μικρή αντοχή τους στη χημική και ηλεκτροχημική διάβρωση. Ο απλός χάλυβας διαβρώνεται από το οξυγόνο και τα οξέα. Παράλληλα, είναι ιδιαίτερα ευπαθής στην ηλεκτροχημική διάβρωση.

Τα μέτρα που λαμβάνουμε για την προστασία των χαλυβδοσωλήνων, περιορίζουν τη διάβρωση, αλλά δεν την εξαλείφουν. Εφόσον υπάρχει δυνατότητα, προστατεύουμε την εξωτερική επιφάνεια των σωλήνων με δημιουργία προστατευτικού επιθέματος. Η διάβρωση έτσι περιορίζεται, αλλά δεν εξαλείφεται. Ιδιαίτερα η ηλεκτροχημική διάβρωση, απλά επιβραδύνεται.

Η ηλεκτροχημική διάβρωση οφείλεται στη γειτνίαση μετάλλων διαφορετικού δυναμικού οξειδοαναγωγής, ευρισκόμενα εντός ηλεκτρολύτη. Τότε δημιουργείται ανεπιθύμητο γαλβανικό στοιχείο με άνοδο, το ηλεκτροθετικότερο μέταλλο. Η άνοδος όμως του γαλβανικού στοιχείου οξειδώνεται. Συνέπεια αυτού είναι η σταδιακή διάλυση του ηλεκτροθετικότερου μετάλλου. Επειδή ο σίδηρος και ο χάλυβας βρίσκονται αρκετά υψηλά στη σειρά ηλεκτροθετικότητας, είναι εκτεθειμένοι στον κίνδυνο ηλεκτροχημικής διαβρώσεως.

Σε χαλυβδοσωλήνες μεγάλων διαστάσεων, οι οποίοι θα τοποθετηθούν μέσα στο έδαφος ή στο νερό, επειδή η αντικατάστασή τους είναι δύσκολη και δαπανηρή, συνήθως εγκαθιστούμε συστήματα καθοδικής προστασίας από την ηλεκτροχημική διάβρωση.

Παραθέτουμε την ηλεκτροχημική σειρά ορισμένων μετάλλων και κραμάτων που συναντάμε στη βιομηχανία των σωλήνων. Σημειώνουμε πως όσο πιο ψηλά βρίσκεται ένα υλικό, τόσο πιο εύκολα διαβρώνεται ηλεκτροχημικά.

Ηλεκτροχημική σειρά μετάλλων και κραμάτων:

- Κράματα μαγνησίου
- Ψευδάργυρος
- Γαλβανισμένος σίδηρος
- Αλουμίνιο
- Χάλυβας απλός
- Χυτοσίδηρος
- Ανοξείδωτος χάλυβας
- Μόλυβδος
- Νικέλιο
- Χαλκός, ορείχαλκος
- Ανοξείδωτος χάλυβας (παθητική κατάσταση)
- Γραφίτης

Η επιπλέον επεξεργασία γαλβανίσματος με ψευδάργυρο και αλουμίνιο, βελτιώνει σημαντικά την αντοχή των χαλυβδοσωλήνων στη χημική διάβρωση, αυξάνοντας όμως το βάρος κατά 6% περίπου, και φυσικά και την τιμή τους (γαλβανισμένοι σιδηροσωλήνες). Η

κατεργασία αυτών των σωλήνων με φλόγα απαγορεύεται γιατί καταστρέφει το γαλβάνισμα, αναδίδοντας δηλητηριώδεις αναθυμιάσεις. Η κατεργασία τους γίνεται εν ψυχρώ. Χρησιμοποιούνται ευρύτατα στην ύδρευση.

Για σωλήνες υψηλότερων απαιτήσεων, χρησιμοποιούνται σωλήνες από ανοξείδωτο χάλυβα. Κατασκευάζονται από χρωμιωμένο χάλυβα. Έχουν αυξημένο κόστος, αλλά και μεγαλύτερη αντοχή από τον κοινό μαύρο χαυβδοσωλήνα. Η κατεργασία τους είναι δύσκολη. Δεν κόβονται με οξυγόνο, αλλά με πριόνια και τροχούς.

Αν οι θερμοκρασίες λειτουργίας είναι πολύ μεγάλες, χρησιμοποιούνται πυρίμαχοι σωλήνες κατασκευασμένοι από ειδικά χαλυβοκράματα.

### 3.2.2 Σωλήνες από χυτοσίδηρο

Ο χυτοσίδηρος είναι, όπως και ο χάλυβας, κράμα σιδήρου με άνθρακα. Η περιεκτικότητα του όμως σε άνθρακα είναι υψηλότερη απ' αυτήν του χάλυβα, φτάνοντας ως και το 6%. Ως υλικό έχει χαμηλότερο κόστος, αλλά οι ιδιότητες του είναι ποιοτικά διαφορετικές και σαφώς υποδεέστερες από του χάλυβα. Έχει μικρότερη αντοχή σε πίεση, είναι εύθραυστος και παρουσιάζει μεγάλη σκληρότητα, ιδιότητες που καθιστούν εξαιρετικά δύσκολη την επεξεργασία των χυτοσιδηρών σωλήνων: Δεν δέχονται χτυπήματα, κυρτώσεις, διαμόρφωση σπειρώματος και κατεργασία στη φωτιά. Έχουν όμως καλύτερη αντίσταση στη διάβρωση από οξυγόνο και οξέα σε σχέση με τους απλούς χαλυβδοσωλήνες, επειδή οι ενώσεις που σχηματίζει ο γραφίτης λόγω της διαβρώσεως, διαμορφώνουν ένα συνεκτικό επίστρωμα στην επιφάνεια των χυτοσιδηρών σωλήνων που επιβραδύνει τη διάβρωση.

Οι χυτοσιδηροί σωλήνες παρασκευάζονται με χύτευση. Με βασικό πλεονέκτημα τη χαμηλή τους τιμή, χρησιμοποιούνται σε αγωγούς με μικρή πίεση λειτουργίας, οι οποίοι δεν δέχονται μεγάλες εξωτερικές τάσεις, χτυπήματα και έντονους κραδασμούς καθώς επίσης, σε σωληνώσεις αποχετεύσεως οξίνων υγρών.

### 3.2.3 Σωλήνες από χαλκό

Βασικά πλεονεκτήματα του χαλκού που αξιοποιούνται στη σωληνουργία, είναι η μικρή του σκληρότητα και κατεργασιμότητα, η άριστη θερμική του αγωγιμότητα, η αντίσταση στη διάβρωση από οξυγόνο, η λεία επιφάνεια, η αντοχή του σε υψηλές θερμοκρασίες κ.α..

Στα μειονεκτήματα των σωλήνων από χαλκό, σημειώνουμε την προσβολή τους από τα οξέα και την υγρασία, τις επιβλαβείς ενώσεις που δημιουργούνται κατά την οξείδωση και το σχετικά μεγάλο βάρος τους.

Παρά την υψηλή κατεργασιμότητα που εμφανίζουν, η επανειλημμένη επεξεργασία στην ίδια περιοχή οδηγεί σε σκλήρυνση και απώλεια των μηχανικών ιδιοτήτων τους. Για τούτο συνίσταται να υποβάλλονται σε ανόπτηση μετά από κάθε επεξεργασία.

Οι χαλκοσωλήνες παράγονται είτε με χύτευση, είτε ηλεκτρολυτικά. Είναι χωρίς ραφή και έχουν σχετικά μικρό πάχος τοιχώματος.

Χρησιμοποιούνται σε δίκτυα σωληνώσεων, εσωτερικών εγκαταστάσεων (διανομή πόσιμου νερού και νερού κεντρικών θερμάνσεων), σε δίκτυα πλοίων, σε εναλλέκτες θερμότητας και στη χημική βιομηχανία.

Ο ορείχαλκος, κράμα χαλκού με ψευδάργυρο, παρουσιάζει μια σειρά πλεονεκτημάτων για την κατασκευή σωλήνων και εξαρτημάτων.

### 3.2.4 Σωλήνες από άλλα μέταλλα

Πολύ περιορισμένη είναι η αυτόνομη συμμετοχή των υπολοίπων μετάλλων στη σωληνουργία. Το αλουμίνιο, με βασικό πλεονέκτημα το μικρό βάρος του, χρησιμοποιείται ελάχιστα, λόγω της μικρής αντοχής του. Κράματα του με βελτιωμένη αντοχή χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ειδικών σωλήνων.

Ο μόλυβδος χρησιμοποιήθηκε επίσης για την κατασκευή σωλήνων αποχετεύσεως, αλλά υποκαταστάθηκε σχεδόν πλήρως από τους πλαστικούς σωλήνες.

### 3.2.5 Πλαστικοί σωλήνες

Η πετροχημική βιομηχανία προμήθευσε τη σωληνουργία με νέες πρώτες ύλες κατασκευής σωλήνων. Οι πλαστικοί σωλήνες βρήκαν μεγάλη εξάπλωση στο τελευταίο μισό του 20<sup>ου</sup> αιώνα. Ως πρώτες ύλες χρησιμοποιούνται διάφορα πολυμερή, τα σημαντικότερα των οποίων παρουσιάζονται στον πίνακα 3.1.

Τα βασικά πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν είναι:

- Έχουν χαμηλό κόστος.
- Έχουν μικρό βάρος.
- Διατίθενται σε μεγάλα μήκη.
- Παρουσιάζουν εξαιρετική αντίσταση στη διάβρωση από οξυγόνο και οξέα και δεν κινδυνεύουν από ηλεκτροχημική διάβρωση.
- Η εσωτερική τους επιφάνεια είναι λεία με αποτέλεσμα τον περιορισμό των ενεργειακών απωλειών.
- Η επεξεργασία τους είναι πολύ εύκολη.

Τα κύρια μειονεκτήματα, που δεν τους επιτρέπουν να εκτοπίσουν από την πρωτοκαθεδρία τους μεταλλικούς σωλήνες, είναι:

- Η σχετικά μικρή αντοχή τους.
- Η αδυναμία τους να ανταποκριθούν σε μέτρια υψηλές θερμοκρασίες.
- Η ανεπαρκής αντίσταση στη φωτιά.
- Η γενικά μικρή αντίσταση στους οργανικούς διαλύτες και η ευπάθεια ορισμένων τύπων πλαστικών στο ηλιακό φως.

Ειδική κατηγορία των πλαστικών σωλήνων αποτελούν οι σωλήνες από ελαστικό.

Γενικά, εντάσσονται στην κατηγορία των σωλήνων από πλαστικό, αφού την πρώτη ύλη κατασκευής τους την προσφέρει η πετροχημική βιομηχανία. Κατασκευάζονται από ελαστομερή υλικά, μέσα στα οποία συνήθως περικλείεται πλέγμα από σύρμα ή

καταβόπανο σε μία ως τέσσερις στρώσεις προκειμένου να βελτιωθεί η αντοχή τους. Σε αντίθεση με τους σωλήνες από άλλα υλικά, είναι εύκαμπτοι και αυτό αποτελεί το βασικό τους πλεονέκτημα. Έτσι, βρίσκουν ευρεία χρήση, στις περιπτώσεις που η ροή συνοδεύεται από έντονους κραδασμούς ή όταν απαιτείται ένας εύκαπτος αγωγός.

Συμβολισμός	Χημική ονομασία
PVC	Πολυβινυλοχλωρίδιο
CPVC	Χλωριωμένο Πολυβινυλοχλωρίδιο
LDPE	Πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας
MDPE	Πολυαιθυλένιο μέσης πυκνότητας
HDPE	Πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας
PP	Πολυπροπυλένιο
PB	Πολυβουτυλένιο
PVDF	Φθοριωμένο Πολυβινυλοδιένιο
PVDC	Χλωριωμένο Πολυβινυλοδιένιο
PCTFE	Πολύ-χλωρο-τρι-φθορο-αιθυλένιο
PTFE	Πολύ-τετρα-φθορο-αιθυλένιο
ECTFE	Αιθυλενο-χλωρο-τρι-φθορο-αιθυλένιο
ETFE	Αιθυλενο-τετρα-φθορο-αιθυλένιο
FEP	Φθοριωμένο συμπλολυμερές αιθυλενίου-προπυλενίου
ABS	Ακρυλονιτριλο-Βουτταδιενο-στυρένιο
FKM,FPM	Φθοριωμένο ελαστομερές
IIR	Ισοβουτυλένιο-ισοπρένιο
NR ή SBR	Φυσικό ελαστικό ή Στυρένιο-βουταδιένιο
CR	Πολυχλωροπρένιο
CPE	Χλωριωμένο Πολυαιθυλένιο

### 3.2.6 Σωλήνες από άλλα υλικά

Σωλήνες από τσιμέντο: Χρησιμοποιούνται ως αγωγοί μεγάλης διαμέτρου σε αστικές εγκαταστάσεις. Είναι πολύ φθηνοί αλλά ακατάλληλοι ως αγωγοί πίεσεως, αφού η εσωτερική τους αντοχή είναι πολύ μικρή. Η αντοχή τους σε εξωτερικές τάσεις είναι ικανοποιητική, γεγονός που επιτρέπει τη χρήση τους κάτω από το έδαφος. Δεν παρουσιάζουν αντίσταση στη διάβρωση. Η αλλαγή διεύθυνσεως ροή γίνεται με κατασκευή ειδικών φρεατίων.

Στην περίπτωση που απαιτείται αντίσταση στη διάβρωση από οξέα, οι σωλήνες από τσιμέντο αντικαθίστανται από τους αργιλοπυριτικούς οξύμαχους σωλήνες. Ως αστικοί αγωγοί, ευρεία χρήση συνάντησαν παλαιότερα και οι σωλήνες από αμιαντοτσιμέντο. Η ενοχοποίηση όμως του αμιάντου και οι περιορισμοί χρήσεως του, οδήγησαν σε αντικατάστασή τους.

Υπάρχουν τέλος οι υάλινοι σωλήνες. Αυτοί είναι ακατάλληλοι για διακίνηση ρευστών, καθώς παρουσιάζουν μικρή αντοχή και είναι εύθραυστοι. Χρησιμοποιούνται κυρίως στο εργαστήριο και σε συσκευές μετρήσεως.



### 3.3 Δίκτυα σωληνώσεων σε πλοία

Το πλοίο αποτελεί ένα σύστημα με σχετική αυτονομία, σαφώς μεγαλύτερη από παραγωγικές μονάδες της στεριάς. Παράλληλα με τη λειτουργία του ως σημαντικότερο μεταφορικό μέσο, διαθέτει τις κατάλληλες υποδομές για μακρά παραμονή των εργαζόμενων επί αυτού. Είναι δηλαδή μια μεγάλη παραγωγική μονάδα και ταυτόχρονα ένας ιδιόμορφος οργανωμένος χώρος ενδιαίτησης. Για τις λειτουργικές ανάγκες τόσο της παραγωγικής διαδικασίας, όσο και της οργανωμένης διαβίωσης επ' αυτού, απαιτείται η διακίνηση πολλών ρευστών. Η σχεδίαση, κατασκευή, λειτουργία και συντήρηση των δικτύων προσαγωγής των ρευστών στα σημεία χρήσεως, αποτελεί βασική προϋπόθεση για τη συνολική λειτουργία του συστήματος.

Ανάλογα με το διακινούμενο ρευστό, μπορούμε να διακρίνουμε:

- Δίκτυα υγρών (γλυκού και θαλασσινού νερού, καυσίμων, λιπαντικών).
- Δίκτυα αερίων (αερισμού, αέρα εκκίνησης μηχανών, αδρανών αερίων).
- Δίκτυα υγρών και ατμών (ατμολέβητας, ψυκτικές εγκαταστάσεις).

Τα ασυμπιέστα ρευστά καλύπτουν την πρώτη περίπτωση. Ασυμπιέστα όμως είναι και τα υγρά που συναντάμε σε τμήματα δικτύων της τρίτης περιπτώσεως. Κατά προσέγγιση συμπεριφορά ασυμπιέστου ρευστού παρουσιάζει και ο αέρας του δικτύου αερισμού.

Ανάλογα με τον εξυπηρετούμενο σκοπό, συναντάμε δίκτυα εξυπηρετήσεως της παραγωγικής διαδικασίας (δίκτυα καυσίμων, καυσαερίων, λιπαντικών, ψύξεως με γλυκό νερό και νερό θάλασσας, ατμού, διαχειρίσεως πετρελαιοειδών αποβλήτων, έρματος, φορτίου κ.α.), δίκτυα εξυπηρετήσεως των αναγκών ενδιαίτησεως (δίκτυα πόσιμου νερού, νερού υγιεινής, αποχετεύσεως, ψυκτικών εγκαταστάσεων, αερισμού, θερμάνσεως κ.α.), καθώς και τα κρίσιμης σημασίας δίκτυα ασφαλείας (δίκτυα πυρασφάλειας, αδρανών αερίων, κυτών κ.α.).

Ορισμένα από τα παραπάνω δίκτυα αποτελούν κλειστά συστήματα, αλλά στην πλειονότητα τους είναι ανοιχτά συστήματα ροής. Στις σημαντικότερες περιπτώσεις απαιτούνται δεξαμενές, στις οποίες αποθηκεύονται τα διακινούμενα υγρά, τα οποία παραλαμβάνονται κατά τον ελλιμενισμό (καύσιμα, λιπαντικά, πόσιμο νερό κ.α.). Κάποια ρευστά παράγονται στο πλοίο είτε για να καλύψουν ανάγκες (γλυκό νερό, ζεστό νερό, ατμός, κ.α.), είτε ως ανεπιθύμητα παραπροϊόντα που πρέπει να διαχειριστούν κατάλληλα (καυσαέρια, απόβλητα, κ.α.). Τέλος, το θαλάσσιο περιβάλλον προσφέρει σε αφθονία εκτός από τον αέρα και το θαλασσινό νερό. Τα σημαντικότερα αυτόνομα δίκτυα που συναντάμε στα πλοία παρουσιάζονται παρακάτω.

#### 3.3.1 Δίκτυα νερού

Και στο πλοίο, τα δίκτυα νερού είναι τα πιο σημαντικά και ταυτόχρονα τα πλέον πολύπλοκα. Υπάρχουν τα ακόλουθα δίκτυα νερού:

A) Δίκτυο πόσιμου νερού: Παρέχει πόσιμο νερό στους χώρους εργασίας και ενδιαίτησεως για χρήση από το πλήρωμα και τους επιβάτες, στα μαγειρεία και στα πλυντήρια, καθώς και οπουδήποτε αλλού απαιτηθεί από την κατασκευή. Το νερό αναρροφά η αντλία από τις

δεξαμενές πόσιμο και το καταθλίβει στο δίκτυο. Πρέπει να εξασφαλίζεται η αξιόλογη αυτονομία του πλοίου σε πόσιμο νερό, ανάλογα με τον εξυπηρετούμενο πληθυσμό. Στα σύγχρονα πλοία, υπάρχουν συσκευές παραγωγής πόσιμου νερού από τη θάλασσα. Σε κάθε περίπτωση, απαιτείται δεξαμενή αποθηκεύσεως που να καλύπτει τους όρους υγιεινής.

Β) Δίκτυο γλυκού νερού: Πρόκειται για το δίκτυο διανομής γλυκού νερού (ζεστού και κρύου) που δύναται να παραχθεί στο πλοίο με αφαλάτωση του θαλασσινού νερού. Από τη δεξαμενή αφαλατωμένου νερού, καταθλίβεται με αντλίες και, μέσω των σωληνώσεων του δικτύου, οδηγείται στους νιπτήρες και λουτήρες των χώρων ενδιαίτησης, στα πλυντήρια και όπου αλλού χρειάζεται.

Τα δίκτυα πόσιμου και γλυκού νερού είναι ανεξάρτητα από κάθε άλλο δίκτυο. Υπάρχει η δυνατότητα συνδέσεως των δύο δικτύων σε περίπτωση ανάγκης. Οι δεξαμενές γλυκού νερού έχουν επαρκή χωρητικότητα και δεν πρέπει να συνορεύουν με δεξαμενές καυσίμων, πετρελαιοειδών και λυμάτων.

Γ) Δίκτυο νερού θερμάνσεως: Κυκλοφορεί στο σύστημα κεντρική θερμάνσεως, το οποίο ξεκινώντας από το μηχανοστάσιο, καλύπτει τους χώρους ενδιαίτησης και τους λοιπούς χώρους του πλοίου.

Δ) Δίκτυο νερού υγιεινής και αποχετεύσεως: Σε αυτό κυκλοφορεί το θαλασσινό νερό, άρα δεν απαιτείται δεξαμενή αποθηκεύσεως. Παραλαμβάνεται από τη θάλασσα με την αντλία υγιεινής και χρησιμοποιείται για την πλύση αποχωρητηρίων, δαπέδων, καταστρωμάτων κ.α..

Ε) Δίκτυα νερού ψύξεως των μηχανών: Παλαιότερα η ψύξη των μηχανών γινόταν άμεσα με χρήση θαλασσινού νερού. Υπήρχαν όμως σημαντικό προβλήματα, λόγω των ιδιομορφιών του θαλασσινού νερού. Η υψηλή περιεκτικότητά του σε άλατα σκληρότητας και χλωριούχο νάτριο είχε ως συνέπειες, από τη μια τη δημιουργία επικαθήσεων στις ψυχόμενες επιφάνειες, οι οποίες μειώνουν την ψυκτική ικανότητα και από την άλλη, τη διαμόρφωση διαβρωτικού περιβάλλοντος. Για τούτο, το κυρίως σύστημα ψύξεως είναι κλειστό, εντός του οποίου κυκλοφορεί πόσιμο ή αποσταγμένο νερό. Υπάρχουν υποσυστήματα ψύξεως των χιτωνίων, των εμβολών και των εγχυτήρων καυσίμου.

Η χρήση του θαλασσινού νερού περιορίστηκε στη δευτερεύουσα ψύξη του κυρίως ψυκτικού μέσου. Το θαλασσινό νερό χρησιμοποιείται επίσης για την ψύξη του ελαίου λιπάνσεως, καθώς και για την ψύξη και καθαρισμό των καυσαερίων που αξιοποιούνται στο δίκτυο αδρανούς αερίου.

Στ) Δίκτυο νερού πυροσβέσεως. Και αυτό είναι το δίκτυο θαλασσινού νερού που αναρροφά η αντλία πυροσβέσεως και το καταθλίβει στα κατάλληλα σημεία του δικτύου πυροσβέσεως. Από εκεί, με εύκαπτους υφασμάτινους σωλήνες και κατάλληλα ακροφυσία, κατευθύνεται στον επιλεγμένο χώρο.

Σημειώνεται ότι οι εισαγωγές θαλασσινού νερού φέρουν κατάλληλα πλέγματα και φίλτρα, ενώ τα επιστόμια τους είναι χειριζόμενα από θέση εύκολα προσιτή και πάνω από το δάπεδο του μηχανοστασίου.

### 3.3.2 Δίκτυο κυτών

Αναρροφά από κάθε στεγανό διαμέρισμα του σκάφους, συμπεριλαμβανομένων των μηχανοστασίων- ηλεκτροστασίων (εφόσον υφίστανται). Κάθε αναρρόφηση έχει φίλτρο και υπάρχει για κάθε μια αναρρόφηση κυτών ανεπίστροφη βαλβίδα.

Τα δίκτυα κυτών και πυροσβέσεως, εξυπηρετούνται από περισσότερες των δυο ανεξάρτητες ηλεκτροκίνητες αντλίες, κατανεμημένες στο πλοίο έτσι, ώστε τουλάχιστον μια να είναι διαθέσιμη σε περίπτωση κατακλύσεως δύο στεγανών διαμερισμάτων.

### 3.3.3 Δίκτυο σεντινών

Η αντλία αναρροφά από τους χώρους συγκεντρώσεως πετρελαιοειδών μειγμάτων και καταθλίβει προς τη δεξαμενή συγκεντρώσεως των πετρελαιοειδών. Η σωλήνωση είναι εφοδιασμένη με ανεπίστροφες βαλβίδες. Υπάρχει ενίσχυση στην περιοχή των αναρροφήσεων και κατάλληλη διαμόρφωση για την πλήρη αποστράγγιση των σεντινών.

### 3.3.4 Δίκτυο καυσίμων

Είναι δίκτυο πρωταρχικής σημασίας, αφού εξυπηρετεί τον κύριο σκοπό του πλοίου, δηλαδή την παραγωγή ενέργειας που του επιτρέπει να κινείται, αλλά παράλληλα καλύπτει και τις υπόλοιπες ενεργειακές ανάγκες του συστήματος. Υπάρχουν δεξαμενές καυσίμου (με κατάλληλες ανθρωποθυρίδες, ενδεικτικά καταμετρητικά και εξαεριστικά), από τις οποίες το πετρέλαιο οδηγείται στις δεξαμενές ημερήσια καταναλώσεως και από εκεί στις μηχανές (για το βαρύ πετρέλαιο, μεταξύ της δεξαμενής αποθηκείσεως και ημερήσιας καταναλώσεως, παρεμβάλλεται δεξαμενή καθιζήσεως). Το δίκτυο πετρελαίου διαθέτει τους κατάλληλους προθερμαντήρες, φίλτρα και υδατοπαγίδες. Στα μηχανοστάσια υπάρχουν οι απαιτούμενοι φυγοκεντρικοί διαχωριστήρες πετρελαίου και ελαίου.

Το πλοίο διαθέτει δεξαμενή συγκεντρώσεως πετρελαιοειδών καταλοίπων, στην οποία καταθλίβονται το διαχωρισθέν πετρέλαιο από το διαχωρηστήρα πετρελαίου- νερού, καθώς και από τα πετρελαιοειδή κατάλοιπα από το φυγοκεντρικό διαχωρηστήρα πετρελαίου και τα πάσης φύσεως πετρελαιοειδή κατάλοιπα.

### 3.3.5 Δίκτυο λιπάνσεως

Εξασφαλίζει τη λίπανση- και κατά συνέπεια τον περιορισμό των φθορών λόγω υπερθερμάνσεως- της μηχανής, καθώς και τον καθαρισμό της από εξανθρακωμένα και ρινίσματα. Παλαιότερα η λίπανση της κύριας μηχανής βασιζόταν σε εμβάπτιση κινουμένων μερών στην ελαιολεκάνη. Σήμερα, εφαρμόζεται η αναγκαστική κυκλοφορία του λαδιού λιπάνσεως με τη χρήση αντλιών. Για τις κύριες και βοηθητικές μηχανές χρησιμοποιούνται διαφορετικά λιπαντικά. Είναι λοιπόν πιο ορθό να μιλάμε για σύστημα λιπάνσεως που αποτελείται από περισσότερα του ενός δίκτυα, καθένα από τα οποία έχει τη δική του δεξαμενή, σωλήνωση, καθαριστές και αντλίες.

### 3.3.6 Δίκτυα αερισμού- εξαερισμού

Καλύπτουν τη γέφυρα, το δωμάτιο ελέγχου των μηχανών, τους χώρους σιτίσεως, και τους χώρους ενδιαίτησεως και υγιεινής. Ο αέρας εισάγεται στους χώρους με φυγοκεντρικούς ανεμιστήρες μέσω των αεραγωγών. Είναι δυνατή η προσθήκη στο σύστημα ψυκτικής ή θερμαντικής μηχανής για τον κλιματισμό των χώρων. Ειδικά στο μηχανοστάσιο, η εισαγωγή αέρα γίνεται με ανεμιστήρες και αεραγωγούς επαρκούς διατομής και κατάλληλης

διατάξεως και ισχύος, οι οποίοι είναι εφοδιασμένοι με διάταξη διακοπής λειτουργίας ανεμιστήρα και κλεισίματος των αεροφρακτών από θέση εκτός μηχανοστασίου.

Υπάρχουν και άλλα δίκτυα, όπως τα δίκτυα έρματος, αποχετεύσεως, ψυκτικών μέσων, κλιματισμού, ατμού, καυσαερίων, αδρανούς αερίου, καθώς και δίκτυα που σχετίζονται με τον τύπο και τις προκύπτουσες ειδικές λειτουργίες του πλοίου.

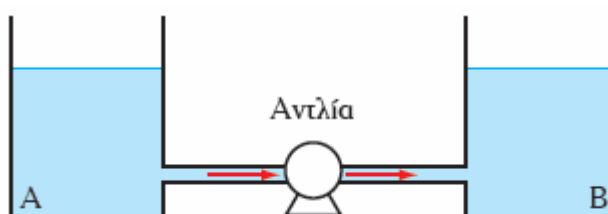
Όλα τα δίκτυα σωληνώσεων και τα επιστόμια των δικτών πληρούν τις απαιτήσεις των κανονισμών του νηογνώμονα. Το κάθε επιστόμιο φέρει ανεξίτηλη επ' αυτού χαρακτηριστική ένδειξη (αριθμούς ή και γράμματα) αντίστοιχα με την ένδειξη του στα σχέδια του πλοίου. Όλες οι σωληνώσεις των δικτών στηρίζονται και ασφαλίζονται κατάλληλα για την αποφυγή καταστροφής τους λόγω κραδασμών. Τέλος, όλα τα δίκτυα πρέπει να σημαίνονται σύμφωνα με τις απαιτήσεις του πρότυπου ISO 14617 (1999, Ships and marine technology- Identification colours for the content of piping systems). [7]

## Κεφάλαιο 4 Συστήματα Άντλησης

### 4.1 Γενικά για τις αντλίες

Αντλίες είναι τα μηχανήματα, τα οποία παρέχουν την αναγκαία ενέργεια για τη ροή των υγρών. Πιο συγκεκριμένα, μια αντλία αναρροφά το υγρό από ένα χώρο και προσδίδοντας του ενέργεια, το οδηγεί, μέσω αγωγών, σε έναν άλλο χώρο υψηλότερης ενεργειακής στάθμης. [8]

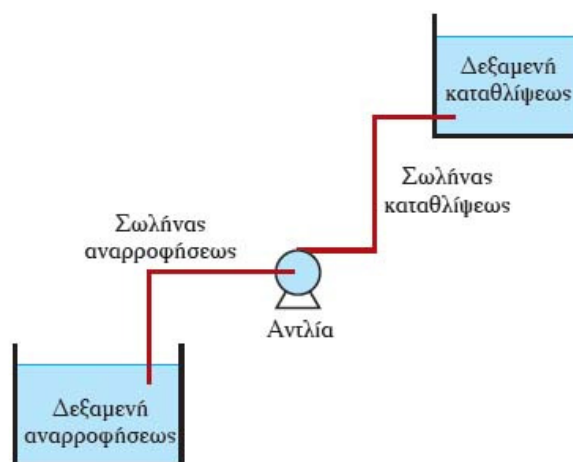
Χωρίς την ύπαρξη της αντλίας, η ροή του υγρού είναι αδύνατη, ακόμα και όταν οι δύο χώροι έχουν ίδιο υψόμετρο και πίεση (ίση ενεργειακή στάθμη). Για παράδειγμα, έστω ένα σύστημα δύο δεξαμενών, συνδεδεμένων με σωλήνα και με τις ελεύθερες επιφάνειες τους στο ίδιο επίπεδο και σε ίδια πίεση, καμία ροή δεν θα είναι δυνατή. Το σύστημα βρίσκεται σε στατική ισορροπία. Αν επιθυμούμε να υπάρξει ροή από τη μία δεξαμενή στην άλλη, πρέπει να τοποθετηθεί μία αντλία, η οποία θα αναρροφά υγρό από τη μία δεξαμενή και θα το καταθλίβει στην άλλη δεξαμενή, παρέχοντας του την αναγκαία ενέργεια για την αντιμετώπιση των απωλειών λόγω τριβών, αλλά και για την αύξηση της δυναμικής τους ενέργειας, καθώς η στάθμη της δεύτερης δεξαμενής θα ανέρχεται (Εικόνα 4.1).



Εικόνα 4.1  
Κατάσταση στατικής ισορροπίας

Όπως είναι λογικό, η αναγκαιότητα τη αντλίας, αλλά και η παρεχόμενη απ' αυτήν ποσότητα ενέργειας στο ρευστό, είναι μεγαλύτερη στην περίπτωση κατά την οποία η ελεύθερη

επιφάνεια της δεξαμενής B βρίσκεται υψηλότερα από την επιφάνεια της A, είτε έχει μεγαλύτερη πίεση απ' αυτήν (Εικόνα 4.2).



Εικόνα 4.2  
Σύστημα αντλήσεως

Αν η επιφάνεια της B βρίσκεται χαμηλότερα από την επιφάνεια της A, το υγρό ρέει από τη δεξαμενή A προς τη B, ακόμα και αν δεν υπάρχει αντλία, λόγω διαφοράς ενεργειακού ύψους. Αλλά και σ' αυτήν την περίπτωση, πιθανόν η παροχή να είναι μικρότερη από αυτήν που χρειαζόμαστε, οπότε η χρήση μιας αντλίας θα αυξήσει την παροχή στα επιθυμητά επίπεδα. Γενικά, η ροή ρευστού από χώρο υψηλής προς χώρο χαμηλής ενεργειακής στάθμης γίνεται αυθόρμητα. Αλλά αν η ενεργειακή διαφορά είναι μικρή και οι απώλειες μεγάλες, η παροχή που εξασφαλίζεται με τη φυσική ροή είναι μικρή και απαιτείται συνήθως η χρήση αντλιών.

Ανακεφαλαιώνοντας, η χρήση αντλίας είναι αναγκαία όταν επιδιώκουμε: Πρώτον να υπάρξει ροή υγρού από χαμηλότερη προς υψηλότερη ενεργειακή στάθμη και δεύτερον να αυξήσουμε την παροχή υφιστάμενης ροής.

Η αντλία παρεμβάλλεται στη σωλήνωση και αναρροφά ρευστό από τη μια πλευρά, καταθλίβοντάς το στην άλλη. Η διαδικασία καλείται άντληση του υγρού. Το σύστημα που διαμορφώνεται καλείται σύστημα αντλήσεως.

Το σύστημα αντλήσεως συνήθως είναι ανοικτό, δηλαδή το ρευστό οδηγείται από ένα χώρο σε άλλον. Υπάρχουν όμως και συστήματα αντλήσεως, στα οποία το υγρό κυκλοφορεί σε ένα κλειστό κύκλωμα. Σε αυτά τα συστήματα, η αντλία καλείται να αντιμετωπίσει τις ενεργειακές απώλειες λόγω τριβών. Γενικεύοντας, μπορούμε να πούμε πως η αντλία είναι η καρδιά ενός συστήματος αντλήσεως. [9]

Ένα σύστημα αντλήσεως αποτελείται από τρία τμήματα:

A) Το σωλήνα αναρροφήσεως, ο οποίος μεταφέρει το υγρό στην εισαγωγή της αντλίας.

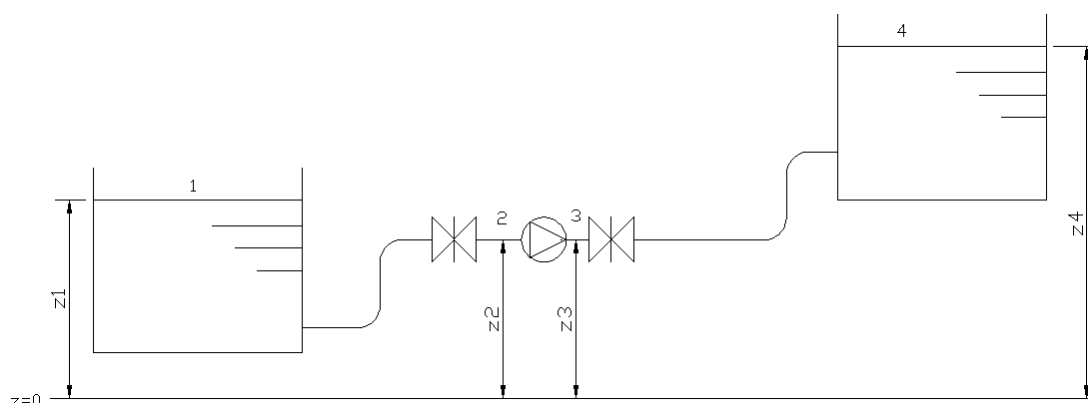
B) Την αντλία.

Γ) Το σωλήνα καταθλίψεως, στον οποίο διοχετεύει η αντλία το υγρό και μέσω του οποίου το υγρό συνεχίζει τη ροή του.

Το υγρό προσάγεται στην αντλία μέσω του σωλήνα αναρρόφησης, συνήθως από κάποιο χώρο, ο οποίος καλείται δεξαμενή αναρρόφησης. Αν το υγρό μετά την κατάθλιψη οδηγείται σε νέο χώρο αποθηκεύσεως, ο χώρος καλείται δεξαμενή καταθλίψεως. Στα κλειστά συστήματα αντλήσεως, οι σωλήνες αναρρόφησης ενώνονται.

## 4.2 Συνεργασία αντλίας με δίκτυο

Σε κάθε δίκτυο χρησιμοποιούνται μία ή περισσότερες αντλίες για την μεταφορά ρευστού από ένα σημείο σε κάποιο άλλο. Η απλούστερη περίπτωση δικτύου φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 4.3  
Δίκτυο μεταφοράς ρευστού από τη δεξαμενή 1 στη δεξαμενή 4

Το κομμάτι του δικτύου ανάντι της αντλίας, δηλαδή το τμήμα 12, είναι το τμήμα αναρρόφησης της αντλίας. Το κομμάτι του δικτύου κατάντι της αντλίας, δηλαδή το τμήμα 34 είναι το τμήμα κατάθλιψης της αντλίας.

Εφαρμόζοντας την γενικευμένη εξίσωση Bernoulli διαδοχικά στα τμήματα 12, 23, 34 παίρνουμε:

$$\text{τμήμα 12} \quad \rho_{01} + \rho g z_1 = \rho_{02} + \rho g z_2 + \Delta p_{12} \quad \text{ή} \quad H_{01} + z_1 = H_{02} + z_2 + \Delta H_{12}$$

$$\text{τμήμα 23} \quad \rho_{01} + \rho g z_1 + \Delta p_{0,αντλ} = \rho_{03} + \rho g z_3 \quad \text{ή} \quad H_{02} + z_2 + \Delta H_{0,αντλ} = H_{03} + z_3$$

$$\text{τμήμα 34} \quad \rho_{03} + \rho g z_3 = \rho_{04} + \rho g z_4 + \Delta p_{34} \quad \text{ή} \quad H_{03} + z_3 = H_{04} + z_4 + \Delta H_{34}$$

όπου:

$\Delta p_{0,αντλ}$  : αύξηση της ολικής πίεσης του ρευστού από την αντλία

$\Delta H_{0,αντλ}$  : αύξηση του ολικού ύψους του ρευστού από την αντλία.

Η αύξηση του ολικού ύψους ή της ολικής πίεσης της αντλίας ονομάζονται και ολικό ύψος ή ολική πίεση της αντλίας και συμβολίζονται  $H_{0,αντλ}$  και  $p_{0,αντλ}$ , αντίστοιχα.

Θεωρούμε ότι στο τμήμα 23 η πτώση πίεσης λόγω τριβών δεν είναι σημαντική. Αθροίζοντας κατά μέλη τις παραπάνω εξισώσεις προκύπτει:

$$p_{o1} + \rho g z_1 + \Delta p_{o,αντλ} = p_{o4} + \rho g z_4 + \Delta p_{12} + \Delta p_{34} \quad \text{ή}$$

$$H_{o1} + z_1 + \Delta H_{o,αντλ} = H_{o4} + z_4 + \Delta H_{12} + \Delta H_{34}$$

Και τελικά:

$$\Delta p_{o,αντλ} = (p_{o4} - p_{o1}) + [\rho g(z)_4 - z_1] + \Delta p_{12} + \Delta p_{34} \quad \text{ή}$$

$$\Delta H_{o,αντλ} = (H_{o4} - H_{o1}) + [(z)_4 - z_1] + \Delta H_{12} + \Delta H_{34}$$

Οι πτώσεις πίεσης στα τμήματα 12 και 34 υπολογίζονται από τις σχέσεις:

$$\Delta p_{12} = \left( \lambda_{12} \frac{l_{12}}{d_{12}} + \sum [\zeta_{12}] \right) \frac{\rho}{2} w_{12}^2 \quad \text{ή}$$

$$\Delta H_{12} = \left( \lambda_{12} \frac{l_{12}}{d_{12}} + \sum [\zeta_{12}] \right) \frac{1}{2g} w_{12}^2$$

$$\Delta p_{34} = \left( \lambda_{34} \frac{l_{34}}{d_{34}} + \sum [\zeta_{34}] \right) \frac{\rho}{2} w_{34}^2 \quad \text{ή}$$

$$\Delta H_{34} = \left( \lambda_{34} \frac{l_{34}}{d_{34}} + \sum [\zeta_{34}] \right) \frac{1}{2g} w_{34}^2$$

Λαμβάνοντας υπόψη τις παρακάτω σχέσεις:

$$p_{o1} = p_1 + \frac{\rho}{2} w_1^2 \quad \text{ή}$$

$$p_{o4} = p_4 + \frac{\rho}{2} w_4^2 \quad \text{ή}$$

προκύπτει:

$$\Delta p_{o,αντλ} = (p_4 - p_1) + \frac{\rho}{2(w_4^2 - w_1^2)} + [\rho g(z)_4 - z_1] + \Delta p_{12} + \Delta p_{34} \quad \text{ή}$$



$$\Delta H_{\text{αντλ}} = (H_4 - H_1) + \frac{1}{2g(w_4^2 + w_1^2)} + [(z)_4 - z_1] + \Delta H_{12} + \Delta H_{34}$$

Οι παραπάνω σχέσεις είναι γενικές και ισχύουν για οποιοδήποτε δίκτυο. Για το συγκεκριμένο δίκτυο που εξετάζουμε επιπλέον ισχύουν τα εξής: α) οι στατικές πιέσεις στα σημεία 1 και 4 είναι ίσες με την ατμοσφαιρική πίεση και β) οι ταχύτητες στα σημεία 1 και 4 μπορεί να θεωρηθούν μη σημαντικές ειδικά αν η επιφάνεια των δεξαμενών είναι μεγάλη. Ισχύει δηλαδή:

$$p_1 = p_4 = p_{\text{ατμ}} \text{ και } w_1 = w_4 = 0$$

Σε αυτή την περίπτωση προκύπτει:

$$\Delta p_{\text{αντλ}} = \rho g(z_4 - z_1) + \Delta p_{12} + \Delta p_{34} \quad \Psi \quad \Delta H_{\text{αντλ}} = (z_4 - z_1) + \Delta H_{12} + \Delta H_{34}$$

Εφαρμόζοντας την εξίσωση της συνέχειας για το δίκτυο που εξετάζουμε παίρνουμε:

$$\dot{V} = \text{σταθ.} \quad \text{ή} \quad \dot{V} = w_{12}A_{12} = w_{34}A_{34}$$

$$w_{12} = \frac{\dot{V}}{A_{12}} \quad w_{34} = \frac{\dot{V}}{A_{34}}$$

Έτσι, οι πτώσεις πίεσης γίνονται:

$$\Delta p_{12} = \left( \lambda_{12} \frac{l_{12}}{d_{12}} + \sum [\zeta_{12}] \right) \frac{\rho \dot{V}^2}{2A_{12}^3} \quad \text{ή} \quad \Delta H_{12} = \left( \lambda_{12} \frac{l_{12}}{d_{12}} + \sum [\zeta_{12}] \right) \frac{\rho \dot{V}^2}{2A_{12}^3}$$

$$\Delta p_{34} = \left( \lambda_{34} \frac{l_{34}}{d_{34}} + \sum [\zeta_{34}] \right) \frac{\rho \dot{V}^2}{2A_{34}^3} \quad \text{ή} \quad \Delta H_{34} = \left( \lambda_{34} \frac{l_{34}}{d_{34}} + \sum [\zeta_{34}] \right) \frac{\rho \dot{V}^2}{2A_{34}^3}$$

Και τελικά:

$$\Delta p_{12} + \Delta p_{34} = \frac{\rho}{2} \left[ \left( \lambda_{12} \frac{l_{12}}{d_{12}} + \sum [\zeta_{12}] \right) \frac{1}{A_{12}^3} + \left( \lambda_{34} \frac{l_{34}}{d_{34}} + \sum [\zeta_{34}] \right) \frac{1}{A_{34}^3} \right] \dot{V}^2 \quad \text{ή}$$

$$\Delta H_{12} + \Delta H_{34} =$$

Το ολικό ύψος που πρέπει να καλύψει η αντλία τελικά προκύπτει:

$$\Delta H_{\sigma,αντλ} = h_{\gamma} + ZV^2$$

όπου:

$$h_{\gamma} = z_4 - z_1 \text{ και } Z = \frac{1}{2g \left[ \left( \lambda_{12} \frac{l_{12}}{d_{12}} + \sum [\zeta_{12}] \right) \frac{1}{A_{12}^2} + \left( \lambda_{34} \frac{l_{34}}{d_{34}} + \sum [\zeta_{34}] \right) \frac{1}{A_{34}^2} \right]}$$

Η αντίστοιχη αύξηση της ολικής πίεσης του ρευστού λόγω της αντλίας είναι:

$$\Delta p_{\sigma,αντλ} = \rho g \Delta H_{\sigma,αντλ} = \rho g (h_{\gamma} + ZV^2)$$

Η καμπύλη που προκύπτει από την παραπάνω εξίσωση ονομάζεται χαρακτηριστική καμπύλη του δικτύου.

Για συγκεκριμένη κατάσταση λειτουργίας του δικτύου (δηλ. χωρίς να αλλάζουν τα μεταβλητά χαρακτηριστικά του δικτύου πχ. άνοιγμα-κλείσιμο επιστομίων), με μεταβολή της παροχής μεταβάλλονται οι συντελεστές τριβής  $\lambda_{12}$ ,  $\lambda_{34}$  οι οποίοι εξαρτώνται από τον αριθμό Re και επομένως την παροχή.

Σε πρώτη προσέγγιση θεωρώντας τις τιμές των  $\lambda_{12}$ ,  $\lambda_{34}$  σταθερές, η παραπάνω σχέση που αντιστοιχεί στην χαρακτηριστική καμπύλη λειτουργίας του δικτύου δίνει την παραβολή (1) που φαίνεται στην εικόνα 4.4.

Για μεγαλύτερη ακρίβεια, οι τιμές των συντελεστών τριβής  $\lambda_{12}$  και  $\lambda_{34}$ , πρέπει να αλλάζουν με την παροχή ή να θεωρούνται σταθεροί γύρω από μια μικρή περιοχή της παροχής.

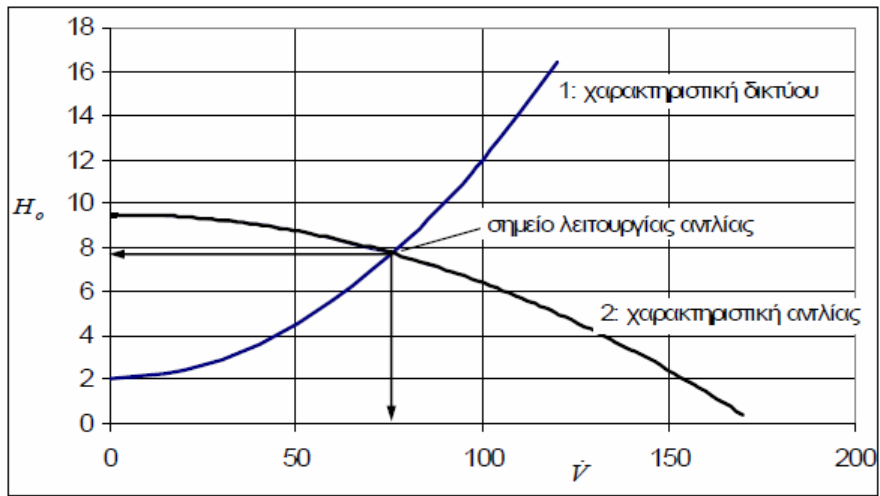
Η καμπύλη του ολικού ύψους της αντλίας όπως δίνεται από τον κατασκευαστή της είναι η καμπύλη (2) του σχήματος. Το σημείο λειτουργίας του δικτύου προκύπτει από την τομή των δυο καμπύλων.

Καθώς η αντλία μεταφέρει το ρευστό από την πρώτη δεξαμενή στη δεύτερη, η στάθμη  $z_1$  θα ελαττώνεται συνεχώς μέχρι την ελάχιστη τιμή της, δηλ. όταν η δεξαμενή αδειάσει. Επομένως ο όρος  $h_{\gamma} = (z_4 - z_1)$  μεταβάλλεται με το χρόνο λειτουργίας της αντλίας. Για τιμές του  $h_{\gamma}$  μεγαλύτερες από την αρχική, η καμπύλη του δικτύου μετατοπίζεται προς τα επάνω (δεν αλλάζει το Z και άρα δεν αλλάζει η κλίση), όπως φαίνεται στο σχήμα 6, η παροχή του δικτύου μειώνεται. Το αντίθετο συμβαίνει όταν το  $h_{\gamma}$  ελαττώνεται.

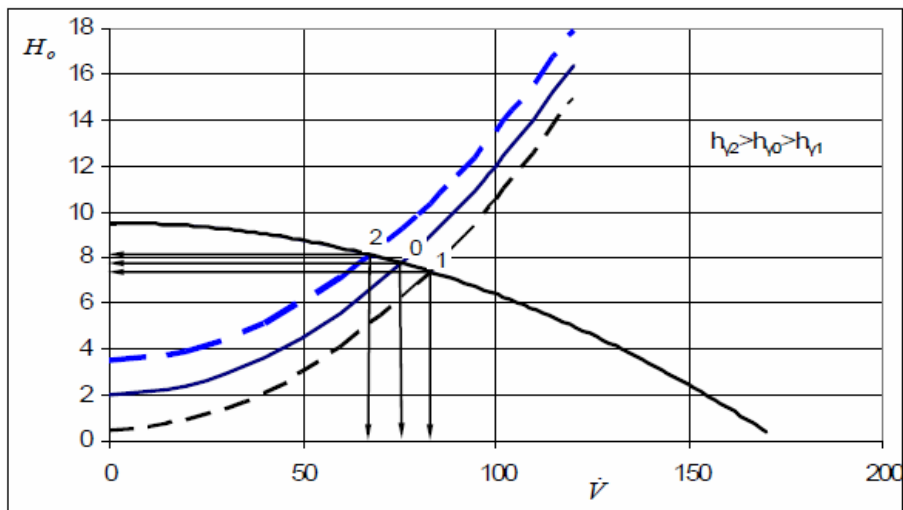
Όταν γίνεται ρύθμιση δικτύου (με άνοιγμα κλείσιμο επιστομίου) αλλάζει ο συντελεστής πρόσθετης αντίστασης του εξαρτήματος και επομένως αλλάζει η τιμή του όρου Z.

Όταν κλείνει το επιστόμιο το Z μεγαλώνει και επομένως, όπως προκύπτει από το σχήμα 7, ελαττώνεται η παροχή του δικτύου και αυξάνεται το ολικό ύψος της αντλίας,  $H_{\sigma,αντλ}$ .

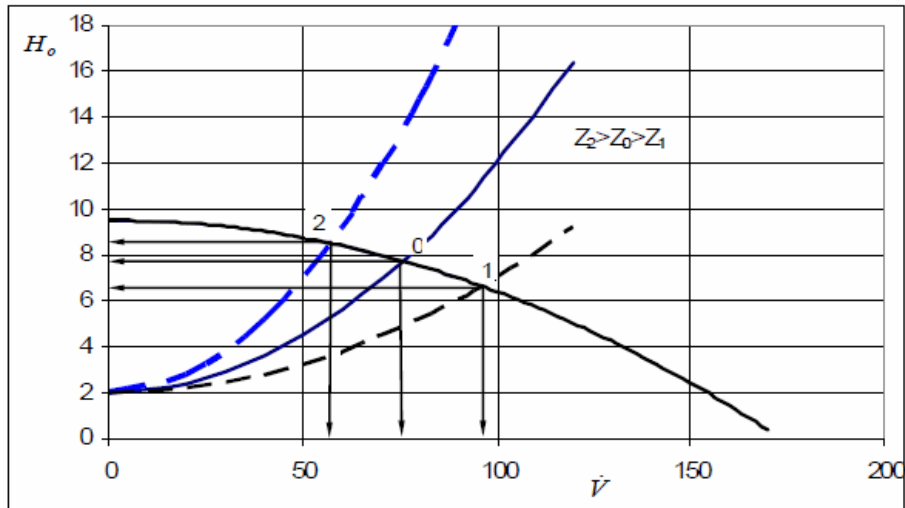
Όταν ανοίγει το επιστόμιο, ελαττώνεται ο συντελεστής πρόσθετης αντίστασης του επιστομίου και επομένως ο όρος  $Z$  μικραίνει. Έτσι, αυξάνεται η παροχή του δικτύου και μειώνεται το ολικό ύψος της αντλίας,  $H_{o,αντλ}$ .



Εικόνα 4.4  
Εύρεση σημείου λειτουργίας αντλίας



Εικόνα 4.5  
Αλλαγή του σημείου λειτουργίας της αντλίας με μεταβολή του  $h_v = (z_4 - z_1)$



Εικόνα 4.6

Αλλαγή του σημείου λειτουργίας της αντλίας με μεταβολή του Z

Στην περίπτωση που κλείσει τελείως κάποιο επιστόμιο, ο συντελεστής πρόσθετης αντίστασης του επιστομίου απειρίζεται και επομένως ο όρος Z γίνεται άπειρος, η παροχή μηδενίζεται και το ύψος της αντλίας γίνεται μέγιστο (προκύπτει από τη χαρακτηριστική της για  $\dot{V} = 0$ ).

Όπως εξηγήθηκε παραπάνω, η στιγμιαία παροχή του δικτύου, και επομένως και της αντλίας, μεταβάλλεται συνεχώς με το χρόνο. Ο όγκος του ρευστού που έχει διακινηθεί από την αντλία υπολογίζεται ολοκληρώνοντας την παροχή ως προς τον χρόνο, δηλαδή:

$$V = \int_0^t \dot{V} dt$$

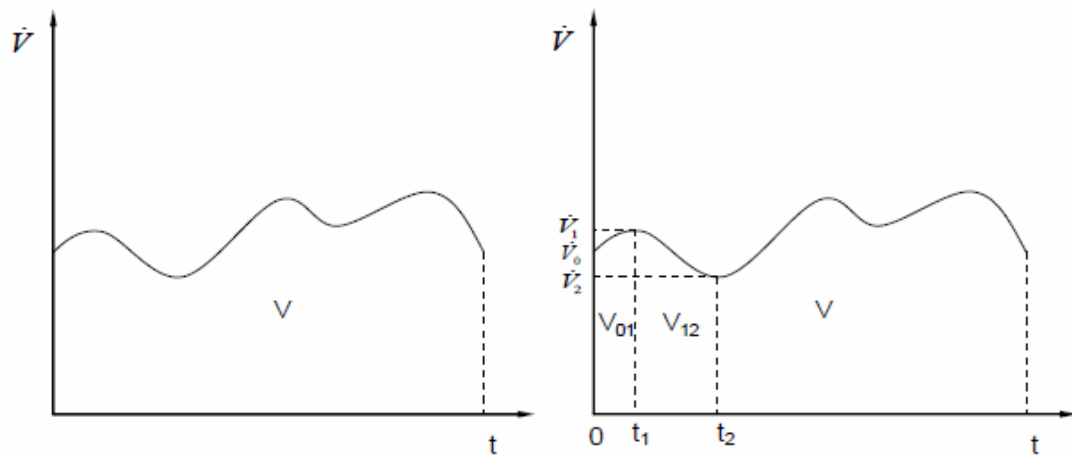
Με βάση την παραπάνω σχέση, προκύπτει κατά προσέγγιση ο όγκος που έχει διακινηθεί από την αντλία σε χρονικό διάστημα από τον χρόνο 0 (s) έως τον χρόνο  $t_1$  (s):

$$V_{01} = \frac{\dot{V}_0 + \dot{V}_1}{2} t_1$$

Η αντίστοιχη ποσότητα ρευστού για το χρονικό διάστημα από τον χρόνο  $t_1$  (s) έως τον χρόνο  $t_2$  (s), είναι:

$$V_{12} = \frac{\dot{V}_1 + \dot{V}_2}{2} [(t)_2 - t_1]$$

Κ.Ο.Κ.



Εικόνα 4.7  
Υπολογισμός όγκου ρευστού

Ο χρόνος που απαιτείται για το άδειασμα της δεξαμενής κατά  $V$  είναι:

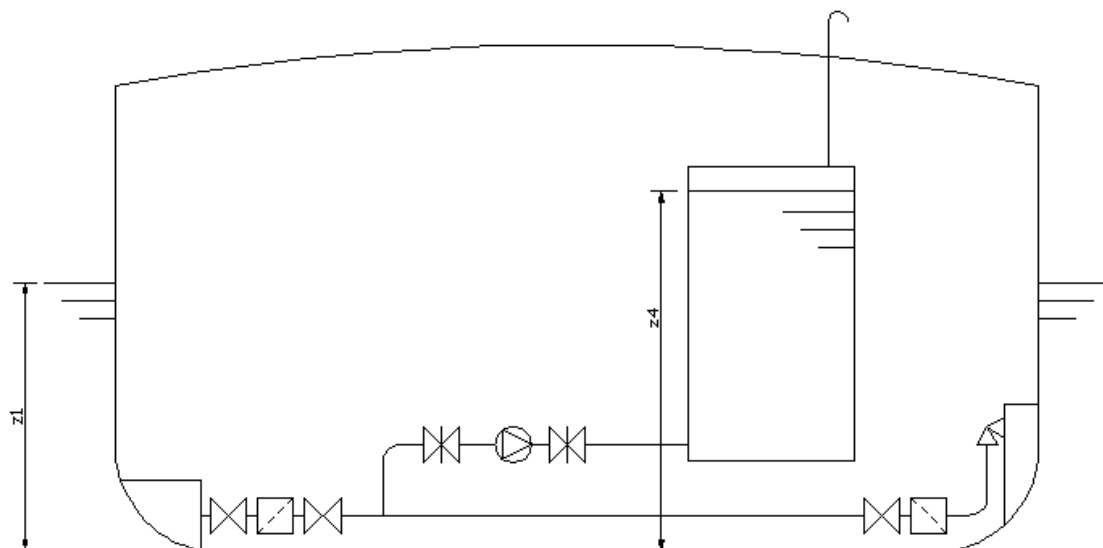
$$t = \frac{V}{\bar{V}}$$

π.χ.

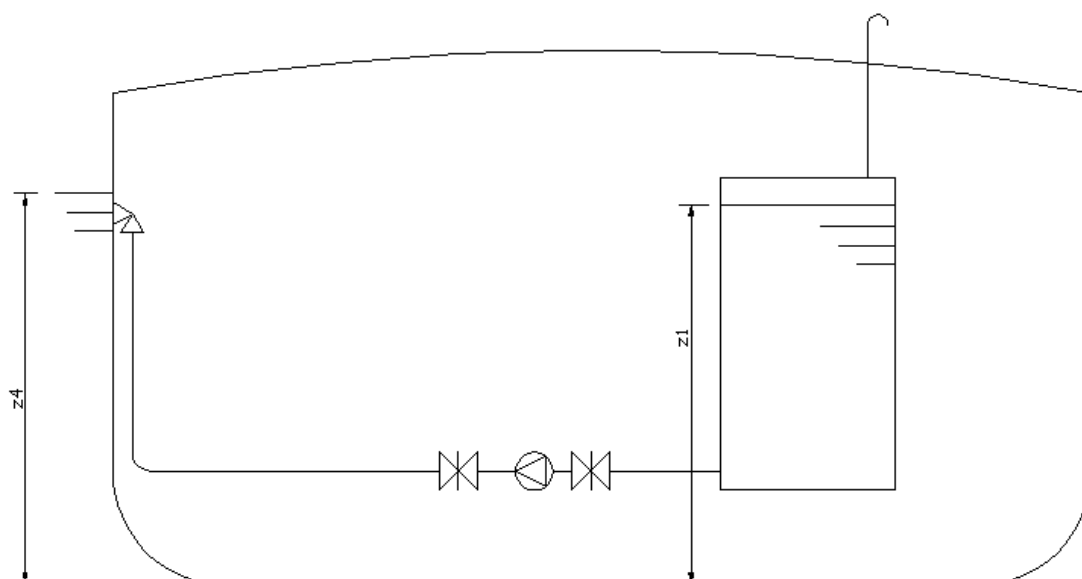
$$t_{01} = \frac{V_{01}}{\frac{\dot{V}_0 + \dot{V}_1}{2}}, \quad t_{12} = \frac{V_{12}}{\frac{\dot{V}_1 + \dot{V}_2}{2}} \quad \text{Κ.Ο.Κ}$$

### 4.3 Περιπτώσεις δικτύων σε πλοία

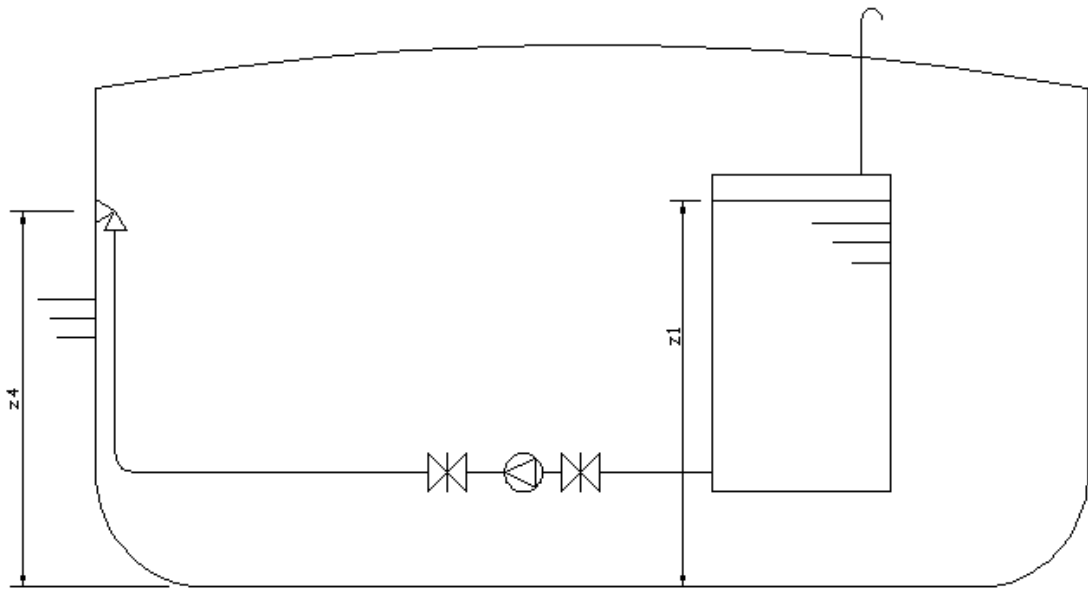
Περίπτωση 1<sup>η</sup>: Ερματισμός δεξαμενής



Περίπτωση 2<sup>η</sup>: Αφερματισμός δεξαμενής –το σημείο εξόδου του νερού είναι χαμηλότερα από την ίσαλο γραμμή



Περίπτωση 3<sup>η</sup>: Αφερματισμός δεξαμενής –το σημείο εξόδου του νερού είναι ψηλότερα από την ίσαλο γραμμή





## Κεφάλαιο 5 Χρήση Υπολογιστικών Προγραμμάτων

### 5.1 Επίλυση Προβλημάτων με Υπολογιστικά Φύλλα

Καθώς τα προβλήματα των σωληνώσεων των πλοίων γίνονται όλο και πιο πολύπλοκα και χρονοβόρα, η χρήση σχετικών προγραμμάτων γίνεται όλο και πιο σημαντική. Ιδιαίτερα στις περιπτώσεις, στις οποίες η επίλυση απαιτεί την επαναληπτική διαδικασία των δοκιμών, η χρήση του ηλεκτρονικού υπολογιστή εξασφαλίζει ταχύτητα, αξιοπιστία και την επιθυμητή ακρίβεια. Υπάρχουν εξειδικευμένα προγράμματα, αλλά και τα τόσο διαδεδομένα προγράμματα υπολογιστικών φύλλων, όπως το Excel της Microsoft, το Calc του Open Office, το Spread κ.α..

Για να επιλύσουμε ένα πρόβλημα μ' αυτά τα προγράμματα, υπάρχουν δύο ουσιαστικές προϋποθέσεις: Η πρώτη είναι κάποια εξοικείωση με το πρόγραμμα που θα χρησιμοποιηθεί και η δεύτερη είναι να γνωρίζουμε καλά τη μεθοδολογία επίλυσης.

Στη συνέχεια παρουσιάζουμε επιγραμματικά, τις κατηγορίες των προβλημάτων συνδέσεως και διακλαδώσεως σωληνών, τις εξισώσεις που ισχύουν και τα βήματα επίλυσης τους. Υπενθυμίζουμε ότι για κάθε σύστημα, ισχύει η εξίσωση Bernoulli. Στη συνέχεια παρατίθεται προτεινόμενη μεθοδολογία για την αντιμετώπιση σχετικών προβλημάτων.

#### 5.1.1 Σύνδεση σωληνών σε σειρά

$$Q=Q_1=Q_2=...$$

$$h=h_1 + h_2+ ...$$

Πρόβλημα 1.1: Δίνεται η παροχή, ζητούνται οι απώλειες.

$$1. \quad Q=Q_1=Q_2=... \quad \rightarrow h_i$$

$$2. \quad h=h_1 + h_2+ ... \quad \rightarrow \Sigma h$$

Πρόβλημα 1.2: Δίνονται οι απώλειες, ζητείται η παροχή.

1<sup>ος</sup> τρόπος (αναλυτικός):

1. Υποθέτουμε (τυχαία, λογική) τιμή παροχής  $Q'$ .

2. Υπολογίζουμε το  $\Sigma h'$  που αντιστοιχεί σ' αυτήν.

3. Αν  $h' \approx h \Rightarrow$  Τέλος

Αν  $h' > h \Rightarrow Q' > Q$  Νέα  $Q'$ , επιστροφή στο 1.

Αν  $h' < h \Rightarrow Q' < Q$  Νέα  $Q$ , επιστροφή στο 1.

2<sup>ος</sup> τρόπος (Υπόθεση έντονης τύρβης, YET):

1. YET  $\rightarrow f_i'$
2. Υπολογίζουμε  $\alpha_i \rightarrow h_i = \alpha_i Q^2 (SI)$
3.  $h = \sum \alpha_i Q^2 \rightarrow Q$
4. Έλεγχος YET: Αν  $f_i \approx f_i'$ , τέλος  
Αν  $f_i > f_i'$ , επιστροφή στο 2.

Πρόβλημα 1.3: Δίνονται οι μέγιστες απώλειες και η παροχή, ζητείται μία διάμετρος (ελάχιστη τιμή).

1. Χρησιμοποιούμε την Q ως δεδομένο και το  $h_{max}$  ως κριτήριο.
2. Υποθέτουμε (τυχαία, λογική) τιμή διαμέτρου  $d_i'$ .
3. Υπολογίζουμε το  $h'$  που αντιστοιχεί στην  $d_i'$ .
4. Αν  $h' \approx h \Rightarrow$  τέλος.  
Αν  $h' > h \Rightarrow d_i' < d_i$  Νέα  $d_i'$ , επιστροφή στο 2.  
Αν  $h' < h \Rightarrow d_i' > d_i$  Νέα  $d_i'$ , επιστροφή στο 2.

### 5.1.2 Παράλληλη σύνδεση σωλήνων

$$Q = Q_1 + Q_2 + \dots$$

$$h = h_1 = h_2 = \dots$$

Πρόβλημα 2.1: Δίνεται η ολική παροχή, ζητούνται οι απώλειες.

1. YET  $\rightarrow f_i'$
2. Υπολογίζουμε  $\alpha_i \rightarrow h_i = \alpha_i Q_i^2 (SI) \rightarrow Q_i = \beta_i h^{0.5} (\beta_i = 1/\alpha_i^{0.5})$
3.  $Q = \sum Q_i \rightarrow Q = \beta_i h^{0.5} \rightarrow h$
4. Έλεγχος YET: Αν  $f_i \approx f_i'$ , τέλος.  
Αν  $f_i > f_i'$ , επιστροφή στο 2.

Πρόβλημα 2.2: Δίνονται οι απώλειες, ζητείται η ολική παροχή.

1.  $h = h_1 = h_2 = \dots \rightarrow Q_i$
2.  $Q = Q_1 + Q_2 + \dots \rightarrow Q$

Πρόβλημα 2.3: Δίνονται οι απώλειες και η μέγιστη παροχή, ζητείται μία διάμετρος (ελάχιστη τιμή).

1. Χρησιμοποιούμε το  $h$  ως δεδομένο και την  $Q_{max}$  ως κριτήριο.
2. Υποθέτουμε (τυχαία, λογική) τιμή διαμέτρου  $d_i'$
3. Υπολογίζουμε την  $Q'$  που αντιστοιχεί στη  $d_i'$
4. Αν  $Q' \approx Q \Rightarrow$  τέλος.

Αν  $Q' > Q \Rightarrow d_i' < d_i$  Νέα  $d_i'$ , επιστροφή στο 2.

Αν  $Q' < Q \Rightarrow d_i' > d_i$  Νέα  $d_i'$ , επιστροφή στο 2.

### 5.1.3 Πρόβλημα των τριών δεξαμενών

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0$$

$$y_1 - h_1 = y_2 \pm h_2 = y_3 + h_3 = P$$

Πρόβλημα 3.1: Δίνονται τα δύο υψόμετρα και η παροχή μιας δεξαμενής γνωστού υψομέτρου (π.χ.:  $y_1, y_2, Q_1$ ).

Ζητούνται το υψόμετρο της τρίτης δεξαμενής και οι δύο παροχές.

1. Υπολογίζουμε τις απώλειες του σωλήνα γνωστής παροχής ( $Q_1 \rightarrow h_1$ ).
2. Από τη σχέση των απωλειών υπολογίζουμε τις απώλειες στο σωλήνα που αντιστοιχεί στο άλλο γνωστό υψόμετρο ( $h_2$ ).
3. Υπολογίζουμε την παροχή του δεύτερου σωλήνα ( $h_2 \rightarrow Q_2$ ).
4. Από τη σχέση παροχών υπολογίζουμε την τρίτη παροχή ( $Q_3$ ).
5. Υπολογίζουμε τις απώλειες του τρίτου σωλήνα ( $Q_3 \rightarrow h_3$ ).
6. Από τη σχέση των απωλειών υπολογίζουμε το τρίτο ύψος ( $y_3$ ).

Πρόβλημα 3.2: Δίνονται τα δύο υψόμετρα και η παροχή της δεξαμενής αγνώστου υψομέτρου (π.χ.:  $y_1, y_2, Q_3$ )

Ζητούνται το υψόμετρο της τρίτης δεξαμενής και οι δύο παροχές.

1. Υπολογίζουμε τις απώλειες του σωλήνα γνωστής παροχής ( $Q_3 \rightarrow h_3$ ).
2. Διαμορφώνουμε σχέση ελέγχου αξιοποιώντας τη γνωστή υψομετρική διαφορά ( $y_1 - y_2 = h_1 \pm h_2$ ).
3. Υποθέτουμε τιμή σε μία από τις δύο άγνωστες παροχές, οπότε προκύπτει τιμή και για την άλλη ( $Q_1' \rightarrow Q_2'$ ).

4. Υπολογίζουμε τις απώλειες στους δύο σωλήνες ( $Q_1' \rightarrow h_1', Q_2' \rightarrow h_2'$ ).
5. Εφαρμόζουμε το κριτήριο:
  - Αν  $h_1' \pm h_2' > y_1 - y_2 \Rightarrow Q_1' > Q_1$ : Επιστροφή στο βήμα 3.
  - Αν  $h_1' \pm h_2' < y_1 - y_2 \Rightarrow Q_1' < Q_1$ : Επιστροφή στο βήμα 3.
  - Αν  $h_1' \pm h_2' \approx y_1 - y_2 \Rightarrow Q_1' \approx Q_1$ : Τέλος.
6. Από τη σχέση απωλειών υπολογίζουμε το τρίτο ύψος ( $y_3$ ).

Πρόβλημα 3.3: Δίνονται τα υψόμετρα των τριών δεξαμενών ( $y_1, y_2, y_3$ ).

Ζητούνται οι τρεις παροχές.

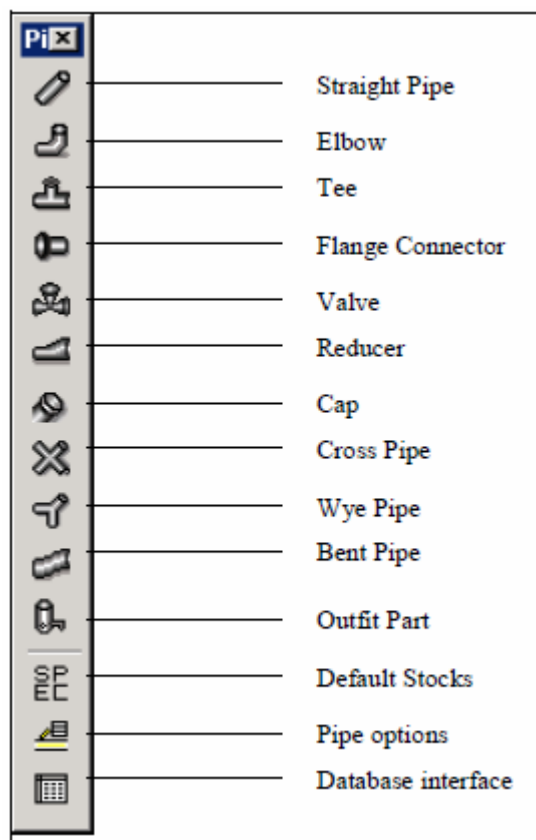
1.  $YET \rightarrow h_1 = a_1 Q_1 \quad h_2 = a_2 Q_2 \quad h_3 = a_3 Q_3$
2. Υποθέτουμε  $P' = y_2 \rightarrow [h_1' \rightarrow Q_1'], [Q_2' = 0], [h_3' \rightarrow Q_3']$ 
  - Αν  $Q_1' > Q_3' \Rightarrow$  Εισροή στη Β  $\Rightarrow P' = y_2 < P$
  - Αν  $Q_1' < Q_3' \Rightarrow$  Εκροή από τη Β  $\Rightarrow P' = y_2 > P$
3. Υποθέτουμε  $P' \rightarrow h_1', h_2', h_3'$  (από σχέση απωλειών)
4. Υπολογίζουμε τις παροχές:  $h_1' \rightarrow Q_1', h_2' \rightarrow Q_2', h_3' \rightarrow Q_3'$
5. Ως κριτήριο, χρησιμοποιούμε τη σχέση των παροχών:
  - Αν  $Q_1' + Q_2' + Q_3' > 0 \Rightarrow P' > P$ : Επιστροφή στο βήμα 3.
  - Αν  $Q_1' + Q_2' + Q_3' < 0 \Rightarrow P' < P$ : Επιστροφή στο βήμα 3.
  - Αν  $Q_1' + Q_2' + Q_3' \approx 0 \Rightarrow P' \approx P$ : Τέλος.
6. Ελέγχουμε τις YET και αν χρειαστεί, διορθώνουμε τις τελικές παροχές. Εξομαλύνουμε μικρές διαφορές ώστε:  $Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0$ . [10]

## 5.2 Επίλυση προβλημάτων με το λογισμικό PIPE της ARL

Το λογισμικό PIPE είναι μια πλήρης ολοκληρωμένη μονάδα της Ship Constructor σουίτας, η οποία είναι ένα λογισμικό βασισμένο στο AutoCAD το οποίο παρέχει εργαλεία για το σχεδιασμό ενός πλοίου. Πολλές από τις λειτουργίες που χρησιμοποιούνται στο PIPE περιλαμβάνονται και στην προηγούμενη σουίτα.

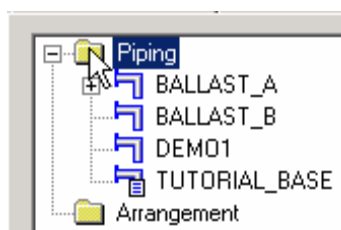
Παρακάτω δίνουμε μια συνοπτική περιγραφή ορισμένων βασικών λειτουργιών του PIPE, χρησιμοποιώντας κάποιες εικόνες του εργαλείου και των μενού του. [11]

Πολλές από τις λειτουργίες είναι εύκολα διαθέσιμες χρησιμοποιώντας τη γραμμή εργαλείων σωλήνων, όπως φαίνεται παρακάτω:



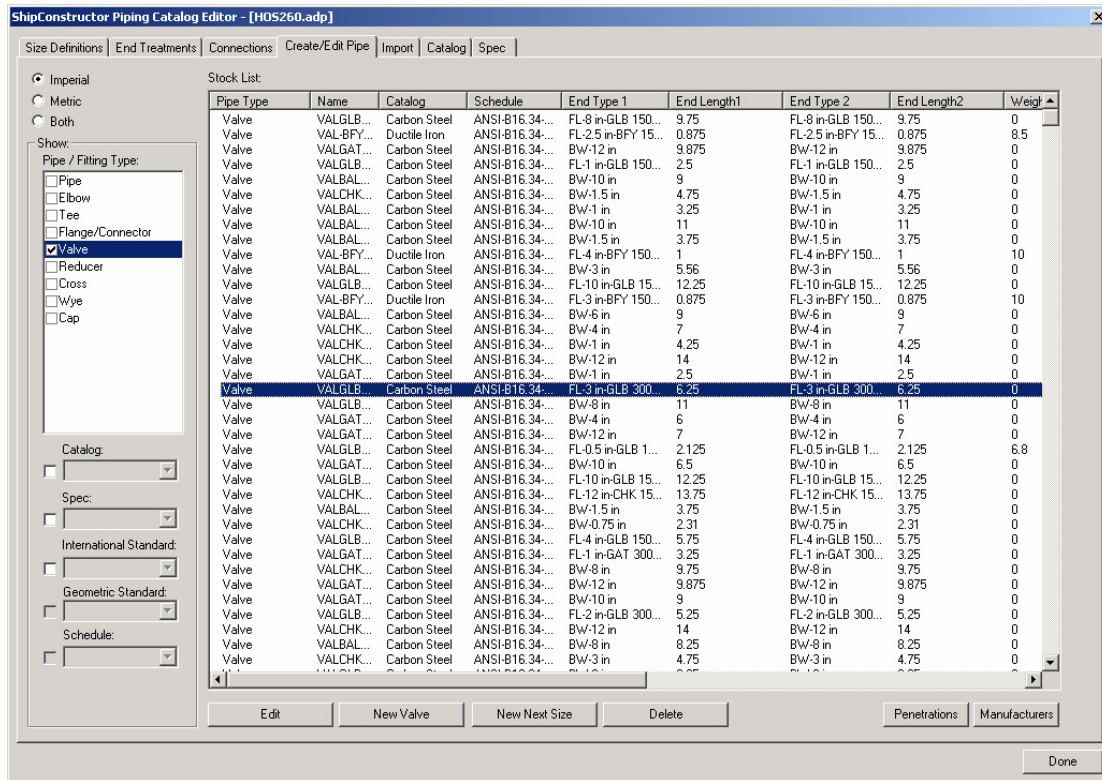
Εικόνα 5.1

Μπορείτε να δημιουργήσετε νέο σχέδιο σωλήνων χρησιμοποιώντας το φάκελο των σωλήνων (Piping).



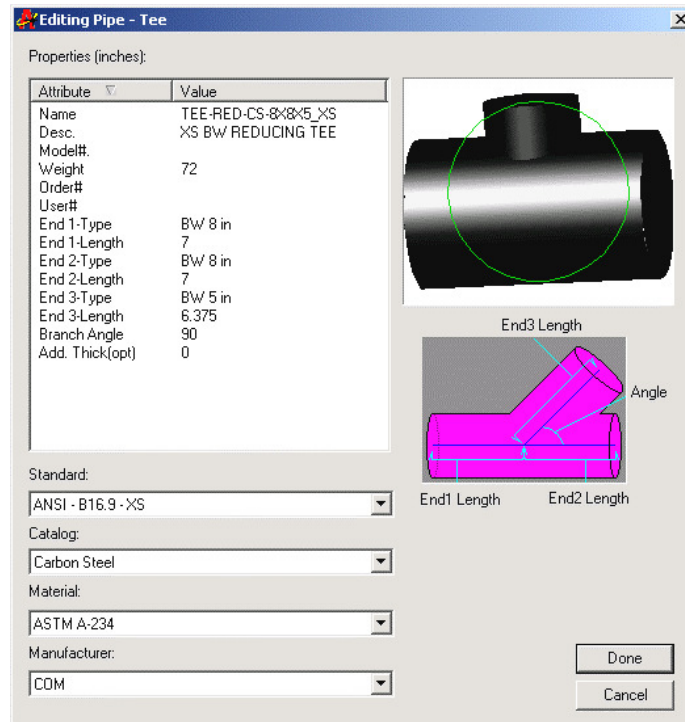
Εικόνα 5.2

Με το λογισμικό, αφού γίνει ο σχεδιασμός των σωλήνων, μπορείτε να επεξεργαστείτε τους σωλήνες, από το μενού Edit:



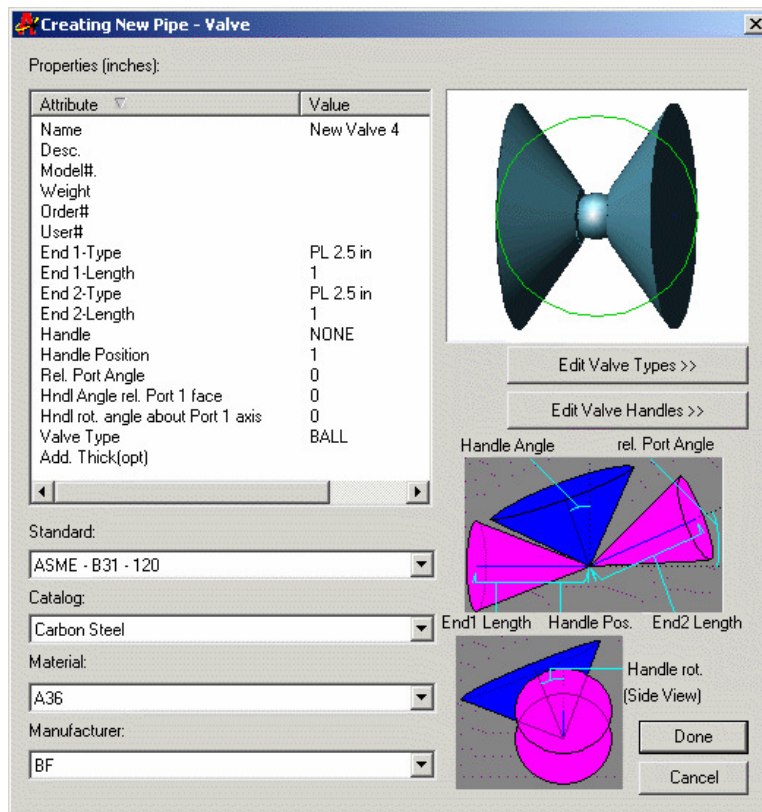
Εικόνα 5.3

Στη συνέχεια έχετε και τη δυνατότητα προεπισκόπησης του σωλήνα που επεξεργάζεστε:



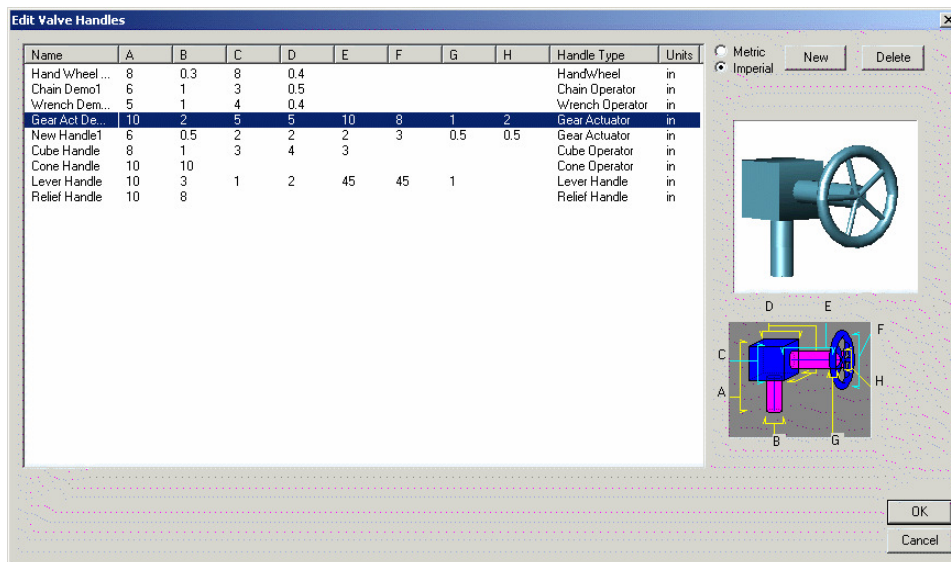
Εικόνα 5.4

Μπορείτε επίσης να δημιουργήσετε ή να επεξεργαστείτε βαλβίδες:



Εικόνα 5.5

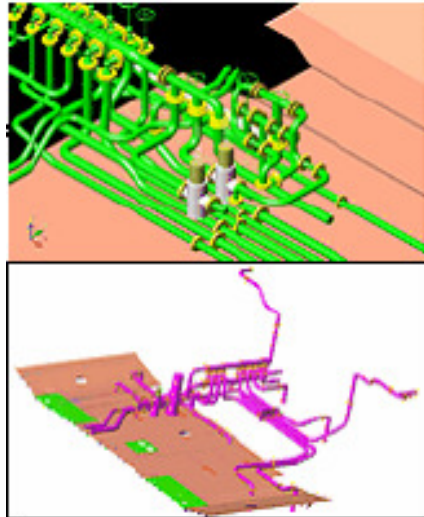
Πιο συγκεκριμένα έχει πολλών ειδών βαλβίδες, όπως στην παρακάτω εικόνα βαλβίδα χειρός:



Εικόνα 5.6

Ορισμένα χαρακτηριστικά ή προδιαγραφές, που προβλέπουν συγκεκριμένες λεπτομέρειες για το σχεδιασμό, την κατασκευή και την παραγωγή, μπορούν να ενσωματωθούν στο σχέδιο και να γίνει μία ένωση δύο διαφορετικών χαρακτηριστικών. Για παράδειγμα, μπορεί να δημιουργηθεί ένα σενάριο για κάθε προδιαγραφή και στη συνέχεια να ενωθούν τα σενάρια μεταξύ τους:

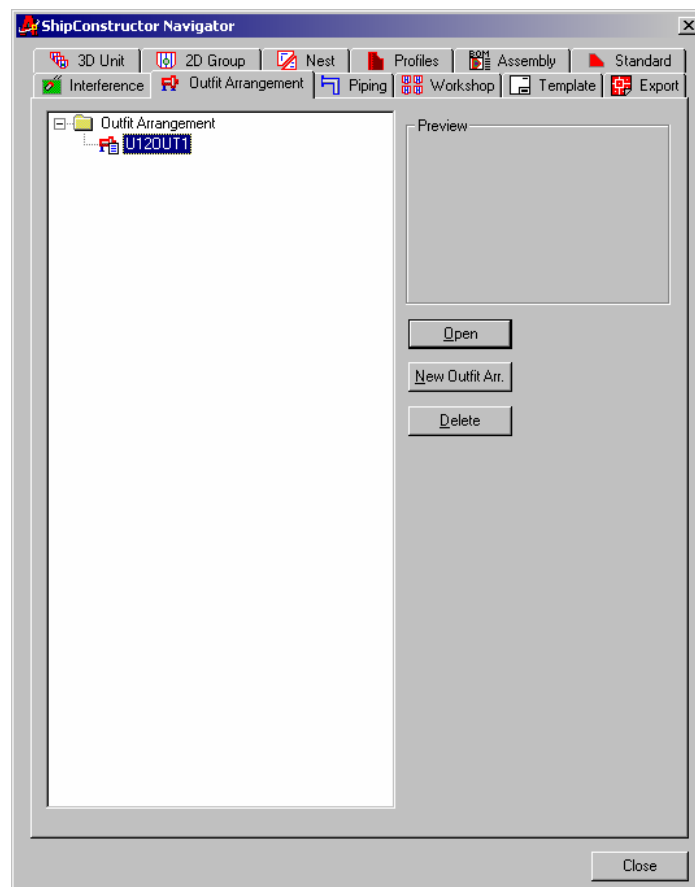




Εικόνα 5.7

Στη συνέχεια μπορούν να προστεθούν πολλά φίλτρα και συνδέσεις.

Μόλις τελειοποιηθεί ένα σχέδιο είναι ένα πρώτο βήμα για να περάσει από το 3D μοντέλο σε παραγωγικό μοντέλο. Ένα μοντέλο παραγωγής αποτελείται από τη δομή του εξοπλισμού, σωληνώσεων, ηλεκτρικών καθώς και κάθε άλλου είδους στοιχείο που είναι απαραίτητο.



Εικόνα 5.8

Στην παραπάνω παράγραφο μας δίνεται μια λεπτομερής παρουσίαση του λογισμικού προγράμματος *PIPE* της *ARL*, λόγω της μη επιτυχημένης προσπάθειας να αποκτήσουμε το ίδιο το πρόγραμμα επειδή είναι μη προσβάσιμο από την ιστοσελίδα της εταιρείας *Ship Constructor*, λόγω ιδιωτικών συμφερόντων.

Στην εικόνα 5.1 βλέπουμε τις λειτουργίες στη γραμμή εργαλείων σωλήνων, μπορούμε να επιλέξουμε όπως φαίνεται ανάμεσα σε διάφορα είδη όπως σωλήνα σε ευθεία γραμμή, σωλήνα υπό γωνία (45°), σωλήνα σε σχήμα τάφ και πολλά άλλα είδη.

Στην συνέχεια, στην εικόνα 5.2 μέσα από το φάκελο των σωλήνων, μπορούμε να δημιουργήσουμε νέο σχέδιο σωλήνων, όπως σωλήνες σαβούρας (ballast) τύπου A και B, demo\_1 σχεδιασμό σωλήνων και αρχική βάση σχεδιασμού σωλήνων.

Παρακάτω στην εικόνα 5.3, αφού έχει γίνει ήδη ο σχεδιασμός των σωλήνων, μπορούμε πολύ εύκολα από το μενού "edit" να επεξεργαστούμε τους σωλήνες, για παράδειγμα όπως φαίνεται και στην εικόνα 5.3 έχουμε να επιλέξουμε ανάμεσα σε βαλβίδες έχοντας κριτήρια το υλικό κατασκευής τους, τον τύπο και τη διάμετρό τους.

Στην συνέχεια στην εικόνα 5.4, έχουμε τη δυνατότητα προεπισκόπησης του σωλήνα και των στοιχείων του, όπως το υλικό κατασκευής και τις διαστάσεις του.

Στην παρακάτω εικόνα 5.5 μπορούμε επίσης να δημιουργήσουμε ή να επεξεργαστούμε τυχόν βαλβίδες που θα προσθέσουμε στο σύστημα σωληνώσεων που θα δημιουργήσουμε ανάλογα με τις ανάγκες μας.

Πιο συγκεκριμένα η εικόνα 5.6 μας δίνει ένα παράδειγμα βαλβίδας χειρός που θα μπορούσαμε να τοποθετήσουμε στο σύστημα.

Στην συνέχεια, ορισμένα χαρακτηριστικά ή προδιαγραφές μπορούν να ενσωματωθούν στο σχέδιο και να γίνει μια ένωση δυο διαφορετικών χαρακτηριστικών. Για παράδειγμα να δημιουργηθεί ένα σενάριο για κάθε προδιαγραφή και στη συνέχεια να ενωθούν τα σενάρια μεταξύ τους.

Εν κατακλείδι, μόλις τελειοποιηθεί ένα σχέδιο μπορεί να περάσει από το 3D κατευθείαν στο παραγωγικό μοντέλο. Ένα μοντέλο παραγωγής αποτελείται από τη δομή του εξοπλισμού, σωληνώσεων, ηλεκτρικών καθώς και κάθε άλλου είδους στοιχείο που είναι απαραίτητο.

## Βιβλιογραφία

- [1] Ιωαννίδης Ι.: *Συστήματα και Βοηθητικά Μηχανήματα Πλοίου*, ΕΜΠ, 2002.
- [2] Τριπολίτης Κ., Τριάντης Γ.: *Ναυτική Τέχνη Έκτακτες Ανάγκες*, ΟΕΔΒ, Αθήνα
- [3] <http://el.wikipedia.org/wiki/Ερματισμός>
- [4] Αθανασιάδης Ν.: *Σημειώσεις Μηχανικής των Ρευστών*, έκδοση 2η, ΕΜΠ 1970
- [5] Ασσαέλ Μ., Trusler Μ., Τσολάκης Θ: *Θερμοφυσικές Ιδιότητες Ρευστών*, Τζιόλας Θεσσαλονίκη 1997
- [6] Μαυρουδής Ι.: *Αντλίες και Σωληνώσεις*, Εκδόσεις Σταμούλη, 2000.
- [7] Ακριτίδης Κ.: *Αντλίες*, Εκδόσεις Γιαχούδη, 1985.
- [8] <http://www.europump.org/>
- [9] D. A. Taylor: *Introduction to Marine Engineering*, Elsevier Butterworth-Heinemann, 1996.
- [10] Πάντζαλης Ν.: *Μηχανική Ρευστών*, Ευγενειδίο Ιδρυμα , Αθήνα 2008
- [11] [www.shipconstructor.com](http://www.shipconstructor.com)