



ΧΡΥΣΟΥΝ ΜΕΤΑΛΛΙΟΝ
ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

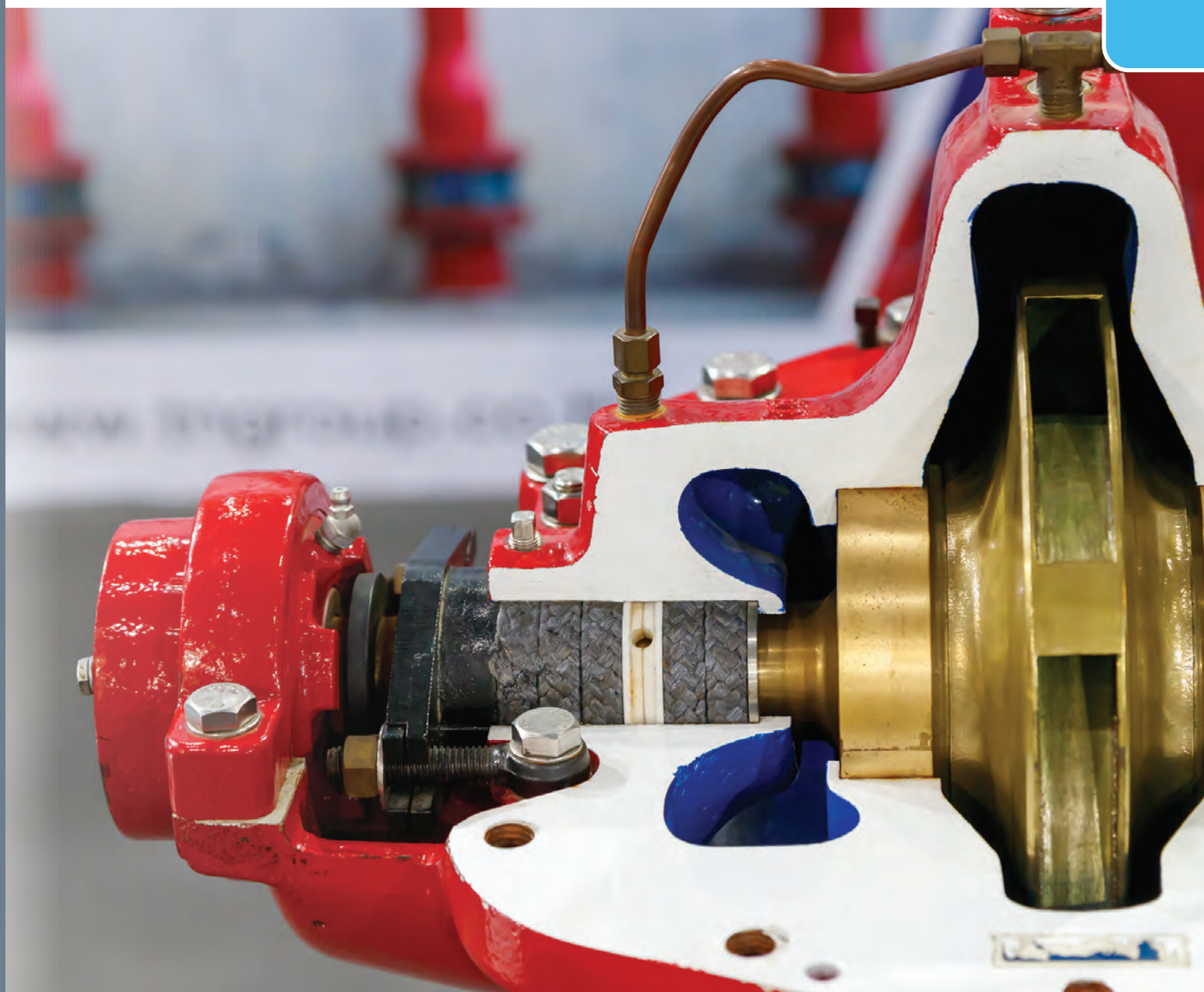
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΚΕΙΜΕΝΟ
ΑΚΑΔΗΜΙΩΝ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

ΑΝΤΛΙΕΣ

ΙΩΑΝΝΗ Κ. ΔΑΓΚΙΝΗ
ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥ. Ι. ΓΛΥΚΑ

β' έκδοση

ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ
ΧΡΥΣΟΥΝ ΜΕΤΑΛΛΙΟΝ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ



ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΚΕΙΜΕΝΟ
ΑΚΑΔΗΜΙΩΝ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΤΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

ΑΝΤΛΙΕΣ

ΙΩΑΝΝΗ Κ. ΔΑΓΚΙΝΗ

Α' Μηχανικού Ε.Ν.
Δρ. Πανεπιστημίου Αιγαίου
Τμήμα Ναυτιλίας και Επιχειρηματικών
Υπηρεσιών, Εφαρμογές νέων τεχνολογιών
στη Ναυτιλία, Μεταφορές και Περιβάλλον

ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥ Ι. ΓΛΥΚΑ

Ναυπηγού Μηχ. Μηχανικού ΕΜΠ
Δρ. Πανεπιστημίου Γλασκώβης
Επίκουρου Καθηγητή
Ναυτιλιακής Τεχνολογίας

Β' ΕΚΔΟΣΗ

ΑΘΗΝΑ
2026



Α' ΕΚΔΟΣΗ 2016

Β' ΕΚΔΟΣΗ 2026

ISBN: 978-960-337-239-4

Copyright © 2026 Ίδρυμα Ευγενίδου

Απαγορεύεται η ολική ή μερική ανατύπωση του βιβλίου και των εικόνων με κάθε μέσο καθώς και η διασκευή, η προσαρμογή, η μετατροπή και η κυκλοφορία του (Άρθρο 3 του ν. 2121/1993).

ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

Το 1952 ο Ευγένιος Ευγενίδης (1882-1954) όρισε με τη διαθήκη του τη σύσταση του Ιδρύματος Ευγενίδου, του οποίου ως μοναδικό σκοπό έταξε «να συμβάλη εις την εκπαίδευσιν νέων έλληνικής ύπηκοότητος έν τῷ έπιστημονικῷ καὶ τεχνικῷ πεδίῳ». Ο ιδρυτής και χορηγός του Ιδρύματος Ευγενίδου ορθά προέβλεψε ότι αναγκαίο παράγοντα για την πρόοδο της Ελλάδος αποτελεί η άρτια κατάρτιση των Ελλήνων τεχνικών κατά τα πρότυπα της επαγγελματικής εκπαίδευσης άλλων ευρωπαϊκών χωρών.

Την 23η Φεβρουαρίου του 1956 εγκρίθηκε η σύσταση του κοινωφελούς Ιδρύματος Ευγενίδου, την διοίκηση και διαχείριση του οποίου κατά την ρητή επιθυμία του ιδρυτή του ανέλαβε η αδελφή του Μαριάνθη Σίμου (1895-1981). Τότε ξεκίνησε η υλοποίηση του σκοπού του Ιδρύματος και η εκπλήρωση μίας από τις βασικότερες ανάγκες του εθνικού μας βίου από την Μαριάνθη Σίμου και τους επιστημονικούς συνεργάτες της.

Το έργο της Μαριάνθης Σίμου συνέχισε από το 1981 ο πολύτιμος συνεργάτης και διάδοχος του Ευγενίου Ευγενίδη, Νικόλαος Βερνίκος-Ευγενίδης (1920-2000). Από το 2000 το έργο του Ιδρύματος Ευγενίδου συνεχίζει ο Λεωνίδας Δημητριάδης-Ευγενίδης, ο οποίος υλοποιεί τον σκοπό του Ιδρύματος προσαρμόζοντας το όραμα του ιδρυτή του στις σύγχρονες εξελίξεις.

Μία από τις πρώτες δραστηριότητες του Ιδρύματος Ευγενίδου, ευθύς μετά την ίδρυσή του, υπήρξε η συγγραφή και έκδοση εκπαιδευτικών βιβλίων για τους μαθητές των τεχνικών σχολών, καθώς διαπιστώθηκε ότι αποτελεί πρωταρχική ανάγκη ο εφοδιασμός τους με σειρές από βιβλία, τα οποία θα έθιαν τα ορθά θεμέλια για την παιδεία τους και θα αποτελούσαν συγχρόνως πολύτιμη βιβλιοθήκη για κάθε τεχνικό. Καρπός αυτής της δραστηριότητας είναι η Βιβλιοθήκη του Τεχνίτη, η οποία αριθμεί 32 τίτλους, η Βιβλιοθήκη του Τεχνικού, που περιλαμβάνει 50 τίτλους, η Τεχνική Βιβλιοθήκη με 11 τίτλους και η Βιβλιοθήκη του Τεχνικού Βοηθού Χημικού με 3 τίτλους. Επιπλέον, από το 1977 μέχρι σήμερα έχουν εκδοθεί 171 τίτλοι για τους μαθητές των Τεχνικών και Επαγγελματικών Λυκείων και 16 για τους μαθητές των Σχολών Μέσης Τεχνικής και Επαγγελματικής εκπαίδευσης.

Ξεχωριστή σειρά βιβλίων του Ιδρύματος Ευγενίδου αποτελεί η Βιβλιοθήκη του Ναυτικού (1967 έως σήμερα), η οποία είναι το αποτέλεσμα της συνεργασίας του Ιδρύματος Ευγενίδου με την Διεύθυνση Εκπαίδευσης Ναυτικών του Υπουργείου Ναυτιλίας. Η συγγραφή και έκδοση των εκπαιδευτικών βιβλίων για τους σπουδαστές των ναυτικών σχολών ανατέθηκε στο Ίδρυμα Ευγενίδου με την υπ' αριθμ. 61288/5031/9.8.1966 απόφαση του Υπουργείου Εμπορικής Ναυτιλίας, οπότε και λειτούργησε η αρμόδια Επιτροπή Εκδόσεων, η οποία είχε συσταθεί ήδη από το 1958. Η συνεργασία Ιδρύματος Ευγενίδου και Υπουργείου Εμπορικής Ναυτιλίας ανανεώθηκε και επικαιροποιήθηκε με Υπουργικές Αποφάσεις το 1999 και το 2005, με τις οποίες το ΥΕΝ ανέθεσε στο Ίδρυμα Ευγενίδου την συγγραφή των εκπαιδευτικών βοηθημάτων για τις Ακαδημίες Εμπορικού Ναυτικού (Α.Ε.Ν.). Η ανάθεση της αρμοδιότητας για την έκδοση των διδακτικών βιβλίων για τις Ακαδημίες επαναβεβαιώθηκε με νομοθετική ρύθμιση τον Μάρτιο του 2020 (Ν. 4676).

Στην Βιβλιοθήκη του Ναυτικού περιλαμβάνονται 178 διδακτικά βιβλία ναυτικής εκπαίδευσης, καθώς και σχετικές έρευνες και πρακτικά συνεδρίων. Όλα τα βιβλία της Βιβλιοθήκης του Ναυτικού ανταποκρίνονται στις ανάγκες των σπουδαστών των ΑΕΝ και είναι γενικότερα χρήσιμα για όλους τους αξιωματικούς του Εμπορικού Ναυτικού, που ασκούν το επάγγελμα ή εξελίσσονται στην ιεραρχία. Επιπλέον οι συγγραφείς και η Επιτροπή Εκδόσεων καταβάλλουν κάθε προσπάθεια ώστε τα διδακτικά βιβλία να είναι επιστημονικώς άρτια, να επικαιροποιούνται με βάση τα εκάστοτε αναλυτικά προγράμματα σπουδών των Α.Ε.Ν. και να παραμένουν συμβατά με τις μεταβαλλόμενες διεθνείς απαιτήσεις.

Η διαχρονική συμβολή του Ιδρύματος Ευγενίδου στη Ναυτική Εκπαίδευση επιτυγχάνεται όχι μόνο με

την έκδοση των οχετικών εκπαιδευτικών βιβλίων αλλά και με δωρεές στις Ακαδημίες Εμπορικού Ναυτικού, υποτροφίες σε αξιωματικούς του Λιμενικού Σώματος, εκπόνηση μελετών/ερευνών και διεξαγωγή συνεδρίων για την ναυτική εκπαίδευση και την ναυτιλία γενικότερα, καθώς και παροχή πρόσβασης σε κορυφαίες ναυτιλιακές βάσεις δεδομένων μέσω της Βιβλιοθήκης του.

Με την προσφορά των εκδόσεών του στους καθηγητές, στους σπουδαστές των ΑΕΝ και σε όλους τους αξιωματικούς του Εμπορικού Ναυτικού, αλλά και με την πλειάδα εκδόσεων για Τεχνικούς, το Ίδρυμα Ευγενίδου συνεχίζει να συμβάλλει στην τεχνική εκπαίδευση της Ελλάδος, υλοποιώντας επί 60 και πλέον χρόνια το όραμα του ιδρυτή του, αείμνηστου ευεργέτη Ευγένιου Ευγενίδη.

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΕΚΔΟΣΕΩΝ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

Ιωάννης Γκόλιας, ομ. Καθηγητής ΕΜΠ, Πρόεδρος.

Γεώργιος Γεωργούλης, Πλοίαρχος Α' Ε.Ν., Ε.Δι.Π. Παν/μίου Αιγαίου.

Ευρυβιάδης Σαπουνάς, Υποναύαρχος Λ.Σ. (ε.α.).

Κωνσταντίνος Σαββολίδης, Πλοίαρχος Λ.Σ., Διευθυντής Ναυτικής Εκπαίδευσης, Υπουργείο Ναυτιλίας και Νησιωτικής Πολιτικής.

Χρήστος Βαγιωνάκης, Προϊστάμενος Τμήματος Κανονισμών και Εκπαιδευτικών Προγραμμάτων, Υπουργείο Ναυτιλίας και Νησιωτικής Πολιτικής.

Γραμματέας της Επιτροπής, **Ελευθερία Τελειώνη**.

Επιστημονικός Σύμβουλος για το βιβλίο «Αντλίες» ο κ. **Νικόλαος Τσίτσος**, Ναυπηγός Μηχανολόγος ΕΜΠ, καθ. ΑΕΝ Ασπροπύργου.

Διατελέσαντα μέλη της Επιτροπής

Πρόεδροι

Α. Παππάς (1955-1983) καθηγητής ΕΜΠ, Μ. Αγγελόπουλος (1983-2003) ομ. καθηγητής ΕΜΠ, Α. Σιαυρόπουλος ομ. καθηγητής Πανεπ. Πειραιώς (2003-2008), Ε. Δρns, Ομ. Καθηγητής ΕΜΠ (2008-2020)

Λοιπά μέλη

Γ. Κακριδής (1955-1959) Καθηγητής ΕΜΠ, Α. Καλογεράς (1957-1970) Καθηγητής ΕΜΠ, Χ. Καβουνίδης (1955-1984) Μnh. Hλ. ΕΜΠ, Μ. Αγγελόπουλος (1970-1983), Ομ. Καθηγητής ΕΜΠ, Σπ. Γουλιέλμος (1958) Αντιπλοίαρχος, Ξ. Αντωνιάδης (1959-1966) Αντιπλοίαρχος, Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Π. Γ. Τσακίρης (1967-1969) Πλοίαρχος, Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Ελλ. Σίδερης (1967-1969) Υποναύαρχος, Π. Φονσιέρης (1969-1971) Αντιπλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Αλ. Μοσχονάς (1971-1972) Αντιπλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Ι. Χρυσανθακόπουλος (1972-1974) Αντιπλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Αθαν. Σωτηρόπουλος (1974-1977) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Γ. Σπαρτιώτης (1977) Αντιπλοίαρχος Λ.Σ., προσωρινός Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Θ. Πουλάκης (1977-1979) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Π. Λυκούδης (1979-1981) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Αναστ. Δημαράκης (1981-1982) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Κ. Τσαντίλας (1982-1984) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Ε. Τζαβέλας (1984-1986) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Γ. Γρηγοράκος (1986-1988) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Α. Μπαρκατσάς (1988-1989) Αρχιπλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Κ. Παπαναστασίου (1989) Αρχιπλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Γ. Λάμπρου (1989-1992) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Κ. Κοκορέσιος (1992-1993) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Κ. Μαρκάκης (1993-1994) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Ι. Ζουμπούλης (1994-1995) Πλοίαρχος Λ.Σ., Φ. Ψαρράς (1995-1996) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Γ. Καλαρώνης (1996-1998) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Θ. Ρενιζεπέρης (1998-2000) Αντιπλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Ι. Στεφανάκης (2000-2001) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Κ. Μαρίνος (2001) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Π. Εξαρχόπουλος (2001-2003) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Κ. Μπριλάκης (2003-2004) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Ν. Θεμέλαρος (2003-2004) Αντιπλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Π. Κουβέλης (2004-2005) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Δ. Βασιλάκης (2005-2008) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Π. Πειρόπουλος (2008-2009) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Α. Μαϊογάγος (2009-2011) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., – (2012-2025) Αντιναύαρχος Λ.Σ. (ε.α), Ι. Σέργης (2011-2012) Αρχιπλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Ι. Τζαβάρας, (2004-2013) Αντιναύαρχος Λ.Σ. (ε.α), Ι. Τεγόπουλος (1988-2013) Ομ. Καθηγητής ΕΜΠ, Α. Θεοφανόπουλος (2012-2014) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Β. Καλλιπολίτου (2014-2017) Αντιπλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντρια Ναυτ. Εκπαίδ., Σ. Μπέλλας (2017-2018) Αρχιπλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Α. Τσελίκης (2018-2019) Αρχιπλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Α. Βουτσινάς, Αντιπλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Ε. Πειρόπουλος (2020-2024) Αρχιπλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Φ. Κιάμος (2024-2025), Αρχιπλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ.

Σύμβουλοι επί των Εκδόσεων

Δ. Γ. Νιάνιαν (1956-1965) Καθηγητής ΕΜΠ, Κ. Αγγ. Μανάφης (1966-2018), ομ. Καθηγ. Φίλος. Σχολής του Πανεπιστημίου Αθηνών.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ Α' ΕΚΔΟΣΗΣ

Το βιβλίο *Ανιλίες* στόχο έχει να παρέχει στους σπουδαστές των Ακαδημιών Εμπορικού Ναυτικού (Σχολές Μηχανικών) και σε κάθε χρήστη ανιλιών τις απαραίτητες γνώσεις σχετικά με τα είδη και τις εφαρμογές των ανιλιών στα πλοία, καθώς και με την πρόληψη, διάγνωση και επίλυση προβλημάτων που προκύπτουν κατά τη χρήση τους.

Το βιβλίο, που είναι σύμφωνο με το ισχύον αναλυτικό πρόγραμμα σπουδών, χωρίζεται στις ακόλουθες τρεις θεματικές ενότητες:

Η πρώτη ενότητα αποτελείται από τα κεφάλαια 1 έως 3, στα οποία περιέχεται η γενική ταξινόμηση των ανιλιών, οι τύποι και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά που τις διαφοροποιούν.

Η δεύτερη ενότητα περιλαμβάνει τα κεφάλαια 4 έως 6, όπου αναπτύσσονται τα χαρακτηριστικά μεγέθη των συστημάτων άντλησης, η ροή και οι χαρακτηριστικές καμπύλες των δυναμικών ανιλιών, καθώς και η επίδραση στη λειτουργία τους από τα ρευστά που διακινούν.

Στην **τρίτη ενότητα** περιέχονται τα κεφάλαια 7 έως 10. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται οι ανιλίες που συναντώνται συνήθως στα πλοία, οι ανιλίες που χρησιμοποιούνται ανάλογα με το σύστημα πρόωσης του πλοίου, η σιεγανοποίησή τους, τα έδρανα, η εκκίνηση και η λειτουργία τους. Τέλος, με συνοπτικό τρόπο παρατίθενται οι βασικές αρχές που διέπουν την μελέτη και τον σχεδιασμό των συστημάτων άντλησης.

Έτσι, το περιεχόμενο του βιβλίου καλύπτει όχι μόνο τις ανάγκες των σπουδαστών των ΑΕΝ, αλλά και των αξιωματικών του Εμπορικού Ναυτικού.

Από τα 10 κεφάλαια του βιβλίου, τα 1, 2, 3, 4, 7, 8 και 9 εκπονήθηκαν αυτοτελώς από τον Ι. Δάγκινη, ενώ τα κεφάλαια 5 και 6 συνεγράφησαν από τον Ι. Δάγκινη και τον Α. Γλύκα. Στην συγγραφή του βιβλίου συνέβαλε σημαντικά το περιεχόμενο του διδακτικού εγχειριδίου *Μηχανική Ρευστών* του Ν. Πάνιζαλη (εκδ. Ίδρυμα Ευγενίδου, 2008).

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε την Επιτροπή Εκδόσεων και το Ίδρυμα Ευγενίδου για την ανάθεση της συγγραφής του βιβλίου, τον κ. Νικόλαο Τοίτσο, καθ. ΑΕΝ Ασπροπύργου, ο οποίος συνετέλεσε με ουσιαστικές παρεμβάσεις στην αριότητα του βιβλίου, καθώς και το προσωπικό του Τμήματος Εκδόσεων του Ίδρυματος Ευγενίδου για την συνεργασία και συμβολή του στην άρτια παρουσίαση του βιβλίου.

Θεωρώντας ότι η βελτίωση αυτού του βιβλίου είναι έργο δημιουργικής και καλόπιστης κριτικής, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε εκ των προτέρων τους αναγνώστες που θα απευθύνουν παρατηρήσεις, υποδείξεις ή σχόλια, τα οποία θα βοηθήσουν στη βελτίωσή του σε επόμενη έκδοση.

Οι συγγραφείς

ΠΡΟΛΟΓΟΣ Β' ΕΚΔΟΣΗΣ

Με ιδιαίτερη χαρά παρουσιάζουμε τη δεύτερη έκδοση του βιβλίου *Ανιλίες*, η οποία προέκυψε από την ανάγκη για γλωσσικό εκσυγχρονισμό, επιμέλεια και επικαιροποίηση του περιεχομένου του.

Στην παρούσα έκδοση πραγματοποιήθηκε επεξεργασία στο κείμενο, με στόχο τη μεγαλύτερη σαφήνεια, ομοιομορφία και αναγνωσιμότητα, καθώς και διόρθωση τυπογραφικών και εκφραστικών αβλεψιών. Παράλληλα, επικαιροποιήθηκαν σημεία του περιεχομένου, ώστε να ανταποκρίνεται στη σύγχρονη ορολογία και στις τρέχουσες εκπαιδευτικές ανάγκες, χωρίς να αλλοιώνεται η βασική δομή και φιλοσοφία του βιβλίου.

Ευχαριστούμε θερμά όσους και όσες με τις παρατηρήσεις και υποδείξεις τους συνέβαλαν στη βελτίωση της παρούσας έκδοσης και ευελπιστούμε ότι θα συνεχίσει να αποτελεί ένα αξιόπιστο και χρήσιμο βοήθημα για τη μελέτη και κατανόηση των ανιλιών πλοίων.

Οι συγγραφείς

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

Εισαγωγή

1.1	Ιστορική αναδρομή.	1
1.2	Διακίνηση ρευστών και μηχανήματα διακίνησης ρευστών.	2
1.3	Βασικές έννοιες αντλίας και συστήματος άντλησης.	4
1.4	Ταξινόμηση των αντλιών.	5

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

Αντλίες θετικής εκτόπισης

	Γενικά	9
2.1	Παλινδρομικές (εμβολοφόρες) αντλίες	9
2.1.1	Αναρροφητική αντλία.	11
2.1.2	Καταθλιπτική αντλία.	11
2.2	Τα βασικά μέρη εμβολοφόρου αντλίας.	12
2.3	Αεροκώδωνες.	16
2.4	Καμπύλες ροής εμβολοφόρων αντλιών.	18
2.5	Θεωρητική και πραγματική παροχή εμβολοφόρων αντλιών.	21
2.6	Μετάδοση ενέργειας κίνησης εμβολοφόρων αντλιών.	21
2.6.1	Εμβολοφόρες αντλίες άμεσης μετάδοσης – Λειτουργίας.	21
2.6.2	Στροφαλοκίνητες αντλίες.	26
2.6.3	Αντλίες με διαφράγματα.	32
2.7	Περιστροφικές αντλίες.	35
2.8	Παροχή περιστροφικών αντλιών.	48

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

Δυναμικές αντλίες

	Γενικά	51
3.1	Δυναμικές αντλίες.	52
3.2	Ταξινόμηση των αντλιών σύμφωνα με τη διεύθυνση ροής του υγρού.	53
3.2.1	Αντλίες φυγοκεντρικής ή ακτινικής ροής.	53
3.2.2	Αντλίες αξονικής ροής ή ελικοφόρες.	55
3.2.3	Αντλίες μεικτής ροής.	56
3.2.4	Αντλίες περιφερειακής ροής ή στροβιλαντλίες.	57
3.3	Ταξινόμηση δυναμικών αντλιών σύμφωνα με το σχήμα κατασκευής του κελύφους.	58
3.3.1	Αντλίες με οπειροειδές κέλυφος ή ελικοφρακτες.	58
3.3.2	Αντλίες με κέλυφος σταθερών περυγίων ή στροβιλοφυγόκεντρες.	60
3.3.3	Αντλίες με κέλυφος μεικτού τύπου ή ελικοφρακτες στροβιλοφυγόκεντρες.	60
3.4	Ταξινόμηση δυναμικών αντλιών σύμφωνα με την εισαγωγή του υγρού στην αντλία.	61
3.5	Ταξινόμηση δυναμικών αντλιών σύμφωνα με το είδος του στροφέιου – περωτής.	62
3.6	Ταξινόμηση δυναμικών αντλιών σύμφωνα με τον αριθμό των βαθμίδων τους.	64
3.7	Δυναμικές αντλίες ειδικού τύπου.	65
3.7.1	Αντλίες ακροφυσίου.	65
3.7.2	Αντλίες υδραυλικού εμβόλου.	67
3.7.3	Αντλίες ανύψωσης με αέρα.	68
3.7.4	Ηλεκτρομαγνητικές αντλίες.	69

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

Χαρακτηριστικά μεγέθη συστημάτων άντλησης

4.1	Βασικά στοιχεία μηχανικής ρευστών και υδραυλικών συστημάτων.	71
4.2	Ροή των φυσικών υγρών.	73
4.2.1	Η παροχή του σωλήνα.	74
4.2.2	Απώλειες λόγω αντίστασης στη ροή.	74
4.2.3	Ροή υγρών από σίφωνα.	74
4.3	Οι Νόμοι Διατήρησης μάζας και ενέργειας σε σύστημα άντλησης.	75
4.3.1	Εξίσωση της Συνέχειας.	76
4.3.2	Εξίσωση της Ενέργειας.	77
4.4	Το υδραυλικό κύττημα.	79
4.5	Χαρακτηριστικά μεγέθη συστημάτων άντλησης και αντλιών.	79
4.5.1	Ενεργειακά ύψη.	79
4.5.2	Ογκομετρική παροχή.	83
4.5.3	Ισχύς ή ιπποδύναμη αντλιών.	84
4.5.4	Βαθμοί απόδοσης αντλιών.	85
4.6	Αναρρόφηση της αντλίας.	87
4.7	Κατάθλιψη της αντλίας.	89
4.8	Επίδραση των φυσικών ιδιοτήτων του υγρού στην αντλία.	90

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

Ροή στις δυναμικές αντλίες

Γενικά	91
5.1 Η ροή στη φυγοκεντρική αντλία.	91
5.2 Απώλειες ύψους..	96
5.2.1 Κυκλοφοριακή ροή ρευστού στα πτερύγια.	96
5.2.2 Τριβές στην πτερωτή.	97
5.2.3 Απώλειες κρούσεων.	97
5.2.4 Απώλειες ισχύος.	98
5.3 Βαθμός απόδοσης της αντλίας.	99
5.4 Διαστατική ανάλυση και ομοιότητα αντλιών.	101
5.5 Ειδική ταχύτητα.	103
5.5.1 Ορισμός.	103
5.5.2 Η ειδική ταχύτητα στη βιομηχανική πρακτική.	104
5.6 Σπηλαίωση.	108
5.6.1 Αναρρόφηση δυναμικών αντλιών.	108
5.6.2 Σπηλαίωση αντλιών.	109
5.6.3 Ειδική ταχύτητα αναρρόφησης.	112
5.7 Ο αέρας στην αντλία.	113

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

Χαρακτηριστικές καμπύλες δυναμικών αντλιών

6.1	Χαρακτηριστικές καμπύλες δυναμικών αντλιών.	115
6.1.1	Η καμπύλη $H = f_1(\dot{V})$ ή $H - \dot{V}$ (ή καμπύλη στραγγαλισμού).	116
6.1.2	Η καμπύλη $P_a = f_2(\dot{V})$ ή $P_a - \dot{V}$ (αξονικής ισχύος-παροχής).	117
6.1.3	Η καμπύλη $\eta = f_3(\dot{V})$ ή $\eta - \dot{V}$ βαθμού απόδοσης-παροχής και το βέλτιστο σημείο λειτουργίας.	117
6.1.4	Η καμπύλη $NPSH_r = f_4(\dot{V})$ ή $NPSH_r - \dot{V}$	118
6.1.5	Σύνθετο διάγραμμα καμπυλών δυναμικών αντλιών.	119
6.2	Πλήρεις χαρακτηριστικές καμπύλες.	121
6.3	Χαρακτηριστικές καμπύλες αντλιών θετικής εκτόπισης.	128
6.4	Χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας συστήματος άντλησης.	129

6.4.1 Χαρακτηριστική καμπύλη συστήματος.	129
6.4.2 Σημείο λειτουργίας του συστήματος άντλησης.	131
6.4.3 Υπολογισμός συστήματος άντλησης.	132
6.4.4 Οι καμπύλες NPSH – $\dot{V}$ και οι συνθήκες σππλαίωσης.	136
6.5 Σύνδεση αντλιών.	138
6.5.1 Παράλληλη σύνδεση αντλιών.	138
6.5.2 Σύνδεση σε σειρά δύο ομοίων αντλιών.	142
6.5.3 Τροφοδοσία από μία αντλία δύο σωληνογραμμών.	143

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ

Αντλίες που συναντώνονται στα πλοία

Γενικά	145
7.1 Εμβολοφόρες αντλίες άμεσης μετάδοσης που χρησιμοποιούνται σε πλοία	145
7.2 Δυναμικές αντλίες που χρησιμοποιούνται στα πλοία	149
7.2.1 Μονοβάθμιες φυγοκεντρικές αντλίες απλής αναρρόφησης.	150
7.2.2 Πολυβάθμιες φυγοκεντρικές αντλίες με ηλεκτροκινητήρα.	152
7.2.3 Φυγοκεντρικές αντλίες με ατμοστρόβιλο.	153
7.2.4 Κάθετης διάταξης φυγοκεντρικές αντλίες δύο βαθμίδων.	159
7.2.5 Φυγοκεντρικές αντλίες αυτόματης πλήρωσης	162

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΓΔΩΟ

Αντλίες συστημάτων πλοίου

8.1 Εισαγωγή.	165
8.2 Εγκατεστημένες αντλίες σύμφωνα με το σύστημα πρόωσης του πλοίου.	166
8.2.1 Πλοία με πρόωση από ατμοστρόβιλο.	166
8.2.2 Πλοία με πρόωση από Μηχανές Εσωτερικής Καύσης (ΜΕΚ).	175
8.2.3 Πλοία κινούμενα με αεριοστρόβιλο.	179
8.3 Αντλίες δικτύων συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας πλοίων	181
8.3.1 Αντλίες στροβιλογεννητριών	181
8.3.2 Αντλίες ηλεκτροπαραγωγών ζευγών με ΜΕΚ (ηλεκτρομηχανές)	183
8.4 Αντλίες βοηθητικών δικτύων (βοηθητικές αντλίες)	185
8.4.1 Αντλίες μετάγχισης καυσίμων	185
8.4.2 Αντλίες παροχής θαλάσσης	186
8.4.3 Αντλία μετάγχισης ελαίου λίπανσης.	189
8.4.4 Αντλία λίπανσης κοάνης του τελικού ελικοφόρου άξονα.	191
8.4.5 Αντλία κυκλοφορίας νερού λέβητα καυσαερίων	191
8.4.6 Αντλίες υδραυλικού ελαίου υψηλής πίεσης	192
8.4.7 Αντλίες πυρόσβεσης.	198
8.4.8 Αντλίες σεντινών.	199
8.4.9 Αντλίες αποβλήτων.	200
8.4.10 Αντλίες έρματος.	200
8.5 Αντλίες βοηθητικών υπηρεσιών.	201
8.5.1 Αντλίες συστήματος παραγωγής αποσταγμένου νερού	201
8.5.2 Αντλίες πόσιμου νερού.	202
8.5.3 Αντλίες ανακυκλοφορίας Ζεστού Νερού Χρήσης (ΖΝΧ)	202
8.5.4 Αντλίες υγιεινής.	203
8.5.5 Αντλίες βιολογικών λυμάτων.	203
8.5.6 Αντλίες στο σύστημα κλιματισμού με κρύο νερό	203
8.6 Αντλίες φορτίου και συναφών συστημάτων.	203
8.6.1 Φυγοκεντρικές αντλίες φορτίου.	204
8.6.2 Αντλίες φορτίου βαθέος φρεατίου.	207

8.6.3 Βυθιζόμενες ή καταδυόμενες αντλίες φορτίου κινούμενες από υδραυλικό κινητήρα.	210
8.6.4 Βυθιζόμενες αντλίες φορτίου κινούμενες με ηλεκτροκινητήρα.	214
8.6.5 Περιστροφικές αντλίες φορτίου.	215
8.6.6 Παλινδρομικές αντλίες φορτίου.	216
8.6.7 Αντλίες συστήματος αδρανούς αερίου.	216
8.6.8 Αντλίες καθαρισμού δεξαμενών φορτίου.	216

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΑΤΟ

Στεγανοποίηση, έδρανα, εκκίνηση και λειτουργία αντλιών

9.1 Στεγανοποίηση αντλιών.	217
9.1.1 Στεγανοποίηση εμβολοφόρων αντλιών.	221
9.1.2 Στεγανοποίηση περιστροφικών αντλιών.	222
9.1.3 Στεγανοποίηση φυγοκεντρικών αντλιών.	222
9.2 Έδρανα αντλιών	224
9.3 Μετάδοση κίνησης αντλιών.	227
9.3.1 Σύνδεσμοι άμεσης σύζευξης αξόνων κίνησης.	230
9.3.2 Ευθυγράμμιση συνδέσμων μετάδοσης της κίνησης.	232
9.4 Φθορά αντλιών.	234
9.5 Εκκίνηση και λειτουργία αντλιών γενικά.	236
9.5.1 Εκκίνηση αντλιών.	236
9.5.2 Λειτουργία αντλιών.	237
9.6 Συντήρηση αντλιών	237

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ

Μελέτη συστήματος άντλησης

10.1 Εισαγωγή.	243
10.2 Κριτήρια επιλογής αντλιών.	244
10.3 Σχεδιασμός της αναρρόφησης.	250
10.4 Σχεδιασμός-υπολογισμός της κατάθλιψης.	252
10.5 Ανάλυση κόστους κύκλου ζωής.	256
Ευρετήριο	257
Βιβλιογραφία	259

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ

Αγγλικά σύμβολα

A	επιφάνεια – εμβαδόν (m^2)
B	άνωση (N)
C	σταθερό, σταθερά
D ή d	εξωτερική ή εσωτερική διάμετρος (m)
F	δύναμη (N ή Kg_f ή Kp)
f	συντελεστής τριβής
f	ως δείκτης: απώλειες
Fr	αριθμός Froude
G	βάρος (N)
g	επιτάχυνση της βαρύτητας (m/s^2)
h	υδροστατικό ύψος (m) στήλης H_2O ή υγρού
h_f	ύψος ενεργειακών απωλειών λόγω τριβών, (m) στήλης H_2O ή υγρού
h_{fA}	ύψος ενεργειακών απωλειών στην αναρρόφηση, (m) στήλης H_2O ή υγρού
H_p	ύψος πίεσης συστήματος άντλησης, (m) στήλης H_2O ή υγρού
H_v	ύψος ταχύτητας, (m) στήλης H_2O ή υγρού
H_α	ύψος αναρρόφησης (m)
$H_{\alpha\alpha}$	ύψος απόλυτης πίεσης στην επιφάνεια αναρρόφησης, (m) στήλης H_2O ή υγρού
H_κ	ύψος κατάθλιψης (m)
H_o	ολικό ύψος κατάθλιψης (m)
H_Σ	στατικό ή γεωμετρικό ύψος συστήματος άντλησης, (m) στήλης H_2O ή υγρού
$H_{\Sigma P}$	στατικό ύψος αντλίας, (m) στήλης H_2O ή υγρού
$H_{\Sigma\alpha}$	στατικό ύψος αναρρόφησης, (m) στήλης H_2O ή υγρού
$H_{\Sigma K}$	στατικό ύψος κατάθλιψης, (m) στήλης H_2O ή υγρού
I_o	ροπή αδρανείας ($kg \cdot m^2$)
H_m	μανομετρικό ύψος αντλίας (m)
K	συντελεστής τοπικών απωλειών
ℓ	απόσταση, διάστημα (m)
(L_1, L_2)	στροφορμή ($kg \cdot m^2/s$)
m	μάζα (kg)
M	ροπή δύναμης (Nm)
$\dot{m}$	παροχή μάζας (kg/s)

n	στροφές, συχνότητα περιστροφής (s^{-1})
NPSH	καθαρό θετικό ύψος αναρρόφησης, (m) στήλης H_2O ή υγρού
NPSHa	διαθέσιμο καθαρό θετικό ύψος αναρρόφησης, (m) στήλης H_2O ή υγρού
NPSHr	απαιτούμενο καθαρό θετικό ύψος αναρρόφησης, (m) στήλης H_2O ή υγρού
P	ισχύς (W)
p	πίεση (P_a ή bar)
P_{atm}	ατμοσφαιρική πίεση (P_a ή bar)
P_o	αποδιδόμενη, πραγματική ή ωφέλιμη ισχύς (W)
P_o	ολική πίεση (P_a)
P_v	τάση ατμών (P_a ή bar)
P_α	απόλυτη πίεση (P_a , bar)
P_α	εισερχόμενη ή αξονική ισχύς (W)
P_e	εξωτερική πίεση (P_a)
P_e	εσωτερική ισχύς (W)
P_η	κανονική ισχύς (W)
P_θ	θεωρητική ισχύς (W)
P_κ	ισχύς κινητήριου μηχανήματος (W)
P_o	υδροστατική πίεση (P_a ή bar)
r	ακτίνα (m)
Re	αριθμός Reynolds
S	ολίσθηση
s, L	διαδρομή μήκος (m)
t	χρόνος (s)
u	επιτρόχιος συνιστώσα σε πτερωτή αντλίας (m/s)
V	όγκος (m^3)
$\dot{V}$	παροχή, παροχή όγκου, πραγματική παροχή (m^3/s)
v	ταχύτητα (m/s)
v_r	ακτινική ταχύτητα (m/s)
v_μ	μέση ταχύτητα (m/s)
V_n	βελτιστή, κανονική παροχή (m^3/s)
W	έργο (J)
w	εφαπτομενική ταχύτητα σε πτερωτή αντλίας (m/s)
z	ύψος, υψόμετρο (m)

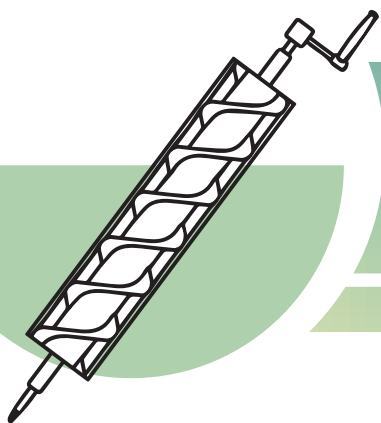
Ελληνικά σύμβολα

α	στατικός συντελεστής
A	ως δείκτης: αναρρόφηση
α	ως δείκτης: δίκτυο αναρρόφησης
β	δυναμικός συντελεστής
BEP	βέλτιστο σημείο
γ	ειδικό βάρος υγρού (N/m^3)
ϵ	τραχύτητα (m)
η	βαθμός απόδοσης (ολικός)
η_h	υδραυλικός βαθμός απόδοσης
η_m	μηχανικός βαθμός απόδοσης
η_v	ογκομετρικός βαθμός απόδοσης
κ	ως δείκτης: δίκτυο κατάθλιψης

K	ως δείκτης: κατάθλιψη
λ	κλίμακα μήκους
μ	δυναμικό ιξώδες ($kg/m \cdot s$)
ν	κινηματικό ιξώδες (m^2/s)
ρ	πυκνότητα (kg/m^3)
Σh_f	συνολικό ύψος απωλειών (τριβής και τοπικών) (m)
ΣK	άθροισμα συντελεστών τοπικών απωλειών
$\Sigma \Lambda$	σημείο λειτουργίας
ΣP	άθροισμα απωλειών ισχύος (W)
ΣP_p	άθροισμα απωλειών ισχύος στο εσωτερικό της αντλίας (W)
ΣP_δ	άθροισμα απωλειών ισχύος λόγω διαρροών (W)
ω	γωνιακή ταχύτητα (rad/s)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

Εισαγωγή



1.1 Ιστορική αναδρομή

Από την αρχαιότητα η εξασφάλιση του νερού (π.χ. από πηγές, ποτάμια και λίμνες) ήταν από τα σημαντικότερα κριτήρια στην επιλογή ενός τόπου ως μόνιμης κατοικίας διαβίωσης, εφόσον αποτελούσε αναγκαία προϋπόθεση στην ανάπτυξη των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων. Ο φυσικός φιλόσοφος Θαλής ο Μιλήσιος (640-546 π.Χ.) χαρακτήριζε το νερό ως αρχετυπικό στοιχείο, πρωταρχικό συστατικό όλων των πραγμάτων και ο μέγας λυρικός ποιητής Πίνδαρος (552-443 π.Χ.) τόνιζε την αξία του αναφέροντας «ἐκ τῶν στοιχείων τοῦ κόσμου τό ὕδωρ εἶναι τό ἄριστον...». Η ύδρευση λοιπόν θεωρούνταν από τις κυριότερες υποδομές κάθε οργανωμένης κοινότητας και η εξασφάλιση ποσοτήτων νερού για τις καθημερινές ανάγκες αποτυπώνεται σε πλήθος ανασκαφικών ευρημάτων. Όταν οι αρχαίοι οικισμοί άρχισαν να οργανώνονται σε επίπεδο πόλης, η απλή γειτνίαση με τις υδροφόρες εστίες έπαψε να επαρκεί. Η ανάγκη για τη δημιουργία δικτύων μεταφοράς και διανομής νερού κατέστη επιτακτική ώστε να διασφαλιστεί η ανάπτυξη των οργανωμένων πόλεων. Τη δημιουργία δικτύων συμπλήρωσε η ανάπτυξη μηχανισμών, που εκμεταλλεύονταν τις ιδιότητες των ρευστών. Οι μηχανισμοί αυτοί χρησιμοποιήθηκαν για τη διακίνηση του νερού.

Ένας τέτοιος μηχανισμός ήταν ο **κοχλίας** ή **υδραυλικός ατέρμονας κοχλίας** του Αρχιμήδη (287-212 π.Χ.) του μεγάλου μαθηματικού, φυσικού, μηχανικού, εφευρέτη και αστρονόμου της ελληνιστικής περιόδου. Ο κοχλίας του Αρχιμήδη (σχ. 1.1) αποτελούνταν από έναν ξύλινο άξονα που έφερε περιελίξεις από λεπτά και εύκαμπτα κλαδιά ιτιάς ή λυγαριάς, συνδεδεμένα το ένα με το άλλο, ώστε να δημιουργείται ένας ατέρμονας κοχλίας. Ο κοχλίας εφαπτόταν εσωτερικά ενός ξύλινου κυλίνδρου. Η μηχανή τοποθετούνταν με κλίση 30° στο νερό και με την περιστροφή του κοχλία το εγκλωβισμένο νερό στις σπείρες ανυψωνόταν και έρεε από το στόμιο του ξύλινου κυλίνδρου. Ήταν ένας μηχανισμός άντλησης



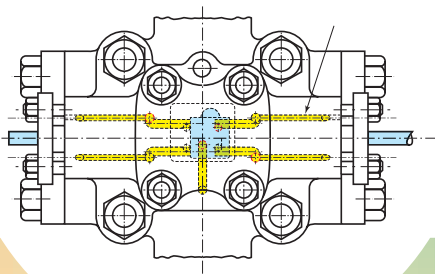
Σχ. 1.1
Ο κοχλίας
του Αρχιμήδη

νερού μεγάλης παροχής, αλλά μικρής υψομετρικής διαφοράς, που χρησιμοποιήθηκε ευρέως σε πολλές περιοχές του αρχαίου κόσμου. Η αρχή λειτουργίας του εφαρμόζεται ακόμη και σήμερα σε τεχνολογικές εφαρμογές που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά ρευστών ή κονιορτοποιημένων υλικών.

Άλλος μηχανισμός, ήταν η **εμβολοφόρος αντλία** του Κτισιβίου (285-222 π.Χ.) του μαθηματικού, μηχανικού και εφευρέτη των ελληνιστικών χρόνων και ιδρυτή της Αλεξανδρινής Σχολής. Η αντλία του Κτισιβίου αποτελείται από δύο όμοιους κυλίνδρους, στο εσωτερικό των οποίων υπάρχουν έμβολα που κινούνται παλινδρομικά με τη βοήθεια μοχλού (σχ. 1.2). Οι κύλινδροι είναι βυθισμένοι σε νερό.



Σχ. 1.2
Αντλία του Κτισιβίου
(αντίγραφο)



ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

Αντλίες θετικής εκτόπισης

Γενικά

Στις **αντλίες θετικής εκτόπισης** (positive displacement pumps) ή **στατικού τύπου** (static pumps) η μεταβίβαση μηχανικού έργου από την αντλία στο υγρό γίνεται με άσκηση δύναμης, η οποία το αναγκάζει να μετακινηθεί.

Αν σε στοιχειώδη όγκο του ρευστού (σχ. 2.1) ασκηθεί δύναμη F και υπό την επίδρασή της αυτός ο όγκος μετακινηθεί κατά ds , τότε το προσδιδόμενο σε αυτό έργο ισούται με:

$$dW = F \cdot ds$$

Το έργο αυτό dW μετατρέπεται σε ενέργεια πίεσης, αφού η δύναμη, ασκούμενη στην επιφάνεια A του ρευστού ασκεί πίεση ίση με:

$$p = \frac{F}{A}$$

Σημειώνεται ότι η αρχή λειτουργίας των αντλιών θετικής εκτόπισης, μοιάζει αρκετά με την αρχή λειτουργίας των πρώτων απλών συστημάτων άντλησης. Όταν για παράδειγμα, βυθίζεται ένα δοχείο σε

πηγάδι, και στη συνέχεια έλκεται μαζί με το νερό που περιέχει, μεταβιβάζεται έργο στο νερό του δοχείου, αυξάνοντας τη δυναμική του ενέργεια. Η ίδια ενεργειακή μετατροπή (μετατροπή έργου σε δυναμική ενέργεια) παρουσιάζεται στον κοχλία του Αρχιμήδη και στις αντλίες με τροχό, δοχεία, περύγια και αλυσίδες.

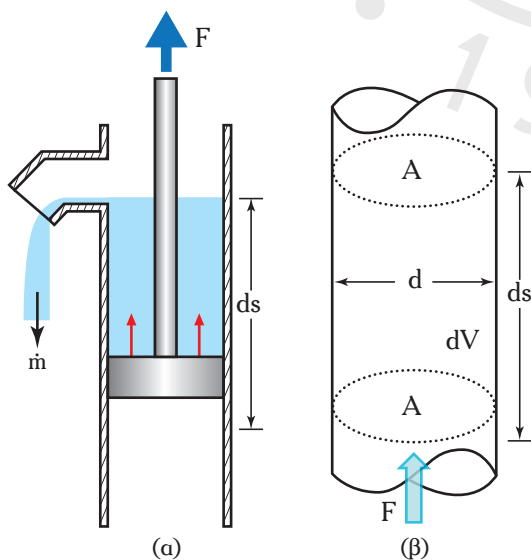
Οι σύγχρονες αντλίες θετικής εκτόπισης είναι εντελώς διαφορετικές. Πρόκειται για σύνθετα μηχανήματα με συνεχή ή περιοδική λειτουργία, που προσαρμόζονται σε δίκτυα σωληνώσεων, στα οποία και η ενεργειακή μετατροπή είναι διαφορετική: το μηχανικό έργο που παραλαμβάνουν από το κινητήριο μηχανήμα και μεταδίδεται στο υγρό, μετατρέπεται αρχικά σε ενέργεια πίεσης. Μετά τη διέλευση του υγρού από την αντλία, η ενέργεια πίεσης μετατρέπεται στις μορφές που απαιτεί το σύστημα άντλησης.

2.1 Παλινδρομικές (εμβολοφόρες) αντλίες

Σύμφωνα με την ταξινόμηση των αντλιών (σχ. 1.10), η οποία έγινε με βάση το **κριτήριο της μέθοδου μεταβίβασης** του μηχανικού έργου και την μετατροπή του σε ενέργεια πίεσης, αλλά και γενικότερα, τον τρόπο λειτουργίας τους, οι αντλίες θετικής εκτόπισης, ανάλογα με τον τρόπο κίνησης των εξαρτημάτων που δημιουργούν την πίεση υποδιαιρούνται σε δύο μεγάλες κατηγορίες. Αυτές είναι οι **παλινδρομικές** (ή γενικώς **εμβολοφόρες**) (reciprocating) και οι **περιστροφικές** (rotary). Αναλυτικότερα:

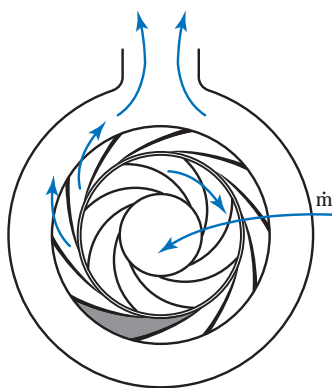
1) Οι **παλινδρομικές** (reciprocating) είναι οι αντλίες οι οποίες εκτοπίζουν το ρευστό που τις διαρρέει με την επαναληπτική κίνηση μηχανικού μέσου σε θάλαμο ορισμένου όγκου. Το μέσο αυτό δημιουργεί δύο νέες διακριτές κατηγορίες παλινδρομικών αντλιών (οι οποίες αναλύονται ακολούθως) και ενδέχεται να είναι:

α) **Εμβολο** (plunger or piston) δημιουργώντας την κατηγορία των **εμβολοφόρων αντλιών** (plunger or piston pumps).



Σχ. 2.1

(α) Σχηματική και (β) γραμμική απεικόνιση της αρχής λειτουργίας αντλιών θετικής εκτόπισης



ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

Δυναμικές αντλίες

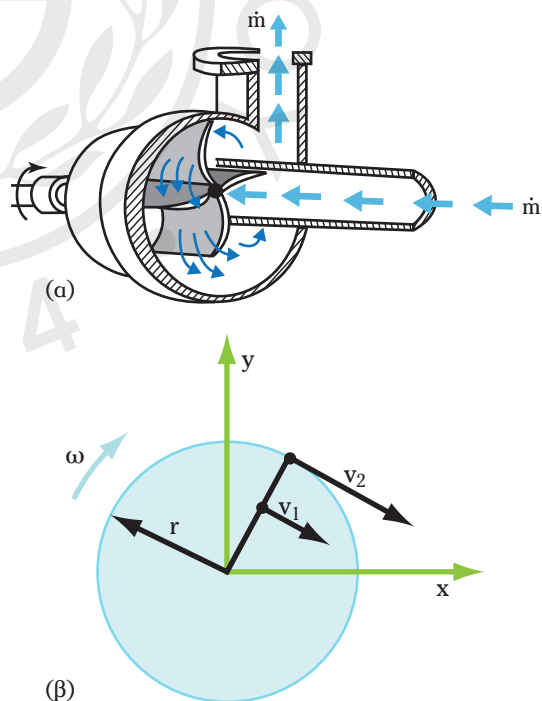
Γενικά

Στους συνηθέστερους τύπους **δυναμικών αντλιών** ή **αντλιών κινητικού τύπου**, ένα ή περισσότερα στροφέα με περύγια εδράζονται σε έναν άξονα που περιστρέφεται μέσα σε ένα περίβλημα (κέλυφος της αντλίας) (pump body). Το στροφέο μαζί με τα τοποθετημένα σ' αυτό περύγια ονομάζεται **περωτή** (impeller). Το υγρό εισέρχεται συνήθως στο κέντρο της περωτής και ωθούμενο από τα περύγια αποκτά κινητική ενέργεια. Στους φυγοκεντρικούς τύπους αυτών των αντλιών, που είναι και οι πιο διαδεδομένοι, με τη λειτουργία της αντλίας αυξάνεται η απόσταση της στοιχειώδους μάζας από τον άξονα περιστροφής, δηλαδή αυξάνεται η ακτίνα περιστροφής (σχ. 3.1). Σύμφωνα με τους νόμους της κυκλικής κίνησης, η γραμμική ταχύτητα της περιστρεφόμενης στοιχειώδους μάζας είναι ανάλογη της ακτίνας περιστροφής η οποία εκφράζεται από τον τύπο $v = \omega \cdot r$. Επομένως, η κινητική ενέργεια του υγρού αυξάνεται, καθώς απομακρύνεται από το κέντρο προς την περιφέρεια του περιβλήματος. Ο σχεδιασμός είναι τέτοιος, ώστε, πριν το υγρό εξέλθει από την αντλία, αυξάνεται η κάθετη στη ροή διατομή [με απλές ή σύνθετες διατάξεις που σχηματίζουν οχετούς ροής τους λεγόμενους **διαχυτήρες** (diffusers)], με αποτέλεσμα τη μετατροπή σημαντικού μέρους της κινητικής ενέργειας σε ενέργεια πίεσης. Σε αυτούς τους τύπους δυναμικών αντλιών, το υγρό κινείται από το κέντρο προς την περιφέρεια, δηλαδή ακτινικά. Γι' αυτό οι δυναμικές αντλίες ονομάζονται **φυγοκεντρικές** ή **ακτινικής ροής** (radial flow pumps). Υπάρχουν όμως και περιστροφικές αντλίες, στις οποίες η περωτή και το περίβλημα είναι έτσι σχεδιασμένα, ώστε το υγρό να κινείται κατά τη διεύθυνση του άξονα της αντλίας (**αντλίες αξονικής ροής**) (axial flow pumps), καθώς και άλλες ενδιάμεσου τύπου (αντλίες μεικτής ροής). Ως ειδική κατηγορία αναφέρονται οι στροβιλαντλίες, στις οποίες το υγρό εισέρχεται στην περιφέρεια και κινείται κατά βάση σ' αυτήν (περιφερειακή ροή).

Το κοινό χαρακτηριστικό όλων των δυναμικών

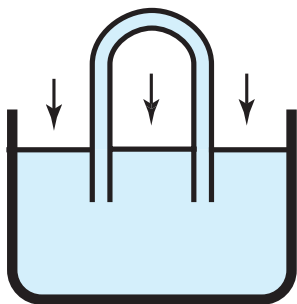
αντλιών, είναι η αρχική μετατροπή του μηχανικού έργου που μεταβιβάζει η αντλία στο ρευστό, κυρίως σε κινητική ενέργεια (εντός της αντλίας) και στη συνέχεια, σε ενέργεια πίεσης (στην έξοδο της αντλίας). Αυτό το χαρακτηριστικό, εντάσσει στις δυναμικές αντλίες και μη περιστροφικά μηχανήματα, όπως οι **αντλίες έκχυσης** ή **ακροφυσίου** (jet pumps).

Ένα ακόμα χαρακτηριστικό των δυναμικών αντλιών είναι ότι η παροχή στην αναρρόφηση και στην κατάθλιψη είναι συνεχής και σταθερή. Στις παραγράφους που ακολουθούν σύμφωνα με την ταξινόμηση που έγινε (σχ. 1.10, σελ 6 – 7) παρουσιάζονται και τα λειτουργικά και κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των αντλιών αυτών.



Σχ. 3.1

(α) Σχηματική και (β) γραμμική απεικόνιση της αναλογίας γραμμικής ταχύτητας και ακτίνας περιστροφής όπου η γραμμική ταχύτητα μεγαλώνει όσο μεγαλώνει η ακτίνα



ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

Χαρακτηριστικά μεγέθη συστημάτων άντλησης

4.1 Βασικά στοιχεία μηχανικής ρευστών και υδραυλικών συστημάτων

Ως **ρευστό**, χαρακτηρίζεται οποιαδήποτε ουσία παρουσιάζει ροή ολισθαίνοντας ελεύθερα έτσι, ώστε να παίρνει το σχήμα του χώρου που καταλαμβάνει ή του μέσου διά του οποίου κινείται, χωρίς να παρατηρείται κατάτμηση της μάζας του όταν ασκούνται σε αυτήν εξωτερικές δυνάμεις. Αντίθετα, αντιδρά ολισθαίνοντας συνεχώς ή μετατοπίζεται εξ ολοκλήρου, ανεξάρτητα και συνεχώς. Τα ρευστά χαρακτηρίζονται από τις παρακάτω ιδιότητες:

1) Τη **δυνατότητα να συμπιέζονται** (συμπιεστότητα).

2) Το **ιξώδες**, το οποίο χαρακτηρίζει την αντίσταση που παρουσιάζουν κατά τη ροή τους¹.

3) Τη **συνάφεια**, η οποία είναι η ελκτική δύναμη που αναπτύσσεται μεταξύ των προσκείμενων μορίων (διαμοριακή) διαφορετικών ουσιών ή υλικών, όπως η συνάφεια του υγρού με τα τοιχώματα του δοχείου που το περιέχει.

Με βάση τα παραπάνω, τα ρευστά, τα οποία είναι υγρά ή αέρια, διακρίνονται σε:

1) **Ιδανικά ή τέλεια ρευστά** τα οποία είναι τελείως ασυμπίεστα, ενώ καμιά εσωτερική τριβή δεν αναπτύσσεται μεταξύ των μορίων τους κατά τη ροή τους. Είναι προφανές ότι αυτά αποτελούν θεωρητική κατάσταση και λαμβάνονται υπόψη στις έρευνες και μελέτες των Νόμων των ρευστών, διευκολύνοντας την εξαγωγή συμπερασμάτων με τους αντίστοιχους υπολογισμούς.

2) **Φυσικά ρευστά**, τα οποία εμφανίζουν ιδιότητες που διαφοροποιούνται από τις ιδιότητες των ιδανικών ρευστών, όπως η δυνατότητα να συμπιέζονται, η ανάπτυξη εσωτερικής τριβής και η συνάφεια.

Οι δυνάμεις που ενεργούν στα ρευστά διακρίνονται σε:

1) **Εξωτερικές** δηλαδή η βαρύτητα, η φυγόκε-

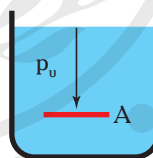
ντρος δύναμη και η ατμοσφαιρική πίεση και

2) **εσωτερικές** δηλαδή οι πιέσεις, όπως η υδροστατική πίεση και το στατικό ύψος.

Από τις δυνάμεις που ενεργούν στα ρευστά, κατά τη διακίνησή τους, είτε πρόκειται για εσωτερικές, είτε για εξωτερικές, έχουν προκύψει όροι, νόμοι και εξισώσεις, οι οποίοι διευκρινίζουν τον τρόπο λειτουργίας μιας αντλίας ή ενός συστήματος άντλησης. Αναφορικά αυτοί είναι:

1) **Ατμοσφαιρική πίεση** (atmospheric pressure) ονομάζεται η πίεση που ασκεί η ατμόσφαιρα με το βάρος της στην επιφάνεια της θάλασσας. Σύμφωνα με τη μέτρηση του Torricelli είναι ίση με 760 mm Hg (χιλιοστά στήλης υδραργύρου).

2) **Υδροστατική πίεση** (hydrostatic pressure) ονομάζεται η πίεση την οποία ασκεί ένα υγρό σε αντικείμενο ή επιφάνεια που βρίσκεται μέσα σε αυτό (σχ. 4.1).



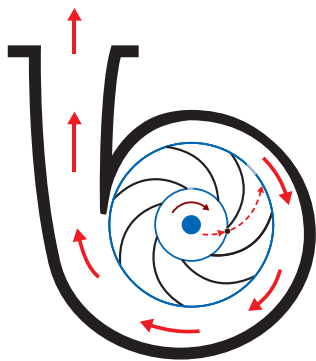
Σχ. 4.1
Υδροστατική πίεση
που ασκείται σε βυθισμέ-
νη επιφάνεια

Η πίεση οφείλεται στην εξωτερική δύναμη της βαρύτητας, δηλαδή στο βάρος του υγρού που βρίσκεται επάνω από την επιφάνεια ή το αντικείμενο. Έτσι αν χαρακτηριστεί ως p_u η υδροστατική πίεση, F η δύναμη που παριστάνει το βάρος του υγρού και βρίσκεται πάνω από την επιφάνεια, και A η επιφάνεια πάνω στην οποία ασκείται η πίεση p , τότε η υδροστατική πίεση ισούται με το πηλίκιο:

$$p_u = \frac{F}{A} \quad (4.1)$$

3) **Υδροστατικό ή θλιπτικό ύψος** (h) (hydrostatic pressure ή pressure head) ενός σημείου που

¹ Η αντίσταση αυτή οφείλεται στις εσωτερικές τριβές των μορίων τους από δυνάμεις συνοχής, σε βαθμό που το ίδιο το ιξώδες να αποτελεί μέτρο αντίστασης του υγρού στη ροή ή μέτρο της ρευστότητάς του.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

Ροή στις δυναμικές αντλίες

Γενικά

Στο προηγούμενο κεφάλαιο έγινε η μελέτη από ενεργειακής σκοπιάς των αντλιών σε ένα σύστημα άντλησης, το οποίο όπως αναφέρθηκε, αποτελείται από τρία υποσυστήματα: Την αναρρόφηση (δεξαμενή και σωλήνας αναρρόφησης), την αντλία και την κατάθλιψη (σωλήνας και πιθανόν δεξαμενή κατάθλιψης). Στη μελέτη αυτή, η αντλία θεωρήθηκε ως μια συσκευή, η οποία αποδίδει την ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία του συστήματος. Αν και ήδη έχει γίνει περιγραφή αυτών των συσκευών (κεφ. 3 και 4), ώστε σε γενικές γραμμές να υπάρχει η εικόνα των δυνατοτήτων και των ορίων των αντλιών, παραμένει το ερώτημα εάν μία συγκεκριμένη αντλία που τοποθετείται στο σύστημα άντλησης μπορεί να ανταποκριθεί στις ενεργειακές απαιτήσεις μεταφοράς του ρευστού μέσω ενός δικτύου.

Στην πραγματικότητα, η αντλία του συστήματος όχι μόνο τροφοδοτεί με ενέργεια το σύστημα, αλλά σε συνδυασμό με τα υποσυστήματα αναρρόφησης και κατάθλιψης διαμορφώνει και το τελικό αποτέλεσμα της άντλησης. Αυτό, σε ορισμένες περιπτώσεις, δύναται να γίνει άμεσα αντιληπτό. Αν, για παράδειγμα, σε ένα σύστημα άντλησης χρησιμοποιείται μία (ενεργειακά επαρκής) παλινδρομική αντλία, τότε η παροχή του συστήματος καθορίζεται αποκλειστικά απ' αυτήν, καθώς ελάχιστα θα επηρεασθεί από το ενεργειακό φορτίο του συστήματος. Το ίδιο θα συμβεί αν η αντλία είναι περιστροφική στατικού τύπου. Μάλιστα, η παροχή θα ρυθμίζεται άμεσα με την αλλαγή των στροφών της.

Στις αντλίες δυναμικού τύπου, η κατάσταση είναι πιο πολύπλοκη και παρουσιάζεται στο παρόν κεφάλαιο. Η παροχή εξαρτάται τόσο από την αντλία, όσο και από το σύστημα άντλησης. Και φυσικά, αυτό που συμβαίνει με την παροχή επεκτείνεται στο ύψος απωλειών (ανάλογο του τετραγώνου της παροχής), στο αποδιδόμενο ύψος, την ισχύ κ.λπ.. Επομένως, κατά τη μελέτη μιας αντλίας δυναμικού τύπου σε ένα

σύστημα άντλησης, απαιτείται η γνώση του τρόπου, με τον οποίο το σύστημα επηρεάζει την αντλία και η αντλία το σύστημα. Είναι αναγκαίο επομένως, να μελετηθεί η ροή του υγρού μέσα στις δυναμικές αντλίες, με επικέντρωση στις φυγοκεντρικές αντλίες, οι οποίες είναι και οι πιο διαδομένες. Σημειώνεται ότι αντίστοιχα φαινόμενα συναντώνται και στις υπόλοιπες περιστροφικές αντλίες δυναμικού τύπου.

5.1 Η ροή στη φυγοκεντρική αντλία

Η μελέτη της ροής του υγρού στο εσωτερικό της αντλίας, αποτελεί ουσιαστική προϋπόθεση του σχεδιασμού αλλά και της κατανόησης της λειτουργίας των δυναμικών αντλιών. Λόγω της πολυπλοκότητας της ροής η μελέτη αυτή διακρίνεται σε δύο επίπεδα:

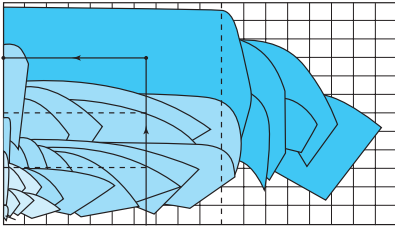
1) Μελέτη της θεωρητικής κατάστασης ροής

Κατά τη μελέτη της θεωρητικής κατάστασης εξετάζεται η ροή στην οποία οι βαθμοί απόδοσης της αντλίας ισούνται με 100%.

2) Μελέτη διαφορών απωλειών στην αντλία

Πρόκειται για απώλειες ύψους και ισχύος, οι οποίες οφείλονται στις υδραυλικές τριβές και στις εσωτερικές διαρροές της αντλίας. Η πολυπλοκότητα της ροής εντός της φυγοκεντρικής αντλίας (που μπροστά της η ροή σε σωλήνα φαίνεται εξαιρετικά απλή), καθιστούν αδύνατη τη μελέτη αυτή, χωρίς τη συνδρομή της **θεωρίας της ομοιότητας και του πειράματος**.

Για τη μελέτη της ροής εντός της φυγοκεντρικής αντλίας, πρέπει να διευκρινιστούν οι διαδρομές, στις οποίες αναπτύσσεται η ροή του υγρού εντός του σώματος της αντλίας. Σύμφωνα με το σχήμα 5.1 υπάρχουν τρία τμήματα διαδρομών: Στην **πρώτη διαδρομή Α-1** το υγρό εισέρχεται από την αναρρόφηση στο κέντρο της **περωτής Α** και, διασκορπιζόμενο ακτινικά, φτάνει στη **βάση των περυγίων που εί-**



ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

Χαρακτηριστικές καμπύλες δυναμικών αντλιών

6.1 Χαρακτηριστικές καμπύλες δυναμικών αντλιών

Η ροή του υγρού στις δυναμικές αντλίες (κεφ. 5), είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη. Αντίστοιχα πολύπλοκη είναι η σχέση μεταξύ των χαρακτηριστικών μεγεθών της αντλίας, αν γίνει προσπάθεια να εκφραστεί με μαθηματική ακρίβεια.

Υπάρχουν για παράδειγμα περιπτώσεις όπου απαιτείται η αντλία να λειτουργεί για να αποδώσει μεγάλο ύψος και σχετικά μικρή παροχή ή το αντίστροφο. Με ποια κριτήρια γίνεται όμως αυτή η **επιλογή**; Στη συνέχεια και εφόσον απαντηθεί το προηγούμενο ερώτημα θα πρέπει να διερευνηθεί ποια είναι η σωστή από υδροδυναμικής πλευράς **τοποθέτηση** της αντλίας στο σύστημα άντλησης. Τέλος, η αντλία που θα επιλεγεί και θα εγκατασταθεί θα χρειασθεί πιθανόν να αντιμετωπίσει διάφορα φορτία (ύψη). Ποιοι θα πρέπει να είναι οι κατάλληλοι **χειρισμοί** της αντλίας, ώστε να μην προκληθούν ακούσια ζημιές;

Οι **χαρακτηριστικές καμπύλες των αντλιών** δείχνουν συγκεκριμένα τις δυνατότητες και τα όρια κάθε αντλίας και αποτελούν αναγκαίο δεδομένο για τον υπολογισμό και τη λειτουργία οποιουδήποτε συστήματος άντλησης.

Ιδιαίτερη σημασία παρουσιάζουν οι χαρακτηριστικές καμπύλες των δυναμικών αντλιών.

Όπως παρουσιάζεται στην § 5.1, μόνο στην περίπτωση της ιδανικής τριβής δύναται να εκφρασθεί η σχέση των (θεωρητικών) χαρακτηριστικών μεγεθών της αντλίας ($\dot{V}$, H , P , n) με εξισώσεις. Πιο συγκεκριμένα, η **σχέση του θεωρητικού ύψους με τη θεωρητική παροχή της αντλίας**, δίνεται από την εξίσωση:

$$H_0 = \frac{\omega^2 \cdot r_2^2}{g} - \frac{\omega \cdot r_2}{g \cdot A_2 \cdot \epsilon \phi \beta_2} \cdot \dot{V}_0 \quad (6.1)$$

$$\text{ή πιο απλά: } H_0 = A - B \cdot \dot{V}_0 \quad (6.1\alpha)$$

$$\text{όπου: } A = \frac{\omega^2 \cdot r_2^2}{g}, B = \frac{\omega \cdot r_2}{g \cdot A_2 \cdot \epsilon \phi \beta_2} \quad (6.1\beta)$$

Αντίστοιχα, η **σχέση της θεωρητικής ισχύος με την παροχή** δίδεται ως:

$$P_0 = \omega^2 \cdot r_2^2 \cdot \rho \cdot \dot{V}_0 - \frac{\omega \cdot r_2}{A_2 \cdot \epsilon \phi \beta_2} \cdot \rho \cdot \dot{V}_0^2 \quad (6.2)$$

$$\text{ή } P_0 = \gamma \cdot A \cdot \dot{V}_0 - \gamma \cdot B \cdot \dot{V}_0^2 \quad (6.2\alpha)$$

Τα **πραγματικά μεγέθη** όμως είναι εντελώς διαφορετικά. Υπάρχουν δηλαδή, σημαντικές **απώλειες ύψους** (λόγω κυκλοφοριακής ροής, τριβών και κρούσεων), και **απώλειες ισχύος** (απώλειες λόγω τριβών, κρούσεων, διαρροών, δίσκου, εδράνων). Τέλος, η θεωρητική παροχή διαφοροποιείται ελαφρά από την εσωτερική και αρκετά από την πραγματική παροχή.

Λόγω όμως της πολυπλοκότητας που παρουσιάζει η ροή στο εσωτερικό της αντλίας, η προσέγγιση των πραγματικών σχέσεων μπορεί να γίνει μόνο με τη διαστατική ανάλυση και το πείραμα.

Η διαστατική ανάλυση (§ 5.4), έδωσε τις ακόλουθες συναρτήσεις μεταξύ των πραγματικών μεγεθών $\dot{V}$, H , P :

$$\frac{g \cdot H}{n^2 \cdot d^2} = f \left(\frac{\dot{V}}{n \cdot d^3}, \frac{n \cdot d^2}{v}, \frac{\epsilon}{d}, \frac{l}{d}, \beta \right) \quad (6.3)$$

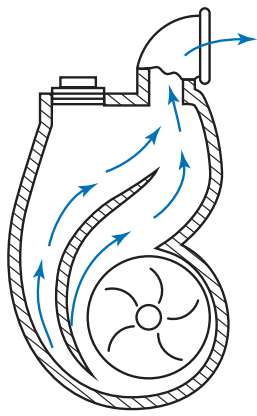
$$\frac{P}{\rho \cdot n^3 \cdot d^5} = f \left(\frac{\dot{V}}{n \cdot d^3}, \frac{n \cdot d^2}{v}, \frac{\epsilon}{d}, \frac{l}{d}, \beta \right) \quad (6.4)$$

Η πειραματική διαδικασία και ο κατάλληλος σχεδιασμός – κατασκευή – δοκιμασία της αντλίας αποτελούν τα επόμενα βήματα. Ο σχεδιασμός της περωτής βασίζεται στην τιμή της ειδικής ταχύτητας N_s , η οποία αποτελεί συνδυασμό των δυο βασικών αδιάστατων παραμέτρων της συνάρτησης (6.3):

$$N_{su} = \frac{N_v^{0.5}}{N_h^{0.75}}$$

$$\text{όπου: } N_h = \frac{g \cdot H}{n^2 \cdot d^2}, N_v = \frac{\dot{V}}{n \cdot d^3}$$

Τις τελικές σχέσεις μεταξύ ύψους-παροχής, ισχύος-παροχής, βαθμού απόδοσης-παροχής αλλά και



ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ

Αντλίες που συναντώνται στα πλοία

Γενικά

Τα είδη των αντλιών που περιγράφονται στη συνέχεια είναι συνήθως αυτά που χρησιμοποιούνται στα πλοία. Είναι γενικού χαρακτήρα και ενδέχεται να μην ισχύουν σε όλες τις περιπτώσεις διότι οι αντλίες που χρησιμοποιούνται εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες οι οποίοι προκύπτουν απ' την μελέτη των εγκαταστάσεων (βλ. κεφ. 8) ή των ιδιαιτέρων σχεδιαστικών χαρακτηριστικών κάθε κατασκευαστή.

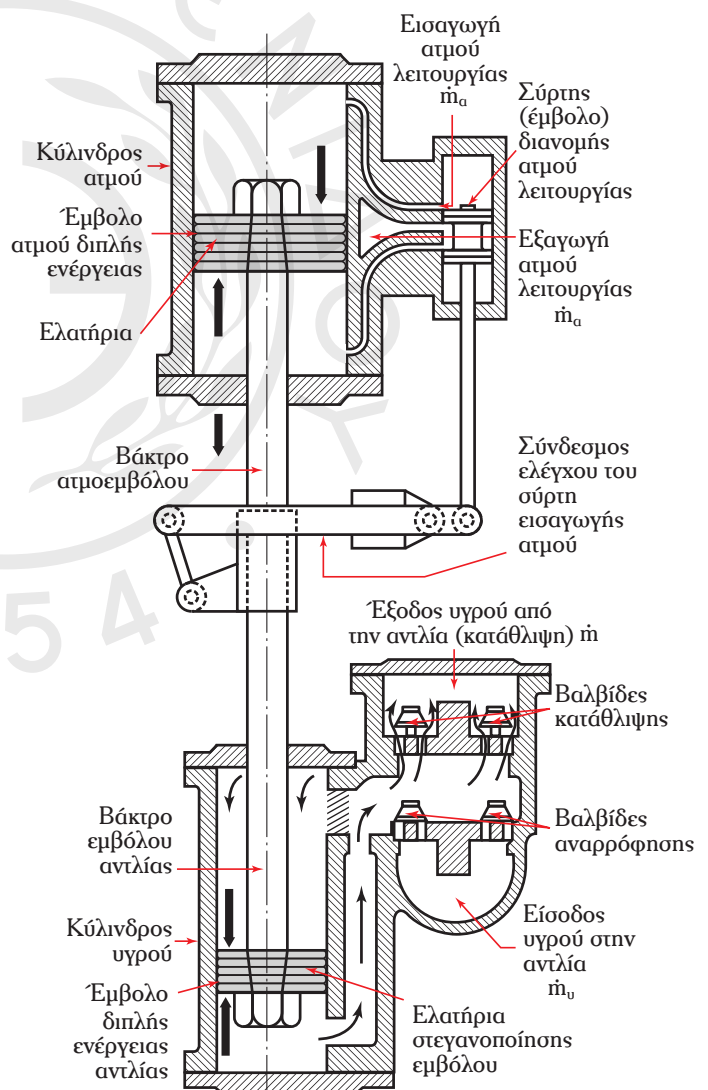
7.1 Εμβολοφόρες αντλίες άμεσης μετάδοσης που χρησιμοποιούνται σε πλοία

Οι αντλίες άμεσης μετάδοσης με ατμό χρησιμοποιούνται σε πλοία (ειδικότερα σε παλαιότερης τεχνολογίας) ως τροφοδοτικές νερού στους λέβητες, ως αντλίες μεταφοράς και κατάθλιψης πετρελαίου, ως αντλίες κύτους και πυρόσβεσης (πυρκαγιάς), πόσιμο νερό κ.λπ., με χαρακτηριστικό τύπο την αντλία Weir και την τροφοδοτική αντλία Worthington. Αναλυτικότερα:

1) Η **αντλία** ή **υπάριο τύπου Weir** (σχ. 7.1) είναι κάθετου τύπου μονοκύλινδρη, όταν οι απαιτήσεις παροχής είναι μικρές, και δικύλινδρη όταν είναι μεγαλύτερες. Είναι διπλής ενέργειας, με χωριστές βαλβίδες αναρρόφησης και κατάθλιψης σε κάθε πλευρά του εμβόλου και ταχύτητα που κυμαίνεται από 25 έως 40 πλήρεις διαδρομές ή εμβολισμούς το λεπτό. Η διατομή του κυλίνδρου ατμού είναι διπλάσια περίπου από τη διατομή του κυλίνδρου υγρών, ώστε από τη συνολική δύναμη που μεταβιβάζεται μέσω του βάκτρου στη μικρότερη επιφάνεια του εμβόλου υγρών της αντλίας να προκαλείται πολύ μεγαλύτερη αύξηση στην πίεση του υγρού απ' ό,τι του ατμού.

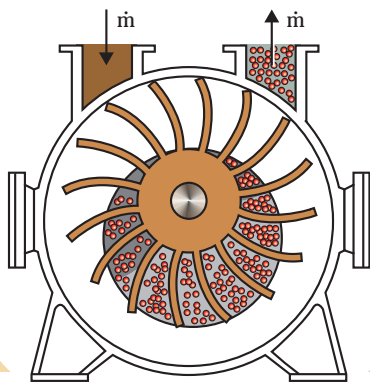
Η αύξηση στην πίεση του υγρού είναι απαραίτητη, ειδικά όταν η αντλία χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία νερού στον λέβητα, όπου το νερό κατά την εισαγωγή του πρέπει να υπερνικήσει την πίεση του ατμού. Ο μηχανισμός διανομής του ατμού λειτουργίας είναι τύπου απλής διάταξης (§ 2.6.1).

2) Η **τροφοδοτική αντλία Worthington** χρησιμοποιείται ως βοηθητική στα δίκτυα ατμού. Η κατασκευή και η ζεύξη της παρουσιάζεται στο σχήμα 7.2, και τοποθετείται σε οριζόντια ή κάθετη διάταξη. Είναι αντλία διπλής ενέργειας εμβόλων, και όταν είναι σε ζεύξη η κίνηση των εμβόλων πραγματοποιείται



Σχ. 7.1

Αντλία τύπου Weir



ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΓΔΩΟ

Αντλίες συστημάτων πλοίου

8.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί παρουσιάζονται οι αντλίες που συνήθως είναι εγκατεστημένες στα πλοία ανάλογα με το σύστημα πρόωσης και οι οποίες συμβάλλουν στην απρόσκοπτη λειτουργία του. Παράλληλα περιγράφεται η λειτουργική διεργασία που εξυπηρετούν. Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στα πλοία μεταφοράς υγρού και υγροποιημένου χύδην φορτίου, λόγω της ιδιαιτερότητας των αντλιών που χρησιμοποιούνται για να ολοκληρωθούν οι ενέργειες φορτοεκφόρτωσης.

Σύμφωνα με τα προηγούμενα είναι αναμενόμενο οι αντλίες που χρησιμοποιούνται στα πλοία τυπικά να μπορούν να διαιρεθούν σε διάφορες ομάδες. Οι ομάδες αυτές περιλαμβάνουν τις αντλίες που σχετίζονται με τη λειτουργία του συστήματος πρόωσης του πλοίου, τη λειτουργία των ηλεκτρομχανών, τη διακίνηση των ρευστών στα διάφορα δίκτυα των βοηθητικών συστημάτων.

Επισημαίνεται ότι σε όλες τις περιπτώσεις ο αριθμός των αντλιών που εγκαθίστανται για κάθε λειτουργία στο πλοίο είναι δύο, παρά το γεγονός ότι κάθε αντλία έχει σχεδιαστεί έτσι, ώστε να διαθέτει την δυνατότητα να ανταποκρίνεται στις λειτουργικές ανάγκες που εξυπηρετεί. Επίσης, ενδέχεται σε κάποιες εφαρμογές, λόγω αυξημένων απαιτήσεων, να χρησιμοποιούνται τρεις ή και περισσότερες αντλίες (π.χ. οι αντλίες φορτίου δεξαμενοπλοίων). Ο συνήθης διπλός αριθμός των εγκατεστημένων αντλιών εξασφαλίζει δύο βασικές ανάγκες, οι οποίες είναι:

1) **Να ελαχιστοποιήσει την πιθανότητα διακοπής μίας λειτουργίας**, λόγω αιφνίδιας βλάβης της αντλίας που λειτουργεί, παρέχοντας μέσω της άλλης την απαραίτητη ασφάλεια για τους επιβάτες, το πλοίο, το φορτίο και το περιβάλλον.

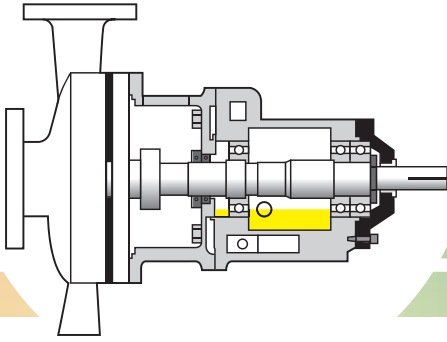
2) **Να παρέχεται η δυνατότητα επισκευής σε μία αντλία**, η οποία δύναται να απομονωθεί από το δίκτυο που εξυπηρετεί, χωρίς να επηρεάζεται η πραγματοποίηση μίας διαδικασίας, η ετοιμότητα ή η ασφάλεια του πλοίου.

Για όλες τις αντλίες υπάρχει ελεγκτικός μηχανισμός της πίεσης του δικτύου όπου είναι εγκατεστημένες. Αυτός δίνει εντολή να εκκινήσει η **εφεδρική αντλία**¹ όταν η πίεση του δικτύου μειωθεί κάτω από το επίπεδο, στο οποίο έχει ρυθμιστεί ο ελεγκτικός μηχανισμός. Επίσης σε όλα τα δίκτυα όπου είναι εγκατεστημένες οι αντλίες υπάρχουν φίλτρα (συνήθως πριν την αναρρόφηση της κάθε αντλίας) κατάλληλα για το κάθε ρευστό που διακινείται.

Επειδή οι αντλίες λειτουργούν κάτω από τις ιδιαίτερες συνθήκες, είναι απαραίτητο να διαθέτουν από κατασκευής την δυνατότητα να αντιστέκονται στα δυναμικά φορτία που προέρχονται από την κίνηση του πλοίου (π.χ. τους κραδασμούς από θαλασσοταραχή ή τη μεταβολή στη διαγωγή του πλοίου) και τις έντονες διαβρωτικές συνθήκες από την υγρασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος και την υψηλή θερμοκρασία του μηχανοστασίου. Επιπλέον πρέπει να λειτουργούν συχνά με μεταβλητή ροή σε υψηλά και σε χαμηλά φορτία, ώστε να ανταποκρίνονται άμεσα και με ασφάλεια στις μεταβαλλόμενες λειτουργικές συνθήκες του μηχανήματος ή του συστήματος που εξυπηρετούν (π.χ. κατά την άφιξη ή την αναχώρηση του πλοίου στο λιμάνι όταν μεταβάλλεται το φορτίο λειτουργίας του συστήματος πρόωσης).

Όπως όλα τα μηχανήματα του πλοίου, έτσι και οι αντλίες πρέπει να έχουν όσο το δυνατόν μικρότερο όγκο και βάρος, ώστε να επιτυγχάνεται η βέλτιστη εκμετάλλευση του χωροταξικού σχεδιασμού, λόγω του περιορισμένου χώρου στο σημείο εγκατάστασής τους είτε αυτό είναι στο μηχανοστάσιο είτε στο κατάστρω-

¹ Εφεδρική αντλία είναι αυτή που βρίσκεται σε ετοιμότητα (stand by) να αντικαταστήσει αυτόματα την αντλία που έχει σταματήσει να λειτουργεί.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΑΤΟ

Στεγανοποίηση, έδρανα, εκκίνηση και λειτουργία αντλιών

9.1 Στεγανοποίηση αντλιών

Οι αντλίες αποτελούνται από εξαρτήματα, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους για τη δημιουργία ενός ενιαίου μηχανήματος. Επομένως, στις συνδέσεις είναι απαραίτητη η παρουσία ενός μέσου που θα καλύψει τις μικρές ατέλειες των μεταλλικών επιφανειών που συνδέονται, προλαμβάνοντας τη διαρροή προς το περιβάλλον του υγρού που διακινείται. Οι **εσωτερικές διαρροές** και η απομόνωση των χώρων διακίνησης του υγρού, **προλαμβάνονται**:

1) Με τα ελατήρια των εμβόλων στις εμβολοφόρες αντλίες.

2) Με το ίδιο το διακινούμενο ρευστό στις περιστροφικές αντλίες θετικής εκτόπισης, το οποίο δημιουργεί τη στεγανοποίηση μεταξύ των διάκενων σταθερών και κινητών μερών, επιτρέποντας ταυτόχρονα την περιστροφή του στροφέιου και

3) με τους δακτυλίους τριβής μεταξύ στροφέιου και κελύφους στις δυναμικές αντλίες.

Για την πρόληψη των **εξωτερικών διαρροών** το μέσο στεγανοποίησης εξαρτάται από παράγοντες όπως το σημείο όπου τοποθετείται, το υγρό που διακινείται, λαμβάνοντας υπόψη τις διαβρωτικές και χημικές του ιδιότητες, η πίεση που αναπτύσσεται στο εσωτερικό της αντλίας, η θερμοκρασία του υγρού, ο τύπος της αντλίας και οι τριβές, εάν αναπτύσσονται. Έτσι χρησιμοποιούνται τα κατάλληλα μέσα στεγανοποίησης, σε σχήμα που θα εφαρμόζει με ακρίβεια στις επιφάνειες, επιτυγχάνοντας το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Τα **μέσα στεγανοποίησης** (sealing means), σύμφωνα με το σημείο εφαρμογής τους, μπορούν να ταξινομηθούν στις εξής δύο κατηγορίες:

1) Στα μέσα **στατικής στεγανοποίησης** που εφαρμόζονται στη στεγανοποίηση των κυλίνδρων

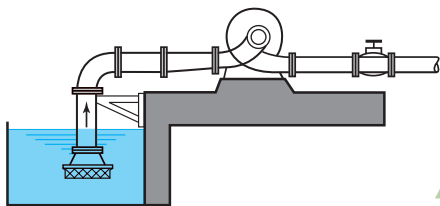
με τα καπάκια, των καπακιών με τις βαλβίδες, στις συνδέσεις των αντλιών διαιρούμενου κελύφους, στις συνδέσεις των περιαιχενίων [κοινώς φλάντζες (flanges)] με το δίκτυο και στη σύνδεση εξαρτημάτων που μπορεί να εφάπτονται στην αντλία, όπως τα εξαρριστικά ή οι αντλίες απαγωγής του αέρα.

Τα μέσα στατικής στεγανοποίησης είναι τα **παρεμβύσματα** [κοινώς τόντες (gaskets)]. Παρέμβυσμα ονομάζεται η «μηχανική σφράγιση», η οποία γεμίζει τον χώρο ανάμεσα σε δύο ή περισσότερες επιφάνειες σύζευξης. Σκοπό έχει την πρόληψη της διαρροής από την πίεση που αναπτύσσεται στο εσωτερικό της αντλίας ή την αποτροπή της εισόδου αέρα στον θάλαμο ή τους θαλάμους απ' όπου διέρχεται το υγρό. Τα παρεμβύσματα συνήθως κατασκευάζονται με την κοπή ειδικών φύλλων διαφόρων διαστάσεων που υπάρχουν διαθέσιμα στο εμπόριο (π.χ. 1×1 m ή $1 \times 1,5$ m), και σε διάφορα πάχη (π.χ. 1 mm, 2 mm κ.λπ.) ή διατίθενται έτοιμα προς χρήση από τον κατασκευαστή στις απαιτούμενες για κάθε εφαρμογή διαστάσεις. Η κοπή του παρεμβύσματος (όταν γίνεται από το πλήρωμα του πλοίου), πρέπει να πραγματοποιείται με ακρίβεια και να καλύπτει όλη την επιφάνεια του σημείου σύζευξης, διαφορετικά μειώνεται η αποτελεσματικότητα της στεγανοποίησης.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή των παρεμβυσμάτων είναι το βελανιδόχαρτο¹, ο απλός περμανίτης από aramid² (χωρίς αμίαντο λόγω των κινδύνων για την υγεία) και ο περμανίτης που περιέχει καθαρό γραφίτη. Όλα αυτά τα υλικά διατίθενται σε διάφορα πάχη και διαστάσεις, όμως ειδικά στη στεγανοποίηση του κελύφους των αντλιών, θα πρέπει το πάχος να είναι πολύ μικρό. Σε διαφορετική περίπτωση θα επηρεαστούν τα διάκενα μεταξύ των κινητών και σταθερών μερών της αντλίας, με αποτέλεσμα την δυσλειτουργία της, με μεγάλο κίνδυνο

¹ **Βελανιδόχαρτο**, πρόκειται για εμπορική ονομασία του υλικού που χρησιμοποιείται για την κατασκευή παρεμβυσμάτων σε φύλλα διαφόρων διαστάσεων και πάχους και αποτελείται από κυτταρώδεις ίνες εμποτισμένες με **σύνθεση κόλλας** γλυκερίνης.

² **Ives Aramid** (αραμίδιο) είναι μία κατηγορία συνθετικών ινών, ανθεκτικών στη θερμότητα και την ισχυρή πίεση.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ

Μελέτη συστήματος άντλησης

10.1 Εισαγωγή

Η αξιοπιστία στις λειτουργίες των πλοίων, όπως κάθε παραγωγικής εγκατάστασης, βασίζεται στην κυκλοφορία ή στην μεταφορά υγρών, που υποστηρίζεται από ανάλογοι μεγέθους συστήματα άντλησης. Επίσης η κατανάλωση ενέργειας για την λειτουργία των αντλιών αποτελεί μια από τις σημαντικότερες ενεργειακές παραμέτρους της εγκατάστασης. Επομένως, ο σωστός σχεδιασμός και η σωστή λειτουργία είναι σημαντικοί παράγοντες για τα συστήματα άντλησης. Ακολούθως παρουσιάζονται περιληπτικά ορισμένες βασικές αρχές που σχετίζονται με τον σωστό σχεδιασμό ενός συστήματος άντλησης, στο οποίο οι αντλίες αποτελούν δομικό στοιχείο.

Η σχεδιαστική και λειτουργική προσέγγιση ενός συστήματος άντλησης, απαιτεί προετοιμασία σε σχέση με τους στόχους που το σύστημα καλείται να εξυπηρετήσει. Ενδείκνυται λοιπόν να ακολουθούνται τα εξής βήματα:

- 1) Προσδιορισμός των συνθηκών και των βασικών παραμέτρων λειτουργίας.
- 2) Καθορισμός των αμέσων και των μελλοντικών αναγκών, που πρέπει να καλύψει το σύστημα άντλησης.
- 3) Συγκέντρωση και ανάλυση όλων των στοιχείων λειτουργίας του.
- 4) Αξιολόγηση των εναλλακτικών σχεδίων και των βελτιώσεων.
- 5) Καθορισμός των βέλτιστων οικονομικοτεχνικών επιλογών, λαμβάνοντας υπόψη όλα τα υποσυστήματα.

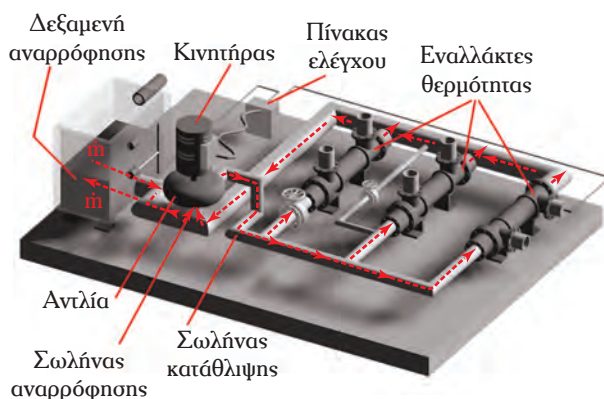
Στη συνέχεια εφαρμόζεται η καλύτερη επιλογή, διαμορφώνονται οι τεχνικές προδιαγραφές, προμηθεύεται ο σχετικός εξοπλισμός και τέλος πραγματοποιείται η εγκατάσταση του συστήματος άντλησης.

Μετά την εγκατάσταση, συνεχίζεται ο έλεγχος και η βελτιστοποίηση του συστήματος, ώστε να λειτουργεί όσο το δυνατόν πιο αποδοτικά. Η φάση αυτή –αν και σε σημαντικό βαθμό καθορίζεται από τις αρχικές

σχεδιαστικές επιλογές– είναι ακόμα πιο σημαντική, καθώς ένα σύστημα άντλησης που λειτουργεί και συντηρείται σωστά, έχει εκτιμώμενο χρόνο ζωής από 15 ως 20 χρόνια.

Ένα σύστημα άντλησης όπως έχει αναφερθεί αποτελείται από τρία βασικά τμήματα: Το τμήμα της **αναρρόφησης**, το τμήμα της **κατάθλιψης** και την **αντλία**. Ο σωλήνας κατάθλιψης μεταφέρει το υγρό στον **εξοπλισμό τελικής χρήσης** (π.χ. εναλλάκτες θερμότητας, δεξαμενή πίεσης και γενικότερα στον υδραυλικό εξοπλισμό). Επίσης σε αρκετές περιπτώσεις, το σύστημα άντλησης ενδέχεται να είναι κλειστό ή ανοικτό. **Κλειστό** είναι όταν το υγρό, μετά την κατάθλιψη και εφόσον διέλθει από τον εξοπλισμό χρήσης [π.χ. εναλλάκτες θερμότητας με θάλασσα σε δίκτυο ψύξης MEK σχ. 8.36 (σελ. 187) και σχ. 10.1] επανακυκλοφορεί στον σωλήνα αναρρόφησης, ενώ **ανοικτό** είναι όταν το υγρό, μετά την κατάθλιψη και εφόσον διέλθει από τον εξοπλισμό χρήσης [π.χ. εναλλάκτες θερμότητας με γλυκό νερό σε δίκτυο ψύξης MEK σχ. 8.35 (σελ. 186) και σχ. 10.2] απορρίπτεται στο περιβάλλον.

Σύμφωνα με τα όσα αναπτύχθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια, μία δυναμική αντλία σχεδιάζεται προκειμένου να λειτουργήσει στο σημείο βέλτιστης απόδοσης (BEP) ή στη βέλτιστη περιοχή της.



Σχ. 10.1

Σύστημα άντλησης (κλειστό)

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική

Βοηθητικά μηχανήματα πλοίων, Ι. Δάγκινης, Α. Γλύκας, Ίδρυμα Ευγενίδου, 2015.

Εφαρμοσμένη θερμοδυναμική, Κ. Παγωνάρη, Ίδρυμα Ευγενίδου, 1982.

Μηχανική των ρευστών, Ν. Πάντζαλης, Ίδρυμα Ευγενίδου, 2008.

Αγγλική

Alfa Laval pump handbook Alfa Laval, Publisher Alfa Laval, 2001.

Cameron Hydraulic Data Book, 19th edition, *Pump Technical Books*, Flowserve.

Cavitation And The Centrifugal Pump: A Guide For Pump Users, Edward Grist, Taylor & Francis Group, CRP Press Book, USA, 1998.

Centrifugal & Rotary Pumps: Fundamentals with Applications, Lev Nelik, Taylor & Francis Group, CRP Press Book, USA, 1999.

Centrifugal and Axial Flow Pumps, Alexey J. Stepanoff, Krieger Publishing Company, 1957.

Centrifugal Pump Design 1st Edition, John Tuzson, John Wiley & Sons, Inc. 2000, Canada.

Centrifugal Pump Handbook, Third Edition, Sulzer Pumps, 2010, Elsevier, Inc.

Centrifugal pump systems tutorial, Jacques Chaurette, Fluide Design Inc., 2005.

Centrifugal Pump User's Guidebook, S. Yedidiah, 1996.

Centrifugal Pumps Gülich, Johann Friedrich, Springer Heidelberg Dordrecht London New York 208, 2010.

Centrifugal Pumps: Design and Application, Second Edition, Val S. Lobanoff, Robert R. Ross, Gulf Professional Publishing, 1992.

Grundfos Pump Handbook, Grundfos Management A/S, 2004.

Handbook of pumps and pumping, 1st Edition, Brian Nesbitt, Elsevier Science, 2006.

How to Select the Right Centrifugal Pump, Robert X. Perez, AuthorHouse, E-Book, 2015.

Manual for the Design of Pipe Systems and Pumps, GEA Mechanical Equipment, Tuchenhausen GmbH, 2012.

Marine Auxiliary Machinery, H. D. McGeorge, Elsevier, Inc. 1999.

Piping Systems Manual, Brian Silowash, McGraw-Hill Companies, Inc. USA 2010.

Positive Displacement Pumps: A Guide to Performance Evaluation, American Institute of Chemical Engineers (AIChE), Wiley, 2007.

Practical Centrifugal Pumps Design, Operation and Maintenance, Paresh Girdhar, Octo Moniz, 2005, IDC Technologies.

Pump Characteristics and Applications, Second Edition, Taylor & Francis Group, CRP Press Book, 2005.

Pump Characteristics and Applications, Third Edition, Michael Volk, Taylor and Francis Group, LLC, 2014.

Pump Handbook, Igor J. Karassik, Joseph P. Messina, Paul Cooper, Charles C. Heald 4th Edition, McGraw-Hill Companies, Inc. 2008.

Pump User's Handbook: Life Extension, Fourth Edition, Heinz P. Bloch, Allan R. Budris, Taylor & Francis Group, CRP Press Book, USA, 2013.

Rotodynamic Pump Design, R. K. Turton, Cambridge University Press, 1994.

Selecting Centrifugal Pumps, Technical information, KSB Aktiengesellschaft, Media Production V51 Germany, 2005.

The Interaction Between Geometry and Performance of a Centrifugal Pump 1st Edition, B. Neumann, John Wiley and Sons Ltd, United Kingdom, 2005.

Το βιβλίο Αντλίες αποτελεί ένα ολοκληρωμένο εκπαιδευτικό εγχειρίδιο για τους σπουδαστές των Ακαδημιών Εμπορικού Ναυτικού και τους αξιωματικούς μηχανικούς των ναυτιλιακών στόλων. Με σαφή και διεξοδικό τρόπο παρουσιάζονται οι αρχές λειτουργίας, οι τύποι και οι εφαρμογές των αντλιών στα πλοία, καθώς και οι μέθοδοι διάγνωσης και αντιμετώπισης προβλημάτων. Το βιβλίο καλύπτει τις απαιτήσεις του αναλυτικού προγράμματος σπουδών και περιλαμβάνει θεωρητική ανάλυση, χαρακτηριστικές καμπύλες, τεχνικές συντήρησης και εξειδικευμένες ναυτικές εφαρμογές. Πρόκειται για ένα εγχειρίδιο αναφοράς, που συνδυάζει την επιστημονική ακρίβεια με την πρακτική εμπειρία της ναυτικής μηχανικής, συνεχίζοντας τη μακρά παράδοση των εκδόσεων του Ιδρύματος Ευγενίδου στην τεχνική και ναυτική εκπαίδευση.

