ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

ΤΡΑΠΕΖΑΣ BERNOULLI



Υπεύθυνος Καθηγητής: **κ. Κουριδάκης Εμμανουήλ**

Σπουδαστές: **Μανουκάκης Αλέξανδρος**

Φουρδουλεράκης Εμμανουήλ

Περιεχόμενα

ΠΡΟΛΟΓΟΣ 4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^{Ο} 7
1.1.1 Διάκριση μεταξύ στέρεου και υγρού 8
1.1.2 Διάκριση μεταξύ αερίου και υγρού 8
1.1.3 Πυκνότητα, ειδικό βάρος, ειδικός όγκος και σχετική πυκνότητα 9
1.2 Δυνάμεις και ενέργειες των ρευστών 11
1.2.1 Επιφανειακή τάση 11
1.2.2 Δυναμική ενέργεια 12
1.2.3 Εσωτερική ενέργεια 13
1.2.4 Κινητική ενεργεία 13
1.3 Συμπιεστότητα των υγρών 14
1.4 Ατμιτική πίεση των υγρών 14
1.5 Πιεζομετρικό φορτίο 15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^{Ο} 15
2.1 Ταξινόμηση των ειδών ροής 16
2.2 Είδη ροών 18
2.2.1 Στρωτή και τυρβώδης ροη 19
2.2.2 Κρίσιμος αριθμός Reynolds 20
2.2.3 Μόνιμη ασυμπίεστη ροη σε αγωγούς πίεσης 22
2.3 Σταθερή ροή και ομοιόμορφη ροή 24
2.4 Συνεκτικότητα 24
2.5 Τροχιές στοιχείων ρευστού, γραμμές ροής και ακολουθίες 25
2.6 Πιεζομετρική γραμμή και γραμμή ενέργειας 26
2.7 Εξίσωση Bernoulli 28
2.8 Διατιμή ροής και μέση ταχύτητα 28
2.9 Εξίσωση συνεχείας 29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^{Ο} 30
3.1 Συμπιεστά και ασυμπίεστα ρευστά 30
3.1.1 Συμπιεστότητα των υγρών 31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^{Ο} 32
4.1 Υλικά, μέθοδοι κατασκευής και τυποποίηση σωλήνων 32
4.1.1 Σωλήνες από σίδηρο και χάλυβα 33
4.1.2 Σωλήνες με ραφή 33
4.1.3 Σωλήνες χωρίς ραφή 34
4.1.4 Σωλήνες χυτοί 35
4.1.5 Τυποποίηση Χαλυβδοσωλήνων 36
4.1.6 Χαλκοσωλήνες 36
4.1.7 Σωλήνες κραμάτων χαλκού 37
4.1.8 Σωλήνες από πλαστικά 38
4.2 Επιλογή υλικών σωλήνων 38
4.3 Σύνδεση σωλήνων 39
4.3.1 Συγκόλληση 40
4.3.2 Σύνδεση με περαστούς συγκολλητούς συνδέσμους 40
4.3.3 Συγκολλήσεις σωλήνων χαλκού και κραμάτων χαλκού 41
4.3.4 Σύνδεση με φλάντζες(περιαυχένια) 41
4.3.5 Σύνδεσμοι σωλήνων με μικρή κινητικότητα 43
4.4 Απώλειες ύψους στις βαλβίδες και στα εξαρτήματα (τοπικές απώλειες) 46

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^{Ο} 60
5.1 Γενικά 60
5.2 Κατάταξη αντλιών 61
5.3 Είδη αντλιών 62
5.3.1 Δυναμικές αντλίες: 62
5.3.2 Αντλίες θετικής μετατόπισης: 68
5.3.3 Πνευματικές αντλίες: 69
5.3.4 Αντλίες ανέλκυσης: 69
5.3.5 Εγχυτήρες (τζιφαρια): 70
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^{Ο} 71
6.1 Όργανα Μέτρησης της Παροχής 71
6.2 Όργανα Μέτρησης της Πίεσης 76
Παράδειγμα Πειραματικού Μέρους: ΤΡΑΠΕΖΑΣ BERNOULLI 78
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 80
ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ 80
ΕΜΠΟΡΙΟ 80

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η Τράπεζα Bernoulli C.858 του 1977 της Ιταλικής Εταιρείας **isi impianti** ήτανε εκτός λειτουργίας εδώ και πολλά χρόνια, λόγω της αχρηστίας του ηλεκτροκινητήρα, της αντλίας καθώς και των διαφόρων πειραματικών σωλήνων της.

Η πτυχιακή μας εργασία απευθύνεται σε φοιτητές και σε οποιοδήποτε θελήσει να κατανοήσει τη Μηχανική των Ρευστών σε σχέση με τις απώλειες ύψους (πτώση πίεσης) μέσα στις σωληνώσεις.

Οι απώλειες ύψους (πτώση πίεσης) μέσα στις σωληνώσεις οφείλονται στις τριβές και στους στροβιλισμούς του υγρού κατά τη δίοδό του μέσα από τους σωλήνες και τα εξαρτήματα που φέρουν.

Αναφέρουμε γενικά κάποιες θεωρητικές γνώσεις από τις ιδιότητες των Ρευστών, κάποια κατασκευαστικά στοιχεία των σωλήνων και σύνδεση αυτών, καθώς και τα είδη των αντλιών με την λειτουργικότητά τους και τέλος τα κύρια όργανα μέτρησης της ρευστομηχανικής τα οποία είναι αυτά της παροχής και της πίεσης.

Ευχαριστούμε επίσης θερμά τον εισιγητή της πτυχιακή μας εργασίας τον κ. Κουριδάκη Εμμανουήλ για την βιβλιογραφία που μας έδωσε, για την βαθμονόμηση του πλωτηρόμετρου και για την όλη καθοδήγηση αυτής.

ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΡΕΥΣΤΩΝ

Αναμφίβολα θα έχετε παρατηρήσει την κίνηση που κάνουν τα σύννεφα στην ατμόσφαιρα, το φτερούγισμα των πτηνών στον αέρα, τη ροή του νερού στα ποτάμια και το «σπάσιμο» των κυμάτων στα βράχια των ακτών.

Φαινόμενα μηχανικής ρευστών περιλαμβάνονται σε όλες αυτές τις περιπτώσεις. Στα ρευστά κατατάσσονται τα αέρια και τα υγρά, με πιο γνωστά στοιχεία τον αέρα και το νερό. Μερικοί από τους πιο γνωστούς τομείς της ζωής μας όπου εμπλέκεται η μηχανική ρευστών είναι η ροή σε σωλήνες και ανοιχτούς αγωγούς, οι κινήσεις του αέρα και του αίματος στο σώμα μας, η αντίσταση του αέρα γνωστή ως οπισθέλξη, η άσκηση αναποπίεσης στα κτίρια, η κίνηση βλημάτων, βλύσεων, ωστικών κυμάτων, η λίπανση, η καύση, η άρδευση, η διήθηση, καθώς και η μετερεολογία και η ωκεανογραφία. Οι κινήσεις της υγρασίας μέσα στα εδάφη και του πετρελαίου σε γεωλογικούς σχηματισμούς αποτελούν επίσης εφαρμογές της ρευστομηχανικής. Γνώση της μηχανικής ρευστών απαιτείται για το σχεδιασμό συστημάτων υδροδότησης, εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων, φραγμάτων δικλείδων, ροόμετρων, απορροφητήρων υδραυλικών πληγμάτων και φρένων, συστημάτων αυτόματης μετάδοσης, αεροσκαφών, πλοίων, υποβρυχίων, κυματοθραυστών, μαρίνων, πυραύλων, οδηγών κίνησης δισκετών σε Η/Υ, ανεμόμυλων, στροβίλων, αντλιών συστημάτων θέρμανσης και κλιματισμού, αδρανών, τεχνητών οργάνων, και τέλος ακόμα και στοιχείων για σπορ όπως είναι μπάλες του γκολφ, τα αγωνιστικά αυτοκίνητα και τα κότερα. Είναι επομένως φανερό ότι η ζωή όλων μας επηρεάζεται από τη μηχανική ρευστών με διάφορους τρόπους. Άρα όλοι οι μηχανικοί θα πρέπει να γνωρίζουν τουλάχιστον τη βασική ρευστομηχανική.

Η μηχανική ρευστών είναι η επίσημη της μηχανικής των υγρών και των αερίων, και βασίζεται στις ίδιες θεμελιώδεις αρχές με αυτές της μηχανικής των στερεών σωμάτων. Η ρευστομηχανική είναι οπωσδήποτε δυσκολότερη, γιατί στα στερεά σώματα έχει κανείς να κάνει με χωριστά και απτά στοιχεία, ενώ στα υγρά δεν υπάρχουν χωριστά στοιχεία για να διακρίνονται.

Η ρευστομηχανική μπορεί να διαιρεθεί σε τρεις κλάδους: στην υδροστατική η οποία ασχολείται με τη μελέτη της μηχανικής των ρευστών που βρίσκονται σε ηρεμία, στην κινηματική η οποία ασχολείται με ταχύτητες και γραμμές ροής χωρίς να ενδιαφέρεται για δυνάμεις ή ενέργεια και στη δυναμική των ρευστών η οποία ενδιαφέρεται για τις σχέσεις ταχυτήτων, επιταχύνσεων και δυνάμεων που ασκούνται από τα υγρά ή πάνω σε υγρά που κινούνται.

Η κλασική υδροδυναμική είναι κατά μεγάλο μέρος ένα μαθηματικό θέμα, επειδή ασχολείται με φανταστικά ιδανικά ρευστά όπου δεν εμφανίζεται τριβή. Τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής όπου δεν εξετάζονται όλες οι ιδιότητες των πραγματικών ρευστών, έχουν περιορισμένη πρακτική αξία. Γι'αυτό το λόγο στο παρελθόν οι μηχανικοί είχαν στραφεί στα πειράματα και από αυτά ανέπτυξαν εμπειρικούς τύπους που έδιναν απαντήσεις σε πρακτικά προβλήματα. Όταν αναφερόμαστε σε υγρά το σύνολο αυτών των γνώσεων ονομάζεται υδραυλική.

Η εμπειρική υδραυλική περιορίστηκε κυρίως στο νερό και οριοθετήθηκε σε σκοπούς.

Με τις προόδους της αεροναυτικής, της χημικής μηχανικής και της βιομηχανίας πετρελαίου, ανέκυψε η ανάγκη για μια ευρύτερη ανάπτυξη της. Αυτό έχει οδηγήσει στο συνδυασμό της κλασικής υδροδυναμικής με τη μελέτη των πραγματικών ρευστών, τόσο των υγρών όσο και των αερίων και ο συνδυασμός αποτελεί τη μηχανική ρευστών. Στη σύγχρονη μηχανική ρευστών οι θεμελιώδεις αρχές της υδροδυναμικής συνδυάζονται με τις πειραματικές τεχνικές της υδραυλικής. Τα πειραματικά δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να επικυρώσουν τη θεωρία η για να δώσουν πληροφορίες, συμπληρωματικά στη μαθηματική ανάλυση. Το τελικό προϊόν είναι ένα ενιαίο σώμα βασικών αρχών μηχανικής ρευστών το οποίο εφαρμόζεται για την επίλυση τεχνικών προβλημάτων ροής. Με την πρόοδο των Η/Υ κατά την διάρκεια των περασμένων 25 ετών αναπτύχθηκε ο νέος κλάδος της υπολογιστικής δυναμικής ρευστών. Σήμερα χρησιμοποιούμε διάφορους μεθόδους όπως των πεπερασμένων στοιχείων ή των συνοριακών στοιχείων για την επίλυση προχωρημένων προβλημάτων μηχανικής ρευστών.

ΣΥΝΤΟΜΟ ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΤΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΡΕΥΣΤΩΝ

Από καιρό σε καιρό ανακαλύπτουμε όλο και περισσότερα στοιχεία για τη γνώση των αρχαίων πολιτισμών για ρευστά και ιδιαίτερα στους τομείς των αρδευτικών καναλιών και των ιστιοφόρων. Οι ρωμαίοι γνώριζαν καλά τα υδραγωγεία τους και τα λουτρά πολλά από τα οποία κατασκευάστηκαν τον τέταρτο αιώνα π.Χ. και μερικά από αυτά λειτουργούν ακόμη και σήμερα. Οι έλληνες είχαν κάνει αξιοσημείωτες μετρήσεις από τις οποίες η πιο γνωστή είναι εκείνη του Αρχιμήδη ο οποίος ανακάλυψε και διατύπωσε τις αρχές της άνωσης κατά τον τρίτο αιώνα π.Χ.

Δεν γνωρίζουμε προόδους για την κατανόησης της ροής μέχρι την εποχή του Leonardo da Vinci ο οποίος πραγματοποίησε πειράματα, εξέτασε και κατέγραψε συμπεράσματα για κύματα και βλύσεις, δίνες και γραμμές ροής, ακόμα και για πτήσεις, συνείσφερε στη μονοδιάστατη εξίσωση διατήρησης της μάζας.

Ο Isaac Newton διατυπώνοντας τους νόμους της κίνησης και το νόμο του ιξώδους και αναπτύσσοντας επιπλέον το διαφορικό λογισμό, άνοιξε την πύλη της γνώσης που οδήγησε στα μεγάλα επιτεύγματα της μηχανικής ρευστών. Χρησιμοποιώντας τους νόμους του Νεύτωνα, διάφοροι μαθηματικοί του 18^{ου} αιώνα επέλυσαν πολλά προβλήματα ροών χωρίς τριβή (με μηδενικό ιξώδες). Ωστόσο οι περισσότερες ροές διέπονται από ιξώδεις επενέργειες και οι μηχανικοί του 17^{ου} και του 18^{ου} αιώνα κατέδειξαν ότι οι επιλύσεις ροών χωρίς ιξώδες ήταν κατάλληλες και με εκτέλεση πειραμάτων βρήκαν εξισώσεις, θεμελιώνοντας έτσι την επιστήμη της υδραυλικής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ

1.1.1 Διάκριση μεταξύ στέρεου και υγρού

Τα μόρια ενός **στερεού σώματος** βρίσκονται πιο κοντά μεταξύ τους από του υγρού. Οι ελκτικές δυνάμεις μεταξύ των μορίων ενός στερεού σώματος είναι τόσο μεγάλες που το στερεό τείνει να διατηρήσει τη μορφή του. Αυτό δεν συμβαίνει και στα υγρά, όπου οι ελκτικές δυνάμεις μεταξύ των μορίων είναι μικρότερες. Κάθε ιδεώδες ελαστικό σώμα θα παραμορφωθεί αν σ'αυτό ασκηθεί φορτίο και μόλις αφαιρεθεί το φορτίο θα επανέλθει στην αρχική του κατάσταση. Ορισμένα στερεά είναι πλαστικά. Αυτά παραμορφώνονται εξαιτίας της δράσης σημαντικού φορτίου και η παραμόρφωση συνεχίζεται όσο ασκείται το φορτίο, με την παραδοχή ότι το υλικό δεν θα σπάσει. Η παραμόρφωση όταν αφαιρεθεί το φορτίο, αλλά το πλαστικό στερεό δεν επιστρέφει στην αρχική του κατάσταση.

Οι διαμοριακές δυνάμεις συνοχής σε ένα ρευστό δεν είναι αρκετά μεγάλες για να συγκρατήσουν τα διάφορα σωματίδια του ρευστού μαζί. Επομένως κάθε ρευστό θα ρέει εξαιτίας της δράσης και της πιο μικρής τάσης και η ροή θα συνεχίζεται όσο θα είναι παρούσα η τάση.

1.1.2 Διάκριση μεταξύ αερίου και υγρού

Κάθε **ρευστό** μπορεί να είναι είτε **αέριο** είτε **υγρό.** Τα μόρια ενός υγρού είναι πολύ περισσότερο απομακρυσμένα μεταξύ τους από ότι τα μόρια ενός υγρού. Εξαιτίας αυτού τα αέρια είναι πολύ συμπιεστά και όταν κάθε εξωτερική πιεση εκλείπει τείνουν να εξαπλωθούν απεριόριστα. Άρα ένα αέριο βρίσκεται σε ισορροπία μόνο όταν είναι πλήρως εγκλωβισμένο σε ένα χώρο. Ένα υγρό είναι σχετικά

ασυμπίεστο και αν όλη η πίεση, εκτός από την πίεση υγροποίησης εκλείψει, η συνοχή μεταξύ των μορίων τα συγκρατεί κοντά μεταξύ τους, έτσι ώστε το υγρό δεν εξαπλώνεται απεριόριστα. Επομένως, τα υγρά είναι δυνατό να έχουν ελεύθερη επιφάνεια, δηλαδή μια επιφάνεια στην οποία δεν ασκείται άλλη πίεση εκτός από την πίεση υγροποίησης. **Ατμός** είναι ένα αέριο του οποίου η θερμοκρασία και η πίεση είναι τέτοιες ώστε να βρίσκεται κοντά στην υγρή φάση. Ετσι, ο υδρατμός π.χ. δεν απέχει και πολύ από την κατάσταση του νερού. Τα αέρια μπορούν να οριστούν σαν υπέρθερμοι ατμοί, το οποίο σημαίνει, ότι η κατάσταση τους απέχει πολύ από την υγρή φάση. Ετσι ο αέρας θεωρείται αέριο γιατί η κατάσταση του κανονικά απέχει πολύ από εκείνη του υγρού αέρα.

Ο όγκος ενός αεριού ή ατμού επηρεάζεται πολύ από αλλαγές της πίεσης ή της θερμοκρασίας ή και των δυο. Επομένως είναι συνήθως αναγκαίο να λαμβάνουμε υπόψη τις μεταβολές του όγκου και της θερμοκρασίας όταν ασχολούμαστε με αέρια και ατμούς. Όταν περιλαμβάνονται σημαντικές αλλαγές θερμοκρασίας ή φάσης στη μελέτη ατμών και αερίων, το πράγμα εξαρτάται πολύ από θερμικά φαινόμενα (θερμοδυναμική). Ετσι, ρευστομηχανική και θερμοδυναμική αλληλοσχετίζονται.

1.1.3 Πυκνότητα, ειδικό βάρος, ειδικός όγκος και σχετική πυκνότητα

Πυκνότητα ρ ενός ρευστού είναι η μάζα του ανά μονάδα όγκου, ενώ ειδικό βάρος είναι το βάρος ανά μονάδα όγκου. Η πυκνότητα ρ μετριέται σε: **gr/cm^3**

Το **ειδικό βάρος γ** παριστάνει τη δύναμη που ασκείται από τη μαζική έλξη σε ένα μοναδιαίο όγκο ρευστού και μετριέται σε: **gr/cm^3 ή ton/m^3**

Η πυκνότητα και το ειδικό βάρος ενός ρευστού σχετίζονται ως εξής:

$$\rho = \gamma/g \text{ ή } \gamma = \rho g$$

επειδή οι εξισώσεις αυτές της φυσικής είναι διαστασιολογικά ομοιογενείς, οι διαστάσεις της πυκνότητας είναι:

$$\rho = \gamma/g = (lb/ft^3)/ft/sec^2 = (lb*sec^2)/ft^4 = \text{μάζα / όγκος} = slugs/ft^3$$

σε μονάδες SI:

$$\rho = (N/m^3)/m/sec^2 = (N*sec^2)/m^4 = \text{μάζα / όγκος} = kg/m^3$$

Να σημειώσουμε εδώ ότι η πυκνότητα ρ είναι απόλυτη επειδή εξαρτάται από τη μάζα που είναι ανεξάρτητη από τη θέση στο χώρο. Εξάλλου το ειδικό βάρος γ δεν είναι απόλυτο μέγεθος γιατί εξαρτάται από την τιμή της έντασης του ελκτικού πεδίου, δηλαδή την επιτάχυνση g η οποία μεταβάλλεται μαζί με την θέση, πρωταρχικά με το γεωγραφικό πλάτος και το υψόμετρο υπεράνω της θάλασσας.

Ειδικός όγκος u είναι ο όγκος που καταλαμβάνει η μονάδα μάζας του ρευστού. Χρησιμοποιείται συνήθως για τα αέρια και συνήθως εκφράζεται σε: $ft^3/slug$ (m^3/kg σε SI)

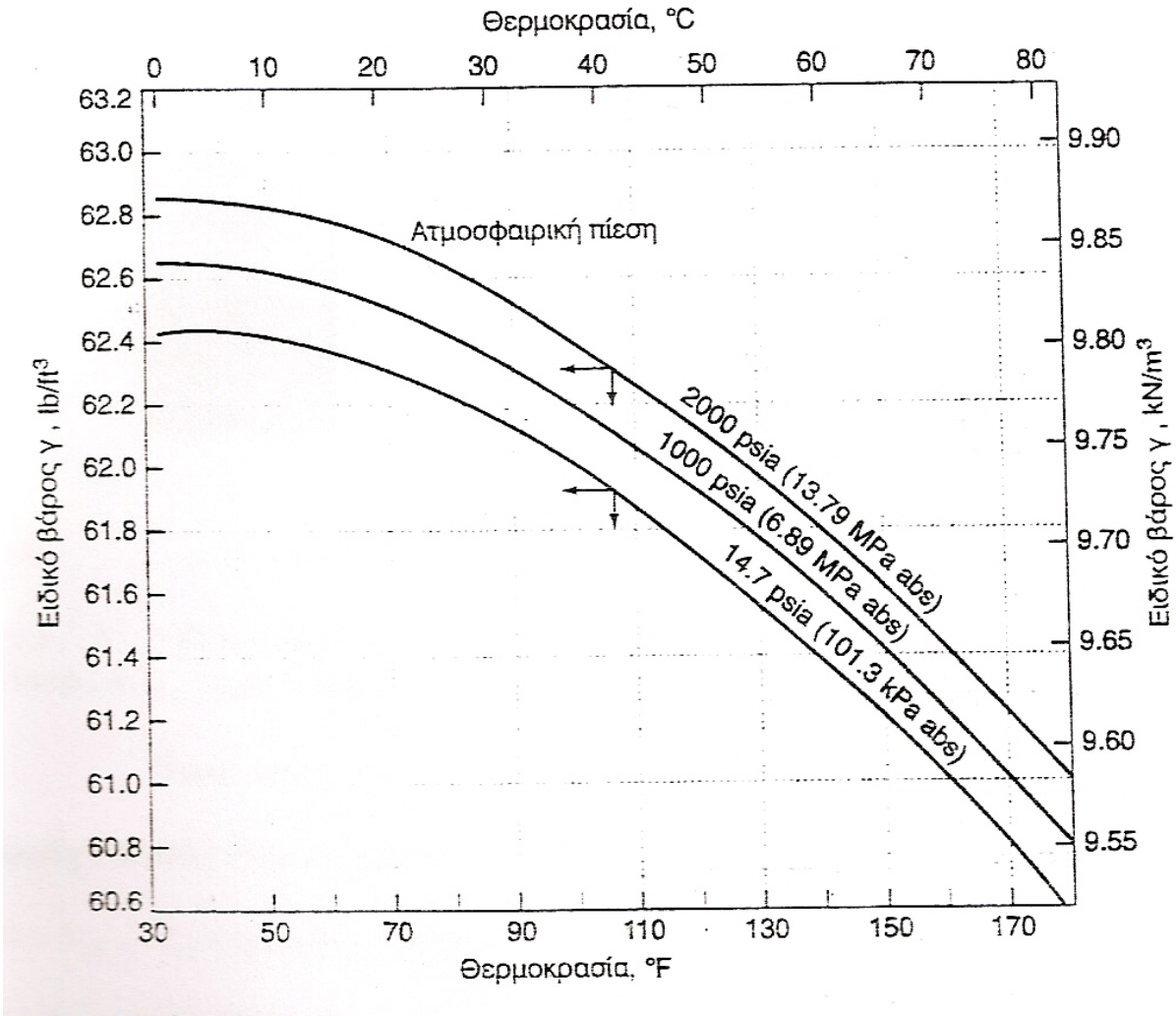
Ο ειδικός όγκος είναι το αντίστροφο της πυκνότητας. Ετσι: $\mathbf{u = 1/\rho}$

Σχετική πυκνότητα s ενός υγρού είναι ο αδιάστατος λόγος

$$S_{\text{υγρού}} = \upsilon_{\text{υγρού}} / \nu_{\text{ερού στην τυπ. θερμοκρασία}}$$

της πυκνότητας του ως προς την πυκνότητα του καθαρού νερού, σε μια σταθερή δεδομένη θερμοκρασία. Οι φυσικοί χρησιμοποιούν τους 4^0C ($39,2\ ^0F$) σαν τη σταθερά αυτή, αλλά οι μηχανικοί συχνά χρησιμοποιούν τους $15,5^0C$ ($60\ ^0F$). Η πυκνότητα του νερού στους 4^0C είναι 1,00 g/cm^3, $(1.00g/Ml)^2$, ισοδύναμη με $1000Kg/m^3$. επομένως η σχετική πυκνότητα έχει την ίδια αριθμητική τιμή για ένα υγρό με την πυκνότητα του εκφρασμένη σε g/mL ή Mg/m^3. Η σχετική πυκνότητα ενός αεριού είναι ο λόγος της πυκνότητας του προς την πυκνότητα είτε του υδρογόνου, είτε του αέρα, σε κάποια συγκεκριμένη θερμοκρασία και πίεση, αλλά δεν υπάρχει γενική συμφωνία για αυτές, και έτσι πρέπει να δηλώνονται επεξηγηματικά σε κάθε περίπτωση.

Επειδή η πυκνότητα των ρευστών μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία, οι σχετικές πυκνότητες πρέπει να καθορίζονται και να αναφέρονται σε χωριστές θερμοκρασίες.



Ειδικό βάρος γ καθαρού νερού συναρτήσει της θερμοκρασίας και της πίεσης για g = 9,81 m/s²

1.2 Δυνάμεις και ενέργειες των ρευστών

1.2.1 Επιφανειακή τάση

Τα υγρά παρουσιάζουν συνοχή και ικανότητα προσκόλλησης, ιδιότητες που αποτελούν μορφές της μοριακής έλξης. Η **συνοχή** κάνει ένα υγρό ικανό να ανθίσταται σε εφελκυστικές τάσεις ενώ η **προσκόλληση** να προσκολλάται σε άλλο σώμα. Στην επιφάνεια επαφής ενός υγρού με ένα αέριο π.χ. στην υγρή επιφάνεια, και στη διεπιφάνεια δύο μη αναμειγνυόμενων υγρών, η μη ισόρροπη ελκτική δύναμη μεταξύ των μορίων σχηματίζει μία φανταστική επιφανειακή μεμβράνη η οποία ασκεί εφελκυστική δύναμη πάνω στην επιφάνεια. Αυτή η ιδιότητα των υγρών ονομάζεται **επιφανειακή τάση**. Επειδή η τάση αυτή ασκείτε σε επιφάνεια, συγκρίνουμε τέτοιες δυνάμεις μετρώντας την εφελκυστική δύναμη ανά μονάδα μήκους της επιφάνειας. Όταν ένα δεύτερο ρευστό δεν προκαθορίζεται στη διεπιφάνεια, θεωρούμε ότι η επιφάνεια του υγρού βρίσκεται σε επαφή με τον αέρα. Οι επιφανειακές τάσεις διαφόρων υγρών καλύπτουν ευρύ φάσμα, και μειώνονται ελαφρά όταν αυξάνει η θερμοκρασία. Χαρακτηριστικές τιμές της επιφανειακής τάσης του νερού μεταξύ του σημείου πήξης και του σημείου βρασμού κυμαίνονται από 0,0756 έως 0,0589 N/m.

1.2.2 Δυναμική ενέργεια

Η δυναμική ενέργεια ενός ρευστού σωματιδίου εξαρτάται από το υψόμετρο του πάνω από ένα επίπεδο αναφοράς που το επιλέγουμε όπως θέλουμε. Συνήθως μας ενδιαφέρουν μόνο υψομετρικές διαφορές και γι αυτό η θέση του επιπέδου αναφοράς καθορίζεται μόνο από λόγους εύκολων υπολογισμών. Ένα ρευστό σωματίδιο βάρους W που βρίσκεται σε απόσταση z πάνω από το επίπεδο αναφοράς έχει δυναμική ενέργεια W*z. Άρα, η δυναμική του ενέργεια ανά μονάδα βάρους είναι z, μετρημένη σε N*m/N = m.

Η δυναμική ενέργεια του σωματιδίου ανά μονάδα μάζας είναι g*z,μετρημένη σε m^2/s^2. Η δυναμική του ενέργεια ανά μονάδα όγκου είναι p*g*z μετρημένη σε N/m^2.

1.2.3 Εσωτερική ενέργεια

Εσωτερική ενέργεια είναι αποθηκευμένη ενέργεια που οφείλεται στη μοριακή ή στην εσωτερική κατάσταση της ύλης. Μπορεί να είναι αποθηκευμένη με διάφορες μορφές στις οποίες περιλαμβάνονται η θερμική, η πυρηνική, η χημική και η ηλεκτροστατική. Εδώ θα θεωρήσουμε μόνο την εσωτερική θερμική ενέργεια (θερμότητα), η οποία οφείλεται στην κίνηση των μορίων και στις ελκτικές δυνάμεις που ασκούνται μεταξύ αυτών. Τα εγχειρίδια θερμοδυναμικής περιγράφουν πλήρως το θέμα αυτό. Τα πειράματα έχουν καταδείξει ότι η εσωτερική θερμική ενέργεια είναι κυρίως συνάρτηση της θερμοκρασίας. Για υγρά και στερεά σώματα η μόνη εξαίρεση προκύπτει όταν αυτά πλησιάζουν την ατμική φάση, οπότε η εσωτερική ενέργεια εξαρτάται επίσης από τον ειδικό όγκο, ή την πίεση. Όταν ένα αέριο συμπεριφέρεται ως τέλειο αέριο , αυτό σημαίνει επίσης ότι η εσωτερική θερμική είναι συνάρτηση μόνο της θερμοκρασίας. Μπορούμε να εκφράσουμε την εσωτερική θερμική ενέργεια συναρτήσει της ενέργειας I ανά μονάδα μάζας ή συναρτήσει της ενέργειας ανά μονάδα βάρους.

1.2.4 Κινητική ενεργεία

Ένα σώμα μάζας m που κινείται με ταχύτητα V έχει κινητική ενέργεια $K = 1/2 *m*V^2$. Έτσι αν ένα ρευστό έρεε έτσι που όλα τα σωματίδια του να κινούνταν με την ίδια ταχύτητα, η κινητική του ενέργεια θα ήταν επίσης $1/2 *m*V^2$.

1.3 Συμπιεστότητα των υγρών

Η συμπιεστότητα (μεταβολή του όγκου εξαιτίας μεταβολής της πίεσης) ενός υγρού είναι αντιστρόφως ανάλογη προς το **ογκικό μέτρο ελαστικότητας του**, γνωστό επίσης και ως **μέτρο διόγκωσης**. Αυτό το μέτρο ορίζεται από την σχέση:

$$Eu = -u(dp/du) = -(u/du)dp$$

όπου: u=ειδικός όγκος και

p= πίεση

Επειδή ο λόγος u/du είναι αδιάστατος, οι μονάδες των Eu και p είναι ίδιες. Το μέτρο διόγκωσης είναι κάτι ανάλογο με το μέτρο ελαστικότητας των στερεών. Ωστόσο, για τα υγρά ορίζεται με βάση τον όγκο και όχι όπως στη γνωστή μονοδιάστατη σχέση τάσεων-τροπών για τα στερεά σώματα.

Στα περισσότερα τεχνικά προβλήματα το μέτρο διόγκωσης ακριβώς ή κοντά στην τιμή της ατμοσφαιρικής πίεσης είναι το μόνο που μας ενδιαφέρει. Το μέτρο διόγκωσης αποτελεί ιδιότητα του ρευστού και για τα υγρά είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας και της πίεσης.

1.4 Ατμιτική πίεση των υγρών

Όλα τα υγρά τείνουν να εξατμισθούν ή να εξαερωθούν , και το κάνουν προωθώντας μόριά τους στο χώρο που βρίσκεται πάνω από την επιφάνειά τους . Αν αυτός ο χώρος είναι περιορισμένος , η μερική πίεση που ασκείται από τα μόρια αυξάνει μέχρις ότου ο ρυθμός επανεισόδου των μορίων στο υγρό γίνει ίσο με το ρυθμό εκουγής των . Στην κατάσταση ισορροπίας, την πίεση που έχει ο ατμός την ονομάζουμε πίεση κορεσμού.

Η μοριακή δραστηριότητα αυξάνει με τη θερμοκρασία , και τη μείωση της πίεσης και το ίδιο ισχύει για την κορεστική ατμοπίεση. Σε κάθε δοσμένη θερμοκρασία, αν η πίεση στην επιφάνεια του υγρού πέσει κάτω από την κορεστική ατμοπίεση κορεσμού, εμφανίζεται εξάτμιση με πολύ γρήγορο ρυθμό**, γνωστής ως βρασμός** .

Έτσι , μπορούμε να αναφερόμαστε στην κορεστική ατμοπίεση ως **πίεση βρασμού** για δοσμένη θερμοκρασία και αυτή έχει πρακτική σημασία για τα υγρά.
Τη γρήγορη ατμοποίηση και επανασυμπύκνωση ενός υγρού καθώς αυτό περνά γρήγορα από μία περιοχή χαμηλής απόλυτης πίεσης την ονομάζουμε **σπηλαίωση**.

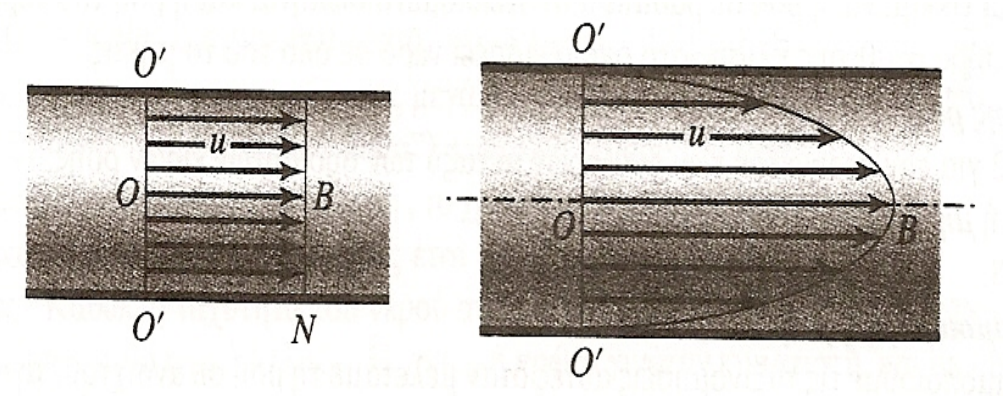
1.5 Πιεζομετρικό φορτίο

Κάθε σωματίδιο έχει ενέργεια εξαιτίας της πίεσης του πάνω από το πεδίο αναφοράς και μάλιστα συνήθως πάνω από την ατμοσφαιρική πίεση παρότι δεν την ονομάζουμε πιεστική ενέργεια. Η πίεση αυτή είναι p = γ*h και επομένως το ύψος του υγρού το οποίο παράγει μια τέτοια πίεση, το λεγόμενο «πιεζομετρικό φορτίο» είναι h = p/γ. όπως βλέπουμε οι μονάδες του p/γ είναι m = N*m/N δηλαδή και πάλι ενέργεια ανά μονάδα βάρους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο

ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗ ΤΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ

Εκτός από τη ροή των διαφόρων ειδών ρευστών, δηλαδή: **πραγματική, ιδεατή, ασυμπίεστη και συμπιεστή,** υπάρχουν και διάφορες άλλες ταξινομήσεις της ροής. Η ροή μπορεί να είναι: **μόνιμη ή μεταβαλλόμενη** ως προς το χρόνο. Μπορεί να είναι **στρωτή ή τυρβώδης.** Μπορεί να είναι **στροφική ή άστροφη.** Επίσης μπορεί να είναι **υπερκρίσιμη ή υποκρίσιμη(βλ. σχήμα 2.1).**



Σχ. 2.1

2.1 Ταξινόμηση των ειδών ροής

Ροή πραγματικού ρευστού ή **ροή ιδεώδους ρευστού** (ονομάζονται επίσης **γλοιοτική** και **άγλοια** ροή). Η ροή πραγματικού ρευστού συνεπάγεται επενέργειες τριβών (συνεκτικότητας, ιξώδους). Η ροή του ιδεώδους ρευστού είναι υποθετική. Προϋποθέτει ότι δεν υπάρχουν τριβές (δηλαδή το ιξώδες του ρευστού = 0).

Ροή ασυμπίεστου ρευστού ή **ροή συμπιεστού ρευστού.** Η ροή ασυμπίεστου ρευστού υποθέτει ότι το ρευστό έχει σταθερή πυκνότητα (ρ = σταθερό). Παρότι τα υγρά είναι ελαφρώς συμπιεστά συνήθως τα θεωρούμε ως ασυμπίεστα. Τα αέρια είναι συμπιεστά. Η πυκνότητα τους είναι συνάρτηση της απόλυτης πίεσης και της απόλυτης θερμοκρασίας. [ρ = f(p, T)]

Μόνιμη ή **μεταβαλλόμενη ροή.** Μόνιμη ροή εννοείται ροή μόνιμη ως προς το χρόνο. Έτσι όλες οι ιδιότητες της ροής σε κάθε σημείο της παραμένουν σταθερές ως προς το χρόνο. Στη μεταβαλλόμενη ροή, οι ιδιότητες της ροής σε κάθε σημείο αλλάζουν με τον χρόνο.

Ροή υπό πίεση ή **βαρυτική ροή.** Ροή υπό πίεση σημαίνει ότι η ροή γίνεται υπό πίεση. Τα αέρια κινούνται πάντα με τον τρόπο αυτό. Όταν ένα υγρό ρέει με ελεύθερη επιφάνεια μιλάμε για βαρυτική ροή, επειδή η βαρύτητα αποτελεί την πρωτεύουσα κινούσα δύναμη. Τα υγρά επίσης ρέουν υπό πίεση.

Χωραία σταθερή ή **χωραία μεταβαλλόμενη ροή.** Χωραία σταθερή ροή έχουμε όταν η πυκνότητα του ρευστού και η τοπική μέση ταχύτητα της ροής είναι ίδιες σε όλα τα σημεία του ροϊκού πεδίου. Αν οι ποσότητες αυτές μεταβάλλονται κατά μήκος η εγκάρσια προς τις γραμμές ροής, η ροή είναι χωραία μεταβαλλόμενη. Παραδείγματα διαφόρων ειδών χωραίας μεταβαλλόμενης ροής αποτελεί το τοπικό ροϊκό πεδίο γύρω από ένα αντικείμενο, η ροή σε βαθμιαία συστελλόμενο σωλήνα και η ροή του νερού σε ομοιόμορφο ρείθρο σταθερής κλίσης στο οποίο εισρέει νερό σε όλο του το μήκος.

Στρωτή ή **τυρβώδης ροή**

Σταθεροποιημένη ή **μη σταθεροποιημένη ροή.**

Ομοιόμορφη ή **ανομοιόμορφη ροή.** Συνήθως χρησιμοποιούμε τις ταξινομήσεις αυτές όταν μελετάμε τη ροή σε ανοικτούς αγωγούς. Στην ομοιόμορφη ροή η διατομή όπου γίνεται η ροή παραμένει σταθερή.

Υποκρίσιμη ή **υπερκρίσιμη ροή.** Χρησιμοποιούμε τις ταξινομήσεις αυτές όταν μελετάμε τη ροή σε ανοικτούς αγωγούς.

Υποηχητική ή **υπερηχητική ροή.** Χρησιμοποιούμε τις ταξινομήσεις αυτές στη συμπιεστή ροή.

Στροφική ή **άστροφη ροή.** Χρησιμοποιούμε τις έννοιες αυτές στη μαθηματική υδροδυναμική.

Άλλες ταξινομήσεις περιλαμβάνουν την **συγκλίνουσα** ή **αποκλίνουσα ροή,** τη **διαταραγμένη ροή,** την **ισόθερμη (υπό σταθερή θερμοκρασία),** την **αδιαβατική (χωρίς μεταφορά θερμότητας)** και την **ισεντροπική (ατριβή αδιαβατική).**

2.2 Είδη ροών

Όταν μιλάμε για ρευστή ροή συχνά εννοούμε τη ροή ιδεατού ρευστού. Για ένα τέτοιο ρευστό δεχόμαστε ότι δεν έχει ιξώδες. Πρόκειται φυσικά για μια εξιδανικευμένη κατάσταση που στην πραγματικότητα δεν υπάρχει. Ωστόσο, υπάρχουν περιπτώσεις τεχνικών προβλημάτων όπου μια τέτοια παραδοχή είναι χρήσιμη. Όταν γίνεται λόγος για ροή πραγματικού ρευστού εισάγονται στο πρόβλημα και οι επενέργειες της συνεκτικότητας. Αυτή προκαλεί την ανάπτυξη διατμητικών τάσεων μεταξύ γειτονικών στοιχείων του ρευστού, όταν αυτά κινούνται με διαφορετικές ταχύτητες. Στην περίπτωση ιδεατού ρευστού που ρέει σε ευθύγραμμο αγωγό, όλα τα σωματίδια κινούνται σε παράλληλες γραμμές με την ίδια ταχύτητα. Στη ροή πραγματικού ρευστού η ταχύτητα κάθε σωματιδίου που πρόσκειται σε τοίχωμα θα είναι μηδενική. Ωστόσο η ταχύτητα αυτή αυξάνεται απότομα σε μικρή απόσταση από το τοίχωμα και δημιουργείται ένα διάγραμμα ταχυτήτων.

Η ροή μπορεί να ταξινομηθεί σε **ροή ασυμπίεστου** και **ροή συμπιεστού ρευστού.** Επειδή τα υγρά είναι σχετικώς ασυμπίεστα, γενικά τα θεωρούμε στο σύνολο τους ως ασυμπίεστα ρευστά.

Εκτός από τη ροή των διαφόρων ειδών ρευστών, δηλαδή: **πραγματική, ιδεατή, ασυμπίεστη και συμπιεστή,** υπαρχουν και διάφορες άλλες ταξινομήσεις της ροής. Η ροή μπορεί να είναι: **μόνιμη η μεταβαλλόμενη** ως προς το χρόνο. Μπορεί να είναι **στρωτή η τυρβώδης.** Μπορεί να είναι **στροφική η άστροφη.** Επίσης μπορεί να είναι **υπερκρίσιμη η υποκρίσιμη.**

2.2.1 Στρωτή και τυρβώδης ροη

Το αν σε κάποιο συγκεκριμένο πρόβλημα έχουμε στρωτή η τυρβώδη ροή, η πόσο περισσότερο εμφανίζεται η καθεμία απ' αυτές, είναι εξαιρετικά σημαντικό εξαιτίας των ισχυρά διαφορετικών επενεργειών που έχουν αυτά τα δυο διαφορετικά είδη ροών σε πολλά χαρακτηρίστηκα, στα οποία περιλαμβάνονται η απώλεια της ενέργειας, οι κατανομές των ταχυτήτων και η ανάμειξη των μεταφερόμενων υλών.

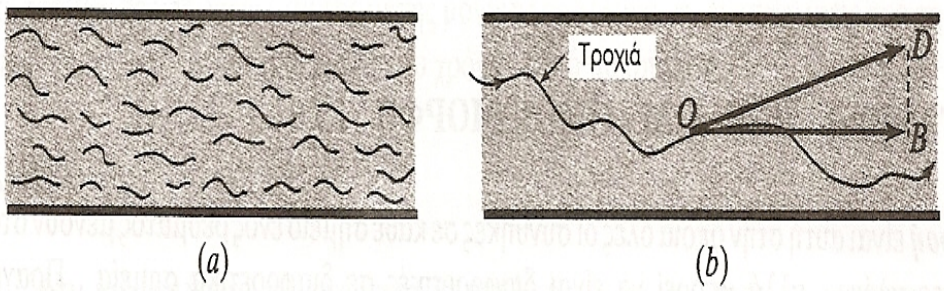
Ο Osborn Reynolds απέδειξε το 1883 ότι υπάρχουν δυο τελείως διαφορετικά είδη ρευστής ροής. Ο Reynolds ενέχυσε ένα λεπτό σαν κλώστη, ρεύμα χρωματισμένου υγρού, με πυκνότητα ίδια με του νερού, στην είσοδο ενός μεγάλου γυάλινου σωλήνα μέσα στον οποίο το νερό έρεε από μια δεξαμενή. Μια βάνα στο άκρο εξόδου του επέτρεπε να μεταβάλει τη ροή. Όταν η ταχύτητα στο σωλήνα ήταν μικρή, το χρωματισμένο υγρό ήταν ορατό σαν ευθεία γραμμή σε όλο το μήκος του σωλήνα, δείχνοντας έτσι ότι τα σωματίδια του νερού κινούνταν σε παράλληλες ευθείες. Καθώς η ταχύτητα του νερού αύξανε βαθμιαία με το άνοιγμα της βαλβίδας, υπήρχε ένα σημείο στο οποίο η ροή άλλαζε. Η γραμμή πρώτα γινόταν κυματιστή και σε μικρή απόσταση από την είσοδο διασπώταν σε πάμπολλους στροβίλους, πέρα από τους οποίους, το χρώμα διαχέονταν ομοιόμορφα, έτσι ώστε δεν μπορούσαν να διακριθούν γραμμές ροής. Μετέπειτα παρατηρήσεις έχουν δείξει ότι σε αυτό τον τελευταίο τύπο ροής οι ταχύτητες υπόκεινται διαρκώς σε ακανόνιστες διακυμάνσεις.

Ο πρώτος τύπος ροής είναι γνωστός ως **στρωτή, γραμμική, η συνεκτή ροή.** Η σημασία των όρων αυτών είναι ότι το ρευστό φαίνεται να κινείται σαν να ολισθαίνουν φύλλα απειροστού πάχους πάνω σε παρακείμενα στρωματά, ότι τα σωματίδια του ρευστού κινούνται σε διακεκριμένες και παρατηρήσιμες τροχιές η γραμμές ροής και επίσης ότι η ροή είναι χαρακτηριστική ενός ιξώδους ρευστού η είναι μια ροή στην οποία παίζει σημαντικό ρόλο η συνεκτικότητα.

Ο δεύτερος τύπος ροής είναι γνωστός ως **τυρβώδης (βλ σχήμα 2.2).** Ένα χαρακτηριστικό της τυρβώδους ροής είναι το ακανόνιστο της, όπου δεν υπάρχει καθορισμένη συχνότητα όπως στην κυματική δράση, ούτε παρατηρήσιμος σχηματισμός όπως στην περίπτωση μεγάλων στροβίλων.

Μεγάλοι στρόβιλοι και ακανόνιστες κινήσεις μεγάλων ρευστών μαζών, που μπορούν να αποδοθούν σε πρόδηλες αιτίες ανατάραξης, δεν αποτελούν τυρβώδη ροή, αλλά μπορούν να περιγράφουν ως διαταραγμένη ροή. Αντίθετα την τυρβώδη ροή είναι δυνατό να τη συναντήσουμε σε ένα φαινομενικά πολύ πιο ήπιο ρεύμα και σε

ένα ρεύμα στο οποίο δεν βρίσκονται φανερές πήγες διαταραχής. Η τυρβώδης ροή χαρακτηρίζεται από τις διακυμάνσεις της ταχύτητας σε όλα τα σημεία του ροϊκού πεδίου. Οι διακυμάνσεις αυτές οφείλονται στο ότι το ρευστό κινείται σαν παρά πολλά διακριτά σωματίδια η «πακέτα» τα οποία ονομάζονται δίνες και σπρώχνουν η μια την αλλά κατά τυχαίο τρόπο. Παρότι μικρές, ακόμα και οι πιο μικρές δίνες είναι μακροσκοπικές ως προς το μέγεθος, κατά πολύ μεγαλύτερες από τις μοριακές διαστάσεις των σωματιδίων της στρωτής ροής. Οι δίνες αλληλεπιδρούν μεταξύ τους αλλά και με την γενική ροή. Σ'αυτές οφείλεται η αποτελεσματική ικανότητα ανάμιξης της τυρβώδους ροής. Συχνά οφείλονται σε περιστροφή, ειδικά κοντά στα σύνορα και γι'αυτό ακόμα και οι ίδιες οι δίνες συχνά περιστρέφονται. Αλλάζουν σχήμα και μέγεθος με το χρόνο καθώς κινούνται κατά μήκος της ροής. Κάθε δίνη διαχέει την ενέργεια της σε ιξώδη διάτμηση με το περιβάλλον της και τελικά εξαφανίζεται. Νέες δίνες σχηματίζονται συνεχώς. Μεγάλες δίνες έχουν μικρότερες δίνες στο εσωτερικό τους και δημιουργούν τυρβσαμό μικρότερης κλίμακας. Οι διακυμάνσεις της ταχύτητας που προκαλούνται είναι γρήγορες και ακανόνιστες και συχνά μπορούμε να τις εντοπίσουμε με ειδικές διατάξεις.



Σχ. 2.2

2.2.2 Κρίσιμος αριθμός Reynolds

$$\mathrm{Re} = \frac{\Delta.\text{Αδράνειας}}{\Delta.\text{Τριβής}}$$

$$\mathrm{Re} = \frac{Vd}{\nu}$$

Όπου: $V = \frac{4Q}{A} = \frac{m^3/s}{m^2}$ = ταχύτητα ρευστού σε m/s

d = διάμετρο σωλήνα σε m

ν = κινητικό ιξώδες σε m^2/s

Re < 2320 στρωτή ροή

Re > 10000 τυρβώδη ροή αλλιώς μεταβατική

2.2.3 Μόνιμη ασυμπίεστη ροη σε αγωγούς πίεσης

Στη μόνιμη ασυμπίεστη ροή σε αγωγούς πίεσης έχει σημαντικό ρόλο ο **συντελεστής τριβής** που συμβολίζεται με **f**. Αυτός υπολογίζεται με δύο τρόπους:

Πρώτος τρόπος:

Από τη σχέση του **DARCY**: $h_f = \frac{f \cdot L \cdot V^2}{2 \cdot g \cdot D}$ =>

$$\mathbf{f} = \frac{h_f}{(L/D)V^2/2g}$$

όπου: h_f = συνεχείς + τοπικές απώλειες σε m

L = μήκος αγωγού σε m

D = διάμετρος σωλήνα σε m

V^2 = ταχύτητα ρευστού σε m/s

g = επιτάχυνση της βαρύτητας 9,81 m/s²

Δεύτερος τρόπος:

Ξέροντας τον αριθμό **Reynolds** και τη **σχετική τραχύτητα** του αγωγού που συμβολίζεται με **e/d** βρίσκουμε τον συντελεστή τριβής **f** από το διάγραμμα του Moody (Βλέπε διάγραμμα Moody που ακολουθεί).

όπου: e = μέγεθος επιφανειακών ανωμαλιών του σωλήνα

d = πραγματική εσωτερική διάμετρος του σωλήνα

Είδος σωλήνα ή επένδυσης (καινούριος)	Τιμές του ε σε mm	
	Περιοχή	Τιμή σχεδιασμού
Ορειχάλκινος	0.0015	0.0015
Χάλκινος	0.0015	0.0015
Σκυρόδεμα	0.3–3.0	1.2
Χυτοσιδηρός, χωρίς επένδυση	0.12–0.61	0.24
» πισσωμένος	0.061–0.183	0.12
» με τσιμεντοεπένδυση	0.0024	0.0024
» με ασφαλτοεπένδυση	0.0024	0.0024
» φυγοκεντρικός	0.003	0.003
Γαλβανισμένος σιδηροσωλήνας	0.061–0.24	0.150
Σιδηροσωλήνας	0.030–0.091	0.061
Συγκολητός χαλυβδοσωλήνας	0.030–0.091	0.061
Ηλωτός χαλυβδοσωλήνας	0.91–9.1	1.83
Αμιαντοσωλήνας	0.0024	0.0024
Από ξυλοσανίδες	0.18–0.91	0.61

Διάγραμμα Moody για συντελεστές τριβής f σωλήνων

2.3 Σταθερή ροή και ομοιόμορφη ροή

Μόνιμη ροή είναι αυτή στην οποία όλες οι συνθήκες σε κάθε σημείο ενός ρεύματος μένουν σταθερές ως προς το χρόνο , αλλά μπορεί να είναι διαφορετικές δε διαφορετικά σημεία . πραγματικά ομοιόμορφη ροή είναι εκείνη στην όποια ταχύτητα είναι ιδία και σε μέτρα και σε διεύθυνση , σε μια δεδομένη στιγμή ,σε κάθε σημείο του ρευστού .Και δύο αυτή ορισμοί θα πρέπει να τροποποιηθούν ελαφρά γιατί πραγματικά μόνιμη ροή συναντάμε μόνο στη στρωτή ροή . Στην τυρβώδη ροή υπάρχουν συνεχείς διακυμάνσεις της ταχύτητας και της πίεσης σε κάθε σημείο , όπως έχουμε ήδη εξηγήσει . Αλλά, όταν οι τιμές διακυμαίνονται εξίσου και από τις δύο πλευρές μιας σταθερής μέσης τιμής, τη ροή αυτή την ονομάζουμε μόνιμη ροή. Ωστόσο, ένας πιο ακριβής ορισμός γι' αυτή την περίπτωση θα ήταν μέση μόνιμη ροή(mean steady flow).

Παρόμοια ο αυστηρός ορισμός της ομοιόμορφης ροής μπορεί να έχει πολύ λίγο νόημα για τη ροή ενός πραγματικού ρευστού, όπου η ταχύτητα μεταβάλλεται πάνω σε μία εγκάρσια τομή. Αλλά όταν οι διαστάσεις και η μορφή της εγκάρσιας τομής παραμένουν σταθερές σε όλο το μήκος του εξεταζόμενου αγωγού, λέμε ότι η ροή είναι ομοιόμορφη.

Μόνιμη (ή μεταβαλλόμενη) και ομοιόμορφη (ή ανομοιόμορφη) ροή, μπορούν να υπάρξουν ανεξάρτητα η μία από την άλλη, οπότε είναι δυνατοί τέσσερις συνδυασμοί. Έτσι η ροή ενός υγρού με σταθερή παροχή κατά μήκους ενός ευθύγραμμου σωλήνα με σταθερή διάμετρο, είναι μόνιμη ομοιόμορφη ροή, ενώ για μεταβαλλόμενη παροχή οι περιπτώσεις αυτές γίνονται, αντίστοιχα, ομοιόμορφη μεταβαλλόμενη και ανομοιόμορφη μεταβαλλόμενη ροή.
Η μεταβαλλόμενη ροή αποτελεί παροδικό φαινόμενο το οποίο με την πάροδο του χρόνου τρέπεται σε μόνιμη ροή ή σε μηδενική ροή.

2.4 Συνεκτικότητα

Η συνεκτικότητα (¨ιξώδες¨) ενός ρευστού αποτελεί ένα μέτρο της αντίστασής του σε διατμητική ή γωνιακή παραμόρφωση. Λόγου χάρι, τα λάδια των μηχανών των αυτοκινήτων έχουν υψηλή συνεκτικότητα και αντίσταση σε διάτμηση, είναι

συνεκτικά, ενώ η βενζίνη έχει μικρή συνεκτικότητα. Οι δυνάμεις τριβής κατά τη ροή ρευστού είναι αποτέλεσμα της συνοχής και της ανταλλαγής ορμής μεταξύ των μορίων του ρευστού. Όταν η θερμοκρασία αυξάνει, τα ιξώδη όλων των υγρών μειώνονται, ενώ τα ιξώδη όλων των αερίων αυξάνονται. Αυτό οφείλεται στο ότι η δύναμη συνοχής, που ελαττώνεται με την θερμοκρασία, δεσπόζει στα υγρά, ενώ στα αέρια ο σημαντικός παράγοντας είναι η ανταλλαγή μορίων μεταξύ στρωμάτων διαφορετικών ταχυτήτων. Έτσι ένα ταχέως κινούμενο μόριο αερίου που μετακινείται σε στρώμα βραδύτερης κίνησης, τείνει να επιταχύνει το τελευταίο. Ενώ ένα βραδέως κινούμενο μόριο, που εισέρχεται σε ταχύτερο στρώμα, τείνει να το επιβραδύνει. Αυτή η ανταλλαγή μορίων δημιουργεί διάτμηση, ή παράγει δύναμη τριβής μεταξύ των προσκείμενων στρωμάτων. Σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες η μοριακή δραστηριότητα αυξάνει και προκαλεί την αύξηση του ιξώδους των αερίων με τη θερμοκρασία.

Μονάδες ιξώδους

$$\text{Δυναμικό}: \ \mu = \tau \cdot \frac{d}{u} = \frac{F \cdot d}{u \cdot A}, \ \text{μοναδές}: \ \frac{Nt \cdot sec}{m^2} = \frac{kgr}{m \cdot sec}$$

$$\text{Κινητικό}: \ v = \frac{\mu}{p}, \text{μοναδές}: \ \frac{m^2}{sec}$$

2.5 Τροχιές στοιχείων ρευστού, γραμμές ροής και ακολουθίες

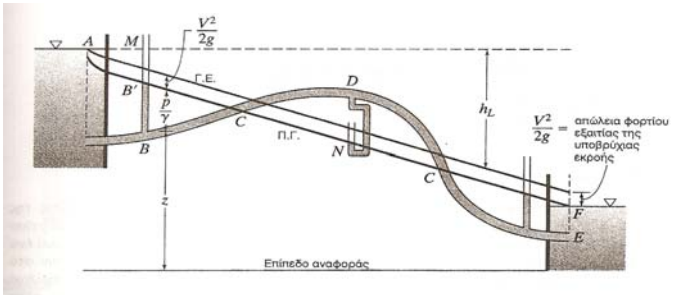
Τροχιά στοιχείου ρευστού, είναι η τροχιά που ακολουθεί ένα και μόνο σωματίδιο σε μία χρονική περίοδο . Αν υπήρχε μία φωτογρφική μηχανή για να τραβήξει μία φωτογραφία της ροής , στην οποία ένα ρευστό σωματίδιο θα ηταν χρωματισμένο έτσι που να ‘γράφεται’ στο αρνητικό , η εικόνα θα έδειχνε τη διαδρομή που ακολουθήθηκε από το σωματίδιο. Αυτή θα ήταν η τροχιά του. Η τροχιά δείχνει την κατεύθυνση της ταχύτητας του σωματιδίου σε διαδοχικές χρονικές στιγμές.

Οι γραμμές ροής ή **ροϊκές γραμμές** δείχνουν τη μέση κατεύθυνση ενός αριθμού σωματιδίων κατα την ίδια χρονική στιγμή . Αν υπήρχε μία φωτογραφική μηχανή για να πάρει μία φωτογραφία , πολύ μικρής διάρκειας , μιας ροής στην οποία θα υπήρχε μεγάλος αριθμός σωματιδίων , κάθε σωματίδιο θα διέτρεχε μία σύντομη διαδρομή, η οποία θα έδειχνε την ταχύτητά του κατά τη διάρκεια αυτού του σύντομου διαστήματος. Μια σειρά καμπυλών, σχεδιασμένων να εφάπτονται στα μεσα των διανυσμάτων των ταχυτήτων θα αποτελούσαν τις γραμμές ροής .

Τροχιές και γραμμές ροής είναι ακριβώς οι ίδιες στη μόνιμη ροή ενός ρευστού στο οποίο δεν υπάρχουν διακυμαινόμενες συνιστώσες ταχύτητας, με άλλα λόγια, για πραγματικά μόνιμη ροή. Τέτοια ροή μπορεί να είναι είτε εκείνη ενός ιδεατού ρευστού χωρίς τριβές ή εκείνη ενός συνεκτικού ρευστού πού θα εκινείτο τόσο αργά ώστε να μη σχηματίζονται δίνες. Η τελευταία περίπτωση είναι η λεγόμενη **στρωτή** ροή, όπου τα στρώματα του ρευστού ολισθαίνουν απαλά το ένα πάνω στο άλλο . Ωστόσο, στην τυρβώδη ροή οι τροχιές, η χρονική ταχύτητα και οι ροϊκές γραμμές δεν συμπίπτουν, οι τροχιές είναι πολύ ακανόνιστες ενώ οι ροϊκές γραμμές εφάπτονται παντού στην τοπική μέση χρονική ταχύτητα.

2.6 Πιεζομετρική γραμμή και γραμμή ενέργειας

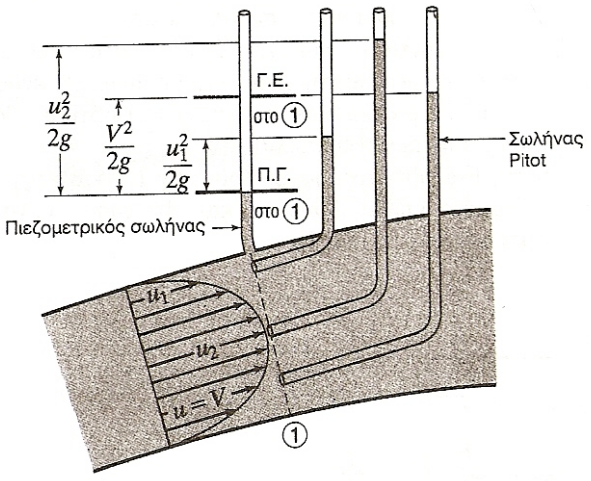
Το άθροισμα Z+(p/γ) ονομάζεται **υδροστατικό φορτίο**, επειδή παριστάνει τη στάθμη στην οποία θα ανέβει το υγρό σε ένα **πιεζομετρικό σωλήνα,** ο οποίος έχει το άκρο σύνδεσης του σε επίπεδο παράλληλο στη ροή. Η **πιεζομετρική γραμμή** ή και η **γραμμή υδραυλικής κλίσης(βλ. σχήμα 2.3)** είναι μια γραμμή που γράφεται από τις κορυφές των πιεσόμετρων. Πάνω στην γραμμή υδραυλικής κλίσης η πίεση είναι ίση με του περιβάλλοντος δηλαδή συνήθως η ατμοσφαιρική πίεση.



Σχ. 2.3

Ένας **σωλήνας PITOT (βλ. σχήμα 2.4)** δηλαδή ένας μικρός σωλήνας με το ανοικτό του άκρο προς το ανάντη θα αντισταθεί στη κινητική ενέργεια της ροής και θα δείξει το **συνολικό ενεργειακό ύψος,** $Z+p/\gamma+u^2/2g$. Άρα η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ της υγρής επιφάνειας του πιεζομετρικού σωλήνα και εκείνης του σωλήνα $u^2/2g$ από όπου μπορούμε να υπολογίσουμε εύκολα την τοπική ταχύτητα της ροής u. Η γραμμή που ορίζεται από τις επιφάνειες των σωλήνων PITOT ονομάζεται **γραμμή ενέργειας.** Για ροή ιδεατού ρευστού η γραμμή ενέργειας είναι οριζόντια επειδή δεν υπάρχει απώλεια φορτίου. Για πραγματικό ρευστό, η γραμμή ενέργειας πρέπει να είναι κατωφερική και η διεύθυνση της ροής εξαιτίας της απώλειας φορτίου που οφείλεται στη ρευστή τριβή.

Επειδή η τοπική ταχύτητα u μεταβάλλεται σε μια διατομή ροής , η ένδειξη που δίνει ένας σωλήνας PITOT θα εξαρτάται από την ακριβή θέση του βυθισμένου ανοιχτού άκρου του. Έτσι ένας σωλήνας PITOT θα δείχνει την πραγματική στάθμη της γραμμής ενέργειας μόνο όταν τον τοποθετήσουμε στη ροή σε ένα σημείο όπου $u^2/2g = \alpha(V^2/2g)$. Αν υποθέσουμε ότι ο συντελεστής α έχει τιμή 1 η 0 τότε για να δείξει την πραγματική γραμμή ενέργειας θα πρέπει να τοποθετήσουμε τον σωλήνα στη ροή σε σημείο όπου u = V. Βέβαια σπάνια γνωρίζουμε εκ των πρότερων που μέσα στη ροή το u = V. Επομένως η ορθή τοποθέτηση ενός σωλήνα PITOT ώστε να δείξει την πραγματική θέση της γραμμής ενέργειας, γενικά παραμένει άγνωστη.



Σχ. 2.4

2.7 Εξίσωση Bernoulli

Μια ακόμη θεμελιώδης αρχή που θα πρέπει να γνωρίζουμε στην υδροδυναμική είναι η «αρχή διατήρησης της ενέργειας η οποία εκφράζεται με τη βασική εξίσωση της υδροδυναμικής, γνωστή ως εξίσωση του Bernoulli, προς τιμήν του Daniel Bernoulli, 1798:

$$\mathbf{V_1^2/2g + P_1/\gamma + Z_1 = V_2^2/2g + P_2/\gamma + Z_2 + \Delta H}$$

Όπου: γ = το ειδικό βάρος του ρευστού που κινείται (για το νερό γ =1gr/cm^3 = 1ton/m^3),

g = η επιτάχυνση της βαρύτητας που είναι 9,81m/sec^2,

V, P, Z = η ταχύτητα, η πίεση και η θέση αντίστοιχα του ρευστού σε μια ορισμένη διατομή,

ΔH = όλες οι απώλειες μεταξύ δυο θέσεων που οφείλονται (κυρίως) στη τριβή του ρευστού με τα τοιχώματα του αγωγού μέσα στον οποίο κινείται. Αλλά και σε αλλά αίτια όπως μεταβολή διαμέτρου, στροφές, εξαρτήματα και όργανα που τοποθετούνται στους αγωγούς κ.α.

Το [P/γ + Z] καλείται και πιεζομετρικό φορτίο η πιεζομετρική ενέργεια, ενώ το [V^2/2g] είναι η κινητική ενέργεια.

2.8 Διατιμή ροής και μέση ταχύτητα

Την ποσότητα του ρευστού που περνά στη μονάδα του χρόνου από μια εγκάρσια τομή την ονομάζουμε διατιμή της ροής. Μπορούμε να την εκφράζουμε συναρτήσει της ογκικής διατιμής της ροής (παροχής) χρησιμοποιώντας λόγου χάρη στο BG ως μονάδες το κυβικό πόδι ανα δευτερόλεπτο, γαλόνια ανά πρώτο λεπτό, εκατομμύρια γαλόνια ανά ημέρα, ή συναρτήσει της διατιμής ροής της μάζας, ή

συναρτήσει της διατιμής ροής βάρους. Στο σύστημα SI χρησιμοποιούμε σαν αντίστοιχες μονάδες τα κυβικά μέτρα ανά δευτερόλεπτο (m^3/s), τα χιλιόγραμμα ανά δευτερόλεπτο (kg/s), τα χιλιονιούτον ανά δευτερόλεπτο (KN/s). Για τα ασυμπίεστα ρευστά συνήθως χρησιμοποιούμε την ογκική διατιμή της ροής, ενώ για τα συμπιεστά χρησιμοποιούμε συνήθως την διατιμή ροής του βάρους ή της μάζας.

Αν η ροή είναι τυρβώδης, η στιγμιαία συνιστώσα της ταχύτητας u_t κατά μήκος της ροϊκής γραμμής θα κυμαίνεται με το χρόνο ακόμη και αν η ροή είναι ονομαστικά μόνιμη .Η διάφορα μεταξύ u_t και u την οποία συμβολίζουμε με u' ονομάζεται τυρβώδης διακύμανση αυτής της συνιστώσας και μπορεί να είναι είτε θετική είτε αρνητική, αλλά η χρονική μέση τιμή της u' πρέπει να είναι μηδέν. Παρόμοια οι χρονικοί μεσοί όλων των συνιστωσών των ταχυτήτων κάθετα στη ροϊκή γραμμή θα πρέπει επίσης να είναι μηδέν. Έτσι σε κάθε στιγμή:

$$\mathbf{U_t = u + u'}$$

Για την πολύ συνήθη περίπτωση ροής σε κυκλικό σωλήνα ισχύει η σχέση:

$$\mathbf{V = 4Q/\pi D^2 = 4m/\pi D^2 \rho = 4G/\pi D^2 \gamma}$$

2.9 Εξίσωση συνεχείας

Η εξίσωση συνέχειας προκύπτει από την αρχή διατήρησης μάζας. Για μόνιμη ροη, η μάζα που παίρνει από όλες τις διατομές ενός ρεύματος ρευστού στη μονάδα του χρόνου είναι η ιδία για όλες τις διατομές

$$\mathbf{Q = A_1 * V_1 = A_2 * V_2 = A_v * V_v}$$

όπου: Q = m^3/sec

A = m^2

V = m/sec

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο

3.1 Συμπιεστά και ασυμπίεστα ρευστά

Η ρευστομηχανική ασχολείται και με συμπιεστά και με ασυμπίεστα ρευστά, δηλαδή με υγρά και αέρια σταθερής η μεταβλητής πυκνότητας. Αν και στην πραγματικότητα δεν υπάρχουν ασυμπίεστα ρευστά, η παραδοχή αυτή τίθεται όταν η αλλαγή στην πυκνότητα με την πίεση είναι τόσο μικρή ώστε να είναι αμελητέα. Αυτό συνήθως ισχύει μόνο στα υγρά. Τα αέρια επίσης, μπορούν να θεωρηθούν ασυμπίεστα, όταν η μεταβολή της πίεσης είναι μικρή συγκρινόμενη με την απόλυτη πίεση.

Συνήθως θεωρούμε ως ασυμπίεστα ρευστά, παρ' ότι ηχητικά κύματα, που στην πραγματικότητα είναι κύματα πίεσης, διαδίδονται Μεσα από αυτά. Αυτό αποδεικνύει την ελαστικότητα των υγρών. Στο πρόβλημα του υδραυλικού πλήγματος, θα πρέπει να λάβουμε υπόψη τη συμπιεστότητα του υγρού.

Η ροή του αέρα σε ένα σύστημα εξαερισμού αποτελεί μια περίπτωση όπου ένα αέριο μπορεί να θεωρηθεί σαν ασυμπίεστο, γιατί η μεταβολή της πίεσης είναι τόσο μικρή που η μεταβολή της πυκνότητας δεν έχει σημασία. Αλλά για ένα αέριο η ατμό που κινείται με μεγάλη ταχύτητα σε ένα μακρύ σωλήνα, η πτώση της πίεσης μπορεί να είναι τόσο μεγάλη ώστε η αλλαγή της πυκνότητας να μην είναι δυνατόν να αγνοηθεί. Για ένα αεροσκάφος που πετάει με ταχύτητες άνω των 100m/sec, ο αέρας μπορεί να θεωρηθεί ότι έχει σταθερή πυκνότητα. Αλλά όταν ένα αντικείμενο που κινείται στον αέρα πλησιάζει την ταχύτητα του ήχου, που είναι της τάξης των 1200km/h (760mph) και εξαρτάται από τη θερμοκρασία, η πίεση και η πυκνότητα του αέρα κοντά στο σώμα γίνονται πολύ διαφορετικές από εκείνες του αέρα που βρίσκεται σε κάποια απόσταση απ' αυτό, και τότε ο αέρας πρεπει να θεωρηθεί σαν ασυμπίεστο ρευστό.

3.1.1 Συμπιεστότητα των υγρών

Η συμπιεστότητα (μεταβολή του όγκου εξαιτίας της πίεσης) ενός υγρού είναι αντιστρόφως ανάλογη προς το **ογκικό μέτρο ελαστικότητας** του, γνωστό επίσης και ως **μέτρο διόγκωσης.** Αυτό το μέτρο ορίζεται από τη σχέση:

$$\mathbf{E_U = - u\,(dp/du) \;=\; -(u/du)\,dp}$$

όπου: u = ειδικός όγκος και

p= πιεση.

Επειδή ο λόγος u/du είναι αδιάστατος, οι μονάδες των $\mathbf{E_u}$ και **p** είναι ίδιες. Το μέτρο διόγκωσης είναι κάτι ανάλογο με το μέτρο ελαστικότητας των στερεών. Ωστόσο για τα υγρά ορίζεται με βάση τον όγκο και όχι όπως στη γνωστή μονοδιάστατη σχέση τάσεων-τροπών για τα στερεά σώματα.

Στα περισσότερα τεχνικά προβλήματα το μέτρο διόγκωσης ακριβώς η κοντά στη τιμή της ατμοσφαιρικής πίεσης είναι το μόνο που μας ενδιαφέρει. Το μέτρο διόγκωσης αποτελεί ιδιότητα του ρευστού και για τα υγρά είναι μια συνάρτηση της θερμοκρασίας και της πίεσης.

Να σημειώσουμε ότι συχνά ορίζουμε τις ασκούμενες πιέσεις σε απόλυτους όρους επειδή η ατμοσφαιρική πίεση μεταβάλλεται. Οι μοναδες **psia** η **kN/m^2 abs** δηλώνουν απόλυτη πίεση, η οποία είναι η πραγματική πίεση στο ρευστό, ως προς το απόλυτο μηδέν. Η τυποποιημένη ατμοσφαιρική πίεση στο επίπεδο της θάλασσας είναι περίπου 14,7 psia η 101,3 κN/m^2 abs. Τα **bars** και τα **millibars** χρησιμοποιούντο πριν στο μετρικό σύστημα για να εκφράζουν την πίεση. 1 mb = 100 N/m^2. Οι περισσότερες πιέσεις μετριούνται ως προς την ατμόσφαιρα και ονομάζονται σχετικές πιέσεις.

Η συμπιεστότητα των υγρών καλύπτει ευρύ φάσμα. Ο υδράργυρος για παράδειγμα είναι περίπου συμπιεστός όσο το **8%** του νερού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο

ΣΩΛΗΝΩΣΕΙΣ

4.1 Υλικά, μέθοδοι κατασκευής και τυποποίηση σωλήνων

Για την κατασκευή των σωλήνων χρησιμοποιούνται διάφορα υλικά όπως χυτοσίδηρος , σίδηρος , χάλυβας , ανοξείδωτος χάλυβας , χαλκός , κράματα χαλκού , μόλυβδος , αλουμίνιο , πλαστικά όπως π.χ. πολυαιθυλένιο ή P.V.C. , ενισχυμένο ελαστικό , μπετόν , κ.λ.π.

Οι κατασκευαστές των σωλήνων από τα πιο πάνω υλικά προδιαγράφουν το είδος και την περιοχή χρήσης τους . Για να έχουμε ικανοποιητική λειτουργία πρέπει το υλικό του σωλήνα να έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά :

α) Επαρκή αντοχή στη θερμοκρασία λειτουργίας , έτσι ώστε να αντέχει στα διάφορα φορτία από την εσωτερική πίεση , από τις διαστολές –συστολές , τις υδραυλικές κρούσεις κ.λ.π.

β) Ικανοποιητική αντοχή σε χημική , γαλβανική και μηχανική διάβρωση για το υγρό που θα κυκλοφορεί στον σωλήνα .

γ) Δυνατότητα στεγανής σύνδεσης με άλλα τμήματα σωλήνα και εξαρτήματα.

δ) Όταν το μεταφερόμενο υγρό είναι πόσιμο νερό ή άλλα τρόφιμα να εξασφαλίζεται απόλυτα η υγεία .

Η ποιότητα και η αντοχή ενός σωλήνα δεν εξαρτάται μόνο από το υλικό αλλά και από τη μέθοδο κατασκευής του.

Παρακάτω θα αναφερθούμε συνοπτικά στα σημαντικότερα είδη σωλήνων .Για τους χαλυβδοσωλήνες όμως , λόγω της ιδιαίτερης σπουδαιότητάς τους ,η περιγραφή θα είναι αναλυτικότερη.

4.1.1 Σωλήνες από σίδηρο και χάλυβα

Υπάρχουν οι παρακάτω βασικές κατηγορίες σιδηροσωλήνων και χαλυβδοσωλήνων με βάση τη μέθοδο κατασκευής τους:

α) Με ραφή, ή συγκολλητή (WELDED)

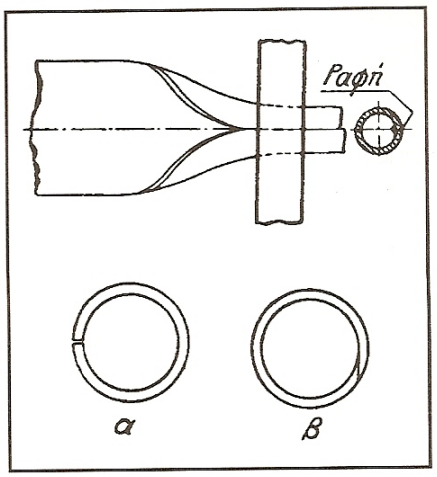
β) Χωρίς ραφή (SEAMLESS), οι οποίοι έχει επικρατήσει να λέγονται και «τούμπα» (TUBES).

γ) Χυτοί (CAST).

4.1.2 Σωλήνες με ραφή

Οι σωλήνες με ραφή κατασκευάζονται από λωρίδα ελάσματος, μήκους ίσου με το μήκος του σωλήνα, η οποία κυλινδρώνεται και επακολουθεί η συγκόλληση των ακμών (Βλέπε σχήμα 4.1). Η συγκόλληση γίνεται με την μέθοδο της ηλεκτρικής αντίστασης, ή αυτογενώς « εν θερμώ». Όταν απαιτείται, τα υπολείμματα της συγκόλλησης (WELDING FLASH) απομακρύνονται με κατάλληλο κοπτικό εργαλείο.

Ανάλογα με το φινίρισμα (FINISH CONDITION) και τις μετά τη συγκόλληση κατεργασίες διακρίνονται διάφορες κατηγορίες (ποιότητες) σωλήνων με ραφή. Βασικά, όταν δεν προδιαγράφεται η εσωτερική διάμετρος, το εσωτερικό υπόλειμμα (INTERIOR WELDING FLASH) παραμένει μέσα.



Σχ. 4.1

Αρχή κατασκευής σωλήνων με ραφή:(α) με συμβολή ακμών , (β) με επίθεση

4.1.3 Σωλήνες χωρίς ραφή

Οι σωλήνες χωρίς ραφή κατασκευάζονται είτε «εν θερμώ», είτε «εν ψυχρώ» με διάφορες μεθόδους. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται περισσότερο είναι η μέθοδος (MANNESMAN και η EHRHARDT.

α) Κατά τη μέθοδο MANNESMAN το κυλινδρικό τεμάχιο από το οποίο θα κατασκευασθεί ο σωλήνας θερμαίνεται σε θερμοκρασία 700-800 °C και διέρχεται μεταξύ κολουροκωνικών ελάστρων με μή παράλληλους άξονες (Βλέπε σχήμα 4.2). Απαιτούνται τουλάχιστον τρία έλαστρα. Στο κέντρο του διακένου των ελάστρων βρίσκεται ένα διατρητικό έμβολο (MANDREL). Το κυλινδρικό τεμάχιο ωθείται με την περιστροφή των ελάστρων επάνω στο έμβολο και το μαλακό του κέντρο διατρυπάτε. Όταν ολόκληρο το τεμάχιο περάσει από το έμβολο, έχει αποκτήσει τη μορφή ενός σωλήνα με παχύ τοίχωμα. Ο σωλήνας αυτός περνά στη συνέχεια από άλλα έλαστρα με έμβολα κατάλληλου σχήματος και αποκτά το επιθυμητό πάχος και εξωτερική διάμετρο.

Οι σωλήνες που κατασκευάζονται με τη μέθοδο αυτή είναι γνωστοί ως κατασκευασμένοι «εν θερμώ» (HOT FINISHED TUBES) γιατί απαιτείται προηγούμενη θέρμανση του υλικού.

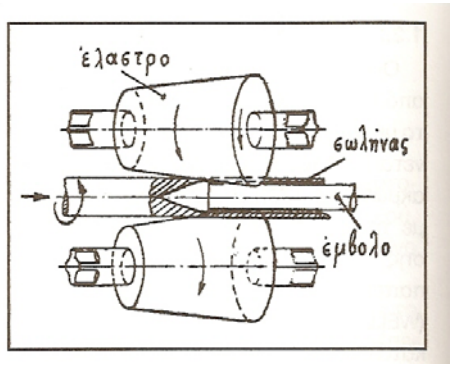
Όμως η μέθοδος αυτή λόγω μηχανικών δυσκολιών δεν μπορεί να εφαρμοσθεί για την κατασκευή σωλήνων μικρής διαμέτρου και μικρού πάχους. Γι' αυτούς χρησιμοποιείται η μέθοδος κατασκευής «εν ψυχρώ». Η μέθοδος είναι η ίδια με την «εν θερμώ» με την διαφορά ότι ο σωλήνας παίρνει το τελικό μήκος, διάμετρος και πάχος με μία ή περισσότερες εφελκύσεις «εν ψυχρώ» σε μηχάνημα εφέλκυσης. Οι σωλήνες αυτοί (χωρίς ραφή) είναι γνωστοί σαν «τραβηκτοί εν ψυχρώ» (COLD DRAWN TUBES).

Ο εφελκυσμός σκληραίνει το υλικό, ιδίως τον χάλυβα, και γι΄αυτό πριν από κάθε εφεκλυσμό, ο σωλήνας υποβάλλεται σε αποσκλήρυνση, αφού πρώτα εμβαπτισθεί σε διάλυμα οξέος για απομάκρυνση της επιφανειακής σκουριάς, ή λεπιών, πλυθεί με γλυκό νερό και εμβαπτιστεί σε λάδι.

Με τον εφεκλυσμό «εν ψυχρώ» είναι δυνατή κατασκευή μικροτέρων διαμέτρων και παχών, αλλά προκύπτουν σωλήνες με περισσότερο ανομοιόμορφες διαστάσεις.

β) Κατά τη μέθοδο EHRHARDT (ή μέθοδο CUPING & DRAWING) ένα κυκλικό επίπεδο έλασμα με κατάλληλο πάχος και διάμετρο θερμαίνεται μέχρι να αποκτήσει ανοικτό κόκκινο χρώμα και τοποθετείται σε μια υδραυλική πρέσσα με

έμβολο μέσα σε κύλινδρο. Το κύπελλο (CUP) που σχηματίζεται έτσι ξαναθερμαίνεται και ξαναπρεσσάρεται σε μικρότερο κύλινδρο. Ετσι μακραίνει το κύπελλο ώσπου να γίνει ένας κοντός κύλινδρος με πυθμένα. Η επιμήκυνση συνεχίζεται με τον ίδιο τρόπο μέσα από κυλίνδρους ή δακτυλίους με όλο και μικρότερη διάμετρο μέχρι να φθάσουμε την επιθυμητή εξωτερική διάμετρο. Η επιμήκυνση μπορεί να συνεχισθεί και με εφελκυσμό (DRAWING). Η επαναθέρμανση γίνεται όπου χρειάζεται. Η μέθοδος αυτή δίνει ιδιαίτερα ομοιόμορφο σωλήνα. Με αυτήν κατασκευάζονται αυλοί μέχρι μήκους 9 μέτρων, σωλήνες μεγάλου πάχους, φιάλες πιεσμένου αέρα, κάννες πυροβόλων και άλλα χαλύβδινα κοίλα σώματα.



Σχ. 4.2

Αρχή μεθόδου MANNESMAN κατασκευής σωλήνων χωρίς ραφή

4.1.4 Σωλήνες χυτοί

Παλαιότερα κατασκευάζονταν χυτοί σωλήνες από χυτοσίδηρο αλλά τελευταία ο χυτοσίδηρος έχει αντικατασταθεί από τον ελατό χυτοσίδηρο λόγω της αυξημένης ελατότητάς του. Οι σωλήνες από ελατό χυτοσίδηρο κατασκευάζονται με φυγοκεντρική χύτευση και έχουν κατάλληλα διαμορφωμένα άκρα για διάφορους τύπους συνδέσεων π.χ. φλάντζες κ.λ.π . Χρησιμοποιούνται για νερό, απόβλητα, αποστραγγίσεις, κ.α.

4.1.5 Τυποποίηση Χαλυβδοσωλήνων

Το υλικό κατασκευής των χαλυβδοσωλήνων με ραφή του εμπορίου είναι χάλυβας St 33 & St 34-2 ή καλύτερης ποιότητας χάλυβας St 37-2 Οι σωλήνες χωρίς ραφή για κτηριακές εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται συνήθως σε δύο ποιότητες την κοινή ποιότητα εμπορίου και την καλύτερη ποιότητα (St 35).
Η κοινή ποιότητα του εμπορίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί μέχρι θερμοκρασία 120 °C και πιέσεις μέχρι 25 BAR.
Από πλευρά πάχους στο ελληνικό εμπόριο κυκλοφορούν 3 βασικές κατηγορίες:
Οι ελαφρού τύπου με διακριτική ετικέτα κίτρινη.
Οι μέσου τύπου με διακριτική ετικέτα κόκκινη.
Οι βαρέως τύπου με διακριτική ετικέτα πράσινη.

4.1.6 Χαλκοσωλήνες

Σημαντική θέση στην κατηγορά των σωλήνων από μη σιδηρούχα υλικά κατέχουν οι χαλκοσωλήνες . Η μεγάλη διάδοση των χαλκοσωλήνων ιδιαίτερα στις κτηριακές μηχανολογικές εγκταστάσεις οφείλεται στα παρακάτω πλεονεκτήματα του χαλκοσωλήνα.

α) Έχει εντελώς λεία επιφάνεια και επομένως παρουσιάζει μικρότερη αντίσταση στη ροή με αποτέλεσμα να μπορούν να χρησιμοποιούνται μικρότερες διάμετροι.

β) Δεν σκουριάζει γιατί σχηματίζει λεπτό επιφανειακό στρώμα οξειδίου που τον προφυλάσσει από άλλη διάβρωση.

γ) Είναι ελαφρότερος από τον χαλυβδοσωλήνα.

δ) Έχει αρκετά υψηλή αντοχή.

ε) Παρουσιάζει ταχύτητα εγκατάστασης όταν γίνεται χρήση της τριχοειδούς συγκόλλησης .

Ανάλογα με το πάχος τους οι χαλκοσωλήνες του ελληνικού εμπορίου διακρίνονται σε ελαφρού και βαρέως τύπου.

Κυκλοφορούν σε δυο τύπους :

α) σε ευθύγραμμα τμήματα σε σκληρή κατάσταση και

β) σε κουλούρες σε ανοπτημένη (μαλακή) κατάσταση μόνο για μικρές διαμέτρους.

Για ειδικές χρήσεις και κυρίως για κτηριακές εγκαταστάσεις διατίθενται και χαλκοσωλήνες με επένδυση P.V.C.

Υπάρχουν διάφοροι βαθμοί σκληρότητας των χαλκοσωλήνων. Από τη σκληρότητα εξαρτάται και η αντοχή του χαλκοσωλήνα. Όταν είναι γνωστή η σκληρότητα H (HB) του χαλκοσωλήνα, η εξωτερική διάμετρος D (mm) και το πάχος t (mm) μπορούμε να υπολογίσουμε τη μέγιστη πίεση λειτουργίας P_{max} (bar) για θερμοκρασία λειτουργίας μέχρι 65 ^{0}C από τον τύπο:

$$P_{max} \approx \frac{20 \cdot H \cdot t}{D - t}$$

4.1.7 Σωλήνες κραμάτων χαλκού

Οι σωλήνες από ειδικά κράματα χαλκού έχουν υψηλότερη αντοχή στη διάβρωση από τους γαλβανισμένους χαλυβδοσωλήνες αλλά είναι και πολύ ακριβότεροι. Τα κράματα που χρησιμοποιούνται συνήθως γι' αυτό τον σκοπό είναι τα κράματα χαλκού–νικελίου–σιδήρου (Cu Ni Fe) που στο εμπόριο κυκλοφορούν με το όνομα "KUNIFER" και κράματα χαλκού–ψευδαργύρου–αλουμινίου (Cu Zn AI) για τα οποία συχνά χρησιμοποιείται το εμπορικό όνομα "YORKALBRO". Οι σωλήνες
από τα κράματα αυτά έχουν και μεγαλύτερη μηχανική αντοχή από τους σωλήνες καθαρού χαλκού.

4.1.8 Σωλήνες από πλαστικά

Τελευταία, μεγάλη διάδοση έχουν και οι σωλήνες από διάφορα είδη πλαστικών (PVC , PE , PP , κλπ.) που βρίσκουν εφαρμογή σε πολλές χρήσεις όπως ύδρευση , άδρευση , αποχέτευση , μεταφόρα χημικών και διαβρωτικών υγρών , βιομηχανική χρήση , κεντρική θέρμανση κλπ. Για τους σωλήνες αυτούς οι κατασκευαστές διαθέτουν διάφορα είδη συνδέσεων όπως π.χ. με ελαστικούς δακτυλίους , μεταλλικά ή πλαστικά εξαρτήματα , κόλλα κ.λ.π. οι διαστάσεις (διάμετρος , πάχος , μήκος) που διατίθενται , όπως και η μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση και θερμοκρασία λειτουργίας , ποικίλουν για κάθε είδος σωλήνα και από κατασκευαστή σε κατασκευαστή.

4.2 Επιλογή υλικών σωλήνων

Πολλά υλικά μπορούν να είναι κατάλληλα για την ίδια χρήση. Στους παράγοντες που επηρεάζουν την απόφαση να επιλέξουμε ένα συγκεκριμένο υλικό συμπεριλαμβάνονται η διαθεσιμότητα, το κόστος, η συγκολλησιμότητα, το κόστος εγκατάστασης, το όριο πίεσης και θερμοκρασίας του υλικού, η αντοχή σε διάβρωση. Ένα είδος διάβρωσης που έχει ιδιαίτερη σημασία στη μελέτη και σχεδίαση των δικτύων και στην επιλογή των κατάλληλων υλικών σωλήνων είναι η λεγόμενη γαλβανική διάβρωση.

Γαλβανική διάβρωση μπορεί να συμβεί όταν δύο ανόμοια μέταλλα συνδεθούν ηλεκτρικά σε περιβάλλον ηλεκτρολύτη όπως π.χ. το θαλασσινό νερό. Ηλεκτρικό ρεύμα ρέει από το μέταλλο-άνοδο μέσα από τον ηλεκτρολύτη προς το μέταλλο-κάθοδο (ευγενέστερο μέταλλο), οπότε η διάβρωση της ανόδου επιταχύνεται, ενώ της καθόδου επιβραδύνεται.

Το εάν η γαλβανική διάβρωση θα βρίσκεται μέσα σε επιτρεπτά όρια, εξαρτάται όχι μόνο από το σχετικό ηλεκτρικό δυναμικό των μετάλλων, αλλά και από τις σχετικές επιφάνειες ανόδου και καθόδου.

Εάν η άνοδος είναι μικρή και η κάθοδος μεγάλη, η άνοδος θα υποστεί γρήγορη φθορά. Αντίθετα, αν η άνοδος είναι μεγάλη και η κάθοδος μικρή, ο ρυθμός διάβρωσης είναι μικρός και αποδεκτός.

Για να ελαττωθούν οι κίνδυνοι από γαλβανική διάβρωση πρέπει να τηρούνται οι παρακάτω κανόνες στη σχεδίαση των μεταλλικών σωληνώσεων:

1. Μειώστε τις διαφορές δυναμικού επιλέγοντας μέταλλα όσο το δυνατόν πλησιέστερα μεταξύ τους στη γαλβανική σειρά.
2. Αποφύγετε τις διμεταλλικές επαφές όταν είναι δυνατό, με μόνωση ή με επιλογή κατάλληλων υλικών.
3. Όταν η διμεταλλική επαφή δεν μπορεί να αποφευχθεί, κρατήστε την επιφάνεια του καθοδικού (ευγενέστερου) μετάλλου μικρή σε σχέση με το ανοδικό μέταλλο.

   Σημαντικά στοιχεία της σωλήνωσης όπως π.χ. οι έδρες των βαλβίδων πρέπει να είναι κάθοδοι.
4. Βάψτε ή επικαλύψτε τις μεγάλες καθοδικές επιφάνειες.
5. Απομακρύνετε τα «λέπια»(MILL SCALE) από τις χαλύβδινες επιφάνειες π.χ. αμμοβολή.
6. Όταν χρησιμοποιείτε ανοξείδωτο χάλυβα αποφύγετε περιοχές που περιέχουν στάσιμο νερό.
7. Χρησιμοποιείστε καθοδική προστασία όταν είναι δυνατό. Σωλήνες που προστατεύονται με καθοδική προστασία πρέπει να είναι ηλεκτρικά συνδεδεμένοι μεταξύ τους με συνδέσεις μικρής ηλεκτρικής αντίστασης.

4.3 Σύνδεση σωλήνων

Οι τρόποι σύνδεσης μεταξύ των τμημάτων των σωλήνων και των σωλήνων με τα εξαρτήματα για την κατασκευή της σωλήνωσης ποικίλουν ανάλογα με το είδος του σωλήνα, την πίεση, τη θερμοκρασία, την επισκεψιμότητα της θέσης, τη δυνατότητα ή μη ταχείας σύνδεσης – αποσύνδεσης, την κινητικότητα ή ευκαμψία της σύνδεσης κ.λ.π. Οι συνδέσεις πρέπει να είναι αξιόπιστες και στεγανές. Γενικά συνιστάται η χρησιμοποίηση όσο γίνεται λιγότερων συνδέσεων με τη μέγιστη δυνατή χρήση της **κάμψης** των σωλήνων, όταν και όπως αυτό επιτρέπεται. Η κάμψη των μεταλλικών σωλήνων γίνεται με ειδικά εργαλεία (ή εργαλειομηχανές για μεγαλύτερες διαμέτρους) που λέγονται κουρμπαδόροι.

Στη συνέχεια περιγράφονται τα κυριότερα είδη σύνδεσης σωλήνων και εξαρτημάτων.

4.3.1 Συγκόλληση

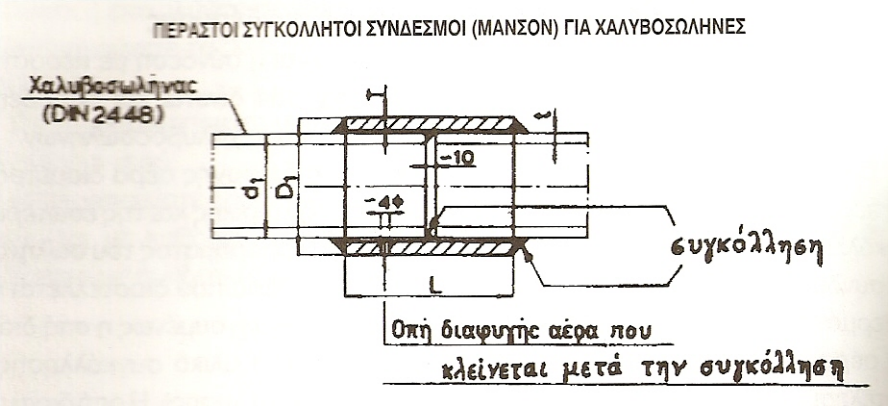
Όλοι οι σωλήνες από συγκολλήσιμα υλικά (σίδηρος, χάλυβας, χαλκός, KUNIFER , αλουμίνιο, κ.λ.π.) μπορούν να συνδεθούν με συγκόλληση, με μέθοδο κατάλληλη για κάθε υλικό.

Η συγκόλληση είναι μέθοδος εύκολη και φθηνή και συνιστάται κυρίως σε περιοχές όπου η σύνδεση δεν είναι επισκέψιμη για συντήρηση και όταν δε θα απαιτηθεί λύσιμο της σύνδεσης μελλοντικά. Είναι σύνδεση χωρίς κινητότητα και χωρίς δυνατότητα απορρόφησης διαστολών.

4.3.2 Σύνδεση με περαστούς συγκολλητούς συνδέσμους

Μια παραλλαγή της σύνδεσης με συγκόλληση είναι η σύνδεση με περαστούς συγκολλητούς συνδέσμους.

Στον περαστό σύνδεσμο ανοίγεται μια μικρή οπή διαφυγής αέρα διαμέτρου 4 mm περίπου, για τον παρακάτω λόγο: Μεταξύ της εξωτερικής και της εσωτερικής συγκόλλησης (όταν αυτή γίνεται) του προς τα αριστερά τμήματος του σωλήνα με τον σύνδεσμο (σχ.4.3), εγκλωβίζεται μία ποσότητα αέρα που διαστέλλεται από τη θερμότητα της συγκόλλησης. Αν δεν έχει ανοιχθεί προηγουμένως η οπή διαφυγής αέρα, αυτός προσπαθεί να διαφύγει μέσα από το υλικό συγκόλλησης με αποτέλεσμα τη δημιουργία πόρων (κακή ποιότητα συγκόλλησης). Η οπή διαφυγής αέρα αφού ολοκληρωθεί η συγκόλληση σφραγίζεται εξωτερικά με συγκόλληση.



Σχ. 4.3

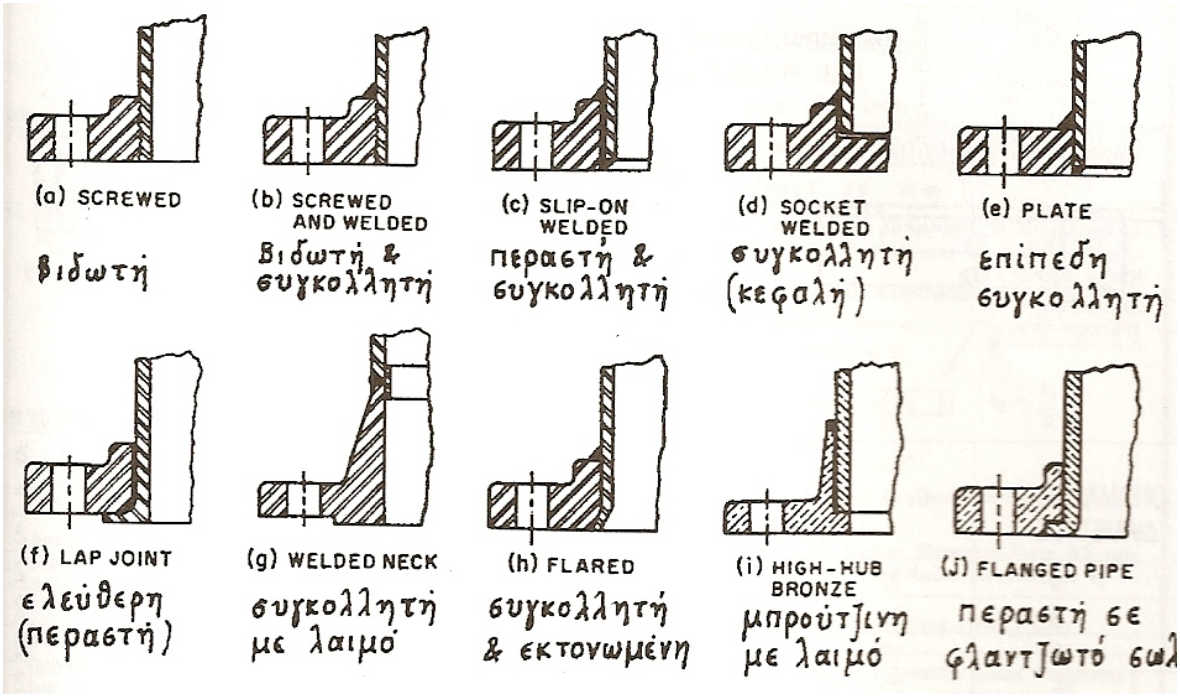
4.3.3 Συγκολλήσεις σωλήνων χαλκού και κραμάτων χαλκού

Για τους χαλκοσωλήνες, τους σωλήνες KUNIFER κ.λ.π. εκτός από την αυτογενή συγκόλληση, για χαμηλότερες πιέσεις και θερμοκρασίες λειτουργίας χρησιμοποιείται και η λεγόμενη **τριχοειδής** συγκόλληση ή ασημοκόλληση με τη χρήση έτοιμων τυποποιημένων εξαρτημάτων και ειδικών συγκολλητικών κραμάτων.

Το υλικό συγκόλλησης είτε περιέχεται στο εξάρτημα (π.χ. λαιμός, καμπύλη, ταυ, κ.λ.π., είτε χρησιμοποιείται υπό μορφή βέργας. Κατά τη συγκόλληση τήκεται με θέρμανση το συγκολλητικό κράμα και εισχωρεί στο δακτυλιοειδές διάκενο μεταξύ σωλήνα και εξαρτήματος. Κατόπιν στερεοποιείται με την απόψυξη και δημιουργεί τη συγκόλληση.

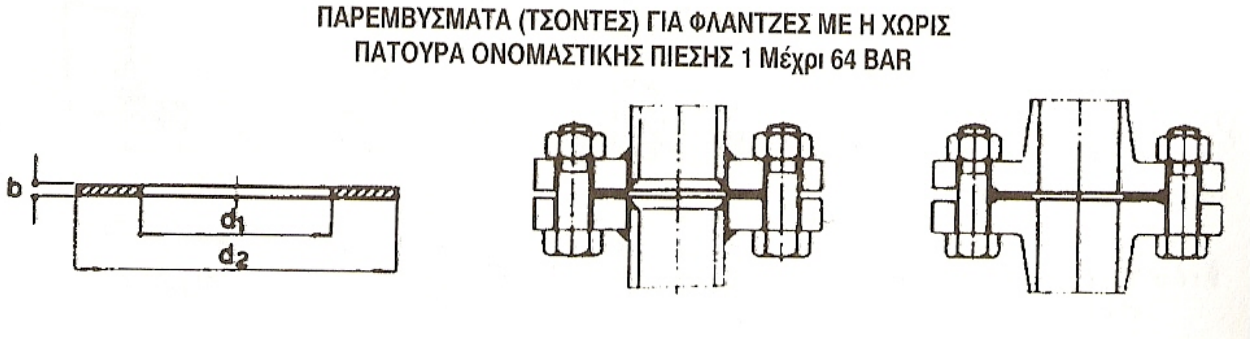
4.3.4 Σύνδεση με φλάντζες(περιαυχένια)

Η σύνδεση με φλάντζες είναι πολύ διαδεδομένη και παρουσιάζει μεγάλη ποικιλία τύπων (σχ.4.4). Οι φλάντζες προσαρμόζονται με διάφορους τρόπους στα άκρα των προς σύνδεση σωλήνων ή εξαρτημάτων και συσφίγγονται με κοχλίες και περικόχλια. Μεταξύ των φλαντζών συνήθως παρεμβάλλεται παρέμβυσμα (τσόντες) από κατάλληλο υλικό (σχ 4.5).



Διάφοροι τρόποι προσαρμογής φλάντζας σε σωλήνα

Σχ. 4.4



Σχ. 4.5

4.3.5 Σύνδεσμοι σωλήνων με μικρή κινητικότητα

Τα συστήματα σωληνώσεων σε πολλούς κατασκευαστικούς τομείς, όπως στη βιομηχανία, στις κτιριακές εγκαταστάσεις, στα δημόσια έργα κ.λ.π. υπόκεινται σε μετακινήσεις που οφείλονται σε μεταβολές της θερμοκρασίας, καθίζηση του εδάφους, διάφορα φορτία κ.λ.π. Σ' αυτές τις περιπτώσεις τα διάφορα είδη των συνδέσεων με μικρή κινητότητα παρουσιάζουν σχετικό πλεονέκτημα γιατί μπορούν να δεχτούν και να απορροφήσουν αυτές τις μικρομετακινήσεις.

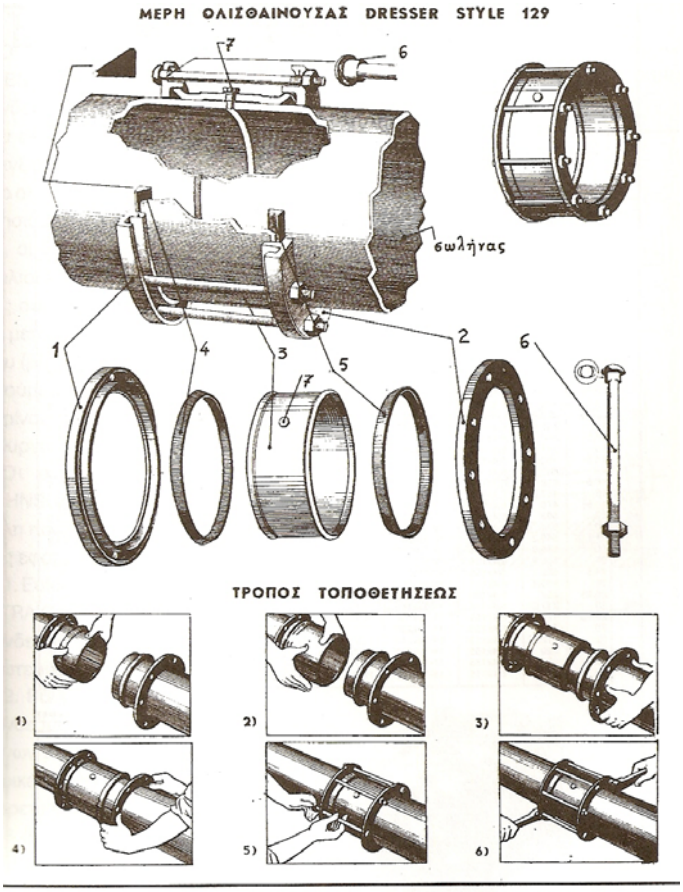
Έτσι προστατεύονται οι σωλήνες από παραμορφώσεις και φθορές και η σύνδεση παραμένει στεγανή.

Ένα άλλο πλεονέκτημα αυτών των συνδέσμων είναι ότι δεν απαιτείται απόλυτη ευθυγράμμιση των προς σύνδεση τμημάτων σωλήνα κατά την τοποθέτηση. Επίσης μπορούν να συνδέσουν τμήματα σωλήνων με μικρές ή μεγάλες (ανάλογα με τον τύπο) διαφορές στην εξωτερική διάμετρο, ή διαφορετικά είδη σωλήνων π.χ. χαλυβδοσωλήνα με σωλήνα πολυαιθυλενίου.

Τα σημαντικότερα είδη των συνδέσμων μικρής κινητότητας είναι:

α) οι σύνδεσμοι με δύο στεγανωτικούς δακτυλίους π.χ. DRESSER (σχ.4.6) ή VIKING JOHNSON (σχ.4.7)

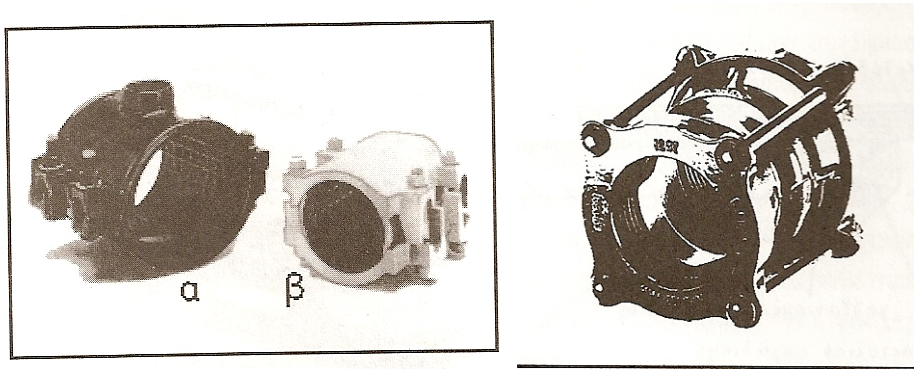
β) οι σύνδεσμοι τύπου σφιγκτήρα π.χ. STRAUB (σχ.4.8)



1,2: Ολισθαίνουσες στεφάνες (FOLLOWERS) – 3: Ενδιάμεσος δακτύλιος – χιτώνιο (MIDDLERING) – 4,5: Ελαστικά παρεμβύσματα 6: Κοχλίες & περικόχλια – 7: Τάπα κεντραρίσματος (LOCATING PLUG)

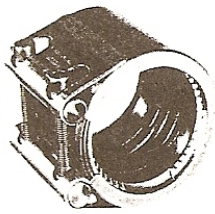
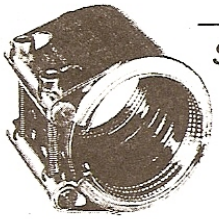
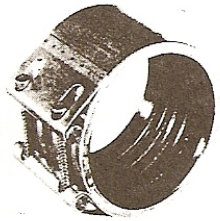
DRESSER

Σχ. 4.6



VIKING JOHNSON

Σχ. 4.7

ΤΥΠΟΣ	T_{max}	ΕΞΩΤ. ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΣΩΛΗΝΑ	ΠΙΕΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ
STRAUB-METAL-GRIP ① 	100 °C	30 ÷ 219,1 mm 244,5 ÷ 355,6 mm	16 bar 14 ÷ 8 bar
		Συνδέει με αγκύρωση μεταλλικούς σωλήνες από το ίδιο ή διαφορετικό υλικό, με ή χωρίς προστατευτική επικάλυψη	
STRAUB-PLAST-GRIP ②	100 °C	63 ÷ 160 mm	16 bar
		Συνδέει με αγκύρωση πλαστικούς σωλ.	
 ***STRAUB-COMBI-GRIP*** ③	100 °C	75 ÷ 160 mm	16 bar
		Συνδέει με αγκύρωση πλαστικούς με μεταλλικούς σωλήνες.	
STRAUB-FLEX ④ 	80 °C	FLEX 1 48,3 ÷ 168,3 mm FLEX 2 180 ÷ 1200 mm	16 ÷ 11 bar 40 ÷ 2,5 bar
		Συνδέει χωρίς αγκύρωση μεταλλικούς σωλήνες από το ίδιο ή διαφορετικό υλικό. Δρα σαν διαστολικό	
STRAUB-REP ⑤ 	80 °C	REP 1 48,3 ÷ 168,3 mm REP 2 180 ÷ 1200 mm	16 ÷ 11 bar 16 ÷ 2,5 bar
		Για επισκευές διαρροών	

(T_{max} = Μέγιστη επιτρεπτή θερμοκρασία λειτουργίας)

STRAUB

Σχ. 4.8

4.4 Απώλειες ύψους στις βαλβίδες και στα εξαρτήματα (τοπικές απώλειες)

Α) **Οι πίνακες που ακολουθούν (α έως ι)** δίνουν τους συντελεστές απωλειών (ή αντίστασης ή τριβής) **ζ** όπου οι απώλειες ύψους μπορούν να εκφρασθούν από τη σχέση: $H_v = \zeta \frac{v^2}{2g}$ σε μέτρα στήλης υγρού (m),

όπου:

ζ = συντελεστής απωλειών (αντίστασης) του ευθύγραμμου τμήματος σωλήνα, ή του εξαρτήματος ή της βαλβίδας (αδιάστατος).

v = ταχύτητα ροής του υγρού στη χαρακτηριστική διατομή σε m/s.

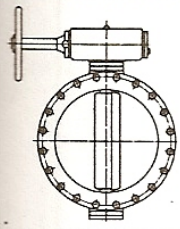
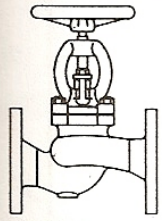
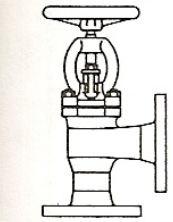
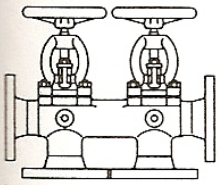
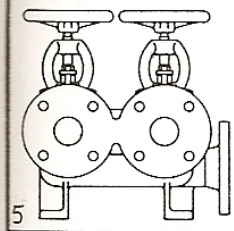
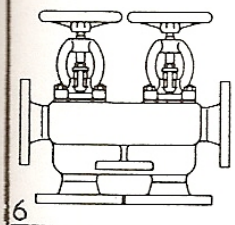
g = επιτάχυνση της βαρύτητας (9,81 m/s²)

για τα διάφορα εξαρτήματα και βαλβίδες σωληνώσεων, που ισχύουν για νερό 20°C και λοιπά υγρά με κινηματικό ιξώδες 1cS (= 10^{-6} m²/s). Στους πίνακες που ακολουθούν φαίνονται οι συνηθέστεροι τύποι βαλβίδων και εξαρτημάτων.

Οι τιμές του ζ για τις βαλβίδες είναι ενδεικτικές και ισχύουν για εντελώς ανοιχτή βαλβίδα.

Οι τιμές του ζ μπορεί να ποικίλουν ανάλογα με τον σχεδιασμό της βαλβίδας και τις συνθήκες ροής στην είσοδο και την έξοδό της.

Π.χ. παρατηρείται μεταβολή του ζ με την ονομαστική διάμετρο του ίδιου τύπου βαλβίδας , όπως βλέπουμε στους **πίνακες που ακολουθούν (α έως ι):**

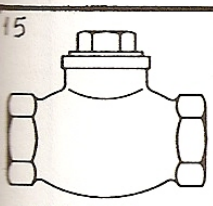
1. 	Βαλβίδα τύπου πεταλούδας π.χ. Σχ. 218	NW DN mm	80	100	125	150	175	200	250	300	350	400	450	500	550	600	700	800
		ζ	≈0,3–0,5															
2 	Επιστόμιο με κοχλιωτό βάκτρο π.χ. Σχ. 214.α	NW DN mm	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150	175	200	250	300	350	400
		ζ	2,0	2,1	2,2	2,3	2,3	2,4	2,5	2,4	2,3	2,1	2,1	2,0	2,4	2,6	2,7	2,8
3 	Επιστ. με κοχλιωτ. βάκτρο γωνιακό	NW DN mm	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150	175	200	250	300	350	400
		ζ	1,6	1,6	1,6	1,7	1,9	2,0	2,0	1,9	1,7	1,5	1,4	1,3	1,6	1,6	1,7	1,7
4 	Βαλβιδοκιβώτιο με 2 επιστ.	NW DN mm	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150	175	200	250	300	350	400
		ζ	2,7	2,8	3,0	3,3	3,5	3,7	3,9	3,8	3,3	2,7	2,3	2,4	2,3			
5 	Βαλβιδοκιβώτιο με 2 επιστόμια γωνιακό	NW DN mm	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150	175	200	250	300	350	400
		ζ	3,9	4,0	4,2	4,4	4,5	4,7	4,8	4,8	4,5	4,1	3,8	3,6	3,5			
6 	Βαλβιδοκιβώτιο με 4 επιστόμια π.χ. Σχ. 214.9	NW DN mm	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150	175	200	250	300	350	400
		ζ	4,1	4,3	4,5	4,7	4,8	5,1	5,1	5,1	4,7	4,4	4,1	4,0	4,0			

Πίνακας α

7	Επιστόμιο με κοχλιωτά άκρα π.χ. Σχ. 214.β	NW DN	mm	10	15	20	25	32	40	50	65	80	100								
			inch	3/8	1/2	3/4	1	1¼	1½	2	2½	3	4								
		ζ		10,8	11,0	10,7	10,5	10,4	10,4	10,3	10,6	10,1	10,0								
8	Επιστόμιο με κοχλιωτά άκρα γωνιακό	NW DN	mm	10	15	20	25	32	40	50	65	80	100								
			inch	3/8	1/2	3/4	1	1¼	1½	2	2½	3	4								
		ζ		2,6	2,8	2,6	2,5	2,7	2,5	2,5	2,6	2,6	2,5								
9	Βάνα (GATE VALVE) ολικής διατομής π.χ. Σχ. 215	NW DN mm		40	50	65	80	100	125	150	175	200	250	300	350	400	450	500	600		
		ζ		≈ 0,2 – 0,3																	
10	Βάνα με κοχλιωτά άκρα π.χ. Σχ. 216.α	NW DN	mm	10	15	20	25	32	40	50	65	80	100								
			inch	3/8	1/2	3/4	1	1¼	1½	2	2½	3	4								
		ζ		1,2	1,4	1,1	1,0	1,1	1,0	0,9	0,9	0,8	0,9								
11	Βάνα με φλαντζωτά άκρα π.χ. Σχ. 216.β	NW DN mm		10	15	20	25	32	40	50	65	80	100								
		ζ		1,2	1,4	1,1	1,0	1,1	1,0	0,9	0,9	0,8	0,9								
12	Κρουνός π.χ. Σχ. 220	NW DN mm		15	20	25	32	40	50	65	80	100	125								
		ζ		≈ 0,2–0,3																	
13	Επιστόμιο μή επιστροφής π.χ. Σχ. 214.γ	NW DN mm		20	25	32	40	50	65	80	100	125	150	175	200	250	300	350	400		
		ζ		2,6	2,7	2,8	3,0	3,3	3,6	3,9	4,1	3,9	3,3	3,0							
14	Επιστόμιο μή επιστροφής γωνιακό	NW DN mm		20	25	32	40	50	65	80	100	125	150	175	200	250	300	350	400		
		ζ		2,0	2,0	2,1	2,2	2,4	2,5	2,6	2,7	2,5	2,4	2,2	2,0	2,0	2,1	2,2	2,2		

Πίνακας β

15

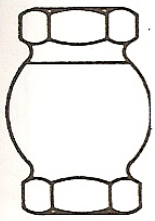


ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ

Επιστ. μη επιστροφ. με κοχλιωτά άκρα

NW DN	mm	10	15	20	25	32	40	50	65	80	100			
	inch	3/8	1/2	3/4	1	1¼	1½	2	2½	3	4			
π.χ. Σχ. 214.δ ζ		10,8	11,0	10,7	10,5	10,4	10,4	10,3	10,6	10,1	10,0			

16

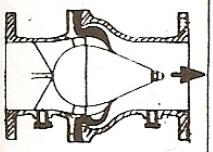


ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟ

Επιστ. μη επιστρ. με κοχλιωτά άκρ.

NW DN	mm	10	15	20	25	32	40	50						
	inch	3/8	1/2	3/4	1	1	1	2						
π.χ. Σχ. 214.ε ζ		3,6	3,7	3,5	3,7	3,7	3,6	3,4						

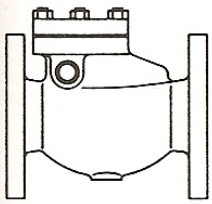
17



Βαλβ. αντεπιστροφής HYDROSTOP

ταχύτ. ροής	NW DN mm	50	65	80	100	125	150	200	250	300	400
4 m/s	ζ	0.9			3.0		3.0	2.5	2.5	1.2	2.2
3 m/s		1.8			4.0		4.5	4.0	4.0	1.8	3.4
2 m/s		5.0			6.0		8.0	7.5	6.5	6.0	7.0

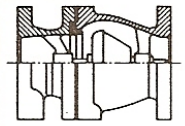
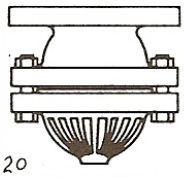
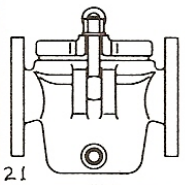
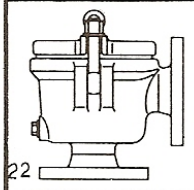
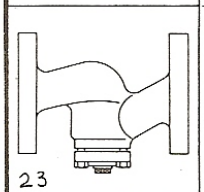
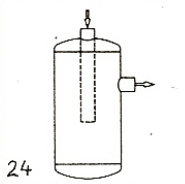
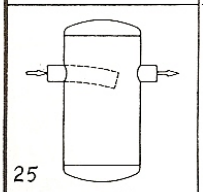
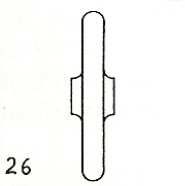
18



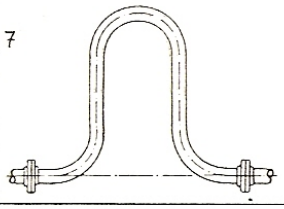
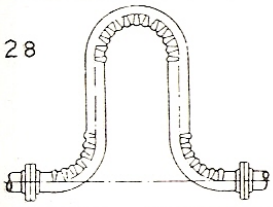
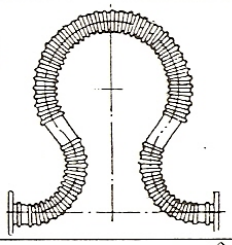
Κλαπέ μη επιστροφής φλαντζωτό π.χ. Σχ. 221

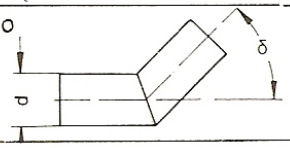
NW DN mm		40	50	65	80	100	125	150	175	200	250	300	350	
V_H m/sec.		4,4	3,1	3,9	2,3	1,6	2,8	1,6	2,2					
V_V m/sec.		4,1	2,8	2,1	2,0	1,6	2,8	1,6	2,2					
ζ για ταχ.	V_H	0,5	0,4	0,3	0,7	0,6	1,0	0,9	0,5					
	$V_{H/2}$	0,7	0,9	0,6	1,1	1,2	1,3	1,5	1,5					
	$V_{H/4}$	1,2	2,5	1,4	3,5	4,0	2,3							
	V_V	0,5	0,4	0,3	0,7	0,6	1,0	0,9	0,5					
	$V_{V/2}$	0,6	0,6	0,8	1,1	1,2	1,3	1,5	1,5					
	$V_{V/4}$	0,8	2,0	10,0	12,0	6,0	3,5							

Πίνακας γ

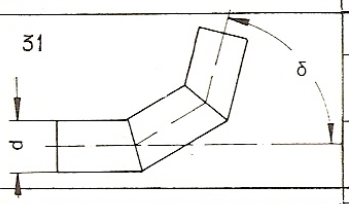
 19	Βαλβίδα αντεπιστροφής	NW DN	mm	20	25	32	40	50															
			inch	¾	1	1¼	1½	2															
		ζ		2,02	1,74	1,92	2,37	3,42															
 20	Ποδοβαλβίδα με φίλτρο π.χ. Σχ. 89.α	NW DN	mm	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150										
			inch	¾	1	1¼	1½	2	2½	3	4												
		ζ		≈ 2,2 – 2,5																			
 21	Ηλυοσυλλέκτης ευθύγραμμος π.χ. Σχ. 213.α	NW DN	mm	40	50	65	80	100	125	150	175	200	250	300	350	400							
		ζ		2,3	2,4	2,6	2,6	2,8	3,0	2,9	2,8	2,7	2,6	2,7	2,8	2,9							
 22	Ηλυοσυλλέκτης γωνιακός π.χ. Σχ. 213.β	NW DN	mm		50	65	80	100	125	150	175	200	250	300	350	400							
		ζ		2,0	2,1	2,2	2,2	2,4	2,5	2,5	2,4	2,4	2,3	2,3	2,4	2,4							
 23	Φίλτρο π.χ. Σχ. 213.γ	NW DN	mm	15	20	25	32	40	50	65	80	100											
			inch	½	¾	1	1¼	1½	2	2½	3	4											
		ζ		Βαθμός ρύπανσης 50 % ≈ 3,5 – 4,8 (Βλ. και εχ. 230)																			
 24	Διαχωριστής νερού	NW DN	mm	20	25	32	40	50	65	80	100	125											
		ζ		Αξονική είσοδος ≈ 2,5																			
 25	Διαχωριστής νερού	NW DN	mm	20	25	32	40	50	65	80	100	125											
		ζ		Εφαπτομενική είσοδος ≈ 3,0 Κανονική είσοδος ≈ 5,0 – 8,0																			
 26	Διαστολικό τύπου αεκαύ "φυσαρμονικά" π.χ. εχ. 206	NW DN	mm	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150	175	200	300	400	500	600				
		ζ		Με εσωτερικό οδηγό : ≈ 0,2 Χωρίς " " : ≈ 0,3																			

Πίνακας δ

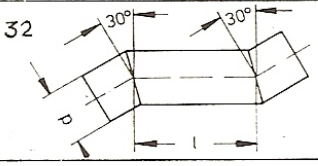
27 	Διαστολικό τύπ. ωμέγα (HARP BEND) από λείο ωλήνα	$\zeta = 0,6 \div 0,8$
28 	Διαστολικό τύπ. ωμέγα με πτυχω- τές καμπύλες	$\zeta = 1,3 \div 1,6$
29 	Διαστολικό τύπου ωμέγα από "κατσα ρό" (CORRUGATED) ωλήνα	$\zeta = 3,2 \div 4$

30 

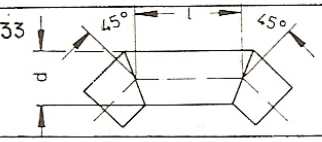
δ		30°	45°	60°	90°
λείος ωλ.	ζ	0,11	0,24	0,47	1,13
τραχὺς	ζ	0,17	0,32	0,68	1,27

31 

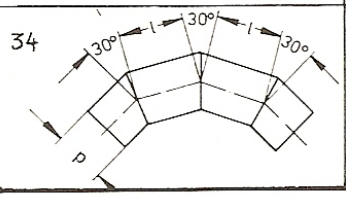
δ	15°	30°	45°	60°	90°
αριθμὸς τμημάτων	2	3	3	4	4
ζ	0,06	0,1	0,15	0,2	0,25

32 

		l/d	1,23	1,67	2,37	3,77
λείος	ζ		0,16	0,16	0,14	0,16
τραχὺς	ζ		0,30	0,28	0,26	0,24

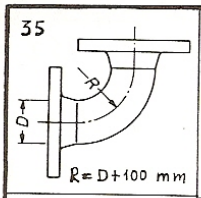
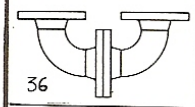
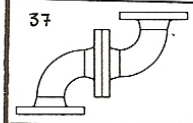
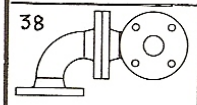
33 

		l/d	0,943	1,174	1,42	1,86	2,56	6,28
λείος	ζ		0,35	0,33	0,28	0,29	0,36	0,40
τραχὺς	ζ		0,41	0,38	0,38	0,39	0,43	0,45

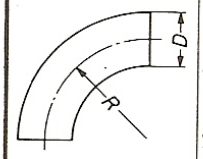
34 

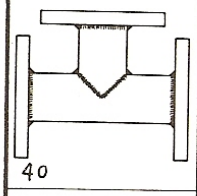
l/d = 1,7 ÷ 6,0 $\quad \zeta = 0,15 \div 0,2$ (λείος ωλήνας)
$\zeta = 0,3 \div 0,4$ (τραχὺς —"—)

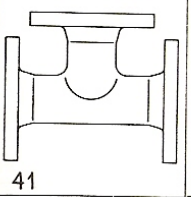
Πίνακας ε

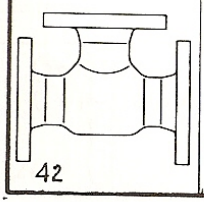
35 	Καμπύλη 90° χυτή, φλαντζωτή	NW DN mm	50	100	200	300	400	500
		ζ	≈ 0,5					
36 		ζ	$\zeta_{90°} \times 1,4$					
37 		ζ	$\zeta_{90°} \times 1,8$					
38 		ζ	$\zeta_{90°} \times 1,6$					

Στούς συνδυασμούς καμπυλῶν η τιμή του ζ της μιας καμπύλης 90° δεν πρέπει να διπλασιάζεται, αλλά να πολλαπλασιάζεται με τους παραπλεύρως συντελεστές για να βρεθεί το ζ του συνδυασμού

39 	Καμπύλη ομαλής R = 2 ÷ 4 × D με	NW DN mm	50	100	200	300	400	500
		ζ 90°	0,26	0,23	0,21	0,19	0,195	0,18
		ζ 60°	0,22	0,195	0,18	0,16	0,165	0,155
		ζ 45°	0,18	0,16	0,145	0,135	0,137	0,126
		ζ 30°	0,115	0,105	0,095	0,085	0,088	0,081
		ζ 15°	0,08	0,07	0,063	0,057	0,059	0,054

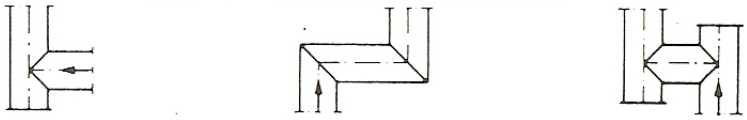
40 	Ταυ φλαντζωτό, συμμετρικό	NW DN mm	50	100	200	300	400	500
		ζ → διέλευση	Το ζ είναι συνάρτηση τῆς παροχῆς του κλάδου. (βλ. 6χ. 229. η, 46)					
		ζ ⅄ διακλάδωση	~ 1,5 – 1,9					
		ζ ⅄ συμβολή	~ 3 – 5,3					

41 	Ταυ φλαντζωτό, χυτό	NW DN mm	50	100	200	300	400	500
		ζ →	Ως εις α/α 40					
		ζ ⅄	~ 1,3 – 1,7					
		ζ ⅄	~ 2,6 – 3,2					

42 	Ταυ φλαντζωτό, χυτό, σφαιροειδές	NW DN mm	50	100	200	300	400	500
		ζ →	Ως εις α/α 40					
		ζ ⅄	~ 1,4 – 1,8					
		ζ ⅄	~ 2,7 – 3,1					

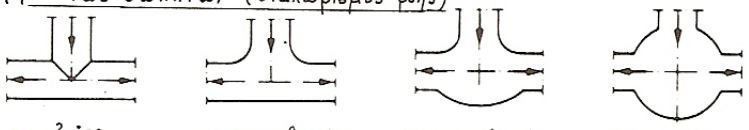
Πίνακας ζ

43 Συνδυασμοί γωνιών 90°



ζ = 2,5 ζ = 3 ζ = 5

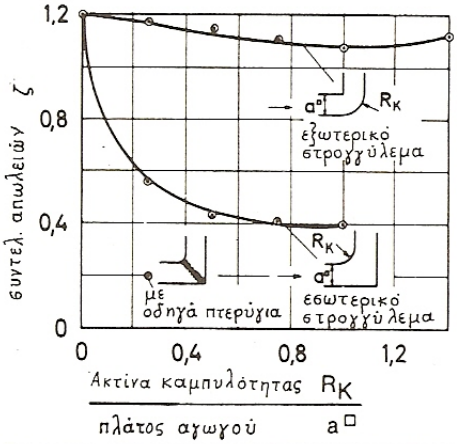
44 Ταυ σωλήνων (διαχωρισμός ροής)



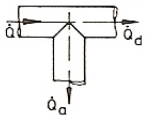
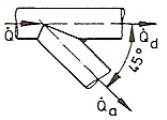
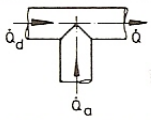
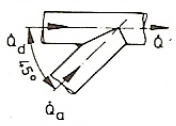
με οξείες ακμές | στρογγυλεμένο με ευθύγραμμο πυθμένα | στρογγυλεμένο με σφαιρικό πυθμένα | σφαιρικό

ζ = 1,3 ζ = 0,7 ζ = 0,9 ζ = 2,5 to 4,9

45 Γωνίες με οδηγά πτερύγια, εξωτερικό, ή εσωτερικό στρογγύλεμα



46 Διακλάδωση/συμβολή ίσης διαμέτρου

	J Κλάδων, εξόδου				ζ κλάδων, εισόδου			
								
Q_a/Q	ζ_a	ζ_d	ζ_a	ζ_d	ζ_a	ζ_d	ζ_a	ζ_d
0	0,95	0,04	0,90	0,04	− 1,2	0,04	− 0,92	0,04
0,2	0,88	− 0,08	0,68	− 0,06	− 0,4	0,17	− 0,38	0,17
0,4	0,89	− 0,05	0,50	− 0,04	0,08	0,30	0,00	0,19
0,6	0,95	0,07	0,38	0,07	0,47	0,41	0,22	0,09
0,8	1,10	0,21	0,35	0,20	0,72	0,51	0,37	− 0,17
1,0	1,28	0,35	0,48	0,33	0,91	0,60	0,37	− 0,54

Πίνακας η

47 Στόμια εισόδου



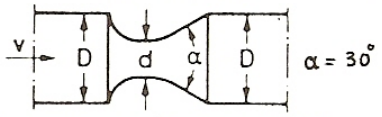
οξέα χείλη — λοξοτμημένα χείλη

						γιά $\delta =$	75°	60°	45°
$\zeta \approx$	0,5	1÷3	0,25	0,55	0,20	0,05	$\zeta \approx$	0,6	0,7	0,8

48 Στόμια εξόδου

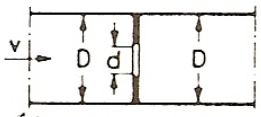
$\zeta \approx 1$	Για έξοδο από ευθύγραμμο τμήμα επαρκούς μήκους με σχεδόν ομοιόμορφη κατανομή ταχύτητας στη διατομή εξόδου.
$\zeta \approx 2$	Για έξοδο με πολύ ανομοιόμορφη κατανομή ταχύτητας, π.χ. αμέσως μετά από γωνία, ή βαλβίδα.

49 Μετρητές ροής



α. Κοντός σωλήνας VENTURI

β. Διάτρητη πλάκα



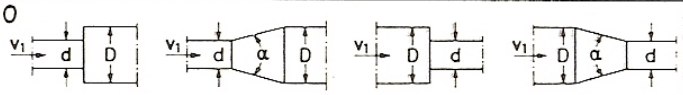
(STANDARD ORIFICE PLATE)

Λόγος διαμέτρων: d/D	=	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80
Λόγος επιφανειών: $(d/D)^2$	=	0,09	0,16	0,25	0,36	0,49	0,64
α. Κ. σωλ. VENTURI	$\zeta \approx$	21	6	2	0,7	0,3	0,2
β. Διάτρητη πλάκα	$\zeta \approx$	300	85	30	12	4,5	2

Σημ. Το ζ αναφέρεται στην ταχύτητα V στην διάμετρο D

γ. Ογκομετρικό ροόμετρο νερού $\zeta \approx 10$

50 Διευρύνσεις & Στενώσεις

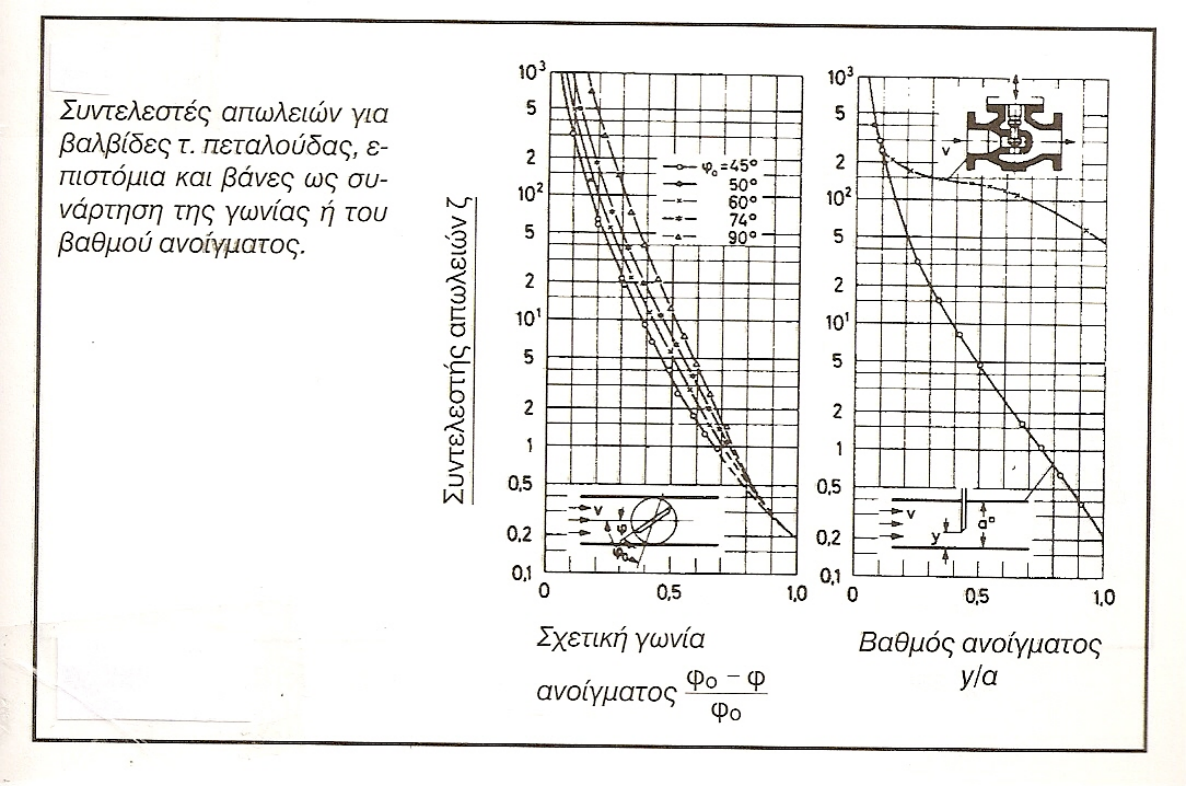


ε_I ε_{II} ε_{III} ε_{IV}

		Διεύρυνση			Στένωση	
d/D		= 0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
ε_I		$\approx$ 0,50	0,48	0,42	0,32	0,18
ε_{II} for	$\alpha = 8°$	$\approx$ 0,83	0,79	0,70	0,52	0,28
	$\alpha = 15°$	$\approx$ 0,74	0,72	0,65	0,48	0,26
	$\alpha = 20°$	$\approx$ 0,67	0,67	0,61	0,45	0,25
ε_{III}		$\approx$ −20,7	−9,2	−4,2	−1,8	−0,65
ε_{IV}		$\approx$ −15,2	−6,9	−3,3	−1,6	−0,50

Βλ. επεξήγηση στην παρακάτω σημείωση.

Πίνακας θ



Πίνακας ι

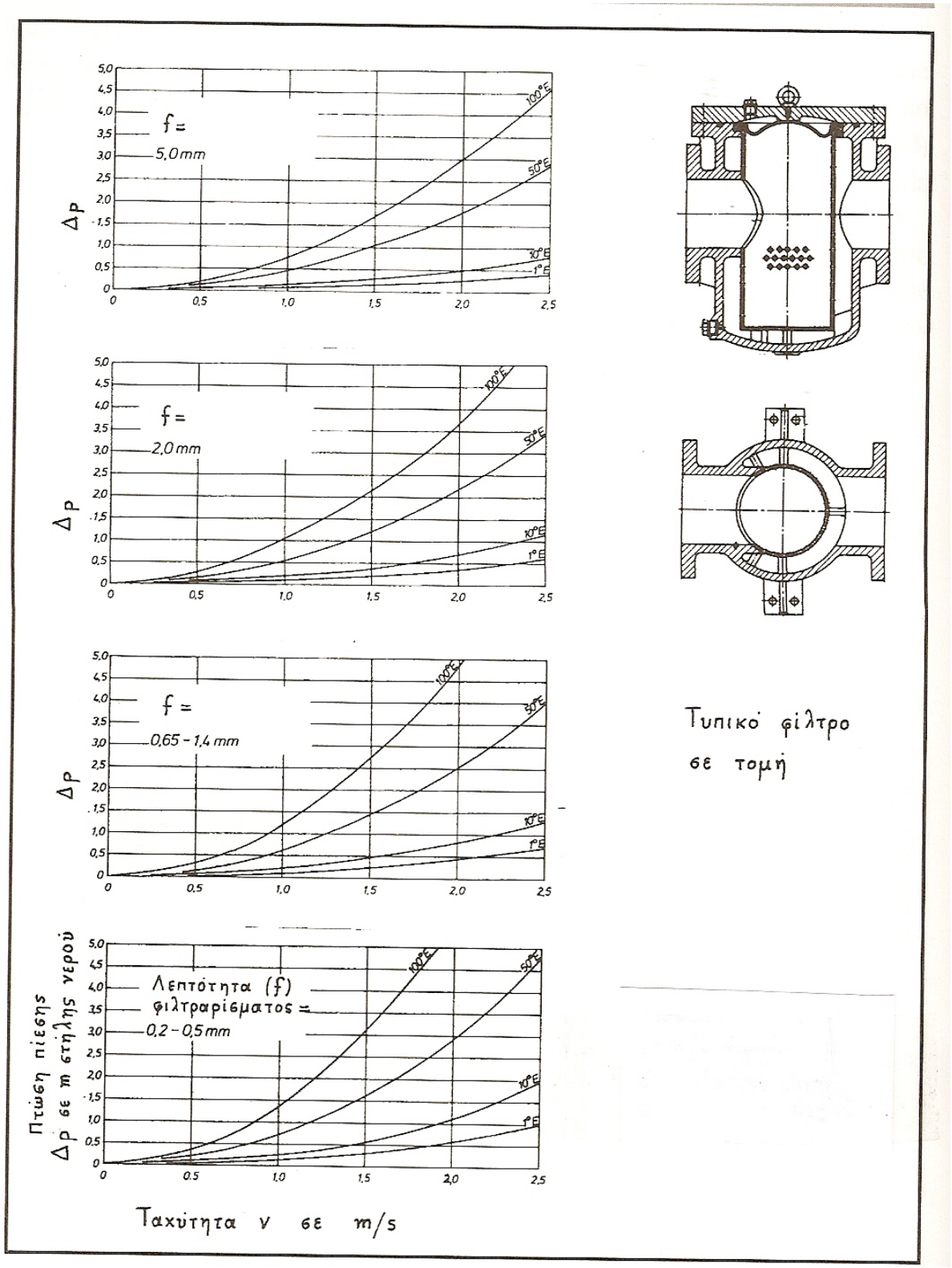
Β) Ο **πίνακας κ** που ακολουθεί δείχνει έναν άλλο γρήγορο τρόπο προσεγγιστικού υπολογισμού των απωλειών στις βαλβίδες και στα εξαρτήματα. Ο τρόπος αυτός συνιστάται στην αντικατάσταση της βαλβίδας ή του εξαρτήματος με ένα ισοδύναμο μήκος ευθύγραμμου σωλήνα της ίδιας ονομαστικής διαμέτρου DN, που παρουσιάζει την ίδια απώλεια (αντίσταση) με τη βαλβίδα ή το εξάρτημα. Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται τα κατά προσέγγιση ισοδύναμα μήκη σε μέτρα για τα συνηθέστερα είδη βαλβίδων και εξαρτημάτων και για ονομαστικές διαμέτρους από 10 mm 900 mm. Τα ισοδύναμα αυτά μήκη προστίθενται στα μήκη των ευθύγραμμων σωλήνων της σωλήνωσης:

Ονομαστική διάμετρος DN mm	Επιστόμιο ευθύγραμμο	Επιστόμιο γωνιακό	Βάνα ολικής διέλευσης	Ανεπίστροφο επιστόμιο	Ανεπίστρ. κλαπέ φλαντζωτό	Κρουνός	φίλτρο	Ταυ κυτό	Καμπύλη 180° συνδυασμός 2x90°	Καμπύλη 90°
10	4	2	0,10	4	1	0,10	6	0,15	0,18	0,13
15	6	3	0,15	7	2	0,15	9	0,25	0,28	0,20
20	7	4	0,20	9	2,5	0,20	12	0,30	0,35	0,25
25	9	5	0,25	12	3	0,30	16	0,40	0,45	0,35
32	12	6	0,30	14	3,5	0,35	20	0,50	0,55	0,40
40	15	8	0,35	18	4	0,45	25	0,65	0,70	0,50
50	18	9	0,45	21	6	0,55	31	0,80	0,90	0,65
65	25	13	0,60	29	8	0,70	40	1,00	1,20	0,80
80	30	16	0,70	35	9	0,90	50	1,30	1,40	1,10
100	37	20	0,90	43	12	1,10	65	1,60	1,80	1,40
125	48	24	1,10	50	14	1,40	80	2,00	2,20	1,60
150	54	28	1,40	65	17	1,80	95	2,50	2,60	2,00
175	65	33	1,60	75	20	–	105	2,80	3,00	2,30
200	75	38	1,80	85	23	–	120	3,10	3,50	2,60
250	95	50	2,00	110	29	–	160	4,00	4,00	3,00
300	120	60	2,50	140	35	–	180	5,00	5,00	4,00
350	140	70	3,00	160	40	–	210	5,50	6,00	4,50
400	160	80	3,50	180	45	–	250	6,50	6,50	5,50
450	180	90	4,00	200	50	–	280	7,00	7,50	6,00
500	195	100	4,50	220	58	–	300	8,00	8,00	7,00
600	240	120	5,50	270	70	–	360	9,50	10,00	8,00
700	260	135	6,50	300	80	–	440	12,00	12,00	9,00
800	310	160	7,00	360	95	–	500	14,00	14,00	10,00
900	350	180	8,00	400	110	–	550	16,00	16,00	12,00

Πίνακας κ

Ισοδύναμα (σε αντίσταση) μήκη ευθύγραμμου σωλήνα (σε μέτρα) βαλβίδων και εξαρτημάτων (προσεγγιστικά)

Γ) Τα διαγράμματα που ακολουθούν δίνουν την πτώση πίεσης σε μέτρα στήλης νερού για συνήθη φίλτρα σε συνάρτηση με την ταχύτητα ροής, το ιξώδες και τη λεπτότητα φιλτραρίσματος.



Πτώση πίεσης σε φίλτρα για υγρά ιξώδους 1 έως 100 °E

Δ) Για ορισμένες βαλβίδες συχνά διάφοροι κατασκευαστές αντί για τον συντελεστή απωλειών **ζ** δίνουν έναν άλλο συντελεστή ροής $\mathbf{K_v}$. Ο K_v ορίζεται ως ο όγκος νερού 20°C σε m^3/h που περνά από τη βαλβίδα με πτώση πίεσης Δρ = 1 bar σ' αυτήν. Ο K_v είναι συνάρτηση του ανοίγματος της βαλβίδας, οπώς και ο ζ, και ισχύει:

$$Q = K_v\sqrt{\frac{\Delta\rho}{\gamma}} \quad \text{ή} \quad \Delta\rho = \gamma\left(\frac{Q}{K_v}\right)^2 \quad \text{όπου:}$$

Q = παροχή σε m^3/h

Δρ = πτώση πίεσης στη βαλβίδα σε bar (Kρ/cm²)

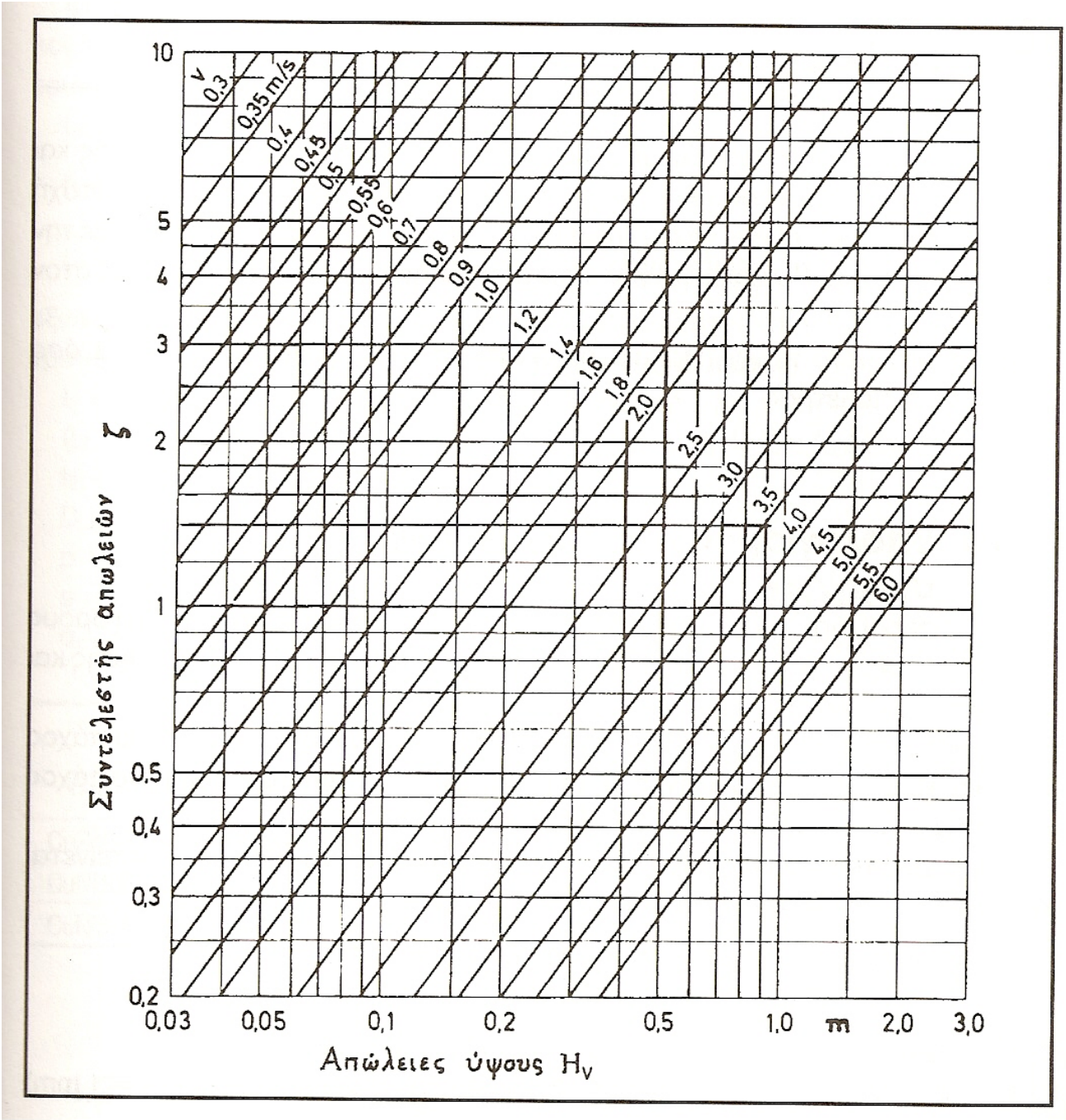
γ = ειδικό βάρος του υγρού σε Kρ/dm³

Ε) Από το διάγραμμα που ακολουθεί μπορεί να υπολογισθεί γραφικά η απώλεια ύψους H_v σε μέτρα στήλης υγρού μιας βαλβίδας ή εξαρτήματος όταν είναι γνωστά το

ζ και η ταχύτητα ροής ν, όπου $\nu = \dfrac{Q}{\frac{\pi}{4}(DN)^2}$ (m/s),

Q = παροχή (m³/s),

DN = ονομαστική διάμετρος (m)



Διάγραμμα υπολογισμού των απωλειών ύψους $H_v = \zeta \frac{v^2}{2g}$ **σε βαλβίδες**

και εξαρτήματα (H_v σε μέτρα στήλης νερού)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο

ΑΝΤΛΙΕΣ

5.1 Γενικά

Για την μεταφορά των υγρών από την αρχαιότητα έως σήμερα, χρησιμοποιούνται μηχανικά συστήματα που μας είναι γνωστά ως αντλίες η αντλιτικά συστήματα.

Η συμβολή τους στην εξέλιξη πολλών δραστηριοτήτων του ανθρώπου είναι σημαντική αφού χρησιμοποιούνται στην βιομηχανία, στη γεωργία, στις πετρελαιοπηγές, στην τεχνική Γεωλογία. κ.α.

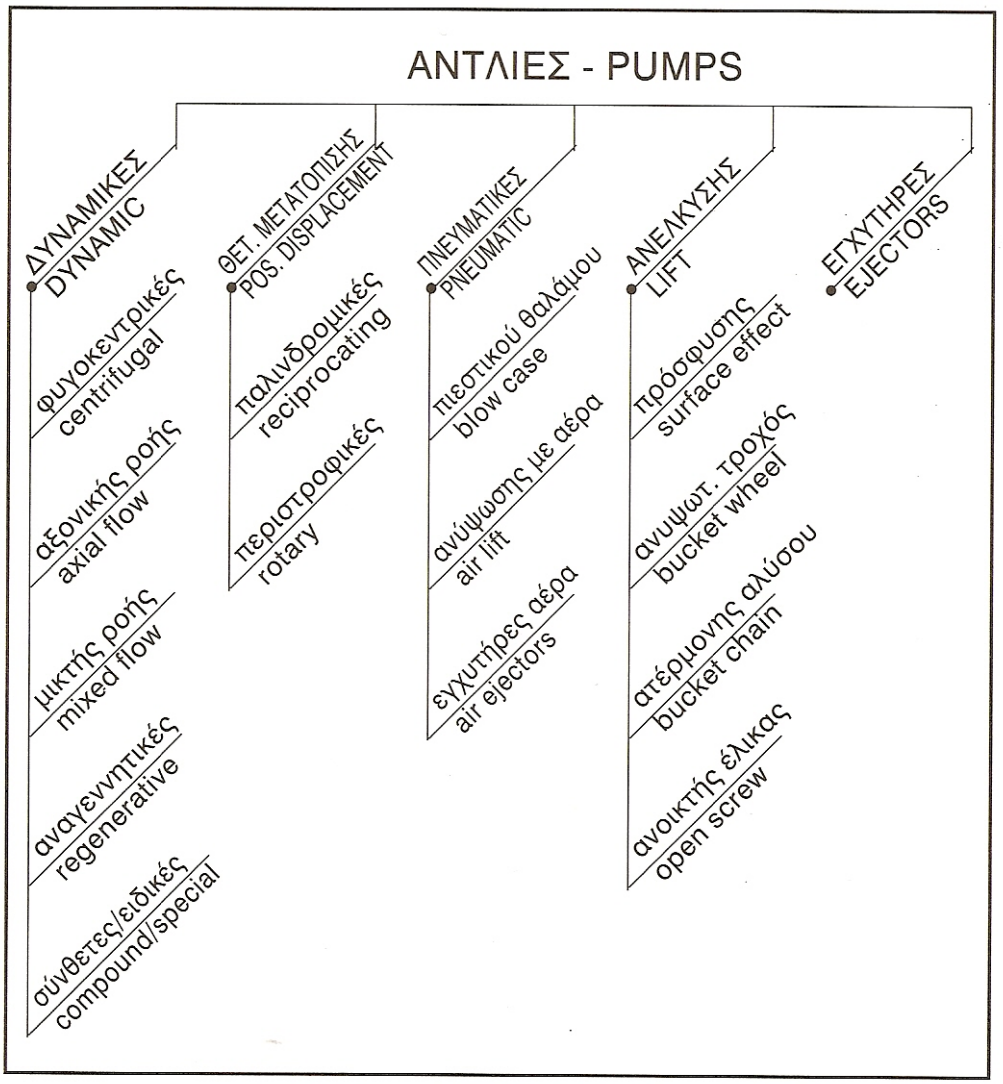
Σήμερα με την πρόοδο της τεχνολογίας έχουμε πάρα πολλούς τύπους αντλιών για όλα τα ρευστά και για μεγάλες υψομετρικές διαφορές. Σε ορισμένες περιπτώσεις οι αντλίες καλύπτουν και την ανάγκη μεταφοράς στερεών.

Η χρησιμότητα των αντλιών στη σχεδίαση ενός έργου και στις καθημερινές τεχνικές εφαρμογές είναι αυτονόητη. Θυμίζουμε περιπτώσεις εφαρμογής αντλιών: α) όταν η άρδευση μιας περιοχής εξασφαλίζεται με γεωτρήσεις (π.χ. θεσσαλικός κάμπος), τότε με αντλίες το νερό μεταφέρετε στις δεξαμενές από τις οποίες παροχετεύεται στο αρδευτικό σύστημα. β) οι αντλίες χρησιμοποιούνται για την αποστράγγιση μιας περιοχής. Με αντλιτικά συγκροτήματα χαμηλώνει η στάθμη του νερού και απομακρύνεται το νερό της στράγγισης σε παρακείμενους φυσικούς αποδέκτες. γ) είναι απαραίτητες στις έρευνες για εξεύρεση πετρελαίου (π.χ. πρίνος Θάσου). δ) χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό υπονόμων από λάσπες. Καθώς και για τον καθαρισμό των αποχετεύσεων στις αστικές περιοχές. ε) είναι τέλος, αναγκαίες για την μεταφορά στερεών που είναι αναμειγμένα με νερό (σακχαρότευτλα, πατάτες κ.α.), καθώς και για τη μεταφορά παχύρρευστων υγρών (χαρτοπολτός, κυτταρίνη κ.α.)

5.2 Κατάταξη αντλιών

Η κατάταξη αντλιών μπορεί να γίνει με βάση:

α) την αρχή λειτουργίας τους
β) την μορφή τους (κατασκευαστικές λεπτομέρειες)
γ) τον αριθμό των βαθμίδων τους
δ) τη δυνατότητα αυτόματης αναρρόφησης
ε) τον τρόπο εγκατάστασης
στ) τον τρόπο κίνησης
ζ) το είδος του αντλούμενου υγρού
η) τη συγκεκριμένη χρήση τους



5.3 Είδη αντλιών

5.3.1 Δυναμικές αντλίες: Η λειτουργία των δυναμικών αντλιών στηρίζεται στη μεταβολή της κινητικής κατάστασης του υγρού και τη μετατροπή της κινητικής του ενέργειας σε στατική πίεση.

Οι αντλίες αυτές έχουν μεγάλη διάδοση για τους παρακάτω λόγους:

α) έχουν καλή απόδοση, μικρό όγκο και βάρος και συνδέονται εύκολα με διάφορους τύπους κινητήρων.

β) έχουν συνεχή και ομοιόμορφη κίνηση (περιστροφική).

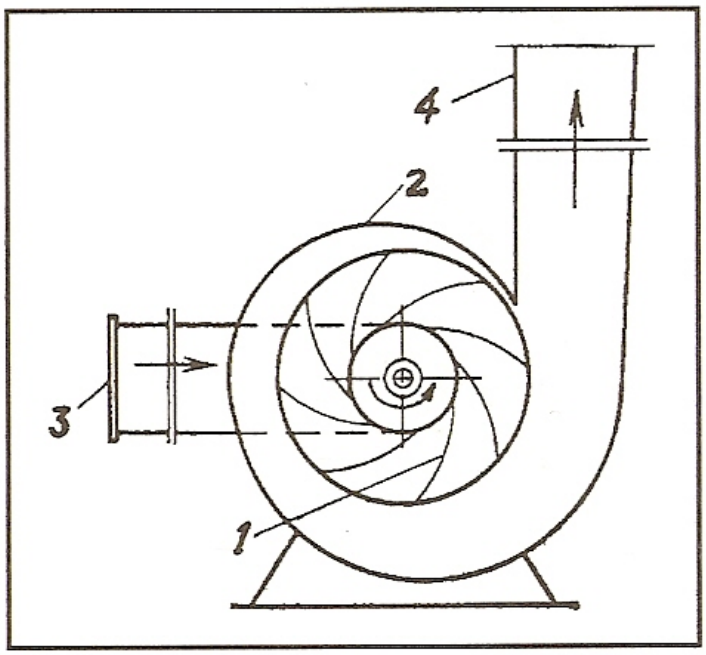
γ) η πίεση και η παροχή τους δεν παρουσιάζει περιοδική διακύμανση.

δ) έχουν διάφορες δυνατότητες ρύθμισης της παροχής τους.

ε) το κόστος αγοράς και λειτουργίας τους είναι χαμηλό.

στ) παρουσιάζουν ασφάλεια λειτουργίας γιατί έχουν μικρό βαθμό κινούμενων στοιχείων.

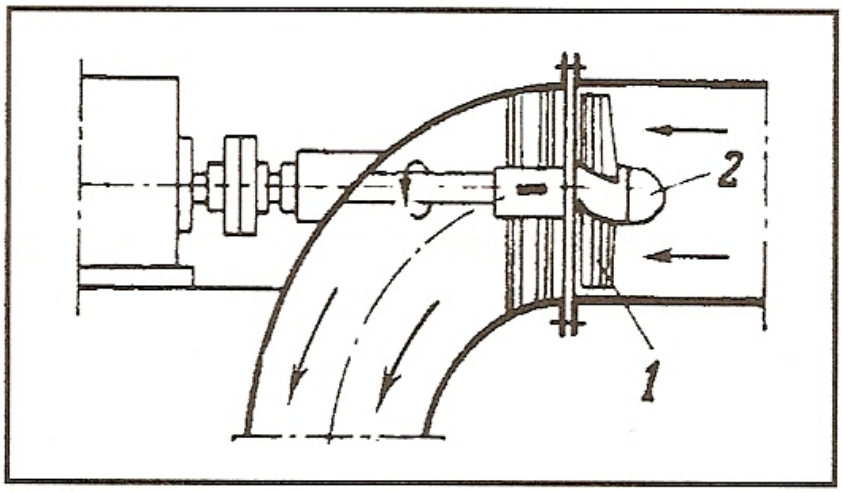
5.3.1.1 Φυγοκεντρικές αντλίες: Το σχ.5.1 παρουσιάζει σχηματικά μια φυγοκεντρική αντλία. Η πτερωτή (1) φέρει πτερύγια και περικλείεται μέσα σε ένα περίβλημα (κέλυφος) (2). Καθώς η πτερωτή περιστρέφεται από τον κινητήρα, το υγρό μετακινείται από τη φυγοκεντρική δύναμη από το κέντρο προς την περιφέρεια και εκτινάσσεται στο σπειροειδές περίβλημα για να οδηγηθεί στη συνέχεια στο σωλήνα κατάθλιψης (4) Οι φυγοκεντρικές αντλίες ονομάζονται μονοβάθμιες όταν έχουν μόνο μια πτερωτή, διβάθμιες όταν έχουν δυο πτερωτές κ.ο.κ. υπάρχουν αντλίες που έχουν 30 η και περισσότερες βαθμίδες σε εξαιρετικές περιπτώσεις. Στις πολυβάθμιες αντλίες το υγρό ρέει διαδοχικά μέσα από τις βαθμίδες. Κάθε περίπτωση στη σειρά αυξάνει την πίεση του υγρού στην κατάθλιψη της αντλίας.



Σχ. 5.1

Διάταξη φυγοκεντρικής αντλίας

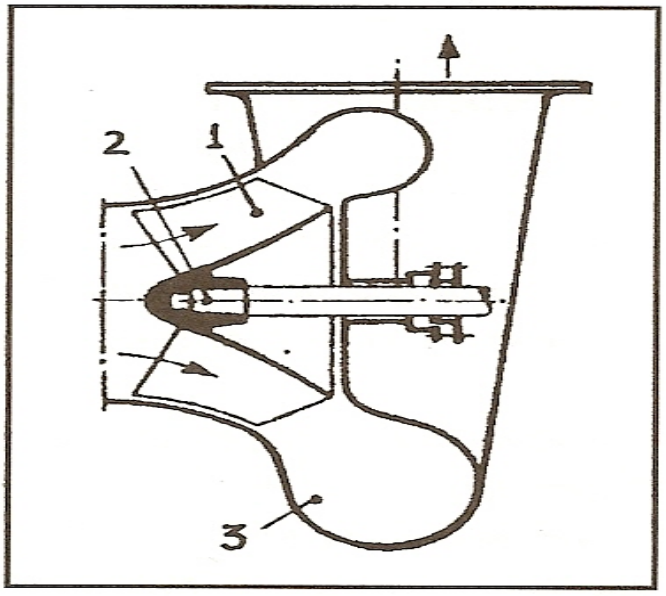
5.3.1.2 Αντλίες αξονικής ροής: Το σχ.5.2 παρουσιάζει σχηματικά μια αντλία αξονικής ροής. Τα πτερύγια της πτερωτής (1) είναι στερεωμένα στην πλήμνη (2) υπό γωνία προς το επίπεδο που περνάει από τον κεντρικό άξονα. Τα περιστρεφόμενα πτερύγια εξασκούν ώθηση στο υγρό που κινείται αξονικά δηλ. κατά μήκος της αντλίας. Επειδή η πτερωτή έχει σχήμα έλικας οι αντλίες αυτές ονομάζονται και ελικοφόρες.



Σχ. 5.2
Αντλία αξονικής ροής

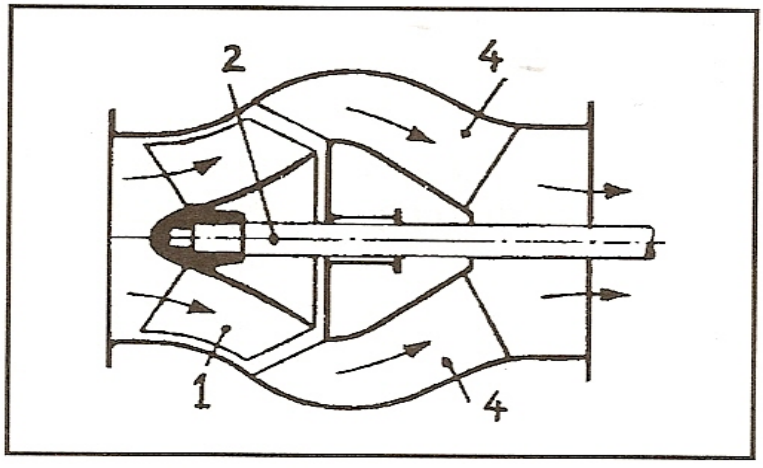
5.3.1.3 Αντλίες μικτής ροής: Η μορφή και η λειτουργία αυτών των αντλιών είναι ενδιάμεση ανάμεσα στις φυγοκεντρικές και τις αντλίες αξονικής ροής (σχ.5.3 και 5.4). Σ'αυτές η αύξηση της πίεσης του υγρού δημιουργείται κατά ένα μέρος από τη φυγόκεντρη δύναμη και κατά το άλλο μέρος από την ώθηση των πτερυγίων (1). Τα πτερύγια είναι τοποθετημένα υπό γωνία προς τον άξονα περιστροφής (2). Το υγρό εισέρχεται κανονικά από την πτερωτή αξονικά και ακτινικά. Όταν η έξοδος του υγρού από την αντλία γίνεται αξονικά μέσα από κατάλληλα σταθερά πτερύγια (4) η αντλία λέγεται διαγώνια (σχ.5.4).

Όταν υπάρχει σπειροειδές κέλυφος (3) όπως στις φυγόκεντρες αντλίες και η έξοδος του υγρού από την αντλία γίνεται ακτινικά, η αντλία λέγεται ελικοειδής (σχ.5.3)



Σχ. 5.3

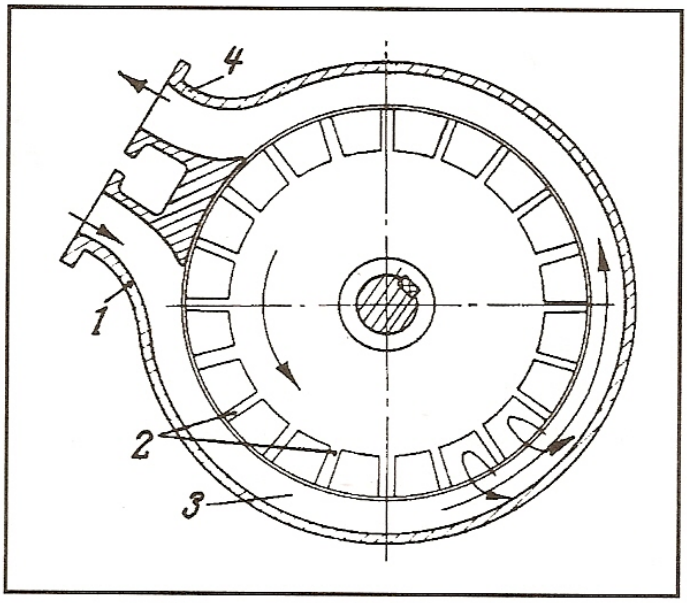
Αντλία μικτής ροής (ελικοειδής).



Σχ. 5.4

Αντλία μικτής ροής (διαγώνια).

5.3.1.4 Αντλίες αναγεννητικές ή στροβιλαντλίες: Σχηματικά μια τέτοια αντλία φαίνεται στο σχ.5.5 Το υγρό εισέρχεται από το στόμιο (1) και έρχεται στην περιφέρεια μίας πτερωτής με ειδικά πτερύγια (2). Με την περιστροφή της πτερωτής προστίθεται ενέργεια στο υγρό καθώς αυτό κινείται όπως δείχνουν τα βέλη μέσα στο δακτυλιοειδές περίβλημα (3) προς το στόμιο εξόδου (4). Χαρακτηριστικό των στροβιλαντλιών είναι ότι το υγρό κινείται συνεχώς από την περιφέρεια της πτερωτής προς το περίβλημα και από το περίβλημα προς την περιφέρεια της πτερωτής. Το υγρό διαγράφει ταυτόχρονα δυο περιστροφικές κινήσεις: την κίνηση από και προς τα πτερύγια της πτερωτής και την κίνηση κατά μήκος του δακτυλιοφόρου κελύφους από την είσοδο προς την έξοδο της αντλίας.



Σχ. 5.5
Αναγεννητική αντλία (στροβιλαντλία).

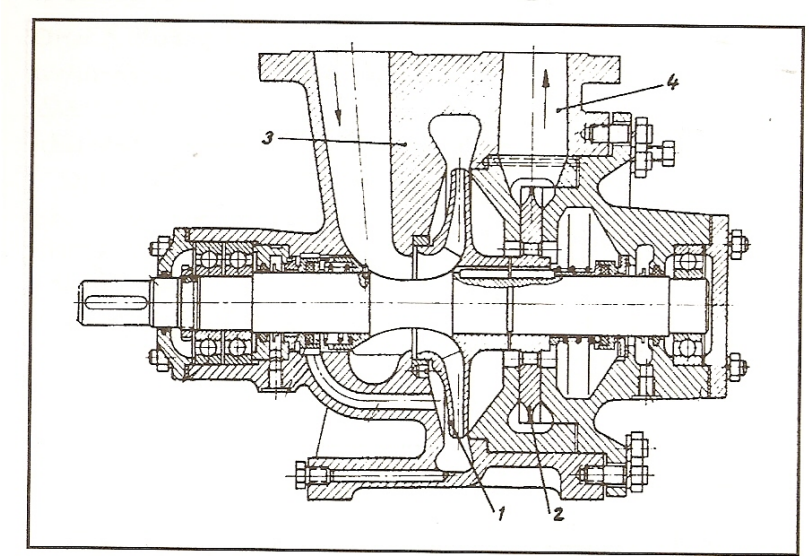
5.3.1.5 Αντλίες σύνθετες και ειδικές: Το σχ.5.6 δείχνει μία σύνθετη αντλία που είναι συνδυασμός φυγοκεντρικής και αναγεννητικής αντλίας. Το υγρό ρέει από την είσοδο του κελύφους (3) προς τη φυγοκεντρική πτερωτή (1) όπως δείχνει το βέλος. Εξερχόμενο από τη φυγοκεντρική πτερωτή οδειγείται μέσα από κοχλιοειδή αγωγό του κελύφους στην αναρρόφηση της αναγεννητικής πτερωτής (2) και στη συνέχεια κατάθλίβεται μέσα από το στόμιο εξόδου (4). Οι σύνθετες αντλίες αποτελούν

συνδυασμό δυο τύπων δυναμικών αντλιών σε μια αντλία για να επιτευχθούν συγκεκριμένα πλεονεκτήματα.

Οι ειδικές αντλίες είναι δυναμικές αντλίες των οποίων η λειτουργία τους βασίζεται σε κάποιο ιδιαίτερο φαινόμενο. Τέτοιες είναι οι αντλίες περιστρεφόμενου κελύφους (η αντλίες PITOT), οι δισκοαντλίες (DISC PUMPS), οι αντλίες περιδίνησης (VORTEX) κ.α.

Στις αντλίες PITOT το υγρό από το στόμιο εισόδου περνά σε ένα περιστρεφόμενο κέλυφος όπου η φυγόκεντρη δύναμη το επιταχύνει. Ένας σταθερός σωλήνας παραλαβής με το στόμιο του κοντά στην εσωτερική περιφέρεια του περιστρεφόμενου κελύφους (στροφείου) όπου η πίεση και η ταχύτητα έχουν τη μέγιστη τιμή τους, παραλαμβάνει το υγρό μετατρέποντας τη μεγάλη του ταχύτητα σε υψηλή πίεση. Οι αντλίες αυτές αναπτύσσουν 4πλασια περίπου πιεση (μανομετρικό ύψος) από αντιστοιχες μονοβάθμιες φυγοκεντρικές αντλίες ίδιας ταχύτητας περιστροφής.

Η λειτουργία των δισκοαντλιών στηρίζεται στα φαινόμενα επιφανειακής τάσης και συνεκτικότητας των υγρών. Ο ρότορας των αντλιών αυτών αντί για πτερωτή έχει μια ομάδα από δίσκους σε μικρή απόσταση μεταξύ τους. Επάνω σ'αυτούς προσκολλάται και στη συνέχεια εκτινάσσεται από τη φυγόκεντρη δύναμη το αντλούμενο υγρό. Τα **πλεονεκτήματα** τους είναι: ελάχιστη φθορά ρότορα, «ευγενική» διακίνηση ευαίσθητων υγρών, δυνατότητα άντλησης παχύρρευστων υγρών κ.α.



Σχ. 5.6

Σύνθετη φυγοκεντρική – αναγεννητική αντλία

5.3.2 Αντλίες θετικής μετατόπισης:

Οι αντλίες αυτές παραλαμβάνουν το υγρό από τον σωλήνα αναρρόφησης και το μετατοπίζουν, το εκτοπίζουν προς τον σωλήνα κατάθλιψης με κάποιο κινούμενο στερεό σώμα (έμβολο, σύρτη, οδόντωση, διάφραγμα) που κινείται μέσα σε ειδικό περίβλημα. Το υγρό εξαναγκάζεται να μετατοπισθεί ανεξάρτητα από την υδραυλική αντίσταση των σωλήνων μεταφοράς του. Γι'αυτό και οι αντλίες της κατηγορίας αυτής ονομάζονται θετικής μετατόπισης.

Διακρίνονται σε δυο βασικούς τύπους: τις **παλινδρομικές** και **περιστροφικές** ανάλογα με το είδος της κίνησης του κινούμενου στοιχείου.

5.3.2.1 Παλινδρομικές αντλίες:

Στις αντλίες αυτές η ταχύτητα του εμβόλου περιορίζεται από την αδράνεια και γι'αυτό δεν μπορούν να συνδεθούν άμεσα με ταχύστροφους ηλεκτροκινητήρες. Επίσης η παροχή τους παρουσιάζει διακυμάνσεις λόγω της περιοδικής κίνησης του εμβόλου.

5.3.2.2 Περιστροφικές αντλίες μετατόπισης:

Είναι μια πολύ σημαντική κατηγορία αντλιών με πάμπολλες εφαρμογές στη βιομηχανία. Το ευρύτατο πεδίο εφαρμογών τους εκτείνεται σε κάθε είδους καθαρό υγρό που έχει και κάποια λιπαντική ικανότητα και επαρκές ιξώδες για να αποφευχθεί η υπερβολική διαρροή μέσα από τα διάκενα στην απαιτούμενη πίεση. Οι περιστροφικές αντλίες μετατόπισης είναι γενικά αντλίες αυτόματης αναρρόφησης. Χρησιμοποιούνται για μικρές παροχές και μεσαίες πιέσεις. Είναι ελαφρές και μικρού όγκου και παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία τύπων όπως οι **αντλίες με ολισθαίνοντες σύρτες** και οι **γραναζωτές αντλίες.**

5.3.3 Πνευματικές αντλίες:

Ορίζουμε σαν πνευματικές αντλίες, τις αντλίες στις οποίες η ενέργεια μεταδίδεται στο υγρό από αέρα (η κάποιο άλλο αέριο) που έρχεται σε άμεση επαφή με το υγρό. Διακρίνονται σε 3 κατηγορίες: **α) πιεστικού θαλάμου**, **β) ανύψωσης με αέρα, γ) εγχυτήρες αεριού.**

5.3.4 Αντλίες ανέλκυσης: Οι αντλίες της κατηγορίας αυτής παρουσιάζουν μάλλον μόνο ιστορικό ενδιαφέρον γιατί χρησιμοποιήθηκαν κυρίως στο παρελθόν για αρδεύσεις. Δεν αναπτύσσουν πίεση στο υγρό, απλώς το ανυψώνουν σαν ανελκυστήρας από μια χαμηλή σε μια υψηλότερη στάθμη.

Οι κυριότεροι τύποι είναι:

α) Ο ανυψωτικός τροχός με κάδους: Είναι τροχός μεγάλης διαμέτρου στην περιφέρεια του οποίου είναι τοποθετημένη μια σειρά δοχείων.

β) Η ατέρμονη αλυσίδα με κάδους: Αν τα δοχεία του προηγούμενου τύπου προσαρμοσθούν σε ατέρμονη αλυσίδα που παίρνει κίνηση από τον τροχό, τότε η άντληση μπορεί να γίνει από πολύ μεγαλύτερο βάθος.

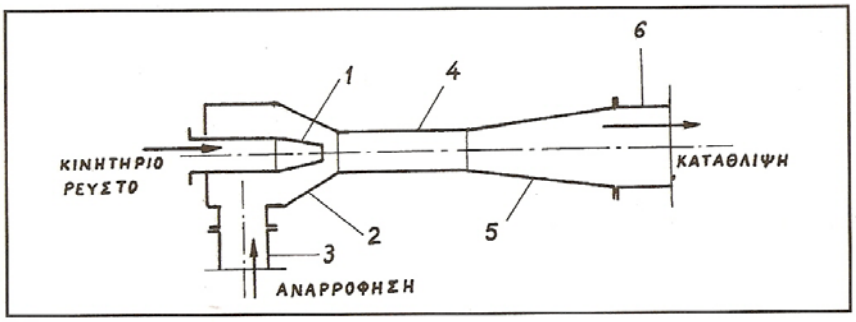
γ) Η ατέρμονη αλυσίδα πρόσφυσης: Η ατέρμονη αλυσίδα είναι κατασκευασμένη έτσι ώστε να παρουσιάζει μεγάλη επιφάνεια επαφής με το νερό και μικρές αποστάσεις μεταξύ των στοιχείων της, είναι περιβλημένη με εύκαμπτο σπειροειδές σύρμα.

δ) Η ανοικτή έλικα: Είναι μια έλικα τοποθετημένη μέσα σε ημικυλινδρίκο αγωγό που περιστρέφεται γύρω από τον άξονα της σε κεκλιμένη θέση. Η κλίση μπορεί να φθάσει μέχρι 45^0 το πολύ. Το ένα άκρο της μαζί με τον ημικυλινδρίκο αγωγό είναι βυθισμένο στο νερό. Με την περιστροφή της έλικας το νερό ανεβαίνει και εκρέει από το άλλο άκρο της. Χρησιμοποιείται για πολύ μικρές ανυψώσεις.

5.3.5 Εγχυτήρες (τζιφαρια):

Στους εγχυτήρες σχ.5.7 η ενέργεια μεταδίδεται από το ένα ρευστό (υγρό ή αέριο) που λέγεται **κινητήριο ρευστό** σε ένα άλλο ρευστό. Το **αντλούμενο ρευστό** που κατά τη λειτουργία του εγχυτήρα αναμειγνύεται με το κινητήριο. Αν το κινητήριο είναι αέριο (αέρας η ατμός) ο εγχυτήρας λέγεται εγχυτήρας αεριού. Επειδή εξ ορισμού οι αντλίες είναι διακινητές υγρών, για να ονομασθεί ένας εγχυτήρας «αντλία» πρέπει το αντλούμενο ρευστό να είναι υγρό. Επειδή στους εγχυτήρες υγρού-υγρού η ανάμιξη κινητηρίου και αντλούμενου υγρού δεν πρέπει να αποτελεί πρόβλημα. Συνήθως αυτά συμπίπτουν π.χ. το κινητήριο και το αντλούμενο υγρό είναι νερό.

Η αρχή λειτουργίας του ξεκινάει με το κινητήριο ρευστό να διοχετεύεται με πίεση μέσα στο ακροφύσιο (1) σχ.5.7. Η διατομή του ακροφυσίου ελαττώνεται κατά μήκος, οπότε η ταχύτητα ροής μέσα σ' αυτό, όλο και αυξάνεται. Η κινητική ενέργεια του ρευστού το οποίο βγαίνει με μεγάλη ταχύτητα από το ακροφύσιο μεταδίδεται στα μόρια του αντλούμενου υγρού που το περιβάλλουν, τα οποία συμπαρασύρονται προς την έξοδο και έτσι δημιουργείται υποπίεση στο θάλαμο αναρρόφησης (2). Η υποπίεση αυτή αναρροφά νέες ποσότητες αντλούμενου υγρού από το τον σωλήνα αναρρόφησης (3). Η μετάδοση της κινητικής ενέργειας από το κινητήριο ρευστό στο αντλούμενο γίνεται στο θάλαμο ανάμιξης (4). Στη συνέχεια το ακροφύσιο (5) του εγχυτήρα προκαλεί ελάττωση της ταχύτητας και μετατρέπει ένα μέρος της κινητικής ενέργειας σε δυναμική, δηλαδή αυξάνει την πίεση. Με αυξημένη την πίεση το μίγμα κινητήριου-αντλούμενου υγρού ρέει προς τον σωλήνα κατάθλιψης (6).



Σχ. 5.6

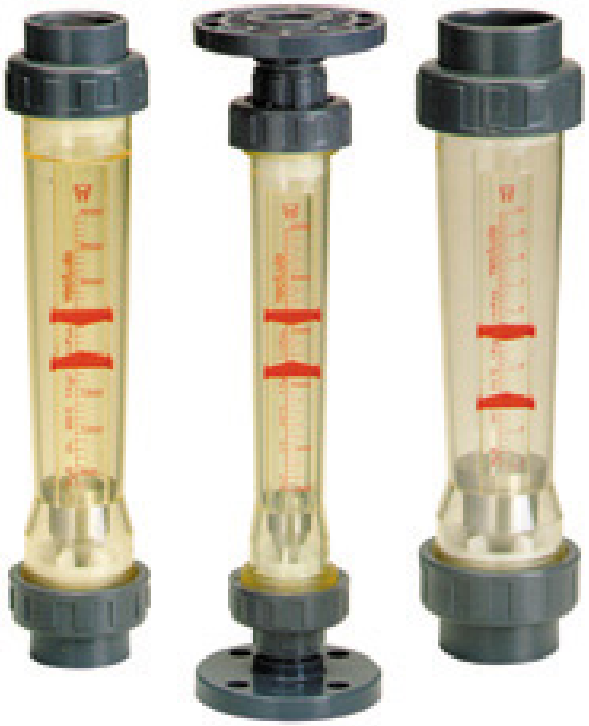
Εγχυτήρας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο

ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΡΕΥΣΤΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ

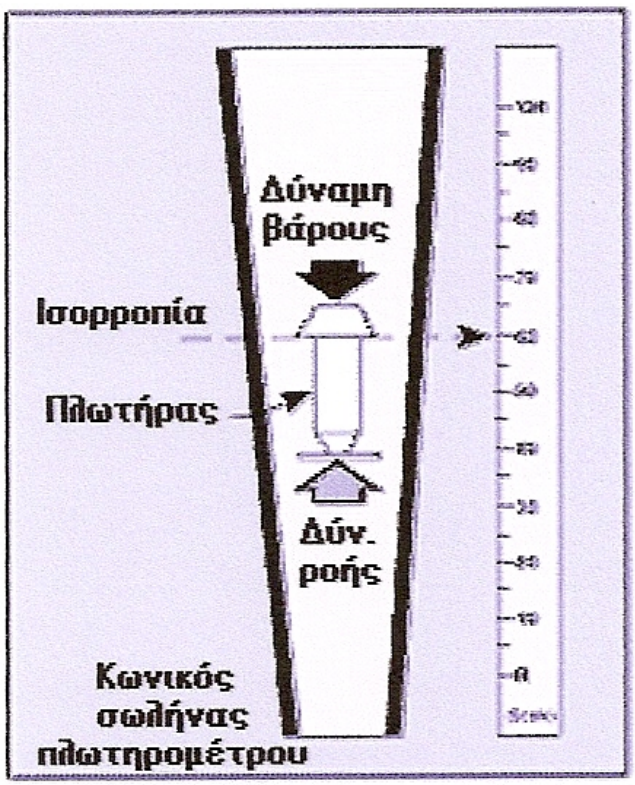
6.1 Όργανα Μέτρησης της Παροχής

Μια διάταξη που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της παροχής ρευστού σε αγωγό, όταν απαιτείται αρκετά καλή ακρίβεια είναι το **πλωτηρόμετρο ή αλλιώς ροόμετρο με πλωτήρα** σχ.6.1. Το όργανο αυτό αποτελείται από έναν κατακόρυφο διαφανή σωλήνα, ελαφρά κωνικό κατασκευασμένος είτε από πλαστικό είτε από γυαλί και φέρει πάνω του βαθμονομημένη κλίμακα παροχής lit/h, όπου διαβάζετε στο σημείο που ισορροπεί ο κωνικός πλωτήρας που βρίσκετε στο εσωτερικό του διαφανή σωλήνα. Ο σωλήνας αυτός συνδέεται σε σειρά με το δίκτυο. Όταν το δίκτυο δεν διαρρέεται από ρευστό, ο κωνικός πλωτήρας ηρεμεί λόγω του βάρους του στο πυθμένα του πλωτηρομέτρου. Όταν όμως εμφανιστεί ροή ρευστού, τότε το ρευστό ασκεί δύναμη στον κωνικό πλωτήρα και τον ανυψώνει. Η εξύψωση του κωνικού πλωτήρα διαρκεί έως το σημείο όπου η ανυψωτική δύναμη της ροής εξισωθεί με την ελκτική δύναμη της βαρύτητας σχ. 6.2 και 6.3.

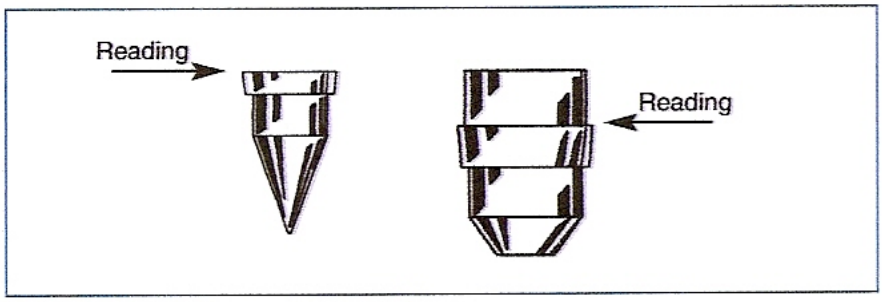




Σχ. 6.1
Πλωτηρόμετρα ή αλλιώς ροόμετρα με πλωτήρα
TECFLUID και HEDLAND



Σχ. 6.2
Λειτουργία πλωτηρόμετρου ή αλλιώς ροόμετρου με πλωτήρα



Σχ. 6.3
Κωνικοί πλωτήρες δύο μεγεθών, με τα σημεία διαβάσματος της παροχής

Μια άλλη διάταξη που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της παροχής ρευστού σε αγωγό, όταν απαιτείται μέγιστη ακρίβεια είναι το **ηλεκτρονικό ροόμετρο** το οποίο συνδέεται με ηλεκτρονικό υπολογιστή για καταγραφή των δεδομένων (όχι πάντα). Αυτά λειτουργούν με χαμηλή τάση 24V ή με μπαταρία που διαρκεί από 8 έως και 12 χρόνια.

Το ηλεκτρονικό ροόμετρο δείχνει είτε κατευθείαν την παροχή ρευστού σε μια μικρή οθόνη LCD που είναι ενσωματωμένη πάνω του σχ. 6.4.



Σχ. 6.4
Ηλεκτρονικά ροόμετρα που δείχνουν κατευθείαν την παροχή ρευστού ARAD και HEDLAND

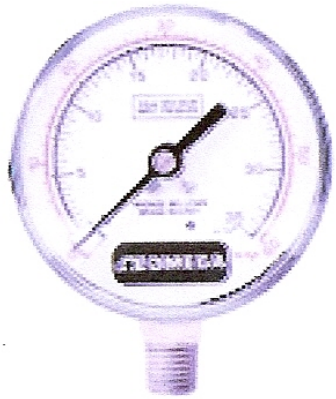
είτε με αποκωδικοποίηση ηλεκτρικών παλμών όπου η ένδειξη της παροχής φαίνεται σε μια μικρή οθόνη LCD που είναι απομακρυσμένη από το ηλεκτρονικό ροόμετρο σχ. 6.5.



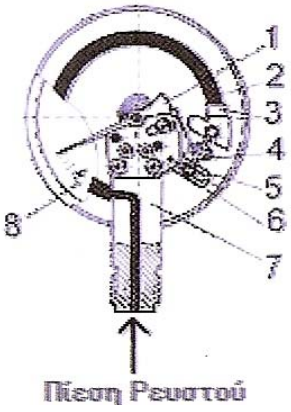
Σχ. 6.5
Ηλεκτρονικά ροόμετρα με αποκωδικοποίηση ηλεκτρικών παλμών ARAD

6.2 Όργανα Μέτρησης της Πίεσης

Ένα όργανο που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της πίεσης είναι το **μηχανικό μανόμετρο ή μανόμετρο Bourdon** σχ. 6.6. Το μετρητικό αυτό όργανο αποτελείται από ένα λεπτό μεταλλικό σωλήνα με πολύ λεπτά τοιχώματα ο οποίος έχει ημικυκλική ή σπειροειδή μορφή σχ. 6.7. Όταν εφαρμοστεί σε αυτό το σωλήνα πίεση από κάποιο υγρό, προκαλείται η κάμψη του. Ο σωλήνας λοιπόν έχει την τάση να ευθυγραμμιστεί, με αποτέλεσμα το ελεύθερο άκρο του να μετακινείται ανάλογα με την ασκούμενη πίεση. Η κίνηση αυτή του σωλήνα μεταφέρεται μέσω ενός συστήματος μοχλών στη βελόνα η οποία περιστρέφεται σε ένα βαθμονομημένο πινακάκι όπου πάνω του είναι αποτυπωμένες οι τιμές που διαβάζουμε (βλέπε σχήματα).



Σχ. 6.6
Μηχανικό μανόμετρο ή μανόμετρο Bourdon



1. Βελόνα
2. Σωλήνας Bourdon
3. Μετακινούμενο Άκρο
4. Σύνδεσμος
5. Ημικυκλικός Οδοντωτός Τροχός
6. Έλασμα
7. Σώμα οργάνου
8. Πίνακας Τιμών (Καντράν)

Σχ. 6.7
Διάταξη συστήματος μηχανισμού μηχανικού μανόμετρου ή μανόμετρου Bourdon

Για μετρήσεις πίεσης έως 800 PSI (55 bar) χρησιμοποιείται η ημικυκλική διάταξη τοη σωλήνα Bourbon ενώ για μεγαλύτερες πιέσεις χρησιμοποιείται η σπειροειδής διάταξη σχ.6.8.



Σχ. 6.8
Μετρητές Bourdon

Παράδειγμα Πειραματικού Μέρους: ΤΡΑΠΕΖΑΣ BERNOULLI

Σύγκριση πραγματικής παροχής ($Q_{\pi\rho}$) **με θεωρητικής παροχής** (Q_θ)

Για πραγματική παροχή ($Q_{\pi\rho}$) 1650 lit/h από το πλωτηρόμετρο και με υψομετρική διαφορά πιεζομετρικής γραμμής (hf) 0,46 m από τον παρακάτω τύπο θα υπολογιστεί η θεωρητική παροχή (Q_θ).

$$Q_\theta = \sqrt{\frac{\pi^2 * D^5 * g * hf}{8 * L}} * \sqrt{\frac{1}{f}} \Rightarrow$$

$$Q_\theta = \sqrt{\frac{3{,}14^2 * 0{,}01905^5 m * 9{,}81 m/s^2 * 0{,}46 m}{8 * 2 m}} * \sqrt{\frac{1}{0{,}032}} \Rightarrow$$

$Q_\theta = 0{,}0000835 * 5{,}59\ m^3/sec \Rightarrow Q_\theta = 0{,}000467\ m^3/sec$

$Q_\theta = 0{,}000467\ m^3/sec * 3600000 \Rightarrow$ **Q_θ = 1681 lit/h**

$$\mathbf{Q_{\pi\rho} = 1650\ lit/h < Q_\theta = 1681\ lit/h}$$

Όπου: D = 3/4΄΄ = 0,01905 m (διατομή σωλήνα)

g = 9,81 m/s^2 (επιτάχυνση της βαρύτητας)

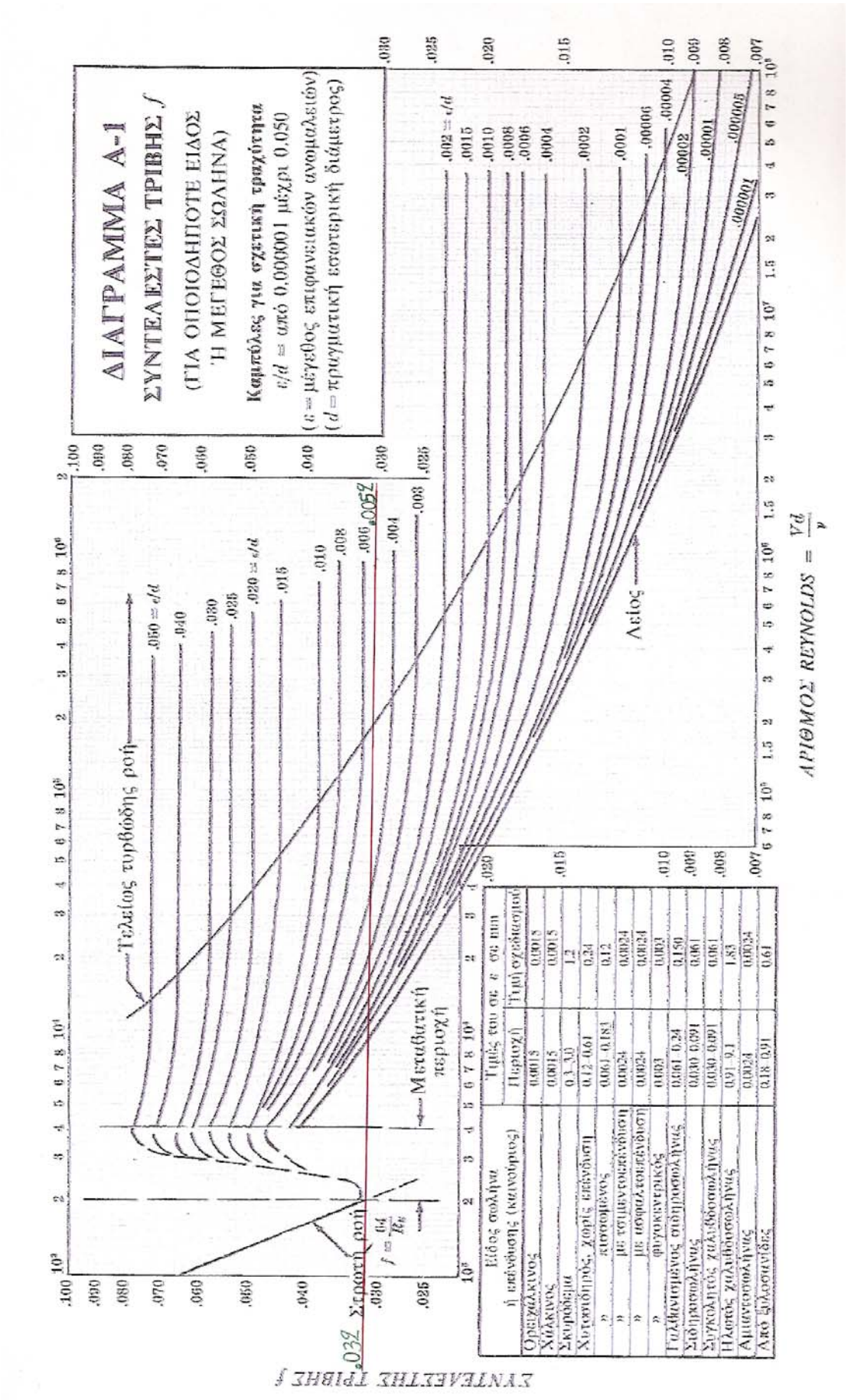
hf = 46 cm = 0,45 m (υψομετρική διαφορά πιεζομετρικής γραμμής)

L = 2 m (μήκος σωληνογραμμής)

και με

$\frac{e}{d} = \frac{0{,}01\,cm}{1{,}9\,cm} = 0{,}0052$ (σχετική τραχύτητα για το σωλήνα) έχουμε :

f = 0,032 (από το διάγραμμα του Moody που ακολουθεί)



Είδος σωλήνα ή επένδυσης (καινούριος)	Τιμές του ε σε mm	
	Περιοχή	Τιμή σχεδιασμού
Ορειχάλκινος	0.0015	0.0015
Χάλκινος	0.0015	0.0015
Σκυρόδεμα	0.3–3.0	1.2
Χυτοσίδηρος, χωρίς επένδυση	0.12–0.61	0.24
» κατσαρωμένος	0.061–0.183	0.12
» με επιψευδαργύρωση	0.0024	0.0024
» με ασφαλτοεπένδυση	0.0024	0.0024
» φυγοκεντρικός	0.003	0.003
Γαλβανισμένος σιδηροσωλήνας	0.061–0.24	0.150
Σιδηροσωλήνας	0.030–0.091	0.061
Συγκολλητός χαλυβδοσωλήνας	0.030–0.091	0.061
Ηλωτός χαλυβδοσωλήνας	0.91–9.1	1.83
Αμιαντοσωλήνας	0.0024	0.0024
Από βιομηχανίδες	0.18–0.91	0.61

Διάγραμμα Moody παραδείγματος για συντελεστή τριβής f του σωλήνα

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- **΄΄ Μηχανική Ρευστών με τεχνικές εφαρμογές΄΄**
  R. Daugherty – J. Franzini – E. Finnemore

- **΄΄Αντλίες και Σωληνώσεις΄΄**
  Ιωάννου Μ. Μαυρουδή

- **΄΄Μηχανική των Ρευστών και Υδραυλική΄΄**
  Ranald V. Giles
  Επίβλεψη μετάφρασης: Γεώργιος Νουτσόπουλος
  Μετάφραση: Αλέξανδρος Μέγγος

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

- **www.arad.com**
- **www.tecfluid.com**
- **www.hedland.com**
- **www.gavrielatos.gr**

ΕΜΠΟΡΙΟ

- **Στριλιγκάς Βαρδής & Σια**
  Αλουμινοκατασκευές-Σιδεροκατασκευές-Εμπόριο μετάλλου

- **Ζερβαλάκης Μιχ. & Υιός Ο.Ε.**
  Εύκαμπτοι Σωλήνες και Ρακόρ παντός τύπου Υψηλής Πίεσης

- **Γυπαράκης: Υδραυλικά Είδη**

- **Μερονιανάκης: Σιδιρικά-Υδραυλικά Είδη**