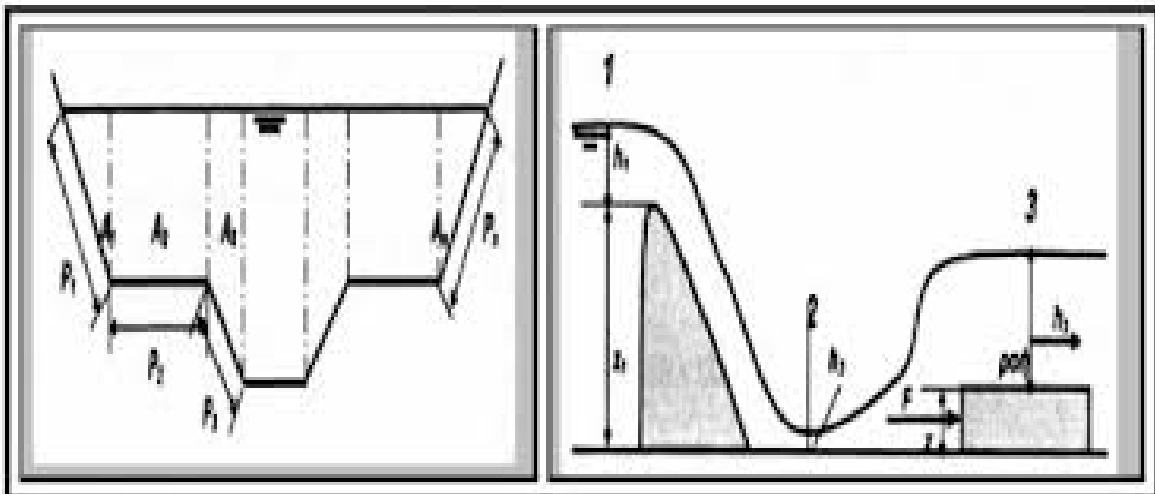


ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΠΡΟΦΙΛ
ΡΟΗΣ ΓΙΑ ΜΗ ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ ΡΟΗ ΣΕ ΑΝΟΙΚΤΟΥΣ
ΑΓΩΓΟΥΣ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΔΙΑΤΟΜΩΝ



ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ-ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:

Δρ. Κακαβάς Παναγιώτης

Αν. Καθηγητής Τ.Ε.Ι.

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ:

Ράππας Κωνσταντίνος

Ασπροποταμίτης Δημήτριος

ΠΑΤΡΑ 2015

ΕΥΧΑΡΙΣΤΗΡΙΑ

Ολοκληρώνοντας την πτυχιακή μας εργασία, θέλουμε να ευχαριστήσουμε τον επόπτη μας, τον κύριο Παναγιώτης Κακαβά, Δρ. καθηγητή του τμήματος μας, για την υποστήριξη που μας παρείχε. Τον ευχαριστούσε θερμά διότι μέσα από το θέμα της πτυχιακής εργασίας που μας ανάθεσε, καταλάβαμε την σπουδαιότητα του «προγραμματισμού», καθώς και τα οφέλη του με τα υπόλοιπα αντικείμενα της σχολής μας όπως είναι η «υδραυλική».

Πάτρα, 2015

Ράππας Κωνσταντίνος

Ασπροποταμίτης Δημήτριος

Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστή: Ο κάτωθι υπογεγραμμένος σπουδαστής έχω επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι συγγραφέας αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, έχω δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μου όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποίησα και έλαβα ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνω επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχω ενσωματώσει στην εργασία μου προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχω πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχω αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Ο σπουδαστής
(Ονοματεπώνυμο)

.....
Αεπροποταμίτς Δημήτριος
Ράνας Κωνσταντίνος

(Υπογραφή)


12p

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας είναι η παρουσίαση των ωφελημάτων του συνδυασμού της επιστήμης του προγραμματισμού με την επιστήμη της υδραυλικής.

Στο πρώτο κεφάλαιο αναφερόμαστε στο θεωρητικό μέρος της υδραυλικής επιστήμης που αφορά το αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας (ανοικτοί αγωγοί).

Το δεύτερο κεφάλαιο εμπεριέχει όλα τα δεδομένα υπολογισμού και σύνταξης των προγραμμάτων υπολογισμού για διάφορες διατομές καναλιών (ορθογωνική διατομή, τριγωνική διατομή, κυκλική διατομή), σε γλώσσα προγραμματισμού FORTRAN.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναφέρουμε βασικά στοιχεία για τις γλώσσες προγραμματισμού.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΗΡΙΑ	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	4
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΝΟΙΚΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ	7
1.1 ΓΕΝΙΚΑ	7
1.2 ΕΙΔΗ ΡΟΗΣ ΕΝΤΟΣ ΑΝΟΙΚΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ.....	12
1.3 ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ	17
1.4 ΟΡΙΑΚΟ ΣΤΡΩΜΑ ΣΕ ΑΝΟΙΚΤΟΥΣ ΑΓΩΓΟΥΣ	31
1.5 ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΔΙΑΤΟΜΗ.....	43
1.6 ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ.....	47
1.7 ΕΙΔΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΣΕ ΑΝΟΙΚΤΟΥΣ ΑΓΩΓΟΥΣ	65
2.1 ΚΑΝΑΛΙΑ ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ	65
2.2 ΚΑΝΑΛΙΑ ΤΡΙΓΩΝΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ	72
2.3 ΚΑΝΑΛΙΑ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ	79
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΓΛΩΣΣΕΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ.....	84
3.1 ΓΛΩΣΣΑ FORTRAN.....	84
3.2 ΓΛΩΣΣΑ BASIC	89
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	95

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ 96

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΝΟΙΚΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Ως ανοικτός αγωγός εννοείται ένας αγωγός στον οποίο το νερό ρέει με ελεύθερη την επιφάνειά του. Σε αντίθεση με τους κλειστούς αγωγούς, όπου η διατομή της ροής καθορίζεται πλήρως από τις στέρεες επιφάνειες. Η διατομή της ροής των ανοικτών αγωγών δύναται να μεταβάλλεται ελεύθερα. Ως αποτέλεσμα, οι συνθήκες οι οποίες ελέγχουν την ροή είναι διαφορετικές εκείνων οι οποίες κυβερνούν την ροή εντός των κλειστών αγωγών. Σε γενικές γραμμές η ροή του ύδατος με ελεύθερη επιφάνεια είναι πολυπλοκώτερη της ροής εντός κλειστών αγωγών. Ροή με ελεύθερη επιφάνεια εμφανίζεται σε ανοικτούς αγωγούς όπου η ελεύθερη αυτή επιφάνεια υπόκειται συνήθως (μόνιμος ροή) μόνον σε ατμοσφαιρική πίεση. Επειδή λοιπόν, η πίεση είναι σταθερή, η ροή προκαλείται από το ίδιο βάρος του ρευστού.

Παραδείγματα ανοικτών αγωγών αποτελούν οι ποταμοί, οι τεχνητές διώρυγες (channels), οι κλειστοί αγωγοί οι οποίοι δεν είναι πετληρωμένοι με υγρά κλπ. Στις περισσότερες των περιπτώσεων η ροή των υγρών των ανοικτών αγωγών αναφέρεται σε την ροή ύδατος. Όλα τα διαθέσιμα πειραματικά δεδομένα εις ανοικτούς αγωγούς αναφέρονται προς το νερό με κανονική θερμοκρασία και πίεση. Ακόμη και αν υποθέσουμε ότι η ροή είναι σταθερή και ομοιόμορφη και πάλι η λύση των προβλημάτων των ανοικτών αγωγών είναι δυσκολότερη απ' ό,τι η λύση των προβλημάτων των κλειστών αγωγών. Ενώ δε οι περισσότεροι των κλειστών αγωγών είναι κυκλικής διατομής, στους ανοικτούς αγωγούς οι διατομές ποικίλλουν εκ των πλέον απλών γεωμετρικών σχημάτων μέχρι των τελείως ακανόνιστου σχήματος διατομών των ποταμών.

Επίσης, υπάρχει μεγάλη ανομοιομορφία στις στερεές επιφάνειες των ανοικτών αγωγών οι οποίες ποικίλλουν εκ της λείας επιφανείας των ξύλινων κατασκευών μέχρι της πετρώδους και ανωμάλου επιφανείας του πυθμένα των

ποταμών. Έτσι, η εκλογή ενός καταλλήλου συντελεστού τριβής για την περίπτωση των ανοικτών αγωγών είναι αρκετά δύσκολος, σε σύγκριση βεβαίως προς την αντίστοιχη εκλογή για κλειστούς αγωγούς. Επίσης και λόγω της ελευθέρως επιφανείας του ύδατος, δύναται να εμφανισθούν και άλλα φυσικά φαινόμενα τα οποία επί της ουσίας δύναται να διαφοροποιήσουν την όλη συμπεριφορά της ροής.

Ορισμοί

Τα ρευστά είναι υλικά σώματα χωρίς ειδικό των σχήμα και υπόκεινται σε μεγάλες παραμορφώσεις της γεωμετρίας τους όταν ευρίσκονται υπό την επίδραση δυνάμεων. Ρευστά είναι τα υγρά και τα αέρια. Η κίνηση τους είναι γνωστή ως ροή και μελετάται υπό την επιστήμη της Μηχανικής των Ρευστών. Τα υγρά καταλαμβάνουν καθορισμένο όγκο και σχετικώς είναι ασυμπίεστα. Τα αέρια καταλαμβάνουν τον μέγιστο διαθέσιμο προς αυτούς όγκο και είναι συμπιεστά. Όταν όμως η ταχύτητα των αερίων είναι σχετικώς μικρή $p < 60.0m/s$ τότε η ροή αυτών είναι ασυμπίεστη και οι εξισώσεις που διέπουν την ροή είναι ίδιες με αυτές των υγρών.

Σε όλη την εργασία χρησιμοποιείται το Διεθνές Σύστημα μονάδων SI (Systeme International). Οι βασικές μονάδες που αφορούν την Υδραυλική Ανοικτών αγωγών είναι:

μήκος	μέτρο	(m)
μάζα	χιλιόγραμμα	(Kg)
χρόνος	δευτερόλεπτο	(s)
θερμοκρασία	Κέλβιν	οK

Η σχέση μεταξύ βαθμών Κέλβιν ($^{\circ}\text{K}$) και Κελσίου ($^{\circ}\text{C}$) είναι :

$$K = C + 273.1 \quad (1)$$

Μεταξύ της μάζας m (kg) και του βάρους B (N) ενός σώματος ρευστού υφίσταται η εξίσωση,

$$B = m * g \quad (2)$$

όπου $g(\text{m/s}^2)$ είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας. Συνήθως η τιμή αυτής για τα Ελληνικά γεωγραφικά πλάτη είναι $9.807 (\text{m/s}^2)$.

Πυκνότητα ρ (kg/m^3) είναι η μάζα του ρευστού η περιεχομένη στην μονάδα του όγκου του $V(\text{m}^3)$. Είναι :

$$\rho = m / V \quad (3)$$

Η πυκνότητα του καθαρού ύδατος στους 4°C είναι 1000.0 kg/m^3 , ενώ στους $20(^{\circ}\text{C})$ είναι 998.2 kg/m^3 . Ειδικό βάρος γ (N/m^3) είναι η δύναμη η οποία δρα επί της μάζας του υλικού του, περιεχομένου στην μονάδα του όγκου. Είναι :

$$\gamma = \rho * g \quad (4)$$

Το Ιξώδες μ (kg/m*s) είναι η παράμετρος η οποία παριστά την ύπαρξη εφασπτομενικών δυνάμεων επί του ρευστού κατά την κίνηση του. Για την στρωτή ροή, ισχύει :

$$\tau = \mu * du / dy \quad (5)$$

ή

$$\mu = \tau / (du / dy) \quad (6)$$

Αναλυτικά, τ (N/m²) είναι η διατμητική τάση και du/dy η κλίση των ταχυτήτων (μεταβολή της ταχύτητας προς την απόσταση Y (m)). Τα ρευστά τα οποία υπακούουν στην εξίσωση (5) ονομάζονται Νευτώνια ρευστά. Εάν το ιξώδες του ρευστού είναι συνάρτηση της ταχύτητας του τότε η εξίσωση της διατμητικής τάσεως στην οποία υπακούουν τα ρευστά είναι μή- γραμμική και τα ρευστά αυτά ονομάζονται μή- Νευτώνια ρευστά. Στους 10°C και υπό ατμοσφαιρική πίεση η τιμή του ιξώδους του καθαρού ύδατος μ (kg/m*s) είναι 1315×10^6 ενώ στους 20(ο^c) και επίσης υπό την ατμοσφαιρική πίεση η τιμή του ιξώδους του καθαρού ύδατος πέφτει στους 1010×10^6 (kg/m*s).

Το κινηματικό ιξώδες ν (m²/s) είναι ο λόγος του ιξώδους του ρευστού προς την πυκνότητά του. Είναι :

$$\nu = \mu / \rho \quad (7)$$

Στους 10 (°C) και στους 20(°C) υπό ατμοσφαιρική πίεση η τιμή του κινηματικού ιξώδους του καθαρού ύδατος ν (m²/s) είναι 1.31×10^6 και 1.01×10^6 , αντιστοίχως. Το κινηματικό ιξώδες μεταβάλλεται έντονα λόγω της θερμοκρασίας. Αναλυτικοί πίνακες δίνουν τις φυσικές ιδιότητες του καθαρού ύδατος και του αέρα. Παρουσιάζονται επίσης πίνακες ανάλογα την αλατότητα τους ύδατος.

Η δύναμη $F(N)$ περιγράφεται από τον δευτέρου νόμο της κίνησης του Νεύτωνα και συνοψίζεται ως,

$$F = m \cdot \gamma \quad (8)$$

όπου γ (m/s^2) η επιτάχυνση του ρευστού. Στατική πίεση ή πίεση ρ (N/m^2) είναι η δύναμη η ασκούμενη επί της μονάδος επιφανείας A . Είναι :

$$\rho = F / A \quad (9)$$

Η πίεση μετριέται σε N/m^2 ή σε bar και είναι $1.0 \text{ bar} = 100000.0 \text{ N/m}^2$. Η πίεση αναφέρεται ως προς μεν την ατμοσφαιρική πίεση οπότε ονομάζεται σχετική πίεση, ως προς δε το απόλυτο κενό ονομάζεται απόλυτη πίεση. Στην Υδραυλική Μηχανική η πίεση μετρείται σε μονάδες ύψους στήλης ύδατος. Εάν θεωρηθείνερόσε ακινησία ύψους h (m) τότε η ασκούμενη πίεση P είναι,

$$P = \rho \cdot g \cdot h \quad (10)$$

άρα,

$$h = P / (\rho \cdot g) \quad (11)$$

Για παράδειγμα, πίεση 4000.0 N/m^2 ισούται προς 0.4079 m ύδατος, διότι $\rho = 1000.0 \text{ kg/m}^3$ και $g = 9.807 \text{ m/s}^2$. Να αναφερθεί ότι η ατμοσφαιρική πίεση επί της επιφανείας της θάλασσας είναι,

$$P_{\text{ατμ}} 101325 \text{ N/m}^2 = 760 \text{ mm Hg} = 10.33 \text{ m ύδατος} \quad (12)$$

Στα 340.0 m υψόμετρο η ατμοσφαιρική πίεση πίπτει στα 97320.0 N/m^2 ($=9.92 \text{ m}$ ύδατος) και στα 1045.0 m η ατμοσφαιρική πίεση δίδει 89370.0 N/m^2 ($=9.11 \text{ m}$ ύδατος)

1.2 ΕΙΔΗ ΡΟΗΣ ΕΝΤΟΣ ΑΝΟΙΚΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

Η ροή στους ανοικτούς αγωγούς δύναται να είναι ομοιόμορφη ή μή-ομοιόμορφη, σταθερά ή μή-σταθερά. Η ροή θεωρείται ότι είναι ομοιόμορφος εάν η ταχύτητα του υγρού δεν αλλάζει είτε ως προς το μέγεθος είτε ως προς την διεύθυνση από μία διατομή στην επομένη, στο υπό θεώρηση τμήμα του ανοικτού αγωγού. Αυτή όμως η συνθήκη δύναται να ικανοποιηθεί μόνο όταν η υγρή διατομή του ρευστού παραμένει αμετάβλητη κατά μήκος του αγωγού. Ως αποτέλεσμα, το βάθος του υγρού πρέπει επίσης να παραμείνει αμετάβλητο. Συνεπώς, η ομοιόμορφη ροή χαρακτηρίζεται από μία υγρή επιφάνεια η οποία είναι παράλληλη προς τον πυθμένα του ανοικτού αγωγού, βλέπε παρακάτω εικόνα. Σε κάθε μία διατομή ταχύτητα του υγρού δύναται να μεταβάλλεται λόγω π.χ. ιξωδών τάσεων, αλλά για να χαρακτηρισθεί η ροή ως ομοιόμορφη πρέπει η ταχύτητα στα αντίστοιχα σημεία των διαφόρων διατομών να είναι η ίδια. Ροή της οποίας η υγρή επιφάνεια δεν είναι παράλληλη προς τον πυθμένα του ανοικτού αγωγού χαρακτηρίζεται ως ανομοιόμορφη ή μεταβαλλόμενη, βλέπε παρακάτω εικόνα. Η αλλαγή του βάθους δύναται να πραγματοποιείται είτε βαθμιαία είτε ταχέως και ούτως είναι πλέον σύνηθες φαινόμενο να ομιλή τις διά ταχέως μεταβαλλόμενη ροή και διά βαθμιαίως μεταβαλλόμενη ροή. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι ανωτέρω χαρακτηρισμοί αναφέρονται για τυχαίες μεταβολές εκ μιας διατομής στην άλλη και όχι για μεταβολές ως προς τον χρόνο. Είναι δυνατόν σε ένα τμήμα του ανοικτού αγωγού να εμφανισθεί ομοιόμορφη ροή και σε ένα άλλον τμήμα του ίδιου αγωγού να εμφανισθεί ανομοιόμορφη ροή, βλέπε παρακάτω εικόνα.

Η ροή δύναται να χαρακτηρισθεί ως σταθερή ή μή-σταθερή με το αν η ταχύτητα και κατά συνέπεια το βάθος ροής σε ένα επιμέρους σημείο του ανοικτού αγωγού μεταβάλλεται με τον χρόνο. Στα περισσότερα των προβλημάτων ροής εντός των ανοικτών αγωγών η ροή θεωρείται ότι είναι προσεγγιστικά σταθερή. Φυσικά, υπάρχουν και προβλήματα μη-σταθερής ροής, όπως Π.χ. στην περίπτωση των κυμάτων εμβολισμού (surge waves) όπου το βάθος ροής σε ένα επιμέρους σημείο του ανοικτού αγωγού μεταβάλλεται αιφνιδίως καθώς το κύμα περνά κοντά του. Για την αναλυτική

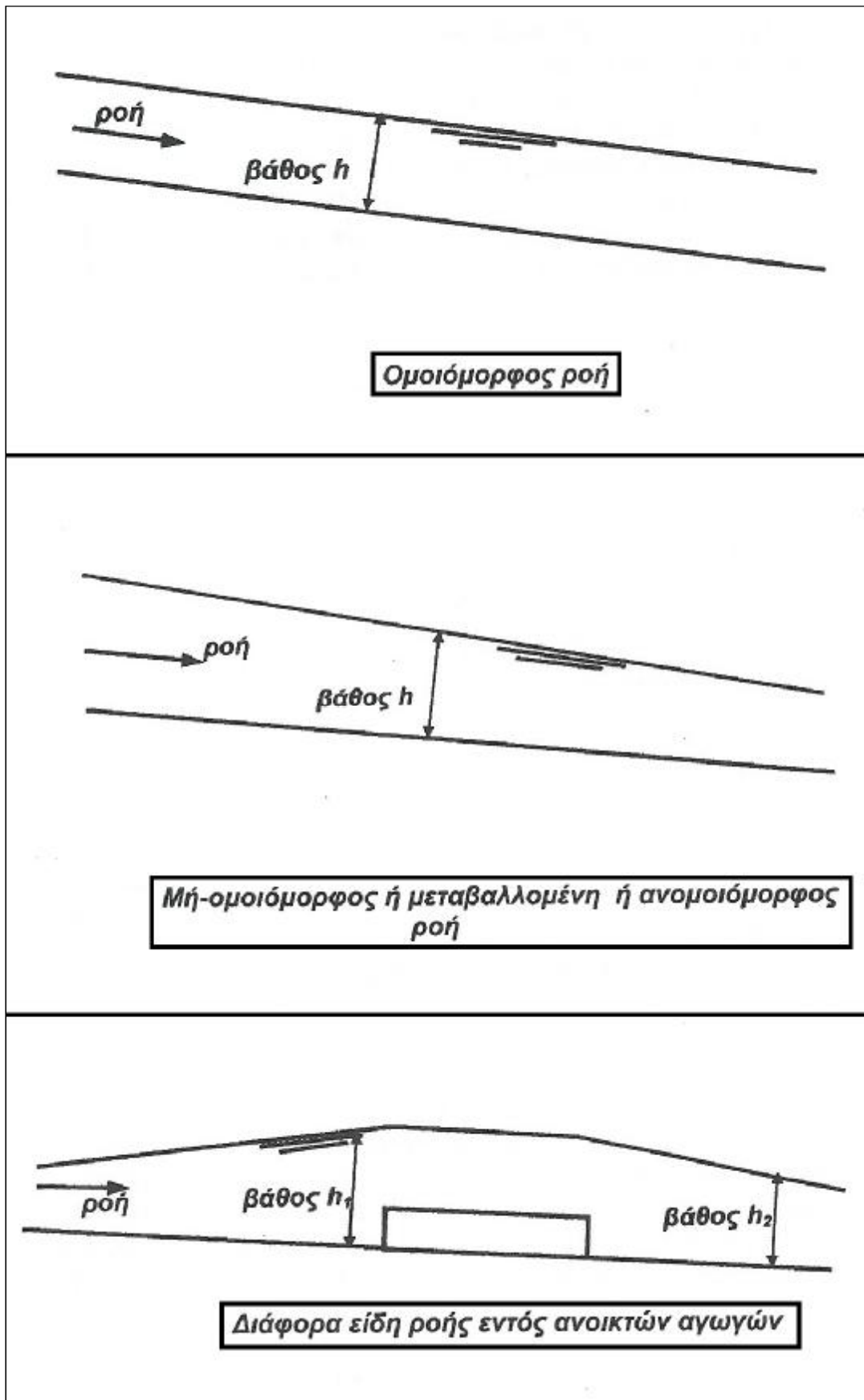
μελέτη η πλέον πρόσφορος περίπτωση είναι η σταθερή ομοιόμορφη ροή στην οποία το βάθος του υγρού παραμένει αμετάβλητο και κατά μήκος του ανοικτού αγωγού αλλά και σχετικά προς τον χρόνο. Στην παρακάτω εικόνα η κλίση της επιφανείας του πυθμένα έχει επί τούτοις υπερεκτιμηθεί. Στην πραγματικότητα η κλίση των ανοικτών αγωγών είναι πολύ μικρή της τάξεως του 0.001. Στην πράξη το είδος της συχνότερης εμφανιζόμενης ροής είναι η ανομοιόμορφη παρά η ομοιόμορφη ροή.

Αυτό είναι πλέον αληθοφανές σε μικρού μήκους ανοικτούς αγωγούς, διότι για να αναπτυχθεί η ροή σε ομοιόμορφη μορφή χρειάζεται να προηγηθεί αρκετό μήκος ανοικτού αγωγού όπου βεβαίως η ροή είναι ανομοιόμορφη. Πάντως το μεγαλύτερο μέρος της μελέτης των προκαταρκτικών μαθημάτων Υδραυλικής Μηχανικής αφιερούται στην μελέτη της ομοιόμορφης ροής.

Επί πλέον των όσων ανωτέρω αναφέρθηκαν, η ροή εντός των ανοικτών αγωγών, όπως ακριβώς και στους κλειστούς αγωγούς, δύναται να θεωρηθεί ότι είναι είτε στρωτή είτε τυρβώδης. Ποιό ακριβώς είδος ροής εμφανίζεται ενώστη πραγματικότητα εξαρτάται κυρίως εκ του σχετικού μεγέθους των δυνάμεων αδρανείας (δηλ. της ταχύτητας) προς τις δυνάμεις ιξώδους δράσεως. Ο αριθμός Reynolds χρησιμοποιείται για να προσδιοριστεί το είδος της εμφανιζόμενης ροής. Ο αριθμός Re , ισούται προς,

$$Re = (u * h * \rho) / \mu \quad (13)$$

Όπου, u η ταχύτης του υγρού (m / s), μ το ιξώδες του υγρού ($kg / m*s$), ρ η πυκνότητα του υγρού (kg / m^3) και h είναι ένα χαρακτηριστικό μέγεθος (m) το οποίο στις περισσότερων των περιπτώσεων είναι το υδραυλικό μέσο βάθος.



Εικόνα 1. Ροές ανοικτών αγωγών.

ήτοι το πηλίκο,

$$Fr = u / (g * h)^{0.5} \quad (14)$$

$$h = A / B \quad (15)$$

Όπου, A η υγρά διατομή (m²) και B το πλάτος της υγρής επιφανείας (m) . Αριθμοί Reynolds μικρότεροι του 600.0 δεικνύουν ότι η ροή είναι στρωτή. Το 600.0 λοιπόν είναι η χαμηλότερη κρίσιμη τιμή του αριθμού Reynolds.

Τα προβλήματα των ανοικτών αγωγών τα έχοντα πρακτικό ενδιαφέρον και εις τα οποία η ροή είναι στρωτή είναι ελάχιστα. Τα πλείστα των προβλημάτων με μηχανικής εφαρμογής έχουν μία πλήρως αναπτυγμένη τυρβώδη ροή. Το γεγονός ότι μερικές φορές η επιφάνεια του κινούμενου υγρού εμφανίζεται ως ομαλή δεν πρέπει να οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η ροή είναι στρωτή και ότι δεν υπάρχει τυρβώδης ζώνη κάτωθι της ελευθέρως επιφανείας του υγρού. Είναι σύνηθες φαινόμενο οι δυνάμεις αδρανείας να είναι κατά πολύ μεγαλύτερες των ιξωδών δυνάμεων.

Ένας άλλος σημαντικός χαρακτηρισμός της ροής των ανοικτών αγωγών δίνεται και από το μέγεθος του αριθμού Froude της ροής,

$$Fr = u / (g * h)^{0.5} \quad (16)$$

όπου g (m/s²) η επιτάχυνση της βαρύτητας και h (m) το βάθος ροής. Αν και γίνεται συστηματική μελέτη του αριθμού Froude, εν τούτοις πρέπει να αναφερθεί ότι όταν η ταχύτητα της ροής του υγρού είναι μικρή τότε είναι δυνατό μία μικρή διαταραχή η οποία εισάγεται οπουδήποτε στον χώρο ροής να κατευθυνθεί και προς την αντίθετη κατεύθυνση της ροής δηλαδή προς τα ανάντη και ούτως να επιδράσει στις συνθήκες ροής στην ανάντη περιοχή. Τότε ο αριθμός Froude είναι μικρότερος της μονάδος και η ροή ονομάζεται ήρεμος ή ποτάμια. Εάν όμως η ταχύτητα ροής είναι τόσο μεγάλη ώστε μία

μικρή διαταραχή να μην είναι δυνατόν να μεταδοθεί προς τα ανάντη, τότε συμπαρασύρεται μετά του ύδατος προς τα κατόντη. Τότε ο αριθμός Froude είναι μεγαλύτερος της μονάδος και η ροή ονομάζεται ταχεία ή χειμαρρώδης. Όταν ο αριθμός Froude είναι ίσος προς την μονάδα τότε η ροή ονομάζεται κρίσιμος. Στην περίπτωση όπου ο αριθμός Froude είναι μεγαλύτερος της μονάδος η ροή χαρακτηρίζεται ως υπερκρίσιμος, ενώ όταν είναι μικρότερος της μονάδος η ροή χαρακτηρίζεται ως υποκρίσιμος.

Η ροή δύναται να είναι στροβιλή ή αστρόβιλος. Ως στροβιλή θεωρείται η ροή εάν κάθε σωματίο του ρευστού έχει μία γωνιακή ταχύτητα γύρω από το ίδιον το κέντρο της μάζας του. Η παρακάτω εικόνα δείχνει μια τυπική κατανομή ταχύτητας με τυρβώδη ροή όπως διαμορφώνεται υπεράνω επιπέδου επιφανείας. Η ροή είναι στροβιλή.

Προς ανακεφαλαίωση των ανωτέρω η ροή δύναται να είναι,

- ✓ είτε ομοιόμορφος είτε ανομοιόμορφος ή μεταβαλλόμενη,
- ✓ είτε σταθερά είτε μή- σταθερά ή μή- μόνιμος ή ασταθής,
- ✓ είτε στρωτή είτε τυρβώδης,
- ✓ είτε ήρεμος ή ποτάμια είτε ταχεία ή χειμαρρώδης και
- ✓ είτε στροβιλή είτε αστρόβιλος.

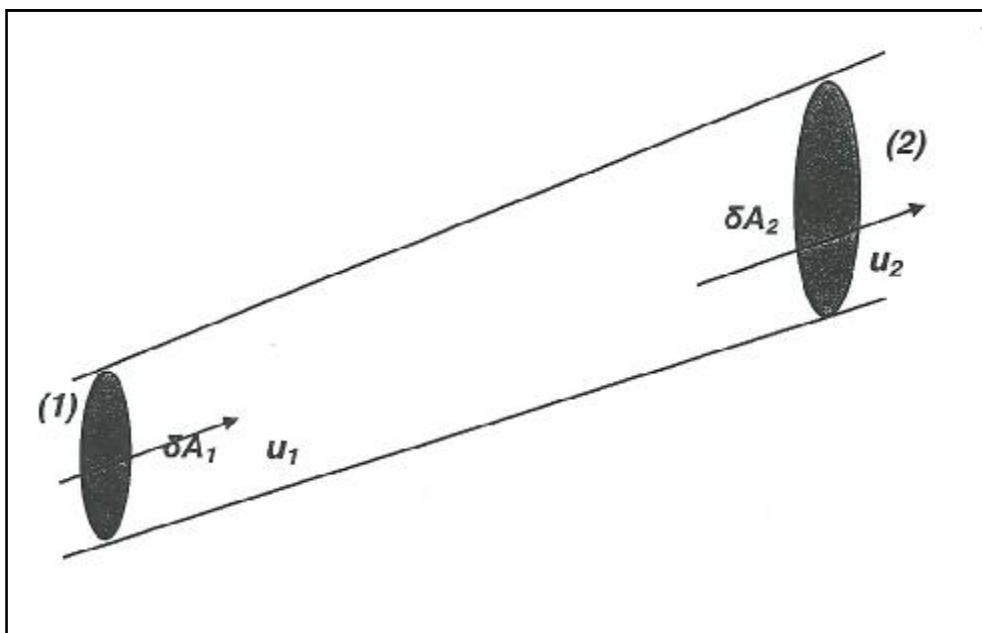
1.3 ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ

Εξίσωση συνέχειας της μάζας

Στη παρακάτω εικόνα φαίνεται ένας στοιχειώδης «ροϊκός σωλήνας» ο οποίος σχηματίζεται εξ ενός συνόλου εσωκλειστών ροϊκών γραμμών. Επειδή εξ ορισμού δεν υπάρχει ροή κάθετη προς τις ροϊκές γραμμές, το ρευστό πρέπει να εισέλθει και να εξέλθει εντός του αγωγού από τα άκρα μέρη του και μόνο. Ας σημειωθεί ότι τα εμβαδά των διατομών εισόδου είναι δA_1 (m^2) και εξόδου δA_2 (m^2), ενώ οι αντίστοιχα ταχύτητες είναι u_1 και u_2 . Είναι προφανές ότι η στοιχειώδης παροχή δQ (m^3 / s) δίδεται από την εξίσωση,

$$\delta Q = u_1 \cdot \delta A_1 = u_2 \cdot \delta A_2, \quad (17)$$

Μετά την ολοκλήρωση σε όλο τον χώρο ροής η παροχή Q θα είναι,



Εικόνα 2. Σχηματική απεικόνιση της εξίσωσης της συνέχειας.

$$Q = U_1 \cdot A_1 = U_2 \cdot A_2, \quad (18)$$

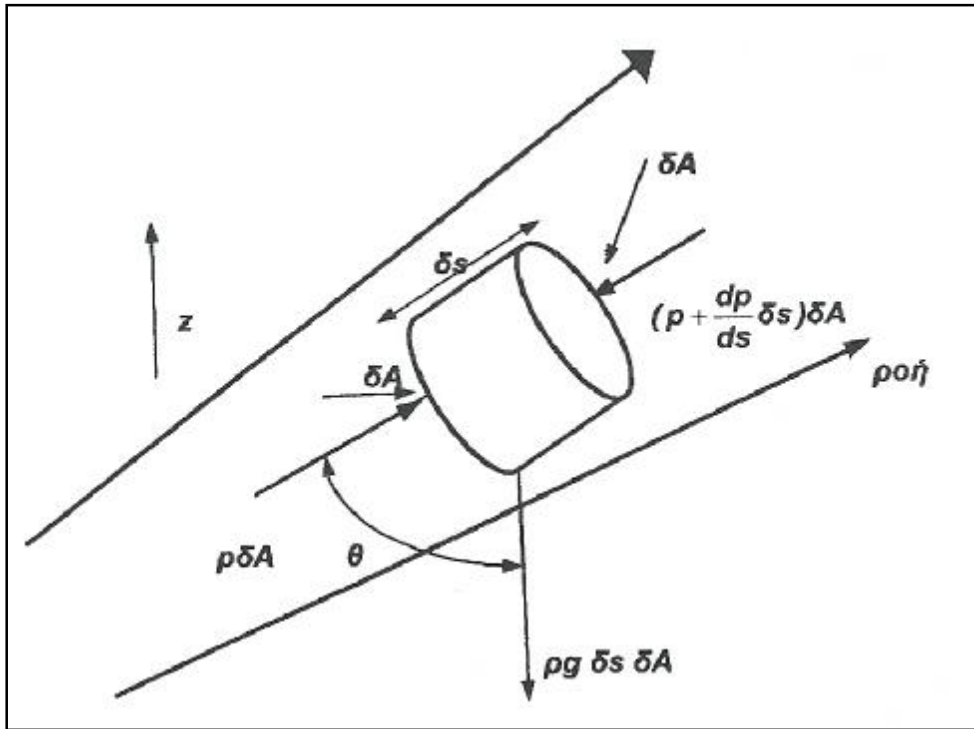
όπου U_1 και U_2 είναι οι μέσες τιμές των ταχυτήτων ενώ A_1 και A_2 είναι τα εμβαδά των διατομών στην είσοδο 1 και έξοδο 2, αντιστοίχως. Η τελική εξίσωση της συνεχείας της μάζας δύναται να εκφρασθεί ως :

$$Q = U \cdot A = \text{σταθερά} \quad (19)$$

Εξίσωση του BERNOULLI

Στη παρακάτω εικόνα φαίνεται εν κυλινδρικό στοιχείο του ροϊκού σωλήνα κατά μήκος μιας ροϊκής γραμμής. Το μήκος και το εμβαδόν της διατομής είναι δs (m) και δA , αντιστοίχως. Το βάρος του στοιχείου θα είναι $\rho \cdot g \cdot \delta s \cdot \delta A$. Η δύναμη η οποία επενεργεί στο οπίσθιο τμήμα είναι $p \cdot \delta A$ (N) ενώ στο εμπρόσθιο τμήμα είναι :

$$[p + (dp / ds) \cdot \delta s] \cdot \delta A \quad (\text{N}) \quad \text{ένθα } p \text{ (N/m}^2\text{) η στατική πίεση.}$$



Εικόνα 3. Σχηματική απεικόνιση Εξίσωση του BERNOLLI

Οι κάθετες δυνάμεις οι οποίες δρουν επί των πλευρικών τοιχωμάτων του στοιχειώδους κυλίνδρου ευρίσκονται σε ισορροπία. Το ρευστό θεωρείται ότι είναι ιδεατό ή μη-συνεκτικό και κατά συνέπεια οι ασκούμενες διατμητικές δυνάμεις ισούνται προς μηδέν. Η ταχύτητα μεταβάλλεται κατά μήκος της ροϊκής γραμμής και ως εκ τούτου υπάρχει μία δύναμη επιταχύνσεως η οποία πρέπει να ληφθεί υπόψη στην εξισορρόπηση των δυνάμεων των δρώντων κατά μήκος του άξονος της ροής. Θεωρώντας το ίδιο βάρος του στοιχειώδους όγκου θα είναι,

$$-\rho \cdot g \cdot \delta s \cdot \delta A \cdot \sin \theta + p \cdot \delta A - [p + (dp/ds) \cdot \delta s] \cdot \delta A = [(p \cdot g \cdot \delta s \cdot \delta A)/g] \cdot (du/dt) \quad (20)$$

ή

(21)

Επίσης ισχύει ότι,

(22)

όπου Z είναι ο κατακόρυφος άξονας. Επειδή η ροή είναι σταθερά, το οποίο σημαίνει ότι όλες οι μεταβολές των φυσικών ποσοτήτων εν αναφορά προς τον χρόνο t (s) είναι μηδέν, θα είναι,

$$u = ds/st \quad (23)$$

και άρα,

$$du / dt = u * (du/ds) \quad (24)$$

επομένως η εξίσωση (24) γράφεται,

$$\rho * g * (dz/ds) + (dp/ds) + \rho * u * (du/ds) = 0 \quad (25)$$

ή

$$(d/ds) * [z + (p/\rho * g) + (u^2/2 * g)] = 0 \quad (26)$$

Δι' ολοκλήρωσης κατά μήκος της ροϊκής γραμμής θα είναι,

$$Z + (p/\rho * g) + (u^2/2 * g) = \text{σταθερό} = H \quad (27)$$

Η ανωτέρω εξίσωση ονομάζεται εξίσωση του Bernoulli και εκφράζει την ενεργειακή εξισορρόπηση κατά την ροή του ρευστού. Εάν έκαστος όρος της εξισώσεως (27) πολλαπλασιασθεί με το σταθερό ποσό $\rho * g * Q$, θα είναι,

$$Z^*(\rho^*g^*Q)+(p/\rho^*g)^*(\rho^*g^*Q)+(u^2/2^*g)^*(\rho^*g^*Q) = \text{σταθερό} \quad (28)$$

Έκαστος όρος της ανωτέρω εξίσωσης έχει μονάδας ισχύος (W). Στην εξίσωση (27) έκαστος όρος έχει μονάδας (m) και ως εκ τούτου είναι φρόνιμο κάθε όρος να αναφέρεται με την έκφραση ύψος. Ο πρώτος όρος της εξίσωσης (27) είναι το ύψος λόγω θέσεως του ρευστού, ο δεύτερος όρος είναι το ύψος πίεσεως του ρευστού και ο τρίτος όρος το κινητικό ύψος του ρευστού. Το άθροισμα όλων των ανωτέρω όρων δίνει το ολικό ενεργειακό ύψος ή φορτίο H (m).

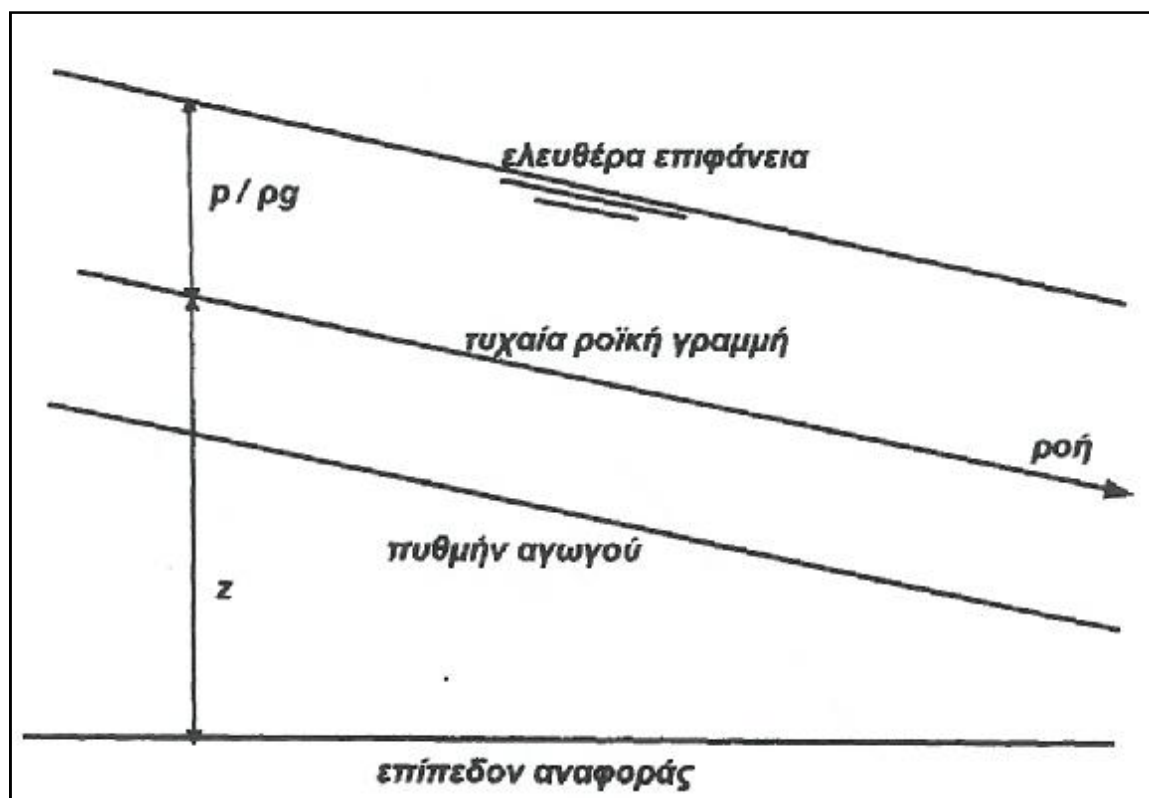
H ενεργειακή εξίσωση εις τους ανοικτούς αγωγούς

Για την απόδειξη της εξίσωσης Bernoulli, της ενεργειακής δηλαδή εξίσωσης, δεν γίνεται καμιά παραδοχή σχετικώς προς τα όρια του χώρου εντός του οποίου ρέει το υγρό. Ως αποτέλεσμα, η εξίσωση του Bernoulli δύναται να εφαρμοσθεί και στους ανοικτούς αγωγούς, βλέπε παρακάτω εικόνα. Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι η εξίσωση του Bernoulli εφαρμόζεται μόνο σε σταθερή ροή.

Τότε και επειδή υπάρχει ενδιαφέρον για ρευστά με σταθερή την πυκνότητα,

Ο όρος $p / \rho^* g$ (m) είναι η στατική πίεση του υγρού, $U^2 / 2^*g$ (m) είναι το κινητικό ύψος και Z (m) το ύψος της υπό μελέτη θέσεως το οποίο μετρείται εκ του οριζοντίου επιπέδου. Αν οι ροϊκές γραμμές είναι ευθείς και παράλληλες, τότε η κατανομή της πίεσεως σε κάθε μία διατομή της ροής είναι υδροστατική. Ακόμη και στην περίπτωση της βαθμιαίας μεταβαλλόμενης ροής η καμπυλότητα των ροϊκών γραμμών είναι αμυδρά. Δηλαδή η πίεση κάθε σημείου εντός του χώρου ροής εξαρτάται μόνο εκ του κατά πόσο ευρίσκεται

το σημείο αυτό κάτωθι της ελεύθερης επιφανείας του ύδατος.

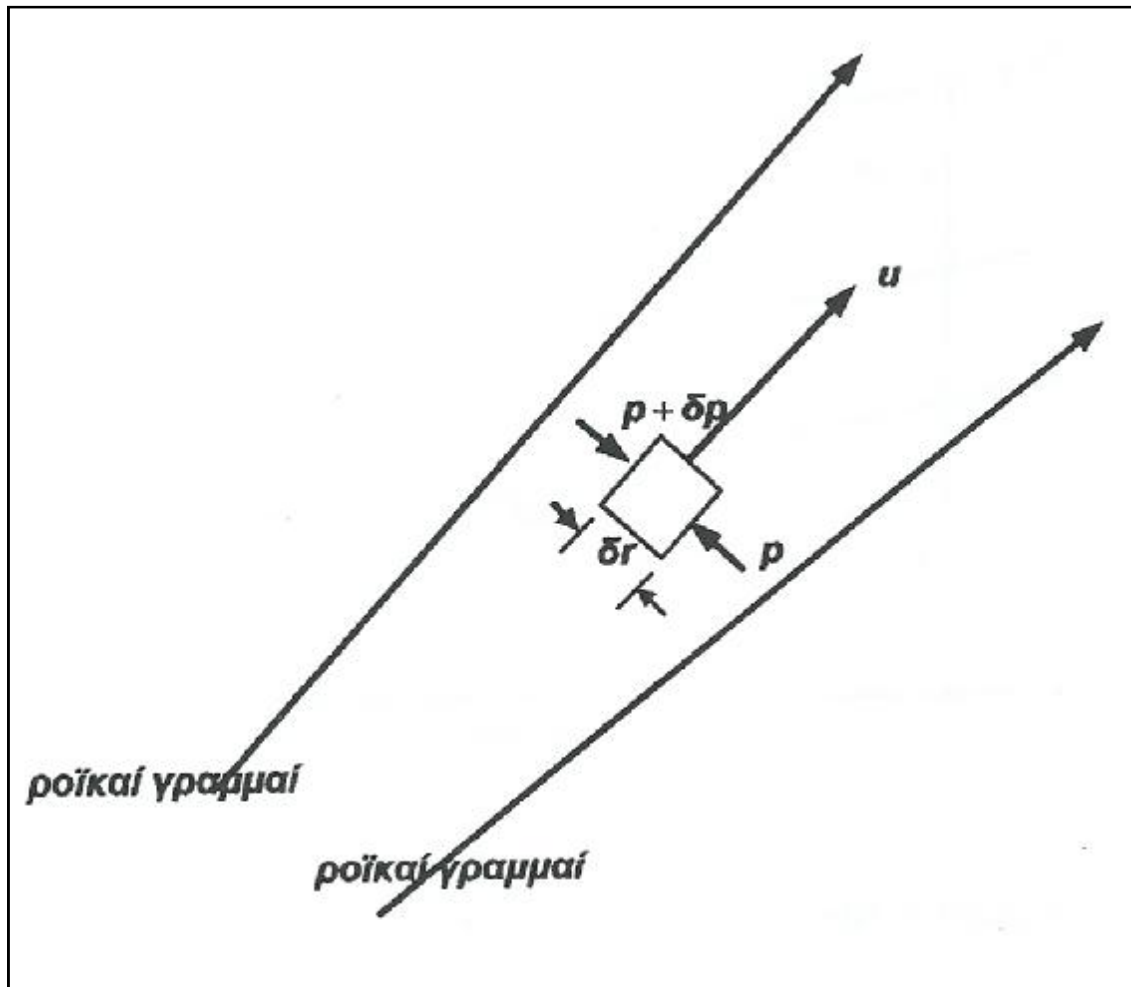


Εικόνα 4. Υδροστατική πίεση και ύψος σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο

Υδροστατική και Μή-υδροστατική κατανομή πίεσης

Ας θεωρηθούν οι ακτινικές δυνάμεις οι οποίες δρουν επί ενός στοιχειώδους όγκου ελέγχου ο οποίος κινείται κατά μήκος μιας καμπύλης ροϊκής γραμμής, όπως τούτο φαίνεται στη παρακάτω εικόνα. Σε δοθείσα χρονική στιγμή t η ταχύτητα είναι u και η ακτίνα καμπυλότητας r (m). Η σχετική επιτάχυνση a (m / s^2), όπου δημιουργείται λόγω της καμπύλης τροχιάς, θα είναι,

$$a = u^2 / r \quad (29)$$



Εικόνα 5. Ροή σε καμπύλη ροϊκής γραμμής

Η κεντρόφυγος δύναμη $F(N)$ θα είναι,

$$F = m * a = [(\rho * g) / g] * \delta r * \delta A * (u^2 / r) \quad (30)$$

όπου δr είναι το ύψος του όγκου ελέγχου και δA η διατομή. Η εξισορρόπηση της δύναμης F γίνεται με την διαφορά των εξασκούμενων δυνάμεων, $\rho * \delta A$ και $(\rho + \delta \rho) * \delta A$ της οποίας ασκούν οι πιέσεις μεταξύ της εσωτερικής και εξωτερικής πλευράς, αντιστοίχως,

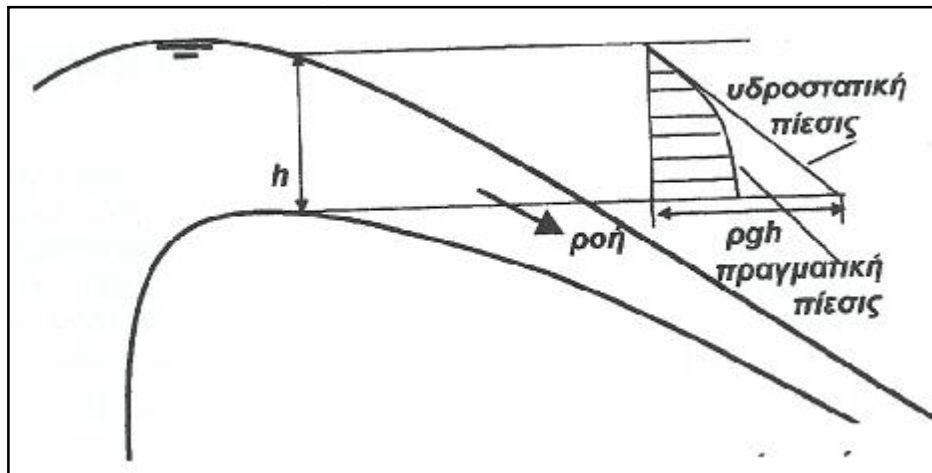
$$(p+\delta p) \cdot \delta A = p \cdot \delta A + (\rho \cdot g/g) \cdot \delta r \cdot \delta A \cdot (u^2/r) \quad (31)$$

$$\delta p \cdot \delta a = (\rho \cdot g/g) \cdot \delta r \cdot \delta A \cdot (u^2/r) \quad (32)$$

ή

$$dp/dr = (\rho \cdot g/g) \cdot (u^2/r) \quad (33)$$

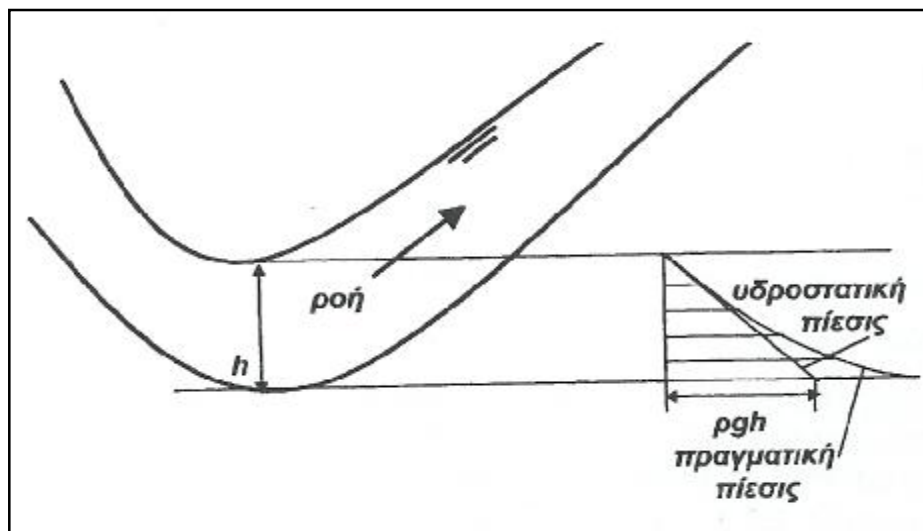
Εάν η ακτίνα καμπυλότητας είναι πολύ μεγάλη, δηλαδή εάν $r \rightarrow \infty$ τότε $dp/dr = 0$ και επομένως η πίεση p είναι σταθερά κάθετη dr προς τις ροϊκές γραμμές. Εάν θεωρηθεί η εικόνα 5, τότε η πίεση κατά το βάθος ροής είναι υδροστατική οπότε η ποσότητα $p/\rho \cdot g$ είναι το βάθος του ύδατος στην υπό θεώρηση ροϊκή γραμμή. Στη γενική όμως περίπτωση η ταχύτητα u και η ακτίνα r είναι άγνωστα. Στην εικόνα 6 φαίνεται η ροή πέριξ κυρτής επιφανείας με την αντίστοιχη κατανομή πιέσεως που είναι μή-υδροστατική.



Εικόνα 6. Κατανομή πίεσης της ροής σε κυρτή επιφάνεια

Σε αυτές τις περιπτώσεις εμφανίζονται επί της στέψεως των εκχειλιστών φραγμάτων υδροηλεκτρικών έργων. Σε ακραίες περιπτώσεις ταχύτητας και κυρτότητας η καμπύλη οδηγεί σε αρνητικές πιέσεις, πιέσεις δηλαδή με τιμές ευρισκόμενες κάτωθι της ατμοσφαιρικής πιέσεως. Στη

παρακάτω εικόνα φαίνεται η ροή πέριξ κοίλης επιφανείας και η αντίστοιχη κατανομή πιέσεως.



Εικόνα 7. Κατανομή πίεσης της ροής σε κοίλη επιφάνεια

Να σημειωθεί η καμπυλότητα των κατανομών της πίεσεως για τις περιπτώσεις των εικόνων 6 και 7.

Στην περίπτωση που η κλίση του ανοικτού αγωγού είναι σχετικά μεγάλη, π.χ. μεγαλύτερη του 1 προς 10, τότε είναι δυνατόν να υπάρξει τροποποίηση της τιμής της υδροστατικής πίεσεως ακόμη και αν οι ροϊκές γραμμές είναι ευθείς και παράλληλες μεταξύ τους. Όταν λοιπόν η μεταβολή της πίεσεως είναι υδροστατική, ένα σημείο στο οποίο η πίεση είναι p ευρίσκεται σε βάθος $p / \rho * g$ κάτωθι της ελεύθερης επιφανείας και ούτως το άθροισμα $(p / \rho * g) + Z$, βλέπε εικόνα 4, όπου αναπαριστά το ύψος της ελεύθερης επιφανείας του ύδατος υπεράνω του επιπέδου αναφοράς. Τότε η εξίσωση του Bernoulli απλοποιείται ως εξής,

$$\text{ύψος ελεύθερης επιφανείας} + \frac{u^2}{2 * g} = \text{σταθερό} \quad (34)$$

Διαπιστώνουμε ότι το επιμέρους ύψος μιας ροϊκής γραμμής υπεράνω του επιπέδου αναφοράς δεν συμμετέχει στην ανωτέρω εξίσωση. Αν τώρα θεωρηθεί ότι σε μία διατομή η ταχύτητα είναι η ίδια επί όλων των ροϊκών

γραμμών τότε η εξίσωση (34) ισχύει για όλη την ροή.

Διόρθωση της ενεργειακής εξισώσεως και της εξισώσεως ορμής

Στην πράξη όμως είναι σχεδόν αδύνατον να ληφθεί ομοιόμορφη κατανομή ταχύτητας σε μία διατομή. Η πραγματική κατανομή της ταχύτητας στους ανοικτούς αγωγούς δέχεται επιδράσεις και εκ των στερεών ορίων αλλά και εκ της ελεύθερης επιφανείας του ύδατος. Οι καμπυλώσεις της ροής καθώς και η τραχύτητα των στερεών επιφανειών επιδρούν επί της ταχύτητας της ροής. Οι ανωμαλίες των στερεών ορίων των ανοικτών αγωγών είναι τόσο μεγάλες και υπάρχουν σε τυχαία κατανομή ώστε κάθε ανοικτός αγωγός έχει την δική του κατανομή ταχύτητας. Σε γενικές γραμμές δύναται να ελεγχθεί ότι η μέγιστη τιμή της ταχύτητας εμφανίζεται σε σημεία τα οποία ευρίσκονται ολίγο κάτωθι της ελεύθερης επιφανείας του υγρού, συνήθως από 0.05 μέχρι 0.25 φορές το πλήρες βάθος ροής, ενώ η μέση ταχύτητα η οποία έχει τα 85.0% της ταχύτητας της ελεύθερης επιφανείας εμφανίζεται επί θέσεως κειμένης σε απόσταση 0.6 φορές το πλήρες βάθος ροής κάτωθι της ελεύθερης επιφανείας.

Μια τυπική κατανομή ταχυτήτων εντός ενός ανοικτού αγωγού τραπεζοειδούς διατομής φαίνεται στην εικόνα 8. Ούτως η έκφραση $u^2 / 2 * g$ όπου παριστά την κινητική ενέργεια του ρευστού ανά μονάδα βάρους αυτού, δηλαδή το κινητικό ύψος, έχει υποεκτιμηθεί, εάν βεβαίως ο υπολογισμός έχει γίνει με την μέση τιμή \bar{u} της ταχύτητας στην διατομή. Για να διορθωθεί λοιπόν η τιμή πολλαπλασιάζεται το κινητικό ύψος $\bar{u}^2 / 2 * g$ με τον αριθμό α έναν δηλαδή συντελεστή ν διορθώσεως της κινητικής ενεργείας και ο οποίος λαμβάνει τιμές από 1.03 μέχρι και 1.6 για φυσικούς ανοικτούς αγωγούς. Το α λαμβάνει μεγαλύτερες τιμές σε μικρότερες διατομές ανοικτών αγωγών.

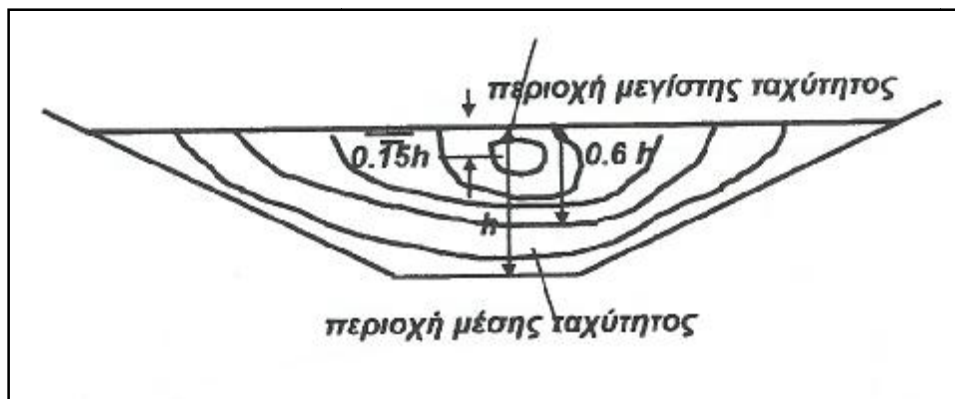
Συνήθως η τιμή του α για ανοικτό αγωγό σύνθετης διατομής A αποτελούμενης εκ των διατομών $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ με μέσες ταχύτητες $\bar{u}_1, \bar{u}_2, \bar{u}_3, \dots, \bar{u}_n$ ανά διατομή και $U = Q / A$ την μέση ταχύτητα όλης της συνθέτης διατομής είναι,

$$\alpha = \frac{\bar{u}_1^3 A_1 + \bar{u}_2^3 A_2 + \bar{u}_3^3 A_3 + \dots + \bar{u}_n^3 A_n}{\bar{u}^3 (A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n)} \quad (35)$$

Τέλος, να αναφερθεί επίσης ότι η ορμή της ροής του υγρού πρέπει να διαφοροποιηθεί αναλόγως με ένα συντελεστή ν διορθώσεως της ορμής β . Ούτως, η ορθή έκφραση για τον υπολογισμό της ορμής, θα είναι,

$$\text{ορμή} = \beta \cdot \rho \cdot Q \cdot u \quad (36)$$

ενώ ο συντελεστής β μεταβάλλεται από 1.01 μέχρι και 1.2.



Εικόνα 8. Περιοχή μέσης ταχύτητας

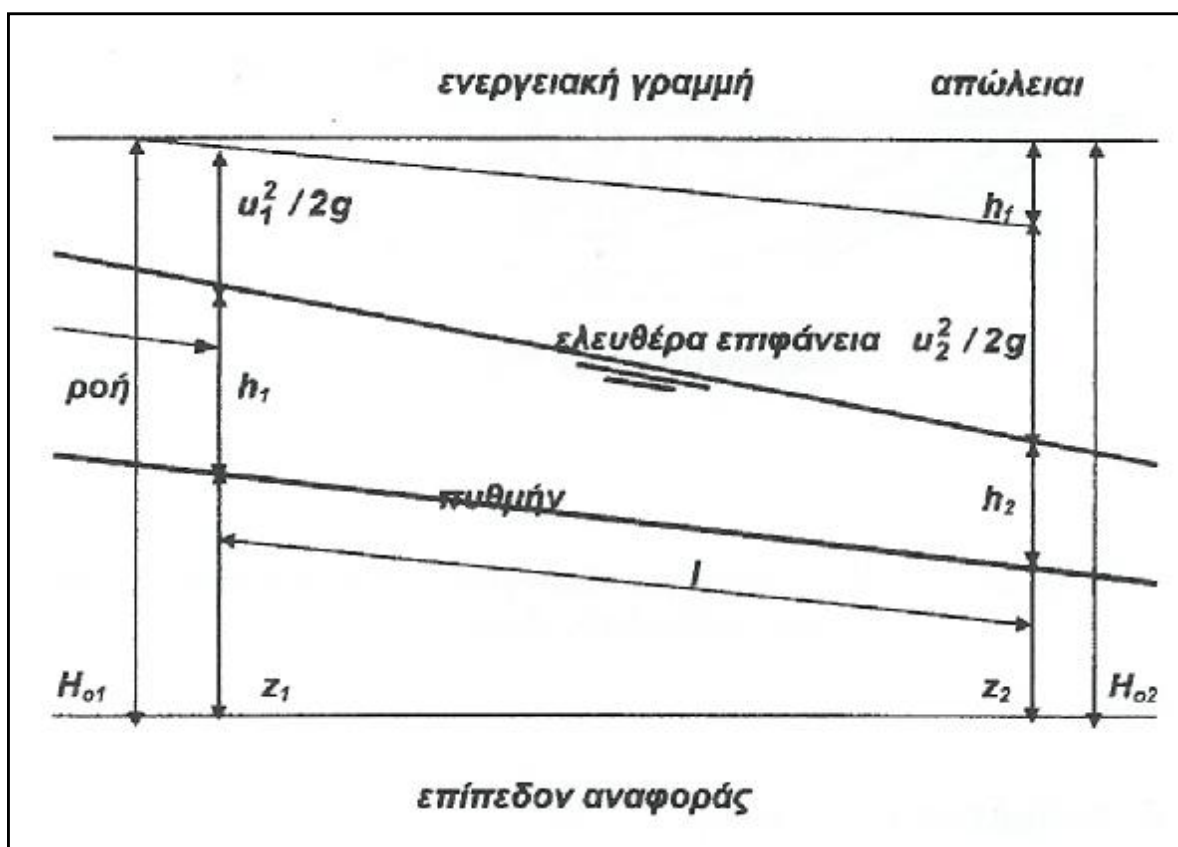
Απώλειες ενέργειας

Στη πράξη, καθώς το υγρό ρέει από μια διατομή σε μια άλλη αναπτύσσονται τριβές οι οποίες και μετατρέπουν την διαθέσιμη ενέργεια σε θερμότητα. Ούτως, δημιουργούνται οι απώλειες ενέργειας. Εάν ονομασθούν ως h_f , οι απώλειες ενέργειας ανά μονάδα βάρους του ρευστού, τότε για σταθερή ροή μεταξύ των διατομών 1 και 2, έχουμε τα παρακάτω,

$$H_{o1} = (\text{ύψος ελεύθερης επιφάνειας})_1 + u_1^2/2 \cdot g = (\text{ύψος ελεύθερης επιφάνειας})_2 + (u_2^2/2 \cdot g) + h_f \quad (37)$$

Ή

$$h_1 + z_1 + u_1^2/2 \cdot g = h_2 + z_2 + (u_2^2/2 \cdot g) + h_f \quad (38)$$



Εικόνα 9. Ενεργειακή κλίση

$$H_{o1} = H_{o2} + h_f \quad (39)$$

όπου H_{o1} (m) και H_{o2} (m) είναι τα ολικά ύψη ή φορτία στις διατομές 1 και 2 ενώ h_1 και h_2 είναι τα βάθη της επιφανείας του υγρού στις διατομές 1 και 2. Το βάθος εννοείται κάθετο προς τον πυθμένα του αγωγού. Z_1 και Z_2 είναι τα ύψη του πυθμένα του ανοικτού αγωγού από το επίπεδο αναφοράς. Αν ληφθεί

υπόψη η μη-ομοιομορφία της κατανομής της ταχύτητας σε κάθε μία διατομή τότε,

$$h_1 + z_1 + a_1 \frac{\overline{u_1^2}}{2g} = h_2 + z_2 + a_2 \frac{\overline{u_2^2}}{2g} + h_f \quad (40)$$

Το ποσό της ενεργείας το οποίο μετατρέπεται σε τριβές, δηλαδή η απώλεια φορτίου hf , δύναται να εκφρασθεί και ως,

$$S_f = hf / l \quad (41)$$

όπου l (m) είναι το μήκος του ανοικτού αγωγού επί του οποίου αναφέρονται οι απώλειες ενεργείας (ύψους). Η ποσότητα S , ονομάζεται ενεργειακή κλίση, διότι αντιστοιχεί προς την κλίση μιας ευθείας γραμμής γραφικής παραστάσεως με άξονα των Y την απώλεια ενέργειας ανά μονάδα βάρους hf και άξονα x το μήκος l κατά μήκος του ανοικτού αγωγού. Στην ειδική περίπτωση ομοιόμορφης ροής είναι,

$$u_1 = u_2, a_1 = a_2 \text{ και } h_1 = h_2 \quad (42)$$

τότε η εξίσωση 42 δίδει,

$$hf = z_1 - z_2 \quad (43)$$

Τότε η απώλεια φορτίου ή ύψους ισούται ακριβώς με την πτώση του πυθμένα του ανοικτού αγωγού, στην ίδια απόσταση. Η ενεργειακή κλίση λοιπόν είναι η ίδια με την γεωμετρική κλίση και του πυθμένα του ανοικτού αγωγού αλλά και της ελεύθερης επιφανείας του υγρού ($h_1 = h_2$). Πρέπει να αναφερθεί και πάλι ότι τα ανωτέρω ισχύουν μόνο για την περίπτωση της ομοιόμορφης ροής. Όταν θα αναφερθεί η θεωρία της μή- ομοιομόρφης ροής τότε θα γίνει διάκριση μεταξύ των,

- ✓ ενεργειακής κλίσεως S_f
- ✓ κλίσεως της ελευθέρως επιφανείας S_w και
- ✓ κλίσεως του πυθμένα S_o

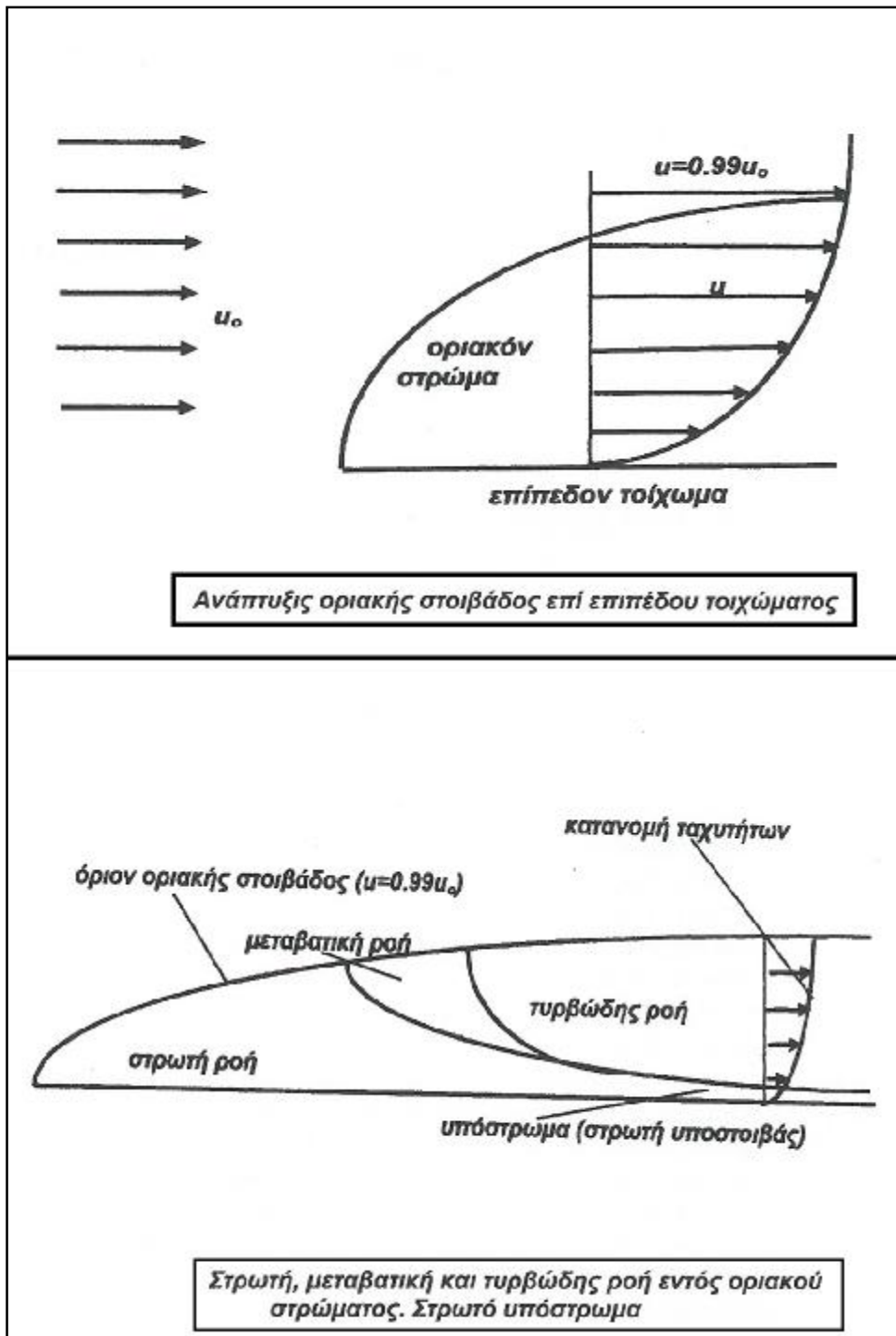
1.4 ΟΡΙΑΚΟ ΣΤΡΩΜΑ ΣΕ ΑΝΟΙΚΤΟΥΣ ΑΓΩΓΟΥΣ

Περιγραφή του οριακού στρώματος

Για την κατανόηση του γνωστικού αντικειμένου της θεωρίας του οριακού στρώματος (boundary layer theory) είναι σκόπιμο η ανάλυση να περιλάβει ροή η οποία περιορίζεται εκ μιας μόνο στερεάς επιφανείας, βλέπε εικόνα 10. Η ροή βαίνει παράλληλα προς το στερεό όριο (τοίχωμα) και η αδιατάρακτος τιμή της ομοιόμορφης ταχύτητας στον ανάντη χώρο είναι U_0 . Καθώς το ρευστό έρχεται σε επαφή προς το στερεό όριο η ταχύτητα του στρώματος του ρευστού το οποίο πρόσκειται προς το τοίχωμα επιβραδύνεται λόγω της τριβής μεταξύ ρευστού-στερεού και ακριβώς επί του τοιχώματος η ταχύτητα αυτή μηδενίζεται. Συνεπεία των ανωτέρω αναπτύσσεται λοιπόν σημαντική διαμητική τάση μεταξύ των στρωμάτων του ρευστού του προσκειμένου επί του τοιχώματος και του αμέσως επομένου στρώματος ροής.

Η περιοχή αυτή των εντόνων διαμητικών τάσεων επεκτείνεται εντός του χώρου της ροής και ονομάζεται οριακό στρώμα. Έξωθεν του οριακού τούτου στρώματος οι αναπτυσσόμενες λόγω τριβών ροής διαμητικές τάσεις είναι σχετικώς μικρές και οφείλονται, κυρίως, στην συνεκτικότητα (ιξώδης δράσης) των μορίων του ρευστού. Η ροή εντός του οριακού στρώματος μπορεί να είναι στρωτή ή τυρβώδης. Παρακάτω φαίνεται μία πιθανή κατανομή του είδους της αναπτυσσομένης ροής εντός του οριακού στρώματος. Η κατ' αρχάς στρωτή ροή που εμφανίζεται στην είσοδο μετατρέπεται (μεταβατική περιοχή) σε τυρβώδη ροή. Σε άμεση επαφή με το στερεό τοίχωμα ευρίσκεται πάντα το οριακό υπόστρωμα εντός του οποίου η ροή είναι στρωτή.

Η μεταβολή της ταχύτητας κατά την κάθετο προς αυτήν διεύθυνση σε τυρβώδες οριακό στρώμα και στον πλησίον των τοιχωμάτων χώρο ροής είναι απότομη. Αντιθέτως, στην περίπτωση στρωτής ροής η μεταβολή αυτή της ταχύτητας είναι ομαλή.



Εικόνα 10. Οριακό στρώμα

Εξισώσεις οριακού στρώματος

Το πάχος του οριακού στρώματος $\delta(m)$, πολλάκις ονομαζόμενο και πάχος της οριακής στοιβάδας, εννοείται ως το μήκος εκ του στερεού ορίου ως το εξωτερικό τμήμα του οριακού στρώματος κατά μήκος της διεύθυνσεως-Υ καθέτου προς το τοίχωμα. Το εξωτερικό όριο του οριακού στρώματος καθορίζεται ως εκεί όπου η ταχύτητα u δίνει,

$$u / u_0 = 0.99 \quad (45)$$

Το πάχος μετατόπισεως $\delta^*(m)$ ορίζεται ως το ολοκλήρωμα,

$$\delta^* = \int_0^{\delta} \left(1 - \frac{u}{u_0} \right) dy \quad (46)$$

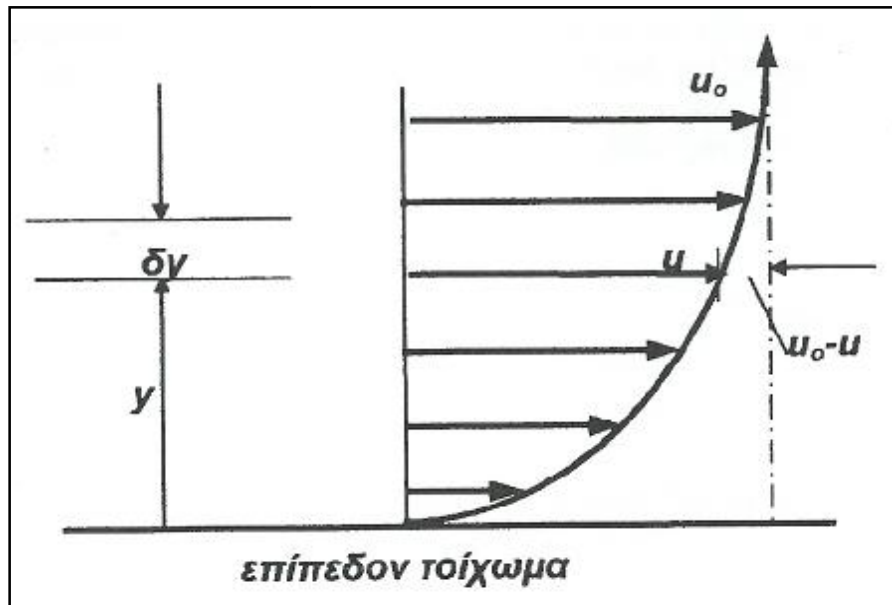
και εκφράζει την "μετατόπιση" του στερεού τοιχώματος κατά απόσταση δ^* . Η παροχή, βλέπε εικόνα 11, διά του οριακού στρώματος είναι μικρότερη της παροχής της κυρίως ροής (έξωθεν του οριακού στρώματος) διά μέσω του ίδιου εμβαδού διατομής.

Αυτό συμβαίνει διότι η ταχύτητα u εντός του οριακού στρώματος είναι μικρότερη της u_0 , ταχύτητα της κύριας ροής. Η ελάττωση της παροχής λόγω της αναπτύξεως του οριακού στρώματος είναι:

$0 \rightarrow \delta$

$$u_0 * \delta = \text{παροχή ανά μονάδα πλάτους} = \int (u_0 - u) dy \quad (47)$$

Είναι δηλαδή η εξίσωση (46).



Εικόνα 11. Κατανομή ταχυτήτων εντός οριακού στρώματος

Το πάχος της ορμής θ (m) δίδεται υπό μιας αναλόγου εξίσωσης της (46) και εκφράζει την ελάττωση της ορμής λόγω μείωσης της ταχύτητας εντός του οριακού στρώματος. Είναι,

$0 \rightarrow \delta$

$$\theta = \int (u/u_0) * (1 - (u/u_0)) dy \quad (48)$$

Είναι δηλαδή η εξίσωση (48). Η ποσότητα $\rho u_0^2 \theta$ (N) ονομάζεται διαμητική δύναμη και εκφράζει την αντίσταση της ροής λόγω των στερεών ορίων. Είναι προφανές ότι εάν L (m) είναι το μήκος του οριακού στρώματος τότε,

$0 \rightarrow L$

$$\rho^* u_0^2 \theta = \int \tau_0 dx \quad (49)$$

όπου x (m) η κατά μήκος απόσταση επί του τοιχώματος και τ_0 (N/m²) η διατμητική τάση επί των τοιχωμάτων.

Παρακάτω δίδονται οι περιπτώσεις ένθα η ροή εντός του οριακού στρώματος είναι κατά πρώτον στρωτή και κατά δεύτερον τυρβώδης.

Στρωτή ροή εντός οριακού στρώματος

Η κατανομή της ταχύτητος εντός στρωτού οριακού στρώματος δύναται, σε μία γενική μορφή, να είναι της μορφής,

$$u/u_0 = [A^*(y/\delta) - B^*(y/\delta)^2] \quad (50)$$

εάν οι τιμές των σταθερών A , B είναι γνωστές τότε η εξίσωση του υπολογισμού του πάχους της ορμής, εξίσωση (48) γράφεται,

$$\delta^* = \int_0^\delta \frac{u}{u_0} \left(1 - \frac{u}{u_0}\right) dy = \int_0^\delta \left[\frac{A y}{\delta} - B \left(\frac{y}{\delta}\right)^2 \right] \left\{ 1 - \left[\frac{A y}{\delta} - B \left(\frac{y}{\delta}\right)^2 \right] \right\} dy \quad (51)$$

και είναι ολοκληρώσιμη. Με τον ίδιο τρόπο η εξίσωση υπολογισμού του πάχους μετατοπίσεως δ εξίσωση (46), δύναται να υπολογισθεί,

$$\delta^* = \int_0^{\delta} \frac{u}{u_0} \left(1 - \frac{u}{u_0}\right) dy = \int_0^{\delta} \left\{1 - \left[A \frac{y}{\delta} - B \left(\frac{y}{\delta}\right)^2\right]\right\} dy \quad (52)$$

Η διατμητική τάση τ_0 επί του τοιχώματος (δηλαδή επί της θέσεως $Y=0.0$ m) υπολογίζεται από την εξίσωση (4),

$$\tau_0 = \mu^* (du/dy) = \mu^* u_0^* (d/dy) [A^*(y/\delta) - B^*(y/\delta)^2]_{y=0} = \mu^* u_0^* [(A/\delta) - (2*B*y/\delta)]_{y=0} = \mu^* u_0^* A/\delta \quad (53)$$

Τυρβώδης ροή εντός οριακού στρώματος

Έξωθεν του στρωτού οριακού υποστρώματος και εντός του χώρου της αναπτύξεως της τυρβώδους οριακής στοιβάδας έχει επιβεβαιωθεί πειραματικώς ο νόμος της κατανομής του 1/7 (Prandtl). Ισχύει δηλαδή,

$$u/u_0 = (y/\delta)^{1/7} \quad (54)$$

Η αντικατάσταση της ανωτέρω κατανομής των ταχυτήτων στην εξίσωση (46) δίνει την τιμή της δ . Ομοίως, από την εξίσωση (48) υπολογίζεται η τιμή του θ . Πρόβλημα προκύπτει κατά τον υπολογισμό της διατμητικής τάσεως το όπου στην θέση $y=0.0$ m η τιμή du/dy μηδενίζεται. Μετρήσεις δείχνουν ότι,

$$\tau_0 = (0.023 * \rho^* u_0^2) / Re_{\delta}^{1/4} \quad (55)$$

όπου,

$$Re = (\rho \cdot u_0 \cdot \delta) / \mu = u_0 \cdot \delta / \nu \quad (56)$$

Το οριακό στρώμα στους ανοικτούς αγωγούς

Όπως αποδεικνύεται εκ της θεωρίας επί των κλειστών αγωγών, ο συντελεστής τριβής της ροής είναι συνδεδεμένος μετά της σχετικής τραχύτητας $\frac{k}{D}$ των τοιχωμάτων του αγωγού, όπου k (m) είναι η τραχύτητα της επιφανείας και D είναι η εσωτερική διάμετρος του αγωγού. Είναι φυσικό λοιπόν να αναμένεται ότι στους ανοικτούς αγωγούς ο συντελεστής τριβής κατά Chezy C να είναι και αυτός συνδεδεμένος με την τραχύτητα των ορίων του ανοικτού αγωγού.

Όπως στους υπό πίεση αγωγούς κυκλικής διατομής η διάμετρος θεωρείται ως βασικό χαρακτηριστικό της γεωμετρίας όπως και στους ανοικτούς αγωγούς η υδραυλική ακτίνα R εξυπηρετεί ως χαρακτηριστικό μέγεθος στις μετρήσεις στους ανοικτούς αγωγούς. Η θεώρηση της διατμητικής τάσεως επί των ορίων του ανοικτού αγωγού δείχνει ότι ο συντελεστής κατά Chezy C συνδέεται μετά του συντελεστού τριβής f με την εξίσωση,

$$C = (2 \cdot g / f)^{1/2} \quad (57)$$

Τα σχετικά λοιπόν διαγράμματα τα οποία συνδέονται με την υδραυλική μελέτη των κλειστών αγωγών, διαγράμματα τριβής κατά Moody, δύνανται να επαναχρησιμοποιηθούν αν βεβαίως πραγματοποιηθεί η αντικατάσταση της διαμέτρου D των κλειστών αγωγών με την τιμή $4R$ διότι στους κλειστούς αγωγούς (κυκλικής διατομής) ισχύει ότι,

$$R=A/P = [(\pi*d^2) / 4] / \pi *d = d/4 \quad (58)$$

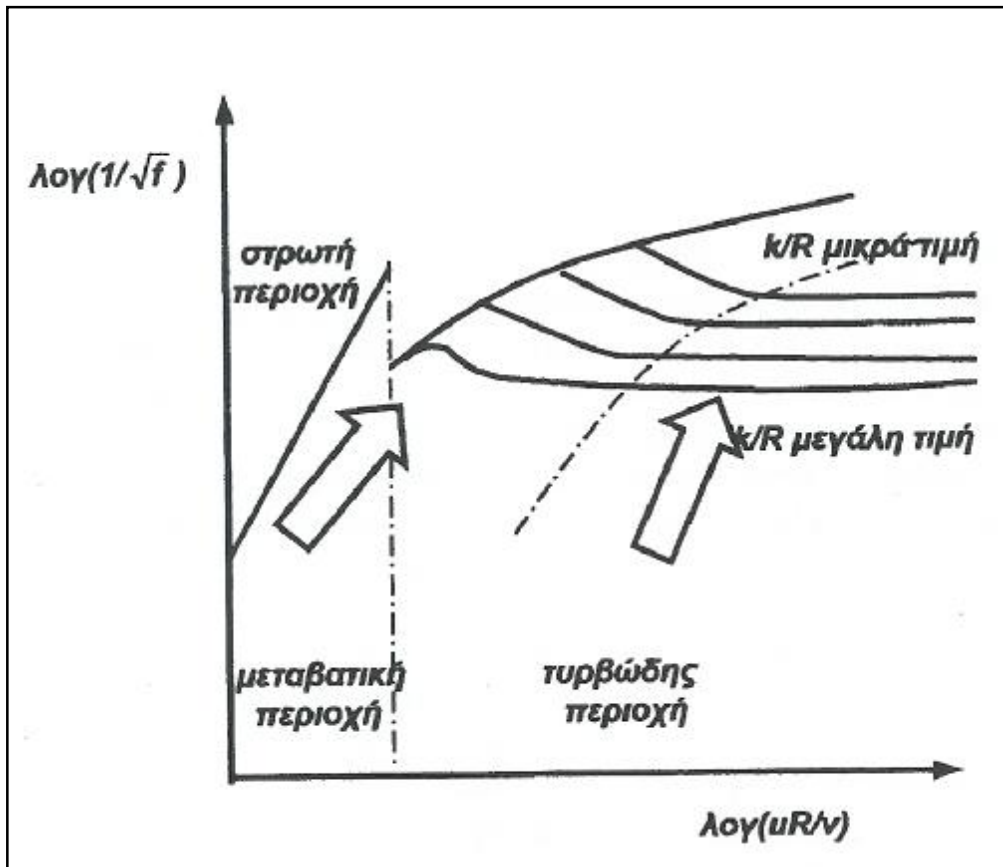
Η παρακάτω εικόνα δείχνει τον τρόπο με τον οποίο αναμένεται να εξαρτάται ο συντελεστής C με τον αριθμό Reynolds. Στην τραχεία ζώνη της γραφικής παραστάσεως ο συντελεστής C είναι σταθερός διά μία επί μέρους τιμή του λόγου τραχύτητας $\frac{k}{R}$ και επομένως είναι προφανές ότι η εξίσωση κατά Manning δύναται να εφαρμοσθεί με σχετικώς μεγάλη ακρίβεια. Για την τραχεία ζώνη η κάτωθι εξίσωση δίνει τον τρόπο της μεταβολής του συντελεστού τραχύτητας f σε τυρβώδη ροή και εντός τραχέων κλειστών αγωγών κυκλικής διατομής,

$$f^{-1/2} = 4.0 \log(k/D) + 2.28 \quad (59)$$

ή

$$C / (2*g)^{1/2} = 4.0 \log(k/D) + 2.28 \quad (60)$$

Δι' αντικατάστασεως του D με 4R εκ της εξισώσεως (58) και επίσης δι' αντικαταστάσεως του συντελεστού C με $R^{1/6}$ ηείναι,



Εικόνα 12. Διάγραμμα Moody

$$R^{1/6}/n \cdot 19.62^{1/2} = 4.0 \log(4R/k) + 2.28 \quad (61)$$

επομένως,

$$n = 0.0564 \cdot R^{1/6} / \log(14.86 \cdot R/k) \quad (62)$$

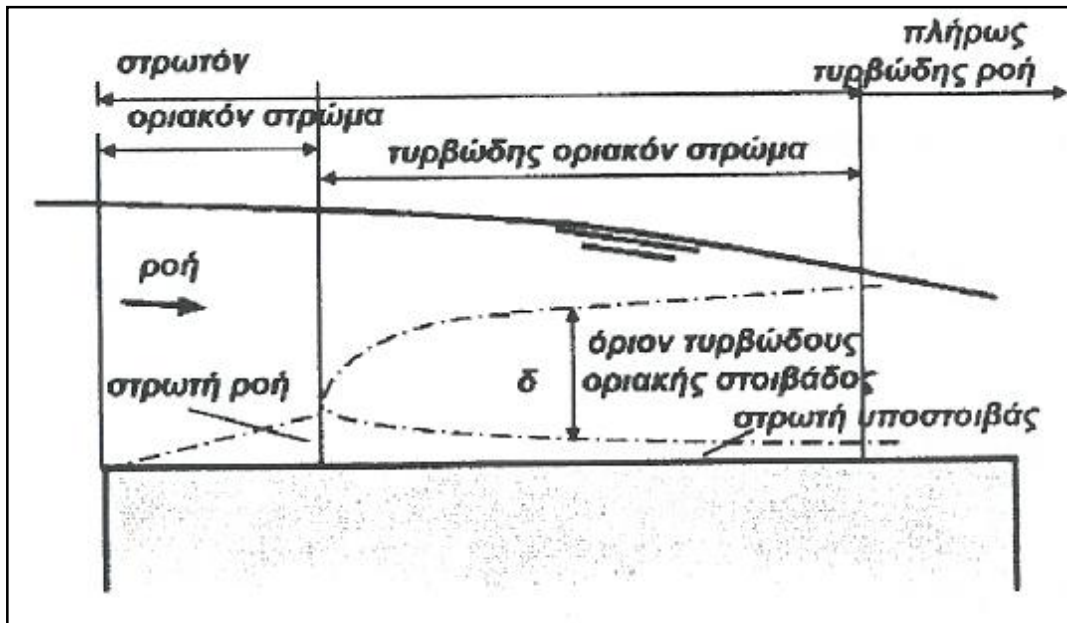
Επειδή όμως η ροή στους ανοικτούς αγωγούς είναι κάθε τι άλλο παρά συμμετρικώς διευθετημένη, οι αριθμητικοί συντελεστές της ανωτέρω εξίσωσης έχουν μεγάλη ασάφεια. Παρά ταύτα η εξίσωση (61) δείχνει ότι με λογαριθμική κατανομή της τραχύτητας στους ανοικτούς αγωγούς σε τουρβώδη ροή, ο συντελεστής κατά Manning n έχει μικρότερο βαθμό εξαρτήσεως εκ του συντελεστή τραχύτητας k και ακόμη μικρότερη εκ της υδραυλικής ακτίνας R . Έχουν πραγματοποιηθεί βεβαίως αρκετές προσπάθειες για την συσχέτιση

θεωριών τυρβώδους ροής εντός κλειστών αγωγών με τυρβώδη ροή εντός ανοικτών αγωγών.

Αλλά οι δυσκολίες των ερευνητικών προσπαθειών είναι μεγάλες διότι τα αποτελέσματα ροής με ελεύθερη επιφάνεια και με μη-συμμετρική κατανομή διατμητικής τάσεως περίξ της υγρής περιμέτρου των αγωγών είναι αβέβαια. Προφανώς τα ανωτέρω ισχύουν για ροή εντός ανοικτών αγωγών με σταθερά γεωμετρικά όρια. Στην περίπτωση όπου υπάρχει και μετακίνηση ύλης και κατά συνέπεια διαμόρφωσης νέων θέσεων των γεωμετρικών ορίων του πυθμένα και των πρηνών τότε τα αποτελέσματα είναι πολύπλοκα και η θεωρητική μελέτη της κατανομής της ταχύτητας δυσκολότερη. Περαιτέρω όμως λεπτομέρειες ξεφεύγουν του αρχικού σκοπού του παρόντος μαθήματος.

Υδραυλικώς ήπια και τραχέα στερεά όρια

Οι στερεές επιφάνειες οι οποίες περιβάλλουν την ροή των ανοικτών αγωγών δύναται να χαρακτηρισθούν ως υδραυλικώς ήπιες ή τραχείς λαμβάνοντας ως κριτήριο το πάχος της στρωτής οριακής υποστοιβάδος (υποστρώματος), παρακάτω εικόνα, και του μεγέθους του συντελεστού της τραχύτητας της επιφανείας k . Εάν το μέγεθος της τραχύτητας είναι τοιούτον ώστε να καλύπτεται πλήρως υπό της στρωτής υποστοιβάδος τότε εξ ορισμού το στερεό όριο είναι υδραυλικώς ήπιο.



Εικόνα 13. Περιοχές διαγράμματος Moody

Σε αυτήν την περίπτωση η τραχύτητα δεν επιδρά επί της ροής πλην μόνο εντός της οριακής υποστοιβάδος. Τουναντίον εάν τα μεγέθη της τραχύτητας είναι τόσο μεγάλα ώστε να προβάλλουν διά της οριακής στοιβάδος, τότε εξ ορισμού το στερεό όριο είναι υδραυλικώς τραχύ και η ροή έξωθεν της στρωτής οριακής υποστοιβάδος εξαρτάται από την τραχύτητα. Ισχύουν τα κάτωθι όρια, French (1986),

υδραυλικώς ήπιο στερεό όριο,

$$0 \leq k^*u/v \leq 5.0 \quad (63)$$

μεταβατικό στερεό όριο,

$$5.0 \leq k^*u/v \leq 70.0 \quad (64)$$

υδραυλικώς τραχύ στερεό όριο,

$$70.0 \leq k \cdot u / \nu \quad (65)$$

όπου u η διατμητική ταχύτης,

$$u = (g \cdot R \cdot S)^{0.5} \quad (66)$$

1.5 ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΔΙΑΤΟΜΗ

Θεωρητικό υπόβαθρο μέγιστης παροχής

Οι εξισώσεις κατά Chezy και κατά Manning, ή οποιαδήποτε άλλη σχέση η οποία δύναται να περιγράψει την ομοιόμορφη ροή στους ανοικτούς αγωγούς δείχνουν ότι για οποιανδήποτε δοθείσα κλίση S τραχύτητα επιφάνειας n ή m κατά περίπτωση και διατομή A , η παροχή Q αυξάνει καθώς αυξάνει η υδραυλική ακτίνα R . Ούτως, για δοθείσα διατομή A , η παροχή είναι η μέγιστη δυνατή όταν το R είναι το μέγιστο δυνατό, δηλαδή όταν η υγρή περίμετρος P είναι ελαχίστη διότι $R = A/P$. Μία διατομή η οποία έχει τέτοιο σχήμα ώστε η βρεχόμενη περίμετρος να είναι η ελαχίστη τότε από υδραυλικής απόψεως είναι η πλέον αποτελεσματική.

Με αυτόν τον τρόπο όχι μόνο θα αυξηθεί η παροχή Q αλλά η ελαχίστη βρεχόμενη περίμετρος απαιτεί, όπως είναι και φυσικό άλλωστε, το ελάχιστο υλικό επιστρώσεως και ούτως η πλέον αποδοτική διατομή είναι και η πλέον φθηνή. Πρέπει όμως να αναφερθεί ότι σε πάρα πολλές υδραυλικές κατασκευές η χρήση διατομής μέγιστης παροχής δεν είναι και το μοναδικό κριτήριο εφαρμογής. Υπάρχουν και άλλοι λόγοι οι οποίοι επιδρούν τελικώς στην τελική εκλογή της διατομής του ανοικτού αγωγού. Αν όμως η υδραυλική απόδοση είναι το τελικό κριτήριο για την κατασκευή, τότε ο καθορισμός της πλέον αποτελεσματικής διατομής για δοθείσα επιφάνεια πραγματοποιείται αν ληφθεί μία έκφραση για την υδραυλική ακτίνα και εάν διαφορισθεί θέτοντάς την ίση προς μηδέν.

Για παράδειγμα για έναν ανοικτό αγωγό, βλέπε εικόνα 14, ο οποίος είναι ένα συμμετρικό τραπέζιο με οριζόντια βάση πλάτους b , κλίση πρανών ϕ είναι,

$$A = b \cdot h + h^2 \cdot \sigma \phi \phi \quad (67)$$

$$P = b + (2 \cdot h / \eta \mu \varphi) \quad (68)$$

άρα,

$$P = A/P = A / (b + (2 \cdot h / \eta \mu \varphi)) \quad (69)$$

Για δοθείσα τιμή A, η R είναι μέγιστη όταν ο παρανομαστής είναι ελάχιστος, δηλαδή,

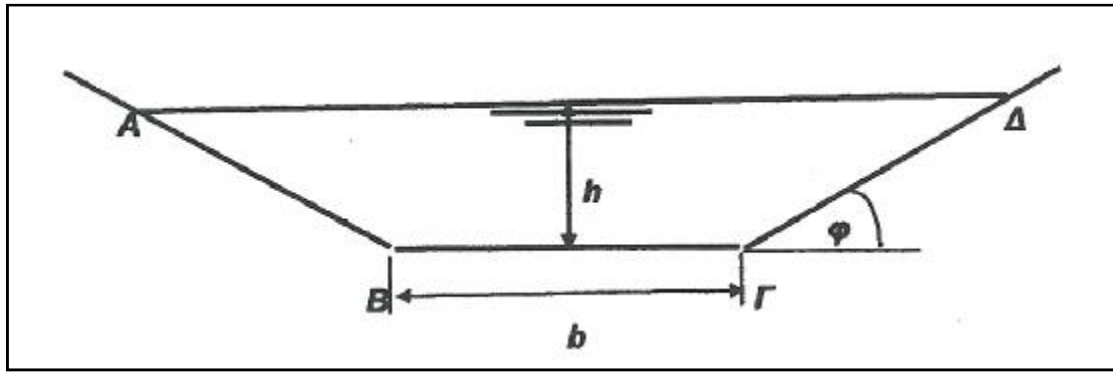
$$D(\text{παρανομαστή})/dh = 0 \quad (70)$$

ή,

$$(-A/h^2) - \sigma \varphi + 2/\eta \mu \varphi = 0 \quad (71)$$

Η δευτέρα παράγωγος είναι ίση προς $\frac{2A}{h^3}$ και είναι θετική ποσότητα διότι οι φυσικές τιμές των A και h είναι θετικές, και ως εκ τούτου υπάρχει ελάχιστον. Ούτως λοιπόν,

$$A = h^2 \cdot ((2/\eta \mu \varphi) - \sigma \varphi) \quad (72)$$



Εικόνα 14. Τραπεζοειδής διατομή.

Αντικαθιστώντας έχουμε :

$$R_{\max} = h / 2 \quad (74)$$

Ούτως, για να ληφθεί η μεγαλύτερη απόδοση εκ του ανοικτού τραπεζοειδούς διατομής αγωγού πρέπει να ληφθούν οι αναλογίες κατά τοιούτον τρόπον του ώστε η υδραυλική ακτίνα R να είναι το ήμισυ του βάθους στο κέντρο της ροής.

Προκειμένου περί ορθογωνικών διατομών όπου δηλαδή $\varphi = 90.00$, τότε το $R_{\max} = h/2$ και επειδή $A = b \cdot h = 2 \cdot h^2$ (εκ της εξίσωσης (72) δοθέντος ότι $\varphi = 90.00$), πρέπει να είναι,

$$b = 2 \cdot h \quad (75)$$

Εάν τώρα το φ είναι μεταβλητή ποσότητα τότε δύναται να αποδειχθεί ότι το ελάχιστον της βρεχόμενης περιμέτρου και ως εκ τούτου το μέγιστο R λαμβάνεται όταν $\varphi = 60.00$. Όλα τα ανωτέρω ισχύουν για ανοικτούς αγωγούς με σταθερά τοιχώματα (πρανή). Για αγωγούς των οποίων τα τοιχώματα είναι

διαβρώσιμα, αποτελούνται δηλαδή εξ υλικών όπως Π.χ. άμμος, πηλός κλπ, ο σχεδιασμός πρέπει να λάβει υπ' όψιν του την κρίσιμη επιφανειακή τάση T_{crit} επί των ορίων.

1.6 ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ

Θεωρητικό υπόβαθρο διατμητικής τάσεως

Ας θεωρηθεί ότι ο πυθμένας και τα πρηνή ανοικτού αγωγού είναι επιστρωμένα με στερεά σωματίδια ομοιομόρφου μεγέθους τα οποία είναι δυνατόν να μετατοπισθούν. Έστω ότι ο φυσικός ή τεχνητός αυτός ανοικτός αγωγός παροχετεύει ρευστό. Να υποτεθεί ότι η διατομή είναι σταθερά σε όλο το μήκος του αγωγού και ότι η ροή είναι σταθερά ως προς τον χρόνο.

Καθώς αρχίζει η ροή, οι υδροδυναμικές δυνάμεις εξασκούνται επί όλων των σωματιδίων του πυθμένα και των πρηνών. Εάν αυξηθεί η ταχύτητα ροής του ρευστού προφανώς θα αυξηθούν και οι επενεργούμενες δυνάμεις επί των σωματιδίων τούτων. Τα πρώτα σωματίδια θα αρχίζουν να μετακινούνται όταν δεν θα δυνηθούν να υπερνικήσουν τις δρώσες επ' αυτών υδροδυναμικές δυνάμεις. Η πρώτη αυτή κίνηση των σωματιδίων ονομάζεται κρίσιμη συνθήκη και επιστημονικά έχει γίνει προσπάθεια να εξηγηθεί για διάφορους τρόπους, οι κυριότεροι των οποίων είναι:

- α) θεώρηση κρίσιμων ταχυτήτων,
- β) κρίσιμη διατμητική τάση
- γ) θεώρησης ανυψωτικής δύναμης

Από τεχνικής απόψεως πρέπει να δοκιμασθεί η σταθερότητα του πυθμένα και των πρηνών, ούτως ώστε να αποφευχθεί η διάβρωση των από το ρέον ρευστό. Παλαιότερα, η θεώρηση κρίσιμων ταχυτήτων υποχρέωνε τον καθορισμό δι' ένα έκαστο υλικό επικαλύψεως ένα ανώτατον όριο ταχύτητας που υποτίθεται εξασφάλιζε την σταθερότητα του πυθμένα και των πρηνών. Η διεθνής πραγματικότητα προσανατολίζεται για την χρήση της κρίσιμου διατμητικής τάσεως T_{crit} .

Κατά την θεωρία η ανάπτυξη διατμητικής τάσεως εντός ενός ανοικτού

αγωγού μεγάλου πλάτους, με ομοιόμορφες συνθήκες ροής, με κλίση S_0 και βάθος ύδατος h_n είναι,

$$T_0 = \rho * g * h_n * S_0 \quad (76)$$

Στην πλέον γενική περίπτωση, ένθα το πλάτος του αγωγού δεν θεωρείται ότι είναι μεγάλο, ισχύει η εξίσωση,

$$T_0 = \rho * g * R * S_0 \quad (77)$$

Ονομάζεται κρίσιμη διατμητική τάση $\tau_{0\ cr}$ η διατμητική τάση πέραν της οποίας τα υλικά του πυθμένα αρχίζουν να μετακινούνται. Εάν ονομασθεί ως κρίσιμη διατμητική ταχύτητα η u (m/s), τότε η κάτωθι εξίσωση συσχετίζει την διατμητική ταχύτητα και την διατμητική τάση,

$$u = (T_0/\rho)^{0.5} \quad (78)$$

Η καμπύλη του Shields, Graf (1984), προσδιορίζεται εκ της εξισώσεως,

$$\tau_{0\ cr}/(\rho_s - \rho)*g*h = \text{συνάρτηση}(h*u/\nu) \quad (79)$$

ένθα ρ_s (kg/m^3) η πυκνότητα του υλικού επικαλύψεως του πυθμένα και πρηνών και ρ (kg/m^3) η πυκνότητα του ρέοντος ρευστού.

Απλές εξισώσεις

υπολογισμού κρίσιμου διατμητικής τάσεως

Προκειμένου περί υλικών επικαλύψεως μέσης διαμέτρου: $d \geq 0.006$ m, ισχύει Graf (1984),

$$\tau_{0cr} = 0.076 * (\rho_s - \rho) * h \text{ kg/m}^2 \quad (80)$$

Δι' υλικά διαμέτρου: $0.0001 \leq d \leq 0.003$ m, ισχύει Graf (1984),

$$\tau_{0cr} = 0.000285 * (\rho_s - \rho) * h^{1/3} \text{ kg/m}^2 \quad (81)$$

ενώ ισχύει μεταβατική ζώνη μεταξύ των ανωτέρω δύο περιπτώσεων.

Προκειμένου περί αδρών, μή-συνεκτικών υλικών η κρίσιμος διατμητική τάση αυτή εκφράζεται σε Kg^*/m^2 με τον ίδιο αριθμό όπως και η διάμετρος των υλικών εκφρασθείσα σε cm στην οποία αντιστοιχεί το 75.0% των υλικών με μικρότερη διάμετρο. Η διάμετρος αυτή υπολογίζεται εκ της καμπύλης κοκκομετρικής συνθέσεως και παριστάνεται με το d_{75} . Με περιθώριο ασφαλείας, Lencastre (1987), είναι,

$$\tau_{0cr} (\text{ kg/m}^2) = 0.08 * d_{75} (\text{cm}) \quad (82)$$

Η ανωτέρω εξίσωση είναι εφαρμόσιμη επί υλικών πυκνότητας ίση προς $2560.0 \text{ Kg} / \text{m}^3$.

Επίδραση των πρανών

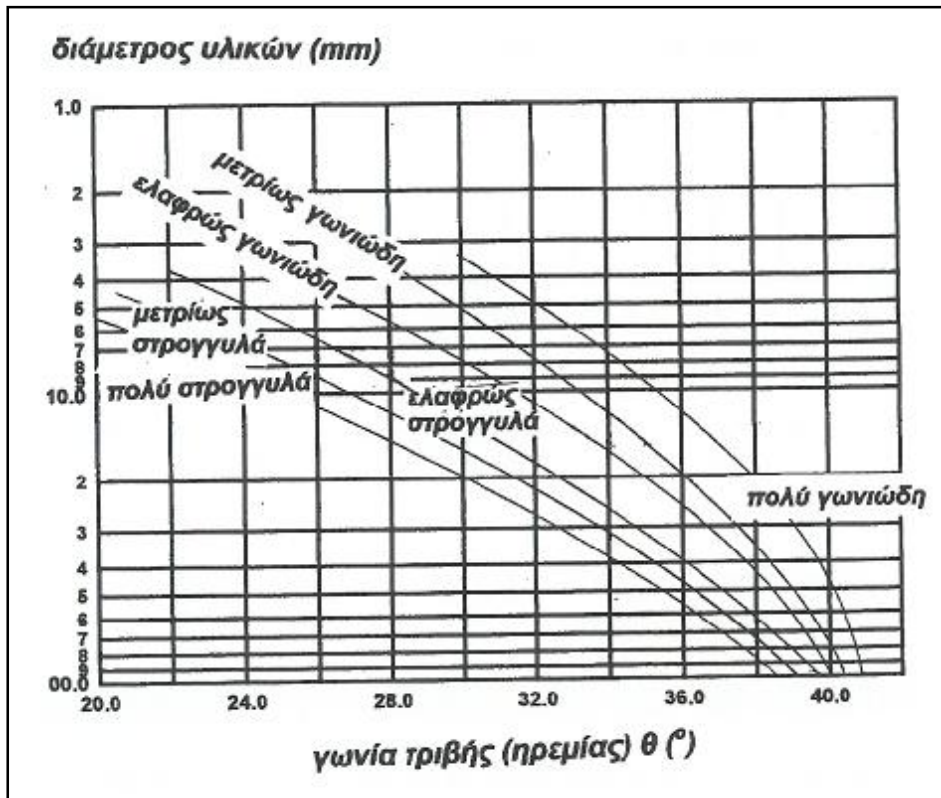
Επί σχεδόν οριζοντίου πυθμένα ανοικτών αγωγών, η έναρξη της μεταφοράς των υλικών εξαρτάται αποκλειστικώς εκ της κρίσιμης διατμητικής τάσεως T_{0cr} . Η διατμητική αυτή τάση είναι το τελικό αποτέλεσμα των υδροδυναμικών δυνάμεων οι οποίες ωθούν τα σωματίδια προς τα κατόντη στην διεύθυνση ροής. Επί των πρανών όμως επιπλέον των υδροδυναμικών δυνάμεων υπάρχουν και οι δυνάμεις βαρύτητας οι οποίες ωθούν τα σωματίδια στην διεύθυνση της κλίσεως των πρανών. Προκειμένου περί υλικού αδρού και μη-συνεκτικού και εκ πρακτικής απόψεως οι επιπλέον αυτές δυνάμεις δύναται να εκφρασθούν υπό ενός συντελεστού K οποίος ορίζεται εκ του λόγου της αναγκαίας κρίσιμης διατμητικής τάσεως διά την μετακίνηση του υλικού των πρανών προς την κρίσιμη διατμητική τάση διά την μετακίνηση του ίδιου υλικού όταν τούτο ευρίσκεται τοποθετημένο επί του οριζοντίου πυθμένα. Άρα,

$$T'_{0cr} = K * T_{0cr} \quad (83)$$

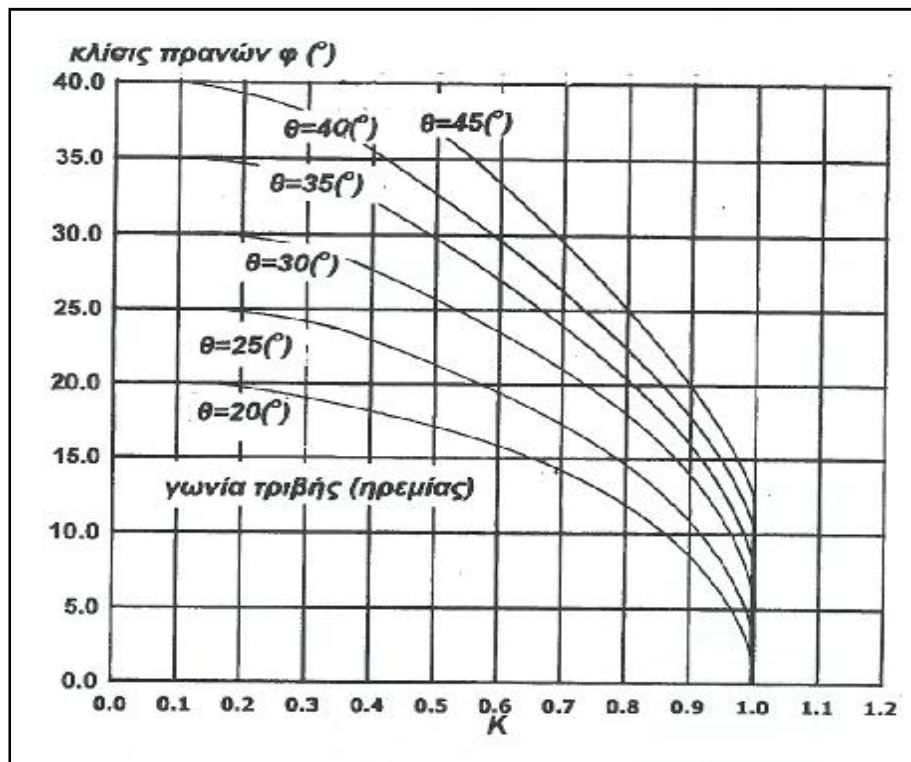
Η τιμή του συντελεστού K δίδεται, Graf (1984), ως,

$$K = \frac{\cos\varphi}{\sin\theta} \sqrt{1 - \frac{\varepsilon\varphi^2}{\varepsilon\theta^2}} \quad (84)$$

όπου φ η γωνία των πρανών του ανοικτού αγωγού με το οριζόντιο επίπεδο και θ η γωνία τριβής του υλικού. Οι τιμές των θ και K δίδονται παρακάτω.



Εικόνα 15. Μεταβολή της γωνίας ηρεμίας σε σχέση με τη διάμετρο των υλικών



Εικόνα 16. Μεταβολή του K σε σχέση με την κλίση των πρανών

1.7 ΕΙΔΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Ορισμός ειδικής ενεργείας

Η επίλυση πλείστων προβλημάτων ροής εντός ανοικτών αγωγών υποβοηθείται υπό του όρου της ειδικής ενέργειας E (m). Η διαθέσιμη ενέργεια του ρέοντος ρευστού σε δοθέν σημείο διατομής ανοικτού αγωγού εν αναφορά προς τον πυθμένα του αγωγού ονομάζεται ειδική ενέργεια ή ειδικό φορτίο. Όπως αναφέρθηκε, το ολικό ύψος H (m) δηλαδή η ολική ενέργεια ανά μονάδα βάρους του υγρού, δίδεται από την εξίσωση,

$$H_0 = (P/\rho * g) + (u^2/2 * g) + z \quad (85)$$

όπου το z αναπαριστά το ύψος του σημείου εφαρμογής της εξισώσεως υπεράνω οριζοντίου επιπέδου που λαμβάνεται ως χώρος αναφοράς. Αν η κλίση του ανοικτού αγωγού είναι μικρή και αν οι ροϊκές γραμμές είναι ευθείς και παράλληλες μεταξύ τους τότε η μεταβολή της πίεσεως με το βάθος του υγρού είναι υδροστατική και τότε και μόνο το άθροισμα είναι ισοδύναμο με το $\rho * g$ ύψος της ελευθέρως επιφανείας του υγρού εκ του επιπέδου αναφοράς, $h+z$.

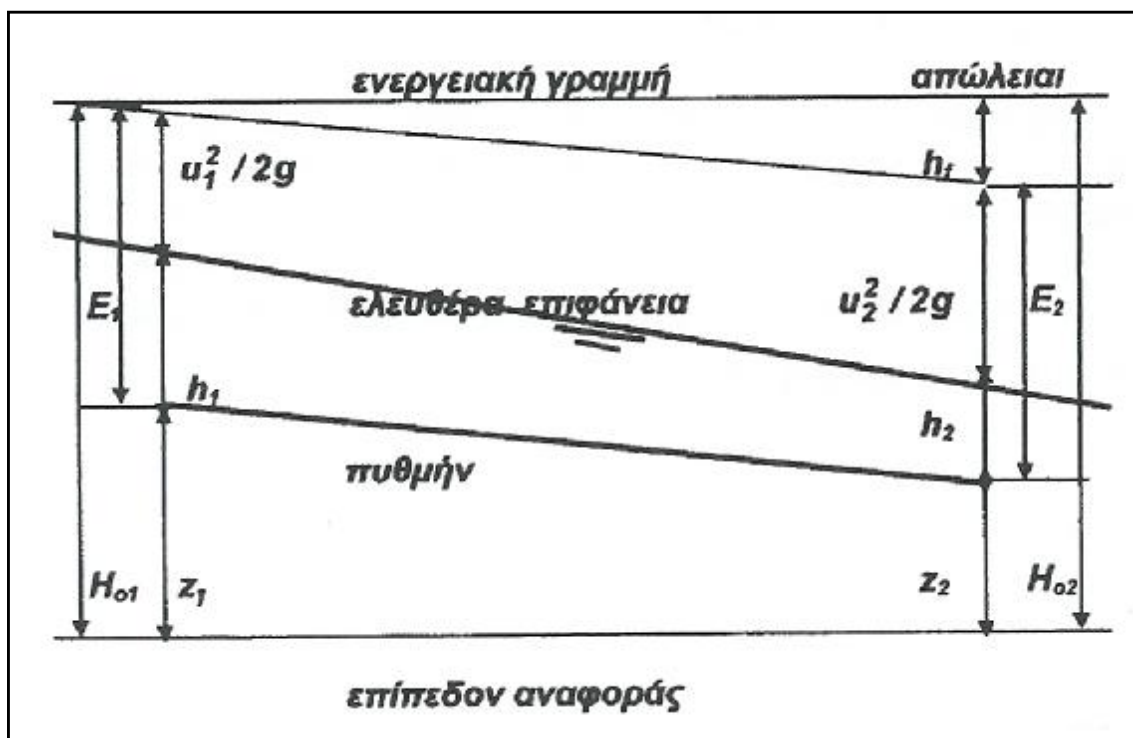
Εν αντιδιαστολή προς το ολικό ύψος H_0 , το οποίο μετρείται εκ του επιπέδου αναφοράς, η ειδική ενέργεια E μετρείται ως ανεφέρθη από τον πυθμένα. Δηλαδή, η ειδική ενέργεια σε ένα σημείο δίδεται ως,

$$E = h + \frac{u^2}{2g} \quad (86)$$

Είναι αναγκαίο όπως η υπό μελέτη ροή να δίνει είτε ομοιόμορφη ροή είτε βαθμιαίως μεταβαλλόμενη. Να αναφερθεί επίσης ότι κλίσεις πυθμένα

αγωγού τάξεως μεγαλύτερης του 0.1% επιφέρουν σημαντική ταχύτητα ροής και κατά συνέπεια ασταθή ροή, γεγονός το οποίο είναι αντίθετο προς τις παραδοχές ισχύος των εξισώσεων (85) και (86)

Λόγω των αναπτυσσομένων τριβών το ολικό ύψος H_0 μειώνεται προς την διεύθυνση της ροής ενώ η ειδική ενέργεια E δύναται να αυξάνει ή να μειώνεται ή να μένει σταθερά στην περίπτωση ομοιόμορφης ροής. Πρέπει να τονισθεί ότι η ειδική ενέργεια δεν αναπαριστά όλη την διαθέσιμη ενέργεια του ρέοντος ρευστού ανά μονάδα βάρους του υγρού διότι αναφέρεται σε ένα δεδομένο επίπεδο πυθμένα ο οποίος δεν είναι κατ' ανάγκην οριζόντιος. Δύναται να ληφθεί μία γεωμετρική αναπαράσταση των ανωτέρω εννοιών θεωρώντας την παρακάτω εικόνα. Ας θεωρηθεί μία γραμμή σε απόσταση $u^2/2g$ υπεράνω της επιφανείας του υγρού. Το ύψος της γραμμής αυτής λέγεται ενεργειακή γραμμή. Υπεράνω ενός οριζοντίου επιπέδου ονομάζεται ολικό ύψος του υγρού ενώ το ύψος της ενεργειακής γραμμής υπεράνω του πυθμένα του αγωγού αναπαριστά την ειδική ενέργεια E .



Εικόνα 17. Ειδική ενέργεια της ροής

Επειδή δε η μέση ταχύτητα u είναι,

$$u = Q / A \quad (87)$$

τότε,

$$E = h + \frac{u^2}{2g} = h + \frac{Q^2}{2gA^2} \quad (88)$$

Ορθογωνική διατομή

Ας θεωρηθεί ότι υπάρχει ένας πλατύς ανοικτός αγωγός ορθογωνικής διατομής. Οι αρχές της ειδικής ενέργειας εφαρμόζονται και σε ανοικτούς αγωγούς οιασδήποτε διατομής. Εάν το πλάτος ενός ορθογωνικής διατομής αγωγού είναι b τότε Q/b είναι η παροχή ανά μονάδα πλάτους και συμβολίζεται με q (m^2/s), δηλαδή,

$$q = Q / b \quad (89)$$

Εκ της εξίσωσης(88),

$$E = h + \frac{Q^2}{2g(bh)^2} = h + \frac{1}{2g} \frac{q^2}{h^2} \quad (90)$$

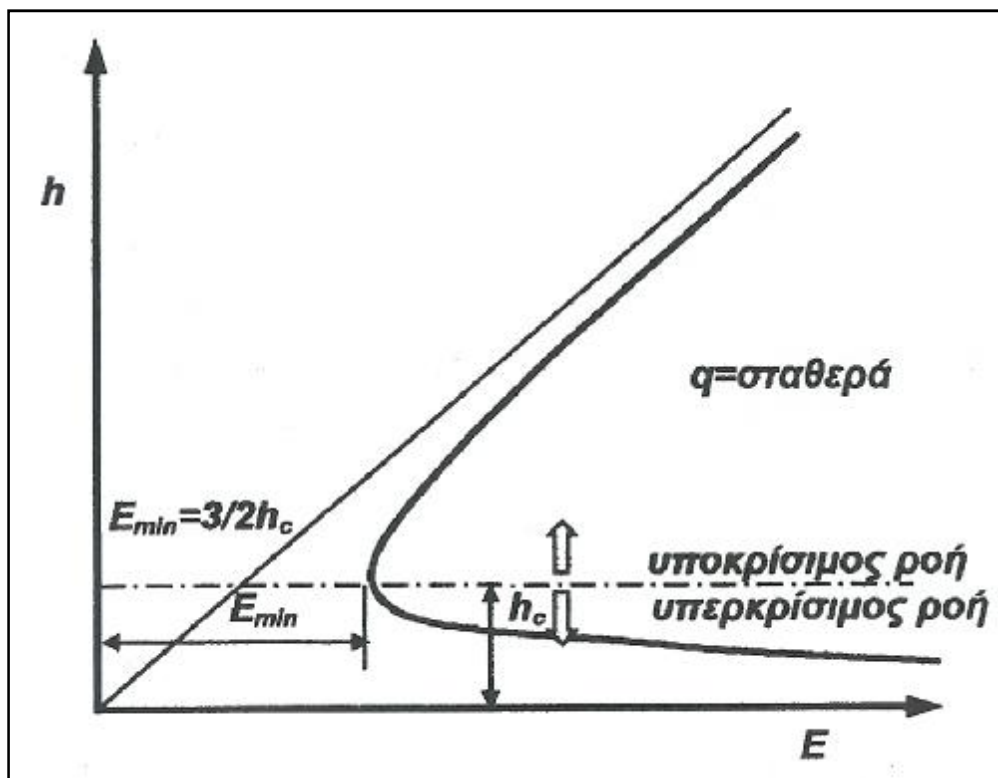
Η ανωτέρω εξίσωση συσχετίζει την ειδική ενέργεια E , το βάθος ροής h και την ειδική παροχή q . Οποιαδήποτε εκ των ανωτέρω μεταβλητών δύναται να θεωρηθεί ότι εξαρτάται εκ των άλλων δύο. Οι δύο πλέον σημαντικές

περιπτώσεις είναι,

α) η q είναι σταθερά ενώ μεταβάλλονται E και h ,

β) η E είναι σταθερά ενώ μεταβάλλονται q και h .

Οι γραφικές παραστάσεις των ανωτέρω δύο καμπυλών δεικνύονται παρακάτω.



Εικόνα 18. Ενεργοδιάγραμμα, Ειδικής ενέργειας και βάθους ροής.

Διάγραμμα $h - E$ για σταθερά παροχή q

Ας θεωρηθεί το παραπάνω διάγραμμα το οποίο είναι γνωστό ως διάγραμμα της ειδικής ενεργείας. Με την παροχή ανά μονάδα πλάτους q

σταθερή, μικρά τιμή της h αντιστοιχεί προς υψηλή ταχύτητα (κινητικό ύψος) $u^2/2g$ και καθώς το h τείνει προς το μηδέν το $u^2/2g$ τείνει προς το άπειρον όπως επίσης και το E . Ούτως η καμπύλη της ειδικής ενεργείας είναι ασύμπτωτος προς τον άξονα E . Αντιστρόφως, καθώς το h αυξάνει η ταχύτητα μικραίνει και το $u^2/2g$ είναι αισθητώς μικρότερο του h , ούτως η ειδική ενέργεια E τείνει προς το h . Εκ των ανωτέρω το άνω τμήμα της καμπύλης του διαγράμματος της ειδικής ενεργείας είναι ασύμπτωτος προς την γραμμή $E = h$, η οποία, εφ' όσον βεβαίως χρησιμοποιούνται ίδιες κλίμακες μετρήσεων επί των δύο αξόνων h και E , έχει και κλίση ίση προς την μονάδα. Μεταξύ των δύο μεγίστων υπάρχει ένα ελάχιστο. Το ελάχιστο αναφέρεται επί μιας τιμής h οποία είναι γνωστή ως κρίσιμο βάθος ροής h_c . Για οποιανδήποτε άλλη τιμή E εκτός της ελαχίστης υπάρχουν δύο τιμές της E μία μικρότερη και μία μεγαλύτερη του κρίσιμου βάθους ροής h_c . Οι δύο αυτές τιμές είναι γνωστές ως εναλλακτικά βάθη ροής.

Οι συνθήκες για κρίσιμο βάθος ροής δύνανται να καθορισθούν διαφορίζοντας ως προς h την εξίσωση (90). Ούτως,

$$\frac{\partial E}{\partial h} = 1 + \frac{q^2}{2g} \left(-\frac{2}{h^3} \right) \quad (91)$$

Η ανωτέρω μερική παράγωγος μηδενίζεται όταν,

$$q^2 / g \cdot h^3 = 1 + (q^2/2g) \cdot (-2/h^3) \quad (92)$$

ή,

$$h = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} - h_c \quad (93)$$

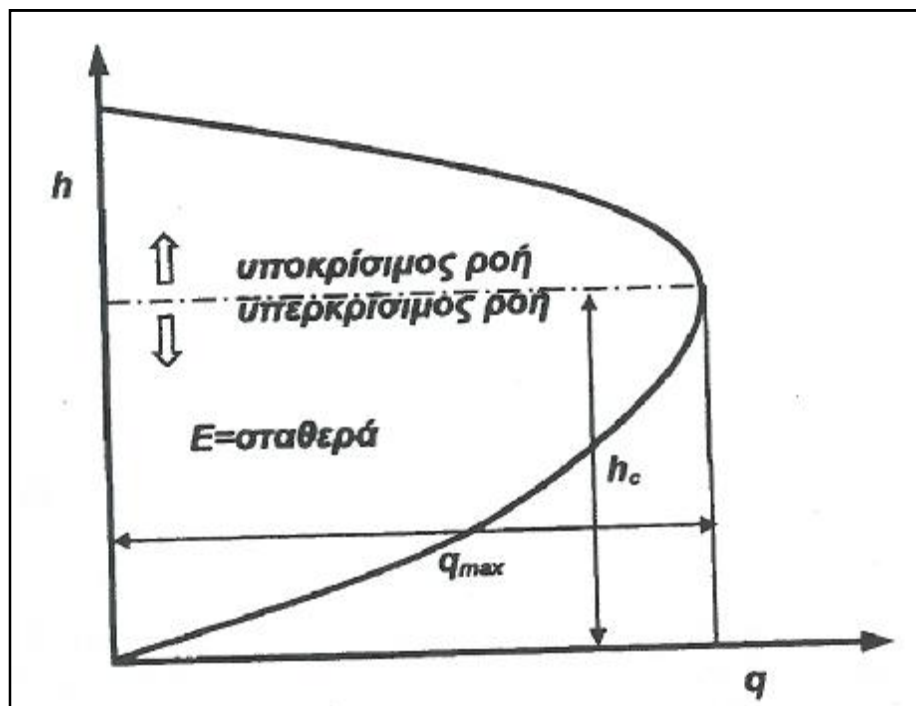
Η αντίστοιχη ελαχίστη τιμή του E υπολογίζεται εάν αντικατασταθεί η

$h_c = (q^2/g)^{2/3}$ τιμή του E υπολογίζεται εάν αντικατασταθεί η τιμή h_c εις την εξίσωση (90), οπότε,

(94)

Διάγραμμα $h - q$ για σταθερή ειδική ενέργεια E

Στην περίπτωση που η ειδική ενέργεια E παραμένει σταθερή ενώ τα h και q μεταβάλλονται, λαμβάνεται το παρακάτω διάγραμμα.



Εικόνα 19. Διάγραμμα βάθους ροής και ειδικής παροχής.

Η καμπύλη δεικνύει ότι η ειδική παροχή q λαμβάνει την μέγιστη τιμή για

μία επιμέρους τιμή του βάθους h . Η εξίσωση (90) γράφεται,

$$q^2 = 2 \cdot g \cdot h^2 \cdot (E - h) \quad (95)$$

Διαφορίζοντας ως προς h και έχοντας σταθερή την ειδική ενέργεια E ,

$$2 \cdot q = \frac{\partial q}{\partial h} = 2 \cdot g \cdot (2 \cdot h \cdot E - 3 \cdot h^2) \quad (96)$$

Και

$$\frac{\partial q}{\partial h} = 0$$

όταν,

$$2 \cdot h \cdot E = 3 \cdot h^2 \quad (97)$$

ή

$$h = \frac{2}{3} \cdot E = h_c \quad (98)$$

Η ανωτέρω εξίσωση είναι ταυτόσημη προς την εξίσωση(94), και ούτως επί του κρίσιμου βάθους η παροχή είναι η μέγιστη δυνατή για δοθείσα ειδική ενέργεια, ή ότι η ειδική ενέργεια είναι η ελαχίστη δυνατή για δοθείσα παροχή. Η παροχή ανά μονάδα πλάτους είναι, τότε, η αντιστοιχούσα προς το κρίσιμο βάθος ταχύτης είναι,

$$q = (h_1) \cdot u = h \cdot u \quad (99)$$

τότε η αντιστοιχούσα προς το κρίσιμο βάθος ταχύτης είναι,

$$h_c^3 = \frac{q^2}{g} = \frac{u_c^2 h_c^2}{g}$$

(100)

δηλαδή,

$$u_c = (g \cdot h_c)^{0.5}$$

(101)

Η ταχύτητα U_c η οποία εμφανίζεται όταν το βάθος ροής είναι κρίσιμο h_c , είναι γνωστή ως κρίσιμο ταχύτητα. Δεν υπάρχει καμία σχέση με την κρίσιμο ταχύτητα την εμφανιζομένη εις τυρβώδη ή στρωτή ροή.

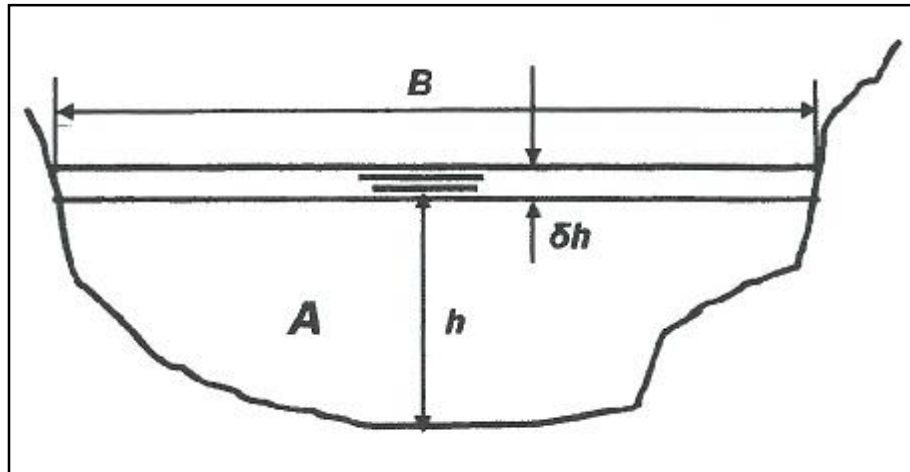
Κρίσιμο βάθος εις μή- ορθογωνικής διατομής ανοικτούς αγωγούς

Ας θεωρηθεί μία μή-ομαλή διατομή A διά της οποίας διέρχεται παροχή Q . Διαφορίζοντας την εξίσωση (90) ως προς h και διατηρώντας ως σταθερά την παροχή, είναι,

$$dE/dh = 1 + (Q^2/2 \cdot g) \cdot [(-2/A^3) \cdot (dA/dh)]$$

(102)

Στην ανωτέρω εξίσωση πρέπει να τεθεί και να λυθεί ως προς το κρίσιμο βάθος διά δοθείσα παροχή. Τώρα, η διατομή A δύναται να εκφράζεται με μία γνωστή εξίσωση (συνάρτηση) του βάθους h ή όχι. Εις την γενική περίπτωσιν είναι $dA = Bdh$, ούτως, ένθα B το πλάτος της επιφανείας του ύδατος στην διατομή. Η εξίσωση (102) γράφεται,



Εικόνα 20. Τυχαία διατομή

$$Q^2/g = (A^3/B)_{h=h_c} \quad (103)$$

διότι τότε υπάρχει κρίσιμο βάθος. Για δοθείσα διατομή το δεξιό μέρος της ανωτέρω εξίσωσης είναι συνάρτηση μόνο του βάθους h . Για να λυθεί λοιπόν η εξίσωση (103), ένα βρεθεί δηλαδή το h_c , χρειάζεται να επιχειρηθεί μία σειρά δοκιμαστικών λύσεων. Επειδή δε,

$$Q = A_c * u_c$$

όπου A_c είναι η διατομή όπου εμφανίζεται το κρίσιμο βάθος, τότε η εξίσωση (103) γράφεται,

$$A_c^2 * u_c^2 / g = A_c^3 / B_c \quad (104)$$

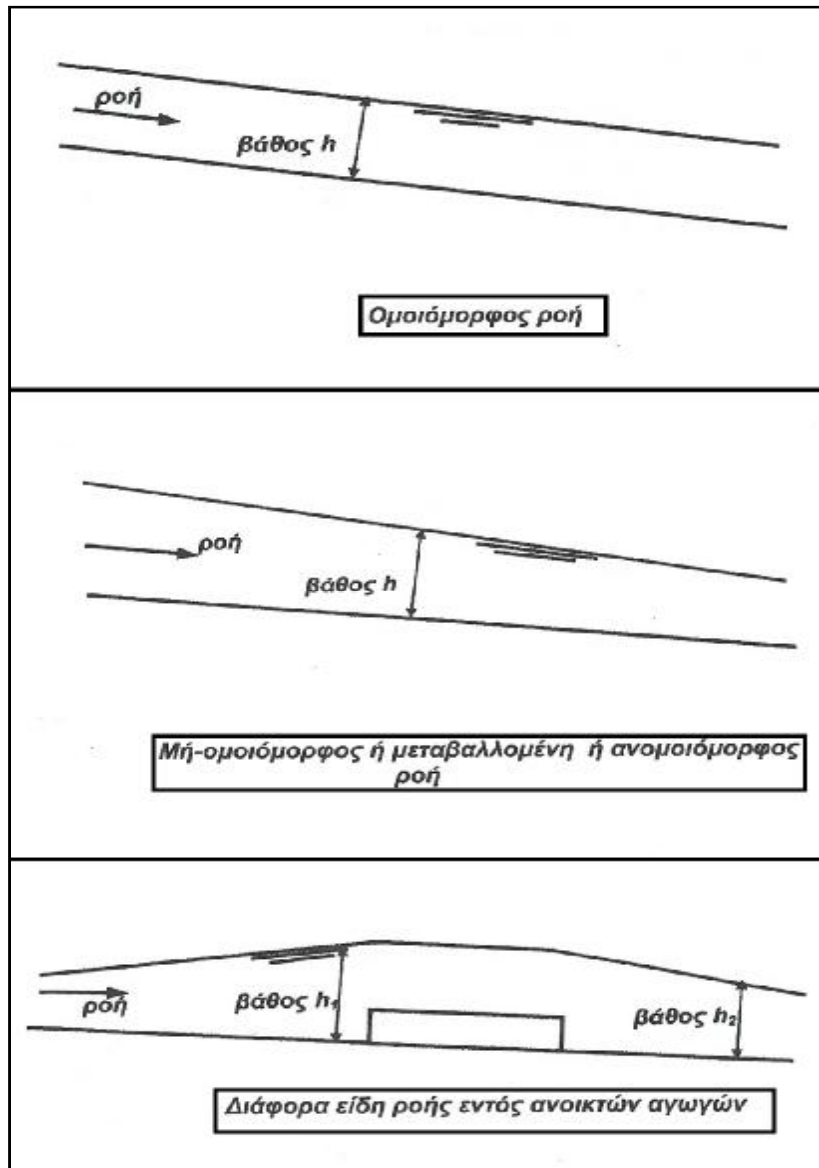
όπου B_c είναι το πλάτος της υγρής επιφανείας στην κρίσιμη διατομή, ή

$$u_c = (A_c * g / B_c)^{0.5} \quad (105)$$

Αν ο ανοικτός αγωγός είναι ορθογωνικής διατομής τότε,

$$A_c = B_c * h_c \quad (106)$$

και τότε η ανωτέρω εξίσωση (105) είναι όμοια της εξισώσεως (101). Πρέπει να αναφερθεί ότι το πλείστον των διατομών των ανοικτών αγωγών οι οποίες συναντώνται εν τη πράξει είναι τραπεζοειδείς.



Εικόνα 21.Σκαριφήματα ροών

Κλίση αγωγού και εναλλακτικά βάθη ροής

Η σπουδαιότητα των κρίσιμων συνθηκών ροής είναι ότι διαχωρίζεται η ροή εις δύο είδη ροών. Την ροή όπου η ταχύτης είναι υποκρίσιμη και την ροή όπου η ταχύτης είναι υπερκρίσιμη. Η κρίσιμη ταχύτητα $u_c = (g \cdot h_c)^{0.5}$ για ορθογωνικής διατομής αγωγούς αντιστοιχεί προς την ταχύτητα διαδόσεως επιφανειακών κυμάτων εις αβαθή υγρά. Ούτως, όταν η ταχύτης της ροής είναι υποκρίσιμη είναι δυνατόν δι' ένα μικρό επιφανειακό κύμα να μεταδοθεί και προς την ανάντη αλλά και προς την κατάντη ροή. Οποιαδήποτε

μικρή διαταραχή της ροής δύναται να προκαλέσει την δημιουργία ενός μικρού επιφανειακού κύματος. Το κύμα δύναται να θεωρηθεί ότι μεταφέρει πληροφορίας σχετικές προς την προκληθείσα διαταραχή. Αν το κύμα δύναται να διαδοθεί προς την ανάντη ροή τότε η επιφάνεια του υγρού εις τα ανάντη θα πληροφορηθεί για την διαταραχή και αναλόγως θα επηρεασθεί από αυτή. Όταν η ταχύτης είναι μικρότερα του $\sqrt{gh_c}$ τότε η συμπεριφορά του υγρού εις τα ανάντη θα διαμορφωθεί εκ των κατάντη φυσικών συνθηκών.

Στη περίπτωση όπου η ταχύτητα της ροής είναι υπερκρίσιμη, όπου δηλαδή η ταχύτης είναι μεγαλύτερη της τιμής $\sqrt{gh_c}$ τότε το ρευστό ρέει ταχύτερο απ' όσο ένα μικρό κύμα δύναται να μεταδοθεί εις τα ανάντη. Ούτως, η πληροφόρηση των γεγονότων τα οποία εμφανίζονται κατάντη δεν δύναται να επηρεάσουν την ανάντη ροή. Η συμπεριφορά του ρευστού δεν ελέγχεται εκ των κατάντη συνθηκών. Στην περίπτωση αυτή τα συμβάντα μεταδίδονται μόνο κατάντη του σημείου όπου εισήχθησαν οι διαταραχές.

Κατά την περίπτωση στην οποία η ροή είναι κρίσιμη, ένα μικρό επιφανειακό κύμα το οποίο προσπαθεί να μεταδοθεί στα ανάντη τελικώς δεν τα καταφέρνει. Υπάρχει τότε η περίπτωση στάσιμων κυμάτων. Ο λόγος

$$Fr = \frac{u}{\sqrt{gh}}$$

είναι γνωστός ως αριθμός Froude. Στην γενική περίπτωση αντί του βάθους ροής h υπάρχει η τιμή \bar{h}_c όπου το \bar{h}_c ορίζεται ως ο λόγος υγρής διατομής προς το πλάτος της υγρής επιφανείας το οποίον είναι ένα χαρακτηριστικό μήκος. Κατά τις κρίσιμες συνθήκες ροής ο αριθμός Froude ισούται προς την μονάδα δηλ.,

$$Fr = 1 = \frac{u}{\sqrt{gh_c}} \quad (107)$$

Η τιμή της κλίσεως του πυθμένα ενός ανοικτού αγωγού για την οποία υπάρχει κρίσιμη ομοιόμορφη ροή λέγεται κρίσιμη κλίση και συμβολίζεται με S_c . Πρέπει να αναφερθεί ότι ομοιόμορφος ροή εμφανίζεται σε βάθος το οποίο εξαρτάται από,

- α) την παροχή,
- β) το σχήμα και την τραχύτητα της διατομής και
- γ) την κλίση του πυθμένα του ανοικτού αγωγού.

Εάν για δοθείσα τραχύτητα και σχήμα του ανοικτού αγωγού, η κλίση είναι τοιαύτη ώστε η ομοιόμορφος ροή να είναι υποκρίσιμη, η κλίση χαρακτηρίζεται ως ήπια $S < S_c$.

Εάν η ομοιόμορφος ροή είναι υπερκρίσιμος η κλίση χαρακτηρίζεται ως απότομος $S > S_c$. Πάντως μία απότομος κλίση για δοθέντα ανοικτό αγωγό n με λεία επικάλυψη δύναται να είναι ήπια κλίση για την ίδια ροή σε ανοικτό αγωγό με τραχεία επικάλυψη. Ακόμη, για τον ίδιο ανοικτό αγωγό, η κλίση δύναται να είναι ήπια για μικρή παροχή και απότομος για μεγαλύτερη παροχή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΣΕ ΑΝΟΙΚΤΟΥΣ ΑΓΩΓΟΥΣ

2.1 ΚΑΝΑΛΙΑ ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ

Για τα κανάλια ορθογωνικής διατομής έχουμε τα εξής :

A : επιφάνεια διατομής

B: πλάτος καναλιού

H : βάθος ροής

Π : βρεχόμενη περίμετρος

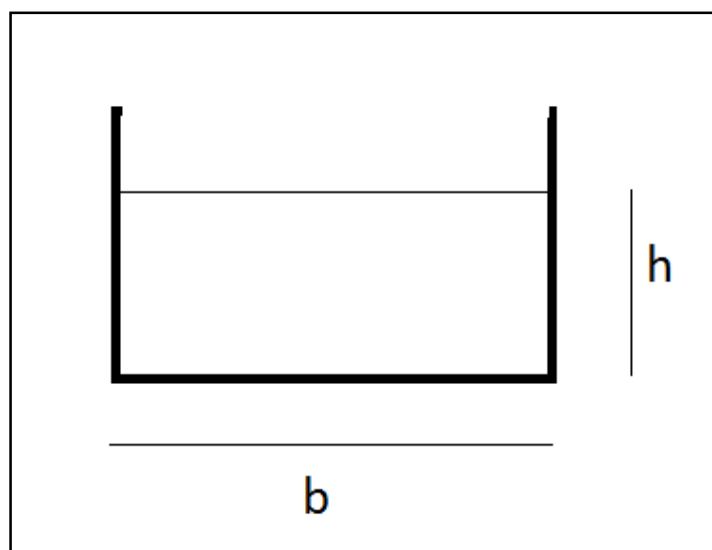
R: υδραυλική ακτίνα

U: ταχύτητα ροής

Q: παροχή ροής

n: συντελεστής τραχύτητας κατά Manning

s : κλίση πυθμένα

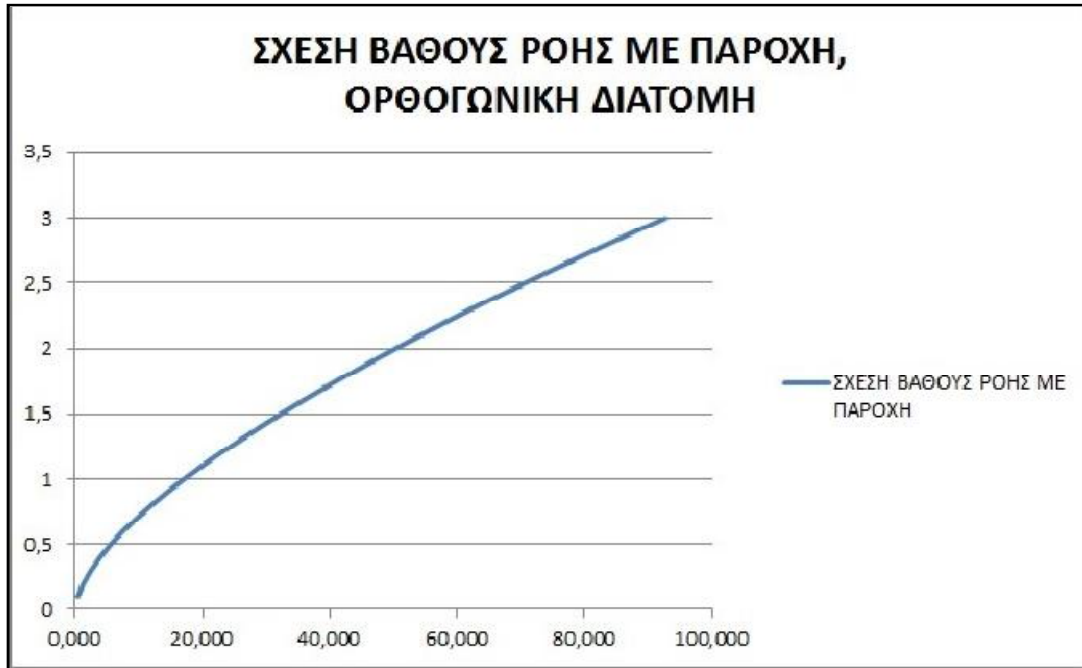


Εικόνα 22. Σκαρίφημα ορθογωνικής διατομής

ΤΑΧΥΤΗΤΑ	ΚΛΙΣΗ ΠΥΘ	ΣΥΝΤ. ΤΡΑΧ	ΥΔΡ. ΑΚΤ.	ΒΡΕΧ.ΠΕΡ.	ΕΠΙΦ	ΠΛΑΤΟΣ	ΠΑΡΟΧΗ	ΒΑΘΟΣ
U (m/s)	S	n	R	P (m)	A (m ²)		Q (m ³ /s)	d (m)
0,260	0,00025	0,013	0,099	15,44	1,524	15,24	0,396	0,1
0,409	0,00025	0,013	0,195	15,64	3,048	15,24	1,246	0,2
0,531	0,00025	0,013	0,289	15,84	4,572	15,24	2,429	0,3
0,638	0,00025	0,013	0,380	16,04	6,096	15,24	3,890	0,4
0,734	0,00025	0,013	0,469	16,24	7,62	15,24	5,596	0,5
0,823	0,00025	0,013	0,556	16,44	9,144	15,24	7,522	0,6
0,904	0,00025	0,013	0,641	16,64	10,668	15,24	9,647	0,7
0,981	0,00025	0,013	0,724	16,84	12,192	15,24	11,956	0,8
1,052	0,00025	0,013	0,805	17,04	13,716	15,24	14,435	0,9
1,120	0,00025	0,013	0,884	17,24	15,24	15,24	17,073	1
1,185	0,00025	0,013	0,961	17,44	16,764	15,24	19,859	1,1
1,246	0,00025	0,013	1,037	17,64	18,288	15,24	22,784	1,2
1,304	0,00025	0,013	1,111	17,84	19,812	15,24	25,841	1,3
1,360	0,00025	0,013	1,183	18,04	21,336	15,24	29,022	1,4
1,414	0,00025	0,013	1,253	18,24	22,86	15,24	32,320	1,5
1,465	0,00025	0,013	1,322	18,44	24,384	15,24	35,730	1,6
1,515	0,00025	0,013	1,390	18,64	25,908	15,24	39,245	1,7
1,562	0,00025	0,013	1,456	18,84	27,432	15,24	42,862	1,8
1,608	0,00025	0,013	1,521	19,04	28,956	15,24	46,574	1,9
1,653	0,00025	0,013	1,584	19,24	30,48	15,24	50,379	2
1,696	0,00025	0,013	1,646	19,44	32,004	15,24	54,271	2,1
1,737	0,00025	0,013	1,707	19,64	33,528	15,24	58,248	2,2
1,777	0,00025	0,013	1,767	19,84	35,052	15,24	62,305	2,3
1,816	0,00025	0,013	1,825	20,04	36,576	15,24	66,439	2,4
1,854	0,00025	0,013	1,882	20,24	38,1	15,24	70,647	2,5
1,891	0,00025	0,013	1,939	20,44	39,624	15,24	74,927	2,6
1,927	0,00025	0,013	1,994	20,64	41,148	15,24	79,275	2,7
1,961	0,00025	0,013	2,048	20,84	42,672	15,24	83,689	2,8
1,995	0,00025	0,013	2,101	21,04	44,196	15,24	88,166	2,9
2,028	0,00025	0,013	2,153	21,24	45,72	15,24	92,704	3



Εικόνα 23. Κατασκευή ορθογωνικής διατομής



Εικόνα 24. Διάγραμμα ορθογωνικής διατομής.

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΕΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ

```
DIMENSION BATHOI(5,5) , PAROXI(5,5)
DIMENSION DIA(5,5) , BPERIM(5,5) , YDRAULAKT(5,5)
C . .
    MAXDIM=5
C . .
    OPEN (5,FILE='DATAORTHO.OUT')
    OPEN (6,FILE='OUTORTHO.OUT')
C . .
    READ (5,*) M,N
    IF(M.GT.MAXDIM.OR.N.GT.MAXDIM) STOP '???'
    READ (5,*) ((BATHOI(I,J),J=1,N),I=1,M)
C . .
    WRITE (6,110)
    DO 10 I=1 , M
10  WRITE (6,100) (BATHOI(I,J) , J=1,N)
C . .
    READ (*,*) B , S , n
C . . YPOLOGISMOS DIATOMHS
    DO 20 I=1 , M
    DO 20 J=1 , N
20  DIA(I,J) = B * BATHOI(I,J)
C . .
    WRITE (6,120)
    DO 30 I=1 , M
30  WRITE (6,100) (DIA(I,J) , J=1,N)
C . .
C . . YPOLOGISMOS BREXOMENIS PERIMETROY
    DO 40 I=1 , M
```

```

DO 40 J=1 , N
40 BPERIM(I,J) = (2* BATHOI(I,J)) + B
C . .
WRITE (6,130)
DO 50 I=1 , M
50 WRITE (6,100) (BPERIM(I,J) , J=1,N)
C . .
C . . YPOLOGISMOS YDRAULIKIS AKTINAS
DO 60 I=1 , M
DO 60 J=1 , N
60 YDRAULAKT(I,J) = DIA(I,J) / BPERIM(I,J)
C . .
WRITE (6,140)
DO 70 I=1 , M
70 WRITE (6,100) (YDRAULAKT(I,J) , J=1,N)
C . .
C . . YPOLOGISMOS PAROXIS KATA MANNING
DO 80 I=1 , M
DO 80 J=1 , N
80 PAROXI(I,J) = (1/n) * (YDRAULAKT(I,J)**(2/3))*(S**(1/2))* DIA(I,J)
C . .
WRITE (6,150)
DO 90 I=1 , M
90 WRITE (6,100) (PAROXI(I,J) , J=1,N)
C . .
100 FORMAT (1X,10(2X,F10.2))
110 FORMAT (/1X,'DIAFORES TIMES TOY BATHOYS')
120 FORMAT (/1X,'DIAFORES TIMES THS DIATOMIS')
130 FORMAT (/1X,'DIAFORES TIMES THS BREX PERIM')

```

```
140 FORMAT (/1X,'DIAFORES TIMES THS YDRAUL AKT')
```

```
150 FORMAT (/1X,'DIAFORES TIMES THS PAROXIS')
```

```
C..
```

```
STOP
```

```
END
```

2.2 ΚΑΝΑΛΙΑ ΤΡΙΓΩΝΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ

Για τα κανάλια τριγωνικής διατομής έχουμε τα εξής :

A : επιφάνεια διατομής

B: πλάτος καναλιού

H : βάθος ροής

Π : βρεχόμενη περίμετρος

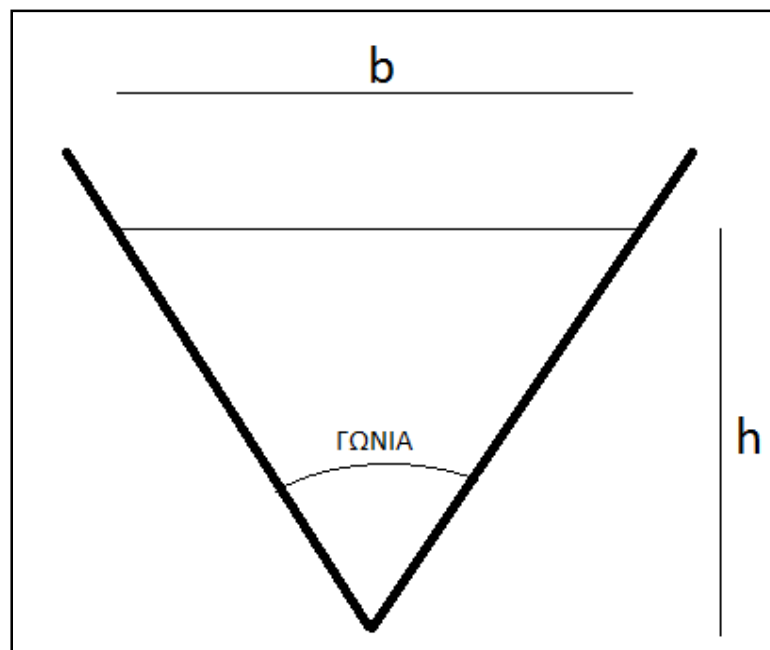
R: υδραυλική ακτίνα

U: ταχύτητα ροής

Q: παροχή ροής

n: συντελεστής τραχύτητας κατά Manning

s : κλίση πυθμένα



Εικόνα 25. Σκαρίφημα τριγωνικής διατομής

TACHYTHTA	ΚΛΙΣΗ ΠΥΘ	ΣΥΝΤ. ΤΡΑΧ	ΥΔΡ. ΑΚΤ.	ΒΡΕΧ. ΠΕΡ.	ΕΠΙΦ	ΓΩΝΙΑ	ΗΜΙΓΩΝΙΑ	ΠΑΡΟΧΗ	ΒΑΘΟΣ
U (m/s)	S	n	R	P (m)	A (m ²)			Q (m ³ /s)	d (m)
0,884	0,0015	0,014	0,181	1,765	0,319	55	27,5	0,282	0,783
0,224	0,0015	0,014	0,023	0,225	0,005	55	27,5	0,001	0,1
0,356	0,0015	0,014	0,046	0,451	0,021	55	27,5	0,007	0,2
0,467	0,0015	0,014	0,069	0,676	0,047	55	27,5	0,022	0,3
0,565	0,0015	0,014	0,092	0,902	0,083	55	27,5	0,047	0,4
0,656	0,0015	0,014	0,115	1,127	0,130	55	27,5	0,085	0,5
0,741	0,0015	0,014	0,139	1,353	0,187	55	27,5	0,139	0,6
0,821	0,0015	0,014	0,162	1,578	0,255	55	27,5	0,209	0,7
0,897	0,0015	0,014	0,185	1,804	0,333	55	27,5	0,299	0,8
0,971	0,0015	0,014	0,208	2,029	0,422	55	27,5	0,409	0,9
1,041	0,0015	0,014	0,231	2,255	0,521	55	27,5	0,542	1
1,109	0,0015	0,014	0,254	2,480	0,630	55	27,5	0,699	1,1
1,176	0,0015	0,014	0,277	2,706	0,750	55	27,5	0,881	1,2
1,240	0,0015	0,014	0,300	2,931	0,880	55	27,5	1,091	1,3
1,303	0,0015	0,014	0,323	3,157	1,020	55	27,5	1,329	1,4
1,364	0,0015	0,014	0,346	3,382	1,171	55	27,5	1,598	1,5
1,424	0,0015	0,014	0,369	3,608	1,333	55	27,5	1,898	1,6
1,483	0,0015	0,014	0,392	3,833	1,504	55	27,5	2,231	1,7
1,541	0,0015	0,014	0,416	4,059	1,687	55	27,5	2,598	1,8
1,597	0,0015	0,014	0,439	4,284	1,879	55	27,5	3,001	1,9
1,653	0,0015	0,014	0,462	4,510	2,082	55	27,5	3,441	2
1,707	0,0015	0,014	0,485	4,735	2,296	55	27,5	3,919	2,1
1,761	0,0015	0,014	0,508	4,960	2,520	55	27,5	4,437	2,2
1,814	0,0015	0,014	0,531	5,186	2,754	55	27,5	4,996	2,3
1,866	0,0015	0,014	0,554	5,411	2,998	55	27,5	5,596	2,4
1,918	0,0015	0,014	0,577	5,637	3,254	55	27,5	6,240	2,5
1,969	0,0015	0,014	0,600	5,862	3,519	55	27,5	6,927	2,6
2,019	0,0015	0,014	0,623	6,088	3,795	55	27,5	7,661	2,7
2,068	0,0015	0,014	0,646	6,313	4,081	55	27,5	8,441	2,8
2,117	0,0015	0,014	0,670	6,539	4,378	55	27,5	9,269	2,9

2,166	0,0015	0,014	0,693	6,764	4,685	55	27,5	10,146	3
-------	--------	-------	-------	-------	-------	----	------	--------	---



Εικόνα 26. Τριγωνική διατομή

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΤΡΙΓΩΝΙΚΕΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ

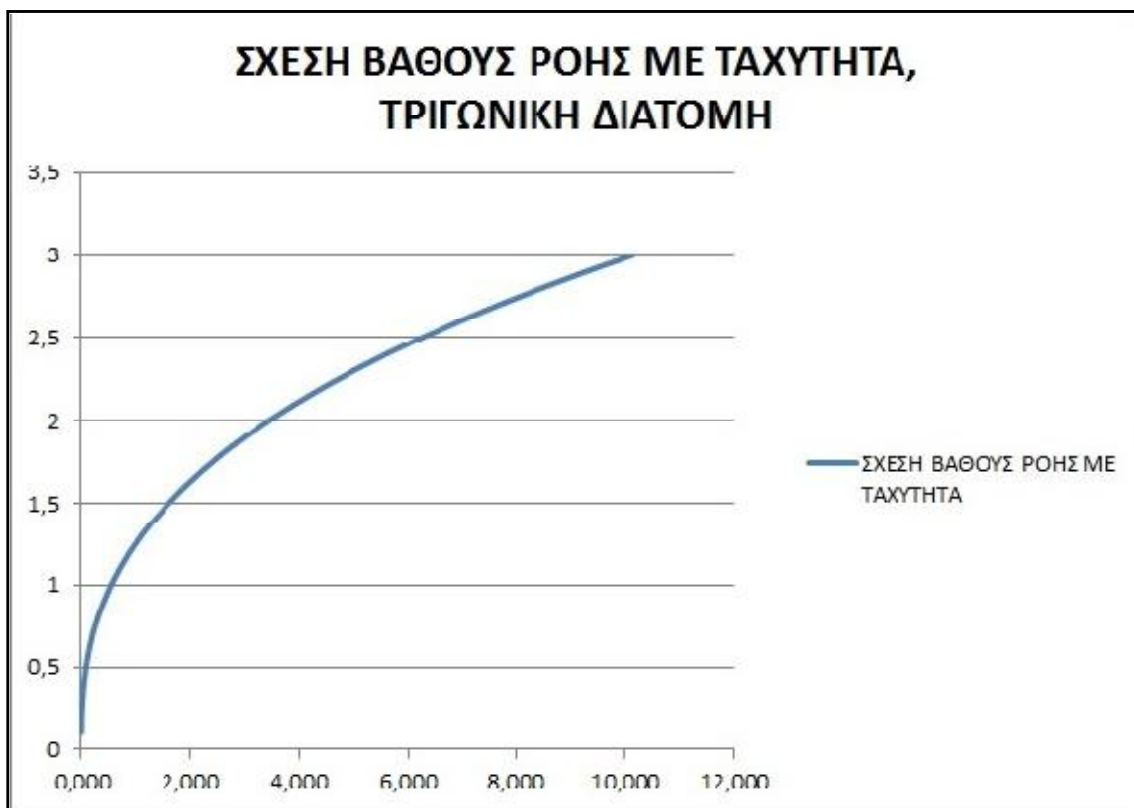
```
DIMENSION BATHOI(5,5) , PAROXI(5,5)
DIMENSION DIAT(5,5) , BPERIM(5,5) , YDRAULAKT(5,5)
C . .
MAXDIM=5
C . .
OPEN (5,FILE='DATATRIG.OUT')
OPEN (6,FILE='OUTTRIG.OUT')
C . .
READ (5,*) M,N
IF(M.GT.MAXDIM.OR.N.GT.MAXDIM) STOP '???'
READ (5,*) ((BATHOI(I,J),J=1,N),I=1,M)
C . .
WRITE (6,110)
DO 10 I=1 , M
10 WRITE (6,100) (BATHOI(I,J) , J=1,N)
C . .
READ (*,*) S , n , GON
C . . YPOLOGISMOS DIATOMHS
DO 20 I=1 , M
DO 20 J=1 , N
G=GON / 2
20 DIAT(I,J) = (BATHOI(I,J) * BATHOI(I,J)*TAN(G))
C . .
WRITE (6,120)
DO 30 I=1 , M
30 WRITE (6,100) (DIAT(I,J) , J=1,N)
C . .
C . . YPOLOGISMOS BREXOMENIS PERIMETROY
```

```

DO 40 I=1 , M
DO 40 J=1 , N
G=GON / 2
40 BPERIM(I,J) = (4 * BATHOI(I,J)) / COS(G)
C . .
WRITE (6,130)
DO 50 I=1 , M
50 WRITE (6,100) (BPERIM(I,J) , J=1,N)
C . .
C . . YPOLOGISMOS YDRAULIKIS AKTINAS
DO 60 I=1 , M
DO 60 J=1 , N
60 YDRAULAKT(I,J) = DIAT(I,J) / BPERIM(I,J)
C . .
WRITE (6,140)
DO 70 I=1 , M
70 WRITE (6,100) (YDRAULAKT(I,J) , J=1,N)
C . .
C . . YPOLOGISMOS PAROXIS KATA MANNING
DO 80 I=1 , M
DO 80 J=1 , N
80 PAROXI(I,J) = (1/n) * (YDRAULAKT(I,J)**(2/3))*(S**(1/2))* DIAT(I,J)
C . .
WRITE (6,150)
DO 90 I=1 , M
90 WRITE (6,100) (PAROXI(I,J) , J=1,N)
C . .
100 FORMAT (1X,10(2X,F10.2))
110 FORMAT (/1X,'DIAFORES TIMES TOU BATHOUS')

```

```
120  FORMAT (/1X,'DIAFORES TIMES THS DIATOMIS')
130  FORMAT (/1X,'DIAFORES TIMES THS BREX PERIM')
140  FORMAT (/1X,'DIAFORES TIMES THS YDRAUL AKT')
150  FORMAT (/1X,'DIAFORES TIMES THS PAROXIS')
C..
      STOP
      END
```



Εικόνα 27. Διάγραμμα τριγωνικής διατομής

2.3 ΚΑΝΑΛΙΑ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ

Για τα κανάλια κυκλικής διατομής έχουμε τα εξής :

A : επιφάνεια διατομής

Π : βρεχόμενη περίμετρος

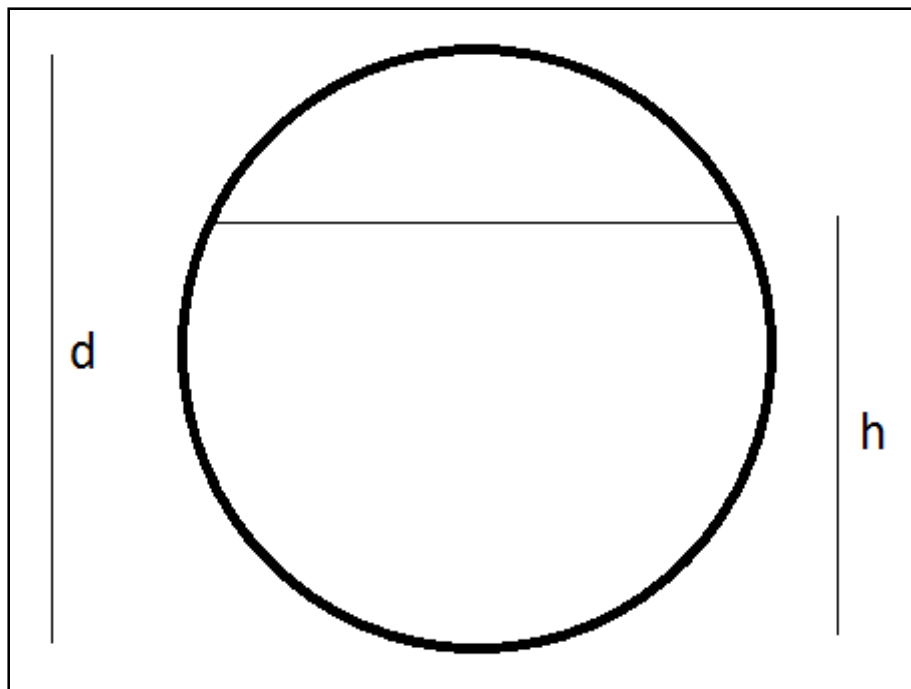
R: υδραυλική ακτίνα

U: ταχύτητα ροής

Q: παροχή ροής

n: συντελεστής τραχύτητας κατά Manning

s : κλίση πυθμένα



Εικόνα 28. Σκαρίφημα κυκλικής διατομής

ΤΑΧΥΤΗΤΑ	ΚΛΙΣΗ ΠΥΘ	ΣΥΝΤ. ΤΡΑΧ	ΥΔΡ. ΑΚΤ.	ΒΡΕΧ.ΠΕΡ.	ΕΠΙΦ	ΠΑΡΟΧΗ	ΒΑΘΟΣ
U (m/s)	S	n	R	P (m)	A (m ²)	Q (m ³ /s)	d (m)
0,400	0,005	0,024	0,05	0,157	0,0157	0,006	0,1
0,635	0,005	0,024	0,1	0,314	0,0628	0,040	0,2
0,832	0,005	0,024	0,15	0,471	0,1413	0,118	0,3
1,008	0,005	0,024	0,2	0,628	0,2512	0,253	0,4
1,169	0,005	0,024	0,25	0,785	0,3925	0,459	0,5
1,320	0,005	0,024	0,3	0,942	0,5652	0,746	0,6
1,463	0,005	0,024	0,35	1,099	0,7693	1,126	0,7
1,599	0,005	0,024	0,4	1,256	1,0048	1,607	0,8
1,730	0,005	0,024	0,45	1,413	1,2717	2,200	0,9
1,856	0,005	0,024	0,5	1,57	1,57	2,914	1
1,978	0,005	0,024	0,55	1,727	1,8997	3,757	1,1
2,096	0,005	0,024	0,6	1,884	2,2608	4,738	1,2
2,211	0,005	0,024	0,65	2,041	2,6533	5,866	1,3
2,323	0,005	0,024	0,7	2,198	3,0772	7,148	1,4
2,432	0,005	0,024	0,75	2,355	3,5325	8,591	1,5
2,539	0,005	0,024	0,8	2,512	4,0192	10,205	1,6
2,644	0,005	0,024	0,85	2,669	4,5373	11,995	1,7
2,746	0,005	0,024	0,9	2,826	5,0868	13,971	1,8
2,847	0,005	0,024	0,95	2,983	5,6677	16,137	1,9
2,946	0,005	0,024	1	3,14	6,28	18,503	2
3,044	0,005	0,024	1,05	3,297	6,9237	21,074	2,1
3,140	0,005	0,024	1,1	3,454	7,5988	23,857	2,2
3,234	0,005	0,024	1,15	3,611	8,3053	26,859	2,3
3,327	0,005	0,024	1,2	3,768	9,0432	30,087	2,4
3,419	0,005	0,024	1,25	3,925	9,8125	33,547	2,5
3,509	0,005	0,024	1,3	4,082	10,6132	37,246	2,6
3,599	0,005	0,024	1,35	4,239	11,4453	41,190	2,7
3,687	0,005	0,024	1,4	4,396	12,3088	45,385	2,8
3,774	0,005	0,024	1,45	4,553	13,2037	49,837	2,9
3,861	0,005	0,024	1,5	4,71	14,13	54,552	3

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΚΥΚΛΙΚΕΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ

```
DIMENSION DIAM(5,5) , PAROXI(5,5)
DIMENSION DIAT(5,5) , BPERIM(5,5) , YDRAULAKT(5,5)
C . .
    MAXDIM=5
C . .
    OPEN (5,FILE='DATAKIKL.OUT')
    OPEN (6,FILE='OUTKIKL.OUT')
C . .
    READ (5,*) M,N
    IF(M.GT.MAXDIM.OR.N.GT.MAXDIM) STOP '???'
    READ (5,*) ((DIAM(I,J),J=1,N),I=1,M)
C . .
    WRITE (6,110)
    DO 10 I=1 , M
10  WRITE (6,100) (DIAM(I,J) , J=1,N)
C . .
    READ (*,*) S , n
C . . YPOLOGISMOS DIATOMHS
    DO 20 I=1 , M
    DO 20 J=1 , N
20  DIAT(I,J) = (3,14* (DIAM(I,J)**2)) / 4
C . .
    WRITE (6,120)
    DO 30 I=1 , M
30  WRITE (6,100) (DIAT(I,J) , J=1,N)
C . .
C . . YPOLOGISMOS BREXOMENIS PERIMETROY
    DO 40 I=1 , M
```

```

DO 40 J=1 , N
40 BPERIM(I,J) = 3.14 * DIAM(I,J)
C . .
WRITE (6,130)
DO 50 I=1 , M
50 WRITE (6,100) (BPERIM(I,J) , J=1,N)
C . .
C . . YPOLOGISMOS YDRAULIKIS AKTINAS
DO 60 I=1 , M
DO 60 J=1 , N
60 YDRAULAKT(I,J) = DIAT(I,J) / BPERIM(I,J)
C . .
WRITE (6,140)
DO 70 I=1 , M
70 WRITE (6,100) (YDRAULAKT(I,J) , J=1,N)
C . .
C . . YPOLOGISMOS PAROXIS KATA MANNING
DO 80 I=1 , M
DO 80 J=1 , N
80 PAROXI(I,J) = (1/n) * (YDRAULAKT(I,J)**(2/3))*(S**(1/2))* DIAT(I,J)
C . .
WRITE (6,150)
DO 90 I=1 , M
90 WRITE (6,100) (PAROXI(I,J) , J=1,N)
C . .
100 FORMAT (1X,10(2X,F10.2))
110 FORMAT (/1X,'DIAFORES TIMES THS DIAMETROU')
120 FORMAT (/1X,'DIAFORES TIMES THS DIATOMIS')
130 FORMAT (/1X,'DIAFORES TIMES THS BREX PERIM')

```

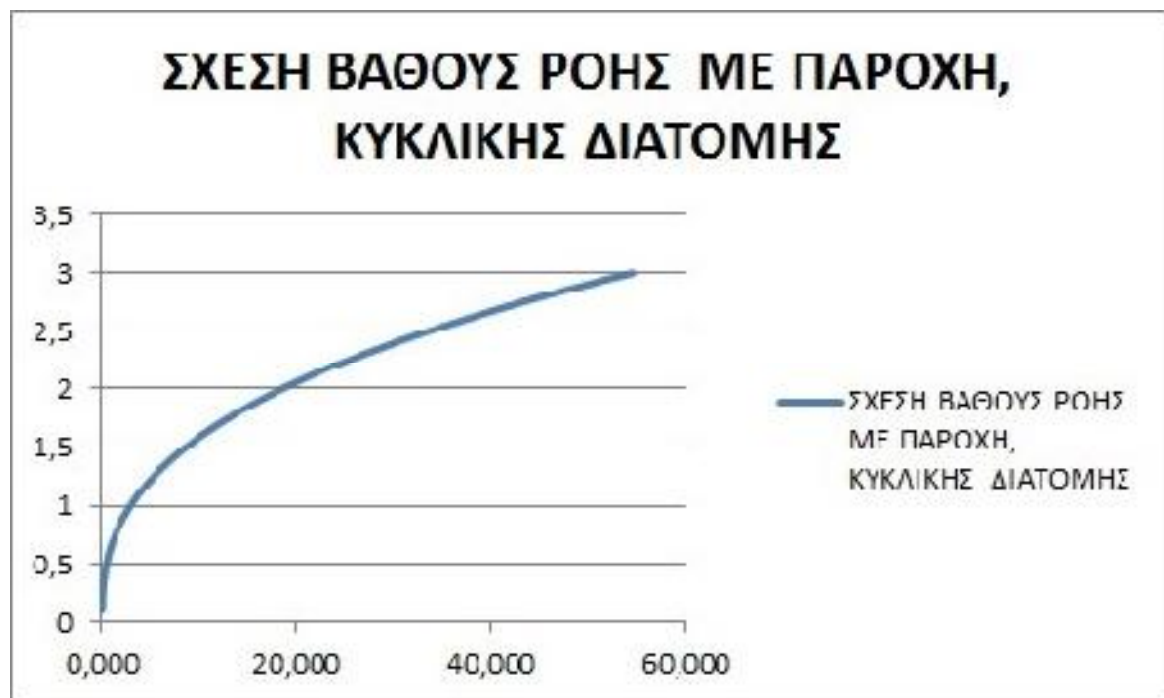
```
140 FORMAT (/1X,'DIAFORES TIMES THS YDRAUL AKT')
```

```
150 FORMAT (/1X,'DIAFORES TIMES THS PAROXIS')
```

```
C..
```

```
STOP
```

```
END
```



Εικόνα 29. Διάγραμμα κυκλικής διατομής

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΓΛΩΣΣΕΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ

3.1 ΓΛΩΣΣΑ FORTRAN

Η γλώσσα FORTRAN (από τα αρχικά FORmulae TRANslator - μεταφραστής τύπων) είναι μία από τις πρώτες γλώσσες προγραμματισμού υψηλού επιπέδου, η οποία χρησιμοποιήθηκε κυρίως σε επιστημονικές αλλά και σε εμπορικές εφαρμογές. Δημιουργήθηκε τη δεκαετία του 1950 από την IBM και χρησιμοποιείται μέχρι και σήμερα. Αρχικά η FORTRAN ήταν προσανατολισμένη στην επίλυση μαθηματικών προβλημάτων.

Υπάρχουν οι εξής τυποποιημένες εκδόσεις της FORTRAN:

- FORTRAN-66
- FORTRAN-77
- FORTRAN-90
- FORTRAN-95
- FORTRAN 2000
- FORTRAN 2003
- FORTRAN 2008

Βάση για την περιγραφή της FORTRAN παρακάτω θα είναι η έκδοση FORTRAN-77.

Ένα πρόγραμμα γραμμένο σε έκδοση της FORTRAN μέχρι και την FORTRAN-77 μπορεί να χρησιμοποιήσει οποιοδήποτε από τους εξής χαρακτήρες:

- Τα 26 κεφαλαία γράμματα του αγγλικού αλφαβήτου: A, B, ..., Z
- Τους 10 αραβικούς αριθμούς: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9
- Τους 12 ειδικούς χαρακτήρες: + - * / = () ' . , \$:

- Το κενό διάστημα.

Από την έκδοση FORTRAN-90 και μετά, προστέθηκαν επιπλέον ειδικοί χαρακτήρες:

- ! " & ; < > ?
- Τα 26 μικρά γράμματα του αγγλικού αλφαβήτου: a, b, ..., z

Επιπλέον, από την έκδοση FORTRAN 2003 συμπεριλαμβάνονται οι ακόλουθοι χαρακτήρες:

- ~ \ [] ` ^ { } | # @

Οι εντολές της FORTRAN-77 είναι δηλωτικές ή εκτελέσιμες:

Δηλωτικές εντολές

- PROGRAM, FUNCTION, SUBROUTINE, BLOCKDATA
- IMPLICIT
- PARAMETER
- INTEGER, REAL, DOUBLEPRECISION, COMPLEX, LOGICAL, CHARACTER
- DIMENSION
- COMMON, EQUIVALENCE
- EXTERNAL, INTRINSIC, ENTRY
- Ορισμός συνάρτησης – πρότασης
- SAVE
- DATA
- FORMAT

Δηλωτική εντολή τέλους κειμένου προγράμματος

- END

Εκτελέσιμες εντολές

- OPEN, CLOSE, INQUIRE, READ, WRITE, PRINT, PUNCH
- REWIND, BACKSPACE, ENDFILE
- (ανάθεση τιμής) =
- ASSIGN .. TO
- ανάθεση GOTO, χωρίς συνθήκη GOTO, υπολογιζόμενο GOTO
- αριθμητικό IF, λογικό IF, IF .. THEN .. ELSEIF .. ELSE .. ENDIF
- DO .. CONTINUE
- CALL, RETURN
- PAUSE, STOP

Σε επόμενη έκδοση της γλώσσας προστέθηκαν οι END DO και WHILE.

Οι εντολές της FORTRAN-77 κατατάσσονται σε 4 κατηγορίες:

- Εντολές εκχώρησης ή αντικατάστασης (assignment statements)
- Εντολέσεισόδου/εξόδου (input/output statements)
- Εντολές ελέγχου και λογικής (control statements)
- Πληροφοριακές εντολές και εντολές οργάνωσης (specification statements)

Δομή προγραμμάτων

Κατά στήλες

Ένα αρχείο που περιέχει ένα πρόγραμμα FORTRAN χωρίζεται νοητά σε τρεις ομάδες στηλών:

- Η πρώτη ομάδα, που περιέχει τις στήλες 1-6, χρησιμοποιείται για την εισαγωγή των συμβόλων σχολίων (* και c), των αριθμών εντολών και χαρακτήρων συνέχισης γραμμής. Ειδικότερα:

1. Τα σύμβολα * ή c είναι προαιρετικά και εισάγονται στην πρώτη στήλη. Ο μεταγλωττιστής αναγνωρίζει έτσι την αντίστοιχη γραμμή ως σχόλιο,

και την προσπερνάει. Τα σχόλια δεν έχουν επίδραση στον εκτελέσιμο κώδικα, αλλά βοηθάνε τον προγραμματιστή στην κατανόηση και αποσφαλμάτωση του προγράμματος.

2. Οι αριθμοί εντολών είναι προαιρετικοί 5-ψήφιοι αριθμοί, που εισάγονται στις στήλες 1 ως 5. Είναι χρήσιμοι για εντολές ανακατεύθυνσης της ροής του προγράμματος, αν και σπάνια πια χρησιμοποιούνται μετά την εισαγωγή της έννοιας του δομημένου προγραμματισμού.
3. Ένας οποιοσδήποτε χαρακτήρας, εκτός του κενού διαστήματος και του μηδέν, υποδεικνύει στον μεταγλωττιστή ότι η αντίστοιχη γραμμή είναι συνέχεια της προηγούμενης. Καθίσταται έτσι δυνατή η συνέχιση μιας πολύ μεγάλης εντολής σε περισσότερες της μίας γραμμής. Ο μέγιστος αριθμός γραμμών για μια εντολή είναι 40.

- Στην δεύτερη, κύρια ομάδα στηλών 7-72, εισάγονται οι εντολές της FORTRAN.
- Τέλος η τρίτη ομάδα, στήλες 73-80, περιέχει κείμενο που αγνοείται από τον μεταγλωττιστή, εκτός αν πρόκειται για δεδομένα του προγράμματος.

Σημείωση: Στην FORTRAN-90, δεν υπάρχουν οι περιορισμοί των ομάδων στηλών 7-72 και 73-80. Κάθε γραμμή έχει 132 χαρακτήρες. Η συνέχιση γραμμής γίνεται με τον χαρακτήρα &. Επίσης τα σχόλια γίνονται με την τοποθέτηση του συμβόλου ! σε οποιαδήποτε στήλη, ακολουθούμενο από το σχόλιο.

Κατά γραμμές

Ένα πρόγραμμα FORTRAN μπορεί επίσης να χωριστεί κατά 4 τμήματα ως εξής:

Επικεφαλίδα (heading)

Η επικεφαλίδα σε ένα πρόγραμμα είναι προαιρετική και εισάγεται στην πρώτη γραμμή. Προσδιορίζει την αρχή του προγράμματος και το όνομά του. Έχει την εξής συγκεκριμένη μορφή:

Οι αγκύλες δεν εισάγονται. Προσδιορίζουν μια παράμετρο, όπως και στις υπόλοιπες εντολές παρακάτω.

Τεκμηρίωση (documentation)

Ακολουθεί η τεκμηρίωση. Είναι επίσης προαιρετικό τμήμα, το οποίο περιέχει σχόλια σχετικά με το πρόγραμμα, όπως:

- Σκοπό του προγράμματος,
- Σημασία των διαφόρων μεταβλητών,
- Πληροφορίες για την είσοδο/έξοδο του προγράμματος,
- Περιγραφή τυχόν τυποποιημένων αλγορίθμων,
- Όνομα/ονόματα προγραμματιστή/προγραμματιστών,
- Ημερομηνία σύνταξης, τροποποίησης, κ.τ.λ.

Σχόλια τεκμηρίωσης μπορεί να βρίσκονται και ανάμεσα από τις εκτελέσιμες εντολές.

Τμήμα προδιαγραφών/Τμήμα δηλώσεων (specification part)

Στο τμήμα προδιαγραφών/δηλώσεων δηλώνονται τα ονόματα και οι τύποι των μεταβλητών ή των σταθερών που θα χρησιμοποιηθούν, οι πίνακες, κτλ. Οι δηλωτικές εντολές γράφονται όλες πριν από τις εκτελέσιμες εντολές. (Εξαίρεση είναι η εντολή ENTRY.)

Εκτελέσιμο τμήμα

Τέλος, το σημαντικότερο τμήμα είναι το εκτελέσιμο. Περιέχει τις εκτελέσιμες εντολές, με τις οποίες τα δεδομένα της εισόδου μετατρέπονται σε αποτελέσματα.

Τέλος του προγράμματος

Το τέλος του προγράμματος δηλώνεται με την εντολή END.

3.2 ΓΛΩΣΣΑ BASIC

Η BASIC είναι μια γλώσσα προγραμματισμού υπολογιστών. Το όνομά της προέρχεται από τα αρχικά των λέξεων Beginner's All Purpose Symbolic Instruction Code (Συμβολικός Κώδικας Εντολών Κάθε Χρήσης για Αρχάριους).

Ιστορία

Η γλώσσα άρχισε να αναπτύσσεται στο Dartmouth το 1963 για εκπαιδευτικούς σκοπούς. Το συντακτικό της επηρεάστηκε από την FORTRAN, μια γλώσσα επιστημονικών εφαρμογών.

Υπάρχουν πάρα πολλές διάλεκτοι της BASIC. Η ευρεία διάδοση της γλώσσας οφείλεται κατά κύριο λόγο στο ότι ήταν το μόνο διαθέσιμο λογισμικό για συγγραφή προγραμμάτων για πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα (από τον πρώτο μικροϋπολογιστή του 1975, τον Altair 8800 μέχρι και τα μέσα της δεκαετίας του 1980), και επίσης στην ευκολία σύνταξής της. Ο οικιακός προγραμματισμός από ερασιτέχνες (τους λεγόμενους «σκαπανείς») άνθισε εξαιτίας αυτής της γλώσσας. Ακόμα και σήμερα η γλώσσα BASIC προτιμάται έναντι άλλων για την εισαγωγή στον προγραμματισμό.

Ένα πρόγραμμα γραμμένο στη γλώσσα BASIC πρέπει να μετατραπεί σε γλώσσα μηχανής για να μπορέσει να εκτελεστεί από τον Η/Υ. Όπως συμβαίνει και με τις άλλες γλώσσες προγραμματισμού, την εργασία αυτή την διεκπεραιώνει ένας μεταγλωττιστής ή ένας διερμηνέας. Αρχικά οι διερμηνείς ήταν πολύ δημοφιλείς για την γλώσσα BASIC, αφού ο χρήστης μπορούσε να διακόψει όποτε ήθελε την εκτέλεση του προγράμματος του και να κάνει αλλαγές σε αυτό. Με την εισαγωγή όμως την έννοιας του Δομημένου Προγραμματισμού, καθώς και αντικειμενοστραφών εκδόσεων της γλώσσας, οι διερμηνείς αντικαταστάθηκαν από τους μεταγλωττιστές.

Ως διάλεκτος για την παρακάτω παρουσίαση θα χρησιμοποιηθεί η GW-BASIC.

Σύνταξη

Το κύριο πλεονέκτημα, αλλά και μειονέκτημα της γλώσσας είναι η ευελιξία της στη συγγραφή μικρών τμημάτων κώδικα.

Ένα απλό πρόγραμμα

Το παρακάτω πρόγραμμα σε BASIC εμφανίζει στην οθόνη του Η/Υ το μήνυμα «Hello, world!», χρησιμοποιώντας μόνο 2 γραμμές κώδικα:

```
10 PRINT "Hello, world!"  
20 END
```

ενώ ένα πρόγραμμα σε Pascal, μια άλλη δημοφιλή γλώσσα, θα χρειαζόταν 4 γραμμές κώδικα

```
program Hello;  
begin  
  writeln('Hello, world!');  
end.
```

Ετικέτες

Βασική έννοια στη γλώσσα BASIC είναι οι *ετικέτες (labels)*. Αυτές είναι αριθμοί που τοποθετούνται στην αρχή κάθε γραμμής και ορίζουν τη σειρά με την οποία θα εκτελούνται οι εντολές, π.χ η γραμμή με αριθμό 35 εκτελείται πριν από την γραμμή με αριθμό 218. Καθώς γράφονται νέες γραμμές, είθισται οι ετικέτες να αριθμούνται ανά 10. Αυτό είναι χρήσιμο στην εισαγωγή γραμμών που ξέχασε ο προγραμματιστής, ώστε να μην αλλάζει κάθε φορά τις προηγούμενες και επόμενες ετικέτες. Όταν περιγράφεται μια εντολή BASIC, εννοείται ότι προηγείται πάντα μια ετικέτα. Σε όλες τις νεότερες εκδόσεις της BASIC τόσο σε περιβάλλον DOS όσο και σε WINDOWS οι ετικέτες έχουν καταργηθεί.

Μεταβλητές/Εντολές εκχώρησης

Οι μεταβλητές στην γλώσσα BASIC είναι δύο τύπου: αλφαριθμητικές και χαρακτήρα. Για τα ονόματα των αλφαριθμητικών χρησιμοποιούνται κυρίως τα γράμματα του ελληνικού και οι χαρακτήρες υπογράμμισης: `_` και η παύλα. Στην περίπτωση που η μεταβλητή είναι τύπου χαρακτήρα, αυτό υποδηλώνεται με τον χαρακτήρα `$` στο τέλος του ονόματός της.

Η εκχώρηση τιμών γίνεται τυπικά με την εντολή `LET`, π.χ:

```
10 LET i = 1
20 LET A$ = "Καλοκαίρι"
```

Σε νεότερες εκδόσεις της γλώσσας, η εντολή `LET` μπορεί να παραληφθεί. Η εκχώρηση τότε γίνεται μόνο με την έκφραση της εντολής : π.χ `i=1` και `A$="καλοκαίρι"`.

Εντολές εισόδου/εξόδου

Η κύρια εντολή εξόδου (στην οθόνη) είναι η `PRINT`. Η ακριβής σύνταξή της είναι η εξής:

```
PRINT "κείμενο1", "κείμενο2", ..., "κείμενοN", μεταβλητή1, μεταβλητή2, ..., μεταβλητήN
```

Η εντολή `PRINT` εμφανίζει στην οθόνη απλό κείμενο, το οποίο περικλείουμε με εισαγωγικά ώστε να διαχωριστεί από μεταβλητή, π.χ. `PRINT "Αυτό θα δείτε στην οθόνη"` ή έναν οποιοδήποτε αριθμό όπως π.χ. `PRINT 5`. Εάν θέλουμε να εμφανίσουμε στην οθόνη κάποια μεταβλητή απλά γράφουμε το όνομα της, για παράδειγμα : `PRINT value1` (θα εμφανιστεί το περιεχόμενο της `value1`) ή `PRINT VALUE1$` (θα εμφανιστεί το περιεχόμενο της `VALUE1$`). Για να εμφανίσουμε με την ίδια εντολή περισσότερες από μια παραστάσεις (που μπορεί να είναι αριθμοί,

κείμενα, μεταβλητές) χρησιμοποιούμε ειδικά σημεία στίξης (, και ;) : π.χ. για να εμφανίσουμε κολλητά δύο παραστάσεις γράφουμε PRINT "Ο αριθμός είναι ίσος =";VALUE1. Για εμφάνιση με διάστημα 14 χαρακτήρων ανάμεσα τους γράφουμε PRINT value1,value2

Το κείμενο δηλαδή περικλείεται σε εισαγωγικά και διαχωρίζεται με κόμμα(,) ή ελληνικό ερωτηματικό(;) από τις μεταβλητές ή από άλλο κομμάτι κειμένου. Τα εισαγωγικά και το κείμενο εντός τους ορίζουν μια συμβολοσειρά.

Η κύρια εντολή εισόδου στην BASIC είναι η INPUT. Η σύνταξή της είναι:

```
INPUT μεταβλητή1, μεταβλητή2, ..., μεταβλητή N
```

Όταν ο Η/Υ εκτελεί μια εντολή INPUT, θέτει σε αναμονή την εκτέλεση του προγράμματος και περιμένει είσοδο δεδομένων από τον χρήστη. Ο χρήστης πρέπει να δώσει ίσο ή μεγαλύτερο αριθμό τιμών, χωρισμένων με κόμμα, και να πατήσει το πλήκτρο ENTER.

Σε μοντέρνες εκδόσεις της BASIC, όπως η Q-BASIC, είναι δυνατόν οι εντολές PRINT και INPUT να συνενωθούν, ώστε να σχηματίσουν μια συντομότερη δομή εισόδου/εξόδου:

```
INPUT "κείμενο_προς_τον_χρήστη", μεταβλητή1, μεταβλητή2, ..., μεταβλητή N
```

Δομές επιλογής

Οι δομές επιλογής υλοποιούνται στην BASIC με την ακολουθία IF...THEN...ELSEIF...ELSE...ENDIF. Για παράδειγμα, το επόμενο πρόγραμμα αποφασίζει αν ένας αριθμός που δίνεται από τον χρήστη είναι θετικός, μηδέν ή αρνητικός, και εμφανίζει το κατάλληλο μήνυμα:

```
10 PRINT "Δώσε έναν αριθμό"  
20 INPUT a  
30 IF a<0 THEN  
40 PRINT "Ο αριθμός είναι αρνητικός."  
50 ELSEIF a=0 THEN  
60 PRINT "Ο αριθμός είναι το μηδέν."  
70 ELSE  
80 PRINT "Ο αριθμός είναι θετικός."  
90 ENDIF  
100 END
```

Δομές επανάληψης

Οι δομές επανάληψης υλοποιούνται στην BASIC μέσω δύο βρόχοεντολών: FOR...TO...NEXT και WHILE...WEND.

Συγκεκριμένος αριθμός επαναλήψεων

Όταν ένα σύνολο εντολών πρέπει να επαναληφθεί ορισμένες φορές, χρησιμοποιείται η δομή FOR...TO...NEXT. Παράδειγμα αποτελεί το παρακάτω πρόγραμμα, το οποίο τυπώνει τους αριθμούς από το 1 έως το 10:

```
10 FOR i=1 TO 10  
20 PRINT i  
30 NEXT i  
40 END
```

Απροσδιόριστος αριθμός επαναλήψεων

Όταν ο αριθμός επαναλήψεων ενός συνόλου εντολών εξαρτάται από διαφορετικές συνθήκες εισόδου για κάθε εκτέλεση του προγράμματος, χρησιμοποιείται η δομή WHILE...WEND. Στο παρακάτω παράδειγμα,

τυπώνονται τα πολλαπλάσια του δέκα μέχρι ο χρήστης να δώσει την κατάλληλη τιμή (αρνητικό αριθμό), η οποία και σταματά την εκτέλεση του βρόχου:

```
10 i=1
20 WHILE n>=0
30 PRINT i*2%10
40 i=i+1
50 INPUT n
60 WEND
70 END
```

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ΒΙΒΛΙΟ « ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΑΝΟΙΚΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ», ΣΟΥΛΗΣ
2. <http://el.wikipedia.org/wiki/Fortran>
3. <http://el.wikipedia.org/wiki/BASIC>
4. <http://users.auth.gr/~prinosp/downloads/kefalaio3.pdf>
5. http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9D%CF%8C%CE%BC%CE%BF%CF%82_%CF%84%CE%BF%CF%85_%CE%9C%CF%80%CE%B5%CF%81%CE%BD%CE%BF%CF%8D%CE%BB%CE%B9
6. http://users.auth.gr/~prinosp/downloads/OLOIOLQVG_QOG.pdf
7. <http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A5%CE%B4%CF%81%CE%BF%CE%B4%CF%85%CE%BD%CE%B1%CE%BC%CE%B9%CE%BA%CE%AE>
8. http://www.math.aegean.gr/eedip/ctsag/homepage/Numerical_Analysis/chapter03.pdf

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Ροές ανοικτών αγωγών.	14
Εικόνα 2. Σχηματική απεικόνιση της εξίσωσης της συνέχειας.	17
Εικόνα 3. Σχηματική απεικόνιση Εξίσωση του BERNOLLI.	19
Εικόνα 4. Υδροστατική πίεση και ύψος σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο	22
Εικόνα 5. Ροή σε καμπύλη ροϊκής γραμμής	23
Εικόνα 6. Κατανομή πίεσης της ροής σε κυρτή επιφάνεια	24
Εικόνα 7. Κατανομή πίεσης της ροής σε κοίλη επιφάνεια	25
Εικόνα 8. Περιοχή μέσης ταχύτητας.	27
Εικόνα 9. Ενεργειακή κλίση	28
Εικόνα 10. Οριακό στρώμα.	32
Εικόνα 11. Κατανομή ταχυτήτων εντός οριακού στρώματος.	34
Εικόνα 12. Διάγραμμα Moody	39
Εικόνα 13. Περιοχές διαγράμματος Moody	41
Εικόνα 14. Τραπεζοειδής διατομή.	45
Εικόνα 15. Μεταβολή της γωνίας ηρεμίας σε σχέση με τη διάμετρο των υλικών	51
Εικόνα 16. Μεταβολή του K σε σχέση με την κλίση των πρηνών	51
Εικόνα 17. Ειδική ενέργεια της ροής	53
Εικόνα 18. Ενεργοδιάγραμμα, Ειδικής ενέργειας και βάθους ροής.	55
Εικόνα 19. Διάγραμμα βάθους ροής και ειδικής παροχής.	57
Εικόνα 20. Τυχαία διατομή.	60
Εικόνα 21. Σκαριφήματα ροών.	62
Εικόνα 22. Σκαρίφημα ορθογωνικής διατομής	65
Εικόνα 23. Κατασκευή ορθογωνικής διατομής	67
Εικόνα 24. Διάγραμμα ορθογωνικής διατομής.	68
Εικόνα 25. Σκαρίφημα τριγωνικής διατομής	72
Εικόνα 26. Τριγωνική διατομή.	74
Εικόνα 27. Διάγραμμα τριγωνικής διατομής	78
Εικόνα 28. Σκαρίφημα κυκλικής διατομής	79
Εικόνα 29. Διάγραμμα κυκλικής διατομής	83