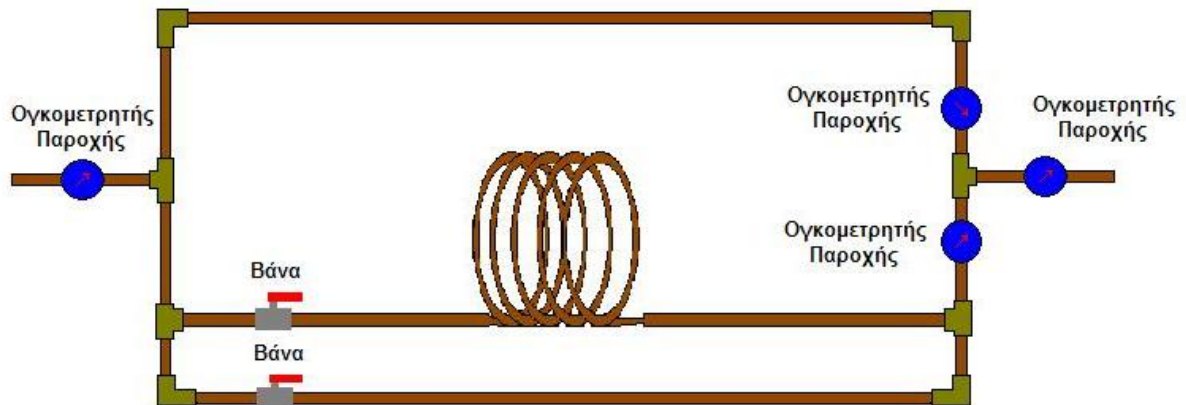


ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

## ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΣΕ ΣΩΛΗΝΟΓΡΑΜΜΗ



ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ:

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΜΙΖΙΚΥΡΗΣ  
ΧΡΥΣΑΝΘΟΣ ΜΙΖΙΚΥΡΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ:

ΓΙΑΝΝΑΚΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΣΥΝΕΡΓΑΤΗΣ

ΚΡΟΥΣΤΑΛΛΗ ΑΝΘΟΥΛΑ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΣΥΝΕΡΓΑΤΗΣ

ΠΑΤΡΑ 2010

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Πτυχιακή Εργασία που εκπονήθηκε στο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πατρών, στο Τμήμα της Μηχανολογίας, στο Εργαστήριο της Υδραυλικής και περιγράφει όλη την διαδικασία κατασκευής πειραματικής συσκευής για τον Υπολογισμό Απωλειών σε Σωληνογραμμή. Η κατασκευή της Πειραματικής Συσκευής είχε απώτερο σκοπό να καλύψει τις ανάγκες του Εργαστηρίου.

Στην αρχή της Πτυχιακής Εργασίας αναφέρονται όλοι οι Νόμοι της Ρευστομηχανικής που είναι αναγκαίοι για την χρήση της πειραματικής συσκευής. Στην συνέχεια αναφέρεται ο σχεδιασμός της συσκευής και όλη η διαδικασία παραγωγής της. Τέλος παρατίθενται όλα τα πειραματικά αποτελέσματα και οι υπολογισμοί.

Ευχαριστούμε θερμά τους επιβλέποντες καθηγητές μας κ. Ιωάννη Γιαννάκη, Εργαστηριακό Συνεργάτη του Τμήματος Μηχανολογίας και την κα Ανθούλα Κρουστάλλη, Εργαστηριακή Συνεργάτη του Τμήματος Μηχανολογίας για την πολύτιμη βοήθειά τους και που μας καθοδήγησαν από την αρχή μέχρι και το τέλος της κατασκευής.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία περιγράφει την διαδικασία κατασκευής μιας Πειραματικής Συσκευής η οποία πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για τις Εργαστηριακές ανάγκες του Τμήματος Μηχανολογίας. Με την συσκευή αυτή, δίνεται η δυνατότητα στους σπουδαστές, να εξασκηθούν στον υπολογισμό απωλειών μιας σωληνογραμμής διαφορετικών διαμέτρων και μηκών.

Η ανάπτυξη του θέματος γίνεται σε τρία Κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο αναφέρονται οι βασικοί νόμοι στους οποίους θεμελιώνεται η ανάπτυξη της Ρευστομηχανικής. Με βάση τις βασικές εξισώσεις, δίνεται η δυνατότητα στον αναγνώστη να μπορέσει να εκτιμήσει την συμπεριφορά των ρευστών κατά την κίνηση τους.

Στο δεύτερο κεφάλαιο ο αναγνώστης έχει την δυνατότητα να διαβάσει όλη την διαδικασία κατασκευής της πειραματικής συσκευής, γνωρίζοντας τα υλικά και την μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκαν. Είναι ένα κεφάλαιο που χαρακτηρίζεται από το πλούσιο φωτογραφικό του υλικό, μέσα από το οποίο επισημαίνονται οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες. Τέλος γίνεται και οικονομοτεχνική ανάλυση για το κόστος κατασκευής της πειραματικής συσκευής.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναπτύσσονται τα αποτελέσματα των πειραμάτων και οι υπολογισμοί των μετρήσεων.

Με την παρούσα Πτυχιακή Εργασία πιστεύεται ότι έγινε μια προσπάθεια από μέρος μας με στόχο να συμβάλλουμε στην κάλυψη των αναγκών του Εργαστηρίου της Υδραυλικής.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## 1. ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΙΣ ΝΟΜΟΙ ΤΗΣ ΡΕΥΣΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	6
1.2 ΕΞΙΣΩΣΗ ΣΥΝΕΧΕΙΑΣ ΣΕ ΜΟΝΙΜΗ ΜΟΝΟΔΙΑΣΤΑΤΗ ΡΟΗ.....	6
1.3 ΑΠΩΛΕΙΕΣ.....	8
1.3.1 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΛΟΓΩ ΤΡΙΒΗΣ.....	8
1.3.2 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΤΡΙΒΗΣ $f$ ΓΙΑ ΣΤΡΩΤΗ ΡΟΗ.....	9
1.3.3 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΤΡΙΒΗΣ $f$ ΓΙΑ ΤΥΡΒΩΔΗ ΡΟΗ.....	10
1.3.4 ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ.....	12
1.3.5 ΤΟΠΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	13
1.3.6 ΑΠΩΛΕΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΛΟΓΩ ΑΠΟΤΟΜΗΣ ΣΜΙΚΡΥΝΣΕΩΣ ΤΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ.....	13
1.3.7 ΑΠΩΛΕΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΛΟΓΩ ΑΠΟΤΟΜΗΣ ΔΙΕΥΡΥΝΣΕΩΣ ΤΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ.....	15
1.3.8 ΑΠΟΤΟΜΕΣ ΔΙΑΣΤΟΛΕΣ.....	16
1.3.9 ΣΤΟΜΙΑ ΕΙΣΟΔΟΥ ΑΓΩΓΩΝ.....	17
1.3.10 ΣΤΟΜΙΑ ΕΞΟΔΟΥ ΑΓΩΓΩΝ.....	17
1.3.11 ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΚΑΙ ΓΩΝΙΕΣ.....	18
1.3.12 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ.....	18
1.3.13 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΓΩΓΩΝ.....	19
1.3.13.1 ΣΩΛΗΝΕΣ ΣΕ ΣΕΙΡΑ.....	19
1.3.13.2 ΣΩΛΗΝΕΣ ΣΕ ΠΑΡΑΛΛΗΛΗ ΔΙΑΤΑΞΗ.....	21

## 2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΣΥΣΚΕΥΗ

2.1 ΔΙΑΤΑΞΗ ΣΥΣΚΕΥΗΣ.....	23
2.2 ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ & ΥΛΙΚΑ.....	25
2.3 ΕΡΓΑΛΕΙΑ.....	29
2.4 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΧΑΛΚΟΣΩΛΗΝΩΝ.....	30

2.5 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ.....	35
3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.....	46
3.1 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 1 <sup>Η</sup> : ΔΥΟ ΒΑΝΕΣ ΑΝΟΙΚΤΕΣ (2 διαφορετικές παροχές εισόδου).....	50
3.2 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 2 <sup>Η</sup> : ΑΝΩ ΒΑΝΑ ΑΝΟΙΚΤΗ - ΚΑΤΩ ΒΑΝΑ ΚΛΕΙΣΤΗ (2 διαφορετικές παροχές εισόδου).....	56
3.3 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 3 <sup>Η</sup> : ΚΑΤΩ ΒΑΝΑ ΑΝΟΙΚΤΗ - ΑΝΩ ΒΑΝΑ ΚΛΕΙΣΤΗ (2 διαφορετικές παροχές εισόδου).....	62
3.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	68
3.5 ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	69
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	70

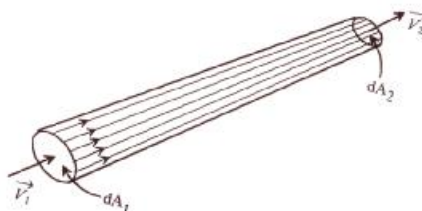
# 1. ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΙΣ ΝΟΜΟΙ ΤΗΣ ΡΕΥΣΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

## 1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η φύση της ροής ενός πραγματικού ρευστού είναι πολύ περίπλοκη. Οι βασικοί νόμοι στους οποίους θεμελιώνεται η ανάπτυξη της Ρευστομηχανικής, δεν είναι εύκολο να υποστούν επεξεργασία και να διατυπωθούν πειραματικά. Αποδεικνύονται, όμως, έμμεσα με σύγκριση των αποτελεσμάτων της μαθηματικής αναλύσεως και των πειραματικών δεδομένων. Μια από τις βασικές εξισώσεις με βάση την οποία μπορούμε να εκτιμήσουμε την συμπεριφορά των ρευστών κατά την κίνησή τους είναι η εξίσωση της συνέχειας. Στο κεφάλαιο αυτό, στο οποίο παρατίθενται οι βασικές εξισώσεις κινήσεως, κατά κανόνα αναπτύσσεται η θεωρία των απωλειών σε κυκλικούς αγωγούς για ασυμπίεστο ρευστό που είναι απαλλαγμένο από την επίδραση του ιξώδους, το νερό.

## 1.2 ΕΞΙΣΩΣΗ ΣΥΝΕΧΕΙΑΣ ΣΕ ΜΟΝΙΜΗ ΜΟΝΟΔΙΑΣΤΑΤΗ ΡΟΗ

Θεωρούμε μόνιμη ροή σε ένα τμήμα ροϊκού νήματος (Σχ.1). Ο όγκος ελέγχου περιβάλλεται από τα τοιχώματα του ροϊκού νήματος και από τις επιφάνειες των διατομών  $dA_1$  και  $dA_2$ .



Σχήμα 1: Τμήμα ροϊκού νήματος

Επειδή η κάθετη συνιστώσα της ταχύτητας στην επιφάνεια του ροϊκού νήματος είναι μηδενική, το ρευστό εισρέει ή εκρέει στο ροϊκό νήμα μόνο από τα άκρα των δύο διατομών. Έτσι, ισχύει το ολοκλήρωμα :

$$\int_s \mathbf{r} \cdot \mathbf{V} \mathbf{N} dA = r_1 V_1 dA_1 - r_2 V_2 dA_2$$

Και η εξίσωση συνέχειας γράφεται:

$$\int_U \frac{\partial \rho}{\partial t} dU = r_1 V_1 dA_1 - r_2 V_2 dA_2$$

Για σταθερή ροή,  $\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$  η προηγούμενη εξίσωση γίνεται :

$$r_1 V_1 A_1 - r_2 V_2 A_2 = \dot{m}$$

όπου  $\dot{m}$  είναι η παροχή μάζας, δηλαδή η μάζα που ρέει στη μονάδα του χρόνου. Αν το ρευστό είναι ασυμπίεστο,  $\rho = \text{σταθ}$ , η παραπάνω σχέση λαμβάνει τη μορφή

$$A_1 V_1 = A_2 V_2 = Q$$

όπου Q είναι η παροχή όγκου και  $A_1, A_2$  τα εμβαδά των δύο διατομών.

### 1.3 ΑΠΩΛΕΙΕΣ

Οι απώλειες σε μια σωληνογραμμή που εξετάζονται είναι δύο ειδών, οι απώλειες λόγω τριβής και οι τοπικές απώλειες.

Απώλειες λόγω τριβής είναι αυτές που συμβαίνουν στα ευθύγραμμα τμήματα της σωλήνωσης και εξαρτώνται όπως είναι λογικό από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της σωλήνας που χρησιμοποιείται καθώς και το υλικό κατασκευής της.

Τοπικές απώλειες είναι αυτές που προκαλούνται λόγω των διαφόρων εξαρτημάτων που παρεμβάλλονται στη ροή των ρευστών. Εδώ συμπεριλαμβάνονται οι στροφές, οι συστολές και οι διαστολές.

#### 1.3.1 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΛΟΓΩ ΤΡΙΒΗΣ

Η απώλεια ενέργειας κατά τη σταθερή και ομοιόμορφη ροή μέσα σε ένα σωλήνα δίνεται από τη γνωστή σχέση Darcy-Weisbach:

$$\Delta H_L = f \frac{L V^2}{d 2g}$$

όπου :	f	=	ο συντελεστής τριβής
	L	=	το μήκος του αγωγού
	d	=	η εσωτερική διάμετρος του αγωγού
	V	=	η μέση ταχύτητα του ρευστού
	g	=	η επιτάχυνση της βαρύτητας (9,81 m/s <sup>2</sup> )

Για τυρβώδη ροή σε λείους σωλήνες, τα πειράματα έδειξαν ότι η απώλεια ενέργειας είναι ευθέως ανάλογη του μήκους του σωλήνα, σχεδόν ευθέως ανάλογη του



τετραγώνου της ταχύτητας, σχεδόν αντιστρόφως ανάλογη της διαμέτρου και εξαρτάται από την πυκνότητα και το ιξώδες του ρευστού. Έτσι ο συντελεστής  $f$  πρέπει να παίρνει τις κατάλληλες τιμές ώστε με την παραπάνω εξίσωση να υπολογίζεται σωστά η απώλεια ενέργειας.

Με διάφορους προσεγγιστικούς υπολογισμούς και με τη χρήση εμπειρικών δεδομένων έχουν βρεθεί ικανοποιητικές σχέσεις για το συντελεστή τριβής της τυρβώδους ροής για ορισμένες περιοχές του αριθμού Reynolds.

### 1.3.2 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΤΡΙΒΗΣ $f$ ΓΙΑ ΣΤΡΩΤΗ ΡΟΗ

Ο συντελεστής τριβής  $f$  εξαρτάται από τις συνθήκες ροής και τον βαθμό κατεργασίας της εσωτερικής επιφάνειας του αγωγού. Για στρωτή ροή ο συντελεστής τριβής προκύπτει από τον τύπο :

$$f = \frac{64}{Re}, \text{ όπου } Re = \frac{\rho u d}{\mu}$$

όπου :  $Re$  = ο αριθμός Reynolds

$\mu$  = το ιξώδες

$\rho$  = η πυκνότητα

$u$  = ταχύτητα

$d$  = διάμετρος

Όταν  $Re < 2000$ , τότε έχουμε στρωτή ροή.

Όταν  $Re > 2000$ , τότε έχουμε τυρβώδη ροή.

### 1.3.3 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΤΡΙΒΗΣ $f$ ΓΙΑ ΤΥΡΒΩΔΗ ΡΟΗ

Η πρώτη σημαντική προσπάθεια για τη συσχέτιση του συντελεστή τριβής  $f$  με τον αριθμό  $Re$  και την κατανομή της ταχύτητας για την τυρβώδη ροή σε λείους σωλήνες πραγματοποιήθηκε από τον Blasius που κατέληξε στην απλή σχέση:

$$f = \frac{0.316}{Re^{1/4}}$$

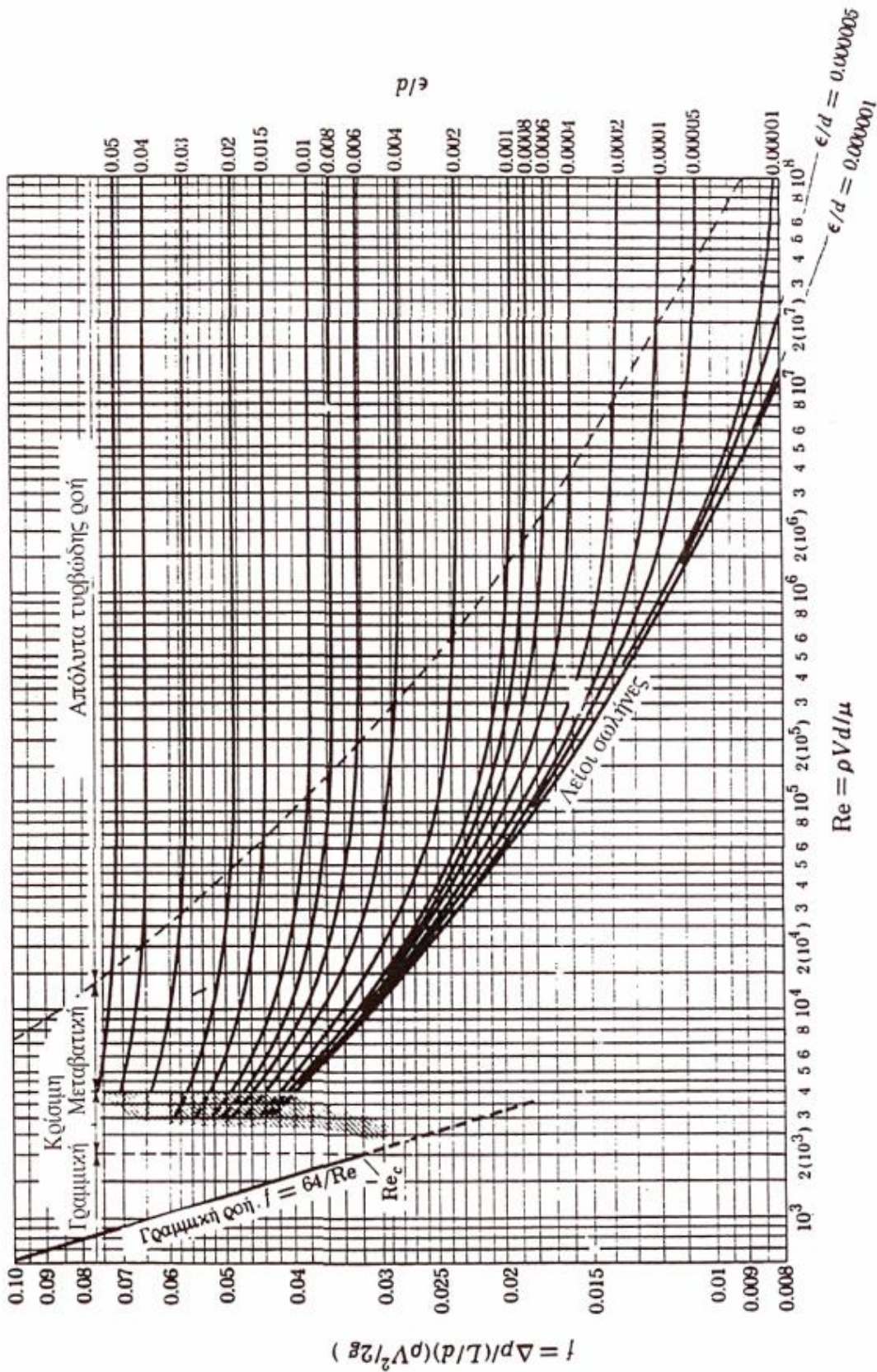
Η εργασία του Blasius βασίστηκε σε πειραματικά δεδομένα σχετικά με τη ροή ρευστών σε λείους σωλήνες κυκλικής διατομής με αριθμό Reynolds μέχρι  $Re = 10^5$ . Επειδή υπάρχει σημαντική απόκλιση μεταξύ των πειραματικών δεδομένων και της εξισώσεως του Blasius για  $Re > 10^5$ , δόθηκαν και άλλες εμπειρικές εξισώσεις, οι οποίες καλύπτουν μεγαλύτερες περιοχές του αριθμού Reynolds.

Έτσι ισχύουν οι παρακάτω σχέσεις:

Av  $4000 < Re < 10^5$  τότε  $f = \frac{0.316}{Re^{1/4}}$

Av  $Re > 10^5$  τότε  $\frac{1}{\sqrt{f}} = -0.8 + 0.87 \ln(Re \sqrt{f})$

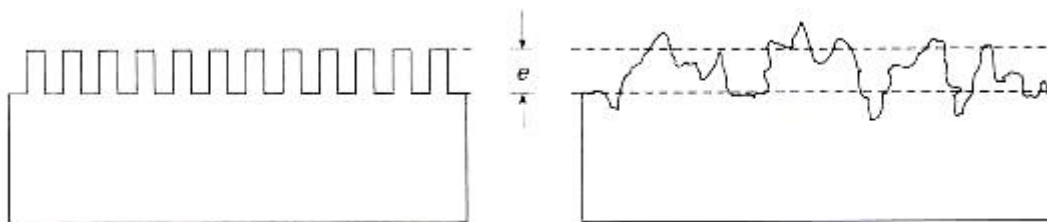
Ο Moody παρουσίασε ένα γενικό διάγραμμα (Διαγρ.1), που εκφράζει το συντελεστή  $f$  συναρτήσει της σχετικής τραχύτητας και του αριθμού του Reynolds.



Διάγραμμα 1: Διάγραμμα Moody

### 1.3.4 ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ

Η επιφάνεια κάθε στερεού, όσο λεία και αν φαίνεται, παρουσιάζει ανωμαλίες. Το μέγεθος των ανωμαλιών αυτών εκφράζεται ποσοτικά με ένα χαρακτηριστικό μήκος,  $e$ , το οποίο ονομάζεται (απόλυτη) τραχύτητα της επιφάνειας. Το μήκος  $e$  είναι ίσο με τη μέση στατιστική τιμή των υψών των εσοχών και των προεξοχών της επιφάνειας σε μια μεγάλη (σχετικά με το μέγεθός τους) έκταση(Σχ.2).



**Σχήμα 2:** Επιφάνεια Τραχύτητας

Η τιμή  $e$  ή  $\epsilon$ , εξαρτάται από το υλικό κατασκευής και από την επεξεργασία των εσωτερικών τοιχωμάτων του σωλήνα. Η διάβρωση και οι αποθέσεις αυξάνουν την τραχύτητα. Ενδεικτικές τιμές φαίνονται στον παρακάτω πίνακα (Πιν.1):

**Πίνακας 1:** Τραχύτητες Σωλήνων Εμπορίου

Μέση Τραχύτητα Σωλήνων Εμπορίου	
Υλικό Κατασκευής	Τραχύτητα (mm)
Χάλυβας Εμπορίου	0,046
Χυτοσίδηρος	0,26
Γαλβανισμένος Σίδηρος	0,15
Ασφαλτωμένος Σίδηρος	0,12
Χαλκός, Ελαφρά μέταλλα	0,013 ÷ 0,015
Σκυρόδεμα	0,3 ÷ 3,0
Κεραμικό	~0,07
Πλαστικό	0,0016

### 1.3.5 ΤΟΠΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Κατά τη μεταφορά των ρευστών σε κλειστούς αγωγούς εκτός από την απώλεια ενέργειας λόγω τριβών, υπάρχει και απώλεια ενέργειας λόγω τοπικών διαταραχών της ροής, οι οποίες καλούνται δευτερεύουσες απώλειες. Για σωλήνα μεγάλου μήκους, οι απώλειες αυτές είναι συνήθως ασήμαντες συγκριτικά με τη τριβή του ρευστού στο θεωρούμενο μήκος. Αν, όμως το μήκος του σωλήνα είναι πολύ μικρό, οι δευτερεύουσες απώλειες είναι σημαντικές και πολλές φορές μεγαλύτερες από τις απώλειες λόγω τριβών. Οι τοπικές διαταραχές της ροής προκαλούνται από τις γεωμετρικές μεταβολές αγωγών σταθερής διατομής που έχουν σαν αποτέλεσμα τη διατάραξη των χαρακτηριστικών της ομοιόμορφης ροής. Έτσι κατά τη διεύθυνση της ροής και σε σχετικά μικρό μήκος, δημιουργείται στροβιλώδης κυκλοφορία στην οποία οφείλονται κυρίως οι τοπικές απώλειες. Αυτές είναι δυνατόν να εκφραστούν με τη σχέση

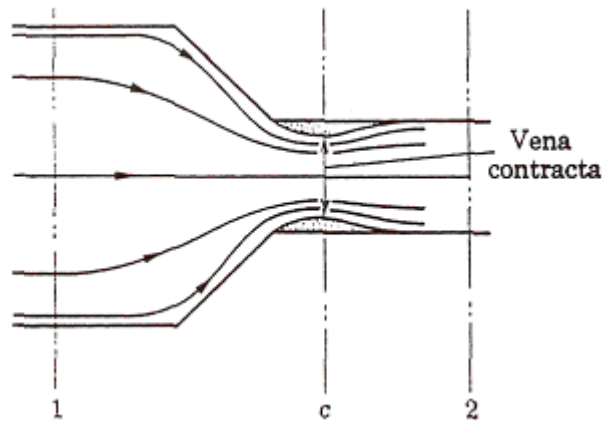
$$\Delta H_T = \zeta \frac{U^2}{2g}$$

όπου :  $U$  = η μέση ταχύτητα του ρευστού

$\zeta$  = συντελεστής απωλειών του εξαρτήματος

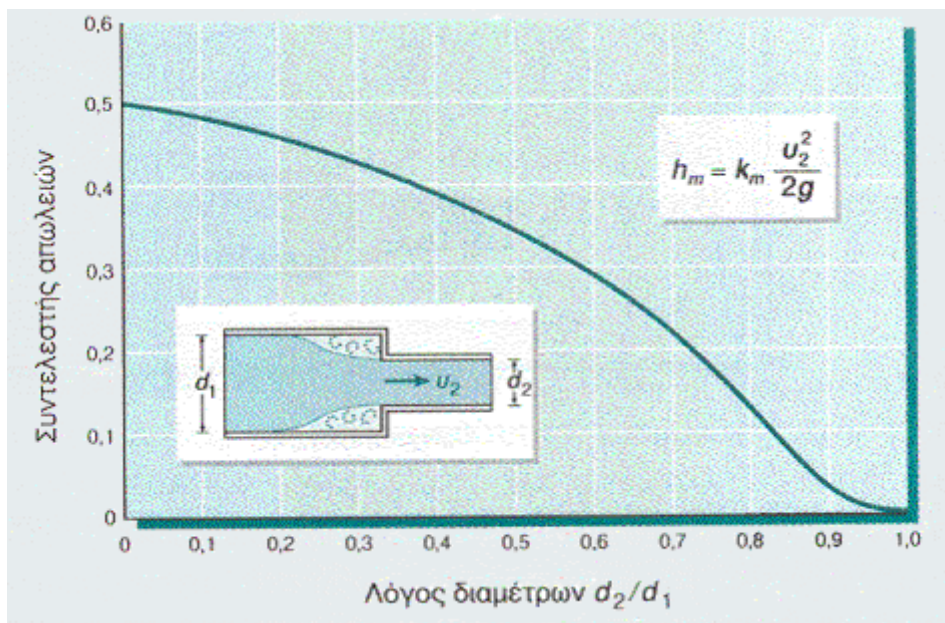
### 1.3.6 ΑΠΩΛΕΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΛΟΓΩ ΑΠΟΤΟΜΗΣ ΣΜΙΚΡΥΝΣΕΩΣ ΤΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ

Στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται η περίπτωση δισδιάστατης ροής ενός ασυμπίεστου ρευστού σε ένα αγωγό, με απότομη ελάττωση της διατομής του. Η ροή στις διατομές (1) και (2) είναι ομοιόμορφη. Ενώ στη περιοχή μεταξύ (1) και (2) είναι ανομοιόμορφη λόγω μεταβολής της γεωμετρίας του αγωγού. Κατά την απότομη στένωση η ροή συγκλίνει για να σχηματίσει τη συνεσταλμένη διατομή  $c$  (vena contracta). Η απώλεια ενέργειας κατά τη σύγκλιση μεταξύ των διατομών (1) και (c) θεωρείται πολύ μικρή σε σχέση με την απώλεια που σημειώνεται κατά τη διεύρυνση της ροής, δηλαδή από τη διατομή (c) στη (2).



**Σχήμα 3:** Απώλεια ενέργειας λόγω απότομης ελαττώσεως της διατομής

Στο παρακάτω διάγραμμα (Διάγρ.2) φαίνεται ο υπολογισμός του συντελεστή απωλειών για απότομη συστολή.



**Διάγραμμα 2:** Συντελεστής απωλειών για απότομη συστολή αγωγού

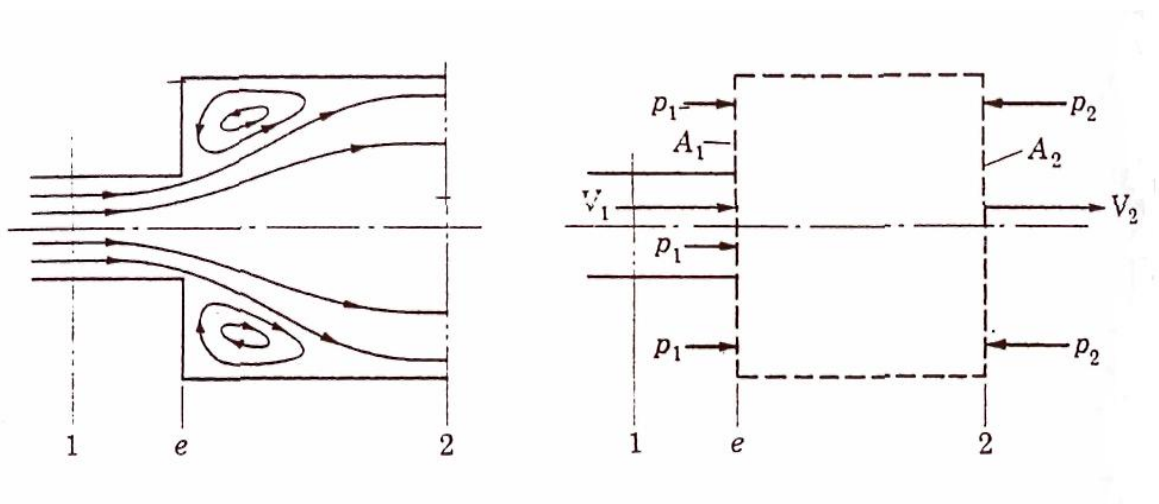
Εμπειρικός τύπος για τον συντελεστή απωλειών για απότομη συστολή αγωγού είναι ο εξής:

$$z \approx 0,42 \left( 1 - \left( \frac{d_2}{d_1} \right)^2 \right)$$

### 1.3.7 ΑΠΩΛΕΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΛΟΓΩ ΑΠΟΤΟΜΗΣ ΔΙΕΥΡΥΝΣΕΩΣ ΤΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ

Η εικόνα της ροής σ' έναν αγωγό με απότομη διεύρυνση της διατομής του είναι τελείως διαφορετική από εκείνη που εξετάσαμε στην απότομη συστολή. Στην περίπτωση αυτή, κατά μήκος του στερεού ορίου, υπάρχει μια θετική κλίση πιέσεων ( $dp/dx > 0$ ), η οποία προκαλεί την αποκόλληση της ροής. Αποτέλεσμα της αποκολλησεως είναι η δημιουργία θυλάκων στροβιλοειδούς τύρβης έξω από την περιοχή της ροής, οι οποίοι για την διατήρησή τους καταναλώνουν ενέργεια από την κυρίως ροή (Σχ. 4).

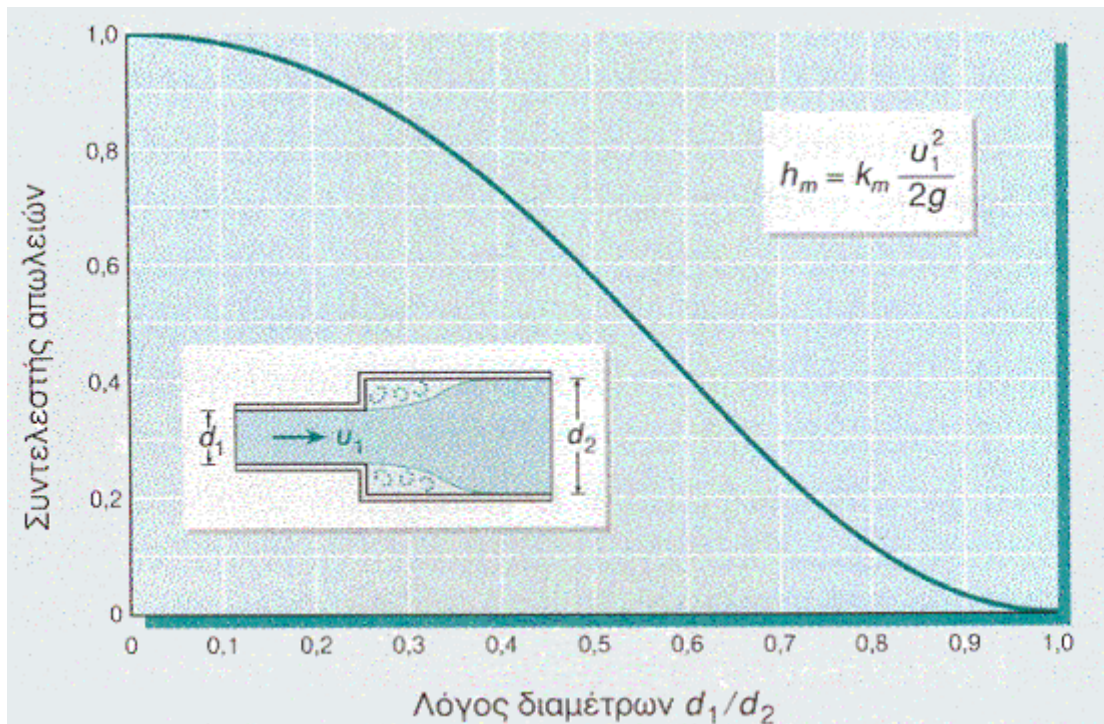
Επιπλέον οι μεγάλες κλίσεις της ταχύτητας στην επιφάνεια διαχωρισμού ευνοούν το σχηματισμό δινών μέσα στην ροή.



Σχήμα 4: Απώλεια ενέργειας σε απότομη διαστολή

### 1.3.8 ΑΠΟΤΟΜΕΣ ΔΙΑΣΤΟΛΕΣ

Όμοια ισχύει και για απότομες διαστολές. (Διαγρ.4)



**Διάγραμμα 4:** Συντελεστής απωλειών για απότομη διαστολή αγωγού

Εμπειρικός τύπος για τον συντελεστή απωλειών για απότομη διαστολή αγωγού είναι ο εξής:

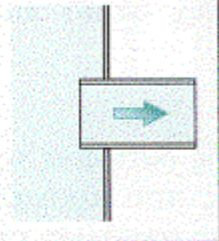
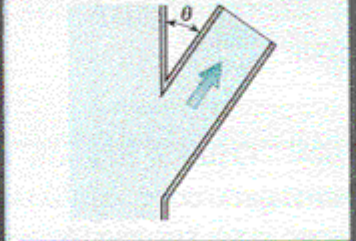
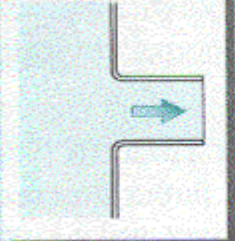
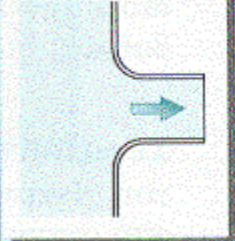
$$z \approx \left( 1 - \left( \frac{d_1}{d_2} \right)^2 \right)^2$$

Παρακάτω παρατίθενται διάφοροι πίνακες για εξαρτήματα σύνδεσης των αγωγών με τους αντίστοιχους συντελεστές απωλειών  $\zeta$ .



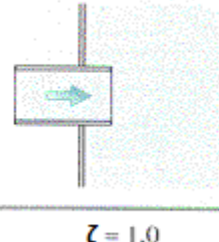
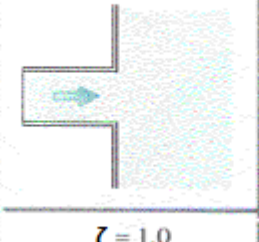

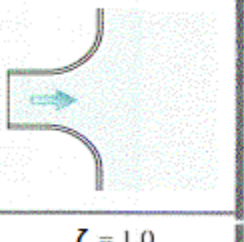
### 1.3.9 ΣΤΟΜΙΑ ΕΙΣΟΔΟΥ ΑΓΩΓΩΝ

Πίνακας 2: Συντελεστές Απωλειών Στοιμίων Εισόδου

Στόμιο Borda	Στόμιο με Οξεία Χείλη	Στόμια με Στρογγυλευμένα Χείλη	
			
$\zeta = 0,78$	$\zeta = 0,5 + 0,3\cos\theta + 0,2\cos^2\theta$	$\zeta = 0,2$	$\zeta = 0,04$

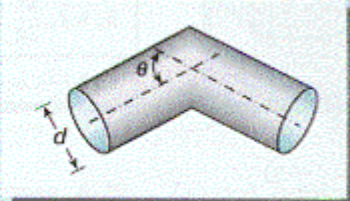
### 1.3.10 ΣΤΟΜΙΑ ΕΞΟΔΟΥ ΑΓΩΓΩΝ

Πίνακας 3: Συντελεστές Απωλειών Στοιμίων Εξόδου Αγωγών

Στόμιο Borda	Στόμιο με Οξεία Χείλη	Στόμια με Στρογγυλευμένα Χείλη	
			
$\zeta = 1,0$	$\zeta = 1,0$	$\zeta = 1,0$	$\zeta = 1,0$

### 1.3.11 ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΚΑΙ ΓΩΝΙΕΣ

Πίνακας 4: Συντελεστές Απωλειών για Λοξή Σύνδεση Αγωγών



$\theta$	20°	30°	45°	60°	75°	90°
$\zeta$	0,08	0,16	0,34	0,55	0,81	1,20

### 1.3.12 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ

Από τον παρακάτω Πίνακα 5 επιλέγεται ο συντελεστής αντίστασης για την βάννα που θα τοποθετηθεί στην συσκευή.

Σύρτης		Διάμ.	
		10 έως 15 mm (3/8", 1/2")	20+ 25 (3/4", 1")
Ρυθμιστικός Διακόπτης	Ευθύς	10	7
	Γωνιακός	3,5	3,0
Κραυγός	Ευθύς	8,5	6,0
	Γωνιακός	4,0	2,0
Βάννα		1,0	0,5

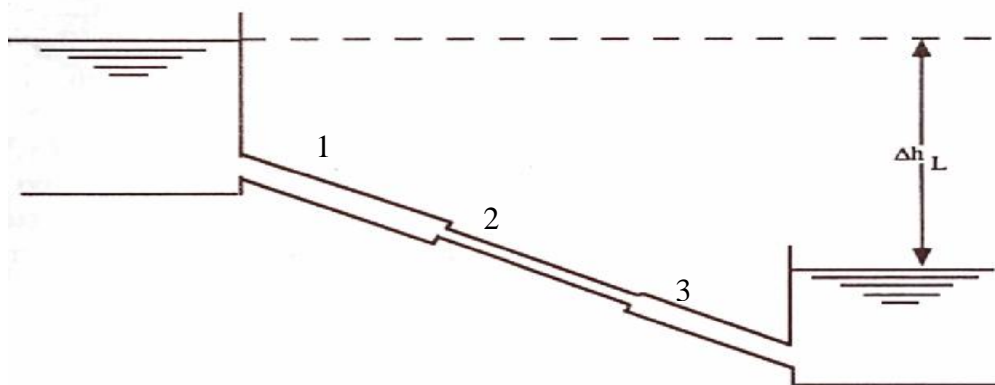
Πίνακας 5: Συντελεστές Τοπικής Αντίστασης εξαρτημάτων

### 1.3.13 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΓΩΓΩΝ

Στις τεχνικές εφαρμογές, κατά τις οποίες οι αγωγοί συνθέτουν διάφορα δίκτυα ή συστήματα αγωγών, ιδιαίτερη σημασία αποκτά ο υπολογισμός της παροχής και το ύψος της απώλειας. Τρεις είναι οι συνηθέστερες περιπτώσεις που θα αναλυθούν παρακάτω.

#### 1.3.13.1 ΣΩΛΗΝΕΣ ΣΕ ΣΕΙΡΑ

Κατά την σύνδεση των αγωγών σε σειρά (Σχ. 5), η εξίσωση της συνέχειας και η εξίσωση της ενέργειας επιβάλλουν την ικανοποίηση των παρακάτω σχέσεων:



Σχήμα 5: Σωλήνες σε σειρά

$$Q = Q_1 = Q_2 = Q_3 = \dots\dots\dots$$

$$\Delta h_L = \Delta h_{L1} + \Delta h_{L2} + \Delta h_{L3} + \dots\dots\dots$$

Όταν είναι γνωστή η τιμή της παροχής, το ολικό ύψος της απώλειας υπολογίζεται με την πρόσθεση των επιμέρους απωλειών ενέργειας σε κάθε σωλήνα. Αν είναι γνωστό το ολικό ύψος των απωλειών, για την εύρεση της παροχής αναγράφεται η τελευταία

εξίσωση για το ύψος των απωλειών κάθε αγωγού σε συνάρτηση με τα στοιχεία του.

Θα είναι:

$$\Delta H_L = f_1 \frac{L_1}{d_1} \frac{V_1^2}{2g} + f_2 \frac{L_2}{d_2} \frac{V_2^2}{2g} + f_3 \frac{L_3}{d_3} \frac{V_3^2}{2g} + \dots$$

Οι τιμές των συντελεστών τριβής  $f_1, f_2, f_3, \dots$  επιλέγονται από το διάγραμμα Moody έτσι ώστε να βρίσκονται στα πλαίσια λογικών τιμών για τους δεδομένους σωλήνες. Χρησιμοποιώντας την εξίσωση συνέχειας, το ύψος της απώλειας ενέργειας για κάθε σωλήνα μπορεί να εκφραστεί ως συνάρτηση ενός μόνο ύψους ταχύτητας  $V$ . Έτσι, η εξίσωση επιλύεται ως προς  $V$ , από την οποία μπορούμε να υπολογίσουμε την παροχή  $Q$ . Για μεγαλύτερη ακρίβεια, αν οι τιμές των συντελεστών  $f$ , που υπολογίζονται με βάση την ταχύτητα  $V$ , δεν συμφωνούν με τις προσεγγίσεις που έγιναν, οι υπολογισμοί επαναλαμβάνονται με νέες τιμές των συντελεστών τριβής. Πολλές φορές, για την επίλυση προβλημάτων σχετικά με αγωγούς σε σειρά χρησιμοποιείται η μέθοδος των ισοδύναμων μηκών. Δύο συστήματα αγωγών ονομάζονται ισοδύναμα, όταν το ίδιο ύψος απωλειών αντιστοιχεί στην ίδια παροχή και στα δυο συστήματα. Τα ύψη των απωλειών σε δυο συστήματα αγωγών είναι:

$$\Delta h_{L1} = \frac{16f_1 L_1}{2\pi^2 g d_1^5} Q_1^2$$

και

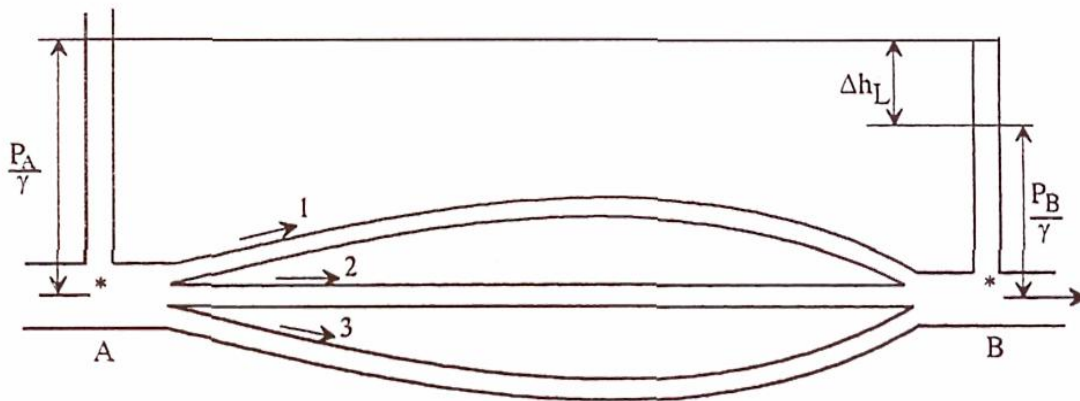
$$\Delta h_{L2} = \frac{16f_2 L_2}{2\pi^2 g d_2^5} Q_2^2$$

### 1.3.13.2 ΣΩΛΗΝΕΣ ΣΕ ΠΑΡΑΛΛΗΛΗ ΔΙΑΤΑΞΗ

Κατά την σύνδεση των αγωγών σε παράλληλη διάταξη (Σχ. 6), η εξίσωση της συνέχειας και η εξίσωση της ενέργειας επιβάλλουν την ικανοποίηση των σχέσεων:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots$$

$$\Delta h_L = \Delta h_{L1} = \Delta h_{L2} = \Delta h_{L3} = \dots$$



**Σχήμα 6:** Σύστημα αγωγών σε παράλληλη διάταξη

εφόσον οι πιέσεις στα άκρα A και B είναι ίδιες για όλους τους αγωγούς. Αν δίνεται το ύψος των απωλειών ενέργειας μεταξύ των σημείων A και B, η ολική παροχή υπολογίζεται με την πρόσθεση των παροχών των επιμέρους αγωγών. Αν δίνεται η ολική παροχή, η παροχή και οι απώλειες ενέργειας σε κάθε αγωγό υπολογίζονται με το να γραφεί η εξίσωση για κάθε αγωγό σε συνάρτηση με τα στοιχεία του. Η εξίσωση αυτή συμπληρώνεται για κάθε αγωγό με το ύψος των απωλειών

$$\Delta h_L = \left( f \frac{L}{d} + \Sigma K \right) \frac{V^2}{2g}$$

όπου  $\Sigma K$  είναι το άθροισμα των συντελεστών δευτερευουσών απωλειών. Για μεγάλα μήκη αγωγών, οι δευτερεύουσες απώλειες είναι αμελητέες και η παραπάνω σχέση γίνεται:

$$\Delta h_L = f \frac{L}{d} \frac{V^2}{2g} = f \frac{L}{d} \frac{16Q^2}{2g\pi^2 d^4} = \left( \frac{16fL}{2\pi^2 g d^5} \right) Q^2$$

ή γενικά  $\Delta h_L = KQ^n$  με  $K = \frac{16fL}{2\pi^2 g d^5}$

Έτσι το σύστημα των δυο εξισώσεων που προκύπτει, είναι:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n$$

$$K_1 Q_1^n = K_2 Q_2^n = K_3 Q_3^n = \dots = K_n Q_n^n$$

Αν τα  $K_1, K_2, \dots, K_n$  είναι γνωστά, με την επίλυση των παραπάνω εξισώσεων υπολογίζεται η παροχή κάθε αγωγού.

## 2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΣΥΣΚΕΥΗ

### 2.1 ΔΙΑΤΑΞΗ ΣΥΣΚΕΥΗΣ

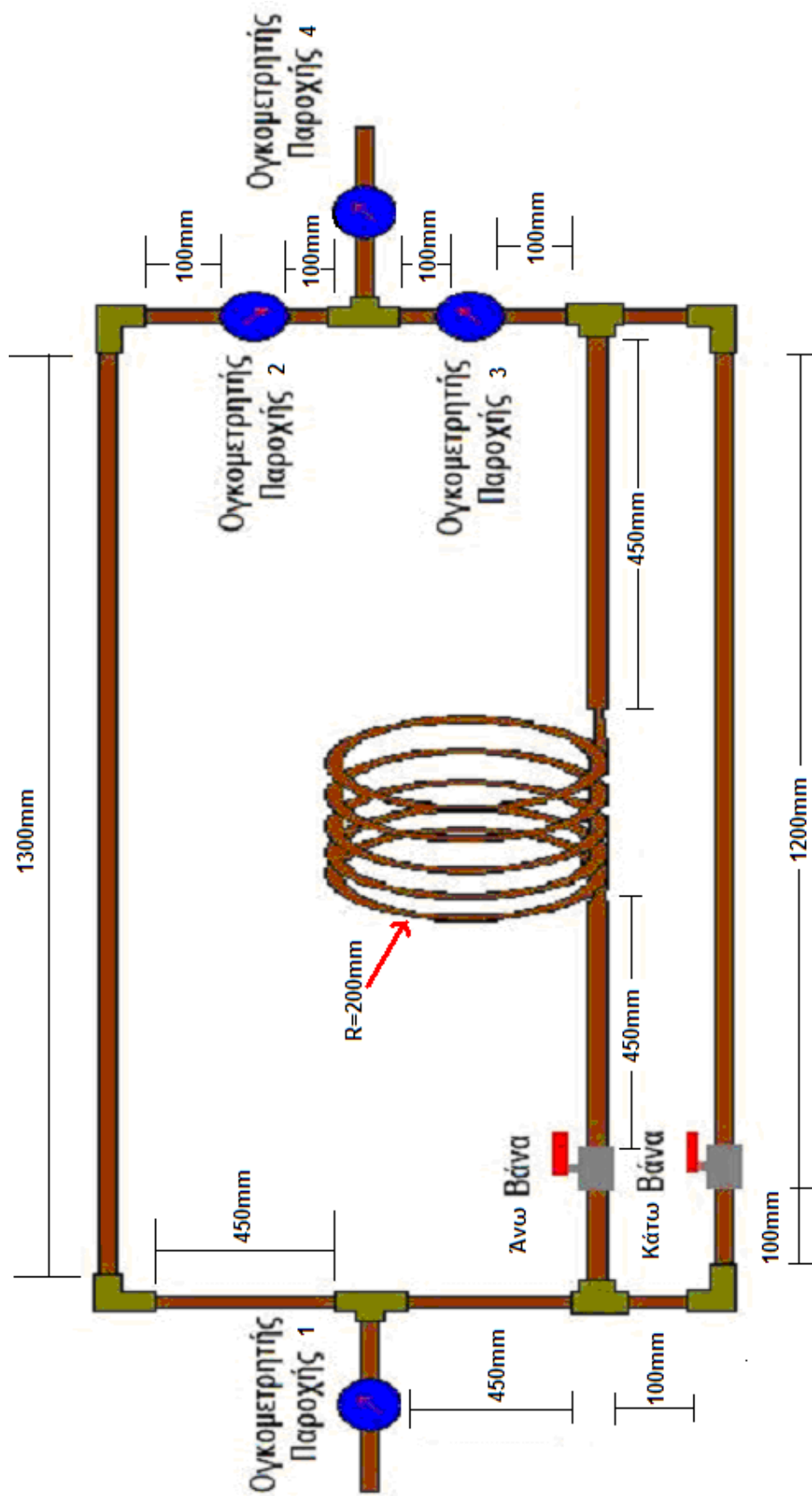
Η πειραματική συσκευή αποτελείται από αγωγούς διαφορετικών διατομών από υλικό χαλκοσωλήνα. Στην είσοδο, στην έξοδο και στους ενδιάμεσους αγωγούς παρεμβάλλονται ογκομετρικά ρολόγια για την μέτρηση της παροχής.

Οι χαλκοσωλήνες συνδέονται μεταξύ τους με εξαρτήματα συνδέσεις –γωνιές  $90^\circ$  και ταφ- καθώς επίσης έχουν τοποθετηθεί δύο βάννες για να ελέγχεται η παροχή, έτσι ώστε να μπορεί να υπάρχει δυνατότητα διακοπής της παροχής σε έναν από τους δύο κλάδους ή ακόμη και στους δύο ταυτόχρονα.

Τα ογκομετρικά ρολόγια συνδέονται με τον χαλκοσωλήνα μέσω ρακόρ.

Η κόλληση είναι μαλακή, όπου και η διαδικασία κόλλησης περιγράφεται αναλυτικά στην επόμενη παράγραφο.

Το σχέδιο της πειραματικής συσκευής (Σχ.7) με τις διαστάσεις του φαίνεται παρακάτω:



Σχήμα 7: Σκαρφήμα συσκευής



## 2.2 ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ & ΥΛΙΚΑ

Τα εξαρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν είναι:

1. Ογκομετρικά ρολόγια με ακρίβεια  $0,0001\text{m}^3$  (Εικ.1). Υπάρχουν 4 ρολόγια ακρίβειας  $0,1\text{m}^3$ ,  $0,01\text{m}^3$ ,  $0,001\text{m}^3$  και  $0,0001\text{m}^3$  έκαστο.



**Εικόνα 1:** Ογκομετρικό ρολόι

1. Βέργες των 3m χαλκοσωλήνα 1/2" (Εικ.2) και σπειράλ χαλκοσωλήνα 3/8".



**Εικόνα 2:** Χαλκοσωλήνα 1/2"

3. Εξαρτήματα σύνδεσης των χαλκοσωλήνων, γωνιά 90° και ταφ (Εικ.3,4).



**Εικόνα 3:** Γωνιά 90°



**Εικόνα 4:** Ταφ

4. Ρακόρ για την ένωση του χαλκοσωλήνα με τις βάννες (Εικ.5,6).



**Εικόνα 5**



**Εικόνα 6**

5. Ρακόρ για την ένωση ογκομετρικών ρολογιών (Εικ.7,8).



**Εικόνα 7:** Ρακόρ



**Εικόνα 8:** Ρακόρ

6. Δακτυλίδια στήριξης σωληνώσεων.

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν είναι:

1. Μαλακή κόλληση (Εικ.9)



**Εικόνα 9:** κόλληση

2. Αποξειδωτική αλοιφή (Εικ.10)



Εικόνα 10: Αποξειδωτική αλοιφή

3. Αέριο για την θέρμανση των χαλκοσωλήνων (Εικ.11).



Εικόνα 11: Μπουκάλια Αερίου

4. Τεφλόν για την σύσφιξη των ρακόρ με τα ογκομετρικά ρολόγια (Εικ.12)



Εικόνα 12: Τεφλόν

5. Πρόκες για την κατασκευή του πάνελ.

6. Μπογιές για την βαφή του πάνελ.

## 2.3 ΕΡΓΑΛΕΙΑ

Τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση της πειραματικής συσκευής ήταν:

1. Σέγα για την κοπή ξύλων του πάνελ.
2. Σφυρί για τις πρόκες του πάνελ.
3. Καυστήρας για την θέρμανση των χαλκοσωλήνων (Εικ.13).



Εικόνα 13: Καυστήρας

4. Ρολλά βαφής και πινέλα για το πάνελ.

5. Σωληνοκόφτης για την κοπή των χαλκοσωλήνων (Εικ.14).



**Εικόνα 14:** Σωληνοκόφτης

6. Κλειδιά για την σύσφιξη των ογκομετρικών ρολογιών και των ρακόρ.
7. Κατσαβίδι για την σύσφιξη των στηριγμάτων του χαλκοσωλήνα.

## **2.4 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΧΑΛΚΟΣΩΛΗΝΩΝ**

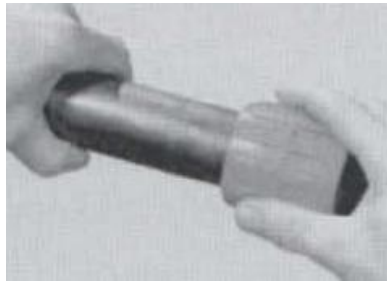
Κατά την κατασκευή της πειραματικής συσκευής η σύνδεση των εξαρτημάτων θα γίνει κυρίως με μαλακή κόλληση, όπου κρίνεται σκόπιμο να αναφερθούν οι κανονισμοί και ο τρόπος κόλλησης αυτής της κατηγορίας:

1. ΚΟΠΗ: Κοπή με κόφτη χαλκοσωλήνων του χαλκοσωλήνα στο σημείο που έχει υπολογιστεί, κάθετα προς τον άξονά του (Εικ.15).



**Εικόνα 15:** Σωστή τοποθέτηση σωληνοκόφτη

2. ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΓΡΕΖΙΩΝ: Με την ξύστρα καθαρίζονται τα γρέζια από το χείλος του χαλκοσωλήνα, εσωτερικά και εξωτερικά (Εικ.16,17).

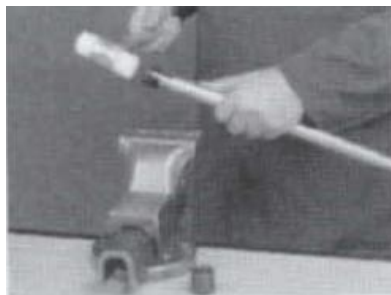


Εικόνα 16: Ξύστρα Καθαρισμού γρεζιών



Εικόνα 17: Θέσεις καθαρισμού σωλήνα

3. ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ: Διορθώνεται – ελέγχεται το άκρο του χαλκοσωλήνα στο σημείο κοπής, εσωτερικά με τον πίρο (ζουμπά) και εξωτερικά με το δακτύλιο κυρίως στους μαλακούς χαλκοσωλήνες (Εικ.18).



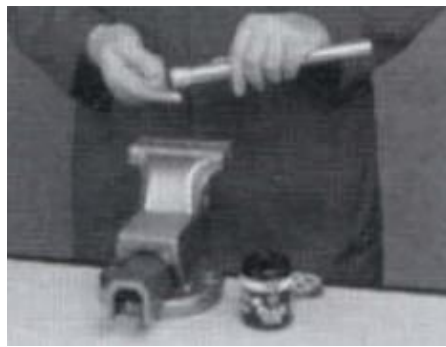
Εικόνα 18: Διόρθωση σημείου κοπής

4. ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ: Καθαρίζονται οι επιφάνειες που πρόκειται να κολληθούν με γυαλόχαρτο ή σφουγγάρι από σύρμα ή με συρμάτινη βούρτσα αναλόγου διαμέτρου για το εσωτερικό των εξαρτημάτων (Εικ.19).



Εικόνα 19: Καθαρισμός επιφάνειας κόλλησης

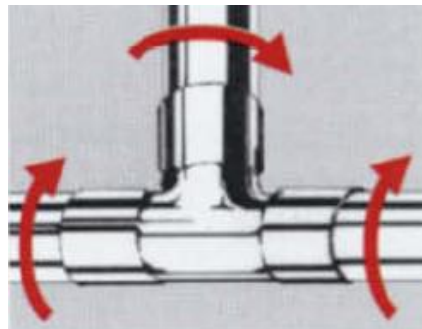
5. ΕΠΑΛΕΙΨΗ ΑΠΟΞΕΙΔΩΤΙΚΟΥ: Προσεκτικά με πινέλο, αλείφουμε με αποξειδωτικό την εξωτερική επιφάνεια του χαλκοσωλήνα, στο τμήμα που πρόκειται να εισαχθεί στο εξάρτημα (Εικ.20).



Εικόνα 20: Απάλειψη αποξειδωτικού υλικού

6. ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΗ ΤΟΥ ΧΑΛΚΟΣΩΛΗΝΑ ΣΤΟ ΕΞΑΡΤΗΜΑ:

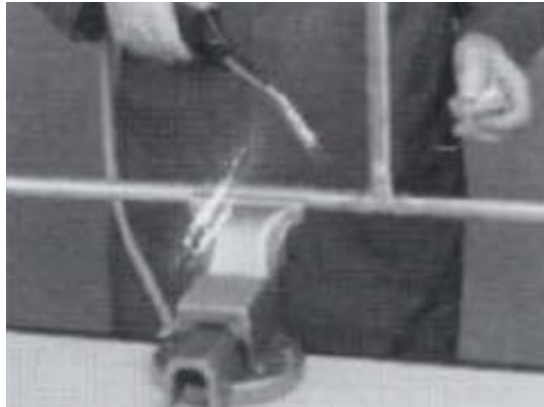
Τοποθετούμε το χαλκοσωλήνα στο εξάρτημα και τον περιστρέφουμε μέσα στο εξάρτημα για ομοιόμορφη κατανομή του αποξειδωτικού (Εικ.21).



Εικόνα 21: Τρόπος τοποθέτησης εξαρτήματος

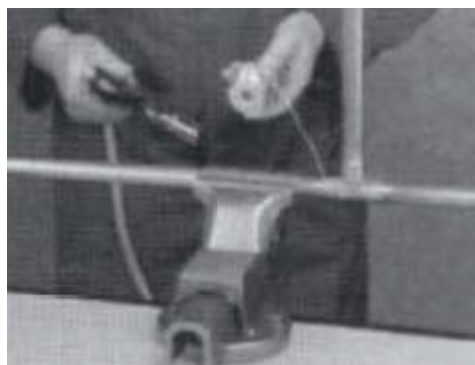


7. ΘΕΡΜΑΝΣΗ: Θερμαίνουμε με χαμηλή φλόγα το χαλκοσωλήνα και το εξάρτημα μαζί μέχρι να επιτύχουμε θερμοκρασία στην οποία λιώνει η κόλληση (θερμοκρασία εργασίας 220-250°C). Για να καταλάβουμε ότι φθάσαμε στη θερμοκρασία αυτή χρησιμοποιούμε σαν θερμόμετρο την κόλληση. Δηλαδή, απομακρύνουμε τη φλόγα και ακουμπάμε την κόλληση (σύρμα) (Εικ.22).



Εικόνα 22: Θέρμανση χαλκοσωλήνα

8. ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ: Τη προηγούμενη διαδικασία την επαναλαμβάνουμε εως ότου, ακουμπώντας την κόλληση στο σημείο σύνδεσης, αυτή λιώσει και με το τριχοειδές φαινόμενο απορροφηθεί και γεμίσει όλο το διάκενο μεταξύ χαλκοσωλήνα και εξαρτήματος. Η συγκόλληση έχει ολοκληρωθεί όταν σε οριζόντια θέση χαλκοσωλήνα, στο κάτω άκρο του εξαρτήματος εμφανίζεται σταγόνα κόλλησης (Εικ.22).



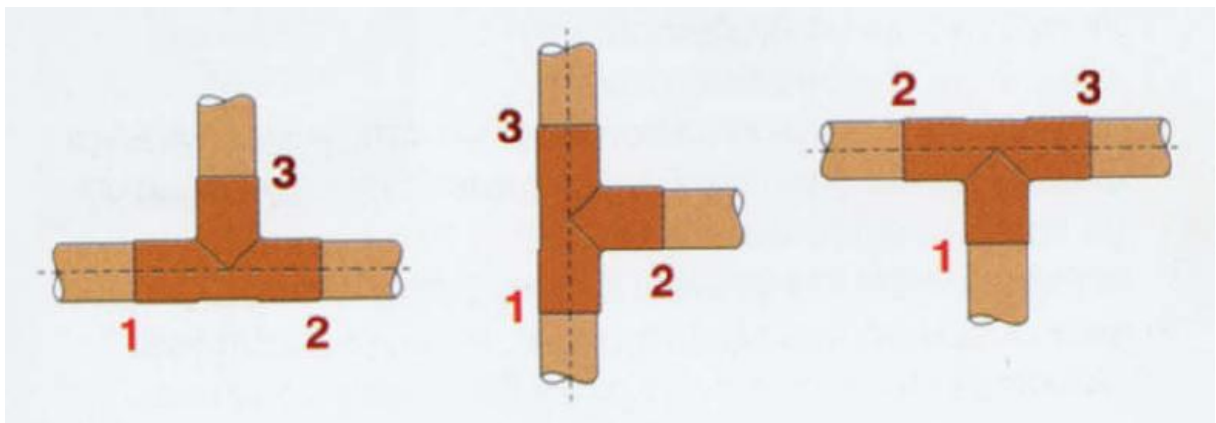
Εικόνα 22: Κόλληση

9. ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ: Στο τέλος της συγκόλλησης σκουπίζουμε με πανί, ώστε να απομακρύνουμε τυχόν υπολείμματα αποξειδωτικού από την επιφάνεια του χαλκοσωλήνα (Εικ.23).



Εικόνα 23: Καθαρισμός κολλημένης επιφάνειας

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Όταν πρόκειται να κάνουμε διαδοχικές συγκολλήσεις σε «ταφ» κολλάμε κατά προτεραιότητα από κάτω προς τα πάνω, όπως δείχνουν τα σκίτσα, ώστε να μην επηρεάζονται τα ήδη κολλημένα εξαρτήματα (Εικ.24).



Εικόνα 24: Προτεραιότητα συγκολλήσεως σε εξάρτημα ταφ

## 2.5 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Σε πρώτη φάση κατασκευάστηκε το πάνελ πάνω στο οποίο θα στηρικτεί η συσκευή.

Χρησιμοποιήθηκαν ξύλα που ήδη υπήρχαν στον Εργαστηριακό χώρο.

Με χρήση σέγας κόπηκαν οι κατάλληλες διαστάσεις για να κατασκευαστεί πίνακας με διαστάσεις 1,25m x 2,30m (Εικ.25,26).



Εικόνα 25: Κοπή με σέγα

Εικόνα 26: Το πάνελ ενισχύθηκε με ξύλινες δοκούς για πιο στέρεη στήριξη.



Αφού κατασκευάστηκε ο πίνακας, ολοκληρώθηκε η διαδικασία με βάψιμο (Εικ.27,28)..



Εικόνα 27: Βαφή πάνελ



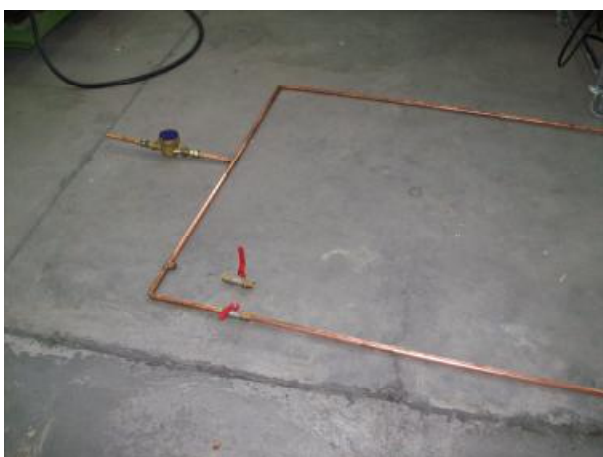
Εικόνα 28: Βαφή πάνελ

Μετά κόπηκαν οι επιθυμητές διαστάσεις των χαλκοσωλήνων με χρήση σωληνοκόφτη (Εικ.29).



Εικόνα 29:Κόψιμο χαλκοσωλήνων

Κατόπιν, γίνεται μια προσωρινή σύνδεση των σωλήνων και των εξαρτημάτων για τον έλεγχο των διαστάσεων, πριν την κόλληση (Εικ.30,31).

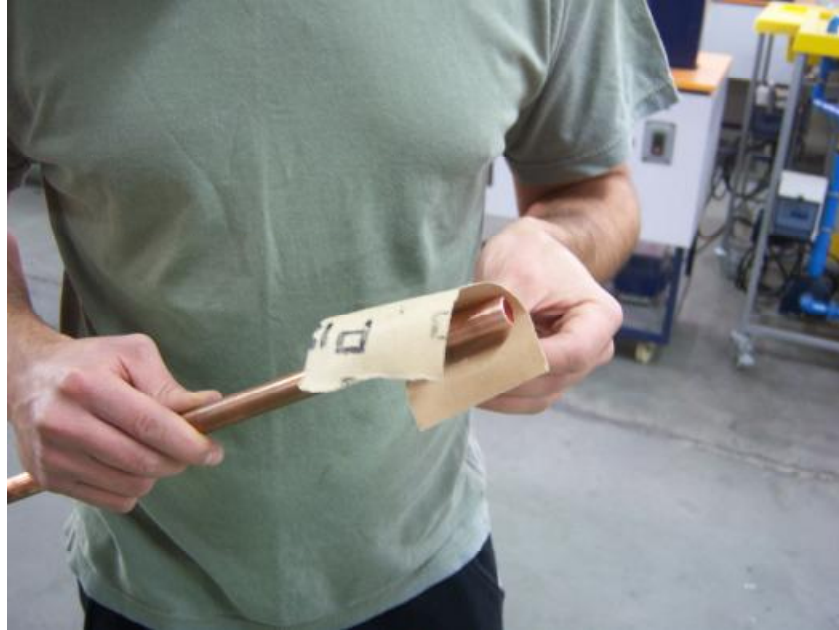


Εικόνα 30: Έλεγχος διαστάσεων χαλκοσωλήνων



Εικόνα 31: Έλεγχος διαστάσεων χαλκοσωλήνων

Με βάση την μεθοδολογία κόλλησης χαλκοσωλήνων που αναφέρθηκε στην παράγραφο 2.4, καθαρίζεται η περιοχή κόλλησης των χαλκοσωλήνων, εξωτερικά και εσωτερικά με χρήση γυαλόχαρτου και του σωληνοκόφτη (Εικ.32,33).



Εικόνα 32: Καθαρισμός της περιοχής κόλλησης των χαλκοσωλήνων, εξωτερικά με χρήση γυαλόχαρτου



Εικόνα 33: Καθαρισμός της περιοχής κόλλησης των χαλκοσωλήνων, εσωτερικά με χρήση του σωληνοκόφτη

Πρίν την κόλληση αλοΐφονται οι επιφάνειες με αποξειδωτικό (Εικ.34).



Εικόνα 34: Επάλειψη με αποξειδωτικό

Τοποθετούνται τα κομμάτια και κολλούνται αφού πρώτα θερμανθούν καλά οι επιφάνειες κόλλησης (Εικ.35,36,37,38).



Εικόνα 35: Κόλληση εξαρτήματος ταφ

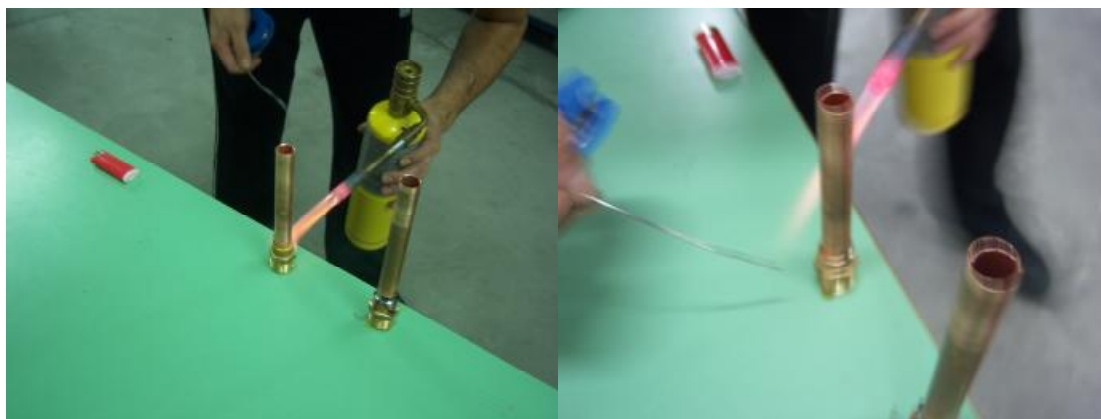


Εικόνα 36:Κόλληση εξαρτήματος γωνίας 90°



Εικόνα 37:Κόλληση χαλκοσωλήνα με ρακόρ του ογκομετρικού ρολογιού





Εικόνα 38: Κόλληση χαλκοσωλήνα με ρακόρ του ογκομετρικού ρολογιού

Αφού έχουν κολλήσει τα ρακόρ στους χαλκοσωλήνες, συνδέονται με τα ογκομετρικά ρολόγια, αφού πρώτα γίνει επικάλυψη του σπειρώματος με τεφλόν (Εικ.39).



Εικόνα 39: Περιέλιξη με τεφλόν

Κατόπιν συνδέονται τα εξαρτήματα στο ογκομετρικό ρολόι και συσφίγγονται πολύ καλά για να μην υπάρχει διαροή (Εικ.40).



Εικόνα 40: Σύσφιξη τεμαχίων

Η ίδια διαδικασία, επαναλαμβάνεται για τα υπόλοιπα τρία ογκομετρικά ρολόγια.

Έχοντας όλα τα κομμάτια συνδεδεμένα, κολλούνται μέχρι να πάρει την τελική μορφή η πειραματική συσκευή.

Γίνεται η τοποθέτησή της πάνω στο πάνελ όπου έχουν τοποθετηθεί τα δακτυλίδια στήριξης (Εικ.41) και σύσφιξη αυτών (Εικ.42).



Εικόνα 41: Τοποθέτηση συσκευής στα δακτυλίδια στήριξης

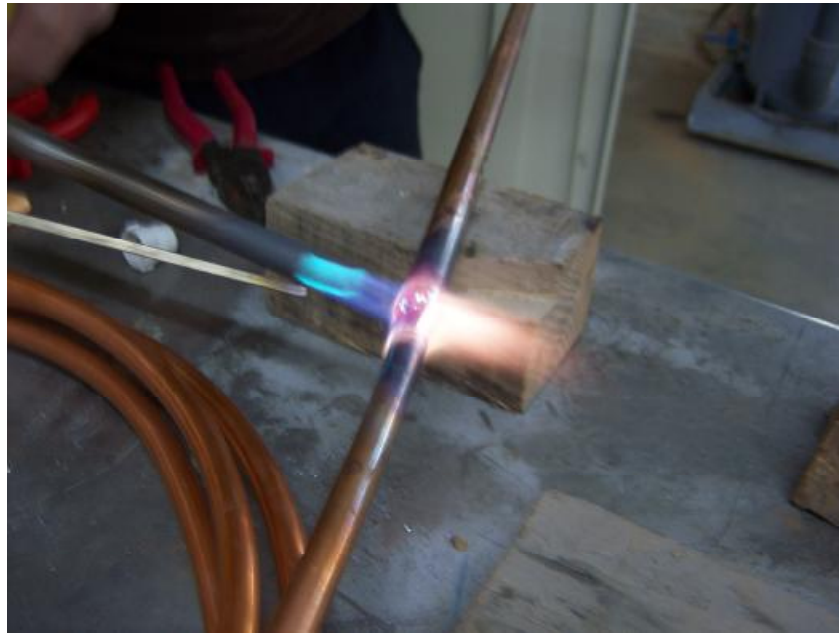


Εικόνα 42: Σύσφιξη δακτυλιδιών στήριξης

Έπειτα συνδέεται η σπирάλ χαλκοσωλήνα (Εικ.43) και κατόπιν γίνεται η κόλληση αυτής (Εικ.44,45).



Εικόνα 43: Τοποθέτηση σπирάλ σωλήνας

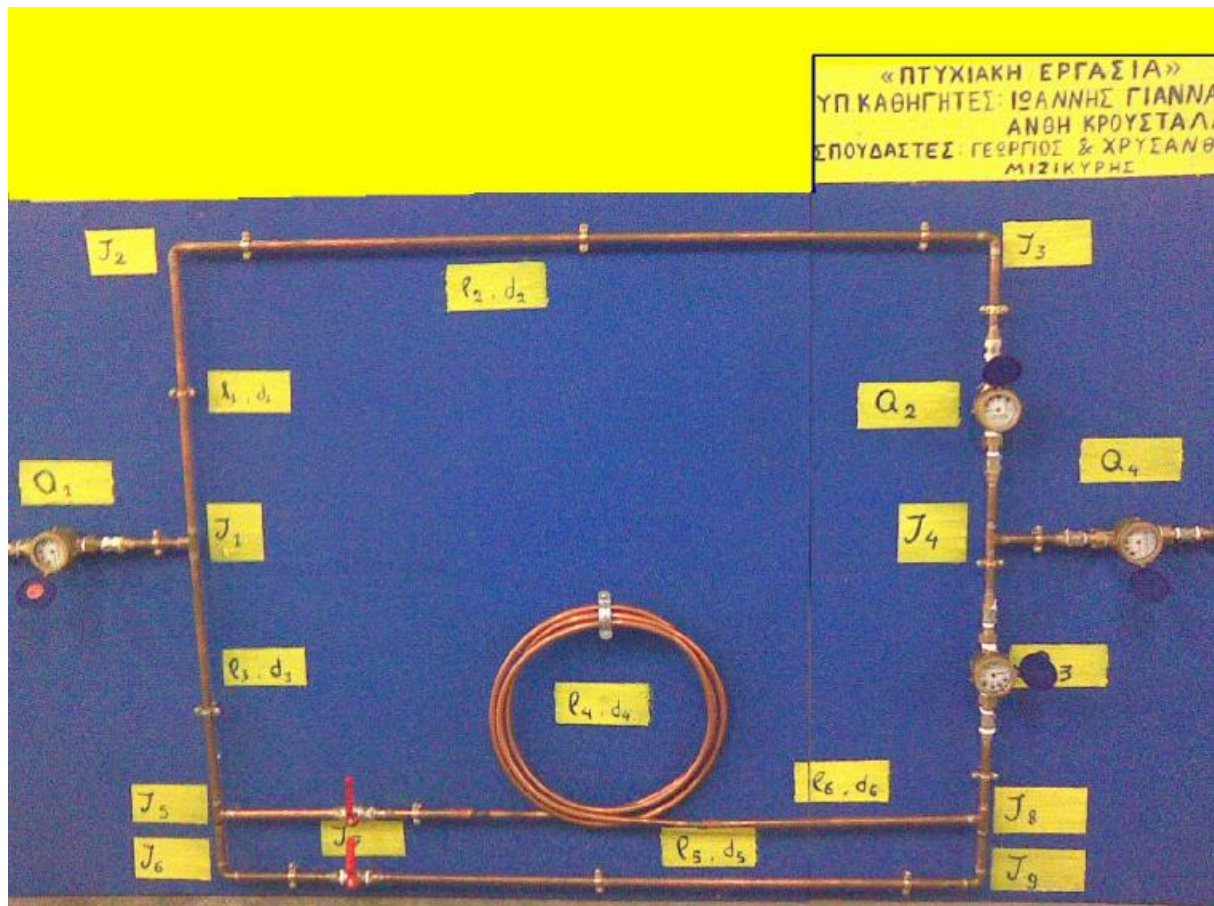


Εικόνα 44: Κόλληση σπιδράλ σωλήνας



Εικόνα 45: Τελική μορφή σπιδράλ σωλήνας

Η όλη διαδικασία συναρμολόγησης έχει ολοκληρωθεί και αφού γραφτούν τα χαρακτηριστικά των εξαρτημάτων η πειραματική συσκευή (Εικ.46) είναι έτοιμη να τεθεί σε λειτουργία.



Εικόνα 46: Πειραματική Συσκευή

### 3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

1. Η συσκευή συνδέεται με παροχή δικτύου.
2. Αρχικά καταγράφονται οι αρχικές μετρήσεις των ογκομετρικών ρολογιών ( $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q_3$  και  $Q_4$ ).
3. Μετά από 5min λειτουργίας, διακόπτεται η παροχή και καταγράφονται οι νέες τιμές παροχής.
4. Αφαιρείται η τελική από την αρχική τιμή για να υπολογιστεί η παροχή για 5min.
5. Η τιμή αυτή πολλαπλασιάζεται με 12 για να μετατραπεί το αποτέλεσμα σε  $m^3/h$ .
6. Υπολογίζεται το άθροισμα  $Q_2+Q_3$  και το  $Q_1-(Q_2+Q_3)$  για να συγκριθεί με την παροχή εισόδου  $Q_1$ , και το  $Q_1-Q_4$  για σύγκριση παροχής εισόδου και εξόδου.

Η όλη διαδικασία πραγματοποιείται για τις ακόλουθες περιπτώσεις:

1. ΔΥΟ ΒΑΝΕΣ ΑΝΟΙΚΤΕΣ (2 διαφορετικές παροχές εισόδου)
2. ΑΝΩ ΒΑΝΑ ΑΝΟΙΚΤΗ - ΚΑΤΩ ΒΑΝΑ ΚΛΕΙΣΤΗ (2 διαφορετικές παροχές εισόδου)
3. ΚΑΤΩ ΒΑΝΑ ΑΝΟΙΚΤΗ - ΑΝΩ ΒΑΝΑ ΚΛΕΙΣΤΗ (2 διαφορετικές παροχές εισόδου)

Για την κάθε περίπτωση υπολογίζονται οι συνολικές απώλειες της σωληνογραμμής. Έχοντας ως γνωστά:

- $\zeta_1=0,2$  (ταφ εισόδου)
- $\zeta_2=1,2$  (γωνιά  $90^\circ$ )
- $\zeta_3=1,2$  (γωνιά  $90^\circ$ )
- $\zeta_4=0,2$  (ταφ εξόδου)
- $\zeta_5=0,2$  (ταφ εξόδου)
- $\zeta_6=1,2$  (γωνιά  $90^\circ$ )
- $\zeta_7=1$  (βάννα)
- $\zeta_8=0,2$  (ταφ εξόδου)
- $\zeta_9=1,2$  (γωνιά  $90^\circ$ )

Υπολογίζουμε:  $z \approx \left(1 - \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2\right)^2$

$$\zeta_{10} = 0,42 \left(1 - \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2\right) = 0,42 \left(1 - \left(\frac{0,010\text{m}}{0,013\text{m}}\right)^2\right) = 0,17 \quad (\text{λόγω στένωσης διατομής})$$

$$\zeta_{11} = \left(1 - \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2\right)^2 = \left(1 - \left(\frac{0,013\text{m}}{0,010\text{m}}\right)^2\right)^2 = 0,48 \quad (\text{λόγω διεύρυνσης διατομής})$$

$$L_1=0,45\text{m}$$

$$L_2=1,3\text{m}$$

$$L_3=0,45\text{m}$$

$$L_4=3(2\pi R)=3(2 \times 3,14 \times 0,2\text{m})=3,768\text{m} \quad (3 \text{ σπείρες ακτίνας } 0,2\text{m})$$

$$L_5=1,3\text{m}$$

$$L_6=2 \times 0,45\text{m}=0,9\text{m}$$

$$L_7=0,1\text{m}$$

$$L_8=0,1\text{m}$$

$$L_9=0,1\text{m}$$

$$L_{10}=0,1\text{m}$$

$$L_{11}=0,1\text{m}$$

$$L_{12}=0,1\text{m}$$

$$d_1=0,013\text{m}$$

$$d_2=0,013\text{m}$$

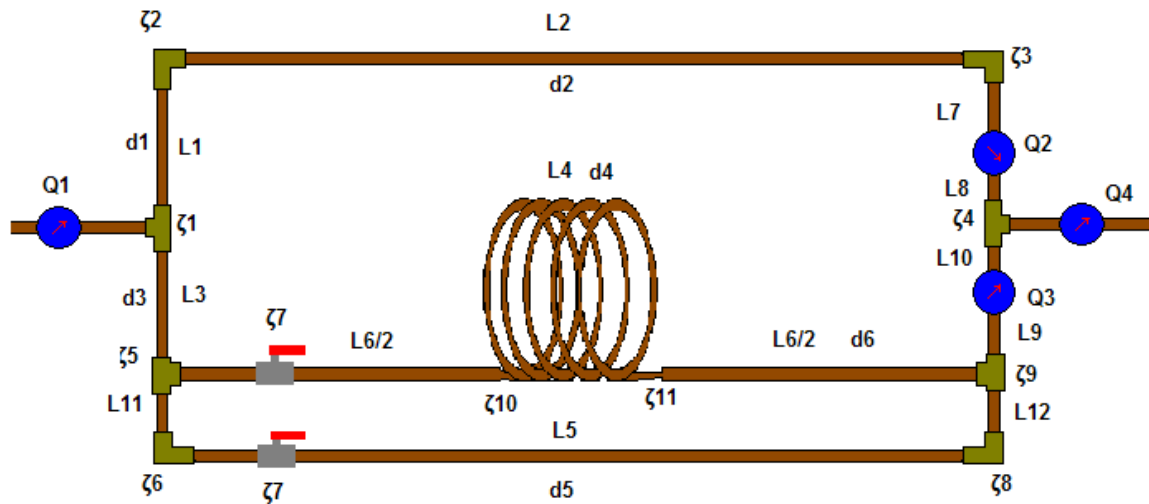
$$d_3=0,013\text{m}$$

$$d_4=0,010\text{m}$$

$$d_5=0,013\text{m}$$

$$d_6=0,013\text{m}$$

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά, φαίνονται στο παρακάτω σκαρίφημα:



Σχήμα 8: Σκαρήφιμα συσκευής

Για τον υπολογισμό απωλειών λόγω τριβής ισχύει ο τύπος:

$$\Delta H_L = f \frac{L U^2}{d 2g}$$

Ενώ για τον υπολογισμό των τοπικών απωλειών ισχύει ο τύπος:

$$\Delta H_T = z \frac{U^2}{2g}$$

Ο υπολογισμός της ταχύτητας θα γίνει με βάση την Εξίσωση Συνέχειας:

$$Q = AU \Rightarrow U = \frac{Q}{A} \Rightarrow U = \frac{Q}{\frac{\pi d^2}{4}} \Rightarrow U = \frac{4Q}{\pi d^2}$$

$$\text{Αφού } A = \frac{\pi d^2}{4}$$

Έχοντας γνωστή την ταχύτητα θα υπολογιστεί ο Αριθμός Reynolds και με γνωστό τον λόγο  $\epsilon/d$  και χρήση του διαγράμματος Moody θα υπολογιστεί ο συντελεστής τριβής  $f$  για τυρβώδη ροή για πεδίο τιμών μεγαλύτερο του  $10^5$ , ή για



πεδίο τιμών κάτω από  $10^5$  θα υπολογιστεί βάση του τύπου κατά Blasius, ενώ για στρωτή ροή θα γίνει χρήση του τύπου  $f = \frac{64}{Re}$ .

Με βάση τον πίνακα 1 της παραγράφου 1.3.4 ισχύει ότι για χαλκοσωλήνα η τραχύτητα είναι  $\epsilon=0,013\div 0,015\text{mm}$ .

Λαμβάνεται  $\epsilon=0,014\text{mm}$ .

Οι συνολικές απώλειες θα βρεθούν προσθέτοντας τις επιμέρους απώλειες σύμφωνα με τον τύπο:

$$\Delta H_{total} = \sum_i^N \Delta H_L + \sum_i^N \Delta H_T$$

Τα συμπεράσματα τα οποία θα προκύψουν θα είναι:

1. Υπολογισμός Απωλειών για διάφορες παροχές και συνδιασμούς σωληνογραμμών.
2. Αν η ροή είναι στρωτή ή τυρβώδης.

### 3.1 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 1<sup>Η</sup>: ΔΥΟ ΒΑΝΕΣ ΑΝΟΙΚΤΕΣ

Οι μετρήσεις που προέκυψαν και οι υπολογισμοί από την 1<sup>η</sup> μέτρηση φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

ΔΥΟ ΒΑΝΕΣ ΑΝΟΙΚΤΕΣ							
Ογκ.Παροχής	Αρχικά [m <sup>3</sup> /h]	Μετά 5min [m <sup>3</sup> /h]	Μετά 5min-Αρχικά [m <sup>3</sup> /h]	x12 [m <sup>3</sup> /h]	Q <sub>2</sub> +Q <sub>3</sub> [m <sup>3</sup> /h]	Q <sub>1</sub> -Q <sub>4</sub> [m <sup>3</sup> /h]	Q <sub>1</sub> -(Q <sub>2</sub> +Q <sub>3</sub> ) [m <sup>3</sup> /h]
Q <sub>1</sub>	0,0414	0,1263	0,0849	1,0188			
Q <sub>2</sub>	0,9392	0,9805	0,0413	0,4956	1,0056	0,0192	0,0132
Q <sub>3</sub>	0,0119	0,0544	0,0425	0,5100			
Q <sub>4</sub>	0,0228	0,1061	0,0833	0,9996			

Παρατηρούμε ότι υπάρχει απόκλιση της παροχής εισόδου Q<sub>1</sub> σε σχέση με την παροχή εξόδου Q<sub>4</sub>.

Υπολογισμός ταχύτητας για το άνω μέρος όπου η διάμετρος του αγωγού είναι σταθερή d<sub>1</sub>= d<sub>2</sub>=0,013m:

$$U_1 = \frac{4Q_2}{\pi d_1^2} \Rightarrow U_1 = \frac{4 \cdot 0,4956 \text{ m}^3 / \text{h}}{3,14 \cdot (0,013 \text{ m})^2} \Rightarrow U_1 = 3736 \text{ m} / \text{h} \Rightarrow U_1 = 1,038 \text{ m} / \text{sec}$$

Για τον υπολογισμό της ταχύτητας για το κάτω μέρος όπου η διάμετρος του αγωγού δεν είναι σταθερή αλλά μεταβάλλεται d<sub>3</sub>= d<sub>5</sub>= d<sub>6</sub>=0,013m και d<sub>4</sub>=0,010m, θεωρούμε ότι η παροχή Q<sub>3</sub> μοιράζεται στους δύο κάτω κλάδους κατά το ήμισυ. Άρα σε κάθε κλάδο θα εισέρχεται παροχή Q<sub>3</sub>/2=0,5100m<sup>3</sup>/h=0,255 m<sup>3</sup>/h.

Επομένως η ταχύτητα στον κάτω κλάδο θα είναι:

$$U_2 = \frac{4Q_3}{\pi d_5^2} \Rightarrow U_2 = \frac{4 \cdot 0,255 \text{ m}^3 / \text{h}}{3,14 \cdot (0,013 \text{ m})^2} \Rightarrow U_2 = 1922 \text{ m} / \text{h} \Rightarrow U_2 = 0,534 \text{ m} / \text{sec}$$

Ενώ η ταχύτητα στον άνω κλάδο στην σπιράλ χαλκοσωλήνα θα είναι:

$$U_3 = \frac{4Q_3}{pd_4^2} \Rightarrow U_3 = \frac{4 \cdot 0,255 m^3 / h}{3,14 \cdot (0,010 m)^2} \Rightarrow U_3 = 3248 m / sec \Rightarrow U_3 = 0,902 m / sec$$

Έχοντας γνωστές τις ταχύτητες θα υπολογιστεί ο Αριθμός Reynolds και κατόπιν ο συντελεστής τριβής:

$$Re_1 = \frac{rU_1d_1}{m} \Rightarrow Re_1 = \frac{1000 \frac{kg}{m^3} 1,038 \frac{m}{sec} 0,013 m}{0,8937 \cdot 10^{-3} Pa sec} \Rightarrow Re = 15099$$

à Προέκυψε τιμή μεγαλύτερη του 2000 άρα η ροή είναι τυρβώδης. Θα υπολογιστεί ο συντελεστής τριβής κατά Blasius αφού  $Re < 10^5$ .

$$f_1 = \frac{0,316}{Re^{1/4}} = \frac{0,316}{15099^{0,25}} \Rightarrow f_1 = 0,022$$

$$Re_2 = \frac{rU_2d_5}{m} \Rightarrow Re_2 = \frac{1000 \frac{kg}{m^3} 0,534 \frac{m}{sec} 0,013 m}{0,8937 \cdot 10^{-3} Pa sec} \Rightarrow Re_2 = 7768$$

à Προέκυψε τιμή μεγαλύτερη του 2000 άρα η ροή είναι τυρβώδης. Θα υπολογιστεί ο συντελεστής τριβής κατά Blasius αφού  $< 10^5$ .

$$f_2 = \frac{0,316}{Re^{1/4}} = \frac{0,316}{7768^{0,25}} \Rightarrow f_2 = 0,034$$

$$Re_3 = \frac{rU_3d_4}{m} \Rightarrow Re_3 = \frac{1000 \frac{kg}{m^3} 0,902 \frac{m}{sec} 0,010 m}{0,8937 \cdot 10^{-3} Pa sec} \Rightarrow Re_3 = 10093$$

à Προέκυψε τιμή μεγαλύτερη του 2000 άρα η ροή είναι τυρβώδης. Θα υπολογιστεί ο συντελεστής τριβής κατά Blasius αφού  $Re < 10^5$ .

$$f_3 = \frac{0,316}{Re^{1/4}} = \frac{0,316}{10093^{0,25}} \Rightarrow f_3 = 0,024$$

Έτσι οι συνολικές απώλειες λόγω τριβής θα είναι για κάθε τμήμα:

Άνω τμήμα:

$$\sum_i^N \Delta H_L = f_1 \frac{U_1^2}{d_1 2g} (L_1 + L_2 + L_7 + L_8) = 0,022 \frac{(1,038m/sec)^2}{0,013m \cdot 9,81m/sec^2} (0,45m + 1,3m + 0,10m + 0,10m) = 0,0055m$$

Κάτω τμήμα:

$$\sum_i^N \Delta H_L = f_2 \frac{U_2^2}{d_5 2g} (L_3 + L_5 + L_9 + L_{10} + L_{11} + L_{12}) = 0,034 \frac{(0,534m/sec)^2}{0,013m \cdot 9,81m/sec^2} (0,45m + 1,3m + 0,10m + 0,10m + 0,10m + 0,10m) = 0,0035m$$

Κάτω τμήμα με σπирάλ χαλκοσωλήνα:

$$\sum_i^N \Delta H_L = f_3 \frac{U_3^2}{d_4 2g} (L_6 + L_{\text{σπείραλ}}) = 0,024 \frac{(0,902m/sec)^2}{0,010m \cdot 9,81m/sec^2} (0,90m + 3,768m) = 0,036m$$

Οι συνολικές τοπικές απώλειες θα είναι:

$$\begin{aligned} \sum \Delta H_T &= \zeta_1 \frac{U_{\text{εισ}}^2}{2g} + \frac{U_1^2}{2g} (\zeta_2 + \zeta_3 + \zeta_4) + \frac{U_2^2}{2g} (\zeta_5 + \zeta_6 + 2\zeta_7 + \zeta_8 + \zeta_9) + \frac{U_3^2}{2g} (\zeta_{10} + \zeta_{11}) = \\ &= 0,2 \frac{(2,13m/sec)^2}{2 \cdot 9,81m/sec^2} + \frac{(0,086m/sec)^2}{2 \cdot 9,81m/sec^2} (1,2 + 1,2 + 1) + \frac{(0,045m/sec)^2}{2 \cdot 9,81m/sec^2} (1 + 1,2 + 2 \cdot 1 + 1 + 1,2) \\ &+ \frac{(0,075m/sec)^2}{2 \cdot 9,81m/sec^2} (0,17 + 0,48) = 0,048m \end{aligned}$$

όπου:

$$U_{\text{eis}} = \frac{4Q_1}{pd_1^2} \Rightarrow U_2 = \frac{4 \cdot 1,0188m^3/h}{3,14 \cdot (0,013m)^2} \Rightarrow U_2 = 7679m/h \Rightarrow U_2 = 2,13m/sec$$

Επομένως οι συνολικές απώλειες της σωληνογραμμής θα είναι:

$$\Delta H_{\text{total}} = 0,0055m + 0,0035m + 0,036m + 0,048m = 0,093m$$

Οι μετρήσεις που προέκυψαν και οι υπολογισμοί από την 2<sup>η</sup> μέτρηση φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

ΔΥΟ ΒΑΝΕΣ ΑΝΟΙΚΤΕΣ							
Ογκ.Παροχής	Αρχικά [m <sub>3</sub> /h]	Μετά 5min [m <sub>3</sub> /h]	Μετά 5min-Αρχικά [m <sub>3</sub> /h]	x12 [m <sub>3</sub> /h]	Q <sub>2</sub> +Q <sub>3</sub> [m <sub>3</sub> /h]	Q <sub>1</sub> -Q <sub>4</sub> [m <sub>3</sub> /h]	Q <sub>1</sub> -(Q <sub>2</sub> +Q <sub>3</sub> ) [m <sub>3</sub> /h]
Q <sub>1</sub>	0,1263	0,1474	0,0211	0,2532			
Q <sub>2</sub>	0,9805	0,9854	0,0049	0,0588	0,2400	0,0276	0,0132
Q <sub>3</sub>	0,0544	0,0695	0,0151	0,1812			
Q <sub>4</sub>	0,1061	0,1249	0,0188	0,2256			

Παρατηρούμε ότι υπάρχει απόκλιση της παροχής εισόδου Q<sub>1</sub> σε σχέση με την παροχή εξόδου Q<sub>4</sub>.

Υπολογισμός ταχύτητας για το άνω μέρος όπου η διάμετρος του αγωγού είναι σταθερή d<sub>1</sub>= d<sub>2</sub>=0,013m:

$$U_1 = \frac{4Q_2}{\pi d_1^2} \Rightarrow U_2 = \frac{4 \cdot 0,0588 \text{ m}^3 / \text{h}}{3,14 \cdot (0,013 \text{ m})^2} \Rightarrow U_1 = 443 \text{ m} / \text{h} \Rightarrow U_1 = 0,123 \text{ m} / \text{sec}$$

Για τον υπολογισμό της ταχύτητας για το κάτω μέρος όπου η διάμετρος του αγωγού δεν είναι σταθερή αλλά μεταβάλλεται d<sub>3</sub>= d<sub>5</sub>= d<sub>6</sub>=0,013m και d<sub>4</sub>=0,010m, θεωρούμε ότι η παροχή Q<sub>3</sub> μοιράζεται στους δύο κάτω κλάδους κατά το ήμισυ. Άρα σε κάθε κλάδο θα εισέρχεται παροχή Q<sub>3</sub>/2=0,1812m<sup>3</sup>/h=0,0906 m<sup>3</sup>/h.

Επομένως η ταχύτητα στον κάτω κλάδο θα είναι:

$$U_2 = \frac{4Q_3}{\pi d_5^2} \Rightarrow U_2 = \frac{4 \cdot 0,0906 \text{ m}^3 / \text{h}}{3,14 \cdot (0,013 \text{ m})^2} \Rightarrow U_2 = 683 \text{ m} / \text{h} \Rightarrow U_2 = 0,189 \text{ m} / \text{sec}$$

Ενώ η ταχύτητα στον άνω κλάδο στην σπирάλ χαλκοσωλήνα θα είναι:

$$U_3 = \frac{4Q_3}{pd_4^2} \Rightarrow U_2 = \frac{4 \cdot 0,0906 m^3 / h}{3,14 \cdot (0,010 m)^2} \Rightarrow U_3 = 1154 m / h \Rightarrow U_3 = 0,321 m / sec$$

Έχοντας γνωστές τις ταχύτητες θα υπολογιστεί ο Αριθμός Reynolds και κατόπιν ο συντελεστής τριβής:

$$Re_1 = \frac{rU_1d_1}{m} \Rightarrow Re_1 = \frac{1000 \frac{kg}{m^3} 0,123 \frac{m}{sec} 0,013 m}{0,8937 \cdot 10^{-3} Pa sec} \Rightarrow Re_1 = 1789$$

α Προέκυψε τιμή μικρότερη των 2000 άρα η ροή είναι στρωτή.

$$f_1 = \frac{64}{Re} = \frac{64}{1789} \Rightarrow f_1 = 0,036$$

$$Re_2 = \frac{rU_2d_5}{m} \Rightarrow Re_2 = \frac{1000 \frac{kg}{m^3} 0,189 \frac{m}{sec} 0,013 m}{0,8937 \cdot 10^{-3} Pa sec} \Rightarrow Re_2 = 2749$$

α Έδω η ροή είναι μεγαλύτερη των 2000 αλλά μικρότερη του  $10^5$  άρα ο συντελεστής τριβής μπορεί να υπολογιστεί κατά Blasius:

$$f = \frac{0,316}{Re^{1/4}}$$

$$f_2 = \frac{0,316}{Re^{1/4}} = \frac{0,316}{2749^{0,25}} \Rightarrow f_2 = 0,044$$

$$Re_3 = \frac{rU_3d_4}{m} \Rightarrow Re_3 = \frac{1000 \frac{kg}{m^3} 0,321 \frac{m}{sec} 0,010 m}{0,8937 \cdot 10^{-3} Pa sec} \Rightarrow Re_3 = 3592$$

$$f_3 = \frac{0,316}{Re^{1/4}} = \frac{0,316}{3592^{0,25}} \Rightarrow f_3 = 0,041$$

έτσι οι συνολικές απώλειες λόγω τριβής θα είναι για κάθε τμήμα:

Άνω τμήμα:

$$\sum_i^N \Delta H_L = f_1 \frac{U_1^2}{d_1 2g} (L_1 + L_2 + L_7 + L_8) = 0,036 \frac{(0,123m/sec)^2}{0,013m^2 \cdot 9,81m/sec^2} (0,45m + 1,3m + 0,10m + 0,10m) = 0,0042m$$

Κάτω τμήμα:

$$\sum_i^N \Delta H_L = f_2 \frac{U_2^2}{d_5 2g} (L_3 + L_5 + L_9 + L_{10} + L_{11} + L_{12}) = 0,044 \frac{(0,189m/sec)^2}{0,013m^2 \cdot 9,81m/sec^2} (0,45m + 1,3m + 0,10m + 0,10m + 0,10m + 0,10m) = 0,013m$$

Κάτω τμήμα με σπирάλ χαλκοσωλήνα:

$$\sum_i^N \Delta H_L = f_3 \frac{U_3^2}{d_4 2g} (L_6 + L_{\text{spiral}}) = 0,041 \frac{(0,321m/sec)^2}{0,010m^2 \cdot 9,81m/sec^2} (0,90m + 3,768m) = 0,1m$$

Οι συνολικές τοπικές απώλειες θα είναι:

$$\begin{aligned} \sum \Delta H_T &= \zeta_1 \frac{U_{\text{eis}}^2}{2g} + \frac{U_1^2}{2g} (\zeta_2 + \zeta_3 + \zeta_4) + \frac{U_2^2}{2g} (\zeta_5 + \zeta_6 + 2\zeta_7 + \zeta_8 + \zeta_9) + \frac{U_3^2}{2g} (\zeta_{10} + \zeta_{11}) = \\ &= 0,2 \frac{(0,0069m/sec)^2}{2 \cdot 9,81m/sec^2} + \frac{(0,123m/sec)^2}{2 \cdot 9,81m/sec^2} (1,2 + 1,2 + 1) + \frac{(0,189m/sec)^2}{2 \cdot 9,81m/sec^2} (1 + 1,2 + 2 \cdot 1 + 1 + 1,2) \\ &+ \frac{(0,321m/sec)^2}{2 \cdot 9,81m/sec^2} (0,17 + 0,48) = 0,0165m \end{aligned}$$

όπου:

$$U_{\text{eis}} = \frac{4Q_1}{pd_1^2} \Rightarrow U_{\text{eis}} = \frac{4 \cdot 0,2532m^3/h}{3,14 \cdot (0,013m)^2} \Rightarrow U_{\text{eis}} = 24,81m/h \Rightarrow U_{\text{eis}} = 0,0069m/sec$$

Επομένως συνολικές απώλειες σωληνογραμμής:

$$\Delta H_{\text{total}} = 0,0042m + 0,013m + 0,1m + 0,0165m = 0,1337m$$

### 3.2 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 2<sup>Η</sup>: ΑΝΩ ΒΑΝΑ ΑΝΟΙΚΤΗ - ΚΑΤΩ ΒΑΝΑ ΚΛΕΙΣΤΗ (2 διαφορετικές παροχές εισόδου)

ΑΝΩ ΒΑΝΑ ΑΝΟΙΚΤΗ - ΚΑΤΩ ΒΑΝΑ ΚΛΕΙΣΤΗ							
Ογκ.Παροχής	Αρχικά [m <sub>3</sub> /h]	Μετά 5min [m <sub>3</sub> /h]	Μετά 5min-Αρχικά [m <sub>3</sub> /h]	x12 [m <sub>3</sub> /h]	Q <sub>2</sub> +Q <sub>3</sub> [m <sub>3</sub> /h]	Q <sub>1</sub> -Q <sub>4</sub> [m <sub>3</sub> /h]	Q <sub>1</sub> -(Q <sub>2</sub> +Q <sub>3</sub> ) [m <sub>3</sub> /h]
Q <sub>1</sub>	0,1474	0,2498	0,1024	1,2288			
Q <sub>2</sub>	0,9854	1,0452	0,0598	0,7176	1,2048	0,0912	0,0240
Q <sub>3</sub>	0,0695	0,1101	0,0406	0,4872			
Q <sub>4</sub>	0,1249	0,2197	0,0948	1,1376			

Παρατηρούμε ότι υπάρχει απόκλιση της παροχής εισόδου Q<sub>1</sub> σε σχέση με την παροχή εξόδου Q<sub>4</sub>.

Υπολογισμός ταχύτητας για το άνω μέρος όπου η διάμετρος του αγωγού είναι σταθερή d<sub>1</sub>= d<sub>2</sub>=0,013m:

$$U_1 = \frac{4Q_2}{\pi d_1^2} \Rightarrow U_2 = \frac{4 \cdot 0,7176 \text{ m}^3 / \text{h}}{3,14 \cdot (0,013 \text{ m})^2} \Rightarrow U_2 = 5409 \text{ m} / \text{h} \Rightarrow U_2 = 1,5 \text{ m} / \text{sec}$$

Για τον υπολογισμό της ταχύτητας για το κάτω μέρος όπου η διάμετρος του αγωγού δεν είναι σταθερή αλλά μεταβάλλεται d<sub>3</sub>=d<sub>6</sub>=0,013m και d<sub>4</sub>=0,010m (σπειράλ), θα υπολογίσουμε τις δύο ταχύτητες με βάση την εξίσωση συνέχειας.

Επομένως η ταχύτητα στον κάτω κλάδο θα είναι:

$$U_2 = \frac{4Q_3}{\pi d_3^2} \Rightarrow U_2 = \frac{4 \cdot 0,4872 \text{ m}^3 / \text{h}}{3,14 \cdot (0,013 \text{ m})^2} \Rightarrow U_2 = 3672 \text{ m} / \text{h} \Rightarrow U_2 = 1,02 \text{ m} / \text{sec}$$



Ενώ η ταχύτητα στο σπирάλ του χαλκοσωλήνα θα είναι:

$$U_3 = \frac{4Q_3}{\pi d_4^2} \Rightarrow U_2 = \frac{4 \cdot 0,4872 m^3 / h}{3,14 \cdot (0,010 m)^2} \Rightarrow U_3 = 6206 m / h \Rightarrow U_3 = 1,72 m / sec$$

Έχοντας γνωστές τις ταχύτητες θα υπολογιστεί ο Αριθμός Reynolds και κατόπιν ο συντελεστής τριβής:

$$Re_1 = \frac{rU_1 d_1}{\mu} \Rightarrow Re_1 = \frac{1000 \frac{kg}{m^3} 1,5 \frac{m}{sec} 0,013 m}{0,8937 \cdot 10^{-3} Pa \cdot sec} \Rightarrow Re = 21819$$

Κατά Blasius ισχύει:

$$f_1 = \frac{0,316}{Re^{1/4}} = \frac{0,316}{21819^{0,25}} \Rightarrow f_1 = 0,026$$

$$Re_2 = \frac{rU_2 d_6}{\mu} \Rightarrow Re_2 = \frac{1000 \frac{kg}{m^3} 1,02 \frac{m}{sec} 0,013 m}{0,8937 \cdot 10^{-3} Pa \cdot sec} \Rightarrow Re_2 = 14837$$

Κατά Blasius ισχύει:

$$f_2 = \frac{0,316}{Re^{1/4}} = \frac{0,316}{14837^{0,25}} \Rightarrow f_2 = 0,028$$

Όμοια:

$$Re_3 = \frac{rU_3 d_4}{\mu} \Rightarrow Re_3 = \frac{1000 \frac{kg}{m^3} 1,72 \frac{m}{sec} 0,010 m}{0,8937 \cdot 10^{-3} Pa \cdot sec} \Rightarrow Re_3 = 19246$$

$$f_3 = \frac{0,316}{Re^{1/4}} = \frac{0,316}{19246^{0,25}} \Rightarrow f_2 = 0,027$$

Έτσι οι συνολικές απώλειες λόγω τριβής θα είναι για κάθε τμήμα:

Ανω τμήμα:

$$\sum_i^N \Delta H_L = f_1 \frac{U_1^2}{d_1 2g} (L_1 + L_2 + L_7 + L_8) = 0,026 \frac{(1,5m/sec)^2}{0,013m^2 \cdot 9,81m/sec^2} (0,45m + 1,3m + 0,10m + 0,10m) = 0,448m$$

Κάτω τμήμα:

$$\sum_i^N \Delta H_L = f_2 \frac{U_2^2}{d_6 2g} (L_3 + L_6 + L_9 + L_{10}) = 0,028 \frac{(1,02m/sec)^2}{0,013m^2 \cdot 9,81m/sec^2} (0,45m + 0,9m + 0,10m + 0,10m) = 0,177m$$

Κάτω τμήμα με σπирάλ χαλκοσωλήνα:

$$\sum_i^N \Delta H_L = f_3 \frac{U_3^2}{d_4 2g} (L_{\text{spiral}}) = 0,027 \frac{(1,72m/sec)^2}{0,010m^2 \cdot 9,81m/sec^2} (3,768m) = 1,53m$$

Οι συνολικές τοπικές απώλειες θα είναι:

$$\begin{aligned} \sum \Delta H_T &= \zeta_1 \frac{U_{\text{eis}}^2}{2g} + \frac{U_1^2}{2g} (\zeta_2 + \zeta_3 + \zeta_4) + \frac{U_2^2}{2g} (\zeta_5 + \zeta_7 + \zeta_8) + \frac{U_3^2}{2g} (\zeta_{10} + \zeta_{11}) = \\ &= 0,2 \frac{(2,57m/sec)^2}{2 \cdot 9,81m/sec^2} + \frac{(1,5m/sec)^2}{2 \cdot 9,81m/sec^2} (1,2 + 1,2 + 0,2) + \frac{(1,02m/sec)^2}{2 \cdot 9,81m/sec^2} (1,2 + 1 + 1,2) + \\ &\frac{(1,72m/sec)^2}{2 \cdot 9,81m/sec^2} (0,17 + 0,48) = 0,736m \end{aligned}$$

όπου:

$$U_{\text{eis}} = \frac{4Q_1}{pd_1^2} \Rightarrow U_{\text{eis}} = \frac{4 \cdot 1,2288m^3/h}{3,14 \cdot (0,013m)^2} \Rightarrow U_{\text{eis}} = 9263m/h \Rightarrow U_{\text{eis}} = 2,57m/sec$$

Επομένως συνολικές απώλειες σωληνογραμμής:

$$\Delta H_{\text{total}} = 0,448m + 0,177m + 1,53m + 0,736m = 2,891m$$

Οι μετρήσεις που προέκυψαν και οι υπολογισμοί από την 2<sup>η</sup> μέτρηση φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

ΑΝΩ ΒΑΝΑ ΑΝΟΙΚΤΗ - ΚΑΤΩ ΒΑΝΑ ΚΛΕΙΣΤΗ							
Ογκ.Παροχής	Αρχικά [m <sub>3</sub> /h]	Μετά 5min [m <sub>3</sub> /h]	Μετά 5min-Αρχικά [m <sub>3</sub> /h]	x12 [m <sub>3</sub> /h]	Q <sub>2</sub> +Q <sub>3</sub> [m <sub>3</sub> /h]	Q <sub>1</sub> -Q <sub>4</sub> [m <sub>3</sub> /h]	Q <sub>1</sub> -(Q <sub>2</sub> +Q <sub>3</sub> ) [m <sub>3</sub> /h]
Q <sub>1</sub>	0,2498	0,2785	0,0287	0,3444			
Q <sub>2</sub>	1,0452	1,0631	0,0179	0,2148	0,3372	0,0264	0,0072
Q <sub>3</sub>	0,1101	0,1203	0,0102	0,1224			
Q <sub>4</sub>	0,2197	0,2462	0,0265	0,318			

Παρατηρούμε ότι υπάρχει απόκλιση της παροχής εισόδου Q<sub>1</sub> σε σχέση με την παροχή εξόδου Q<sub>4</sub>.

Υπολογισμός ταχύτητας για το άνω μέρος όπου η διάμετρος του αγωγού είναι σταθερή d<sub>1</sub>= d<sub>2</sub>=0,013m:

$$U_1 = \frac{4Q_2}{\pi d_1^2} \Rightarrow U_1 = \frac{4 \cdot 0,2148 m^3 / h}{3,14 \cdot (0,013 m)^2} \Rightarrow U_1 = 1619 m / h \Rightarrow U_1 = 0,45 m / sec$$

Για τον υπολογισμό της ταχύτητας για το κάτω μέρος όπου η διάμετρος του αγωγού δεν είναι σταθερή αλλά μεταβάλλεται d<sub>3</sub>=d<sub>6</sub>=0,013m και d<sub>4</sub>=0,010m (σπειράλ), θα υπολογίσουμε τις δύο ταχύτητες με βάση την εξίσωση συνέχειας.

Επομένως η ταχύτητα στον κάτω κλάδο θα είναι:

$$U_2 = \frac{4Q_3}{\pi d_3^2} \Rightarrow U_2 = \frac{4 \cdot 0,1224 m^3 / h}{3,14 \cdot (0,013 m)^2} \Rightarrow U_2 = 923 m / h \Rightarrow U_2 = 0,26 m / sec$$

Ενώ η ταχύτητα στο σπирάλ του χαλκοσωλήνα θα είναι:

$$U_3 = \frac{4Q_3}{\rho d_4^2} \Rightarrow U_2 = \frac{4 \cdot 0,1224 m^3 / h}{3,14 \cdot (0,010 m)^2} \Rightarrow U_3 = 1559 m / h \Rightarrow U_3 = 0,43 m / sec$$

Έχοντας γνωστές τις ταχύτητες θα υπολογιστεί ο Αριθμός Reynolds και κατόπιν ο συντελεστής τριβής:

$$Re_1 = \frac{\rho U_1 d_1}{\mu} \Rightarrow Re_1 = \frac{1000 \frac{kg}{m^3} \cdot 0,45 \frac{m}{sec} \cdot 0,013 m}{0,8937 \cdot 10^{-3} Pa \cdot sec} \Rightarrow Re = 6545$$

Κατά Blasius ισχύει:

$$f_1 = \frac{0,316}{Re^{1/4}} = \frac{0,316}{6545^{0,25}} \Rightarrow f_1 = 0,035$$

$$Re_2 = \frac{\rho U_2 d_6}{\mu} \Rightarrow Re_2 = \frac{1000 \frac{kg}{m^3} \cdot 0,26 \frac{m}{sec} \cdot 0,013 m}{0,8937 \cdot 10^{-3} Pa \cdot sec} \Rightarrow Re_2 = 3783$$

Κατά Blasius ισχύει:

$$f_2 = \frac{0,316}{Re^{1/4}} = \frac{0,316}{3782^{0,25}} \Rightarrow f_2 = 0,040$$

Όμοια:

$$Re_3 = \frac{\rho U_3 d_4}{\mu} \Rightarrow Re_3 = \frac{1000 \frac{kg}{m^3} \cdot 0,43 \frac{m}{sec} \cdot 0,010 m}{0,8937 \cdot 10^{-3} Pa \cdot sec} \Rightarrow Re_3 = 4811$$

$$f_3 = \frac{0,316}{Re^{1/4}} = \frac{0,316}{4811^{0,25}} \Rightarrow f_3 = 0,038$$

Έτσι οι συνολικές απώλειες λόγω τριβής θα είναι για κάθε τμήμα:

Άνω τμήμα:

$$\sum_i^N \Delta H_L = f_1 \frac{U_1^2}{d_1 2g} (L_1 + L_2 + L_7 + L_8) = 0,035 \frac{(0,45m/sec)^2}{0,013m \cdot 9,81m/sec^2} (0,45m + 1,3m + 0,10m + 0,10m) = 0,054m$$

Κάτω τμήμα:

$$\sum_i^N \Delta H_L = f_2 \frac{U_2^2}{d_6 2g} (L_3 + L_6 + L_9 + L_{10}) = 0,040 \frac{(0,26m/sec)^2}{0,013m \cdot 9,81m/sec^2} (0,45m + 0,9m + 0,10m + 0,10m) = 0,016m$$

Κάτω τμήμα με σπирάλ χαλκοσωλήνα:

$$\sum_i^N \Delta H_L = f_3 \frac{U_3^2}{d_4 2g} (L_{\text{σπείραλ}}) = 0,038 \frac{(0,43m/sec)^2}{0,010m \cdot 9,81m/sec^2} (3,768m) = 0,135m$$

Οι συνολικές τοπικές απώλειες θα είναι:

$$\begin{aligned} \sum \Delta H_T &= \zeta_1 \frac{U_{\text{εισ}}^2}{2g} + \frac{U_1^2}{2g} (\zeta_2 + \zeta_3 + \zeta_4) + \frac{U_2^2}{2g} (\zeta_5 + \zeta_7 + \zeta_8) + \frac{U_3^2}{2g} (\zeta_{10} + \zeta_{11}) = \\ &= 0,2 \frac{(0,72m/sec)^2}{2 \cdot 9,81m/sec^2} + \frac{(0,45m/sec)^2}{2 \cdot 9,81m/sec^2} (1,2 + 1,2 + 0,2) + \frac{(0,26m/sec)^2}{2 \cdot 9,81m/sec^2} (1,2 + 1 + 1,2) + \\ &\frac{(0,43m/sec)^2}{2 \cdot 9,81m/sec^2} (0,17 + 0,48) = 0,0557m \end{aligned}$$

όπου:

$$U_{\text{eis}} = \frac{4Q_1}{pd_1^2} \Rightarrow U_{\text{eis}} = \frac{4 \cdot 0,3444m^3/h}{3,14 \cdot (0,013m)^2} \Rightarrow U_{\text{eis}} = 2596m/h \Rightarrow U_{\text{eis}} = 0,72m/sec$$

Επομένως συνολικές απώλειες σωληνογραμμής:

$$\Delta H_{\text{total}} = 0,054m + 0,016m + 0,135m + 0,0557m = 0,2607m$$

### 3.3 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 3<sup>H</sup>: ΚΑΤΩ ΒΑΝΑ ΑΝΟΙΚΤΗ - ΑΝΩ ΒΑΝΑ ΚΛΕΙΣΤΗ (2 διαφορετικές παροχές εισόδου)

ΚΑΤΩ ΒΑΝΑ ΑΝΟΙΚΤΗ - ΑΝΩ ΒΑΝΑ ΚΛΕΙΣΤΗ							
Ογκ.Παροχής	Αρχικά [m <sub>3</sub> /h]	Μετά 5min [m <sub>3</sub> /h]	Μετά 5min-Αρχικά [m <sub>3</sub> /h]	x12 [m <sub>3</sub> /h]	Q <sub>2</sub> +Q <sub>3</sub> [m <sub>3</sub> /h]	Q <sub>1</sub> -Q <sub>4</sub> [m <sub>3</sub> /h]	Q <sub>1</sub> -(Q <sub>2</sub> +Q <sub>3</sub> ) [m <sub>3</sub> /h]
Q <sub>1</sub>	0,2785	0,3987	0,1202	1,4424			
Q <sub>2</sub>	1,0631	1,1211	0,058	0,696	1,4148	0,0924	0,0276
Q <sub>3</sub>	0,1203	0,1802	0,0599	0,7188			
Q <sub>4</sub>	0,2462	0,3587	0,1125	1,35			

Παρατηρούμε ότι υπάρχει απόκλιση της παροχής εισόδου Q<sub>1</sub> σε σχέση με την παροχή εξόδου Q<sub>4</sub>.

Υπολογισμός ταχύτητας για το άνω μέρος όπου η διάμετρος του αγωγού είναι σταθερή d<sub>1</sub>= d<sub>2</sub>=0,013m:

$$U_1 = \frac{4Q_2}{\pi d_1^2} \Rightarrow U_1 = \frac{4 \cdot 0,696 \text{ m}^3 / \text{h}}{3,14 \cdot (0,013 \text{ m})^2} \Rightarrow U_1 = 5246 \text{ m} / \text{h} \Rightarrow U_1 = 1,46 \text{ m} / \text{sec}$$

Για τον υπολογισμό της ταχύτητας για το κάτω μέρος όπου η διάμετρος του αγωγού είναι σταθερή d<sub>6</sub>=0,013m θα υπολογιστεί η ταχύτητα με βάση την εξίσωση συνέχειας.

Επομένως η ταχύτητα στον κάτω κλάδο θα είναι:

$$U_2 = \frac{4Q_3}{\pi d_3^2} \Rightarrow U_2 = \frac{4 \cdot 0,7188 \text{ m}^3 / \text{h}}{3,14 \cdot (0,013 \text{ m})^2} \Rightarrow U_2 = 5418 \text{ m} / \text{h} \Rightarrow U_2 = 1,51 \text{ m} / \text{sec}$$

Έχοντας γνωστές τις ταχύτητες θα υπολογιστεί ο Αριθμός Reynolds και κατόπιν ο συντελεστής τριβής:

$$Re_1 = \frac{rU_1 d_1}{m} \Rightarrow Re_1 = \frac{1000 \frac{kg}{m^3} 1,46 \frac{m}{sec} 0,013m}{0,8937 \cdot 10^{-3} Pa \cdot sec} \Rightarrow Re = 21238$$

Κατά Blasius ισχύει:

$$f_1 = \frac{0,316}{Re^{1/4}} = \frac{0,316}{21238^{0,25}} \Rightarrow f_1 = 0,026$$

$$Re_2 = \frac{rU_2 d_2}{m} \Rightarrow Re_2 = \frac{1000 \frac{kg}{m^3} 1,51 \frac{m}{sec} 0,013m}{0,8937 \cdot 10^{-3} Pa \cdot sec} \Rightarrow Re_2 = 21965$$

Κατά Blasius ισχύει:

$$f_2 = \frac{0,316}{Re^{1/4}} = \frac{0,316}{21965^{0,25}} \Rightarrow f_2 = 0,025$$

Έτσι οι συνολικές απώλειες λόγω τριβής θα είναι για κάθε τμήμα:

Ανω τμήμα:

$$\sum_i^N \Delta H_L = f_1 \frac{U_1^2}{d_1 2g} (L_1 + L_2 + L_7 + L_8) = 0,026 \frac{(1,46m/sec)^2}{0,013m \cdot 9,81m/sec^2} (0,45m + 1,3m + 0,10m + 0,10m) = 0,42m$$

Κάτω τμήμα:

$$\sum_i^N \Delta H_L = f_2 \frac{U_2^2}{d_5 2g} (L_3 + L_5 + L_9 + L_{10} + L_{11} + L_{12}) = 0,025 \frac{(1,51m/sec)^2}{0,013m \cdot 9,81m/sec^2} (0,45m + 1,3m + 0,10m + 0,10m + 0,10m + 0,10m) = 0,48m$$

Οι συνολικές τοπικές απώλειες θα είναι:

$$\begin{aligned}\sum \Delta H_T &= z_1 \frac{U_{eis}^2}{2g} + \frac{U_1^2}{2g} (z_2 + z_3 + z_4) + \frac{U_2^2}{2g} (z_6 + z_7 + z_9 + z_4) \\ &= 0,2 \frac{(3,02m/sec)^2}{2 \bullet 9,81m/sec^2} + \frac{(1,46m/sec)^2}{2 \bullet 9,81m/sec^2} (1,2 + 1,2 + 0,2) + \frac{(1,51m/sec)^2}{2 \bullet 9,81m/sec^2} (1,2 + 1 + 1,2 + 0,2) = 0,7929m\end{aligned}$$

όπου:

$$U_{eis} = \frac{4Q_1}{pd_1^2} \Rightarrow U_{eis} = \frac{4 \bullet 1,4424m^3/h}{3,14 \bullet (0,013m)^2} \Rightarrow U_{eis} = 10872m/h \Rightarrow U_{eis} = 3,02m/sec$$

Επομένως συνολικές απώλειες σωληνογραμμής:

$$\Delta H_{total} = 0,42m + 0,48m + 0,7929m = 1,6929m$$



Οι μετρήσεις που προέκυψαν και οι υπολογισμοί από την 2<sup>η</sup> μέτρηση φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

ΚΑΤΩ ΒΑΝΑ ΑΝΟΙΚΤΗ - ΑΝΩ ΒΑΝΑ ΚΛΕΙΣΤΗ							
Ογκ.Παροχής	Αρχικά [m <sub>3</sub> /h]	Μετά 5min [m <sub>3</sub> /h]	Μετά 5min-Αρχικά [m <sub>3</sub> /h]	x12 [m <sub>3</sub> /h]	Q <sub>2</sub> +Q <sub>3</sub> [m <sub>3</sub> /h]	Q <sub>1</sub> -Q <sub>4</sub> [m <sub>3</sub> /h]	Q <sub>1</sub> -(Q <sub>2</sub> +Q <sub>3</sub> ) [m <sub>3</sub> /h]
Q <sub>1</sub>	0,3987	0,4226	0,0239	0,2868			
Q <sub>2</sub>	1,1211	1,1316	0,0105	0,126	0,2496	0,0480	0,0372
Q <sub>3</sub>	0,1802	0,1905	0,0103	0,1236			
Q <sub>4</sub>	0,3587	0,3786	0,0199	0,2388			

Παρατηρούμε ότι υπάρχει απόκλιση της παροχής εισόδου Q<sub>1</sub> σε σχέση με την παροχή εξόδου Q<sub>4</sub>.

Υπολογισμός ταχύτητας για το άνω μέρος όπου η διάμετρος του αγωγού είναι σταθερή d<sub>1</sub>= d<sub>2</sub>=0,013m:

$$U_1 = \frac{4Q_2}{\pi d_1^2} \Rightarrow U_1 = \frac{4 \cdot 0,126 \text{ m}^3 / \text{h}}{3,14 \cdot (0,013 \text{ m})^2} \Rightarrow U_1 = 950 \text{ m} / \text{h} \Rightarrow U_1 = 0,264 \text{ m} / \text{sec}$$

Για τον υπολογισμό της ταχύτητας για το κάτω μέρος όπου η διάμετρος του αγωγού είναι σταθερή d<sub>6</sub>=0,013m θα υπολογιστεί η ταχύτητα με βάση την εξίσωση συνέχειας.

Επομένως η ταχύτητα στον κάτω κλάδο θα είναι:

$$U_2 = \frac{4Q_3}{\pi d_3^2} \Rightarrow U_2 = \frac{4 \cdot 0,1236 \text{ m}^3 / \text{h}}{3,14 \cdot (0,013 \text{ m})^2} \Rightarrow U_2 = 932 \text{ m} / \text{h} \Rightarrow U_2 = 0,259 \text{ m} / \text{sec}$$

Έχοντας γνωστές τις ταχύτητες θα υπολογιστεί ο Αριθμός Reynolds και κατόπιν ο συντελεστής τριβής:

$$Re_1 = \frac{rU_1d_1}{m} \Rightarrow Re_1 = \frac{1000 \frac{kg}{m^3} 0,264 \frac{m}{sec} 0,013m}{0,8937 \bullet 10^{-3} Pa \cdot sec} \Rightarrow Re = 3840$$

Κατά Blasius ισχύει:

$$f_1 = \frac{0,316}{Re^{1/4}} = \frac{0,316}{3840^{0,25}} \Rightarrow f_1 = 0,040$$

$$Re_2 = \frac{rU_2d_5}{m} \Rightarrow Re_2 = \frac{1000 \frac{kg}{m^3} 0,259 \frac{m}{sec} 0,013m}{0,8937 \bullet 10^{-3} Pa \cdot sec} \Rightarrow Re_2 = 3767$$

Κατά Blasius ισχύει:

$$f_2 = \frac{0,316}{Re^{1/4}} = \frac{0,316}{3767^{0,25}} \Rightarrow f_2 = 0,040$$

Έτσι οι συνολικές απώλειες λόγω τριβής θα είναι για κάθε τμήμα:

Άνω τμήμα:

$$\sum_i^N \Delta H_L = f_1 \frac{U_1^2}{d_1 2g} (L_1 + L_2 + L_7 + L_8) = 0,040 \frac{(0,264m/sec)^2}{0,013m \cdot 9,81m/sec^2} (0,45m + 1,3m + 0,10m + 0,10m) = 0,021m$$

Κάτω τμήμα:

$$\sum_i^N \Delta H_L = f_2 \frac{U_2^2}{d_5 2g} (L_3 + L_5 + L_9 + L_{10} + L_{11} + L_{12}) = 0,040 \frac{(0,259m/sec)^2}{0,013m \cdot 9,81m/sec^2} (0,45m + 1,3m + 0,10m + 0,10m + 0,10m + 0,10m) = 0,023m$$

Οι συνολικές τοπικές απώλειες θα είναι:

$$\begin{aligned}\sum \Delta H_T &= z_1 \frac{U_{eis}^2}{2g} + \frac{U_1^2}{2g} (z_2 + z_3 + z_4) + \frac{U_2^2}{2g} (z_6 + z_7 + z_9 + z_4) \\ &= 0,2 \frac{(0,6m/sec)^2}{2 \bullet 9,81m/sec^2} + \frac{(0,264m/sec)^2}{2 \bullet 9,81m/sec^2} (1,2 + 1,2 + 0,2) + \frac{(0,259m/sec)^2}{2 \bullet 9,81m/sec^2} (1,2 + 1 + 1,2 + 0,2) = 0,0251m\end{aligned}$$

όπου:

$$U_{eis} = \frac{4Q_1}{pd_1^2} \Rightarrow U_{eis} = \frac{4 \bullet 0,2868m^3/h}{3,14 \bullet (0,013m)^2} \Rightarrow U_{eis} = 2162m/h \Rightarrow U_{eis} = 0,6m/sec$$

Επομένως συνολικές απώλειες σωληνογραμμής:

$$\Delta H_{total} = 0,021m + 0,023m + 0,0251m = 0,0691m$$

### 3.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των δοκιμών για τις τρεις περιπτώσεις:

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ	ΜΕΤΡΗΣΗ	ΠΑΡΟΧΗ [m <sup>3</sup> /h]	ΟΛΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ
ΔΥΟ ΒΑΝΕΣ ΑΝΟΙΚΤΕΣ	1 <sup>η</sup>	1,0188	$\Delta H_{total}=0,93m$
	2 <sup>η</sup>	0,2532	$\Delta H_{total}=0,1337m$
ΑΝΩ ΒΑΝΑ ΑΝΟΙΚΤΗ - ΚΑΤΩ ΒΑΝΑ ΚΛΕΙΣΤΗ	1 <sup>η</sup>	1,2288	$\Delta H_{total}=2,891m$
	2 <sup>η</sup>	0,3444	$\Delta H_{total}=0,2607m$
ΚΑΤΩ ΒΑΝΑ ΑΝΟΙΚΤΗ - ΑΝΩ ΒΑΝΑ ΚΛΕΙΣΤΗ	1 <sup>η</sup>	1,4424	$\Delta H_{total}=1,6929m$
	2 <sup>η</sup>	0,2868	$\Delta H_{total}=0,691m$

Συγκρίνοντας τις τιμές του παραπάνω πίνακα, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι όσο μεγαλύτερη είναι η παροχή τόσο μεγαλύτερες είναι και οι ολικές απώλειες.

Οι συγκρίσεις γίνονται για την κάθε περίπτωση ξεχωριστά και με βασικό κριτήριο τις διαφορετικές τιμές των παροχών (1<sup>η</sup> και 2<sup>η</sup> μέτρηση).

### 3.5 ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Τα υλικά και το κόστος αυτών φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΚΟΣΤΟΣ €	ΤΕΜΑΧΙΟ	ΣΥΝΟΛΟ €
ΤΑΦ	1.00	4	4.00
ΓΩΝΙΑ 90 <sup>ο</sup>	0.80	4	3.20
ΧΑΛΚΟΣΩΛΗΝΑ /ΜΕΤΡΟ	4.30	9	38.70
ΧΑΛΚΟΣΩΛΗΝΑ ΣΠΙΡΑΛ	5.25	4	21.00
ΔΑΚΤΥΛΙΔΙΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ	0.55	20	11.00
ΤΕΦΛΟΝ	2.30	1	2.30
ΚΟΛΛΗΣΗ ΧΑΛΚΟΥ	17.00	1	17.00
ΦΥΑΛΗ	11.00	1	11.00
ΜΠΟΓΙΑ	4.65	3	13.95
ΡΟΛΛΑ	9.40	1	9.40
ΠΙΝΕΛΑ	1.50	2	3.00
ΒΑΝΝΑ	4.50	2	9.00
ΟΓΚΟΜΕΤΡΗΤΙΚΟ ΡΟΛΟΪ	17.00	4	68.00
ΣΩΛΗΝΟΚΟΦΤΗΣ	3.00	1	3.00
ΣΕΓΑ	18.50	1	18.50
ΡΑΚΟΡ	2.60	8	20.80
ΜΑΣΤΟΣ ΑΡΣΕΝΙΚΟΣ ΓΙΑ ΣΥΝΔΕΣΗ ΧΑΛΚΟΣΩΛΗΝΑ ΜΕ ΒΑΝΑ	1.20	4	4.80

Συνολικό Κόστος Κατασκευής: **258.65€**

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. Ν.Νανούσης, *ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΤΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ Ι*, Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα 2003
2. Άγγελος Παπαϊωάννου, *ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΤΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ* Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 1999
3. Β.Η.Σελλούντος, *ΘΕΡΜΑΝΣΗ – ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ Α ΤΟΜΟΣ*, Εκδόσεις ΣΕΛΚΑ 4Μ ΕΚΔΟΤΙΚΗ, Αθήνα 2002