

3.3. Ρευστά Σε Κίνηση

Κατά την κίνηση των ρευστών αναπτύσσονται δυνάμεις τριβής μεταξύ των μορίων τους (εσωτερική τριβή) αλλά και μεταξύ των μορίων τους και των τοιχωμάτων του σωλήνα μέσα στον οποίο πραγματοποιείται η κίνηση (δυνάμεις συναφείας). Αν οι δυνάμεις που προαναφέραμε υπερβούν κάποιο όριο το ρευστό δημιουργεί κατά τη ροή του δίνες και η ροή λέγεται **турβώδης** ή στροβιλώδης. Η μελέτη μιας τέτοιας κίνησης είναι πολύπλοκη. Εμείς θα περιοριστούμε στη μελέτη της ροής ενός ρευστού που δεν παρουσιάζει εσωτερικές τριβές και τριβές με τα τοιχώματα του σωλήνα μέσα στον οποίο ρέει και επιπλέον είναι ασυμπίεστο. Ένα τέτοιο ρευστό χαρακτηρίζεται ως **ιδανικό**.

Στην πραγματικότητα η συμπεριφορά των κινούμενων ρευστών διαφέρει πολύ ή λίγο από τη συμπεριφορά των ιδανικών ρευστών. Για να διακρίνουμε τα υπαρκτά ρευστά από τα ιδανικά θα τα ονομάζουμε **πραγματικά ρευστά**.

ροή ενός ιδανικού ρευστού είναι **στρωτή**, δηλαδή δεν παρουσιάζει στροβίλους.

Ρευματικές γραμμές - Φλέβα - Παροχή

Το σύνολο των θέσεων από τις οποίες περνά κάθε μόριο του ρευστού στη διάρκεια της κίνησής του ορίζει μια γραμμή που την ονομάζουμε **ρευματική γραμμή**. Εφόσον η ρευματική γραμμή είναι στην πραγματικότητα η τροχιά του μορίου, η ταχύτητά του σε κάθε θέση θα είναι εφαπτομένη της ρευματικής γραμμής πράγμα που σημαίνει ότι δύο ρευματικές γραμμές δεν είναι δυνατόν να τέμνονται (σχ. 3.5).

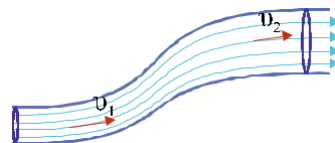
Αν θεωρήσουμε μια επιφάνεια **A** κάθετη στη διεύθυνση του σωλήνα¹, μέσα στον οποίο κινείται ένα ρευστό και από κάθε σημείο του περιγράμματος της **A** σχεδιάσουμε την αντίστοιχη ρευματική γραμμή

Ως σωλήνες θεωρούμε κάθε μορφής τοιχώματα που περιορίζουν το κινούμενο ρευστό. Για παράδειγμα σωλήνες μπορούν να θεωρηθούν η κοίτη και τα πλευρικά τοιχώματα στη ροή των ποταμών ή οι κοιλάδες στην κίνηση των ανέμων.



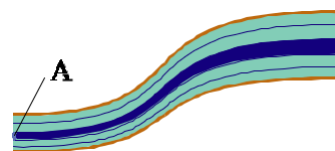
Ρίχνοντας χρώματα μέσα σε ένα ρευστό που κάνει турβώδη ροή έχουμε μια εικόνα των δι-νών που σχηματίζει.

Εικόνα 3-2.



Ρευματική γραμμή είναι η τροχιά ενός μορίου του υγρού.

Σχήμα 3-5.



Σε κάθε σημείο στο περίγραμμα της επιφάνειας **A** αντιστοιχεί μια ρευματική γραμμή. Όλες αυτές οι ρευματικές γραμμές ορίζουν μία φλέβα.

Σχήμα 3-6.

μέσα στο ρευστό σχηματίζεται ένας νοητός σωλήνας που ονομάζεται **φλέβα** (σχ. 3.6).

Όπως φαίνεται από τον ορισμό της το ρευστό που κυλάει σε κάποια φλέβα δεν αναμιγνύεται με το περιεχόμενο άλλης φλέβας του σωλήνα.

Από μια διατομή του σωλήνα ή της φλέβας σε χρόνο t περνάει ένας όγκος υγρού V . Το πηλίκο

$$\Pi = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (3.4)$$

ονομάζεται **παροχή** του σωλήνα ή της φλέβας και μετριέται σε m^3/s .

Αν η διατομή του σωλήνα είναι A και το υγρό στο χρονικό διάστημα t έχει μετατοπιστεί κατά x , μπορούμε να γράψουμε

$$\Delta V = A \Delta x \quad (3.5)$$

Αντικαθιστώντας την (3.5) στην (3.4) προκύπτει

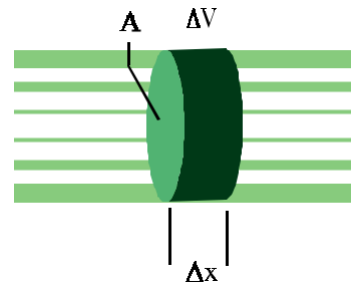
$$\Pi = \frac{A \Delta x}{\Delta t}$$

και επειδή το πηλίκο $\frac{\Delta x}{\Delta t}$ ισούται με την ταχύτητα του υγρού στη

θέση αυτή

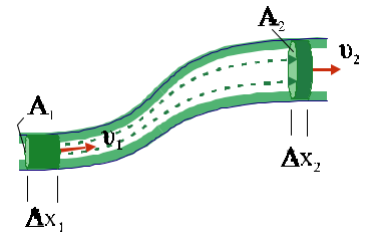
$$\boxed{\Pi = A v}$$

παροχή σωλήνα ή φλέβας σε κάποια θέση είναι ίση με το γινόμενο του εμβαδού της διατομής επί την ταχύτητα του ρευστού στη θέση αυτή.



Στο χρονικό διάστημα t , από μια διατομή A του σωλήνα περνάει υγρό όγκου $A x$.

Σχήμα 3-7.



Αν το ρευστό που ρέει στο σωλήνα είναι ασυμπίεστο, το γινόμενο $A v$ είναι σταθερό.

Σχήμα 3-8.

3.4. Διατήρηση Ύλης και η Εξίσωση Συνέχειας

Θεωρούμε ένα ασυμπίεστο ρευστό που ρέει μέσα σ' ένα σωλήνα μεταβλητής διατομής (σχ. 3.8). Υποθέτουμε ότι η ροή είναι στρωτή.

Επειδή το ρευστό θεωρείται ασυμπίεστο θα πρέπει η μάζα m_1 που περνάει από μία διατομή A_1 του σωλήνα σε χρόνο t να είναι ίση με τη μάζα m_2 που περνάει στο ίδιο χρονικό διάστημα από μία άλλη διατομή του σωλήνα A_2 . Είναι δηλαδή

$$\Delta m_1 = \Delta m_2 \quad (3.6)$$

ή

$$\rho \Delta V_1 = \rho \Delta V_2$$

όπου V_1 και V_2 οι στοιχειώδεις όγκοι που καταλαμβάνουν μέσα στο σωλήνα οι μάζες m_1 και m_2 αντίστοιχα.

Αλλά $\Delta V_1 = A_1 \Delta x_1 = A_1 v_1 \Delta t$ και $\Delta V_2 = A_2 \Delta x_2 = A_2 v_2 \Delta t$ όπου v_1 και v_2 οι ταχύτητες του ρευστού στις διατομές A_1 και A_2 αντίστοιχα.¹

Η εξίσωση (3.6) γίνεται

$$A_1 v_1 \Delta t = A_2 v_2 \Delta t \quad (3.7)$$

και τελικά

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (3.8)$$

¹Υπενθυμίζεται ότι το ρευστό θεωρείται ασυμπίεστο. Αυτό σημαίνει ότι η πυκνότητά του είναι ίδια σε όλη την έκτασή του.

εξίσωση αυτή ονομάζεται **εξίσωση της συνέχειας** και είναι άμεση συνέπεια της αρχής διατήρησης της ύλης.

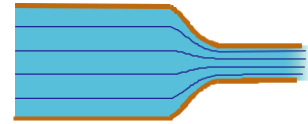
Επειδή $\Pi = Av$ η (3.8) γράφεται και

$$\Pi_1 = \Pi_2 \quad \text{ή} \quad \Pi = \text{σταθερό} \quad (3.9)$$

σχέση (3.9) ισχύει για σωλήνα αλλά και για φλέβα και διατυπώνεται ως εξής :

Κατά μήκος ενός σωλήνα ή μιας φλέβας η παροχή διατηρείται σταθερή.

Από τη σχέση (3.8) φαίνεται ότι κατά μήκος ενός σωλήνα που δεν έχει σταθερή διατομή, η ταχύτητα του υγρού δεν είναι παντού ίδια. Σε σημεία όπου ο σωλήνας στενεύει η ταχύτητα ροής είναι πιο μεγάλη. Κατά μήκος ενός ποταμού με σταθερό πλάτος πολλές φορές το βάθος ποικίλει. Όπου το ποτάμι έχει μικρό βάθος έχει και μικρή εγκάρσια διατομή. Επειδή η παροχή είναι σταθερή, στις περιοχές όπου το ποτάμι είναι ρηχό το νερό κυλάει γρηγορότερα. Παραστατικά μπορούμε να πούμε ότι εκεί που οι ρευματικές γραμμές πυκνώνουν η ταχύτητα ροής είναι πιο μεγάλη (σχ. 3.9).



ταχύτητα ροής είναι μεγαλύτερη εκεί που πυκνώνουν οι ρευματικές γραμμές.

Σχήμα 3-9.

Παράδειγμα 3.2

Ένας κυλινδρικός σωλήνας συνδέεται με βρύση παροχής $0,001 \text{ m}^3/\text{s}$.

α) Εάν ο σωλήνας έχει διάμετρο 3 cm ποια η ταχύτητα ροής του νερού μέσα στο σωλήνα; β) Με τι ταχύτητα εκτοξεύεται το νερό αν μειώσουμε με το δάχτυλό μας, στο μισό, τη διατομή του σωλήνα;

Απάντηση :

$$\alpha) \quad \frac{V}{\Delta t} = Av \quad \text{άρα} \quad v = \frac{V}{A \Delta t} \quad \text{όποτε}$$

$$v = \frac{1}{\pi \frac{(3 \times 10^{-2} \text{ m})^2}{4}} 0,001 \text{ m}^3 / \text{s} = 1,42 \text{ m} / \text{s}$$

A

β) $A_1 v_1 = A_2 v_2$ οπότε $v_2 = v_1 \frac{A_1}{A_2}$ και τελικά

$$v_2 = (2 \text{ m/s}) \cdot 2 = 4 \text{ m/s}$$