

**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα**

**Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Αθήνας**

Φυσική

**Ενότητα 3:** Πραγματικά ρευστά

Κωνσταντίνος Κουρκουτάς

Τμήμα Οδοντικής Τεχνολογίας

|  |  |
| --- | --- |
| Το περιεχόμενο του μαθήματος διατίθεται με άδεια Creative Commons εκτός και αν αναφέρεται διαφορετικά | Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους. |

**3.1 Η ροή στα πραγματικά ρευστά**

**3.1.1 Εσωτερικές τριβές. Ιξώδες**

Είναι γνωστό από τη Μηχανική, ότι μεταξύ δυο εφαπτόμενων στερεών σωμάτων ασκούνται δυνάμεις τριβής. Οι δυνάμεις αυτές είναι καταναλωτικές, δηλαδή καταναλώνουν ενέργεια και ασκούνται μεταξύ των εξωτερικών επιφανειών των σωμάτων. Για το λόγο αυτό ονομάζονται **εξωτερικές τριβές**.

Στα ρευστά οι δυνάμεις τριβής δεν περιορίζονται στην εξωτερική επιφάνειά, αλλά ασκούνται και στο εσωτερικό τους, όπου υπάρχουν διαφορετικές ταχύτητες ροής. Για το λόγο αυτό οι τριβές αυτές ονομάζονται **εσωτερικές τριβές**. Όπως και οι εξωτερικές, έτσι και οι εσωτερικές τριβές είναι καταναλωτικές δυνάμεις.

**Οι εσωτερικές τριβές μειώνουν την ενέργεια ροής του ρευστού.**

Στις προηγούμενες παραγράφους του παρόντος κεφαλαίου αντιμετωπίσαμε τα ρευστά ως ιδανικά. Το πρότυπο του **ιδανικού ρευστού** δηλαδή ενός υγρού, ή αερίου **χωρίς εσωτερικές τριβές** είναι ικανοποιητικό στα προβλήματα της Στατικής των ρευστών, καθώς και σε μερικές εφαρμογές της Δυναμικής των ρευστών, όπως π.χ. στους μετρητές Venturi, ή Pitot, που μελετήσαμε στην προηγούμενη παράγραφο, αλλά αποτυγχάνει στην προσέγγιση προβλημάτων ροής.

Σύμφωνα με το πρότυπο των ιδανικών ρευστών όλα τα υγρά θα έπρεπε να ρέουν κάτω από τις ίδιες συνθήκες κατά τον ίδιο τρόπο, πράγμα που όπως γνωρίζουμε από τις καθημερινές εμπειρίες μας δε συμβαίνει. Αυτό οφείλεται στις εσωτερικές τριβές. Το νερό ρέει π.χ. πολύ πιο εύκολα από το λάδι. Επίσης το λάδι είναι πολύ πιο λεπτόρρευστο σε υψηλές θερμοκρασίες παρά σε χαμηλές. Αναφορά σε αυτές τις ιδιότητες των ρευστών έγινε ήδη στην παράγραφο 1.1.

Το μέγεθος, που χαρακτηρίζει τη ροή των πραγματικών ρευστών είναι το **ιξώδες**. Εννοιολογικά το ιξώδες είναι το αντίστροφο της ρευστότητας. Όσο πιο παχύρρευστο είναι ένα ρευστό, τόσο μεγαλύτερο είναι το ιξώδες και αντίστροφα.

**Το ιξώδες χαρακτηρίζει το βαθμό δυσκολίας ροής των ρευστών.**

Το ιξώδες συμβολίζεται με το πεζό .

Αν θεωρήσουμε δύο απειροστά γειτονικές ποσότητες του ρευστού, που απέχουν κατά  και ρέουν με διαφορετικές ταχύτητες  και , τότε εξ αιτίας των εσωτερικών τριβών ασκούνται μεταξύ των εφαπτομένων επιφανειών **διατμητι-κές τάσεις** , οι οποίες είναι ανάλογες της **βαθμίδας ταχύτητας** . Το ιξώδες είναι η σταθερά αναλογίας μεταξύ των δύο αυτών μεγεθών. Δηλαδή:

**ιξώδες**  (38-1)

Η εξίσωση 36-1 είναι η εξίσωση ορισμού του ιξώδους και μας οδηγεί στη μονάδα μέτρησης του:

 (38-2)

Επομένως:

**Στο SI μονάδα μέτρησης του ιξώδους είναι το **

Κατά το παρελθόν, που υπήρχαν περισσότερα εν χρήσει συστήματα μονάδων, το ιξώδες αποδιδόταν συνήθως σε μονάδες **Poise**, που ανήκουν στο **cgs**. Η αντιστοιχία μεταξύ των δύο μονάδων είναι:

 (38-3)

Στις τεχνικές εφαρμογές χρησιμοποιούμε συνήθως αντί του ιξώδους το **κινηματικό ιξώδες** , το οποίο ορίζεται ως το πηλίκο του ιξώδους  προς την πυκνότητα  του ρευστού.

**κινηματικό ιξώδες **  (38-4)

Η μονάδα του κινηματικού ιξώδους βρίσκεται από την εξίσωση ορισμού του:

 (38-5)

Επομένως:

**Στο SI μονάδα μέτρησης του κινηματικού ιξώδους είναι το m2/s.**

Όπως και το ιξώδες, έτσι και το κινηματικό ιξώδες αποδιδόταν κατά το παρελθόν σε μονάδες του συστήματος **cgs**. Η αντίστοιχη μονάδα είναι το **Stokes** . Η αντιστοιχία μεταξύ των δύο μονάδων είναι:

 (39-1)

Το ιξώδες εξαρτάται από τη θερμοκρασία. Στους πίνακες 2-2 και 2-3 περιέχονται οι τιμές του ιξώδους και του κινηματικού ιξώδους του νερού και του ατμοσφαιρικού αέρα συναρτήσει της θερμοκρασίας. Στον πίνακα 2-4 περιέχονται οι τιμές του κινηματικού ιξώδους μερικών υλικών με τεχνολογική σημασία.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 2-2 | | |  | ΠΙΝΑΚΑΣ 2-3 | | | |  | ΠΙΝΑΚΑΣ 2-4 | | | |
| Ιξώδες και κινηματικό ιξώδες νερού | | |  | Ιξώδες και κινηματικό ιξώδες ατμοσφαιρικού αέρα | | | |  | κινηματικό ιξώδες διαφόρων υγρών | | | |
| θ  °C | η  10-3Pa s | ν  10-6 m2/s |  | | θ  °C | η  10-5Pa s | ν  10-5 m2/s |  | | υγρό | θ  °C | ν  10-6 m2/s |
| 0  10  20  30  40  50  60  70  80  90  100 | 1,79  1,31  1,00  0,80  0,65  0,55  0,47  0,41  0,36  0,32  0,28 | 1,79  1,31  1,01  0,81  0,66  0,56  0,48  0,42  0,37  0,33  0,30 |  | | -20  -10  0  10  20  30  40  60  80  100  200 | 1,62  1,67  1,72  1,77  1,81  1,86  1,91  2,00  2,09  2,18  2,61 | 1,16  1,24  1,33  1,42  1,51  1,60  1,69  1,89  2,09  2,31  3,50 |  | | αιθανόλη  βενζόλιο  γλυκερίνη  λιπαντικό έλαιο | 20  20  20  10  20  50  80  100  120  500 | 1,5  0,74  850  800  380  80  20  10  3  0,5 |

**3.1.2 Η μετάβαση από τη στρωτή στην τυρβώδη ροή. Αριθμός Reynolds**

Όπως γνωρίσαμε, κατά τη ροή μεταξύ των μερών του ρευστού ασκούνται διατμητικές τάσεις, οι οποίες είναι ανάλογες της βαθμίδας ταχύτητας. Όταν η ταχύτητα είναι μικρή, τότε είναι μικρές και οι διατμητικές τάσεις και ασκούνται παράλληλα προς τις ρευματικές γραμμές. Στην περίπτωση αυτή η ταχύτητα κάθε σημείου του ρευστού παραμένει σταθερή, επομένως η ροή είναι μόνιμη και οι ρευματικές γραμμές διατρέχουν το πεδίο ροής ομαλά η μία δίπλα στην άλλη, το δε σχήμα τους παραμένει χρονικά σταθερό (σχήμα 40-1).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
|  |  |  |

Αν αυξηθεί η ταχύτητα ροής, τότε αυξάνουν και οι διατμητικές τάσεις. Όταν υπερβούν μια κρίσιμη τιμή, τότε ένα τμήμα του ρευστού μπορεί να υπερβεί τις ασκούμενες πλευρικές πιέσεις από τα γειτονικά τμήματα και να ‘’ανατραπεί’’. Στην περίπτωση αυτή αποσπάται από το υπόλοιπο ρευστό και εκτελεί πέραν της μεταφορικής κίνησης και περιστροφική, οπότε σχηματίζεται στρόβιλος. Στην περιοχή του στροβίλου η ταχύτητα ροής δεν παραμένει πλέον σταθερή, αλλά μεταβάλλεται χρονικά, οπότε δε χαρακτηρίζεται ως στρωτή, αλλά ως τυρβώδης. Οι ρευματικές γραμμές δε διατρέχουν το πεδίο ροής ομαλά, αλλά περιέχουν και κλειστές γραμμές, των οποίων η μορφή μεταβάλλεται ακανόνιστα (σχήμα 40.2).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
|  |  |  |

Μπορούμε να προσεγγίσουμε τη μετάβαση από τη στρωτή ροή στην τυρβώδη μέσω του εξής μηχανικού προτύπου. Προσομοιάζουμε κάθε στοιχειώδη ποσότητα ρευστού με ένα πλαίσιο με ελαστικές συνδέσεις, που ολισθαίνει σε ένα επίπεδο με τριβές (σχήμα 40-3). Αν η ασκούμενη δύναμη F είναι μικρή, τότε το πλαίσιο παραμορφώνεται ελαφρά και παραμένει στο οριζόντιο επίπεδο κινούμενο ισοταχώς. Όσο αυξάνει η δύναμη F τόσο αυξάνει και η παραμόρφωση του πλαισίου. Όταν η παραμόρφωση γίνει τόση ώστε το κέντρο βάρους του πλαισίου να βρεθεί έξω από την επιφάνεια στήριξης, τότε το πλαίσιο ανατρέπεται (σχήμα 40-4).

Θεωρούμε τώρα ότι έχουμε ένα συρμό τέτοιων πλαισίων. Στην πρώτη περίπτωση ολισθαίνουν κανονικά καθώς το ένα ακολουθεί ανεμπόδιστα το άλλο. Η εικόνα αυτή αντιστοιχεί στη στρωτή ροή. Στη δεύτερη περίπτωση όμως η ανατροπή του πλαισίου μεταβάλλει την κίνηση των επομένων και την καθιστά ακανόνιστη. Η εικόνα αυτή αντιστοιχεί στην τυρβώδη ροή.

Σημειώνουμε ότι:

**Το κριτήριο για το είδος ροής σε έναν αγωγό είναι ο αριθμός Reynolds**

Ο αριθμός Reynolds (Osborn **Reynolds**, 1842-1912 Άγγλος Φυσικός) είναι **αδιάστατος** και ορίζεται από την εξίσωση:

**αριθμός Reynolds**   (41-1)

όπου: ταχύτητα του ρευστού σε 

χαρακτηριστική διάσταση του αγωγού σε m. Στους αγωγούς κυκλικής διατομής π.χ. η χαρακτηριστική διάσταση είναι η διάμετρος

κινηματικό ιξώδες σε .

Αν ο αριθμός Reynolds υπερβαίνει μια κρίσιμη τιμή , η οποία εξαρτάται από το σχήμα της διατομής του αγωγού, τότε η ροή είναι τυρβώδης, αλλιώς είναι στρωτή.

**Η κρίσιμη τιμή του αριθμού Reynolds βρίσκεται από εργαστηριακές μετρήσεις και έχει μεγάλη τεχνολογική σημασία, γιατί μπορούμε να προβλέ-ψουμε για κάθε είδος αγωγού την κρίσιμη ταχύτητα, πέραν της οποίας αλλά-ζει το είδος της ροής.**

Η κρίσιμη ταχύτητα  δίνεται από την εξίσωση 41.1 για , δηλαδή:

 (41.2)

Για έναν ευθύγραμμο σωλήνα κυκλικής διατομής ο κρίσιμος αριθμός Reynolds έχει τιμή 2320. Για έναν ευθύγραμμο σωλήνα τετραγωνικής διατομής, όπου ως χαρακτηριστική διάσταση λαμβάνεται η πλευρά του, ο κρίσιμος αριθμός Reynolds έχει τιμή 2100.

**Παράδειγμα 2-4**

Σωλήνας κυκλικής διατομής έχει (εσωτερική) διάμετρο  και διαρρέεται από νερό θερμοκρασίας  με ταχύτητα . Να εξετάσετε τη ροή ως προς το είδος της.

**Λύση**

Λαμβάνουμε την τιμή του κινηματικού ιξώδους του νερού από τον πίνακα 2.2:



Βρίσκουμε τον αριθμό Reynolds





Επομένως η ροή είναι τυρβώδης.

**Παράδειγμα 2-5**

Αεραγωγός τετραγωνικής διατομής με μήκος πλευράς  παρέχει ατμοσφαιρικό αέρα σε υπόγειο χώρο στάθμευσης. Να υπολογίσετε την κρίσιμη ταχύτητα ροής για θερμοκρασία 

**Λύση**

Λαμβάνουμε την τιμή του κινηματικού ιξώδους για τον ατμοσφαιρικό αέρα από τον πίνακα 2.3



**Παράδειγμα 2-6**

Σωλήνας ορθογώνιας διατομής εμβαδού  με ανισομήκεις πλευρές προορίζεται για τη μεταφορά αμμωνίας. Κατασκευάζουμε ένα ομοίωμα του αγωγού από το ίδιο υλικό, αλλά με αναλογίες 1:10 και διαπιστώνουμε πειραματικά ότι η ροή παραμένει στρωτή για ταχύτητες έως . Ποια είναι η κρίσιμη ταχύτητα  στον πραγματικό αγωγό;

**Λύση:**

Αν  είναι η χαρακτηριστική διάσταση του πειραματικού αγωγού (π.χ. το μήκος της μεγάλης πλευράς της διατομής του) και  το μήκος της αντίστοιχης πλευράς του πραγματικού αγωγού, τότε:





**3.1.3 Το πεδίο ροής γύρω από στερεά σώματα**

Η παρεμβολή ενός στερεού σώματος στη ροή ενός ρευστού παράγει μια τοπική διαταραχή του πεδίου ροής. Θεωρούμε π.χ. ένα ομοιόμορφο πεδίο ροής. Στην περίπτωση αυτή οι ρευματικές γραμμές είναι παράλληλες και ισαπέχουσες. Αν παρεμβάλουμε ένα σώμα, τότε οι ρευματικές γραμμές το παρακάμπτουν, και αν η ροή παραμένει στρωτή, τότε έχουν τη μορφή του σχήματος 43-1, ενώ αν είναι τυρβώ-δης, τότε πίσω από το εμπόδιο σχηματίζονται στρόβιλοι όπως στο σχήμα 43-2.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
|  |  |  |

Στα σημεία Α και Β, όπου η διεύθυνση της ταχύτητας του ρευστού είναι κάθετη στην επιφάνεια του εμποδίου λέγονται **σημεία αποκοπής**. Σημειώνουμε ότι:

**Στα όρια του εμποδίου η ταχύτητα του ρευστού είναι μηδέν**

**3.1.4 Αντιστάσεις στη ροή γύρω από εμπόδια**  Εμπειρικά γνωρίζουμε ότι ένα σώμα, που βρίσκεται μέσα σε ένα πεδίο ροής τείνει να συμπαρασυρθεί από το ρεύμα, π.χ. ένα φύλο χαρτί από το ρεύμα του αέρα, ή μια σανίδα σε ένα ποτάμι. Για να συγκρατήσουμε το σώμα, πρέπει να ασκήσουμε μια δύναμη, η οποία είναι ίση και αντίθετη με εκείνη, που ασκείται από το ρευστό στο σώμα. Η δύναμη αυτή είναι η **αντίσταση στη ροή**. Τα αίτια της αντίστασης στη ροή είναι:

1. Οι εσωτερικές τριβές
2. Η διαφορά πίεσης μεταξύ δύο σημείων του σώματος εξ αιτίας διαφορετικών ταχυτήτων ροής. Η δύναμη που προκύπτει λέγεται **δυναμική αντίσταση.**

Πρέπει να σημειώσουμε ότι τα ίδια φαινόμενα παρατηρούνται και όταν το ρευστό βρίσκεται σε ηρεμία, αλλά κινείται το σώμα μέσα σε αυτό.

**Εσωτερικές τριβές**: Μεταξύ της επιφάνειας του σώματος και των γειτονικών τμημάτων του ρευστού ασκούνται δυνάμεις τριβής. Η συνισταμένη αντίσταση είναι κάθετη στη μετωπική επιφάνεια του σώματος, το δε μέτρο της εξαρτάται από το σχήμα του σώματος και είναι ανάλογο της ταχύτητας ροής. Για μια σφαίρα π.χ. η αντίσταση έχει μέτρο:

 (44-1)

όπου: ιξώδες του ρευστού

 ακτίνα της σφαίρας

ταχύτητα της σφαίρας

**Δυναμική αντίσταση**: Στο σχήμα 43-2 εικονίζονται οι ρευματικές γραμμές γύρω από ένα σώμα. Στην περιοχή του σημείου Β, όπου η ροή είναι τυρβώδης και σχηματίζονται στρόβιλοι, η ταχύτητα ροής  είναι μεγαλύτερη της ταχύτητας  στην περιοχή του σημείου Α. Επειδή η υψομετρική πίεση στο σημείο Α είναι πρακτικά ίση με την υψομετρική πίεση στο σημείο Β, ο νόμος του Bernoulli γράφεται:

 (44-2)

Μεταξύ των σημείων Α και Β υπάρχει επομένως **διαφορά στατικής πίεσης**:

Η δύναμη, που προκύπτει, είναι αντίθετη στην κίνηση του σώματος μέσα στο ρευστό, ή αντίστοιχα του ρευστού γύρω από το σώμα, και ονομάζεται **δυναμική αντίσταση**. Το μέτρο της δυναμικής αντίστασης εξαρτάται από την ταχύτητα και το σχήμα του σώματος και δίνεται από τον τύπο:

 σε Ν (45.1)

όπου:  αδιάστατος **συντελεστής δυναμικής αντίστασης**

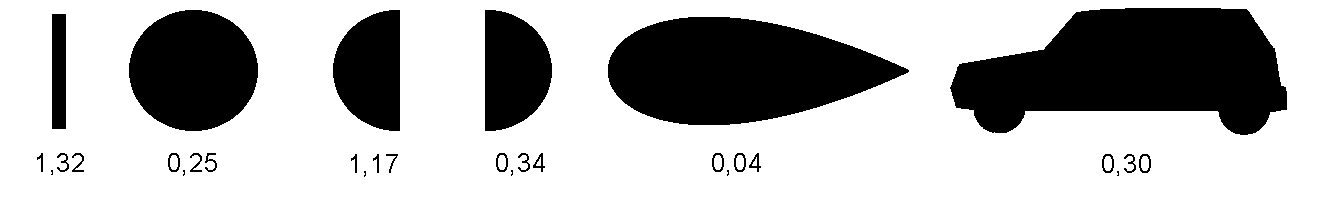
 μετωπική επιφάνεια του σώματος σε 

 πυκνότητα του ρευστού σε 

 σχετική ταχύτητα του σώματος ως προς το ρευστό σε 

Ο συντελεστής δυναμικής αντίστασης  βρίσκεται πειραματικά και εξαρτάται σημαντικά από το οπίσθιο σχήμα του σώματος. Στον πίνακα 2.5 περιέχονται οι τυπικές τιμές του συντελεστή  μερικών σχημάτων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.5



Το πέμπτο κατά σειρά σχήμα παρουσιάζει τον ελάχιστο συντελεστή δυναμικής αντίστασης κυρίως εξ αιτίας του δεξιού στην εικόνα μέρους του, το οποίο δεν ευνοεί το σχηματισμό στροβίλων. Για το λόγο αυτό ονομάζεται **αεροδυναμικό**.

**3.1.5 Δυναμική άνωση**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
|  |  |  |

Στο σχήμα 45-1 εικονίζεται σε τομή το πτερύγιο ενός αεροπλάνου. Η συνισταμένη δυναμική αντίσταση F αναλύεται τότε σε δύο συνιστώσες: την FΔ, που είναι οριζόντια και εκφράζει την αντίσταση στην κίνηση και την FA, που είναι κατακόρυφη και ωθεί το αεροπλάνο προς τα επάνω. Η δύναμη αυτή ονομάζεται **δυναμική άνωση**.

Το σχήμα 45-2 εικονίζει το πεδίο ροής του ανέμου υπεράνω μιας στέγης. Επειδή εκεί οι ρευματικές γραμμές πυκνώνουν, δηλαδή έχουμε μεγάλη ταχύτητα ροής, η στατική πίεση υπεράνω της στέγης είναι μικρότερη της στατικής πίεσης στο εσωτερικό του κτηρίου (νόμος Bernoulli). Αν η ταχύτητα του ανέμου γίνει πολύ μεγάλη, τότε η διαφορά μεταξύ των δύο πιέσεων μπορεί να προκαλέσει την αποκόλληση και αρπαγή της στέγης.

**3.1.6 Επαλληλία των κινήσεων στο πεδίο ροής**

Γνωρίζουμε εμπειρικά από ορισμένες αθλοπαιδιές (ποδόσφαιρο, τένις), ότι η τροχιά μιας περιστρεφόμενης μπάλας δεν είναι ευθύγραμμη, αλλά καμπύλη. Για να εξηγήσουμε το φαινόμενο θα εξετάσουμε την κίνηση της μπάλας σύμφωνα με την ανεξαρτησία των κινήσεων.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

Θεωρούμε ότι η μπάλα κινείται χωρίς να περιστρέφεται. Το πεδίο ροής έχει τότε τη μορφή του σχήματος 46-1 και είναι- όπως παρατηρούμε- συμμετρικό, επομένως η ασκούμενη αντίσταση έχει διεύθυνση αντίθετη στην κίνηση. Στην περίπτωση αυτή η μπάλα κινείται ευθύγραμμα. Αν η μπάλα εκτελεί μόνο περιστροφική κίνηση, τότε θέτει λόγω τριβών το ρευστό σε περιστροφική κίνηση, οπότε το πεδίο ροής έχει τη μορφή του σχήματος 46-2.

Για να βρούμε το πεδίο ροής, όταν γίνονται και οι δύο κινήσεις ταυτόχρονα, πρέπει να συνθέσουμε τις ταχύτητες των πεδίων ροής , που αντιστοιχούν στις δύο ανεξάρτητες κινήσεις σύμφωνα με την αρχή της επαλληλίας. Το αποτέλεσμα αυτής της σύνθεσης εικονίζεται στο σχήμα 46-3. Παρατηρούμε ότι στην περιοχή του σημείου Β η ταχύτητα είναι μεγαλύτερη εκείνης στην περιοχή του σημείου Α, οπότε μεταξύ των δύο σημείων υπάρχει διαφορά στατικής πίεσης, η οποία παράγει τη δυναμική άνωση FA με φορά από το σημείο Α προς το σημείο Β. Η συνισταμένη δύναμη δεν έχει επομένως διεύθυνση παράλληλη προς την κίνηση με αποτέλεσμα την καμπύλωση της τροχιάς της μπάλας. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως **φαινόμενο Magnus**.

2-10 Κυλινδρικός σωλήνας διαμέτρου  μεταφέρει νερό θερμοκρασίας . Η ταχύτητα του νερού είναι . Να εξετάσετε το είδος της ροής.

2-11 Σωλήνας ποτίσματος διαμέτρου  δίνει παροχή . Να εξετάσετε το είδος της ροής για θερμοκρασία .

2-12 Αεραγωγός διαμέτρου  εξαερίζει χώρο με παροχή . Να εξετάσετε το είδος της ροής.

2-13 Να βρεθεί η μέγιστη παροχή για το σωλήνα της άσκησης 2.11 ώστε να παραμένει η ροή στρωτή.

2-14 Το εργαστηριακό ομοίωμα ενός αεραγωγού υπό κλίμακα 1:100 έχει κρίσιμη ταχύτητα . Ποια είναι η κρίσιμη ταχύτητα στον πραγματικό αεραγωγό;

2-15 Η παροχή νερού θερμοκρασίας  μέσα από αγωγό κυκλικής διατομής είναι . Να υπολογίσετε τη μέγιστη διάμετρο του αγωγού, ώστε να παραμένει η ροή στρωτή.

2-16 Τα σώματα τείνουν να κινούνται με τις ελάχιστες αντιστάσεις. Με βάση αυτή την αρχή, ποιο είναι το αναμενόμενο σχήμα των σταγόνων της βροχής;

2-17 Ο συντελεστής δυναμικής αντίστασης ενός αυτοκινήτου είναι . Και η μετωπική επιφάνειά του . Να υπολογίσετε την ισχύ, που δαπανάται λόγω της δυναμικής αντίστασης για να κινείται το αυτοκίνητο με σταθερή ταχύτητα  (

|  |
| --- |
| **Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα**  **Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Αθήνας** |
| **Τέλος Ενότητας** |
| **Χρηματοδότηση**   * Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα. * Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο ΤΕΙ Αθήνας**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού. * Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους. |

**Σημειώματα**

**Σημείωμα Αναφοράς**

Copyright ΤΕΙ Αθήνας, Κωνσταντίνος Κουρκουτάς, 2015. Κωνσταντίνος Κουρκουτάς. «Φυσική. Ενότητα 3: Η ροή στα πραγματικά ρευστά». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: [ocp.teiath.gr](https://ocp.teiath.gr/).

**Σημείωμα Αδειοδότησης**

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό. Οι όροι χρήσης των έργων τρίτων επεξηγούνται στη διαφάνεια «Επεξήγηση όρων χρήσης έργων τρίτων».

Τα έργα για τα οποία έχει ζητηθεί άδεια αναφέρονται στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».

[](file:///C:\Users\pantelis\Downloads\%5b1%5d%20http:\creativecommons.org\licenses\by-nc-sa\4.0\)

[1] http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

* που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
* που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
* που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

**Επεξήγηση όρων χρήσης έργων τρίτων**

|  |  |
| --- | --- |
| © | Δεν επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου, παρά μόνο εάν ζητηθεί εκ νέου άδεια από το δημιουργό. |
| διαθέσιμο με άδεια CC-BY | Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου και η δημιουργία παραγώγων αυτού με απλή αναφορά του δημιουργού. |
| διαθέσιμο με άδεια CC-BY-SA | Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου με αναφορά του δημιουργού, και διάθεση του έργου ή του παράγωγου αυτού με την ίδια άδεια. |
| διαθέσιμο με άδεια CC-BY-ND | Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου με αναφορά του δημιουργού. Δεν επιτρέπεται η δημιουργία παραγώγων του έργου. |
| διαθέσιμο με άδεια CC-BY-NC | Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου με αναφορά του δημιουργού. Δεν επιτρέπεται η εμπορική χρήση του έργου. |
| διαθέσιμο με άδεια CC-BY-NC-SA | Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου με αναφορά του δημιουργού και διάθεση του έργου ή του παράγωγου αυτού με την ίδια άδεια. Δεν επιτρέπεται η εμπορική χρήση του έργου. |
| διαθέσιμο με άδεια CC-BY-NC-ND | Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου με αναφορά του δημιουργού. Δεν επιτρέπεται η εμπορική χρήση του έργου και η δημιουργία παραγώγων του. |
| διαθέσιμο με άδεια CC0 Public Domain | Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου, η δημιουργία παραγώγων αυτού και η εμπορική του χρήση, χωρίς αναφορά του δημιουργού. |
| διαθέσιμο ως κοινό κτήμα | Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου, η δημιουργία παραγώγων αυτού και η εμπορική του χρήση, χωρίς αναφορά του δημιουργού. |
| χωρίς σήμανση | Συνήθως δεν επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου. |

**Διατήρηση Σημειωμάτων**

* Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:
* Το Σημείωμα Αναφοράς
* Το Σημείωμα Αδειοδότησης
* Τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
* Το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει) μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.