

ΒΙΝΤΕΟ ΓΙΑ ΤΙΣ ΔΙΦΟΡΕΣ ΑΝΑΜΕΣΑ ΣΤΗΝ ΣΤΡΩΤΗ ΚΑΙ ΤΗ ΤΥΡΒΩΔΗ ΡΟΗ ΟΠΙΩΣ ΕΠΙΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΤΥΡΒΩΔΟΥΣ ΡΟΗΣ

Ονομασία: Fluid Mechanics: Topic 8.1 - General Characteristics of laminar and turbulent flows in pipes

<https://www.youtube.com/watch?v=rIcfE09HaEI>

0:46 Ο αριθμός Reynolds (Re) περιγράφει σε ικανοποιητικό βαθμό τις συνθήκες ροής όσο αφορά αν αυτή είναι στρωτή ή τυρβώδης

0:56 Στρωτή ροή: το ρευστό κυλάει σε παράλληλες στρώσεις

1:03 Μεταβατική ροή: Εμφανίζονται ταλαντώσεις στην ροή

1:07 Τυρβώδης ροή. Λαμβάνει χώρα έντονη ανάμιξη

1:19 Για μικρές τιμές του αριθμού Reynolds, **$Re < 2300$** , έχουμε στρωτή ροή (laminar flow) (περίπτωση ροής στο εσωτερικό ενός σωλήνα). Η συμπεριφορά της ροής είναι προβλέψιμη, η διαδικασία ανάμιξη (η οποία θα ελάμβανε χώρα αν είχαμε εισαγωγή χρώματος) είναι (ή θα ήταν) αργή

1:27 Για μεγάλες τιμές του αριθμού Reynolds, **$Re > 4000$** , έχουμε τυρβώδη ροή (turbulent flow) (περίπτωση ροής στο εσωτερικό ενός σωλήνα). Η συμπεριφορά της ροής είναι απρόβλεπτη και οι διεργασίες ανάμιξης είναι γρήγορες και έντονες.

1:44 Για το φάσμα **$2300 < Re < 4000$** Έχουμε μεταβατική συμπεριφορά της ροής (η οποία έχει ενδιάμεσα χαρακτηριστικά ανάμεσα σε στρωτή και τυρβώδη ροή)

2:49 Για την περίπτωση στρωτής ροής, η τιμή της συνιστώσας της ταχύτητας κατά την x ή V_x (η οποία είναι και η διεύθυνση της ροής για ροή στο εσωτερικό ενός σωλήνα) μένει σταθερή στον χρόνο

2:49 Για την περίπτωση στρωτής ροής, η τιμή της συνιστώσας της ταχύτητας κατά την x ή V_x (η οποία είναι και η διεύθυνση της ροής για ροή στο εσωτερικό ενός σωλήνα) μένει σταθερή στον χρόνο

2:55 Για την περίπτωση στρωτής ροής, η τιμή της συνιστώσας της ταχύτητας κατά την x ή V_x μεταβάλλεται έντονα στον χρόνο

3:17 Για την περίπτωση μεταβατικής ροής ϵ η τιμή της συνιστώσας της ταχύτητας κατά την x V_x είναι συνήθως σταθερή στον χρόνο, αν και εμφανίζονται ορισμένες διαταραχές

Ονομασία: *Understanding Laminar and Turbulent Flow*

<https://www.youtube.com/watch?v=9A-uUG0WR0w>

0:32 Η στρωτή ροή (laminar flow) λαμβάνει χώρα σε στρώσεις είναι ήρεμη και παρουσιάζεται περιορισμένη ανάμιξη

0:58 Η τυρβώδης ροή χαρακτηρίζεται από απρόβλεπτη χαοτική συμπεριφορά, έντονη ανάμιξη και την παρουσία στροβίλων (στρόβιλος=*eddy*, βλ 0:58)

1:18 Η ταχύτητα για την περίπτωση στρωτής ροής παρουσιάζει μικρές ή καθόλου μεταβολές του πεδίου ταχυτήτων, για την περίπτωση για την οποία είναι σταθερές οι οριακές συνθήκες

1:34 Αντίθετα με την περίπτωση της στρωτής ροής, τα χαρακτηριστικά της τυρβώδους ροής (turbulent flow) μεταβάλλονται για όλες τις περιπτώσεις με τον χρόνο. Η τυρβώδης ροή είναι πολύ πιο πολύπλοκη από την στρωτή ροή. Μπορούμε να παρουσιάσουμε την ταχύτητα σαν το άθροισμα μίας μέσης τιμής \bar{u} ή u_{avg} και την διαταραχή ή απόκλιση της ταχύτητας u'

2:11 Ο *Osbourn Reynolds* προς τιμή του οποίου έχει ονομαστεί ο αριθμός Reynolds

2:31 Ο ορισμός του αριθμού Reynolds

2:43 Και μία διαφορετική μορφή του ορισμού του αριθμού Reynolds

2:50 Για την ροή γύρω από έναν κύλινδρο χρησιμοποιούμε σαν χαρακτηριστικό μήκος της διάμετρο του κυλίνδρου

2:58 Για ροή γύρω από πτέρυγα (φτερό) αεροσκάφους χρησιμοποιούμε σαν χαρακτηριστικό μήκος το μήκος της πτέρυγας (φτερού)

3:24 Ο αριθμός Reynolds μπορεί να οριστεί σαν ο λόγος των δυνάμεων αδράνειας (*inertial forces*) προς τις δυνάμεις ιξώδους (*viscous forces*)

3:29 Για την περίπτωση της στρωτής ροής επικρατούν οι δυνάμεις ιξώδους

3:55 Για την περίπτωση της τυρβώδους ροής επικρατούν οι τυρβώδεις δυνάμεις

4:10 Η αντιστοχία ανάμεσα στις τιμές του αριθμού Reynolds και τις συνθήκες ροής για ροή μέσα σε σωλήνα κυλινδρικής μορφής

4:27 η ροή ρευστού το οποίο βγαίνει από μία καμμάδα εργοστασίου είναι συνήθως τυρβώδης

4:39 Επίσης η ροή πίσω από ένα αυτοκίνητο είναι συνήθως τυρβώδης

5:10 Αντίθετα η ροή αίματος μέσα στο ανθρώπινο σώμα είναι συνήθως στρωτή (έτσι δεν απαιτούνται μεγάλες διαφορές πίεσης για την κυκλοφορία του αίματος)

6:01 Το προφίλ με τις μέσες ταχύτητες (ως προς τον χρόνο) είναι πιο ομοιογενές από το αντίστοιχο για στρωτή ροή επειδή στην τυρβώδη ροή υπάρχει πιο έντονη μεταφορά των μεγεθών τα οποία σχετίζονται με την ταχύτητα (π.χ. της ορμής)

6:18 Οι απώλειες της πίεσης (δηλ. η πτώση της πίεσης) είναι μεγαλύτερη για τυρβώδη ροή (*turbulent flow*) παρά για στρωτή ροή (*laminar flow*). Για αυτό όπως αναφέρθηκε στο 5:10 η ροή στις αρτηρίες μας είναι στρωτή, για την ακρίβεια ο λόγος είναι για να μην δουλεύει έντονα και να μην καταπονηθεί η καρδιά

6:31 Για την ροή μέσα σε αγωγούς (σωλήνες) (στην πράξη του Μηχανικού Περιβάλλοντος αυτή η περίπτωση πρέπει να μελετηθεί για την μεταφορά νερού ή λυμάτων με βαρύτητα ή με άντληση, για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας κλπ) η πτώση πίεσης μπορεί να υπολογιστεί με την χρήση της εξίσωσης *Darcy-Weisbach* (Αυτή η εξίσωση είχε αποδειχτεί σε αυτήν την παράδοση στο κεφάλαιο διαστασιολόγησης. Στην πράξη των μηχανικών χρησιμοποιείται σε μία ελαφρά τροποποιημένη μορφή όπως θα παρουσιάσουμε σύντομα στην παράδοση της Ρευστομηχανικής. Όπως θα παρουσιάσουμε επίσης σύντομα, συχνή ο υπολογισμός της πτώσης χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με την εξίσωση *Bernoulli*)

6:46 Για την περίπτωση της στρωτής ροής υπάρχει μία απλή εξίσωση για τον υπολογισμό του συντελεστή f ο οποίος εμφανίζεται στην εξίσωση *Darcy-Weisbach* η οποία είναι η:
 $f=64/Re$

7:05 Αντίθετα για την περίπτωση της τυρβώδους ροής για να προσδιορίσουμε τον προαναφερθέντα συντελεστή f χρησιμοποιούμε την εξίσωση *Colebrook* η οποία ονομάζεται και εξίσωση *Colebrook-White* (παρουσιάζεται απάνω αριστερά στην οθόνη του βίντεο. Η εξίσωση αυτή είναι δύσκολη, επειδή δεν είναι δυνατόν να υπολογιστεί άμεσα ο άγνωστος, δηλαδή ο συντελεστή f (Αυτός εμφανίζεται και στην δεξιά και στην αριστερή μεριά της εξίσωσης). Μία μέθοδος υπολογισμού του παραπάνω συντελεστή f θα παρουσιαστεί σύντομα στην παράδοση αυτή

7:27 Στο βίντεο, η τραχύτητα των αγωγών συμβολίζεται με το σύμβολο ϵ , ενώ σε πολλές άλλες περιπτώσεις το ίδιο μέγεθος συμβολίζεται με το γράμμα k .

7:39-8:06 Επειδή η εξίσωση *Colebrook-White* είναι δύσκολο να επιλυθεί στα παλιότερα χρόνια κυρίως, χρησιμοποιούσαν για τον προσδιορισμό του συντελεστή f το διάγραμμα *Moody* (Στο Τμήμα μας το διάγραμμα *Moody* και μία σε βάθος ανάλυση της υδραυλικής σε αγωγούς θα παρουσιαστούν στην παράδοση του 7^{ου} εξαμήνου της κατεύθυνσης II *Εφαρμοσμένη και Υπόγεια Υδραυλική*)

8:17 Ακόμα και για πλήρως τυρβώδη ροή στο εσωτερικό σωλήνων σε μία περιοχή κοντά στα τοιχώματα του αγωγού (η οποία όπως αναφέραμε ήδη ονομάζεται οριακή στιβάδα - *boundary layer*) οι δυνάμεις του ιξώδους δεν είναι αμελητέες

10:09 Οι μεγάλοι στρόβιλοι / μεγάλες δίνες (*large eddies*) περιέχουν σημαντική ποσότητα κινητικής ενέργειας

10:13-11:03 Οι προαναφερθέντες μεγάλοι στροβίλοι διασπώνται σε μικρότερους στροβίλους και αυτοί σε ακόμα μικρότερους οι οποίοι διασπώνται σε ακόμα μικρότερους κλπ. ώσπου να φτάσουν σε ένα οριακό, πολύ μικρό, μέγεθος μετά από το οποίο δεν συνεχίζεται αυτή η διάσπαση, αλλά η κινητική ενέργεια εκφυλίζεται σε θερμότητα (λόγω των δυνάμεων ιξώδους). Η κατανόηση και ιδίως η μοντελοποίηση των παραπάνω φαινομένων αποτελεί ένα από τα βασικά προβλήματα της Ρευστομηχανικής

13:03 Ενώ για την περίπτωση ροών σε αγωγούς είναι αρκετό κατά κανόνα για τους μηχανικούς να παίρνουν υπόψη τους τις σχετικά απλές εξισώσεις που προαναφέραμε (εξίσωση *Darcy-Weisbach* κλπ). Για πολλά άλλα προβλήματα όμως είναι αναγκαία η επίλυση πιο σύνθετων εξισώσεων οι οποίες αντιστοιχούν στις ίδιες τις εξισώσεις *Navier-Stokes* ή σε εξισώσεις οι οποίες έχουν προκύψει από τις παραπάνω. Για την περίπτωση της τυρβώδους ροής η επίλυση αυτή γίνεται κατά κανόνα με την χρήση υπολογιστή. Η πιο ακριβής προσέγγιση συνίσταται στην απευθείας επίλυση των εξισώσεων *Navier-Stokes*, είναι όμως και η πιο χρονοβόρα υπολογιστικά και απαιτεί μεγάλη μνήμη RAM. Πιο εύχρηστες είναι μέθοδοι οι οποίες στηρίζονται σε μοντελοποίηση των στροβίλων ή στην λήψη μέσων όρων ως προς τον χρόνο και μοντελοποίηση ορισμένων μέσων μεγεθών τα οποία προκύπτουν από την παραπάνω διαδικασία.

Ονομασία: *Introduction to Turbulence & Turbulence Modeling*

<https://www.youtube.com/watch?v=G32LXcX7H0>

4:41 Στην ουσία η τυρβώδης ροή δεν είναι ποτέ μόνιμη

Μπορεί να θεωρηθεί μόνιμη μόνο αν θεωρήσουμε μέσους όρους ως προς τον χρόνο

5:17 Παρουσιάζεται το ακριβές (ή στιγμιαίο) πεδίο ταχυτήτων (μπλε γραμμή) και αυτό το οποίο προκύπτει από μία διαδικασία λήψης μέσων όρων (κόκκινη γραμμή). Το να πάρουμε υπόψη τους μέσους όρους (κόκκινη γραμμή) είναι αρκετό για τις εφαρμογές μηχανικών, ενώ απαιτεί μία πιο απλή προσέγγιση ενώ ο υπολογισμός του στιγμιαίου πεδίου ταχυτήτων συνεπάγεται πολλές δυσκολίες

5:36 Όπως αναφέρθηκε ήδη σε αυτές τις σημειώσεις μπορούμε να παρουσιάσουμε την στιγμιαία ταχύτητα u σαν το άθροισμα μίας μέσης τιμής \bar{u} και την διαταραχή ή απόκλιση της ταχύτητας u' από τον παραπάνω μέσο όρο: $u = \bar{u} + u'$.

Η μέση τιμή του πεδίου ταχυτήτων μπορεί να οριστεί σαν $\bar{u} = \frac{1}{\Delta t} \int_t^{t+\Delta t} u dt$, ή $\bar{u} = \frac{1}{T} \int_0^T u dt$

Ονομασία: *5.3 Laminar flow, turbulent flow, and mixing*

<https://www.youtube.com/watch?v=DSYE9jqQScM>

Παρουσιάζονται οι διεργασίες κατά την ανάμιξη δύο ρευστών (π.χ. παρουσιάζεται τι γίνεται όταν θέλουμε να αναμίξουμε δύο διαφορετικές μπουγιές)

2:06 Στην περίπτωση της στρωτής ροής η μοριακή διάχυση είναι ο μοναδικός τρόπος ανάμιξης (κατά συνέπεια η διεργασία είναι αργή)

2:23 Αντίθετα στην τυρβώδη ροή η ανάμιξη λαμβάνει χώρα γρήγορα λόγω της παρουσίας δινών (στροβίλων)

Ονομασία: 5.4 *Mixing, momentum transport, and eddy viscosity*

<https://www.youtube.com/watch?v=SAcVQwbWaQg>

0:22 Όπως αναφέρθηκε ήδη στο κεφάλαιο «εισαγωγή» οι διατμητικές τάσεις σε ένα νευτώνειο ρευστό μπορούν να υπολογιστούν από την παρακάτω σχέση:

$$\tau = \mu \frac{\partial v_x}{\partial y}$$

0:44 Στην τυρβώδη ροή, σε πολλές προσεγγίσεις μοντελοποίησης, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για την τυρβώδη διατμητική τάση την παρακάτω σχέση

$$\tau_T = \mu_T \frac{\partial \bar{v}_x}{\partial y}$$

Όπου μ_T είναι το «τυρβώδες ιξώδες» (eddy viscosity). Η τιμή του τυρβώδους ιξώδους είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή του «κανονικού» ιξώδους έτσι ώστε $\mu_T \gg \mu$. Αυτό οφείλεται στο ότι η διεργασία της ανάμιξης είναι πολύ πιο έντονη για την περίπτωση της τυρβώδους ροής, επειδή δεν συνεισφέρει σε αυτήν μόνο ο μηχανισμός μοριακής διάχυσης, αλλά και η κινητική ενέργεια της τυρβώδους ροής η οποία είναι πολύ πιο αποτελεσματική στην ανάμιξη από την μοριακή διάχυση. Το τυρβώδες ιξώδες σε αντίθεση με το συμβατικό ιξώδες εξαρτάται από τις τοπικές τιμές του πεδίου ταχυτήτων. Εξαρτάται επίσης από το μέγεθος των στροβίλων.