



ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΡΑΚΗΣ

DEMOCRITUS
UNIVERSITY
OF THRACE

ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ



ΡΕΥΣΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗ

Θεωρία και Εφαρμογές για Πολιτικούς Μηχανικούς

Εξάμηνο: **4^ο**

Κωδικός: **TMB111**

Μάθημα: **Κορμού**

Διάλεξη **Δ.1. Εισαγωγή στο μάθημα Ρευστομηχανική - 4ο Εξάμηνο**

Διδάσκων υπεύθυνος μαθήματος:

Χρήστος Β. Μακρής

Επίκουρος Καθηγητής (επί θητεία)

ΔΠΘ

Διπλ. Πολιτικός Μηχανικός ΑΠΘ

ΜΔΕ Τεχνολογία Υδατικών Πόρων ΕΜΠ

Δρ. Πολιτικός Μηχανικός ΑΠΘ

Ειδίκευση: Υδραυλική & Περιβαλλοντική Τεχνική

Ειδίκευση: Διαχείριση Παράκτιας Ζώνης

Ειδίκευση: Υπολογιστική Ρευστοδυναμική - Κυματομηχανική

Αίθουσα ΑΜΘ 3B - Ισόγειο Κτιρίου Α' Πολ. Μηχ. ΔΠΘ - Ξάνθη, Φεβρουάριος 2025

Δ.1. Διάρθρωση Παρουσίασης

1. Γνωριμία με φοιτητές

- Πλατφόρμα επικοινωνίας (e-Class)
- Στοιχεία και τρόποι επικοινωνίας για επίλυση αποριών
- Στόχευση μαθήματος

2. Οργάνωση και στόχοι μαθήματος

- Θεωρία + Υλικό μαθήματος (format και repositories)
- Προαπαιτούμενη γνώση
- Μαθησιακοί στόχοι + Γενικές αποκτηθείσες ικανότητες
- Ασκήσεις

3. Περιγραφή διδακτέας ύλης

- Ανάλυση διδακτέας ύλης σε τίτλους ανά ενότητα

4. Μέθοδος εξέτασης/αξιολόγησης

- Βαθμολόγηση μαθήματος

5. Χρονικός προγραμματισμός

- Συμπληρωματικές παραδόσεις έναντι απωλειών διδακτικών ωρών

6. Βιβλιογραφία + Σημειώσεις

- Ελληνική (και συμπληρωματική Ξενόγλωσση)

Δ.1.1. Γνωριμία με φοιτητές

Κατάλογος συμμετεχόντων φοιτητών

Εγγραφή στο e-Class – δήλωση μαθήματος

Στοιχεία παραδόσεων και τρόποι επικοινωνίας για επίλυση αποριών

Παραδόσεις μαθήματος: **Τετάρτη** **09:00 – 13:00**

Αίθουσα παραδόσεων: **Κτίριο Α'** **Ισόγειο** **Αίθουσα ΑΜΘ 3Β**

Επίλυση αποριών: **Πέμπτη** **10:00 – 13:00**

Αίθουσα αποριών: **Κτίριο Β'** **Ισόγειο** **Αίθουσα Γ-Α.6.1**

Επικοινωνία: cmakris@civil.duth.gr ή chrismakris@gmail.com

Τηλέφωνο: **25410 79882**

Ιστοσελίδα Μαθήματος: <https://eclass.duth.gr/courses/TMB111/>

Στόχευση μαθήματος

Πολιτικοί Μηχανικοί (+ Επιστήμονες) με απώτερο στόχο την υποστήριξη παρακολούθησης μαθημάτων ειδίκευσης στον Τομέα Υδραυλικών Έργων, με έμφαση σε θέματα θεωρητικής και εφαρμοσμένης μηχανικής των ρευστών

Δ.1.2. Οργάνωση και στόχοι μαθήματος (α)

Οργάνωση θεωρίας και ύλης μαθήματος

Θα γίνει εκτενής διδασκαλία θεωρίας με αναφορά σε πρακτικές εφαρμογές και ασκήσεις σε εκείνα τα κεφάλαια που επιβάλλεται. Οι διαλέξεις θα γίνουν με τη χρήση λογισμικού προβολής διαφανειών σε Η/Υ και projector. Θα γίνεται χρήση αρχείων πολυμέσων, εικόνων, και βίντεο, με ταυτόχρονη αναζήτηση πληροφοριών στο διαδίκτυο.

Δυνητικά θα προσκαλεστούν ως επισκέπτες ομιλητές, ειδικοί διδάκτορες και έμπειροι τεχνικοί σε θέματα μηχανικής των ρευστών, υδραυλικής, και ρευστοδυναμικής.

Θα διεξάγεται επίσης επίλυση αποριών των φοιτητών κάθε εβδομάδα σε ορισμένο χρόνο στο γραφείο του Διδάσκοντα (Γραφείο Γ-Α.6.1, Ισόγειο ΤΥΕ – Κτίριο Β', ΤΠΜ ΔΠΘ).

Ο κύριος τρόπος εξέτασης και βαθμολόγησης θα είναι η τελική **γραπτή εξέταση**. Η βαθμολογία θα είναι με άριστα το 10, ενώ θα λαμβάνεται μερικώς υπόψη και η συμμετοχή στο μάθημα και η συνολική απόδοση των φοιτητών/ριών στις διαλέξεις και την επίλυση αποριών.

Δ.1.2. Οργάνωση και στόχοι μαθήματος (β)

Χρήση σύγχρονων τεχνικών διδασκαλίας

Θα γίνει χρήση διαφανειών PowerPoint με οπτικό υλικό (εικόνες και βίντεο) για την παρουσίαση της θεωρίας, των πρακτικών εφαρμογών και των ασκήσεων.

Θα γίνει και χρήση «ελεύθερα» διατιθέμενων Ηλεκτρονικών Ακαδημαϊκών Συγγραμμάτων

- Φλυτζάνης, Ν. (2015).

Εισαγωγή στη μηχανική των ρευστών

[Προπτυχιακό εγχειρίδιο]. Κάλλιπος,

Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις

<https://dx.doi.org/10.57713/kallipos-503>

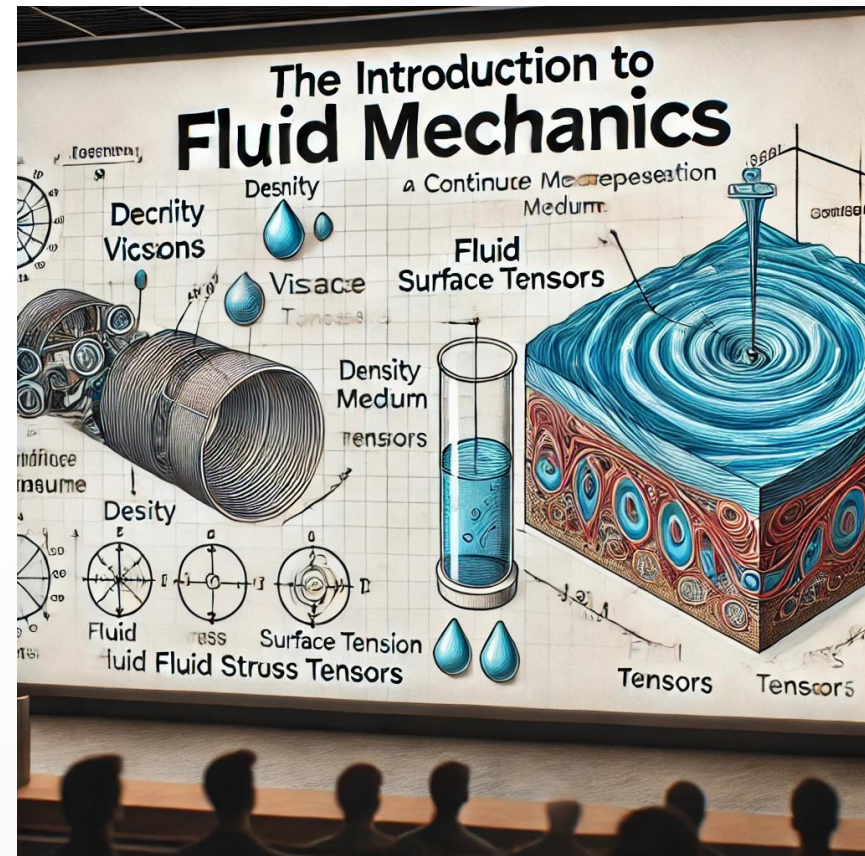
- Σιδερίδης, Γ. (2015).

Εργαστηριακές Ασκήσεις Ρευστομηχανικής

[Εργαστηριακός Οδηγός].

Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις

<https://dx.doi.org/10.57713/kallipos-602>



Δ.1.2. Οργάνωση και στόχοι μαθήματος (Υ)

Χρήση σύγχρονων τεχνικών διδασκαλίας

Θα μοιραστεί στους φοιτητές ελληνική και ξενόγλωσση Βιβλιογραφία του μαθήματος σε μορφή pdf για τη διευκόλυνση της μελέτης (αν είναι ανοιχτά διαθέσιμη στο κοινό).

Θα γίνει χρήση της πλατφόρμας [e-class](#) του ΔΠΘ για την ελεύθερη διακίνηση πληροφοριών, ανακοινώσεων σχετικά με το μάθημα και την ανάρτηση αποριών από τους φοιτητές και σχετικών απαντήσεων από τον διδάσκοντα.

Τα ηλεκτρονικά βοηθητικά αρχεία θα διατίθενται μέσω το διαδικτυακών εφαρμογών τεχνολογιών νέφους (cloud): Dropbox, [GoogleDrive](#), κ.λπ.

Δ.1.2. Οργάνωση και στόχοι μαθήματος (δ)

Προαπαιτούμενη γνώση και ύλη για επανάληψη

Οι φοιτητές που θα παρακολουθήσουν το μάθημα θα πρέπει να κατέχουν βασικές γνώσεις:

Μαθηματική Ανάλυση

Γραμμική Άλγεβρα - Αναλυτική Γεωμετρία

Λογισμός Πολλών Μεταβλητών

Διαφορικές Εξισώσεις

Οι φοιτητές που παρακολουθούν το μάθημα έχουν ήδη διδαχθεί τα ανάλογα υποχρεωτικά μαθήματα του Τμ. Πολιτικών Μηχανικών ΔΠΘ

Δ.1.2. Οργάνωση και στόχοι μαθήματος (ε)

Περιεχόμενο μαθήματος

1. Εισαγωγή στα ρευστά (συνεχές μέσο, ιδιότητες ρευστών, διαστάσεις και μονάδες, μάζα, βάρος, πυκνότητα, ειδικό βάρος, ιξώδες, συμπιεστότητα, τανυστής τάσεων, πίεση, ατμού, υγρά/αέρια φάση, θερμικές ιδιότητες νερού, επιφανειακή τάση)
2. Διαστατική ομοιογένεια, διαστατική ανάλυση και μοντελοποίηση (διαστάσεις, θεώρημα Π Buckingham, Αδιάστατοι αριθμοί, συσχέτιση πειραματικών δεδομένων, εφαρμογές διαστατικής ανάλυσης, ομοιότητα και μοντέλα)
3. Υδροστατική (πίεση σε σημείο, βασικοί νόμοι, μεταβολή πίεσης, μέτρηση πίεσης, μανόμετρα, υδροστατική δύναμη, πρίσμα πίεσης, άνωση, επίπλευση, ευστάθεια, αρχή του Αρχιμήδη, μεταβολή πίεσης, ρευστό με κίνηση στερεού σώματος)

Δ.1.2. Οργάνωση και στόχοι μαθήματος (ζ)

Περιεχόμενο μαθήματος

4. Στοιχειώδης δυναμική ρευστών - Εξίσωση Bernoulli (2ος νόμος Νεύτωνα, ροϊκή γραμμή, πίεση, εφαρμογές Bernoulli, γραμμή ενέργειας, πιεζομετρική γραμμή, περιορισμοί)
5. Κινηματική της ροής (περιγραφή κίνησης κατά Euler και Lagrange, πεδίο ταχυτήτων, 1D-2D-3D ροές, πεδίο επιτάχυνσης, υλική παράγωγος, κινηματική στοιχειώδους σωματιδίου, όγκος ελέγχου, θεώρημα μεταφοράς Reynolds)
6. Ροή σε όγκο ελέγχου (διατήρηση μάζας - εξίσωση συνέχειας, 2ος νόμος Νεύτωνα, ορμή και στροφορμή, Νόμοι θερμοδυναμικής, εξίσωσης ενέργειας, απώλειες ενέργειας)

Δ.1.2. Οργάνωση και στόχοι μαθήματος (η)

Περιεχόμενο μαθήματος

7. Δυναμική ρευστών - Εξισώσεις Navier - Stokes (διαφορική ανάλυση ροών, διατήρηση μάζας - εξίσωση συνέχειας, ροϊκή συνάρτηση, διατήρηση ποσότητας κίνησης / ορμής, μη συνεκτική ροή, εξισώσεις Euler, αστρόβιλη ροή, δυναμικό ταχύτητας, συνεκτική ροή, μόνιμη και στρωτή ροή μεταξύ πλακών και σε σωλήνα, ροή Couette, ροή Poiseuille, πρόβλημα Stokes, βασικές ροές ιδεατού ρευστού, πηγή και καταβόθρα, στρόβιλος, δίπολο, ροή γύρω από σώμα)

8. Στρωτή και τυρβώδης ροή (αδιάστατες εξισώσεις Navier-Stokes, πλήρως ανεπτυγμένη τυρβώδης ροή, πίεση και διατμητικές τάσεις, στρωτή ροή σε σωλήνες, τυρβώδεις διατμητικές τάσεις, μοντέλα τύρβης, προφίλ ταχυτήτων, διάγραμμα Moody, τοπικές απώλειες)

Δ.1.2. Οργάνωση και στόχοι μαθήματος (θ)

Περιεχόμενο μαθήματος

9. Οριακή στοιβάδα (εξωτερικές ροές, αντίσταση, οπισθέλκουσα, άντωση, ροή γύρω από αντικείμενα, οριακό στρώμα κατά Prandtl/Blasius, ολοκληρωματική εξίσωση οριακής στοιβάδας, κλίση πίεσης, τυρβώδες οριακό στρώμα, συντελεστής οπισθέλκουσας και παραδείγματα, δυναμική άνωση)

10. Εφαρμογές (Δυνάμεις ασκούμενες σε φράγματα, ομοιότητα φυσικών μοντέλων υδραυλικών έργων, φαινόμενο σπηλαίωσης, υπερχειλιστές φραγμάτων, ροή σε πορώδη μέσα, φλέβες και πλούμια, κ.λπ.)

Δ.1.2. Οργάνωση και στόχοι μαθήματος (I)

Μαθησιακοί στόχοι + Γενικές Αποκτηθείσες Ικανότητες

Στο τέλος του μαθήματος η/ο φοιτήτρια/φοιτητής πρέπει:

1. Να κατέχει τις γνώσεις για να καταστρώσει το μαθηματικό ομοίωμα (εξισώσεις Navier - Stokes) και τις οριακές συνθήκες οποιασδήποτε στρωτής ροής.
2. Να κατανοεί τη διασταστική ανάλυση και τους νόμους κατασκευής ενός φυσικού ομοιώματος ενός υδραυλικού έργου.
3. Να εφαρμόζει το θεώρημα Bernoulli για τον σχεδιασμό διαφόρων υδραυλικών έργων.
4. Να εφαρμόζει τις αρχές της υδροστατικής σε προβλήματα υδραυλικών έργων Πολιτικού Μηχανικού.

Δ.1.2. Οργάνωση και στόχοι μαθήματος (κ)

Μαθησιακοί στόχοι + Γενικές Αποκτηθείσες Ικανότητες

Στο τέλος του μαθήματος η/ο φοιτήτρια/φοιτητής πρέπει:

5. Να αναλύει και υπολογίζει τις υδροστατικές δυνάμεις, που ασκούνται σε φράγματα, καθώς και να καταδεικνύει τη στατική και δυναμική φόρτιση που ασκεί η ροή σε έργα Πολιτικού Μηχανικού.
6. Να κατανοεί τα καθεστώτα στρωτής και τυρβώδους ροής.
7. Να συνδυάζει και να συνθέτει τις γνώσεις, που απέκτησε, για την αντιμετώπιση του φαινομένου της σπηλαίωσης, της τύρβης σε κλειστούς και ανοιχτούς αγωγούς, και τη ροή σε υπερχειλιστές.

Δ.1.2. Οργάνωση και στόχοι μαθήματος (λ)

Μαθησιακοί στόχοι + Γενικές Αποκτηθείσες Ικανότητες

Στο τέλος του μαθήματος η/ο φοιτήτρια/φοιτητής πρέπει:

8. Να εφαρμόζει τις αρχές της κινηματικής της ροής κατά Euler και Lagrange, να υπολογίζει τα διάφορα πεδία ταχυτήτων και επιτάχυνσης,
9. Να κατανοεί τα στοιχεία διαφορικού λογισμού (παράγωγος, κινηματική στοιχειώδους σωματιδίου, όγκος ελέγχου, θεώρημα μεταφοράς Reynolds)
10. Να αναλύει τα στοιχεία ροής σε οριακές στοιβάδες (αντίσταση, οπισθέλκουσα, άντωση, ροή γύρω από αντικείμενα, κλίση πίεσης, συντελεστές οπισθέλκουσας και δυναμική άνωση)

Δ.1.2. Οργάνωση και στόχοι μαθήματος (μ)

Μέθοδος εξέτασης/αξιολόγησης μαθήματος

Η κρίση/βαθμολόγηση των φοιτητών θα γίνεται από την απόδοσή τους σε 3ωρη γραπτή εξέταση Θεωρίας και Ασκήσεων/Εφαρμογών, οι οποίες θα βασίζονται στην εβδομαδιαία επαφή με το υλικό των παραδόσεων του μαθήματος.

Η τελική βαθμολογία θα υπολογιστεί ως εξής:

- Θεωρία 30%

ορθότητα/πληρότητα απαντήσεων

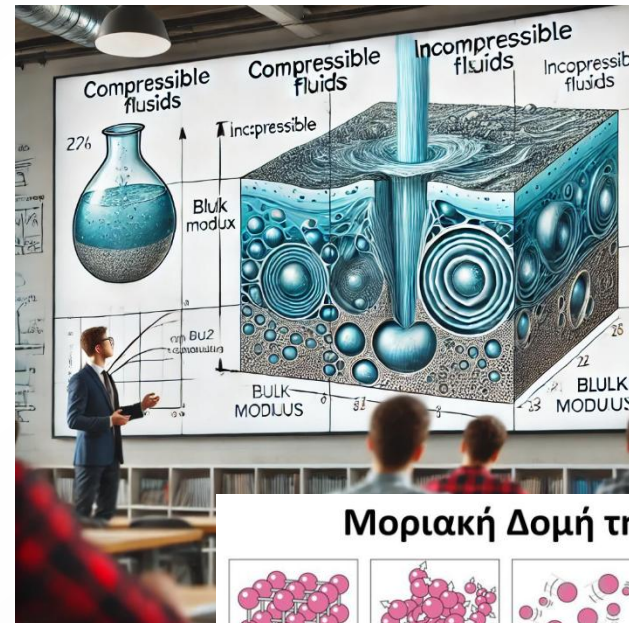
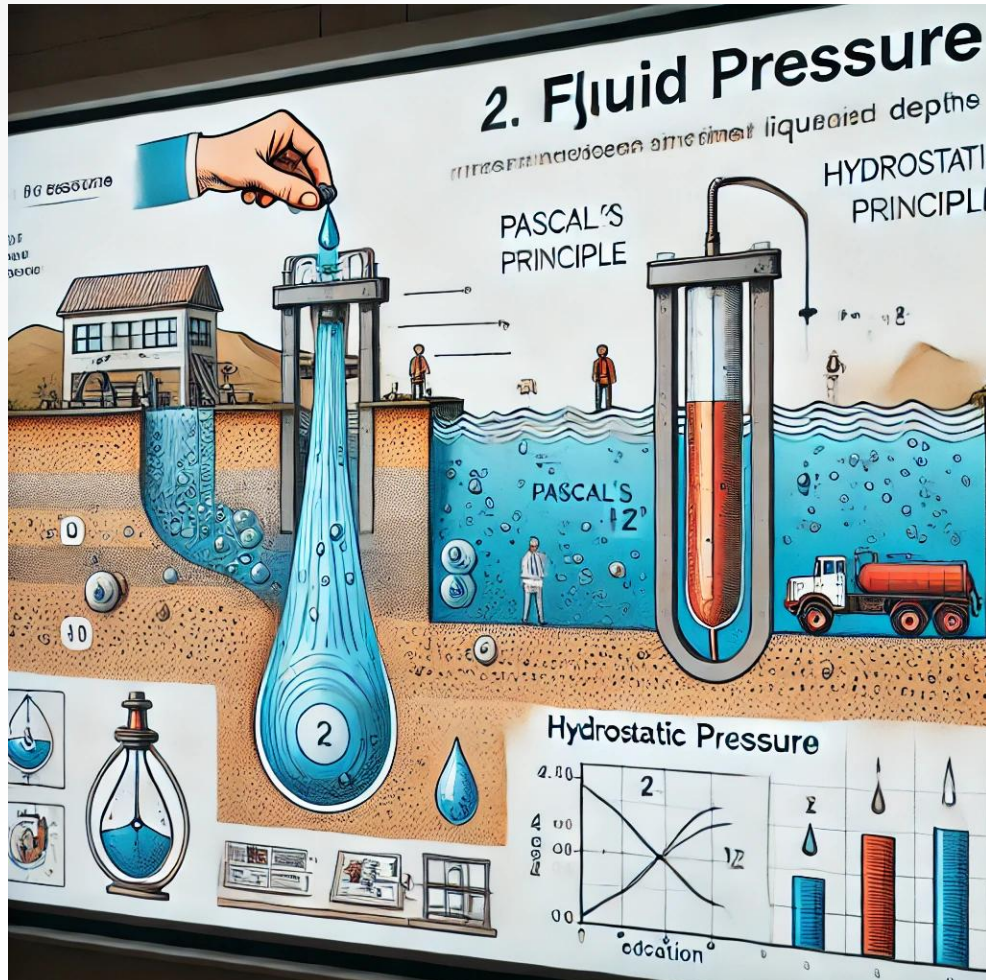
- Ασκήσεις 70%

ορθότητα/πληρότητα επιλύσεων

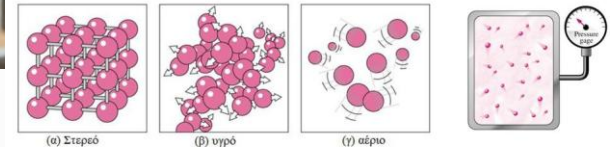
Δ.1.3. Περιγραφή διδακτέας ύλης (α)

2^η Εβδομάδα (1^η διάλεξη):

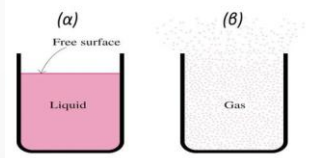
Εισαγωγή στα ρευστά (συνεχές μέσο, ιδιότητες ρευστών, διαστάσεις και μονάδες, μάζα, βάρος, πυκνότητα, ειδικό βάρος, ιξώδες, συμπιεστότητα, τανυστής τάσεων, πίεση, ατμού, υγρά/αέρια φάση, θερμικές ιδιότητες νερού, επιφανειακή τάση)



Μοριακή Δομή της Ύλης



Σχήμα 1: Οι τρεις βασικές καταστάσεις της ύλης



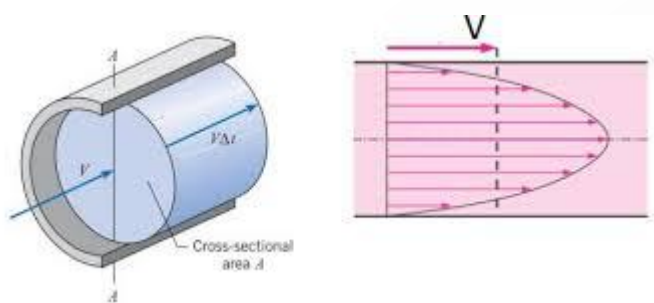
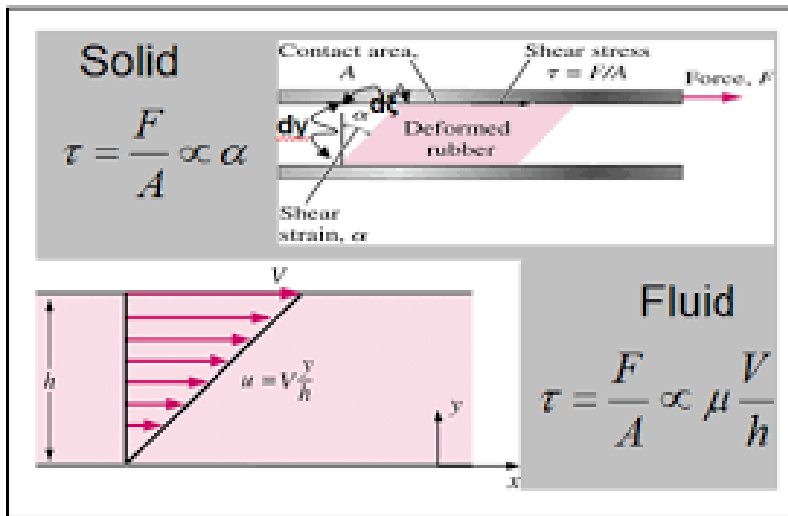
Σχήμα 2: Δοχείο που περιέχει: (α) υγρό και (β) αέριο

- Τα στερεά έχουν την πιο συγκροτημένη δομή έχοντας συνήθως την μορφή κρυσταλλικού πλέγματος
- Τα υγρά παίρνουν το σχήμα του δοχείου που τα περιβάλλει και δημιουργούν διεπιφάνειες με γειτονικά υγρά ή αέρια
- Τα αέρια καταλαμβάνουν όλον τον διαθέσιμο χώρο ενώ δεν δημιουργούν διεπιφάνειες μεταξύ τους

Δ.1.3. Περιγραφή διδακτέας ύλης (β)

3^η Εβδομάδα (2^η διάλεξη):

Διαστατική ομοιογένεια, διαστατική ανάλυση και μοντελοποίηση (διαστάσεις, θεώρημα Π Buckingham, Αδιάστατοι αριθμοί, συσχέτιση πειραματικών δεδομένων, εφαρμογές διαστατικής ανάλυσης, ομοιότητα και μοντέλα)



Ορισμός	Σύμβολο (Όνομα)	Φυσική ερμηνεία
$\frac{\rho U L}{\mu}$	Re (Reynolds)	$\frac{\text{αδρανειακές δυνάμεις}}{\text{δυνάμεις ιξώδους}}$
$\frac{\Delta P}{\rho U^2}$	Eu (Euler)	$\frac{\text{δυνάμεις πίεσης}}{\text{αδρανειακές δυνάμεις}}$
$\frac{U}{c}$	M (Mach)	$\frac{\text{αδρανειακές δυνάμεις}}{\text{δυνάμεις συμπίεσης}}$
$\frac{U}{\sqrt{gL}}$	Fr (Froude)	$\frac{\text{αδρανειακές δυνάμεις}}{\text{δυνάμεις βαρύτητας}}$
$\frac{\rho U^2 L}{\sigma}$	We (Weber)	$\frac{\text{αδρανειακές δυνάμεις}}{\text{δυνάμεις επιφανειακής τάσης}}$
$\frac{\rho U^2}{E}$	Ca (Cauchy)	$\frac{\text{αδρανειακές δυνάμεις}}{\text{δυνάμεις συμπίεσης}}$

Δ.1.3. Περιγραφή διδακτέας ύλης (Υ)

4^η Εβδομάδα (3^η διάλεξη):

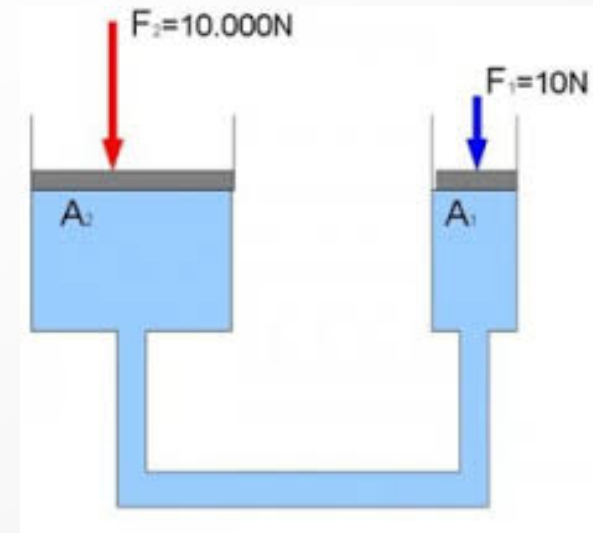
Υδροστατική (πίεση σε σημείο, βασικοί νόμοι, μεταβολή πίεσης, μέτρηση πίεσης, μανόμετρα, υδροστατική δύναμη, πρίσμα πίεσης, άνωση, επίπλευση, ευστάθεια, αρχή του Αρχιμήδη, μεταβολή πίεσης, ρευστό με κίνηση στερεού σώματος)

Η υδροστατική πίεση **δεν** εξαρτάται από το σχήμα, τον συνολικό όγκο και τη συνολική μάζα του υγρού.

Πίεση $P = \text{βάρος} / \text{εμβαδό} = m \cdot g / A = \rho \cdot V \cdot g / A = \rho \cdot (h \cdot A) \cdot g / A = \rho \cdot g \cdot h$

$V = h \cdot A = \text{όγκος}$
 $\text{Βάρος} = B = m \cdot g$

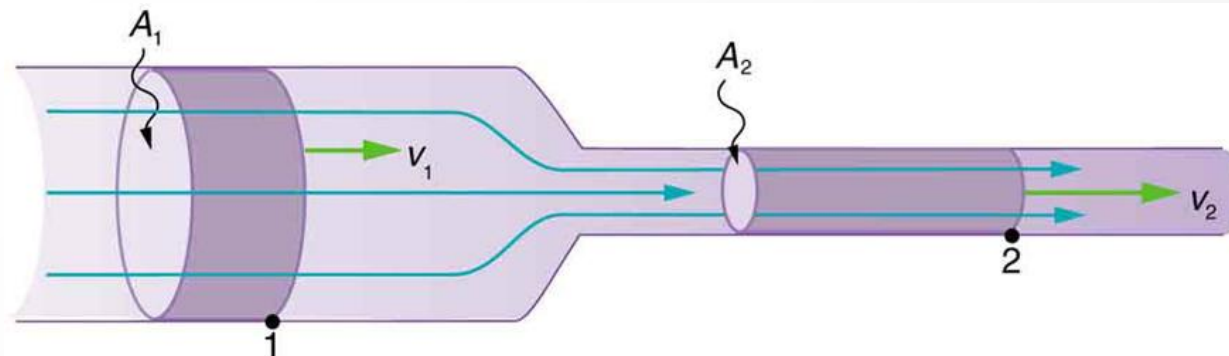
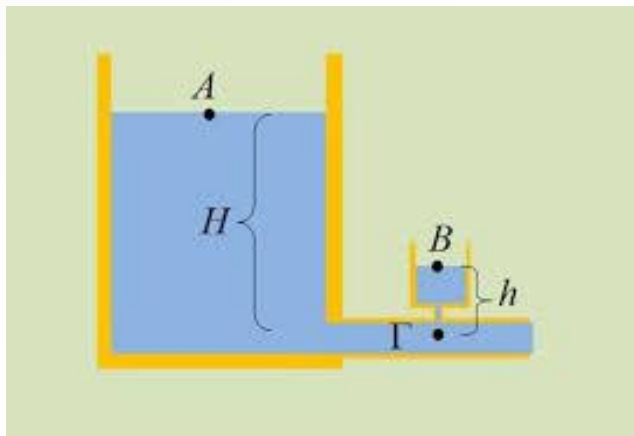
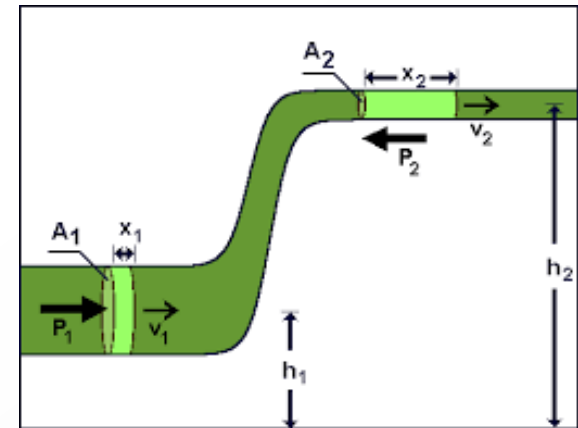
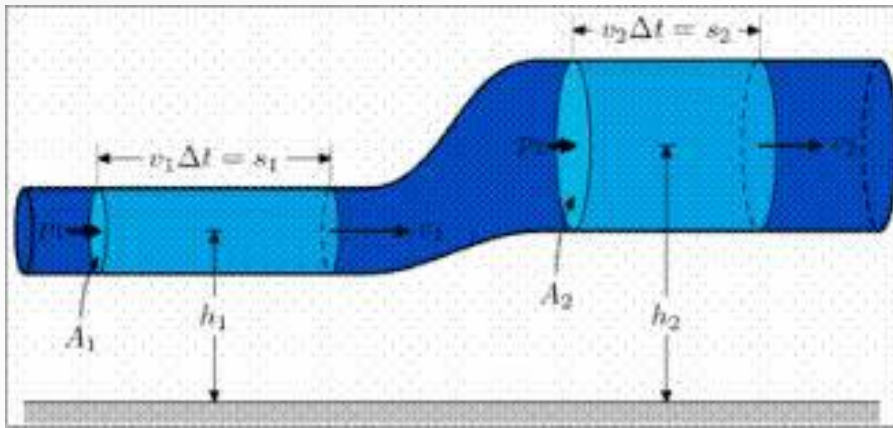
$P = \rho g h$



Δ.1.3. Περιγραφή διδακτέας ύλης (δ)

5^η Εβδομάδα (4^η διάλεξη):

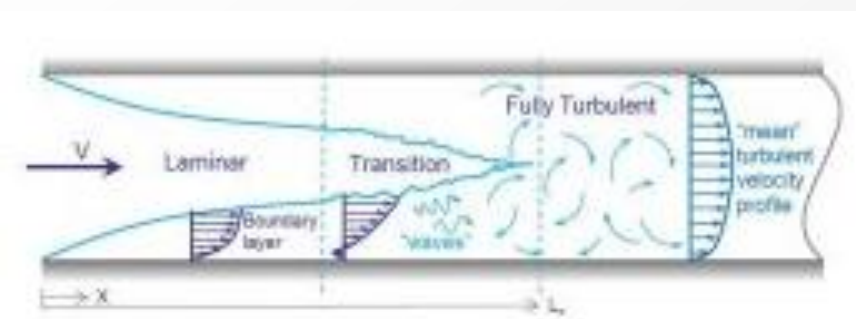
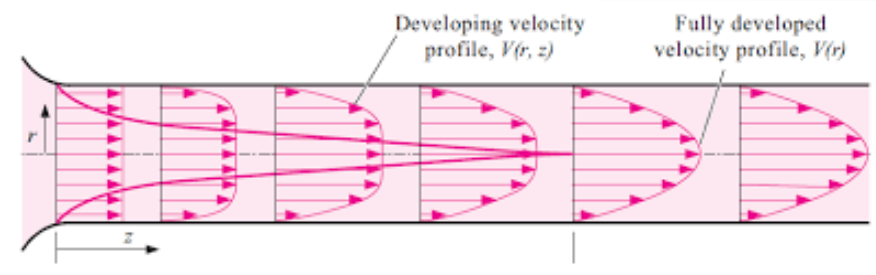
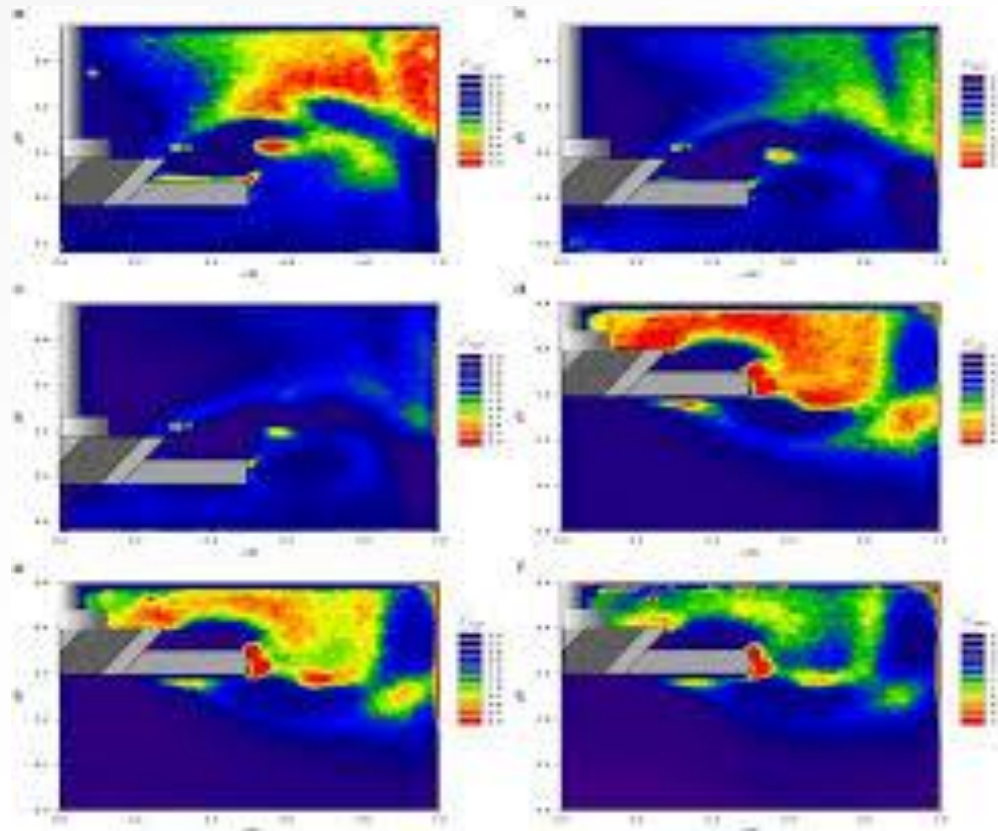
Στοιχειώδης δυναμική ρευστών - Εξίσωση Bernoulli (2^{ος} νόμος Νεύτωνα, ροϊκή γραμμή, πίεση, εφαρμογές Bernoulli, γραμμή ενέργειας, πιεζομετρική γραμμή, περιορισμοί)



Δ.1.3. Περιγραφή διδακτέας ύλης (ε)

6^η Εβδομάδα (5^η διάλεξη):

Κινηματική της ροής (περιγραφή κίνησης κατά Euler και Lagrange, πεδίο ταχυτήτων, 1D-2D-3D ροές, πεδίο επιτάχυνσης, υλική παράγωγος, κινηματική στοιχειώδους σωματιδίου, όγκος ελέγχου, θεώρημα μεταφοράς Reynolds)



Δ.1.3. Περιγραφή διδακτέας ύλης (στ)

7^η Εβδομάδα (6^η διάλεξη):

Ροή σε όγκο ελέγχου (διατήρηση μάζας - εξίσωση συνέχειας, 2ος νόμος Νεύτωνα, ορμή και στροφορμή, Νόμοι θερμοδυναμικής, εξίσωσης ενέργειας, απώλειες ενέργειας)

Διατήρηση Μάζας - Διαφορική Μορφή

$$b = 1 \frac{\text{Μάζα}\alpha}{\text{Μάζα}\alpha}, \quad \rho \bar{u} = \frac{\text{kg m}}{\text{m}^3 \text{s}} = \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{s}} \leftarrow \text{Ρυθμός ροής μάζας ανά μονάδα επιφάνειας}$$

$$\frac{Dm_{\text{sys}}}{Dt} = 0 = \int_{V_m(t)} \left(\frac{\partial \rho}{\partial t} + \bar{\nabla} \cdot (\rho \bar{u}) \right) dV \xrightarrow{V_m \rightarrow 0} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \bar{\nabla} \cdot (\rho \bar{u}) = 0$$

Εάν δεν υπάρχουν πηγές ή καταβόθρες στον ΟΕ

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \bar{\nabla} \cdot (\rho \bar{u}) = 0 \leftarrow \text{Εξίσωση Συνέχειας}$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \bar{u} \cdot (\bar{\nabla} \rho) + \rho (\bar{\nabla} \cdot \bar{u}) = 0 \rightarrow \frac{D\rho}{Dt} + \rho \bar{\nabla} \cdot \bar{u} = 0$$

Οιλεριανή αναπαράσταση
Χρήση **Μερικής Παραγώγου**

Για ασυμπύεστο ρευστό

Για μόνιμη ροή

Λαγκραντζιανή αναπαράσταση
Χρήση **Υλικής Παραγώγου** για
κάθε σωματίδιο

$$\frac{D\rho}{Dt} = 0 \rightarrow \bar{\nabla} \cdot \bar{u} = 0$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \rightarrow \bar{\nabla} \cdot (\rho \bar{u}) = 0$$

Δ.1.3. Περιγραφή διδακτέας ύλης (ζ)

8^η Εβδομάδα (7^η διάλεξη):

Δυναμική ρευστών - Εξισώσεις Navier - Stokes (διαφορική ανάλυση ροών, διατήρηση μάζας - εξίσωση συνέχειας, ροϊκή συνάρτηση, διατήρηση ποσότητας κίνησης / ορμής, μη συνεκτική ροή, εξισώσεις Euler, αστρόβιλη ροή, δυναμικό ταχύτητας, συνεκτική ροή, μόνιμη και στρωτή ροή μεταξύ πλακών και σε σωλήνα, ροή Couette, ροή Poiseuille, πρόβλημα Stokes, βασικές ροές ιδεατού ρευστού, πηγή και καταβόθρα, στρόβιλος, δίπολο, ροή γύρω από σώμα)



Navier-Stokes Equations 3 - dimensional - unsteady

Glenn
Research
Center

Coordinates: (x,y,z) Time: t Pressure: p Heat Flux: q
Velocity Components: (u,v,w) Density: ρ Stress: τ Reynolds Number: Re
Total Energy: Et Prandtl Number: Pr

Continuity:
$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0$$

X - Momentum:
$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u^2)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{Re_r} \left[\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \right]$$

Y - Momentum:
$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v^2)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho vw)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{Re_r} \left[\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} \right]$$

Z - Momentum:
$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho vw)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w^2)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{1}{Re_r} \left[\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} \right]$$

Energy:
$$\frac{\partial(E_T)}{\partial t} + \frac{\partial(uE_T)}{\partial x} + \frac{\partial(vE_T)}{\partial y} + \frac{\partial(wE_T)}{\partial z} = -\frac{\partial(u p)}{\partial x} - \frac{\partial(v p)}{\partial y} - \frac{\partial(w p)}{\partial z} - \frac{1}{Re_r Pr_r} \left[\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} \right]$$

$$+ \frac{1}{Re_r} \left[\frac{\partial}{\partial x} (u \tau_{xx} + v \tau_{xy} + w \tau_{xz}) + \frac{\partial}{\partial y} (u \tau_{xy} + v \tau_{yy} + w \tau_{yz}) + \frac{\partial}{\partial z} (u \tau_{xz} + v \tau_{yz} + w \tau_{zz}) \right]$$



Euler Equations

Glenn
Research
Center

2 - Dimensional, Steady Form:

Coordinates: (x,y) **Continuity:**
$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} = 0$$

Velocity Components: (u,v) **X - Momentum:**
$$\frac{\partial(\rho u^2)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial x}$$

Pressure: p **Y - Momentum:**
$$\frac{\partial(\rho uv)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v^2)}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial y}$$

Density: ρ

Incompressible Form:

Continuity:
$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0$$

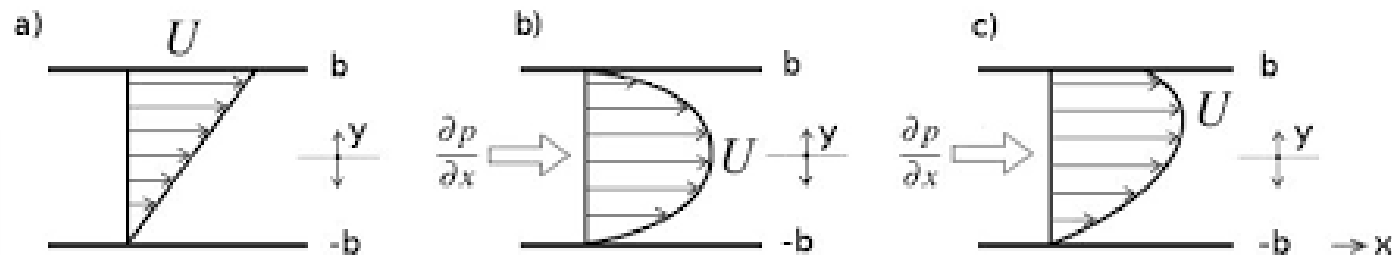
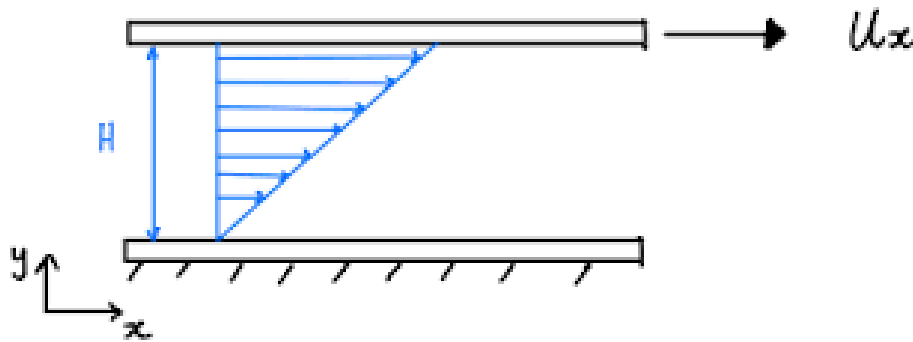
X - Momentum:
$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x}$$

Y - Momentum:
$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y}$$

Δ.1.3. Περιγραφή διδακτέας ύλης (ζ)

9^η Εβδομάδα (8^η διάλεξη):

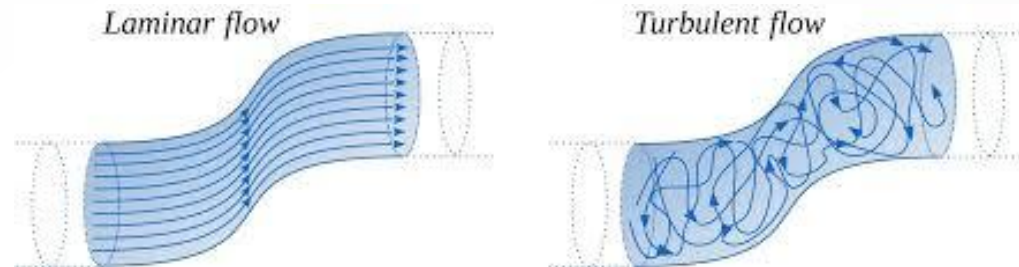
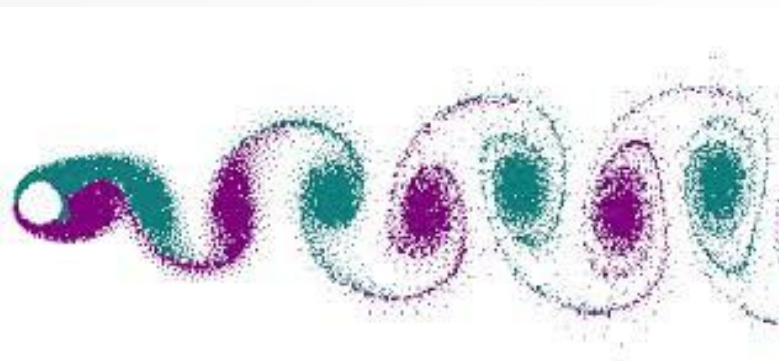
Δυναμική ρευστών - Εξισώσεις Navier - Stokes (διαφορική ανάλυση ροών, διατήρηση μάζας - εξίσωση συνέχειας, ροϊκή συνάρτηση, διατήρηση ποσότητας κίνησης / ορμής, μη συνεκτική ροή, εξισώσεις Euler, αστρόβιλη ροή, δυναμικό ταχύτητας, συνεκτική ροή, μόνιμη και στρωτή ροή μεταξύ πλακών και σε σωλήνα, ροή Couette, ροή Poiseuille, πρόβλημα Stokes, βασικές ροές ιδεατού ρευστού, πηγή και καταβόθρα, στρόβιλος, δίπολο, ροή γύρω από σώμα)



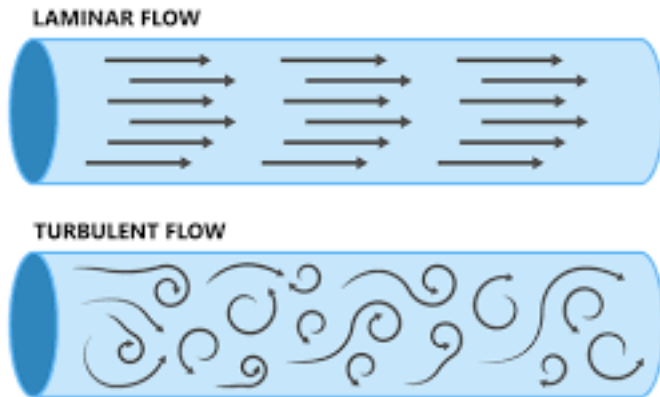
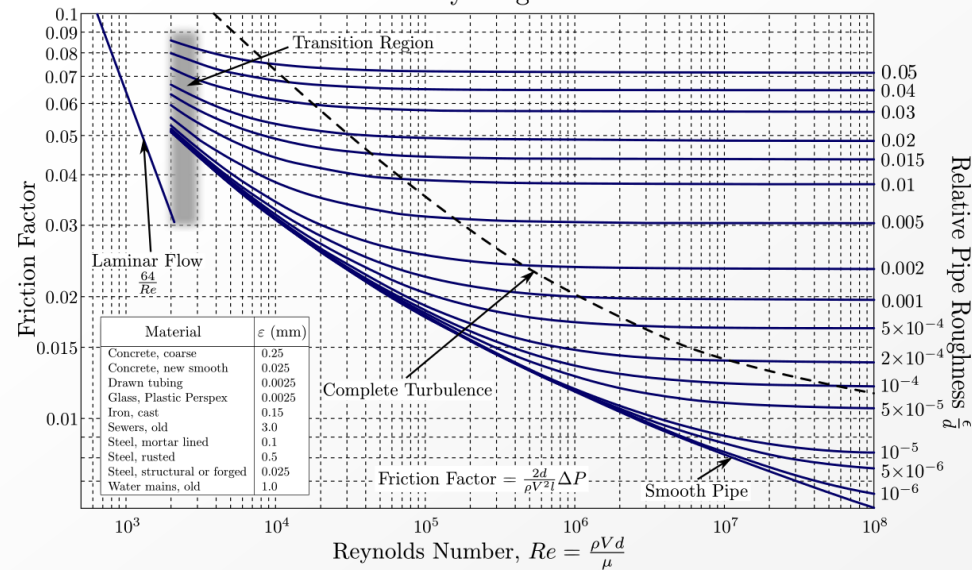
Δ.1.3. Περιγραφή διδακτέας ύλης (η)

10^η Εβδομάδα (9^η διάλεξη):

Στρωτή και τυρβώδης ροή (αδιάστατες εξισώσεις Navier-Stokes, πλήρως ανεπτυγμένη τυρβώδης ροή, πίεση και διατμητικές τάσεις, στρωτή ροή σε σωλήνες, τυρβώδεις διατμητικές τάσεις, μοντέλα τύρβης, προφίλ ταχυτήτων, διάγραμμα Moody, τοπικές απώλειες)



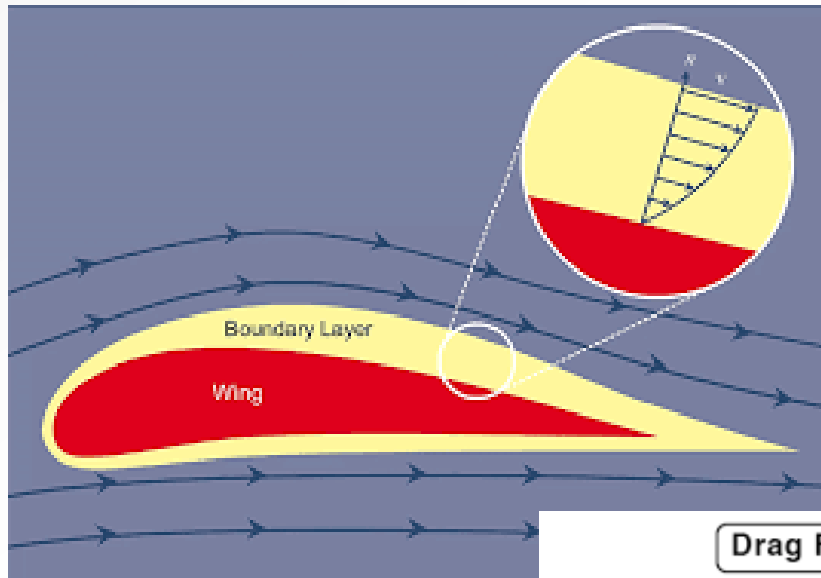
Moody Diagram



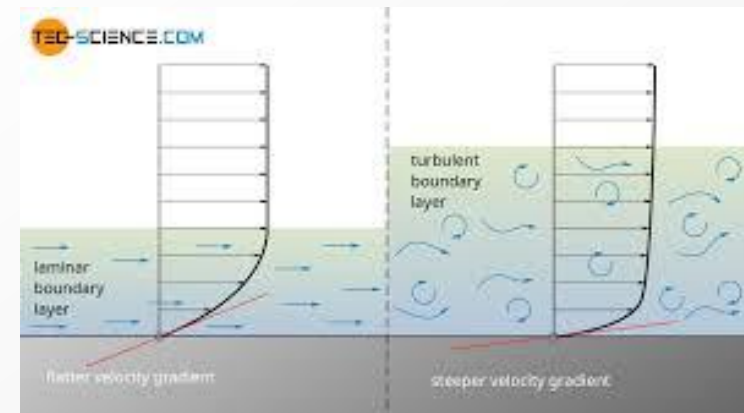
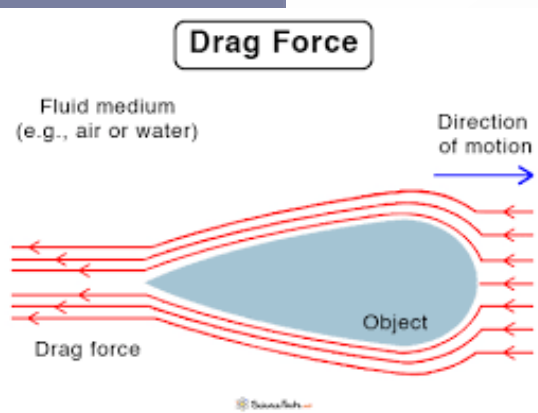
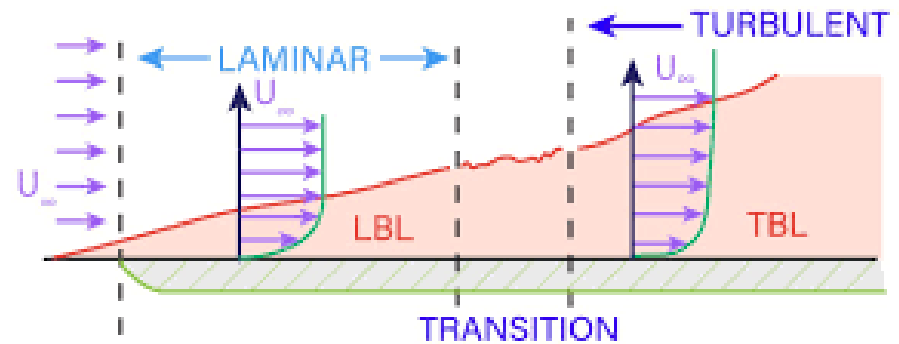
Δ.1.3. Περιγραφή διδακτέας ύλης (θ)

11^η Εβδομάδα (10^η διάλεξη):

Οριακή στοιβάδα (εξωτερικές ροές, αντίσταση, οπισθέλκουσα, άντωση, ροή γύρω από αντικείμενα, οριακό στρώμα κατά Prandtl/Blasius, ολοκληρωματική εξίσωση οριακής στοιβάδας, κλίση πίεσης, τυρβώδες οριακό στρώμα, συντελεστής οπισθέλκουσας και παραδείγματα, δυναμική άνωση)



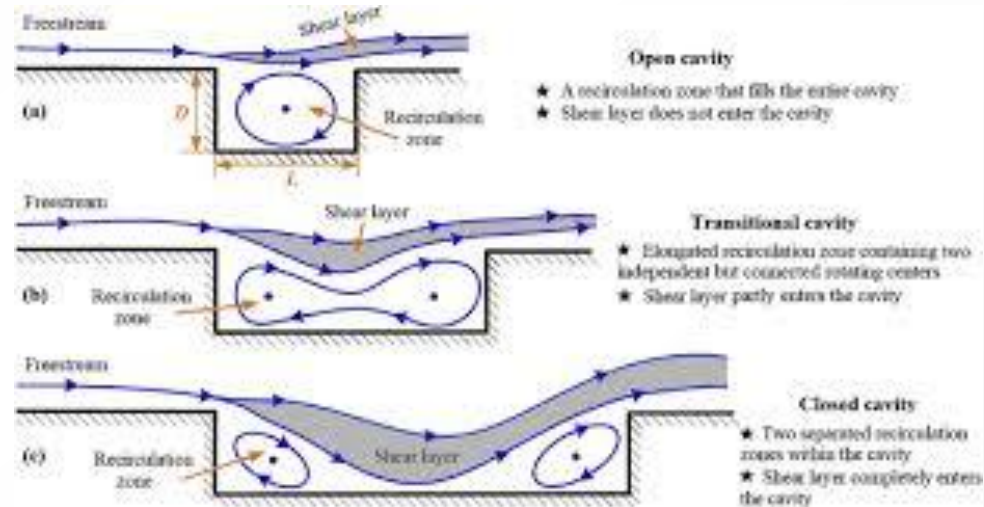
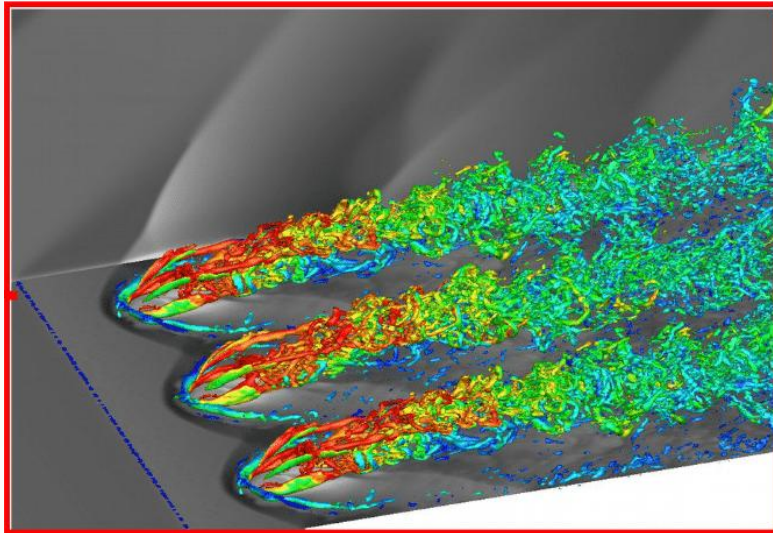
THE BOUNDARY LAYER CONCEPT



Δ.1.3. Περιγραφή διδακτέας ύλης (I)

12^η Εβδομάδα (11^η διάλεξη):

Εφαρμογές (Δυνάμεις ασκούμενες σε φράγματα, ομοιότητα φυσικών μοντέλων υδραυλικών έργων, φαινόμενο σπηλαιώσης, υπερχειλιστές φραγμάτων, ροή σε πορώδη μέσα, φλέβες και πλούμια, κ.λπ.)



N-S equation

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial u_i u_j}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\nu \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right)$$

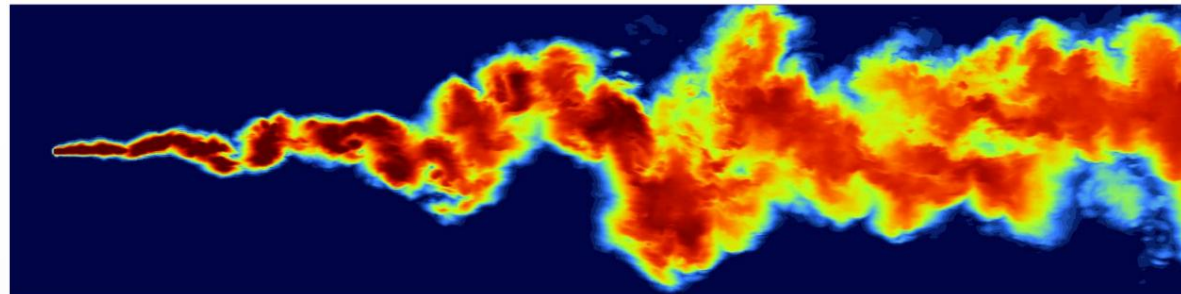
Filter

Filtered N-S equation

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \frac{\partial \bar{u}_i \bar{u}_j}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\nu \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j}$$

$$\tau_{ij} \equiv \overline{u_i u_j} - \bar{u}_i \bar{u}_j \leftarrow \text{Needs modeling}$$

Sub-grid scale (SGS) stress

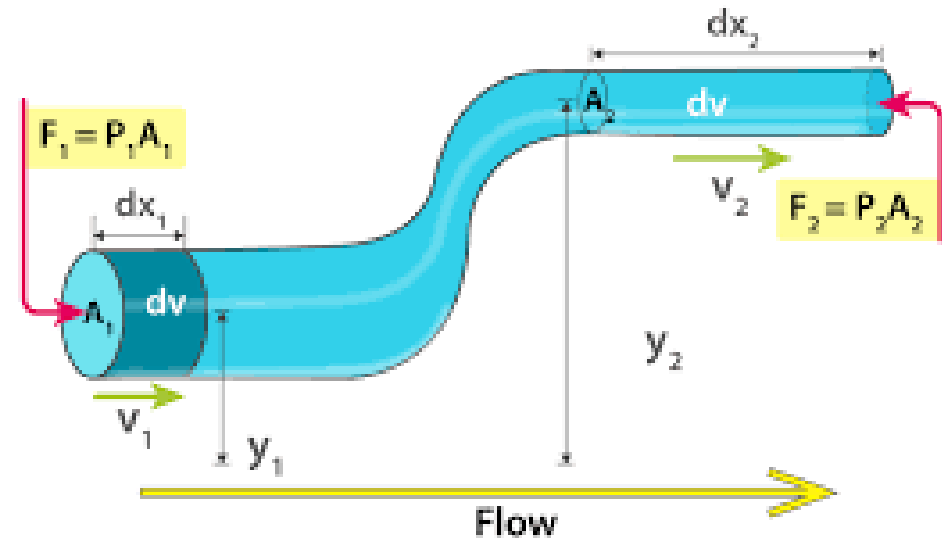


Δ.1.3. Περιγραφή διδακτέας ύλης (1α)

13^η Εβδομάδα (12^η διάλεξη):

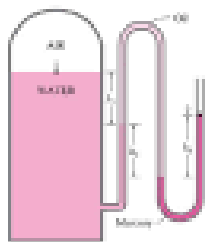
Επανάληψη εννοιών – Παραδείγματα Εξετάσεων

BERNOULLI'S EQUATION DERIVATION



Fluid Mechanics: Inertial Problems (Chapter 8)

1. The water in a tank is pressurized by air, and the pressure is measured by a multi-fluid manometer as shown in Figure. Determine the gage pressure of air in the tank if $h_1 = 0.2$ m, $h_2 = 0.1$ m, and $h_3 = 0.4$ m. Take the densities of water, oil, and mercury to be 1000 kg/m³, 800 kg/m³, and $13,600$ kg/m³, respectively.



Solution

- The pressure in a pressurized water tank is measured by a multi-fluid manometer. The gage pressure of air in the tank is to be determined.
- **Assumptions** The air pressure in the tank is uniform (i.e., its variation with elevation is negligible due to its low density), and thus we can determine the pressure at the air-water interface.
- **Properties** The densities of air, water, oil, and mercury are to be 1.204 , 1000 , and $13,600$ kg/m³, respectively.
- **Analysis** Starting with the pressure at point 1 at the air-water interface, and moving along the tube by adding (or subtracting) the hydrostatic (or manometric) fluid pressure, we reach point 2, and setting the result equal to P_{atm} since the tube is open to the atmosphere gives

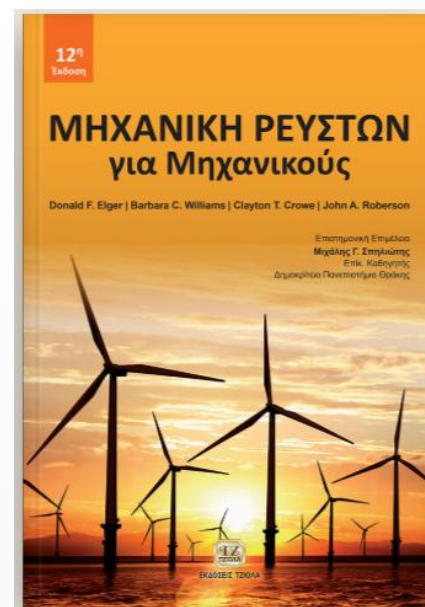
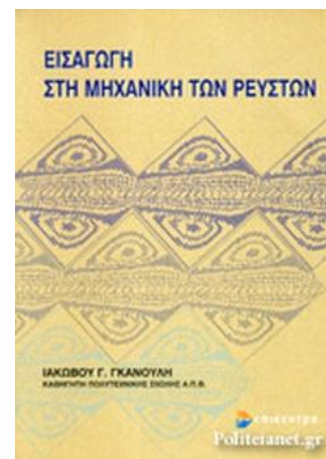
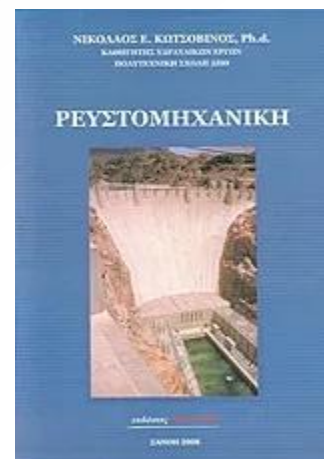
Δ.1.6. Βιβλιογραφία

Πρωτότυπη ελληνική διαθέσιμη από ΕΥΔΟΞΟ

1. Πρίνος Π. «ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΡΕΥΣΤΩΝ», 2014, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, ISBN 978-960-456-419-4. Βιβλίο [41963463]
2. Κωτσοβίνος Ν. «ΡΕΥΣΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗ», 2008, Εκδόσεις ΣΠΑΝΙΔΗΣ ΜΙΧΑΛΗΣ, ISBN 978-960-6653-34-6. Βιβλίο [833]
3. Γκανούλης Ι. «ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΤΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ», 2007, ΕΠΙΚΕΝΤΡΟ, ISBN 978-960-8731-8-6. Βιβλίο [14945]

Μεταφρασμένη στα ελληνικά Βιβλιογραφία διαθέσιμη από ΕΥΔΟΞΟ

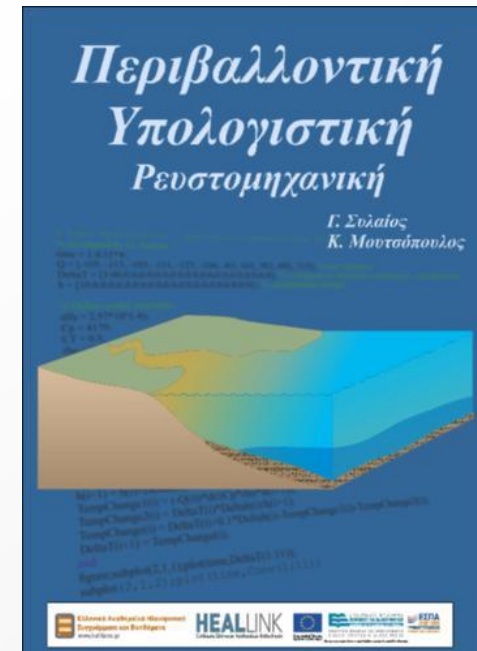
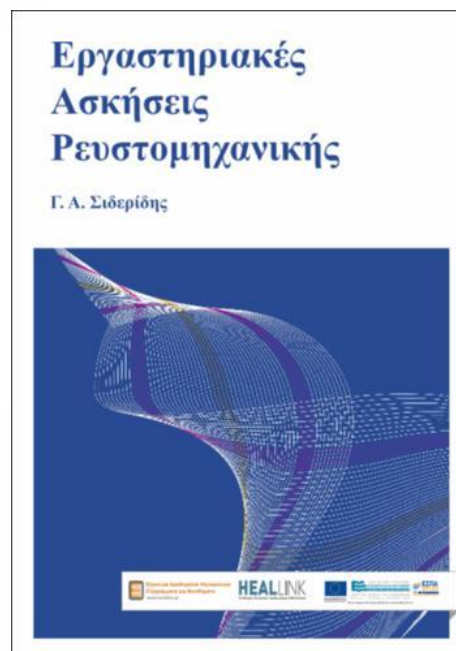
4. Elger F. Donald - Williams C. Barbara - Crowe T. Clayton - Roberson A. John. Μηχανική Ρευστών. Επιμέλεια στα Ελληνικά: Μιχάλης Σπηλιώτης Βιβλίο [77106811]



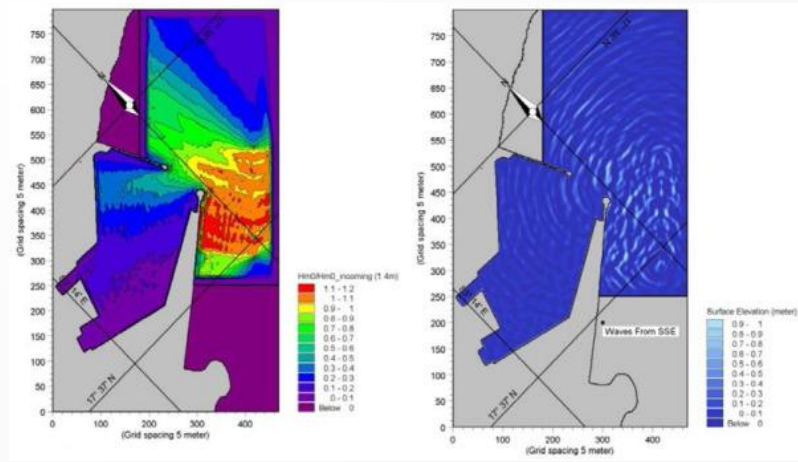
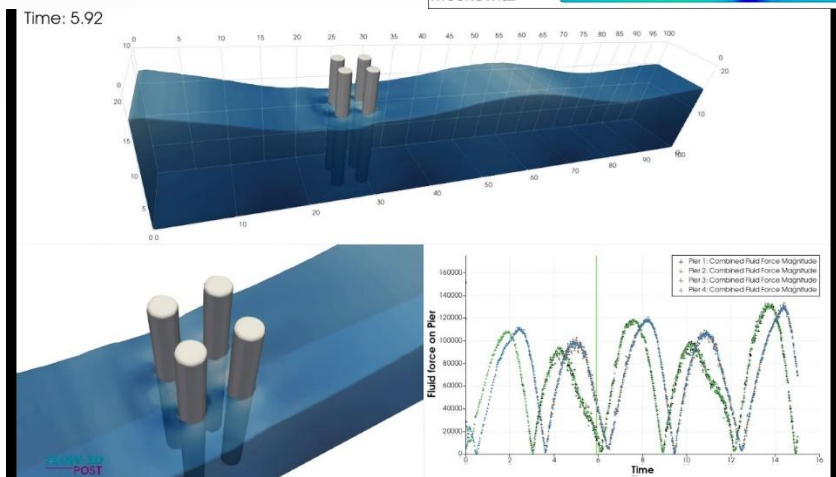
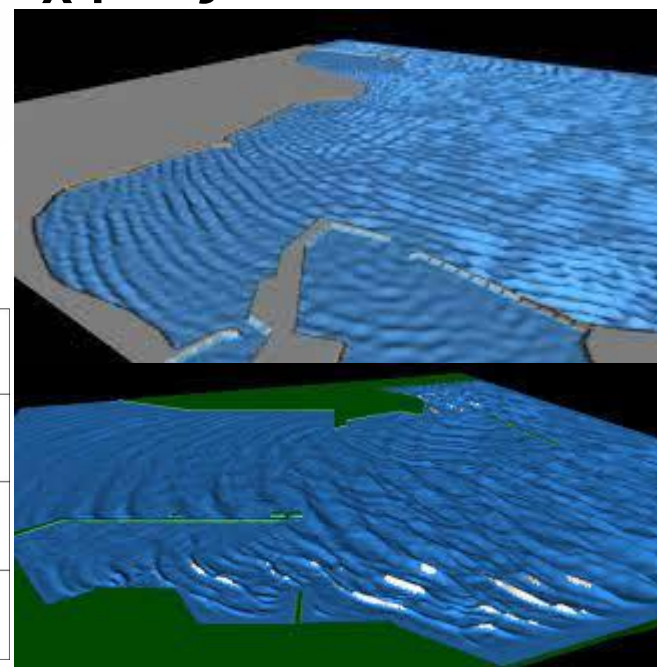
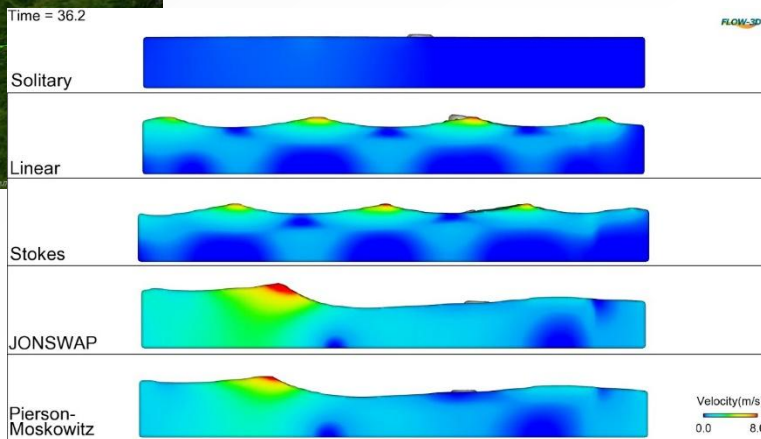
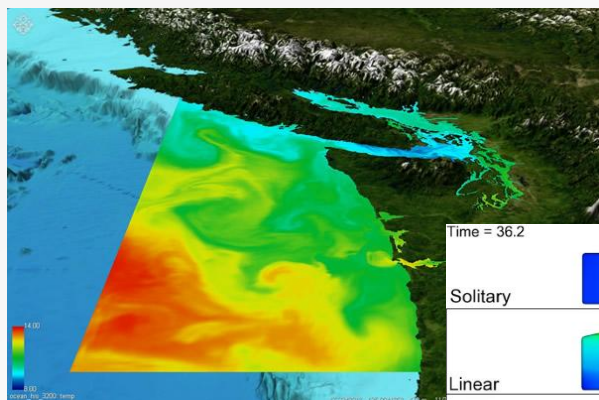
Δ.1.6. Βιβλιογραφία (free)

Ελεύθερα διαθέσιμα σε μορφή pdf:

- Φλυτζάνης, Ν. (2015). *Εισαγωγή στη μηχανική των ρευστών* [Προπτυχιακό εγχειρίδιο]. Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις <https://dx.doi.org/10.57713/kallipos-503>
- Σιδερίδης, Γ. (2015). *Εργαστηριακές Ασκήσεις Ρευστομηχανικής* [Εργαστηριακός Οδηγός]. Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις <https://dx.doi.org/10.57713/kallipos-602>
- Συλαίος, Γ., & Μουτσόπουλος, Κ. (2015). *Περιβαλλοντική Υπολογιστική Ρευστομηχανική*, Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις. <https://dx.doi.org/10.57713/kallipos-643>



ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ πολύ για την προσοχή σας !!!



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΡΟΩΝ