

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών
Προηγμένη Μηχανική Ενεργειακών Συστημάτων
Advanced Engineering of Energy Systems
ADVENS

ΠΕΡΙΓΡΑΦΜΑ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ: ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΡΕΥΣΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗ

ΓΕΝΙΚΑ

ΣΧΟΛΗ	ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ		
ΤΜΗΜΑ	ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ		
ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΠΟΥΔΩΝ	ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ		
ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ	S2_C1	ΕΞΑΜΗΝΟ ΣΠΟΥΔΩΝ	2 ^ο
ΤΙΤΛΟΣ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ	ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΡΕΥΣΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗ		
ΑΥΤΟΤΕΛΕΙΣ ΔΙΔΑΚΤΙΚΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ σε περίπτωση που οι πιστωτικές μονάδες απονέμονται σε διακριτά μέρη του μαθήματος π.χ. Διαλέξεις, Εργαστηριακές Ασκήσεις κ.λπ. Αν οι πιστωτικές μονάδες απονέμονται ενιαία για το σύνολο του μαθήματος αναγράψτε τις εβδομαδιαίες ώρες διδασκαλίας και το σύνολο των πιστωτικών μονάδων		ΕΒΔΟΜΑΔΙΑΙΕΣ ΩΡΕΣ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ	ΠΙΣΤΩΤΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ
Διαλέξεις και Ασκήσεις Πράξης		3	6
Προσθέστε σειρές αν χρειαστεί. Η οργάνωση διδασκαλίας και οι διδακτικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται περιγράφονται αναλυτικά στο 4.			
ΤΥΠΟΣ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ Υποβάθρου, Γενικών Γνώσεων, Επιστημονικής Περιοχής, Ανάπτυξης Δεξιοτήτων	Επιστημονικής Περιοχής		
ΠΡΟΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ ΜΑΘΗΜΑΤΑ:	Μηχανική ρευστών, Μετάδοση Θερμότητας, Θερμοδυναμική		
ΓΛΩΣΣΑ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ και ΕΞΕΤΑΣΕΩΝ:	Ελληνική, Αγγλική		
ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ ΠΡΟΣΦΕΡΕΤΑΙ ΣΕ ΦΟΙΤΗΤΕΣ ERASMUS	ΝΑΙ (στην Αγγλική)		
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΣΕΛΙΔΑ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ (URL)			

ΜΑΘΗΣΙΑΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

<p>Μαθησιακά Αποτελέσματα Περιγράφονται τα μαθησιακά αποτελέσματα του μαθήματος οι συγκεκριμένες γνώσεις, δεξιότητες και ικανότητες καταλλήλου επιπέδου που θα αποκτήσουν οι φοιτητές μετά την επιτυχή ολοκλήρωση του μαθήματος.</p> <p>Συμβουλευτείτε το Παράρτημα Α</p> <ul style="list-style-type: none"> • Περιγραφή του Επιπέδου των Μαθησιακών Αποτελεσμάτων για κάθε ένα κύκλο σπουδών σύμφωνα με Πλαίσιο Προσόντων του Ευρωπαϊκού Χώρου Ανώτατης Εκπαίδευσης • Περιγραφικοί Δείκτες Επιπέδων 6, 7 & 8 του Ευρωπαϊκού Πλαισίου Προσόντων Διά Βίου Μάθησης και Παράρτημα Β • Περιληπτικός Οδηγός συγγραφής Μαθησιακών Αποτελεσμάτων
<p>Με την ολοκλήρωση του μαθήματος ο φοιτητής θα είναι σε θέση:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Να γνωρίζουν τι είναι η υπολογιστική ρευστοδυναμική και το εύρος των εφαρμογών της και να είναι σε θέση να αντιλαμβάνονται τους περιορισμούς της • Να γνωρίζουν τις διέπουσες εξισώσεις κίνησης των ρευστών και της μετάδοσης θερμότητας, τη διαφορική και την ολοκληρωτική μορφή τους. • Να διακρίνουν τις κατηγορίες των προβλημάτων μεταφοράς σε υπερβολικά, παραβολικά, ελλειπτικά και μικτά και να είναι σε θέση να επιλέξουν την κατάλληλη μέθοδο για την επίλυσή τους

- Να αντιλαμβάνονται τη σπουδαιότητα του είδους των οριακών συνθηκών ενός φυσικού προβλήματος.
- Να κατανοούν το φαινόμενο της τύρβης, να εκτιμούν την επίδρασή του στα ροϊκά χαρακτηριστικά, να γνωρίζουν τις μεθόδους μοντελοποίησης της τύρβης και να είναι σε θέση να επιλέγουν το πλέον κατάλληλο μοντέλο στις διάφορες περιπτώσεις προβλημάτων.
- Να διακρίνουν τους διάφορους τύπους υπολογιστικών πλεγμάτων και να εκτιμούν την επίδραση της χρήσης τους στη διαδικασία της επίλυσης. Να εκτιμούν την ποιότητα των πλεγμάτων με χρήση κατάλληλων μαθηματικών ποσοτήτων.
- Να γνωρίζουν την μέθοδο πεπερασμένων διαφορών και τον τρόπο εφαρμογής της στις εξισώσεις μεταφοράς.
- Να προσδιορίζουν την ολοκληρωτική μορφή εξισώσεων μεταφοράς με τη μέθοδο των πεπερασμένων όγκων.
- Να γνωρίζουν και να εκτιμούν τη χρήση διαφορετικών σχημάτων ανάλυσης διαφορών.
- Να γνωρίζουν και να εκτιμούν τη χρήση των αλγορίθμων SIMPLE και SIMPLEC.
- Να περιγράφουν το αλγεβρικό σύστημα εξισώσεων που προκύπτει από την εφαρμογή των μεθόδων πεπερασμένων διαφορών και πεπερασμένων όγκων.
- Να κατανοούν την επίλυση των γραμμικοποιημένων εξισώσεων με χρήση των άμεσων μεθόδων.
- Να κατανοούν την επίλυση των γραμμικοποιημένων εξισώσεων με χρήση των επαναληπτικών μεθόδων.
- Να είναι σε θέση να επιλύουν πραγματικά προβλήματα με χρήση εξειδικευμένου λογισμικού.

Γενικές Ικανότητες

Λαμβάνοντας υπόψη τις γενικές ικανότητες που πρέπει να έχει αποκτήσει ο πτυχιούχος (όπως αυτές αναγράφονται στο Παράρτημα Διπλώματος και παρατίθενται ακολούθως) σε ποια / ποιες από αυτές αποσκοπεί το μάθημα:

Αναζήτηση, ανάλυση και σύνθεση δεδομένων και πληροφοριών, με τη χρήση και των απαραίτητων τεχνολογιών
 Προσαρμογή σε νέες καταστάσεις
 Λήψη αποφάσεων
 Αυτόνομη εργασία
 Ομαδική εργασία
 Εργασία σε διεθνές περιβάλλον
 Εργασία σε διεπιστημονικό περιβάλλον
 Παράγωγή νέων ερευνητικών ιδεών

Σχεδιασμός και διαχείριση έργων
 Σεβασμός στη διαφορετικότητα και στην πολυπολιτισμικότητα
 Σεβασμός στο φυσικό περιβάλλον
 Επίδειξη κοινωνικής, επαγγελματικής και ηθικής υπευθυνότητας και ευαισθησίας σε θέματα φύλου
 Άσκηση κριτικής και αυτοκριτικής
 Προαγωγή της ελεύθερης, δημιουργικής και επαγωγικής σκέψης

Αναζήτηση, ανάλυση και σύνθεση δεδομένων και πληροφοριών, με τη χρήση και των απαραίτητων τεχνολογιών
 Προσαρμογή σε νέες καταστάσεις
 Λήψη αποφάσεων
 Αυτόνομη εργασία
 Ομαδική εργασία
 Εργασία σε διεθνές περιβάλλον
 Εργασία σε διεπιστημονικό περιβάλλον
 Παράγωγή νέων ερευνητικών ιδεών

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ

Το μάθημα επικεντρώνεται στην εισαγωγή και εμβάθυνση στο αντικείμενο της υπολογιστικής ρευστοδυναμικής (Computational Fluid Dynamics – CFD), δίνοντας έμφαση στην κατανόηση της εφαρμογής των αρχών και των μεθόδων ανάλυσης της υπολογιστικής ρευστοδυναμικής σε πρακτικά προβλήματα μηχανικού. Στο πλαίσιο του μαθήματος πέρα από την κατανόηση της θεωρίας οι φοιτητές θα κληθούν να ασκηθούν σε πραγματικές εφαρμογές και παραδείγματα με χρήση τόσο ανοιχτών όσο και εμπορικών υπολογιστικών κωδίκων. Το περιεχόμενο του μαθήματος συνοψίζεται:

1. Διέπουσες εξισώσεις κίνησης ρευστού και μετάδοσης θερμότητας. Αρχές διατήρησης μάζας, ορμής

και ενέργειας: εξισώσεις μεταφοράς. Καταστατικές εξισώσεις. Διαφορική και ολοκληρωτική μορφή εξισώσεων μεταφοράς. Κατηγοριοποίηση των προβλημάτων μεταφοράς (υπερβολικά, παραβολικά, ελλειπτικά, μικτά). Οριακές συνθήκες. Απλοποιημένα μαθηματικά μοντέλα (ατριβής ροή, ασυμπίεστη ροή, ροή Stokes, οριακό στρώμα).

2. **Εισαγωγή στην υπολογιστική ρευστοδυναμική.** Προσεγγίσεις σε ρευστοδυναμικά προβλήματα. Τι είναι η υπολογιστική ρευστοδυναμική. Εφαρμογές και περιορισμοί των αριθμητικών μεθόδων. Κύρια στοιχεία μιας υπολογιστικής μεθόδου (μαθηματικό μοντέλο, μέθοδος διακριτοποίησης, σύστημα συντεταγμένων, αριθμητικό πλέγμα, προσέγγιση παραγώγων, μέθοδος επίλυσης, κριτήρια σύγκλισης). Ιδιότητες αριθμητικών μεθόδων (συνέπεια, ευστάθεια, σύγκλιση, διατήρηση, ακρίβεια). Μέθοδοι διακριτοποίησης (πεπερασμένες διαφορές, όγκοι και στοιχεία).

3. **Η τύρβη και η μοντελοποίησή της.** Μετάβαση από της στρωτή στην τυρβώδη ροή. Εξισώσεις Reynolds-Averaged Navier-Stokes (RANS) και κλασικά μοντέλα τύρβης (k-ε, k-ω, SST, κλπ). Προσομοίωση μεγάλων δινών (Large Eddy Simulation-LES). Άμεση επίλυση των εξισώσεων (Direct Numerical Simulation-DNS).

4. **Υπολογιστικά πλέγματα.** Συστήματα συντεταγμένων και σχετικοί μετασχηματισμοί συντεταγμένων. Τύποι πλεγμάτων και κελιών: δισδιάστατα και τρισδιάστατα πλέγματα, δομημένα, μη-δομημένα και υβριδικά πλέγματα. Μέθοδοι παραγωγής πλεγμάτων. Ποιότητα πλέγματος.

5. **Μέθοδος πεπερασμένων διαφορών.** Καλώς τοποθετημένο πρόβλημα. Αριθμητική επίλυση εξισώσεων μεταφοράς. Προσέγγιση παραγώγων και ακρίβεια προσέγγισης. Εκφράσεις πεπερασμένων διαφορών. Η εξίσωση καθαρής συναγωγής. Διακριτοποίηση εξισώσεων μερικών παραγώγων. Τάξη ακρίβειας σχήματος διακριτοποίησης. Εξίσωση Καθαρής Διάχυσης. Συνέπεια, ευστάθεια και σύγκλιση αριθμητικού σχήματος. Ρητά σχήματα. Πεπλεγμένα αριθμητικά σχήματα. Οριακές συνθήκες. Το αλγεβρικό σύστημα εξισώσεων.

6. **Μέθοδος πεπερασμένων όγκων.** Ολοκληρωτική μορφή εξισώσεων μεταφοράς. Υπολογιστικό πλέγμα και όγκοι ελέγχου. Διακριτοποίηση εξισώσεων μεταφοράς. Όροι συναγωγής και διάχυσης. Σχήμα Ανάντη Διαφορών. Ψευδής διάχυση. Σχήμα Κεντρικών Διαφορών. Υβριδικό σχήμα. Αλγόριθμοι SIMPLE και SIMPLER. Οριακές συνθήκες. Συναρτήσεις τοιχώματος. Το αλγεβρικό σύστημα εξισώσεων.

7. **Επίλυση συστημάτων γραμμικών αλγεβρικών εξισώσεων.** Άμεσες Μέθοδοι: Απαλοιφή Gauss, παραγοντοποίηση LU, αλγόριθμος Thomas. Επαναληπτικές Μέθοδοι: Μέθοδοι επίλυσης «Σημείο προς Σημείο». Μέθοδος Jacobi. Μέθοδος Gauss-Seidel. Μέθοδος της Διαδοχικής Υπερχαλάρωσης. Μέθοδος «Γραμμή προς Γραμμή»: επίλυση και επιτάχυνση μεθόδου. Μέθοδος SIP.

8. **Υπολογιστική προσομοίωση πραγματικών προβλημάτων:** Ροή σε αγωγούς. Μετάδοση θερμότητας μεταξύ ρευστού και στερεού. Περιστρεφόμενα συστήματα αναφοράς: υποηχητική ροή σε συμπίεστη. Υπερηχητική ροή σε πτερύγια. Μεταφορά αέριων ρύπων.

ΔΙΔΑΚΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΜΑΘΗΣΙΑΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ - ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

<p>ΤΡΟΠΟΣ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ <i>Πρόσωπο με πρόσωπο, Εξ αποστάσεως εκπαίδευση κ.λπ.</i></p>	<p>Στην τάξη - Πρόσωπο με πρόσωπο</p>
<p>ΧΡΗΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ <i>Χρήση Τ.Π.Ε. στη Διδασκαλία, στην Εργαστηριακή Εκπαίδευση, στην Επικοινωνία με τους φοιτητές</i></p>	<p>Δυναμικές διαφάνειες powerpoint Χρήση εξειδικευμένων Λογισμικών Υπολογιστικής Ρευστοδυναμικής Υποστήριξη Μαθησιακής διαδικασίας μέσω της ηλεκτρονικής πλατφόρμας e-class Υποστήριξη Μαθησιακής διαδικασίας μέσω της ηλεκτρονικής πλατφόρμας σύγχρονης εκπαίδευσης Zoom</p>

<p>ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ Περιγράφονται αναλυτικά ο τρόπος και μέθοδοι διδασκαλίας. Διαλέξεις, Σεμινάρια, Εργαστηριακή Άσκηση, Άσκηση Πεδίου, Μελέτη & ανάλυση βιβλιογραφίας, Φροντιστήριο, Πρακτική (Τοποθέτηση), Κλινική Άσκηση, Καλλιτεχνικό Εργαστήριο, Διαδραστική διδασκαλία, Εκπαιδευτικές επισκέψεις, Εκπόνηση μελέτης (project), Συγγραφή εργασίας / εργασιών, Καλλιτεχνική δημιουργία, κ.λπ. Αναγράφονται οι ώρες μελέτης του φοιτητή για κάθε μαθησιακή δραστηριότητα καθώς και οι ώρες μη καθοδηγούμενης μελέτης ώστε ο συνολικός φόρτος εργασίας σε επίπεδο εξαμήνου να αντιστοιχεί στα standards του ECTS</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="669 170 959 205">Δραστηριότητα</th> <th data-bbox="959 170 1401 205">Φόρτος Εργασίας Εξαμήνου</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="669 205 959 237">Διαλέξεις</td> <td data-bbox="959 205 1401 237">33</td> </tr> <tr> <td data-bbox="669 237 959 302">Εργαστηριακές ασκήσεις</td> <td data-bbox="959 237 1401 302">9</td> </tr> <tr> <td data-bbox="669 302 959 336">Ασκήσεις Πράξης</td> <td data-bbox="959 302 1401 336">10</td> </tr> <tr> <td data-bbox="669 336 959 369">Ατομική Εργασία</td> <td data-bbox="959 336 1401 369">50</td> </tr> <tr> <td data-bbox="669 369 959 403">Αυτοτελής Μελέτη</td> <td data-bbox="959 369 1401 403">48</td> </tr> <tr> <td data-bbox="669 403 959 533">Σύνολο Μαθήματος (25 ώρες φόρτου εργασίας ανά πιστωτική μονάδα)</td> <td data-bbox="959 403 1401 533">150</td> </tr> </tbody> </table>		Δραστηριότητα	Φόρτος Εργασίας Εξαμήνου	Διαλέξεις	33	Εργαστηριακές ασκήσεις	9	Ασκήσεις Πράξης	10	Ατομική Εργασία	50	Αυτοτελής Μελέτη	48	Σύνολο Μαθήματος (25 ώρες φόρτου εργασίας ανά πιστωτική μονάδα)	150
Δραστηριότητα	Φόρτος Εργασίας Εξαμήνου															
Διαλέξεις	33															
Εργαστηριακές ασκήσεις	9															
Ασκήσεις Πράξης	10															
Ατομική Εργασία	50															
Αυτοτελής Μελέτη	48															
Σύνολο Μαθήματος (25 ώρες φόρτου εργασίας ανά πιστωτική μονάδα)	150															
<p>ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΦΟΙΤΗΤΩΝ Περιγραφή της διαδικασίας αξιολόγησης Γλώσσα Αξιολόγησης, Μέθοδοι αξιολόγησης, Διαμορφωτική ή Συμπερασματική, Δοκιμασία Πολλαπλής Επιλογής, Ερωτήσεις Σύντομης Απάντησης, Ερωτήσεις Ανάπτυξης Δοκιμίων, Επίλυση Προβλημάτων, Γραπτή Εργασία, Έκθεση / Αναφορά, Προφορική Εξέταση, Δημόσια Παρουσίαση, Εργαστηριακή Εργασία, Κλινική Εξέταση Ασθενούς, Καλλιτεχνική Ερμηνεία, Άλλη / Άλλες Αναφέρονται ρητά προσδιορισμένα κριτήρια αξιολόγησης και εάν και που είναι προσβάσιμα από τους φοιτητές.</p>	<p>Γλώσσα Αξιολόγησης Ελληνικά και Αγγλικά. Κατ' οίκον εργασίες (45% σύνολο) και Γραπτή-Υπολογιστική Εξέταση (55%).</p>															

ΣΥΝΙΣΤΩΜΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

<p>[1] An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method, 2nd ed., Versteeg H. K., Malalasekera W., Pearson Education, 2007. [2] Computational Fluid Dynamics: An Introduction, 3rd ed., Wendt J. F., Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009. [3] Computational Methods for Fluid Dynamics, Ferziger J. H., Peric M., Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2002. [4] Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, Patankar S., CRC Press, 1980.</p>
--

ΔΙΔΑΣΚΟΝΤΕΣ

<p>[1] Δρ. Τουρλιδάκης Αντώνιος (Καθηγητής TMM-ΠΔΜ) – ΣΥΝΤΟΝΙΣΤΗΣ [2] Δρ. Βαφειάδης Κυριάκος (Ακαδημαϊκός Υπότροφος TMM-ΠΔΜ)</p>
