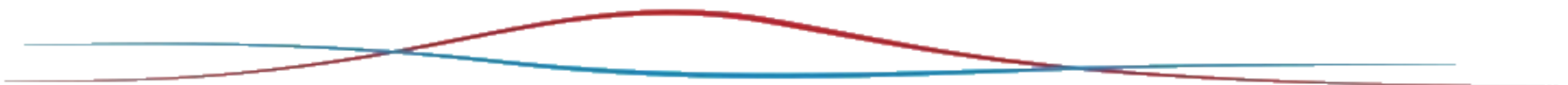




Εισαγωγή στην Υπολογιστική Ρευστομηχανική - Διάρθρωση μαθήματος

*Μάθημα: Υπολογιστική Ρευστομηχανική
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΛΜΕΠΑ*

Γεώργιος Μιχ. Σταυρακάκης
Επίκουρος Καθηγητής





Τι είναι η Υπολογιστική Ρευστομηχανική

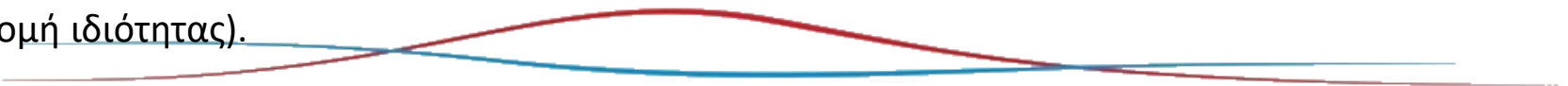
Η Υπολογιστική Ρευστοδυναμική (Computational Fluid Dynamics – CFD) είναι ο κλάδος των υπολογιστικών μαθηματικών που εστιάζει στην μοντελοποίηση φαινομένων μεταφοράς ρευστών μέσω της διακριτοποίησης των διαφορικών εξισώσεων διατήρησης (μάζα, ορμή, ενέργεια, κτλ.) και της επαναληπτικής επίλυσης του προκύπτοντος αλγεβρικού συστήματος εξισώσεων με χρήση του ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Με απλά λόγια...

Είναι το εργαλείο για να μπορούμε να λύνουμε προβλήματα ροής ρευστών που δεν γίνεται (ή που είναι πολύ χρονοβόρο και κοστοβόρο) να επιλυθούν αναλυτικά (με το χέρι). Για παράδειγμα, έντονα τρισδιάστατες τυρβώδεις ή/και ανωστικές ροές (με πηγή θερμότητας) ή ροές όπου λαμβάνουν χώρα πολύπλοκα φυσικά φαινόμενα (π.χ. χημική αντίδραση, αλληλεπίδραση ρευστού-στερού, κτλ.), είναι δύσκολο να επιλυθούν αναλυτικά.

ΕΞΑΡΤΑΤΑΙ βέβαια τι εννοούμε με τον όρο ΕΠΙΛΥΣΗ!!!

Ως επίλυση της ροής νοείται ο υπολογισμός μίας μεταφερόμενης ποσότητας σε κάθε χρονική στιγμή παντού στο πεδίο ροής. Να μπορούμε δηλαδή να υπολογίζουμε την τιμή των ιδιοτήτων της ροής στα διάφορα σημεία του πεδίου ροής (χωρική κατανομή ιδιότητας) σε κάθε χρονική στιγμή (χρονική κατανομή ιδιότητας).





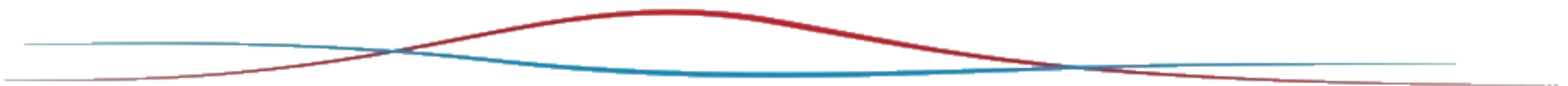
Τι είναι η Υπολογιστική Ρευστομηχανική

Δηλαδή, η επίλυση του προβλήματος μας δίνει την ποσοτική πρόβλεψη αυτής. Ποσοτική πρόβλεψη νοείται ως η γνώση του πεδίου τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής ή της μεταφερόμενης ποσότητας, που στην περίπτωση των ρευστών είναι κάποια ιδιότητα της ροής ή του ρευστού.

Για παράδειγμα, πρόβλεψη σε μία διεργασία καύσης σημαίνει υπολογισμό των τιμών της ταχύτητας στο θάλαμο καύσης, της πίεσης, της θερμοκρασίας, των συγκεντρώσεων των χημικών συστατικών (προϊόντων της καύσης), των διατμητικών τάσεων και των θερμικών ροών στα τοιχώματα του θαλάμου.

Η τεχνική CFD μας δίνει τη δυνατότητα να σχεδιάσουμε κατά τον βέλτιστο τρόπο διεργασίες ή συσκευές αφού μπορεί (εφόσον εφαρμόζεται σωστά) να δώσει απάντηση στα θεμελιώδη ερωτήματα του βέλτιστου σχεδιασμού:

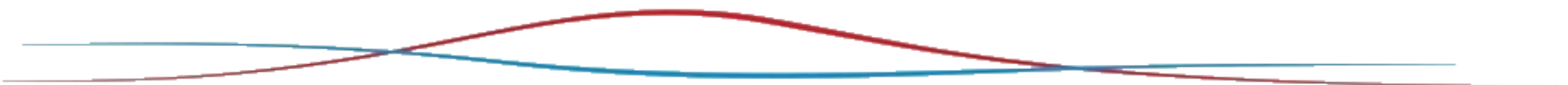
- Τι θα γίνει αν? (Σχεδιασμός – Παραμετρική ανάλυση εναλλακτικών σχεδιαστικών λύσεων).
- Για ποιες παραμέτρους? (Αριστοποίηση συνθηκών λειτουργίας).
- Με ποιο κόστος ή κίνδυνο? (Ασφαλής λειτουργία).



Τι είναι η Υπολογιστική Ρευστομηχανική

Η αριστοποίηση του σχεδιασμού προϋποθέτει πολλές δοκιμές των παραμέτρων που επηρεάζουν τις διεργασίες ροής και την ποσοτική πρόβλεψη των επιπτώσεων. Για την ποσοτική πρόβλεψη έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι:

- Πρόβλεψη βασισμένη στον έλεγχο-σύγκριση διεργασιών και συσκευών σε πραγματική κλίμακα (Αρκετά κοστοβόρα αφού προϋποθέτει εξοπλισμό διάταξης, εξοπλισμό μέτρησης-παρακολούθησης, προσωπικό, κτλ.)
- Πρόβλεψη βασισμένη σε μοντέλα διεργασιών και συσκευών υπό κλίμακα – διαστατική ανάλυση (προϋπόθεση εξοπλισμού).
- Πρόβλεψη βασισμένη στην επίλυση μοντέλων δικτύου (network models). (Αρκετά δύσκολη αναλυτική επίλυση. Όχι τόσο λεπτομερής λύση όταν το πρόβλημα επιλύεται στον Η/Υ).
- Πρόβλεψη μέσω της αριθμητικής επίλυσης των διακριτοποιημένων διαφορικών εξισώσεων διατήρησης με χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή, π.χ. CFD. Οι αριθμητικές μέθοδοι, με χρήση Η/Υ, επιτρέπουν την επίλυση (ή καλύτερα, την προσέγγιση) των διαφορικών εξισώσεων και έτσι προσφέρουν μία σύγχρονη πρακτική δυνατότητα στη μελέτη και το σχεδιασμό περίπλοκων φαινομένων και διεργασιών.

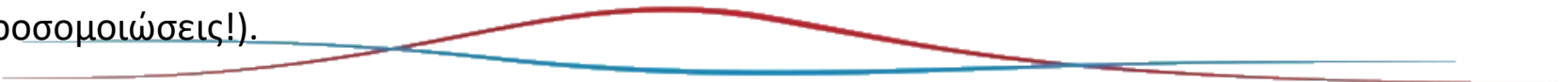




Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα της τεχνικής CFD

Πλεονεκτήματα (όταν εφαρμόζεται σωστά):

- Επίλυση προβλημάτων που είναι εξαιρετικά δύσκολο να επιλυθούν αναλυτικά.
- Παρέχουν συνολική εικόνα της ροής (κατανομή πίεσης, ταχύτητας, θερμοκρασίας, κτλ.) σε όλο το υπολογιστικό πεδίο.
- Δεν προϋποθέτει εξοπλισμό π.χ. εναλλακτικές πειραματικές διατάξεις για τον έλεγχο διάφορων παραμέτρων σχεδιασμού. Για παράδειγμα, ο βέλτιστος αεροδυναμικός σχεδιασμός ενός αγωνιστικού αυτοκινήτου θα σήμαινε την συνεχή ανακατασκευή μιας πειραματικής διάταξης για τους διάφορους συνδυασμούς σχεδιαστικών παραμέτρων (π.χ. σχήμα και κλίση πτερυγίου) και την μέτρηση της αεροδυναμικής συμπεριφοράς. Με την τεχνική CFD (ιδίως για το συγκεκριμένο πρόβλημα που είναι πλέον αρκετά καλά θεμελιωμένο) αρκεί η παραμετρική επίλυση και έλεγχος του πεδίου ροής και της αεροδυναμικής συμπεριφοράς στον Η/Υ για πάρα πολλούς συνδυασμούς των σχεδιαστικών παραμέτρων.
- Υπάρχουν πλέον πολλά λογισμικά CFD (κυρίως εμπορικά) τα οποία έχουν απλοποιήσει κατά πολύ την ανάπτυξη του μοντέλου ενός φυσικού προβλήματος ροής και έτσι έχουν μειώσει αρκετά την απαίτηση εξειδικευμένων γνώσεων. (Εδώ όμως ενέχεται ο κίνδυνος να γίνονται λάθος προσομοιώσεις!).

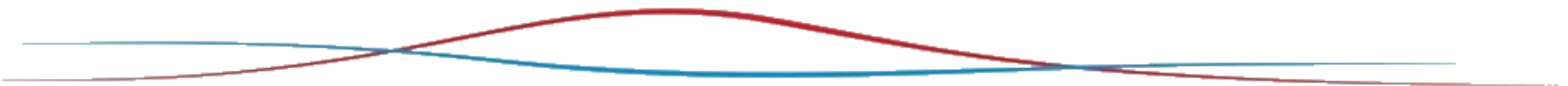




Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα της τεχνικής CFD

Μειονεκτήματα:

- Αυξημένες απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ στην περίπτωση μεγάλων και πολύπλοκων προβλημάτων με συνδυαστική επίδραση φυσικών φαινομένων.
- Κίνδυνοι άστοχης πρόβλεψης, συνεπώς αστοχίες σχεδιασμού, που πηγάζουν από άκριτη χρήση εμπορικά διαθέσιμων λογισμικών (Επιπόλαιος Χρήστης) π.χ. από λάθος επιβολή οριακών συνθηκών, από λανθασμένη χωρική και χρονική διακριτοποίηση, κ.α.
- Σχετικά μεγάλη απαίτηση θεωρητικής γνώσης (τα μαθηματικά πίσω από τα φυσικά φαινόμενα) φαινομένων μεταφοράς ρευστών => Δυσκολία εφαρμογής για καθημερινούς πρακτικούς σκοπούς σχεδιασμού.
- Πολλαπλότητα λύσεων στις περιοχές μετάβασης από την στρωτή στην τυβώδη ροή (π.χ. κοντά σε στερεά όρια), λόγω άστοχης σύνδεσης των οριακών συνθηκών με τον τύπο της διαφορικής εξίσωσης.

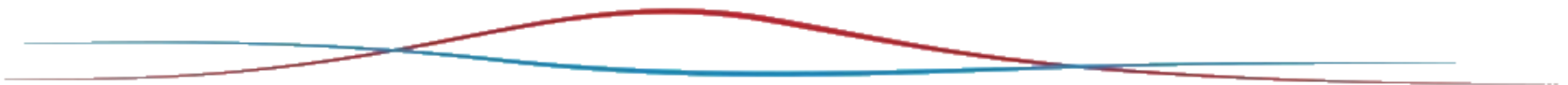




Πρακτικές εφαρμογές

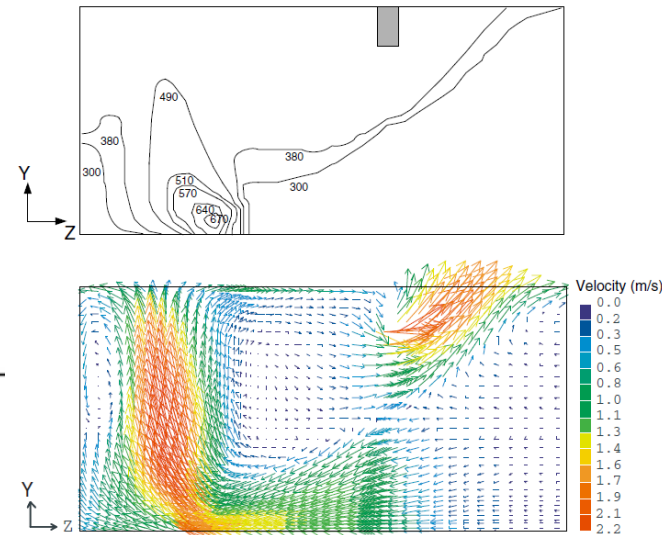
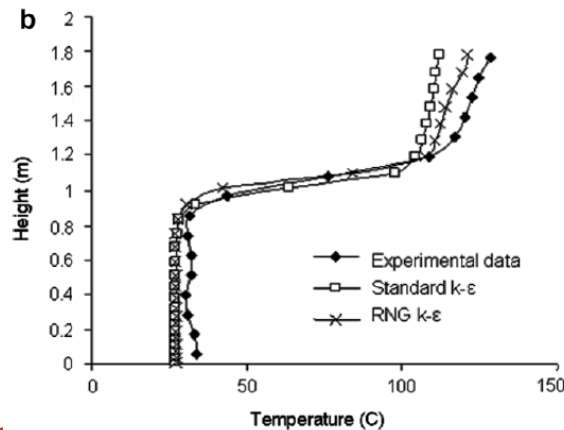
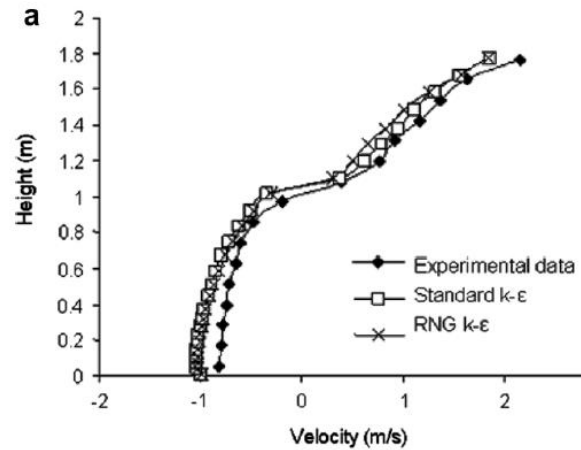
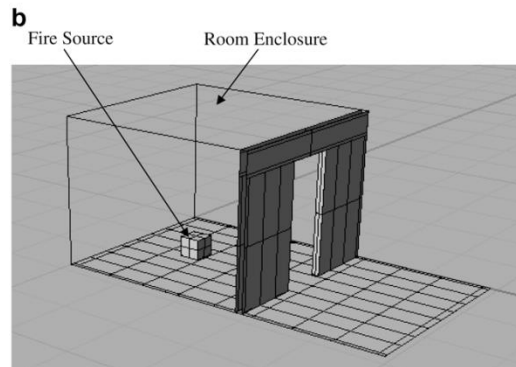
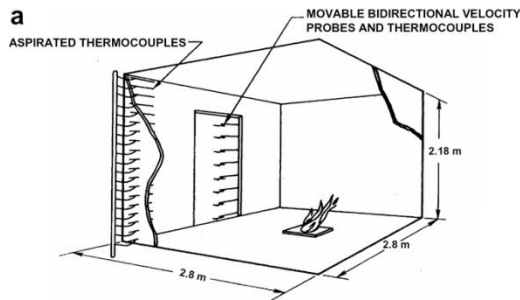
Σε όλο το φάσμα σχεδιασμού διεργασιών με ροή ρευστών. Ενδεικτικά πεδία εφαρμογής:

- Αεροδυναμική αεροπλάνων και οχημάτων.
- Υδροδυναμική πλοίων.
- Σχεδιασμός μηχανών εσωτερικής καύσης.
- Σχεδιασμός στροβιλομηχανών.
- Ψύξη εξοπλισμού μικροκυκλωμάτων.
- Χημικές διεργασίες (με ανάμειξη, χημική αντίδραση, κατεργασίες πολυμερών, κτλ.)
- Αστικός και κτιριακός σχεδιασμός π.χ. σχεδιασμός για την εξομάλυνση της αστικής θερμικής νησίδας, βέλτιστος αερισμός και κλιματισμός κτιρίων (επόπτευση συνθηκών θερμικής άνεσης).
- Θαλάσσια μηχανική (φορτία σε παράκτιες υποδομές, διάβρωση παράκτιου μετώπου).
- Υδρολογία και ωκεανογραφία (π.χ. εξάπλωση πετρελαιοκηλίδας).
- Περιβαλλοντική μηχανική π.χ. διασπορά ρύπων στην ατμόσφαιρα.
- Μετεωρολογία.
- Βιοϊατρική (π.χ. ροή αίματος σε φλέβες και αρτηρίες).



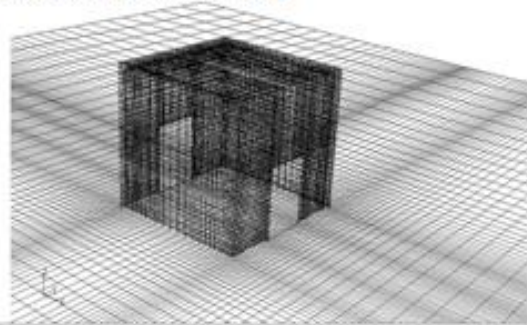
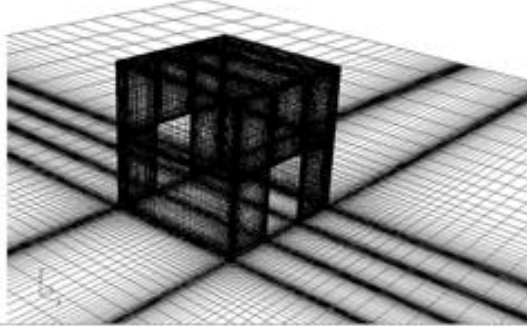
Πρακτικές εφαρμογές

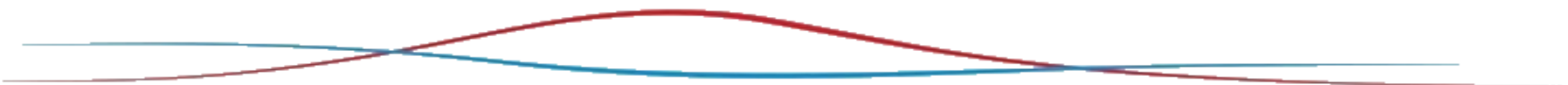
Μελέτη επικίνδυνων περιστατικών (πυρκαγιά σε κτίρια)



Πρακτικές εφαρμογές

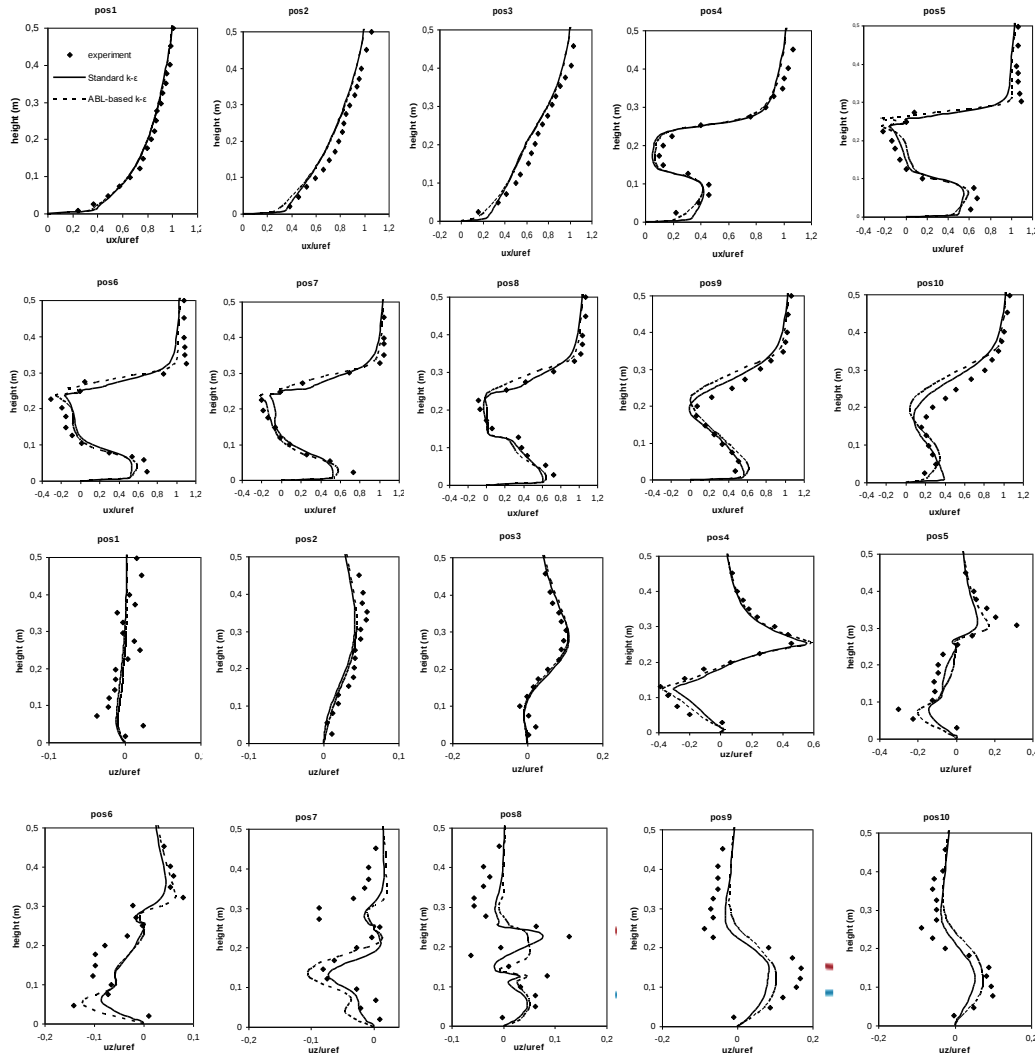
Ανάπτυξη μοντέλου φυσικού αερισμού κτιρίου (κλίμακα αεροσήραγγας)

Μοντέλο τύρβης	Χαρακτηριστικά	Σχηματική απεικόνιση
Standard k-ε, RNG k-ε, Realizable k-ε, Reynolds Stress Model, ABL-based Standard k-ε	Επίλυση σε ολόκληρο το πεδίο, 476,536 κελιά, $11.5 < y^+ < 200$, Συναρτήσεις τοίχου ισορροπίας.	
Two-layer Standard k-ε	Επίλυση στο μισό πεδίο, 1,863,210 κελιά, $y^+ < 5$, Συναρτήσεις τοίχου Kader, 1,863,210 κελιά.	



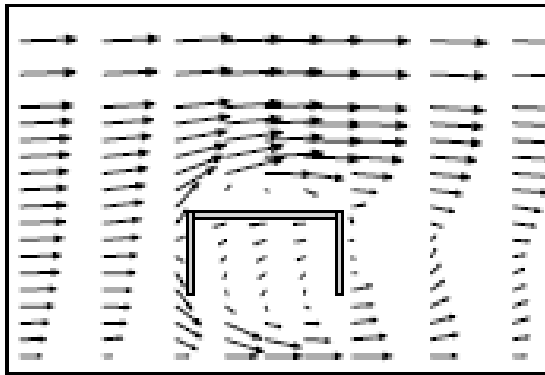
Πρακτικές εφαρμογές

Ανάπτυξη μοντέλου φυσικού αερισμού κτιρίου (κλίμακα αεροσήραγγας)

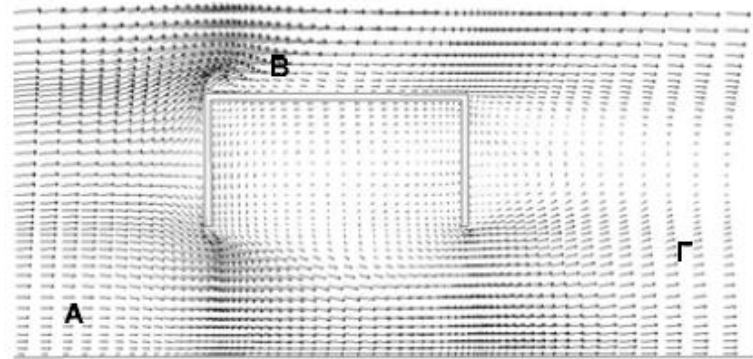


Πρακτικές εφαρμογές

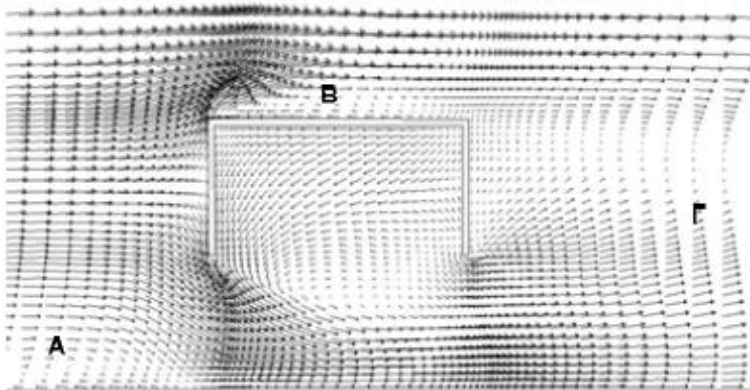
Ανάπτυξη μοντέλου φυσικού αερισμού κτιρίου (κλίμακα αεροσήραγγας)



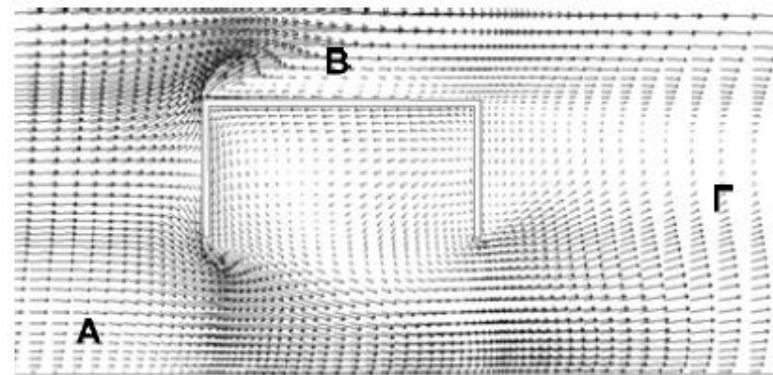
measurement



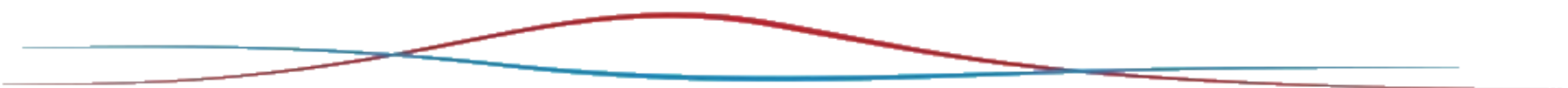
Standard $k-\epsilon$



RNG $k-\epsilon$

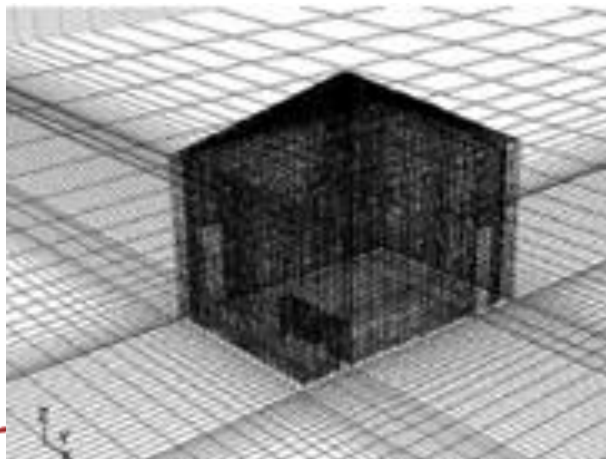
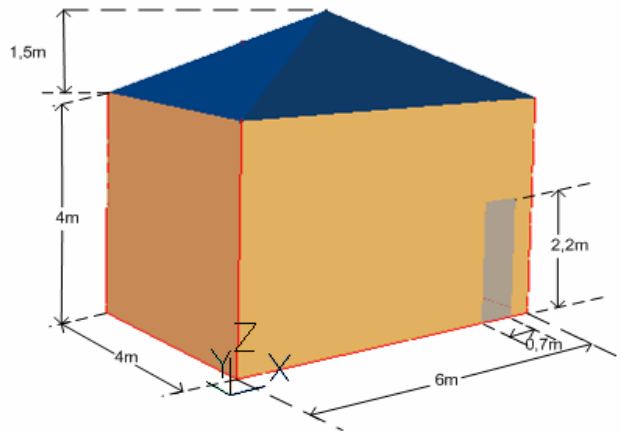


ABL-based Standard $k-\epsilon$



Πρακτικές εφαρμογές

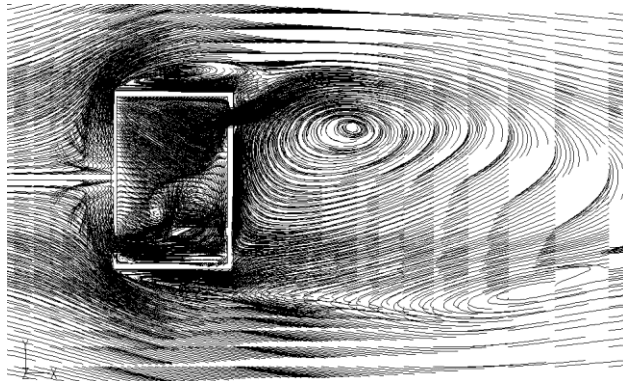
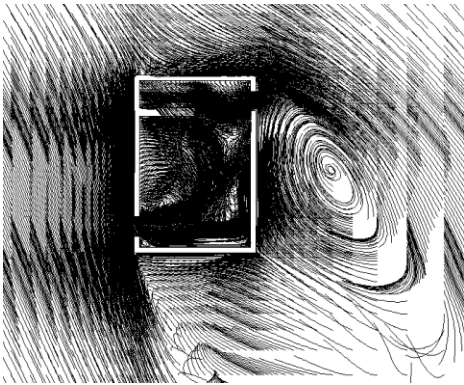
Ανάπτυξη μοντέλου φυσικού αερισμού κτιρίου (πραγματική κλίμακα)



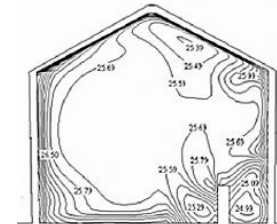
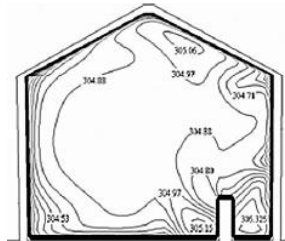
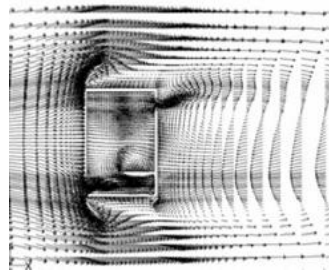
Πρακτικές εφαρμογές

Ανάπτυξη μοντέλου φυσικού αερισμού κτιρίου (πραγματική κλίμακα)

Ίχνη Πεταλοειδούς δίνης



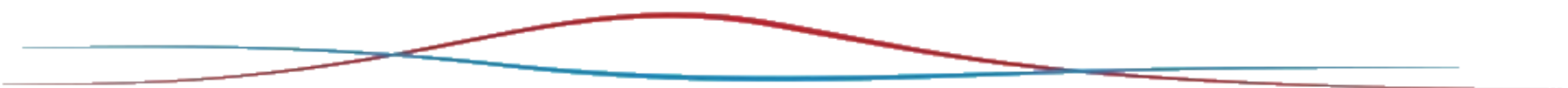
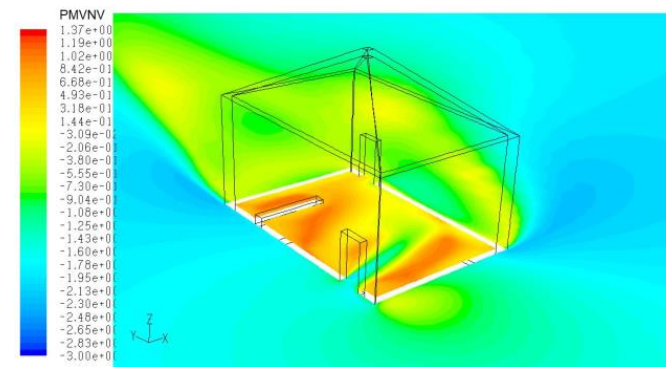
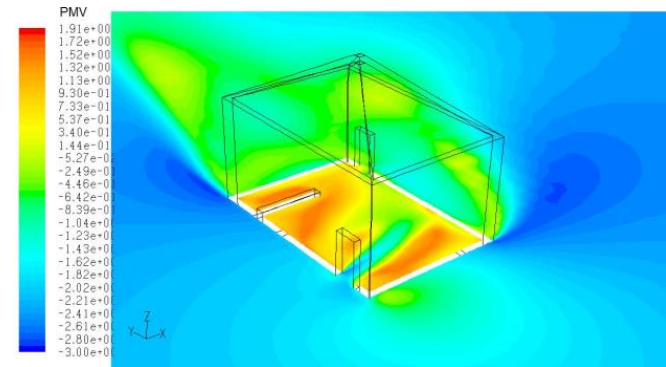
Κατανομές ιδιοτήτων
ροής



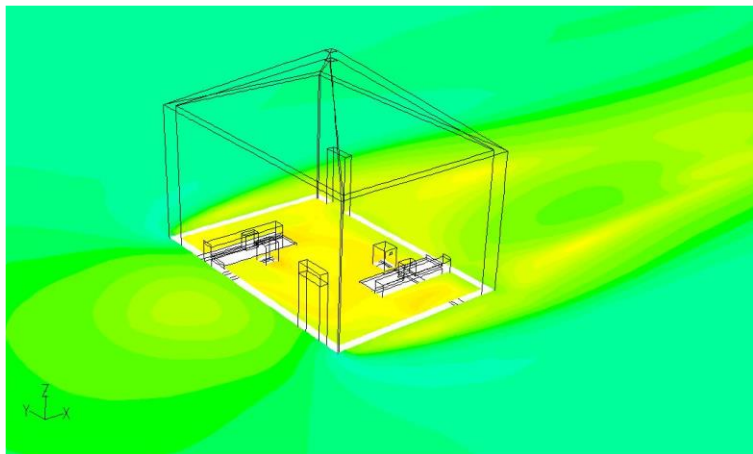
Ενσωμάτωση μοντέλου
θερμικής άνεσης
(παραλλαγών ειδικά για
φυσικό αερισμό):

PMV, PMVe,
PMV(SET*), PPD, PD

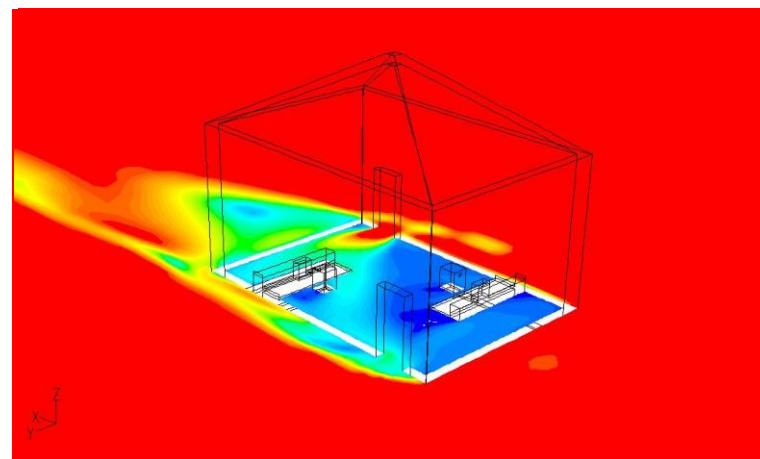
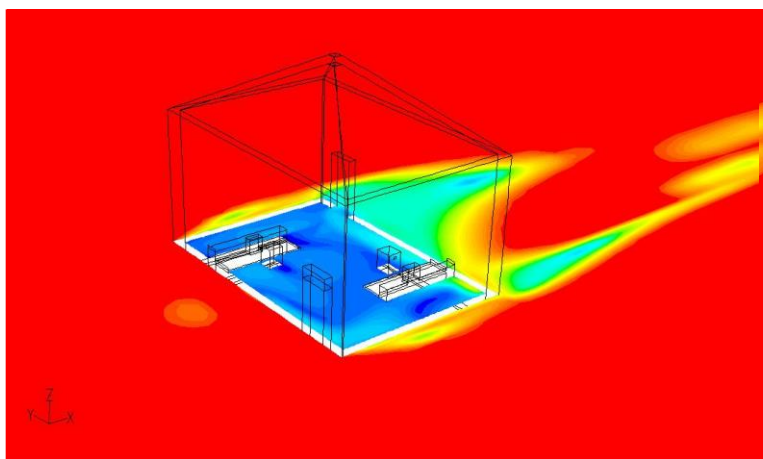
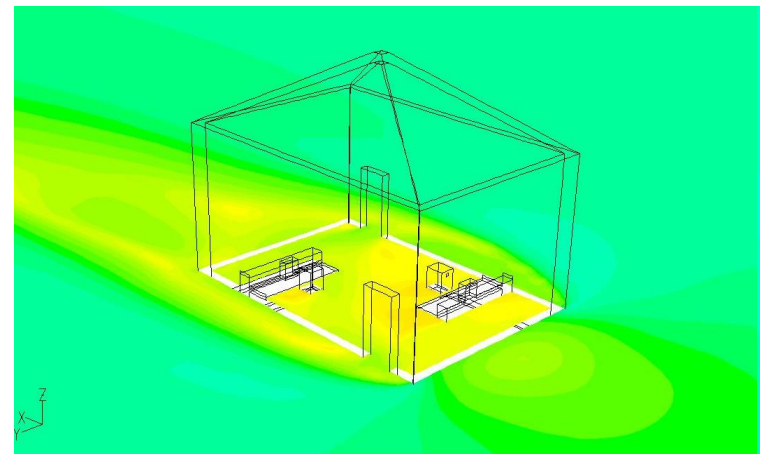
Bioclimatic maps



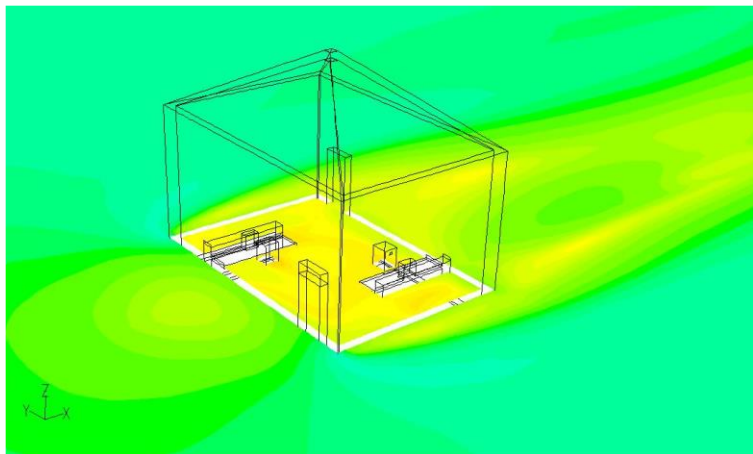
Ύψος ανοίγματος



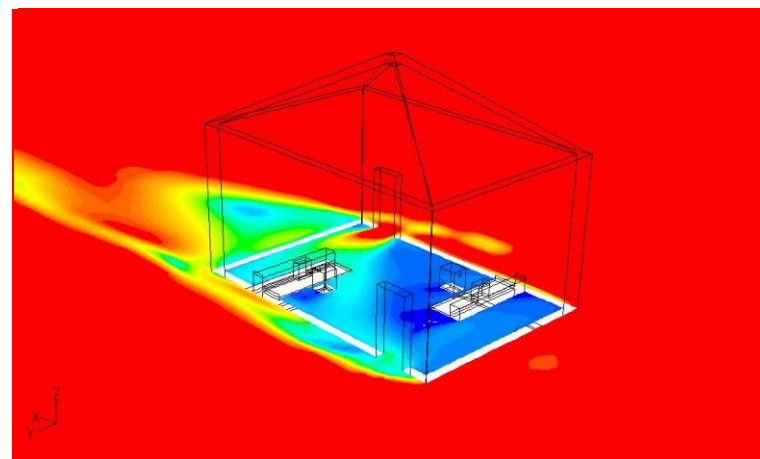
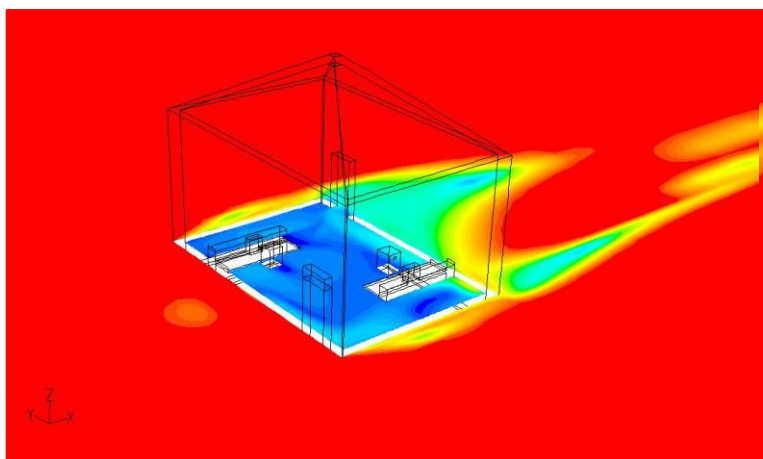
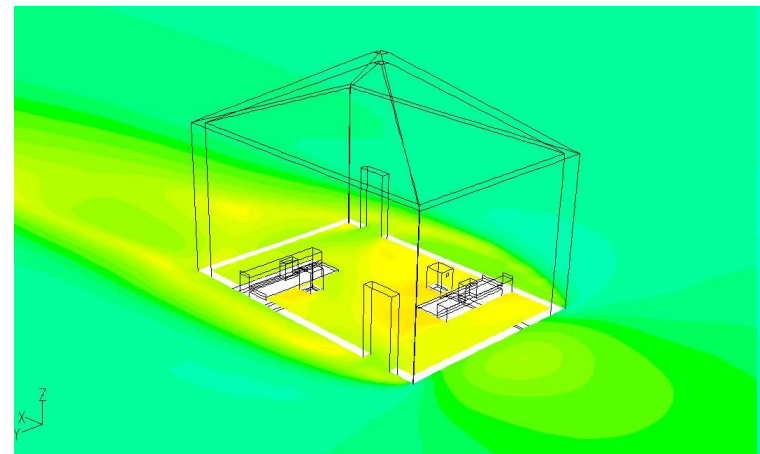
Προσανατολισμός



Ύψος ανοίγματος

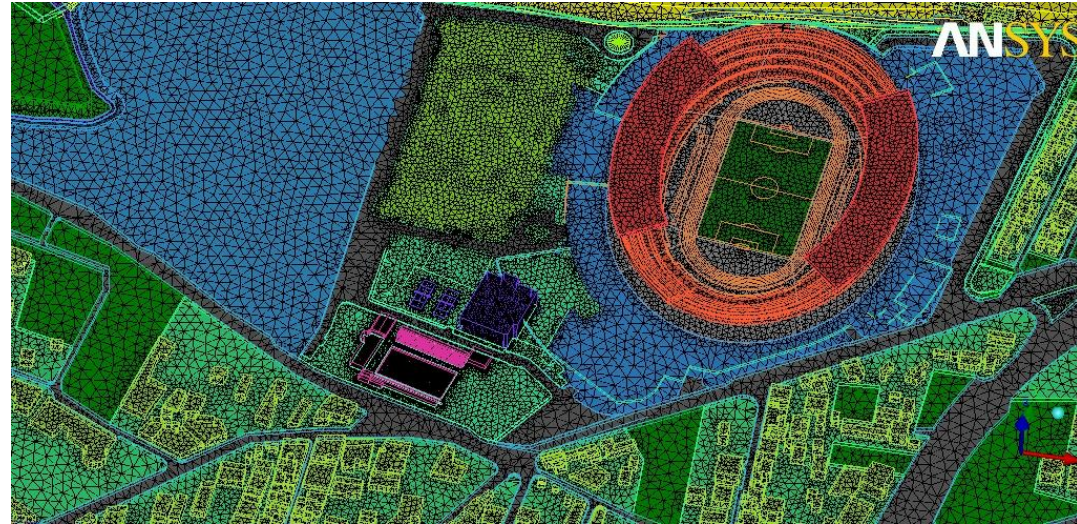


Προσανατολισμός



Πρακτικές εφαρμογές

Βιοκλιματικός σχεδιασμός – Αριθμητική τεκμηρίωση εξομάλυνσης αστικής θερμικής νησίδας



Στόχοι σχεδιασμού

1. Δημιουργία πεδίου περιπάτου, αθλοπαιδιών και αναψυχής
2. Συμβολή στη μείωση ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων
3. ΑΠΕ
4. Συμβολή στη μείωση της θερινής θερμοκρασίας στο εγγύς αστικό σύνολο
5. Θερμική άνεση επισκεπτών

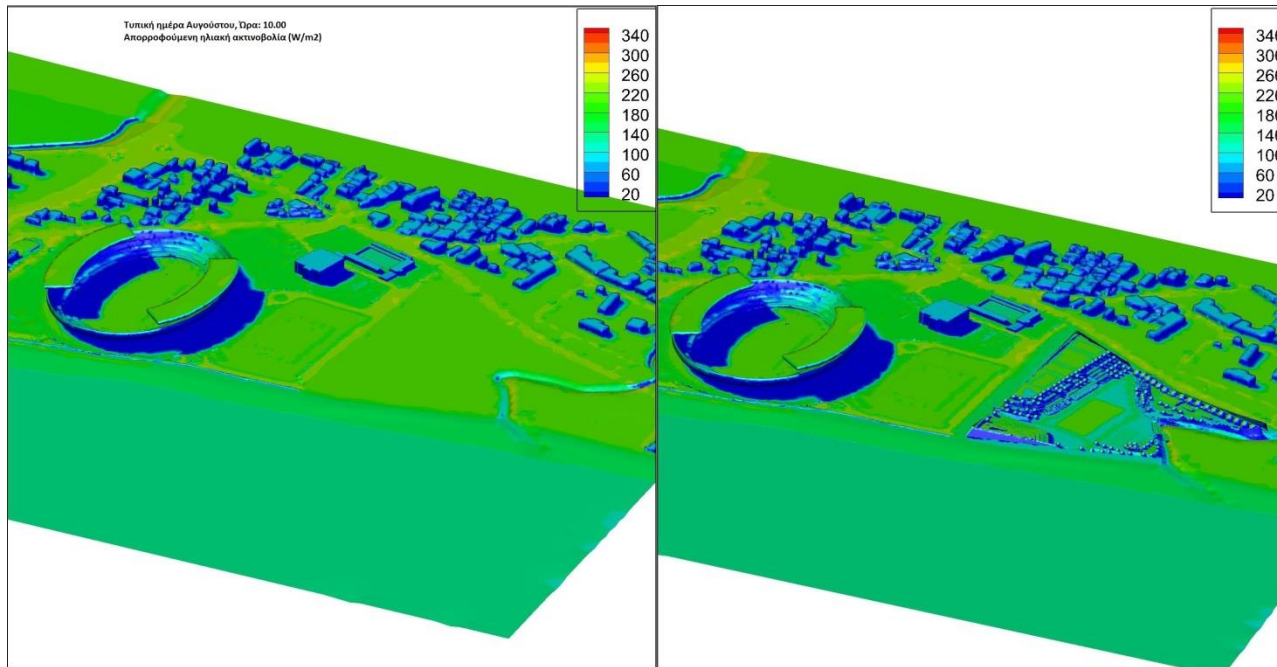


Πρακτικές εφαρμογές

Βιοκλιματικός σχεδιασμός – Αριθμητική τεκμηρίωση εξομάλυνσης αστικής θερμικής νησίδας

Αποτελέσματα – Στιγμιότυπα ηλιασμού (Απορροφούμενη ακτινοβολία, W/m^2)

10.00

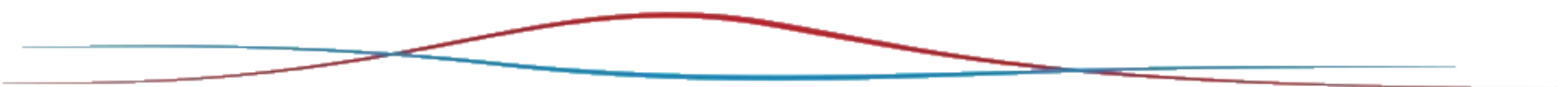
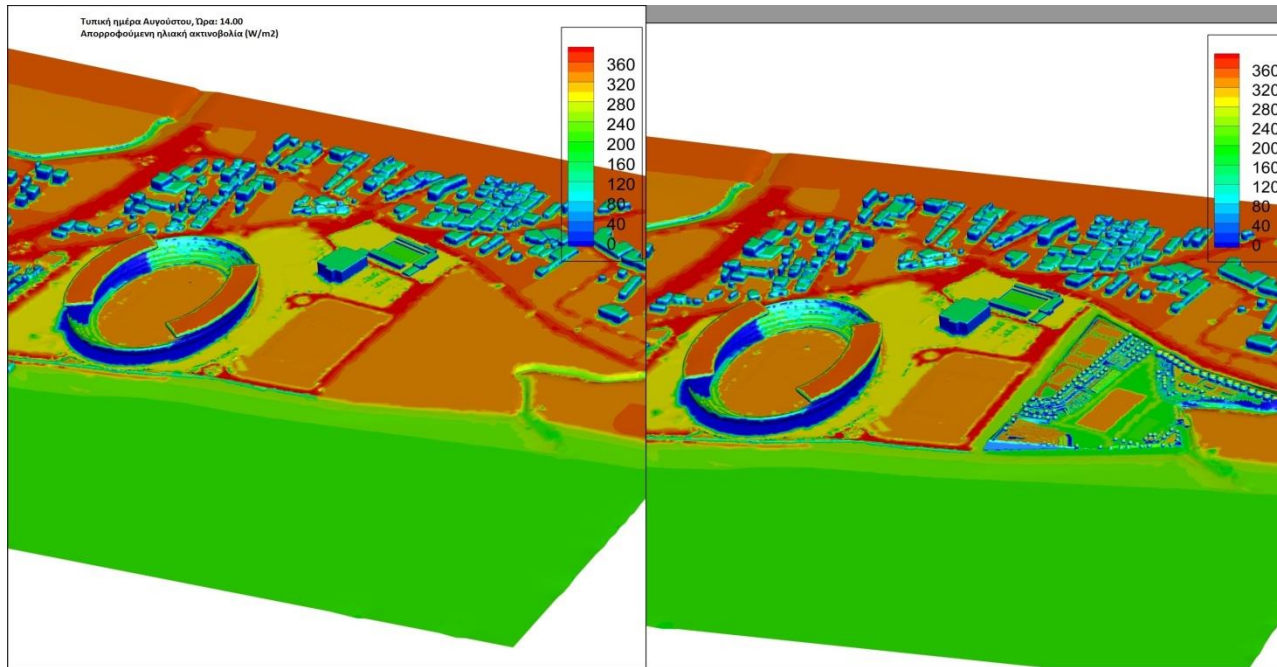


Πρακτικές εφαρμογές

Βιοκλιματικός σχεδιασμός – Αριθμητική τεκμηρίωση εξομάλυνσης αστικής θερμικής νησίδας

Αποτελέσματα – Στιγμιότυπα ηλιασμού (Απορροφούμενη ακτινοβολία, W/m^2)

14.00

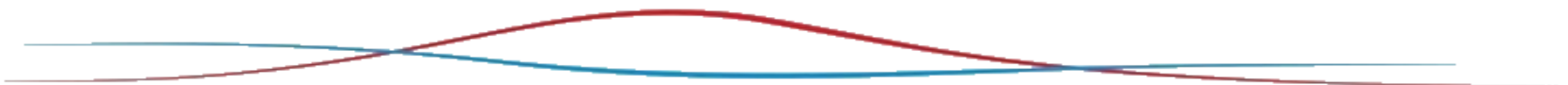
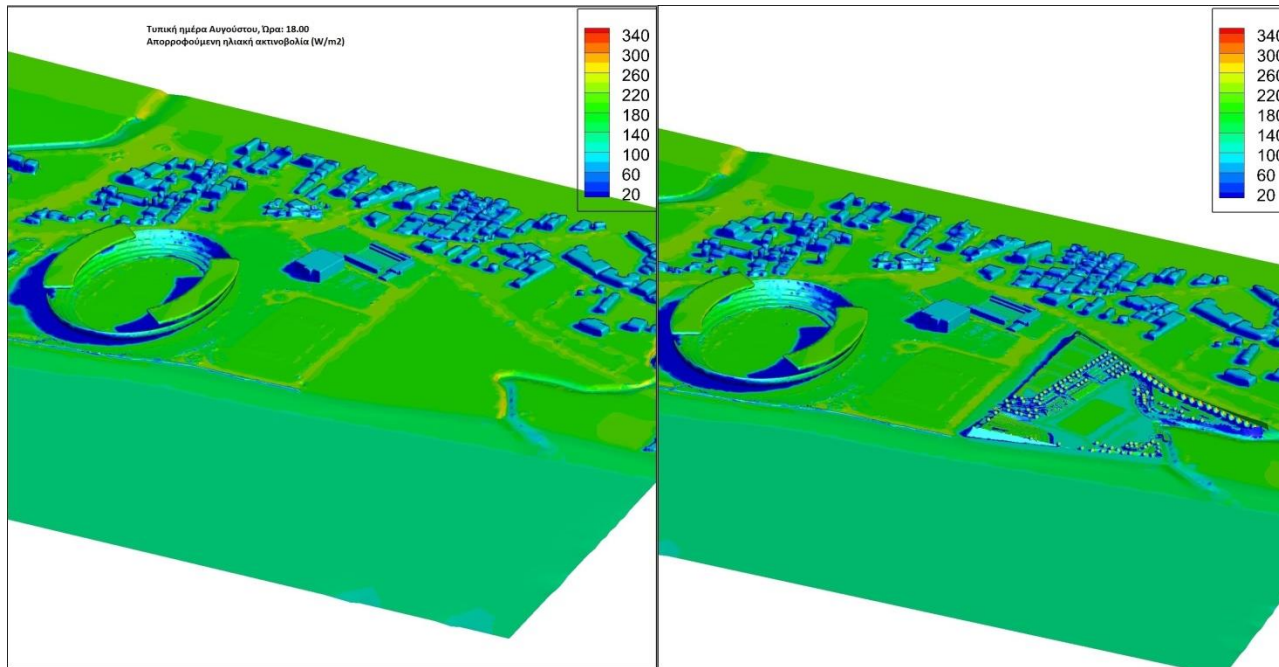


Πρακτικές εφαρμογές

Βιοκλιματικός σχεδιασμός – Αριθμητική τεκμηρίωση εξομάλυνσης αστικής θερμικής νησίδας

Αποτελέσματα – Στιγμιότυπα ηλιασμού (Απορροφούμενη ακτινοβολία, W/m^2)

18.00

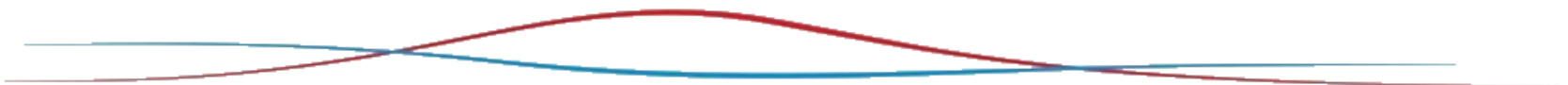
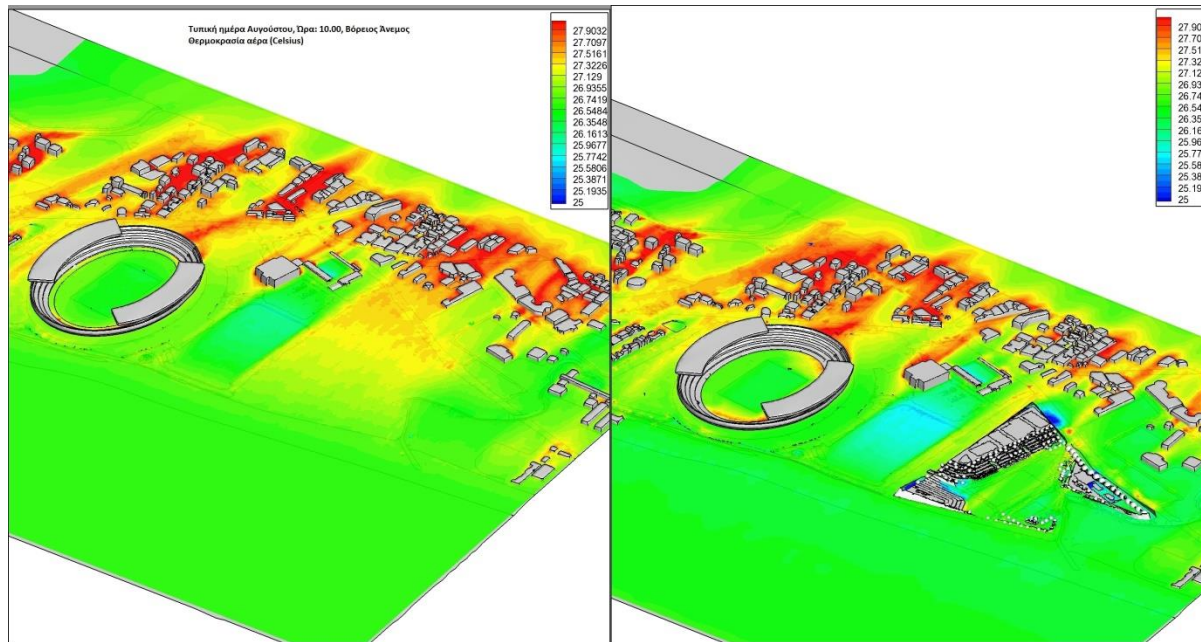


Πρακτικές εφαρμογές

Βιοκλιματικός σχεδιασμός – Αριθμητική τεκμηρίωση εξομάλυνσης αστικής θερμικής νησίδας

Αποτελέσματα – Θερμοκρασία αέρα (οC)

10.00

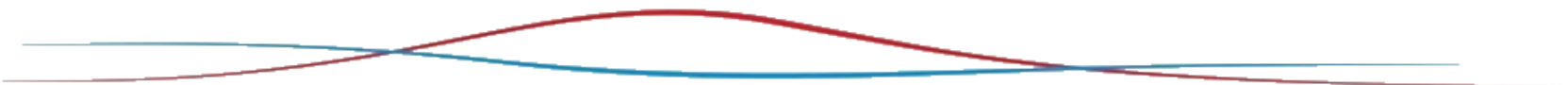
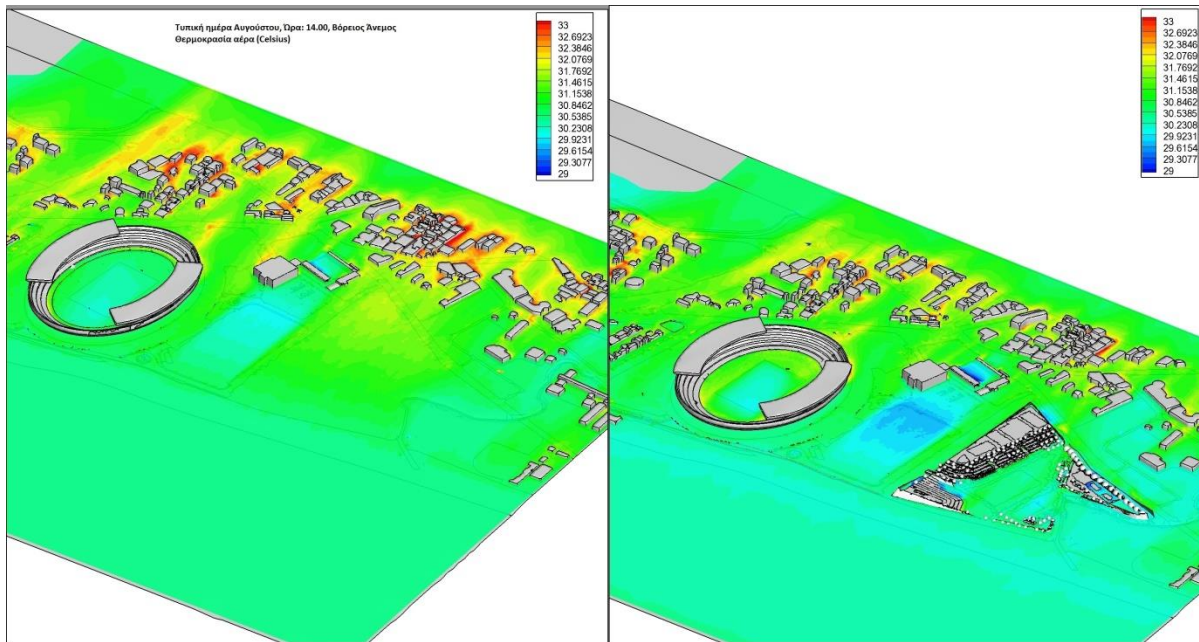


Πρακτικές εφαρμογές

Βιοκλιματικός σχεδιασμός – Αριθμητική τεκμηρίωση εξομάλυνσης αστικής θερμικής νησίδας

Αποτελέσματα – Θερμοκρασία αέρα (οC)

14.00

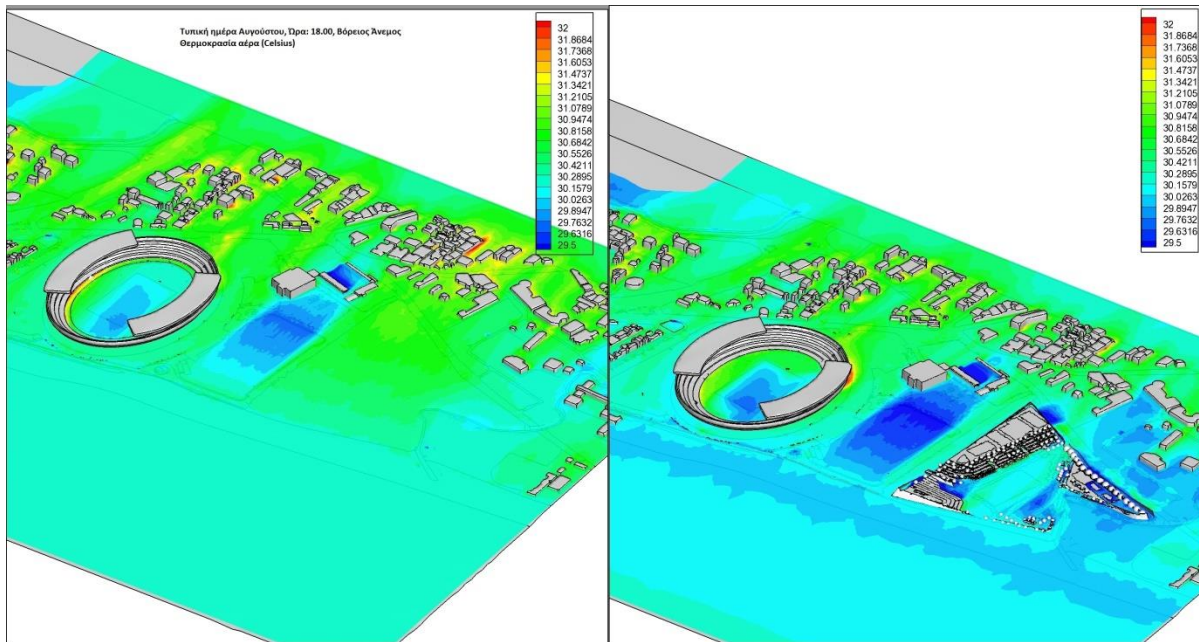


Πρακτικές εφαρμογές

Βιοκλιματικός σχεδιασμός – Αριθμητική τεκμηρίωση εξομάλυνσης αστικής θερμικής νησίδας

Αποτελέσματα – Θερμοκρασία αέρα (οC)

18.00

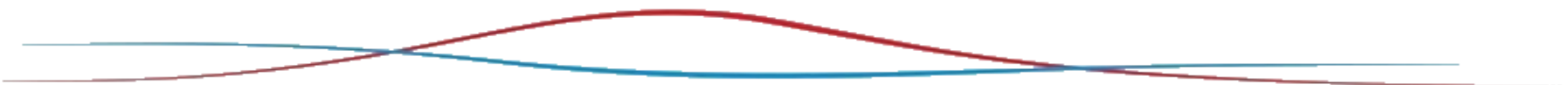
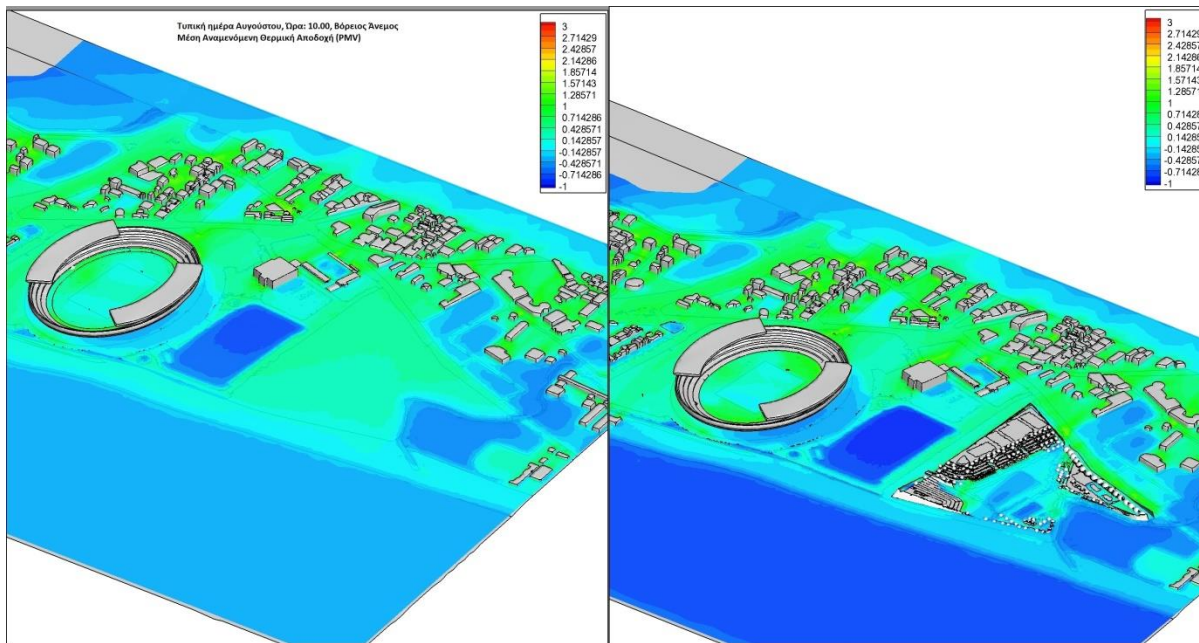


Πρακτικές εφαρμογές

Βιοκλιματικός σχεδιασμός – Αριθμητική τεκμηρίωση εξομάλυνσης αστικής θερμικής νησίδας

Αποτελέσματα – Θερμική άνεση (PMV)

10.00

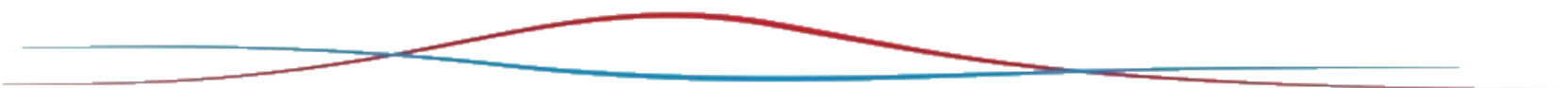
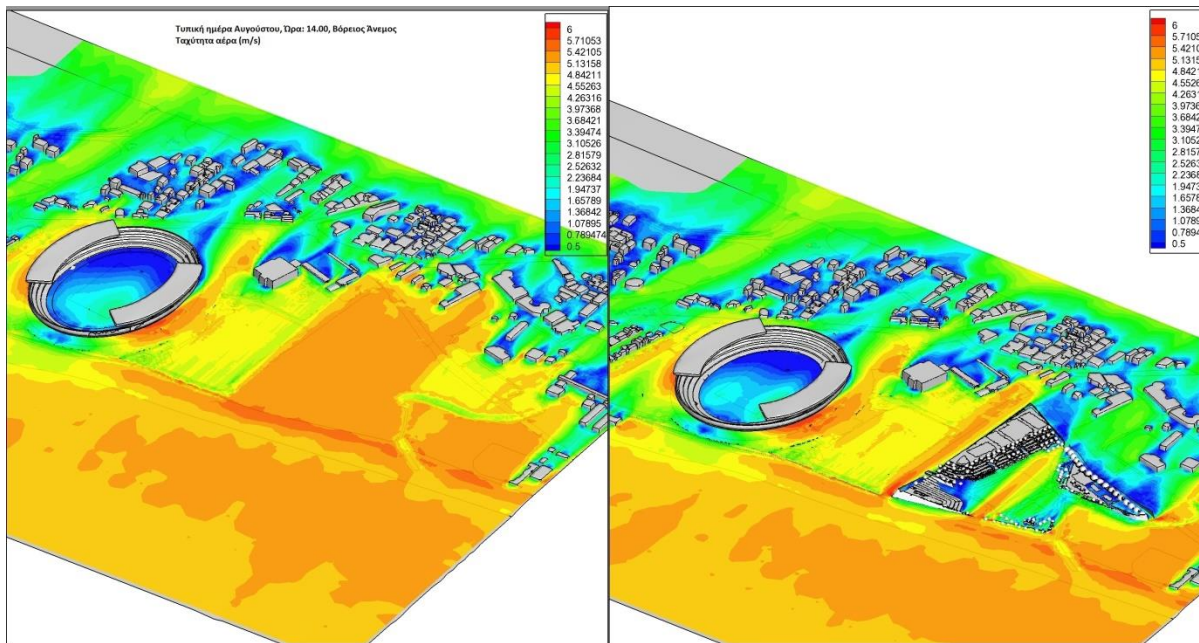


Πρακτικές εφαρμογές

Βιοκλιματικός σχεδιασμός – Αριθμητική τεκμηρίωση εξομάλυνσης αστικής θερμικής νησίδας

Αποτελέσματα – Θερμική άνεση (PMV)

14.00

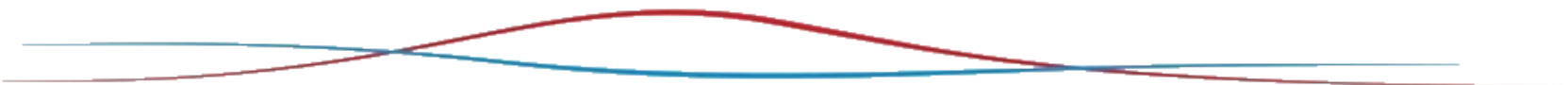
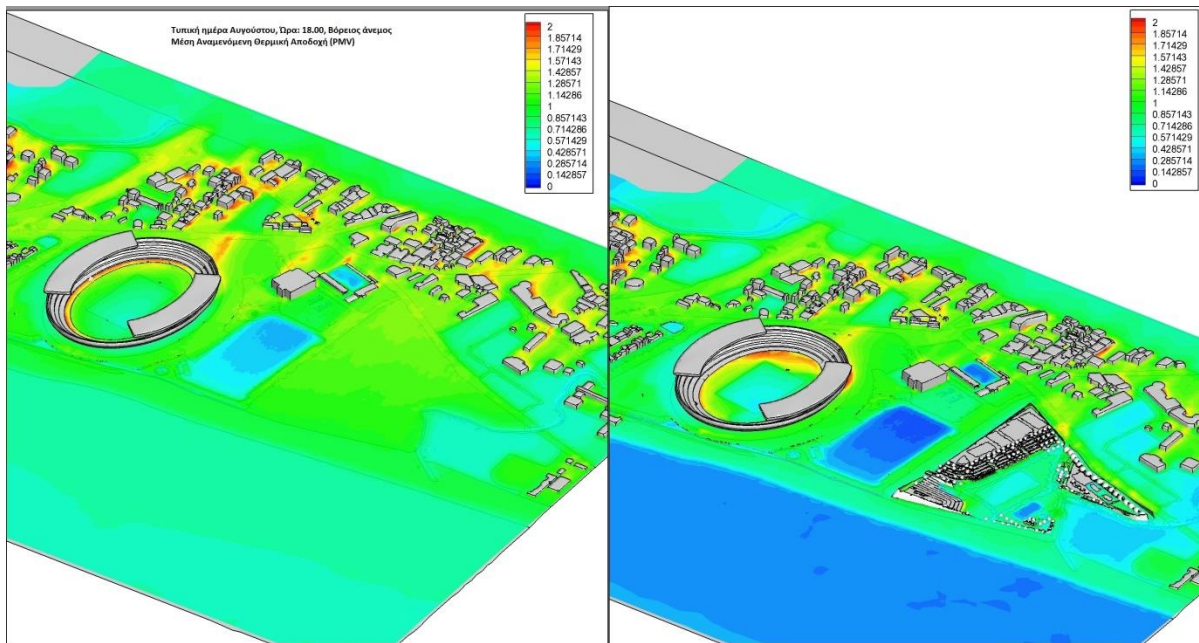


Πρακτικές εφαρμογές

Βιοκλιματικός σχεδιασμός – Αριθμητική τεκμηρίωση εξομάλυνσης αστικής θερμικής νησίδας

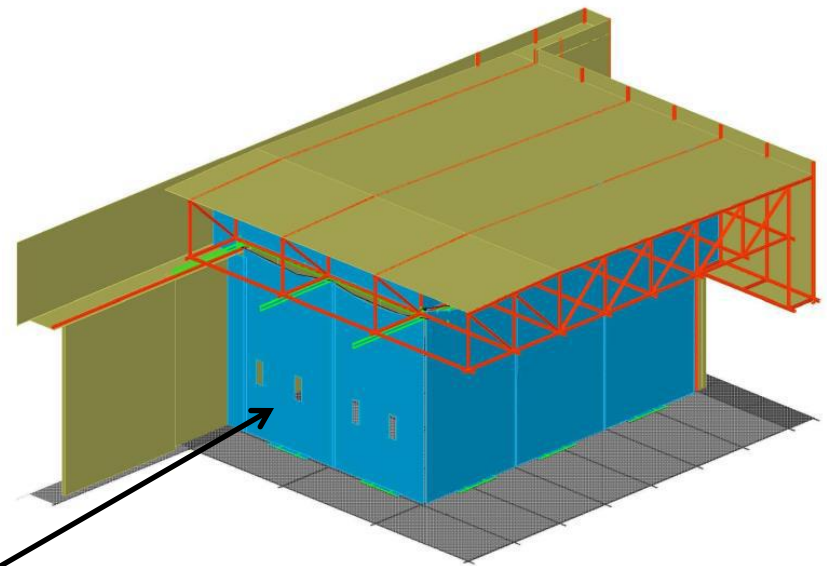
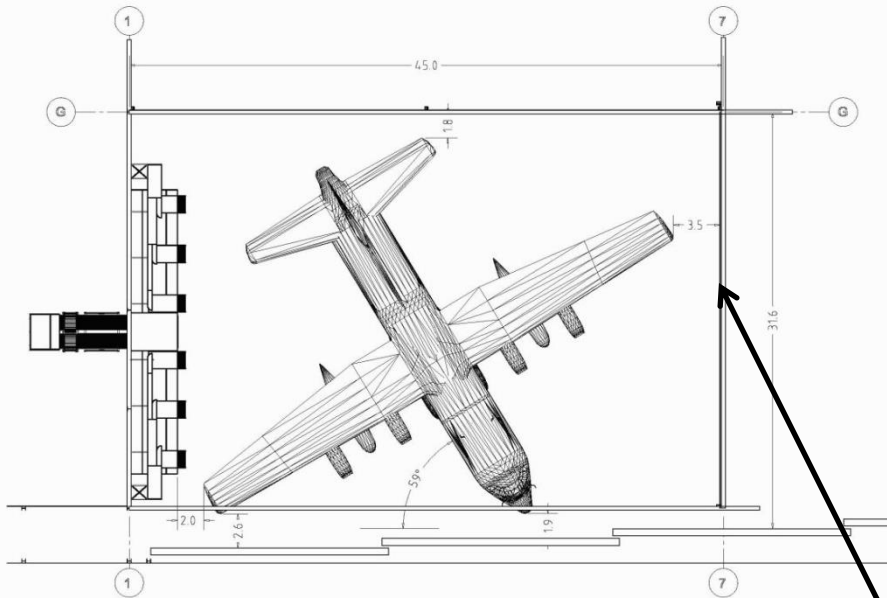
Αποτελέσματα – Θερμική άνεση (PMV)

18.00



Πρακτικές εφαρμογές

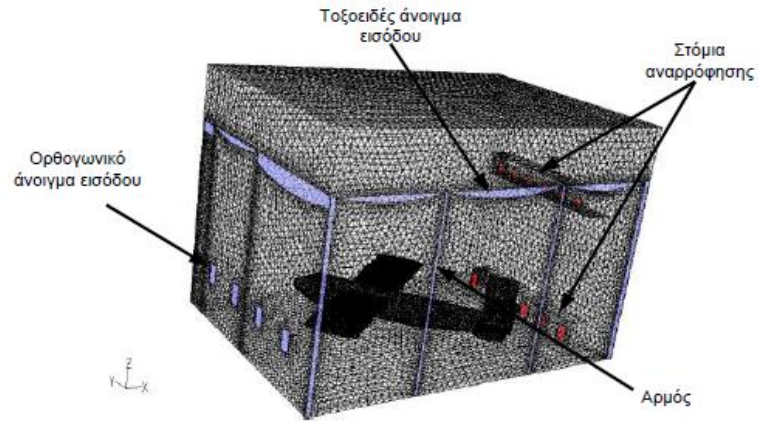
Βέλτιστος σχεδιασμός υποστέγου βαφής αεροσκαφών



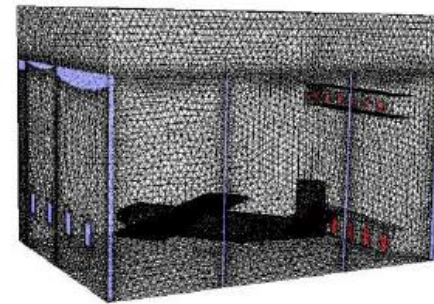
Στόχος: Βέλτιστος σχεδιασμός πετασμάτων ώστε να εκτοπίζονται οι διαλύτες βαφής από τη ζώνη αναπνοής των εργατών.

Πρακτικές εφαρμογές

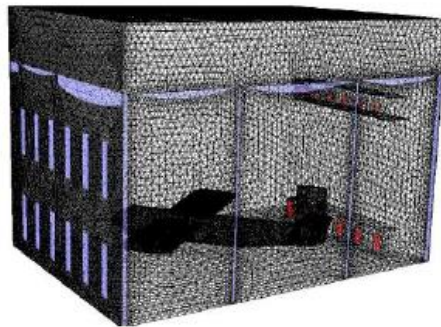
Βέλτιστος σχεδιασμός υποστέγου βαφής αεροσκαφών



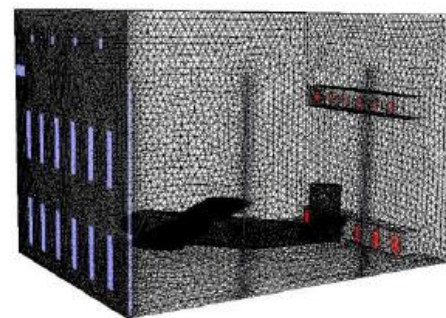
(α)



(β)



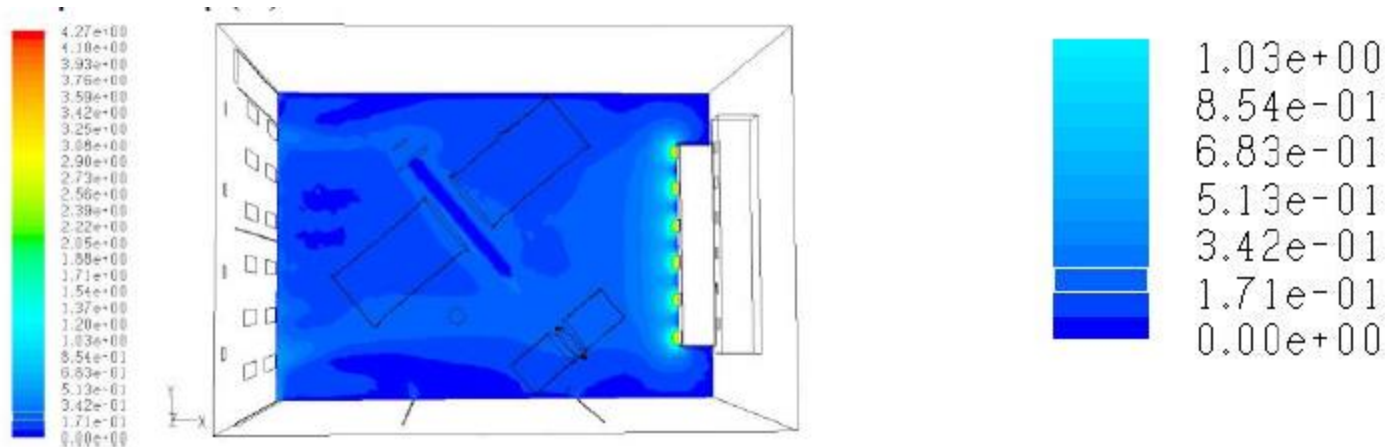
(γ)



(δ)

Πρακτικές εφαρμογές

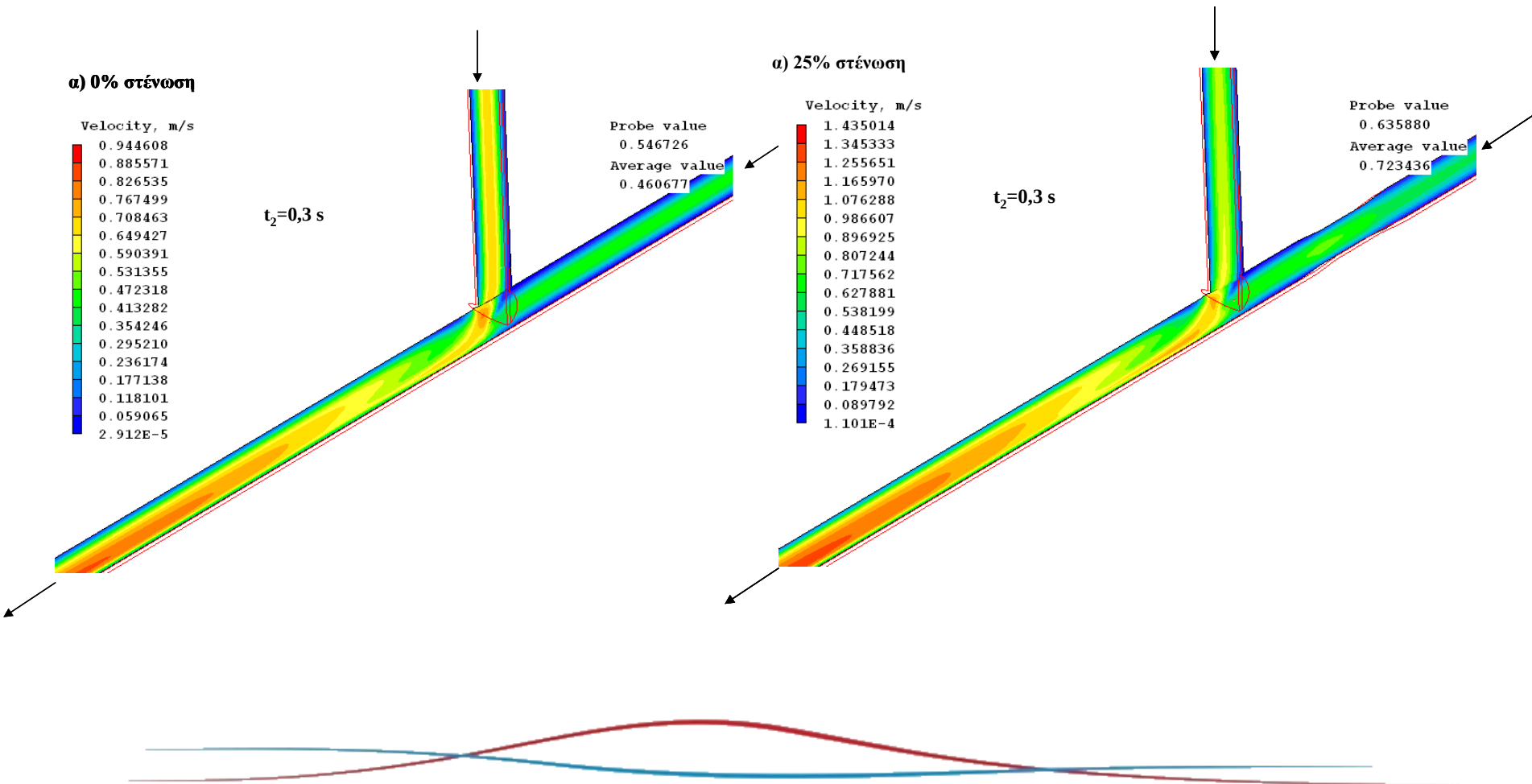
Βέλτιστος σχεδιασμός υποστέγου βαφής αεροσκαφών



Ο σχεδιασμός (Δ) είναι ο βέλτιστος εκ των τεσσάρων εξεταζόμενων περιπτώσεων αφού οδηγεί σε ταχύτητες 0.171-0.342m/s στις περισσότερες θέσεις εργασίας, συνεπώς οδηγεί στην ελάχιστη απόκλιση από την απαίτηση για συνθήκες υγιεινής (ταχύτητα>0.2m/s) σε σχέση με τις άλλες περιπτώσεις. Πρέπει να σημειωθεί ότι κάποιες περιοχές ανακυκλοφοριών παραμένουν, ιδίως σε κάποια σημεία δεξιά του αεροσκάφους ως αποτέλεσμα της επανακόλλησης της ροής σε κάποια απόσταση μετά το σκάφος. Στην

Πρακτικές εφαρμογές

Βέλτιστος σχεδιασμός αρτηριακών μοσχευμάτων

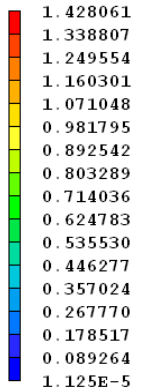


Πρακτικές εφαρμογές

Βέλτιστος σχεδιασμός αρτηριακών μοσχευμάτων

α) 50% στένωση

Velocity, m/s

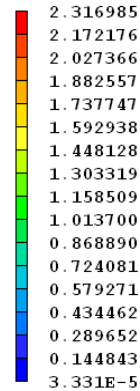


$t_2=0,3$ s

Probe value
0.725407
Average value
0.732070

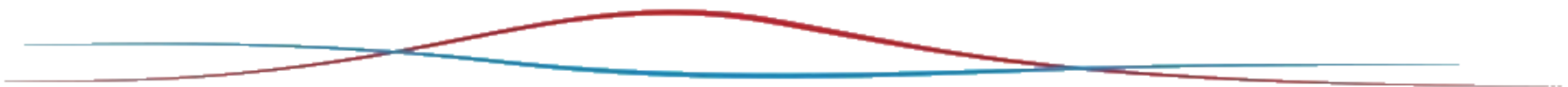
α) 75% στένωση

Velocity, m/s



$t_2=0,3$ s

Time 1.000E-01
Probe value
0.650102
Average value
0.773417

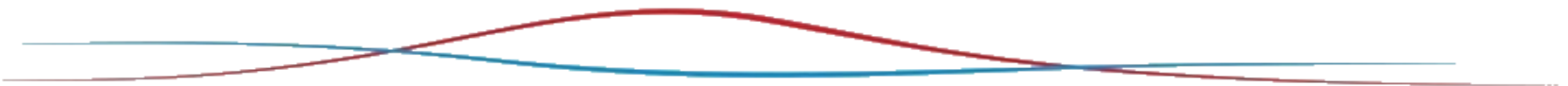




Στόχοι του Μαθήματος

Βασικοί στόχοι του μαθήματος:

- Κατανόηση των βασικών υπολογιστικών μεθόδων επίλυσης ροής ρευστών (πεπερασμένες διαφορές, πεπερασμένοι όγκοι).
- Κατανόηση της γενικής εξίσωσης μεταφοράς και εξειδίκευσή της στις βασικές ιδιότητες ροής ρευστού.
- Απόκτηση δεξιότητας στην εφαρμογή απλών σχημάτων διακριτοποίησης των μερικών διαφορικών εξισώσεων μεταφοράς.
- Απόκτηση θεωρητικής γνώσης μοντέλων υπολογιστικής ρευστομηχανικής.
- Απόκτηση ικανότητας ανάπτυξης μοντέλου με χρήση λογισμικού για πρακτικούς σκοπούς σχεδιασμού: pre-processing (γεωμετρία, χωρική διακριτοποίηση), solving (ανάπτυξη του φυσικού μοντέλου, οριακές συνθήκες), post-processing (απεικόνιση και ερμηνεία αποτελεσμάτων ροής), parametric analysis.
- Βασικότερος στόχος: Η εμπέδωση των κατάλληλων βάσεων, ώστε να εκμηδενιστεί ο κίνδυνος «επιπόλαιης» χρήσης διαθέσιμων λογισμικών.





Διάρθρωση

- **Αρχές διατήρησης θεμελιώσεις διαφορικές εξισώσεις**
 - Λεκτική και μαθηματική περιγραφή των αρχών διατήρησης (μάζας, ορμής, κτλ.)
 - Φαινομενολογικοί νόμοι και όροι πηγών στις εξισώσεις διατήρησης.
 - Γενική εξίσωση διατήρησης.
- **Διακριτοποίηση μερικών διαφορικών εξισώσεων διατήρησης**
 - **Προσέγγιση παραγώγου με πεπερασμένες διαφορές.**
 - Βασικά σχήματα διακριτοποίησης.
 - Η έννοια του σφάλματος αποκοπής και τάξη ακρίβειας του σχήματος διακριτοποίησης.
 - Σχήματα διακριτοποίησης της εξίσωσης συναγωγής και διάχυσης.



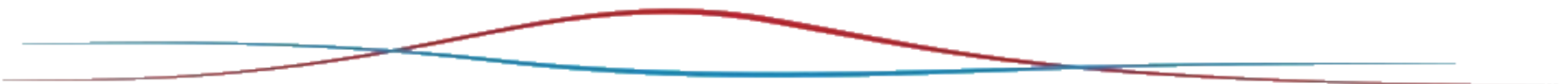
Διάρθρωση

- **Η μέθοδος των πεπερασμένων όγκων ελέγχου**
 - Ολοκληρωτική μορφή της εξίσωσης μεταφοράς.
 - Πλέγμα – Πεπερασμένοι όγκοι ελέγχου.
 - Χειρισμός όρων συναγωγής και διάχυσης (συνδυασμοί σχημάτων διακριτοποίησης για τις χρονικές και χωρικές παραγώγους).
 - Η επίδραση της αριθμητικής διάχυσης ή ψευτοδιάχυσης.
 - Γραμμικοποίηση του όρου πηγής στο πλεγματικό σημείο.
 - Γενική μορφή της διακριτοποιημένης εξίσωσης μεταφοράς.
 - Διόρθωση πίεσης (αλγόριθμος SIMPLE).
 - Οριακές συνθήκες Dirichlet, Neumann.
 - Οριακές συνθήκες στην εξίσωση ορμής (συναρτήσεις τοίχου).



Διάρθρωση

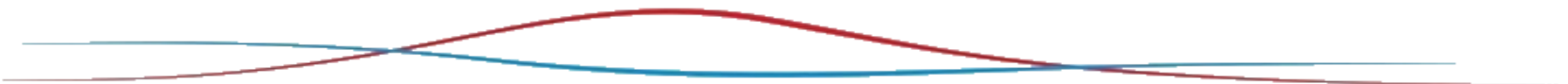
- **Εισαγωγή στην τυρβώδη ροή**
 - Μοντέλα RANS.
 - Το πρότυπο k-ε μοντέλο.
 - Ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα.
 - Προσέγγιση Boussinesq για τον χειρισμό του όρου άνωσης σε ροές με πηγή θερμότητας.
 - Προχωρημένα μοντέλα προσομοίωσης τυρβώδους ροής.





Διάρθρωση

- **Εξοικείωση στη χρήση λογισμικού CFD**
 - Γένεση πλέγματος.
 - Ανάπτυξη μοντέλου (επιβολή του συστήματος εξισώσεων, επιβολή οριακών συνθηκών, ιδιότητες αλγόριθμου επίλυσης, κτλ.).
 - Επίλυση (εποπτεία σύγκλισης).
 - Επεξεργασία αποτελεσμάτων (απεικόνιση και ερμηνεία ροής, περιοχές ανακυκλοφορίας, σημεία αποκόλλησης, κτλ.).





Βιβλιογραφία μαθήματος



Η Μέθοδος των Πετρερασμένων Όγκων

Κωδικός Βιβλίου στον Εύδοξο: 133024765

Συγγραφείς: Versteeg, Malalasekera, Υάκινθος Κύρος (Επιστ. Επιμέλεια)

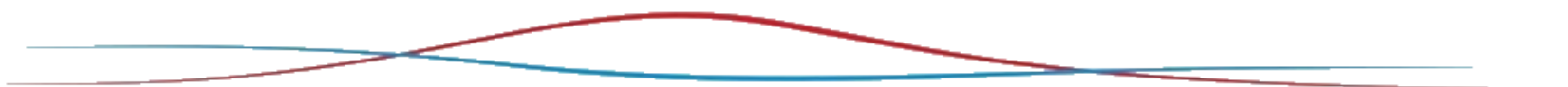
Αριθμός Έκδοσης: 2η Βελτιωμένη
Έτος Τρέχ. Έκδοσης: 2024
Λέξεις κλειδιά: TDMA, Versteeg Malalasekera, Αβεβαιότητα στο CFD, Αλγόριθμοι κίνησης ρευστών, Διαχείριση οριακών συνθηκών, Εισαγωγή σ Πολύπλοκες γεωμετρίες, Προβλήματα διάχυσης, Ροή ρευμάτων

Θεματικές Ενότητες
ISBN: 9786182210710
Εκδόσεις: Τζιόλα
Δέσιμο: Σκληρό Εξώφυλλο
Διαστάσεις: 17x24
Αριθμός Σελίδων: 664
Διαθέτης (Εκδότης): ΕΚΔΟΣΕΙΣ Α. ΤΖΙΟΛΑ & ΥΙΟΙ Α.Ε.
Τύπος: Σύγγραμμα
Ιστοσελίδα Βιβλίου: [Εδώ](#)

Άλλη βιβλιογραφία

Ν. Μαρκάτος, Δ. Ασημακόπουλος,
Υπολογιστική Ρευστοδυναμική,
Εκδόσεις Παπασωτηρίου 1995, ISBN:
960-7510-17-8.

Γ. Μπεργελές, Υπολογιστική
Ρευστομηχανική, Εκδόσεις Συμεών
2012, ISBN: 960-9400-37-4.

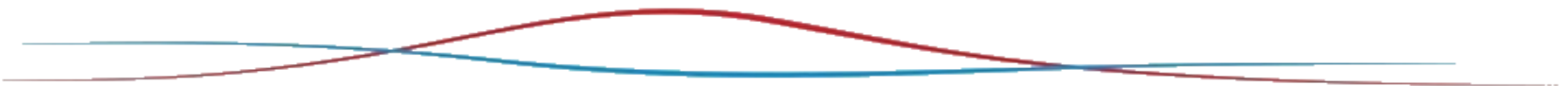




Πληροφορίες μαθήματος

Διαλέξεις (4 ώρες/εβδομάδα)

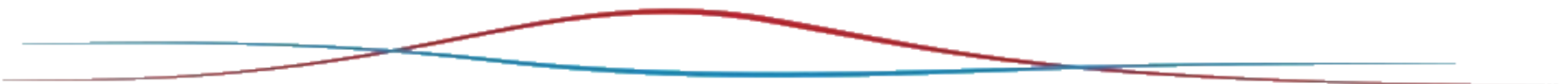
- Διαλέξεις θεωρητικών πτυχών μαθήματος
- Επιδεικτικές ασκήσεις – Υπολογισμοί
- Αξιολόγηση ενδιάμεσης προόδου (πρόοδος ή εργασία/ες)
- Ανακοινώσεις, αναρτήσεις, κ.α., στον Λογαριασμό του μαθήματος στο eclass:
Υπολογιστική Ρευστομηχανική (MECH165)
- Email Διδάσκοντα: gmstavr@hmu.gr





Αξιολόγηση επίδοσης

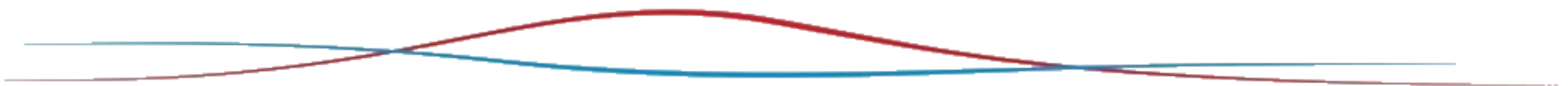
- Τελική εξέταση
- Εκπόνηση άσκησης - εργασίας
- Βαθμολόγηση: Σταθμισμένος Μ.Ο. των βαθμών στα παραπάνω





Προαπαιτούμενη βάση

- Γνώσεις φαινομένων μεταφοράς στη ροή ρευστών (μερικές διαφορικές εξισώσεις διατήρησης π.χ. μάζας, ορμής, θερμικής ενέργειας, κτλ.).
- Βασικές γνώσεις συνηθών διαφορικών εξισώσεων.
- Βασικές γνώσεις αριθμητικής ανάλυσης.





Μαθηματική βάση

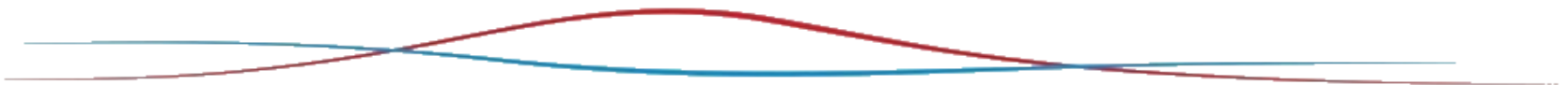
Θα συναντούμε συχνά...

Μαθηματικούς τελεστές

Απόκλιση (div - divergence) διανυσματικού μεγέθους

Π.χ. του ρυθμού ροής $\vec{J}$

$$\text{div} \vec{J} = \frac{\partial J_x}{\partial x} + \frac{\partial J_y}{\partial y} + \frac{\partial J_z}{\partial z}$$





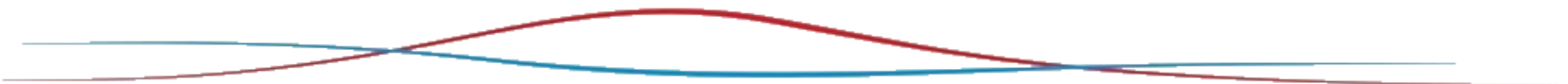
Μαθηματική βάση

Θα συναντούμε συχνά...

Μαθηματικούς τελεστές

Κλίση (grad - gradient) μεταφερόμενης (βαθμωτής) ποσότητας ϕ , $\text{grad}\phi$

$$\text{grad}\phi = \frac{\partial\phi}{\partial x} + \frac{\partial\phi}{\partial y} + \frac{\partial\phi}{\partial z}$$





Μαθηματική βάση

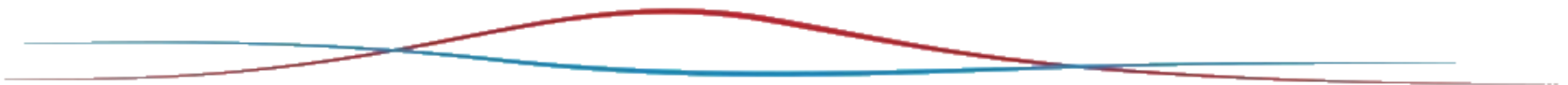
Θα συναντούμε συχνά...

Μαθηματικούς τελεστές

Ουσιαστική ή υλική παράγωγος μεταφερόμενης (βαθμωτής) ποσότητας ϕ , $\frac{D\phi}{Dt}$

$$\frac{D\phi}{Dt} = \frac{\partial\phi}{\partial t} + \vec{u} \text{grad}\phi = \frac{\partial\phi}{\partial t} + u \frac{\partial\phi}{\partial x} + v \frac{\partial\phi}{\partial y} + w \frac{\partial\phi}{\partial z}$$

Φυσική ερμηνεία: Λέγεται και παράγωγος που ακολουθεί την κίνηση: Είναι ο ρυθμός μεταβολής της ποσότητας ϕ που θα έβλεπε παρατηρητής που κινείται στη κατεύθυνση της ροής με την ταχύτητα του ρευστού. Δηλ. είναι η μεταβολή της ποσότητας ϕ που «μετρά» ένας παρατηρητής που είναι «καβάλα» στη ροϊκή γραμμή. (Θεωρία Lagrange).



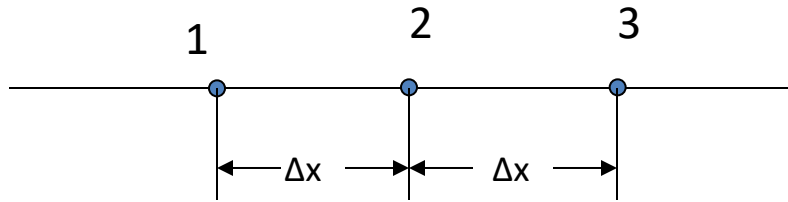


Μαθηματική βάση

Θα συναντούμε συχνά...

Αναπτύγματα μεγεθών ως προς τις διάφορες τάξεις των ρυθμών μεταβολής –
Αναπτύγματα Σειρών Taylor (Σειρές Taylor)

Σειρές Taylor (ανάντη και κατάντη σημείου) της μεταφερόμενης (βαθμωτής) ποσότητας ϕ



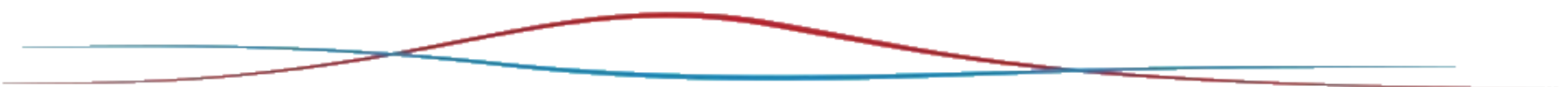
Ανάπτυγμα ανάντη (ΠΡΙΝ το σημείο) για το σημείο 2:

$$\phi_1 = \phi_2 - \left(\frac{\partial \phi}{\partial x} \right)_2 \Delta x + \left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} \right)_2 \frac{\Delta x^2}{2!} - \left(\frac{\partial^3 \phi}{\partial x^3} \right)_2 \frac{\Delta x^3}{3!} + OAT$$

Όπου OAT είναι
Όροι Ανώτερης τάξης

Ανάπτυγμα κατάντη (ΜΕΤΑ το σημείο) για το σημείο 2:

$$\phi_3 = \phi_2 + \left(\frac{\partial \phi}{\partial x} \right)_2 \Delta x + \left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} \right)_2 \frac{\Delta x^2}{2!} + \left(\frac{\partial^3 \phi}{\partial x^3} \right)_2 \frac{\Delta x^3}{3!} + OAT$$





Μαθηματική βάση

Θα συναντούμε συχνά...

Θεώρημα απόκλισης του Gauss

Ολοκλήρωμα διανύσματος σε πεπερασμένο όγκο V

$$\iiint_V \vec{a} dV = \iint_A \vec{a} * \vec{n} dA$$

Όπου dV είναι ένας στοιχειώδης όγκος του όγκου V , A είναι η επιφάνεια της διατομής του στοιχειώδους όγκου από όπου διέρχεται το διάνυσμα, $\vec{n}$ είναι το κάθετο στην επιφάνεια A μοναδιαίο διάνυσμα.

