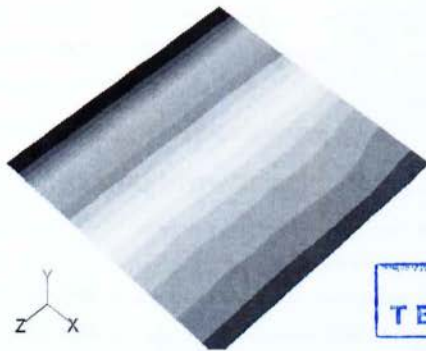




ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής  
ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους



ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ  
ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ

Όνομα σπουδαστή : Δανηλίδης Θεόδωρος

A.M.: 36212

Επιβλέπων καθηγητής : Νίκας Κων/νος-Στέφανος

ΑΘΗΝΑ, 2013

ΓΡΑΜΜ. ΜΗΧ/ΤΙΑΣ

Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

**Περιεχόμενα**

<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</b>	<b>2</b>
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b>	<b>5</b>
<b>ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ</b>	<b>5</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>5</b>
<b>KEY WORDS</b>	<b>5</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΤΟ ΚΛΙΜΑ</b>	<b>6</b>
1.1. ΓΕΝΙΚΑ .....	6
1.2 ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ .....	7
1.3 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ .....	9
1.4 ΑΝΕΜΟΣ.....	10
1.5 ΥΓΡΑΣΙΑ.....	11
1.6 ΤΟ ΚΛΙΜΑ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ.....	11
1.7 ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ .....	13
1.8 ΘΕΡΜΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ .....	19
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ CFD</b>	<b>27</b>
2.1. Ο ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗΣ ΚΑΙ Η ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΡΕΥΣΤΩΝ .....	27
2.2 ΓΙΑΤΙ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙΤΑΙ .....	30
2.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ.....	30
2.4 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΤΟΥ CFD .....	35
2.5 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ CFD .....	36
2.6 CFD ΑΝΑΛΥΣΗ: ΒΑΣΙΚΑ ΒΗΜΑΤΑ .....	37
2.6.1 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟΧΩΝ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	37
2.6.2 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ .....	40
2.6.3 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ / ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΝΟΣ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟΥ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ (ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ).....	40
2.6.4 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ / ΕΠΙΛΥΣΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΗΣ ΛΥΣΗΣ	43
2.7 ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ.....	47
2.8 ΦΥΣΙΚΗ .....	47
2.9 ΠΛΕΓΜΑ .....	47

Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

<b>2.10 ΕΠΙΛΥΣΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΗΣ ΛΥΣΗΣ</b> .....	48
<b>2.11 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ / ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΦΟΡΑ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ</b> .....	48
<b>2.12 ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ</b> .....	49
<b>2.13 ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΕΤΑΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ</b> .....	49

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: GAMBIT ΚΑΙ FLUENT**

**50**

<b>3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ GAMBIT</b> .....	50
<b>3.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ</b> .....	50
<b>3.3 ΓΡΑΦΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΧΡΗΣΤΗ [GRAPHICAL USER INTERFACE (GUI)]</b> .....	51
3.3.1 ΤΟ ΠΑΡΑΘΥΡΟ ΓΡΑΦΙΚΩΝ .....	51
3.3.2 ΜΕΝΟΥ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ .....	52
3.3.3 ΓΕΝΙΚΗ ΓΡΑΜΜΗ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ .....	52
3.3.4 ΠΑΡΑΘΥΡΟ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗΣ .....	53
3.3.5 ΠΑΡΑΘΥΡΟ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΚΑΙ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ ΕΝΤΟΛΩΝ .....	53
<b>3.4 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ</b> .....	53
3.4.1 ΕΝΤΟΛΕΣ ΣΗΜΕΙΩΝ.....	54
3.4.2 ΕΝΤΟΛΕΣ ΠΡΟΣΩΠΙΩΝ .....	54
3.4.3 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΣΗΜΕΙΟΥ .....	55
3.4.4 ΕΝΤΟΛΕΣ ΠΛΕΥΡΩΝ .....	56
<b>3.5 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ</b> .....	56
3.5.1 ΔΙΑΒΑΣΜΑ/ ΜΕΡΗ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ.....	57
3.5.2 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΛΥΣΗΣ .....	58
<b>3.6 ΕΝΤΟΛΕΣ ΖΩΝΗΣ (ZONE COMMANDS) – ΟΡΙΑΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ</b> .....	59
<b>3.7 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ FLUENT</b> .....	60
<b>3.8 ΠΛΕΓΜΑ – ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑ</b> .....	60
3.8.1 ΜΗ ΔΟΜΗΜΕΝΟ ΠΛΕΓΜΑ .....	61
3.8.2 ΔΟΜΗΜΕΝΟ ΠΛΕΓΜΑ.....	61
3.8.3 ΠΛΕΓΜΑ ΟΡΙΑΚΟΥ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ.....	61
3.8.4 ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΠΛΕΓΜΑ.....	61
<b>3.9 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ-ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΕΠΙΛΥΣΗΣ</b> .....	62
<b>3.10 ΜΕΤ-ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ</b> .....	64

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b>	<b>65</b>
<b>4.1 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ</b> .....	65
<b>4.2 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΣΤΟ GAMBIT</b> .....	65
4.2.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΔΑΦΟΥΣ .....	65
4.2.2 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ .....	66
4.2.3 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ ΕΔΑΦΟΥΣ .....	67
4.2.4 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ.....	68
4.2.5 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΕΠΙΦΑΝΙΩΝ .....	69
<b>4.3 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΣΤΟ FLUENT</b> .....	72
4.3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	72
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ</b>	<b>84</b>
<b>5.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b> .....	84
<b>5.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ</b> .....	85
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	<b>86</b>

## Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

### Περίληψη

Σκοπός της πτυχιακής αυτής εργασίας είναι η ενασχόληση με λογισμικά προγράμματα σχεδιασμού και επίλυσης ρευστοδυναμικών εφαρμογών. Στόχος είναι να σχεδιάσουμε ένα μοντελο το οποίο θα αποτελείται από το περιβαλλον δηλαδή τον αερα και το εδαφος, σε λογισμικό GAMBIT και να την προσομοιώσουμε σε συνθήκες λειτουργίας, μέσω FLUENT για να υπολογίσουμε τις επιδράσεις της ηλιακής ακτινοβολίας που ασκείται στο έδαφος.

### Λέξεις κλειδιά

Υπολογιστική Ρευστομηχανική , Φωτοβολταϊκά Πάνελ, Άνεμος, Κατεύθυνση Ανέμου, Κατανομή Πίεσεων, Κατανομή Ταχυτήτων, Στρωτή και Τυρβώδης Ροή, Συντελεστής Θερμικής Αγωγιμότητας , Μοντελοποίηση , Πλέγμα,Fluent, Gambit.

### Abstract

The purpose of this project is the avocation with software referring to design and fluid dynamics application solving. The goal is to design a model wich will include enviroment and ground, using GAMBIT software and simulate it under operating conditions, using FLUENT software to calculate the effects of solar radiation acting on the ground.

### Key words

Computational Fluid Dynamics (CFD), Photovoltaics Panels, Wind, Wind Direction, Pressure Distribution, Velocity Distribution, Laminar and Turbulent Flow, Heat Transfer Coefficient, Modeling, Grid, Gambit, Fluent.

# Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΤΟ ΚΛΙΜΑ

### 1.1. Γενικά

Το κλίμα αποτελεί πρωταρχικό παράγοντα στην οικιστική ανάπτυξη μιας περιοχής. Παράγοντες όπως η ηλιακή ακτινοβολία, η θερμοκρασία εδάφους και αέρα, η κατεύθυνση και η ταχύτητα του ανέμου, η υγρασία, καθώς και το πώς μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια του έτους, καθορίζουν την πολεοδομική οργάνωση και την αρχιτεκτονική του κτιρίου. Κύριος στόχος του σχεδιασμού είναι η δημιουργία συνθηκών άνεσης στο εσωτερικό των κτιρίων σε συνδυασμό με μια ορθή περιβαλλοντικά αντίληψη.

Το κλίμα της Ευρώπης θα μπορούσε να χαρακτηριστεί πολύ γενικά σαν εύκρατο, με ένα μόνο μικρό τμήμα στον πολικό κύκλο που χαρακτηρίζεται από πολύ χαμηλές θερμοκρασίες το χειμώνα. Με μια πιο λεπτομερειακή προσέγγιση θα μπορούσε να γίνει ο διαχωρισμός σε τέσσερις περιοχές.

Βόρεια Ευρωπαϊκή Παράκτια Ζώνη	Μέση Ευρωπαϊκή Παράκτια Ζώνη	Ηπειρωτική Ζώνη	Νοτιά και Μεσογειακή Ζώνη
<u>Ψυχροί χειμώνες</u> (με χαμηλή ηλιακή ακτινοβολία) <u>Ήπια καλοκαιριά</u> <u>Μικρές μέρες</u>	<u>Ψυχροί χειμώνες</u> (με χαμηλή ηλιακή ακτινοβολία) <u>Ήπια καλοκαιριά</u>	<u>Ψυχροί χειμώνες</u> (με υψηλή ηλιακή ακτινοβολία) <u>Θερμά καλοκαιριά</u> <u>Μεγάλες ημέρες</u>	<u>Ήπιοι Χειμώνες</u> (με ισχυρή ηλιακή ακτινοβολία ) <u>Θερμά καλοκαιριά</u> <u>Μεγάλες ημέρες</u>

Οι παράγοντες που δημιουργούν τον καθορισμό των περιοχών αυτών δεν είναι άλλοι από τη θέση της Ευρωπαϊκής Ηπείρου, τη μορφολογία της και τα φυσικά χαρακτηριστικά της: ο Ατλαντικός Ωκεανός, η Μεσόγειος Θάλασσα και η ύπαρξη των ερήμων της νοτίου Αφρικής, η μεγάλη ηπειρωτική περιοχή Ανατολικά και η Αρκτική Θάλασσα στα Βόρεια, οι Άλπεις. Η κατεύθυνση των ανέμων είναι καθοριστικός παράγοντας αφού ανάλογα με την προέλευσή τους παρατηρούνται διαφοροποιήσεις όσον αφορά την υγρασία και τη θερμοκρασία καθώς και τη μεταφορά σκόνης από την Αφρική (η υγρασία και η σκόνη μεταβάλλουν τα ποσοστά άμεσης και διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας).

## Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους



*Σχήμα 1.1 Οι τέσσερις κλιματικές ζώνες της Ευρωπαϊκής Ηπείρου.*

Στη συνέχεια γίνεται μια σύντομη αναφορά σε κάθε παράγοντα που διαμορφώνει τις κλιματικές συνθήκες ενός τόπου.

### **1.2 Ηλιακή Ακτινοβολία**

Με τον όρο ηλιακή ακτινοβολία ορίζουμε το σύνολο της ενέργειας που ακτινοβολείται από τον ήλιο και πέφτει σε ένα τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας. Η ολική ακτινοβολία αποτελεί το άθροισμα της άμεσης και διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας, ονομάζοντας διάχυτη την ακτινοβολία που έρχεται αφού πρώτα ανακλαστεί από τα σύννεφα, προσθέτοντας και την ακτινοβολία που ανακλάται στο έδαφος, στα κτίρια κλπ.

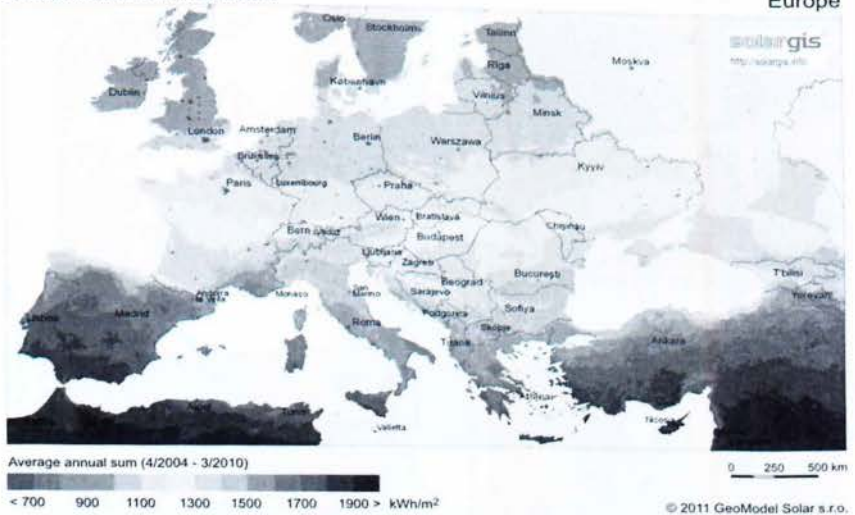
Η κατάσταση της ατμόσφαιρας καθορίζει το ποσό ολικής ακτινοβολίας καθώς και το ποσοστό άμεσης και διάχυτης. Τα μόρια του αέρα τα σταγονίδια νερού και η σκόνη προκαλούν διάχυση, ενώ υδρατμοί – νέφωση, όζον και αέριοι ρυπαντές προκαλούν εκτός από διάχυση και απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Το ποσοστό της διάχυτης ακτινοβολίας είναι αρκετά μεγαλύτερο στις περιοχές της Βόρειας Ευρώπης από ότι στη Νότια. Γενικότερα το σύνολο της ακτινοβολίας εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος, τις μετεωρολογικές συνθήκες, την ώρα της ημέρας, και μεταβάλλεται όπως είναι φυσικό συνεχώς.

Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

Global horizontal irradiation

Europe



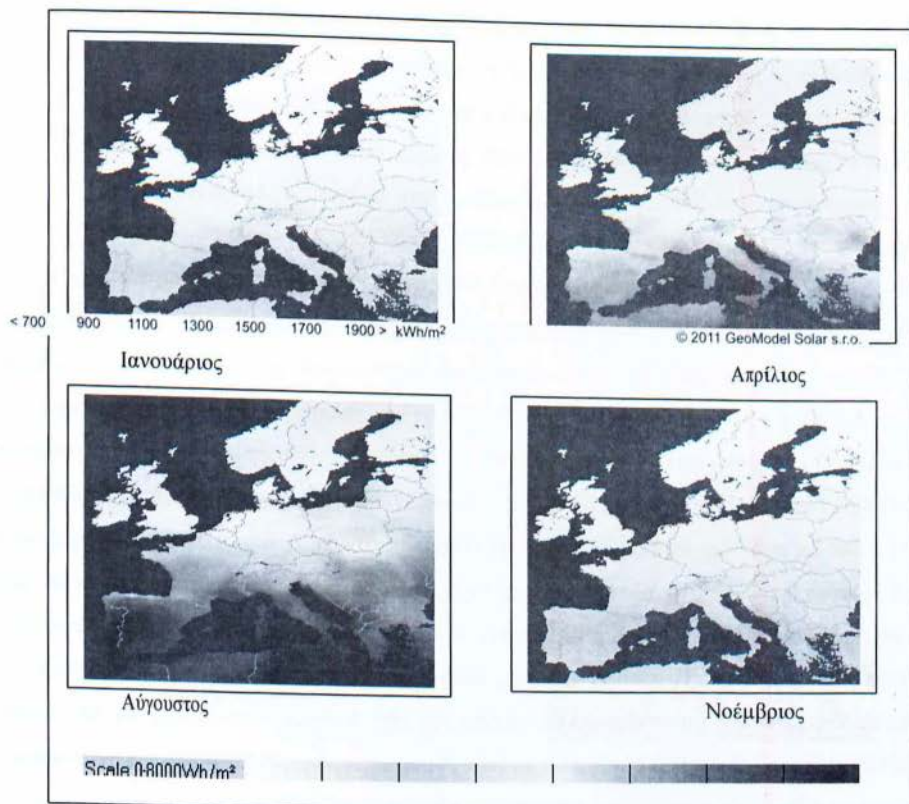
Σχήμα 1.2: Χαρτης ευρωπαϊκής οριζόντιας ηλιακής ακτινοβολίας

Οι τιμές μεταβάλλονται από 2,25 KWh/m<sup>2</sup> στη Βόρεια Ευρώπη μέχρι 6 KWh/m<sup>2</sup> στη Νότια (τιμές ετήσιας μέσης ημερήσιας ακτινοβολίας).

Η ύπαρξη σκόνης και υδρατμών είναι μεγαλύτερη τους καλοκαιρινούς μήνες, ενώ μεταβολές στα ποσά ακτινοβολίας παρουσιάζονται όσο πλησιάζουμε σε μεγάλα αστικά κέντρα, όπου παρουσιάζεται μεγάλη συγκέντρωση αέριων ρυπαντών και καπνού. Καθοριστικό ρόλο παίζει η βλάστηση μιας περιοχής, η οποία λόγω της ιδιότητας των φύλλων να φιλτράρουν τον αέρα (μέσω της προσκόλλησης σωματιδίων στην επιφάνεια τους) μεταβάλλει το ποσό διάχυτης ακτινοβολίας, δημιουργώντας ταυτόχρονα συνθήκες σκίασης, άλλοτε επιθυμητής και άλλοτε ανεπιθύμητης. Η ικανότητα σκίασης από τα δέντρα μπορεί να ελεγχθεί με την σωστή επιλογή δέντρων (για παράδειγμα η χρήση φυλλοβόλων δέντρων δημιουργεί επιλεκτική σκίαση ανάλογα με την εποχή) και της μελετημένης τοποθέτησης τους, εκτός αν πρόκειται για ήδη υπάρχουσα βλάστηση.



Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους



Σχήμα 1.3: Μέσες μηνιαίες τιμές μέσης ημερησίας ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο( ESRA screen-European Solar Radiation Atlas)

### 1.3 Θερμοκρασία

Με τον γενικό όρο θερμοκρασία αναφερόμαστε πρακτικά στην θερμοκρασία του αέρα και την θερμοκρασία του εδάφους. Η θερμοκρασία του αέρα παρουσιάζει έντονες μεταβολές ανάλογα με τα αέρια ρεύματα σε μια τοποθεσία, την προέλευσή τους, και την ταχύτητα του ανέμου. Όταν οι ταχύτητες είναι μεγάλες η θερμοκρασία του αέρα επηρεάζεται λιγότερο από τοπικούς παράγοντες όπως η θέρμανση του εδάφους από την ηλιακή ακτινοβολία, η ψύξη λόγω ακτινοβολίας από τη γη τις νυχτερινές ώρες κλπ. Διαφοροποίηση υπάρχει και στη θερμοκρασία του αέρα κοντά στο έδαφος και σε διάφορα ύψη. Πολύ κοντά στο έδαφος προσεγγίζει τη θερμοκρασία του εδάφους και μεταβάλλεται με το υψόμετρο, καθώς μειώνονται και οι επιδράσεις των ημερήσιων μεταβολών θερμοκρασίας εδάφους.

Κατά κανόνα η μέση ημερήσια θερμοκρασία εμφανίζεται μειωμένη όσο πιο ψηλά από το έδαφος γίνει η μέτρηση. Η ηλιακή ακτινοβολία έχει άμεση επίδραση στην θερμοκρασία του

## Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

εδάφους, ενώ η ψύξη γίνεται μέσω ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος και μέσω της εξάτμισης του νερού. Καθοριστικό ρόλο παίζει η διαμόρφωση του εδάφους, η έκθεση κάθε επιφάνειας στον ήλιο, η ταχύτητα του αέρα και η βλάστηση, η οποία εμποδίζει ένα ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας να φθάσει στο έδαφος, ελέγχει την εξάτμιση του νερού, ενώ το βράδυ εμποδίζει την ακτινοβολία να διαφύγει από το έδαφος προς το περιβάλλον περιορίζοντας τη πτώση της θερμοκρασίας. Η θερμοκρασία του εδάφους καθορίζει τις θερμοκρασίες του αέρα στα κτίρια. Λόγω της ακτινοβολίας τη νύχτα η θερμοκρασία του εδάφους μπορεί να είναι μικρότερη από αυτή του αέρα στο ύψος των τελευταίων ορόφων ενός κτιρίου. Σε περίπτωση πολύ μεγάλης θερμοκρασίας εδάφους δημιουργείται ανοδικό ρεύμα θερμού αέρα ο οποίος αν είναι υγρός, λόγω της ψύξης, δημιουργεί νέφη. Σε μια συγκεκριμένη περιοχή η θερμοκρασία εξαρτάται από την κλίση του εδάφους, τον προσανατολισμό, την έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία και στον άνεμο. Οι θερμοκρασιακές μεταβολές είναι μικρότερες σε επιφάνειες εκτεθειμένες στον ήλιο και οι μέγιστες θερμοκρασίες μεταβάλλονται ανάλογα με την κλίση και τον προσανατολισμό. Ο άνεμος αποκρίνει τη θερμότητα με εξαναγκασμένη μεταφορά. Στα αστικά κέντρα παρουσιάζεται η επιρροή από τις επιφάνειες των κτιρίων, το χρωματισμό τους, τα υλικά κατασκευής κτιρίων δρόμων και υποδομών, την ύπαρξη βλάστησης (άλση, κήποι, παρτέρια), την κίνηση του αέρα ανάμεσα στα κτίρια, την συγκέντρωση υδάτων, την εκπομπή ρύπων συνήθως σε υψηλή θερμοκρασία. Κατά κανόνα η θερμοκρασία εμφανίζεται υψηλότερη σε μια μεγάλη πόλη σε σχέση με την ύπαιθρο σε κοντινή απόσταση, και εξαρτάται από το μέγεθος και τη διαμόρφωση της.

### 1.4 Άνεμος

Οι άνεμοι προκαλούνται από διαφορές πίεσης και επιδρούν στην βροχόπτωση, στη συναλλαγή θερμότητας και κατά συνέπεια στις συνθήκες άνεσης μιας περιοχής. Η ροή τους επηρεάζεται από τη διαμόρφωση και τις θερμοκρασίες του εδάφους, και την παρουσία υδάτων. Αέρας που έρχεται σε επαφή με θερμές επιφάνειες έχει την τάση να ανέβει προς τα πάνω, ενώ οι διαφορές θερμοκρασίας μεταξύ εδάφους και μιας υδάτινη επιφάνειας προκαλεί κίνηση του αέρα. Η τοπογραφική διαμόρφωση μπορεί να δημιουργεί ρεύματα αέρα και σε άλλες περιπτώσεις φυσική προστασία από αυτά, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις παρουσιάζονται κυκλικές κινήσεις. Όπως προαναφέρθηκε η θερμοκρασία σε μια μεγάλη πόλη είναι υψηλότερη από τη γειτνιάζουσα ύπαιθρο με συνέπεια τη δημιουργία ρευμάτων αέρα. Καθοριστικό ρόλο παίζει ο πολεοδομικός σχεδιασμός, ενώ παρόμοια ρεύματα εμφανίζονται και εντός του αστικού

## Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

περιβάλλοντος αν υπάρχουν περιοχές χωρίς δόμηση και με πυκνή βλάστηση όπως άλση και πάρκα.

### 1.5 Υγρασία

Η υγρασία είναι ένας από τους παράγοντες που καθορίζουν τις συνθήκες άνεσης. Στην Ευρώπη γενικά η υγρασία βρίσκεται κοντά στις συνθήκες άνεσης για το μεγαλύτερο μέρος του έτους. Εξάιρεση αποτελούν οι εμφανίσεις υψηλών πιέσεων υδρατμών σε συνδυασμό με υψηλές θερμοκρασίες και η χαμηλή υγρασία σε συνδυασμό με υψηλές θερμοκρασίες. Στην πρώτη περίπτωση το περιβάλλον είναι πολύ θερμό και υγρό, ενώ στη δεύτερη πολύ ξηρό. Αυτές οι συνθήκες είναι πιο συχνές στην περιοχή της Μεσογείου. Η σχετική υγρασία παίρνει τις υψηλότερες τιμές τις τα πρωινά, όπου η θερμοκρασία του αέρα έχει τις μικρότερες τιμές, και μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της ημέρας ανάλογα με τη θερμοκρασία. Με την αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνεται η πίεση των υδρατμών η οποία σχετίζεται με τη μέση υγρασία. Οι τιμές της μέσης υγρασίας μεταβάλλονται επίσης από το είδος των ανέμων (υγροί η ξηροί ανάλογα με την προέλευσή τους). Η στάθμη της υγρασίας σχετίζεται με το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στο έδαφος, καθώς η υψηλή υγρασία εμποδίζει τη μετάδοση ακτινοβολίας η οποία απορροφάται και διασκορπίζεται από τους υδρατμούς και τα σύννεφα. Η ύπαρξη λιμνών, ποταμών και της θάλασσας σε μια περιοχή καθορίζουν τη στάθμη υγρασίας. Ακόμα και η παρουσία υπόγειων υδάτων διαφοροποιεί τοπικά τη περιοχή σε σχέση με γειτνιάζουσα στεγνή περιοχή, λόγω της διαφορετικής θερμοκρασίας που παρουσιάζουν. Σε αστικό περιβάλλον η ύπαρξη σιντριβανιών, δεξαμενών, ρεμάτων κλπ, ρυθμίζει τα επίπεδα υγρασίας τοπικά. Τέλος καθοριστική για τα επίπεδα υγρασίας είναι η ύπαρξη βλάστησης λόγω της διαδικασίας εξάτμισης – διαπνοής.

### 1.6 Το κλίμα της Ελλάδας

Το κλίμα της Ελλάδας είναι τυπικά μεσογειακό: ήπιοι και υγροί χειμώνες, σχετικά θερμά και ξηρά καλοκαίρια και, γενικά, μακρές περίοδοι ηλιοφάνειας κατά την μεγαλύτερη διάρκεια του έτους.

Η Ελλάδα βρίσκεται μεταξύ των παραλλήλων 340 και 420 του Βορείου ημισφαιρίου και βρέχεται από την Ανατολική Μεσόγειο. Το κλίμα της έχει σε γενικές γραμμές τα χαρακτηριστικά του Μεσογειακού κλίματος, δηλαδή ήπιους και βροχερούς χειμώνες,

Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

σχετικώς θερμά και ξηρά καλοκαίρια και μεγάλη ηλιοφάνεια όλο σχεδόν το χρόνο.

Λεπτομερέστερα στις διάφορες περιοχές της Ελλάδας παρουσιάζεται μια μεγάλη ποικιλία κλιματικών τύπων, πάντα βέβαια μέσα στα πλαίσια του Μεσογειακού κλίματος. Αυτό οφείλεται στην τοπογραφική διαμόρφωση της χώρας που έχει μεγάλες διαφορές υψομέτρου (υπάρχουν μεγάλες οροσειρές κατά μήκος της κεντρικής χώρας και άλλοι ορεινοί όγκοι) και εναλλαγή ξηράς και θάλασσας. Έτσι από το ξηρό κλίμα της Αττικής και γενικά της Ανατολικής Ελλάδας μεταπίπτουμε στο υγρό της Βόρειας και Δυτικής Ελλάδας. Τέτοιες κλιματικές διαφορές συναντώνται ακόμη και σε τόπους που βρίσκονται σε μικρή απόσταση μεταξύ τους, πράγμα που παρουσιάζεται σε λίγες μόνο χώρες σε όλο τον κόσμο. Από κλιματολογικής πλευράς το έτος μπορεί να χωριστεί κυρίως σε δύο εποχές: Την ψυχρή και βροχερή χειμερινή περίοδο που διαρκεί από τα μέσα του Οκτωβρίου και μέχρι το τέλος Μαρτίου και τη θερμή και άνομβρη εποχή που διαρκεί από τον Απρίλιο έως τον Οκτώβριο. Κατά την πρώτη περίοδο οι ψυχρότεροι μήνες είναι ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος, όπου κατά μέσον όρο η μέση ελάχιστη θερμοκρασία κυμαίνεται από 5-10 0 C στις παραθαλάσσιες περιοχές, από 0 - 5<sup>0</sup>C στις ηπειρωτικές περιοχές και με χαμηλότερες τιμές κάτω από το μηδέν στις βόρειες περιοχές. Οι βροχές στη χώρα μας ακόμη και τη χειμερινή περίοδο δεν διαρκούν για πολλές ημέρες και ο ουρανός της Ελλάδας δεν μένει συνεφιασμένος για αρκετές συνεχόμενες ημέρες, όπως συμβαίνει σε άλλες περιοχές της γης. Οι χειμερινές κακοκαιρίες διακόπτονται συχνά κατά τον Ιανουάριο και το πρώτο δεκαπενθήμερο του Φεβρουαρίου από ηλιόλουστες ημέρες, τις γνωστές από την αρχαιότητα “ Αλκυονίδες ημέρες”. Η χειμερινή εποχή είναι γλυκύτερη στα νησιά του Αιγαίου και του Ιονίου από ό,τι στη Βόρεια και Ανατολική Ελλάδα. Κατά τη θερμή και άνομβρη εποχή ο καιρός είναι σταθερός, ο ουρανός σχεδόν αίθριος, ο ήλιος λαμπερός και δεν βρέχει εκτός από σπάνια διαλείμματα με ραγδαίες βροχές ή καταιγίδες μικρής όμως διάρκειας. Η θερμότερη περίοδος είναι το τελευταίο δεκαήμερο του Ιουλίου και το πρώτο του Αυγούστου οπότε η μέση μέγιστη θερμοκρασία κυμαίνεται από 29 C μέχρι 35 C. Κατά τη θερμή εποχή οι υψηλές θερμοκρασίες μετριάζονται από τη δροσερή θάλασσα αύρα στις παράκτιες περιοχές της χώρας και από τους βόρειους ανέμους (ετήσιες) που φυσούν κυρίως στο Αιγαίο. Η Άνοιξη έχει μικρή διάρκεια, διότι ο μεν χειμώνας είναι όψιμος, το δε καλοκαίρι αρχίζει πρώιμα. Το Φθινόπωρο είναι μακρύ και θερμό και πολλές φορές παρατείνεται στη Νότια Ελλάδα και μέχρι τα μισά του Δεκεμβρίου.

## 1.7 ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ η ελληνική επικράτεια διαιρείται σε τέσσερις κλιματικές ζώνες με βάση τις βαθμολογίες θέρμανσης. Στον Πίνακα 1.1 προσδιορίζονται οι νομοί που υπάγονται στις τέσσερις κλιματικές ζώνες (από τη θερμότερη στην ψυχρότερη) και ακολουθεί σχηματική απεικόνισή τους στο Σχήμα 1.4.

*Πίνακας 1.1: Νομοί ελληνικής επικράτειας ανά κλιματική ζώνη*

ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ	ΝΟΜΟΙ
<b>ΖΩΝΗ Α</b>	Ηρακλείου, Χανίων, Ρεθύμνου, Λασιθίου, Κυκλάδων, Δωδεκανήσου, Σάμου, Μεσσηνίας, Λακωνίας, Αργολίδας, Ζακύνθου, Κεφαλληνίας & Ιθάκης, Κύθηρα & νησιά Σαρωνικού (Αττικής), Αρκαδίας (πεδινή)
<b>ΖΩΝΗ Β</b>	Αττικής (εκτός Κυθήρων & νησιών Σαρωνικού), Κορινθίας, Ηλείας, Αχαΐας, Αιτωλοακαρνανίας, Φθιώτιδας, Φωκίδας, Βοιωτίας, Ευβοίας, Μαγνησίας, Λέσβου, Χίου, Κέρκυρας, Λευκάδας, Θεσπρωτίας, Πάφου, Λάρνακας
<b>ΖΩΝΗ Γ</b>	Αρκαδίας (ορεινή), Ευρυτανίας, Ιωαννίνων, Λάρισας, Καρδίτσας, Τρικάλων, Πιερίας, Ημαθίας, Πέλλης, Θεσσαλονίκης, Κιλκίς, Χαλκιδικής, Σερρών (εκτός ΒΑ τμήματος), Καβάλας, Ξάνθης, Ροδόπης, Έβρου
<b>ΖΩΝΗ Δ</b>	Γρεβενών, Κοζάνης, Καστοριάς, Φλώρινας, Σερρών (ΒΑ τμήμα), Δράμας

Σε κάθε νομό, οι περιοχές που βρίσκονται σε υψόμετρο άνω των 500 μέτρων, εντάσσονται στην επόμενη ψυχρότερη κλιματική ζώνη από εκείνη στην οποία ανήκουν σύμφωνα με τα παραπάνω. Για την Δ ζώνη όλες οι περιοχές ανεξαρτήτως υψομέτρου περιλαμβάνονται στην ζώνη Δ.

Στο τμήμα του νομού Αρκαδίας που εντάσσεται στην κλιματική ζώνη Γ και στο τμήμα του νομού Σερρών (ΒΑ τμήμα) που εντάσσεται στην κλιματική ζώνη Δ, περιλαμβάνονται όλες οι περιοχές που έχουν υψόμετρο άνω των 500 μέτρων.

Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους



*Σχήμα 1.4 : Σχηματική Απεικόνιση κλιματικών ζωνών ελληνικής επικράτεια*

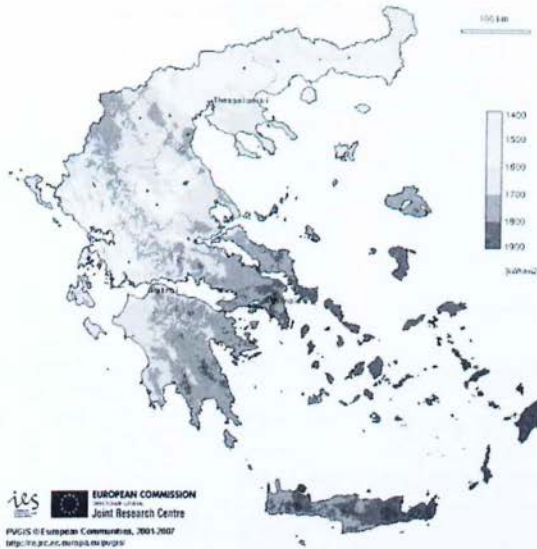
Η ολική ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει πάνω σε μια οριζόντια ή κεκλιμένη επιφάνεια, έχει δυο συνιστώσες: την άμεση και την διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία.

**Άμεση ηλιακή ακτινοβολία** είναι αυτή η οποία φτάνει απ'ευθείας από τον ηλιακό δίσκο στην επιφάνεια του εδάφους χωρίς να έχει υποστεί σκέδαση (αλλαγή κατεύθυνσης) κατά τη διαδρομή της μέσα στην ατμόσφαιρα. Εξαρτάται από την απόσταση Ήλιου-Γης, την ηλιακή απόκλιση ( $\delta$ ), το ηλιακό ύψος ( $\alpha$ ), το γεωγραφικό πλάτος του τόπου ( $\varphi$ ), το υψόμετρο του τόπου ( $h$ ), την κλίση της επιφάνειας επί της οποίας προσπίπτει ( $\beta$ ), καθώς και από την απορρόφηση και διάχυση την οποία υφίσταται μέσα στην ατμόσφαιρα. **Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία** είναι το ποσό της ακτινοβολίας που φθάνει στην επιφάνεια του εδάφους μετά την ανάκλαση ή σκέδαση μέσα στην ατμόσφαιρα, αλλά και μετά από ανάκλαση πάνω στην επιφάνεια της Γης.

Η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία εξαρτάται από το ηλιακό ύψος ( $\alpha$ ), το υψόμετρο του τόπου, τη λευκαύγεια του εδάφους, το ποσό και το είδος των νεφών, καθώς και από την παρουσία διαφόρων κέντρων σκεδάσεως (αερολυμάτων, υδροσταγόνων κ.α.) που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα. Όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση που διανύει η ηλιακή ακτινοβολία μέσα στην ατμόσφαιρα, τόσο μικρότερο είναι το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια της Γης. Για τον λόγο αυτό η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι πολύ

## Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

μεγαλύτερη κατά την θερινή περίοδο σε σχέση με τη χειμερινή. Τέλος, όσο πιο κάθετα προσπίπτει η ηλιακή ακτινοβολία πάνω σε μια επιφάνεια στην Γη τόσο μεγαλύτερη είναι η έντασή της.



**Σχήμα 1.5 :** Χάρτης ετήσιας ηλιακής ενέργειας στην Ελλάδα

Η Ελλάδα παρουσιάζει ένα ιδιαίτερα υψηλό ηλιακό δυναμικό, περίπου 1,400-1,800 (kWh / (m<sup>2</sup>.yr)) ετησίως σε οριζόντιο επίπεδο, ανάλογα το γεωγραφικό πλάτος και το ανάγλυφο της περιοχής. Η ηλιακή ακτινοβολία είναι μια μορφή ενέργειας με σχεδόν σταθερή και προβλέψιμη ένταση (W/m<sup>2</sup>) στην διάρκεια του χρόνου και της ημέρας. Η ηλιακή ακτινοβολία παρουσιάζει την μέγιστη ένταση της κατά την διάρκεια του μεσημεριού (μέγιστο ηλιακό ύψος), τόσο κατά τη θερινή όσο και κατά τη χειμερινή περίοδο. Η ηλιακή ενέργεια είναι μεγαλύτερη κατά τη θερινή περίοδο, λόγω την θέσης του ήλιου, αλλά και λόγω της αύξησης των ωρών ηλιοφάνειας (μείωση των νεφώσεων).

Για τον υπολογισμό της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε οποιαδήποτε κεκλιμένη ή / και περιστρεφόμενη επιφάνεια, είναι απαραίτητη η γνώση της ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο. Στην Ελλάδα η Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (EMY) καταγράφει εδώ και πολλά χρόνια τις ώρες ηλιοφάνειας ανά ημέρα (ώρες / ημέρα), αλλά και σε κάποιες περιπτώσεις την ολική ηλιακή ακτινοβολία (kWh/m<sup>2</sup>) για διάφορες περιοχές της χώρας μας.

Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

Οι θέσεις των μετεωρολογικών σταθμών επιλέγονται ώστε οι μετρήσεις να είναι αξιόπιστες και να μην επηρεάζονται από φυσικά εμπόδια ή τοπικά φαινόμενα που να αλλοιώνουν το αποτέλεσμα. Στον Πίνακα 1.2 δίνονται μέσες τιμές για την μέση μηνιαία ολική ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο για διάφορες περιοχές της Ελλάδος. Οι τιμές αυτές υπολογίστηκαν από την επεξεργασία μετρήσεων της μέσης μηνιαίας ηλιοφάνειας (hr / mo) με χρονική διάρκεια πάνω από 30 έτη για τις περισσότερες περιοχές, οι οποίες παραχωρήθηκαν από την ΕΜΥ. Για όποιες περιοχές δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν δεδομένα από την πλησιέστερη περιοχή στην οποία παρατηρείται παρόμοια μορφολογία εδάφους (ορεινοί όγκοι, κ.α.) και παρόμοιος προσανατολισμός.

**Πίνακας 1.2:** Μέση μηνιαία ολική ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο [kwh/(m<sup>2</sup>.mo)]

Περιοχή/μήνας	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΙΑ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Αθήνα (Ελληνικό)	63,0	79,0	117,7	154,3	195,4	214,0	222,4	202,7	152,6	109,0	70,7	55,7
Αθήνα (Φιλαδέλφεια)	63,3	77,7	118,9	152,7	190,4	207,4	214,5	198,6	156,0	111,1	68,1	54,4
Αγρίνιο	63,5	78,3	119,4	148,4	189,9	214,1	224,2	200,3	151,3	109,8	69,8	55,1
Αγγιάλος	61,3	74,3	112,5	149,2	189,7	212,7	217,4	195,1	146,8	98,8	63,1	51,5
Αλεξανδρούπολη	50,7	68,9	107,3	141,8	182,8	205,8	211,6	192,3	144,2	99,4	57,8	43,7
Αλιάρτος	51,0	70,0	114,0	158,0	206,0	216,0	220,0	204,0	153,0	102,0	66,0	49,0
Ανδραβίδα	68,4	83,4	128,4	159,5	200,2	220,6	228,4	205,5	156,1	115,6	75,2	60,1
Άραξος	62,6	78,6	119,7	155,6	196,1	210,9	217,8	197,6	152,4	110,2	69,4	54,6
Άργος (Πυργέλα)	68,7	83,6	127,7	159,5	202,5	220,6	229,0	206,4	157,2	115,5	74,8	59,2
Αργοστόλι	65,0	80,0	124,9	157,3	204,3	219,4	226,1	203,1	155,6	112,6	72,6	56,1
Ζάκυνθος	64,2	77,6	110,1	158,8	190,8	200,1	218,5	203,8	154,0	104,3	65,4	52,8
Άρτα	65,5	79,7	120,4	149,1	190,2	211,2	218,1	196,4	150,6	110,0	69,5	56,2
Ηράκλειο	65,6	81,6	125,0	166,5	207,3	222,4	227,1	207,0	163,0	117,3	78,6	61,2
Θεσσαλονίκη	52,6	67,5	103,2	140,7	179,1	198,6	209,5	184,7	136,7	91,4	56,6	45,5
Ιεράπετρα	73,0	89,0	137,0	174,0	210,0	220,0	224,0	205,0	165,0	125,0	89,0	69,0
Ιωάννινα	51,8	66,4	105,2	134,9	178,3	202,1	212,0	190,3	136,5	96,1	57,6	45,1
Καλαμάτα	68,2	82,3	126,1	156,2	198,7	216,0	222,0	200,9	154,9	114,5	75,2	59,3
Καστοριά	57,6	71,3	111,2	141,1	173,6	201,8	206,3	185,5	138,5	97,0	60,0	47,7
Κέρκυρα	57,7	73,5	116,7	149,9	195,4	213,6	221,0	197,8	148,2	103,1	64,4	50,7
Κομοτηνή	50,0	65,0	105,0	145,0	188,0	209,0	215,0	193,0	145,0	99,0	58,0	45,0
Κόνιτσα	53,0	65,0	112,0	138,0	190,0	200,0	216,0	194,0	141,0	99,0	63,0	50,0
Κόρινθος (Βέλο)	65,4	82,8	123,4	157,9	201,7	218,3	223,2	201,9	154,2	111,9	72,0	55,2
Κύθηρα	68,0	81,0	127,0	161,0	210,0	220,0	223,0	204,0	160,0	117,0	78,0	60,0
Λαμία	59,4	73,1	113,9	150,5	188,8	210,3	214,1	193,4	145,5	100,3	65,3	52,1
Λάρισα	55,1	71,4	112,1	151,1	190,9	210,8	215,8	194,3	145,9	97,8	61,2	47,8
Λήμνος	51,1	69,6	112,3	154,3	199,5	215,3	220,9	198,5	150,8	104,6	61,3	46,0
Μεθώνη	62,0	78,0	125,0	155,0	207,0	215,0	220,0	199,0	157,0	116,0	77,0	57,0
Μήλος	56,0	67,0	120,0	175,0	213,0	223,0	226,0	205,0	164,0	112,0	77,0	52,0
Μυτιλήνη	52,0	70,0	113,0	156,0	209,0	219,0	223,0	201,0	156,0	109,0	67,0	50,0



Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

Νάξος	60,3	77,0	122,6	161,2	204,7	220,4	224,5	204,8	159,1	115,9	73,7	55,6
Πάρος	60,0	80,0	125,0	168,0	211,0	220,0	223,0	202,0	160,0	117,0	75,0	58,0
Πάτρα	55,0	72,0	124,0	147,0	200,0	215,0	218,0	197,0	153,0	107,0	66,0	53,0
Πύργος	68,4	83,1	127,5	157,9	200,4	215,6	223,8	202,1	155,0	115,9	75,5	59,3
Ρέθυμνο	62,0	81,0	119,0	164,0	211,0	218,0	223,0	204,0	160,0	106,0	81,0	58,0
Ρόδος	69,9	85,1	130,8	164,0	203,0	217,2	225,1	204,3	158,9	120,2	79,2	61,2
Σάμος	64,9	82,1	126,7	162,5	206,8	224,9	230,6	209,6	163,7	120,5	78,6	58,5
Σέρρες	50,8	68,0	105,7	141,0	180,5	202,8	209,7	187,7	140,8	94,7	56,5	43,7
Σητεία	66,5	83,0	128,4	165,2	207,4	223,2	227,1	207,5	163,7	119,3	80,4	61,9
Σκύρος	51,2	69,1	109,9	153,3	197,2	214,2	219,7	198,8	151,7	102,5	62,9	47,7
Σούδα	65,0	81,7	130,7	166,5	208,5	221,9	228,5	209,3	163,6	116,3	76,8	60,3
Σύρος	58,0	80,0	121,0	172,0	212,0	219,0	225,0	204,0	160,0	199,0	74,0	57,0
Τανάγρα	59,1	74,2	112,7	151,9	194,0	215,4	222,0	201,3	153,1	104,5	64,7	51,2
Τρίκαλα (Ημαθίας)	57,3	72,2	105,6	140,2	178,0	202,9	206,4	185,8	138,6	94,0	59,7	49,1
Τυμπάκιο	73,4	90,5	137,5	169,0	207,8	222,9	228,7	209,8	166,3	127,2	85,9	67,7
Χανιά	62,0	80,0	124,0	167,0	212,0	220,0	225,0	205,0	161,0	111,0	78,0	59,0
Χίος	55,0	72,0	119,0	161,0	210,0	220,0	225,0	203,0	159,0	116,0	71,0	53,0
Χρυσούπολη	57,5	78,0	111,3	137,6	189,9	204,0	208,8	187,6	141,8	97,7	62,1	43,3

Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής  
ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

Περιοχή/μήνας	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΙΑ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Αθήνα, Ελληνικό	25,1	32,2	50,3	65,7	81,9	85,5	85,3	73,7	55,5	40,1	26,5	22,0
Αθήνα (Φιλαδέλφεια)	25,1	32,0	50,4	65,6	81,8	85,5	85,2	73,7	55,5	40,1	26,3	21,8
Αργίνιο	24,6	31,7	50,0	65,2	81,9	85,8	85,5	73,6	55,1	39,5	25,9	21,4
Αγχιάλος	23,9	30,9	49,1	65,1	82,1	86,1	85,7	73,5	54,7	38,5	24,8	20,5
Αλεξανδρούπολη	21,4	29,1	47,5	64,2	82,2	86,8	86,2	73,2	53,6	37,1	23,0	18,3
Αλιάρτος	23,1	31,0	49,8	65,7	82,2	85,7	85,4	73,7	55,3	39,4	25,8	20,8
Ανδραβίδα	25,6	32,6	51,0	65,9	82,0	85,6	85,3	73,8	55,6	40,4	26,8	22,4
Αραξος	24,9	32,1	50,4	65,7	82,0	85,6	85,3	73,7	55,4	40,0	26,3	21,7
Άργος (Πυργέλα)	25,9	32,9	51,2	66,0	82,0	85,4	85,2	73,8	55,8	40,6	27,1	22,6
Αργοστόλι	25,1	32,1	50,6	65,8	82,1	85,7	85,4	73,7	55,4	40,0	26,4	21,8
Άρτα	24,3	31,4	49,7	65,1	82,1	86,1	85,6	73,5	54,8	39,1	25,4	21,0
Ζάκυνθος	25,4	32,2	49,8	65,9	81,8	85,3	85,2	73,8	55,7	40,1	26,3	21,8
Ηράκλειο	27,6	34,4	52,6	66,8	81,5	84,3	84,3	74,1	57,2	42,8	29,4	24,8
Θεσσαλονίκη	21,8	29,2	47,3	64,2	82,0	86,6	86,1	73,1	53,6	36,9	23,1	18,7
Ιεράπετρα	28,6	35,3	53,4	67,1	81,5	84,1	84,2	74,1	57,4	43,3	30,2	25,8
Ιωάννινα	22,4	29,6	48,1	64,0	81,8	86,2	85,8	73,4	54,1	38,0	23,9	19,3
Καλαμάτα	26,4	33,2	51,5	66,0	81,8	85,1	84,9	73,8	56,1	41,1	27,6	23,1
Καστοριά	22,5	29,7	48,1	64,3	81,7	86,6	86,0	73,2	53,7	37,4	23,5	19,1
Κέρκυρα	23,2	30,5	49,1	65,0	82,3	86,3	85,8	73,5	54,4	38,4	24,6	20,1
Κομοτηνή	21,1	28,5	47,1	64,3	82,4	87,0	86,3	73,2	53,4	36,8	22,8	18,2
Κόνιτσα	22,3	29,2	48,5	64,2	82,2	86,4	85,9	73,3	54,0	37,8	24,1	19,7
Κόρινθος (Βέλο)	25,4	32,5	50,7	65,9	82,0	85,5	85,3	73,7	55,6	40,2	26,6	22,0
Κύθηρα	27,1	33,7	52,1	66,4	81,8	84,7	84,6	73,9	56,7	41,9	28,5	23,9
Λαμία	24,0	31,0	49,4	65,3	82,0	85,9	85,5	73,5	54,8	38,9	25,3	20,8
Λάρισα	22,9	30,3	48,8	65,1	82,2	86,3	85,8	73,4	54,4	38,1	24,3	19,7
Λήμνος	22,1	29,9	48,6	65,1	82,4	86,5	85,9	73,4	54,3	38,2	24,1	19,3
Μεθόνη	23,4	30,7	49,4	65,2	82,5	86,4	85,9	73,4	54,4	38,5	25,0	20,5
Μήλος	25,1	31,6	51,3	66,6	81,9	85,0	84,9	73,9	56,4	41,3	28,0	22,5
Μυτιλήνη	22,8	30,5	49,2	65,4	82,3	86,1	85,7	73,6	54,9	39,1	25,3	20,4
Νάξος	25,5	32,7	51,3	66,2	81,9	85,2	85,0	73,9	56,1	41,1	27,5	22,7
Πάρος	25,5	33,0	51,4	66,4	82,0	85,1	84,9	73,8	56,2	41,2	27,6	23,0
Πάτρα	23,9	31,3	50,5	65,3	82,1	85,7	85,3	73,6	55,4	39,8	25,9	21,5
Πύργος	25,8	32,7	51,1	65,9	82,0	85,4	85,2	73,8	55,7	40,6	27,0	22,6
Ρέθυμνο	27,1	34,4	52,1	66,8	81,6	84,3	84,3	74,0	57,2	42,2	29,5	24,4
Ρόδος	27,1	33,9	52,2	66,5	81,7	84,8	84,7	73,9	56,6	41,9	28,5	23,9
Σάμος	25,5	32,6	51,0	66,1	82,0	85,5	85,3	73,9	55,8	40,6	27,1	22,5
Σέρρες	21,2	28,9	47,2	64,1	82,1	86,9	86,2	73,1	53,4	36,7	22,7	18,1
Σητεία	27,8	34,7	52,9	66,8	81,5	84,2	84,3	74,1	57,3	43,0	29,6	25,0
Σκύρος	22,8	30,5	49,1	65,4	82,1	86,0	85,6	73,6	54,9	39,0	25,1	20,3
Σούδα	27,4	34,3	52,8	66,8	81,6	84,4	84,4	74,1	57,1	42,6	29,1	24,5
Σύρος	24,9	32,7	50,9	66,3	82,0	85,3	85,1	73,8	55,9	51,9	27,2	22,6
Τανάγρα	24,4	31,5	49,7	65,5	82,0	85,7	85,4	73,7	55,3	39,6	25,7	21,2
Τρίκαλα Ημαθίας	22,3	29,6	47,5	64,2	81,9	86,7	86,0	73,2	53,6	37,1	23,4	19,1
Τρίπολη	25,8	32,5	50,8	65,7	81,6	85,3	85,0	73,7	55,8	40,6	27,0	22,7
Τυμπάκιο	28,7	35,4	53,4	67,0	81,5	84,1	84,2	74,1	57,5	43,3	30,1	25,7
Χανιά	27,0	34,2	52,4	66,8	81,6	84,4	84,4	74,0	57,1	42,4	29,2	24,4
Χίος	23,8	31,2	50,2	65,8	82,2	85,8	85,4	73,7	55,4	39,9	26,2	21,4
Χρυσούπολη	22,1	29,8	47,8	63,9	82,4	86,8	86,2	73,1	53,5	37,0	23,3	18,2

Πίνακας 1.3: Μέση μηνιαία διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο [kwh/(m<sup>2</sup>.mo)]

## Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

### 1.8 Θερμική συμπεριφορά των υλικών

Η θερμική συμπεριφορά των υλικών, αναφέρεται ουσιαστικά στη συμπεριφορά τους απέναντι στις διαφορετικές διαδικασίες μετάδοσης θερμότητας (αγωγή, μεταφορά και ακτινοβολία).

Η συμπεριφορά αυτή καθορίζεται από:

- τις θερμοφυσικές ιδιότητες των υλικών (πυκνότητα ( $\rho$ ), ειδική θερμότητα ( $\psi$ ), συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας ( $\lambda$ ), θερμοχωρητικότητα  $C=\rho \cdot c$ , διαχυτότητα  $\kappa=\lambda/\rho \cdot c$  και επίχυση  $\mu=(\lambda \cdot \rho \cdot c)^{1/2}$ )
- τις οπτικές ιδιότητες των υλικών ( ανακλαστικότητα ( $r$ ) και απορροφητικότητα  $\alpha$ ,  $r+\alpha=1$ , και εκπομπή  $\epsilon$ ). Σημειώνεται ότι οι τιμές της ανακλαστικότητας και της απορροφητικότητας παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία, καθώς εξαρτώνται κυρίως από το χρώμα των υλικών.

#### Θερμοχωρητικότητα υλικών

<u>Υλικά</u>	<u>Ειδική Θερμότητα c(kj/kg/°C)</u>	<u>Πυκνότητα d (Kg/m<sup>3</sup>)</u>	<u>Θερμοχωρητικότητα γ (kcal/m<sup>3</sup>/°C)</u>	<u>Θερμική αγωγιμότητα λ (W/m<sup>2</sup>/°C)</u>
Νερό	4,19	1.000	1.000	ισοθερμικό
Μπετόν	0,84	2.240	492	1,70
Πέτρα ασβεστολιθική	0,88	2.850	546	3,00
Τούβλα συμπαγή	0,84	1.920	378	0,72
Πηλός-ωμόπλινθοι	1,00	1.700	220	0,52
Τούβλα με πρόσθετα άλατα μαγνησίου	0,84	1.920	385	3,80

Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

**ΠΙΝΑΚΕΣ ΤΙΜΩΝ**

Τιμές του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας ( $\lambda$ ), της ειδικής θερμοχωρητικότητας ( $c$ ) και του συντελεστή αντίστασης στη διάχυση των υδρατμών ( $\mu$ ) των διαφόρων δομικών υλικών.

Δομικά υλικά	Φαινόμενο ειδικό βάρος	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας	Ειδική θερμοχωρητικότητα	Συντελεστής αντίστασης σε διάχυση υδρατμών	
	$\rho$	$\lambda$	$c$	$\mu$	
	kg/m <sup>3</sup>	W/(m·K)	J/(kg·K)	ξηρό	υγρό
<b>1. Ανόργανα δομικά υλικά</b>					
<b>1.1. Φυσικοί λίθοι και γαίες</b>					
1.1.1. Συμπαγείς λίθοι					
1.1.1.1	Εξημπογενή πετρώματα (σκληρά)	2 600	2,300	1 000	250 200
1.1.1.2	Ομογενής βράχος		3,500		
1.1.1.3	Βασάλτης	2700 - 3000	3,500	1 000	10 000 10 000
1.1.1.4	Γνεύσιος	2400 - 2700	3,500	1 000	10 000 10 000
1.1.1.5	Γρανίτης	2500 - 2700	2,800	1 000	10 000 10 000
1.1.1.6	Μαρμαρά	2 800	3,500	1 000	10 000 10 000
1.1.1.7	Σχιστόλιθος	2000 - 2800		1 000	1 000 800
1.1.1.8	Ασβεστόλιθοι πολλα σκληρός	2 600	2,300	1 000	250 200
	σκληρός	2 200	1,700	1 000	200 150
	ημισκληρός	2 000	1,400	1 000	50 40
1.1.2. Παρώδεις λίθοι					
1.1.2.1	Ασβεστόλιθο μαλακός	1 800	1,100	1 000	40 25
	πολύ μαλακός	1 600	0,850	1 000	30 20
1.1.2.2	Ψαμίτης	2 600	2,300	1 000	40 30
1.1.2.3	Εξημπογενή πετρώματα (μαλακά)	1 500	0,850	1 000	30 20
1.1.2.4	Κιόληρη υπέρ μορφή πέτρας, λάβα, πορώδεις λάβα	1 600	0,550	800	20 15
1.1.2.5	Ελαφρά πέτρα, θηροκίτη γη	400	0,120	1 000	8 6
1.1.2.6	Πλάκες τύπου Μάλτας (μυλτεζόπ λακές)		1,050		
<b>1.2. Γαιώδη υλικά και υλικά πλήρωσης διακένων διαπέδων, οροφών, τοίχων κ.τ.λ.</b>					
1.2.1	Χυμο συμπαγείς	1 800	2,090		
1.2.2	Άργιλος / ήλις	1200 - 1800	1,500	1 670 - 2 500	50 50
1.2.3	Πυκτός άμμος (υγρή)	1 700	1,500	1 800	—
1.2.4	Τύψη (σε ξηρή κατάσταση)	400	0,200	1 000	
	(σε υγρή κατάσταση)	900	0,500	1 500	
1.2.5	Άμμος διαμέτρου κόκκου < 5 mm	1 520	0,350	800	
1.2.6	Αμμογάλλια	2 200	2,000	910 - 1180	50 50
1.2.7	Χονδρόκοκκη κίσηρη		0,190		40 180
1.2.8	Διογκωμένος περλίτης	50 - 130	0,070	900	1 - 2
1.2.9	Ψηφίδες διαμέτρου κόκκου 50-10 mm σφαιλεκτές και θραυστές		0,810		
1.2.10	Θραυστά από τούβλινο και κεραμικών	1 400	0,410		
<b>1.3. Κατεργασμένη άργιλος (πηλός)</b>					
1.3.1	Ελαφρός πηλός (κίσηρη + πηλός)	760	0,230	1 000	6
1.3.2	Πηλός μη ανδαί		0,470		
1.3.3	Πηλός λάσπη	1200 - 1800	1,500	1670 - 2500	50 50
1.3.4	Όμοτ λίθοι συμπαγείς	1 990	0,800	1 000	10
1.3.5	Όμοτ λίθοι με πρόσμιξη άχνη	300	0,100	1 500	5
		660	0,190	1 500	5
		1 400	0,700		
<b>1.4. Επιχρίσματα, κονιάματα ατρώσεων και συνδετικά κονιάματα αρμών</b>					
1.4.1	Ασβεστοκονίαμα	1 800	0,870	1 000	15
1.4.2	Ασβεστοσιμεντοκονίαμα	1 800	0,870	1 000	25 - 35
		1 900	1,000	1 100	35
		2 000	1,400	1 100	25 - 35
1.4.3	Σιμεντοκονίαμα, επίστρωση σιμεντίου	1 400	0,700	1 000	10
1.4.4	Ασβεστογυψοκονίαμα	1 200	0,350	900	10 6
1.4.5	Γυψοκονίαμα χωρίς συμπαγή άμμο	1 600	0,800	900	10 6
	με συμπαγή άμμο	< 200	0,060	1 100	10
1.4.6	Οκρημονωτικό επιχρίσμα (εξωτερικά)	250	0,080	1 100	10
		350	0,100	1 100	10
		500	0,140	1 100	10
		1 800	0,870	1 100	80 - 250
1.4.7	Συνδετικά κονιάματα	2 300	0,900		—
1.4.8	Επίστρωση χυτής ασφάλτου				

# Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

Τιμές του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας ( $\lambda$ ), της ειδικής θερμοχωρητικότητας ( $c$ ) και του συντελεστή αντίστασης στη διάχυση των υδρατμών ( $\mu$ ) των διαφόρων δομικών υλικών (συνέχεια)

Δομικά υλικά	Φαινόμενο ειδικό βάρος	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας	Ειδική θερμοχωρητικότητα	Συντελεστής αντίστασης σε διάχυση υδρατμών	
	$\rho$	$\lambda$	$c_p$	$\xi$	$\mu$
	kg/m <sup>3</sup>	W/(m·K)	J/(kg·K)	ξηρό	υγρό
<b>1.5. Σκυροδέματα και ελαφρά σκυροδέματα (σε κατασκευαστικά στοιχεία χωρίς αρμούς και σε πλάκες μεγάλου μεγέθους)</b>					
1.5.1. Σκυροδέμα άσπλο ή ελαφρώς σπασμένο	μέσης πυκνότητας				
	1 800	1,150	1 000	100	60
	2 000	1,350	1 000	100	60
	2 200	1,650	1 000	120	70
	2 400	2,000	1 000	130	80
1.5.2. Σπασμένο σκυροδέμα χαμηλής ποιότητας (αυτοπαραλαίου τύπου B120)	υψηλής πυκνότητας				
	2 300	2,300	1 000	130	80
1.5.3. Σπασμένο σκυροδέμα (1% σίδηρος) ( $\geq 2\%$ σίδηρος)					
	2 400	2,500	1 000	130	80
1.5.4. Γαρμπιλοσκυροδέμα, γαρμπιλόδεμα					
	1 500	0,640			20
	1 700	0,810			25
1.5.5. Κιηρόδεμα, ελαφροσκυροδέμα					
	1 900	1,100			35
	500	0,200			5 - 20
	600	0,220			5 - 20
	800	0,280			5 - 20
	1 000	0,350			5 - 20
1.5.6. Κυψελωτό σκυροδέμα σκληρωμένο με σιρό					
	1 200	0,460	1 000		5 - 20
	400	0,140	1 000		3
	500	0,190	1 000		4
	600	0,230	1 000		4
	800	0,290	1 000		5
	1 000	0,350	1 000		6
1.5.7. Περιτόδεμα (το ειδικό βάρος εξαρτάται από την κατ' όγκον αναλογία τσιμεντού : περιλίτη)					
1.5.7.1 Περιτόδεμα χωρίς τη χρήση αφροπαιητικού παράγοντα					
	350	0,130			
	450	0,140			
	500	0,160			
	600	0,200			
1.5.7.1 Περιτόδεμα με τη χρήση αφροπαιητικού παράγοντα					
	350	0,094			
	450	0,110			
	500	0,116			
	600	0,140			
1.5.8. Πλάκες από σκυροδέμα, γύψο και αμιαντοσιμέντο					
1.5.8.1. Πλάκες από κιηρόδεμα	800	0,280			5 - 10
1.5.8.2. Πλάκες από ελαφρό σκυροδέμα με ανάμεικτα αδρανή	1 400	0,580			10 - 25
1.5.9. Πλάκες μικρού πάχους, σανίδες					
1.5.9.1. Γυψοσανίδες					
	700	0,210	1 000	10	4
	900	0,250	1 000	10	4
	1 150	0,360	1 000		10
1.5.9.2. Τσιμεντοσανίδες	1200 - 1300	0,28 - 0,32			20 - 30
1.5.9.3. Νοσπλισμένες τσιμεντοπλάκες	2 000	0,480	1 100		60
<b>1.6. Λιθώσματα</b>					
1.6.1. Τεχνητά λίθοι	1 750	1,300	1 000	50	40
<b>1.7. Τσιχοποιίες από λιθώσματα, συμπεριλαμβανομένου του συνδετικού κονιάματος των αρμών<sup>(1)</sup></b>					
1.7.1. Τσιχοποιία από πλίνθους τσιμεντοειδούς βάσης					
1.7.1.1. Τσιμεντόλιθοι από ασβεστολιθικά αδρανή (ασβέστη - άμ)					
	1 200	0,560			8 - 10
	1 400	0,700			8 - 10
	1 600	0,790			15 - 25
	1 800	0,990			15 - 25
	2 000	1,100	1 100		15 - 25
	2 200	1,300	1 100		15 - 25
1.7.1.2. Ελαφροβαρείς τσιμεντόλιθοι (ελαφροτσιμεντόλιθοι)					
	400	0,110	1 000		3 - 5
	500	0,130	1 000		4 - 6
	600	0,160	1 000		5 - 7
	700	0,190	1 000		6 - 8
	800	0,220	1 000		8 - 10

# Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλικίας ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

Τιμές του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας ( $\lambda$ ), της ειδικής θερμοχωρητικότητας ( $c$ ) και του συντελεστή αντίστασης στη διάχυση των υδρατμών ( $\mu$ ) των διαφόρων δομικών υλικών (συνέχεια)

Δομικά υλικά	Φαινόμενο ειδικό βάρος	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας $\lambda$	Ειδική θερμοχωρητικότητα $c$	Συντελεστής αντίστασης σε διάχυση υδρατμών $\mu$	
	$\rho$	$\lambda$	$c$	ξηρό	υγρό
	kg/m <sup>3</sup>	W/(m·K)	J/(kg·K)		
1.7.1.3. Διάτρητες π λίνθοι από κυμαλωτό σκυροδέμα	600	0,350			
	800	0,470		5 - 10	
	1 000	0,650		5 - 10	
	1 200	0,770		5 - 10	
	1 400	0,910		5 - 10	
1.7.1.4. Κατηράλιθοι (π λίνθοι από φυσική ελαφρόπετρα)	500	0,220		5 - 10	
	600	0,240	1 000	5 - 10	
	700	0,250	1 000	5 - 10	
	800	0,280	1 000	5 - 10	
			1 000	5 - 10	
1.7.2. Οπ τόπι λινθοδομή, ανεπίχρηστη, συμπίεση ελασματομένου και του κοκκίσματος των αμμών π άγους 10 mm	1 200	0,490	1 000		
1.7.2.1. Οπ τόπι λινθοδομή με π λήρες οπ τόπι λίνθους	1 500	0,640	1 000	10 - 25	
	1 700	0,760	1 000	10 - 25	
	1 900	0,890	1 000	10 - 25	
			1 000	10 - 25	
1.7.2.2. Οπ τόπι λινθοδομή με διατρητές οπ τόπι λίνθους	1200 #1	0,450	1 000	5 - 10	
	1500 #1	0,520	1 000	5 - 10	
	1700 #1	0,590	1 000	5 - 10	
	1900 #1	0,660	1 000	5 - 10	
1.6.2.3. Παρώδεις αργιλικές οπ τόπι λίνθοι (παρώδη τουβλά)	940	0,260	1 000		10
1.6.2.4. Οξυμαχαές οπ τόπι λίνθοι (κλίγκερ)	1 800	1,800	900		100
1.8. Υαλοτούβλα	2 500	1,400	840		=
1.9. Κεραμίδια					
1.9.1. Κεραμίδια		0,400			
1.9.2. Αργιλικά π λακίδια επιστέγασής	2 000	1,000	800	40	30
<b>2. Ξύλα</b>					
<b>2.1. Συμπυκνής ξυλεία</b>					
2.1.1. Κατεργασμένη και ακατεργαστή ξυλεία, γενικώς	450	0,120	1 600	50	20
	500	0,130	1 600	50	20
	700	0,180	1 600	200	50
2.1.2. Κωνοφόρα (πεύκο, έλατο κ.τ.λ.)	600	0,140	1 600	50	20
2.1.3. Οξιά	800	0,170	1 600	200	50
2.1.4. Δρυς (βελανδία)	800	0,210	1 600	200	50
2.1.5. Ξύλινα περσέρι παρκέτου		0,210	1 600		
<b>2.2. Προϊόντα ξύλου</b>					
2.2.1. Μορισσανίδες	300	0,100	1 700	50	10
	600	0,140	1 700	50	15
	900	0,180	1 700	50	20
			1 700	50	20
2.2.2. Αντικαληρά φύλλα ξυλείας (κόντρα π λακέ)	300	0,090	1 600	150	50
	500	0,130	1 600	200	70
	700	0,170	1 600	220	90
	1 000	0,240	1 600	250	110
2.2.3. Σκληρές π λείκες κινδύος ξύλου, μορισσανίδες (MDF)	250	0,070	1 700	5	3
	400	0,100	1 700	10	5
	600	0,140	1 700	20	12
	800	0,180	1 700	30	20
<b>3. Μέταλλα και γυαλί</b>					
<b>3.1. Γυαλί</b>					
3.1.1. Γυαλί, υαλοπίνακας	2 500	1,00	750		
3.1.2. Ψηφιδωτό γυαλί υαλοράφημα	2 000	1,20	750		
<b>3.2. Μέταλλα</b>					
3.2.1. Σίδερος, χυτός	7 500	50,00	450		
3.2.2. Χάλυβας (ατσάλι)	7 800	50,00	450		
3.2.3. Ανοξείδωτος χάλυβας	7 900	17,00	500		
3.2.4. Χαλκός	8 900	380,00	380		
3.2.5. Ορείχαλκος (κράμα χαλκού και ψευδαργύρου)	8 400	120,00	380		
3.2.6. Μπρούντζος (κράμα χαλκού και κασσίτερου)	8 700	65,00	380		
3.2.7. Μόλυβδος	11 300	35,00	130		
3.2.8. Ψευδαργύρος	7 200	110,00	380		
3.2.9. Αλουμίνιο, κράμα αλουμινίου	2 800	160,00	880		
3.2.10. Φύλλο αλουμινίου των 125 kg/m <sup>2</sup> (ως φράγμα υδρατμών)	2 500	54,00			
3.2.11. Φύλλα λαμαρίνας		58,00			

Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

Τιμές του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας ( $\lambda$ ), της ειδικής θερμοχωρητικότητας ( $c$ ) και του συντελεστή αντίστασης στη διάχυση των υδρατμών ( $\mu$ ) των διαφόρων δομικών υλικών (συνέχεια)

Δομικά υλικά	Φαινόμενο ειδικό βάρος	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας	Ειδική θερμοχωρητικότητα	Συντελεστής αντίστασης σε διάχυση υδρατμών	
	$\rho$	$\lambda$	$c$	$\mu$	
	kg/m <sup>3</sup>	W/(m·K)	J/(kg·K)	ξηρό	υγρό
<b>4. Υλικά υποστρωμάτων και επιστρώσεων</b>					
<b>4.1. Λινέλαιο</b>					
<b>4.2. Υποστρώματα</b>					
4.2.1. Υπόστρωμα από τούφα, πύλημα	1 200	0,170	1 400	1 000	800
4.2.2. Υπόστρωμα από κυταρίνη, καουτσούκ ή πλαστικό	120	0,050	1 300	20	15
4.2.3. Υπόστρωμα από λινάρα	270	0,100	1 400	10 000	10 000
4.2.4. Υπόστρωμα φελού	200	0,060	1 300	20	15
4.2.5. Υαλοφύλακα, υαλοήματα, γεωφύλακα	< 200	0,050	1 500	20	10
	60 - 140	0,040	1 030	2	2
	> 140	0,045	1 030	2	2
4.2.6. Πτεπικαμένες ορυκτές ίνες	200 - 400	0,060	1 030	10	10
<b>4.3. Πλακίδια φελλού</b>					
4.3.1. Απλά πλακίδια φελλού	100 - 150	0,042	1 560	10 - 30	
	> 400	0,065	1 500	40	20
4.3.2. Πλακίδια φελλού, σπλισμένα με ψαβιλή ύφανση	100 - 150	0,046	1 560	10 - 30	
<b>4.4. Μοκέτα</b>					
4.4.1. Μοκέτα	200	0,060	1 300	5	5
<b>4.5. Καουτσούκ, λάστιχο</b>					
4.5.1. Φυσικό καουτσούκ	910	0,130	1 100	10 000	10 000
4.5.2. Νεοπρένιο (συνθετικό καουτσούκ)	1 240	0,230	2 140	10 000	10 000
4.5.3. Βουτυλικό καουτσούκ	1 200	0,240	1 400	200 000	200 000
4.5.4. Διογκωμένο καουτσούκ (αερώδες, σπινθηρώδες, λατέξ)	60 - 80	0,060	1 500	7 000	7 000
4.5.5. Σκληρωμένο (σκληρό) καουτσούκ (εβονίτης)	1 200	0,170	1 400	-	-
4.5.6. Μονομερές αιθυλένιο-πρωπυλένιο-διένιο (EPDM)	1 150	0,250	1 000	6 000	6 000
4.5.7. Πολυισοβουτλένιο	930	0,200	1 100	10 000	10 000
4.5.8. Πολυαιθυλένιο	1 700	0,400	1 000	10 000	10 000
4.5.9. Βουταδιένιο	980	0,250	1 000	100 000	100 000
<b>4.6. Ασφαλτικά υλικά</b>					
4.6.1. Καθαρή ασφάλτος, μιστήρη ασφάλτου, πίσσα	1 050	0,170	1 700	50 000	50 000
4.6.2. Ασφαλτικά μείγματα με άδρανη, ασφαλτικό σκυρόδεμα	2 100	0,700	1 000	50 000	50 000
4.6.3. Επίστρωση χυτής ασφάλτου	2 300	0,900	920	50 000	50 000
4.6.4. Ασφαλτικά φύλλα (ασφαλτόχαρτα)	1 100	0,190	1 000	50 000	50 000
4.6.5. Ασφαλτικά φύλλα (ασφαλτόπανα)	1 100	0,230	1 000	50 000	50 000
<b>4.7. Κεραμικά υλικά και υλικά με βάση το τσιμέντο</b>					
4.7.1. Πλακίδια επίστρωσης τοίχων	2 000	1,050		250	
4.7.2. Κεραμικά πλακίδια διαπέδου	2 000	1,840	840	250	
4.7.3. Κεραμικά πλακίδια με ελαστική / παραελάνες	2 300	1,300	840	-	-
4.7.4. Μωσαϊκό	1 900	1,200			
<b>4.8. Συνθετικά (πλαστικά) πλακίδια</b>					
4.8.1. Συνθετικά πλακίδια	1 000	0,200	1 000	10 000	10 000
<b>4.9. Πλάκες πεζοδρομίου</b>					
4.9.1. Πλάκες πεζοδρομίου	2 100	1,500	1 000	100	60
<b>5. Συνθετικά υλικά, ρητίνες, σιλικόνες</b>					
<b>5.1. Πλαστικά</b>					
5.1.1. Πολυκαρβονικά φύλλα	1 200	0,200	1 200	5 000	5 000
5.1.2. Φύλλα πολυαιθυλένι (υψηλής πυκνότητας)	980	0,500	1 800	100 000	100 000
				(χαμηλής πυκνότητας)	
5.1.3. Φύλλα χλωριούχου πολυβινυλίου (PVC)	1 390	0,170	900	50 000	50 000
5.1.4. Πολυπρωπυλένιο (PP)	910	0,220	1 800	10 000	10 000
5.1.5. Πολυστυρένιο (PS)	1 050	0,160	1 300	100 000	100 000
5.1.6. Ακρυλικά	1 050	0,200	1 500	10 000	10 000
5.1.7. Πολυτετραφθοροαιθυλένιο (PTFE)	2 200	0,250	1 000	10 000	10 000
5.1.8. Πολυακετόνη	1 410	0,300	1 400	100 000	100 000
5.1.9. Πολυαιθίλιο	1 150	0,250	1 600	50 000	5 000
5.1.10. Πολυουρεθάνη	1 200	0,250	1 800	6 000	6 000
5.1.11. Αφρός πολυουρεθάνης (ως σφραγιστικό υλικό)	70	0,050	1 500	60	60
<b>5.2. Ρητίνες</b>					
5.2.1. Εποξεική (επιθετική) ρητίνη	1 200	0,200	1 400	10 000	10 000
5.2.2. Φενολική ρητίνη	1 300	0,300	1 700	100 000	100 000
5.2.3. Πολυεστερική ρητίνη	1 400	0,190	1 200	10 000	10 000
<b>5.3. Σιλικόνες</b>					
5.3.1. Καθαρή σιλικόνη	1 200	0,350	1 000	5 000	5 000
5.3.2. Γέμισμα σιλικόνης	1 450	0,500	1 000	5 000	5 000
5.3.3. Σιλικονόμορφος αφρός	750	0,120	1 000	10 000	10 000
5.3.4. Κόκκοι οξειδίου του πυριτίου, πτηνή πυριτίου (silica gel)	720	0,130	1 000	-	-

Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

Τιμές του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας ( $\lambda$ ), της ειδικής θερμοχωρητικότητας ( $c$ ) και του συντελεστή αντίστασης στη διάχυση των υδρατμών ( $\mu$ ) των διαφόρων δομικών υλικών (συνέχεια)

Δομικά υλικά	Φαινόμενο ειδικό βάρος	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας	Ειδική θερμοχωρητικότητα	Συντελεστής αντίστασης σε διάχυση υδρατμών	
	$\rho$	$\lambda$	$c_p$	$\mu$	
	kg/m <sup>3</sup>	W/(m·K)	J/(kg·K)	ξηρό	υγρό
<b>6. Θερμομονωτικά υλικά</b>					
<b>6.1. Ινώδη ανόργανα υλικά</b>					
6.1.1. Υαλοβάμβακας σε σκληρές πλάκες	70 - 110	0,035 - 0,041		1,0 - 1,5	
6.1.2. Υαλοβάμβακας μη μορφοποιημένος	15 - 50	0,035 - 0,041		1,0 - 1,5	
6.1.3. Πετροβάμβακας σε σκληρές πλάκες	110 - 180	0,035 - 0,041	1 030	1,0 - 1,5	
6.1.4. Πετροβάμβακας μη μορφοποιημένος	50	0,035 - 0,041	1 030	1,0 - 1,5	
<b>6.2. Ανόργανα υλικά κυψελωτής δομής</b>					
6.2.1. Αφρώδες γυαλί	125 - 140	0,040 - 0,052	1 000	100 000	100 000
6.2.2. Τρίματα θηραϊκής γης	150 - 230	0,060 - 0,080	1 000		
<b>6.3. Συνθετικά οργανικά υλικά κυψελωτής δομής</b>					
6.3.1. Πλάκες ξυλόμαλου με ανόργανο συνδετικό $d < 25$ mm	570	0,150	1 470	2 - 5	
	$d \geq 25$ mm	360 - 480	0,090	1 470	
6.3.2. Φελλός					
6.3.2.1 Σκληρά πλακίδια από φελλό	> 400	0,065	1 500	40	20
6.3.2.2 Φύλλα και πλάκες από φελλό	100 - 150	0,042 - 0,046	1 560	10 - 30	
6.3.3. Διογκωμένη πολυστερίνη					
6.3.3.1 Διογκωμένη πολυστερίνη σε κόκκους	15 - 30	0,045	1 450		
6.3.3.2 Διογκωμένη πολυστερίνη σε πλάκες <sup>(9)</sup>	12 - 30	0,035 - 0,040	1 500	20 - 90	
6.3.3.3 Διογκωμένη πολυστερίνη με γραφίτη σε πλάκες	12 - 30	0,031 - 0,035	1 550	30 - 80	
6.3.4. Αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη σε πλάκες	30 - 45	0,033 - 0,037	1 450	80 - 250	
6.3.5. Πολυουρεθάνη με κλειστές κυψελίδες (σε αφρό ή πλάκες) <sup>(10)</sup>	30 - 80	0,023 - 0,030 <sup>B</sup>	1 400 - 1 500	50 - 100	
6.3.6. Φαινολικός αφρός	40 - 50	0,026 - 0,038	1 400	50	50
<b>6.4. Υλικά φυτικής και ζωικής προέλευσης</b>					
6.4.1. Πλάκες ή μπάλες επεξεργασμένου αμυρού	200	0,040 - 0,070		2	
6.4.2. Φυκία θαλάσσης	75 - 80	0,045 - 0,050		2	
6.4.3. Πλάκες από καλάμια	120 - 230	0,065 - 0,090	1 200		
6.4.4. Κυτταρίνη (κολλώδης)	120 - 220	0,040 - 0,060	800 - 1 100		
	(ινώδης)	30 - 80	0,040 - 0,45	1 700 - 2 100	
6.4.5. Λινάρι	20 - 80	0,038 - 0,045	1 300 - 1 600		
6.4.6. Βαμβάκι	20 - 60	0,040	840 - 1 300		
6.4.7. Μαλλί πρβάτου	25 - 30	0,040 - 0,050	960 - 1 300		
<b>7. Αέρια</b>					
7.1. Ξηρός αέρας (στους 20°C)	1	0,025	1 008	1	
7.2. Διοξείδιο του άνθρακα	2	0,014	820	1	
7.3. Αργό	2	0,017	519	1	
7.4. Κρππιό	4	0,009	245	1	
7.5. Ξένο	6	0,0054	160	1	
<b>8. Νερό</b>					
<b>8.1. Νερό σε υγρή φάση</b>					
8.1.1. Νερό στους 10°C	1 000	0,600	4 187	—	—
8.1.2. Νερό στους 40°C	990	0,630	4 190	—	—
8.1.3. Νερό στους 80°C	970	0,670	4 190	—	—
<b>8.2. Νερό σε στερεά φάση</b>					
8.2.1. Πάγος στους -10°C	920	2,300	2 000	—	—
8.2.2. Πάγος στους 0°C	900	2,200	2 000	—	—
8.2.3. Φρέσκο χόνι (πάχος στρώσης < 30 mm)	100	0,050	2 000	—	—
8.2.4. Χόνι μαλακό (πάχος στρώσης 30 έως 70 mm)	200	0,120	2 000	—	—
8.2.5. Χόνι ελαφρώς συμπιεσμένο (πάχος στρώσης 70 έως 100 mm)	300	0,230	2 000	—	—
8.2.6. Χόνι συμπιεσμένο (πάχος στρώσης < 200 mm)	500	0,600	2 000	—	—



Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής  
ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

**1.8.1 Συντελεστής απορρόφησης ηλιακής ακτινοβολίας**

Η ακτινοβολία που προσπίπτει σε μια αδιαφανή επιφάνεια μπορεί να ανακλαστεί ή να απορροφηθεί από αυτή. Το άθροισμα του ποσοστού της ηλιακής ακτινοβολίας που ανακλάται και του ποσοστού που απορροφάται από μια επιφάνεια ισούται με τη μονάδα:

$$r + \alpha = 1$$

όπου :  $r$  ,ο συντελεστής ανακλαστικότητας της επιφάνειας στην ηλιακή ακτινοβολία,

$\alpha$  ,ο συντελεστής απορροφητικότητας της επιφάνειας στην ηλιακή ακτινοβολία

Τόσο η ανακλαστικότητα όσο και η απορροφητικότητα στην ηλιακή ακτινοβολία ενός αδιαφανούς υλικού ή μιας επιφάνειας εξαρτώνται κυρίως από τη διαμόρφωση της τελικής επιφάνειας , δηλαδή από το χρώμα και την ύψη της. Η ανακλαστικότητα στιλπνών και λειών επιφανειών πλησιάζει προς τη μονάδα, ενώ η απορροφητικότητα τους είναι μειωμένη . Από την άλλη , σκουρόχρωμες και τραχιές επιφάνειες εμφανίζουν υψηλή απορροφητικότητα και χαμηλή ανακλαστικότητα. Οι ιδιότητες αυτές των τελικών επιφανειών του κτηριακού κελύφους προσδιορίζουν ουσιαστικά τα ηλιακά κέρδη των αδιαφανών δομικών στοιχείων και μπορεί να έχουν σημαντικό ρόλο, κυρίως όταν οι επιφάνειες δέχονται μεγάλες ποσότητες ακτινοβολίας , όπως για παράδειγμα στην περίπτωση δομάτων .

**Ιδιότητες ακτινοβολίας υλικών**

**Πίνακας 1.4:** Επιφάνεια εδάφους

Επιφάνεια εδάφους	Ηλιακή απορροφητικότητα	Ηλιακή Ανακλαστικότητα
Ασφαλτική επίστρωση	0.93	0.07
Επιφάνεια χώματος	0.75	0.25
Γρασίδι	0.67	0.33
Πάχος με επικάλυψη αραιού χιονιού	0.31	0.69
Φύλλα βελανιδιάς	0.71	0.29
Άμμος (στεγνή)	0.82	0.18
Άμμος (υγρή)	0.91	0.09
Άμμος (άσπρη πούδρα)	0.45	0.55
Χιόνι λεπτό φρέσκο	0.13	0.87
Χαλάζι	0.33	0.67
Νερό, γωνία ηλιακού ζηνίθ :	50°	0.9
	60°	0.84
	70°	0.74
	80°	0.53
Αγροτική συγκομιδή	0.75	0.25
Δάσος με φυλλοβόλα δέντρα	0.85	0.15
Δάσος με κωνοφόρα δέντρα	0.95	0.05
Σκυρόδεμα : καθαρό μέσο	0.55	0.45
	0.7	0.30

Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

πολυκαιρισμένο	0.8	0.20
<b>Πίνακας 1.5: Οικοδομικά επιφανειακά στρώματα</b>		
<b>Επιφάνεια</b>	<b>Ηλιακή απορροφητικότητα</b>	<b>Θερμική απορροφητικότητα και ικανότητα εκπομπής</b>
Αλουμίνιο ,γαλισμένο	0.15	0.08
Ασπρισμένη επιφάνεια	0.20	-
Βαφή χρωμίου	0.28	0.20
Βαφή με στουπέτσι	0.29	0.89
Μάρμαρο λευκό	0.46	0.95
Βαφή πράσινη ανοικτή	0.50	0.95
Βαφή αλουμινίου	0.55	0.55
Ασβεστόλιθος	0.57	0.95
Ξύλο , Έλατο	0.60	0.95
Αμιανοτσιμέντο μετά από 1 χρόνο	0.71	0.95
Τούβλα με κόκκινο πηλό	0.77	0.94
Βαφή γκρι	0.75	0.95
Σίδηρο γαλβανισμένο , παλιό οξειδωμένο	0.90	0.28
Χρώμα μαύρο ματ	0.97	0.95

<b>Χρώματα</b>	<b>Ηλιακή απορροφητικότητα</b>	<b>Ηλιακή Ανακλαστικότητα</b>
Λευκό , λείες επιφάνειες	0.25 – 0.40	0.60 – 0.75
Γκρι ως σκούρο γκρι	0.40 – 0.50	0.50 – 0.60
Πράσινο , κόκκινο και καφέ	0.50 – 0.70	0.30 – 0.50
Σκοτεινό καφέ ως μπλε	0.70 – 0.80	0.20 – 0.30
Μπλε σκούρο ως μαύρο	0.80 – 0.90	0.10 – 0.20

Πίνακας 1.6: Κατοπτρική ηλιακή ανελαστικότητα

<b>Κατοπτρική επιφάνεια</b>	<b>Ηλιακή ανελαστικότητα</b>
Ηλεκτρολυτικός άργυρος , νέος	0.96
Υψηλής καθαρότητας αλουμίνιο καινούργιο καθαρό	0.91
Πιτσιλωτό αλουμίνιο οπτικής ανάκλασης	0.89
Αλουμίνιο ειδικής επεξεργασίας BRYTAL υψηλής καθαρότητας	0.89
Γυαλί επαργυρωμένο από το ένα μέρος καινούργιο καθαρό	0.88
Αλουμίνιο βαμμένο με πυρίτιο-οξυγόνο ,καθαρό	0.87
Αλουμίνιο φύλλο 99.5% καθαρό	0.86
Αλουμίνιο με επεξεργασία ALZAC (πλαστικό με λεπτό φύλλο αλουμινίου)	0.85
Ακρυλικό 3M περασμένο από το πίσω μέρος με αλουμίνιο καινούργιο	0.85
MYLAR τύπου C με αλουμίνιο (από την πλευρά του MYLAR)	0.76

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ CFD

### 2.1. Ο ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗΣ ΚΑΙ Η ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΡΕΥΣΤΩΝ

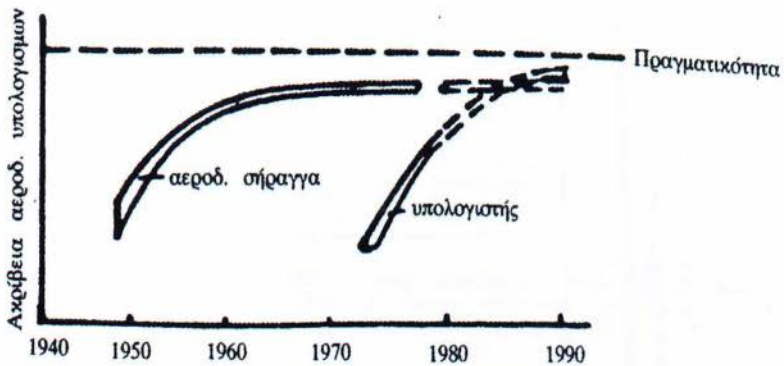
Η ανάπτυξη και η εκτεταμένη χρήση των ηλεκτρονικών υπολογιστών τα τελευταία 30 χρόνια είχε αρκετή επίδραση σχεδόν σε όλους τους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας, τεχνικό, κοινωνικό, επιστημονικό. Η επίδραση των υπολογιστών στον τομέα της Μηχανικής των Ρευστών υπήρξε αρκετά σημαντική. Μέχρι το τέλος της δεκαετίας του 1960 οι λύσεις των προβλημάτων της ρευστομηχανικής προέρχονταν, είτε από πειραματική προσομοίωση των προβλημάτων σε αεροδυναμική σήραγγα, είτε από αναλυτικές λύσεις απλοποιημένων εξισώσεων με παραδοχές, των οποίων η αξιοπιστία ήταν αμφισβητήσιμη.

Η αεροδυναμική σήραγγα, η οποία έχει τόσο πλατιά χρήση στη μελέτη των αεροδυναμικών φαινομένων μπορεί να θεωρηθεί σαν μηχανισμός ολοκλήρωσης των διαφορικών εξισώσεων που εκφράζουν το πεδίο ροής. Συνήθως, τα αποτελέσματα που λαμβάνονται από την αεροδυναμική σήραγγα αναφέρονται σε ολοκληρωτικά μεγέθη του πεδίου ροής, όπως συντελεστής άνωσης, CL και αντίστασης του αεροσκάφους, CD, σπανιότερα δε σε σημειακά μεγέθη του πεδίου ροής, όπως ταχύτητες και πιέσεις σε διάφορες θέσεις. Σήμερα, η συμμετοχή του ηλεκτρονικού υπολογιστή στη λύση των προβλημάτων της μηχανικής των ρευστών είναι σχεδόν πρωταρχική, σε ορισμένες δε περιπτώσεις οι λύσεις που παρέχει ο ηλεκτρονικός υπολογιστής είναι αρκετά αξιόπιστες και δεν κρίνεται αναγκαίος ο έλεγχος των αριθμητικών αποτελεσμάτων με μετρήσεις.

Η εξέλιξη της υπολογιστικής ισχύος των μηχανών σε συνδυασμό με την ακρίβεια των μαθηματικών μοντέλων προσομοίωσης φαίνεται, ότι σύντομα θα οδηγήσει στην κατάσταση, όπου η αξιοπιστία των ρευστομηχανικών υπολογισμών να είναι μεγαλύτερη από την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων της πειραματικής προσομοίωσης.

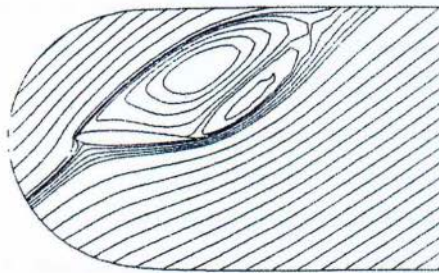
Σήμερα, χωρίς σοβαρές απλουστευτικές παραδοχές, μπορούν να επιλυθούν, αριθμητικά, δισδιάστατα τυρβώδη πεδία ροής, όπως αυτό που η λύση του παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.2, να επιχειρείται και η επίλυση τρισδιάστατων πεδίων ροής, όπως της δυναμικής ροής γύρω από ολόκληρο το αεροσκάφος ή της τρισδιάστατης ροής γύρω από ολόκληρο αυτοκίνητο.

Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους



Σχήμα 2.1: Σύγκριση αξιοπιστίας  $H/Y$  και Αεροδυναμικής Σήραγγας

Σήμερα, η μελέτη ή η εκλογή της κατάλληλης αεροτομής για τις διάφορες εφαρμογές στην Αεροναυπηγική βιομηχανία γίνεται θεωρητικά με την αριθμητική επίλυση (με τη βοήθεια του ηλεκτρονικού υπολογιστή) της δυναμικής ροής γύρω από την αεροτομή ή με τη σχεδίαση εκείνης της αεροτομής που ικανοποιεί τις απαιτήσεις του προβλήματος, «π.χ. μέγιστο  $Q$  με ελάχιστο  $CD$ ».



Σχήμα 2.2: Αεροτομή σε μεγάλη γωνία πρόσπτωσης με καθολική αποκόλληση

Ο ηλεκτρονικός υπολογιστής, όταν μπορεί αξιόπιστα να επιλύσει ένα πεδίο ροής, έχει πολύ μεγαλύτερες δυνατότητες από την εναλλακτική λύση της φυσικής προσομοίωσης του πεδίου ροής σε αεροδυναμική σήραγγα, γιατί η πειραματική προσομοίωση του πεδίου ροής συνήθως δεν μπορεί να είναι πλήρης, όπως στην περίπτωση της προσομοίωσης της διηθητικής ροής, λόγω του φαινομένου της αλληλεπίδρασης της ροής με τα τοιχώματα της σήραγγας ή της αδυναμίας της σύγχρονης προσομοίωσης των αριθμών Reynolds και Mach της ροής. Ο υπολογιστής, όπως είναι φανερό δεν έχει τέτοιες δεσμεύσεις μια και μπορεί να προσομοιώσει οποιεσδήποτε καταστάσεις ροής. Ο μόνος προς το παρόν περιορισμός του είναι η ταχύτητα εκτέλεσης των πράξεων και η χωρητικότητα της μνήμης του.

Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους



**Σχήμα 2.3:** Διαδικασία ελέγχου φυσικών υποθέσεων

Πολλές φορές συζητείται εκτενώς η δυνατότητα του υπολογιστή να αντικαταστήσει μελλοντικά πειράματα. Προς το παρόν τόσο ο υπολογιστής όσο και η πληθώρα των πειραματικών εφαρμογών αλληλοσυμπληρώνονται. Ο υπολογιστής όμως έχει πολύ μεγαλύτερο ρυθμό εξέλιξης αλλά και μείωσης του κόστους εκτέλεσης των αριθμητικών πράξεων. Στο μέλλον, όταν οι υπολογιστικές μέθοδοι θα έχουν βελτιωθεί και η ταχύτητα και η μνήμη των υπολογιστών θα έχει αυξηθεί, προβλέπεται ότι το μεγαλύτερο τμήμα της σχεδίασης των πειραματικών εφαρμογών θα γίνεται με τη βοήθεια του ηλεκτρονικού υπολογιστή και μόνο σε ορισμένες οριακές περιπτώσεις θα ελέγχονται πειραματικά. Τέλος, ο ηλεκτρονικός υπολογιστής εκτός από τη χρησιμότητα του ως εργαλείου επίλυσης προβλημάτων πρακτικού ενδιαφέροντος συμβάλλει σημαντικότερα στον έλεγχο της ορθότητας των φυσικών υποθέσεων που συνυπάρχουν στις βασικές ρευστομηχανικές εξισώσεις ή σε απλουστευμένες μορφές τους. Ενδεικτικά η όλη μεθοδολογία επίλυσης προβλημάτων με υπολογιστή φαίνεται διαγραμματικά στο Σχήμα 2.3, όπου τα θεωρητικά αποτελέσματα που προκύπτουν από την αριθμητική λύση συγκρίνονται με πειραματικά. Η συμφωνία ή η διαφωνία της αριθμητικής και της πειραματικής λύσης οδηγεί στην βελτίωση των φυσικών υποθέσεων. Σήμερα, η μεγάλη ερευνητική προσπάθεια που καταβάλλεται διεθνώς εντοπίζεται στην ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων προσομοίωσης της τυρβώδους ροής.

## Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

### 2.2 ΓΙΑΤΙ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙΤΑΙ

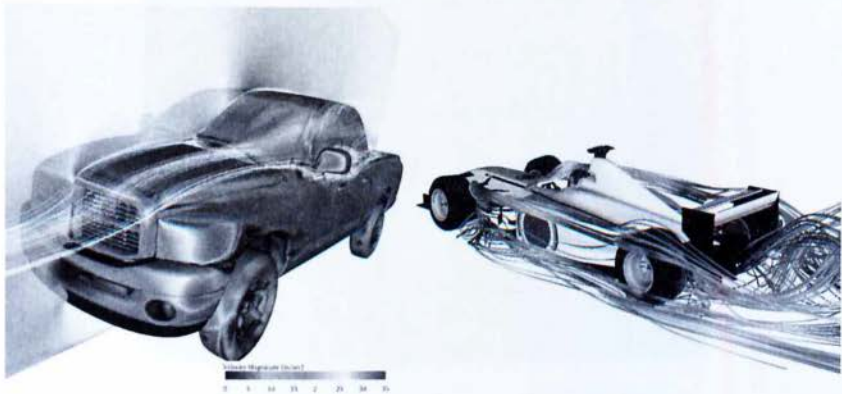
Ανάλυση και σχεδιασμός

- Η τεχνολογία CFD χρησιμοποιείται για την προσομοίωση βασισμένη στο σχεδιασμό, παρέχοντας ακριβή αποτελέσματα όσον αφορά τη ροή ρευστού μέσα ή γύρω από μια επιφάνεια.
- Χρησιμοποιείται επίσης για περιπτώσεις κατά τις οποίες είναι σχεδόν αδύνατο να διεξαχθεί πείραμα ώστε να πάρουμε τα επιθυμητά αποτελέσματα, (προσομοίωση φυσικών φαινομένων) όπως π.χ.:
  - Προσομοίωση σε πραγματικές διαστάσεις και συνθήκες (αεροπλάνα, πλοία, κ.α.)
  - Περιβαλλοντολογικές συνθήκες (αέρας, καιρός, κ.α.)
  - Επικίνδυνες δραστηριότητες (εκρήξεις, ραδιενέργεια, κ.α.)
  - Φυσική (πλανητικές στοιβάδες, αστρική εξέλιξη, κ.α.)

### 2.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

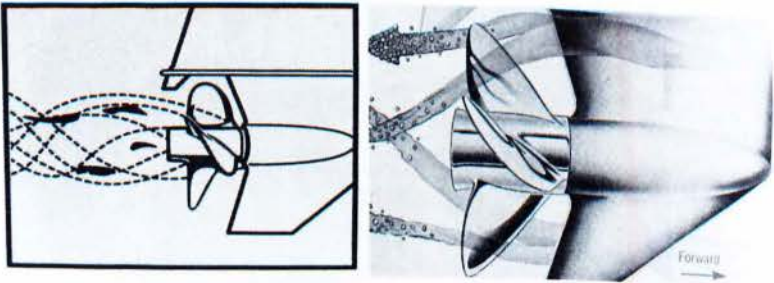
Οι εφαρμογές της τεχνολογίας CFD είναι πραγματικά αμέτρητες. Ορισμένες από αυτές αναφέρονται παρακάτω:

- Αεροδυναμική οχημάτων εδάφους, αεροσκαφών, πυραύλων

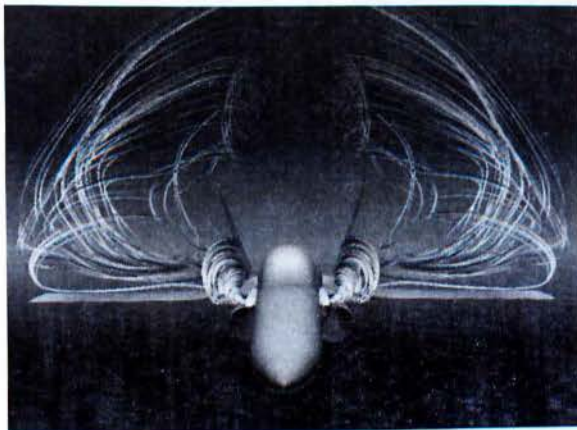
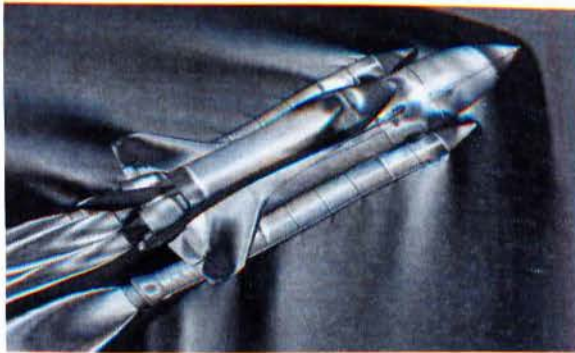


## Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

- Υδροδυναμική των σκαφών

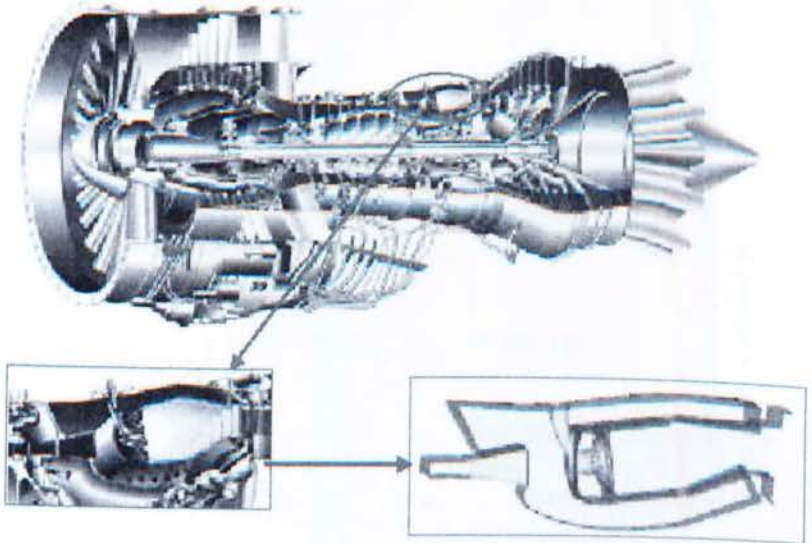


- Ροές μηχανών - μηχανές ολοκληρωμένου κυκλώματος και αεριοθούμενες μηχανές

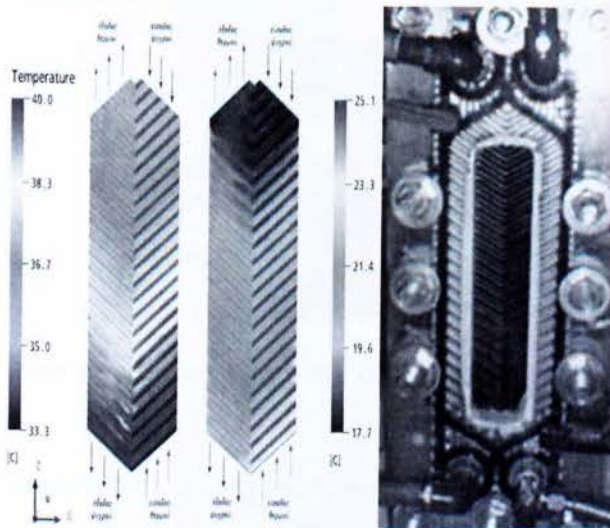


## Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

- Στροβιλοκίνητες μηχανές - αντλίες και στρόβιλοι



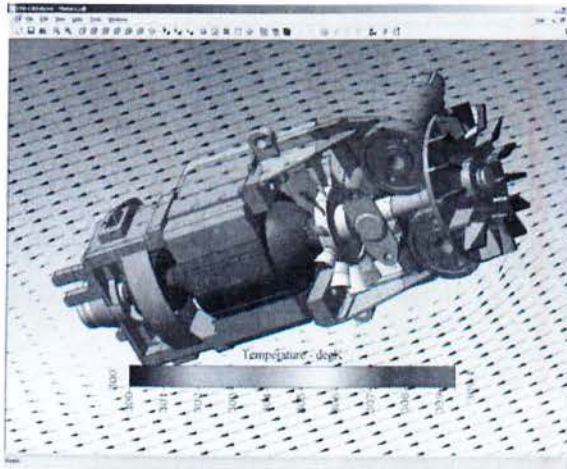
- Μεταφορά θερμότητας - θέρμανση και συστήματα ψύξης



- Ροή ρευστού και μετάδοση θερμότητας σε βιομηχανικές διεργασίες (λέβητες, εναλλάκτες, συσκευές καύσης, αντλίες, ανεμιστήρες, σωληνώσεις, κ.λπ.)



## Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους



- Εφαρμοσμένη μηχανική διαδικασία - αναμιγνύοντας και αντιδρούσες χημικές ουσίες
- Φόρτωση αέρα - δυνάμεις και δυναμική απάντηση των δομών
- Εξαερισμός κτηρίων



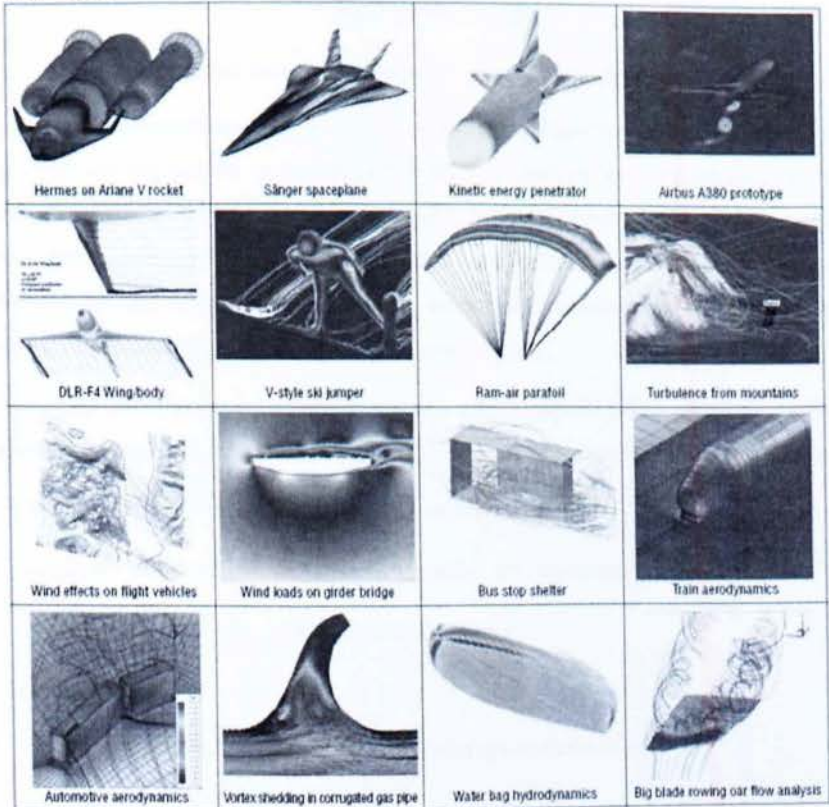
- Περιβαλλοντική εφαρμοσμένη μηχανική - μεταφορά των ρύπων και των αποβλήτων αποχέτευσης
- Παράκτια εφαρμοσμένη μηχανική - φόρτωση στις παράκτιες και θαλάσσιες δομές
- Υδραυλική - δίκτυα σωλήνων, δεξαμενές, κανάλια
- Μεταφορά ιζημάτων
- Υδρολογία - ροή στους ποταμούς και τα υδροφόρα στρώματα
- Ωκεανογραφία - παλιρροιακές ροές, ωκεάνια ρεύματα
- Μετεωρολογία - αριθμητική καιρική πρόβλεψη
- Φυσική υψηλής ενέργειας

Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

- Βιοϊατρική εφαρμοσμένη μηχανική - ροή αίματος στην καρδιά, τις φλέβες και τις αρτηρίες
- Μετάδοση θερμότητας για ψύξη ηλεκτρονικών συστημάτων

Στα παρακάτω σχήματα φαίνονται ορισμένες από τις εφαρμογές που αναφέρθηκαν.

From Lift-off ...



... to Splash-down

Η βιοϊατρική (όπως έχουμε ήδη αναφέρει), είναι ένας τομέας, ταχύτατα εξελισσόμενος, ο οποίος χρησιμοποιεί την τεχνολογία CFD για να μελετήσει το κυκλοφοριακό και το αναπνευστικό σύστημα. Στην παρακάτω εικόνα αναπαρίσταται η διαμόρφωση της πίεσης σε μια όψη σε τομή, στην οποία φαίνονται τα διανύσματα της ταχύτητας κατά την άντληση αίματος, το οποίο μας δείχνει τη σημασία της καρδιάς κατά την εγχείρηση ανοιχτής καρδιάς.

## Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους



**Σχήμα 2.4:** Κατανομή πίεσης σε βαλβίδα καρδιάς (βιοϊατρική)

Η τεχνολογία CFD προσελκύει την βιομηχανία καθώς είναι περισσότερο αποτελεσματική αλλά και συμφέρουσα οικονομικά σε σχέση με την πραγματοποίηση ενός πειράματος, σε πολλές περιπτώσεις. Παρόλα αυτά πρέπει να σημειωθεί ότι σε αρκετά δύσκολες και περίπλοκες προσομοιώσεις ροής, πολύ συχνά εμφανίζονται σφάλματα, τα οποία απαιτούν μεγάλη εξειδίκευση και τεχνική-μηχανική κατάρτιση, ώστε να εξασφαλιστούν τα λιγότερα δυνατά σφάλματα σε συνδυασμό με τα ακριβέστερα αποτελέσματα.

Ο ρόλος της υπολογιστικής ρευστοδυναμικής είναι πρωτεύουσας σημασίας καθώς τα αποτελέσματα μιας ανάλυσης CFD είναι δεδομένα τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν:

- Στην αρχική μελέτη νέων σχεδίων (conceptual design)
- Στη λεπτομερή ανάπτυξη προϊόντων (detailed development)
- Στην ανίχνευση προβλημάτων (troubleshooting)

Συμβάλλοντας έτσι:

- Στον ανασχεδιασμό – βελτιστοποίηση (redesign–optimization)

## 2.4 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΤΟΥ CFD

Στο CFD υπάρχουν κάποιοι περιορισμοί. Στα μαθηματικά μοντέλα, οι επιλύσεις βασίζονται σε μοντέλα των πραγματικών φαινομένων (π.χ. μοντέλα τυρβώδους, συμπιεστότητας, χημικών αντιδράσεων, πολυφασικής ροής, κ.λπ.) και η ακρίβεια των λύσεων που αποκτώνται εξαρτάται από το πόσο θα είναι ακριβή τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται.

## Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

Η επίλυση με τον Η/Υ αναπόφευκτα εισάγει αριθμητικά σφάλματα. Πιο συγκεκριμένα, σφάλματα στρογγυλοποίησης εξαιτίας της πεπερασμένης μνήμης αποθήκευσης των αριθμών και σφάλματα αποκοπής εξαιτίας της προσέγγισης κατά τη διακριτοποίηση (μετατροπή διαφορικών εξισώσεων σε αλγεβρικές). Τα σφάλματα στρογγυλοποίησης θα υπάρχουν πάντα (αν και συνήθως είναι μικρά) ενώ τα σφάλματα αποκοπής τείνουν στο μηδέν με την πύκνωση του πλέγματος ή με τη χρήση σχημάτων μεγαλύτερης ακρίβειας.

Ακόμα έχουμε κάποια σφάλματα στις οριακές συνθήκες. Όπως με τα μαθηματικά μοντέλα, η ακρίβεια της λύσης είναι τόσο καλή όσο και οι αρχικές/ οριακές συνθήκες που χρησιμοποιήθηκαν (δηλ. πόσο ρεαλιστικές είναι). Για παράδειγμα η ροή σε αγωγό με απότομη διεύρυνση. Τέλος το προφίλ της ταχύτητας στην είσοδο είναι πιο ρεαλιστικό να αντιστοιχεί σε αναπτυγμένη ροή, παρά να είναι ομοιόμορφη.

### 2.5 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ CFD

Η σημασία του πειράματος είναι δεδομένη. Μία ανάλυση CFD σε καμία περίπτωση δεν αντικαθιστά ένα πείραμα. Στην πραγματικότητα το συμπληρώνει. Βέβαια υπερέχει αυτού καθώς:

- Είναι φθηνότερη και πιο γρήγορη στη διεξαγωγή. Η διεξαγωγή ενός πειράματος, ταυτίζεται με μια χρονοβόρα διαδικασία καθώς επίσης συνεπάγεται και έναν δαπανηρό προϋπολογισμό. Μια ανάλυση CFD είναι σαφώς πιο γρήγορη στη διεξαγωγή της, από την συντέλεση ενός πραγματικού πειράματος, μιας και η προσομοίωση του, αλλά και τα εκατομμύρια των υπολογισμών, πραγματοποιούνται σε πολύ πιο σύντομο χρονικό διάστημα, εν συγκρίσει με την πραγματική διαδικαστική μέθοδο. Μικρός χρονικός κύκλος σημαίνει ότι χρήσιμα δεδομένα μπορεί να εισαχθούν νωρίτερα στο στάδιο της σχεδίασης και βέβαια, σε κάθε περίπτωση είναι πιο οικονομική από την πραγματική διαδικασία καθώς οι αριθμητικές προσομοιώσεις είναι σχετικά οικονομικές, με πτωτική τάση κόστους λόγω της συνεχώς μειούμενης τιμής των Η/Υ.
- Πραγματοποιείται σε πραγματική κλίμακα, χωρίς περιορισμούς και όρια. Οι αναλύσεις υπολογιστικής ρευστομηχανικής έχουν την δυνατότητα προσομοίωσης πραγματικών συνθηκών και σε πραγματική κλίμακα όπως για παράδειγμα είναι μια πυρηνική αντίδραση, μια υπερηχητική ροή και άλλες πολλές πραγματικές εφαρμογές, οι οποίες βέβαια σε καμία περίπτωση δεν θα μπορούσαν να αναλυθούν και να μελετηθούν με

## Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

πειραματική διαδικασία. Έτσι λοιπόν, αμέτρητες εφαρμογές που στην πράξη θα ήταν πολύ δύσκολο και σε αρκετές περιπτώσεις αδύνατο να μελετηθούν, πλέον με την βοήθεια του CFD, η μελέτη τους καθίσταται δυνατή.

- Δίνει πληροφορίες σε όλο το χώρο και όχι μόνο σε μεμονωμένα σημεία. Ένα ακόμη βασικό πλεονέκτημα του CFD είναι ότι, ενώ με ένα πείραμα τα αποτελέσματα που παίρνουμε είναι περιορισμένα, δηλαδή το εύρος του συστήματος προς ανάλυση είναι περιορισμένο, τα αποτελέσματα που μας δίνει το CFD αναφέρονται σαφώς σε ευρύτερο πεδίο του συστήματος, γεγονός που επιτυγχάνεται με τη δημιουργία του πλέγματος και με την πυκνότητα του. (Όσο πιο πυκνό είναι το πλέγμα, τόσα περισσότερα είναι τα κελιά του, άρα τόσα περισσότερα και τα σημεία προς ανάλυση). Το γεγονός αυτό μας επιτρέπει μεγαλύτερη ακρίβεια στα αποτελέσματά μας.

## 2.6 CFD ΑΝΑΛΥΣΗ: ΒΑΣΙΚΑ ΒΗΜΑΤΑ

Στην παράγραφο αυτή θα ασχοληθούμε με την βασική διαδικασία που ακολουθούμε, καθώς μελετούμε μια πραγματική εφαρμογή με τη βοήθεια του CFD. Έτσι λοιπόν, τα βασικά βήματα κατά την ανάλυση προβλήματος με τη βοήθεια υπολογιστικής ρευστοδυναμικής είναι συνοπτικά τα ακόλουθα:

### 2.6.1 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟΧΩΝ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ.

- Τι είδους αποτελέσματα ζητούμε και πως θα τα χρησιμοποιήσουμε
- Ποια μαθηματικά μοντέλα θα χρειαστεί να ενσωματώσουμε στην ανάλυση
- Τι βαθμό ακρίβειας χρειαζόμαστε
- Πόσο γρήγορα χρειαζόμαστε τα αποτελέσματα

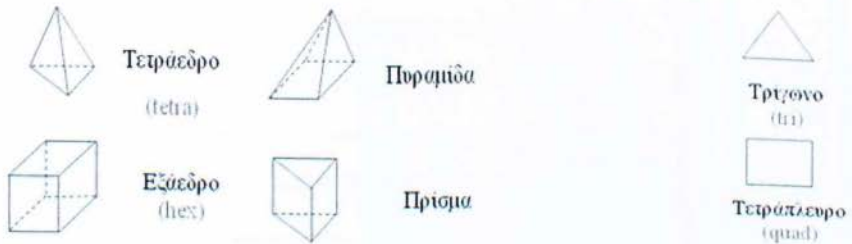
#### 2.6.1.1 Καθορισμός Πεδίου Που Θα Επιλυθεί (Χώρος & Χρόνος)

- Πως θα απομονωθεί ένα κομμάτι του ολικού φυσικού συστήματος
- Που θα αρχίζει και θα τελειώνει το υπολογιστικό πεδίο
- Τι είδους οριακές συνθήκες θα χρειαστούν
- Μπορεί το πρόβλημα να απλοποιηθεί στις δυο διαστάσεις, υπάρχει ροική και γεωμετρική συμμετρία

Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

2.6.1.2 Σχεδιασμός & Κατασκευή Του Υπολογιστικού Πλέγματος

- Θα χρησιμοποιηθεί εξαεδρικό / τετραπλευρικό ή τετραεδρικό/ τριγωνικό πλέγμα, υβριδικό, μη συμβατό πλέγμα
- Τι βαθμός ανάλυσης (resolution) πλέγματος απαιτείται σε κάθε τμήμα του πεδίου
- Θα χρησιμοποιηθεί προσαρμογή του πλέγματος για αύξηση της ανάλυσης (resolution)
- Πόσα στοιχεία πλέγματος απαιτούνται για το πρόβλημα



Σχήμα 2.5: Δημιουργία Ενός Αριθμητικού Μαθηματικού Μοντέλου

Για κάθε συγκεκριμένο πρόβλημα πρέπει να:

- Επιλέξουμε τα κατάλληλα μαθηματικά μοντέλα.
- Τυρβώδους, καύσης, πολυφασικής ροής, κ.λπ.
- Να ορίσουμε τις ιδιότητες των υλικών.
  - Ρευστά
  - Στερεά
  - Μίγματα
- Να προδιαγράψουμε τις συνθήκες λειτουργίας (π.χ. βαρύτητα, πίεση λειτουργίας).
- Να προδιαγράψουμε τις οριακές συνθήκες σε όλα τα όρια.
- Να δώσουμε μία αρχική λύση.
- Να ρυθμίσουμε τη διαδικασία της επίλυσης (solver controls).
- Να ρυθμίσουμε την παρακολούθηση της λύσης.

## Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

### 2.6.1.4 Επίλυση Και Παρακολούθηση Της Λύσης

- Οι διακριτοποιημένες (αλγεβρικές) εξισώσεις επιλύονται επαναληπτικά.
  - Απαιτείται ένας αριθμός επαναλήψεων, έως ότου πάρουμε λύση με σύγκλιση.
- Η σύγκλιση επιτυγχάνεται όταν:
  - Οι αλλαγές μεταξύ λύσεων διαδοχικών επαναλήψεων είναι αμελητέες.
    - › Τα υπόλοιπα είναι ένας καλός δείκτης για τη σύγκλιση.
  - Overall property conservation is achieved.
- Η ακρίβεια μίας λύσης που έχει συγκλίνει εξαρτάται από:
  - Την καταλληλότητα και την ακρίβεια των μαθηματικών μοντέλων.
  - Την πυκνότητα του πλέγματος (ανεξαρτησία)
  - Το «στήσιμο» του προβλήματος (Problem setup)

### 2.6.1.5 Έλεγχος Των Αποτελεσμάτων

- Εξετάζουμε τα αποτελέσματα για να ελέγξουμε τη λύση για χρήσιμα συμπεράσματα.
- Η οπτικοποίηση μπορεί να δώσει πολύτιμες πληροφορίες για:
  - Το πως είναι η βασική δομή της ροής
  - Το αν υπάρχει αποκόλληση
  - Το αν δημιουργούνται κρουστικά κύματα, διατμητικές στοιβάδες, κ.λπ.
  - Το αν έχουν προβλεφθεί τα βασικά στοιχεία του προβλήματος
  - Το αν τα μαθηματικά μοντέλα και οι οριακές συνθήκες είναι κατάλληλες
  - Το αν υπάρχει τοπικό πρόβλημα σύγκλισης
- Τα εργαλεία για αριθμητική αναφορά των αποτελεσμάτων χρησιμοποιούνται για ποσοτικές απαντήσεις για:
  - Την άνωση και την οπισθέλκουσα (γενικά για δυνάμεις σε τοιχώματα)
  - Μέση τιμή συντελεστή μετάδοσης θερμότητας
  - Μέσες τιμές σε επιλεγμένες επιφάνειες/ όγκους

## Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

### 2.6.2 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Στο στάδιο αυτό καθορίζουμε το πρόβλημα και ασχολούμαστε με την προ επεξεργασίας. Έτσι λοιπόν ξεκινώντας καθορίζουμε αρχικά τους στόχους μοντελοποίησης και στη συνέχεια το πεδίο στο οποίο θα επιλυθεί (δηλαδή το χώρο και το χρόνο). Αφού ολοκληρώσουμε το μέρος αυτό, συνεχίζουμε με το σχεδιασμό και στην κατασκευή του υπολογιστικού πλέγματος.

### 2.6.3 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ / ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΝΟΣ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟΥ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ (ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ)

Τα βασικά βήματα σε αυτό το στάδιο είναι η δημιουργία ενός αριθμητικού μοντέλου και η επίλυση και παρακολούθηση της λύσης. Για κάθε συγκεκριμένο πρόβλημα πρέπει να:

- Επιλέξουμε τα κατάλληλα μαθηματικά μοντέλα .(Τυρβώδη, καύσης, πολυφασικής ροής, κ.λπ.)
- Να ορίσουμε τις ιδιότητες των υλικών.
- (Ρευστά / Στερεά / Μίγματα)
- Να προδιαγράψουμε τις συνθήκες λειτουργίας (π.χ. βαρύτητα, πίεση λειτουργίας).
- Να προδιαγράψουμε τις οριακές συνθήκες σε όλα τα όρια.
- Να δώσουμε μία αρχική λύση.
- Να ρυθμίσουμε τη διαδικασία της επίλυσης (solver controls).
- Να ρυθμίσουμε την παρακολούθηση της λύσης

#### 2.6.3.1 Δημιουργία Ενός Αριθμητικού Μαθηματικού Μοντέλου ( Μοντελοποίηση )

Μοντελοποίηση είναι η φυσικό μαθηματική διατύπωση του προβλήματος σύμφωνα με τις συνεχείς αρχικές οριακές συνθήκες του προβλήματος / initial boundary value problem (IBVP). Οι (IBVP) βρίσκονται σε μορφή μερικών διαφορικών εξισώσεων με τις κατάλληλες αρχικές οριακές συνθήκες.

Η μοντελοποίηση περιλαμβάνει:

- Γεωμετρία και πεδίο ορισμού
- Συντεταγμένες
- Εξισώσεις
- Συνθήκες ροής



Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

- Αρχικές & οριακές συνθήκες
- Επιλογή του μοντέλου (για τις διάφορες εφαρμογές).

2.6.3.2 Γεωμετρία Και Πεδίο Ορισμού

- Οι απλές γεωμετρίες μπορούν εύκολα να κατασκευαστούν από ελάχιστες γεωμετρικές παραμέτρους (π.χ. κυλινδρικός σωλήνας).
- Οι σύνθετες γεωμετρίες μπορούν να κατασκευαστούν είτε από τις διαφορικές εξισώσεις είτε καθώς εισάγονται οι βάσεις δεδομένων (database) της γεωμετρίας, στο λογισμικό του υπολογιστή,(π.χ. αεροτομή).
- Όσον αφορά το πεδίο ορισμού, μας ενδιαφέρει το σχήμα και το μέγεθος.
- Τυπικές μέθοδοι
- Γεωμετρική προσέγγιση
- Ενοποίηση CAD/ CAE: χρήση βιομηχανικών προτύπων όπως τα Parasolid, ACIS, STEP, or IGES, κ.α.

2.6.3.3 Συντεταγμένες

Διακρίνουμε τρία συστήματα συντεταγμένων :

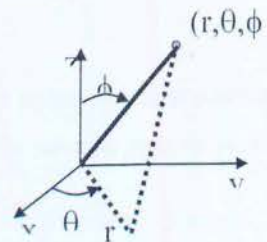
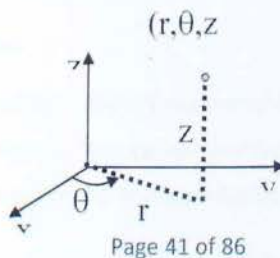
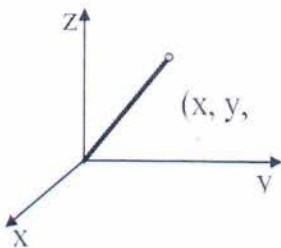
- Καρτεσιανό (x, y, z),
- Κυλινδρικό (r, θ, z), και
- Σφαιρικό (r, θ, Φ), καθένα από τα οποία πρέπει να επιλέγεται κατάλληλα, για την ορθότερη ανάλυση της γεωμετρίας (π.χ. κυλινδρικό σύστημα για ένα κυλινδρικό σωλήνα).

Σχήμα 2.6: Συστήματα Συντεταγμένων.

Καρτεσιανές

Κυλινδρικές

Σφαιρικές



## Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

### 2.6.3.4 Συνθήκες Ροής

Βασισμένη στα φυσικά φαινόμενα της ρευστομηχανικής, η υπολογιστική ρευστοδυναμική διακρίνεται σε διαφορετικές κατηγορίες, χρησιμοποιώντας διαφορετικά κριτήρια:

- Ιξώδες ρευστού (παχύρρεστο ή λεπτόρρεστο)
- Εξωτερική - Εσωτερική ροή (όρια τοιχώματος)
- Τυρβώδης - Στρωτή ροή (αριθμός Reynolds)
- Ασυμπίεστη- Συμπιεστή
- Απλή-Πολυφασική
- Φαινόμενα που εξαρτώνται από θερμοκρασία-πυκνότητα
- Ελεύθερη επιφανειακή ροή και επιφανειακή τάση
- Χημικές αντιδράσεις και καύση

### 2.6.3.5 Αρχικές Συνθήκες (Σταθερές Και Μη Ροές)

- Οι αρχικές συνθήκες δεν πρέπει να επηρεάζουν το τελικό αποτέλεσμα, παρά μόνο την διαδικασία της ανάλυσης, π.χ. ο αριθμός των επαναλήψεων (σταθερή ροή), ή ο χρόνος των βημάτων (μη σταθερή ροή).
- Περισσότερες δικαιολογημένες υποθέσεις επιταχύνουν τη διαδικασία.
- Για σύνθετα προβλήματα ασταθούς ροής, πολλές φορές τρέχουμε το πρόγραμμα σαν να είχαμε πρόβλημα σταθερής ροής για περισσότερες επαναλήψεις, έτσι ώστε να πάρουμε καλύτερες αρχικές συνθήκες.

### 2.6.3.6 Οριακές Συνθήκες

Όσον αφορά τις οριακές συνθήκες, αυτές πρέπει να δηλώνονται πάνω στη δεδομένη γεωμετρία, π.χ. τα τοιχώματα (walls), η είσοδος και η έξοδος του ρευστού ή των σωματιδίων ανάλογα, π.χ. [inlet (velocity inlet, mass flow rate, constant pressure, κ.τ.λ.), Outlet ή Outflow (constant pressure, velocity convective, numerical beach, zero-gradient, κ.τ.λ.).]

### 2.6.3.7 Επιλογή Των Μοντέλων

Οι κώδικες CFD έχουν σχεδιαστεί /προγραμματιστεί ώστε να επιλύουν βασικά φαινόμενα μηχανικής ρευστών, εφαρμόζοντας διαφορετικά μοντέλα. Τέτοια μοντέλα είναι τα μοντέλα τυρβώδους ροής και τα μοντέλα ελεύθερης επιφανειακής ροής.

## Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

Τυρβώδεις ροές με μεγάλο αριθμό Reynolds συνήθως περιλαμβάνουν μικρές και μεγάλες κλίμακες στροβιλοειδών κατασκευών καθώς και πολύ λεπτό οριακό στρώμα δίπλα στο τοίχωμα.

- Μοντέλα τυρβώδους ροής

Τα μοντέλα αυτά είναι πιο ακριβή όσον αφορά την επίλυση εξισώσεων, αλλά πιο ακριβά για τις τυρβώδεις ροές ενώ παράλληλα κάνουν προβλέψεις για τη ροή, αποτελεσματικές (αξιοπίστες) μέσα στο οριακό στρώμα, αλλά όχι τόσο ακριβείς και στην χωρισμένη περιοχή.

- Μοντέλα ελεύθερης επιφανειακής ροής

Στα μοντέλα αυτής της μορφής, το πλέγμα μετακινείται καταλαμβάνοντας την ελεύθερη επιφάνεια, περιορισμένο σε πλάγια κυματοειδή μορφή.

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονίσουμε ότι μέσα στις επιλογές του χρήστη, συμπεριλαμβάνεται και η επιλογή των μοντέλων τα οποία προσχεδιάζονται από τους κώδικες, ενώ οι αρχικές και οριακές συνθήκες: δεν προσχεδιάζονται από τους κώδικες και πρέπει να οριστούν από τον χρήστη, ανάλογα με τις εφαρμογές.

### 2.6.4 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ / ΕΠΙΛΥΣΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΗΣ ΛΥΣΗΣ

Αφού έχει ολοκληρωθεί η δημιουργία του αριθμητικού μοντέλου, επόμενο βήμα είναι η επίλυση και η παρακολούθηση της λύσης, η οποία γίνεται με τις παρακάτω μεθόδους:

#### 2.6.4.1 Αριθμητικές Μεθόδοι

Οι συνεχείς αρχικές οριακές συνθήκες χαρακτηρίζονται από αλγεβρικές εξισώσεις, οι οποίες επιλύουν το σύστημα με προσεγγιστικές λύσεις.

Οι αριθμητικές μέθοδοι περιλαμβάνουν :

- Περιγραφικές μεθόδους.
- Μεθόδους επίλυσης (Solvers) και αριθμητικές παραμέτρους
- Δημιουργία πλέγματος και μετασχηματισμό του.
- Μεγάλης ακρίβειας υπολογισμούς.

## Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

### Περιγραφικές Μέθοδοι

- Μέθοδος πεπερασμένων διαφορών (όταν πρόκειται για πλέγμα καθορισμένης μορφής) και μέθοδος πεπερασμένων όγκων (για πλέγμα ακανόνιστης μορφής).
- Κάθε μια από τις παραπάνω μεθόδους αποφέρει την ίδια λύση, εάν το πλέγμα είναι αρκετά καλό. Ωστόσο, τότε η μια μέθοδος και τότε η άλλη, είναι περισσότερο χρήσιμη (και κατά συνθήκη κατάλληλη) από την άλλη, ανάλογα με τη χρήση.
- Οι περισσότερο ποιοτικές αριθμητικές μέθοδοι συνήθως αποφέρουν αποτελέσματα με μεγάλη ακρίβεια αλλά μάλλον ασταθή εξαιτίας λιγότερης αριθμητικής dissipation.
- Explicit μέθοδοι μπορούν εύκολα να εφαρμοστούν αλλά θα δώσουν μόνο κατά συνθήκη σωστές μερικές διαφορικές εξισώσεις, οι οποίες περιορίζονται από το χρόνο του βήματος.
- Η περιγραφική μέθοδος θεωρείται ευσταθής αν δεν μεγαλώνει τα σφάλματα τα οποία εμφανίζονται κατά τη διαδικασία της αριθμητικής επίλυσης.
- Pre-conditioning μέθοδος χρησιμοποιείται όταν είναι αδύνατο να επιλυθεί το γραμμικό σύστημα, όπως π.χ. περιπτώσεις πολυφασικής ροής.

### 2.6.4.3 Μέθοδοι Επίλυσης (Solvers) & Αριθμητικές Παράμετροι

- Τα είδη των Solvers μπορούν να είναι PETSC solver, tridiagonal, pentadiagonal solvers, solution-adaptive solver, πολλαπλού πλέγματος (multi-grid solvers) κ.α.
- Οι μέθοδοι επίλυσης (Solvers) μπορούν να είναι είτε άμεσες είτε επαναληπτικές. Οι αριθμητικές παράμετροι πρέπει να είναι καθορισμένες, για τον έλεγχο των υπολογισμών.
- Οι αριθμητικές παράμετροι πρέπει να προσδιορίζονται 'ώστε να ελέγχουν τους υπολογισμούς.
- Διαφορετική απεικόνιση αριθμητικών συμβόλων
- Αλλαγές των αποτελεσμάτων μεταξύ των επαναλήψεων
- Αριθμός επαναλήψεων για σταθερή ροή ή αριθμός βημάτων για μεταβλητή ροή
- Απλές / Διπλές ακρίβειες.

#### 2.6.4.4 Υψηλή Υπολογιστική Λειτουργία & Διαδικασία Εργασίας

Οι υπολογισμοί μιας ανάλυσης CFD απαιτούν υψηλή υπολογιστική ικανότητα η οποία επιτυγχάνεται με τους υπερ-υπολογιστές με μια μέθοδο πολλαπλών περασμάτων (multi-block technique).

Όπως απαιτείται, με την multi-block technique, οι CFD κώδικες πρέπει να αναπτυχθούν μέσα από μια λειτουργία [Message Passing Interface] (MPI) Standard, ώστε να μεταφέρουν δεδομένα μεταξύ διαφορετικών. Επίσης, όσον αφορά στην πρόβλεψη των αποτελεσμάτων (περίγραμμα, βέλη ταχύτητας, γραμμές ροής), η χρησιμότητα των CFD κωδίκων ποικίλει και διαφέρει ανάλογα με τις εφαρμογές, όπως για παράδειγμα, έρευνα αλληλεπίδρασης ρευστών σε ροή με φυσαλίδες, μελέτη μεγάλων, χωρισμένων κυματοειδών ροών σε ελεύθερη επιφάνεια.

Η διαδικασία εξαρτάται από τον σκοπό και καθορίζεται από τις συνθήκες ροής του προβλήματος. Έτσι, ανάλογα με την εφαρμογή, επιλέγονται και διαφορετικοί κώδικες (π.χ. αεροσκάφη, πλοία, πολυφασικές ροές, καύση κ.α.).

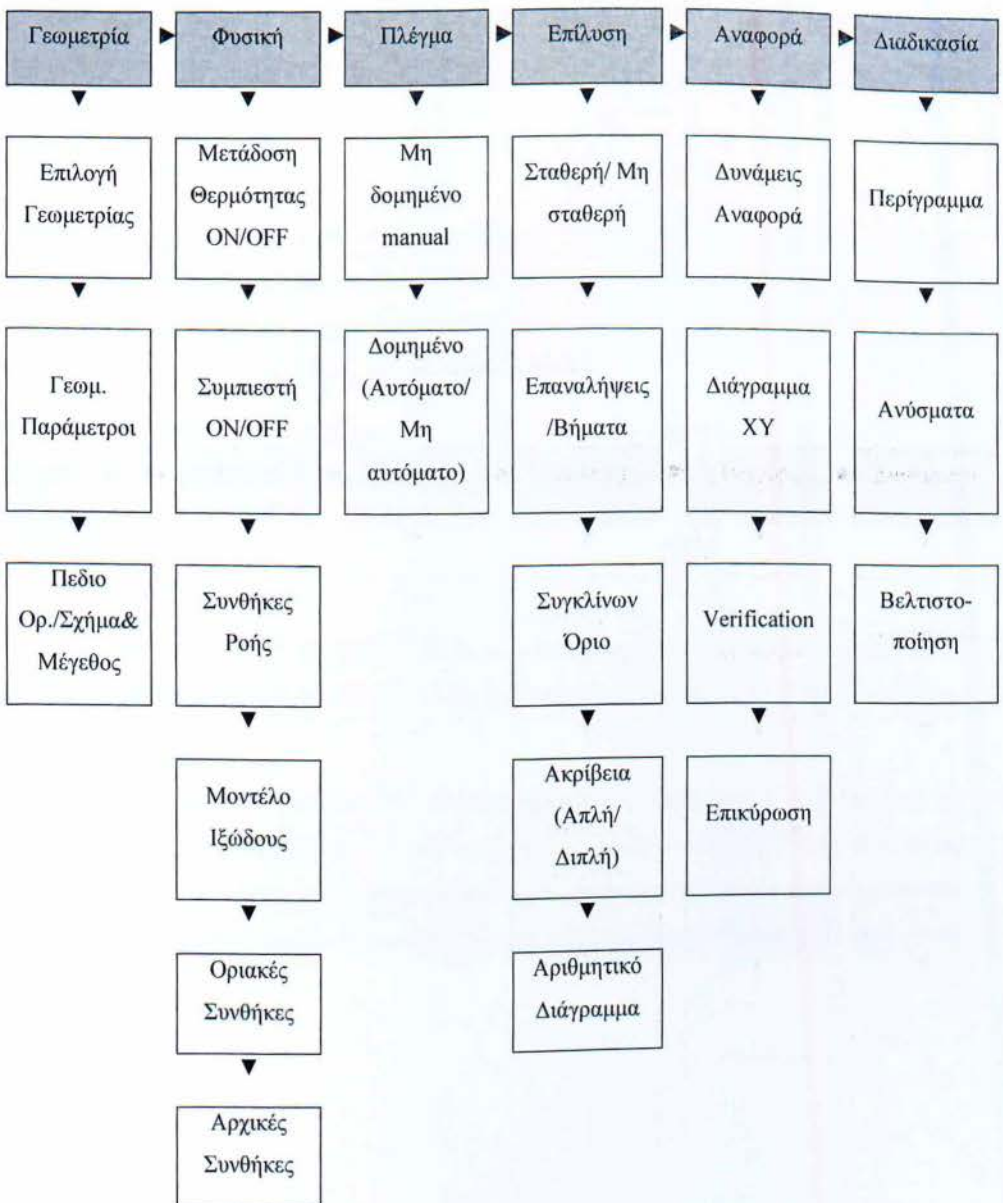
Έτσι λοιπόν κάθε φορά που επιλέγουμε τους ανάλογους CFD κώδικες, τα στάδια από τα οποία περνάμε, για την επίλυση του προβλήματος, είναι τα εξής:

- Γεωμετρία
- Φυσική
- Πλέγμα
- Επίλυση (Solve)
- Αναφορά (Report)
- Διαδικασία (Post Processing)

Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

Η διαδικασία της CFD ανάλυσης, μπορεί να παρουσιαστεί συνοπτικά, με το παρακάτω σχεδιάγραμμα

**CFD Διαδικασία**



Σχήμα 2.7: Σχεδιάγραμμα αναπαράστασης CFD διαδικασίας

## Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

### 2.7 ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ

Στο στάδιο αυτό της γεωμετρίας, μας ενδιαφέρει η επιλογή κατάλληλου συστήματος συντεταγμένων. Πιο αναλυτικά ασχολούμαστε με τον καθορισμό του μεγέθους και του σχήματος, δηλαδή με την επιλογή των κατάλληλων σχημάτων που χρειάζεται να χρησιμοποιηθούν για την καλύτερη επίλυση της γεωμετρίας.

Όσον αφορά στους εμπορικούς κώδικες, η γεωμετρία κατασκευάζεται χρησιμοποιώντας εμπορικό λογισμικό (είτε χωριστά από εμπορική κωδικοποίηση, όπως π.χ. το Gambit, είτε συνδυαζόμενο, όπως π.χ. το Fluent).

### 2.8 ΦΥΣΙΚΗ

Με την επιστήμη της φυσικής, θα μελετήσουμε έννοιες όπως οι συνθήκες ροής και οι ιδιότητες των ρευστών. Λέγοντας συνθήκες ροής, ασφαλώς κάνουμε λόγο για το είδος της ροής, δηλαδή για το αν έχουμε στρωτή ή τυρβώδη ροή, ενώ οι ιδιότητες των ρευστών οι οποίες θα μας απασχολήσουν είναι η πυκνότητα, το ιξώδες και άλλες.

Οι συνθήκες ροής και οι ιδιότητες των ρευστών συνήθως αναπαρίστανται σε μη αδιάστατη μορφή με βιομηχανικό εμπορικό λογισμικό, συμπεριλαμβανομένων και αδιάστατων μεταβλητών.

### 2.9 ΠΛΕΓΜΑ

Τα πλέγματα θα πρέπει να είναι κατάλληλα κατασκευασμένα έτσι ώστε να μπορούν να επιλύουν χαρακτηριστικά ροής τα οποία εξαρτώνται από παραμέτρους συνθηκών ροής (π.χ. αριθμός  $Re$ ).

Το πλέγμα μπορεί να δημιουργηθεί είτε από εμπορικούς κώδικες (π.χ. Gambit), είτε με διερευνητικούς/έπειτα από μελέτη (σύμφωνη σχεδίαση). Επίσης, το πλέγμα μαζί με τις οριακές συνθήκες πρέπει να εξαχθούν από εμπορικό λογισμικό, σε βασικό σχήμα και διάταξη (format), το οποίο θα αναγνωρίζεται (υποστηρίζεται) από τους παραπάνω διερευνητικούς κώδικες, ή από άλλο εμπορικό λογισμικό.

## Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

### 2.10 ΕΠΙΛΥΣΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΗΣ ΛΥΣΗΣ

Οι διακριτοποιημένες (αλγεβρικές) εξισώσεις επιλύονται επαναληπτικά. Γι' αυτό απαιτείται ένας αριθμός επαναλήψεων, έως ότου πάρουμε λύση με σύγκλιση. Η σύγκλιση επιτυγχάνεται όταν οι αλλαγές μεταξύ λύσεων διαδοχικών επαναλήψεων είναι αμελητέες.

Η ακρίβεια μίας λύσης που έχει συγκλίνει εξαρτάται από την καταλληλότητα και την ακρίβεια των μαθηματικών μοντέλων, από την πυκνότητα του πλέγματος (ανεξαρτησία), από το "στήσιμο" του προβλήματος (Problem setup). Τέλος, σημαντικό ρόλο παίζουν η επιλογή των απαραίτητων αριθμητικών παραμέτρων αλλά και η επιλογή των κατάλληλων Solvers.

Μία λύση που έχει συγκλίνει και είναι ανεξάρτητη του πλέγματος, ενός καλά "στημένου" μοντέλου μας δίνει χρήσιμα αποτελέσματα.

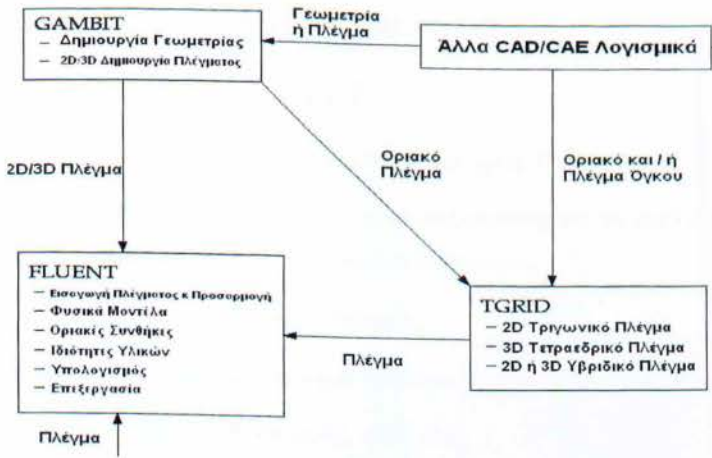
### 2.11 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ / ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΦΟΡΑ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στο στάδιο του ελέγχου ασχολούμαστε με την εξέταση των αποτελεσμάτων, έτσι ώστε να ελέγξουμε τη λύση με σκοπό να βγάλουμε χρήσιμα συμπεράσματα. Η οπτικοποίηση μπορεί να δώσει πολύτιμες πληροφορίες για το πως είναι η βασική δομή της ροής και για το αν υπάρχει αποκόλληση. Επίσης μπορούμε να βγάλουμε χρήσιμα συμπεράσματα για το αν δημιουργούνται κρουστικά κύματα, διατμητικές στοιβάδες, κ.λπ. Ακόμα, για το αν έχουν προβλεφθεί τα βασικά στοιχεία του προβλήματος, αν τα μαθηματικά μοντέλα και οι οριακές συνθήκες είναι κατάλληλες ακόμα και για το αν υπάρχει τοπικό πρόβλημα σύγκλισης.

Τα εργαλεία για αριθμητική αναφορά των αποτελεσμάτων χρησιμοποιούνται για ποσοτικές απαντήσεις για την άνοση και την οπισθέλκουσα (γενικά για δυνάμεις σε τοιχώματα), για μέση τιμή συντελεστή μετάδοσης θερμότητας και για μέσες τιμές σε επιλεγμένες επιφάνειες ή όγκους.



Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους



Σχήμα 2.8: Λογικό Διάγραμμα Διαδικασίας CFD μέσω λογισμικών πακέτων.

## 2.12 ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ

Οι τυπικές μέθοδοι επίλυσης ενός προβλήματος CFD για την διασφάλιση μιας αξιόπιστης λύσης ξεκινούν με μια αρχική υπόθεση κ μια πορεία εκτέλεσης ή επαναλήψεων, μέχρις ότου επιτευχθεί μια τέτοια λύση. Το μέγεθος στο οποίο θα σταματήσει η σειρά των συνεχόμενων πράξεων καθώς και τα τελικά επίπεδα επίλυσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως κριτήρια τέλους στις επαναληπτικές μεθόδους επίλυσης.

## 2.13 ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΕΤΑΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Τα αποτελέσματα τα οποία προκύπτουν ύστερα από ένα πείραμα υπολογιστικής ρευστομηχανικής, παρουσιάζονται με διάφορες μορφές, με σκοπό να βοηθήσουν τον εκάστοτε χρήστη να έχει όσο το δυνατόν ολοκληρωμένη εικόνα των δεδομένων που προέκυψαν. Έτσι λοιπόν τα αποτελέσματα ενός πειράματος, μπορεί να έχουν τη μορφή γραφημάτων πλέγματος, ισουψών και ανυσμάτων, γραμμές ροής και τροχιές σωματιδίων, διαγράμματα ΧΥ, καθώς και με κινούμενα αποτελέσματα (animations). Επίσης μπορούν να παρουσιάζονται σαν δεδομένα αριθμητικής αναφοράς, τα οποία έχουν να κάνουν με ισοζύγια μάζας και θερμότητας, ολοκληρώματα και μέσες τιμές σε σημεία, γραμμές, επιφάνειες & όγκους, καθώς και με δυνάμεις και ροπές σε στερεά τοιχώματα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: GAMBIT ΚΑΙ FLUENT

### 3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ GAMBIT

GAMBIT (Geometry And Mesh Building Intelligent Toolkit)

Το GAMBIT είναι ένας ολοκληρωμένος προεπεξεργαστής για την ανάλυση της υπολογιστικής ρευστομηχανικής (C.F.D.) με τις παρακάτω δυνατότητες:

- Κατασκευή και εισαγωγή γεωμετρίας.
  - Χρησιμοποιώντας σύστημα ACIS για την μοντελοποίηση στερεών
  - Εισαγωγή STEP, Parasolid, IGES κ.α.
  - Τροποποίηση και 'καθαρισμός' των εισαχθέντων δεδομένων.
- Δημιουργία πλέγματος για όλους τους λύτες (Solvers) του Fluent συμπεριλαμβανομένου και των FIDAP και POLYFLOW
  - Δομημένα και μη εξακύλινδρα, τετρακύλινδρα, πυραμίδες και πρίσματα.
- Εξέταση ποιότητας πλέγματος.
- Εισαγωγή οριακών ζωνών.

### 3.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ

Η επικρατέστερη ακολουθία λειτουργιών είναι η ακόλουθη:

- Αρχικό Setup, το οποίο περιλαμβάνει την επιλογή λύτη, το μεγέθους πλέγματος κ.α.. Στη συνέχεια ακολουθεί η δημιουργία της γεωμετρίας (και στη συνέχεια ή εισαγωγή πλέγματος). Δηλαδή θα έχουμε αναλυτικά την δημιουργία ολικής γεωμετρίας και μετέπειτα την αποσύνθεση σε τομείς που μπορούν να δημιουργηθούν πλέγματα
- Δημιουργία πλέγματος η οποία περιλαμβάνει την τοπική δημιουργία πλέγματος, δηλαδή σε μια πλευρά, στο οριακό στρώμα για παράδειγμα και επίσης την γενική δημιουργία πλέγματος: πρόσωπο (Face), όγκος. Τέλος ακολουθεί η εξέταση του πλέγματος και ο προσδιορισμός των ζωνών, δηλαδή αν έχουμε να κάνουμε με συνεχείς ή οριακές ζώνες.

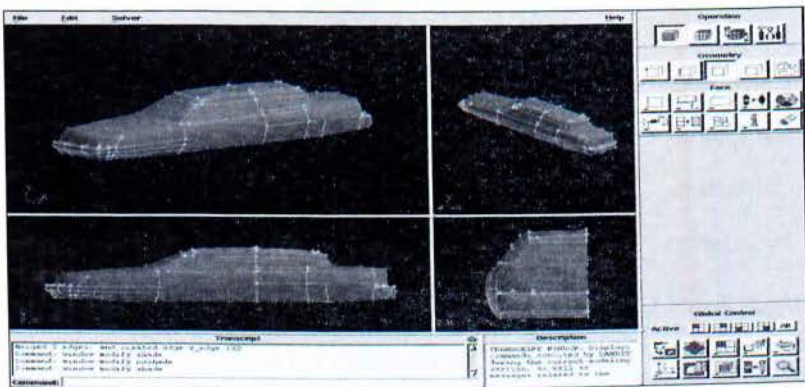
Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

### 3.3 ΓΡΑΦΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΧΡΗΣΤΗ [GRAPHICAL USER INTERFACE (GUI)]

Το γραφικό περιβάλλον του χρήστη αποτελείται από:

#### 3.3.1 ΤΟ ΠΑΡΑΘΥΡΟ ΓΡΑΦΙΚΩΝ

Είναι η περιοχή στην οποία εμφανίζεται το γεωμετρικό μοντέλο και καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος του GUI.



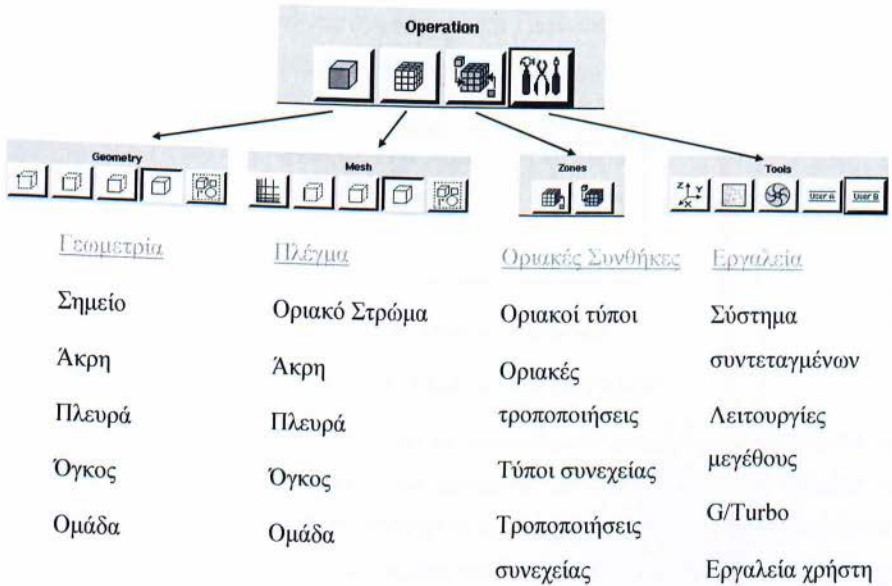
Σχήμα 3.1: Γραφικό περιβάλλον χρήστη.

**ΚΥΡΙΟ ΜΕΝΟΥ**, το οποίο περιλαμβάνει τις βασικές λειτουργίες:

- File, από όπου έχουμε τις εξής επιλογές: δημιουργία, άνοιγμα, αποθήκευση, εκτύπωση γραφικών, τροποποίηση και τρέξιμο αρχείων, εισαγωγή και εξαγωγή δεδομένων και έξοδος.
- Edit, από όπου μπορούμε να κάνουμε τροποποίηση τίτλων, αρχείων, παραμέτρων.
- Solver, περιλαμβάνει τον ορισμό του υπολογιστικού λύτη.
- Help, όπως και όλα τα λογισμικά προγράμματα, επιτρέπει βοήθεια μέσω διαδικτύου.

Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

3.3.2 ΜΕΝΟΥ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ

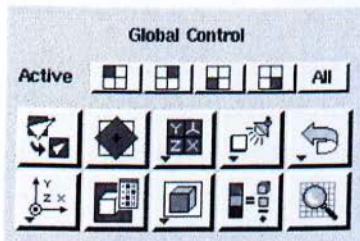


Σχήμα 3.2: Μενού Εργαλείων Λειτουργιών

Βρίσκεται στο επάνω δεξιά μέρος και περιλαμβάνει ένα πεδίο από κουμπιά εντολών, καθένα από τα οποία εκτελεί μία συγκεκριμένη εντολή που συσχετίζεται με την διαδικασία δημιουργίας γεωμετρικού μοντέλου και πλέγματος, όπως χαρακτηριστικά φαίνεται στο σχήμα.

3.3.3 ΓΕΝΙΚΗ ΓΡΑΜΜΗ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ

Περιέχει 15 ενεργά κουμπιά εντολών η επάνω σειρά επιτρέπει την ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση ξεχωριστών τεταρτημόριων γραφικών παραθύρων ενώ η κάτω σειρά επιτρέπει τον έλεγχο της εμφάνισης των γραφικών παραθύρων ή του μοντέλου που φαίνεται στα γραφικά παράθυρα καθώς και τις επιλογές undo και redo, δηλαδή αναίρεση και το αντίθετο.

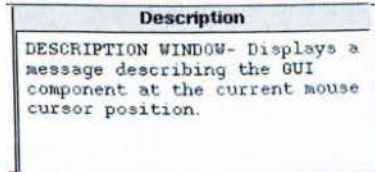


Σχήμα 3.3: Γενική Γραμμή Εργαλείων ελέγχου Λειτουργιών.

Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

3.3.4 ΠΑΡΑΘΥΡΟ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗΣ

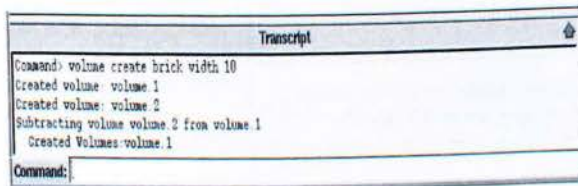
Ο σκοπός του παράθυρου περιγραφής είναι η εμφάνιση μηνυμάτων περιγράφοντας τα διάφορα συστατικά του GUI όπως πεδία, παράθυρα και κουμπιά εντολών.



Σχήμα 3.4: Παράθυρο Περιγραφής

3.3.5 ΠΑΡΑΘΥΡΟ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΚΑΙ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ ΕΝΤΟΛΩΝ

Ο σκοπός του παραθύρου αυτού είναι να εμφανίζει και καταγράφει ένα ιστορικό των εντολών που έχουν πραγματοποιηθεί και μηνύματα του Gambit κατά την διάρκεια της μοντελοποίησης. Επίσης δίνει την δυνατότητα να εκτελεστούν εντολές που εισάγονται από την πληκτρολόγησή του σε αυτό, δείχνοντας έτσι κάθε στιγμή στο χρήστη, τις εντολές που έχει επιλέξει.



Σχήμα 3.5: Παράθυρο Καταγραφής Και Εισαγωγής Εντολών

3.4 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ

Το Μενού γεωμετρίας περιέχει κουμπιά εντολών που επιτρέπουν την δημιουργία, μετακίνηση, επεξεργασία και διαγραφή σημείων, πλευρών, προσώπων και όγκων. Το μενού περιέχει επίσης κουμπιά εντολών που επιτρέπει να εκτελούνται λειτουργίες συσχετισμένες με ομάδες και τοπολογικές οντότητες.

Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

**Πίνακας 3.1: Μενού Γεωμετρίας**

				
Σημείο	Πλευρά	Πρόσωπο	Όγκος	Ομάδα


3.4.1 ΕΝΤΟΛΕΣ ΣΗΜΕΙΩΝ

**Πίνακας 3.2: Σχηματική Διάταξη Εντολών Σημείων**

ΣΥΜΒΟΛΟ	ΕΝΤΟΛΗ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
	Δημιουργία σημείου	Δημιουργεί ένα πραγματικό σημείο σε οποιαδήποτε τοποθεσία, πραγματικό ή εικονικό σημείο σε πλευρά ή πρόσωπο, εικονικό σημείο συσχετισμένο με όγκο, ή ένα πραγματικό ή εικονικό σημείο στην τομή δύο πλευρών.
	Ολίσθηση εικονικού σημείου	Αλλάζει την θέση ενός εικονικού σημείου κατά μήκος της πλευράς ή του προσώπου στο οποίο δημιουργήθηκε.
	Σύνδεση/ Αποσύνδεση σημείων	Συνδέει πραγματικά και εικονικά σημεία, αποσυνδέει σημεία που είναι κοινά σε δύο ή περισσότερες οντότητες.
	Επεξεργασία χρώματος και περιγραφής σημείων	Αλλάζει το χρώμα ή την περιγραφή των σημείων
	Μετακίνηση/ Αντιγραφή σημείων Ευθυγράμμιση σημείων	Μετακινεί ή αντιγράφει σημεία,, ευθυγραμμίζει σημεία και συνδεδεμένες γεωμετρίες.
	Μετατροπή σημείων (Εικονικά σε πραγματικά)	Μετατρέπει εικονικά σημεία σε πραγματικά.
	Σύνοψη σημείων Έλεγχος σημείων Πληροφορίες σημείων Ολικές οντότητες	Παρουσιάζει σύνοψη πληροφοριών σημείων, ελέγχει την εγκυρότητα της τοπολογίας ενός σημείου ή μίας γεωμετρίας, εμφανίζει λίστα πληροφοριών σημείων.
	Διαγραφή Σημείων	Διαγραφή σημείων

3.4.2 ΕΝΤΟΛΕΣ ΠΡΟΣΩΠΩΝ

**Πίνακας 3.3: Σχηματική Διάταξη Εντολών Προσώπων.**

ΣΥΜΒΟΛΟ	ΕΝΤΟΛΗ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
	Ανάπτυξη Προσώπου	Δημιουργία προσώπου από ήδη υπάρχουσες πλευρές ή σημεία

Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

	Δημιουργία Προσώπου	Δημιουργία προσώπου από τα τρία βασικά σχήματα (παράλληλόγραμμο, κύκλος, έλλειψη)
	Λειτουργίες Boolean	Ένωση, τομή αφαίρεση προσώπων
	Σύνδεση-Αποσύνδεση προσώπων	Συνδέει πραγματικά κ εικονικά πρόσωπα, Αποσυνδέει κοινόχρηστα πρόσωπα
	Τροποποίηση χρωμάτων προσώπων-ετικετών	Τροποποίηση χρωμάτων προσώπων-ετικετών
	Μετακίνηση, Αντιγραφή, Ευθυγράμμιση προσώπων	Μετακινεί, αντιγράφει πρόσωπα, ευθυγραμμίζει πρόσωπα κ συνδεδεμένες γεωμετρίες
	Διάσπαση, συγχώνευση, απλοποίηση προσώπων,	Διάσπαση, συγχώνευση, απλοποίηση προσώπων,
	Εξομάλυνση, επιδιόρθωση μετατροπή προσώπων	Εξομάλυνση επιδιόρθωση πραγματικών προσώπων, μετατροπή εικονικών προσώπων σε πραγματικά
	Σύνοψη προσώπων Έλεγχος προσώπων Πληροφορίες προσώπων Ολικές οντότητες	Παρουσιάζει σύνοψη πληροφοριών προσώπων, ελέγχει την εγκυρότητα της τοπολογίας ενός προσώπου ή μίας γεωμετρίας, εμφανίζει λίστα πληροφοριών προσώπων
	Διαγραφή προσώπων	Διαγραφή προσώπων

### 3.4.3 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΣΗΜΕΙΟΥ

Για την δημιουργία πραγματικού σημείου απαιτείται ο προσδιορισμός του συστήματος συντεταγμένων. Οι τύποι των συστημάτων συντεταγμένων είναι όπως ήδη γνωρίζουμε το Καρτεσιανό, το Κυλινδρικό και το Σφαιρικό. Επιλέγοντας λοιπόν τον ανάλογο τύπο συστήματος συντεταγμένων ανάλογα με τη χρήση, δηλαδή αν θέλουμε για παράδειγμα να δημιουργήσουμε δυοδιάστατη ή τρισδιάστατη γεωμετρία, δημιουργούμε κάθε φορά, πραγματικά σημεία.









Ένα σημείο που επίσης πρέπει να προσεξούμε είναι εάν το σύστημα συντεταγμένων μας, βάσει του οποίου εμείς καλούμαστε να δημιουργήσουμε πραγματικά σημεία, είναι εάν το σύστημα μας είναι Γενικό ή Ειδικό. Γνωρίζοντας κάθε φορά το είδος του συστήματος, καθορίζεται η τοποθεσία του σημείου στο χώρο ή στο επίπεδο, ανάλογα. Με λίγα λόγια ανάλογα με το εκάστοτε σύστημα, ορίζουμε με διαφορετικό τρόπο τις συντεταγμένες των σημείων, δηλαδή στο γενικό σύστημα, οι συντεταγμένες ορίζονται κάθε φορά από την αρχή των αξόνων του συστήματος (0,0) ή (0,0,0), ενώ στο ειδικό, οι συντεταγμένες ορίζονται κάθε φορά με βάση τις συντεταγμένες του προηγούμενου σημείου.

## Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

Τέλος, κάθε σημείο έχουμε τη δυνατότητα να το κάνουμε "ορατό" και ευδιάκριτο μέσα στο γραφικό περιβάλλον και φυσικά στη γεωμετρία μας μετέπειτα προσδίδοντας του ετικέτα (vertex I.). Με τον τρόπο αυτό μπορούμε, όποτε χρειάζεται να βρίσκουμε την θέση του συγκεκριμένου σημείου στο γραφικό περιβάλλον.

### 3.4.4 ΕΝΤΟΛΕΣ ΠΛΕΥΡΩΝ

*Πίνακας 3.4: Σχηματική Διάταξη Εντολών Πλευρών*

ΣΥΜΒΟΛΟ	ΕΝΤΟΛΗ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
	Δημιουργία πλευράς	Δημιουργία πραγματικής ή εικονικής πλευράς
	Σύνδεση/ Αποσύνδεση πλευρών	Συνδέει πραγματικές και εικονικές πλευρές που είναι κοινές σε δύο ή περισσότερες οντότητες
	Επεξεργασία χρώματος και περιγραφής πλευρών	Αλλάζει το χρώμα ή την περιγραφή των πλευρών
	Μετακίνηση/ Αντιγραφή πλευρών Ευθυγράμμιση πλευρών	Μετακινεί ή αντιγράφει σημεία., ευθυγραμμίζει σημεία και συνδεδεμένες γεωμετρίες
	Διαχωρισμός/ Συνένωση πλευρών	Διαχωρίζει ή ενοποιεί πλευρές
	Εξομάλυνση-μετατροπή πλευρών	Εξομαλύνει τις πλευρές για την επισκευή της κακής γεωμετρίας και την μείωση της πολυπλοκότητας, μετατρέπει πραγματικές σε εικονικές πλευρές
	Σύνοψη πλευρών Έλεγχος πλευρών Εξέταση πλευρών	Εμφανίζει σύνοψη πληροφοριών πλευρών, ελέγχει την εγκυρότητα της τοπολογίας των πλευρών και της γεωμετρίας
	Διαγραφή πλευρών	Διαγράφει πραγματικές και εικονικές πλευρές

### 3.5 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ

Το GAMBIT παρέχει ένα πλήρες σετ από γραμμές εργαλείων δημιουργίας πλέγματος. Η σωστή κατασκευή ενός πλέγματος είναι σημαντική έτσι ώστε να πάρουμε αποτελέσματα ακριβείας. Αυτό επιτυγχάνεται με τις αυτοματοποιημένες επιλογές μορφοποίησης πλέγματος που παρέχει το πρόγραμμα. Επίσης μπορεί να επεξεργαστεί το πλέγμα αυτό κάνοντας το πιο πυκνό στα επιθυμητά σημεία.

Γεωμετρικά μοντέλα τα οποία περιέχουν ρωγμές, τρύπες ή κενά, θα δημιουργήσουν προβλήματα στη διαδικασία κατασκευής του πλέγματος. Επομένως έχει σημασία να παρεμβληθεί ένα στάδιο ελέγχου της γεωμετρίας. Στο στάδιο αυτό διεξάγεται έλεγχος της



## Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

αρχικής γεωμετρίας, ώστε να εξασφαλίσουμε ότι δεν υπάρχουν παράγοντες (γεωμετρικές ατέλειες) οι οποίοι θα μπορούσαν να προκαλέσουν σφάλματα στη συνέχεια. Οι γεωμετρικές αυτές ατέλειες οι οποίες εντοπίζονται από αυτό τον έλεγχο, επισημαίνονται με σκοπό να διορθωθούν μέσα σε ένα γεωμετρικό περιβάλλον.

Το GAMBIT παρέχει μια μεγάλη ποικιλία εργαλείων τα οποία μπορούν να διεξάγουν με επιτυχία αναλύσεις υπολογιστικής ρευστομηχανικής στις εκάστοτε ανάγκες και απαιτήσεις.

Για πολλούς μηχανικούς η μοντελοποίηση CFD έχει μεγαλύτερη σημασία, όσον αφορά στη φυσική παρά στη γεωμετρία. Σε αυτή την περίπτωση αρκεί η γεωμετρία να παρουσιαστεί με απλά σχήματα όπως με σφαίρες, πρίσματα, κώνους και κυλίνδρους. Το GAMBIT παρέχει ένα περιβάλλον πρότυπων γεωμετρικών κατασκευών, το οποίο απευθύνεται σε χρήστες οι οποίοι επιδιώκουν, ακόμη και στις απλές γεωμετρίες που δημιουργούν, να «τρέχει» αμέσως το πρόγραμμα.

Παρακάτω φαίνεται η γενική μορφή ενός πλέγματος (mesh or grid) και τα μέρη που το συνθέτουν.

### 3.5.1 ΔΙΑΒΑΣΜΑ/ ΜΕΡΗ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ

Τα μέρη του πλέγματος ορίζονται στο GAMBIT και είναι τα παρακάτω:

Cell = Είναι πεπερασμένοι όγκοι από τους οποίους αποτελείτε το πεδίο. Το υπολογιστικό πεδίο παριστάνεται από πλέγμα που αντιπροσωπεύει περιοχές ρευστού και στερεού.

Face = Είναι το όριο ενός cell

Edge = Όριο ενός face (μόνο για 3D)

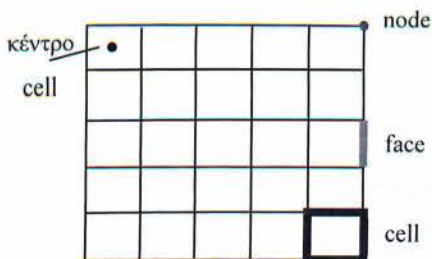
Node = Σημείο πλέγματος

Zone = Σύνολο από nodes, faces, και/ή cells

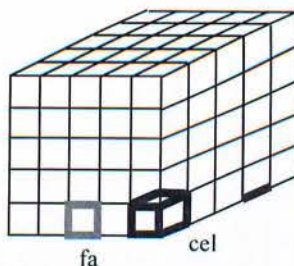
Στο σημείο αυτό, πρέπει να τονίσουμε ότι οι οριακές συνθήκες εφαρμόζονται σε face zones.

-Οι ιδιότητες των υλικών και οι όροι πηγής εφαρμόζονται σε cell zones.

## Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

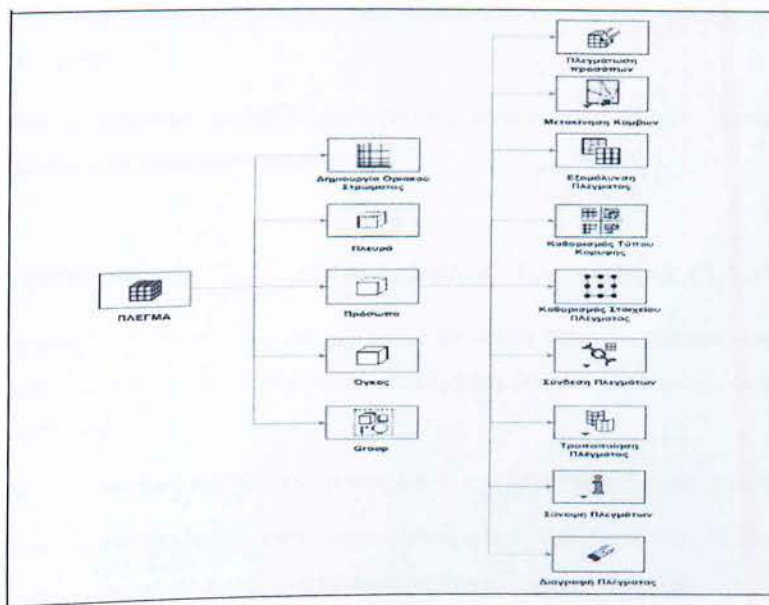


Σχήμα 3.6: Απλό 2d Πλέγμα.



Σχήμα 3.7: 3d Πλέγμα

Στη συνέχεια ακολουθεί ένα ενδεικτικό διάγραμμα στο οποίο φαίνονται οι λειτουργίες του προγράμματος όπως αυτές απεικονίζονται στο GAMBIT.



Σχήμα 3.8: Σχηματική Παράσταση Λειτουργιών Προγράμματος.

### 3.5.2 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΛΥΣΗΣ

Τα αριθμητικά σφάλματα σχετίζονται με τον υπολογισμό των μεταβολών των παραμέτρων και των παρεμβολών στα faces.

Αυτά τα σφάλματα περιορίζονται όταν:

- Χρησιμοποιούμε σχήματα υψηλής ακρίβειας.

## Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

- Το πλέγμα είναι παράλληλο με τη ροή.
- Πυκνώνουμε το πλέγμα.
- Στη συνέχεια,
- Απαιτούμε ικανή πυκνότητα για τον καλύτερο υπολογισμό των στοιχείων της ροής.
- Τα σφάλματα παρεμβολής (πάντα) μειώνονται με τη μείωση του μεγέθους των cells.
- Ελαχιστοποιούμε τη μεταβολή στο μέγεθος των cells.
- Το σφάλμα αποκοπής ελαχιστοποιείται σε ομοιόμορφο πλέγμα.
- Το GAMBIT δίνει τη δυνατότητα προσαρμογής του πλέγματος βάσει της μεταβολής του μεγέθους του cell.
- Ελαχιστοποιούμε την παραμόρφωση (skewness) και το λόγο μήκους-πλάτους (aspect ratio).

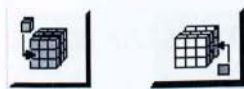
Γενικά αποφεύγουμε λόγους μήκους-πλάτους μεγαλύτερους από 5:1 (μεγαλύτερες τιμές επιτρέπονται σε οριακά στρώματα).

### 3.6 ΕΝΤΟΛΕΣ ΖΩΝΗΣ (ZONE COMMANDS) – ΟΡΙΑΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Οι εντολές ζώνης επιτρέπουν τον καθορισμό των solver (λύτη) συγκεκριμένων τύπων ζώνης γεωμετρικών οντοτήτων. Το GAMBIT περιλαμβάνει δυο τύπους εντολής ζώνης: τις οριακές και τις συνεχείς.

Οι οριακές συνθήκες ορίζουν τους τύπους ζώνης στα όρια, όπως οι άκρες ή τα πρόσωπα.

Οι συνεχείς συνθήκες ορίζουν τους τύπους ζώνης στις συνεχείς οντότητες δηλαδή σε πρόσωπα και όγκους, δυσδιάστατες και τρισδιάστατες προσομοιώσεις, αντίστοιχα.



Σχήμα 3.9: Εικονίδια Εντολών Ζώνης

Για να έχει ένα πρόβλημα μοναδική λύση, πρέπει να δοθεί πληροφορία για όλες τις εξαρτημένες μεταβλητές σε όλα τα όρια του πεδίου. Επίσης είναι σημαντικό να καθορίσουμε τις ροές μάζας, θερμότητας, ορμής, κ.λπ. μέσα στο πεδίο.

## Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

Ο καθορισμός των Οριακών Συνθηκών περιλαμβάνει:

- Καθορισμό της θέσης των ορίων (π.χ. είσοδοι, έξοδοι, τοίχοι, συμμετρίες)
- Προμήθεια πληροφορίας στα όρια
- Τα απαιτούμενα δεδομένα στα όρια εξαρτώνται από το είδος των οριακών συνθηκών και τα φυσικά μοντέλα που είναι ενεργοποιημένα
- Πρέπει να γνωρίζουμε την απαιτούμενη πληροφορία στα όρια, ώστε να καθορίζουμε τα όρια σε τέτοιες θέσεις όπου γνωρίζουμε την πληροφορία αυτή ή μπορούμε να την υπολογίσουμε/ υποθέσουμε.

Το GAMBIT παρέχει την δυνατότητα προσθήκης, επεξεργασίας και διαγραφής οριακών ή συνεχών συνθηκών. Το στάδιο αυτό έχει μεγάλη σημασία καθώς από εδώ ορίζουμε συνθήκες, οι οποίες χαρακτηρίζουν την συμπεριφορά του ρευστού όταν έρχεται σε επαφή με την δεδομένη γεωμετρία.

### 3.7 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ FLUENT

Με την πάροδο του χρόνου, τα διάφορα εμπορικά λογισμικά προγράμματα έχουν βοηθήσει και φυσικά εξακολουθούν να βοηθούν ακόμη τις περισσότερες εταιρίες (βιομηχανικές, κατασκευαστικές, ιατρικές, κ.α.) στην εξέλιξη των διάφορων αυτών τομέων, καθώς αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της έρευνας και της μελέτης τους. Ένας από τους κυριότερους εκπροσώπους των εμπορικών λογισμικών αυτών προγραμμάτων είναι το FLUENT, του οποίου οι δυνατότητες καθιστούν εφικτές τις λύσεις αλλά και την λήψη χρήσιμων συμπερασμάτων και αποτελεσμάτων (κατόπιν αμέτρητων υπολογισμών), σε αρκετές εφαρμογές προσομοίωσης σε περιβάλλον κανονικών συνθηκών και φυσικά σε ικανοποιητικό χρονικό διάστημα.

### 3.8 ΠΛΕΓΜΑ – ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑ

Όπως έχουμε αναφέρει, η δημιουργία του πλέγματος είναι μια λειτουργία η οποία πραγματοποιείται στο λογισμικό πρόγραμμα GAMBIT. Παρόλα αυτά με την εισαγωγή του στο λογισμικό πρόγραμμα FLUENT ελέγχεται η λειτουργικότητα και η αξιοπιστία του καθώς το FLUENT είναι αυτό το οποίο θα διαβάσει το πλέγμα και θα «κρίνει» (κατόπιν υπολογισμών και αποτελεσμάτων), αν είναι το κατάλληλο, για την εκάστοτε εφαρμογή, ή αν πρέπει να ξαναγυρίσουμε πίσω στο GAMBIT για επιπλέον μορφοποίηση του.

## Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

### 3.8.1 ΜΗ ΔΟΜΗΜΕΝΟ ΠΛΕΓΜΑ

Το πρόγραμμα περιλαμβάνει ποικιλία επιλογών μη δομημένων (ανοργάνωτων) πλεγμάτων, τα οποία μπορούν να είναι είτε τετραεδρικά είτε εξαεδρικά «υβριδικά». Αυτά με τη σειρά τους μπορούν εύκολα και με μεγάλη ευελιξία να προσαρμοστούν σχεδόν σε οποιαδήποτε γεωμετρία. Ο συνδυασμός μη δομημένων τετράπλευρων και εξάπλευρων σχημάτων συνιστά ένα ιδανικό πλέγμα, όσον αφορά περιπτώσεις εσωτερικής ροής ρευστού, σε μεγάλες επιφάνειες, σε οποιαδήποτε γεωμετρία.

Μάλιστα η τετραεδρική μορφή πλέγματος είναι αυτή που έχει καθιερωθεί περισσότερο τα τελευταία χρόνια από τις περισσότερες βιομηχανίες καθώς φαίνεται να είναι η πιο εύχρηστη επιλογή για τις περισσότερο απαιτητικές λύσεις (π.χ. προσομοίωση εξωτερικής αεροδυναμικής σε μονοθέσια Formula 1).

### 3.8.2 ΔΟΜΗΜΕΝΟ ΠΛΕΓΜΑ

Το GAMBIT επίσης έχει τη δυνατότητα κατασκευής πλέγματος του οποίου η μορφή δημιουργείται από καθορισμένα γεωμετρικά σχήματα, περιλαμβάνοντας αλγόριθμους με ελλειπτικές και άλλες ομαλοποιημένες μεθόδους. Έτσι είναι εφικτή η κατασκευή ενός καλού ποιοτικά πλέγματος, το οποίο μπορεί εύκολα να προσαρμοστεί ακόμη και στις πιο περίπλοκες γεωμετρίες.

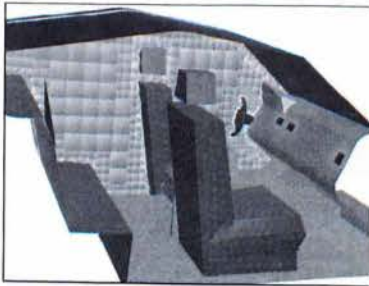
### 3.8.3 ΠΛΕΓΜΑ ΟΡΙΑΚΟΥ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

Το πρόγραμμα επιπλέον έχει δυνατότητες κατασκευής πλέγματος σε οριακό στρώμα. Τέτοια πλέγματα μπορούν να κατασκευαστούν και προσαρμοστούν εύκολα ακόμη και σε σύνθετες γεωμετρίες (όπως π.χ. σε απότομες γωνίες χωρίς ακτίνα καμπυλότητας και σε τοιχώματα απειροελάχιστου πάχους).

### 3.8.4 ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΠΛΕΓΜΑ

Οι προηγμένες δυνατότητες κατασκευής πλέγματος, μπορούν να συνδυαστούν και να δώσουν έτσι υβριδικά πλέγματα, επιτρέποντας έτσι αξιόπιστη ανάλυση σε δύσκολες περιοχές.

## Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους



*Σχήμα 3.10: Εφαρμογή Πλέγματος Οριακού Πλέγματος σε εσωτερικό αυτοκινήτου*



*Σχήμα 3.11: Εφαρμογή Υβριδικού Στόματος σε ανθρώπινη φλέβα*

### 3.9 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ-ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΕΠΙΛΥΣΗΣ

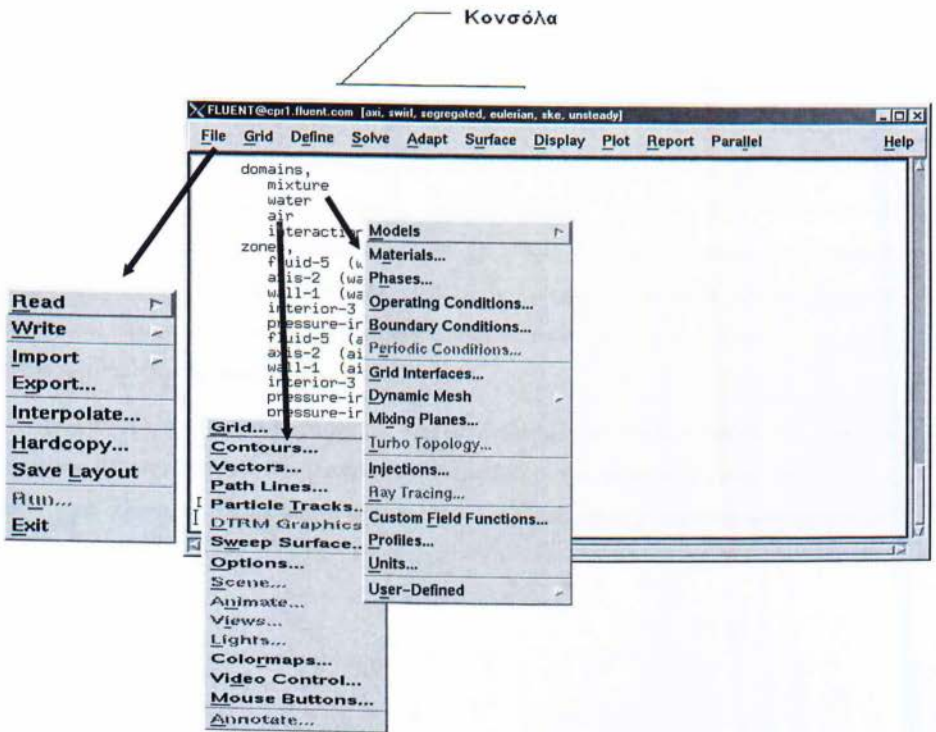
Όπως έχει αναφερθεί, αφού κατασκευάσουμε τη γεωμετρία, δημιουργήσουμε το κατάλληλο πλέγμα και βάλουμε τις οριακές συνθήκες, επιλέγουμε τις κατάλληλες μεθόδους επίλυσης (solvers). Μία από αυτές είναι και το FLUENT.

Το menu του FLUENT είναι «κατασκευασμένο» με τρόπο τέτοιο ώστε η ανάγνωσή του να πραγματοποιείται από αριστερά προς τα δεξιά. Από τις εντολές του GUI (Graphical Users Interface), μπορούμε να επεξεργαστούμε δεδομένα όπως τα παρακάτω:

Εισαγωγή και scaling πλέγματος, Έλεγχος πλέγματος (προσοχή στους αρνητικούς όγκους!), Επιλογή φυσικών μοντέλων, Καθορισμός ιδιοτήτων υλικών, Καθορισμός συνθηκών λειτουργίας (operating conditions), Καθορισμός οριακών συνθηκών (boundary conditions), Καθορισμός solver controls, Καθορισμός ελέγχου σύγκλισης, Υπολογισμός και παρακολούθηση λύσης, Επεξεργασία αποτελεσμάτων.

Στο παρακάτω σκίτσο που ακολουθεί, φαίνεται το menu του FLUENT και οι GUI (Graphical Users Interface), εντολές του.

Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους



Παράθυρο Γραφικών



Σχήμα 3.11: Βασικές Λειτουργίες menu του FLUENT

### 3.10 MET-ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Ένα ακόμη στοιχείο της ξεχωριστής δομής του FLUENT είναι οι διάφορες μέθοδοι με τις οποίες παρουσιάζει τα αποτελέσματα των υπολογισμών. Έχει τη δυνατότητα παρουσίασης γραφημάτων (γραφικών παραστάσεων), εικονικές προσομοιώσεις, εκφράζοντας την ποσοτική αλλαγή μιας θερμοδυναμικής ιδιότητας ή ενός φυσικού μεγέθους (π.χ. θερμοκρασία, ταχύτητα), με διαφορετικό χρώμα, καθ' όλο το μήκος της προς εξέταση γεωμετρίας ή επιφάνειας. Επίσης έχει τη δυνατότητα απεικόνισης γραμμών ροής αλλά και διανυσμάτων, δείχνοντας με αυτόν τον τρόπο την κίνηση και γενικότερα τη συμπεριφορά του ρευστού μέσα, πάνω ή γύρω από μια επιφάνεια.

Οι δυνατότητες αυτές αναπαράστασης των αποτελεσμάτων σίγουρα αποτελούν για τον εκάστοτε μελετητή μηχανικό σημαντική βοήθεια καθώς με τον τρόπο αυτό μπορεί να έχει σαφή και πλήρη εικόνα του προβλήματος αλλά και των αποτελεσμάτων, ελαχιστοποιώντας έτσι την πιθανότητα λάθους.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

### 4.1 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ

Το βασικό μέρος της προετοιμασίας στην επίλυση μιας υπολογιστικής ρευστομηχανικής εφαρμογής είναι η μοντελοποίηση. Το στάδιο αυτό έχει να κάνει με την εισαγωγή, από τον εκάστοτε χρήστη, στοιχείων όπως η γεωμετρία, συνθήκες ροής, οριακές συνθήκες, πλέγμα αλλά και επιλογή του φυσικού μοντέλου επίλυσης.

### 4.2 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΣΤΟ GAMBIT

Όταν ανοίγουμε το πρόγραμμα διαλέγουμε solver → Fluent/ fluent 5/6.

#### 4.2.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΔΑΦΟΥΣ

Geometry → Volume command button → Create Volume → Create Real Brick

Width(X) : 100

Depth(Y) : 0.5

Direction : +X +Y -Z

Label : Edafos

**Click Apply**

Geometry → Volume command button → Move Volume

Pick volume : Edafos

Select : Move

At global enter y: -0.5

**Click Apply**

Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους



Στιγμιότυπο της οθόνης

#### 4.2.2 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Geometry → Volume command button → Create Volume → Create Real Brick

Width(X) : 100

Depth(Y) : 99,5

Direction : +X +Y -Z

Label : Periballon

**Click Apply**



Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής  
ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

#### 4.2.3 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ ΕΔΑΦΟΥΣ

Mesh → Edge → Mesh Edge

Για το πλέγμα απο τα ύψοι του εδάφους δηλαδή τις κάθετες ακμές,

Select Grading , Ratio : 1

Select Spacing και στο Interval size=0.1

Select Option Mesh

**Click Apply**

Για το πλέγμα από τις οριζόντιες ακμές,

Select Grading , Ratio: 1

Select Spacing και στο Interval size=1

Select Option Mesh

**Click Apply**

Mesh → Volume command button → Mesh Volumes

Volumes : Edafos

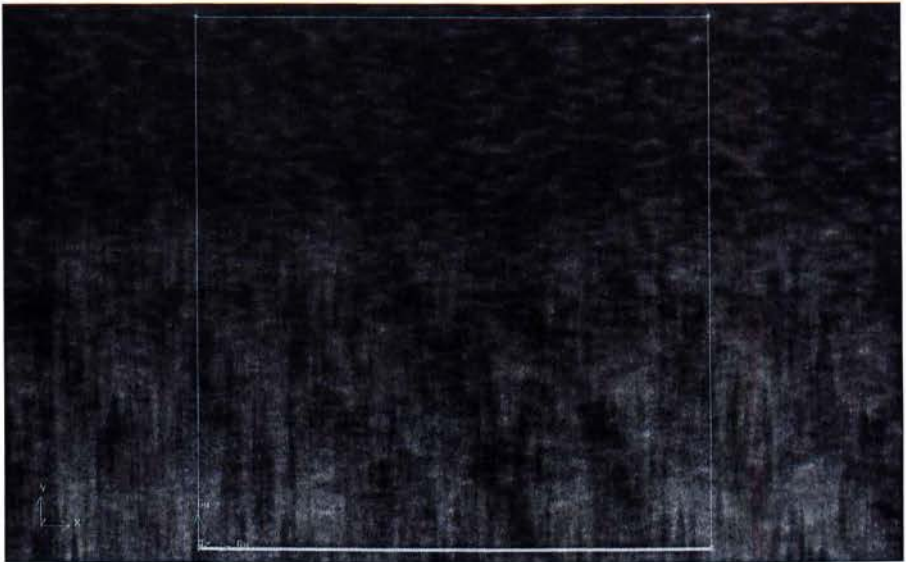
Select Scheme

Select Elements → hex

Select Type → Map

**Click Apply**

Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους



Στιγμιότυπο της οθόνη

#### 4.2.4 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Mesh → Edge → Mesh Edges

Για το πλέγμα απο τα ύψοι του περιβαλλοντος δηλαδή τις κάθετες ακμές,

Select Grading , Ratio : 1.15

Select Spacing και στο Interval count=15

Select Option Mesh

**Click Apply**

Για το πλέγμα από τις οριζόντιες ακμές,

Select Grading , Ratio: 1

Select Spacing και στο Interval size=1

Select Option Mesh

**Click Apply**

Mesh → Volume command button → Mesh Volumes

Volumes : Periballon

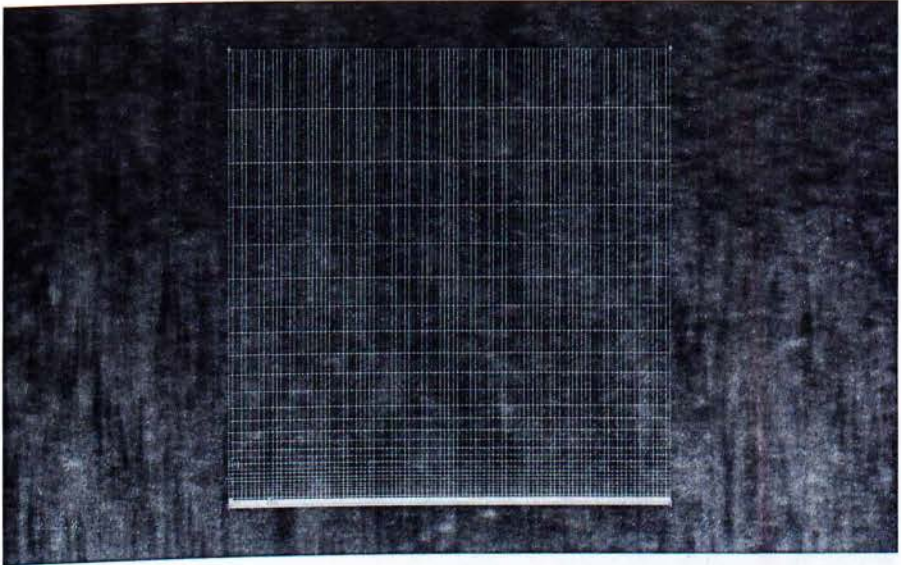
Select Scheme

Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

Select Elements → hex

Select Type → Map

**Click Apply**



Στιγμιότυπο της οθόνης

Μετατοπίζουμε το αρχικό σημείο έτσι ώστε να είναι ακριβώς στη μέση.

Geometry → Volume command button → Move Volume

Volumes : Edafos & Periballon

Global z : 50

**Click Apply**

#### 4.2.5 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΕΠΙΦΑΝΙΩΝ

Σε αυτό το κομμάτι θα χαρακτηρίσουμε τις χρήσιμες επιφανείς για τον υπολογισμό μας.

Zones → Specify Boundary Types

Check

Enter Name: EISODOS AERA

Select Types: VELOCITY INLET

Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

Pick Entity: Edges διαλέγουμε την είσοδο του αερα

**Click Apply**

Zones → Specify Boundary Types

Check

Enter Name: EXODOS AERA

Select Types: OUTFLOW

Pick Entity: Edges διαλέγουμε την έξοδο του αερα

**Click Apply**

Zones → Specify Boundary Types

Check

Enter Name: ANO EPIFANEIA PERIBALLON

Select Types: SYMMETRY

Pick Entity: Edges διαλέγουμε το πάνω μέρος του περιβάλλοντος

**Click Apply**

Zones → Specify Boundary Types

Check

Enter Name: PLAGIA Z PERIBALLON

Select Types: SYMMETRY

Pick Entity: Edges διαλέγουμε την πλάγια πλευρά με θετικό z

**Click Apply**

Zones → Specify Boundary Types

Check

Enter Name: PLAGIA-Z PERIBALLON

Select Types: SYMMETRY

Pick Entity: διαλέγουμε την πλάγια πλευρά με αρνητικό z

**Click Apply**

Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

Zones → Specify Boundary Types

Check

Enter Name: ANO EPIFANEIA EDAFOYS

Select Types: WALL

Pick Entity: διαλέγουμε την πάνω πλευρά του εδάφους

**Click Apply**

Zones → Specify Boundary Types

Check

Enter Name: KATO EPIFANEIA EDAFOYS

Select Types: SYMMETRY

Pick Entity: διαλέγουμε την κάτω πλευρά του εδάφους

**Click Apply**

Zones → Specify Boundary Types

Check

Enter Name: PERIMETRIKES PLEYRES EDAFOYS

Select Types: SYMMETRY

Pick Entity: διαλέγουμε την περιμετρικές πλευρές του εδάφους

**Click Apply**

Αυτό είναι η τελευταία παρέμβαση που κάνουμε στο gambit. Τώρα πρέπει να δημιουργίσουμε ένα αρχείο που μπορεί να διαβαστεί το fluent

File → Export → Mesh...

Enter file name: SOLAR RADIATION GROUND.msh

Press Apply

Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

### 4.3 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΣΤΟ FLUENT

Στο fluent θα εισάγουμε τα δεδομένα για να κάνουμε την προσομοίωση του εναλλακτη που μελετάμε. Σε αυτή την προσομοίωση θα χρησιμοποιήσουμε το fluent 12.

#### 4.3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

File → Read → mesh...

Διαλέγουμε το αρχείο με την ονομασία solar radiation of the ground.msh.

Επιλογή μοντέλου

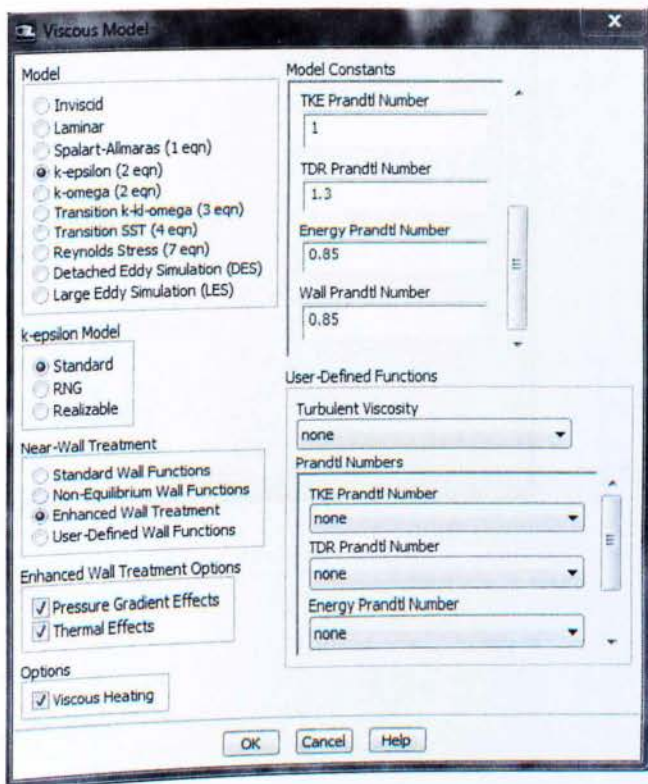
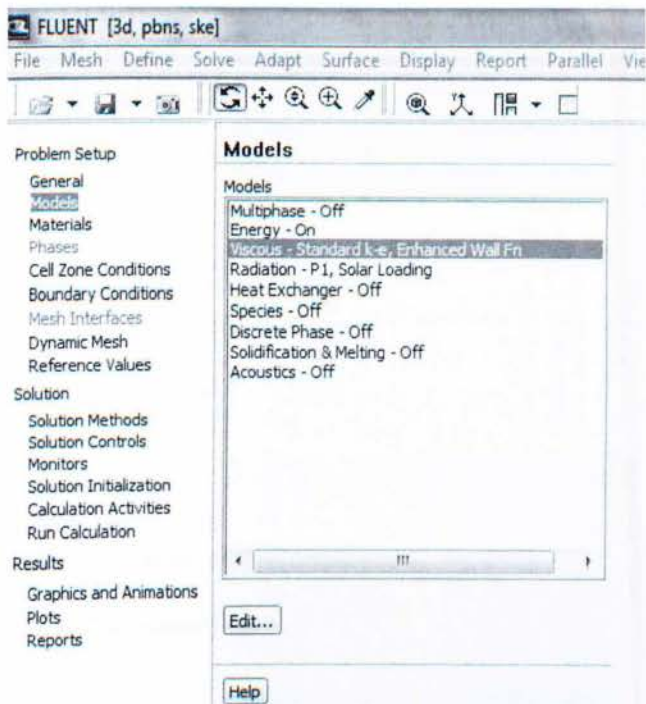
Models →

- Energy-on
- Viscous

<b>k-epsilon model :</b>	standard
<b>Near-Wall treatment:</b>	Enhanced wall treatment
<b>Enhanced Wall treatment options :</b>	Pressure Gradient Effects
	Thermal Effects
<b>Options:</b>	Viscous heating
• P1	
Model :	Solar ray tracing
	Solar calculator



Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους



## Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

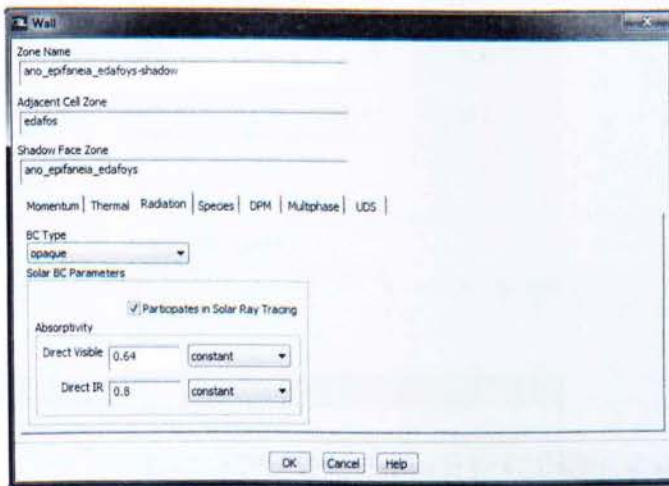
**Materials** → Solid →

Υλικό	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (w/m-k)	$C_p$ (j/kg-k)
Asphaltos	2300	0.90	920
Ammoxaliko	2200	2.00	910
Tsimedokoniama	2000	1.40	1100
wood	700	0.173	2310

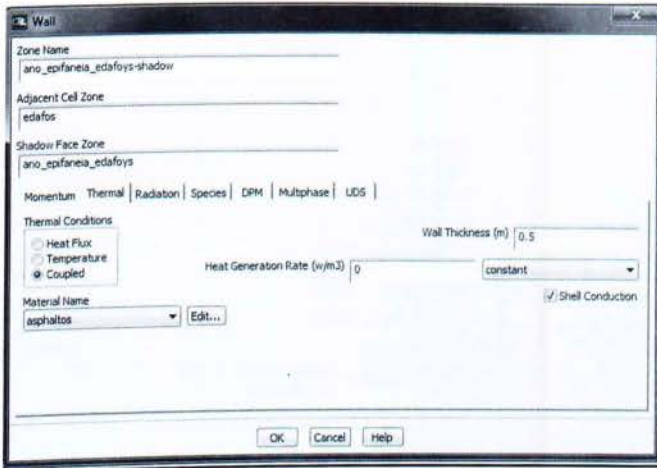
### 1ο Παράδειγμα (Άσφαλτος)

Εισάγουμε τα δεδομένα μας και για τις δυο επιφάνειες :

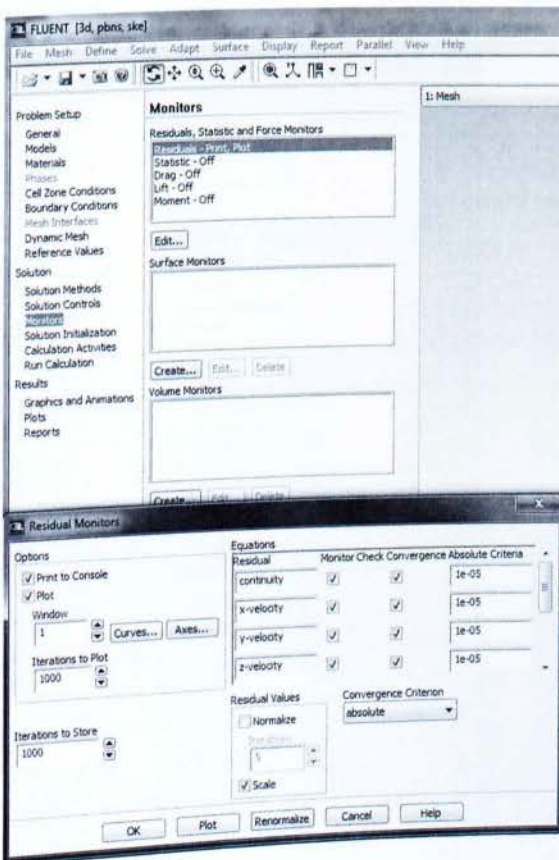
- ano epifanea edafous-shadow
- ano epifanea edafous



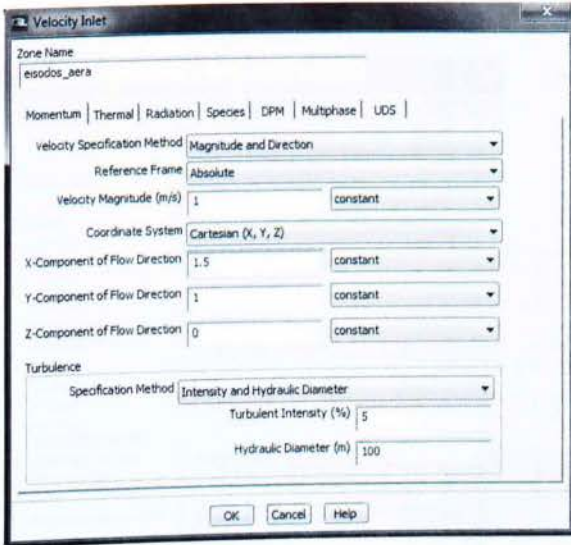
Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους



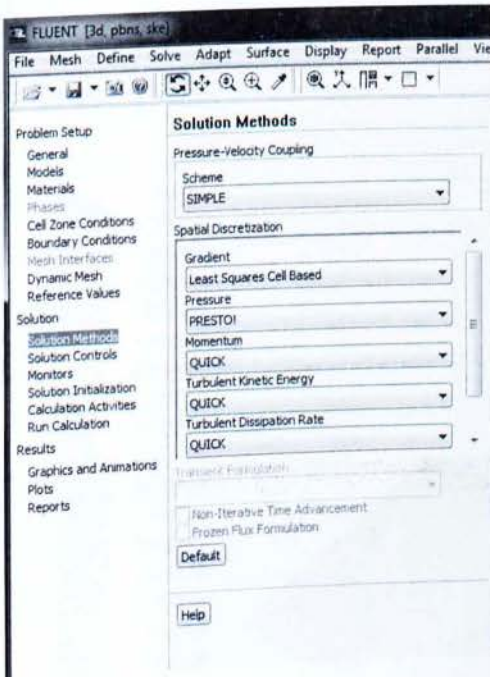
Εδώ τα δεδομένα για την επιφάνεια eisodos\_aera :



Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

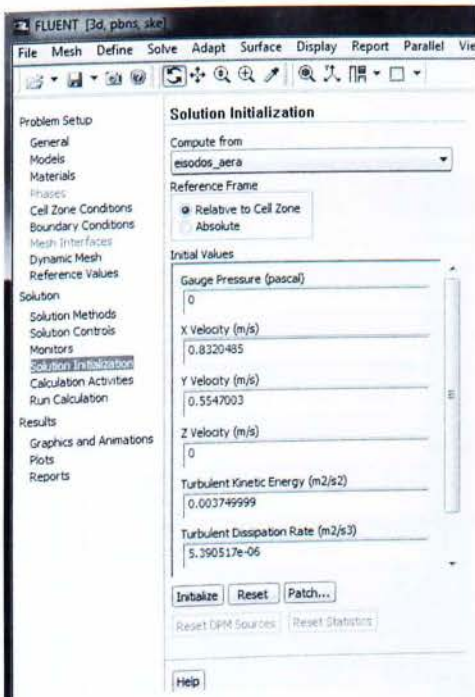


Η μέθοδος επίλυσης η οποία θα ακολουθήσουμε καθώς και τα κριτήρια :

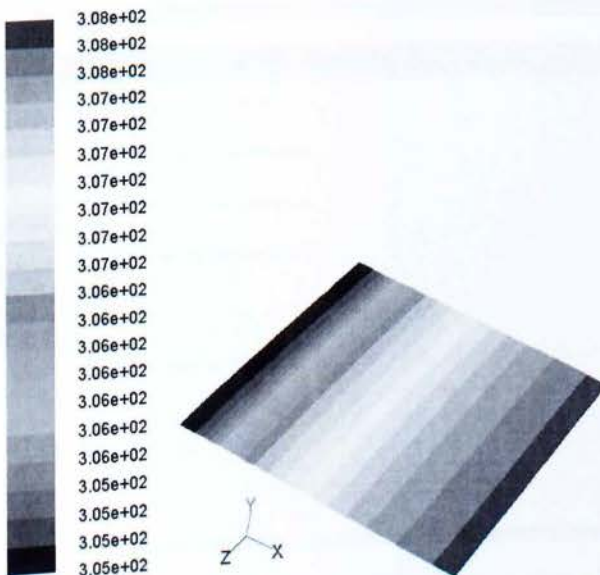


Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

**Solution initialization**



Εδώ προετοιμάζουμε την λύση και έπειτα στο run calculation τρέχουμε στο πρόγραμμα για να μας εμφανίσει τα αποτελέσματα μας.



Contours of Static Temperature (k)

ANSYS FLUENT 12.0 (3d, pbns, ske) Apr 14, 2013

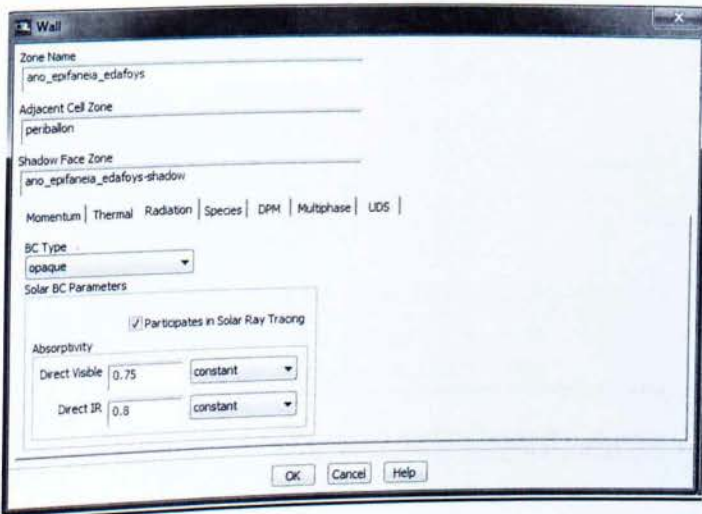
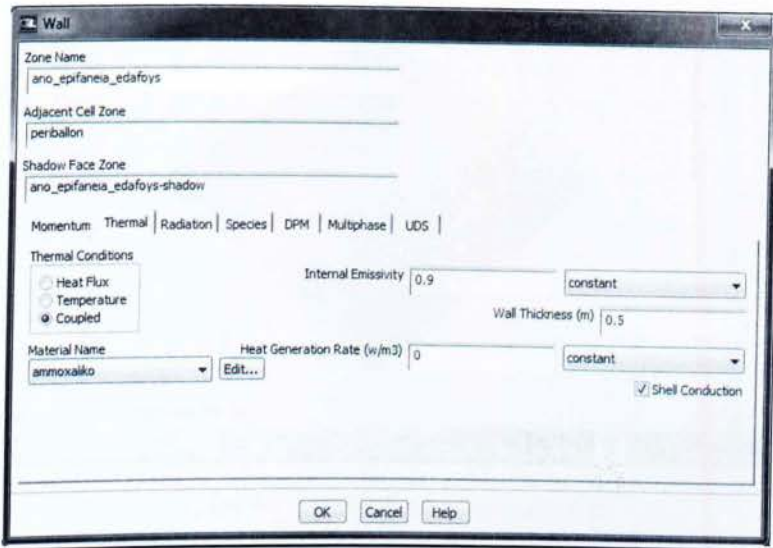
Σχήμα 4.1: Παράδειγμα με υλικό την άσφαλτο

Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

**2<sup>ο</sup> Παράδειγμα (αμμογάλλικο)**

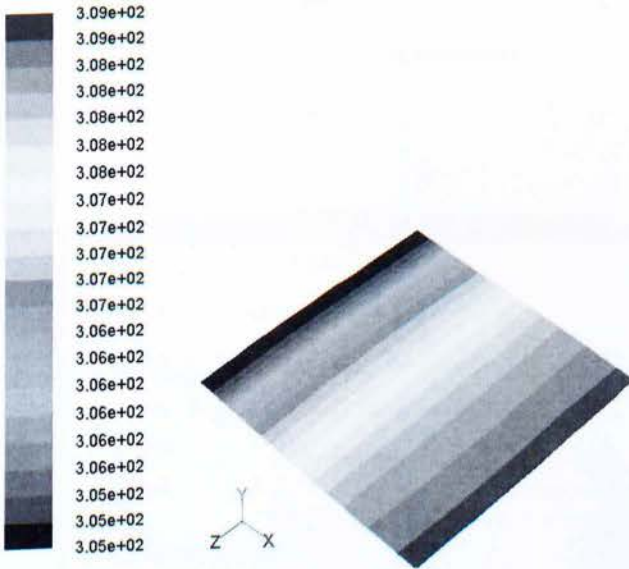
Εισάγουμε τα δεδομένα μας και για τις δυο επιφάνειες :

- ano epifaneia edafous-shadow
- ano epifaneia edafous



Οι υπόλοιποι παράμετροι παραμένουν ως έχουν στο πρώτο παράδειγμα της ασφάλτου και αναφέρονται αναλυτικά σε αυτό.

Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους



Contours of Static Temperature (k)

Apr 15, 2013  
ANSYS FLUENT 12.0 (3d, pbns, rke)

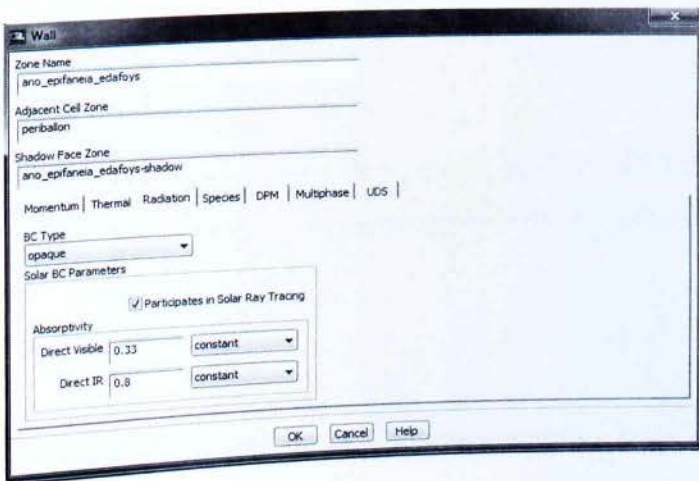
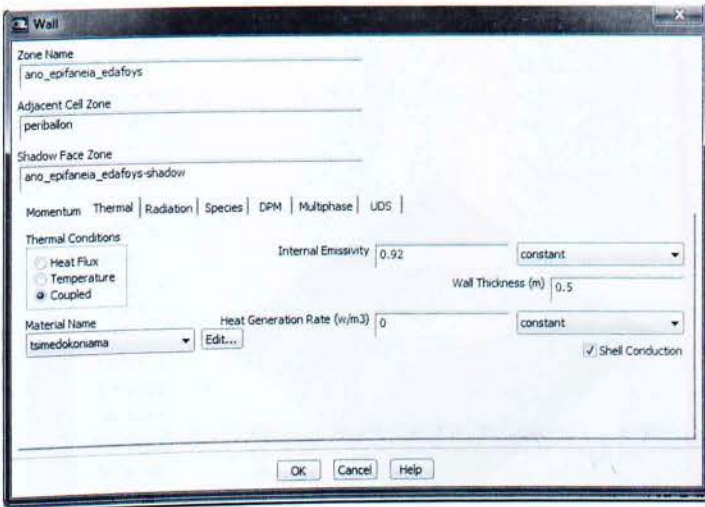
*Σχήμα 4.2: Παράδειγμα με υλικό το αμμοχάλικο*

Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

**3<sup>ο</sup> Παράδειγμα (Τσιμεντοκονίαμα)**

Εισάγουμε τα δεδομένα μας και για τις δυο επιφάνειες :

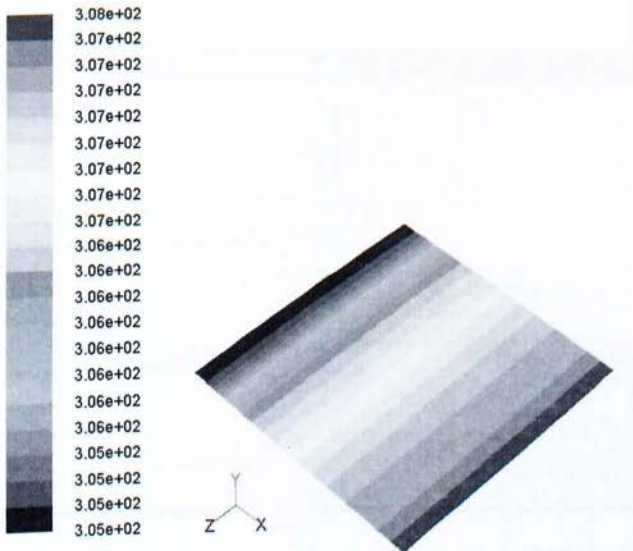
- ano epifaneia edafous-shadow
- ano epifaneia edafous





Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

Οι υπόλοιποι παράμετροι παραμένουν ως έχουν στο πρώτο παράδειγμα της ασφάλτου και αναφέρονται αναλυτικά σε αυτό.



Contours of Static Temperature (k)

Apr 15, 2013  
ANSYS FLUENT 12.0 (3d, pbns, rke)

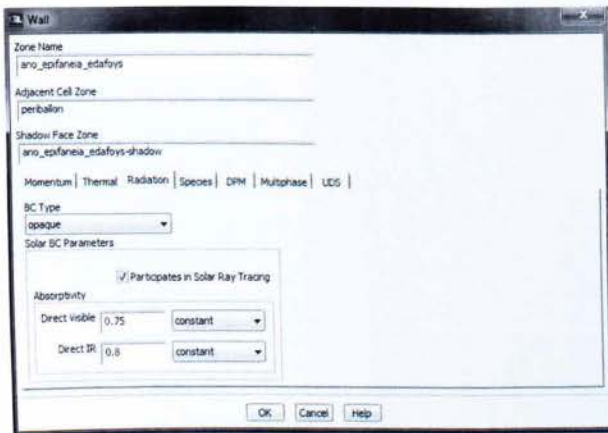
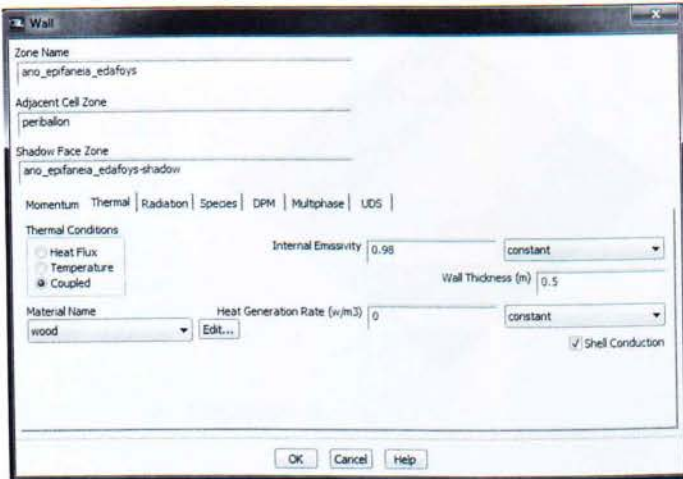
*Σχήμα 4.3: Παράδειγμα με υλικό το τσιμεντοκονίαμα*

Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

**4ο Παράδειγμα(Ξύλο)**

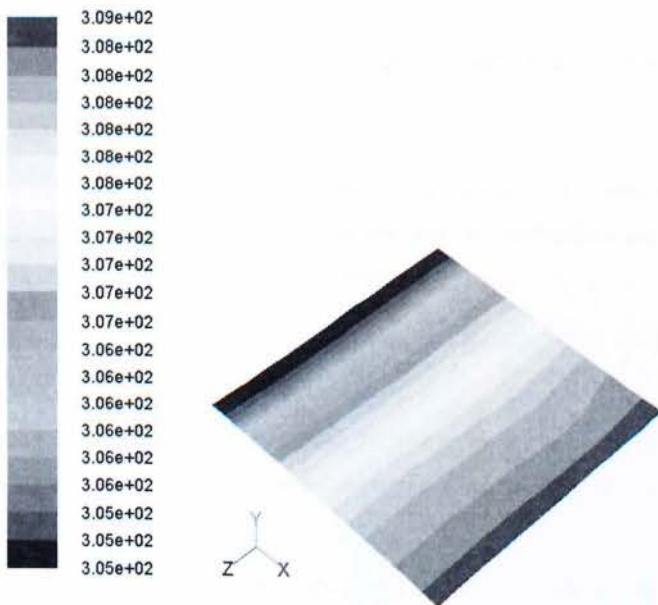
Εισάγουμε τα δεδομένα μας και για τις δυο επιφάνειες :

- ano epifanea edafous-shadow
- ano epifanea edafous



Οι υπόλοιποι παράμετροι παραμένουν ως έχουν στο πρώτο παράδειγμα της ασφάλτου και αναφέρονται αναλυτικά σε αυτό.

Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους



Contours of Static Temperature (k)

Apr 15, 2013  
ANSYS FLUENT 12.0 (3d, pbns, rke)

Σχήμα 4.4: Παράδειγμα με υλικό το ξύλο

## Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

#### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΙΕΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

##### 5.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι τομές που εμφανίζονται στα παραδείγματα είναι σε ύψος 1.5 m από το έδαφος λόγω του ότι το μέσο ύψος των ανθρώπων καθώς και όλα τα αισθητήρια της θερμοκρασίας του ανθρώπινου σώματος βρίσκονται σε αυτό το ύψος.

Οι μεταβολές που εμφανίζονται στην επιφάνεια του εδάφους είναι πολύ μικρές για αυτό το λόγο επιλέξαμε το ύψος που αναφέρθηκε.

Στο 1<sup>ο</sup> παράδειγμα της ασφάλτου βλέπουμε ότι η θερμοκρασία από την είσοδο της στο μοντέλο σταδιακά αυξάνεται επηρεαζόμενη ασφαλώς από την ηλιακή ακτινοβολία παραμένοντας αργά αυξανόμενη στην αρχή (3.06e+02).

Στο 2<sup>ο</sup> παράδειγμα του αμμοχάλικου βλέπουμε ότι η θερμοκρασία από την είσοδο της στο μοντέλο σταδιακά αυξάνεται επηρεαζόμενη ασφαλώς από την ηλιακή ακτινοβολία όπως και στο 1<sup>ο</sup> παράδειγμα, αλλά πιο γρήγορα από τα υπόλοιπα παραδείγματα.

Στο 3<sup>ο</sup> του τσιμεντοκονιάματος βλέπουμε ότι η θερμοκρασία από την είσοδο της στο μοντέλο σταδιακά αυξάνεται επηρεαζόμενη ασφαλώς από την ηλιακή ακτινοβολία όπως και στα προηγούμενα παραδείγματα αλλά πιο ηπία από αυτά αφού διατηρείται σταθερή στο μέσο του μοντέλου αυξανόμενη με γοργό ρυθμό από ότι τα υπόλοιπα παραδείγματα.

Στο 4<sup>ο</sup> παράδειγμα του ξύλου βλέπουμε ότι η θερμοκρασία από την είσοδο της στο μοντέλο σταδιακά αυξάνεται επηρεαζόμενη ασφαλώς από την ηλιακή ακτινοβολία, αλλά στην αρχή της εισόδου βλέπουμε ότι παραμένει για λίγο σταθερή (3.06e+02) και (3.08e+02) έπειτα συνεχίζει να αυξάνεται κανονικά με κάποιες μικρές διαταραχές λόγω των συνθηκών που επικρατούν στο συγκεκριμένο παράδειγμα.

Καταλήγοντας θα λέγαμε ότι η άσφαλτος αλληλοεπιδρά και επηρεάζεται πιο γρήγορα από τα υπόλοιπα υλικά χωρίς όμως να έχει μεγάλες διαφορές από αυτά.

## 5.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ακολουθούν ορισμένες προτάσεις για μελλοντική εργασία και έρευνα:

- Μελέτη άλλων υλικών που υπάρχουν στη βιβλιογραφία ώστε να συγκριθούν μεταξύ τους και με τις καταγεγραμμένες τιμές ηλιακής ακτινοβολίας, όπως πραγματοποιήθηκε στην παρούσα εργασία.
- Εξαγωγή διαγραμμάτων για κάθε υλικό και σύγκριση με τις ήδη υπάρχουσες βιβλιογραφικές συσχετίσεις.
- Περαιτέρω ανάλυση της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας ως προς τη θερμική άνεση των κτιρίων και ανάλογα τα υλικά απαρτίζουν αυτά.
- Μελέτη των διαφόρων συσχετίσεων με διαχωρισμό σε δύο τύπους ημερών (ψυχρή και θερμή) και με βάση τις χαρακτηριστικότερες ημέρες κάθε εποχής.
- Υπολογισμός της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας σε κάθε υλικού για κάθε εποχή ξεχωριστά, ώστε να γίνει μια πιο λεπτομερής ανάλυση.
- Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των επιδράσεων της ηλιακής ακτινοβολίας να εξεταστούν και ως προς άλλες παραμέτρους όπως η εποχικότητα, ο άνεμος και η υγρασία για την περαιτέρω ανάλυση ως προς παραμέτρους τις οποίες δεν έχουμε λάβει υπόψη.

Υπολογιστική μελέτη της επίδρασης της ηλιακής  
ακτινοβολίας στη θερμοκρασία του εδάφους

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. Τεχνικές οδηγίες του τεχνικού επιμελητήριου Ελλάδος :

**1.1. Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010**

**1.2. Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2/2010**

**1.3. Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3/2010**

2. Διπλωματική εργασία του Τσιμπάνου Παναγιώτη με τίτλο :

**ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΘΕΡΜΙΚΗ  
ΑΝΕΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ**

3. ΔΙΑΛΕΞΗ / ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ:

**ΤΟ ΑΣΤΙΚΟ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑ. ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΠΑΡΕΜΒΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗ  
ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΟΥ**

(ΦΩΔΡΑ-ΜΑΡΙΑ ΜΠΟΥΓΙΑΤΙΩΤΗ, Αρχιτέκτονας Μηχανικός Α.Π.Θ., ΜΔΕ Ε.Μ.Π., Δρ. Ε.Μ.Π.)

4. Επίσης βοήθησε η παρακάτω διεύθυνση με παραδείγματα και ανάλυση των  
λειτουργιών του fluent. :

[http://cdlab2.fluid.tuwien.ac.at/LEHRE/TURB/Fluent.Inc/fluent6.3.26/help/in  
dex.htm](http://cdlab2.fluid.tuwien.ac.at/LEHRE/TURB/Fluent.Inc/fluent6.3.26/help/in<br/>dex.htm)