

ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μελέτη μετάδοσης θερμότητας σε διάφορες γεωμετρίες
με χρήση του λογισμικού πεπερασμένων στοιχείων
LISA

Ηράκλειο–2014

Μακρυδάκης Χρήστος (ΑΜ 5180)

Επιβλέπων Καθηγητής: Τζιράκης Κωνσταντίνος

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Μου δίνεται η ευκαιρία με την ολοκλήρωση της παρούσας πτυχιακής να ευχαριστήσω θερμά τον υπεύθυνο καθηγητή μου Κωνσταντίνο Τζίρακη που με καθοδήγησε και μου αφιέρωσε πολύτιμο χρόνο για να φτάσουμε ως εδώ.

Τέλος θα πρέπει να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, για την συμπαράσταση και την υποστήριξη που μου πρόσφεραν όλο αυτό το διάστημα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αφορά την μετάδοση θερμότητα σε διάφορα είδη τούβλου που χρησιμοποιούνται στον κατασκευαστικό τομέα. Αντικείμενο της εργασίας είναι ο προσδιορισμός των απωλειών θερμότητας. Αυτή η μελέτη έγινε με τη χρήση του λογισμικού LISA πεπερασμένων στοιχείων, το οποίο μου έδωσε την δυνατότητα να αναλύσω τις απώλειες θερμότητας, σε διάφορα τούβλα, με ευκολία και ακρίβεια. Επίσης το πρόγραμμα μας δίνει την δυνατότητα να αλλάξουμε τη θερμοκρασιακή διαφορά χωρίς αυτό να καθυστερήσει την μελέτη μας.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	4
Κεφάλαιο 1	6
1.1 ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ-ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗΣ	6
1.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	6
1.3 ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗΣ ΚΤΙΡΙΟΥ	10
1.4 ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΤΟΥΒΛΟΥ ΣΤΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ	10
1.5 ΕΙΔΗ ΤΟΥΒΛΩΝ	11
1.6 ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΟΥΒΛΩΝ	11
1.7 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	13
1.8 ΣΥΝΗΘΕΙΣ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ	14
1.8.1 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	18
Κεφάλαιο 2	19
2.1 ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ LISA	19
2.2 ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	20
2.3 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ	21
2.4 ΒΑΣΙΚΗ ΕΞΙΣΩΣΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ	23
Κεφάλαιο 3	26
3.1 ΜΕΛΕΤΗ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΤΟΥΒΛΑ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ LISA	26
3.2 ΕΞΑΟΠΟ	28
3.3 ΕΝΝΙΑΟΠΟ	30
3.4 ΔΩΔΕΚΑΟΠΟ	32
3.5 ΟΡΘΟΤΡΥΠΟ	34
3.6 ΟΡΘΟΠΛΟΚ-20	36
3.7 ΤΟΥΒΛΕΤΑ-20	38
3.8 ΤΟΥΒΛΕΤΑ-25	40

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	42
ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	43
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	44
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	45

Κεφάλαιο 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ-ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗΣ

Μία από τις βασικότερες μελέτες του μηχανολόγου είναι η μελέτη θέρμανσης-θερμομόνωσης που με βάση αυτή την μελέτη επιλέγουμε τον κατάλληλο λέβητα, θερμαντικά σώματα και κατάλληλο δομικό υλικό που θα ικανοποιεί τις ανάγκες του κτιρίου. Από τη σκοπιά της προστασίας του περιβάλλοντος, τα κατάλληλα δομικά υλικά και ο σωστός σχεδιασμός του κτιρίου μπορούν να περιορίσουν σημαντικά την απώλεια ενέργειας και να μειώσουν τις εκπομπές ρύπων. Από τη σκοπιά της άνετης διαβίωσης στον εσωτερικό χώρο του κτιρίου, με την μελέτη θέρμανσης-θερμομόνωσης μπορούμε να δημιουργήσουμε τις κατάλληλες θερμικές συνθήκες για το χειμώνα και το καλοκαίρι. Όσον αφορά την επιλογή του υλικού με βάση το συντελεστή θερμοπερατότητας προσδιορίζουμε το συντελεστή αγωγιμότητας του υλικού.

1.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

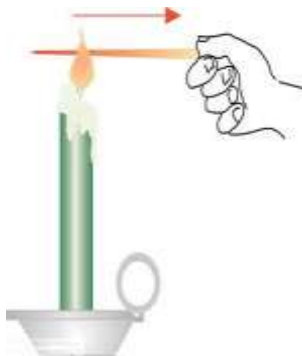
Θερμότητα είναι το άθροισμα του έργου που παράγεται σε ένα σώμα και της μεταβολής της εσωτερικής του ενέργειας, λόγω διαφορά θερμοκρασίας. Μονάδα μέτρησης στο Διεθνές σύστημα μονάδων είναι το Joule. Η θερμίδα (cal) και η χιλιοθερμίδα (kcal) ήταν η μονάδα που χρησιμοποιήθηκε αρχικά για τη θερμότητα. Οι μονάδες θερμότητας έχουν μεταξύ τους τις ακόλουθες σχέσεις: $1 \text{ Kcal} = 1000 \text{ cal}$, $1 \text{ Joules} = 0,239 \text{ cal}$.

Απώλειες θερμότητας είναι οι απώλειες που έχει κάθε χώρος λόγω συνεχούς συναλλαγής θερμότητας από το θερμότερο σώμα προς το ψυχρότερο. Αυτό συμβαίνει επειδή τα σώματα έχουν διαφορετικές θερμοκρασίες. Αυτή η συναλλαγή θερμότητας ανάμεσα στο χώρο μας και στο περιβάλλον είναι αδύνατο να μηδενιστεί. Ο επιδιωκόμενος στόχος του μηχανολόγου είναι ο υπολογισμός των απωλειών θερμότητας, ο περιορισμός τους με την κατάλληλη θερμομόνωση και το κατάλληλο δομικό στοιχείο. Συνεπώς για να μπορέσουμε να αξιολογήσουμε αντικειμενικά την θερμομονωτική αξία ενός δομικού στοιχείου θα πρέπει να λάβουμε υπόψη μας το πάχος του υλικού το οποίο παίζει σημαντικό ρόλο σε μια καλή θερμομόνωση, αφού είναι ευθέως ανάλογο με αυτήν, αλλά και το υλικό του το οποίο καθορίζει το συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας του.

Θερμοκρασία είναι το μονόμετρο μέγεθος, το οποίο εκφράζει την κατάσταση του συστήματος. Μονάδα μέτρησης είναι ο βαθμός Κελσίου ($^{\circ} \text{C}$) στο μετρικό σύστημα και σε βαθμούς Fahrenheit (Φαρενάιτ) $^{\circ} \text{F}$, στο αγγλικό σύστημα.

Υπάρχουν τρεις τρόποι μετάδοσης θερμότητας με αγωγή, συναγωγή και ακτινοβολία. Στην μεταφορά θερμότητας με αγωγή η θερμότητα μεταφέρεται με επαφή από το ένα σώμα υψηλής θερμοκρασίας σε ένα άλλο χαμηλότερης μέσω ενός μέσου (στερεού, υγρού ή αερίου σε ηρεμία), υπό την προϋπόθεση ότι έρχονται σε επαφή.

Η μεταφορά αυτή γίνεται είτε μέσω των μορίων, δηλαδή μεταφορά ενέργειας από το ένα μόριο στο άλλο, είτε μέσω της συγκέντρωσης των ελεύθερων ηλεκτρονίων στα καθαρώς μεταλλικά στερεά. Ειδικότερα, όταν τα μόρια μιας περιοχής κινούνται γρηγορότερα από τα μόρια της γειτονικής περιοχής, αυτό εμφανίζεται υπό τη μορφή μιας θερμοκρασιακής διαφοράς. Άρα η ενέργεια ή μέρος της, μεταφέρεται στα μόρια που έχουν μικρότερη θερμοκρασία. Η μεταφορά της θερμικής ενέργειας, μέσω αγωγιμότητας πραγματοποιείται μέσω ελαστικών κρούσεων ή μέσω διάχυσης των μορίων, όταν κινούνται τυχαία, στα αέρια και στα ρευστά. Στην περίπτωση των στερεών η αντίστοιχη θερμική ενέργεια μεταφέρεται μέσω των ταλαντώσεων των μορίων και των κινούμενων ηλεκτρονίων από περιοχές υψηλής θερμοκρασίας, σε χαμηλής. Ακολουθούν δυο παραδείγματα.



Εικόνα 1.1

Μετάδοση θερμότητας με αγωγή σε καρφίτσα



Εικόνα 1.2

Μετάδοση θερμότητας με αγωγή σε μέταλλο

Η γενική σχέση είναι: $q = (\lambda/\delta) \cdot A \cdot (\Delta\Theta)$ ή $q/A = \theta_1 - \theta_2 / \delta/\lambda$

α) $\lambda/\delta = \Lambda$: Συντ. θερμοδιαφυγής επίπεδης στρώσης (m^2K/W).

$\delta/\lambda = R$: Συντ. θερμικής αντίστασης στρώσης (W/m^2K)

β) A : η επιφάνεια με την οποία το ρευστό βρίσκεται σε επαφή.

γ) $\Delta\Theta$: η διαφορά θερμοκρασιών ρευστού και επιφάνειας.

Στην μεταφορά θερμότητας με συναγωγή η θερμότητα μεταφέρεται από ένα στερεό σε ένα κινούμενο ρευστό (υγρό ή αέριο) και είναι ένας συνδυασμός αγωγιμότητας και κίνησης του ρευστού. Ο μηχανισμός της μεταφοράς θερμότητας με συναγωγή δεν εξαρτάται μόνο από τη θερμοκρασιακή διαφορά αλλά ακολουθεί μια σειρά από διεργασίες. Αρχικά η ροή θερμότητας γίνεται μέσω αγωγιμότητας από μια στερεή επιφάνεια στα πιο κοντινά μόρια του ρευστού. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας και της εσωτερικής ενέργειας του ρευστού.

Στη συνέχεια τα μόρια του ρευστού κινούνται προς τα μόρια, τα οποία έχουν χαμηλότερη θερμοκρασία και αναμιγνύονται με το υπόλοιπο μέρος των μορίων του ρευστού. Τέλος η θερμική ενέργεια αποθηκεύεται στα μόρια του ρευστού και μεταφέρεται. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την κινούμενη μάζα του. Αυτός ο μηχανισμός θερμότητας ορίζεται ως συναγωγή. Επομένως όσο πιο πολύ κινείται το ρευστό τόσο αυξάνει και η ροή θερμότητας μέσω συναγωγής. Η συναγωγή χωρίζεται σε δυο κατηγορίες την εξαναγκασμένη και την ελεύθερη. Η εξαναγκασμένη πραγματοποιείται στις περιπτώσεις όπου το ρευστό κινείται επί μιας επιφάνειας λόγω εξωτερικών παραγόντων. Αντίθετα ελεύθερη έχουμε όταν η κίνηση του ρευστού οφείλεται σε δυνάμεις άνωσης.

Η γενική σχέση είναι : $q = h \cdot A \cdot \Delta\theta$ όπου

α) h ο συντελεστής μεταφοράς ο οποίος εξαρτάται από το ρευστό και την ταχύτητα του.

β) A η επιφάνεια με την οποία το ρευστό βρίσκεται σε επαφή.

γ) $\Delta\theta$ η διαφορά θερμοκρασιών ρευστού και επιφάνειας.

Ακολουθούν μερικά παραδείγματα.



Εικόνα 1.3

Μετάδοση θερμότητας στο νερό



Εικόνα 1.4

Μετάδοση θερμότητας στο φλιτζάνι .

Όσον αφορά τον τρίτο τρόπο μετάδοσης θερμότητας η συναλλαγή θερμότητας γίνεται από το ένα σώμα στο άλλο μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Η ροή θερμότητας πραγματοποιείται πάντα από το θερμότερο σώμα προς το ψυχρότερο. Θερμική ακτινοβολία ονομάζεται η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπεται από την επιφάνεια ενός σώματος λόγω της θερμοκρασίας του. Γενικά, η θερμική ακτινοβολία που εκπέμπει ένα σώμα αντιστοιχεί σε συχνότητες ολόκληρου του φάσματος ακτινοβολίας αφού προέρχεται από τη θερμική, «τυχαία», κίνηση των συστατικών της ύλης. Ένα παραδείγματα είναι η ακτινοβολία (μη ορατή) που εκπέμπεται από ένα καλοριφέρ . Αν και οι συσκευές αυτές ζεσταίνουν τον χώρο επίσης λόγω της δημιουργίας θερμών ρευμάτων αέρα, μέρος της θερμότητας που απελευθερώνουν είναι υπό την μορφή ακτινοβολίας. Γενικά όλα τα σώματα χάνουν ή αποκτούν θερμότητα εκπέμποντας ή απορροφώντας ακτινοβολία. Καθώς κινούνται συνεχώς, τα σωματίδια που αποτελούν ένα σώμα εκπέμπουν ακτινοβολία, χάνοντας έτσι ένα μέρος της κινητικής τους ενέργειας με συνέπεια να αρχίζουν να επιβραδύνονται και έτσι τα σώματα που συγκροτούν να ψύχονται. Η ποσότητα της ενέργειας που αντιστοιχεί σε κάθε περιοχή συχνότητας εξαρτάται από τον συντελεστή εκπομπής του σώματος, ο οποίος καθορίζεται από το υλικό και την θερμοκρασία του σώματος καθώς και από την γωνία υπό την οποία γίνεται η εκπομπή ή η απορρόφηση.

Ένα ιδανικό σώμα του οποίου ο συντελεστής εκπομπής είναι σταθερός ονομάζεται φαιό σώμα ενώ αν ο συντελεστής είναι σταθερός και ίσος με την μονάδα τότε καλείται μέλαν σώμα. Όταν το μέλαν σώμα βρίσκεται σε θερμική ισορροπία η ακτινοβολία που εκπέμπει ονομάζεται "ακτινοβολία μέλανος σώματος". Η κατανομή της ενέργειας στις διάφορες συχνότητες για το μέλαν σώμα καθορίζεται από τον Νόμο του Πλανκ. Ο νόμος του Βιέν μας δίνει την συχνότητα της μέγιστης εκπομπής και ο νόμος των Στέφαν - Μπόλτςμαν δίνει την συνολική ενέργεια που εκπέμπεται ανά μονάδα επιφάνειας. Ακόμα, η μετάδοση της θερμότητας μέσω ακτινοβολίας δεν προϋποθέτει την ύπαρξη του μέσου. Για παράδειγμα, όταν ο ήλιος θερμαίνει την Γη, η θερμική ενέργεια ταξιδεύει μέσα στο κενό διάστημα υπό μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

ΜΑΥΡΑ ΣΩΜΑΤΑ

$$E_b = \sigma \cdot T^4$$

E_b : εκπεμπόμενη ισχύς μαύρου σώματος.

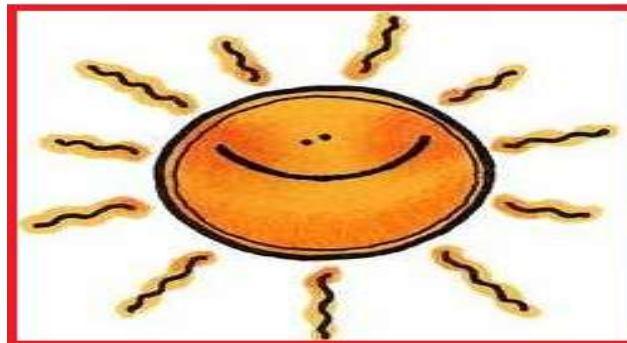
σ : Σταθερά Stefan Boltzam = $5,67 \cdot 10^{-8} \text{W/m}^2 \text{K}^4$

T : Θερμοκρασία σώματος σε $^{\circ}\text{K}$.

ΓΚΡΙΖΟ ΣΩΜΑ

$$E = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4$$

ε : Συντελεστής ολικής εκπομπής.



Εικόνα 1.5 Μετάδοση θερμότητας στη γη από τον ήλιο



Εικόνα 1.6 Μετάδοση θερμότητας στο χώρο από το ηλ.καλοριφέρ

1.3 ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗΣ ΚΤΙΡΙΟΥ

Πριν την επιλογή των μέτρων θερμομόνωσης για τον έλεγχο των θερμικών απωλειών θα πρέπει να λάβουμε σοβαρά υπόψη τους βασικότερους παράγοντες που τους προκαλούν. Τέτοιοι παράγοντες είναι:

α) ο προσανατολισμός και η θέση του κτιρίου, είναι σημαντικός παράγοντας γιατί όσο πιο εκτεθειμένο είναι στους ανέμους το κτίριο τόσο πιο μεγάλες απώλειες έχει. Επίσης όσο περισσότερο προσβάλλεται από την ηλιακή ακτινοβολία τόσο οι απώλειες ψύξης στους εσωτερικούς χώρους είναι μεγαλύτερες.

β) οι διάφοροι χώροι του κτιρίου οι οποίοι είναι εκτεθειμένοι στο περιβάλλον. Οι εσωτερικοί χώροι θεωρούνται ότι δεν έχουν απώλειες.

γ) τα εξωτερικά κουφώματα, τα οποία ανάλογα με τις διαστάσεις, τον αριθμό και την θέση τους στις όψεις του κτιρίου επηρεάζουν σημαντικά τη ροή θερμότητας. Η κακή τοποθέτηση τους επιτρέπει την διείσδυση ρευμάτων αέρα.

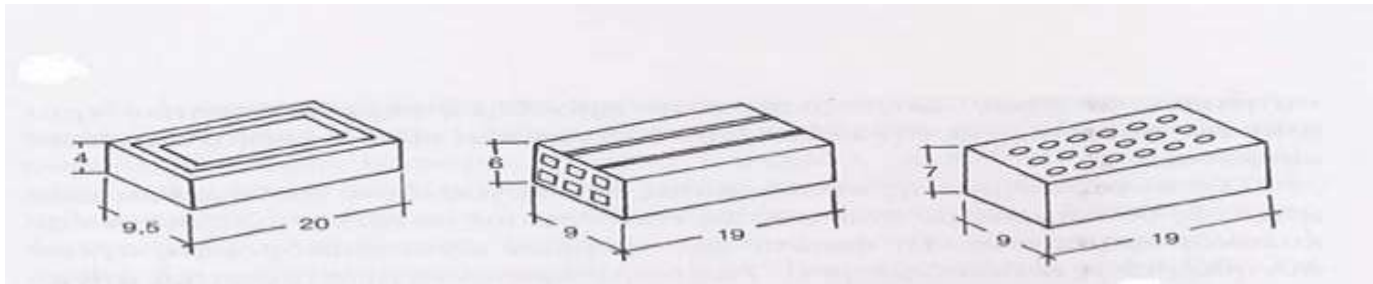
1.4 ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΤΟΥΒΛΟΥ ΣΤΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ

Το τούβλο είναι ένα από τα παλαιότερα οικοδομικά υλικά, 100% φυσικό προϊόν και αποτελεί την ιδανική λύση για την δόμηση τόσο για τον άνθρωπο όσο και το περιβάλλον. Τα πλεονεκτήματα τα οποία παρουσιάζει σε σχέση με τα υπόλοιπα υλικά δόμησης είναι τεράστια. Η πολύ καλή θερμική συμπεριφορά των τούβλων, προσφέρει θερμική μόνωση στον χώρο ελαχιστοποιώντας τις απώλειες ενέργειας. Τα τούβλα έχουν μοναδικές ιδιότητες μειώνοντας την ανταλλαγή θερμότητας με το περιβάλλον, αλλά ταυτόχρονα επιτρέποντας στο σπίτι να αναπνέει. Το σπίτι διατηρείται ζεστό τον χειμώνα και δροσερό το καλοκαίρι προσφέροντας ένα φιλικό προς τον άνθρωπο περιβάλλον διαβίωσης.

1.5 ΕΙΔΗ ΤΟΥΒΛΩΝ

Η μορφή των τούβλων εξαρτάται από τα υλικά δόμησης και τον προορισμό για τον οποίο έχουν κατασκευαστεί. Το κυρίαρχο σχήμα τους είναι ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο. Διακρίνονται σε:

- α) Συμπαγή τούβλα που έχουν οπές.
- β) Διάτρητα τούβλα που έχουν καθαρή επιφάνεια, χωρίς οπές, τουλάχιστον ίση με το 45% της μεικτής επιφανείας τους και πάχος τοιχωμάτων τουλάχιστον 10mm.
- γ) τούβλα διαφόρων σχημάτων για ειδικές χρήσεις.



Εικόνα 1.7 Είδη τούβλων

- (α) συμπαγές (β) με οριζόντιες οπές (γ) με κατακόρυφες οπές .

1.6 ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΟΥΒΛΩΝ

Τα πρώτα τούβλα ήταν συμπαγή άρα είχαν μεγαλύτερο βάρος. Η μια επιφάνεια τους ήταν λεία και η άλλη είχε μια μικρή λακκούβα για να δένει καλύτερα το τούβλο με τη λάσπη. Η πιο συνηθισμένη τους διάσταση 21*10*4 εκατοστά.



Εικόνα 1.8 Τα πρώτα τούβλα.

Η ανάγκη για μικρότερο βάρος μας οδήγησε στα διάτρητα τούβλα, με τα οποία χτίζουμε έως σήμερα. Ακολουθούν μερικά παραδείγματα.



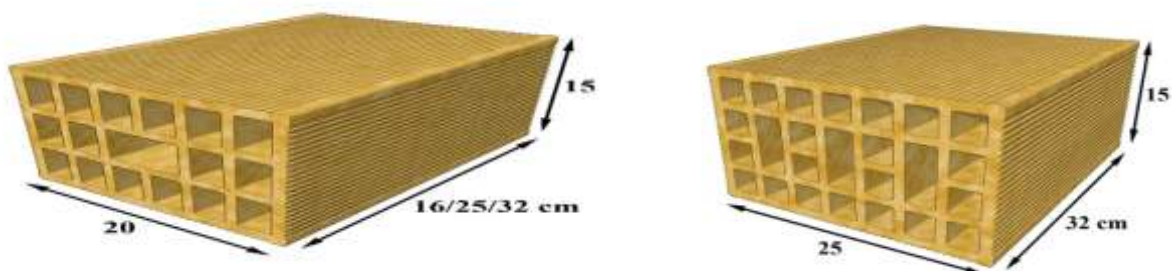
Εικόνα 1.9 Μικρά τούβλα εξάοπα με διαστάσεις 6*8*19 εκατοστά



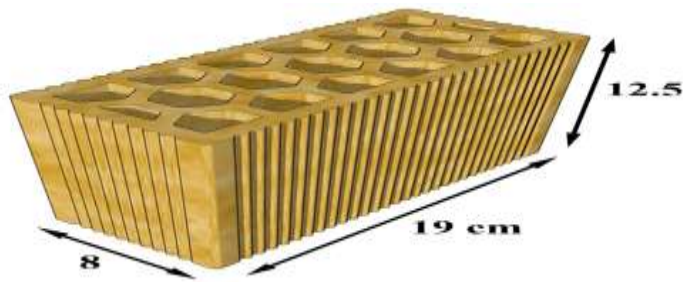
Εικόνα 1.10 Μικρά τούβλα εννιάοπα με διαστάσεις 9*8*19 εκατοστά



Εικόνα 1.12 Μεγάλα τούβλα δωδεκάοπα με διαστάσεις 9*12*19 εκατοστά



Εικόνα 1.13 Τουβλίνες ή τουβλέτες με διαστάσεις 15*20*32, 15*25*31



Εικόνα 1.14 Ορθότρυπο με διαστάσεις 8*19*12,5



Εικόνα 1.15 Ορθόμπλοκ με διαστάσεις 19*25*24, 19*25*20 κ.α

1.7 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ.

α) Ο συντελεστής θερμοπερατότητας U , εκφράζει την θερμότητα που περνάει από επιφάνεια 1m^2 , όταν η διαφορά θερμοκρασίας είναι 1K . ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)

$$1/U = 1/h_i + \delta_1/\lambda_1 + \dots + \delta_n/\lambda_n + 1/h_0$$

Αυτός εξαρτάται από τις ιδιότητες που έχουν τα υλικά που συνθέτουν την κατασκευή ενός δομικού στοιχείου, δηλαδή:

- Το συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (συντελεστής λ) ο οποίος εκφράζει την ευκολία με την οποία περνάει η θερμότητα ένα υλικό. (W/mK)
- Την περιεκτικότητα τους σε υγρασία και
- Το πάχος τους.

β) ο βαθμός διαπερατότητας του αέρα διαμέσου των δομικών στοιχείων που εξαρτάται από:

- το είδος κατασκευής του κτιρίου.
- την επιφάνεια των ανοιγμάτων και τον τρόπο τοποθέτησης των κουφωμάτων.

Μεγάλες ποσότητες θερμότητας χάνονται από τις πόρτες και τα παράθυρα ανάλογα με τις διαστάσεις του τζαμιού και τον τρόπο κατασκευής τους.

γ) η ειδική θερμοχωρητικότητα (c) των δομικών στοιχείων, η οποία εκφράζει το ποσό της θερμότητας που αποθηκεύεται σε 1 m^2 ενός δομικού στοιχείου όταν η διαφορά θερμοκρασίας του αέρα μέσα και έξω από το δομικό στοιχείο είναι 1°K .

1.8 ΣΥΝΗΘΕΙΣ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Τα θερμομονωτικά υλικά παίζουν σημαντικό ρόλο στη μελέτη θερμομόνωσης. Τα θερμομονωτικά υλικά ποικίλουν ως προς τη μορφή, προέλευση και τις μονωτικές τους δυνατότητες. Χαρακτηριστικό τους αποτελεί ο μικρός συντελεστής αγωγιμότητας (συνήθως $\lambda < 0,1 \text{ W/mK}$). Τα θερμομονωτικά υλικά οφείλουν την μονωτική τους ιδιότητα στις κυψελίδες αέρα που περιέχονται μέσα τους. Ο ακίνητος αέρας έχει τον μικρότερο συντελεστή αγωγιμότητας ($\lambda = 0,02 \text{ W/mK}$). Οι ιδιότητες ενός θερμομονωτικού υλικού επηρεάζονται από την υγρασία και τη θερμοκρασία. Όσον αφορά την υγρασία αποτελεί σημαντικό πρόβλημα γιατί παίρνοντας τη θέση του αέρα στις κυψελίδες, καταστρέφει προσωρινά ή μόνιμα τις μονωτικές ιδιότητες του υλικού. Συνήθως χρησιμοποιούμε υλικά τα οποία δεν απορροφούν το νερό ή αναζητούμε λύσεις για την προστασία των μονωτικών υλικών από την υγρασία. Στην επιλογή του μονωτικού παίζουν σημαντικό ρόλο επίσης το κόστος αγοράς επάρκειά του, κ.α. Ακολουθούν μερικά μονωτικά υλικά.



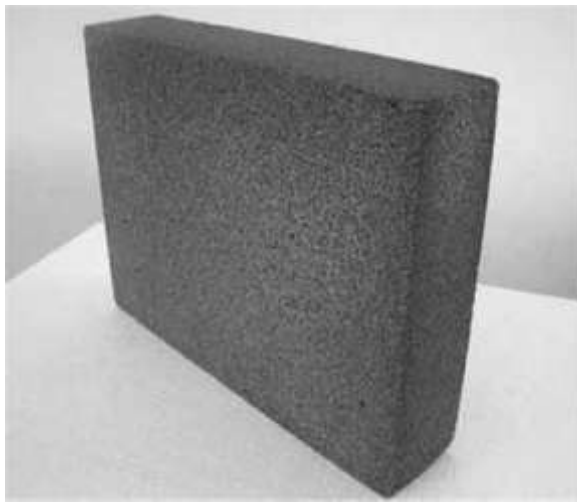
Εικόνα 1.16 Υαλοβάμβακας

Δεν φθείρεται με την πάροδο του χρόνου, είναι άοσμος. Δεν καταστρέφεται από έντομα και τρωκτικά, δεν καίγεται. Σε ενισχυμένη μορφή διατηρεί τις ιδιότητες του μέχρι 200°C . Έχει συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας $\lambda = 0,033 - 0,04 \text{ W/m}^0\text{K}$. Καταστρέφονται οι μονωτικές του ιδιότητες όταν έρθει σε επαφή με υγρασία αυτό το λόγο λαμβάνονται κάποια μέτρα προστασίας. Όπως σε όλα τα ινώδη υλικά όσο μικρότερο είναι το πάχος των ινών, τόσο περισσότερες είναι οι ίνες και τόσο καλύτερη μονωτική ικανότητα έχει το υλικό που προκύπτει.



Εικόνα 1.17 Πετροβάμβακας

Παρουσιάζει τα ίδια τεχνικά και θερμοτεχνικά χαρακτηριστικά. Επίσης εμφανίζει παρόμοιες ιδιότητες. Έχει συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας $\lambda = 0,032 - 0,045 \text{ W/m}^0\text{K}$. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ειδικές περιπτώσεις, όπου έχουμε υψηλές θερμοκρασίες (μέχρι 1100°C) όπως σε δοχεία, κ.α.



Εικόνα 1.18 Αφρώδες Γυαλί

Είναι ανόργανο τεχνητό υλικό. Έχει συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας $\lambda=0,050\text{W/m}^0\text{C}$ έως $0,063\text{W/m}^0\text{C}$ ανάλογα με τον τύπο. Οι μονωτικές ιδιότητες του οφείλονται στις κυψελίδες που περιέχει η μάζα του. Παρασκευάζεται σε δύο τύπους με ανοικτές και κλειστές κυψελίδες. Παρουσιάζει παρόμοιες ιδιότητες με τον υαλοβάμβακα. Παρασκευάζονται δυο τύποι με ανοικτές και κλειστές κυψελίδες.



Εικόνα 1.19 Θερμομονωτικά τούβλα

Βασίζονται στις φυσαλίδες αέρα και στην αύξηση των εσωτερικών διακένων.



Εικόνα1.20 Φελλός

Είναι φυσικό οργανικό που προέρχεται από το φλοιό του φελλόδρυ. Είναι ελαφρύ υλικό, επιπλέει στο νερό και έχει μικρό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας $\lambda=0,043\text{W/m}^0\text{K}$. Δεν καίγεται αλλά απανθρακώνεται. Τις μονωτικές του ιδιότητες τις οφείλει στις κυψελίδες αέρα.



Εικόνα 1.21 Εξηλασμένη πολυστερίνη

Είναι οργανικό τεχνικό υλικό. Παρουσιάζει συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας $\lambda=0,030 - 0,038$ W/m^0K . Στην μάζα της υπάρχουν κυψελίδες που τις δίνουν το θερμομονωτικό της χαρακτήρα. Είναι αδιάβροχη. Διατηρεί τις μονωτικές της ιδιότητες μέχρι θερμοκρασία 80^0C . Μη ανακυκλώσιμο υλικό.



Εικόνα 1.22 Διογκωμένη πολυστερίνη

Ανήκει στην κατηγορία των σκληρών αφρωδών πλαστικών. Παρουσιάζει πολύ μικρό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας $\lambda=0,031 - 0,048$ W/m^0K . Εμφανίζει μικρότερη αντοχή σε θλίψη. Επηρεάζεται από την υγρασία με αποτέλεσμα να μειώνεται η θερμομονωτική



Εικόνα 1.23 Ξυλόμαλλο

Είναι τεχνητό οργανικό υλικό. Έχει συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας $\lambda=0,070 - 0,09$ W/m^0K περίπου. Παρουσιάζει μεγάλη μηχανική αντοχή, σοβατίζεται και απευθείας. Δεν επηρεάζεται από τη θερμοκρασία. Πρέπει να προστατεύεται για το νερό, γι αυτό το λόγο δεν είναι κατάλληλο για εξωτερική θερμομόνωση.



Είναι τεχνητό οργανικό υλικό. Ανήκει στην κατηγορία των σκληρών αφρώδων θερμομονωτικών υλικών. Έχει συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας $\lambda=0,028 -0,04 \text{ W/m}^0\text{K}$ Έχει υψηλή μονωτική ικανότητα. Η πολυουρεθάνη αναφλέγεται στους $245 \text{ }^\circ\text{C}$.

Εικόνα 1.24 Διογκωμένη Πολυουρεθάνη

Πίνακας 1.1

Στοιχεία και εφαρμογές Θερμομονωτικών Υλικών

Υλικό	Αφρώδη οργανικά			Ινώδη ανόργανα		
	Διογκωμένη	Εξηλασμένη	Πολύ-	Πετρο-	Υαλο-	Ξυλόμαλλο
	Πολυστερίνη	Πολυστερίνη	ουρεθάνη	βάμβακας	βάμβακας	
Θερμική αγωγιμότητα(W/mK)	0,031 – 0,048	0,030 – 0,038	0,028 - 0,04	0,032 – 0,045	0,033 – 0,04	0,070 –0,09
Πυραντοχή	F - E	E	F (PIR E)	A1	A1	B1
Αντοχή σε πίεση	Μέχρι 250	Μέχρι 500	Μέχρι 500	Μέχρι 250	Μεχρι 200	Μέχρι 500
Υδατοαπορόφηση	Μέχρι 3%	Μέχρι 3%	Μέχρι 3%	Μέχρι 3kg/m ³	Μέχρι 5kg/m ³	
Θερμοκρασίες εφαρμογής	-50 έως 75 C	-50 έως 75 C	150 έως 120 C	-20 έως 1000 C	-20 έως 350 C	-50 έως 300 C
Αντίσταση στη διάχυση υδρατμών	10 έως 20	50 - 80	N.A.	1-3	1-3	2-5

1.8.1 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ.

Τα κριτήρια που λαμβάνονται υπόψη για την επιλογή θερμομονωτικών υλικών είναι:

α) Θερμοτεχνικά Χαρακτηριστικά

- Η τιμή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ .
- Η εξάρτηση του λ από τη θερμοκρασία.
- Η εξάρτηση του λ από την υγρασία.
- Η ειδική θερμότητα.
- Ο συντελεστής θερμικής διαστολής. Όσο χαμηλότερος είναι, τόσο απομακρύνεται ο κίνδυνος οικοδομικών μικροζημιών ή καταστροφής των στεγανώσεων.

β). Τρόπος Εφαρμογής

- Προκατασκευασμένα προϊόντα ή κατασκευή επί τόπου.
- Απαιτούμενα προστατευτικά μέτρα (για προστασία από μηχανικές βλάβες ή δυσμενείς περιβαλλοντικές επιδράσεις).
- Δυνατότητα ελέγχου κατά την κατασκευή.

γ). Μηχανικές Ιδιότητες

- Αντοχή σε θλίψη, κάμψη και δονήσεις.
- Αλλοιώσεις με το χρόνο (γήρανση)
- Πυκνότητα
- Ελαστικότητα, ευθραυστότητα.

δ). Χημική συμπεριφορά - ανθεκτικότητα

- Αντίσταση στη διάβρωση, στους μικροοργανισμούς, έντομα, κ.λπ.
- Συμπεριφορά στην υγρασία.
- Συμπεριφορά στη φωτιά και μέγιστες επιτρεπόμενες θερμοκρασίες λειτουργίας.
- Βαθμός ευαισθησίας σε διάφορα αέρια και σε διάφορους διαλύτες ή το θαλασσινό νερό, κ.λπ.

ε). Οικονομικά Στοιχεία

- Επιπρόσθετο κόστος προμήθειας και εγκατάστασης.
- Χρόνος απόσβεσης δαπάνης.

Κεφάλαιο 2

2.1 ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ LISA



LISA

Free / Affordable FEA

Το πρόγραμμα LISA είναι ένα φιλικό προς το χρήστη πακέτο ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων για τα Windows με μια ολοκληρωμένη μοντελοποίηση, multi-threaded λύτης και γραφικά μετα-επεξεργαστή. Το πρόγραμμα αυτό έχει αρκετές δυνατότητες. Το LISA μπορεί να χρησιμοποιηθεί για γραμμική στατική μελέτη, ανάλυση δονήσεων. Επίσης μπορούμε να βάλουμε τα φορτία που ασκούνται σε ένα κομμάτι και να κάνουμε έλεγχο για κάμψη. Επίσης μπορούμε να υπολογίσουμε σταθερή ή παροδική μεταφορά θερμότητας σε υλικά, δίνοντας του τις θερμοκρασίες των πλευρών του κομματιού και τους συντελεστές θερμοπερατότητας των υλικών. Ακόμα μπορούμε να αναλύσουμε τη ροή σε ασυμπίεστο ρευστό, σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα στο συνεχές ρεύμα. Επιπλέον μπορούμε να πραγματοποιήσουμε ηλεκτρομαγνητική, ηλεκτροστατική μελέτη, και ακουστική ανάλυση. Επίσης μπορούμε να χωρίσουμε ένα πρόβλημα σε χρονικές περιόδους. Ανάλογα με τον τύπο ανάλυσης, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε διάφορες μορφές για να δημιουργήσουμε το μοντέλο μας (1D, 2D, αξονοσυμμετρικά και 3D) και να λύσει το πρόβλημα.

Μπορούμε να δημιουργήσουμε το δικό μας μοντέλο ή να φορτώσουμε ένα αρχείο μοντέλο οποιαδήποτε από τις υποστηριζόμενες μορφές. Υποστηριζόμενες μορφές είναι: LISA XML, STL, STEP, και IGS γεωμετρία. Για να λειτουργήσει το πρόγραμμα θα πρέπει να έχουμε το Microsoft .Net Framework έκδοση 2.0 και το XNA Framework 3.1. Η δοκιμαστική έκδοση περιορίζεται να λύσει μέχρι 1300 κόμβους.

Πλεονεκτήματα

- Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε διάφορες συνθέσεις για να δημιουργήσουμε το μοντέλο μας (1D, 2D, αξονοσυμμετρικά και 3D) και να λύσει το πρόβλημα.
- Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε διαφορετικό σύστημα μονάδων.
- Μπορούμε να εξάγουμε ένα μοντέλο ως εικόνα, stereolithography (binary ή ASCII), και VRML μορφή.

Μειονεκτήματα

- Η δοκιμαστική έκδοση περιορίζεται να λύσει μέχρι 1300 κόμβους

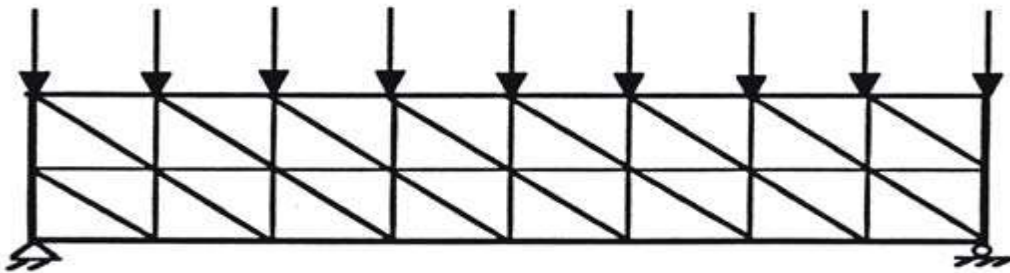
2.2 ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων είναι μια υπολογιστική μέθοδος με τη χρήση Η/Υ, για τον υπολογισμό προσεγγιστικών λύσεων. Δημιουργήθηκε η ανάγκη, για την επίλυση σύνθετων προβλημάτων, η ανάπτυξη διαφόρων προσεγγιστικών μεθόδων. Μια τέτοια μέθοδος είναι και η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων. Η βασική έννοια της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων είναι, η δυνατότητα προσομοίωσης της πραγματικής κατασκευής με συστατικά στοιχεία τα οποία συνδέονται σε ένα πεπερασμένο αριθμό κόμβων. Η μεθοδολογία αυτή αποτελεί φυσιολογική προσομοίωση των πλαισίων, καθώς αυτά αποτελούνται από δοκούς που είναι συνδεδεμένες στα άκρα τους. Σε μία συνεχή όμως κατασκευή δεν υπάρχουν φυσικοί διαχωρισμοί και συνεπώς απαιτείται να γίνει τεχνητός διαχωρισμός σε στοιχεία, τα οποία να συνδέονται κατά μήκος των άκρων (πλευρών) τους. Τα τεχνητά αυτά στοιχεία, ή πεπερασμένα στοιχεία είναι συνήθως τετράπλευρα ή τριγωνικά και οι κόμβοι συνήθως βρίσκονται στα άκρα. Είναι προσεγγιστική αλλά μας δίνει αξιόπιστα αποτελέσματα. Μπορούμε να την εφαρμόσουμε σε όλα τα προβλήματα. Το μειονέκτημα της είναι οι αυξημένες απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ. Αυτό έχει ξεπεραστεί τα τελευταία χρόνια με την ανάπτυξη των υπολογιστών. Σήμερα αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται στην έρευνα και στην βιομηχανία για μελέτες διαφόρων κατασκευών. Για να εφαρμοστεί η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων απαιτούνται τα εξής στάδια:

1. Εισάγεται η γεωμετρία της κατασκευής σε ένα πρόγραμμα CAD και δημιουργείται το τρισδιάστατο μοντέλο.
2. Χωρίζεται το μοντέλο σε πεπερασμένα στοιχεία και αφού ετοιμαστεί το πλέγμα επιλέγεται το είδος της επίλυσης και εισάγονται τα επιπλέον δεδομένα που απαιτούνται. Παραδείγματος χάριν, αν επιλεγεί να λυθεί το μοντέλο σε στατική καταπόνηση θα πρέπει να δοθούν τα δεδομένα για τις δυνάμεις και τις στηρίξεις. Αυτή η διαδικασία γίνεται με προγράμματα που αποκαλούνται pre processor.
3. Όταν ετοιμαστούν τα δεδομένα για επίλυση, εισάγονται σε ένα πρόγραμμα το οποίο θα κάνει την επίλυση του προβλήματος. Τέτοιου είδους προγράμματα λέγονται solver και χρησιμοποιούν για τις επιλύσεις αριθμητικές μεθόδους.
4. Όταν τελειώσει η επίλυση τα αποτελέσματα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα πρόγραμμα, που αποκαλείται post processor, για να μπορέσει ο μελετητής να δει τα αποτελέσματα.

2.3 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

Η βασική έννοια της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων είναι, όπως και στη μητρική ανάλυση, η δυνατότητα προσομοίωσης της πραγματικής κατασκευής με συστατικά στοιχεία τα οποία συνδέονται σε ένα πεπερασμένο αριθμό κόμβων. Η μεθοδολογία αυτή αποτελεί φυσιολογική προσομοίωση των πλαισίων, καθώς αυτά αποτελούνται από δοκούς που είναι συνδεδεμένες στα άκρα τους. Σε μία συνεχή όμως κατασκευή δεν υπάρχουν φυσικοί διαχωρισμοί και συνεπώς απαιτείται να γίνει τεχνητός διαχωρισμός σε στοιχεία, τα οποία να συνδέονται κατά μήκος των άκρων (πλευρών) τους. Τα τεχνητά αυτά στοιχεία, ή πεπερασμένα στοιχεία είναι συνήθως τετράπλευρα ή τριγωνικά και οι κόμβοι συνήθως βρίσκονται στα άκρα.



Σχήμα 1 Χρήση τριγωνικών στοιχείων για τη διακριτοποίηση αμφιέρειστης δοκού υπό καμπτική φόρτιση.

Για να γίνει χρήση μητρικών μεθόδων απαιτείται να προσομοιωθεί η συνεχής κατασκευή με ένα πεπερασμένο αριθμό διακριτών μεταβλητών. Οι μεταβλητές αυτές είναι οι μετατοπίσεις των κόμβων και σε ορισμένες περιπτώσεις και οι παράγωγοί τους. Εάν περιλαμβάνονται και οι παράγωγοι γίνεται λόγος για βαθμούς ελευθερίας αντί για μετατοπίσεις κόμβων. Οι μετατοπίσεις στο εσωτερικό των στοιχείων πρέπει να είναι συμβατές με τις μετατοπίσεις των κόμβων και όλες οι αλληλεπιδράσεις των στοιχείων εκφράζονται σε σχέση με τις κομβικές μετατοπίσεις.

Με αυτό τον τρόπο οι μόνοι άγνωστοι είναι οι μετατοπίσεις στους κόμβους και το πρόβλημα μετατρέπεται από συνεχές σε διακριτό. Παρ' όλο που μπορεί να υπάρχει μεγάλος αριθμός κομβικών μετατοπίσεων ο αριθμός τους είναι πεπερασμένος. Το πρόβλημα εκφράζεται τότε ως ένα σύνολο (σύστημα) γραμμικών εξισώσεων οι οποίες επιλύονται με αριθμητικές (μητρικές) μεθόδους.

Για να επιτευχθεί ακριβής λύση ενός συγκεκριμένου προβλήματος στη διακριτοποιημένη μορφή του, θα πρέπει να ικανοποιούνται οι συνθήκες ισορροπίας και γεωμετρικής συμβιβαστότητας στο εσωτερικό των στοιχείων αλλά και στα σύνορά τους. Οι απαιτήσεις αυτές ανάγονται στην ικανοποίηση τεσσάρων συνθηκών. Συνεπώς στο αριθμητικό μοντέλο (πεπερασμένα στοιχεία) δεν επαρκεί να ικανοποιείται η συνθήκη της συνέχειας των μετατοπίσεων στους κόμβους και μόνο. Εάν δηλαδή δεν διατυπωθούν περιορισμοί στις μετατοπίσεις κατά μήκος των ορίων των στοιχείων το θεωρητικό μοντέλο της κατασκευής θα είναι περισσότερο εύκαμπτο επειδή θα δημιουργηθούν κενά.

Ένας τρόπος να περιορισθεί το σφάλμα είναι να χρησιμοποιηθούν μικρότερα και περισσότερα στοιχεία διότι έτσι θα δημιουργηθούν περισσότεροι κόμβοι και συνεπώς περισσότερα σημεία στα οποία θα ικανοποιείται η συμβιβαστικότητα.

Μία διακριτή προσομοίωση δεν μπορεί όμως να αποδώσει με απόλυτη ακρίβεια την συμπεριφορά ενός συνεχούς μέσου, ανεξαρτήτως του αριθμού των διακριτών μεταβλητών που χρησιμοποιούνται. Υπάρχει δηλαδή πάντοτε ένα σφάλμα, το οποίο όμως μπορεί να περιορισθεί και να γίνει αμελητέο και τοπικό. Δεν είναι συνεπώς δυνατόν να ικανοποιηθούν όλες οι προαναφερθείσες συνθήκες με απόλυτη ακρίβεια, έστω και αν γίνει χρήση μεγάλου αριθμού στοιχείων. Είναι όμως δυνατό, με σωστή επιλογή των ιδιοτήτων των στοιχείων και κατάλληλη διακριτοποίηση, να περιορισθεί το αριθμητικό σφάλμα. Ο προσδιορισμός των ιδιοτήτων των στοιχείων την συμπεριφορά ενός συνεχούς μέσου, ανεξαρτήτως του αριθμού των διακριτών μεταβλητών που χρησιμοποιούνται. Υπάρχει δηλαδή πάντοτε ένα σφάλμα, το οποίο όμως μπορεί να περιορισθεί και να γίνει αμελητέο και τοπικό. Δεν είναι συνεπώς δυνατόν να ικανοποιηθούν όλες οι προαναφερθείσες συνθήκες με απόλυτη ακρίβεια, έστω και αν γίνει χρήση μεγάλου αριθμού στοιχείων. Είναι όμως δυνατό σωστή επιλογή των ιδιοτήτων των στοιχείων και κατάλληλη διακριτοποίηση, να περιορισθεί το αριθμητικό σφάλμα. Ο προσδιορισμός των ιδιοτήτων των στοιχείων αποτελεί ένα από τα βασικότερα στάδια διατύπωσης μιας λύσης. Θα πρέπει τότε να γίνεται αυτό έτσι ώστε να ικανοποιούνται επαρκώς οι συνθήκες συμβιβαστικότητας χωρίς να χρειασθεί να γίνει χρήση υπερβολικά μικρών στοιχείων.

Η συμπεριφορά των στοιχείων καθορίζεται από συναρτήσεις οι οποίες ορίζουν τον τρόπο μεταβολής των τάσεων ή των μετατοπίσεων στο εσωτερικό τους. Με άλλα λόγια, προκαθορίζεται ο τρόπος συμπεριφοράς των διαφόρων μεταβλητών. Το αποτέλεσμα είναι ότι, παρόλο που οι συνθήκες ισορροπίας και συμβιβαστικότητας ικανοποιούνται μόνο στους κόμβους, η προδιαγεγραμμένη συμπεριφορά στο εσωτερικό κάθε στοιχείου εξασφαλίζει ότι η συμβιβαστικότητα ικανοποιείται επαρκώς στο εσωτερικό και στα σύνορά τους.

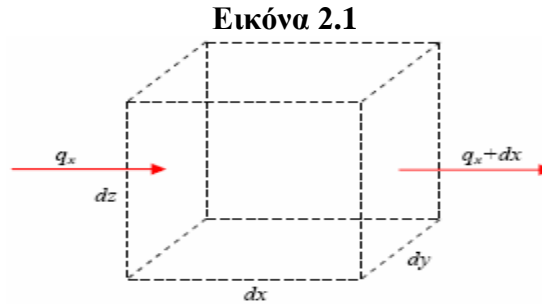
Συμπεραίνεται λοιπόν ότι απαιτείται προσοχή κατά την υποδιαίρεση (διακριτοποίηση) της κατασκευής, καθώς επίσης και κατά την επιλογή της συνάρτησης που περιγράφει τη συμπεριφορά στο εσωτερικό του κάθε στοιχείου. Θα γίνει αναφορά σε ορισμένα θέματα σχετικά με την υποδιαίρεση και σε συνέχεια, για να γίνει κατανοητός ο τρόπος επιλογής της συνάρτησης εσωτερικής συμπεριφοράς θα μελετηθούν ορισμένα απλά στοιχεία τα οποία είναι ευρέως διαδεδομένα και βρίσκουν εφαρμογή σε προβλήματα λεπτότοιχων κατασκευών.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η ακρίβεια της μεθόδου αυξάνεται όταν αυξάνεται ο αριθμός των στοιχείων, ή καλύτερα, των κόμβων. Όσο αυξάνεται όμως ο αριθμός των στοιχείων, τόσο αυξάνονται ο χρόνος υπολογισμού και το κόστος.

Σε πολλές περιπτώσεις η βαθμιαία μεταβολή του μεγέθους των στοιχείων χρησιμοποιείται για να αποκτηθεί ακριβέστερη εικόνα της τοπικής συμπεριφοράς (σε συγκεντρώσεις τάσεων, σε ανοίγματα, κοντά στο σημείο εφαρμογής του εξωτερικού φορτίου, κλπ). Η βαθμιαία μεταβολή του μεγέθους των στοιχείων είναι ένας εφικτός τρόπος ελάττωσης του κόστους χωρίς να μειωθεί ακρίβεια της λύσης του προβλήματος.

2.4 Η ΒΑΣΙΚΗ ΕΞΙΣΩΣΗ ΤΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ

Για να μπορέσουμε να υπολογίσουμε την πυκνότητα θερμορροής σε ένα τυχαίο σημείο ενός σώματος με τη χρήση του νόμου του Fourier, είναι απαραίτητη η γνώση του πεδίου των θερμοκρασιών του σώματος. Το θερμοκρασιακό πεδίο διαμορφώνεται με βάση τις οριακές συνθήκες, δηλαδή τις συνθήκες που επικρατούν στα όρια του σώματος και τις αρχικές συνθήκες.



Όγκος αναφοράς για την εξαγωγή της εξίσωσης διάχυσης της θερμότητας σε Καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων.

Ας θεωρήσουμε ένα ισότροπο και ομογενές υλικό, ακίνητο. Παίρνουμε στοιχειώδη όγκο αναφοράς με διαστάσεις dx, dy, dz σε Καρτεσιανές συντεταγμένες. Έχουμε θερμοκρασιακό πεδίο $T=T(x, y, z, t)$, το οποίο μεταβάλλεται με το χρόνο t . Λόγω της μεταβολής της θερμοκρασίας μεταξύ των πλευρών του στοιχειώδους κύβου, εμφανίζεται θερμορροή με διεύθυνση κάθετη στην πλευρά. Οι όροι της θερμορροής μεταξύ των δυο απέναντι πλευρών του στοιχειώδους κύβου συνδέονται με τις σχέσεις:

$$q_{x+dx} = q_x + \frac{\partial q_x}{\partial x} dx$$

$$q_{y+dy} = q_y + \frac{\partial q_y}{\partial y} dy$$

$$q_{z+dz} = q_z + \frac{\partial q_z}{\partial z} dz$$

Αν στο εσωτερικό του σώματος υπάρχει παραγωγή θερμότητας με ρυθμό q ανά μονάδα όγκου, τότε ο ρυθμός παραγωγής θερμότητας στο εσωτερικό του στοιχειώδους όγκου θα δίδεται:

$$E_{\text{παρ}} = q dx dy dz$$

Εάν το σώμα δεν αλλάζει φάση η ενέργεια αποθηκεύεται στο εσωτερικό του είναι θερμική. Ο ρυθμός μεταβολής της αποθηκευμένης θερμικής ενέργειας στον στοιχειώδη όγκο δίνεται από τη σχέση:

$$dE_{\text{αποθ.}}/dt = E_{\text{αποθ.}} = \rho * C_p * Dt/dt * dx dy dz$$

όπου ρ η πυκνότητα του υλικού και c_p η ειδική θερμοχωρητικότητα του υλικού.
Εφαρμόζοντας τον Πρώτο Θερμοδυναμικό Νόμο στον στοιχειώδη όγκο θα έχουμε

$$E_{in} + E_{παρ} - E_{out} = E_{αποθ}.$$

Όπου $\alpha = \kappa / \rho c_p$ [m^2/s] είναι ο συντελεστής θερμικής διάχυσης
Αντικαθιστώντας προκύπτει:

$$q_x + q_y + q_z + \dot{q} \, dx \, dy \, dz - q_{x+dx} - q_{y+dy} - q_{z+dz} = \rho \, c_p \, \frac{\partial T}{\partial t} \, dx \, dy \, dz$$

Εφαρμόζοντας το νόμο του Fourier σε κάθε μια από τις τρεις πλευρές του κύβου στις θέσεις x, y, z , αντίστοιχα προκύπτει:

$$q_x = -k \, (dy \, dz) \, \frac{\partial T}{\partial x}$$

$$q_y = -k \, (dx \, dz) \, \frac{\partial T}{\partial y}$$

$$q_z = -k \, (dx \, dy) \, \frac{\partial T}{\partial z}$$

Εφαρμόζοντας το νόμο του Fourier σε κάθε μια από τις πλευρές του κύβου στις θέσεις x, y, z , προκύπτει:

$$q_x = -k \, (dy \, dz) \, \frac{\partial T}{\partial x}$$

$$q_y = -k \, (dx \, dz) \, \frac{\partial T}{\partial y}$$

$$q_z = -k \, (dx \, dy) \, \frac{\partial T}{\partial z}$$

Αντικαθιστώντας στην έκφραση του Πρώτου Θερμοδυναμικού Νόμου και διαιρώντας με τον στοιχειώδη όγκο (dx,dy,dz),προκύπτει η βασική διαφορική εξίσωση διάχυσης θερμότητας.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \dot{q} = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t}$$

Η λύση της παραπάνω διαφορικής με τη βοήθεια των κατάλληλων οριακών και αρχικών συνθηκών δίνει το θερμοκρασιακό πεδίο στο εσωτερικό του σώματος ως συνάρτηση των Καρτεσιανών συντεταγμένων και του χρόνου t.

Για σταθερή τιμή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας η παραπάνω διαφορική εξίσωση γίνεται:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\dot{q}}{k} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t}$$

Για μόνιμα θερμοκρασιακά πεδία η παραπάνω σχέση απλοποιείται περισσότερο, καταλήγοντας στη διαφορική εξίσωση Poisson.

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = -\frac{\dot{q}}{k}$$

Σε κυλινδρικές συντεταγμένες η εξίσωση διάχυσης θερμότητας γίνεται:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(k r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \phi} \left(k \frac{\partial T}{\partial \phi} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \dot{q} = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t}$$

με τις πυκνότητες θερμορροής να δίδονται:

$$q_r^* = -k \frac{\partial T}{\partial r}$$

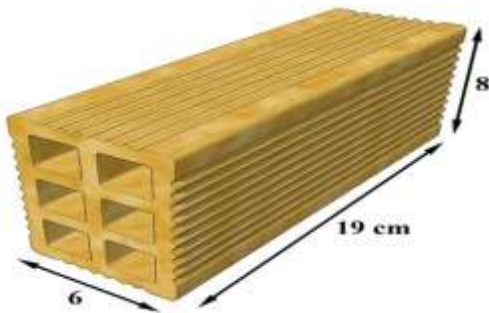
$$q_\phi^* = -\frac{k}{r} \frac{\partial T}{\partial \phi}$$

$$q_z^* = -k \frac{\partial T}{\partial z}$$

Κεφάλαιο 3

3.1 ΜΕΛΕΤΗ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΤΟΥΒΛΑ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ LISA.

Χρησιμοποιήσαμε την δοκιμαστική έκδοση για την μελέτη μας η οποία μας επιτρέπει να χρησιμοποιήσουμε μέχρι 1300 κόμβους στο πλέγμα μας. Μελετήσαμε τούβλα διαφόρων διαστάσεων και γεωμετριών της βιομηχανίας ΑΚΕΚ ως προς την οριζόντια αλλά και την κάθετη εφαρμογή τους στην τοιχοποιία. Δηλαδή εξάοπο, εννιάοπο, δωδεκάοπο, όρθομπλοκ-20, ορθότροπο, τουβλέτα-20, τουβλέτα-25. Χρησιμοποιήσαμε πλέγμα με πάνω από 1000 κόμβους. Χρησιμοποιήσαμε θερμοκρασιακή διαφορά 25°C . Πήραμε $\lambda=0,575 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ για το κεραμικό υλικό, και για τον αέρα $\lambda=0,024 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$. Θεωρήσαμε ότι στις πλευρές που δεν είναι εκτεθειμένες στον εξωτερικό ή εσωτερικό χώρο, αλλά συνορεύουν με το διπλανό τούβλο, δεν έχουν μεταφορά θερμότητας, θεωρώντας πρακτικά την πλευρά μονωμένη. Μετά που πήραμε την λύση για την κατανομή της θερμότητας, επιλέξαμε τους συνοριακούς εξωτερικούς κόμβους και υπολογίσαμε την μέση ροή θερμότητας την οποία χρησιμοποιήσαμε στον «εξής» τύπο $\lambda = \text{μέση ροή θερμότητας} * \text{πλάτος τούβλου} / \text{θερμοκρασιακή διαφορά}$, και μετά λύσαμε ως προς το ζητούμενο λ .



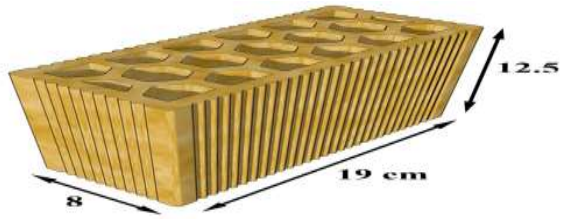
Εικόνα 3.1 Εξάοπο με διαστάσεις 6*8*19 εκατοστά



Εικόνα 3.2 Εννιάοπο με διαστάσεις 9*8*19 εκατοστά



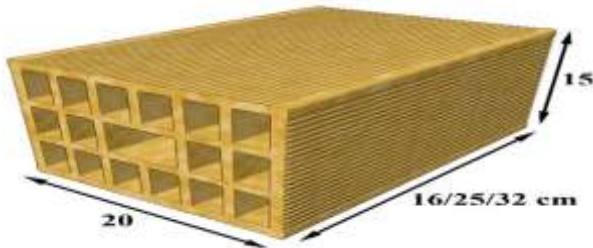
Εικόνα 3.3 Δωδεκάοπο με διαστάσεις 12*8*19 εκατοστά



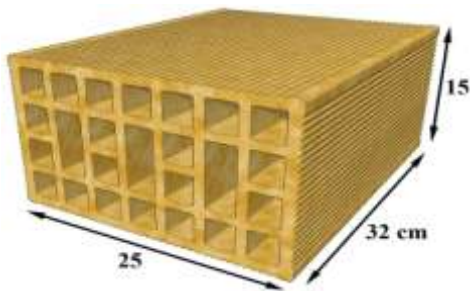
Εικόνα 3.4 Ορθόμπλοκ με διαστάσεις 8*19*12,5 εκατοστά



Εικόνα 3.5 Ορθοτρυπο-20 με διαστάσεις 20*25*19 εκατοστά

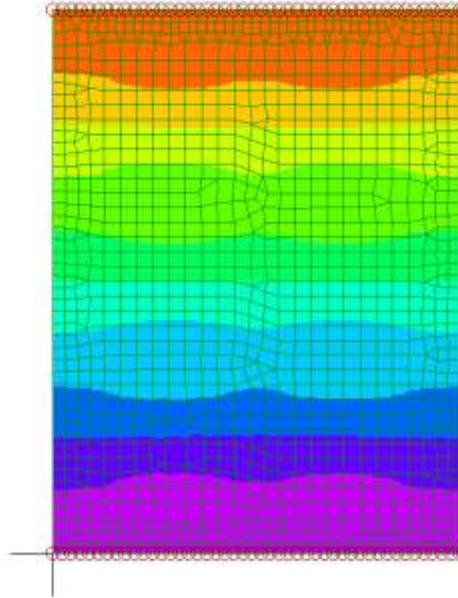
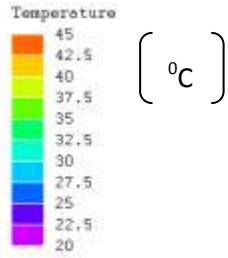


Εικόνα 3.6 Τουβλέτα-20 με διαστάσεις 20*32*15 εκατοστά



Εικόνα 3.7 Τουβλέτα-25 με διαστάσεις 25*32*15 εκατοστά

ΕΞΑΟΠΟ ΚΑΘΕΤΟ



Πήραμε :

λ κερ. ύλης = $0,575 \text{ W/m}^{\circ\text{C}}$

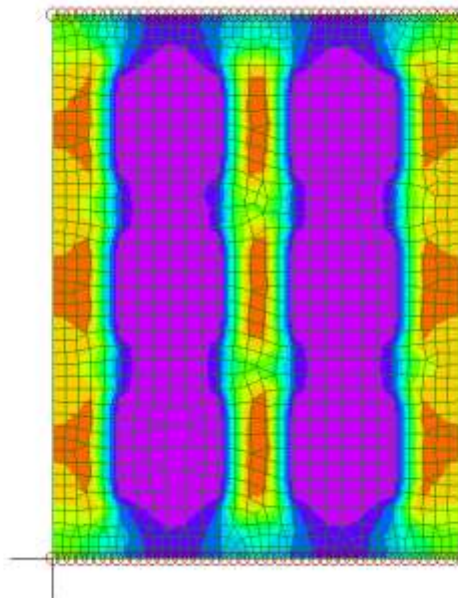
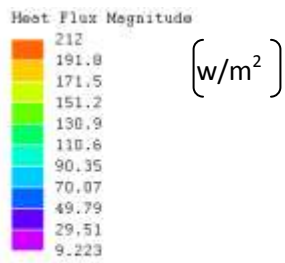
λ αέρα = $0,024 \text{ W/m}^{\circ\text{C}}$

$\Delta\theta = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$

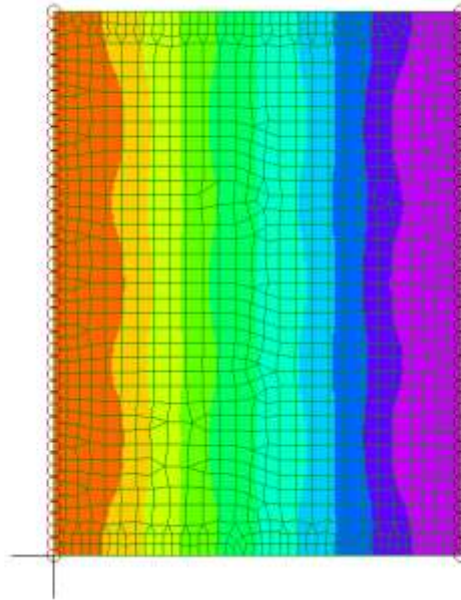
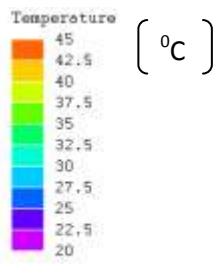
Το εξάοπο έχει:

1174 κόμβους

λ υπολ = $0,2547 \text{ W/m}^{\circ\text{C}}$



ΕΞΑΟΠΙΟ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ



Πήραμε :

$$\lambda \text{ κερ.ύλης} = 0,575 \text{ W/m}^{\circ\text{C}}$$

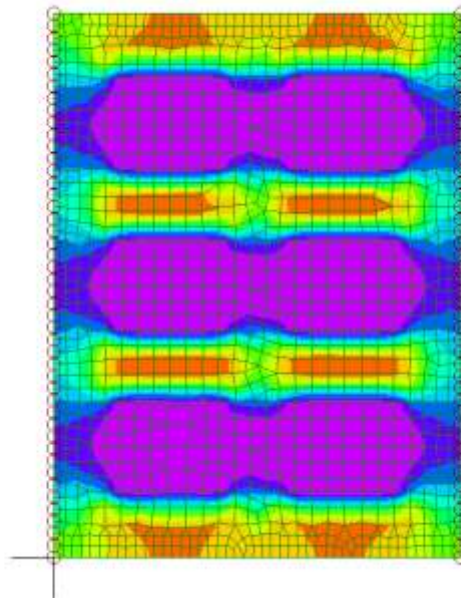
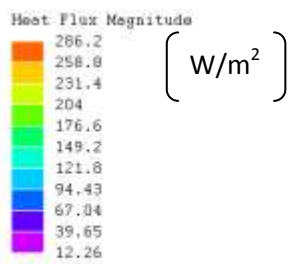
$$\lambda \text{ αέρα} = 0,024 \text{ W/m}^{\circ\text{C}}$$

$$\Delta\theta = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

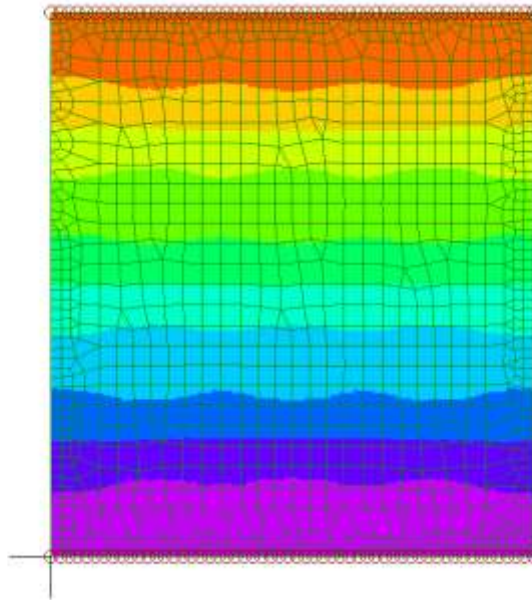
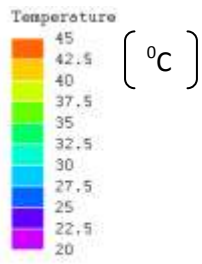
Το εξάοπιο έχει:

1174 κόμβους

$$\lambda \text{ υπολ} = 0,2551 \text{ W/m}^{\circ\text{C}}$$



ΕΝΝΙΑΟΠΟ ΚΑΘΕΤΟ



Πήραμε :

$$\lambda_{\text{κερ.ύλης}} = 0,575 \text{ W/m}^{\circ\text{C}}$$

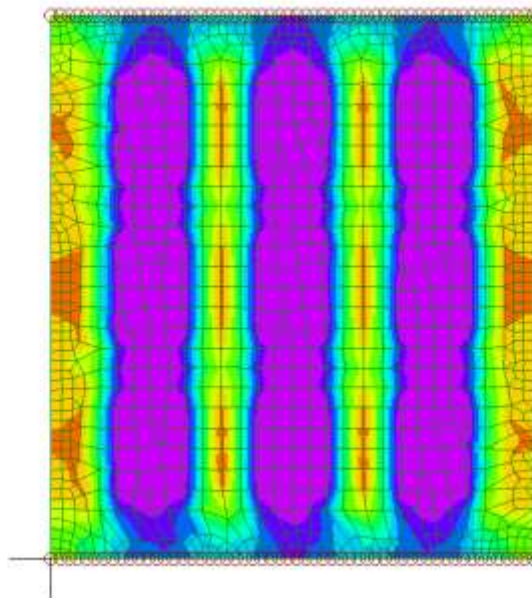
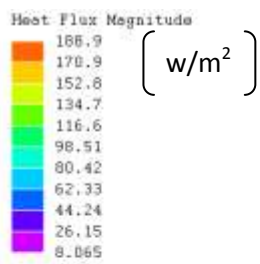
$$\lambda_{\text{αέρα}} = 0,024 \text{ W/m}^{\circ\text{C}}$$

$$\Delta\Theta = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

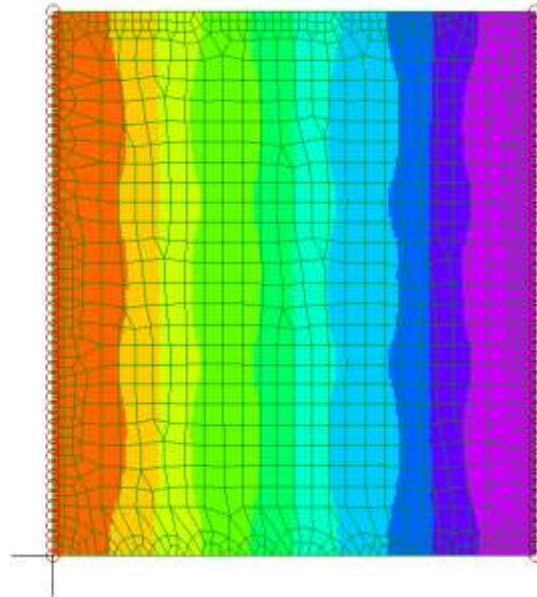
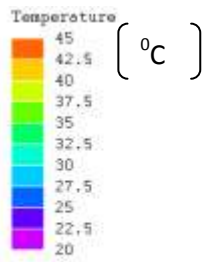
Το εννιάοπο έχει:

1098 κόμβους

$$\lambda_{\text{υπολ}} = 0,2574 \text{ W/m}^{\circ\text{C}}$$



ΕΝΝΙΑΟΠΙΟ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ



Πήραμε :

$$\lambda \text{ κερ.ύλης} = 0,575 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$$

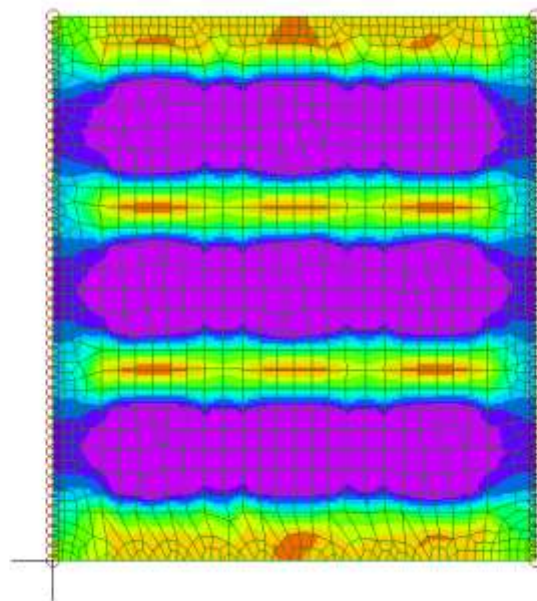
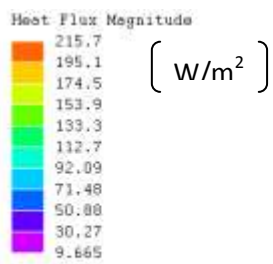
$$\lambda \text{ αέρα} = 0,024 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta\Theta = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

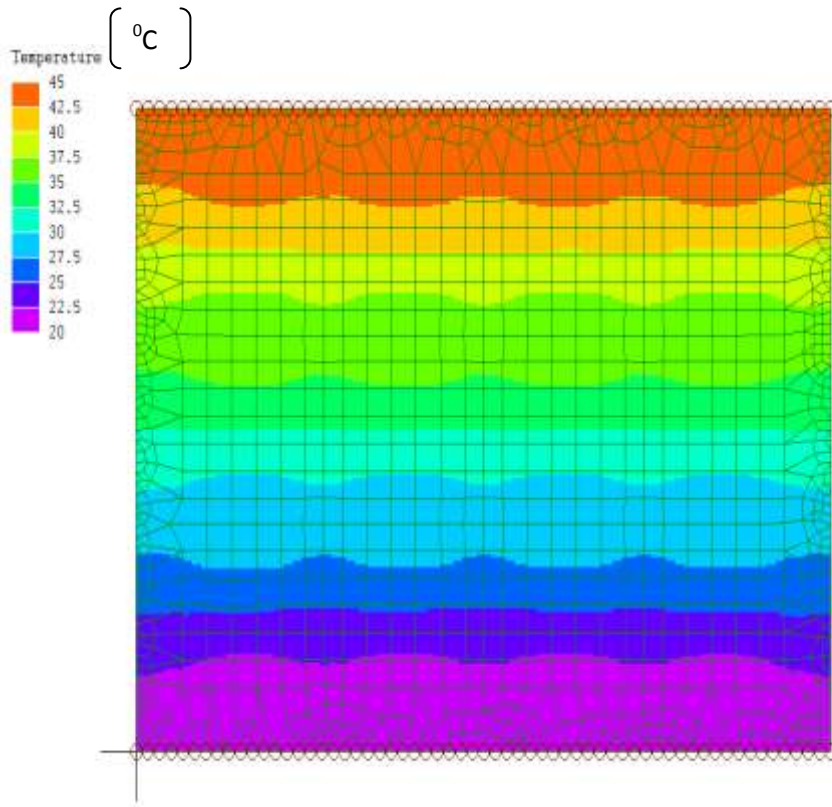
Το εννιάοπιό έχει:

1098 κόμβους

$$\lambda \text{ υπολ} = 0,2380 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$$



ΔΩΔΕΚΑΟΠΟ ΚΑΘΕΤΟ



Πήραμε :

λ κερ.ύλης = 0,575 W/m⁰C

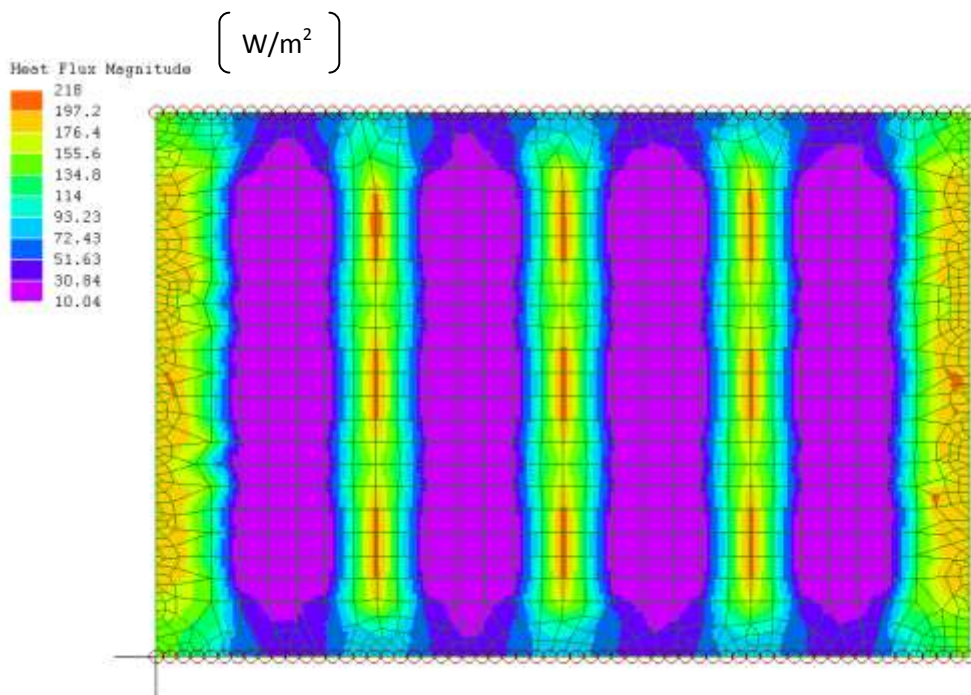
λ αέρα = 0,024 W/m⁰C

$\Delta\Theta = 25$ °C

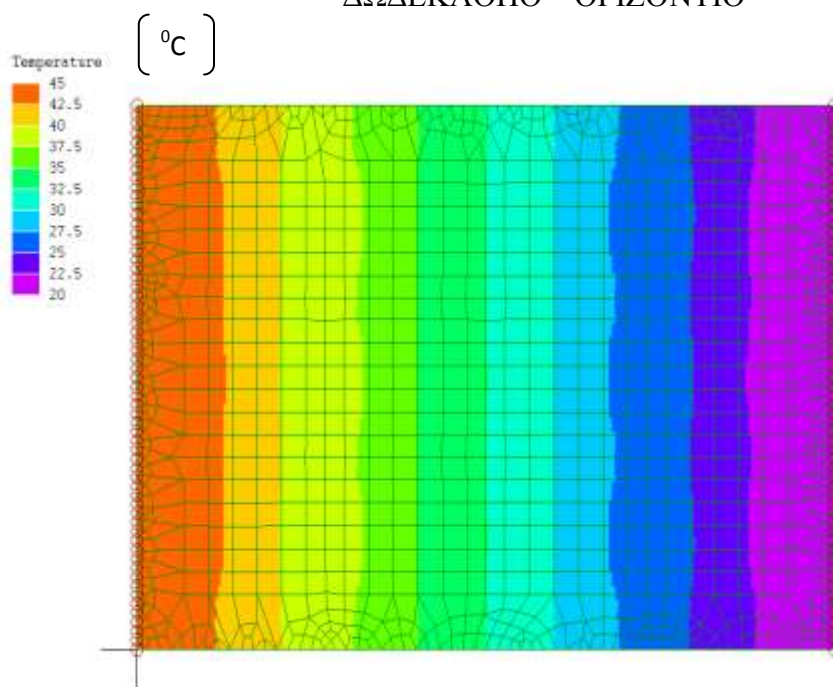
Το δωδεκάοπο έχει:

1097 κόμβους

λ υπολ = 0,2272 W/m⁰C



ΔΩΔΕΚΑΟΠΙΟ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ



Πήραμε :

$$\lambda \text{ κερ.ύλης} = 0,575 \text{ W/m}^{\circ\text{C}}$$

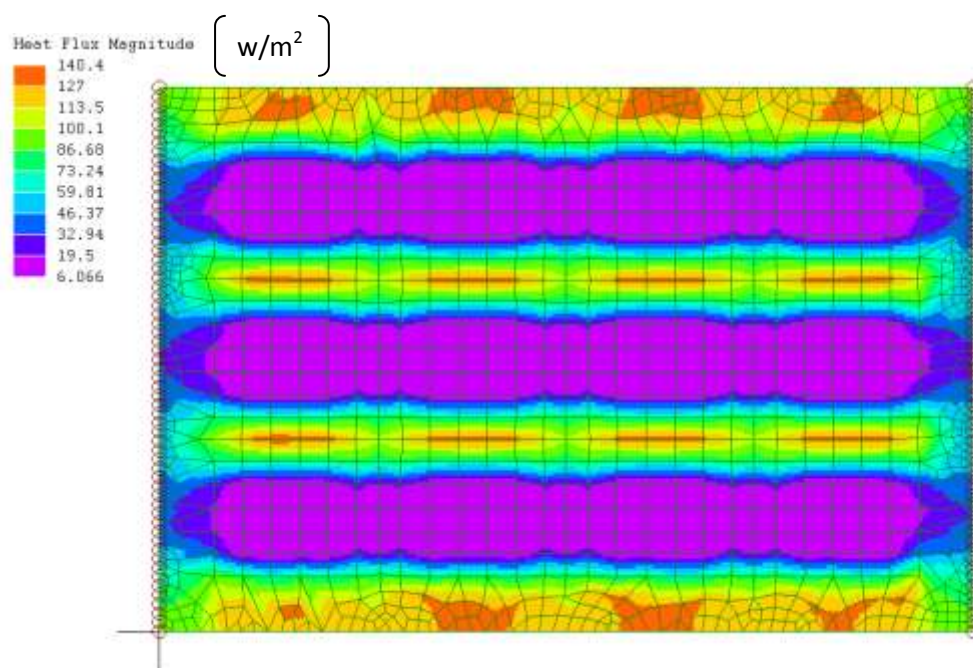
$$\lambda \text{ αέρα} = 0,024 \text{ W/m}^{\circ\text{C}}$$

$$\Delta\theta = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

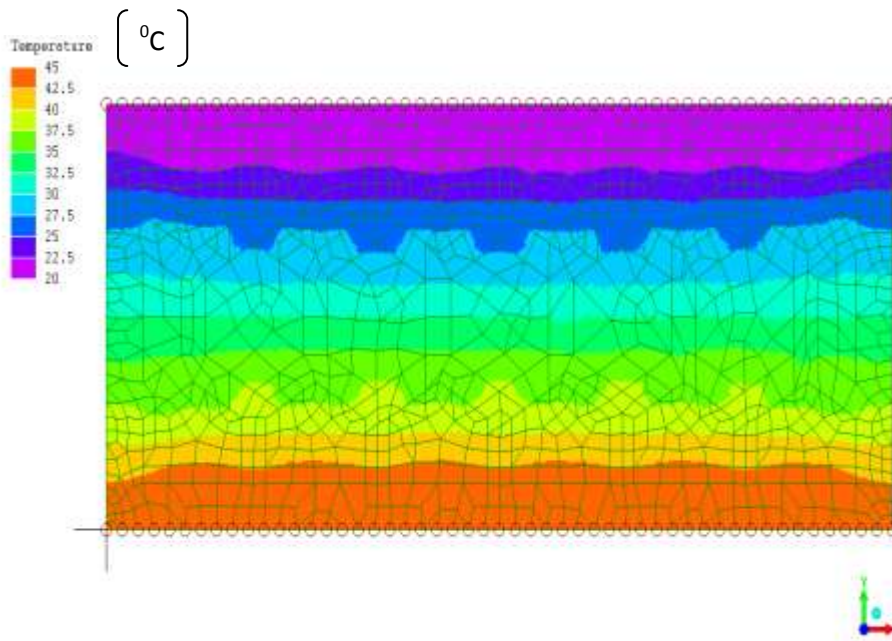
Το δωδεκάοπο έχει:

1097 κόμβους

$$\lambda \text{ υπολ} = 0,2530 \text{ W/m}^{\circ\text{C}}$$



ΟΡΘΟΤΡΥΠΟ ΚΑΘΕΤΟ



Πήραμε :

$$\lambda_{\text{κερ.ύλης}} = 0,575 \text{ W/m}^{\circ\text{C}}$$

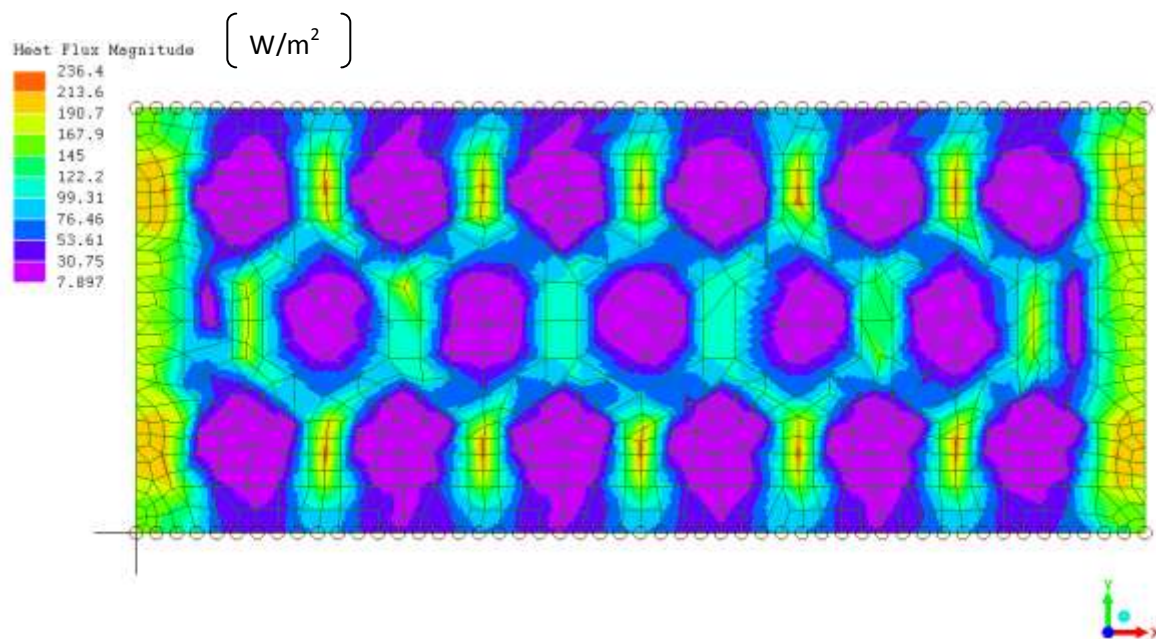
$$\lambda_{\text{αέρα}} = 0,024 \text{ W/m}^{\circ\text{C}}$$

$$\Delta\theta = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Το ορθότρυπο έχει:

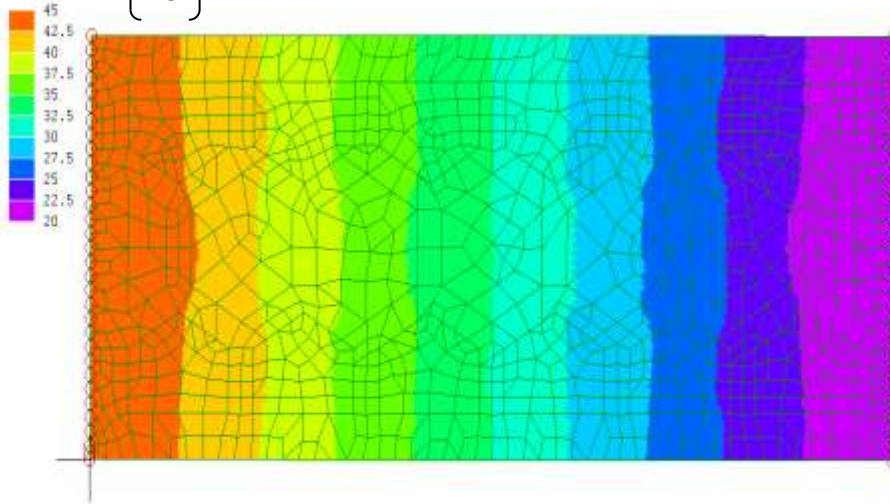
1044 κόμβους

$$\lambda_{\text{υπολ.}} = 0,2071 \text{ W/m}^{\circ\text{C}}$$



ΟΡΘΟΤΡΥΠΙΟ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ

Temperature [°C]



Πήραμε :

λ κερ.ύλης = 0,575 W/m°C

λ αέρα = 0,024 W/m°C

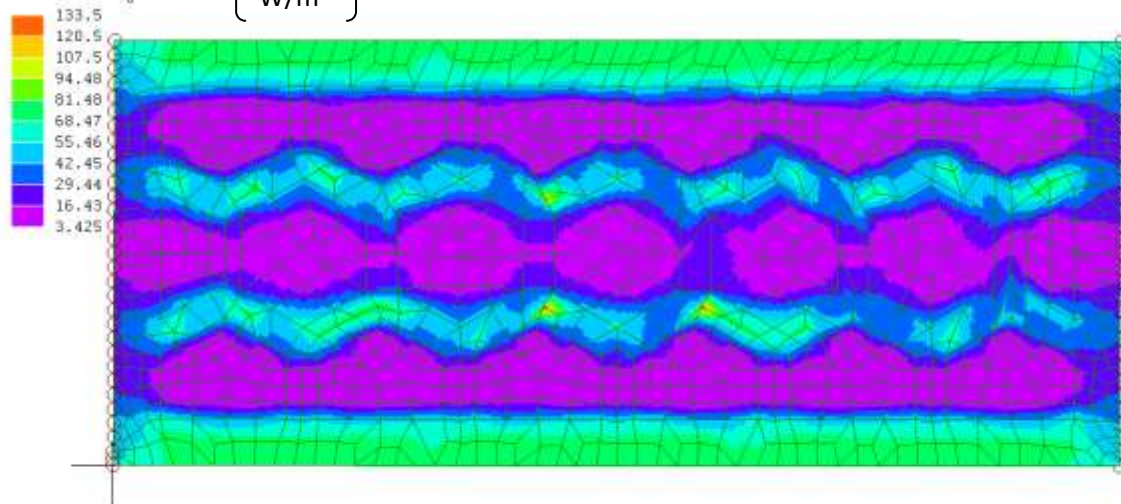
$\Delta\Theta = 25$ °C

Το ορθότρυπο έχει:

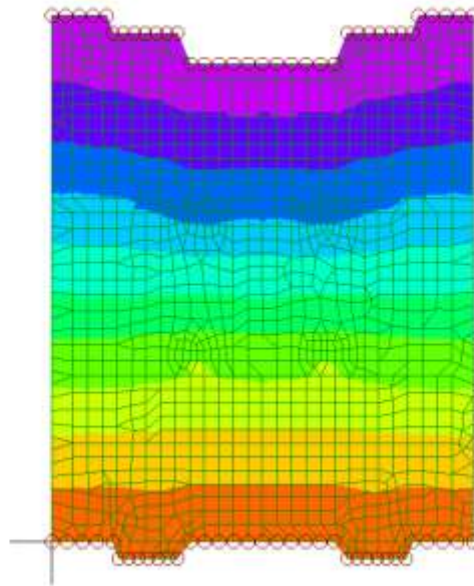
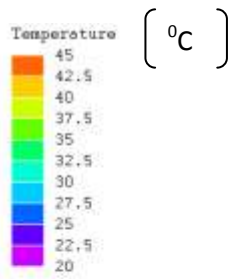
1044 κόμβους

λ υπολ. = 0,2499 W/m°C

Heat Flux Magnitude [W/m²]



ΟΡΘΟΜΠΛΟΚ- 20 ΚΑΘΕΤΟ



Πήραμε :

$$\lambda_{\text{κερ.ύλης}}=0,575 \text{ W/m}^{\circ\text{C}}$$

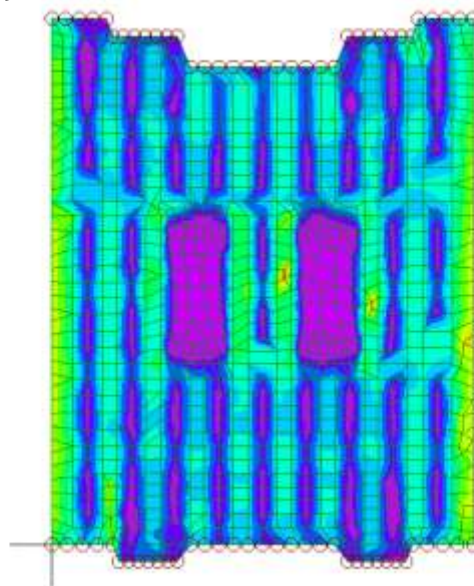
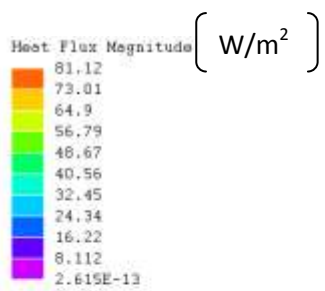
$$\lambda_{\text{αέρα}}=0,024 \text{ W/m}^{\circ\text{C}}$$

$$\Delta\Theta=25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

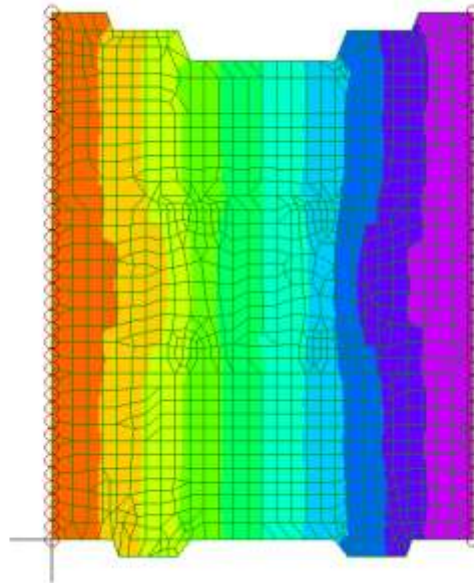
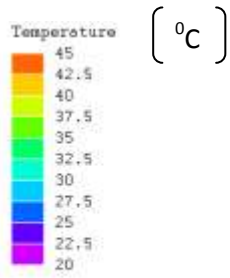
Το ορθόμπλοκ 20 έχει:

1172 κόμβους

$$\lambda_{\text{υπολ.}}=0,2206 \text{ W/m}^{\circ\text{C}}$$



ΟΡΘΟΜΠΛΟΚ- 20 ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ



Πήραμε :

$$\lambda_{\text{κερ.ύλης}}=0,575 \text{ W/m}^{\circ\text{C}}$$

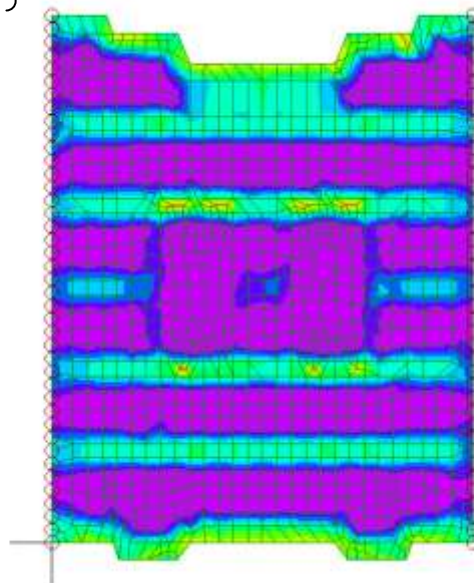
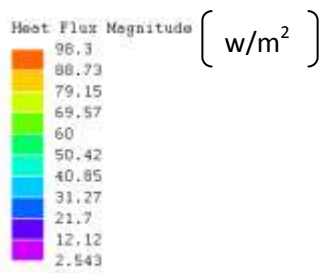
$$\lambda_{\text{αέρα}}=0,024 \text{ W/m}^{\circ\text{C}}$$

$$\Delta\theta=25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

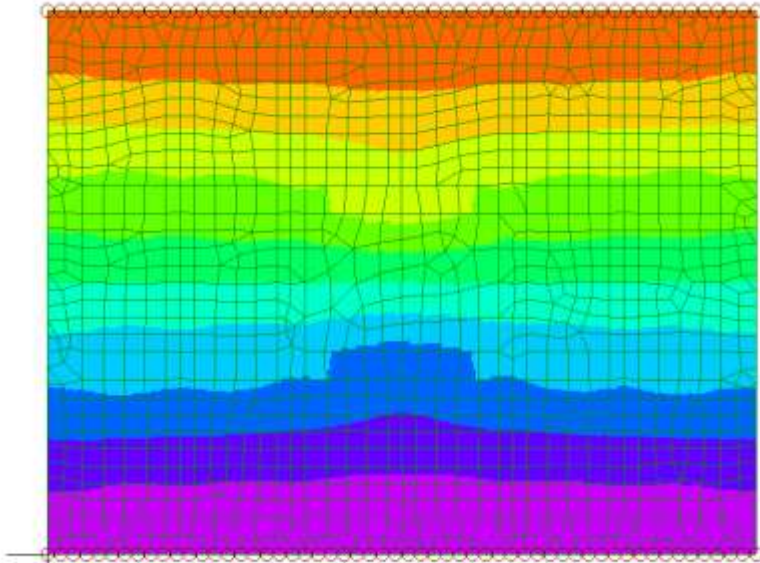
Το ορθόμπλοκ 20 έχει:

1172 κόμβους

$$\lambda_{\text{υπολ.}}=0,1503 \text{ W/m}^{\circ\text{C}}$$



ΤΟΥΒΛΕΤΑ- 20 ΚΑΘΕΤΟ



Πήραμε :

λ κερ.ύλης=0,575 W/m⁰C

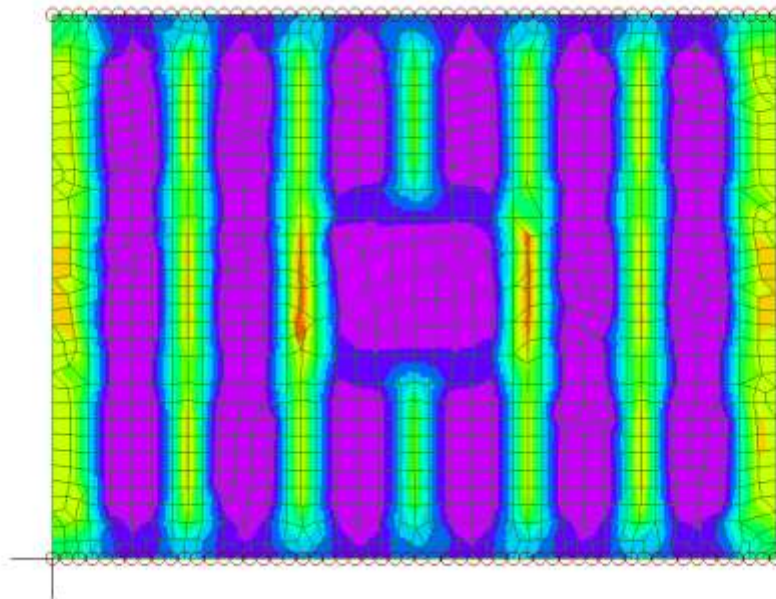
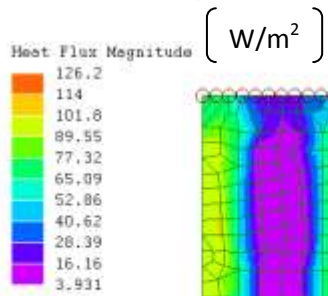
λ αέρα =0,024 W/m⁰C

$\Delta\Theta=25$ °C

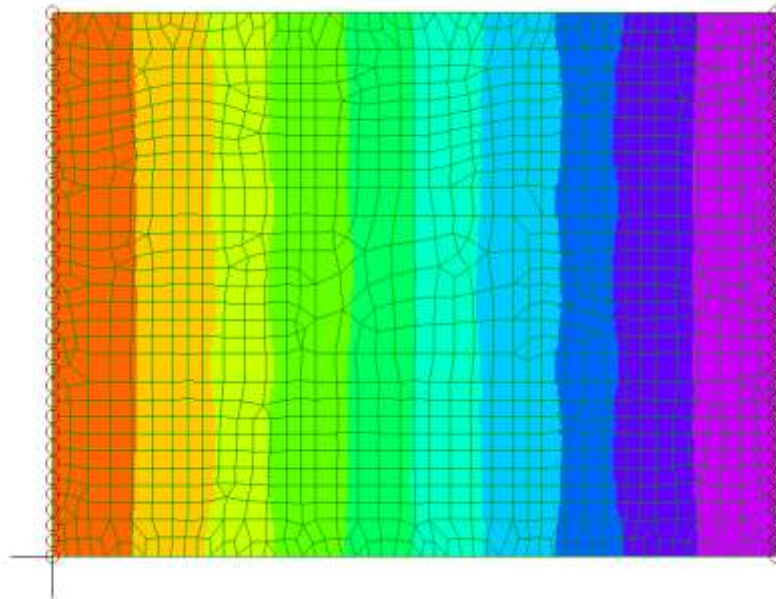
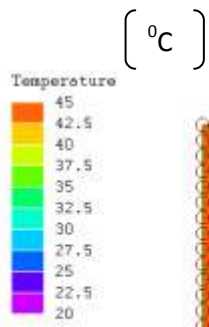
Το τουβλέτα 20 έχει:

1242 κόμβους

λ υπολ.= 0,2030 W/m⁰C



ΤΟΥΒΛΕΤΑ- 20 ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ



Πήραμε :

$$\lambda \text{ κερ.ύλης}=0,575 \text{ W/m}^{\circ\text{C}}$$

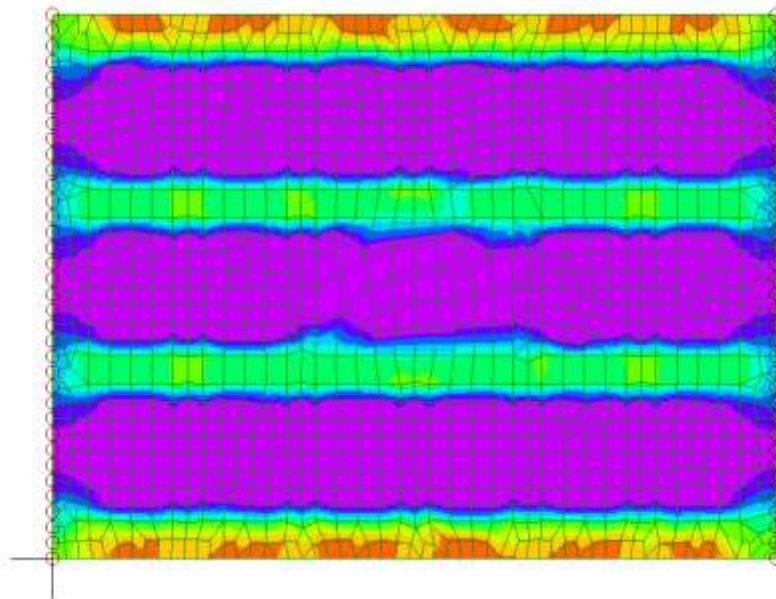
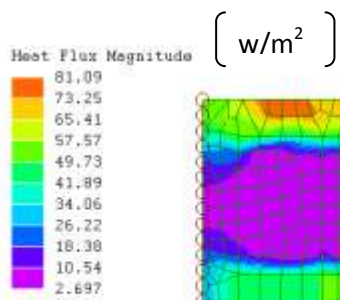
$$\lambda \text{ αέρα}=0,024 \text{ W/m}^{\circ\text{C}}$$

$$\Delta\Theta=25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

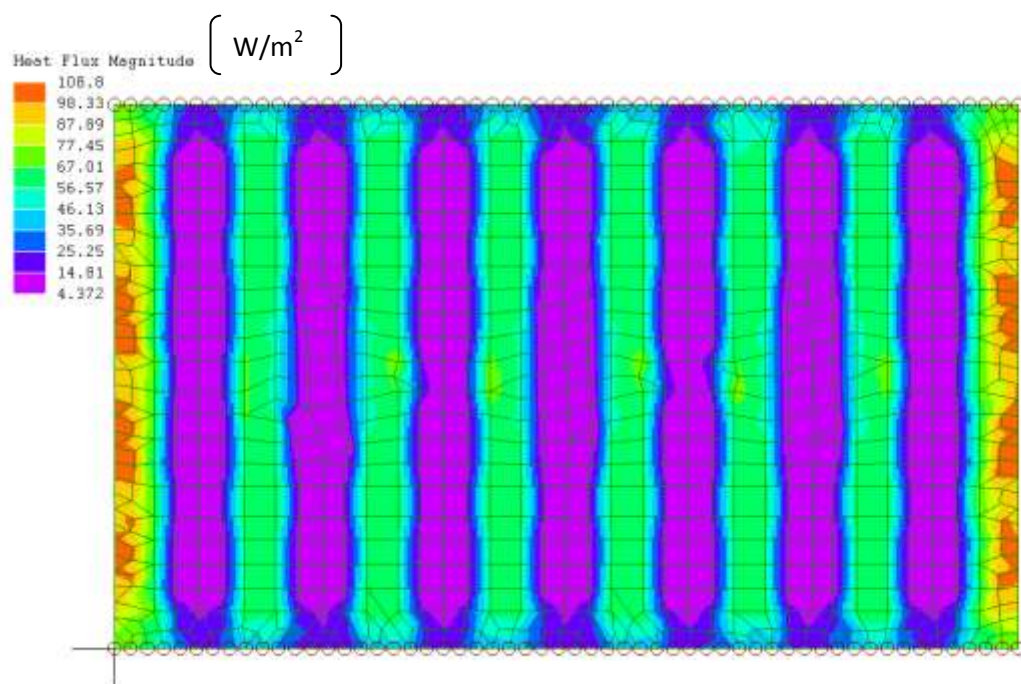
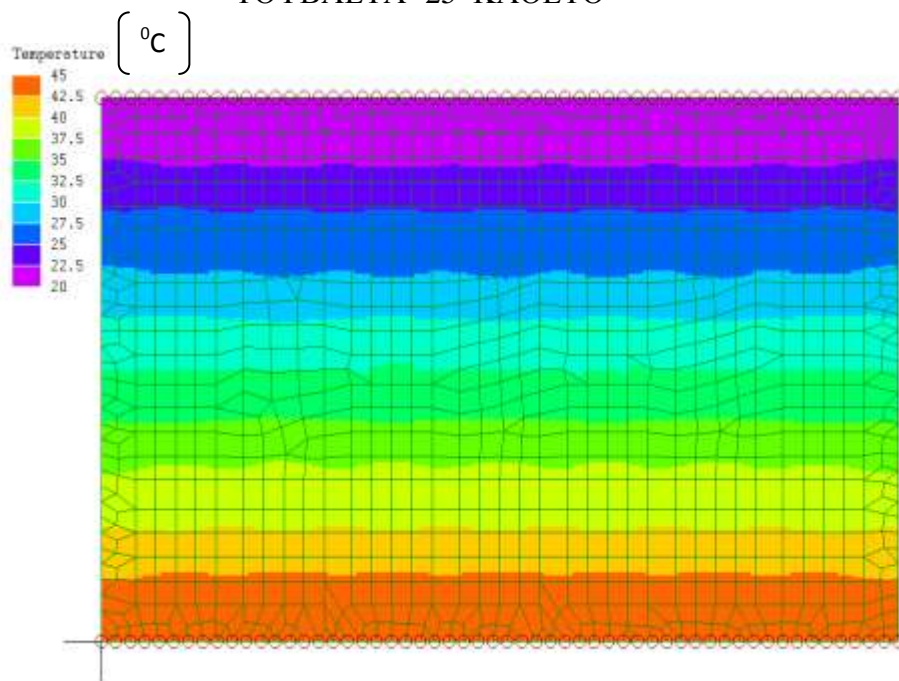
Το τουβλέτα 20 έχει:

1242 κόμβους

$$\lambda \text{ υπολ.}=0,1848 \text{ W/m}^{\circ\text{C}}$$

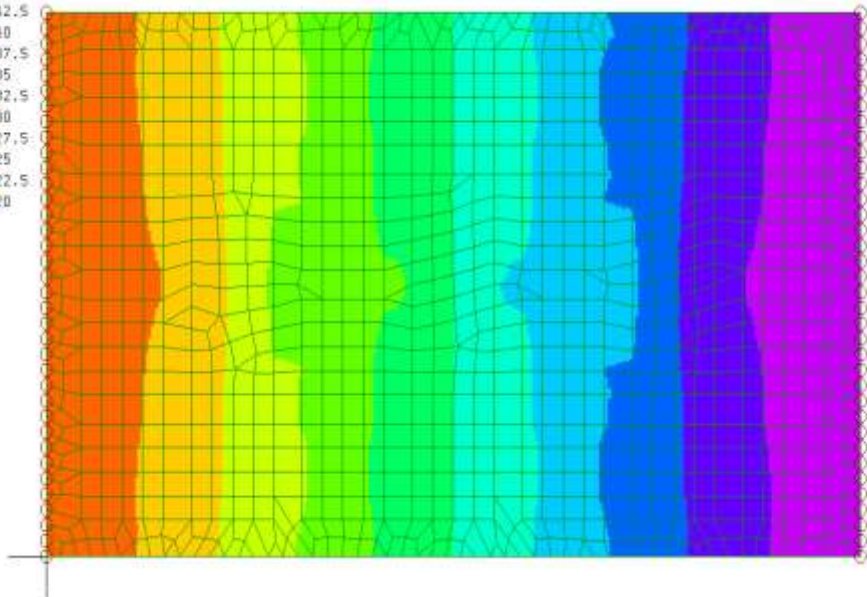
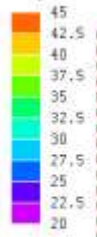


ΤΟΥΒΛΕΤΑ- 25 ΚΑΘΕΤΟ



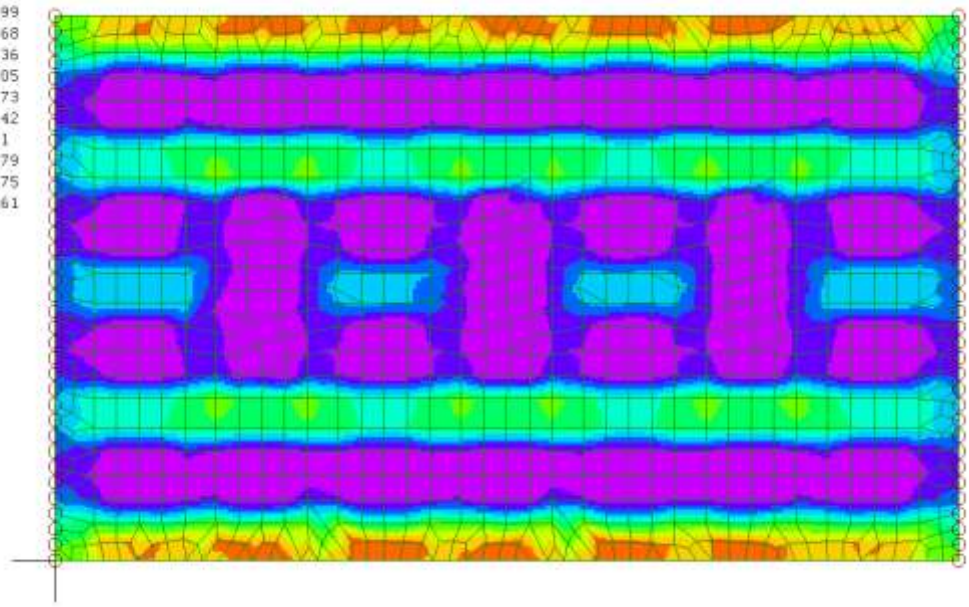
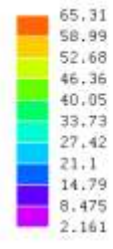
ΤΟΥΒΛΕΤΑ- 25 ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ

Temperature (°C)



Πήραμε :
 λ κερ.ύλης=0,575 W/m°C
 λ αέρα =0,024 W/m°C
 $\Delta\theta=25$ °C
Το τουβλέτα 25 έχει:
1000 κόμβους
 λ υπολ.= 0,2025 W/m°C

Heat Flux Magnitude (W/m²)



ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην μελέτη που πραγματοποιήσαμε για τούβλα διαφόρων διαστάσεων και γεωμετριών καταλήξαμε σε μερικά σημαντικά συμπεράσματα. Αρχικά όσον αφορά την κάθετη ροή θερμότητας το εξάοπο τούβλο έχει συντελεστή αγωγιμότητας $0,2547 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$, το εννιάοπο $0,2574 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$, το δωδεκάοπο $0,2272 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$. Ακόμα το ορθόμπλοκ-20 $0,2206 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$, το ορθότρυπο $0,2071 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$, η τουβλέτα -20 $0,2030 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$, η τουβλέτα- 25 $0,2146 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$. Άρα το υλικό με τον καλύτερο συντελεστή αγωγιμότητας ήταν η τουβλέτα-20 και το χειρότερο ήταν το εννιάοπο. Επομένως στην κάθετη κατεύθυνση θα προτιμήσουμε την τουβλέτα-20.

Από την πλευρά της οριζόντιας ροής θερμότητας τα ίδια τούβλα έχουν συντελεστές αγωγιμότητας $0,2551 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$, $0,2380 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$, $0,2530 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$, $0,1503 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$, $0,2499 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$, $0,1848 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$, $0,2025 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$. Άρα το υλικό με τον καλύτερο συντελεστή αγωγιμότητας ήταν το ορθόμπλοκ-20 και το χειρότερο ήταν το εξάοπο. Επομένως στην κάθετη κατεύθυνση θα προτιμήσουμε το ορθόμπλοκ-20.

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Η πτυχιακή αυτή κάλυψε ένα μεγάλο κομμάτι των δομικών υλικών που χρησιμοποιούνται στον κατασκευαστικό τομέα. Λάβαμε σημαντικά συμπεράσματα για τη συμπεριφορά των υλικών στη θερμότητα για τις εφαρμογές του μηχανολόγου. Περιέχει τους συντελεστές αγωγιμότητας για τα κυριότερα δομικά στοιχεία. Επίσης περιλαμβάνει παράρτημα με τους υπολογιστικούς πίνακες των συντελεστών αγωγιμότητας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) <http://el.wikipedia.org>
- 2) <http://lisafea.com>
- 3) <http://e-oikodomos.blogspot.gr>
- 4) <http://www.akek.gr>
- 5) Άγης Μ. Παπαδόπουλος Καθηγητής Α.Π.Θ.
- 6) Ιωάννης Νικολός Δρ Μηχανολόγος-Μηχανικός , Σημειώσεις μαθήματος μετάδοσης θερμότητας
- 7) <http://e-oikodomos.blogspot.gr>
- 8) <http://www.freebyte.com/cad/fea>.

Πίνακας 2.1
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΕΞΑΟΠΟ ΣΤΗΝ ΚΑΘΕΤΗ ΡΟΗ

nodes	46,00	Node	X	Y				
Width (m)	0,08					Heat Flux Magnitude (W/m ²)	Heat Flux X (W/m ²)	Heat Flux Y (W/m ²)
T2-T1(°C)	25,00				Temperature(°C)			
lamda coef(W/m°C)	0,2547							
		4	0,06	0,08	45	139,16	0	-139,16
		5	0,00	0,08	45	137,35	0	-137,35
		6	0	0,08	45	138,85	0	-138,85
		143	0,06	0,08	45	137,96	0	-137,96
		144	0,06	0,08	45	134,10	0	-134,10
		145	0,06	0,08	45	127,87	0	-127,87
		146	0,05	0,08	45	118,74	0	-118,74
		147	0,05	0,08	45	107,77	0	-107,77
		148	0,05	0,08	45	96,33	0	-96,33
		149	0,05	0,08	45	86,67	0	-86,67
		150	0,05	0,08	45	72,18	5,00	-71,65
		151	0,05	0,08	45	58,36	0	-58,36
		152	0,05	0,08	45	51,02	0	-51,02
		153	0,05	0,08	45	45,07	0	-45,07
		154	0,04	0,08	45	41,37	0	-41,37
		155	0,04	0,08	45	39,94	0	-39,94
		156	0,04	0,08	45	40,49	0	-40,49
		157	0,04	0,08	45	43,17	0	-43,17
		158	0,04	0,08	45	47,77	0	-47,77
		159	0,04	0,08	45	54,28	0	-54,28
		160	0,04	0,08	45	62,60	0	-62,60
		161	0,03	0,08	45	71,46	0	-71,46
		162	0,03	0,08	45	79,87	0	-79,87
		163	0,03	0,08	45	86,32	0	-86,32
		164	0,03	0,08	45	89,85	0	-89,85
		165	0,03	0,08	45	90,06	0	-90,06
		166	0,03	0,08	45	86,23	0	-86,23
		167	0,03	0,08	45	79,85	0	-79,85
		168	0,03	0,08	45	71,36	0	-71,36
		169	0,02	0,08	45	62,70	0	-62,70
		170	0,02	0,08	45	54,40	0	-54,40
		171	0,02	0,08	45	47,76	0	-47,76
		172	0,02	0,08	45	42,89	0	-42,89
		173	0,02	0,08	45	40,32	0	-40,32
		174	0,02	0,08	45	39,73	0	-39,73
		175	0,02	0,08	45	41,46	0	-41,46
		176	0,01	0,08	45	45,32	0	-45,32
		177	0,01	0,08	45	51,70	0	-51,70
		178	0,01	0,08	45	60,25	0	-60,25
		179	0,01	0,08	45	71,06	0	-71,06
		180	0,01	0,08	45	83,01	0	-83,01
		181	0,01	0,08	45	95,93	0	-95,93
		182	0,01	0,08	45	107,97	0	-107,97
		183	0,01	0,08	45	118,30	0	-118,30
		184	0,00	0,08	45	128,94	-2,12	-128,89
		185	0,00	0,08	45	133,61	0	-133,61

Πίνακας 2.2

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΕΞΑΟΠΟ ΣΤΗΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΡΟΗ

nodes	46,00
width(m)	0,06
T2-T1(°C)	25,00
lamda coef(W/m ⁰ C)	0,2551

Node	X	Y	Temperature(°C)	Heat Flux Magnitude(W/m ²)	Heat Flux X(W/m ²)	Heat Flux Y(W/m ²)
2	0,06	0	20	188,45	188,45	0
3	0,06	0,08	20	185,58	185,58	0
4	0,06	0,08	20	188,33	188,33	0
100	0,06	0,00	20	186,11	186,11	0
101	0,06	0,00	20	178,43	178,43	0
102	0,06	0,01	20	163,00	163,00	0
103	0,06	0,01	20	142,20	142,20	0
104	0,06	0,01	20	118,53	118,53	0
105	0,06	0,01	20	96,33	96,33	0
106	0,06	0,01	20	78,90	78,90	0
107	0,06	0,01	20	67,58	67,58	0
108	0,06	0,02	20	62,21	62,21	0
109	0,06	0,02	20	62,75	62,75	0
110	0,06	0,02	20	68,84	68,84	0
111	0,06	0,02	20	80,47	80,47	0
112	0,06	0,02	20	95,25	95,25	0
113	0,06	0,02	20	109,91	109,91	0
114	0,06	0,03	20	120,51	120,51	0
115	0,06	0,03	20	123,08	123,08	0
116	0,06	0,03	20	116,68	116,68	0
117	0,06	0,03	20	103,67	103,67	0
118	0,06	0,03	20	88,01	88,01	0
119	0,06	0,04	20	73,49	73,49	0
120	0,06	0,04	20	62,87	62,87	0
121	0,06	0,04	20	57,61	57,61	0
122	0,06	0,04	20	57,62	57,62	0
123	0,06	0,04	20	63,14	63,14	0
124	0,06	0,04	20	73,26	73,26	0
125	0,06	0,05	20	87,87	87,87	0
126	0,06	0,05	20	103,94	103,94	0
127	0,06	0,05	20	116,52	116,52	0
128	0,06	0,05	20	122,43	122,43	0
129	0,06	0,05	20	119,91	119,91	0
130	0,06	0,06	20	109,53	109,53	0
131	0,06	0,06	20	94,92	94,92	0
132	0,06	0,06	20	80,53	80,53	0
133	0,06	0,06	20	69,24	69,24	0
134	0,06	0,06	20	62,95	62,95	0
135	0,06	0,06	20	62,35	62,35	0
136	0,06	0,07	20	67,80	67,80	0
137	0,06	0,07	20	79,34	79,34	0
138	0,06	0,07	20	97,16	97,16	0
139	0,06	0,07	20	119,72	119,72	0
140	0,06	0,07	20	142,71	142,71	0
141	0,06	0,07	20	162,71	162,71	0
142	0,06	0,08	20	177,28	177,28	0

Πίνακας 2.3

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΕΝΝΙΑΟΠΟ ΣΤΗΝ ΚΑΘΕΤΗ ΡΟΗ

nodes	56,00
width(m)	0,09
T2-T1(°C)	25,00
lamda coef(W/m°C)	0,2574

Node	X	Y	Temperature(°C)	Heat Flux Magnitude (W/m ²)	Heat Flux X (W/m ²)	Heat Flux Y (W/m ²)
5	0,08	0,09	45	122,58	0,41	-122,58
6	0,08	0,09	45	123,33	0	-123,33
117	0	0,09	45	122,88	0	-122,88
118	0,00	0,09	45	122,00	0	-122,00
119	0,00	0,09	45	118,10	-1,62	-118,07
120	0,00	0,09	45	110,87	0	-110,87
121	0,01	0,09	45	103,56	0	-103,56
122	0,01	0,09	45	94,44	0	-94,44
123	0,01	0,09	45	83,54	0	-83,54
124	0,01	0,09	45	72,85	0	-72,85
125	0,01	0,09	45	63,69	0	-63,69
126	0,01	0,09	45	55,79	0	-55,79
127	0,01	0,09	45	49,92	0	-49,92
128	0,02	0,09	45	46,38	0	-46,38
129	0,02	0,09	45	45,45	0	-45,45
130	0,02	0,09	45	47,02	0	-47,02
131	0,02	0,09	45	50,82	0	-50,82
132	0,02	0,09	45	55,37	0	-55,37
133	0,02	0,09	45	63,00	2,54	-62,84
134	0,02	0,09	45	70,74	0	-70,74
135	0,03	0,09	45	74,88	0	-74,88
136	0,03	0,09	45	77,53	0	-77,53
137	0,03	0,09	45	77,40	0	-77,40
138	0,03	0,09	45	73,39	0	-73,39
139	0,03	0,09	45	67,72	0	-67,72
140	0,03	0,09	45	60,92	0	-60,92
141	0,03	0,09	45	54,23	0	-54,23
142	0,04	0,09	45	48,25	0	-48,25
143	0,04	0,09	45	43,92	0	-43,92
144	0,04	0,09	45	41,61	0	-41,61
145	0,04	0,09	45	41,58	0	-41,58
146	0,04	0,09	45	43,78	0	-43,78
147	0,04	0,09	45	47,80	0	-47,80
148	0,05	0,09	45	52,64	0	-52,64
149	0,05	0,09	45	60,65	2,50	-60,49
150	0,05	0,09	45	68,94	0	-68,94
151	0,05	0,09	45	73,78	0	-73,78
152	0,05	0,09	45	77,22	0	-77,22
153	0,05	0,09	45	77,94	0	-77,94
154	0,05	0,09	45	74,61	0	-74,61
155	0,06	0,09	45	69,49	0	-69,49
156	0,06	0,09	45	62,99	0	-62,99
157	0,06	0,09	45	56,46	0	-56,46
158	0,06	0,09	45	50,62	0	-50,62
159	0,06	0,09	45	46,63	0	-46,63
160	0,06	0,09	45	44,70	0	-44,70
161	0,06	0,09	45	45,85	0	-45,85
162	0,07	0,09	45	49,06	0	-49,06
163	0,07	0,09	45	53,59	1,79	-53,51
164	0,07	0,09	45	64,21	0	-64,21
165	0,07	0,09	45	74,05	0	-74,05
166	0,07	0,09	45	85,92	0	-85,92
167	0,07	0,09	45	97,16	0	-97,16
168	0,07	0,09	45	107,60	0	-107,60
169	0,08	0,09	45	115,51	0	-115,51
170	0,08	0,09	45	119,71	0	-119,71

Πίνακας 2.4

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΕΝΝΙΑΟΠΟ ΣΤΗΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΡΟΗ

nodes	56,00
width(m)	0,08
T2-T1(°C)	25,00
lamda coef(W/m°C)	0,2380

Node	X	Y	Temperature(°C)	Heat Flux Magnitude(W/m ²)	Heat Flux X (W/m ²)	Heat Flux Y (W/m ²)
8	0	0	45	138,36	138,36	0
63	0	0,00	45	137,19	137,19	0
117	0	0,09	45	139,38	139,38	0
224	0	0,09	45	138,10	138,10	0
225	0	0,09	45	132,85	132,85	0
226	0	0,09	45	124,27	124,27	0
227	0	0,08	45	109,82	109,66	3,53
228	0	0,08	45	101,68	101,68	0
229	0	0,08	45	84,90	84,45	5,07
230	0	0,08	45	74,27	74,27	0
231	0	0,08	45	56,12	55,98	2,31
232	0	0,08	45	50,83	50,83	0
233	0	0,07	45	44,07	44,01	1,34
234	0	0,07	45	41,27	41,27	0
235	0	0,07	45	41,94	41,91	-0,90
236	0	0,07	45	43,94	43,94	0
237	0	0,07	45	51,23	51,04	-2,51
238	0	0,07	45	56,19	56,19	0
239	0	0,06	45	73,43	73,37	-1,66
240	0	0,06	45	76,98	76,98	0
241	0	0,06	45	82,10	82,07	-1,18
242	0	0,06	45	84,79	84,79	0
243	0	0,06	45	83,31	83,31	0
244	0	0,06	45	77,53	77,44	2,09
245	0	0,05	45	71,53	71,53	0
246	0	0,05	45	62,50	62,50	0
247	0	0,05	45	53,93	53,93	0
248	0	0,05	45	46,09	46,09	0
249	0	0,05	45	40,57	40,57	0
250	0	0,05	45	37,76	37,76	0
251	0	0,04	45	37,73	37,73	0
252	0	0,04	45	40,38	40,38	0
253	0	0,04	45	45,49	45,49	0
254	0	0,04	45	52,74	52,74	0
255	0	0,04	45	61,36	61,36	0
256	0	0,04	45	71,24	71,24	0
257	0	0,03	45	80,51	80,51	0
258	0	0,03	45	85,78	85,78	0
259	0	0,03	45	87,61	87,61	0
260	0	0,03	45	83,90	83,90	0
261	0	0,03	45	76,94	76,94	0
262	0	0,03	45	67,62	67,62	0
263	0	0,02	45	57,88	57,88	0
264	0	0,02	45	49,57	49,57	0
265	0	0,02	45	43,89	43,89	0
266	0	0,02	45	40,97	40,97	0
267	0	0,02	45	40,82	40,82	0
268	0	0,02	45	43,28	43,28	0
269	0	0,01	45	49,56	49,56	0
270	0	0,01	45	59,89	59,89	0
271	0	0,01	45	71,93	71,93	0
272	0	0,01	45	85,72	85,72	0
273	0	0,01	45	100,01	100,01	0
274	0	0,01	45	113,97	113,97	0
275	0	0,00	45	125,39	125,39	0
276	0	0,00	45	133,34	133,34	0

Πίνακας 2.5

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΔΩΔΕΚΑΟΠΟ ΣΤΗΝ ΚΑΘΕΤΗ ΡΟΗ

nodes	61,00
width(m)	0,08
T2-T1(°C)	25,00
lamda coef(W/m°C)	0,2272

Node	X	Y	Temperature(°C)	Heat Flux Magnitude(W/m ²)	Heat Flux X (W/m ²)	Heat Flux Y (W/m ²)
1	0,00	0,08	45	137,18	0	-137,18
2	0	0,08	45	139,12	0	-139,12
8	0,12	0,08	45	139,15	0	-139,15
249	0,12	0,08	45	137,92	0	-137,92
250	0,12	0,08	45	133,36	0	-133,36
251	0,11	0,08	45	113,47	4,60	-113,21
252	0,11	0,08	45	100,06	0	-100,06
253	0,11	0,08	45	92,30	4,03	-92,02
254	0,11	0,08	45	65,51	0	-65,51
255	0,11	0,08	45	48,16	3,15	-47,87
256	0,10	0,08	45	40,63	0	-40,63
257	0,10	0,08	45	39,51	0,01	-39,51
258	0,10	0,08	45	39,91	0	-39,91
259	0,10	0,08	45	41,23	0	-41,23
260	0,10	0,08	45	47,93	0	-47,93
261	0,09	0,08	45	60,05	-2,93	-59,82
262	0,09	0,08	45	73,86	-4,02	-73,53
263	0,09	0,08	45	82,05	0	-82,05
264	0,09	0,08	45	88,13	1,99	-88,07
265	0,09	0,08	45	82,68	0	-82,68
266	0,08	0,08	45	72,10	0	-72,10
267	0,08	0,08	45	72,10	0	-72,10
268	0,08	0,08	45	56,77	4,31	-56,27
269	0,08	0,08	45	42,45	1,17	-42,41
270	0,08	0,08	45	38,46	0	-38,46
271	0,07	0,08	45	35,24	0	-35,24
272	0,07	0,08	45	37,48	-1,55	-37,33
273	0,07	0,08	45	43,24	0	-43,24
274	0,07	0,08	45	50,56	0	-50,56
275	0,07	0,08	45	62,20	-2,50	-62,05
276	0,06	0,08	45	74,77	-3,68	-74,50
277	0,06	0,08	45	82,68	0	-82,68
278	0,06	0,08	45	90,87	0	-90,87
279	0,06	0,08	45	84,45	0	-84,45
280	0,06	0,08	45	74,31	0	-74,31
281	0,05	0,08	45	60,02	2,99	-59,80
282	0,05	0,08	45	52,70	0	-52,70
283	0,05	0,08	45	42,07	2,37	-41,88
284	0,05	0,08	45	36,71	0	-36,71
285	0,05	0,08	45	35,81	-0,60	-35,79
286	0,04	0,08	45	37,55	0	-37,55
287	0,04	0,08	45	39,90	-1,10	-39,86
288	0,04	0,08	45	55,85	-4,25	-55,33
289	0,04	0,08	45	65,13	0	-65,13
290	0,04	0,08	45	76,83	0	-76,83
291	0,03	0,08	45	89,22	-2,35	-89,12
292	0,03	0,08	45	95,37	0	-95,37
293	0,03	0,08	45	92,62	6,34	-91,46
294	0,03	0,08	45	72,44	0	-72,44
295	0,03	0,08	45	61,97	3,78	-61,63
296	0,02	0,08	45	53,82	0	-53,82
297	0,02	0,08	45	42,21	0,93	-42,18
298	0,02	0,08	45	40,10	0	-40,10
299	0,02	0,08	45	41,97	-1,27	-41,91
300	0,02	0,08	45	50,53	-3,99	-50,01
301	0,01	0,08	45	67,73	0	-67,73
302	0,01	0,08	45	67,73	0	-67,73
303	0,01	0,08	45	84,04	0	-84,04
304	0,01	0,08	45	101,16	0	-101,16
305	0,01	0,08	45	117,70	0	-117,70
306	0,00	0,08	45	130,10	0	-130,10

Πίνακας 2.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΔΩΔΕΚΑΟΠΟ ΣΤΗΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΡΟΗ

nodes	61,00	Node	X	Y	Temperature(°C)	Heat Flux Magnitude(W/m ²)	Heat Flux X (W/m ²)	Heat Flux Y (W/m ²)
width(m)	0,12	2	0	0,08	45	90,50	90,50	0
		3	0	0,00	45	90,38	90,38	0
		4	0	0	45	90,38	90,38	0
T2-T1(°C)	25,00	307	0	0,08	45	89,59	89,59	0
lamda coef(W/m°C)	0,2530	308	0	0,08	45	87,08	87,08	0
		309	0	0,08	45	84,89	84,86	1,30
		310	0	0,07	45	80,66	80,54	2,49
		311	0	0,07	45	71,85	71,76	2,09
		312	0	0,07	45	66,69	66,69	0
		313	0	0,07	45	61,68	61,51	2,59
		314	0	0,07	45	45,69	45,67	0,67
		315	0	0,07	45	44,26	44,26	0
		316	0	0,07	45	41,33	41,30	0,94
		317	0	0,07	45	37,44	37,38	1,16
		318	0	0,06	45	35,10	35,10	0
		319	0	0,06	45	33,53	33,51	-0,56
		320	0	0,06	45	34,68	34,68	0
		321	0	0,06	45	36,77	36,77	0
		322	0	0,06	45	38,98	38,98	0
		323	0	0,06	45	45,40	45,17	-2,58
		324	0	0,06	45	50,05	49,96	-1,79
		325	0	0,05	45	54,53	54,53	0
		326	0	0,05	45	56,17	56,17	0
		327	0	0,05	45	56,86	56,86	0
		328	0	0,05	45	55,48	55,48	0,53
		329	0	0,05	45	54,30	54,30	0
		330	0	0,05	45	49,16	49,16	0
		331	0	0,05	45	39,86	39,86	-0,12
		332	0	0,05	45	39,54	39,53	0,42
		333	0	0,04	45	38,62	38,62	0
		334	0	0,04	45	34,92	34,86	1,17
		335	0	0,04	45	32,55	32,55	0
		336	0	0,04	45	31,88	31,87	-0,42
		337	0	0,04	45	33,68	33,66	-0,65
		338	0	0,04	45	35,05	35,05	0
		339	0	0,04	45	36,50	36,50	0
		340	0	0,03	45	39,18	39,16	-0,71
		341	0	0,03	45	43,79	43,68	-1,80
		342	0	0,03	45	47,29	47,29	0
		343	0	0,03	45	54,05	54,03	-0,76
		344	0	0,03	45	56,73	56,72	-0,67
		345	0	0,03	45	58,10	58,10	0
		346	0	0,03	45	55,70	55,68	0,93
		347	0	0,03	45	51,43	51,38	1,40
		348	0	0,02	45	48,37	48,37	0
		349	0	0,02	45	38,02	38,02	-0,27
		350	0	0,02	45	38,82	38,82	0
		351	0	0,02	45	38,33	38,33	0,28
		352	0	0,02	45	36,15	36,14	0,61
		353	0	0,02	45	34,96	34,96	0
		354	0	0,02	45	35,79	35,77	-0,72
		355	0	0,01	45	37,56	37,56	0
		356	0	0,01	45	39,11	39,08	-0,84
		357	0	0,01	45	47,53	47,53	0
		358	0	0,01	45	59,00	59,00	-0,53
		359	0	0,01	45	61,97	61,93	-1,35
		360	0	0,01	45	64,96	64,96	0
		361	0	0,01	45	73,09	73,03	-1,63
		362	0	0,01	45	77,50	77,50	0
		363	0	0,00	45	83,21	83,21	0
		364	0	0,00	45	88,36	88,35	-0,97

Πίνακας 2.7

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΟΡΘΟΤΡΥΠΟ ΣΤΗΝ ΚΑΘΕΤΗ ΡΟΗ

nodes	51,00
width(m)	0,08
T2-T1(°C)	25,00
lamda coef(W/m°C)	0,2071

Node	X	Y	Temperature(°C)	Heat Flux Magnitude(W/m ²)	Heat Flux X (W/m ²)	Heat Flux Y (W/m ²)
6	0	0,00	45	151,01	0	151,01
7	0,19	0,00	45	140,39	4,13	140,21
8	0,19	0,00	45	151,45	0	151,45
244	0,00	0,00	45	146,70	-0,97	146,69
245	0,01	0,00	45	130,64	0	130,64
246	0,01	0,00	45	98,71	0	98,71
247	0,02	0,00	45	56,27	0	56,27
248	0,02	0,00	45	45,95	-5,75	44,75
249	0,02	0,00	45	35,35	0	35,35
250	0,03	0,00	45	46,92	0	46,92
251	0,03	0,00	45	66,53	0	66,53
252	0,03	0,00	45	80,97	0	80,97
253	0,04	0,00	45	76,21	0	76,21
254	0,04	0,00	45	57,56	0	57,56
255	0,05	0,00	45	35,52	-1,38	35,44
256	0,05	0,00	45	31,83	0	31,83
257	0,05	0,00	45	31,44	0	31,44
258	0,06	0,00	45	31,44	0	31,44
259	0,06	0,00	45	57,09	10,97	54,01
260	0,06	0,00	45	74,77	0	74,77
261	0,07	0,00	45	68,29	0	68,29
262	0,07	0,00	45	52,11	0	52,11
263	0,08	0,00	45	33,36	-1,02	33,31
264	0,08	0,00	45	30,70	0	30,70
265	0,08	0,00	45	37,94	0	37,94
266	0,09	0,00	45	50,39	6,57	49,19
267	0,09	0,00	45	72,81	0	72,81
268	0,10	0,00	45	78,81	0	78,81
269	0,10	0,00	45	67,94	0	67,94
270	0,10	0,00	45	47,64	0	47,64
271	0,11	0,00	45	40,16	-4,56	39,34
272	0,11	0,00	45	33,29	0	33,29
273	0,11	0,00	45	45,16	0	45,16
274	0,12	0,00	45	65,88	8,14	64,48
275	0,12	0,00	45	85,85	0	85,85
276	0,13	0,00	45	78,21	0	78,21
277	0,13	0,00	45	65,33	0	65,33
278	0,13	0,00	45	48,36	0	48,36
279	0,14	0,00	45	32,75	-0,55	32,74
280	0,14	0,00	45	31,56	0	31,56
281	0,14	0,00	45	46,72	6,16	45,39
282	0,15	0,00	45	59,39	0	59,39
283	0,15	0,00	45	75,25	0	75,25
284	0,16	0,00	45	79,99	0	79,99
285	0,16	0,00	45	65,34	0	65,34
286	0,16	0,00	45	45,40	0	45,40
287	0,17	0,00	45	39,47	-3,16	39,07
288	0,17	0,00	45	38,76	0	38,76
289	0,17	0,00	45	67,00	0	67,00
290	0,18	0,00	45	67,00	0	67,00
291	0,18	0,00	45	102,49	0	102,49

Πίνακας 2.8

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΟΡΘΟΤΡΥΠΟ ΣΤΗΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΡΟΗ

nodes		width(m)		T2-T1(⁰ C)		lamda coef(W/m ⁰ C)	
31,00		0,19		25,00		0,24995	

Node	X	Y	Temperature(⁰ C)	Heat Flux Magnitude (W/m ²)	Heat Flux X (W/m ²)	Heat Flux Y (W/m ²)
4	0	0,08	45	55,75039	55,7504	0
5	0	0,00133	45	54,85027	54,8503	0
6	0	0,00	45	55,72539	55,7254	0
320	0	0,07733	45	54,87583	54,8758	0
321	0	0,07467	45	49,8302	49,7269	1,876805
322	0	0,072	45	45,83863	45,8386	0
323	0	0,06933	45	34,18694	34,0944	1,48499
324	0	0,06667	45	30,36397	30,364	0
325	0	0,064	45	27,36727	27,3673	0
326	0	0,06133	45	26,72993	26,7299	0
327	0	0,05867	45	28,43584	28,4358	0
328	0	0,056	45	29,82732	29,805	-0,67304
329	0	0,05333	45	30,67641	30,676	-0,08734
330	0	0,05067	45	25,92315	25,9232	0
331	0	0,048	45	20,69194	20,3477	2,261633
332	0	0,04533	45	16,69932	16,6993	0
333	0	0,04267	45	12,97634	12,9711	0,215241
334	0	0,04	45	12,48011	12,4801	0
335	0	0,03733	45	12,51014	12,5101	-0,01755
336	0	0,03467	45	18,63561	17,8866	-2,90176
337	0	0,032	45	23,39894	23,3989	0
338	0	0,02933	45	26,86112	26,8611	0
339	0	0,02667	45	27,97732	27,9538	-0,6593
340	0	0,024	45	28,74279	28,7319	0,461081
341	0	0,02133	45	27,49858	27,4986	0
342	0	0,01867	45	26,52023	26,5202	0
343	0	0,016	45	27,98404	27,94	-0,89311
344	0	0,01333	45	30,2349	30,2349	0
345	0	0,01067	45	38,89289	38,8929	0
346	0	0,008	45	46,69699	46,697	0
347	0	0,00533	45	49,60167	49,5658	-1,09745
348	0	0,00267	45	53,64327	53,6433	0

Πίνακας 2.9

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΟΡΘΟΜΠΛΟΚ -20 ΣΤΗΝ ΚΑΘΕΤΗ ΡΟΗ

nodes	34,00
width(m)	0,25
T2-T1(°C)	25,00
lamda coef(W/m ⁰ C)	0,2206

Node	X	Y	Temperature(°C)	Heat Flux Magnitude(W/m ²)	Heat Flux X (W/m ²)	Heat Flux Y (W/m ²)
2	0,20	0,25	20	37,66	0,00	37,66
3	0,18	0,25	20	13,89	0,00	13,89
4	0,17	0,25	20	27,07	-17,47	14,91
5	0,17	0,24	20	40,20	-22,23	27,03
6	0,15	0,24	20	11,85	0,00	11,85
7	0,14	0,24	20	4,55	-2,45	2,90
8	0,13	0,23	20	32,96	-13,97	26,34
9	0,07	0,23	20	29,31	5,31	28,08
10	0,07	0,23	20	28,35	11,09	23,83
11	0,06	0,24	20	7,92	3,05	5,86
12	0,03	0,24	20	23,05	0,00	23,05
13	0,03	0,24	20	26,66	5,74	24,32
14	0,03	0,25	20	0,00	0,00	0,00
15	0,01	0,25	20	28,04	0,00	28,04
16	0,00	0,25	20	37,44	0,84	37,42
685	0,02	0,25	20	7,99	0,00	7,99
686	0,01	0,25	20	11,22	0,00	11,22
691	0,19	0,25	20	35,58	0,00	35,58
692	0,19	0,25	20	22,52	-6,05	20,18
779	0,05	0,24	20	9,26	0,00	9,26
780	0,05	0,24	20	18,62	0,00	18,62
781	0,04	0,24	20	19,69	0,00	19,69
782	0,04	0,24	20	16,19	0,00	16,19
791	0,17	0,24	20	29,12	0,00	29,12
792	0,16	0,24	20	11,42	0,00	11,42
793	0,16	0,24	20	20,63	-0,66	20,60
794	0,15	0,24	20	18,76	0,00	18,76
803	0,13	0,23	20	34,62	0,12	34,62
804	0,12	0,23	20	14,83	0,00	14,83
805	0,11	0,23	20	31,00	0,00	31,00
806	0,11	0,23	20	31,29	0,00	31,29
807	0,10	0,23	20	16,13	0,00	16,13
808	0,09	0,23	20	16,13	0,00	16,13
809	0,09	0,23	20	29,02	0,00	29,02
810	0,08	0,23	20	29,29	0,00	29,29

Πίνακας 2.10

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΟΡΘΟΜΠΛΟΚ-20 ΣΤΗΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΡΟΗ

nodes	41,00
width(m)	0,20
T2-T1(°C)	25,00
lamda coef(W/m°C)	0,1503

Node	X	Y	Temperature(°C)	Heat Flux Magnitude (W/m ²)	Heat Flux X (W/m ²)
1	0,2	0,24375	20	35,92	35,9243
2	0,2	0,25	20	42,22	42,2161
32	0,2	0,00	20	48,25	48,2473
443	0,2	0,00625	20	41,39	41,3926
444	0,2	0,0125	20	25,11	25,1087
445	0,2	0,01875	20	13,13	13,1317
446	0,2	0,025	20	8,508	8,50772
447	0,2	0,03125	20	12,1	12,1011
448	0,2	0,0375	20	19,81	18,9164
449	0,2	0,04375	20	25,87	25,8655
450	0,2	0,05	20	21,07	20,9411
451	0,2	0,05625	20	17,42	17,4159
452	0,2	0,0625	20	8,661	8,66109
453	0,2	0,06875	20	10,05	10,0269
454	0,2	0,075	20	28,05	28,052
455	0,2	0,08125	20	29,09	29,0898
456	0,2	0,0875	20	19,68	19,6816
457	0,2	0,09375	20	10,25	10,2501
458	0,2	0,1	20	10,25	10,2501
459	0,2	0,10625	20	6,895	6,8949
460	0,2	0,1125	20	9,465	9,46479
461	0,2	0,11875	20	25,93	25,9315
462	0,2	0,125	20	26,01	26,0095
463	0,2	0,13125	20	9,278	9,27843
464	0,2	0,1375	20	9,278	9,27843
465	0,2	0,14375	20	6,823	6,82297
466	0,2	0,15	20	10,31	10,3055
467	0,2	0,15625	20	29,65	29,6492
468	0,2	0,1625	20	29,56	29,5643
469	0,2	0,16875	20	10,69	10,694
470	0,2	0,175	20	10,69	10,694
471	0,2	0,18125	20	7,585	7,58505
472	0,2	0,1875	20	11,32	11,3231
473	0,2	0,19375	20	32,26	32,2558
474	0,2	0,2	20	32,65	32,6512
475	0,2	0,20625	20	14,9	14,8963
476	0,2	0,2125	20	8,663	8,66285
477	0,2	0,21875	20	6,777	6,77716
478	0,2	0,225	20	7,035	7,03534
479	0,2	0,23125	20	15,23	14,1764
480	0,2	0,2375	20	22,28	22,2801

Πίνακας 2.11
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΤΟΥΒΛΕΤΑ-20 ΣΤΗΝ ΚΑΘΕΤΗ ΡΟΗ

nodes	56,00
width(m)	0,15
T2-T1(°C)	25,00
lamda coef(W/m°C)	0,2030

Node	X	Y	Temperature(°C)	Heat Flux Magnitude(W/m ²)	Heat Flux X (W/m ²)	Heat Flux Y (W/m ²)
2	0,20	0,15	45	72,27	0	-72,27
3	0,00	0,15	45	71,25	0	-71,25
4	0	0,15	45	71,25	0	-71,25
197	0,20	0,15	45	69,98	0	-69,98
198	0,19	0,15	45	62,56	0	-62,56
199	0,19	0,15	45	51,53	0	-51,53
200	0,19	0,15	45	35,80	3,94	-35,20
201	0,18	0,15	45	26,62	0	-26,62
202	0,18	0,15	45	21,90	0	-21,90
203	0,17	0,15	45	22,34	-0,23	-22,33
204	0,17	0,15	45	30,93	0	-30,93
205	0,17	0,15	45	38,19	0	-38,19
206	0,16	0,15	45	42,76	0	-42,76
207	0,16	0,15	45	41,94	0	-41,94
208	0,16	0,15	45	32,46	3,57	-31,93
209	0,15	0,15	45	25,02	0	-25,02
210	0,15	0,15	45	19,88	0,25	-19,88
211	0,15	0,15	45	19,35	0	-19,35
212	0,14	0,15	45	24,53	0	-24,53
213	0,14	0,15	45	31,01	0	-31,01
214	0,13	0,15	45	38,63	0	-38,63
215	0,13	0,15	45	39,94	2,57	-39,71
216	0,13	0,15	45	34,03	0	-34,03
217	0,12	0,15	45	27,84	0	-27,84
218	0,12	0,15	45	18,77	0	-18,77
219	0,12	0,15	45	17,82	0,66	-17,78
220	0,11	0,15	45	16,54	0	-16,54
221	0,11	0,15	45	16,54	0	-16,54
222	0,11	0,15	45	25,24	-3,94	-24,31
223	0,10	0,15	45	30,79	0	-30,79
224	0,10	0,15	45	33,56	0	-33,56
225	0,09	0,15	45	31,32	0	-31,32
226	0,09	0,15	45	25,72	3,21	-25,04
227	0,09	0,15	45	18,93	0	-18,93
228	0,08	0,15	45	18,82	0	-18,82
229	0,08	0,15	45	25,11	0	-25,11
230	0,08	0,15	45	34,10	-3,91	-33,47
231	0,07	0,15	45	42,95	0	-42,95
232	0,07	0,15	45	40,42	0	-40,42
233	0,07	0,15	45	38,00	0	-38,00
234	0,06	0,15	45	29,60	3,09	-29,16
235	0,06	0,15	45	23,37	0	-23,37
236	0,05	0,15	45	19,57	-0,12	-19,57
237	0,05	0,15	45	19,83	0	-19,83
238	0,05	0,15	45	26,50	0	-26,50
239	0,04	0,15	45	34,56	0	-34,56
240	0,04	0,15	45	42,23	0	-42,23
241	0,04	0,15	45	44,38	0	-44,38
242	0,03	0,15	45	39,05	0	-39,05
243	0,03	0,15	45	28,65	0	-28,65
244	0,03	0,15	45	24,72	0	-24,72
245	0,02	0,15	45	22,74	0	-22,74
246	0,02	0,15	45	23,20	0	-23,20
247	0,01	0,15	45	23,20	0	-23,20
248	0,01	0,15	45	42,40	-8,80	-39,82
249	0,01	0,15	45	64,14	-4,64	-63,61

Πίνακας 2.12

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΤΟΥΒΛΕΤΑ-20 ΣΤΗΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΡΟΗ

nodes	36,00
width(m)	0,20
T2-T1(°C)	25,00
lamda coef(W/m°C)	0,1848

Node	X	Y	Temperature(°C)	Heat Flux Magnitude(W/m ²)	Heat Flux X(W/m ²)	Heat Flux Y(W/m ²)
4	0	0,15	45	53,37381	53,3738	0
5	0	0,004285714	45	50,62452	50,6245	0
6	0	0	45	53,71074	53,7107	0
250	0	0,1457143	45	53,37381	53,3738	0
251	0	0,1414286	45	46,91951	46,6451	2,830144
252	0	0,1371429	45	31,98557	31,9856	0
253	0	0,1328571	45	17,5418	17,2139	2,064321
254	0	0,1285714	45	12,54986	12,5499	0
255	0	0,1242857	45	9,449563	9,44956	0
256	0	0,12	45	8,303764	8,30376	0
257	0	0,1157143	45	9,184453	9,18445	0
258	0	0,1114286	45	15,13902	14,8747	-1,51328
259	0	0,1071429	45	19,46315	19,4632	0
260	0	0,1028571	45	28,15915	28,0148	-1,62978
261	0	0,09857143	45	31,75415	31,7542	0
262	0	0,09428571	45	29,18192	29,1819	0
263	0	0,09	45	22,52208	22,5221	0
264	0	0,08571429	45	13,50464	13,5046	0
265	0	0,08142857	45	9,61815	9,61815	0
266	0	0,07714286	45	7,999567	7,99949	0,019824
267	0	0,07285714	45	7,955563	7,95556	0
268	0	0,06857143	45	9,365494	9,36549	0
269	0	0,06428572	45	16,2755	15,9529	-1,73853
270	0	0,06	45	21,23223	21,2322	0
271	0	0,05571429	45	27,61405	27,6141	0
272	0	0,05142857	45	30,1172	30,0255	1,380172
273	0	0,04714286	45	26,52551	26,5255	0
274	0	0,04285714	45	20,65206	20,6521	0
275	0	0,03857143	45	12,67982	12,6798	0
276	0	0,03428571	45	9,156605	9,15661	0
277	0	0,03	45	8,260581	8,26058	0
278	0	0,02571429	45	9,457232	9,45723	0
279	0	0,02142857	45	13,25821	13,2582	0
280	0	0,01714286	45	19,41136	19,4114	0
281	0	0,01285714	45	33,47422	33,0821	-2,81303
282	0	0,008571428	45	41,68845	41,6885	0

Πίνακας 2.13

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΤΟΥΒΛΕΤΑ-25 ΣΤΗΝ ΚΑΘΕΤΗ ΡΟΗ

nodes	55,00	Node	X	Y	Temperature(°C)	Heat Flux Magnitude(W/m ²)	Heat FluxX (W/m ²)	Heat Flux Y(W/m ²)
width(m)	0,15	2	0,25	0,15	45	74,3969	0	-74,3969
T2-T1(°C)	25,00	3	0,0045	0,15	45	70,77731	0	-70,77731
lamda coef(W/m°C)	0,21460	4	0	0,15	45	74,24876	0	-74,24876
		239	0,2455	0,15	45	72,64005	0	-72,64005
		240	0,2409	0,15	45	67,89307	0	-67,89307
		241	0,2364	0,15	45	48,97172	7,299954	-47,40355
		242	0,2318	0,15	45	31,42834	0	-31,42834
		243	0,2273	0,15	45	23,97163	0	-23,97163
		244	0,2227	0,15	45	21,78797	0	-21,78797
		245	0,2182	0,15	45	32,09078	-2,482594	-31,80097
		246	0,2136	0,15	45	41,30947	-3,536692	-40,85901
		247	0,2091	0,15	45	44,99069	0	-44,99069
		248	0,2045	0,15	45	36,96145	3,908105	-36,43373
		249	0,2	0,15	45	25,23423	0	-25,23423
		250	0,1955	0,15	45	25,23423	0	-25,23423
		251	0,1909	0,15	45	19,00488	0	-19,00488
		252	0,1864	0,15	45	26,27483	0	-26,27483
		253	0,1818	0,15	45	36,64541	0	-36,64541
		254	0,1773	0,15	45	36,64541	0	-36,64541
		255	0,1727	0,15	45	45,32771	1,998784	-45,19448
		256	0,1682	0,15	45	35,79271	4,154208	-35,03773
		257	0,1636	0,15	45	23,32418	0	-23,32418
		258	0,1591	0,15	45	19,18613	0	-19,18613
		259	0,1545	0,15	45	24,21913	0	-24,21913
		260	0,15	0,15	45	35,15162	0	-35,15162
		261	0,1455	0,15	45	45,28023	0	-45,28023
		262	0,1409	0,15	45	43,04644	1,464347	-42,9726
		263	0,1364	0,15	45	33,21711	0	-33,21711
		264	0,1318	0,15	45	21,89187	0	-21,89187
		265	0,1273	0,15	45	20,64753	0,8921884	-20,59033
		266	0,1227	0,15	45	19,16101	0	-19,16101
		267	0,1182	0,15	45	19,16101	0	-19,16101
		268	0,1136	0,15	45	32,75685	-6,004032	-31,16939
		269	0,1091	0,15	45	42,88912	1,292331	-42,83317
		270	0,1045	0,15	45	39,71688	0	-39,71688
		271	0,1	0,15	45	32,80867	0	-32,80867
		272	0,0955	0,15	45	20,63513	0,6819298	-20,60267
		273	0,0909	0,15	45	18,83243	0	-18,83243
		274	0,0864	0,15	45	26,79385	0	-26,79385
		275	0,0818	0,15	45	26,79385	0	-26,79385
		276	0,0773	0,15	45	39,65395	0	-39,65395
		277	0,0727	0,15	45	42,39367	2,332227	-42,20978
		278	0,0682	0,15	45	36,624	0	-36,624
		279	0,0636	0,15	45	29,1256	0	-29,1256
		280	0,0591	0,15	45	20,26036	0,08453078	-20,25983
		281	0,0545	0,15	45	20,05793	0	-20,05793
		282	0,05	0,15	45	29,96169	0	-29,96169
		283	0,0455	0,15	45	40,5317	0	-40,5317
		284	0,0409	0,15	45	44,14193	-1,771677	-44,03831
		285	0,0364	0,15	45	39,9852	0	-39,9852
		286	0,0318	0,15	45	30,14371	0	-30,14371
		287	0,0273	0,15	45	25,35294	2,995619	-24,7934
		288	0,0227	0,15	45	20,83351	0	-20,83351
		289	0,0182	0,15	45	30,86619	0	-30,86619
		290	0,0136	0,15	45	52,46719	0	-52,46719
		291	0,0091	0,15	45	63,38551	0	-63,38551

Πίνακας 2.14

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΤΟΥΒΛΕΤΑ-25 ΣΤΗΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΡΟΗ

nodes	36,00
width(m)	0,25
T2-T1(°C)	25,00
lamda coef(W/m°C)	0,2025

Node	X	Y	Temperature(°C)	Heat Flux Magnitude(W/m ²)	Heat Flux X(W/m ²)	HeatFluxY (W/m ²)
4	0	0,15	45	41,03305	41,03305	0
5	0	0,00429	45	40,18438	40,18438	0
6	0	0	45	40,18438	40,18438	0
345	0	0,14571	45	39,75192	39,75192	0
346	0	0,14143	45	34,33213	34,33213	0
347	0	0,13714	45	25,9693	25,9693	0
348	0	0,13286	45	18,76606	18,76606	0
349	0	0,12857	45	12,58133	12,57029	0,3071125
350	0	0,12429	45	11,90218	11,90218	0
351	0	0,12	45	15,11058	15,11058	0
352	0	0,11571	45	18,78164	18,78164	0
353	0	0,11143	45	22,58074	22,55791	0,5965083
354	0	0,10714	45	21,03042	21,03042	0
355	0	0,10286	45	17,65777	17,65777	0
356	0	0,09857	45	14,65788	14,17369	2,158993
357	0	0,09429	45	9,601327	9,601327	0
358	0	0,09	45	9,541886	9,541645	0,0391397
359	0	0,08571	45	12,12386	12,12386	0
360	0	0,08143	45	16,00303	15,8686	-1,160036
361	0	0,07714	45	18,44959	18,44959	0
362	0	0,07286	45	17,65103	17,65103	0
363	0	0,06857	45	14,89501	14,89501	0
364	0	0,06429	45	12,64907	12,33945	1,60718
365	0	0,06	45	9,323093	9,323093	0
366	0	0,05571	45	9,895989	9,876947	-0,356956
367	0	0,05143	45	14,96281	14,96281	0
368	0	0,04714	45	19,31498	19,31498	0
369	0	0,04286	45	23,27843	23,27843	0
370	0	0,03857	45	21,93954	21,88086	0,9295809
371	0	0,03429	45	18,06434	18,06434	0
372	0	0,03	45	15,73374	15,38407	1,921504
373	0	0,02571	45	12,14582	12,14582	0
374	0	0,02143	45	13,21792	13,16787	-0,671069
375	0	0,01714	45	20,44244	20,44244	0
376	0	0,01286	45	27,64578	27,09935	-3,302372
377	0	0,00857	45	37,71982	37,67943	-0,992636