

ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ.

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Επίδραση της θέσης της μόνωσης στη θερμική συμπεριφορά
τοιχών που υπόκεινται σε ημιτονοειδή εξωτερική θερμοκρασία**

**Effect of insulation location in the thermal behavior of walls
subjected to a sinusoidal environmental temperature**

Βασιλείου Πέτρος του Αθανασίου

(Α.Μ 43199)

Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Νίκας Κωνσταντίνος – Στέφανος

Αιγάλεω, 2018

Ο υπογράφων υπεύθυνα δηλώνει ότι η παρούσα εργασία με τίτλο «Επίδραση της θέσης της μόνωσης στη θερμική συμπεριφορά τοίχων που υπόκεινται σε ημιτονοειδή εξωτερική θερμοκρασία» είναι προϊόν δικής μου δουλειάς και ότι όλες οι πηγές που έχουν χρησιμοποιηθεί για τη σύνταξη της αναφέρονται πλήρως.

Βασιλείου Πέτρος _____

Copyright © Πέτρος Βασιλείου, 2018.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του ΑΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ.

Ευχαριστίες

Ως συγγραφέας αυτής της εργασίας και ως σπουδαστής, κρίνεται απαραίτητο να εκφραστούν οι ειλικρινείς μας ευχαριστίες στους ανθρώπους που μας βοήθησαν στην εκπόνηση αυτής της εργασίας.

Αρχικά, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα καθηγητή αυτής της εργασίας κ. Κωνσταντίνο - Στέφανο Νίκα για την εξαιρετική συνεργασία που είχα μαζί του αυτούς τους μήνες και την άψογη καθοδήγηση. Όπως και τον κ. Γεώργιο Στρωτό που αρχικά μου εμπιστεύτηκε το θέμα της εργασίας και συνέβαλε καθοριστικά στην διεκπεραίωση του.

Ειλικρινείς ευχαριστίες και προς τους καθηγητές του τμήματος Μηχανολογίας για τις γνώσεις που μου παρείχαν όλα τα χρόνια, κατά τη διάρκεια των σπουδών.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, για τη στήριξη που μου παρείχαν κατά τα χρόνια της φοίτησής μου στο τμήμα Μηχανολογίας του ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ ΤΤ.

Χωρίς τη συμβολή όλων αυτών των ανθρώπων η φοίτησή μου και η αποπεράτωση της εργασίας αυτής θα ήταν εξαιρετικά δυσκολότερη.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο	7
1.1 Θερμοδυναμική και Μετάδοση Θερμότητας.....	7
1.2 Πρακτικές Εφαρμογές της Μετάδοσης Θερμότητας.....	9
1.3 Ο Πρώτος Θερμοδυναμικός Νόμος.....	10
1.4 Θερμότητα.....	12
1.5 Μηχανισμοί Μετάδοσης Θερμότητας.....	13
1.5.1 Θερμική Αγωγιμότητα.....	13
1.5.2 Θερμική Συναγωγιμότητα.....	15
1.5.3 Θερμική Ακτινοβολία.....	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο	19
2.1 Θερμομόνωση στην Ελλάδα.....	19
2.2 Βασικές έννοιες Μόνωσης και Θερμομόνωσης.....	20
2.3 Ποιότητα της Θερμομόνωσης.....	21
2.4 Βασικοί Ορισμοί της Θερμομόνωσης.....	22
2.5 Θερμογέφυρες.....	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο	27
3.1 Η Εννοιολόγηση του Heat2D.exe.....	27
3.2 Η Περιγραφή του Υπολογιστικού Μοντέλου Heat2D.exe.....	27
3.3 Η Εγκυρότητα του Υπολογιστικού Μοντέλου Heat2D.exe.....	28
3.4 Η Εξέλιξη των Υπολογιστικών Μοντέλων τα Τελευταία Χρόνια.....	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο.....	32
4.1 Βασικοί Ορισμοί Decrement Factor και Time Lag.....	32
4.2 Διαμόρφωση της Θέσης της Μόνωσης.....	34

4.3 Συγκριτικά Διαγράμματα για Πάχος Μόνωσης 3cm.....	35
4.4 Συγκριτικά Διαγράμματα για Πάχος Μόνωσης 5cm.....	36
4.5 Συγκριτικά Διαγράμματα για Πάχος Μόνωσης 7cm.....	37
4.6 Συγκριτικά Διαγράμματα για Πάχος Μόνωσης 3,5,7 cm.....	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ^ο	43
Συμπεράσματα.....	43
Βιβλιογραφία.....	44

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η εξέταση προβλημάτων που αφορούν την μετάδοση θερμότητας. Η αντιμετώπιση αυτών πραγματοποιήθηκε σε υπολογιστικό επίπεδο με τη χρήση του προγράμματος Heat2D.exe του οποίου ο δημιουργός είναι ο κ. Γεώργιος Στρωτός. Τα πεδία με τα οποία ασχοληθήκαμε ήταν τα εξής: Η επίδραση της θέσης της μόνωσης στην θερμική συμπεριφορά τοίχων που υπόκεινται σε ημιτονοειδή εξωτερική θερμοκρασία και οι παράμετροι της χρονικής υστέρησης και του συντελεστή μείωσης που ορίζονται για την αξιολόγηση της θερμικής συμπεριφοράς του τοίχου.

ABSTRACT

The purpose of this thesis is to examine potential problems arising in regards to Heat Transfer. To successfully address these problems the program Heat2D.exe developed by Mr. George Strotos was used. This thesis is developed around two basic fields: first, the effect of insulation location in the thermal behavior of walls subjected to a sinusoidal environmental temperature and second the two parameters the heat flux time lag and the heat flux decrement factor, which are defined to evaluate the thermal performance of the wall.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

1.1 ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

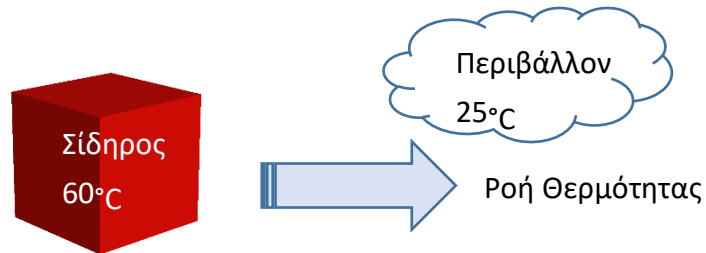
Με τη γενική έννοια της Θερμότητας (Heat) ορίζουμε τη μορφή της ενέργειας που μπορεί να μεταφέρεται από ένα σύστημα σε ένα άλλο, ως απότοκο της θερμοκρασιακής τους διαφοράς. Η έννοια της Θερμότητας σχετίζεται με τις Θερμικές Επιστήμες (Thermal Sciences). Με τον όρο αυτό αποκαλούνται τόσο η Θερμοδυναμική όσο και η Μετάδοση της Θερμότητας, η τελευταία μάλιστα σχετίζεται με τον προσδιορισμό του ρυθμού μεταφοράς της ενέργειας (Νίκας, 2010:2).

Ο κλάδος της επιστήμης της Θερμοδυναμικής, μελετά τις καταστάσεις των συστημάτων από άποψη μακροσκοπική και δεν εμβαθύνει σε υποθέσεις δομικής μορφής του φαινομένου, αλλά παρέχει την ανάλυσή του, περιγράφοντας την κατάσταση του συστήματος εν συναρτήσει με γενικές χαρακτηριστικές παραμέτρους που αποτελούν θερμοδυναμικές ιδιότητες. Χαρακτηριστικές ιδιότητες είναι η πίεση, (P), ο όγκος, (V), η θερμοκρασία, (T), αλλά και άλλες. Οι μεταβλητές αυτές είναι μοναδιαίες για το σύστημα και στην περίπτωση που είναι κατανεμημένες με ομοιόμορφο τρόπο, τότε το σύστημα θεωρείται ότι βρίσκεται σε κατάσταση ισορροπίας (Νίκας, 2010:2).

Το ποσό της θερμότητας που μεταφέρεται από ένα σύστημα, στη διάρκεια μιας διεργασίας, μπορούμε να το υπολογίσουμε αν χρησιμοποιήσουμε μία ανάλυση, τη θερμοδυναμική, που αποτελεί τη διαφορά της μεταβολής της ενέργειας του συστήματος και του έργου που παράγεται και το οποίο πληροί πάντοτε την αρχή διατήρησης της ενέργειας. Ωστόσο, δε σχετίζεται με τους μηχανισμούς και τις μεθόδους αυτής της μεταφοράς που είναι αναγκαίοι προκειμένου να υπολογίσουμε το χρόνο διάρκειας της μεταφοράς, παράμετροι που συνιστούν βαρυσήμαντο ρόλο (Νίκας, 2010:2-3).

Πιο συγκεκριμένα, οι Μηχανικοί, που έχουν συνάφεια με εφαρμογές τεχνικού περιεχομένου, εστιάζουν ιδίως, για τη μεταφορά της θερμότητας, στη μονάδα του χρόνου (ρυθμός), παρά στην ποσότητά της. Στο Σχήμα 1.1, παρατηρούμε ένα σώμα υψηλής θερμοκρασίας τοποθετημένο σε περιβάλλον χαμηλής θερμοκρασίας. Ως επιστήμη, η Θερμοδυναμική παρέχει την πληροφορία ότι ύστερα από κάποιο χρονικό διάστημα, η θερμοκρασία του σώματος θα γίνει ίση με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος και τελικά θα έχουμε πετύχει θερμική ισορροπία. Στον αντίποδα, η

Μετάδοση της Θερμότητας δύναται να συγκεκριμενοποιήσει τη θερμοκρασία σε κάθε σημείο του σώματος καθώς και το ρυθμό μεταφοράς (ροή) θερμότητας από ένα μέρος της επιφάνειάς του ανά κάθε χρονική στιγμή, μέχρι την κατάσταση ισορροπίας (Νίκας, 2010:3).



Σχήμα 1.1: Σύστημα μεταφοράς θερμότητας

Οπότε, η θερμοδυναμική για τους Μηχανικούς έχει άμεση συνάφεια με τις καταστάσεις θερμικής ισορροπίας των συστημάτων και μεταβολές μεταξύ τους. Ως εκ τούτου, μπορούμε να πούμε ότι η θερμοδυναμική μελετά τη θεωρητική θερμοδυναμική ανάλυση των διεργασιών και όχι τόσο τη μικροσκοπική δομική μορφή της διεργασίας του φαινομένου. Από την άλλη πλευρά, η μετάδοση θερμότητας μπορούμε να θεωρήσουμε ότι αποτελεί φαινόμενο ή διεργασία μη ισορροπίας αφού αφορά σε συστήματα που δε βρίσκονται σε θερμική ισορροπία. Επιπροσθέτως, η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ συστημάτων στην οποία οφείλεται η ύπαρξη των φαινομένων της Μετάδοσης Θερμότητας συνεπάγεται μία κατάσταση μη θερμικής ισορροπίας. Η επιστήμη της Θερμοδυναμικής δεν μπορεί να προσδιορίσει τον ρυθμό με τον οποίο μεταφέρεται θερμότητα όταν έχουμε κατάσταση μη θερμικής ισορροπίας, γεγονός που συμβαίνει από την επιστήμη της Μετάδοσης Θερμότητας (Νίκας, 2010:3-4).

Σε κάθε περίπτωση όλες οι διεργασίες που αφορούν στη Μεταφορά Θερμότητας σημαίνουν μεταφορά ενέργειας και συνακόλουθα μετατροπή ενέργειας, οπότε υπακούουν στον Πρώτο και Δεύτερο Νόμο της Θερμοδυναμικής, οι οποίοι και συνιστούν συμπληρωματικές Αρχές για την Μετάδοση της Θερμότητας ως επιστήμη. Αναλυτικότερα, ο Πρώτος Νόμος της Θερμοδυναμικής σημαίνει ότι ο ρυθμός με τον οποίο μεταφέρεται θερμική ενέργεια σε ένα σύστημα ισούται με το ρυθμό με τον οποίο αυξάνεται η ενέργειά του. ο Δεύτερος δε Νόμος της Θερμοδυναμικής (που λειτουργεί με συμπληρωματικό τρόπο έναντι του πρώτου) καθορίζει τη διεύθυνση Μεταφοράς Θερμότητας από ένα σώμα η ένα σύστημα υψηλής θερμοκρασίας, σε σώμα ή σύστημα χαμηλής θερμοκρασίας και

αντίστροφα, προσδιορίζοντας με τον τρόπο αυτό τις έννοιες της θερμικής και ψυκτικής μηχανής αντιστοίχως (Νίκας, 2010:4).

Σε κάθε περίπτωση όλες οι διεργασίες που αφορούν στη Μεταφορά Θερμότητας σημαίνουν μεταφορά ενέργειας και συνακόλουθα μετατροπή ενέργειας, οπότε υπακούουν στον Πρώτο και Δεύτερο Νόμο της Θερμοδυναμικής, οι οποίοι και συνιστούν συμπληρωματικές Αρχές για την Μετάδοση της Θερμότητας ως επιστήμη. Αναλυτικότερα, ο Πρώτος Νόμος της Θερμοδυναμικής σημαίνει ότι ο ρυθμός με τον οποίο μεταφέρεται θερμική ενέργεια σε ένα σύστημα ισούται με το ρυθμό με τον οποίο αυξάνεται η ενέργειά του. ο Δεύτερος δε Νόμος της Θερμοδυναμικής (που λειτουργεί με συμπληρωματικό τρόπο έναντι του πρώτου) καθορίζει τη διεύθυνση Μεταφοράς Θερμότητας από ένα σώμα ή ένα σύστημα υψηλής θερμοκρασίας, σε σώμα ή σύστημα χαμηλής θερμοκρασίας και αντίστροφα, προσδιορίζοντας με τον τρόπο αυτό τις έννοιες της θερμικής και ψυκτικής μηχανής αντιστοίχως (Νίκας, 2010:4).

1.2 ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Η Μετάδοση της Θερμότητας παρατηρείται ιδιαίτερα σε πρακτικές εφαρμογές με τις οποίες οι Μηχανικοί σχετίζονται. Η ανάλυση του φαινομένου της ροής της Θερμότητας καθίσταται απαραίτητη για τον υπολογισμό του κόστους και του μεγέθους μιας συσκευής ή διαφόρων εξαρτημάτων, διαμέσου των οποίων, ένα συγκεκριμένο ποσό ροής θερμότητας συναλλάσσεται σε καθορισμένο χρόνο (Νίκας, 2010:4-5).



Ψυγείο αυτοκινήτου



Ηλεκτρονική Πλακέτα



Σταθμός Παραγωγής Ενέργειας

Σχήμα 1.2: Πρακτικές Εφαρμογές Θερμότητας

Η λεπτομερειακή ανάλυση του φαινομένου της ροής της θερμότητας εν συναρτήσει του χρόνου, προϋποθέτει τον προσδιορισμό του ποσού μεταφοράς θερμότητας ή του ποσού ροής ψύξης μετάλλων με ακριβή τρόπο, όπως για παράδειγμα απαιτούν

η διαστασιολόγηση των λεβήτων, των θερμαντήρων και προθερμαντήρων, των ψυκτικών θαλάμων και των ψυγείων. Επίσης, διαστασιολόγηση των εναλλακτών θερμότητας καθώς και η λειτουργία με τρόπο επιτυχή πτερυγώσεων στροβίλου και τοιχωμάτων θαλάμων καύσης (Μ.Ε.Κ.) (Νίκας, 2010:5).

Ορισμένα παραδείγματα αποτελούν η μελέτη των ηλεκτρικών μηχανών, των μετασχηματιστών, των τριβών και εδράνων στήριξης, εργαλειομηχανών, ηλεκτρικών αντιστάσεων, πυκνωτών και ηλεκτρικών κυκλωμάτων κ.ά.. Τα παραπάνω συνιστούν πρακτικά προβλήματα που προϋποθέτουν να έχουμε καταλάβει το φυσικό φαινόμενο της ροής θερμότητας, την εισαγωγή προϋποθέσεων και έκφραση του προβλήματος, με τη μορφή εξισώσεων, η επίλυση των οποίων απαιτεί μεθοδολογία και αρκετές φορές τεχνικές υπολογιστικές ή ακόμα και προσεγγιστικές (Νίκας, 2010:5).

Επίσης, δε δίνονται απλές παραδειγματικές μέθοδοι με τις οποίες επιλύονται τα προβλήματα, αλλά οι προϋποθέσεις που εισάγονται χρειάζεται στο να κατανοήσουμε τόσο τους νόμους όσο και τους μηχανισμούς του φαινομένου της μεταφοράς θερμότητας, αλλά και τους νόμους των επιστημών, όπως είναι η Μηχανική των Ρευστών, η Φυσική και τα Μαθηματικά (Νίκας, 2010:5-6).

1.3 Ο ΠΡΩΤΟΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΟΣ ΝΟΜΟΣ

Ο Πρώτος Νόμος της Θερμοδυναμικής που τον γνωρίζουμε και ως η Αρχή Διατήρησης της Ενέργειας, αναφέρει ότι η ενέργεια δεν παράγεται από το μηδέν ούτε καταστρέφεται, παρά μόνο αλλάζει μορφή. Ο νόμος αυτός επικρατεί ποσοτικά όλων των μεταφερόμενων μορφών ενέργειας αλλά, χωρίς περιορισμό στη διεύθυνση μεταφοράς. Με τον όρο ενέργεια εννοούμε είτε το έργο είτε τη θερμότητα είτε και τη ροή μάζας (Νίκας, 2010:6).

Η αρχή διατήρησης της ενέργειας σημαίνει, για ένα οποιοδήποτε σύστημα, κατά τη διάρκεια μιας διεργασίας του, ότι η μεταβολή της ολικής του ενέργειας είναι ίση με τη διαφορά εκείνης που εισέρχεται σε αυτό και εκείνης που εξέρχεται από αυτό.

Χαρακτηριστικά εκφράζεται ως (Νίκας, 2010:6):

$$E_{in} - E_{out} = \Delta E_{system} \quad (1.1)$$

Ή στη μορφή του ρυθμού μεταφοράς:

$$\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out} = dE_{system} / dt \quad (1.2)$$

Ορίζουμε την ενέργεια ως μια ποσότητα ή ιδιότητα, η μέση τιμή της οποίας δεν παρουσιάζει μεταβολή, εάν δε μεταβληθεί και η κατάσταση του συστήματος. Για

την περίπτωση ωστόσο που υπάρχει μία διεργασία η οποία είναι μόνιμη, που σημαίνει ότι δεν αλλάζει με την πάροδο του χρόνου, η μεταβολή της ενέργειας του συστήματος γίνεται ίση με το μηδέν και η Εξίσωση (1.2) γίνεται (Νίκας, 2010:6):

$$\mathbf{E}_{in} - \mathbf{E}_{out} = \mathbf{0} \Rightarrow \mathbf{E}_{in} = \mathbf{E}_{out} \quad (1.3)$$

Αναφορικά με την θερμική ανάλυση, η μοναδική μορφή ενέργειας που μεταφέρεται, ως αποτέλεσμα διαφοράς της θερμοκρασίας, είναι η θερμότητα ή θερμική ενέργεια. Άρα, είναι καλύτερο να γίνεται καταγραφή της θερμικής ισορροπίας ενός συστήματος, εικάζοντας ως εσωτερικά παραγόμενη ενέργεια (heat) τη μετατροπή άλλων ενεργειών (ηλεκτρικής, χημικής, πυρηνικής) σε θερμική. Κατά συνέπεια, η εξίσωση της ενεργειακής ισορροπίας παρουσιάζεται ως εξής (Νίκας, 2010:7):

$$Q_{in} - Q_{out} + E_{gen} = \Delta E_{\text{thermal system}} \quad (1.4)$$

Πολλές είναι οι πρακτικές εφαρμογές, όπως οι εναλλάκτες θερμότητας, τα ψυγεία ή θερμαντικά σώματα, που συσχετίζονται με ρευστά, τα οποία είτε εισέρχονται στο σύστημα είτε εξέρχονται από αυτό και επιλύονται, χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία των όγκων ελέγχου (control volumes). Οι περισσότεροι όγκοι ελέγχου τείνουν να αναλύονται κάτω από συνθήκες μόνιμης (steady-state condition) κατάστασης, δηλαδή χωρίς να μεταβάλλονται στο χρόνο (Νίκας, 2010:7).

Η διατήρηση της θερμικής ενέργειας για ένα σύστημα μόνιμης ροής ρευστού, με μία είσοδο και μία έξοδο, έχοντας θεωρήσει τη μεταβολή της κινητικής και δυναμικής ενέργειας αμελητέα, χωρίς να παράγεται ή να έχω απώλεια έργου, δίνεται από την ακόλουθη έκφραση:

$$Q = \dot{m} C_p \Delta T \quad (1.5)$$

όπου Q είναι ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας προς το σύστημα και από το σύστημα, m η ροή μάζας (ή η μεταβολή της μάζας στη μονάδα του χρόνου) του ρευστού, C_p η ειδική θερμοχωρητικότητα (specific heat capacity) υπό σταθερή πίεση και ΔT η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της εισόδου και εξόδου του ρευστού (Νίκας, 2010:7-8).

Όταν οι ενέργειες που αλληλεπιδρούν συμβαίνουν σε μία επιφάνεια ενός μέσου και όχι σε ένα σύστημα, η ισορροπία της θερμικής ενέργειας μπορεί να διατυπωθεί στην ίδια την επιφάνεια που δεν περικλείεται από μάζα ή όγκο. Στις ανωτέρω περιπτώσεις δεν έχω καμία ενέργεια. Εν τούτοις μπορεί να θεωρηθεί ως ένα ψευδοσύστημα, του οποίου η ενέργεια παραμένει σταθερή κατά τη διάρκεια μιας διεργασίας, οπότε η θερμική του ισορροπία τελικά εκφράζεται ως εξής:

$$E_{in} = E_{out} \quad (1.6)$$

και ισχύει τόσο σε μόνιμες όσο και μη μόνιμες συνθήκες (Νίκας, 2010:8).

Παρά το γεγονός ότι ενδέχεται η ύπαρξη της ενέργειας που παράγεται εσωτερικά σε ένα μέσο, το γεγονός αυτό τελικά δεν επηρεάζει τη θερμική ισορροπία στην επιφάνειά του. Όταν εμφανίζονται και οι τρεις βασικοί μηχανισμοί της μετάδοσης θερμότητας (αγωγιμότητα, συναγωγιμότητα και ακτινοβολία), εκφράζοντας απώλεια θερμότητας μέσω αγωγιμότητας ενός τοιχώματος προς την επιφάνειά του, και στη συνέχεια μέσω συναγωγιμότητας και ακτινοβολίας από την επιφάνεια προς το περιβάλλον, έχουμε την εξής έκφραση της θερμικής ισορροπίας στην εξωτερική επιφάνεια του τοιχώματος (Νίκας, 2010:8-9):

$$Q_{cond} = Q_{conv} + Q_{rad} \quad (1.7)$$

1.4 ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ

Σε προηγούμενη ενότητα ορίσαμε τη θερμότητα ή αλλιώς τη θερμική ενέργεια, ως τη μορφή της ενέργειας που δύναται να μεταφερθεί κατά τη διάρκεια μιας διεργασίας από ένα σύστημα σε ένα άλλο ως απότοκο της διαφοράς των θερμοκρασιών τους. Το πόσο θερμότητας που μεταφέρεται συμβολίζεται ως Q (Νίκας, 2010: 9).

Η επιστήμη της μετάδοσης θερμότητας σχετίζεται με τον προσδιορισμό του ρυθμού, με τον οποίο μεταφέρεται θερμότητα, ο οποίος λέγεται και ροή θερμότητας ενώ συμβολίζεται ως Q . Η τελεία στο πάνω μέρος του Q φανερώνει τη χρονική παράγωγο της θερμότητας, ή αλλιώς τη θερμότητα που μεταφέρεται στη μονάδα του χρόνου. Η ροή θερμότητας έχει μονάδες Joule/sec ή Watt ή BTU/s και η ολοκλήρωση της σε χρονικό διάστημα συγκεκριμένο, Δt , καθορίζει το ποσό της θερμότητας που μεταφέρεται. Αναλυτικότερα (Νίκας, 2010:9):

$$Q = \int_0^t Q \, dt \quad (1.8)$$

Επιπροσθέτως, μπορούμε να συναντήσουμε τη ροή θερμότητας και ως ανηγμένη στη μονάδα επιφάνειας, που είναι κάθετη στη διεύθυνση της θερμότητας που μεταφέρεται, ενώ συμβολίζεται ως:

$$Q'' = Q/A \quad (1.9)$$

με μονάδες Watt/m² ή BTU/sec ft² Και τη συναντούμε αρκετές χώρες σε εφαρμογές επεξηγούνται βάσει των καρτεσιανών συντεταγμένων (Νίκας, 2010:10).

1.5 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Βάσει της βιβλιογραφίας που υπάρχει ήδη, καθώς και της πολυπλοκότητας του φαινομένου, οι μηχανισμοί που μπορούμε να μελετήσουμε τη θερμότητα που μεταφέρεται είναι τρεις και διακρίνονται, όπως μπορούμε να δούμε και παρακάτω:

- ✓ Αγωγιμότητα (αγωγή) (Conduction)
- ✓ Συναγωγιμότητα (συναγωγή) (Convection)
- ✓ ακτινοβολία (Radiation)

Η θερμική αγωγιμότητα είναι η μόνη που μπορεί να ταξινομηθεί ως διεργασία καθαρής μεταφοράς θερμότητας με την προϋπόθεση ότι υφίσταται δυναμική διαφορά των θερμοκρασιών μεταξύ συστημάτων και λαμβάνοντας υπόψιν το γενικό ορισμό της Μεταφοράς Θερμότητας. Θεωρώντας δηλαδή ως δεδομένη την εμφάνιση του φαινομένου. Στον αντίποδα, η θερμική συναγωγιμότητα έχει ως βασική προϋπόθεση την ύπαρξη ροής μάζας και την ακτινοβολία της θερμοκρασίας του συστήματος (Νίκας, 2010:10).

Ωστόσο, λόγω του γεγονότος ότι μεταφέρεται ενέργεια από σύστημα υψηλής θερμοκρασίας, σε σύστημα χαμηλής θερμοκρασίας είναι αποδεκτό να μελετάται και ως ένας μηχανισμός μεταφοράς θερμότητας (Νίκας, 2010:10).

1.5.1 ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ

Ως θερμική αγωγιμότητα (thermal conduction) ορίζουμε το μηχανισμό θερμότητα που μεταφέρεται από μία περιοχή ή σύστημα υψηλής θερμοκρασίας σε μία άλλη ή χαμηλότερης θερμοκρασίας, μέσω ενός μέσου (στερεού, υγρού ή αέριου σε ηρεμία) με την προϋπόθεση της φυσικής επαφής (Νίκας, 2010:11).

Οι τρόποι με τους οποίους επιτυγχάνεται αυτή η μεταφορά αφορά είτε τον τρόπο μέσω μοριακής αλληλεπίδρασης, δηλαδή μεταφοράς ενέργειας από τα μόρια που είναι περισσότερο ενεργητικά στα γειτονικά τους, με επίπεδο ενέργειας χαμηλότερο είτε τον τρόπο μέσω της συγκέντρωσης των ελεύθερων ηλεκτρονίων σε στερεά που είναι καθαρά μεταλλικά. Πιο συγκεκριμένα στην περίπτωση που τα μόρια μιας περιοχής της ύλης αποκτούν μία μέση κινητική ενέργεια, η οποία είναι μεγαλύτερη από εκείνη των μορίων της γειτονικής περιοχής, αυτό γίνεται υπό τη μορφή μιας θερμοκρασιακής διαφοράς. Ως εκ τούτου, η ενέργεια ή ένα μέρος της μεταβαίνει στα όρια της περιοχής που έχουν η μικρότερη θερμοκρασία, οπότε και επαληθεύεται ο ορισμός της θερμικής αγωγιμότητας (Νίκας, 2010:11).

Αναφορικά με τον τρόπο που λαμβάνει χώρα η μεταφορά της θερμικής ενέργειας μέσω αγωγιμότητας, μπορούμε να πούμε ότι συμβαίνει μέσω ελαστικών κρούσεων μέσω διάχυσης των μορίων κατά τη διαδικασία που κινούνται τυχαία, τόσο στα αέρια όσο και στα ρευστά. Στην περίπτωση δε των στερεών μέσων, η αντίστοιχη θερμική ενέργεια μεταφέρεται από περιοχές υψηλής θερμοκρασίας σε περιοχές χαμηλής θερμοκρασίας μέσω των ταλαντώσεων των μορίων του πλέγματος καθώς και των ηλεκτρονίων που βρίσκονται σε κίνηση (Νίκας, 2010:11).

Μπορούμε να αναφέρουμε ως χαρακτηριστικό παράδειγμα της μετάδοσης θερμότητας με αγωγιμότητα το φαινόμενο της απώλειας θερμότητας που παρατηρείται κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου σε κλειστούς θερμαινόμενους χώρους. Αυτό οφείλεται ιδίως στην αγωγιμότητα των τοίχων, των παραθύρων, της οροφής κ.α. (Νίκας, 2010:11-12).

Ο ρυθμός με τον οποίο μεταβάλλεται η θερμική αγωγιμότητα, μέσω ενός μέσου, εξαρτάται από 4 παράγοντες:

- τη γεωμετρία του μέσου,
- το πάχος του,
- το υλικό του και
- τη διαφορά το θερμοκρασιών ανάμεσα στα όριά του.

Από πειραματικές μελέτες που έλαβαν χώρα στο παρελθόν γνωρίζουμε πως η ροή θερμότητας, Q , μέσω ενός τοιχώματος, είναι ανάλογη της διαφοράς των θερμοκρασιών, δηλαδή της θερμοκρασιακής διαφοράς ΔT , των ορίων του μέσου και της κάθετης επιφάνειας, A , στην κατεύθυνση της μεταφοράς θερμότητας, ενώ είναι αντιστρόφως ανάλογη του πάχους του μέσου, Δx (Νίκας, 2010:12).

Άρα, έχουμε ότι:

$$Q_{\text{cond}} = -kA \Delta T / \Delta x \quad (1.10)$$

όπου, η σταθερή ποσότητα, k , είναι ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του μέσου και αποτελεί τη χαρακτηριστική φυσική ιδιότητα του υλικού, φανερώνοντας την ικανότητά του να μεταφέρει θερμότητα. Τυπικές τιμές του k φαίνονται στον Πίνακα 1.1. στην περίπτωση που το πάχος του μέσου τείνει στο μηδέν ($\Delta x \rightarrow 0$), η Εξίσωση (1.9) Μπορεί να πάρει τη διαφορική μορφή:

$$Q_{\text{cond}} = -kA dT/dx \quad (1.11)$$

Η οποία ονομάζεται και Νόμος του Fourier, τιμώντας τον Γάλλο μαθηματικό και φυσικό ο οποίος παρουσίασε τη διαφορική αυτή μορφή το 1822 (Νίκας, 2010:12-13).

Πίνακας 1.1: Τυπικές χαρακτηριστικές τιμές k υλικών

Υλικό	k
Υγρά μέταλλα	0.004-0.03
Αέρια	0.7-1.0
Νερό	1.7-13.7
Μέταλλα	3-450
Μονωτικά υλικά	0.001-0.07
Δομικά υλικά	0.2-1.1

Ο όρος, dT/dx , είναι η πρώτη παραγωγός της θερμοκρασίας ως προς τη χωρική μεταβολή x , ή αλλιώς η θερμοκρασιακή κλίση. Το αρνητικό πρόσημο της Εξίσωσης (1.9) είναι η συνέπεια του δεύτερου θερμοδυναμικού νόμου, ο οποίος εξασφαλίζει ότι η θερμότητα μεταφέρεται κατά την αντίθετη κατεύθυνση της θερμοκρασιακής κλίσης (Νίκας, 2010:13).

1.5.2 ΘΕΡΜΙΚΗ ΣΥΝΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ

Ως Θερμική Συναγωγιμότητα (thermal convection) ορίζεται ο μηχανισμός με τον οποίο μεταφέρεται θερμότητα μεταξύ μιας στερεής επιφάνειας και ενός παρακείμενου κινούμενου ρευστού (υγρού ή αερίου) και αποτελεί έναν συνδυασμό αγωγιμότητας και κίνησης του ρευστού. Ο μηχανισμός με τον οποίον λειτουργεί η μεταφορά της θερμότητας με συναγωγιμότητα δεν εξαρτάται μόνο από τη διαφορά των θερμοκρασιών αλλά ακολουθεί μία σειρά από φυσικές διεργασίες (Νίκας, 2010:14).

Στην αρχή η ροή θερμότητας πραγματοποιείται μέσω αγωγιμότητας από μία στερεή επιφάνεια προς τα γειτονικά μόρια του ρευστού. Η ενέργεια που μεταφέρεται με τον τρόπο αυτό συμβάλλει στο να αυξάνεται η θερμοκρασία και η εσωτερική ενέργεια των μορίων του ρευστού. Έπειτα, τα μόρια του ρευστού κινούνται προς την περιοχή που κατέχει τη χαμηλότερη θερμοκρασία και αναμειγνύονται με το υπόλοιπο μέρος των μορίων του ρευστού. Ως εκ τούτου, η θερμική ενέργεια αποθηκεύεται στα μόρια του ρευστού και μεταβιβάζεται σαν αποτέλεσμα στην μάζα που κινείται. Η διαδικασία με την οποία μεταφέρεται θερμότητα καλείται θερμική συναγωγιμότητα (Νίκας, 2010:14-15).

Στην αρχή η ροή θερμότητας πραγματοποιείται μέσω αγωγιμότητας από μία στερεή επιφάνεια προς τα γειτονικά μόρια του ρευστού. Η ενέργεια που μεταφέρεται με τον τρόπο αυτό συμβάλλει στο να αυξάνεται η θερμοκρασία και η εσωτερική ενέργεια των μορίων του ρευστού. Έπειτα, τα μόρια του ρευστού κινούνται προς την περιοχή που κατέχει τη χαμηλότερη θερμοκρασία και αναμειγνύονται με το υπόλοιπο μέρος των μορίων του ρευστού. Ως εκ τούτου, η θερμική ενέργεια

αποθηκεύεται στα μόρια του ρευστού και μεταβιβάζεται σαν αποτέλεσμα στην μάζα που κινείται. Η διαδικασία με την οποία μεταφέρεται θερμότητα καλείται θερμική συναγωγιμότητα (Νίκας, 2010:14-15).

Συμπερασματικά, όσο πιο μεγάλη είναι η κίνηση του ρευστού, τόσο αυξάνεται και η ροή της θερμότητας μέσω συναγωγιμότητας. Στην περίπτωση που το ρευστό δεν κινείται και άρα είναι στάσιμο, τότε η μεταφορά θερμότητας διεξάγεται μόνο μέσω αγωγιμότητας. Αφενός η παρουσία της κίνησης του ρευστού κάνει πιο έντονη τη θερμότητα που μεταφέρεται μεταξύ του στερεού τοιχώματος και του ρευστού και αφετέρου κάνει πιο περίπλοκο τον υπολογισμό του ρυθμού με τον οποίο μεταβάλλεται (Νίκας, 2010:15).

Η θερμική συναγωγιμότητα διακρίνεται σύμφωνα με τη φύση της κίνησης του ρευστού Εξαναγκασμένη (Forced) και Ελεύθερη ή αλλιώς Φυσική (Natural). Πιο συγκεκριμένα, Εξαναγκασμένη Θερμική Συναγωγιμότητα λέμε ότι έχουμε όταν το ρευστό κινείται επί μίας επιφάνειας λόγω εξωτερικών παραγόντων, όπως υπό την επίδραση ενός ανεμιστήρα, μιας αντλίας ή εξαιτίας του ανέμου. Στην περίπτωση, δε, που η κίνηση του ρευστού οφείλεται σε δυνάμεις άνωσης, οι οποίες προκαλούνται από τις διαφορετικές τιμές της πυκνότητας λόγω της θερμοκρασιακής διανομής του ρευστού, τότε λέμε ότι έχουμε Ελεύθερη ή Φυσική θερμική συναγωγιμότητα (Νίκας, 2010:15).

Ο ρυθμός μεταφοράς της θερμικής συναγωγιμότητας, παρά την πολυπλοκότητα του ίδιου του φαινομένου, εκφράζεται μέσω του Νόμου του Νεύτωνα, ο οποίος προτάθηκε από το γνωστό Βρετανό επιστήμονα Isaac Newton κατά το 1701 και ο οποίος νόμος είναι ο εξής:

$$\dot{Q}_{\text{conv}} = hA (T_w - T_\infty) \quad (1.12)$$

με A να είναι το εμβαδόν της επιφάνειας, μέσω της οποίας μεταφέρεται θερμική συναγωγιμότητα, ενώ T_w και T_∞ να είναι η επιφανειακή θερμοκρασία του στερεού τοιχώματος και η θερμοκρασία του ελεύθερου ρεύματος του γειτονικού ρευστού αντιστοίχως (Νίκας, 2010:15-16).

Με τον όρο, h , της Εξίσωσης (1.12) συμβολίζουμε το συντελεστή θερμικής συναγωγιμότητας και δεν αποτελεί ιδιότητα του ρευστού, αλλά εξαρτάται από τις συνθήκες του οριακού στρώματος. Οι συνθήκες αυτές επηρεάζονται από τη γεωμετρία της επιφάνειας, θερμοδυναμικές ιδιότητες του ρευστού καθώς και από το είδος της ροής. Στον Πίνακα 1.2 φαίνονται οι τυπικές χαρακτηριστικές τιμές της ποσότητας, h (Νίκας, 2010:16).

Πίνακας 1.2: Τυπικές χαρακτηριστικές τιμές h

Είδος ροής	h
<i>Ελεύθερη συναγωγιμότητα αερίων</i>	2-25
<i>Ελεύθερη συναγωγιμότητα υγρών</i>	10-1000
<i>Εξαναγκασμένη συναγωγιμότητα αερίων</i>	25-250
<i>Εξαναγκασμένη συναγωγιμότητα υγρών</i>	50-20000
<i>Βρασμός και συμπύκνωση</i>	2500-100000

Προκειμένου να μπορέσουμε να χρησιμοποιήσουμε την Εξίσωση (1.11) υπάρχει η προϋπόθεση ότι η μεταφορά θερμότητας διεξάγεται από την υψηλότερη θερμοκρασία της επιφάνειας προς τη χαμηλότερη του ρευστού και κατά συνέπεια η ροή θερμότητας έχει θετικό πρόσημο. Όταν η μεταφορά θερμότητας που πραγματοποιείται από το ρευστό προς την επιφάνεια, δηλαδή, $T_{\infty} > T_w$, τότε ο Νόμος του Νεύτωνα παίρνει τη μορφή:

$$Q_{\text{conv}} = hA (T_{\infty} - T_w) \quad (1.13)$$

προκειμένου η ροή θερμότητας να παραμένει θετική (Νίκας, 2010:16-17).

1.5.3 ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Ως Θερμική Ακτινοβολία (thermal radiation) ορίζουμε το φαινόμενο της ροής της θερμότητας από την ύλη είτε μέσω του χώρου είτε μέσω του κενού, υπό τη μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, ως απότοκο μεταβολών στην ηλεκτρονική διάταξη των ατόμων και μορίων που οφείλεται στη θερμοκρασία της ύλης ή του μέσου και μόνο. Το συγκεκριμένο φαινόμενο της θερμικής ακτινοβολίας είναι διαφορετικό από τα υπόλοιπα φαινόμενα ακτινοβολίας, που έχουν άμεση σχέση με τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα, όπως για παράδειγμα τα μικροκύματα και οι ακτίνες X (Νίκας, 2010:18).

Η ποσότητα της ενέργειας που μεταφέρεται με τη μορφή που περιγράφηκε παραπάνω καλείται Ακτινοβολούμενη Θερμότητα (radiant heat) και μεταφέρεται με τη μορφή κβάντων (quanta), το μέγεθος του οποίου εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τη φύση της επιφάνειας (Νίκας, 2010:18).

Τόσο τα στερεά, τα υγρά και τα αέρια σώματα, που βρίσκονται σε θερμοκρασία πιο υψηλή του απόλυτου μηδενός, ενώ από την άλλη πλευρά με τα φαινόμενα της θερμικής αγωγιμότητας και συναγωγιμότητας δεν καθίσταται αναγκαία η παρουσία του μέσου μεταφοράς της θερμότητας. Στον αντίποδα η μετάδοση θερμότητας μέσω ακτινοβολίας αποδίδει περισσότερο στο κενό και εξαρτάται από τη θερμοκρασία αλλά και τη φύση της επιφάνειας που εκπέμπει την ακτινοβολία (Νίκας, 2010:18).

Η θερμότητα που ακτινοβολείται μεταφέρεται με την ταχύτητα του φωτός και αντικαθιστά την ακτινοβολία του φωτός στο φαίνεσθαι, ενώ βάσει της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας τόσο η φωτεινή όσο και η θερμική ακτινοβολία παρουσιάζουν διαφορά μόνο κατά την αντιστοιχία του μήκους των κυμάτων. Υπό τη μορφή των quanta πραγματοποιείται η θερμότητα που ακτινοβολείται από ένα σώμα και η ακτινοβολούμενη ποσότητα αυξάνει όσο η θερμοκρασία του σώματος αυξάνει. η κίνηση της θερμότητας που ακτινοβολείται στο χώρο παρουσιάζει κοινά χαρακτηριστικά και παραμετρικά γνωρίσματα του φωτός και ως προς αυτό δύναται να περιγραφεί από την κυματική θεωρία (Νίκας, 2010:18-19).

Άρα, ο μέγιστος ρυθμός με τον οποίο μεταφέρεται θερμική ακτινοβολία που εκπέμπεται σε μία επιφάνεια εμβαδού, A , και απόλυτης θερμοκρασίας T_w (σε K), φαίνεται στην ακόλουθη εξίσωση:

$$Q_{rad, max} = \sigma AT_w^4 \quad (1.14)$$

που καλείται Νόμος Stefan-Boltzmann, προς τιμή των δύο αυστριακών επιστημόνων J.Stefan και L.Boltzmann, που ανακάλυψαν το 1879 και επέλυσαν σε θεωρητικό πλαίσιο το 1884 την Εξίσωση (1.14). Η παράμετρος σ είναι η σταθερά Stefan-Boltzmann και είναι ίση με $5.67 \times 10^{-8} (W/m^2 K^4)$ (Νίκας, 2010:19).

Ως μαύρο ή μέλαν σώμα (blackbody) καλείται η ιδανική επιφάνεια που εκπέμπει το μέγιστο ρυθμό θερμικής ακτινοβολίας που μεταφέρεται, ενώ οι πραγματικές επιφάνειες που βρίσκονται στην ίδια θερμοκρασία εκπέμπουν με μικρότερο ρυθμό. Χαρακτηριστικά:

$$Q_{rad} = \epsilon \sigma AT_w^4 \quad (1.15)$$

με ϵ να είναι η πάραμετρος που καλείται συντελεστής εκπομπής και αποτελεί ιδιότητα της επιφάνειας, παίρνοντας τιμές μεταξύ του 0 και 1 (Νίκας, 2010:19).

Στην ειδική περίπτωση, που παρατηρείται συχνά σε πρακτικές εφαρμογές, και έχουμε την ύπαρξη μιας μικρής σχετικά επιφάνειας, A , και θερμοκρασίας, T_w , που περιβάλλεται ολοκληρωτικά από μία μεγαλύτερη ισοθερμική θερμοκρασίας, $T_{sur} > T_w$, Έχουμε τη μεταφερόμενη θερμική ακτινοβολία να εκφράζεται από την ακόλουθη σχέση (Νίκας, 2010:20):

$$Q_{rad} = \epsilon \sigma A (T_w^4 - T_{sur}^4) \quad (1.16)$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

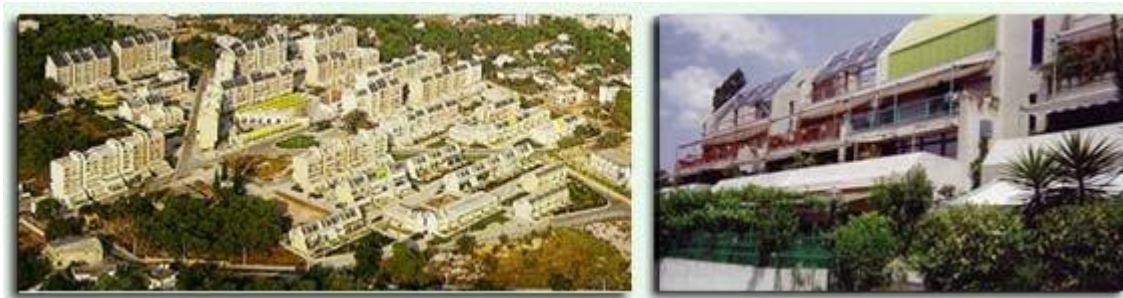
Εισαγωγή στην Θερμομόνωση

2.1 ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Η δεκαετία του 1970 συνοδεύτηκε από την προσπάθεια απάντησης του επιστημονικού κόσμου στις δύο πετρελαϊκές κρίσεις, η οποία οδήγησε στην υιοθέτηση κανονιστικών ρυθμίσεων για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας για τη θέρμανση των κτιρίων. Στην προσπάθεια αυτήν περιλαμβάνονταν η θερμική προστασία του κτιριακού κελύφους, η μείωση των απωλειών ακούσιου αερισμού και ο περιορισμός του εκούσιου αερισμού στα απολύτως αναγκαία επίπεδα. Σαν προσέγγιση, σε ποσοτικό επίπεδο, άφηναν ικανοποιητικά αποτελέσματα, όμως σε ποιοτικό επίπεδο παρέμειναν αρκετά θέματα ανοιχτά: κακή ποιότητα αέρα, ανεπαρκής φυσικός φωτισμός, οπτική αποξένωση από το φυσικό περιβάλλον καθώς και προβλήματα υγρασίας λόγω ανεπαρκούς αερισμού.

Κατά την δεκαετία του 80' και 90' είχαμε τις πρώτες προσπάθειες υλοποίησης των μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας. Δόθηκε έμφαση στην προσέγγιση ενός κτιρίου χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας με βασικό εργαλείο τον βιοκλιματικό σχεδιασμό, που αξιοποιεί το φυσικό περιβάλλον (ηλιασμός, ηλιοπροστασία, φυσικός αερισμός). Μια τέτοια εφαρμογή μεγάλης κλίμακας στη χώρα μας είναι το Ηλιακό Χωριό της Λυκόβρυσης - Πεύκης. Στις αρχές του νέου αιώνα τα σύγχρονα κτίρια καταναλώνουν για θέρμανση το ένα έκτο της ενέργειας απ' ό,τι αυτά που κατασκευάστηκαν πριν το 1970, χωρίς να περιορίζουν τις επιλογές του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού.

Υπήρξαν, ωστόσο, και αρνητικές εξελίξεις. Στις νότιες ευρωπαϊκές χώρες, συμπεριλαμβανομένου και την Ελλάδα, αλλά όχι μόνο σε αυτές, η αλλαγή του κλίματος αναδείχθηκε το μείζον πρόβλημα της ραγδαίας αύξησης των φορτίων κλιματισμού. Η μεταβολή των μικροκλιματικών συνθηκών στα αστικά κέντρα, και οι αυξημένες απαιτήσεις εσωκλιματικών συνθηκών από τους κατοίκους, αποτελούν τους βασικότερους παράγοντες. Η εξέλιξη αυτή υπενθυμίζει, ότι η ηλιοπροστασία, η αξιοποίηση της θερμοχωρητικότητας και η θερμομόνωση είναι αρετές ενός κτιρίου που πολύ δύσκολα υποκαθίστανται.



Σχήμα 2.1: Ηλιακό χωριό Λυκόβρυσης – Πεύκης

2.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΜΟΝΩΣΗΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗΣ

Ως μόνωση ορίζεται ο γενικός όρος που χρησιμοποιείται για να υποδηλώσει την προστασία της κατασκευής από τη θερμότητα, τον ήχο και την υγρασία (σε καθημερινούς όρους θερμομόνωση, ηχομόνωση, στεγάνωση). Ειδικότερα για τις κατασκευές χρησιμοποιούνται οι όροι θερμομόνωση, ηχομόνωση και υγρομόνωση (στεγάνωση-στεγανοποίηση).

Σε μία κατασκευή η μόνωση είναι βασικό στοιχείο για τρεις βασικούς λόγους:

1. Εξοικονομούνται χρήματα και ενέργεια.
2. Οι κατοικίες και οι χώροι εργασίας γίνονται πιο άνετοι και λειτουργικοί.
3. Το περιβάλλον της κατασκευής παραμένει υγιεινό

Η αποτελεσματικότητα της μόνωσης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως η τοποθεσία, το τοπικό κλίμα, η κατασκευή του χώρου αλλά και το πλήθος των ανθρώπων που κατοικούν στο χώρο. Όπως προ είπαμε οι περισσότερες παλαιές κατασκευές έχουν λιγότερη μόνωση συγκριτικά με τις καινούργιες, χωρίς όμως να αποκλείουμε την ενίσχυση της μόνωσης και στις καινούργιες κατασκευές, καθώς μπορεί να γίνει απόσβεση του κόστους σε λίγα μόνο χρόνια.

Η αποτελεσματικότητα της μόνωσης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως η τοποθεσία, το τοπικό κλίμα, η κατασκευή του χώρου αλλά και το πλήθος των ανθρώπων που κατοικούν στο χώρο. Όπως προ είπαμε οι περισσότερες παλαιές κατασκευές έχουν λιγότερη μόνωση συγκριτικά με τις καινούργιες, χωρίς όμως να αποκλείουμε την ενίσχυση της μόνωσης και στις καινούργιες κατασκευές, καθώς μπορεί να γίνει απόσβεση του κόστους σε λίγα μόνο χρόνια.

Κατά την θερμομόνωση, ηχομόνωση ή υγρομόνωση, είναι ζωτικής σημασίας να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στον εξαερισμό, καθώς ο ελλιπής εξαερισμός μπορεί να δημιουργήσει κινδύνους για την υγεία. Επίσης, να επισημάνουμε πως ο σωστός

εξαερισμός βοηθάει στον έλεγχο της υγρασίας. Μια κατασκευή πρέπει να έχει σωστή μόνωση περιμετρικά και από τα θεμέλια έως και τη στέγη.

Πίνακας 2.1: Ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας μετά από εφαρμογή μονωτικών μεθόδων

Μετρα εξοικονόμησης ενέργειας	Κατηγορίες Κτηρίων					
	Μονο/οικία	Πολυ/οικία	Νοσ/μεία	Ξεν/χεία	Σχολεία	Γραφεία
Μόνωση εξωτερικών τοίχων	50%	42%	30%	20%	20%	32%
Μόνωση οροφής	12%	8%	6%	6%	10%	5%
Διπλά τζάμια	2%	6%	2%	4%	2%	4%
Αεροστεγανωση	10%	8%	10%	10%	5%	10%

Τα μονωτικά υλικά μπορούν να ταξινομηθούν με βάση τη χημική σύνθεση των συστατικών τους. Επομένως ταξινομούνται σε οργανικά, ανόργανα και σύνθετα(οργανικές και ανόργανες ενώσεις)

Ως θερμομόνωση, στις κτιριακές κατασκευές, ορίζεται το σύνολο των κατασκευαστικών μέτρων τα οποία λαμβάνονται για τη μείωση της μετάδοσης θερμότητας είτε μεταξύ των εσωτερικών χώρων του κτιρίου και της ατμόσφαιρας είτε μεταξύ εσωτερικών χώρων του κτιρίου διαφορετικής θερμοκρασίας.

Όταν η θερμική μόνωση γίνει με τα κατάλληλα υλικά και την κατάλληλη μεθοδολογία τότε θα μας εξασφαλίσει :

- Ευχάριστη και υγιεινή διαμονή των ενοίκων μια κατοικίας
- Την ταυτόχρονη προστασία από τους θορύβους, καθώς πολλά θερμομονωτικά υλικά είναι και ηχομονωτικά.
- Μείωση των εξόδων θέρμανσης των κτιρίων, ειδικά τους κρύους μήνες του χρόνου, όπου η ανάγκη για τεχνητά συστήματα ελέγχου του εσωτερικού περιβάλλοντος είναι υπαρκτά.
- Μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος, είτε ατμοσφαιρική είτε θερμική.

2.3 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗΣ

Παλαιότερα, ένα βασικό κατασκευαστικό λάθος ήταν η μερική θερμομόνωση των εξωτερικών τοίχων, αφού λόγω τεχνικών δυσκολιών δεν μονωνόταν ο φέροντας οργανισμός των κτιρίων, δοκάρια και κολώνες. Ένας άλλος λόγος είναι ότι το μπετόν, έχει πολύ υψηλό συντελεστή θερμοπερατότητας, είναι καλός αγωγός της

ελλιπής εφαρμογής της θερμομόνωσης και δημιουργεί θερμογέφυρες στο εξωτερικό κέλυφος του κτιρίου.

Στις νέες κατασκευές, ιδιαίτερα στις πολυκατοικίες ήρθε να προστεθεί ένα καινούργιο πρόβλημα στην ενεργειακή απόδοση τους, με την κατασκευή πιλοτής. Η πιλοτή είναι και αυτή μια οριζόντια επιφάνεια που έρχεται σε επαφή με τον εξωτερικό ψυχρό αέρα και κατά συνέπεια συμβάλλει στις θερμικές απώλειες του κτίσματος.

Σήμερα οι τεχνικές εφαρμογής θερμομόνωσης στα κτίρια έχουν βελτιωθεί, μαζί και η δημιουργία θερμογεφυρών και οι συνέπειες τους. Για παράδειγμα, η θερμομόνωση πρέπει να τοποθετείται στο εσωτερικό τμήμα της διπλής πλινθοδομής, ιδιαίτερα σε περίπτωση εγκατάστασης συρόμενων ανοιγμάτων, προκειμένου να είναι αποδοτική. Τα συρόμενα παράθυρα λειτουργούν σαν δίοδοι κυκλοφορίας του εξωτερικού ψυχρού αέρα ανάμεσα στην διπλή πλινθοδομή, και σε περίπτωση μόνωσης του εξωτερικού τμήματος της πλινθοδομής, ο αέρας μεταδίδει το ψύχος πολύ εύκολα στους εσωτερικούς θερμαινόμενους χώρους. Η κακή εγκατάσταση συρόμενων ανοιγμάτων δημιουργεί στην ουσία ακόμα μία θερμογέφυρα στο εξωτερικό κέλυφος του κτιρίου.

Επιβάλλεται ο σωστός έλεγχος και κατασκευή της θερμομόνωσης, ιδιαίτερα στα σημεία ένωσης των θερμομονωτικών πλακών. Το μεγαλύτερο ποσοστό απωλειών παρουσιάζεται στις οριζόντιες εξωτερικές επιφάνειες ενός κτίσματος. Ιδιαίτερα η οροφή παρουσιάζει τις μεγαλύτερες απώλειες ανά μονάδα επιφανείας, και σε περίπτωση κακοτεχνίας λόγω συχνής συγκέντρωσης βρόχινων νερών, η ενεργειακή συμπεριφορά της επιβαρύνεται. Από τα παλιά κτίρια κατοικιών που έχουν εφαρμόσει θερμομόνωση, το μεγαλύτερο ποσοστό αφορά την οροφή, και αυτό μειώνει αυτόματα τις απώλειες θερμότητας.

2.4 ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΙΣΜΟΙ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗΣ

Πριν προχωρήσουμε στα επόμενα κεφάλαια, στην ανάλυση και μελέτη της θερμομόνωσης, θα αναλύσουμε τους βασικότερους ορισμούς που την διέπουν.

- Μονάδα θερμότητας

Ως μονάδα μέτρησης της θερμότητας ορίζεται η χιλιοθερμίδα (Kcal), η οποία είναι η ποσότητα της θερμότητας που απαιτείται για να θερμανθεί 1 Kg νερού σε ατμοσφαιρική πίεση κατά μία μονάδα θερμότητας και συγκεκριμένα από τους 14,5°C στους 15,5°C. Η ενέργεια μετράται επίσης σε τζάουλ (J) και σε βατώρες (W*h).

Η αντιστοιχία μεταξύ των μονάδων αυτών είναι :

$$1 \text{ Kcal} = 4.186,8 \text{ J} = 1,163 \text{ W}\cdot\text{h}$$

Με τον όρο θερμότητα νοείται η θερμική ενέργεια.

- Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας, λ

Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας δίνει την ποσότητα της θερμότητας σε βατώρες, η οποία ρέει σε 1 ώρα μέσα από στρώμα υλικού που έχει επιφάνεια 1m^2 και πάχος 1m , όταν η πτώση της θερμοκρασίας προς την κατεύθυνση της ροής της θερμότητας (διαφορά θερμοκρασίας των δύο επιφανειών) είναι ένας βαθμός Κέλβιν και το σύστημα βρίσκεται σε μόνιμη κατάσταση, δηλαδή η θερμοκρασία τοπικά παραμένει σταθερή με το χρόνο. Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας μετράται σε βατ ανά μέτρο και βαθμό Κέλβιν ($\text{W} / \text{m}\cdot\text{K}$).

- Συντελεστής θερμοδιαφυγής, Λ

Ο συντελεστής θερμοδιαφυγής δίνει την ποσότητα της θερμότητας σε βατώρες, η οποία ρέει σε 1 ώρα μέσα από στρώμα υλικού που έχει επιφάνεια 1m^2 και πάχος d (m), όταν μεταξύ των δύο επιφανειών υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας ενός βαθμού Κέλβιν και το σύστημα βρίσκεται σε μόνιμη κατάσταση. Ο συντελεστής θερμοδιαφυγής μετράται σε βατ ανά τετραγωνικό μέτρο και βαθμό Κέλβιν ($\text{W} / \text{m}^2\cdot\text{K}$).

Για ομοιογενή υλικά είναι : $\Lambda = d \lambda$ σε ($\text{W} / \text{m}^2\cdot\text{K}$)

- Αντίσταση θερμοδιαφυγής, $1/\Lambda$

Ως αντίσταση θερμοδιαφυγής ορίζεται το αντίστροφο του συντελεστή θερμοδιαφυγής. Η αντίσταση θερμοδιαφυγής μετράται σε τετραγωνικά μέτρα επί βαθμούς Κέλβιν ανά βατ ($\text{m}^2\cdot\text{K} / \text{W}$).

- Συντελεστής θερμικής μεταβίβασης, α

Ο συντελεστής θερμικής μεταβίβασης δίνει την ποσότητα της θερμότητας σε βατώρες, η οποία μεταβιβάζεται σε 1 ώρα μεταξύ στοιχείου της κατασκευής, που έχει επιφάνεια 1m^2 και του αέρα, ο οποίος βρίσκεται σε επαφή με αυτό, όταν μεταξύ τους υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας ενός βαθμού Κέλβιν και το σύστημα βρίσκεται σε μόνιμη κατάσταση. Ο συντελεστής θερμικής μεταβίβασης μετράται σε βατ ανά τετραγωνικό μέτρο και βαθμό Κέλβιν ($\text{W} / \text{m}^2\cdot\text{K}$).

- Αντίσταση θερμικής μεταβίβασης, $1/\alpha$

Ως αντίσταση θερμικής μεταβίβασης ορίζεται το αντίστροφο του συντελεστή θερμικής μεταβίβασης. Η αντίσταση θερμικής μεταβίβασης μετράται σε τετραγωνικά μέτρα επί βαθμούς Κέλβιν ανά βατ ($\text{m}^2\cdot\text{K} / \text{W}$).

- Συντελεστής θερμοπερατότητας, K

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας δίνει την ποσότητα της θερμότητας σε βατώρες, η οποία διέρχεται σε 1 ώρα μέσα από επιφάνεια 1m² της κατασκευής, όταν η διαφορά θερμοκρασίας του αέρα, που βρίσκεται στη μία και στην άλλη πλευρά της κατασκευής, είναι ένας βαθμός Κέλβιν και το σύστημα βρίσκεται σε μόνιμη κατάσταση. Ο συντελεστής θερμοπερατότητας μετράτε σε βατ ανά τετραγωνικό μέτρο και βαθμό Κέλβιν (W/ m²*K).

- Αντίσταση θερμοπερατότητας, 1/K

Ως αντίσταση θερμοπερατότητας ορίζεται το αντίστροφο του συντελεστή θερμοπερατότητας. Η αντίσταση θερμοπερατότητας μετράται σε τετραγωνικά μέτρα επί βαθμούς Κέλβιν ανά βατ (m²*K/W).

- Μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας κτηρίου, K_m

Ο μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας κτηρίου δίνεται από τη σχέση:

$$U_m = \frac{\sum_{j=1}^n A_j \cdot U_j \cdot b + \sum_{i=1}^v l_i \cdot \Psi_i \cdot b}{\sum_{j=1}^n A_j} \quad (2.1)$$

όπου είναι :

U_m ο μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας του κελύφους όλου του κτηρίου (W/ m²*K),

n το πλήθος των επί μέρους δομικών στοιχείων στο κέλυφος του κτηρίου,

v το πλήθος των θερμογέφυρων που αναπτύσσονται στα εξωτερικά ή εσωτερικά όρια κάθε επιφάνειας A_j του κελύφους,

A_j το εμβαδό επιφάνειας που καταλαμβάνει το κάθε δομικό στοιχείο στη συνολική επιφάνεια του κελύφους του κτηρίου (m²),

U_j ο συντελεστής θερμοπερατότητας του κάθε δομικού στοιχείου j του κελύφους του κτηρίου (W/ m²*K),

l_j το συνολικό μήκος του κάθε τύπου θερμογέφυρας που αναπτύσσεται στο περίβλημα του κτηρίου (m),

Ψ_j ο συντελεστής γραμμικής θερμοπερατότητας του κάθε τύπου θερμογέφυρας που αναπτύσσεται στο περίβλημα του κτηρίου (W/ m²*K),

b ο μειωτικός συντελεστής για κάθε τύπο δομικού στοιχείου.

- Ειδική θερμοχωρητικότητα, c

Η ειδική θερμοχωρητικότητα δίνει την ποσότητα της θερμότητας σε βατώρες, η οποία απαιτείται για να αυξηθεί η θερμοκρασία 1 Kg του υλικού κατά ένα βαθμό Κέλβιν. Η ειδική θερμοχωρητικότητα μετράται σε βατώρες ανά χιλιόγραμμα και βαθμό Κέλβιν ($W \cdot h / Kg \cdot K$).

- Συντελεστής θερμοχωρητικότητας, S

Ο συντελεστής θερμοχωρητικότητας δίνει την ποσότητα της θερμότητας σε βατώρες, η οποία απαιτείται για να αυξηθεί η θερμοκρασία 1 m³ του υλικού κατά ένα βαθμό Κέλβιν. Ο συντελεστής θερμοχωρητικότητας μετράται σε βατώρες ανά κυβικό μέτρο και βαθμό Κέλβιν ($W \cdot h / m^3 \cdot K$).

2.5 ΘΕΡΜΟΓΕΦΥΡΕΣ

Ένα πολύ σημαντικό κομμάτι μιας μελέτης θερμομόνωσης είναι οι θερμογέφυρες. Ως θερμογέφυρες χαρακτηρίζονται τα επί μέρους τμήματα ή σημεία του εξωτερικού κελύφους του κτιρίου, η θερμική αντίσταση των οποίων υπολείπεται σημαντικά των δομικών στοιχείων του υπόλοιπου περιβλήματος. Το πρόβλημα της θερμογέφυρας παρουσιάζεται συνήθως στις απολήξεις των πλακών, τα όρια της εξωτερικής τοιχοποιίας, τις ποδιές ανοιγμάτων, τα ανώφλια κ.ά

Οι συνέπειες των θερμογεφυρών σε ένα κτίριο είναι οι εξής :

- Απώλεια θερμότητας. Οι θερμικές απώλειες από τις θερμογέφυρες αποτελούν σημαντικό ποσοστό των ολικών απωλειών του κτηρίου, παρά το γεγονός ότι συνήθως αποτελούν ένα μικρό τμήμα του εξωτερικού κελύφους του.
- Συμπύκνωση υδρατμών. Η συμπύκνωση και υγραποίηση των υδρατμών στον εσωτερικό χώρο της περιοχής σχηματισμού θερμογέφυρας σε ένα δομικό στοιχείο, είναι το πιο συνηθισμένο αποτέλεσμα ελλιπούς θερμομόνωσης του στοιχείου αυτού. Το πρόβλημα αρχίζει, καθώς οι υδρατμοί που δημιουργούνται κατά τη χρησιμοποίηση του κτηρίου έρχονται σε επαφή (λόγω μετάδοσης της θερμότητας) με τα ψυχρότερα τμήματα του εξωτερικού κελύφους, στην περιοχή των θερμογεφυρών (λόγω ελλιπούς θερμομόνωσής τους). Κατά την επαφή αυτή, οι υδρατμοί μετατρέπονται σε νερό και τελικά σε μούχλα και επιφανειακές βλάβες.
- Επιφανειακές βλάβες. Η συμπύκνωση υδρατμών και οι ανομοιόμορφες επιφανειακές θερμοκρασίες δημιουργούν τοπική συσσώρευση της αιωρούμενης σκόνης στην εσωτερική επιφάνεια του κτηρίου. Το αποτέλεσμα είναι η εμφάνιση λεκέδων και ξεφλουδισμάτων του υφιστάμενου εσωτερικού επιχρίσματος στην περιοχή της θερμογέφυρας, το οποίο έχει σαν συνέπεια τη συνεχή ανάγκη

επισκευών και συντήρησης. Μειωμένη θερμική άνεση. Στα σημεία ή τμήματα των δομικών στοιχείων στα οποία σχηματίζονται θερμογέφυρες, λόγω της χαμηλότερης θερμοκρασίας τους, δημιουργείται μία δυσάρεστη αίσθηση ρευμάτων αέρα στον άνθρωπο (λόγω ακτινοβολίας). Το πρόβλημα γίνεται εντονότερο όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά θερμοκρασίας του εσωτερικού αέρα από την εσωτερική επιφάνεια του αμόνωτου δομικού στοιχείου.

Οι θερμογέφυρες προσαυξάνουν τις ενεργειακές απώλειες ενός κτιρίου κατά ένα ποσοστό που κυμαίνεται μεταξύ 5% και 30% .



Σχήμα 2.2: Σημάδια από υγρασία συμπύκνωσης, που είναι αποτέλεσμα ελλιπούς θερμομόνωσης του στοιχείου αυτού. Το σημείο αυτό αποτελεί θερμογέφυρα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Υπολογιστικό Μοντέλο Heat2D.exe

3.1 Η ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ Heat2D.exe

Ο σκοπός της δημιουργίας του υπολογιστικού μοντέλου Heat2D.exe είναι η εξέταση προβλημάτων που αφορούν την μετάδοση θερμότητας τόσο σε θεωρητικό όσο και σε υπολογιστικό επίπεδο. Εμπνευστής και δημιουργός του προγράμματος Heat2D.exe είναι ο κ. Γεώργιος Στρωτός. Η λειτουργία του προγράμματος κάνει χρήση διάφορων θεμελιωδών εξισώσεων της μετάδοσης θερμότητας όσο και της θερμοδυναμικής. Το πεδίο με το οποίο ασχοληθήκαμε ήταν η επίδραση της θέσης της μόνωσης και πώς αυτή απεικονίζεται σε ημιτονοειδή διαγράμματα όταν υπόκεινται σε εξωτερική θερμοκρασία.

3.2 Η ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ Heat2D.exe

Το αριθμητικό μοντέλο λύνει την εξίσωση της θερμικής αγωγιμότητας με την μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών.

$$\rho \frac{\partial (c_p T)}{\partial t} = \nabla \cdot (k \nabla T) + S_T \quad (3.1)$$

όπου S_T η εκάστοτε πηγή θερμότητας.

Η εξίσωση λύνεται σε ένα δισδιάστατο υπολογιστικό χωρίο (είτε σε επίπεδη ή σε αξονοσυμμετρική γεωμετρία) χρησιμοποιώντας δομημένο καρτεσιανό πλέγμα. Στα όρια του υπολογιστικού χωρίου, μπορούν να εφαρμοστούν διαφορετικές οριακές συνθήκες, συμπεριλαμβάνοντας τη σταθερή θερμοκρασία ή σταθερή ροή θερμότητας, καθώς και κάποιες χρονικά μεταβαλλόμενες οριακές συνθήκες όπως είναι η ηλιακή ακτινοβολία.

Το μοντέλο έχει χρησιμοποιηθεί για να λύσει πολύπλοκα προβλήματα αγωγιμότητας όπως η ροή θερμότητας σε πολυστρωματικά τοιχώματα υπό την επίδραση χρονικά μεταβαλλόμενης θερμοκρασίας και ηλιακής ακτινοβολίας, η προσομοίωση PCM (Phase Change Materials) και η προσομοίωση των πράσινων στεγών που η παρουσία φυτών περιπλέκει τους μηχανισμούς μεταφοράς θερμότητας.

Το μοντέλο μπορεί επίσης να προσομοιώσει τη συνολική θερμική συμπεριφορά ενός κτηρίου με την ταυτόχρονη επίλυση πολλών διαφορετικών τοίχων με διαφορετικό προσανατολισμό και οριακές συνθήκες, όπως επίσης και την ηλιακή

ακτινοβολία που περνά μέσα από τα ανοίγματα, τις εσωτερικές πηγές θερμότητας από τα φώτα, τους ανθρώπους και τον εξοπλισμό, τον αερισμό όπως επίσης και άλλες παραμέτρους που πρέπει να ληφθούν υπόψη για να είναι ακριβής η προσομοίωση του κτηρίου.

3.3 Η ΕΓΚΥΡΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ Heat2D.exe

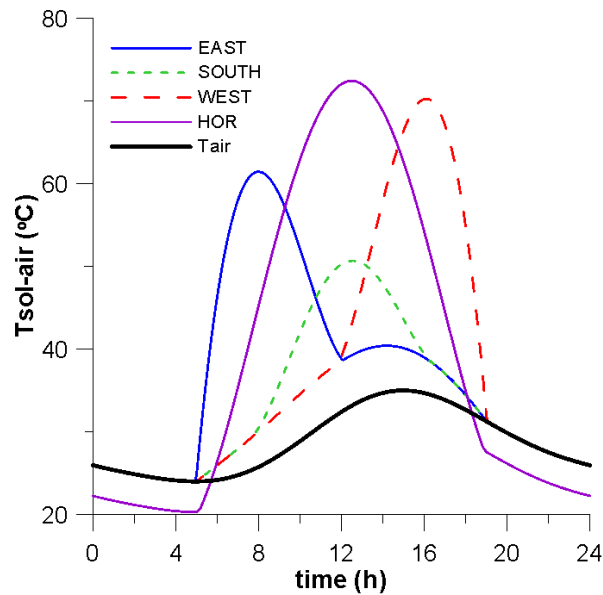
Η αξιοπιστία του μοντέλου για τοιχώματα ελέγχθηκε με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν χρησιμοποιώντας την μεθοδολογία CTF (Conduction Transfer Functions), που χρησιμοποιείται από την ASHRAE (ASHRAE 1997). Οι τοίχοι και οι οροφές που εξετάστηκαν παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα όπου οι κωδικοί (E0, E1, κτλ) αντιστοιχούν σε διαφορετικές στρώσεις σύμφωνα με τα πρότυπα της ASHRAE 1997 (Κεφάλαιο 28, Πίνακας 11).

Πίνακας 3.1: Πίνακας με πρότυπες τιμές από την ASHRAE 1997.

	Layers (inside to outside)	L (cm)	U-value	kg/m ²	kJ/m ² K
Wall No6	E0,E1,B2,C5,A1,A0	17.0	1.13	303.6	255.0
Wall No23	E0,E1,B15,C7,A2,A0	47.0	0.24	367.7	324.9
Roof No5	E0,B14,C12,E3,E2,A0	19.7	0.31	145.3	140.1
Roof No28	E0,B9,B14,E3,E2,A0	24.7	0.25	92.5	194.8

Οι τελευταίες δύο στήλες παρουσιάζουν την πυκνότητα ανά μονάδα επιφάνειας (kg/m²) και την θερμική μάζα ανά μονάδα επιφάνειας (kJ/m²K). Οι μεγάλες τιμές των μεγεθών συνήθως αντιστοιχούν σε βαριά κατασκευή.

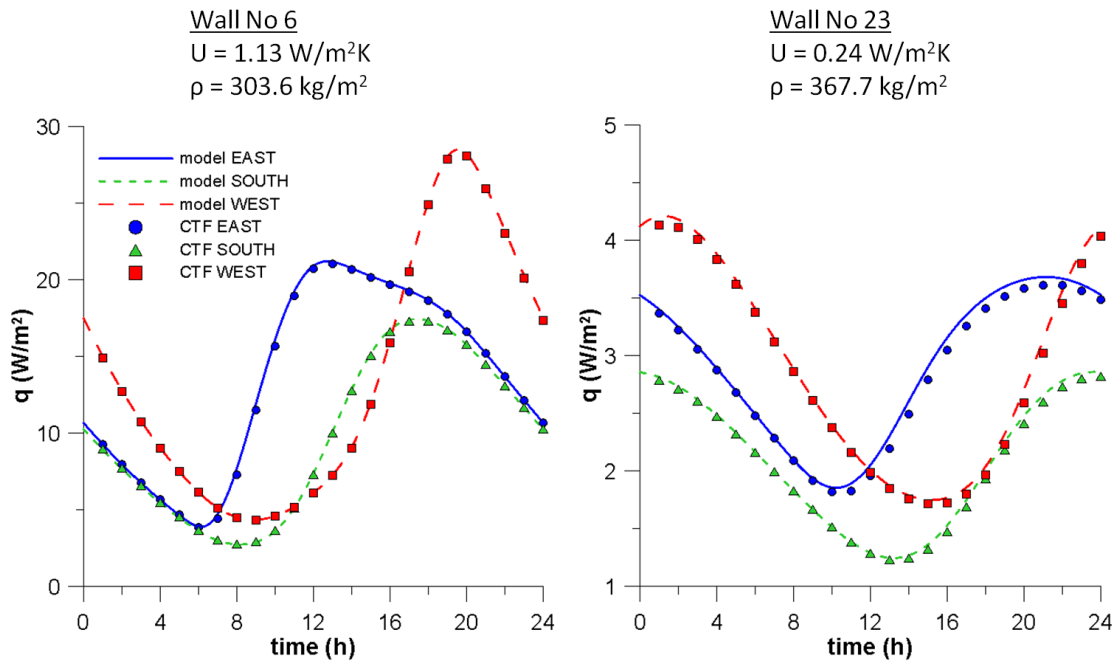
Δύο τοίχοι εξετάστηκαν (No6 και No23) σε τρεις διαφορετικούς προσανατολισμούς (Ανατολή, Νότος, Δύση). Με την υπόθεση ότι οι τοίχοι είναι βαμμένοι σε σκούρα απόχρωση, ο συντελεστής εξωτερικής μεταφοράς υπολογίστηκε ίσος με 17W/m²K. Οι περιβαλλοντικές συνθήκες επιλέχθηκαν ώστε να αντιστοιχούν στις 21 Ιουλίου σύμφωνα με τις τιμές που πρότεινε η ASHRAE, ενώ η εσωτερική θερμοκρασία ήταν σταθερή και ίση με 25°C. Η λεγόμενη «θερμοκρασία ηλίου-αέρος» (sol-air temperature, T_{sol-air}) έχει χρησιμοποιηθεί και συνδυάζει τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία και την ακτινοβολία προς τον ουρανό. Η θερμοκρασία ηλίου-αέρος στην εξωτερική επιφάνεια των τοίχων απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα όπως επίσης και η θερμοκρασία περιβάλλοντος.



Σχήμα 3.1: Θερμοκρασία ηλίου-αέρος στην εξωτερική επιφάνεια των τοίχων.

Όπως φαίνεται η ηλιακή ακτινοβολία παίζει σημαντικό ρόλο. Η θερμοκρασία του αέρα για μία επιφάνεια με ανατολικό προσανατολισμό παρουσιάζει μέγιστη τιμή στις 8:00, για μία επιφάνεια με νότιο προσανατολισμό στις 13:00 και για μία επιφάνεια με δυτικό προσανατολισμό στις 17:00. Θα πρέπει να τονιστεί ότι η θερμοκρασία ηλίου-αέρος για οριζόντιες επιφάνειες είναι χαμηλότερη από την θερμοκρασία περιβάλλοντος κατά την διάρκεια της νύχτας. Αυτό είναι χαρακτηριστικό της ανταλλαγής ακτινοβολίας με τον ουρανό.

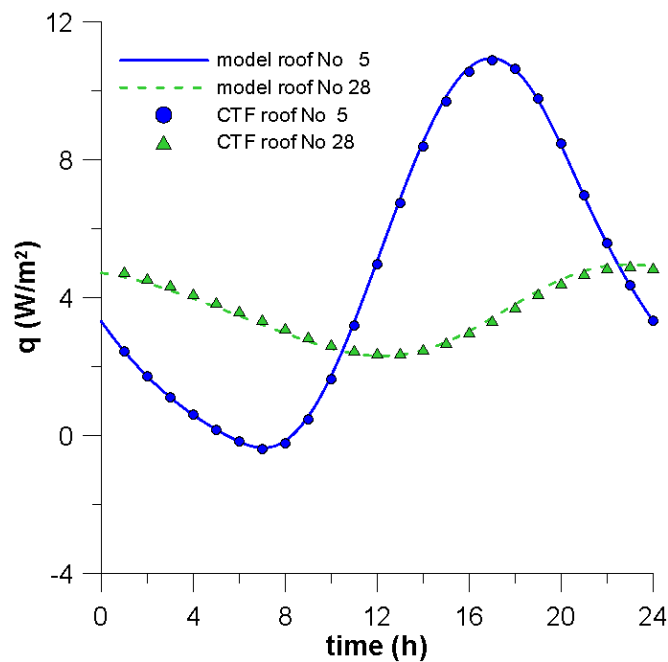
Οι προβλέψεις του μοντέλου σύμφωνα με το πρότυπο παρουσιάζονται από τα ακόλουθα διαγράμματα:



Σχήμα 3.2: Ηλιακή ακτινοβολία και η μεταβολή της θερμοκρασίας ηλίου-αέρος κατά την διάρκεια της ημέρας.

Όπως παρατηρείται, οι προβλέψεις του μοντέλου είναι πάρα πολύ κοντά με τα αποτελέσματα του προτύπου.

Για τις επίπεδες οριζόντιες στέγες, το παρόν μοντέλο έχει επικυρωθεί για δύο διαφορετικούς τύπους στεγών. Η ροή θερμότητας μέσω της εσωτερικής επιφάνειας μίας οροφής παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 3.3: Μεταβολή της ροής θερμότητας σε οριζόντιες επιφάνειες τοίχων στεγών.

Οι προβλέψεις του μοντέλου είναι πάρα πολύ κοντά με αυτές του προτύπου.

3.4 Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΤΑ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΧΡΟΝΙΑ

Παρόμοια υπολογιστικά μοντέλα με το Heat2D.exe έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία 25 χρόνια για την μελέτη και τον υπολογισμό της θερμικής αγωγιμότητας όσο και για τον υπολογισμό των θερμικών αναγκών των κτηρίων. Τα υπολογιστικά μοντέλα είναι πλέον καλά προσαρμοσμένα στις παρακάτω εφαρμογές:

- Ανάλυση των θερμογεφύρων
- Υπολογισμό της θερμικής διαπερατότητας στα κατασκευαστικά μέρη
- Εκτίμηση των επιφανειακών θερμοκρασιών που χρησιμοποιούνται για κινδύνους συμπύκνωσης της επιφάνειας
- Υπολογισμό των θερμικών απωλειών σε ένα κτήριο
- Βελτιστοποίηση του μονωτικού εξοπλισμού
- Ανάλυση συστημάτων θέρμανσης δαπέδου

Μεγάλες προσπάθειες έχουν γίνει στην βελτίωση και την ανάπτυξη ενός πιο φιλικού περιβάλλοντος για τον χρήστη. Τα δεδομένα δίνονται μέσω ενός ολοκληρωμένου συστήματος μενού. Ο χρήστης λειτουργεί με ένα πλέγμα εισόδου που διευκολύνει και ελαχιστοποιεί την διαδικασία εισαγωγής. Ο χρόνος για την δημιουργία της πλήρους εισόδου είναι μια αρκετά περίπλοκη περίπτωση, μετά από λίγες ώρες χρήσης πάνω στο πρόγραμμα, μπορεί να μειωθεί σε λιγότερο από δέκα λεπτά. Μέσω των προγραμμάτων είναι δυνατή η μεγέθυνση διάφορων γραφικών εικόνων για την εμφάνιση λεπτομερειών όπως για παράδειγμα του υπολογιστικού πλέγματος. Μπορούν επίσης να καθοριστούν οι θερμικές ιδιότητες και οι αρχικές θερμοκρασίες, οι οριακές συνθήκες μπορεί να ποικίλουν με την πάροδο του χρόνου ως περιοδικές, ως σταδιακά σταθερές ή και ως σταδιακά γραμμικές. Τα προγράμματα Δισδιάστατης θερμικής αγωγιμότητας μπορούν να χειριστούν τέτοιες εσωτερικές τροποποιήσεις όπως πηγές θερμότητας, εσωτερικά όρια της προδιαγεγραμμένης θερμοκρασίας και εσωτερικές περιοχές που περιέχουν αέρα ή θερμοκρασία μιας δεδομένης θερμοκρασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Ενεργειακή Κατανάλωση των Κτηρίων με το Υπολογιστικό Μοντέλο Heat2D.exe

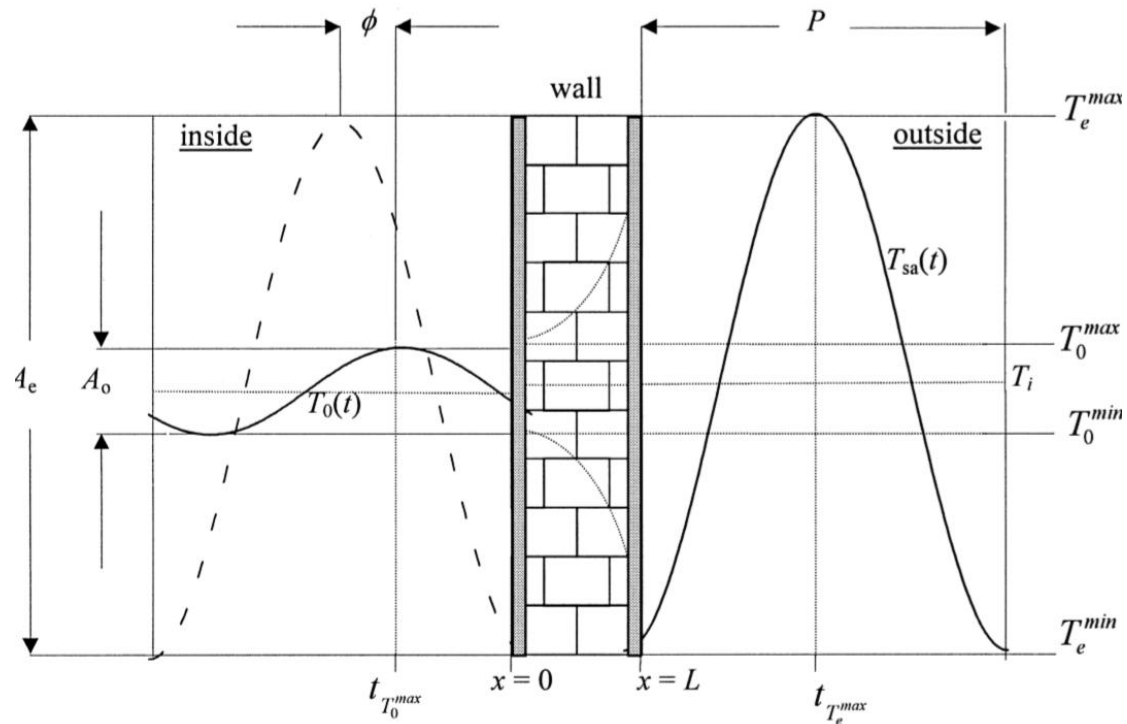
4.1 ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΙΣΜΟΙ DECREMENT FACTOR (DF) ΚΑΙ TIME LAG (LAG)

Η ενεργειακή κατανάλωση των κτηρίων αυξάνεται τρομακτικά σε αρκετές χώρες παγκοσμίως, και οι συνολικές απαιτήσεις για ενέργεια μεγαλώνουν κάθε χρόνο. Όπως γνωρίζουμε, η ροή θερμότητας που διαπερνά τους τοίχους καταλαμβάνει ένα μεγάλο μέρος της ψύξης και θέρμανσης του φορτίου ενός δωματίου. Επομένως, η θερμική συμπεριφορά των τοίχων έχει μεγάλη επίδραση στην ενεργειακή κατανάλωση και στη θερμική άνεση του δωματίου. Οι ερευνητές ελπίζουν στην μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης και στην ενίσχυση της θερμικής άνεσης του δωματίου χρησιμοποιώντας πιο αποτελεσματικούς τοίχους

Η ενεργειακή κατανάλωση των κτηρίων αυξάνεται τρομακτικά σε αρκετές χώρες παγκοσμίως, και οι συνολικές απαιτήσεις για ενέργεια μεγαλώνουν κάθε χρόνο. Όπως γνωρίζουμε, η ροή θερμότητας που διαπερνά τους τοίχους καταλαμβάνει ένα μεγάλο μέρος της ψύξης και θέρμανσης του φορτίου ενός δωματίου. Επομένως, η θερμική συμπεριφορά των τοίχων έχει μεγάλη επίδραση στην ενεργειακή κατανάλωση και στη θερμική άνεση του δωματίου. Οι ερευνητές ελπίζουν στην μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης και στην ενίσχυση της θερμικής άνεσης του δωματίου χρησιμοποιώντας πιο αποτελεσματικούς τοίχους.

Για την μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτηρίων, θα πρέπει να καταλάβουμε την θερμική συμπεριφορά του τοίχου όπως επίσης και τις επιπτώσεις του τοίχου στο εσωτερικό περιβάλλον πρώτα. Υπάρχουν δύο παράμετροι που μπορούν να εκτιμήσουν την θερμική συμπεριφορά ενός τοίχου, είναι η χρονική υστέρηση (time lag) και ο συντελεστής μείωσης (decrement factor) αντίστοιχα. **Ο χρόνος που χρειάζεται για να μεταδοθεί το κύμα της θερμοκρασίας από την εξωτερική επιφάνεια στην εσωτερική επιφάνεια ονομάζεται χρονική υστέρηση (time lag) και ο μειωμένος λόγος του πλάτους της θερμοκρασίας ονομάζεται συντελεστής μείωσης (decrement factor).** Γενικά αν η χρονική υστέρηση ενός τοίχου είναι υψηλή και ο συντελεστής μείωσης είναι χαμηλός, Οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας του εσωτερικού αέρα θα είναι μικρές και η θερμική άνεση του δωματίου θα είναι αυξημένη. Οι ερευνητές ανακάλυψαν ότι η θερμοφυσικές ιδιότητες ενός τοίχου ένα πολύ αποτέλεσμα το οποίο επηρεάζει την χρονική υστέρηση και τον συντελεστή μείωσης, όπως επίσης έχουν υπολογιστεί

διαφορετικοί χρόνοι υστέρησης και διαφορετικοί συντελεστές μείωσης για διαφορετικά υλικά.

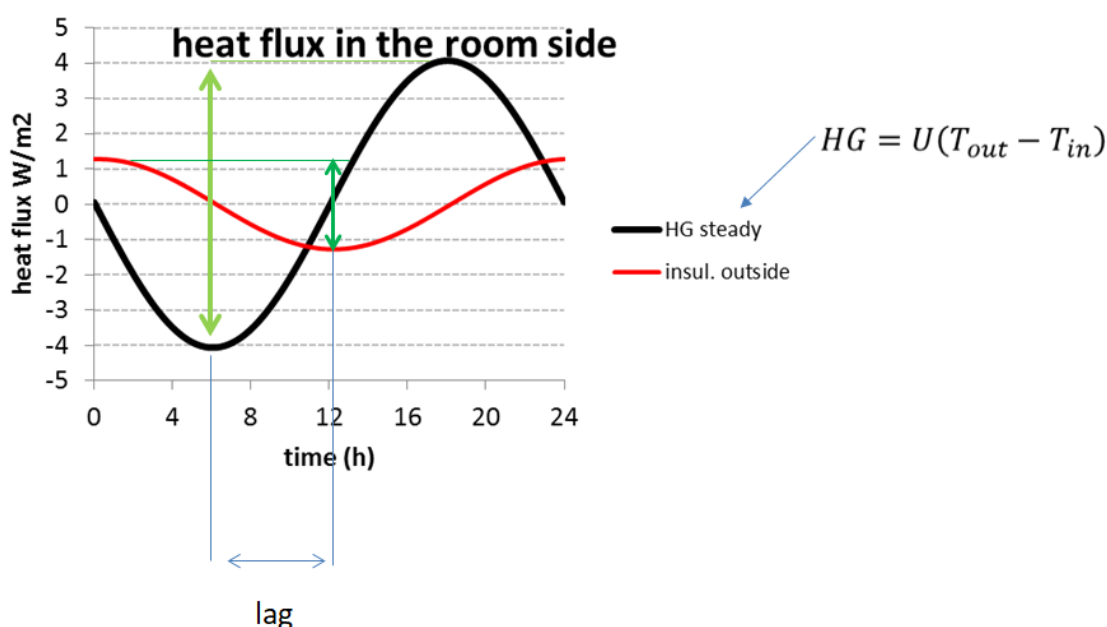


Σχήμα 4.1: Σχηματική απεικόνιση των time lag και decrement factor.

Σε προηγούμενες μελέτες, οι ερευνητές επικεντρώθηκαν κυρίως στις θερμοκρασίες του τοίχου και του δωματίου, πρότειναν την χρονική υστέρηση της θερμοκρασίας και τον συντελεστή μείωσης για την αξιολόγηση της θερμικής απόδοσης του τοίχου. Η χρονική υστέρηση και ο συντελεστής μείωσης κυρίως δείχνουν την σχέση μεταξύ της θερμοκρασίας της εξωτερικής επιφάνειας του τοίχου με την θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας του τοίχου. Ωστόσο όπως γνωρίζουμε ο τοίχος επηρεάζει την ροή θερμότητας μέσα σε ένα δωμάτιο αρχικά, και στην συνέχεια η ροή θερμότητας προκαλεί μεταβολές στην εσωτερική θερμοκρασία του αέρα. Συγκρίνοντας με την εσωτερική επιφανειακή θερμοκρασία του τοίχου, η ροή θερμότητας είναι ο ακριβής λόγος που δημιουργούνται μεταβολές στην θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα, επηρεάζει άμεσα το φορτίο ψύξης/θέρμανσης και την θερμική άνεση του δωματίου. Πρέπει να διερευνηθεί η επίδραση της ροής θερμότητας από τοίχο σε τοίχο. Στην παρακάτω μελέτη προτείνεται η ανάλυση των δύο παραμέτρων, η χρονική υστέρηση της ροής θερμότητας και ο συντελεστής μείωσης της ροής θερμότητας.

Η χρονική υστέρηση και ο συντελεστής μείωσης είναι πολύ σημαντικά χαρακτηριστικά για τον προσδιορισμό των δυνατοτήτων αποθήκευσης θερμότητας του κάθε υλικού. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, ο χρόνος που χρειάζεται για να διαδοθεί το κύμα θερμότητας από την εξωτερική επιφάνεια στην εσωτερική επιφάνεια ονομάζεται χρονική υστέρηση και ο μειωμένος λόγος του πλάτους κατά την διάρκεια αυτής της διαδικασίας ονομάζεται συντελεστής μείωσης.

Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται η ροή θερμότητας μαζί με τα μεγέθη time lag και decrement factor όπως επίσης και η εξίσωση υπολογισμού του decrement factor.



Σχήμα 4.2: Σχηματική απεικόνιση της ροής θερμότητας μέσα σε ένα δωμάτιο.

Decrement factor
$$DF = \frac{q_{max} - q_{min}}{U(T_{out,max} - T_{in}) - U(T_{out,min} - T_{in})} = \frac{q_{max} - q_{min}}{U(T_{out,max} - T_{out,min})}$$

4.2 ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ ΤΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ ΣΕ ΤΟΙΧΟ

Στην παρούσα εργασία μελετήσαμε την συμπεριφορά των μεγεθών του time lag και του decrement factor τοποθετώντας 3 διαφορετικά μεγέθη πάχους μόνωσης, σε δύο διαφορετικούς τοίχους. Τοποθετήσαμε σε τοίχο με τούβλο και σε τοίχο με απλό σκυρόδεμα τα αντίστοιχα πάχη μόνωσης 3cm, 5cm, 7cm για τα οποία αντίστοιχα κάναμε και τους απαραίτητους υπολογισμούς με το πρόγραμμα που μας παρέιχε ο επιβλέπων καθηγητής το Heat2D.exe.

Για να μπορέσουμε να βγάλουμε συγκριτικά διαγράμματα και ώστε να προκύψουν αποτελέσματα έπρεπε να κάνουμε αρκετά διαδοχικά τρεξίματα στο πρόγραμμα και κάθε φορά να αλλάζουμε την θέση της μόνωσης. Για κάθε ένα διαφορετικό πάχος μόνωσης από τα 3cm, 5cm και 7cm μετατοπίσαμε την μόνωση σε 5 διαφορετικές διαδοχικές θέσεις από την εξωτερική επιφάνεια του τοίχου μέχρι την εσωτερική (outside→inside), οι μετρήσεις έγιναν ξεχωριστά για τοίχο με τούβλο και τοίχο με απλό σκυρόδεμα.

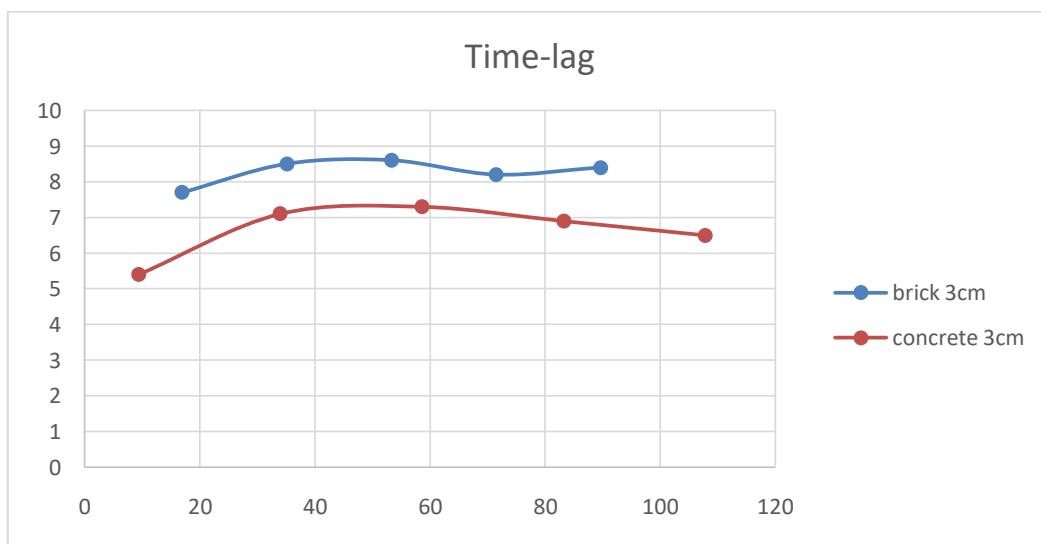
5 locations of insulation



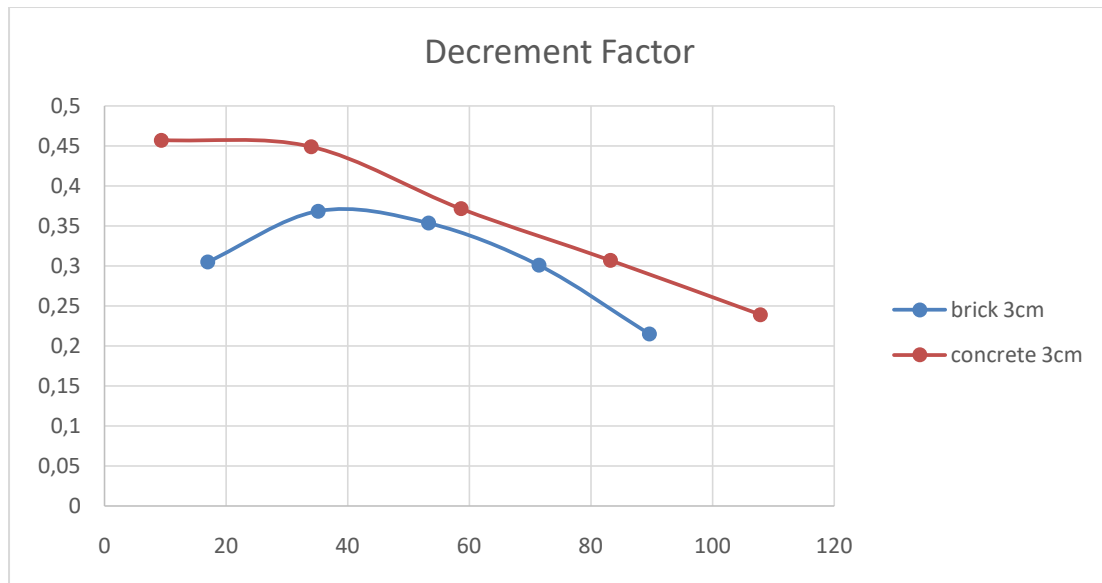
Σχήμα 4.3: Σχηματική απεικόνιση των 5 διαδοχικών θέσεων της μόνωσης.

Στις θέσεις 1,2,3,4,5 όπως φαίνεται από το παραπάνω σχήμα λάβαμε μετρήσεις για τα τρία διαφορετικά πάχη μόνωσης (3&5&7 cm) με το πρόγραμμα Heat2D.exe για τοίχο με τούβλο και τοίχο με απλό σκυρόδεμα. Στην συνέχεια υπολογίσαμε τα δύο σημαντικά μεγέθη της χρονικής υστέρησης (time lag) και του συντελεστή μείωσης (decrement factor) και τα συγκρίναμε ώστε να κατανοήσουμε την συμπεριφορά των τοίχο με βάση την θέση της μόνωσης και πως αυτή επηρεάζει.

4.3 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΓΙΑ ΠΑΧΟΣ ΜΟΝΩΣΗΣ 3CM



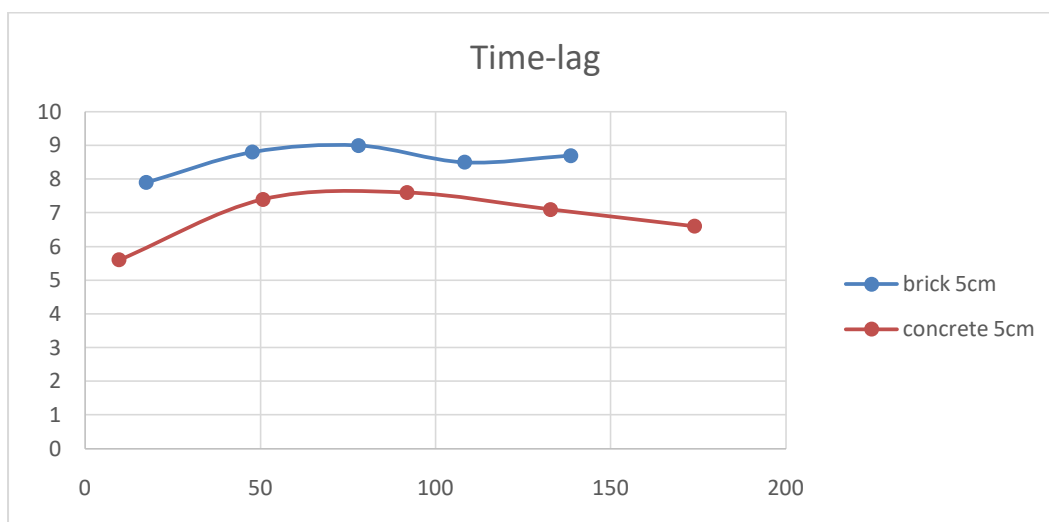
Σχήμα 4.2: Σχηματική απεικόνιση της Χρονικής υστέρησης για τα πέντε διαδοχικά σημεία μόνωσης πάχους 3cm για τοίχο με τούβλο και απλό σκυρόδεμα.



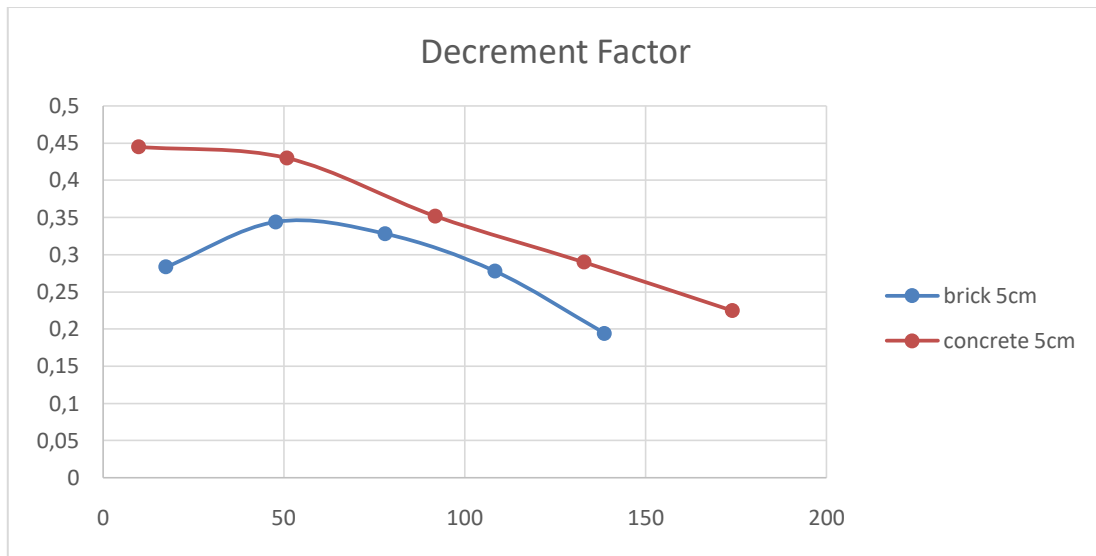
Σχήμα 4.3: Σχηματική απεικόνιση του Συντελεστή μείωσης για τα πέντε διαδοχικά σημεία μόνωσης πάχους 3cm για τοίχο με τούβλο και απλό σκυρόδεμα.

Σχόλιο: Παρατηρώντας στα παραπάνω συγκριτικά διαγράμματα ότι όσο αυξάνεται η χρονική υστέρηση (time lag) μειώνεται ο συντελεστής μείωσης (decrement factor). Αποδεικνύοντας ότι στην θέση νούμερο 3 του πάχους της μόνωσης των 3 cm είναι η ιδανική επιτυχαίνοντας μέγιστο time lag και την αρχή της ελαχιστοποίησης του decrement factor και στις δύο περιπτώσεις για τοίχο με τούβλο και απλό σκυρόδεμα.

4.4 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΓΙΑ ΠΑΧΟΣ ΜΟΝΩΣΗΣ 5CM



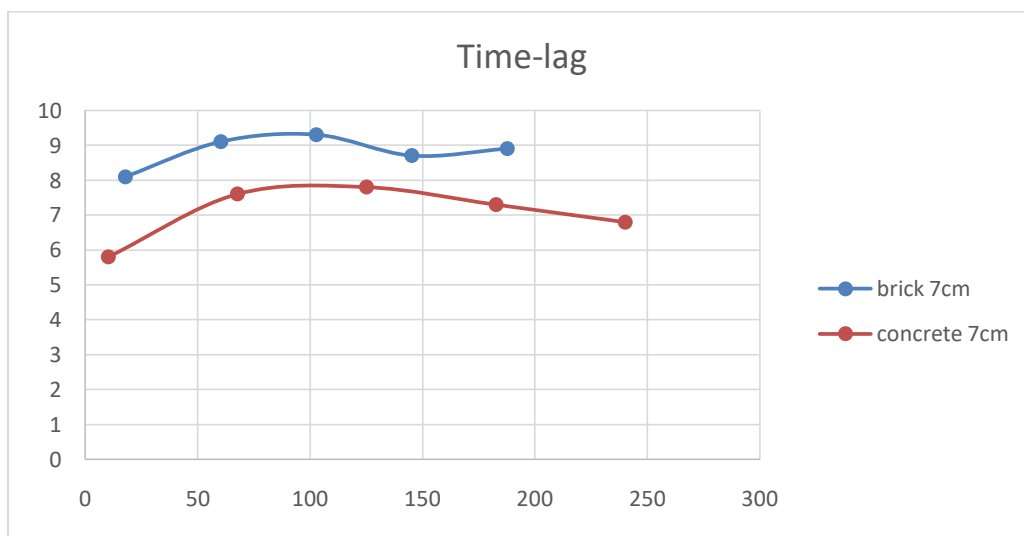
Σχήμα 4.4: Σχηματική απεικόνιση της Χρονικής υστέρησης για τα πέντε διαδοχικά σημεία μόνωσης πάχους 5cm για τοίχο με τούβλο και απλό σκυρόδεμα.



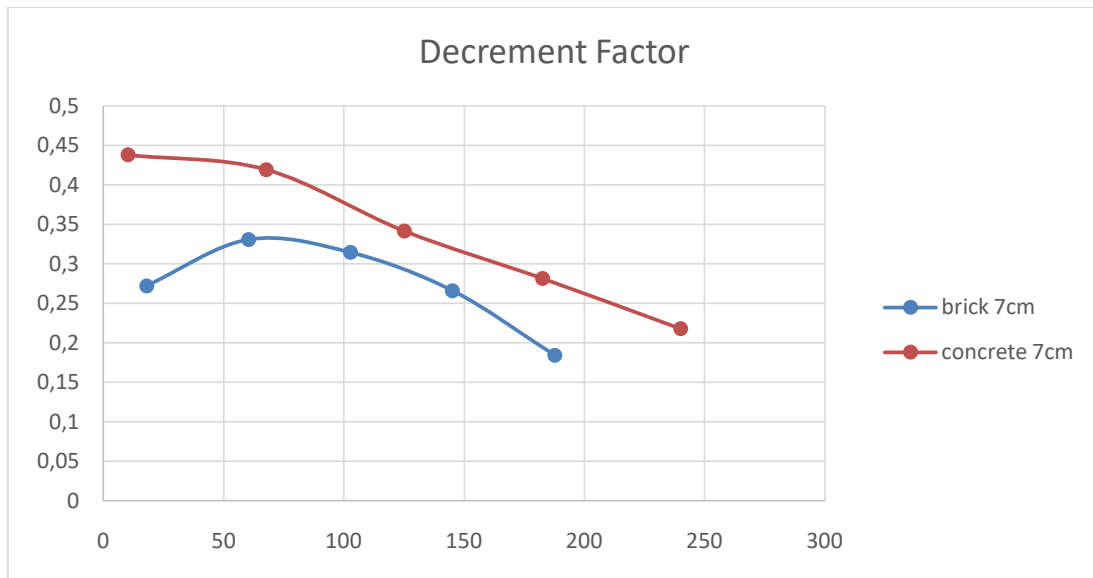
Σχήμα 4.5: Σχηματική απεικόνιση του Συντελεστή μείωσης για τα πέντε διαδοχικά σημεία μόνωσης πάχους 5cm για τοίχο με τούβλο και απλό σκυρόδεμα.

Σχόλιο: Παρατηρώντας στα παραπάνω συγκριτικά διαγράμματα ότι όσο αυξάνεται η χρονική υστέρηση (time lag) μειώνεται ο συντελεστής μείωσης (decrement factor). Αποδεικνύοντας ότι στην θέση νούμερο 3 του πάχους της μόνωσης των 5 cm είναι η ιδανική επιτυχαίνοντας μέγιστο time lag και την αρχή της ελαχιστοποίησης του decrement factor και στις δύο περιπτώσεις για τοίχο με τούβλο και απλό σκυρόδεμα.

4.5 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΓΙΑ ΠΑΧΟΣ ΜΟΝΩΣΗΣ 7CM



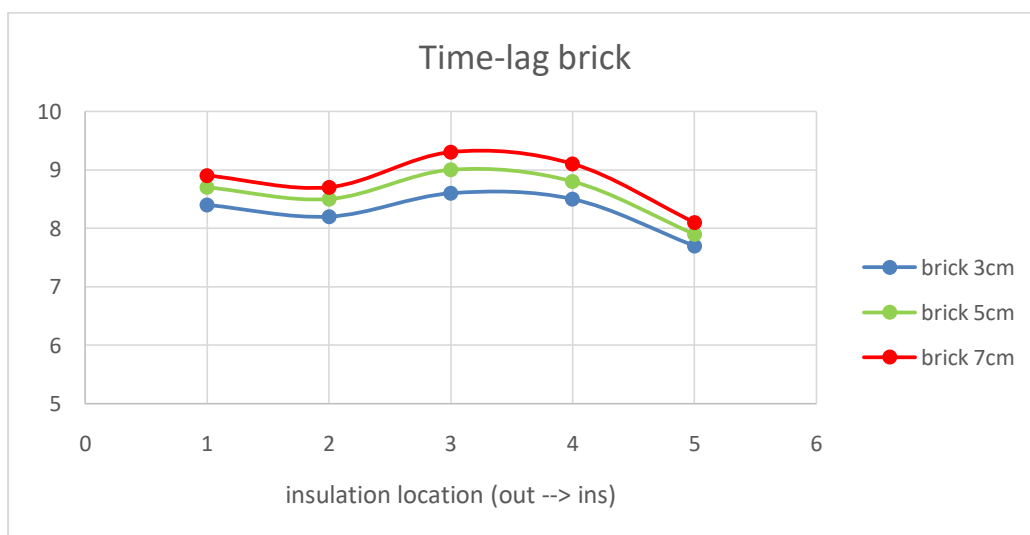
Σχήμα 4.6: Σχηματική απεικόνιση της Χρονικής υστέρησης για τα πέντε διαδοχικά σημεία μόνωσης πάχους 7cm για τοίχο με τούβλο και απλό σκυρόδεμα.



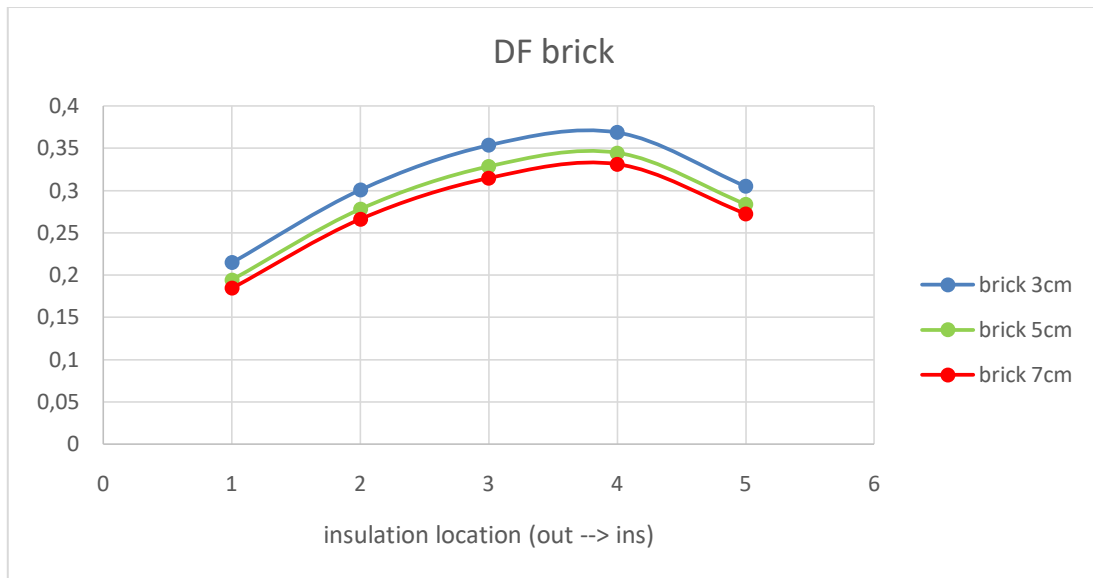
Σχήμα 4.7 Σχηματική απεικόνιση του Συντελεστή μείωσης για τα πέντε διαδοχικά σημεία μόνωσης πάχους 7cm για τοίχο με τούβλο και απλό σκυρόδεμα.

Σχόλιο: Παρατηρώντας στα παραπάνω συγκριτικά διαγράμματα ότι όσο αυξάνεται η χρονική υστέρηση (time lag) μειώνεται ο συντελεστής μείωσης (decrement factor). Αποδεικνύοντας ότι στην θέση νούμερο 3 του πάχους της μόνωσης των 7 cm είναι η ιδανική επιτυχαίνοντας μέγιστο time lag και την αρχή της ελαχιστοποίησης του decrement factor και στις δύο περιπτώσεις για τοίχο με τούβλο και απλό σκυρόδεμα.

4.6 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΓΙΑ ΠΑΧΗ ΜΟΝΩΣΗΣ 3,5,7CM

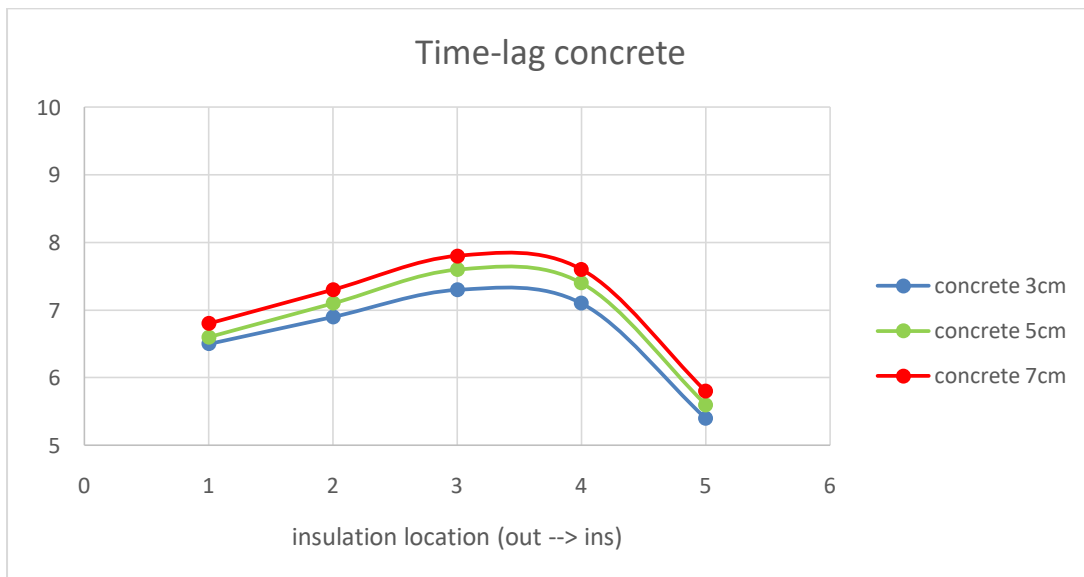


Σχήμα 4.8: Σχηματική απεικόνιση της Χρονικής υστέρησης για τα πέντε διαδοχικά σημεία μόνωσης πάχους 3,5,7cm για τοίχο με τούβλο.

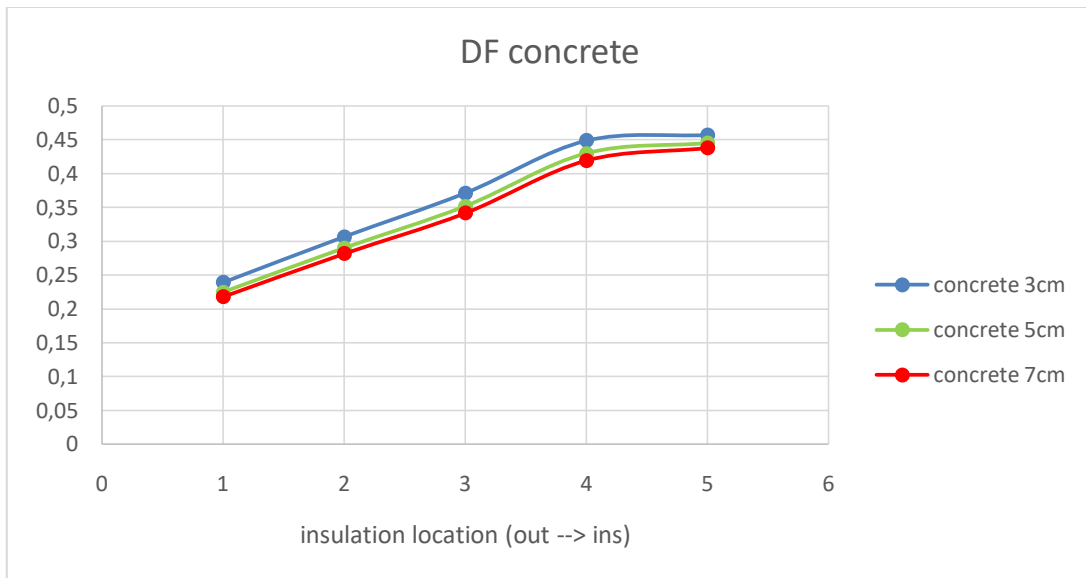


Σχήμα 4.9: Σχηματική απεικόνιση του Συντελεστή μείωσης για τα πέντε διαδοχικά σημεία μόνωσης πάχους 3,5,7cm για τοίχο με τούβλο.

Σχόλιο: Παρατηρώντας στα παραπάνω συγκριτικά διαγράμματα ότι όσο αυξάνεται η χρονική υστέρηση (time lag) μειώνεται ο συντελεστής μείωσης (decrement factor). Αποδεικνύοντας ότι στην θέση νούμερο 3 του πάχους της μόνωσης των 3,5,7 cm είναι η ιδανική επιτυχαίνοντας μέγιστο time lag ενώ η αρχή της ελαχιστοποίησης του decrement factor αρχίζει από την θέση 4 για τοίχο με τούβλο.

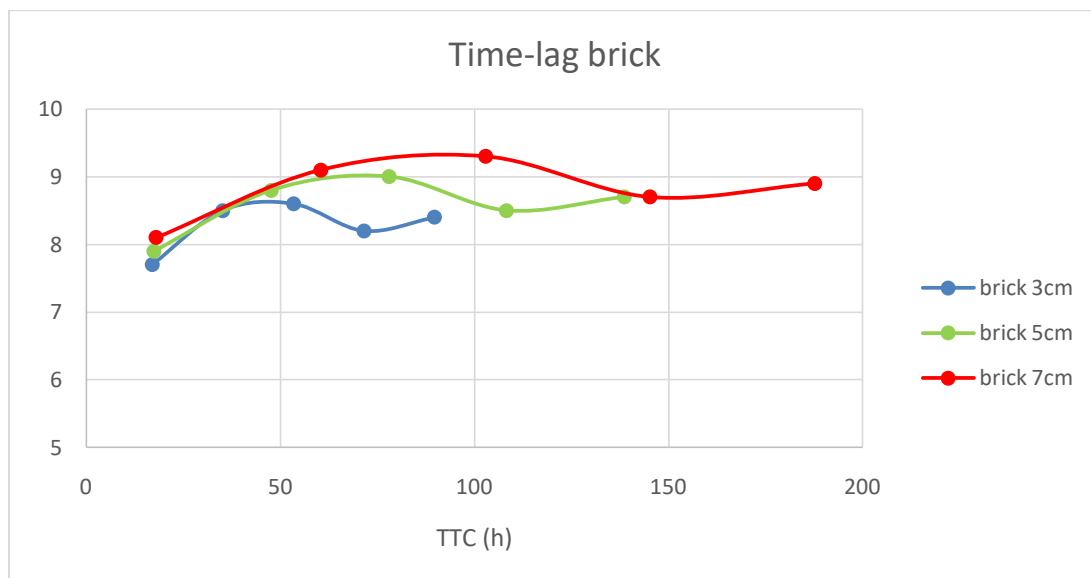


Σχήμα 4.10: Σχηματική απεικόνιση της Χρονικής υστέρησης για τα πέντε διαδοχικά σημεία μόνωσης πάχους 3,5,7cm για τοίχο με απλό σκυρόδεμα.

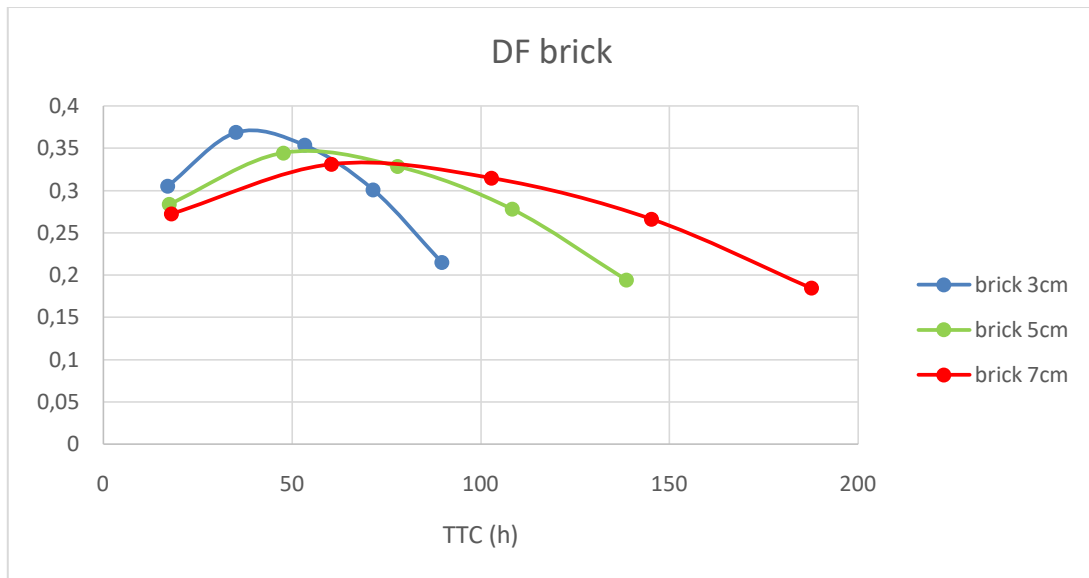


Σχήμα 4.11: Σχηματική απεικόνιση του Συντελεστή μείωσης για τα πέντε διαδοχικά σημεία μόνωσης πάχους 3,5,7cm για τοίχο με απλό σκυρόδεμα.

Σχόλιο: Παρατηρώντας στα παραπάνω συγκριτικά διαγράμματα ότι όσο αυξάνεται η χρονική υστέρηση (time lag) μειώνεται ο συντελεστής μείωσης (decrement factor). Αποδεικνύοντας ότι στην θέση νούμερο 3 του πάχους της μόνωσης των 3,5,7 cm είναι η ιδανική επιτυχαίνοντας μέγιστο time lag ενώ η ελάχιστη τιμή του decrement factor παρουσιάζεται στην θέση 1 της μόνωσης για τοίχο με απλό σκυρόδεμα.

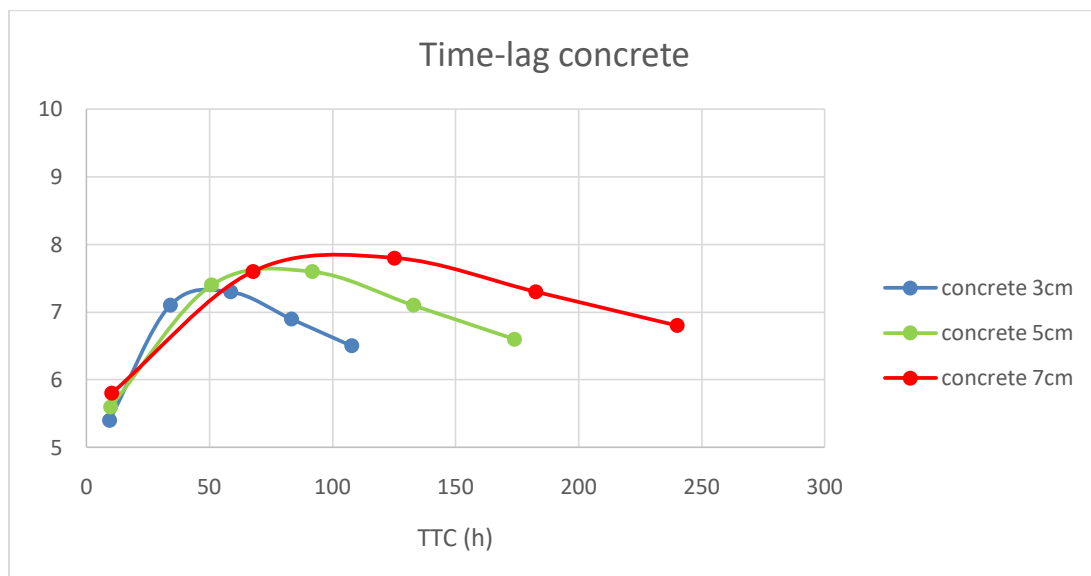


Σχήμα 4.12: Σχηματική απεικόνιση της Χρονικής υστέρησης για τα πέντε διαδοχικά σημεία μόνωσης πάχους 3,5,7cm για τοίχο με τούβλο συναρτήσει της θερμικής χρονικής σταθεράς.

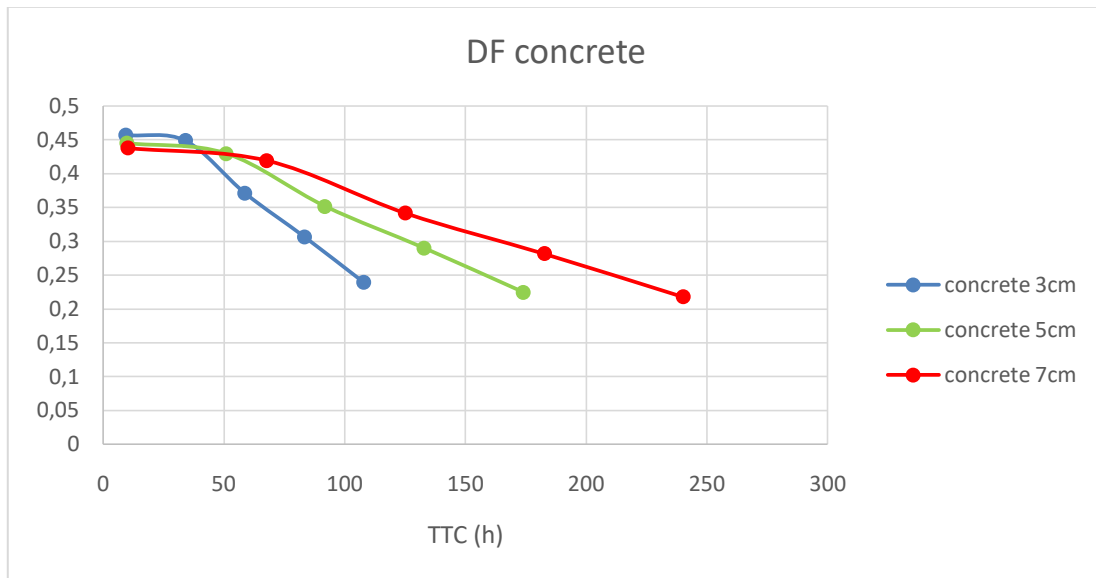


Σχήμα 4.13: Σχηματική απεικόνιση του Συντελεστή μείωσης για τα πέντε διαδοχικά σημεία μόνωσης πάχους 3,5,7cm για τοίχο με τούβλο συναρτήσει της θερμικής χρονικής σταθεράς.

Σχόλιο: Παρατηρώντας στα παραπάνω συγκριτικά διαγράμματα ότι όσο αυξάνεται η χρονική υστέρηση (time lag) μειώνεται ο συντελεστής μείωσης (decrement factor) συναρτήσει της θερμικής χρονικής σταθεράς. Αποδεικνύοντας ότι στην θέση νούμερο 3 του πάχους της μόνωσης των 3,5,7 cm είναι η ιδανική επιτυχαίνοντας μέγιστο time lag ενώ η θέση με την πιο αξιοσημείωτη πτώση του decrement factor είναι η θέση νούμερο 5.



Σχήμα 4.14: Σχηματική απεικόνιση της Χρονικής υστέρησης για τα πέντε διαδοχικά σημεία μόνωσης πάχους 3,5,7cm για τοίχο με απλό σκυρόδεμα συναρτήσει της θερμικής χρονικής σταθεράς.



Σχήμα 4.15: Σχηματική απεικόνιση του Συντελεστή μείωσης για τα πέντε διαδοχικά σημεία μόνωσης πάχους 3,5,7cm για τοίχο με απλό σκυρόδεμα συναρτήσει της θερμικής χρονικής σταθεράς.

Σχόλιο: Παρατηρώντας στα παραπάνω συγκριτικά διαγράμματα ότι όσο αυξάνεται η χρονική υστέρηση (time lag) μειώνεται ο συντελεστής μείωσης (decrement factor) συναρτήσει της θερμικής χρονικής σταθεράς. Αποδεικνύοντας ότι στην θέση νούμερο 3 του πάχους της μόνωσης των 3,5,7 cm είναι η ιδανική επιτυχαίνοντας μέγιστο time lag ενώ η θέση με την πιο αξιοσημείωτη πτώση του decrement factor είναι η θέση νούμερο 5.

Η θερμική χρονική σταθερά (Thermal Time Constant (h)) είναι μια μέτρηση του χρόνου που απαιτείται για το θερμίστορ να ανταποκριθεί σε μια αλλαγή στη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Ο τεχνική ορολογία της θερμικής χρονικής σταθεράς είναι: Ο απαιτούμενος χρόνος για ένα θερμίστορ να αλλάξει το 63,2% της συνολικής διαφοράς μεταξύ της αρχικής και της τελικής θερμοκρασίας του σώματος όταν υποβληθεί σε μια βαθμιαία αλλαγή της θερμοκρασίας, κάτω από συνθήκες μηδενικής ισχύος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Συμπεράσματα

Με την μελέτη αυτής της εργασίας έγινε κατανοητό πόσο σημαντική θα είναι η ενεργειακή κατανάλωση των κτηρίων τα επόμενα χρόνια. Έννοιες όπως η χρονική υστέρηση (time lag) και ο συντελεστής μείωσης (decrement factor) που ορίζονται για την αξιολόγηση των τοίχων, που μας βοήθησαν να κατανοήσουμε καλύτερα πως επιδρά η θέση της μόνωσης στην θερμική συμπεριφορά των τοίχων. Αυτό κατέστη δυνατό με το πρόγραμμα Heat2D.exe το οποίο δημιούργησε ο κ. Γεώργιος Στρωτός το οποίο δουλεύει σε εξαιρετικά ικανοποιητικό βαθμό τα προβλήματα που του εφαρμόσαμε. Επίσης το υπολογιστικό μοντέλο μας έφερε σε κοντινότερη επαφή με τα υπολογιστικά προγράμματα που θα χρησιμοποιήσουμε στο μέλλον ως εργαλεία ενός μηχανικού. Αυτό που πραγματικά αποκομίσαμε από την εκπόνηση της εργασίας είναι ότι η διακύμανση των ροών θερμότητας μέσω του τοίχου μπορεί να μειωθεί με την αύξηση της θερμικής ικανότητας του τοίχου, αλλά και η συνολική ροή θερμότητας κατά την διάρκεια μίας ημέρας δεν μπορεί να μειωθεί. Τέλος το συγκεκριμένο έργο μπορεί να αποτελέσει στήριγμα στο μέλλον για πιθανή μελέτη της υγρασίας στους τοίχους με σκοπό να εξεταστεί η πιθανότητα υγροποίησης.

Βιβλιογραφία

- Νίκας, Κ.Σ. (2010), Αρχές της μετάδοσης θερμότητας για μηχανικούς, Τόμος 1- Έκδοση Α
- Investigation of wall's optimum insulation position from maximum time lag and minimum decrement factor point of view. H. Asan (2000)
- Optimum location and distribution of insulation layers on building walls with various orientations M. Ozel, K. Pihtili (2007)
- Thermal performance evaluation of the wall using heat flux time lag and decrement factor Xing Jin*, Xiaosong Zhang, Yiran Cao, Geng Wang (2012).
- Πτυχιακή Εργασία : ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΕΠΙΛΥΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΩΝ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ. (Καραγεωργίου Παναγιώτης, Μηναιΐδης Κωνσταντίνος).