

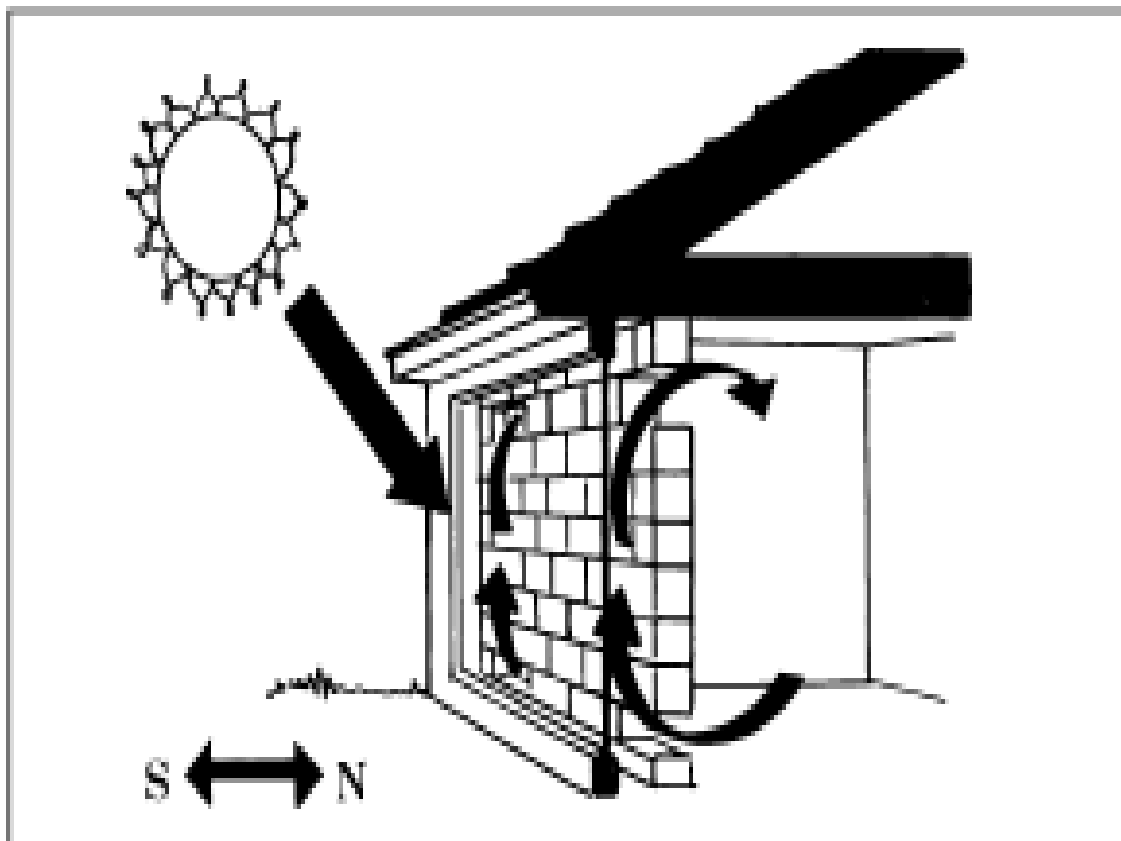
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ
ΤΟΙΧΟΥ ΤΡΟΜΒΕ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ
ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ**

επιμέλεια : ΙΩΑΝΝΗΣ ΓΙΑΝΝΑΚΟΠΟΥΛΟΣ



Σχολή : ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΜΠ

κλάδος : ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ

ΑΦΜ : 02101053

Επιβλέπων Καθηγητής : ΧΡΗΣΤΟΣ ΤΖΙΒΑΝΙΔΗΣ

Υπεύθυνος Καθηγητής : ΚΙΜΩΝ ΑΝΤΩΝΟΠΟΥΛΟΣ

Νοεμβριος 2006

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Σκοπός αυτής της Διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση της λειτουργίας ενός βασικού παθητικού ηλιακού συστήματος έμμεσου κέρδους όπως θα χαρακτηριστεί στην συνέχεια με την χρήση πεπερασμένων διαφορών θερμοκρασιών όπως έχει αναπτυχθεί με βάση τον βασικό νόμο μετάδοσης θερμότητας(Fourier). Γίνεται λοιπόν προσπάθεια τόσο με εξομοίωση συνθηκών ροής θερμότητας -εξωτερικών θερμοκρασιών –ανακυκλοφορία αέρα, αλλά και μέσω παρουσίασης παραδειγμάτων για την διαπίστωση κατά πόσο συμφέρει η χρήση ενός τέτοιου συστήματος με ιδιαίτερη βάση στην θερμική άνεση που πρέπει να υπάρχει σε κάποιο χώρο.

Παράλληλα δίνεται επίσης σημασία στην περιγραφή βασικών τρόπων αξιοποίησης ηλιακής ενεργείας κυρίως για την θέρμανση χώρων και την εμπειρική συμπεριφορά τους. Εξηγείται επίσης γιατί υπάρχει ανάγκη χρήσης τους και πως ουσιαστικά ωφελούν τέτοια συστήματα οικονομικά και περιβαλλοντικά. Η Διπλωματική αυτή Εργασία δεν έχει στόχο να εξηγήσει εις βάθος όλους τους παραμέτρους που αφορούν την λειτουργία τέτοιων συστημάτων και ειδικά του τοίχου θερμικής συσσώρευσης trombe .Τα φαινόμενα που εμφανίζονται είναι πολλά και αφορούν αρκετούς τομείς που είναι αναγκαίο κάποιος να τοποθετηθεί όπως: ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΡΕΥΣΤΩΝ ,ΘΕΡΜΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΤΙΡΙΩΝ,ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ,ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΥΛΙΚΩΝ ,ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ,ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ κ.α .

Αντίθετα χρησιμοποιεί βασικές έννοιες από όλα τα πεδία με ιδιαίτερη προσοχή στην αντιμετώπιση θερμικών φορτίων και γενικότερα στην μετάδοση θερμότητας μέσω πεπερασμένων διαφορών .Έτσι είναι δυνατόν να αντιμετωπιστούν σε πρώτη φάση κάποιες παραδοχές για μια προσεγγιστική ανάπτυξη μοντέλων που θα απεικονίζουν την λειτουργία του συστήματος αυτού αφού άλλωστε σκοπός του μηχανικού δεν είναι να είναι τελειομανής αλλά όσο πιο δυνατόν ανθρώπινα προσεγγιστικός με την πραγματικότητα. Για αυτό το λόγο γίνονται αρκετές παραδοχές για την εξαγωγή βασικών και ουσιαστικών συμπερασμάτων που αφορούν όχι μόνο τον επιστήμονα που έχει μεγαλύτερη επαφή με τα παραπάνω πεδία αλλά και για τον καταναλωτή που καλείται σε μια περίοδο ανάγκης για ενεργειακή εξοικονόμηση να βρει τρόπους που θα τον εξυπηρετούν.

Το σίγουρο είναι ότι αυτή η προσπάθεια γίνεται για να βρεθούν σύμμαχοι σε μια φιλικότερη συμπεριφορά των κατασκευών ως προς το περιβάλλον ,στην μεγάλη απεξάρτηση από τα ρυπογόνα καύσιμα που έτσι και αλλιώς δεν θα υπάρχουν για πάντα και στην στροφή στην χρησιμοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενεργείας όπως η ηλιακή ενέργεια. Ελπίζεται από τον υποφαινόμενο μελετητή να προκαλέσει και άλλους που θα βρουν ενδιαφέρον αυτό το θέμα και θα θελήσουν να ασχοληθούν με το πλήθος των παραγόντων που θα βρεθούν στην συνέχεια και θεωρείται ότι επηρεάζουν αυτήν την μελέτη.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες δίνονται σε όλους αυτούς που παρέθεσαν διαφορές μελέτες βιοκλιματικού σχεδιασμού και εμπειριών για την συγκρότηση αυτής της εργασίας καθώς και στον προπτυχιακό φοιτητή ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΟ ΜΗΧΑΝΙΚΟ ΕΜΠ Σωτήρη Τραχιώτη για τη συμβολή του στην κατασκευή των προγραμμάτων που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση της λειτουργίας μονωτικών τοίχων και στη σύγκριση με την λειτουργία του trombe.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ
ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΤΗΣ
ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

1.1.	ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ.....	3
1.2.	ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	5
1.2.1.	Εξέλιξη της αγοράς ενεργητικών ηλιακών συστημάτων.....	5
1.2.2.	Κατάσταση στην Ελλάδα και συσχέτιση με την Ευρωπαϊκή ανάπτυξη.....	6

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ
ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ
ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ

2.1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	10
2.2.	ΠΑΘΗΤΙΚΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ.....	11
2.2.1.	Αρχές παθητικής ηλιακής αρχιτεκτονικής.....	11
2.2.2.	Έννοια παθητικών ηλιακών συστημάτων.....	13
2.3.	ΣΥΝΗΘΙΣΜΕΝΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΑΘΗΤΙΚΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....	16
2.3.1.	Άμεσος κέρδος.....	16
2.3.2.	Έμμεσο κέρδος.....	27

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ
ΘΕΡΜΙΚΗ ΜΑΖΑ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ

3.1.	ΕΝΝΟΙΑ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΜΑΖΑΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ.....	35
3.2.	ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΛΙΚΩΝ.....	36
3.3.	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΜΑΖΑΣ.....	40
3.3.1.	Θερμοκρασιακή αγωγιμότητα υλικών.....	41
3.4.	ΚΥΡΙΟΤΕΡΑ ΥΛΙΚΑ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΜΑΖΑΣ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ.....	42
3.4.1.	Υλικά.....	42

3.5.	ΔΕΙΚΤΕΣ ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ.....	45
3.5.1.	Παράγοντας μείωσης.....	45
3.5.2.	Καθυστέρηση φάσης.....	46

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

ΤΟΙΧΟΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ TROMBE ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

4.1.	ΤΟΙΧΟΣ TROMBE-ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	50
4.1.1.	Λειτουργία.....	51
4.1.2.	Συνοψη λειτουργίας και συμπεράσματα.....	54
4.2.	ΔΡΑΣΗ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΑ ΣΕ ΤΟΙΧΟ TROMBE.....	55
4.3.	ΑΝΑΛΥΣΗ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΑ.....	57
4.4.	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ.....	60
4.5.	1 ^η Υπόθεση:ΧΡΗΣΗ ΤΟΙΧΟΥ TROMBE ΣΑΝ ΘΕΡΜΑΙΝΟΜΕΝΗ ΠΛΑΚΑ ΠΟΥ ΘΕΡΜΑΙΝΕΙ ΤΟΝ ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΟ ΣΤΟ ΚΕΝΟ ΑΕΡΑ.....	62
4.5.1.	Μαθηματικό μοντέλο-Εξισώσεις.....	66
4.5.2.	Παρατηρήσεις μαθηματικού μοντέλου.....	81
4.6.	ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ 1 ^{ης} ΥΠΟΘΕΣΗΣ.....	82
4.6.1.	1 ^ο παράδειγμα(Γενική περιγραφή).....	83
4.6.2.	2 ^ο παράδειγμα(Σύγκριση βελτιωμένου–Απλου Trombe).....	85
4.6.3.	3 ^ο παράδειγμα(Σύγκριση βελτιωμένου-Απλου μονωμένου τοίχου με μόνωση).....	86
4.6.4.	4 ^ο παράδειγμα(Επίδραση στην θερμοκρασία για διαφορετικά πάχη τοίχου).....	87
4.6.5.	5 ^ο παράδειγμα(Σύγκριση για διαφορετικά εμβαδα ανοιγμάτων).....	96
4.6.6.	6 ^ο παράδειγμα(Σύγκριση για διαφορετικούς αριθμούς grashoff).....	97
4.6.7.	7 ^ο παράδειγμα(Σύγκριση για διαφορετικούς αριθμούς Prandtl).....	98
4.6.8.	8 ^ο παράδειγμα(Σύγκριση για μεταβλητό διάκενο).....	100

4.6.9. 9 ^ο παράδειγμα(Συγκριση για διαφορετικα υλικά).....	102
4.7. ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΤΗΣ 1 ^{ης} ΥΠΟΘΕΣΗΣ.....	104
4.8. 2 ^η Υποθεση:ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟΝ ΑΝΕΡΧΟΜΕΝΟ ΑΕΡΑ ΜΕ ΤΗ ΘΕΩΡΙΑ ΠΕΡΙ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ.....	106
4.8.1. Μαθηματικο μοντέλο-Εξισώσεις.....	106
4.8.2. Δραση απωλειών πίεσης.....	111
4.8.3. Παρατηρήσεις Μαθηματικου μοντέλου.....	115
4.9. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ 2 ^{ης} ΥΠΟΘΕΣΗΣ.....	117
4.9.1. 1 ^ο παραδειγμα(γενικη περιγραφη).....	117
4.9.2. 2 ^ο παράδειγμα(συγκριση με διαφορετικα μήκη κενού).....	119
4.9.3. 3 ^ο παράδειγμα(επίδραση εμβαδου ανοίγματος).....	122
4.9.4. 4 ^ο παράδειγμα(επίδραση πάχους).....	124
4.10. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	126
4.11. ΘΕΜΑΤΑ ΓΙΑ ΜΕΛΕΤΗ-ΒΕΛΤΙΩΣΗ.....	128
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	132
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	134
A)Πρόγραμμα για την χρήση trombe σαν θερμαινόμενη πλάκα(trombemode1.mat).....	134
B)Πρόγραμμα για Βελτιωμενο μοντέλο(trombemode2.mat).....	143
Γ)Πρόγραμμα για χρήση θεωρίας περί ελευθερης συναγωγής στο κενό (trombemode3.mat).....	144

1^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΤΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

1.1. ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ

Ο κύριος παράγοντας που ορίζει ουσιαστικά τη μελέτη μας είναι η κατάλληλη και ορθή χρήση της ηλιακής ενέργειας .Αν αξιοποιηθεί σε μέγιστο βαθμό μπορεί να αποτελέσει ένα σημαντικό όπλο ενάντια στην σπατάλη χρήση μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και κυρίως ρυπογόνων καυσίμων που χρόνια τώρα ζημιώνουν το περιβάλλον.

Σαν ένα απλό ορισμό της ηλιακής ενεργείας

Είναι η ενέργεια που προέρχεται από τον ήλιο και αξιοποιείται μέσω τεχνολογιών που εκμεταλλεύονται τη θερμική και ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία του ήλιου με χρήση μηχανικών μέσων για τη συλλογή, αποθήκευση και διανομή της.

Συμφωνά με το ΚΑΠΕ η Ελλάδα σαν χώρα με μεγάλη ηλιοφάνεια προσφέρεται για τη χρήση ηλιακής ενέργειας καθώς η μέση ημερήσια ενέργεια που δίνεται από τον ήλιο στην Ελλάδα είναι της τάξης των 4,6 kWh/m². Η ηλιακή ενέργεια είναι καθαρή, ανεξάντλητη, ήπια και ανανεώσιμη. Η ηλιακή ακτινοβολία δεν ελέγχεται από κανέναν και αποτελεί ένα ανεξάντλητο εγχώριο ενεργειακό πόρο, που παρέχει ανεξαρτησία, προβλεψιμότητα και ασφάλεια στην ενεργειακή τροφοδοσία.

Υπάρχουν δύο τρόποι για να αξιοποιήσει κανείς την ηλιακή ενέργεια.

1) Παράγοντας ηλιακό ηλεκτρισμό μέσω των **φωτοβολταϊκών** συστημάτων.

2) Αξιοποιώντας την ηλιακή ενέργεια για θέρμανση, ψύξη και ζεστό νερό με τα ηλιοθερμικά συστήματα.

Οι κύριοι λόγοι που κάποιος θα ήταν προτιμότερο να χρησιμοποιήσει ηλιακή ενέργεια είναι

Αξιοπιστία

Είναι μια ώριμη και δοκιμασμένη τεχνολογία.

Αποκέντρωση

Η θερμική ενέργεια παράγεται στα σημεία ζήτησής της. Αποφεύγονται έτσι οι τεράστιες απώλειες μεταφοράς ενέργειας μέσω του ηλεκτρικού δικτύου (που στην Ελλάδα φτάνουν κατά μέσο όρο το 12%).

Αυτονομία

Αποτρέπονται οι τεράστιες δαπάνες για εισαγωγή ενέργειας και η ανασφάλεια λόγω εξάρτησης από εισαγόμενους ενεργειακούς πόρους. Το 70% των ενεργειακών πόρων που καταναλώνει, τη στιγμή που ο ήλιος είναι δωρεάν και υπάρχει παντού.

Ανάπτυξη

Η ενίσχυση της εγχώριας αγοράς θα αυξήσει την ποιότητα των ελληνικών προϊόντων προκειμένου να αντιμετωπίσουν το ανταγωνιστικότερο περιβάλλον των εξαγωγών.

Θέσεις εργασίας

Ήδη πάνω από 3.500 άτομα απασχολούνται στη βιομηχανία ηλιοθερμικών συστημάτων στην Ελλάδα. Η περαιτέρω ανάπτυξη της αγοράς συνεπάγεται νέες θέσεις εργασίας σε μια καθαρή τεχνολογία.

Ευκολία

Η τοποθέτηση ενός ηλιακού συλλέκτη είναι απλή. Η δε συντήρηση που απαιτεί είναι ελάχιστη.

Εξοικονόμηση χρημάτων

Για τον απλό καταναλωτή, ο ηλιακός θερμοσίφωνας είναι η πιο απλή και συμφέρουσα λύση για να περικόψει τους λογαριασμούς ρεύματος. Το μέσο ετήσιο κέρδος του μπορεί να φτάσει έως 100 ευρώ περίπου.

Εξοικονόμηση ενέργειας

Για την Ελλάδα, η εξοικονόμηση που ήδη συντελείται είναι πολύ σημαντική. Οι εγκατεστημένοι ηλιακοί θερμοσίφωνες εξοικονομούν ήδη 1,1 δισεκατομμύρια κιλοβατώρες το χρόνο, όση ενέργεια παράγει δηλαδή ένας συμβατικός σταθμός ηλεκτροπαραγωγής, ισχύος 200 MW. Χωρίς τους ηλιακούς θερμοσίφωνες θα υπήρχε ένα σημαντικό έλλειμμα ισχύος, ιδιαίτερα στα απομονωμένα ηλεκτρικά δίκτυα των νησιών που θα αντιμετώπιζαν έτσι συχνές διακοπές ρεύματος, ιδίως κατά την καλοκαιρινή τουριστική περίοδο.

Προστασία περιβάλλοντος

Αποτρέπεται η έκλυση μεγάλων ποσοτήτων ρύπων που επιβαρύνουν το περιβάλλον και τη δημόσια υγεία.

Κλιματικές αλλαγές

Αποτρέπεται η κατανάλωση ενέργειας από ορυκτά καύσιμα και κατά συνέπεια οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) που προκαλούν τις παγκόσμιες κλιματικές αλλαγές. Ένα τυπικό θερμοσιφωνικό σύστημα για οικιακή χρήση παράγει στην Ελλάδα ετησίως 840-1.080 KWh και αποσοβεί την έκλυση 925-1.200 kg CO₂ το χρόνο, όσο δηλαδή θα απορροφούσε 1,5 στρέμμα δάσους.

1.2. ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Η χρήση της ηλιακής ενεργείας στην Ελλάδα αφορά κυρίως τα ενεργητικά συστήματα όπως είναι τα φωτοβολταϊκά συστήματα που αναφέρθηκαν παραπάνω. Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα είναι αυτά που συλλέγουν ηλιακή ακτινοβολία και τη μετατρέπουν σε θερμότητα που χρησιμοποιείται άμεσα για θέρμανση κάποιου μέσου όπως είναι το νερό, ο αέρας ή κάποιο άλλο ρευστό. Η τεχνολογία που εφαρμόζεται είναι πολύ απλή και συναντιούνται πολλές διαφορετικές εκδοχές της. Η πιο συνηθισμένη χρήση αυτών των

συστημάτων είναι για τη θέρμανση νερού οικιακής χρήσης που είναι γνωστά σαν ηλιακοί θερμαστές νερού. Σημαντικές εξελίξεις έχουμε σε όλες τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης .

1.2.1. Εξέλιξη της αγοράς ενεργητικών ηλιακών συστημάτων

Την περίοδο 1990-2001, η μέση ετήσια αύξηση της ευρωπαϊκής αγοράς ηλιοθερμικών συστημάτων ήταν 13,6%. Κάθε χρόνο, στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) εγκαθίστανται πάνω από 1 εκατ. τετραγωνικά μέτρα συλλεκτών, ενώ τα συνολικά εγκατεστημένα συστήματα (επίπεδοι συλλέκτες με κάλυμα) ανέρχονται σε 11 εκατ. τετραγωνικά μέτρα περίπου. Αν μάλιστα προσθέσει κανείς και τα μικρότερα μερίδια των συλλεκτών με σωλήνες κενού και τους συλλέκτες χωρίς κάλυμα, τότε φτάνει στα 12,8 τετραγωνικά μέτρα (m²) ηλιακών συλλεκτών ή αλλιώς σε 34 ανά 1.000 ευρωπαίους (σχήμα 1.1).

Οι αριθμοί όμως δεν λένε πάντα όλη την αλήθεια ή δεν αποκαλύπτουν όλες τις διαστάσεις της. Η εντυπωσιακή κατά τ' άλλα αύξηση των ηλιακών συλλεκτών είναι απόρροια κυρίως της δυναμικής ανάπτυξης που γνώρισαν τρεις χώρες:

Η Γερμανία, η Αυστρία και η Ελλάδα. Η Γερμανία π.χ. είχε εγκατεστημένα 4,4 εκατ. τετραγωνικά μέτρα συλλεκτών στα τέλη του 2002, ενώ η Ελλάδα είχε κάτι λιγότερο από 3 εκατ. τετραγωνικά μέτρα συλλεκτών (με ποσοστό διείσδυσης περί το 30% και τον υψηλότερο δείκτη χρήσης ηλιακών ανά κάτοικο, περίπου 265 m² ανά 1.000 κατοίκους), ενώ η Αυστρία με περίπου 2,5 εκατ. τετραγωνικά μέτρα συλλεκτών αποτελεί πια τη δεύτερη αγορά στην ΕΕ με βάση τις ετήσιες εγχώριες πωλήσεις συστημάτων. Η εντυπωσιακή ανάπτυξη στη Γερμανία και την Αυστρία είναι απόρροια κυρίως των ισχυρών κινήτρων που δίνονται από πλευράς κυβερνήσεων. (125 € ανά m² στη Γερμανία, 1.100 € ανά σύστημα συν 100-140 € ανά m² στην Άνω Αυστρία). Η πρόσφατη άρση των φοροαπαλλαγών για εγκατάσταση ηλιακών συστημάτων σε κατοικίες, αποτελεί πλήγμα για την ελληνική αγορά ηλιοθερμικών συστημάτων. Στις υπόλοιπες ευρωπαϊκές χώρες, τα εγκατεστημένα συστήματα είναι σχετικά λίγα, κάποιες όμως αρχίζουν σιγά-σιγά να ξυπνούν από τον επενδυτικό λήθαργο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα η Ισπανία, όπου το λεγόμενο “μοντέλο της Βαρκελώνης” απογειώνει την αγορά. Στη Βαρκελώνη (και σύντομα και σε άλλες ισπανικές πόλεις), η νομοθεσία επιβάλλει τη χρήση ηλιακών συστημάτων σε νέα κτίρια καθώς και σε μεγάλα κτίρια στη φάση της ανακαίνισης, ενώ δίνεται και επιδότηση 210 € ανά τετραγωνικό μέτρο συλλέκτη.

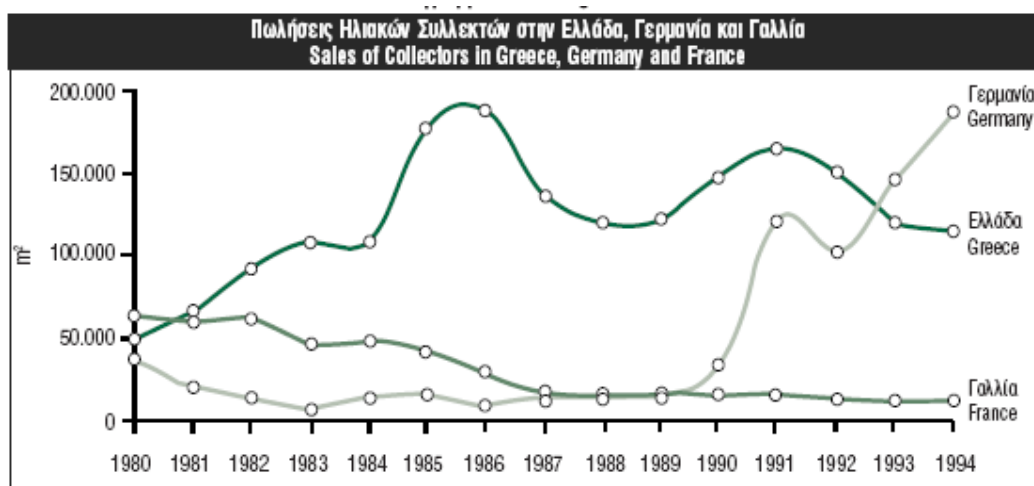


Σχήμα 1.1: Τυπική διάταξη επιπέδων ηλιακών συλλεκτών υπό κλιση

1.2.2. Κατάσταση στην Ελλάδα και συσχέτιση με την Ευρωπαϊκή ανάπτυξη

Η συνολική επιφάνεια τέτοιων συστημάτων σε χρήση στην Ελλάδα είναι περίπου 2.800.000 m²(μέχρι το 2001). Σύμφωνα με αυτά τα στοιχεία του ΚΑΠΕ περισσότερο από 1.000.000 ελληνικά νοικοκυριά καλύπτουν σχεδόν το 80% των ετησίων αναγκών τους για ζεστό νερό με ηλιακά συστήματα θέρμανσης νερού. Η αποτελεσματικότητα και η ποιότητα των ηλιακών συλλεκτών έχουν γενικά βελτιωθεί τα τελευταία χρόνια. Η Ελλάδα είναι η μεγαλύτερη εξαγωγέας ηλιακών θερμαντήρων στην Ευρώπη ακόμα και σε χώρες με μακριά βιομηχανική παράδοση όπως είναι η Γερμανία. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι η αγορά ενεργητικών ηλιακών συστημάτων και ειδικά αυτή των χαμηλής θερμοκρασίας είναι αρκετά μεγάλη παγκοσμίως και έχει αυξητικές τάσεις λόγω των προσφάτων διακυρηχών (Κυοτο) (σχήμα 1.2.2).

Η ηλιοθερμική βιομηχανία στην Ευρωπαϊκή Ένωση απασχολεί 16300 άτομα ενώ από αυτά τα 3000 στην Ελλάδα κάτι που δείχνει πόσο σημαντικός είναι ο ρόλος στην Ευρωπαϊκή τεχνολογική εξέλιξη και ανάπτυξη. Οι αριθμοί αυτοί μπορούν να πολλαπλασιαστούν αν υλοποιηθούν σε μεγάλο βαθμό οι απαιτήσεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τις ΑΠΕ (Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας) η οποία προβλέπει την εγκατάσταση 100.000.000 m² συλλεκτών έως το 2010. Εκτιμάται ακόμα ότι θα μπορεί να παράγεται ένα ποσό της τάξης των 682 Twh ετησίως κάτι που ισοδυναμεί με το 6% της τελικής ενεργειακής κατανάλωσης στην ΕΕ ή το 30% των εισαγωγών πετρελαίου της ΕΕ από τη μέση Ανατολή. Ο στόχος που έχει τεθεί για την Ελλάδα είναι η εγκατάσταση περίπου 10.000.000 m² συλλεκτών έως και το 2015 (περιλαμβανομένων και των συστημάτων για θέρμανση και κλιματισμό). Οι προσπάθειες τεχνολογικής εξέλιξης συλλεκτών γίνεται κυρίως σε αυτούς των χαμηλών θερμοκρασιών που εστιάζονται στην ανάπτυξη επιλεκτικών απορροφητικών επιφανειών χαμηλού κόστους καθώς και στην ανάπτυξη συλλεκτών χαμηλής ροής. Παρακάτω θα εξηγηθούν βασικές μορφές ενεργητικών ηλιακών συστημάτων όπως οι θερμαντήρες νερού.



Πηγή: Ένωση Βιομηχανιών Ηλιακής Ενέργειας (ΕΒΗΕ) Source: Greek Solar Industry Association (GSIA)

Σχήμα 1.2 :διάγραμμα πωλησεων ηλιακών συλλεκτών σε διαφορές χώρες της Ευρωπαϊκής ενωσης μέχρι και το 1994

Μια τυπική διάταξη τέτοιου θερμαντήρα νερού αποτελείται από ηλιακούς επιπέδους συλλέκτες ,ένα δοχείο αποθήκευσης θερμού νερού και σωληνώσεις.Η ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται από το συλλέκτη .Το μέσο που κυκλοφορεί θερμαίνεται και μεταφέρεται στο δοχείο αποθήκευσης .Οι ηλιακοί συλλέκτες συνήθως τοποθετούνται στην οροφή του κτιρίου αντικρίζοντας το νότο με μια κλίση $30-60^\circ$ για τη μεγιστοποίηση της συλλογής ηλιακής ακτινοβολίας σε ετήσια βάση.Εκτος από την οικιακή χρήση που είναι και η πιο συνηθισμένη τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν οπουδήποτε χρειάζεται θερμότητα αλλά οι επιτεύξιμες θερμοκρασίες δεν φτάνουν σε μεγάλες τιμες.Παράλληλα η χρήση της ηλιακής ενέργειας για την παραγωγή ψύξης η για κλιματισμό κτηρίων φαίνεται σαν μια από τις πιο υποσχόμενες προοπτικές εξαιτίας της αυξημένης ηλιακής ακτινοβολίας ακριβώς την εποχή που η απαιτήσεις για κλιματισμό είναι μεγαλύτερες.Υπαρχουν ήδη κάποιες τέτοιες εφαρμοσμένες τεχνολογίες στην Ελλάδα και αναμένεται να αναπτυχθούν ραγδαίως.

Άλλη μια τεχνική εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας που έχει απλωθεί στην Ευρώπη τα τελευταία χρόνια είναι η συνδυασμένη χρήση θερμού νερού και θέρμανσης αερα.Η χρήση τέτοιων συστημάτων βασισμένη στις Ελληνικές κλιματολογικές συνθήκες για τη θέρμανση κτηρίων θεωρείται ότι μπορεί να είναι τεχνολογικά και οικονομικά κερδοφόρα .Ειδικά αν συνδυάζεται με κατάλληλη σχεδίαση και κατασκευή του κτιρίου (ύπαρξη καλής μόνωσης ,χρήση παθητικού ηλιακού κέρδους κ.α)Ένα σημαντικό κομμάτι της συμβατικής ενέργειας μπορεί να εξοικονομηθεί σε καινούρια και παλιά κτήρια όπου όλα τα κατάλληλα μέτρα θα έχουν παρθεί για την ελαχιστοποίηση των απωλειών και την μεγιστοποίηση της αποτελεσματικότητας της κατασκευής.

Έτσι είναι σημαντικό πλέον να αναφέρουμε τα παθητικά ηλιακά συστήματα που έχουν άμεση σχέση με τον εργονομικό σχεδιασμό των κτηρίων για την εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας.

2^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Ο παράγοντας κτήριο είναι υπεύθυνος για το 40% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας σε εθνικό επίπεδο. Αυτή η κατανάλωση είτε σε μορφή θερμότητας (με χρήση πετρελαίου) είτε ηλεκτρική ενέργεια εκτός του ότι είναι ένα σημαντικό οικονομικό βάρος (τεράστιο κόστος) συντελεί άμεσα στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) που είναι υπεύθυνο για το φαινόμενο του θερμοκηπίου παράγεται σε μεγάλες ποσότητες από την κατανάλωση ενέργειας με συμβατικά μέσα και συμφωνά με την δέσμευση της συνδιασκευσης του Ρίο πρέπει να μειωθεί με τρόπους φιλικότερους στο περιβάλλον.

Η μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης στα κτήρια μπορεί να επιτευχθεί με απλές μεθόδους και τεχνικές χρησιμοποιώντας μια κατάλληλη σχεδίαση (βιοκλιματική αρχιτεκτονική) και έξυπνα ενεργειακά συστήματα όπως τα ηλιακά παθητικά συστήματα. Στην Ελλάδα υπάρχουν μεγάλα περιθώρια ανάπτυξης. Ο κτιριακός τομέας στην Ελλάδα απαριθμεί περίπου 3.500.000 κτίρια (στοιχεία 1988, Εθνική Στατιστική Υπηρεσία). Απ' αυτά μόλις το 3% οικοδομήθηκε μετά το 1981 που ίσχυε ο Κανονισμός Θερμομόνωσης.

Από τα στοιχεία αυτά συνεπάγεται αφ' ενός ότι υπάρχει μεγάλη δυνατότητα μείωσης της καταναλισκόμενης ενέργειας σε θέρμανση και ψύξη και αφ' ετέρου συνεπάγεται ότι ο ρυθμός επιβεβλημένης αντικατάστασης ή ανακαίνισης του κτιριακού αποθέματος αυξάνεται. Με τη συμβολή των παθητικών ηλιακών συστημάτων θεωρείται εφικτή η εξοικονόμηση θερμικής ενέργειας σε ποσοστό 10% σε εθνικό επίπεδο μέχρι το 2010, η οποία αντιστοιχεί σε εξοικονόμηση 35 εκ ΤΙΠ(τόνους πετρελαίου) συμβατικών καυσίμων υπό την προϋπόθεση ότι οι θερμικές ανάγκες στο οικιακό και στον τριτογενή τομέα θα παραμείνουν σταθερές.

Οι εκτιμήσεις και οι προβλέψεις για την Ελλάδα αναφέρουν ότι σε όλη την περίοδο μέχρι το 2020 το μερίδιο του οικιακού και του τριτογενή τομέα στην τελική ζήτηση ενέργειας θα παραμείνει σταθερό (36-37% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης της χώρας) αλλά σε απόλυτα μεγέθη η κατανάλωση ενέργειας θα αυξάνει σημαντικά (1995-2010 κατά 50%, 1995-2020 κατά 85%). Ένα σημαντικό βήμα για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας μέσω παθητικών ηλιακών συστημάτων είναι η κοινή υπουργική απόφαση ΦΕΚ(880/Β/19-8-98) για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων όπου προωθούνται μέτρα που συμβάλλουν στην αξιοποίηση των περιβαλλοντικών πηγών κατά την ορθολογική χρήση για την εξοικονόμηση ενέργειας.

Γιατί υπάρχει μικρή ανάπτυξη στη χρήση παθητικών συστημάτων

Ενώ το δυναμικό των παθητικών συστημάτων θέρμανσης και ψύξης είναι πολύ μεγάλο, οι εφαρμογές στην Ελλάδα είναι πολύ λίγες. **Μέχρι σήμερα αριθμούν λίγο παραπάνω από 250.** Το μεγαλύτερο ποσοστό αποτελείται από ιδιωτικά κτίρια του οικιακού τομέα ενώ σε δεύτερη βαθμίδα μεγέθους ακολουθούν τα εκπαιδευτικά κτίρια. Οι υπόλοιπες εφαρμογές καλύπτουν άλλες χρήσεις. Τα περισσότερα κτίρια έχουν κτισθεί στη Ζώνη Α (όπως ορίζεται από τον ισχύοντα Κανονισμό Θερμομόνωσης) και το μεγαλύτερο ποσοστό τους στην Κρήτη. Τα υπόλοιπα εντοπίζονται στη Μακεδονία και κυριότερα στη Θεσσαλονίκη και τα περίχωρά της και στην Αττική.

Τα συστήματα που έχουν χρησιμοποιηθεί είναι στο μεγαλύτερο ποσοστό τους πολύ απλά. Δεν έχουν χρησιμοποιηθεί υλικά ή δομικά στοιχεία προηγμένης τεχνολογίας ακόμη και σε κτίρια που έτυχαν χρηματοδότησης από τα επιδεικτικά προγράμματα της 17ης Γ.Δ. της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Οι βασικοί παράγοντες αναχαίτισης της εφαρμογής των είναι οι ακόλουθοι:

-Έλλειψη γνώσεων μεταξύ των αρχιτεκτόνων και των μηχανικών γενικότερα.

-Έλλειψη ενημέρωσης του κοινού.

-Έλλειψη βιομηχανοποιημένων προϊόντων απαραίτητων για την κατασκευή και ορθή λειτουργία των παθητικών συστημάτων καθώς και τυποποίησης των δομικών στοιχείων.

-Γενική τάση των ιδιωτών αλλά και του Δημοσίου στην τοποθέτηση όσο το δυνατόν μικρότερου αρχικού κεφαλαίου με συνέπεια το αυξημένο κόστος λειτουργίας των κτιρίων.

2.2. ΠΑΘΗΤΙΚΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Η παθητική ηλιακή αρχιτεκτονική αναφέρεται στο σχεδιασμό κτηρίων και χώρων (εσωτερικό-εξωτερικό) και βασίζεται στο τοπικό κλίμα με κύριο σκοπό την απόδοση θερμικής και οπτικής άνεσης χρησιμοποιώντας ηλιακή ενέργεια και άλλες περιβαλλοντολογικές πηγές. Τα παθητικά ηλιακά συστήματα είναι τα σημαντικότερα στοιχεία της παθητικής ηλιακής αρχιτεκτονικής και συνήθως είναι ενσωματωμένα μέσα στα κτήρια και εκμεταλλεύονται στο έπακρο την διαμόρφωση των περιβαλλοντων χωρων.Αποτελεσμα είναι ανάλογα με τις ανάγκες η θέρμανση ,η ψύξη και η φωταγώγηση των κτηρίων.

2.2.1. Αρχές παθητικής ηλιακής αρχιτεκτονικής

α)Θερμική προστασία των κτηρίων το χειμώνα καθώς και το καλοκαίρι

χρησιμοποιώντας κατάλληλες τεχνικές που εφαρμόζονται στο εξωτερικό κέλυφος του κτιρίου(ειδικά με την πρόσθεση μόνωσης και διαμορφώσεων για την σωστή εισροή και εκροή του αέρα)

β)Χρήση της ηλιακής ακτινοβολίας για τη θέρμανση χωρών τον χειμώνα ,κλιματισμού το καλοκαίρι και φωταγώγηση όλο το έτος .Αυτό πετυχαινεται με κατάλληλη χώροθετηση των κτηρίων και κυρίως των ανοιγμάτων τους(προτιμότερο προς το νότο) που έχουν πρόσβαση στους ενδιαφέροντες χώρους.Το κλείσιμο η το άνοιγμα των ανοιγμάτων καθορίζεται από τις ανάγκες για θέρμανση και συμφωνεί πάντα με τα παθητικά ηλιακά συστήματα που συλλέγουν ηλιακή ακτινοβολία και δρουν σαν φυσικά σύστημα θέρμανσης και φωτισμού.

γ)Προστασία των κτηρίων από τον καλοκαιριάτικο ήλιο ,με τη χρήση σκιάστρων και με την κατάλληλη διαμόρφωση του εξωτερικού του κτιρίου(π.χ χρήση χρωμάτων ανάκλασης και επιφανειών)

δ)Αφαίρεση της θερμότητας, που συσσωρευεται το καλοκαίρι στα κτήρια προς το περιβάλλον με φυσικά μέσα όπως φυσικό εξαερισμο κατά τη διάρκεια της νύχτας

ε)Βελτίωση –προσαρμογή των περιβαλλοντικών συνθηκών, στα εσωτερικά των κτηρίων ώστε οι κάτοικοι τους να ζουν σε συνθήκες σχετικής άνεσης(πετυχαινεται με την αύξηση των αλλαγών αέρα μέσα στους χώρους,την αποθήκευση θερμότητας και ψύξης στους τοίχους)

ζ)Συνδυασμός μόνωσης και ελέγχου προσδιδομενης ηλιακής ακτινοβολίας,για την επαρκή διανομή θερμότητας και φωτός

η)Βελτίωση του μικροκλίματος, κοντά στα κτήρια με την βιοκλιματικη σχεδίαση των εξωτερικών χώρων

Όπως φαίνεται και από τις παραπάνω αρχές στην ουσία πρόκειται για αρχιτεκτονικό σχεδιασμό που ελαχιστοποιεί τις επιπτώσεις του κλίματος, τόσο το καλοκαίρι όσο και το

χειμώνα. Έχει σημασία να γίνουν κατανοητοί οι όροι-κλειδιά που χρησιμοποιούνται στον ως άνω ορισμό :

1.Αρχιτεκτονικός σχεδιασμός.

Ο όρος παραπέμπει εδώ σε όλους τους τύπους κτιρίων και σε καθεμιά από τις χρήσεις τους.

Στο παρελθόν, η παθητική ηλιακή αρχιτεκτονική θεωρούνταν συχνά ότι είχε εφαρμογή αποκλειστικά στην κατοικία. Η αντίληψη αυτή περιορίζει χωρίς λόγο τις δυνατότητες άλλων εφαρμογών.

2.Ελαχιστοποίηση.

Η παθητική ηλιακή αρχιτεκτονική δεν μπορεί ποτέ να εξαλείψει τις επιδράσεις του κλίματος, αλλά μπορεί να τις περιορίσει σε έναν ελάχιστο βαθμό. Κάτω από κανονικές οικονομικές συνθήκες, θα πρέπει να χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με τα συμβατικά συστήματα, ώστε να εξασφαλίζεται η άνεση.

3.Καλοκαίρι ή Χειμώνας.

Κάθε κλίμα αποτελεί σύνθετο μίγμα απλών μετεωρολογικών συνθηκών. Ειδικότερα, το μεσογειακό κλίμα χαρακτηρίζεται από ποικιλία θερμών, εύκρατων και ψυχρών περιόδων. Κατά συνέπεια, μια λύση επικεντρωμένη αποκλειστικά σε μια κατηγορία προβλημάτων θα οδηγούσε αναπόφευκτα σε συνθήκες δυσφορίας με την πρώτη και επικράτηση αντίθετων συνθηκών.

2.2.2 Έννοια Παθητικών συστημάτων.

Ο όρος <<παθητικό>> υπογραμμίζει τη σημαντική διαφορά που διακρίνει δύο ξεχωριστές προσεγγίσεις. Τα ηλιακά συστήματα που αναφέρθηκαν παραπάνω ονομάστηκαν <<ενεργητικά>> γιατί χρησιμοποιούν μηχανικά μέσα π.χ αντλίες,βοηθητικές συσκευές ,σωληνώσεις για την κυκλοφορία θερμαινόμενου μέσου .

Ο όρος <<παθητικό>> υποδηλώνει τεχνολογία απλή και εκμετάλλευση της ενέργειας που ενυπάρχει στο συγκεκριμένο τόπο, σε συνεργασία με αρχιτεκτονικές συνιστώσες..Τα παθητικά θερμικά ηλιακά συστήματα,είναι συστήματα που για την συλλογή, αποθήκευση και διανομή της ενέργειας **δεν χρησιμοποιούν βοηθητικές συσκευές** για την μεταφορά του αποθηκευτικού ή τελικά θερμαινόμενου ρευστού.Τα παθητικά θερμικά ηλιακά συστήματα συνήθως αποτελούν αναγκαίο τμήμα του συστήματος στο οποίο θα προσφερθεί η ενέργεια (π.χ. παράθυρο ή τοίχος Trombe σε ένα κτίριο) και χρησιμοποιούνται για να θερμάνουν καθώς επίσης και να δροσίσουν τα κτήρια φυσικά.

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα διαιρούνται σε τρεις κατηγορίες:

α)Παθητικά συστήματα ηλιακής θέρμανσης

β)Παθητικές (φυσικές) συστήματα ψύξης και τεχνικές

γ)Συστήματα και τεχνικές για το φυσικό φωτισμό

Το βιοκλιματικό σχέδιο ενός κτηρίου απαιτεί την ταυτόχρονη και συντονισμένη λειτουργία όλων των συστημάτων έτσι ώστε τα θερμικά και οπτικά οφέλη μπορούν να συνδυαστούν καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Για να κατανοήσει πλήρως κανείς τι είναι τα παθητικά συστήματα, είναι σημαντικό να αντιληφθεί τα βασικά χαρακτηριστικά τους.

Βασικά χαρακτηριστικά



Εκμετάλλευση της τοπικής ενέργειας.

Τα παθητικά συστήματα παρέχουν θέρμανση και δροσισμό ,με την εκμετάλλευση των φυσικών πόρων και καταβοθρών ενέργειας.

Πηγή ενέργειας ,αποτελεί οποιοδήποτε στοιχείο του περιβάλλοντος που συνεισφέρει θερμότητα σε ένα κτίριο, ενώ το στοιχείο που απορροφά θερμότητα συνιστά καταβόθρα.

Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί την κυριότερη φυσική πηγή ενέργειας, ενώ ο ουρανός την κυριότερη καταβόθρα. Δε συνειδητοποιούμε πάντοτε ότι σε μια μέρα η γη δέχεται από τον ήλιο περισσότερη ενέργεια από εκείνη που εμείς καταναλώνουμε σε ένα έτος. Δεδομένου ότι η μέση θερμοκρασία της γης είναι σχεδόν σταθερή, προκύπτει το συμπέρασμα ότι αυτή η εντυπωσιακή ποσότητα θερμότητας αποβάλλεται προς τον ουρανό, κυρίως μέσω της νυκτερινής επανακτινοβολίας.



Θερμική εκμετάλλευση των κτιρίων.

Στα παθητικά συστήματα, τα στοιχεία συλλογής, αποθήκευσης, μετάδοσης και διάχυσης της θερμότητας αποτελούν αναπόσπαστα μέρη των αρχιτεκτονικών στοιχείων, π.χ. των τοίχων και της στέγης. Έτσι, ένα αρχιτεκτονικό στοιχείο, εκτός από την οριοθέτηση του χώρου ή τον προσδιορισμό της μορφής του κτηρίου, μπορεί να χρησιμεύει και στη θέρμανση ή το δροσισμό του.

Αυτό έρχεται σε αντίθεση με τη παραδοσιακή αντίληψη, σύμφωνα με την οποία η λειτουργία κάθε στοιχείου έχει μια μοναδική αποστολή. Ο συνδυασμός των λειτουργιών εξασφαλίζει μεν οικονομικές λύσεις, αλλά μπορεί να οδηγήσει σε πολύπλοκα ενεργειακά συστήματα, η συμπεριφορά των οποίων δεν είναι προβλέψιμη.

Με λίγα λόγια, τα παθητικά συστήματα χρησιμοποιούν την ενέργεια που συγκεντρώνεται στη συγκεκριμένη θέση, τις φυσικές ροές ενέργειας και τις παραδοσιακές αρχιτεκτονικές διατάξεις με σκοπό τη θέρμανση και το δροσισμό των κτιρίων. Επιπλέον, ανταποκρίνονται στα σύγχρονα κριτήρια άνεσης, ενώ συγχρόνως ελαττώνουν τη χρήση ορυκτών καυσίμων, και μάλιστα με οικονομικό τρόπο.

Παρατηρήσεις

• **Σαν κάτοικοι των κτηρίων**, μπορούμε να καταστήσουμε τις ζωές μας πιο άνετες, να συντηρήσουμε το περιβάλλον, την υγεία και την ευημερία μας. Μπορούμε να

χρησιμοποιήσουμε κατάλληλα τα παθητικά ηλιακά συστήματα για αυτόν τον σκοπό.

Όλοι μας έχουν επιπτώσεις στην ενεργειακή απόδοση των κτηρίων που ζούμε. Εάν γνωρίζουμε το κατάλληλο σχέδιο, τα υλικά και τη χρήση των τεχνολογιών, μπορούμε να τα εφαρμόσουμε όσο το δυνατόν περισσότερο σε κάθε περίπτωση.

· **Τα κτήρια πρέπει να προστατευθούν** από το κρύο και τη θερμότητα χρησιμοποιώντας την κατάλληλη μόνωση.

· **Ακριβώς όπως προστατευόμαστε** από τον ήλιο το καλοκαίρι, έτσι οφείλουμε να προστατεύσουμε τα κτήρια εμείς στα οποία ζούμε μέσα

· **Η φυσική ψύξη, έναντι του κλιματισμού,** όχι μόνο παρέχει οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη εξοικονόμησης ενέργειας, αλλά και αποτελεί μια διαφορετική προσέγγιση, που έχει ως στόχο, ανθρώπινες πλευρές όπως άνεση και ευημερία .

· **Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τους φυσικούς πόρους,** και να μειώσουμε επίσης τα εσωτερικά φορτία των κτηρίων αναλόγως.

· **Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε** το φως της ημέρας, αλλά πρέπει να καταλάβουμε και να λύσουμε το πρόβλημα του έντονου φωτός.

· **Τα κτήρια πρέπει να λειτουργήσουν** λογικά προκειμένου να εξασφαλιστεί η αποδοτικότητα των παθητικών συστημάτων και των τεχνικών εξοικονόμησης ενέργειας. Σε κάθε περίπτωση πρέπει να ελέγχονται διατάξεις που έχουν σχέση με την διοχέτευση αέριας μάζας στο χώρο και φωτός

· **Δεν πρέπει να ξεχάσουμε** ότι η κατανάλωση ενέργειας προκαλεί την περιβαλλοντική υποβάθμιση. Αντίθετα τα ενεργειακά αποδοτικά κτήρια βελτιώνουν την ποιότητα της ζωής για τους χρήστες τους.

Ενεργειακές ροές

Για την καλύτερη κατανόηση των παθητικών ηλιακών συστημάτων πρέπει να γίνει αναφορά στις ενεργειακές ροές που συμβαίνουν κατά τη χρήση των παθητικών συστημάτων. Έτσι Θερμότητα και φως εισρέουν από τους υαλοπίνακες ενώ θερμότητα εισρέει από τους τοίχους. **Παντα υπάρχουν δυο σημαντικές ροές θερμότητας μέσα και έξω από το κτίριο.** Η μια είναι η εισροή ηλιακής ακτινοβολίας και η άλλη η απόρριψη θερμότητας τους κρύους μήνες η συσσώρευση τους θερινούς. Και οι δυο ροές μεταβάλλονται σημαντικά εξαρτώμενες από την ώρα της ημέρας και την εποχή του χρόνου. Προσθετώντας κάποιο διαφανή υαλοπίνακα είναι η βασική στρατηγική για την ομαλή προσαρμογή στις οποιαδήποτε εξωτερικές μεταβολές της θερμότητας. Είναι ένας τρόπος πλήρους

εκμετάλλευσης των απαιτούμενων ενεργειακών ροών και μείωσης ανεπιθύμητων ποσών έξω. Τετοια στρατηγική αντιμετώπισης υποθέτει βέβαια ότι έχουν παρθεί μέτρα διατήρησης ενεργείας.

Α) Προσθέτοντας για παράδειγμα ένα δεύτερο υαλοπίνακα (πίσω από π.χ ένα τζάμι) μειώνει αισθητά τις απώλειες θερμότητας αλλά μειώνει το ηλιακό κέρδος ελάχιστα.

Β) Όταν προστεθεί υαλοπίνακας σε μια ήδη υπάρχουσα πλευρά τοίχου μετατρέπει τον τοίχο σε μια ηλιακή καμινάδα.

Γ) Όταν προστεθεί υαλοπίνακας σε έναν μη μονωμένο τοίχο μειώνει σημαντικά τις απώλειες θερμότητας και μάλιστα αυξάνει σε μεγάλο βαθμό το ηλιακό θερμικό κέρδος.

Δ) Ένα θερμοκήπιο που εκμεταλλεύεται με τέτοιο τρόπο την ηλιακή ακτινοβολία αξιοποιείται αρκετά όταν το κενό μεταξύ του υαλοπίνακα και του τοίχου αυξηθεί. Το κενό ουσιαστικά απορροφά το θερμικό κύμα που δημιουργείται εξαιτίας των μεταβαλλομένων εξωτερικών συνθηκών αντικατοπτρίζοντας την ισορροπία μέσα στον θερμαινόμενο χώρο παράλληλα με την προσθήκη ηλιακού κέρδους.

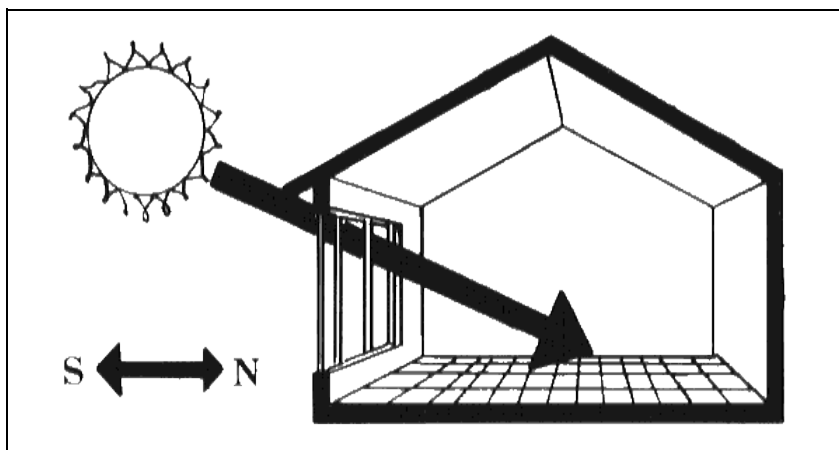
Κατανοώντας το πώς η θερμότητα μπαίνει και βγαίνει από έναν χώρο βοηθά στην επιλογή της κατάλληλης παθητικής αρχιτεκτονικής για τον συγκεκριμένο χώρο.

2.3 .ΣΥΝΗΘΙΣΜΕΝΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΑΘΗΤΙΚΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Πολλές ιδέες αναπτύχθηκαν για την αύξηση του θερμικού κέρδους από την ηλιακή ακτινοβολία και τη χρήση του μέσα στο κτήριο.

2.3.1. Άμεσο κέρδος

Το φως του ηλίου μπαίνει απευθείας στο χώρο διαμέσου παραθύρων ή υαλοπινάκων κυρίως από το νότιο τμήμα του χώρου (για να μπορούμε να δεχτούμε μέγιστη ακτινοβολία το χειμώνα) και θερμαίνει τους τοίχους, τα πατώματα και τα διάφορα αντικείμενα και κατά συνέπεια τον αέρα που κυκλοφορεί μέσα στο χώρο (σχήμα 2.1).



Σχήμα 2.1 : Χρήση άμεσου κέρδους σε κτήριο με την εκμετάλλευση της ηλιακής προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε Νότιο υαλοπίνακα

Η χρήση διπλού υαλοπίνακα επιτρέπει την μείωση της απώλειας θερμότητας από τον χώρο προς το περιβάλλον. Συνήθως τα παράθυρα καλύπτονται από μόνωση τη νύχτα για τον ίδιο σκοπό. Η περιοχή του σπιτιού που θερμαίνεται τείνει να γίνει πολύ ζεστή την ημέρα εκτός αν μια μάζα αποθήκευσης (π.χ σε μορφή πατώματος ή τοίχου) υπάρχει στο χώρο. Οι διακυμάνσεις στην θερμοκρασία του αέρα στον χώρο είναι τεραστιες. Μπορούν να μειωθούν με την χρήση κάποιας μάζας θερμικής αποθήκευσης είτε κάτω από το πάτωμα είτε στον βόρειο τοίχο. Το υλικό που συνήθως χρησιμοποιείται για αποθήκευση θερμότητας μπορεί να είναι τσιμέντο ή νερό που φυλάσσεται σε μια δεξαμενή που είναι τοποθετημένη κάτω από το πάτωμα. Ένα μικρό σκέπαστρο πάνω από τον νότιο τοίχο και από το παράθυρο βοηθάει

στην προστασία από τον ήλιο το καλοκαίρι όταν θέλουμε να αποφύγουμε ανεπιθύμητη θέρμανση.

Σαν πιο σημαντικές παρατηρήσεις για συστήματα άμεσους κέρδους μπορούμε να πούμε

-Οι προεξοχές(σκιάστρα) πρέπει να αποτρέψουν τα ανεπιθύμητα θερινά κέρδη (2 πόδια(ft) μήκος- χαρακτηριστικός αριθμός σε 40° γεωγραφικού πλάτους (σχήμα 2.2)

-Οι επιφάνειες πρέπει γενικά να κοιτάνε το νότο (συναντιούνται και με απόκλιση 20°)

-Η περιοχή παραθύρων πρέπει να είναι 8-12% της περιοχής που καλύπτει το πάτωμα εάν καμία πρόσθετη θερμική μάζα δεν προστίθεται

-Αυτό το ποσό παθητικού ηλιακού κέρδους δεν θα παρέχει περισσότερο από 40-50% του ετήσιου φορτίου θέρμανσης

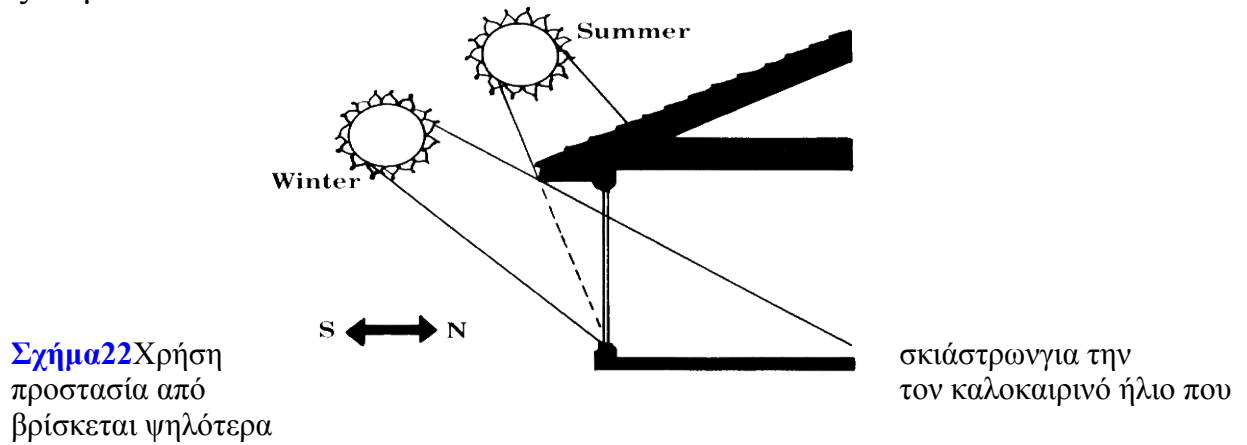
-Περισσότερη περιοχή μπορεί να είναι δυνατή εάν η πρόσθετη θερμική μάζα προστίθεται.

-Το πάχος των θερμικών μαζών που χρησιμοποιούνται είναι καλό να μην υπερβαίνουν τα 15-24 cm

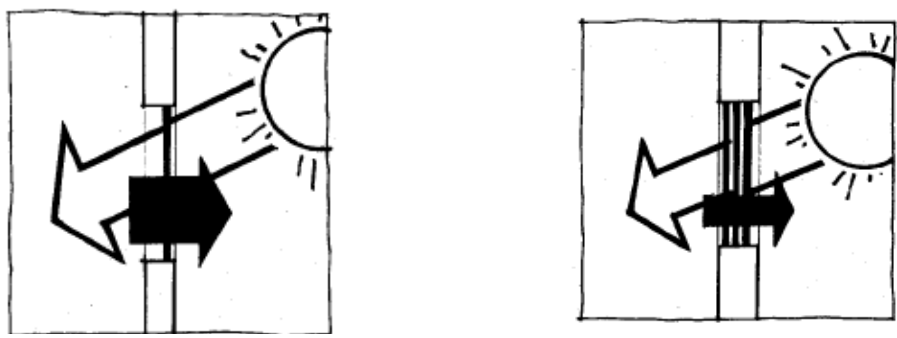
-τα πατώματα και ειδικά αυτά που είναι κατασκευασμένα από υλικά μεγάλης πυκνότητας πρέπει να χρωματίζονται με μέσα σκούρα χρώματα.

-Για υλικά μικρότερης πυκνότητας χρησιμοποιούνται πιο ανοιχτά χρώματα

-Για κάθε τετραγωνικό πόδι νοτίου υαλοπίνακα είναι προτιμότερο να χρησιμοποιούνται 150 λίβρες τσιμέντου



-Ένας δεύτερος υαλοπίνακας θα είχε σαν αποτέλεσμα την μείωση των ηλιακών κερδών κατά 18% αλλά και τη μείωση των θερμικών απωλειών κατά 50%. Ένας τρίτος υαλοπίνακας θα συντελούσε αντίστοιχα πάλι σε μια περαιτέρω μείωση κέρδους 18% αλλά και οι θερμικές απώλειες θα μειώνονταν επίσης κατά ένα 1/3 προσθετα (σχήμα 2.3). Έτσι λοιπόν ένα δεύτερο και τρίτο στρώμα υαλοπίνακα είναι αρκετά αποτελεσματικά αλλά αντικοινομικα . Μια κινητή μόνωση είναι πιο αποτελεσματική από θέμα κόστους στην μείωση απωλειών .

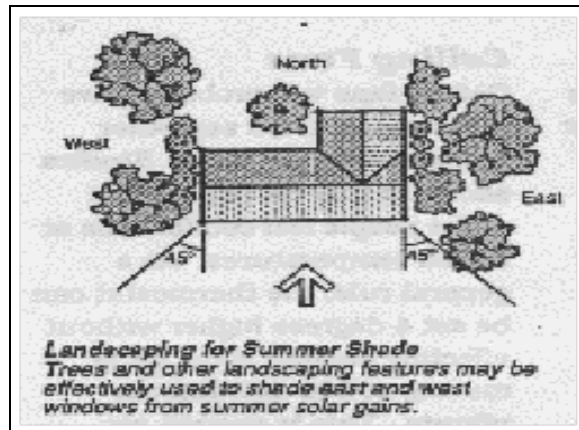


Σχήμα 2.2 : Χρήση διαδοχικά στρωμάτων υαλοπίνακα για την μείωση απωλειών από ένα χώρο

ΠΡΟΣΟΧΗ!

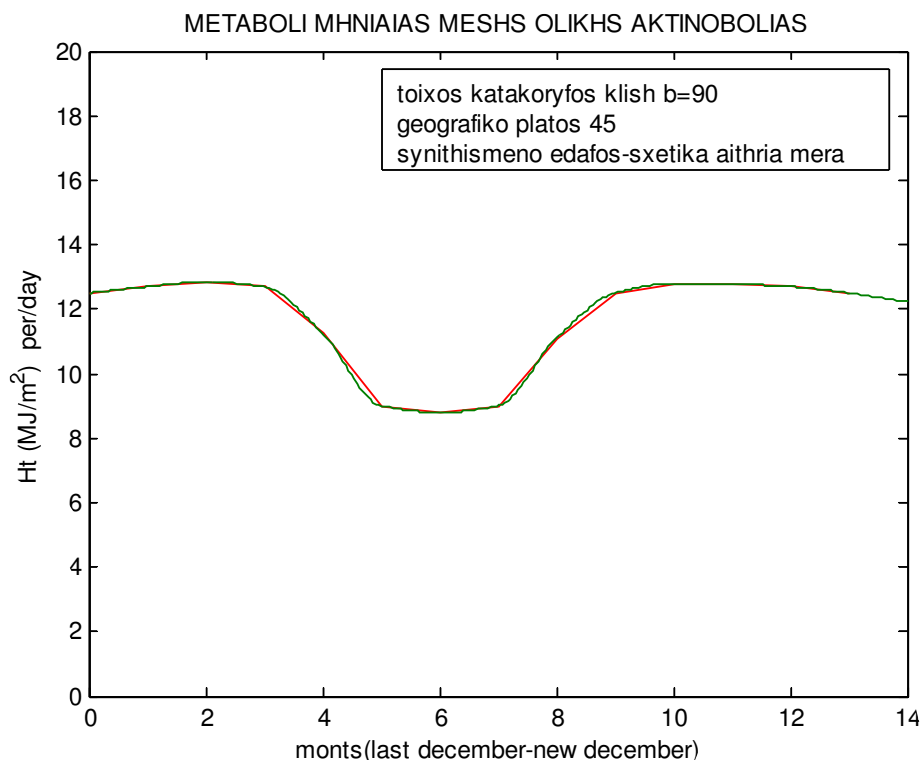
Υπερβολικά μεγάλες περιοχές υαλοπινάκων οδηγούν σε περιορισμό της ιδιωτικής ζωής, υπερβολική φωτεινότητα, υπερθέρμανση η και μη επαρκή θέρμανση. Επίσης ύπαρξη κινητή μόνωσης θα πρέπει απαραίτητα να συμβαδίζει με την εύκολη μετακίνηση της (Κατω -σχήμα 2.3 το σχέδιο σπιτιού και ο προσανατολισμός του σε σχέση με τον ήλιο. Η νότια πλευρά του σπιτιού που είναι ο κύριος δέκτης ακτινοβολίας προστατεύεται μόνο με ένα απλό σκιαστρο

προσαρτημένο στην οροφή. Αντιθέτα οι άλλες πλευρές του σπιτιού μπορούν να προστατευθούν από τον ήλιο με τη χρήση θάμνων, δεντροστοιχιών και βλάστησης εκτεθειμένης γύρω από αυτές)



Σχήμα 2.2 : Κατοψη οικίας που έχει εκτεθειμενη την Νότια πλευρά του στον Ηλιο
Επίδραση ηλιακής ακτινοβολίας

Το τι πόσο ακτινοβολίας είναι δυνατό να προσπίπτει σε μια επιφάνεια από τον ήλιο είναι κάτι που σχετίζεται άμεσα με την σχετική διαδρομή του ηλίου ως προς το κτήριο που διαφοροποιείται κάθε μέρα. Το γιατί αυτό είναι σημαντικό το καταλαβαίνουμε από το γεγονός ότι η ηλιακή ακτινοβολία μεταβάλλεται συνέχεια εκτός ατμόσφαιρας αφού μεταβάλλεται και η απόσταση γης-ηλίου. Χαρακτηριστικό είναι το ότι αυτή η μεταβολή της απόστασης προκαλεί μεταβολή της ακτινοβολίας εκτός ατμόσφαιρας κατά ± 3 περί τη μέση τιμής της.



Σχήμα 2.3 : Διάγραμμα μεταβολής της μηνιαίας μέσης ολικής ακτινοβολίας για μια τυπική μέρα κατά τη διάρκεια ενός έτους (Από τον προηγούμενο Δεκεμβριο έως τον ερχόμενο)

Τα κύρια μεγέθη που βοηθούν τον ενδιαφερόμενο να υπολογίσει την θέση του ηλίου ως προς κάποιο κτήριο καθώς και τον ορίζοντα είναι η

γωνία ζενίθ (θ_z): είναι η γωνία που σχηματίζεται από την κατακόρυφο και την ευθεία όρασης του ηλίου

Αζιμουθιο επιφανείας (γ): είναι η γωνία που σχηματίζεται από την προβολή της καθέτου στην επιφάνεια πάνω στο οριζόντιο επίπεδο και τη νότια κατεύθυνση ($\gamma=0^\circ$ Νότος, $\gamma=90^\circ$ Δύση, $\gamma=180^\circ$ βορράς, $\gamma=-90^\circ$ Ανατολή)

Αζιμουθιο ήλιου (γ_s): είναι η γωνία μεταξύ της προβολής της ευθείας όρασης του ηλίου στο οριζόντιο επίπεδο και της νότιας κατεύθυνσης.

Κλίση επιπέδου (β): είναι η γωνία που σχηματίζει μια επίπεδος επιφάνεια με το οριζόντιο επίπεδο. Στην περίπτωση συνιθησμένου τοίχου σπιτιού η επιφάνεια του τοίχου που δέχεται την ακτινοβολία είναι κατακόρυφη με ($\beta=90^\circ$)

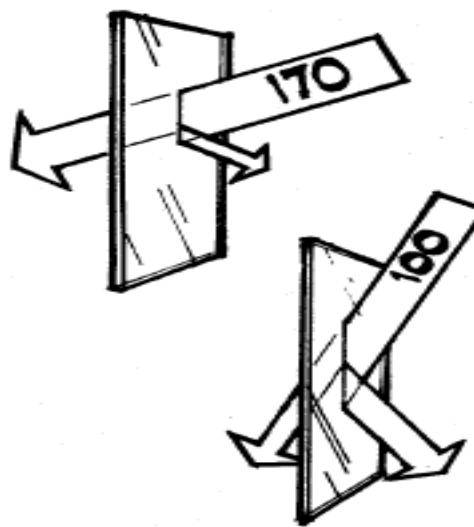
Πάνω (σχήμα 2.3) έχουμε τη μεταβολή της μηνιαίας μέσης ολικής ακτινοβολίας ημέρας του τοίχου (αφού είναι επίπεδο με κλίση $\beta=90^\circ$) συναρτήσει του μήνα τους έτους και για στροφή προς νότο $\gamma=0^\circ$ και για γεωγραφικό πλάτος 45° . Παρατηρούμε ότι αν θεωρήσουμε ότι έχουμε όλο το χρόνο σχετικά αίθριες μέρες και συνηθισμένο ως προς αυτήν ανακλαστικότητα έδαφος το μέγεθος παίρνει μεγαλύτερες τιμές το χειμώνα και ελάχιστες το καλοκαίρι. **Αυτό είναι χαρακτηριστικό του τοίχου που κοιτάζει προς το νότο και το εκμεταλλευόμαστε άμεσα για θέρμανση το χειμώνα και ψύξη το καλοκαίρι.**

Σε αντίθεση αν είχαμε οριζόντιο επίπεδο (π.χ μια οροφή θα είχαμε μέγιστη μηνιαία μέση ολική ακτινοβολία το καλοκαίρι και ελάχιστη το χειμώνα).

Χαρακτηριστικά αναφέρουμε ότι

1) Αν και παρατηρείται μεγαλύτερη διάρκεια ημέρας στους καλοκαιρινούς μήνες υπάρχουν περισσότερες διαθέσιμες ώρες ώστε η ηλιακή ακτινοβολία να <<χτυπήσει έναν νότιο τοίχο το χειμώνα>>. Αν κάποιος διαμένει στο 35° βόρειο γεωγραφικό μήκος για παράδειγμα υπάρχουν 14 ώρες ηλιοφάνειας την 21^η Ιουνίου. Αλλά σε αυτή την θέση ο ήλιος μένει βόρεια της ανατολής ως και τις 8:30 μμ και μετακινείται έπειτα βόρεια της δύσης πριν τις 3:30 πμ έτσι ώστε διαθέσιμη ηλιοφάνεια για έναν νότιο τοίχο να υπάρχει ουσιαστικά μόνο για 7 ώρες. Στις 21^η Δεκεμβρίου ο ήλιος ακτινοβολεί σε έναν νότιο τοίχο και για τις 10 διαθέσιμες ώρες για ηλιοφάνεια.

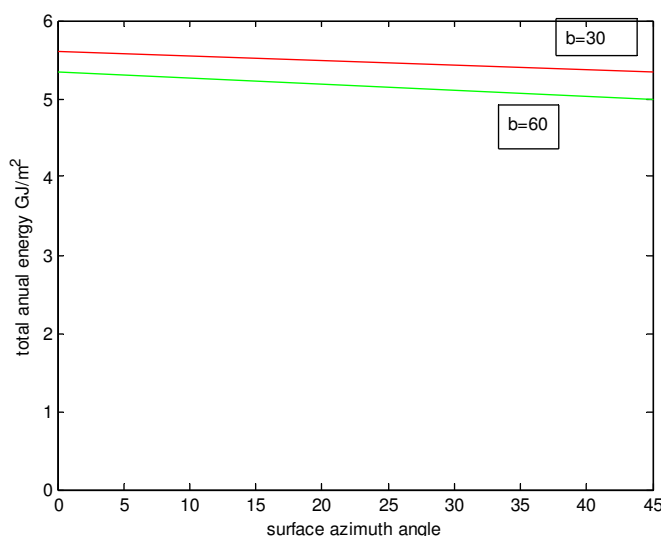
2) Το χειμώνα ο ήλιος βρίσκεται σε χαμηλότερη κάθετη απόσταση σε σχέση με το καλοκαίρι. Τα παράθυρα προσβάλλονται από ακτινοβολία σε μεγαλύτερη επιφάνεια σε σχέση με τον καλοκαιρινό ήλιο. Ας πούμε σε 35° πλάτος (σχήμα 2.4) έχουμε ροή θερμότητας από ακτινοβολία $170 \frac{btu}{m^2}$ μια μέση χειμερινή ώρα ενώ το καλοκαίρι αυτή η τιμή πέφτει στα $100 \frac{btu}{m^2}$



Σχήμα 2.4 : Τυπικές ροές θερμότητας από ηλιακή ακτινοβολία σε νότιο υαλοπίνακα το χειμώνα και το καλοκαίρι

3) Το χειμώνα περισσότερο φως περνάει διαμέσου του υαλοπίνακα (τζάμι) χωρίς να ανακλάται εξαιτίας της μικρότερης γωνίας της ακτίνας με την κάθετη διεύθυνση στο τοίχο. Το καλοκαίρι έχουμε μεγάλο ποσοστό ανάκλασης λόγω μεγαλύτερης γωνίας αφού ο ήλιος είναι ψηλότερα στον ουρανό

Επειδή επί του παρόντος δεν ενδιαφερόμαστε άμεσα για κάθε τι που συνδέεται με την ηλιακή αναφερόμαστε σημαντικότερα συνδέονται με ηλιακά στοιχεία που τα παθητικά συστήματα. Θα



Θα μόνο στα στοιχεία που τα παθητικά συστήματα.

Σχήμα 2.5 :διάγραμμα μεταβολής της ολικης ετησίας ενεργείας συναρτήσει του αζιμουθιου επιφανείας

Σαν σημαντικότερα συμπεράσματα:

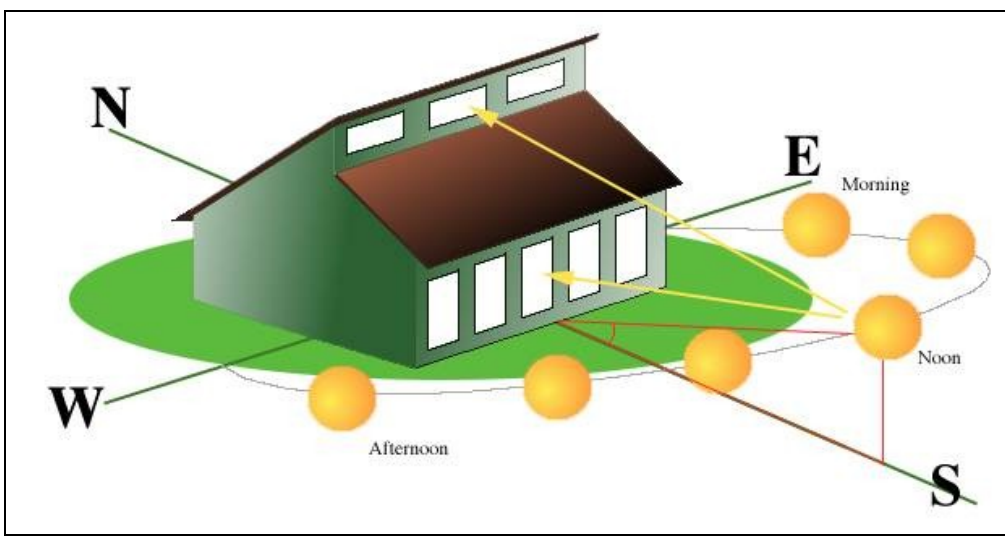
μπορούμε να βρούμε από το πάνω διάγραμμα που αναφέρεται στην μεταβολή της ολικής ετησίας ενέργειας(σχήμα 2.5) συναρτήσει του αζιμουθιου της επιφανείας για κλίσεις $\beta=30^\circ$ και $\beta=60^\circ$ -(παρόμοια μορφή έχει και ένα επίπεδο με $\beta=90^\circ$ που αποτελεί και τον τοίχο μας).

Σε αυτό το διάγραμμα που αναφέρεται για γεωγραφικό πλάτος 45° η προσπίπτουσα ολική ετήσια ενεργεία για αίθριες συνθήκες και συνηθισμενο περιβάλλον **έχει κλίση φθίνουσα** με ανεξάρτητη μεταβλητή το γ όπου το γ μεταβάλλεται από το 0 έως και τις 45° . Παρατηρείται ότι ο **βέλτιστος προσανατολισμός είναι ο νότιος**(για αυτό και κάθε αναφορά προηγούμενη για τα παθητικά ηλιακά συστήματα γινόταν ως προς τον νότο).Ενώ αποκλίσεις μέχρι 20° ανατολικά η δυτικά του νότου ελάχιστα μειώνουν την προσπίπτουσα ολική ετήσια ενεργεία.Δηλαδή επαληθεύονται οι μέχρι τώρα θεωρήσεις μας.

Ένας ενδιαφερόμενος πρέπει να ξέρει ότι με τον κατακόρυφο μας τοίχο εστραμμένο προς νότο και με βάση τα παραπάνω διαγράμματα ασφαλώς και:

α)**Δεν πετυχαινεται επίτευξη μέγιστης ετήσιας ενέργειας** γιατί τότε θα απαιτείτε κλίση ίση με το γεωγραφικό πλάτος($\beta=\varphi$)

β)**Πετυχαινεται ενέργεια κοντά στη μέγιστη ενεργεία χειμωνος** αφού η κλίση επιφανείας του τοίχου είναι σχετικά κοντά στα όριο των τιμών που θέλουν την κλίση του συλλέκτη η της επιφανείας να είναι κατά 15° μεγαλύτερη του γεωγραφικού πλάτους



Σχήμα 2.6 : Απεικόνιση κτηρίου και των νοτίων υαλοπινάκων σε σχέση με το μονοπάτι του ηλίου

Πάνω (σχήμα 2.6) παρατηρούμε κτήριο και την ενδιαφερόμενη πλευρά εστραμμένη προς νότο σε σχέση πάντα με το μονοπάτι του ηλίου στον ουρανό. Οι νότιοι υαλοπίνακες είναι εφοδιασμένοι με στέγαστρα για την καλύτερη σκίαση των εσωτερικών χώρων. Αξίζει εδώ να γίνει και μια γρήγορη αναφορά στον καλύτερο προσδιορισμό της τοποθεσίας ενός κτιρίου πάντα σε σχέση με την καλύτερη συσχέτιση της μισ διαδρομής του ηλίου

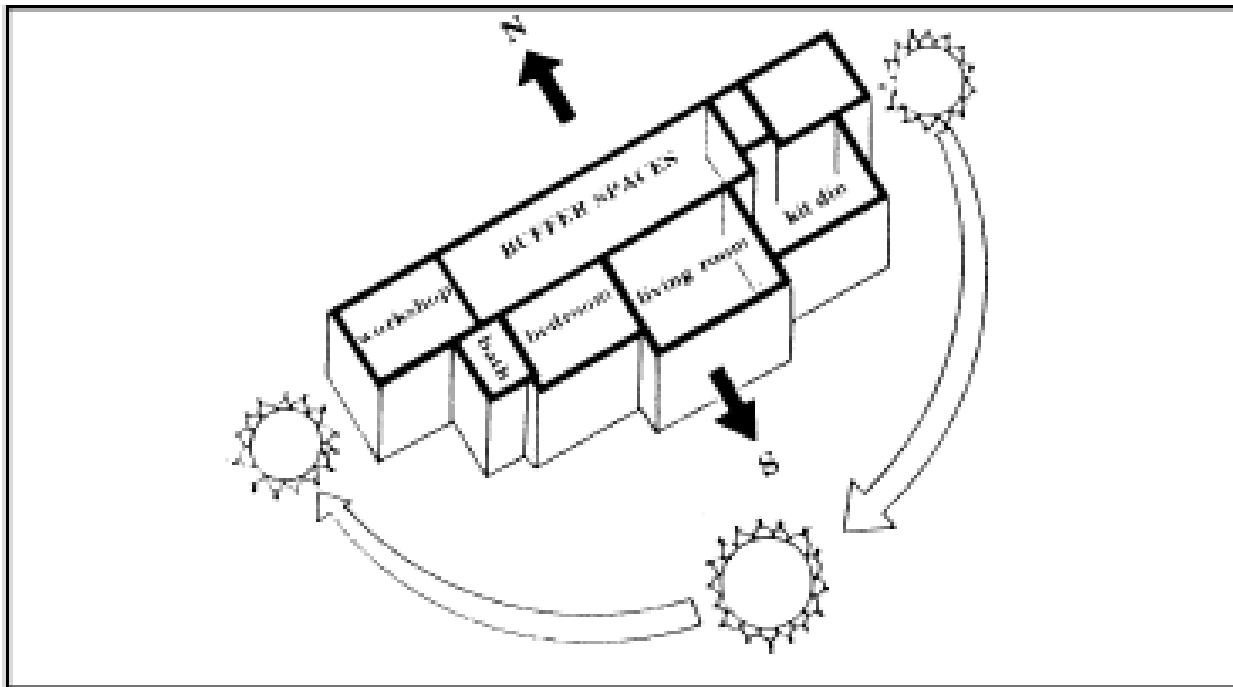
-Χωροδιαταξη

Αν η τοποθεσία στην οποία είναι κτισμένο το οίκημα δεν είναι κατάλληλα εκτεθειμένη στον ήλιο γιατί έχει κάποια απόκλιση από το Νότο η σκιάζεται σε υπερβολικό βαθμό από την περιβαλλούσα χλωρίδα η ακόμα και γειτονικά κτήρια τότε το σχεδιασμένο κτήριο θα έχει μικρά περιθώρια ώστε να θερμαίνεται από τον ήλιο. Μεγάλη προσοχή χρειάζεται στη συσχέτιση του κτιρίου με τους τοπικούς παράγοντες που είναι και αυτοί υπεύθυνοι για την μεταβολή της τοπικής θερμοκρασίας. Κύριοι παράγοντες οι εξής

-Προσανατολισμός (σχήμα 2.7)

Τα κτήρια (η οι τοίχοι) που κοιτάνε προς το Νότο έχουν δώσει στοιχεία πολύ χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης των χειμώνα αλλά και το καλοκαίρι. Αυτό δε σημαίνει ότι όλα τα κτήρια είναι επιβλητικό να είναι αντικρίζουν το Νότο. Όπως έχει εξηγηθεί παραπάνω μικρές αποκλίσεις βόρεια δεν μας δίνουν πολύ χειρότερη εικόνα σε σχέση με το αν ήταν στον Νότο. Αυτή η λογική χρησιμοποιείται κυρίως για διάφορα δωμάτια μέσα στο ίδιο το κτήριο που δεν χρειάζεται τόσο πολύ η απευθείας εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας αφού θερμαίνονται από γειτονικά δωμάτια.

Εσωτερικά τα δωμάτια πρέπει να σχεδιάζονται ώστε να εκμεταλλεύονται την διαδρομή του ηλίου και να απορροφούν το μεγαλύτερο ηλιακό κέρδος. Για παράδειγμα οι κουζίνες και οι τραπεζαρίες είναι φυσικές και λογικές επιλογές για την ανατολική η την νοτιοανατολική περιοχή του κτιρίου. Τα δωμάτια αυτά επωφελούνται ενεργείας και φωτεινότητας τις πρώτες πρωινές ώρες από την παρουσία του ηλίου και προστατεύονται με την χρήση των υπόλοιπων γειτονικών δωματίων από τον απογευματινό ήλιο. Το οικογενειακό δωμάτιο όπως είναι το σαλόνι και τα υπνοδωμάτια είναι καλό να τοποθετούνται σε νότιες οι νοτιοδυτικές περιοχές του κτιρίου ώστε να θερμαίνονται από τον απογευματινό ήλιο για χρήση το βράδυ όπου συνήθως χρειάζονται. Όταν η θερμική άνεση δεν απαιτείται να ανταποκρίνεται σε συγκεκριμένα όρια τα δωμάτια μπορούν να τοποθετούνται στις δυτικές και στις βόρειες πλευρές του κτιρίου. Τέτοια δωμάτια μπορεί να είναι τα λιγότερα χρησιμοποιημένα όπως είναι αποθήκες, διαδρομοί, σκαλες και ακόμη χώροι στάθμευσης. Με τη σωστή τους διάταξη μπορεί να προστατέψουν το σαλόνι και τα δωμάτια από τους κρύους χειμερινούς ανέμους και τον θερμό απογευματινό ήλιο το καλοκαίρι



Σχήμα 2.7 : Ιδανική διάταξη χώρων σε ένα κτήριο σε σχέση με την πορεία του ηλιου

-διαμόρφωση πρόσοψης κτιρίου(με ανοίγματα –υαλοπίνακες)

Κτήρια που έχουν πλευρά τοίχου εκτεθειμένου στο Νότο αντιμετωπίζουν επιπλέον προβλήματα σε περίπτωση που μιλάμε για είσοδο κατοικίας. Και αυτό γιατί πολλές φορές τότε δίπλα στον τοίχο υπάρχει ασφαλτωμένος δρόμος. Όσο πιο μικρό το μήκος του δρόμου που οδηγεί στην κατοικία τόσο μεγαλύτερη μείωση έχουμε στην επιφάνεια του δρόμου που το καλοκαίρι μπορεί να αποδώσει σημαντικά ποσά θερμότητας εξαιτίας του υλικού της ασφαλτού. Ενώ μεγάλη προσοχή πρέπει να δίνεται στην απόσταση από τα γειτονικά κτήρια και τις έμμεσες σκιάσεις που προσφέρουν κάτι που μπορεί να αποβεί μοιραίο για την σωστή αποδοχή θερμότητας από τον ήλιο.

Σε ότι αφορά τα ανοίγματα συνιστάται η ελαχιστοποίηση τους στις ανατολικές και δυτικές όψεις για την αποφυγή των υπερθερμάνσεων την θερινή περίοδο όπως και την βορινή για τον έλεγχο των θερμικών απωλειών. Στις τελευταίες περιπτώσεις οι διαστάσεις των ανοιγμάτων θα πρέπει να καλύπτουν τις απαιτήσεις των χώρων σε φυσικό φωτισμό και αερισμό. **Σημειώνεται ιδιαίτερα**, ότι τα βορεινά ανοίγματα βοηθούν σε μια καλή ποιότητα φωτισμού των χώρων διότι δέχονται διάχυτο φως και όχι αμεσο, συνιστώνται για χώρους που χρησιμοποιούνται κυρίως την θερινή περίοδο ενώ μια υπερδιαστασιοποίηση σε χώρους που χρησιμοποιούνται σε χειμερινή περίοδο θα είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση του θερμικού φορτίου.

Στη νότια όψη μια κάλυψη της επιφανείας με 60% ανοίγματα αποτελεί μια ενεργειακά αποτελεσματικά πρόταση για την θέρμανση των χώρων με φυσικό τρόπο από την ηλιακή ακτινοβολία. Σε κάθε περίπτωση η χρήση θερμομονωτικών υαλοπινάκων με μικρό συντελεστή θερμοπερατοτητας (κ) η ακόμη χρήση υαλοπινάκων προηγμένης τεχνολογίας

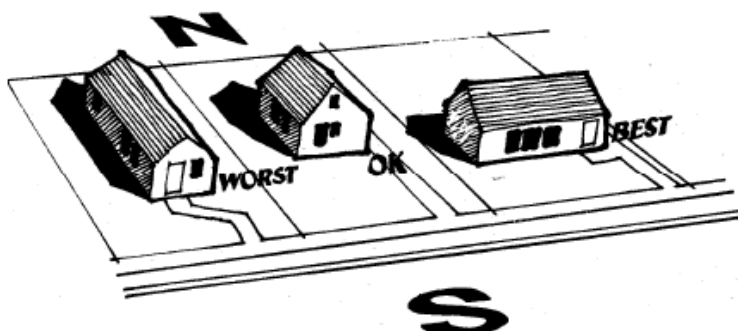
(χαμηλής εκπομπής) θεωρείται ένα πλέον αποδοτικό μετρο.Βασικο κριτήριο για την επιλογή του καταλλήλου ανοίγματος αποτελεί και ο συντελεστής μετάδοσης της ηλιακής ενεργείας (g).Άστοχη επιλογή της ποιότητας των υαλοπινάκων σε σχέση πάντα με τον προσανατολισμό και τις απαιτήσεις του χώρου ενδέχεται να οδηγήσει σε αρνητικά αποτεσματα (μπλοκάρισμα εισόδου της ηλιακής ακτινοβολίας στους εσωτερικούς χώρους την χειμερινή περίοδο ,αύξηση απωλειών ,μείωση φυσικού φωτισμού).Είναι ευνόητο ότι μικρές τιμές του συντελεστή θερμοπερατοτητας (κ) και μεγάλες τιμές του συντελεστή διείσδυσης (g) τόσο πιο μεγάλο αποδεικνύεται το άνοιγμα σε Νότιο προσανατολισμό .Σε ανατολικά και δυτικά τμήματα φυσικά ενδιαφέρει μικρή τιμή του (κ) και του (g).

-Περιβάλλον η Τοπίο

Το γειτονικό περιβάλλον η τοπίο μπορούν γενικότερα να προσφέρουν ομορφιά αλλά και άνεση όσο αφορά τις ενεργειακές αποταμιεύσεις.Οι φυλλωσιές ,τα δέντρα και το πράσινο μειώνουν σε μεγάλο βαθμό τους τοπικούς ανεμους.Δεντρα που φτάνουν σε μεγάλο υψος χρησιμεύουν παραγωγικά για σκίαση και κλιματισμό το καλοκαίρι.Ειναι πιο αποτελεσματικά κυρίως στην Ανατολή ,στην Δύση και στις νότιες πλευρές του κτιριου.Ενω δεν πρέπει να ξεχνιέται ότι τα φυλλοβόλα δέντρα το χειμώνα ρίχνουν τα φύλλα τους και έτσι επιτρέπουν στο φως να περάσει και να φτάσει τους τοίχους του κτιριου.Οταν δεν συναντάμε δέντρα η κάποια τοπική χλωρίδα που προκαλεί σκιάσεις ειδικά σε γειτονικούς ασφαλτωμένους δρόμους δημιουργούνται συνθήκες ερήμου με αποτέλεσμα την αύξηση της τοπικής θερμοκρασίας του αέρα.Αυτοματα έχουμε μεγαλύτερα φορτία κλιματισμού το καλοκαίρι στο κτιριο.Ακομα πεζοδρόμια που είναι κατασκευασμένα από πορώδη υλικά που συκρατουν το νερό της βροχής βοηθούν στη μη απορρόφηση θερμότητας και στην αποφυγή της υπερθέρμανσης.

-αναλογία ύψους/πλάτους εκτεθειμένου τοίχου

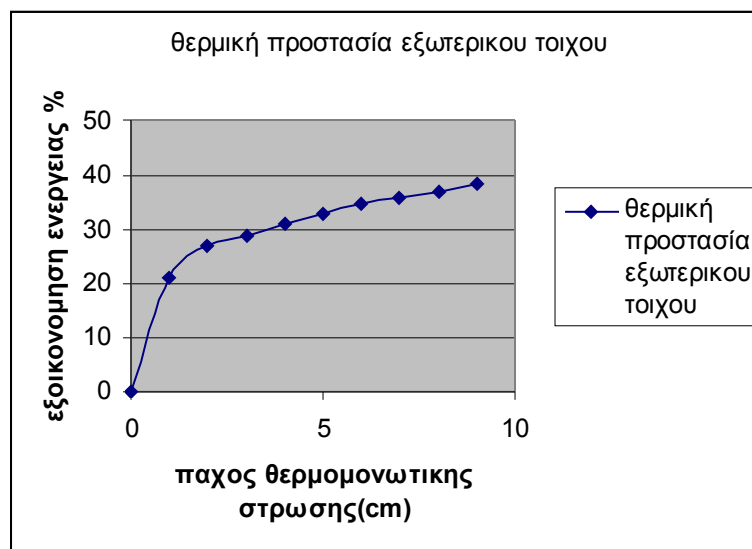
Οι ανατολικοί και οι δυτικοί τοίχοι λαμβάνουν 2.5 φορές περισσότερο ακτινοβολία το καλοκαίρι από ότι τον χειμώνα .Για αυτό και τα καλύτερα κτήρια από άποψης κατασκευης είναι μεγαλύτερα σε μήκος στην ανατολικοδυτικη κατεύθυνση ενώ τα χειρότερα είναι κατά την νότιο-βόρεια κατεύθυνση(σχήμα 2.8).Με αυτό τον τρόπο έχουμε μεγαλύτερη επιφάνεια νοτίου τοίχου άρα και μεγαλύτερη αποδοχή ηλιακής ακτινοβολίας.Ενα τετραγωνικό σπίτι(π.χ έστω ότι αποτελείται από ένα δωμάτιο τετραγωνικό) δεν είναι ούτε το χειρότερο ούτε το καλύτερο από ενεργειακή άποψη.Ειναι βέβαια το πιο λειτουργικό από άποψη κατασκευαστική και από θέμα οικονομίας υλικού.Ενα τέτοιο σπίτι βελτιώνεται κατά πολύ με τη χρήση υαλοπινάκων στους νότιους τοίχους και άλλων ηλιακών παθητικών συστημάτων και την ελαχιστοποίηση των υαλοπινάκων στους άλλους τοίχους . Αν μάλιστα η στέγη κατασκευαστεί με κατάλληλη κλίση κοιτάζοντας πάντα το νότο τότε με τη χρήση και ηλιακών συλλεκτών δημιουργούνται ευκαιρίες για μεγάλη ενεργειακή οικονομία



Σχήμα 2.8 : βελτιστες και χειριστες αναλογιες μήκους –πλάτους των εκτεθειμένων επιφανειών στις διαφορές κατευθυνσεις

-Θερμική προστασία εξωτερικών δομικών στοιχείων τοίχων

Η ισχυροποίηση της θερμικής προστασίας των συμπαγών δομικών στοιχείων των εκτεθειμένων τοίχων πέρα της συμβατικής αποτελεί ένα από τα σημαντικά μέτρα για το περιορισμό των θερμικών απωλειών την χειμερινή περίοδο και τη διατήρηση των πιθανών ηλιακών κερδών για μεγάλο διάστημα στους εσωτερικούς χώρους .Η επίδραση του πάχους μόνωσης στους εξωτερικούς τοίχους φαίνεται στο σχήμα από κάτω(σχήμα 2.9).



Σχήμα 2.9 : διάγραμμα της εξοικονόμησης ενέργειας που πετυχαίνεται με την αύξηση του πάχους θερμομονωτικής στρώσης

Παρατηρείται ότι με τα πρώτα 5cm της μόνωσης του εξωτερικού τοίχου επιτυγχάνεται πολλαπλάσια εξοικονόμηση ενέργειας σε σχέση με τα επόμενα 5.Γενικός κανόνας που έχει σχέση και με την εξωτερική διαμόρφωση του κτιρίου η του τοίχους είναι ότι όσο πιο ελεύθερη είναι η αρχιτεκτονική μορφή του τοίχου η του κτιρίου γενικότερα από

άποψης σχήματος η σύνθεσης όγκων τόσο και πιο ισχυρές είναι θα έπρεπε να είναι και οι μονώσεις έτσι ώστε να αντισταθμίζονται οι αυξημένες θερμικές απώλειες και να επιτευχθεί ένα εσωτερικό κλίμα με περιορισμένες καταναλώσεις.

2.3.2. Έμμεση μέθοδος

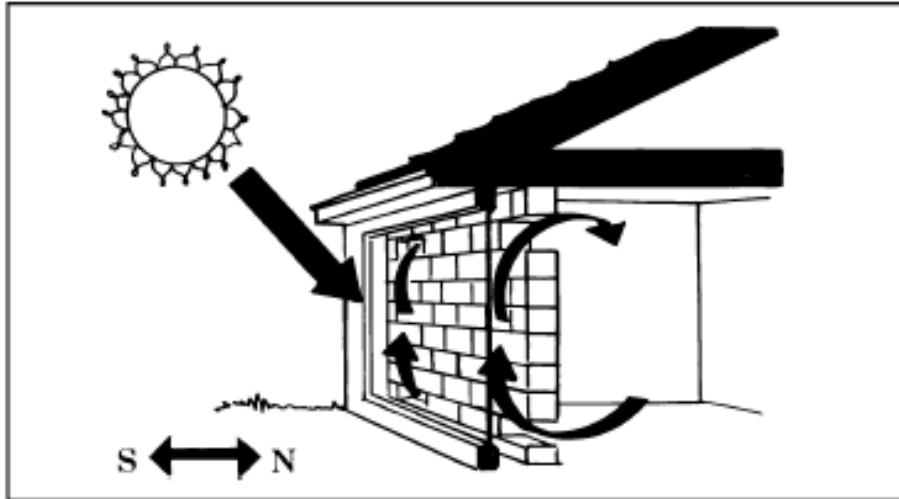
Αν και με τη χρήση κάποιας μάζας αποθήκευσης έχουμε κάποια οφέλη ως προς την διακύμανση της θερμοκρασίας αυτό δε σημαίνει ότι πέφτουν κάτω από το επίπεδο που θέλουμε για να μπορεί να είναι ανεχτό από τους ανθρώπους μέσα στο χώρο. Μια πιο ουσιαστική μέθοδος για την περαιτέρω μείωση των θερμικών ανωμαλιών είναι να εισάγουμε ένα τοίχο θερμικής αποθήκευσης μεταξύ της άμεσης θερμικής ακτινοβολίας και τον χώρο. Η ηλιακή ενέργεια εισάγεται μέσα στο δωμάτιο σε μια Έμμεση μορφή σαν αποτέλεσμα συναγωγής και μεγάλου κύματος ακτινοβολία που εκπέμπεται από τον θερμικό τοίχο που θερμαίνεται εξαιτίας της απορροφημένης θερμότητας μέσου της επιφανείας του. Σε αυτήν τη λογική βασίζονται και οι παρακάτω μέθοδοι.

Trombe wall

Ένας τοίχος μάζας θερμικής αποθήκευσης συνήθως από τσιμέντο τοποθετείται σε ένα νότιο τοίχο του χώρου. Έχει την επιφάνεια του κατάλληλα μαυρισμένη και καλυμμένη από γυαλί. Με αυτό το τρόπο αποφεύγονται οι μεγάλες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας μέσα στο χώρο. Ο τοίχος μάζας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για συλλογή, αποθήκευση και μεταφορά θερμότητας μέσα στο χώρο. Ο σκούρος τοίχος καλυμμένος από διπλό υαλοπίνακα θερμαίνεται από τον ήλιο την ημέρα.

Ο αέρας που εισάγεται στο χώρο μεταξύ του τοίχου και του γυαλιού ζεσταίνεται και επιστρέφει μέσα στο χώρο από ανοίγματα που υπάρχουν πάνω στον τοίχο μάζας (σχήμα 2.10). Η ζεστή μέσα στο χώρο μπορεί να μειωθεί ελέγχοντας την παροχή αέρα με τη χρήση επιφανειών που κλείνουν περισσότερο η λιγότερο τα ανοίγματα στο τοίχο. Το γυαλί πάνω στο τοίχο καλύπτεται συνήθως από μόνωση τις ώρες που σταματάει να υπάρχει ηλιοφάνεια και τα ανοίγματα στον τοίχο κλείνουν για να μειώσουν την απώλεια θερμότητας προς το περιβάλλον. Η θερμότητα που μεταφέρεται μέσω αγωγής μέσω του τοίχου μεταφέρεται μέσα στον χώρο με ακτινοβολία και συναγωγή συνεχώς.

-Συνήθως τέτοιοι τοίχοι χρειάζονται κάποιο χρόνο για να είναι λειτουργικοί δηλαδή για να απορροφήσουν θερμότητα και να αρχίσουν να αποδίδουν επειτα. Έτσι δεν αποδίδουν θερμότητα τόσο γρήγορα όσο επιτρέπουν τα παράθυρα με την διάχυση φωτός. Ούτε τροφοδοτούν τον χώρο με το ίδιο πόσο θερμότητας.



Σχήμα 2.10 : Απεικόνιση της μορφής ενός τυπικού συστήματος trombe τοίχου-υαλοπίνακα και της ανακυκλοφορίας αέρα που πετυχαινεται

Το μεγάλο κέρδος που έχουμε με τη χρήση τέτοιων συστημάτων είναι ότι οι απώλειες θερμότητας είναι πολύ μικρές από ότι στα παράθυρα(εκτός και αν τα παράθυρα είναι καλυμμένα με μόνωση τη νύχτα).Οπότε πολύ περισσότερη θερμότητα κερδίζεται εντέλει από όση χάνεται .Και αν οι τοίχοι trombe έχουν σχεδιαστεί προσεκτικά μπορεί και να παράγουν περισσότερη θερμότητα από ότι τα παράθυρα.

Τοίχος νερού

Ο τοίχος μάζας μπορεί ουσιαστικά να είναι και μια δεξαμενή γεμάτη από νερό η μικρότερες ενωμένες .Τότε μιλάμε ουσιαστικά για τοίχο νερού(σχήμα 2.11).Ο τοίχος νερού είναι ποιο αποτελεσματικός στην μείωση των θερμικών διακυμάνσεων αλλά σε αυτήν την περίπτωση ο απαιτούμενος χρόνος καθυστέρησης μεταξύ της αποθήκευσης της μέγιστης ακτινοβολίας και της μεταφοράς θερμότητας προς το χώρο είναι μικρότερος.Για μια δεδομένη περιοχή του νοτίου τοίχου η συνολική εισροή θερμότητας μέσα στο κτήριο μέσω του τοίχου θερμικής αποθήκευσης είναι πολύ μικρότερη (περίπου το μισό)από την ποσότητα που αναμένεται μέσω διάταξης άμεσου θερμικού κερδους.Ομως η θερμότητα που εισάγεται στο κτήριο στη περίπτωση μάζας θερμικής αποθήκευσης γίνεται πολύ πιο ομοιόμορφα μειώνοντας τις διακυμάνσεις.

Passive Concepts and Components



Fig. 4.3. Water wall

Σχήμα 2.11 : Απεικονιση της μορφής ενός τυπικου συστήματος τοίχου νερου-υαλοπίνακα και της ενεργειακής ροης

Τοίχος διάχυσης φωτός

Ο τοίχος μάζας και ο τοίχος νερού δεν επιτρέπουν να περάσει άμεσα ηλιακή ακτινοβολία στον χώρο από το νότιο τμήμα του χώρου. Για αυτό το λογο προτάθηκε επίσης η ιδέα ενός τοίχου που θα επιτυγχάνει θερμική αποθήκευση καθώς και ταυτόχρονη διάχυση φωτός στο χώρο (σχήμα 2.12). Ο τοίχος διάχυσης είναι ένας μερικώς διαφανής τοίχος μάζας αποθήκευσης που προσαρμόζεται σε ένα παράθυρο δεχόμενος ηλιακή ακτινοβολία. Μερους της ηλιακής ενεργείας απορροφάται από τον τοίχο διάχυσης ενώ το υπόλοιπο μέρος εκπέμπεται μέσα στο χώρο

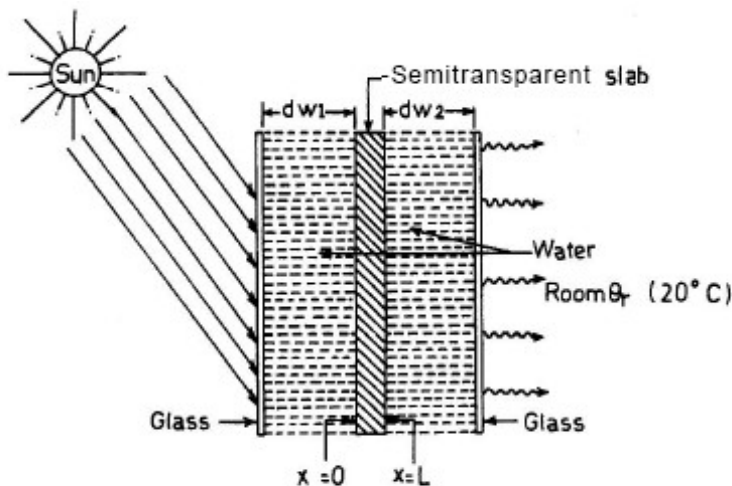


Fig. 4.4. Design of the transwall.

Σχήμα

της μορφής ενός τυπικου συστήματος ημιαδιαφανη τοιχου-υαλοπίνακα και της ενεργειακής ροης

2.12 : Απεικονιση

Ηλιοστάσιο η θερμοκήπιο

Η διάταξη αυτή είναι το αποτέλεσμα σκέψης για την εκμετάλλευση και του αμέσου και του έμμεσου θερμικού κέρδους από τον ήλιο. Ο χώρος έχει ένα τοίχο μάζας θερμικής αποθήκευσης προσαρμοσμένο στη νότια πλευρά του χώρου. Αναμεσα στο τοίχο και σε γυαλί περικλείεται κενός χώρος. Το κενό λαμβάνει Άμεσο θερμικό κέρδος ενώ ο χώρος

διαβίωσης λαμβάνει θερμότητα έμμεσα μέσω του τοίχους μάζας(σχήμα 2.13). Το κενό ανάμεσα στο τοίχο και στο γυαλί χρησιμοποιείται για την καλλιέργεια φυτών .Μετακινούμενη μόνωση πάνω στο τοίχο βελτιώνει αισθητά την απόδοση του συστήματος. Ουσιαστικά πετυχαίνεται η απώλεια θερμότητας να μην οδηγείται πια προς τα έξω αλλά προς το κενό που είναι σχετικά θερμότερο προς το εξωτερικό περιβάλλον. Αυτό συμβάλει στην μείωση των απωλειών θερμότητας από το σπίτι.

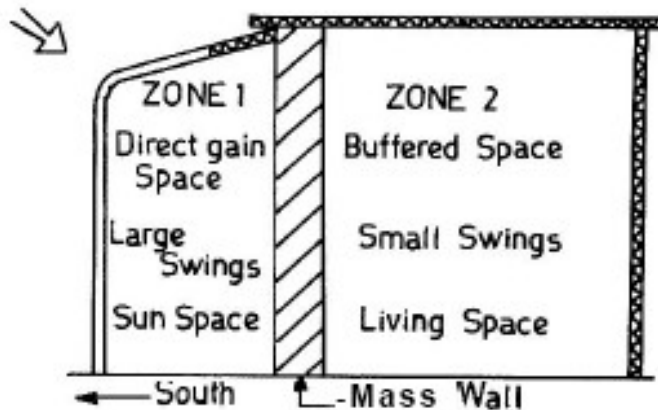


Fig. 4.5. Sunspace: solarium

Σχήμα 2.13

: Απεικόνιση της μορφής ενός τυπικού συστήματος ημιαδιαφανή τοίχου-υαλοπίνακα και της ενεργειακής ροής

-Αν ο τοίχος του κτιρίου είναι ξύλινος το θερμοκήπιο είναι πιο επιρρεπές σε μεγάλες διακυμάνσεις στην θερμοκρασία. Αν ο τοίχος είναι κατασκευασμένος από τσιμέντο τότε οι διακυμάνσεις θα είναι ελάχιστες

-Είναι προτιμότερο να χρησιμοποιείται ένα σκοτεινό χρώμα για τον τοίχο θερμικής μάζας

-Το πάχος του τοίχου πρέπει να είναι 20-30 cm για τα υλικά πλίνθας ή γης, 25-35 cm για το τούβλο, 30-45 cm για (το πυκνό) τσιμέντο.

-Για ένα θερμοκήπιο με έναν θερμικό τοίχο μάζας τσιμέντου, χρησιμοποιούνται 0,30 τετραγωνικά πόδια των νοτίων υαλοπινάκων για κάθε τετραγωνικό πόδι της περιοχής πατωμάτων του χώρου διαβίωσης. Εάν ένας τοίχος νερού χρησιμοποιείται μεταξύ του θερμοκηπίου και του χώρου διαβίωσης τότε χρησιμοποιούνται συνήθως 0,20 τετραγωνικά πόδια του νότιου υαλοπίνακα για κάθε τετραγωνικό πόδι της περιοχής διαβίωσης.

-Χρειάζεται σύστημα εξαερισμού και κυκλοφορίας αέρα για τους θερινούς μήνες.

Σύστημα απομονωμένου κέρδους

Μεγαλύτερη ευελιξία στο σχεδιασμό και στη διαχείριση μπορεί να υπάρξει με τη απομόνωση του κτιρίου της συλλογής της ηλιακής ενεργείας και της αποθήκευσης. Η πιο συνηθισμένη διάταξη βασισμένη σε αυτή τη λογική είναι η θερμοσιφωνική διάταξη του θερμαινόμενου νερού που αποτελεί την πιο απλή μορφή εκμεταλλευσης. Η διάταξη περιλαμβάνει μια επίπεδη πλάκα συλλέκτη που συνδέεται με μια καλά μονωμένη δεξαμενή με μονωμένες επίσης τις σωληνώσεις. Η δεξαμενή βρίσκεται πάντοτε πάνω από τον συλλέκτη για να βελτιώσει την ροή του νερού ή του ρευστού. Το νερό από τη δεξαμενή κυκλοφορεί συνέχεια διαμέσου του σπιτιού για να το ζεστάνει. (σχήμα 2.14)

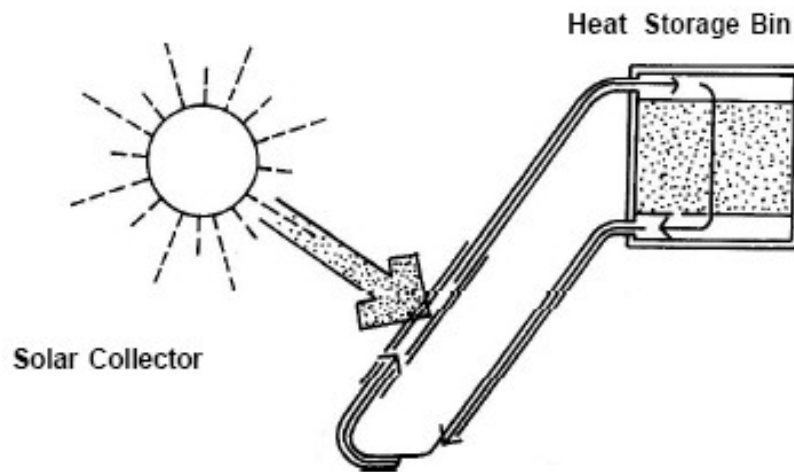


Fig. 4.6. Thermosyphoning water heater

Σχήμα 2.14 : Τυπική διάταξη θερμοσιφωνικής διάταξης

Γενικές παρατηρήσεις

Η συλλογή της ηλιακής ενέργειας βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και ειδικότερα στην είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω του γυαλιού ή άλλου διαφανούς υλικού και τον εγκλωβισμό της προσκύπτουσας θερμότητας στο εσωτερικό του χώρου που καλύπτεται από το γυαλί. Όλα τα παθητικά ηλιακά συστήματα πρέπει να έχουν προσανατολισμό περίπου νότιο, ώστε να υπάρχει ηλιακή πρόσπτωση στα ανοίγματα κατά τη μεγαλύτερη διάρκεια της ημέρας το χειμώνα.

Το συνηθέστερο παθητικό ηλιακό σύστημα (σύστημα άμεσου κέρδους) βασίζεται στην αξιοποίηση των παραθύρων κατάλληλου προσανατολισμού, σε συνδυασμό με την κατάλληλη θερμική μάζα (βαριά υλικά, όπως πέτρα, πλάκες, μπετόν στους τοίχους και στα δάπεδα, χωρίς να είναι καλυμμένα, π.χ. από χαλιά), η οποία απορροφά μέρος της θερμότητας και την «προσφέρει» στο χώρο αργότερα και έτσι διατηρείται ο χώρος θερμός για πολλές ώρες. Ένα νότιο οριζόντιο σκιάστρο μπορεί να εμποδίσει τον καλοκαιρινό ήλιο που έρχεται από πιο ψηλά να μπει απ' ευθείας στο χώρο. Όλα τα Παθητικά Ηλιακά Συστήματα πρέπει να συνδυάζονται με την απαιτούμενη θερμική προστασία

(θερμομόνωση) και την απαιτούμενη θερμική μάζα του κτιρίου, η οποία αποθηκεύει και αποδίδει τη θερμότητα στο χώρο με χρονική υστέρηση, ομαλοποιώντας έτσι την κατανομή της θερμοκρασίας μέσα στο εικοσιτετράωρο. Τα παθητικά ηλιακά συστήματα θα πρέπει το καλοκαίρι να συνδυάζονται με ηλιοπροστασία και συχνά με δυνατότητα αερισμού

Η κάλυψη των αναγκών για την θέρμανση και την ψύξη των κτηρίων με ηλιακά παθητικά συστήματα μπορεί να φτάσει έως και το 100%. Ομως για λόγους οικονομίας κατασκευής ο σχεδιαστής στοχεύει συνήθως στην κάλυψη ως 50%-70% των θερμικών ενεργειακών αναγκών του κτιρίου μέσω της εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας. Το επιπλέον κόστος που συνήθως προϋποθέτει η ενσωμάτωση ηλιακών παθητικών συστημάτων σπανίως υπερβαίνει το 5% του συνολικού προϋπολογισμού της κατασκευής, ενώ συνήθως κυμαίνεται στο 2%-3% του συνολικού κόστους του κτιρίου.

Μειονεκτήματα συστημάτων έμμεσου κέρδους

Γενικά με τα συστήματα έμμεσου κέρδους έχουμε τα εξής μειονεκτήματα

- **Η στραμμένη προς το νότο θεα** και το φυσικό φως της ημέρας χάνονται. Μερικοί τοίχοι Trombe έχουν σχεδιαστεί με ένα παράθυρο για να αντισταθμίσει αυτό. Εάν σχεδιάζεται κατάλληλα, το παράθυρο δεν θα παρεμποδίσει την αποδοτικότητα του συστήματος.
- **Στους τοίχους Trombe** πρέπει να κλείνουν τα ανοίγματα τη νύχτα για να αποτρέψουν αντίστροφη ανακύκλωση του θερμαινόμενου αέρα. Το εσωτερικό του υαλοπίνακα σε έναν αερισμένο τοίχο Trombe θα πρέπει επίσης να καθαριστεί κατά διαστήματα, έτσι η πρόσβαση στο γυαλί πρέπει να έχει ληφθεί υπόψη.
- **Ο τοίχος Trombe** μπορεί να λάβει πάρα πολύ μεγάλη επιφάνεια τοίχων σε ένα μικρότερο σπίτι.
- **Έπιπλα και αντικείμενα** που τοποθετούνται ενάντια ή στον τοίχο Trombe έχουν επιπτώσεις στην αποδοτικότητά του και στη θέρμανση του ζωτικού χώρου.
- **Επειδή ο τοίχος Trombe θερμαίνει μόνο το δωμάτιο** που συνδέεται, το κόστος της εργασίας και τα υλικά στην κατασκευή του μπορεί να είναι σχετικά ψηλά με τη συμβολή που έχει στις γενικές ανάγκες θέρμανσης του σπιτιού.
- **Το καλοκαίρι ή τις χειμερινές ημέρες χωρίς ηλιοφάνεια**, Ο τοίχος Trombe δρα ως Ένας κακώς μονωμένος τοίχος. Εξωτερική κινητή μόνωση θα βελτιώνει την επίδρασή του τοίχου στην άνεση και ενεργειακή χρήση.

3^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

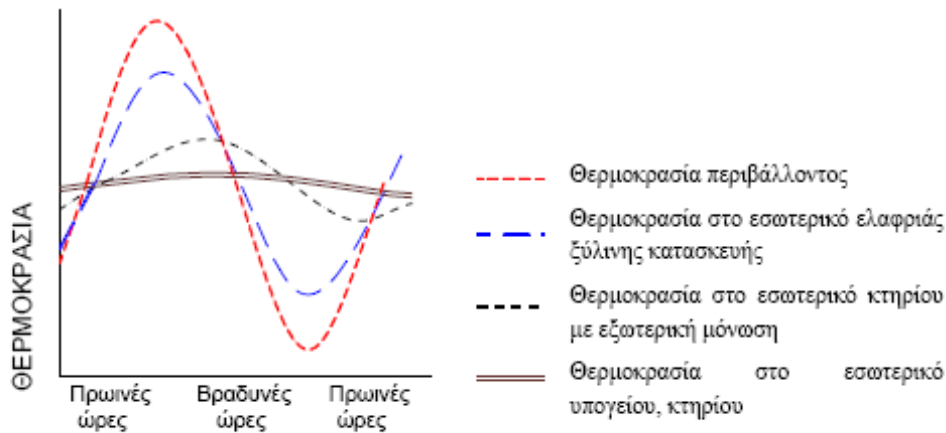
ΘΕΡΜΙΚΗ ΜΑΖΑ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ

3.1. ΕΝΝΟΙΑ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΜΑΖΑΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ

Όλα τα υλικά έχουν την ικανότητα να αποθηκεύουν θερμότητα όσο θερμαίνονται .Μερικά έχουν μεγαλύτερη ικανότητα από άλλα.Ποση θερμότητα μπορεί να αποθηκευτεί και για πόσο χρονικό διάστημα εξαρτάται κυρίως από την **ποσότητα του υλικού,το πάχος και την διάταξη της ύλης** .

Σχήμα

3.1 :



Κατανομή διαφόρων θερμοκρασιών για μια τυπική ποσότητα θερμικής μάζας κατά την διάρκεια της ημερας

Ένα πιο ελαφρύ υλικό(εννουμε μικρότερης πυκνότητας) θα θερμανθεί πιο γρήγορα και θα αποδώσει πιο γρήγορα θερμότητα από ένα βαρύ υλικό(μεγάλης πυκνότητας). Η ικανότητα της θερμικής μάζας καθορίζεται από την **ημερήσια θερμοχωρητικότητα** η οποία ορίζεται ως το ποσό της αποθηκευμένης θερμότητας ανά βαθμό διακύμανσης της εσωτερικής θερμοκρασίας. **Η θερμική μάζα** (σχέδιο 3.1) εξαρτάται κυρίως από τις ιδιότητες του υλικού σε σχέση πάντα με την επαφή του με τον εσωτερικό αέρα του κελύφους και εκφράζεται από το γινόμενο της θερμοχωρητικότητας του υλικού επί την θερμική του αγωγιμότητα..

Η θερμοχωρητικότητα ενός υλικού είναι ανάλογη προς τον όγκο και την πυκνότητα του υλικού. Από τα συνήθη υλικά μεγαλύτερη πυκνότητα έχει ο φυσικός λίθος ενώ ακολουθούν τα τούβλα και το σκυρόδεμα (υλικά θερμικής αποθήκης κτηρίου). **Η θερμοχωρητικότητα όλων των υλικών δεν αυξάνεται από ένα ορισμένο πάχος του υλικού και πέραν** καθιστώντας περιττή την κάθε πρόσθετη αύξηση πάχους για την επίτευξη της θερμικής μάζας. (Περισσότερες λεπτομερείες μπορούν να παρατηρηθούν στον πίνακα 3.2)

Είναι σημαντικό να κατανοηθεί ότι όλα τα υλικά συμπεριφέρονται σαν θερμικές μάζες σε κάποιο βαθμό και σχεδόν όλα έχουν κάποιες μονωτικές ικανότητες. Ομως μόνο οι καλύτεροι μονωτές χρησιμοποιούνται για την μείωση του των θερμικών απωλειών από ένα κτιριο. Με την ίδια λογική μόνο τα βαριά υλικά χρησιμοποιούνται αποκλειστικά σαν θερμικές μάζες για να αποθηκεύουν θερμότητα και να αποδίδουν σε κατάλληλα χρονικά διαστήματα θερμότητα σε κάποιο χώρο. Ως πιο σημαντικά και ευρύτατα σε χρήση αναφέρονται **το τσιμέντο η σκυρόδεμα , νερό ,τούβλα η αλλά δομικά υλικά**. Το ξύλο δεν προσφέρεται για τέτοια χρήση .

Ένας παράγοντας ελέγχου για το σωστό συνδυασμό μεταξύ πηγής θερμότητας ,διάταξης και πάχους της θερμικής μάζας συνήθως χρησιμοποιείται . Στα περισσότερα κτήρια υπάρχει μια κατάλληλη ισορροπία ενέργειας μεταξύ των προσφερομενων πηγών θερμότητας και την

υπάρχουσα ποσότητα θερμικής μάζας. Αν για κάποιο λόγο προστεθεί κάποια μικρή ποσότητα τέτοιων υλικών χωρίς ανησυχία για την πηγή θερμότητας η την διάταξη της μάζας τότε μπορεί να επιτύχουμε μόνο μικρά αποθέματα θερμότητας. Γι αυτό χρειάζεται πολλή προσοχή στον τρόπο χρησιμοποίησης της θερμικής μάζας.

Πίνακας 3.1 : Ογκομετρική ικανότητα για θερμική αποθήκευση διαφόρων υλικών

3.2. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΛΙΚΩΝ

ΥΛΙΚΟ	ΘΕΡΜΙΚΗ ΜΑΖΑ KJ/m ³ ° C
Νερό	4186
Σκυρόδεμα	2060
τούβλο	1360

Για την διαχείριση τέτοιων υλικών αποτελεσματικά πρέπει να γίνουν κατανοητά κυρίως 2 πράγματα

- α) Πως στα αλήθεια λειτουργεί η μάζα σαν χώρος αποθήκευσης
- β) Πότε Αξίζει να χρησιμοποιηθεί

Η μάζα αποθήκευσης θερμότητας δουλεύει με την απορρόφηση θερμότητας από μια πηγή θερμότητας (όπως ο τοίχος Trombe με πηγή θερμότητας τον ήλιο) και την αποδίδει αργότερα στο χώρο. Όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος χώρου πέφτει κάτω αποτην θερμοκρασία της μάζας

(Κατω-σχήμα 3.2- παρουσιάζεται ένας τοίχος μάζας θερμικής αποθήκευσης Trombe. Ένας χαρακτηριστικός τοίχος Trombe έχει πάχος από 8 ως 16-ίντσες και πλαισιώνεται απέναντι από ένα ενιαίο ή διπλό υαλοπίνακα. Το γυαλί τοποθετείται 3/4 "ως 6" μακριά από τον τοίχο για να δημιουργήσει έναν μικρό εναέριο χώρο. Η θερμότητα από το φως του ήλιου που γυαλιού από τη επιφάνεια του αποθηκεύεται διευθύνεται εσωτερικό



περνά μέσω του απορροφάται σκοτεινή τοίχου μάζας, στον τοίχο, και αργά προς το του)

Σχήμα 3.2 : Χρήση θερμικής μάζας(τσιμέντο) σε τοίχο trombe

Για παράδειγμα ένα δοχείο με υγρό που εξάγεται από ένα ψυγείο θα θερμανθεί σιγά σιγά από τον θερμότερο αέρα του δωματίου μέχρι να φτάσει την ίδια θερμοκρασία με αυτή του αέρα. Το υγρό έχει αποθηκεύσει μια συγκεκριμένη ποσότητα θερμότητας γίνοντας πιο θερμό από ότι ήταν πριν .Όμως Αυτή η αποθηκευμένη ποσότητα θερμότητας θα αποδοθεί μόνο αν η θερμοκρασία του περιβάλλοντα χώρου είναι κάτω από αυτή του υγρού. Η θερμική μάζα δεν αυξάνει την διαθέσιμη προς απόδοση θερμότητα. Χρησιμοποιεί θερμότητα που έχει παραχθεί από μια πηγή .

Η θερμική μάζα πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο όταν η πηγή θερμότητας παράγει από μια ποσότητα και άνω δηλ περισσότερο από ότι χρειάζεται για να διατηρηθεί η περιοχή σε όρια ανεχτά για διαβίωση κάθε χρονική στιγμή .Μια τέτοια κατάσταση θα μπορούσε να είναι το πρόβλημα της υπερθέρμανσης που προκαλείται όταν αφήνουμε ένα αυτοκίνητο κλειστό παρκαρισμένο στο ήλιο μια θερμή μέρα . Η πηγή θερμότητας είναι ο ήλιος και η ακτινοβολία που μπαίνει μέσα από τα παράθυρα και παγιδεύεται μέσα. Τις κρύες μέρες με ηλιοφάνεια το αυτοκίνητο μπορεί να είναι ανεκτικά ζεστό διατηρώντας μια κατάλληλη θερμοκρασία αλλά μια θερμή μέρα το αυτοκίνητο ζεσταίνεται και η θερμοκρασία του φτάνει σε επίπεδα πολύ υψηλά .

Τότε μπορούμε να πούμε ότι υπάρχει **ένα σχετικό περίσσειμα θερμότητας** περισσότερο από ότι χρειάζεται για την αίσθηση άνεσης στο χώρο. Η γρήγορη εισροή θερμότητας ξεπερνάει την ικανότητα των υλικών του αυτοκινήτου για να απορροφήσουν την θερμότητα. Το ίδιο πρόβλημα παρατηρείται όταν έχουμε ένα κτήριο συνηθισμένης κατασκευής με μεγάλους υαλοπίνακες που αντικρίζουν τον ήλιο. Σε αυτήν την περίπτωση προσθέτοντας θερμική μάζα στο εσωτερικό του σπιτιού μπορεί να προβεί αποτελεσματικό στην αποθήκευση της περισσευούμενης θερμότητας που πιθανόν να μην μπορούσε να απορροφηθεί πιο πριν και να αποδιδόταν έτσι πολύ γρήγορα στο χώρο.

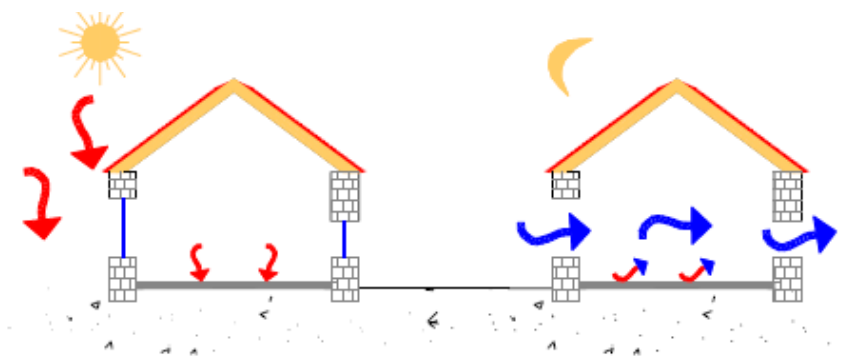
Αυτή η προστιθέμενη μάζα θα είχε δυο συνέπειες.

α)Με την απορρόφηση κάποιας η όλης της περισσευούμενης ποσότητας το εσωτερικό δεν θα θερμαινόταν τόσο γρήγορα (με αποτέλεσμα υπερθέρμανση)

β)Η απορροφημένη η αποθηκευμένη θερμότητα θα χρησιμοποιούνταν για την θέρμανση του χώρου αργότερα.

Όταν δεν υπάρχει αρκετή θερμική μάζα για την αποτροπή της υπερθέρμανσης τα παράθυρα ανοίγουν η ανεμιστήρες χρησιμοποιούνται για την διατήρηση ανεκτικής θερμοκρασίας μέσα στο κτήριο και το περίσσευμα θερμότητας χάνεται στο περιβάλλον.Όταν υπάρχει αρκετή ποσότητα υλικού μάζας αποθήκευσης το περίσσευμα θερμότητας κρατιέται και διατηρείται μέσα στη μάζα για να είναι διαθέσιμη για μεταγενέστερη χρήση.Αν η αποθηκευμένη θερμότητα δεν θα χρειαστεί μετά από κάποιο διάστημα δεν υπάρχει ανάγκη για την χρησιμοποίηση θερμικής μάζας.

Για να έχει αξία η αποθηκευμένη θερμότητα, θα πρέπει να μπορεί να αντικαταστήσει την ενεργεία που παρέχεται από π.χ ένα αντίστοιχο τζάκι η πηγή θερμότητας.Η θερμική μάζα καθυστερεί την επιρροή της πηγής θερμότητας.Αυτο είναι σημαντικό μόνο όταν η πηγή θερμότητας δεν ταιριάζει στις απαιτήσεις θερμότητας η ψύξης και όταν η καθυστερημένη επιρροή διατηρεί το εσωτερικό του χώρου σε ανεκτικές θερμοκρασίες.Ενα τζάκι η μια πηγή θερμότητας που ελέγχεται μέσω θερμοστάτη είναι ένα παράδειγμα μιας πηγής θερμότητας που ταιριάζει (από την αντίδραση του θερμοστάτη στην θερμοκρασία του δωματίου) στις ανάγκες του χώρου.Η χρήση της θερμότητας από μια τέτοια πηγή δεν μπορεί να επηρεαστεί σημαντικά από την θερμική μάζα.Σε αντίθεση το περίσσευμα θερμότητας από μια φωτιά (που καίμε ξύλα)δεν ταιριάζει αυτόματα στις ανάγκες θέρμανσης του χώρου.



Εικόνα 2.18: Λειτουργία της θερμικής μάζας δαπέδου το καλοκαίρι

δαπέδου το καλοκαίρι

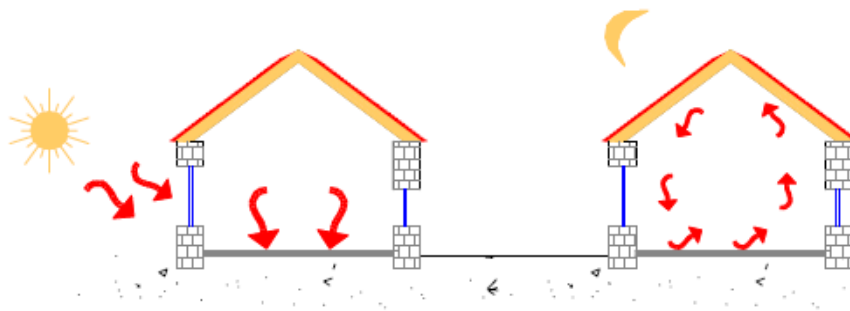
Σχήμα 3.2 :
Λειτουργία της
θερμικής μάζας

Η θερμική μάζα μπορεί να καθυστερήσει την επιρροή μιας τέτοιας πηγής θερμότητας για άλλη ώρα ανάγκης στο χώρο.Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται ειδικά στην Ελλάδα όπως και στις ΗΠΑ η αδυναμία για καλύτερη εξοικονόμηση θερμότητας μέσα από την σωστή χρήση των κτηρίων ως μέσα αποθήκευσης.Με αποτέλεσμα να έχουμε μεγάλες

απώλειες θερμότητας και μεγάλα κόστη για την θέρμανση των χώρων καθώς και εξάρτηση με αυτόν τον τρόπο από μη ανανεώσιμες πηγές θερμότητας.

Αν μπορούμε να εκμεταλλευτούμε την ηλιακή ακτινοβολία στο μέγιστο βαθμό με σωστή χρήση μάζας αποθήκευσης τότε θα έχουμε εξασφαλίσει σημαντικά ενεργειακά αποθέματα και οικονομικά μακροπρόθεσμα.

Αφού η προσθετική χρήση θερμικής μάζας προϋποθέτει ένα προσθετικό κόστος στον ιδιοκτήτη του σπιτιού θα συντελέσει σε μεγαλύτερα ετήσια αποθέματα για τα χρήματα που θα έχουν ξοδευθεί. Κατά την περίοδο της θερμής περιόδου (σχήμα 3.2) η απαίτηση σε θερμότητα σε ένα τυπικό και καλά μονωμένο σπίτι είναι τέτοια ώστε οι περισσότερες πηγές θερμότητας μέσα στο χώρο όπως θερμότητα από τα φώτα, συσκευές, άτομα να μπορούν να τις φέρουν σε ισορροπία. Σε αυτή την περίπτωση η θερμική μάζα δεν μπορεί να βοηθήσει αφού δεν υπάρχει αξία στην καθυστέρηση απόδοσης θερμότητας. Υπάρχει όμως μια πηγή θερμότητας όπου η χρήση θερμικής μάζας σε ένα χώρο μπορεί εύκολα να γίνει μια μεγάλη εισροή θερμότητας. Αυτή η πηγή θερμότητας είναι η ηλιακή ενεργεία. Αν η επιφάνεια του υαλοπίνακα στη Νότια πλευρά είναι αρκετά μεγάλη τότε μπορεί να δημιουργηθεί ένα κατάλληλο περισευομένο πόσο θερμότητας για τις νυχτερινές ώρες. Χωρίς θερμική μάζα το σπίτι θα θερμαινόταν απότομα.



Εικόνα 2.19: Λειτουργία της θερμικής μάζας δαπέδου το χειμώνα.

Σχήμα 3.3 : Λειτουργία της θερμικής μάζας δαπέδου το χειμώνα

3.3. ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΜΑΖΑΣ

Η χρήση της θερμικής μάζας τελικά συνδέεται άμεσα με τις παρακάτω διαπιστώσεις και παρατηρήσεις

1) Στις βόρειες προσανατολισμένες επιφάνειες δεν υπάρχει πρακτικά ανάγκη για χρονική καθυστέρηση αφού οι επιφάνειες αυτές έχουν μικρά θερμικά κέρδη.

2) Στις επιφάνειες με ανατολικό προσανατολισμό είναι προτιμότερο να υπάρχει χρονική καθυστέρηση μεγαλύτερη από δεκατέσσερις ώρες έτσι ώστε η απελευθέρωση θερμότητας να γίνεται αργά το απόγευμα.

3) Στις νότιες και τις δυτικές επιφάνειες μία χρονική καθυστέρηση οκτώ ωρών είναι αρκετή για να επιβραδύνει την απελευθέρωση θερμότητας μέχρι το βράδυ.

4) Η οροφή του κτηρίου που είναι εκτεθειμένη στην ηλιακή ακτινοβολία για το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα της ημέρας, απαιτεί μεγάλη χρονική καθυστέρηση (άρα μεγάλη θερμική μάζα) ή εναλλακτικά επιπρόσθετη μόνωση.

5) Για να γίνει δυνατή η εκμετάλλευση της θερμικής μάζας του κτηρίου πρέπει η μόνωση να τοποθετείται στην εξωτερική πλευρά του κτηρίου διαφορετικά δεν είναι δυνατή η αποθήκευση πλεονάζουσας θερμότητας και η απόδοσή της στο εσωτερικό σε μεταγενέστερο χρόνο.

Υλικό	Ημερήσια θερμοχωρητικότητα KJ/°C m ²				
	Πάχος υλικού				
	5cm	10cm	15cm	20cm	25cm
Σκυρόδεμα	120	200	240	245	245
Φυσικός λίθος	100	175	185	185	185
Τούβλο	80	140	150	150	150
Ξύλο	30	35	35	35	35

Πίνακας 2.9: Ημερήσια θερμοχωρητικότητα διαφόρων υλικών

Πίνακας 3.2 : Τιμές ημερησίας θερμοχωρητικότητας για διάφορα δομικά υλικά σε σχέση με το πάχος

3.3.1. Θερμοκρασιακή αγωγιμότητα (α) υλικών

Από τα χαρακτηριστικά του κάθε υλικού που είναι η πυκνότητα ρ ($\frac{kg}{m^3}$), η ειδική θερμική

αγωγιμότητα k ($\frac{W}{mK}$) και η ειδική θερμοχωρητικότητα c ($\frac{J}{kgK}$) ορίζεται ένα χαρακτηριστικό μέγεθος για την θερμική απόδοση του κάθε υλικού. Το μέγεθος αυτό είναι η θερμοκρασιακή αγωγιμότητα (α) όπου $\alpha = \frac{k}{\rho c}$

Η φυσική σημασία της θερμοκρασιακής αγωγιμότητας α συδεται με τη μεταφορά θερμότητας σε ένα σώμα, όταν η θερμοκρασία του μεταβάλλεται με το χρόνο. Όσο υψηλότερη είναι η τιμή της θερμοκρασιακής αγωγιμότητας, τόσο ταχύτερα διαχεται η θερμότητα στο υλικό (στον πίνακα 3.3 παρατηρούμε ενδεικτικές τιμές υλικών).

Π.χ σε ένα ημιαπειρο σώμα το οποίο εκτείνεται από $\chi=0$ ως και $\chi=\infty$ και αρχικά η θερμοκρασία του είναι ομοιόμορφη $T_{\chi=0}=100^\circ C$ εάν ξαφνικά η θερμοκρασία στην επιφάνεια

$\chi=0$ γίνει 0°C και παραμένει σταθερή, στο εσωτερικό του σώματος η θερμοκρασία θα μεταβάλλεται συνεχώς σε κάθε σημείο του με το χρόνο. Από τον πίνακα κάτω προκύπτει το χρονικό διάστημα για να μειωθεί η θερμοκρασία στο $(1/2) T_0$ σε απόσταση 30 cm από την οριακή επιφάνεια του σώματος, για διάφορα υλικά.

Πίνακας 2.2 Επίδραση της θερμοκρασιακής αγωγιμότητας στη διάχυση θερμότητας

Υλικό	Άργυρος	Χαλκός	Χάλυβας	Γυαλί
$\alpha \times 10^6 \times \text{m}^2/\text{sec}$	170	103	12,9	0,59
Χρόνος	9,5 min	16,5 min	2,2 h	2,0 ημ.

Πίνακας 3.3 : Επίδραση τη ρεοκρασιακης αγωγιμότητας στην διάχυση θερμότητας για διάφορα υλικά

ΚΥΡΙΟ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ: όταν η θερμοκρασιακή αγωγιμότητα έχει υψηλή τιμή η θερμότητα χρειάζεται λιγότερο χρόνο για να διεισδύσει στο σώμα

3.4. ΚΥΡΙΟΤΕΡΑ ΥΛΙΚΑ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΜΑΖΑΣ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Όπως αναφέρθηκε ένα πλήθος υλικών χρησιμοποιείται για καλή θερμική αποθήκευση σε διάφορους τύπους τοίχων μάζας. Παρατηρείται ότι πρέπει να εμφανίζουν σε ικανοποιητικό βαθμό συγκεκριμένες ιδιότητες που είναι σημαντικές για την θερμική αποθήκευση και την κατάλληλη χρονική απόδοση σε ένα χώρο. Οι ιδιότητες αυτές είναι οι εξής

Υψηλή πυκνότητα –Όσο πυκνότερο το υλικό (δηλ. λιγότερη ποσότητα παγιδευμένου αέρα) τόσο περισσότερη η θερμική μάζα του. Π.χ το σκυρόδεμα έχει την περισσότερη θερμική μάζα, ο φραγμός AAC έχει μικρή θερμική μάζα, και η μόνωση δεν έχει καμία.

Καλή θερμική αγωγιμότητα - το υλικό πρέπει να επιτρέπει στη θερμότητα να την διαπερνάει. Π.χ το λάστιχο είναι ένας φτωχός αγωγός της θερμότητας, το τούβλο είναι καλό, το ενισχυμένο σκυρόδεμα είναι καλύτερο. Αλλά εάν η

αγωγιμότητα είναι πάρα πολύ υψηλή (π.χ. χάλυβας) η ενέργεια απορροφάται και εκπέμπεται πάρα πολύ γρήγορα για να δημιουργήσει την επίδραση καθυστερήσεων που απαιτείται για την ημερήσια άνεση.

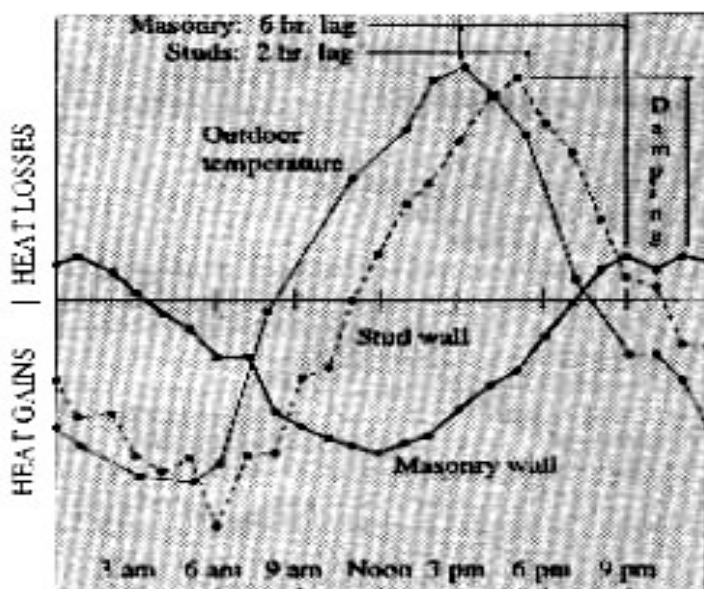
Η χαμηλή ανακλαστικότητα - σκοτεινές κατασκευασμένες επιφάνειες απορροφούν και επανακτινοβολούν περισσότερη ενέργεια από τις ελαφριές, ομαλές, αντανακλαστικές επιφάνειες. (Εάν υπάρχει ιδιαίτερη θερμική μάζα στους τοίχους, ένα πιο αντανακλαστικό πάτωμα θα διανείμει τη θερμότητα στους τοίχους).

Αντίσταση στην ροή θερμότητας, -ειπώθηκε ήδη ότι ένα υλικό πρέπει να είναι καλός αγωγός θερμότητας για απόδοση θερμότητας σε ένα χώρο. Εδώ παρουσιάζεται ένα αντιφατικό χαρακτηριστικό. Τα υλικά πρέπει να παρουσιάζουν και καλή αντίσταση στην ροή θερμότητας ώστε να μην αποδίδεται η ροή θερμότητας στο χώρο αλλά με την επιθυμητή καθυστέρηση για την σωστή άνεση στο χώρο. Ρολος λοιπόν της αντίστασης (R) είναι να καθυστερεί ουσιαστικά την μεταφορά θερμότητας σε ένα χώρο. Π.χ το συμβατικό τσιμέντο έχει χαμηλή αντίσταση αλλά μεγάλη θερμική μάζα (μεγάλη ογκομετρική ικανότητα για αποθήκευση θερμότητας). Μονωτικοί τοίχοι παρουσιάζουν μεγάλη αντίσταση αλλά μικρή θερμική μάζα. Παρατηρείται ότι ο σωστός Συνδυασμός ενός υλικού μεγάλης θερμικής μάζας και ενός άλλου με μεγάλη αντίσταση ροής επιτυγχάνουν μια καλή και ελεγχόμενη ροή θερμότητας

3.4.1. Υλικά

Ξύλο: είναι ένα σύννηθες δομικό υλικό αλλά ένα πολύ κακό μέσο θερμικής αποθήκευσης και ουσιαστικά δε δρα σαν αγωγός θερμικής ροής. Πρέπει να τονιστεί ότι εδώ η ροή θερμότητας δεν μεταφέρεται προς το εσωτερικό ώστε να αποθηκευτεί και να αποδοθεί αργότερα στο μέλλον αλλά απορρίπτεται και ακτινοβολείται προς πιο κρύα σώματα όσο αυξάνεται η θερμοκρασία της εξωτερικής επιφανείας

Χάλυβας: Έχει υψηλές δυνατότητες για θερμική αποθήκευση αλλά παρουσιάζει 2 σημαντικά μειονεκτήματα. Δεν προσφέρεται για καλή απορρόφηση της ακτινοβολίας (αν έχει προέρθει από τον ήλιο) με αποτέλεσμα αυτή να αντανακλάται προς τα έξω. Επίσης η πολύ καλή αγωγιμότητα του λειτουργεί σαν μειονέκτημα αφού υποχρεώνει το υλικό να αποδίδει την θερμότητα που παραλαμβάνει πολύ γρήγορα σε σχέση με την καθυστέρηση που επιζητούμε για το μέλλον.



Σχήμα 3.4 : Απεικόνιση της μεταβολής της χρονικής υστερήσης που πετυχαίνεται με τη χρήση τσιμέντου σε συνδυασμό με τεκτονικά υλικά

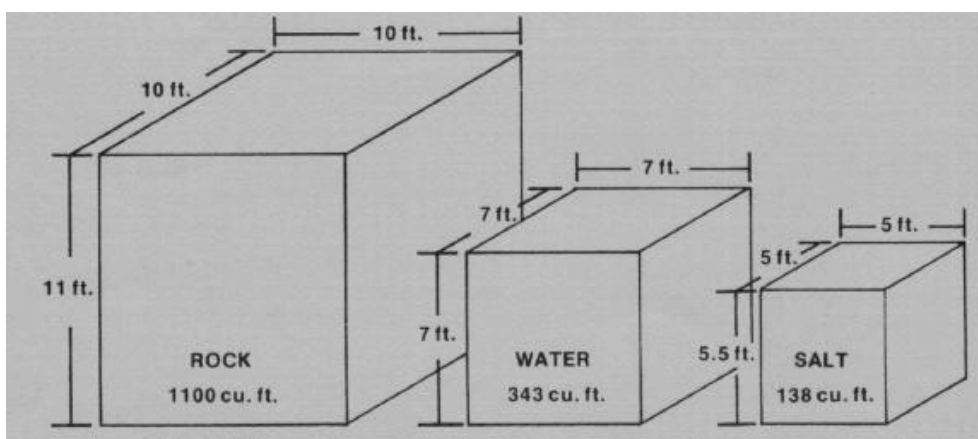
Τσιμέντο: Το τσιμέντο και άλλες παρεμφερείς χημικές ενώσεις είναι ιδανικά για θερμική αποθήκευση και απόδοση. Έχει υψηλή θερμοχωρητικότητα, καλή ικανότητα για μεταφορά θερμότητας προς το εσωτερικό, υψηλή απορροφητικότητα για ακτινοβολία. (πάνω-σχήμα 3.4- η χρονική καθυστέρηση που πετυχαίνεται με τη χρήση τσιμέντου σε συνδυασμό με τεκτονικά υλικά). Αν υπολογισθεί σωστά η ποσότητα χρήσης καθώς και οι διαστάσεις των τοίχων τότε μπορεί να αποτελέσει ένα όργανο ελέγχου θερμικής ροής προς το εσωτερικό των χώρων. Η χρήση του συνεπάγεται την μείωση κατά πολύ των διαστάσεων των χώρων αφού παράλληλα ντύνει τον σκελετό του εκάστοτε κτιρίου χωρίς να απαιτείται χρήση προσθετικής θερμικής μάζας. Το τσιμέντο και ειδικά αν βρίσκεται σε πυκνότερη μορφή έχει το προνόμιο να αντιδρά πιο αργά στις αλλαγές της θερμοκρασίας. Αυτή η θερμική καθυστέρηση επιτρέπει στο τσιμέντο να χρεωθεί με θερμό ή και κρύο αέρα κατά τη διάρκεια των ωρών θερμικής αιχμής και να αντιδράσει αργά με τον αέρα του εσωτερικού χώρου.

Πέτρα: Είναι ένα υλικό αποθήκευσης φτηνό και εύκολα διαθέσιμο, έχει τα καλά χαρακτηριστικά μεταφοράς θερμότητας με τον αέρα (το μέσο μεταφοράς) στις χαμηλές ταχύτητες. Μοναδικό μειονέκτημα είναι η ευκολία με την οποία προσβάλλεται από υγρασία και έτσι μπορεί να είναι αρνητικός παράγοντας για την επίτευξη καλής άνεσης στον θερμαινόμενο χώρο αφού είναι το κύριο δομικό υλικό για την ανάπτυξη μικροβίων στο εσωτερικό.

Νερό: Έχει προαναφερθεί η χρήση του νερού σαν μέσο θερμικής αποθήκευσης αλλά μειονεκτεί αφού χρησιμοποιείται μόνο σε δεξαμενές και φυσικά όχι σαν δομικό υλικό με αποτέλεσμα να επηρεάζει τις γενικότερες διαστάσεις του χώρου. Έχει εξαιρετικά χαρακτηριστικά θερμικής αγωγιμότητας και θερμοχωρητικότητας ενώ ενδεικτικά αναφέρουμε ότι έχει 5 φορές μεγαλύτερη ογκομετρική θερμοχωρητικότητα σε σχέση με την πέτρα και το τσιμέντο

**Υλικά
φάσεως(**
χημικές

σε μια
την υγρή



**αλλαγής
PCM's):** είναι
ουσίες που
υποβάλλονται
μετάβαση (από
στη στερεά

φάση) για λόγους θέρμανσης. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας μετάβασης, το υλικό απορροφά την ενέργεια καθώς πηγαίνει από την στερεά σε υγρή φάση και απελευθερώνει την ενέργεια όπως επιστρέφει στην στερεά.

Σχημα 3.5: ογκομετρικές δυνατότητες θερμικής αποθήκευσης πετρας, νερού, αλάς

Αυτό που καθιστά ένα **PCM επιθυμητό για την αποθήκευση θερμότητας** είναι η δυνατότητά του να κρατήσει τα πολύ ποικίλα ποσά ενέργειας στην ίδια θερμοκρασία. Παρομοια συμπεριφορά συναντούμε στο νερό. Όταν το νερό γίνεται πάγος η θερμότητα απορροφάται ουσιαστικά από το ψυκτικό μέσο του ψυγείου μέχρι να γίνει τελικά πάγος. Αν μετά αυτό το κομμάτι πάγου τοποθετηθεί μέσα σε κάποιο δοχείο με υγρό θερμοκρασίας δωματίου λειώνει αφού απορροφάει θερμότητα από το υγρό. Το πόσο θερμότητας που απορροφηθηκε είναι περίπου 92.38 W/h kg που σημαίνει αναλογικά ότι 0.37 kg πάγου μπορούν να κρυώσουν 0.37 kg νερού από τους 175° C στους 0 ενώ αυτό αλλάζει μόνο μορφή. Αυτήν την περίοδο μελετούνται ως πιθανά υλικά αποθήκευσης τουλάχιστον δώδεκα χημικές ενώσεις που αλλάζουν φάση στις θερμοκρασίες μέσα στα χρήσιμα όρια για τη θέρμανση χώρου. Όμως σε αυτό το σημείο, μόνο το άλας Glauber (Ένωση θειικού άλατος -νατρίου) πωλείται εμπορικά. Το άλας του Glauber αλλάζει φάση στους 32° C- 90° και έχει μια "λανθάνουσα θερμότητα" (ποσό θερμότητας που απορροφάται ή που αποδεσμεύεται κατά τη διάρκεια της αλλαγής φάσης) περίπου 69.77 W/h kg. Λόγω της υψηλής λανθάνουσας θερμότητάς του, το **άλας Glauber απαιτεί το λιγότερο όγκο αποθήκευσης** από τα συνήθη δομικά υλικά (τσιμέντο-τούβλα-πέτρα) είτε το Νερό κάτι που θα μπορούσε να σημαίνει χαμηλότερο κόστος δυνατότητας αποθήκευσης και περισσότερο χρησιμοποιήσιμο διάστημα μέσα στο σπίτι για να αντισταθμιστεί το υψηλό κόστος του υλικού .

Πρέπει να τονιστεί εδώ, ότι τα PCM's συνήθως έχουν χημικές ενώσεις που μπορούν να παρουσιάσουν προβλήματα στη θερμική αποθήκευση και μεταφορά αλλά είναι προβλήματα που αντιμετωπίζονται. Ένα τέτοιο πρόβλημα είναι το έντονο φαινόμενο της ψύξης όταν η θερμότητα αποδίδεται . Αυτό σημαίνει ότι πρακτικά ενώ θα περιμέναμε την απόδοση της

λανθάνουσας θερμότητας στην θερμοκρασία της αλλαγής φάσης το PCM μπορεί να παραμείνει υγρό μέχρι να πέσει η θερμοκρασία του κάτω από 15-30 °C από την θερμοκρασία αλλαγής φάσης. Το φαινόμενο αυτό συνήθως αντιμετωπίζεται με κατάλληλες προσμίξεις ουσιών που αποκαθιστούν την αλλαγή φάσης στην κατάλληλη θερμοκρασία. Άλλο πρόβλημα παρουσιάζεται κατά την τήξη του PCM που συμβαίνει όταν το άλας είναι μερικώς αδιάλυτο στο νερό της κρυσταλλοποίησης. Ειδικά στο άλας του Glauber στην θερμοκρασία τήξης του ένα μεγάλο ποσοστό παραμένει σε αδιάλυτη και άνυδρη μορφή. Το γεγονός ότι είναι δίπλα πυκνότερο σε σχέση με την διαλυτή μορφή επιτρέπει στην μη κρυσταλλοποίηση της Ένωσης Όταν αποδοθεί η θερμότητα. Το φαινόμενο αυτό ρίχνει εν μέρει τις ογκομετρικές δυνατότητες του άλατος ως προς την αποθήκευση της θερμότητας.

3.5. ΔΕΙΚΤΕΣ ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

3.5.1. Παραγοντας μείωσης

Ο παράγοντας μείωσης είναι ένα πολύ σημαντικό μέγεθος κατά την αποθήκευση θερμότητας σε ένα τοίχο μάζας γιατί δείχνει την **χρονική υστέρηση μεταξύ αποθήκευσης και μεταφοράς θερμότητας** προς τον εκάστοτε χώρο. Δεδομένου των βασικών χαρακτηριστικών του υλικού και της αποθηκευτικής ικανότητας του τοίχου μπορεί κάποιες φορές να παραληφθεί.

Το αποτέλεσμα της θερμικής χωρητικότητας σε ένα τοίχο κτιρίου είναι κυρίως να καθυστερήσει την επίτευξη των συνθηκών σταθερής κατάστασης αφού η θερμότητα έχει απορροφηθεί από την εξωτερική επιφάνεια του τοίχου. Η αλλαγή της θερμοκρασίας στη εκτεθειμένη επιφάνεια προκαλείται μέσω του υλικού σαν ένα θερμικό κύμα που βαθμιαία χάνει την ικανότητα όπως προχωράει. Για μια ημιτονοειδή αλλαγή της θερμοκρασίας της εκτεθειμένης επιφανείας η θερμοκρασία σε κάθε σημείο θα είναι επίσης της ίδιας μορφής και της ίδιας συχνότητας αλλά καθυστερεί σε σχέση με τη διαφοροποίηση της θερμοκρασίας της επιφανείας όλο και περισσότερο όσο μεγαλώνει η απόσταση από την επιφάνεια δημιουργώντας ταυτόχρονα μεγαλύτερη μείωση του θερμικού κύματος. Ο λόγος του θερμοκρασιακού εύρους των εσωτερικών και εξωτερικών επιφανειών λέγεται παράγοντας μείωσης. Η χρονική καθυστέρηση και ο παράγοντας μείωσης συνδέονται. **Για τα ογκώδη στοιχεία του κτιρίου** η χρονική καθυστέρηση είναι μεγαλύτερη και ο παράγοντας μείωσης μικρότερος από ένα στοιχείο μικρότερης πυκνότητας

3.5.2. Καθυστέρηση φάσης

Η καθυστέρηση φάσης είναι η χρονική καθυστέρηση μεταξύ της επιρροής της ημερήσιας κατανομής της θερμοκρασίας και της ακτινοβολίας στην εξωτερική εκτεθειμένη επιφάνεια από την κατανομή της θερμοκρασίας στην εσωτερική επιφάνεια. Η θερμοχωρητικότητα των στοιχείων του κτιρίου (δηλαδή η ικανότητα του υλικού να αποθηκεύει θερμότητα) παίζει σημαντικό ρόλο στην κατανόηση της καθυστέρησης φάσης που χαρακτηρίζει την διάφορα μεταξύ της θερμικής απόδοσης των πιο ογκωδών κατασκευών ως προς την εξάρτηση από τον χρόνο και τις ελαφρότερες κατασκευές κάτω

από τις ίδιες συνθήκες .Π.χ το θερμικό κέρδος από ένα τοίχο πάχους 200 mm αποτελούμενο από τούβλα κάτω από τυπικές καλοκαιρινές συνθήκες στις θερμότερες χώρες μπορεί να φτάσει το μισό από εκείνο μιας παρόμοιας ελαφριάς κατασκευής .Η χρονική καθυστέρηση για ένα ομοιογενές υλικό που υπόκειται σε θερμοκρασιακές διακυμάνσεις με μια περίοδο 24 ωρών δίνεται με σχετική ακρίβεια από τον παρακάτω τύπο

$$\psi = 1.38 \cdot L \sqrt{\frac{1}{U}} \quad (3.5.1)$$

όπου ψ =χρονική καθυστέρηση (sec) L =είναι το πάχος του τοίχου (m)

$$U = \frac{k}{\rho C_p}$$

η θερμική διαχυτικότητα (m^2/s) που ουσιαστικά είναι άλλη έκφραση της θερμικής αγωγιμότητας

Πιο επακριβής υπολογισμός μπορεί να γίνει με τη χρήση σειρών Fourier κάτι που ξεφεύγει από τα όρια αυτής της μελέτης

Σημαντικά αποθέματα θερμότητας μπορούν αν επιτυγχάνουν με τη συνετή χρήση συνδυασμών ελαφριών(μικρότερης πυκνότητας) μονωτικών υλικών με μικρή θερμοχωρητικότητα και πιο βαριά υλικά με μεγάλη θερμοχωρητικότητα για να επιτυγχάνουν μεγάλες χρονικές καθυστερήσεις χωρίς να χρησιμοποιηθούν μεγάλα πάχη που σε άλλη περίπτωση θα απαιτούνταν για την χρήση ενός ομογενούς υλικού. Η χρονική καθυστέρηση μέσα από ένα πολυεπίπεδο(δηλ χρήση διαφορετικού υλικού σε κάθε στρώμα) μπορεί να υπολογισθεί χρησιμοποιώντας χρονικές σταθερές οριζόμενες **σαν την θερμοκρασία που χρειάζεται ένα επίπεδο του τοίχου για να αυξηθεί η θερμοκρασία του σε μια συγκεκριμένη αναλογία ως προς μια στιγμιαία αλλαγή στην εξωτερική θερμοκρασία** .Ορίζεται από το λογο

χρονική σταθερά =

$$t = \frac{\text{ογκομετρική} - \text{θερμοχωρητικότητα} \cdot \text{υλικού} \cdot \text{επιπέδου}}{\text{ποσοστό} \cdot \text{μεταφοράς} \cdot \text{θερμοτητας} \cdot \text{προς} \cdot \text{το} \cdot \text{υλικό} \cdot \text{ανα} \cdot \text{βαθμο} \cdot \text{θερμοκρασιακής} \cdot \text{διαφοράς}}$$

TABLE 5.12 Time lag for homogeneous materials (After Evans, 1980)

Material		Diffusivity ($\times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$)	Time lag in hours					
			Thickness of materials (mm)					
			25	50	100	150	200	300
Dense concrete	min	0.768		1.1	2.5	3.8	4.9	7.9
	max	1.03		1.5	3.0	4.4	6.1	9.2
Brick	min	0.56			2.3	-	5.5	8.5
	max	0.66			3.2	-	5.5	10
Wood	min	0.125	0.4	1.3	3.0	-	-	-
	max	0.162	0.5	1.7	3.5	-	-	-
Fibre insulating board	average		0.27	0.77	2.7	5.0	-	-
Concrete with foamed slag aggregate	average				3.25	-	8	-
Stone	average	1.86				-	5.5	8.0
Stabilized soil	average				2.4	4.0	5.2	8.1

$$\tau = \frac{Q_v}{U} \text{ (in seconds).}$$

Πίνακας 3.4 : Χρονική καθυστέρηση φάσης για ομοιογενή υλικά σε σχέση με το πάχος διαφόρων υλικών

Για ένα πολυεπίπεδο σώμα ή τοίχο θα ισχύουν οι ακόλουθες εκφράσεις

$$\frac{Q}{U} = \frac{Q_{v1}}{U_1} + \frac{Q_{v2}}{U_2} + \frac{Q_{v3}}{U_3} + \dots \quad (3.5.2)$$

1^ο επίπεδο

$$\frac{Q_{v1}}{U_1} = (R_{so} + \frac{L_1}{2K_1})(L_1 \rho_1 C_1) \quad (3.5.3)$$

2^ο επίπεδο

$$\frac{Q_{v2}}{U_2} = (R_{so} + \frac{L_1}{K_1} + \frac{L_2}{2K_2})(L_2 \rho_2 C_2) \quad (3.5.3)$$

και ούτω καθεξής για κάθε διαφορετικό υλικό που συναντάμε

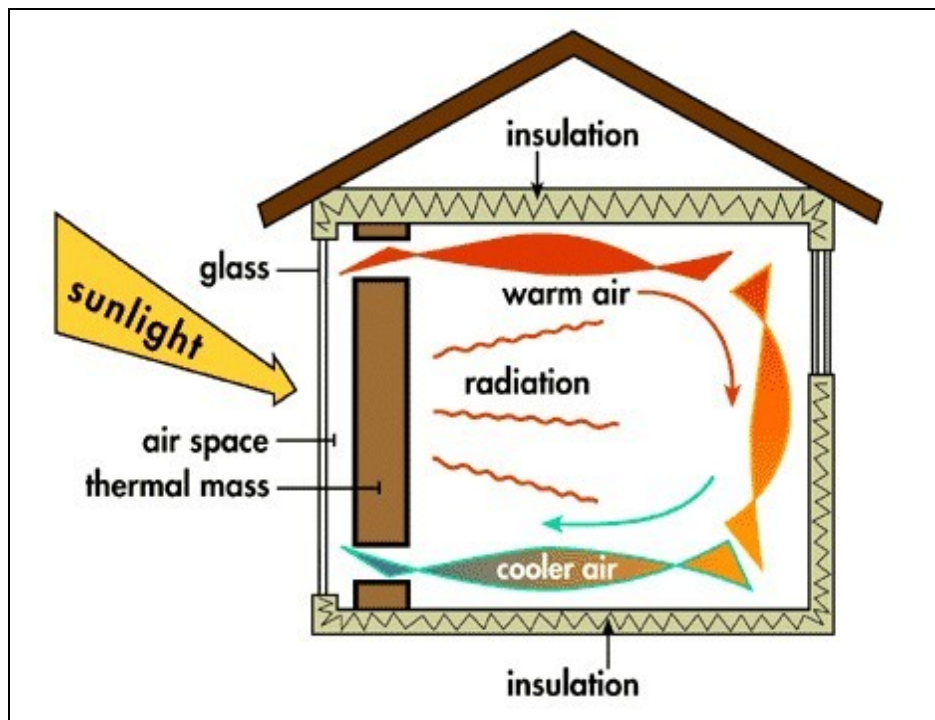
Η τιμή $\frac{Q_V}{U}$ για λεπτά και χαμηλής θερμοχωρητικότητας στρώματα υλικών όπως είναι λεπτά φύλλα μετάλλου και κενό αέρος είναι πρακτικά πολύ μικρή αλλά η αντίσταση συνολικά αυτών των στρωμάτων θα επηρεάσει την ροή θερμότητας προς τα ακόλουθα επίπεδα υλικών. Για παράδειγμα η χρονική σταθερά μια πολυεπιπέδης (δηλαδή χρήση διαφόρων υλικών) κατασκευής μπορεί να αυξηθεί με τη χρήση ελαφριών μονωτικών υλικών έξω από στρώματα υλικών αυξημένης θερμοχωρητικότητας. Το εξωτερικό μονωτικό στρώμα εξαιτίας της μικρής του χωρητικότητας θερμαίνεται πολύ γρήγορα. Το ποσοστό της μεταφοράς θερμότητας κατά μήκος του στρώματος θα είναι πολύ χαμηλό ώστε το στρώμα υλικού αυξημένης θερμοχωρητικότητας να θερμανθεί πιο αργά συντελώντας έτσι σε μια μεγαλύτερη χρονική σταθερά της κατασκευής. Αν αλλάξουμε την θέση της μόνωσης τότε το εξωτερικό πια στρώμα της υψηλής θερμοχωρητικότητας που έχει υψηλή θερμική αγωγιμότητα θα συντελέσει σε υψηλό ρυθμό μεταφοράς θερμότητας προς την εσωτερική πια μόνωση. Η εσωτερική μόνωση τότε θα θερμανθεί πολύ γρήγορα αφού η θερμοχωρητικότητά είναι πολύ μικρή.

4^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΤΟΙΧΟΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ TROMBE ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ

4.1. ΤΟΙΧΟΣ ΤΡΟΜΒΕ –ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ

Σε παλαιότερες εποχές τα κτίρια κατασκευάζονταν με τοίχους μεγάλου πάχους από πλίνθους ή από πέτρα ώστε να δεσμεύουν την ηλιακή θερμότητα κατά τη διάρκεια της ημέρας και να την αποδίδουν αργά και ομαλά τη νύκτα.(τοίχοι μάζας) όπως περιγραφηκε και πιο πάνω . Τα παθητικά ηλιακά κτίρια χρησιμοποιούν ακόμη και σήμερα την παλιά αυτή τεχνική ενσωματώνοντας στα συστήματα αυτών των τοίχων ένα τζάμι(σχήμα 4.1) μπροστά από αυτούς και ανοίγματα στο κάτω και το άνω μέρος τους για την άμεση χρήση της ηλιακής θερμότητας με φυσικό ελκυσμό του θερμού αέρα που υπάρχει στο διάκενο μεταξύ της επιφάνειας του τοίχου και του τζαμιού.



Σχημα

της θερμικής συμπεριφοράς του τοίχου trombe με την εισοδο του θερμού αέρα στον χώρο και την εξαγωγή του κρύου στο κενό

4.1: Απεικόνιση

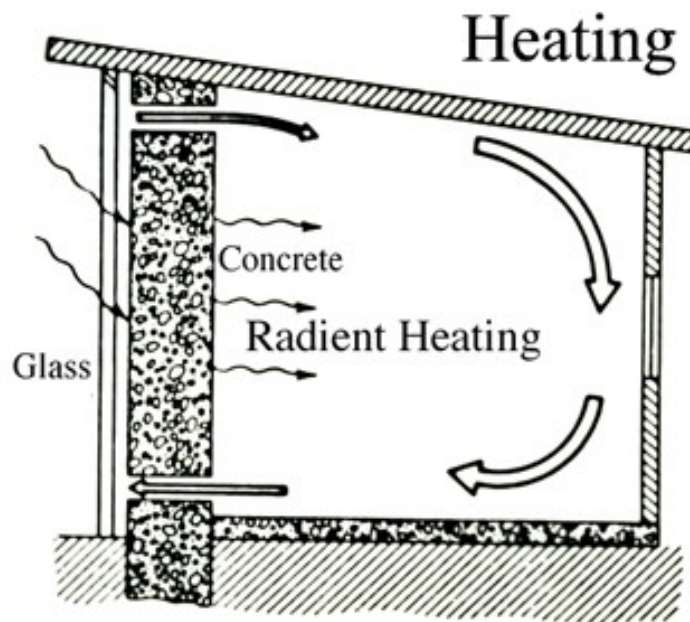
Η κατασκευή αυτή **ονομάζεται τοίχος Trombe** από το όνομα ενός Γάλλου Φυσικού του καθηγητή Felix Trombe που γύρω στο 1950 έκανε σειρά μετρήσεων σχετικών με την απόδοση σε θερμότητα αυτών των τοίχων που εκμεταλλεύονται την ηλιακή ακτινοβολία αξιοποιώντας την ως θερμική ενέργεια για τη θέρμανση κτιρίων.

Ο καθηγητής F. Trombe που πήρε για το σχετικό τοίχο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας το 1956 κατασκεύασε ένα μικρό κτίριο στα Πυρηναία (Odeillo) όπου μέτρησε την απόδοση του τοίχου στη θέρμανση του κτιρίου. Ακόμη συνεργάστηκε με τον Αρχιτέκτονα Jacques Michel για την αρχιτεκτονική προσαρμογή και την εμφάνιση των κτιρίων που μαζικά άρχισαν να κατασκευάζονται αρχικά στη Γαλλία. Οι τοίχοι Trombe αποτελούν έκτοτε σημαντικό στοιχείο της παθητικής ηλιακής αρχιτεκτονικής και εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται πάντα στα παθητικά κτίρια. **Σαν εναλλακτική λύση ακολουθείται η τάση για τη χρήση σκυροδέματος, τούβλων ή πέτρας για την κατασκευή τους ή ως προς το συνδυασμό αυτών των υλικών.**

4.1.1. Λειτουργία

Σημείο-κλειδί στην καλύτερη απόδοση αυτών των συστημάτων είναι η φυσική κυκλοφορία του αέρα. Βασίζεται στο γεγονός ότι ο θερμότερος αέρας είναι ελαφρύτερος και αποκτά ανοδική κίνηση. Όταν φθάνει σε μια ψυχρότερη περιοχή αποβάλλει τη θερμότητα του και

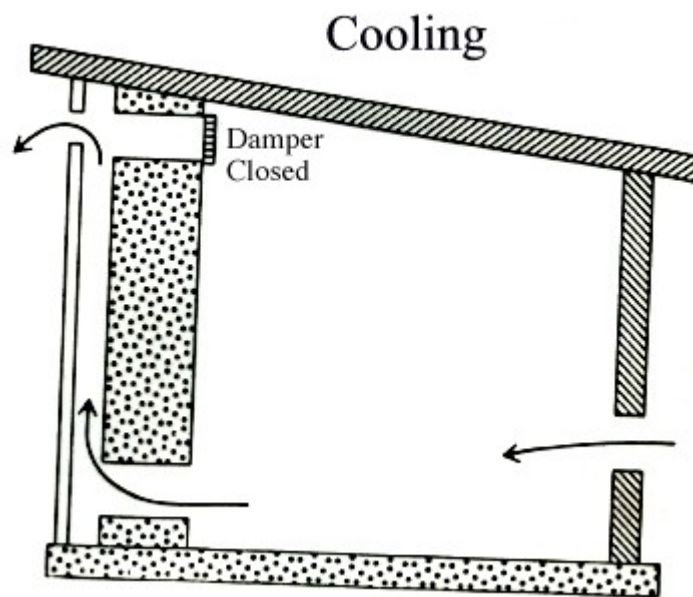
ψύχεται. Τότε όμως γίνεται βαρύτερος, κινείται προς τα κάτω και επιστρέφει στον ηλιακό τοίχο για να θερμανθεί και να επαναλάβει τον κύκλο του.



Σχημα 4.3: Συμπεριφορά του βελτιωμένου τοίχου trombe (με ανοίγματα) τον χειμώνα για τις ανάγκες του χώρου

Σημαντική επίδραση στην αποτελεσματική λειτουργία των τοίχων Trombe έχουν τα ανοίγματα στο κάτω και στο άνω μέρος. **Τις ημέρες του χειμώνα η ακτινοβολία ζεσταίνει τον κρύο** αέρα που εξέρχεται από τον χώρο μέσα από το χαμηλό άνοιγμα. Τότε ο αέρας λόγω θέρμανσης ανεβαίνει ψηλά ανάμεσα στο γυαλί και τον τοίχο και οδηγείται εκ νέου μέσα στο χώρο μεταφέροντας έτσι θερμότητα. Ένας τυπικός τοίχος Trombe αποτελείται από ένα παχύ πέτρινο, με τούβλα ή σκυρόδεμα τοίχο πάχους 20 ως 40 εκ. βαμμένο με σκούρο χρώμα που απορροφά την ηλιακή θερμότητα. Ο τοίχος αυτός καλύπτεται από απλό ή διπλό τζάμι. Η απόσταση του τζαμιού από τον τοίχο κυμαίνεται από 20 ως 150 χιλ. ώστε να διαμορφώνεται ένα μικρό διάκενο με αέρα. Η θερμότητα από το ηλιακό φως απορροφάται από την σκουρόχρωμη επιφάνεια και διαβιβάζεται αργά προς το εσωτερικό από τον τοίχο. **Τις κρύες νύχτες του χειμώνα** αποδίδεται η θερμότητα που έχει αποθηκευτεί στον τοίχο ενώ εμποδίζεται η κυκλοφορία του αέρα οπότε και η απαγωγή θερμότητας με την κάλυψη των ανοιγμάτων. (σχήμα 4.3)

Το καλοκαίρι που υπάρχουν αυξημένες ανάγκες για ψύξη του εκάστοτε χώρου χρειάζεται ο ζεστός αέρας να οδηγηθεί εκτός του χώρου. Για Αυτό το λόγο μένει ανοιχτό ένα άνοιγμα κάτω στο μη εκτεθειμένο από ακτινοβολία τοίχο ενώ παράλληλα κλείνει το πάνω άνοιγμα στον τοίχο trombe και ανοίγει ένα άλλο στο γυαλί. Έτσι ο φρέσκος δροσερός αέρας μπαίνει μέσα στο χώρο παίρνει την θερμότητα από τον χώρο οδηγείται μέσω του κάτω ανοίγματος στο διάκενο μεταξύ τοίχου και υαλοπίνακα. Εκεί ζεσταίνεται και οδηγείται μέσω του πάνω ανοίγματος του υαλοπίνακα προς τα έξω (σχήμα 4.4) .



Σχημα 4.4: Συμπεριφορά του βελτιωμένου τοίχου trombe (με ανοίγματα) το καλοκαίρι για τις ανάγκες του χώρου

Με τη χρήση μιας επιλεκτικής επιφάνειας σε έναν τοίχο Trombe βελτιώνεται η απόδοσή του με τον περιορισμό της υπέρυθρης ενέργειας που ακτινοβολείται μέσα από το τζάμι. Η επιλεκτική επιφάνεια αποτελείται συνήθως από ένα μεταλλικό φύλλο που επικολλάται στην εξωτερική επιφάνεια του τοίχου ή από ειδικές βαφές. Απορροφά όλη σχεδόν την ακτινοβολία από το ορατό μέρος του ηλιακού φάσματος και εκπέμπει πολύ μικρό μέρος στην κλίμακα της υπέρυθρης ακτινοβολίας. Η υψηλή απορροφητικότητα των επιφανειών των τοίχων μετατρέπει το φως σε θερμότητα ενώ η χαμηλή ανακλαστικότητα προφυλάσσει από την ακτινοβολία της θερμότητας προς το τζάμι.

Σε έναν τοίχο Trombe πάχους 40 εκ. χωρίς ανοίγματα, η θερμότητα θα κάνει 8 ως 10 ώρες για να αρχίσει να φτάνει στο εσωτερικό του κτιρίου. Αυτό σημαίνει ότι ο χώρος θα παρέχει θερμική άνεση στη διάρκεια της ημέρας ενώ θα θερμαίνει επί αρκετές ώρες μετά τη δύση του ηλίου. Χώροι που θερμαίνονται από τοίχο Trombe δίνουν συχνά το συναίσθημα μεγαλύτερης θερμικής άνεσης από αυτό που παρέχεται από ένα αερόθερμο επειδή ο τοίχος διατηρεί σχετικά υψηλή θερμοκρασία έστω και αν στο χώρο επικρατούν χαμηλότερες θερμοκρασίες αέρα. Οι Αρχιτέκτονες μπορούν να χρησιμοποιούν τους τοίχους Trombe σε συνδυασμό με παράθυρα, προστεγάσματα και άλλα κτιριακά στοιχεία προκειμένου να καθιστούν ομαλή και εξισορροπημένη τη θερμική απόδοση. Με σωστά τοποθετημένα παράθυρα επιτρέπεται να εισέρχεται στο κτίριο η θερμότητα και το φως νωρίς το πρωί ενώ αποφεύγεται η περίσσεια θερμικού κέρδους νωρίς το απόγευμα. Την ίδια ώρα ο τοίχος Trombe απορροφά και αποθηκεύει θερμότητα για απογευματινή χρήση. Η θερμότητα απορροφάται από τη θερμική μάζα και διευθύνεται μέσω της που απελευθερώνεται αρκετές ώρες αργότερα ανάλογα με τη θερμική καθυστέρηση της μάζας. Ένας αποτελεσματικός τοίχος trombe έχει μια θερμική καθυστέρηση που απελευθερώνει τη

θερμότητα αρκετές ώρες για να ισορροπήσει αργότερα τις μειωμένες εξωτερικές θερμοκρασίες.

Για παράδειγμα σε τοίχο Trombe από σκυρόδεμα, πειραματικής παθητικής ηλιακής κατοικίας κατασκευασμένης στο Grand Canyon National Park στις ΗΠΑ, ο τοίχος αποτέλεσε επέκταση της θεμελίωσης του κτιρίου. Για την επικάλυψή του χρησιμοποιήθηκε διπλό τζάμι. Η επιφάνειά του καλύφθηκε με μαύρο μεταλλικό φύλλο που περιόρισε την απώλεια θερμότητας από ακτινοβολία μέσα από το τζάμι. Η εσωτερική θερμοκρασία της επιφάνειας του τοίχου Trombe έφτανε κατά τις απογευματινές ώρες τους 38 °C. Η ακτινοβολία του τοίχου προς τον εσωτερικό χώρο διαρκούσε αρκετές ώρες μετά τη δύση του ηλίου με αιχμή κατά τις 10:00 το βράδυ. Τέλος θα πρέπει να σημειωθεί η δυνατότητα εφαρμογής νυκτερινής μόνωσης στους τοίχους Trombe με ρολά ώστε να μη χάνεται θερμότητα προς το εξωτερικό περιβάλλον κατά τη νύχτα. Τώρα αν η θερμοχωρητικότητα του τοίχου Trombe είναι αρκετή θα συνεχίζει να ακτινοβολεί θερμότητα όλη τη νύχτα.

Πειραματική κατασκευή στα Πυρηναία Όρη έδειξε ότι ένας τοίχος 35 εκ μπετόν αποθηκεύει στη μάζα του τη μίση περίπου θερμότητα που απορροφά και έτσι διατηρεί ένα Θέρμο κύκλωμα αέρα μέχρι τις πρώτες πρωινές ώρες. Παρατηρήθηκε ότι αυτό που έγινε στα Πυρηναία Όρη που είναι πολύ κρύα περιοχή σήμαινε την κάλυψη των θερμικών αναγκών κατά τα 2/3 έως και 3/4 ανάλογα με την εποχή και κόστισε 3 φορές φθηνότερα από μια ανάλογη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας.

4.1.2. Συνοψη λειτουργίας και συμπερασματα

ΣΥΝΟΨΙΖΟΝΤΑΣ ΤΙΣ ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΤROMBE

- 1) Χρήση κατακόρυφων τοίχων προσανατολισμένων προς τον Νότο που λειτουργούν ως συλλέκτες ηλιακής ενέργειας.
- 2) Χρήση της αρχής του θερμοκηπίου για την παγίδευση της ηλιακής ενέργειας
- 3) Φυσική κυκλοφορία Θέρμου αέρα που θερμαίνεται με τον παραπάνω τρόπο
- 4) Αποθήκευση θερμότητας με την χρησιμοποίηση υψηλής θερμοχωρητικότητας του σκυροδέματος ή του νερού

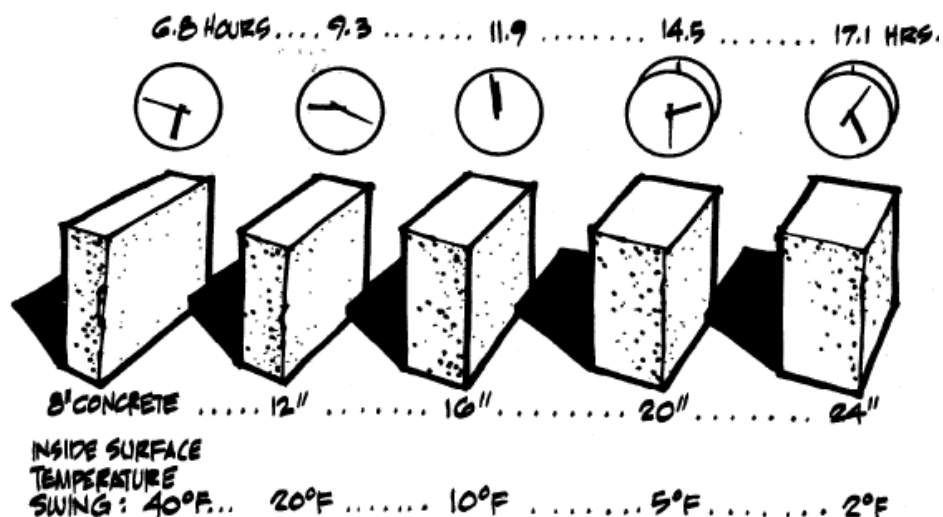
Παρατηρήσεις στην πράξη

α) Αν και τα ανοίγματα χρειάζονται το πολύ να έχουν επιφάνεια 0.0689 m^2 για κάθε m^2 τοίχου μπορεί να χρειάζονται κόστος και πολυπλοκότητα κατασκευής. Για αυτό είναι προτιμότερο να χρησιμοποιούνται μόνο όταν χρειάζεται πραγματικά θερμότητα τις πρωινές ώρες.

β) Τα βασικά υλικά ενός τοίχου trombe είναι το τσιμεντο, τα τούβλα, η πέτρα, οι ασβεστόλιθοι ή αλλά δομικά υλικά. Οι τοίχοι στις περισσότερες εφαρμογές έχουν πάχος περίπου 30- 35 cm. Συναντιούνται και τοίχοι με πάχος μέχρι και 45 cm που αποδίδουν και το μεγαλύτερο ποσό θερμότητας. Μεγαλύτερη αύξηση του πάχους δεν προτείνεται για αποθήκευση περαιτέρω προσθετικής ενεργείας από ότι πριν.

γ) Υπενθυμίζεται ότι σαν υλικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί το νερό (σε δεξαμενή φυσικά). Το νερό είναι σίγουρα πιο αποτελεσματικό από το τσιμέντο και τα άλλα στερεά υλικά γιατί απορροφάει γρηγορότερα θερμότητα εξαιτίας των φαινομένων συναγωγής που αναπτύσσονται στα μόρια του. Προκαλείται αστραπιαία μείξη και γρήγορη μεταφορά θερμότητας προς τον χώρο ενώ σε αντίθεση με τα κοινά στερεά υλικά όσο αυξάνουμε σε ποσότητα νερού αυξάνουμε την αποθηκευμένη θερμότητα.

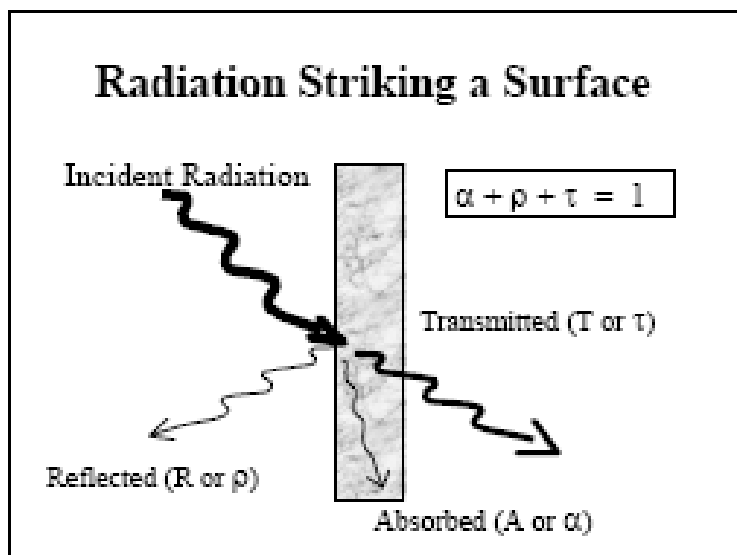
δ) Η απώλεια θερμότητας από τους τοίχους μάζας ακόμα και μετά από ακολουθία συνεφιασμένων ημερών δεν είναι μεγαλύτερη από τους συμβατικούς τοίχους. Οι θερμοκρασίες που προκαλούνται είναι γενικά πιο σταθερές σε σχέση με αυτές που προκαλούνται από συμβατικούς τοίχους. Οι χαμηλότερες θερμοκρασίες τείνουν να είναι πιο ανεκτικές και λιγότερες ξηρές (σε σχέση με τον αέρα). Τα ανοίγματα και η ανακυκλοφορία του αέρα συνήθως δίνουν τιμές κοντά στο ταβάνι περίπου 30°C (ανάλογα και με τη μέρα) και παροχές αέρα $1 \text{ cfm}/\text{min}$ cft/wall . Η εσωτερική επιφάνεια ενός τοίχου πάχους 30 cm φτάνει την μέγιστη της τιμή τις πρώτες απογευματινές-νυχτερινές ώρες και από εκεί συνεχίζει με την απόδοση θερμότητας. Οι θερμοκρασίες κυμαίνονται από τους $18 - 29^\circ \text{C}$ εξαρτώμενες βέβαια από την διακύμανση της εξωτερικής θερμοκρασίας. Η εσωτερική επιφάνεια ενός τοίχου πάχους 61cm φτάνει σε μέγιστη τιμή μετά από 8 ώρες. Δεν γίνεται ζεστός τόσο γρήγορα όσο οι πιο λεπτοί τοίχοι αλλά αποδίδει αργότερα θερμότητα για περισσότερες ώρες



Σχημα 4.4: Χρόνος απόδοσης τοίχου trombe από τσιμέντο σε σχέση με το πάχος του και διακύμανση εσωτερικής θερμοκρασίας χώρου

4.2. ΔΡΑΣΗ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΑ ΣΤΟΝ ΤΟΙΧΟ ΤΡΟΜΒΕ

Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω η χρήση του υαλοπίνακα η γενικότερα του γυάλινου καλυμματος μπροστά από τον τοίχο θερμικής αποθήκευσης έγκειται στη δημιουργία ενός μικρού φαινόμενου θερμοκηπίου. Ο υαλοπίνακας επιτρέπει στην διέλευση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας και στην απορρόφηση της από τον εσωτερικό τοίχο. Στη συνέχεια η ακτινοβολία εκπέμπεται από αυτόν με μεγάλο μήκος κύματος και δεν εξέρχεται κατά Άμεσο τρόπο από τον υαλοπίνακα διότι αυτός είναι αδιαφανής για μήκη κύματος μεγαλύτερα των 3 μm (σχήμα 4.5). Έτσι μέρος της ακτινοβολίας της επιφάνειας του τοίχου που προσπίπτει στον υαλοπίνακα **απορροφάται από αυτόν** ενώ το υπόλοιπο ανακλάται προς τον τοίχο πάλι αυξάνοντας εν μέρει την θερμοκρασία του βοηθώντας ταυτόχρονα στην αύξηση της θερμοκρασίας μεταξύ του τοίχου και του υαλοπίνακα. Η ολική ακτινοβολία I_t που προσπίπτει σε υαλοπίνακα είναι ουσιαστικά ίση με το άθροισμα της διερχόμενης $\tau \cdot I_t$, της ανακλώμενης $\rho \cdot I_t$ και της απορροφημένης $\alpha \cdot I_t$ ακτινοβολίας όπου



Σχημα 4.5: Μετάδοση θερμότητας σε υαλοπίνακα με ακτινοβολία και ενεργειακος ισολογισμος

τ : η οπτική διαπερατότης
 ρ : ανακλαστικότητα
 α : απορροφητικότητα

Οι παραπάνω ιδιότητες του υαλοπίνακα, εξαρτώνται από το πάχος και τις φυσικές ιδιότητες του υλικού από το είδος της επιφανειακής επίστρωσης και από την γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας θ .

Η ακτινοβολία που μεταφέρεται από τον τοίχο προς το γυαλί, είναι πιθανόν να διαθλασθεί και να φύγει από το σύστημα εξαρτωμένη από την απορροφητικότητα του υαλοπίνακα. Κατι τέτοιο θα μπορούσε να συντελέσει σε μεγάλες απώλειες θερμότητας από το σύστημα σε μορφή ακτινοβολίας. Αυτες οι απώλειες μπορούν να μειωθούν σημαντικά (κάτι τέτοιο επιζητούμε και στον τοίχο trombe) αν ο υαλοπίνακας είναι κατασκευασμένος ώστε να απορροφά λιγότερη και να εκπέμπει στο περιβάλλον λιγότερη ποσότητα ακτινοβολίας.

Η **αντανεκλαστικότητα του υαλοπίνακα**, σε μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία μετριέται από την ικανότητα του να εκπέμπει ακτινοβολία στο προς το περιβάλλον. Για ένα είδος γυαλιού όσο χαμηλότερος είναι αυτός ο δείκτης τόσο χαμηλότερες είναι και οι απώλειες αναλογικά προς τα έξω. Σε σύγκριση **ένα καθαρό γυαλί** έχει δείκτη εκπομπής προς το περιβάλλον 0.84 σε σχέση με ένα φύλλο αλουμινίου που έχει 0.05.

Οι υαλοπίνακες χαμηλής εκπομπής σχεδιάζονται για να αντανεκλούν μεγάλου-μήκους κύματος ακτινοβολία βελτιώνοντας έτσι την γενικότερη θερμική συμπεριφορά του συστήματος. Όσο χαμηλότερος ο δείκτης εκπομπής ακτινοβολίας προς το περιβάλλον τόσο μεγαλύτερη είναι η αντίσταση του υαλοπίνακα στις θερμικές απώλειες προς τα έξω και προτιμείται για τη διατήρηση θερμοκρασιών το χειμωνα. Η **χρήση διπλού υαλοπίνακα** περιορίζει ακόμα περισσότερες τις απώλειες.



Σχημα 4.6: Απεικονιση θερμικής ροής ακτινοβολίας μέσω καλυματων χαμηλής εκπομπης

Μεγαλο ρολό επίσης παίζει και η αντανakλαστικότητα καθώς και οι χρωματικές ιδιότητες του υαλοπίνακα στην αποβολή θερμότητας και της έντονης προσβολής από ηλιακό φως.

Ιδιαίτερα σημαντικά είναι τα καλλυματα χαμηλής εκπομπής (Low e) (σχήμα 4.6). Τοποθετούνται σε συνδυασμό με τον κυρίως υαλοπίνακα –συνήθως με από αυτά και μπορούν να έχουν ένα δείκτη εκπομπής από 0.34 ως και 0.04 με αποτέλεσμα να αντανακλούν πίσω προς το εσωτερικό 65% ως και 96% της ακτινοβολίας που έφυγε από τον τοίχο.

Για να γίνουν πιο κατανοητές αυτές οι παραπάνω ιδιότητες πρέπει να θεωρούνται σαν χαρακτηριστικά κάποιου ηλιακού συλλέκτη αφού στην περίπτωση μας ο τοίχος trombe λειτουργεί σαν ένας μεγάλος ηλιακός αποροφητήρας που αντί να διανέμει την απορροφημένη θερμότητα σε κάποιο υγρό την μεταφέρει στον γειτονικό αέρα η την αποθηκεύει μέσα του.

4.3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΑ

Μιλήσαμε για την ανάγκη περί χαμηλής εκπομπής ακτινοβολίας προς το εξωτερικό. Η σκέψη αυτή γενικότερα πρέπει να συμβαδίζει με την μεταδοτικότητα του υαλοπίνακα που λειτουργεί σαν καλλυμα. Αυτό γενικά πρέπει σημαίνει να έχει όσο το δυνατόν σε ελάχιστο βαθμό την απορροφητικότητα και την ανακλαστικότητα

αντανakλαστικότητα(ρ). Στην περίπτωση του υαλοπίνακα για το κοινό γυαλί η $\rho=0.044$ για γωνία πρόσπτωσης 0°C που σημαίνει ότι 4.4% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας ανακλάται σε κάθε επιφάνεια και 8.8% ανακλάται μέσω ενός τζαμιού. Αυτή η απώλεια είναι σημαντική. Όταν χρησιμοποιούνται 2 οι περισσότερες επιφάνειες και για αυτό στην πράξη χρησιμοποιούνται μόνο 2 καλλυματα. Οι απώλειες λόγω ανάκλασης **αυξάνονται όσο αυξάνεται η γωνία πρόσπτωσης**

Απορροφητικότητα(α). Υπάρχουν πολλά είδη γυαλιού τα οποία διαβιβάζουν το φως πολύ καλά απορροφώντας πολύ λίγο από την προσπίπτουσα ακτινοβολία. Το ελαφρώς πράσινο γυαλί όπως και το κανονικό γυαλί απορροφά 5 ως 10% του φωτός που προσπίπτει. Το φινε τζάμι απορροφά πολύ περισσότερο και χρησιμοποιείται στην πρόσωση εμπορικών κτιρίων. Υπαρχει βέβαια ένα πρόσθετο οξειδίο που του σιδήρου που ελέγχει το χρώμα και την απορροφητικότητα του γυαλιού. Γυαλί σε χαμηλή περιεκτικότητα σιδήρου, το οποίο έχει 0.05% οξειδίο του σιδήρου, θα χάσει μόνο γύρω στο 2.5% του φωτός που περνάει για απορρόφηση για ένα μονό σύνθετο τζάμι παραθύρου. Ένα γυαλί πολύ μικρής περιεκτικότητας σιδήρου (απόλυτα διαυγές) με 0.01% οξειδίο του σιδήρου θα αφήσει να περάσει μόνο το 91.4% της ηλιακής ακτινοβολίας.

Διαπερατότητα (τ). Εκφράζει το ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας που διαπερνάει και συνεχίζει την πορεία της με κατεύθυνση την επιφάνεια του τοίχου η του δαπέδου. Αποτελεί και τον κύριο παράγοντα στον οποίο οφείλεται η αύξηση της θερμοκρασίας του τοίχου και εν γένει η θερμική συμπεριφορά του συστήματος. Στον παρακάτω πίνακα είναι

συγκεντρωμένες οι ιδιότητες των γυαλιών που είναι απαραίτητα για χρήση σε ηλιακούς συλλέκτες. Σημειώνουμε ότι η διαπερατότητα για το διαφανές γυαλί είναι περίπου 91% .

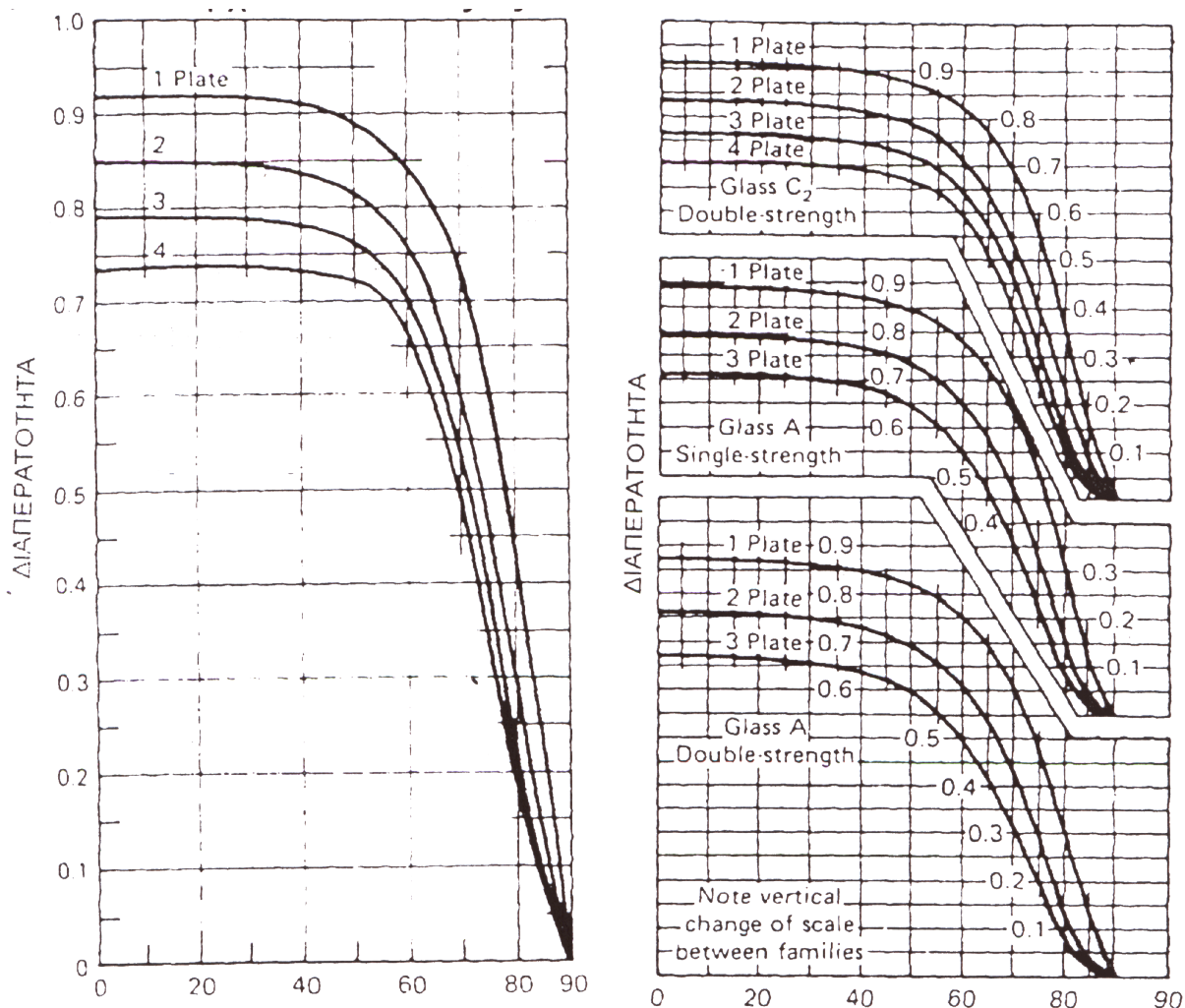
	Τύπος γυαλιού συνηθισμένο		
ΕΙΔΟΣ	ΑΠΛΟ	ΠΡΑΣΙΝΙΖΩΝ	ΔΙΑΥΓΕΣ
Περιεκτ. Οξειδ. σιδήρ. %	0.12	0.05	0.01
Δείκτης διαθλάσεως	1.52	1.50	1.50
διαπερατότητα φωτός %	79-84	88-89	91.2-91.6
Πάχος γυαλιού in.	0.25-0.125	0.125-0.1875	0.125-0.21875
Απώλειες ανάκλασης %	8.2-8.0	8.1-8.0	8.0
Απώλειες απορρόφησης %	8-13	3-4	κάτω από 1.0

Πίνακας 4.1: Τιμές βασικών χαρακτηριστικών μεγεθών τριών ειδών υαλιού

Η διαπερατότητα των πιο απορροφητικών γυαλιών μπορεί να μειωθεί πολύ, όταν η γωνία πρόσπτωσης είναι μεγαλύτερη από 45° (σχήμα 4.7). Η ανάκλαση αλλάζει ελάχιστα με τη γωνία πρόσπτωσης, αλλά η απορρόφηση αυξάνει ανάλογα με το μήκος της τροχιάς του φωτός μέσα στο γυαλί έτσι, ώστε η ποσότητα που διέρχεται να μειώνεται ανάλογα με το συνημίτονο της γωνίας πρόσπτωσης.

Το αυξανόμενο πάχος του γυαλιού μειώνει τη διαπερατότητα. Η μετάδοση είναι ομοιόμορφη σε υψηλό επίπεδο για τις γωνίες της πρόσπτωσης που κυμαίνεται από 0 ως 40° και μειώνεται αισθητά όταν προσεγγίζει τις 90°. Το συνηθισμένο γυαλί είναι αδιαφάνες στην ακτινοβολία στις υπ-ν και τις υπ-σ περιοχές. Το γυαλί Pyrex είναι αδιαφάνες στην ακτινοβολία στη ζώνη UV-V και επιτυγχάνει ένα μέγιστο επίπεδο μετάδοσης σε 340 nm και πέρα. Ο συντελεστής της διαπερατότητας για το γυαλί borosilicate 1,0 εκατ. στο πάχος, είναι 0,08 σε 310 nm, ανέρχεται αισθητά σε 0,65 σε 330 nm, και επιτυγχάνει ένα μέγιστο επίπεδο 0.95-0.99 από 360 έως 500 nm. Οι ιδιότητες μετάδοσης Pyrex ξεπερνιούνται μόνο από το χαλαζία. Αν το πάχος του γυαλιού είναι

μεγάλο ή το γυαλί δεν είναι φτωχό σε σίδηρο, η επίδραση μπορεί να είναι σημαντική στους επίπεδους συλλέκτες, όχι μόνο γιατί αυτοί συλλέγουν ένα μέρος της ακτινοβολίας τους νωρίς το πρωί και αργά το απόγευμα, αλλά επίσης, διότι στις συνεφιασμένες ημέρες αυτοί οι συλλέκτες συλλέγουν διάχυτη ακτινοβολία που έρχεται από όλες τις κατευθύνσεις.



Σχημα 4.7: Μεταβολή της διαπερατότητας για ένα και περισσότερα γυάλινα καλλυματα για διαφορές γωνίες προσπτωσης

4.4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

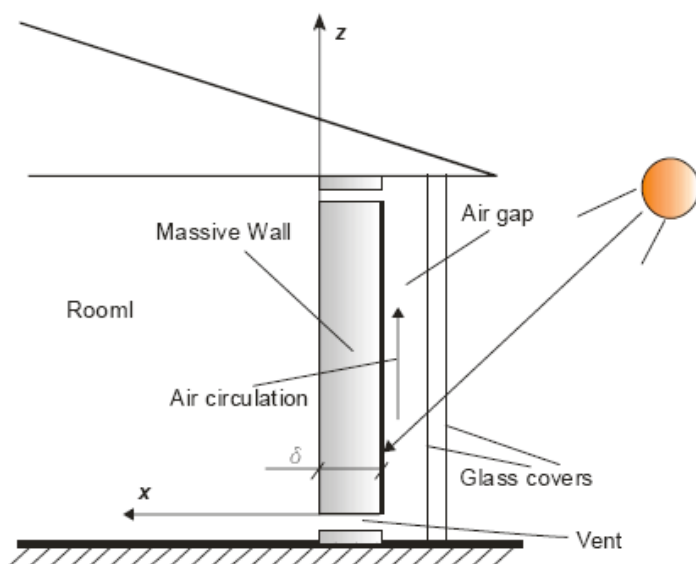
Όπως έχει ειπωθεί σκοπός αυτής της μελέτης είναι να μπορέσει να περιγράψει και να μοντελοποιήσει την λειτουργία του τοίχου trombe σε ένα δωμάτιο καθώς και τον τρόπο προσδιορισμού της θερμοκρασίας του χώρου που συνοδεύει τον τοίχο **σε 24 ωρη βάση**. Έτσι θα μπορεί να γίνει κατανοητή η αξία χρήσης του και τα πλεονεκτήματα του σε σχέση με τους κοινούς τοίχους και τις άλλες εφαρμογές που χρησιμοποιούνται για την θέρμανση ενός χώρου.

Το να περιγράψεις φυσικά τα φαινόμενα μεταφοράς που παρατηρούνται σε μια τέτοια διάταξη δεν είναι καθόλου εύκολο αφού υπάρχει εξάρτηση ανά πάσα στιγμή από την διαφορετικότητα των συνθηκών λειτουργίας και ροής αέρα στην διάταξη. Ειδικά αυτό δυσκολεύει όταν ασχοληθούμε με την βελτιωμένη και πιο ολοκληρωματική μορφή του τοίχου Trombe που είναι η χρήση του τοίχου με τα ανοίγματα πάνω και κάτω για την κυκλοφορία ψυχρού –θερμού αέρα όπως περιγραφηκε.

Στην παρούσα μελέτη προσεγγίζεται η μοντελοποίηση του φυσικού μοντέλου του τοίχου trombe (που θα αναλυθεί πιο κάτω) με τη χρήση διαφορικών εξισώσεων και ειδικότερα με τη μέθοδο πεπερασμένων διαφορών. Η διαδικασία μπορεί να αναπτυχθεί σε μια πολύ καλή διαδικασία ακριβής προσέγγισης αλλά απαιτεί καλή διακριτοποίηση και μοντελοποίηση του χώρου ειδικά στην περιοχή της κυκλοφορίας του αέρα. Ειδική προσοχή πρέπει και επιβάλλεται να δοθεί στις παραδοχές που πρέπει να γίνουν για να αντιμετωπιστεί η διαφορετικότητα των χαρακτηριστικών της ροής του αέρα ανά πάσα στιγμή και η σύνδεση των δομικών στοιχείων μέσα από πιο εύκολες εξισώσεις κάτι που θα δείξουμε πιο κάτω.

ΦΥΣΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

Η αρχή λειτουργίας του τοίχου trombe παρουσιάστηκε στις προηγούμενες ενότητες. Σε αυτήν την ενότητα θα δούμε πως μπορούμε να συνδέσουμε τα φαινόμενα με εξισώσεις που συνδέουν τα ενδιαφερόμενα μεγέθη μεταξύ τους. Το σχέδιο προσομοίωσης του χαρακτηριστικού παθητικού ηλιακού συστήματος με τον τοίχο μάζας Trombe παρουσιάζεται στο [σχήμα 4.8](#)



Σχημα 4.8: Απεικόνιση φυσικού μοντέλου συμπεριφοράς τοίχου trombe

Περιλαμβάνει τρία στρώματα: μια διαφανής κάλυψη (ένα ή δύο γυαλιά ή πλαστικά πιάτα), έναν τοίχο (τσιμέντο σχετικά μεγάλου πάχους) και κενό αέρα μεταξύ της διαφανούς κάλυψης και του τοίχου Trombe. Στο κατώτατο σημείο και την κορυφή του τοίχου, υπάρχουν διέξοδοι για την άδεια μιας κυκλοφορίας αέρα μεταξύ του κενού αέρα και του διαστήματος δωματίων.

Η εξωτερική διαφανής κάλυψη διαβιβάζει την ηλιακή ακτινοβολία μέσα, αλλά συγκρατεί τη θερμότητα. Η επιφάνεια τοίχων είναι χρωματισμένη μαύρη στην εξωτερική πλευρά της και ενεργεί ως απορροφητής της ηλιακής ακτινοβολίας. Η θερμική ανάλυση τέτοιου συστήματος είναι πολύ περίπλοκη. Το μαθηματικό πρότυπο είναι βασισμένο στην παροδική απόδοση του συστήματος. Περιλαμβάνει τις εξισώσεις ενεργειακής ισορροπίας, που γράφονται για κάθε στοιχείο του συστήματος. Δεδομένου ότι ο τοίχος λαμβάνεται για να είναι μεγάλος (σε σύγκριση με το πάχος τοίχων), η παραλλαγή θερμοκρασίας **στο Y** - η κατεύθυνση (πλάτος τοίχων) θα παραμεληθεί, και μόνο το δυσδιάστατο πρόβλημα μπορεί να εξεταστεί – κατά υψος (κατεύθυνση – ζ) και πάχος (κατεύθυνση – χ). Η μελέτη μας παρουσιάζει κάποια σημαντικά ζητήματα που πρέπει να λυθούν. **Σαν κύριο θέμα** πρέπει να προβληματιστούμε αν **ο κύριος παράγοντας για την θέρμανση του αέρα είναι ο τοίχος trombe** οπότε και θα καταφύγουμε στην θεωρία της θερμαινόμενης πλάκας η αν στην θέρμανση του αέρα που κινείται προς τα πάνω κύριος παράγοντας θα είναι τα φαινόμενα που διαδραματίζονται στο κενό, η μεταφορά θερμότητας από τον υαλοπίνακα και από τον τοίχο trombe. **Σε αυτήν την περίπτωση** θα καταφύγουμε στην θεωρία περί ελεύθερης συναγωγής θερμότητας σε κλειστούς χώρους όπου η θεωρία και η υλοποίηση των εξισώσεων θα είναι πιο απαιτητική και δύσκολη.¹

4.5. 1^η Υπόθεση για παραγωγή εξισώσεων

ΧΡΗΣΗ ΤΟΙΧΟΥ ΤΡΟΜΒΕ ΣΑΝ ΘΕΡΜΑΙΝΟΜΕΝΗ ΠΛΑΚΑ ΠΟΥ ΘΕΡΜΑΙΝΕΙ ΤΟΝ ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΟ ΣΤΟ ΚΕΝΟ ΑΕΡΑ

Λίγα λόγια

Πριν αρχίσει η περιγραφή των φαινομένων μεταφοράς θερμότητας και των ανάλογων μαθηματικών εξισώσεων πρέπει πρώτα να γίνουν **σαφή κάποια αυθαίρετα σημεία που υπάρχουν εξαρχής**. Όπως έχει ήδη αναφερθεί η όλη χρήση του τοίχου trombe δεν θα είχε

αξία αν δεν υπήρχαν τα γυάλινα καλλυματα που βοηθούν στην απευθείας εισχώρηση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας μέσω διαπερατότητας και στην παγίδευση της θερμότητας μέσα στο κενό ανάμεσα στο γυαλί και στον τοίχο trombe. Στο πρώτο αυτό μέρος ωστόσο **θα επικεντρωθούμε περισσότερο στο ρολό του trombe.** Γι αυτό και θα θεωρήσουμε αρχικά κάποια **ιδανικά στοιχεία** που μας βοηθούν να ξεπεράσουμε εκ πρώτης κάποια εμπόδια στην διαδικασία.

-Θεωρείται ότι όλη η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία διαπερνάει τον υαλοπίνακα και απορροφάται από τον τοίχο . Ουσιαστικά ο υαλοπίνακας υπάρχει μόνο σαν αντίσταση στην μεταφορά θερμότητας από το εξωτερικό στο εσωτερικό . Ενώ σαν εξωτερική θερμοκρασία θα χρησιμοποιείται η ισοδύναμη Τηλ-αερος που είναι ένα γενικευμένο σύνολο της εξωτερικής θερμοκρασίας του περιβάλλοντος και της ακτινοβολίας που διαπερνάει τον υαλοπίνακα.

Αυτός ο πειραματισμός γίνεται μόνο για την διαμόρφωση ενός συνόλου εξισώσεων που στόχο έχουν να παράγουν διαγράμματα των ενδιαφερομένων θερμοκρασιών κατά την διάρκεια ενός χρονικού ορίου . Αλλά προς το παρόν **μας ενδιαφέρει σαν μορφή** και όχι σαν αποτελέσματα και όρια τιμών που θα παρουσιάζουν καθώς θα γίνεται σαφές ότι ούτε οι διαστάσεις του κενού χώρου θα επηρεάζουν τόσο πολύ αλλά ούτε τα φαινόμενα ροής μέσα σε αυτό.

Κατά σειρά έχουμε τα εξής φαινόμενα

α) Ηλιακή ακτινοβολία και θερμοκρασία του αέρα έξω από τον υαλοπίνακα

Ο λόγος για τον οποίο κάναμε τις παραπάνω παραδοχές είναι για να μας επιτρέψει να απλοποιήσουμε αυτό το μέρος του συστήματος . Οι παραπάνω θερμοκρασίες είναι φανερό πως επιδρούν στην μεταφορά θερμότητας διαμέσου του υαλοπίνακα με τη μορφή ακτινοβολίας αλλά και συναγωγής. Θυμίζεται ότι εδώ θεωρείται ότι η ακτινοβολία που πέφτει στην επιφάνεια μας (στον τοίχο trombe) **είναι η προσπίπτουσα ακτινοβολία.** Η ολική έκφραση απλοποιείται αν δεχτούμε ότι μπορούμε να δεχτούμε μια ισοδύναμη θερμοκρασία αέρα έξω από τον υαλοπίνακα και τον τοίχο που να περιλαμβάνει τόσο την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας αλλά και της θερμοκρασίας του αέρα του περιβάλλοντος.

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΗΛΙΟΥ-ΑΕΡΟΣ

Η θερμοκρασία ηλίου αέρος συνδυάζει το φαινόμενο της ηλιακής ακτινοβολίας , της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος και την αλληλεπίδραση με τον αέρα του περιβάλλοντος .

Η θερμοκρασία ηλίου-αέρα μπορεί να ερμηνευθεί σαν την θερμοκρασία του περιβάλλοντα χώρου που μπορεί να προκαλέσει το ίδιο φαινόμενο μεταφοράς θερμότητας προς μια επιφάνεια με το συνδυασμό της ηλιακής ακτινοβολίας και του αέρα του περιβάλλοντος που μεταφέρει και Αυτός θερμότητα. Το μέγεθος είναι πολύ σημαντικό για τι μπορεί να απλουστεύσει ένα πλήθος εξισώσεων που στη συνέχεια θα χρειαστεί για να περιγράψει την αποθήκευση και τη μεταφορά θερμότητας μέσω ενός τοίχου μάζας προς τον χώρο και περιλαμβάνουν μεγέθη όπως ηλιακή ακτινοβολία , τη θερμοκρασία ουρανού , θερμοκρασία αέρα περιβάλλοντος κ.α.

Λαμβάνοντας υποψιν την **εισερχόμενη θερμοροη q/A** σε επιφάνεια δεχόμενη ηλιακή ακτινοβολία και την θερμοροη που ισοδύναμα θεωρούμε ότι μεταφέρεται μέσω συναγωγής προς την επιφάνεια αν έξω είχαμε την ισοδύναμη θερμοκρασία ηλίου αέρα τελικά καταλήγουμε στην εξής έκφραση

$$t_{sa} = t_o + \frac{aI_t}{h_o} - \frac{\varepsilon \Delta R}{h_o} \quad (4.5.1)$$

όπου

t_o =η θερμοκρασία εξωτερικού αέρος (°C)

$a=0$ συντελεστής απορρόφησης της επιφανείας για την ηλιακή ακτινοβολία

I_t =η προσπίπτουσα ολική ηλιακή ακτινοβολία(W/m²)

h_o =ο συντελεστής μετάδοσης θερμότητας που περιλαμβάνει συναγωγή και ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος(W/ m² °C)

ενώ η ποσότητα $\frac{\varepsilon \Delta R}{h_o}$ λαμβάνεται ίση με 3.9 °C για την οριζόντια επιφάνεια και 0 για την κατακόρυφη.

Ανάλογα την ημέρα του χρόνου που μας ενδιαφέρει ,την συγκεκριμένη ώρα κα την επιφάνεια που επεξεργαζόμαστε μπορούν να έχουμε γνώση για την θερμοκρασία ηλίου αέρα όπως έχει συγκεντρωθεί σε πληροφοριακούς πίνακες.

-

Δηλαδή με αυτό το τρόπο θεωρούμε ότι έχουμε μετάδοση θερμότητας σε πρώτη φάση στον υαλοπίνακα με συναγωγή αέρα θερμοκρασίας Τηλιου-αέρος.

β)Μετάδοση θερμότητας διαμέσου του υαλοπίνακα.

Στον υαλοπίνακα έχουμε μετάδοση θερμότητας με αγωγή .Σε πολλές θεωρίες υποστηρίζεται ότι μπορεί να αντιμετωπιστεί σαν ένα σημείο (κόμβο) οπότε έχουμε και απλή συνθήκη συναγωγής από το περιβάλλον –αγωγής προς το εσωτερικό η ένα δεύτερο υαλοπίνακα.Στην παρούσα μελέτη θα θεωρήσουμε ότι το γυαλί μπορεί να διακριτοποιηθεί σε αρκετά σημεία αφού είναι με τη σειρά του σώμα που ανάλογα με το πάχος του κρατάει ενέργεια –θερμότητα και συμμετέχει στην κυρίως διαδικασία που διενεργείται στο τοίχο trombe.Αν θεωρήσουμε ότι έχουμε ένα υαλοπίνακα κάποιου πάχους τότε ακολουθεί από το τελευταίο σημείο του υαλοπίνακα εσωτερικά μεταφορά θερμότητας προς το κενό μεταξύ του υαλοπίνακα και του τοίχου trombe.Η θερμοκρασία του αέρα κενού λοιπόν επηρεάζεται από την εξωτερική θερμοκρασία αν πάσα στιγμή μέσω συναγωγής από το γυαλί.

γ)Μετάδοση θερμότητας στο τοίχο trombe και μέσω ανοιγμάτων.

Ερευνούμε την χρήση του συστήματος σε πρώτη φάση την ημέρα και ιδιαίτερα την ώρα που αρχίζει η μέγιστη ηλιοφάνεια.Ως εκείνη την ώρα προς το παρόν θεωρούμε ότι όλο το σύστημα έχει μια ίδια παντού θερμοκρασία(άλλος μελετητής μπορεί να θεωρήσει ότι ήδη την αρχική στιγμή έχουμε κάποια κατανομή θερμοκρασίας κατά μήκος του συστήματος π.χ γραμμική που ανεβαίνει η πέφτει η T.)Άρα την πρώτη χρονική στιγμή θεωρούμε ότι δεν έχουμε καμιά μετάδοση θερμότητας μεταξύ των ανοιγμάτων αφού πρώτα πρέπει να θερμανθεί και να αυξηθεί η θερμοκρασία του trombe.

Από το κενό στο trombe έχουμε μετάδοση θερμότητας με συναγωγή .Από τη στιγμή που αρχίζει και αυξάνει η θερμοκρασία της επιφανείας του trombe (καθώς και όλης της μάζας του τότε παρατηρείται ότι ο trombe λειτουργεί σαν σώμα που θερμαίνει τον αέρα στον κενό κατά μήκος του ύψους του.Ο αέρας θερμαίνεται –γίνεται ελαφρύτερος(μικρότερη πυκνότητα) και έχει αυξημένα θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά.Μετατοπίζεται προς το πάνω η τα πάνω ανοίγματα για να αποτελέσει μια θερμή αέρια μάζα θερμότητας προς τον χώρο).Ταυτόχρονα εξακολουθεί να υπάρχει και αγωγή θερμότητας μέσω του τοίχου trombe προς τον χώρο.Η ταυτόχρονη μετάδοση θερμότητας από το πάνω άνοιγμα και από τον τοίχο αναγκάζουν τον σχετικά κρύο αέρα της προηγούμενης χρονικής στιγμής να μετακινηθεί προς τα κάτω(βαρύτερος)και να οδηγηθεί διαμέσου του κάτω ανοίγματος στο κενό.

Εδώ πρέπει να δοθούν εξηγήσεις και να θεωρηθούν παραδοχές με τις εξής προϋποθέσεις

1)Ο ανερχόμενος αέρας του κενού που ζεσταίνεται από τον τοίχο trombe έχει κάποια θερμοκρασία που είναι είτε η θερμοκρασία του αέρα του χώρου της προηγούμενης χρονικής στιγμής η της πιο πριν ακόμη ανάλογα με το πόσο γρήγορη η αργή θεωρείται η ανακυκλοφορία του αέρα .

2)Τέλος μπορεί να θεωρήσουμε ότι η θερμοκρασία του αέρα που εξέρχεται από το κάτω διάκενο φτάνει στην θερμοκρασία που επικρατεί στο άνοιγμα του τοίχου trombe.Η παραδοχή τελικά που θα παρθεί θα αναλυθεί πιο κάτω μαζί με τις εξισώσεις.

3)οι συντελεστές συναγωγής που χρησιμοποιούνται θεωρούνται με βάση την εμπειρία γνωστοί αλλά κάποιος θα μπορούσε να τους υπολογίσει με βάση θεωρίες συναγωγής

4)λαμβάνουμε υποψιν μόνο την θερμοκρασία στις επιφάνειες του υαλοπίνακα και του trombe κατά την διεύθυνση χ του συστήματος

5)Θεωρούμε μετάδοση θερμότητας στο κενό από τον υαλοπίνακα και αντίστοιχα από το κενό προς τον τοίχο trombe μόνο με συναγωγή και όχι με ακτινοβολία.

δ)Θέρμανση του ανερχόμενου αέρα από τον τοίχο trombe

Ο τοίχος μάζας και θερμικής αποθήκευσης μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελεί τον κύριο παράγοντα θέρμανσης του αέρα που κυκλοφορεί στο κενό. Αυτή είναι και η πιο απλή παραδοχή που θα επιλεγεί αφού σαν πιο επιστημονική προσέγγιση πρέπει να είναι και η συνεισφορά του γυαλιού σαν επιφάνεια θέρμανσης καθώς και η επίδραση από των διαφόρων τοπικών χαρακτηριστικών της ροής που την περιγράφουν (π.χ Nu, Reynolds, Biot). Σε αυτήν την ενότητα το πρόβλημα της αύξησης της θερμοκρασίας του αέρα θα αντιμετωπιστεί σαν πρόβλημα ροής κατά μήκος θερμαινόμενης πλάκας που οδηγεί σε μια φαινομενικά πιο απλή λύση του προβλήματος. Η δυσκολία χρήσης των εξισώσεων έγκειται στο ότι ο τοίχος Trombe πρέπει να μπορεί να θεωρηθεί σαν θερμαινόμενη πλάκα (έχει σχετικά μεγάλο πάχος σε σχέση με τις σχέσεις πάχους-ύψους μια θερμαινόμενης πλάκας) και κάποιος μπορεί να αντιπαρατεθεί και να υποστηρίξει ότι δεν μπορεί να θεωρηθεί πλάκα. Προς το παρόν θεωρούμε ότι πλάκα ουσιαστικά αποτελεί η επιφάνεια του τοίχου (δηλαδή ο κύριος παράγοντας είναι η θερμοκρασία της επιφανείας του τοίχου Trombe)

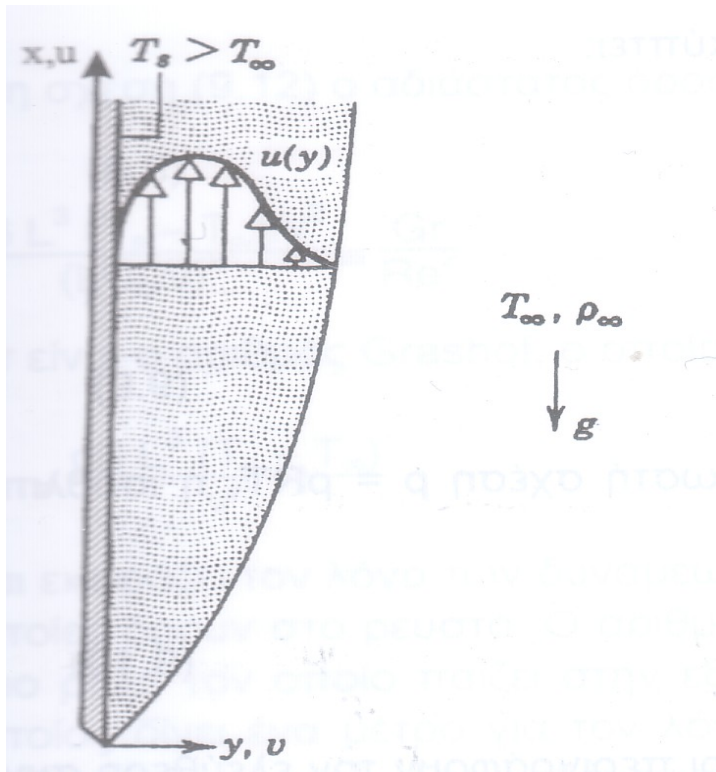
4.5.1. Μαθηματικό μοντέλο-Εξισώσεις

Επειδή το μεγαλύτερο πρόβλημα συγκεντρώνεται στο πρόβλημα της θερμαινόμενης πλάκας είναι καλύτερο να περιγράφουν σε πρώτη φάση οι εξισώσεις που αφορούν το συγκεκριμένο πρόβλημα και το πώς τελικά μπορεί να συνδεθούν με το κυρίως μοντέλο.

ΡΟΗ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΘΕΡΜΑΙΝΟΜΕΝΗΣ ΠΛΑΚΑΣ

Θερμοκρασιακές διαφορές μέσα σε μάζα ρευστού όπως στην περίπτωση της συμμετοχής του τοίχου Trombe δημιουργούν **την φυσική κυκλοφορία του ρευστού**. Η κίνηση του ρευστού οφείλεται στη διαφορά πυκνοτήτων που δημιουργούνται μέσα στη μάζα του ρευστού (ελαφρύς θερμός αέρας που εισρέει-βαρύς κρύος αέρας που βγαίνει από το χώρο) και οφείλονται στις διαφορές θερμοκρασιών. Γενικά σε τέτοιου είδους προβλήματα ο αέρας θεωρείται ασυμπίεστος δεδομένου ότι η πυκνότητα μπορεί να θεωρηθεί ανεξάρτητη της πίεσης ενώ οι θερμοκρασιακές διαφορές στην πυκνότητα εκφράζονται με τη χρήση του συντελεστή θερμικής διαστολής. Η πλάκα μια δεδομένη χρονική στιγμή θεωρείται ότι έχει σταθερή θερμοκρασία. Ο αέρας κοντά στην πλάκα θερμαίνεται οπότε η πυκνότητα του

μικραίνει και η δύναμη άνωσης που δημιουργείται ανεβάζει τον αέρα προς τα πάνω (σχήμα 4.9). Κατά την ανοδο αυτή αναπτύσσεται κατά μήκος της πλακάς οριακό στρώμα το πάχος του οποίου συνεχώς αυξάνει. Η διεύθυνση της ταχύτητας είναι πάντοτε προς τα πάνω και η μελέτη του φαινομένου γίνεται πιο απλοϊκή με την παραδοχή ότι η ροή είναι παραβολικού τύπου.



Σχήμα 4.9: Απεικόνιση ροής ρευστού κατά μήκος θερμαινόμενη πλακά

Έτσι έχουμε τις παρακάτω διαφορικές εξισώσεις σε διδιάστατο χώρο.

1) Εξίσωση συνέχειας

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (4.5.2)$$

2) Εξίσωση ορμής

$$\rho \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = \mu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \rho g B (t - t_\infty) \quad (4.5.3)$$

3) Εξίσωση ενεργείας

$$\rho C_p \left(u \frac{\partial t}{\partial x} + v \frac{\partial t}{\partial y} \right) = K \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} \quad (4.5.4)$$

όπου u, v αντίστοιχες κατά την διεύθυνση x, y ταχυτητες, T η θερμοκρασία του ρευστού και B ο θερμικός συντελεστής ογκομετρικής διαστολής. Οι παραπάνω εξισώσεις συμπληρώνονται με τις παρακάτω οριακές συνθήκες

$$u(x,0)=0 \quad u(0,y)=0 \quad u(x,\infty)=0 \quad v(x,0)=0 \quad v(0,y)=0 \quad t(x,0)=t_{\text{πλακας}} \quad t(x,\infty)=t_{\infty} \\ t(0,y)=t_{\infty}$$

Η αδιαστοποίηση οδηγεί στην εμφάνιση των ακολουθων μεγεθών αναφοράς

$$U = \frac{v}{L^2 g B (t_{\pi\lambda} - t_{\infty})} = \frac{uL}{vGr} \quad V = \frac{Lv}{v} \quad T = \frac{t - t_{\infty}}{t_{\pi\lambda} - t_{\infty}}$$

$$X = \frac{v^2}{g B (t_{\pi\lambda} - t_{\infty}) L^2} x = \frac{x}{LGr} \quad Y = \frac{y}{L}$$

όπου $Gr = B(t_{\pi\lambda} - t_{\infty}) L^3 g / v^2$

είναι ο αριθμός Grashoff και L είναι ένα χαρακτηριστικό μήκος κατά την διεύθυνση x

Έτσι με τις νέες μεταβλητές οι διαφορικές εξισώσεις (4.5.2), (4.5.3), (4.5.4) με τις αντίστοιχες οριακές συνθήκες γράφονται αδιάστατα ως

$$U \frac{\partial U}{\partial X} + V \frac{\partial U}{\partial Y} = \frac{\partial^2 U}{\partial Y^2} + T \quad (4.5.5)$$

$$\frac{\partial U}{\partial X} + \frac{\partial V}{\partial Y} = 0 \quad (4.5.6)$$

$$U \frac{\partial T}{\partial X} + V \frac{\partial T}{\partial Y} = \frac{1}{Pr} \frac{\partial^2 T}{\partial Y^2} \quad (4.5.7)$$

και αντίστοιχες οριακές συνθήκες

$$U(X, 0) = 0 \\ U(X, \infty) = 0 \\ U(0, Y) = 0 \\ V(0, Y) = 0 \\ V(X, 0) = 0$$

$$\begin{aligned}
T(X, 0) &= 1 \\
T(X, \infty) &= 0 \\
T(0, Y) &= 0
\end{aligned}$$

Η εξισώσεις πεπερασμένων διαφορών είναι προτιμότερο να γραφτούν με το σχήμα Du fort –Frankel κατά το οποίο οι πρώτες παράγωγοι γράφονται με κεντρική διαφορά ακρίβειας $\Theta(\Delta X^2)$ ή $\Theta(\Delta Y^2)$ ενώ οι δεύτερες παράγωγοι με το σχήμα ακρίβειας $\Theta(\Delta Y^2)$. Τελικά οι εξισώσεις γράφονται ως εξής ώστε να μπορούμε να βρούμε τα εξής ποσά

$$\begin{aligned}
U(J+1, K) \\
V(J, K+1) \\
T(J+1, K)
\end{aligned}$$

και αυτό γιατί στις οριακές συνθήκες το πρόβλημα περιγράφεται δεχόμενοι ότι στις γραμμές $j=0, j=1$ τα $U, V, T=0$ εκτός από το $T(1, 0)=1$.

Καταλήγουμε στις βασικές μορφές που χρησιμοποιούνται κατά σειρά

$$U_{J+1, K} = \frac{1}{\left(\frac{U_{J, K}}{2\Delta X} + \frac{1}{\Delta Y^2}\right)} \left[U_{J-1, K} \left(\frac{U_{J, K}}{2\Delta X} - \frac{1}{\Delta Y^2} \right) + U_{J, K+1} \left(\frac{1}{\Delta Y^2} + \frac{V_{J, K}}{2\Delta Y} \right) + U_{J, K-1} \left(\frac{1}{\Delta Y^2} + \frac{V_{J, K}}{2\Delta Y} \right) + T_{J, K} \right]$$

(4.5.8)

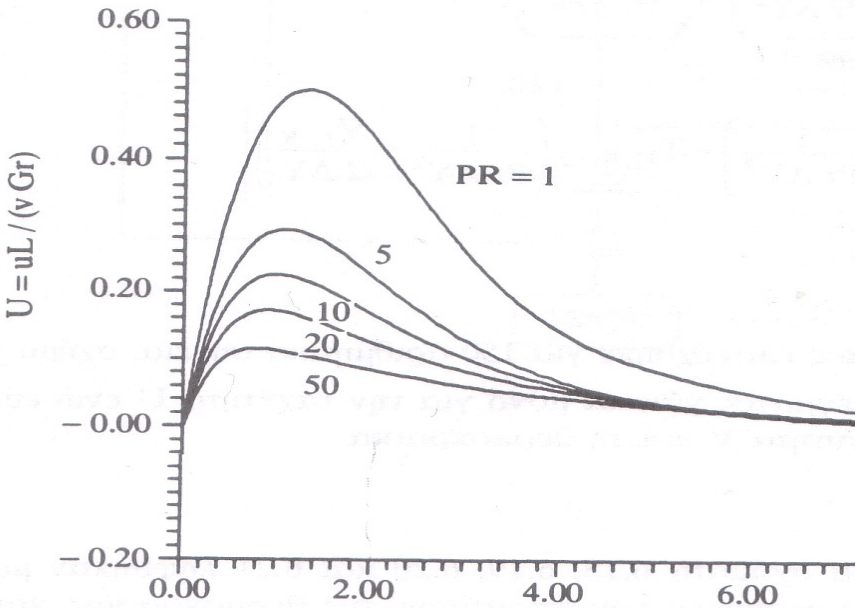
$$V_{J, K+1} = V_{J, K-1} + \frac{U_{J-1, K} - U_{J+1, K}}{\Delta X} \Delta Y \quad (4.5.9)$$

$$T_{J+1, K} = \frac{1}{\left(\frac{U_{J, K}}{2\Delta X} + \frac{1}{\text{Pr}\Delta Y^2}\right)} \left[T_{J-1, K} \left(\frac{U_{J, K}}{2\Delta X} - \frac{1}{\text{Pr}\Delta Y^2} \right) + T_{J, K+1} \left(\frac{1}{\text{Pr}\Delta Y^2} - \frac{V_{J, K}}{2\Delta Y} \right) + T_{J, K-1} \left(\frac{1}{\text{Pr}\Delta Y^2} + \frac{V_{J, K}}{2\Delta Y} \right) \right]$$

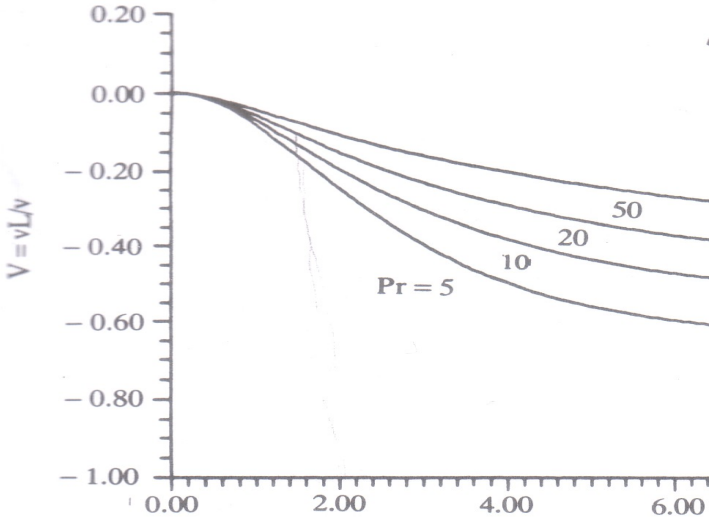
(4.5.10)

Η ανάλυση ευστάθειας δείχνει καθαρά ότι οι εξισώσεις είναι ευσταθείς για όλα τα $\Delta X, \Delta Y$. Τελικός στόχος όπως παρατηρείται διαμορφώνοντας και διακριτοποιώντας το πλέγμα είναι να βρεθεί τελικά η θερμοκρασία (Αδιάστατη) στο πάνω άνοιγμα. Όπως

φαίνεται και στο δημιουργημένο πρόγραμμα(matlab-κοίτα το υπομνηγμα) η ανεξαρτησια πλέγματος πετυχαινεται εύκολα για 100x100 σημεία.Δηλαδή έχουμε χωρίσει μηκη των x,y σε 100 κομβους αντίστοιχα για ακριβοτερη μελέτη του χώρου.Παρατηρείται ότι η θερμοκρασία που ταυτίζεται με τη προτίμηση μας (στο περίπου είναι η $T(99,2)$ δηλ στο δεύτερο κόμβο κατά x από την επιφάνεια της πλάκας και στο 99^οο κόμβο κατά y γιατί εκεί θεωρούμε ότι τελειώνει η θερμαινόμενη πλάκα και είμαστε πλέον κοντά στο πάνω άνοιγμα όπου ζητάμε την θερμοκρασία του εισερχόμενου αέρα που έχει θερμανθεί από τον τοίχο.Μπορούμε να δούμε τις πρώτες αποικονίσσεις των αδιαστατων θερμοκρασιών και ταχυτήτων σε συνάρτηση με την αδιαστατη κάθετη απόσταση Y από την επιφάνεια της πλάκας.Ετσι στη συνέχεια θα μπορούμε να αναφερομαστε στα συγκεκριμένα σχήματα για παρατηρήσεις (σχήμα 4.10)σε συνάρτηση με την απόσταση Y από την πλάκα .Βασικη παραμετρος ο Αριθμός Prandtl.Παρατηρουμε ότι σε αποστάσεις παρά πολύ κοντά στην πλάκα που έχουμε ισχυρη επίδραση των συνεκτικών δυνάμεων η αδιαστατη U έχει πρακτικά σταθερή τιμή για κάθε Prandtl ενώ σε μεγαλυτερες αποστάσεις έχουμε σημαντικη εξαρτηση.



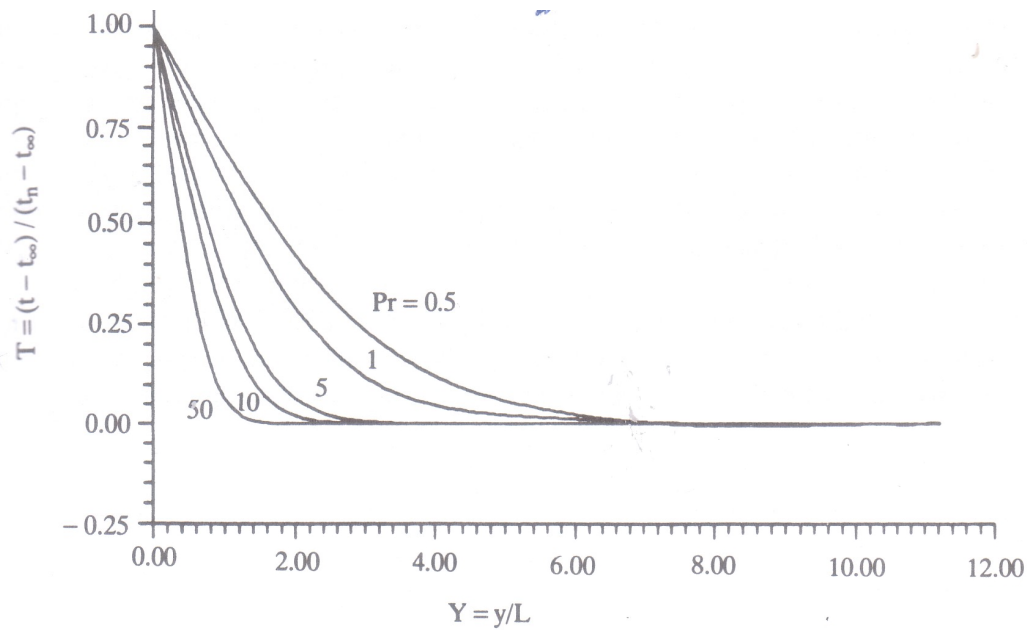
Σχημα 4.10:
αδιαστατης
συναρτήση με
απόσταση από
διάφορους Pr



Μεταβολή της
ταχύτητας U σε
την κάθετη αδιαστατη
την πλάκα Y για

Σχημα 4.11: Μεταβολή της αδιαστατης ταχύτητας V σε συναρτήση με την κάθετη αδιαστατη απόσταση από την πλάκα Y για διάφορους Pr

Σχημα



4.12:

Σχήμα 6.20: Διανομή θερμοκρασίας, επίδραση του αριθμού Prandtl.

Μεταβολή της αδιαστατης ταχύτητας T σε συναρτήση με την κάθετη αδιαστατη απόσταση από την πλάκα Y για διάφορους Pr

Έτσι στη συνέχεια κάθε χρονική στιγμή θα μπορούμε να ξέρουμε την διαστατοποιημενη θερμοκρασία του αέρα που παει να εισελθει στο πάνω άνοιγμα από την εξής μορφη όπως φαίνεται.

$$T = T(99, 2) \cdot (T_{\pi\lambda} - T_{\alpha\epsilon\rho\alpha}) + T_{\alpha\epsilon\rho\alpha} \quad (4.5.11)$$

όπου $T_{\pi\lambda}$ = η θερμοκρασία του τοίχου trombe στον 1^ο κομβο του όπως ερχεται η ροή μονοδιαστατα από το γυαλι(μέσω του κενου συναγωγη)

$T_{\alpha\epsilon\rho\alpha}$ = η θερμοκρασία του αέρα που έχει εξελθει από τον προς θέρμανση χώρο πιο πριν που θεωρούμε ότι θερμαίνεται από την πλακα και φτάνει σε μια αυξημένη θερμοκρασία στο πάνω άνοιγμα. Με αυτό τον τρόπο λοιπόν φτανουμε σε μια έκφραση της θερμοκρασίας του αέρα στην είσοδο του πάνω ανοιγματος προς το δωματιο. Είναι ευνόητο λοιπόν πως η τιμή της εξαρτάται καθε χρονική στιγμή από τις θερμοκρασίες του 1^ο κομβου του σημειου trombe και της θερμοκρασίας του αερα που ανεβαινει. Βασικη μας τώρα επιδίωξη είναι να συνδεθουν αυτές οι εκφρασεις με τις εξισώσεις που αφορούν τη μεταδοση θερμότητας από το εξωτερικό του γυαλιου προς το εσωτερικου του τοίχου trombe και του χώρου θέρμανσης.

Περιβάλλον-υαλοπινακας

Αναφεραμε ότι οι εξισώσεις που αφορούν τη μεταδοση θερμότητας από το περιβάλλον προς το σύστημα αντιμετωπιζονται με την θεωρία περί αγωγης με οριακη συνθηκη συναγωγης στο 1^ο κομβο προς τον υαλοπινακα.

Οι Εξισώσεις από την θεωρία μετάδοσης θερμότητας αγωγης είναι πολύ εύκολο να εκφραστουν χρησιμοποιωντας μεθόδους πεπερασμενων διαφορων της παραβολικουτυπου διαφορικης εξισωσης μεταβατικης μονοδιαστατης αγωγης θερμότητας(Fourier).

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) \quad (4.5.12)$$

όπου T είναι η θερμοκρασία , t και x οι διαστάσεις χρόνου και χώρου αντιστοιχως και ρ, c, k είναι οι πυκνότητα, η θερμοχωρητικοτητα και ο συντελεστής θερμικής αγωγιμοτητας του υλικού αντίστοιχα. Με τη γενικευμενη εκφραση της εξισωσης μπορούμε να καταληξουμε σε αμεση η εμμεση διατυπωση ως προς τον υπολογισμό της θερμοκρασίας σε διαδοχικους κομβους την επόμενη χρονική στιγμή.

Υπενθυμιζεται εδώ ότι στην αμεση διατυπωση ότι η αγνωστη θερμοκρασία της επομενης χρονικής στιγμης δεν συνδέεται με άλλες αγνωστες τιμές και συνεπως υπολογίζεται αμέσως συναρτήσσει των γνωστων θερμοκρασιών των κομβων i-1, i, i+1 της

προηγούμενης χρονικής στιγμής. Η αμεση διατυπωση παρουσιάζει το πλεονεκτημα του αμεσου υπολογισμού των τιμών T_i της επομενης χρονικής στιγμής χωρίς να απαιτείται επιλυση συστήματος εξισωσεων αλλά μειονεκτει στο ότι για συγκκριμενα Δt η θερμοκρασία μπορεί να έχει φυσικως παραδεκτη τιμή.

Για σταθερή θερμική αγωγιμοτητα των κομβων και δx το κριτηριο για το Δt παίρνει την εξής εκφραση

$$\Delta t \leq \rho c \frac{(\Delta x)^2}{2k}$$

και έτσι απαιτείται μικρό χρονικο βημα Δt η μεγάλο χωρικο βημα Δx . Οδηγουμαστε λοιπόν σε σημαντική μείωση του Δt κάτι που είναι πολύ αντικονομικο για την επιλυση. Μπορεί όμως να χρησιμοποιηθει και η **εμμεση διατυπωση** κατά την οποία η αγνωστη T_i της επομενης χρονικής στιγμής εκφράζεται συναρτήσεϊ των επισης αγνωστων γειτονικων κομβων T_{i-1}, T_{i+1} . Δηλαδη πρέπει με αυτήν την λογικη να λυνουμε κάθε χρονική στιγμή τριδιαγωνιο σύστημα. Έδω το μεγαλύτερο πλέονεκτημα είναι το χρονικο βημα μπορεί να είναι να είναι οσοδηποτε μεγάλο εξοικονομοντας χρόνο ηλεκτρονικου υπολογιστου. Υπαρχουν και άλλες μεθοδοι που χρησιμοποιουν υβριδικες διατυπωσεις των προηγουμενων μεθοδων κάτι που δε θα αναλυθει στο συγκεκριμένο σημείο.

Στην παρούσα μελέτη θα χρησιμοποιηθει η αμμεση μέθοδος γιατί ναι μεν έχουμε μεγαλύτερη καθυστερηση στην εξαγωγή αποτελεσματος αλλά έχουμε καλύτερη σύνδεση με τά διάφορα στοιχεία του συστήματος και έτσι την καλύτερη διαμόρφωση εξισωσεων. Πρωτα από όλα πρέπει να γίνει μια θεωρηση ως προς τις αρχικές θερμοκρασίες κατά την αρχή του χρόνου. Αυτη η θεωρηση δεν έχει καμοια σχέση με την τελική κατανομή του 24ωρου. Έτσι μπορεί να είναι γραμμικης μορφής. Δηλαδη μια αρχικη θερμοκρασία στο 1^ο κομβο του υαλοπινακα και γραμμικα μειωμενη τιμή στους διαφορους κομβους μέχρι και το δωματιο αφού θέλουμε να πετυχουμε θέρμανση. Επισης μπορεί να είναι και όλες οι θερμοκρασίες στους κομβους ισες με μια αρχική τιμή. Στον υαλοπινακα λοιπόν θα έχουμε με την αμεση διατυπωση για τους εσωτερικους κομβους του από την (4.5.12) την εξής διατυπωση

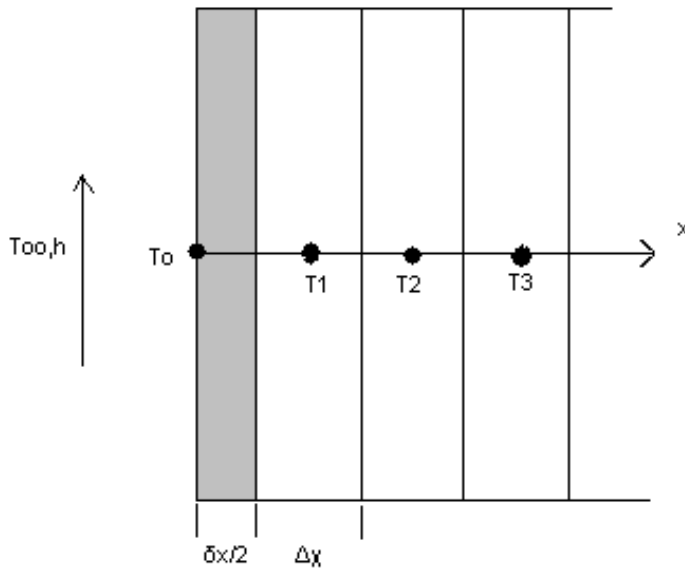
$$T_i^{n+1} = \frac{a\Delta t}{\Delta x^2} [T_{i+1}^n + T_{i-1}^n] + \left[1 - \frac{2a\Delta t}{\Delta x^2}\right] T_i^n \quad (4.5.13)$$

όπου $a = \frac{k}{\rho \cdot c_p}$ χαρακτηριστικος αριθμός του υλικού

Για τη σύνδεση του 1^{ου} σημειου του υαλοπινακα με τις συνθήκες του περιβαλλοντος θεωρούμε την εξής εξίσωση που περιλαμβανει συναγωγη και διατηρηση ενεργείας με το περιβάλλον

$$h_{out} (T_{out}^n - T_1^n) + k \cdot q_{sol}^i + k \frac{T_1^n - T_2^n}{\Delta x} = \rho \frac{\Delta x}{2} C_p \frac{T_1^n - T_1^{n+1}}{\Delta t} \quad (4.5.14)$$

όπου ουσιαστικά η θερμότητα που μπαίνει στο 1^ο κομβο του υαλιου λογω συναγωγης με τον αέρα και η θερμότητα λόγω ακτινοβολίας μια δεδομένη στιγμή εισουνται ουσιαστικά με την εναποθηκευομενη θερμότητα ανάμεσα στους κομβους του υαλοπινακα η οποία και προκαλεί τη χρονική μεταβολή της θερμοκρασίας(σχήμα 4.13).



Σχημα

4.13: Η μετάδοση θερμότητας

γίνεται κατά μήκος του υαλοπίνακα ενώ στο 1^ο σημείο έχουμε οριακή συνθήκη εισαγωγής

Παρατηρείται ότι οι δυο 1^{οι} οροι ουσιαστικά μπορούν να εκφραστούν με μια ενιαία μορφή τύπου

$$h_{is} (T_{sol-air}^n - T_1^n) \quad (4.5.15)$$

αφού όπως έχει εξηγηθεί εκτενώς σε παραπάνω παραγραφο μπορούμε να απλοποιήσουμε τη συμμετοχή της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας του αέρα περιβαλλοντος με την T ηλίου αέρα(sol-air) και ισοδύναμο συντελεστή συναγωγής(h).βλεπουμε καθαρά ότι γνωρίζοντας τις τιμές των θερμοκρασιών στις προηγούμενες χρονικές στιγμές βρισκουμε εύκολα την τιμή της θερμοκρασίας στο 1^ο σημείο του υαλοπινακα την επόμενη χρονική στιγμή (T_1^{n+1}) θεωρώντας βεβαια μονοδιαστατη κατά μήκος ανάλυση.

Τελικά η εξίσωση (4.5.14) με τη χρήση της (4.5.16) παίρνει την μορφή ως προς τον αγνωστο

$$T_{γιαλ_1}^{n+1} = \frac{2}{M} \left(T_{γιαλ_{2+N}}^n T_{solair}^n \right) + \left\{ 1 - \frac{2}{M} - \frac{2N}{M} \right\} T_{γιαλ_1}^n$$

(4.5.16)

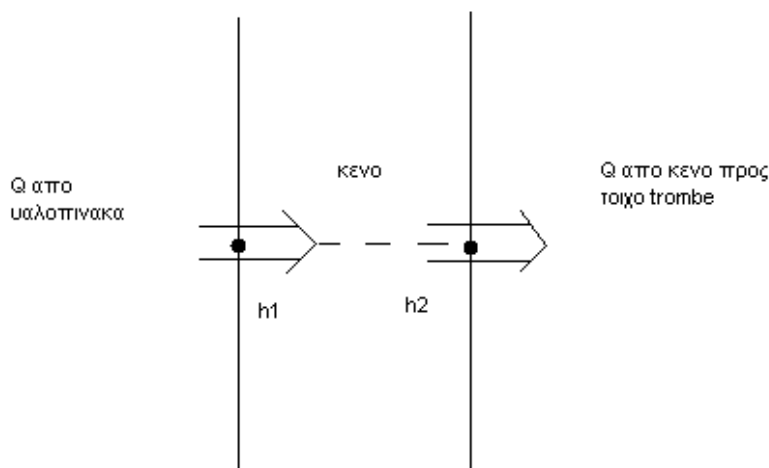
όπου $M = \frac{\Delta x^2}{a \Delta t}$ και $N = \frac{h_{is} \Delta x}{k_{\text{υαλ}}}$

Δηλαδή η θερμοκρασία που θα έχει ο 1^{ος} κομβος του υαλοπινακα θα εξαρτιεται από την προηγουμενη τιμή στο σημείο αυτό, την προηγουμενή τιμή στο 2^ο κομβο και την θερμοκρασια ηλίου-αέρα την προηγουμενή χρονική στιγμή.

Παρατηρειται ότι και αυτή η μορφή είναι αμεσης μορφή οπότε και εδώ πρέπει να θεωρηθεί κριτηριο εξασφαλισης ευρεσης φυσικως αποδεκτης τιμής για τη θερμοκρασία. Στο συγκεκριμένο πρόβλημα θα δειχτει παρακάτω πως επιλέγεται ένα ελάχιστο Δt που θα αναταποκρινεται σε όλα τα κριτηρια. .

Υαλοπινακας-κενό-τοιχος Trombe

Αφου είδαμε σε γενικές γραμμές τον τρόπο που μπορούμε να δημιουργησουμε εξισώσεις τόσο ανάμεσα στο περιβάλλον και τον υαλοπινακα αλλά και κατά μήκος του υαλοπινακα οδηγουμε κατα σειρά στο κενό αναμεσα στο υαλοπινακα και τον τοίχο trombe. Οι εξισώσεις που μπορούν να συνδεσουν τα στοιχεία του υαλοπινακα με το κενό και το τοίχο trombe μπορεί να είναι διαφορετικές ανάλογα με τις παραδοχές του μελετητη. Η θα οδηγηθουμε σε μια ενεργειακή εξίσωση όπως την προηγουμενή θεωρώντας ένα συντελεστή συναγωγης αέρα κενου ειται στο κενό μπορουμε να θωρησουμε σαν ένας απλο κομβο τελεταιιο που περιλαμβανεται στον υαλοπινακα. Η πιο ορθη αντιμετώπιση εγκειται στο ότι από το τελευταίο κομβο υαλιου έχουμε μεταδοση θερμότητας με συναγωγή προς το κενό εκεινη την χρονική στιγμή



Σχημα 4.14: Σχηματική μετάδοση θερμότητας από τον υαλοπίνακα στο τοίχο trombe με ενωτικό κόμβο την θερμοκρασία του αέρα του κενού

Ειδικά για αυτή την περίπτωση πρέπει να θεωρείται ότι η μεταδοση θερμότητας γίνεται κυριαρχα κατά μήκος ώστε να μη διαρρεονται ποσά θερμότητας προς άλλες κατευθύνσεις δημιουργώντας έτσι νεους αγνωστους στο πρόβλημα .Εξυπακουεται ότι ο συντελεστής συναγωγής υαλοπινακα αέρα και τοίχου trombe δεν είναι πάντα ίδιοι καθώς έχουμε άλλες συνθήκες ροής .

Καταρχην επιβαλλεται να βρούμε εξίσωση για την ευρεση της θερμοκρασίας του τελευταίου κομβου του γυαλιου αφού το γυαλί συνορεύει με το κενό ($T_{\text{υαλ}}^{n+1}$).

Οπως πριν μπορούμε να πούμε ότι ισχυει

$$Q_{\text{αγωγής}} = Q_{\text{συναγ}} + Q_{\text{χρον. αποθηκ}} \quad (4.5.17)$$

δηλαδή η θερμότητα που μεταφέρεται στο τελευταίο κομβο ουσιαστικά ξοδευεται για την χρονική μεταβολη της θερμοκρασίας του τελευταίου κομβου του γυαλιου (με τη μορφή αποθηκευμενης θερμότητας και στο ποσο θερμότητας συναγωγής προς το κενό.Τελικα η (4.5.17) με βάση την αμμεση μορφή της (4.5.12)

$$k_{\text{υαλ}} \frac{T_{\text{υαλ}}^{n-1} - T_{\text{υαλ}}^n}{\Delta x} - h_{\text{κενου}} (T_{\text{υαλ}}^n - T_{\text{κενου}}^n) = \rho \frac{\Delta x}{2} C_p \frac{T_{\text{υαλ}}^{n+1} - T_{\text{υαλ}}^n}{\Delta t} \quad (4.5.18)$$

που οδηγεί και αυτή σε μορφή αντίστοιχη με την παραπάνω

$$T_{\text{υαλ}}^{n+1} = \frac{2}{M} \left(T_{\text{υαλ}}^n + N T_{\text{κενου}}^n \right) + \left\{ 1 - \frac{2}{M} - \frac{2N}{M} \right\} T_{\text{υαλ}}^n \quad (4.5.19)$$

$$\text{όπου } M = \frac{\Delta x^2}{a \Delta t} \text{ και } N = \frac{h_{\text{κενου}} \Delta x}{k_{\text{υαλ}}}$$

Η $T_{\text{κεν}}^n$ (δηλαδή η θερμοκρασία του αέρα του κενού) εξαρτάται από τη θεώρηση που θα κάνουμε όπως αναφεραμε παραπάνω. Γενικά μπορούμε να πούμε ότι ισχύει

$$h_{in2} A_{glass} (T_{nglass}^n - T_{κενου}^n) = \rho_{air} c_{air} V_{κενου} \frac{T_{κενου}^n - T_{κενου}^{n-1}}{dt} \quad (4.5.20)$$

αφού μπορεί κάποιος να πει ότι η μεταφοράς θερμότητας από τον υαλοπίνακα μέσω συναγωγής ξοδεύεται για την εναποθήκευση θερμότητας στο κενό (φαινόμενο θερμοκηπίου-ουσιαστικά η ακτινοβολία του ηλίου εγκλωβίζεται ανάμεσα στο υαλοπίνακα και στον τοίχο και αυξάνει την θερμοκρασία). Αυτή η αποθήκευση συντελεί στην χρονια μεταβολή της θερμοκρασίας του χώρου που στη συνέχεια συντελεί με την σειρά της στην αύξηση της θερμοκρασίας του τοίχου trombe. Αναλογα με το αν θωρησει κάποιος ισχυρη επίδραση του αερίου ρευματος που εξερχεται από το δωματιο από το άνοιγμα ειται από αυτό που προέρχεται από τον υαλοπίνακα μπορούμε να βρούμε και με εναλλακτικες μορφες την $T_{κεν}^n$. Μια τέτοια σχέση βεβαια θα ισχυε για τις χρονικές στιγμές που τα ανοίγματα θα είναι ανοιχτα και θα επιδρουν σημαντικά στην διαμόρφωση της θερμοκρασίας του χώρου.

Σε περίπτωση που θα είναι κλειστα τα ανοίγματα είναι ευνόητο πως δεν θα υπαρχει κυκλοφορια αέρα μεσα στο κενό. Επι της τωρινης μελετης θα θεωρείται ότι το ρεύμα που εξερχεται από το κάτω άνοιγμα θα θερμαίνεται εξολοκληρου από τον τοίχο trombe και δεν θα συμμετέχει στον υπολογισμό της θερμοκρασίας του κενου.

Τοιχος trombe-ανοίγματα-χώρος προς θερμανση

Στον τοίχο trombe όπως και στον υαλοπίνακα χρησιμοποιούμε εξισώσεις πεπερασμενων διαφόρων αγωγης θερμοτητας αμεσης μορφής. Ειδικα για τα εσωτερικά σημεία του τοίχου trombe χρησιμοποιούμε τον τύπο (1) της παραπάνω μορφής αμεσης μορφής με τη διάφορα ότι έχουμε άλλη πυκνότητα, θερμοχωρητικοτητα και χαρακτηριστικα υλικού αφού μιλάμε για τοίχο μάζας. Αυτό σημαίνει ότι η αμεση μέθοδος αναποφευκτα οδηγεί σε

νέο εύρος Δt που πρέπει να ανταποκρινεται και στο νέο κριτηριο που εξαγεται από την παραπάνω εξίσωση.

Για το 1^ο σημείο του τοίχου trombe μπορούμε να έχουμε νέα εκφραση ισολογισμου ενεργειας από το κενό προς το 1^ο σημείο trombe όπως έχει θεωρηθεί παραπάνω. Η μορφή εξίσωσης θα είναι η εξής

$$T_{\text{τοιχου},1}^{n+1} = \frac{2}{M} \left(T_{\text{τοιχου},2}^n + N T_{\text{κενου}}^n \right) + \left(1 - \frac{2}{M} - \frac{2N}{M} \right) T_{\text{τοιχου},1}^n \quad (4.5.21)$$

όπου $M = \frac{\Delta x^2}{a \Delta t}$ και $N = \frac{h_{\text{κενου}} \Delta x}{k_{\text{τοιχου}}}$ όπου το a αναφέρεται φυσικά στα χαρακτηριστικά του τοίχου

ενώ για τα εσωτερικά σημεία του τοίχου θα έχουμε όπως έχει είδη ειπωθεί μεταφοράς θερμότητα με αγωγή ανάμεσα στα στοιχεία

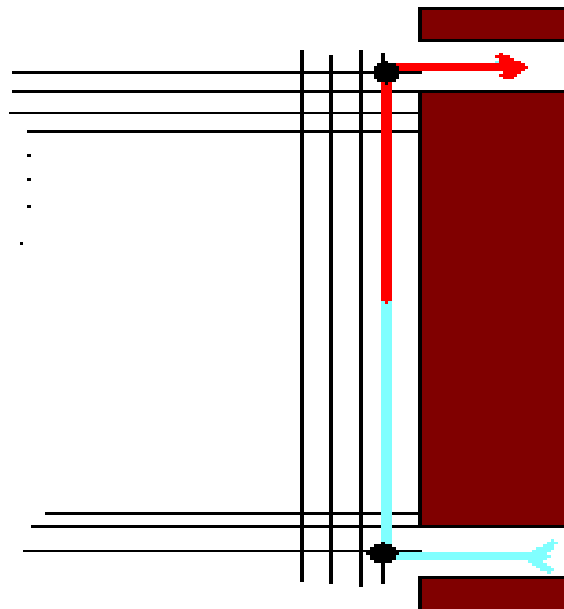
$$T_{\text{τοιχου},i}^{n+1} = \frac{a \Delta t}{\Delta x^2} \left[T_{\text{τοιχου},i+1}^n + T_{\text{τοιχου},i-1}^n \right] + \left[1 - \frac{2a \Delta t}{\Delta x^2} \right] T_{\text{τοιχου},i}^n \quad (4.5.22)$$

όπου $a = \frac{k_{\text{τοιχ}}}{\rho \cdot c_p \text{τοιχ}}$ χαρακτηριστικός αριθμός του υλικού του τοίχου

Για το τελευταίο σημείο του τοίχου Trombe πρέπει να θωρησουμε αντίστοιχη εκφραση ενεργειακής ισορροπίας όπως έγινε και στον υαλοπινάκα τότε θα ισχυει πάλι

$$T_{\text{τοιχου},nw}^{n+1} = \frac{2}{M} \left(T_{\text{τοιχου},nw-1}^n + N T_{\text{χωρου}}^n \right) + \left(1 - \frac{2}{M} - \frac{2N}{M} \right) T_{\text{τοιχου},nw}^n \quad (4.5.23)$$

Για το άνω άνοιγμα χρησιμοποιούμε την θεωρία που αναπτυχθηκε σε προηγούμενη παραγραφο για την ροή κατά μήκος θερμαινόμενης πλάκας . Υπενθυμίζεται ότι ο χώρος είχε διακριτοποιηθει σε μικρά τετράγωνα με διαστασεις $\delta x, \delta y$ (σχημα 4.14) ενώ η θερμοκρασία είχε βρεθει σε αδιαστατη μορφή σε σχέση με την θέση του άνω ανοιγματος ως προς την επιφανεια που είχε θεωρηθει σαν



του τοίχου Trombe θερμαινόμενη πλάκα .

Σχημα 4.14: Σχηματική απεικόνιση ενδεχομένου πλεγματος κοντά στον τοίχο trombe (οι οριζόντιες και οι κάθετες γραμμές οριοθετούν τα μικρά χωρία (μπλε χρώμα το κρο εξερχόμενο ρεύμα αέρα και κοκκίνο το θερμό ανερχόμενο ρεύμα))

Παραδεχομαστε τελικά χρησιμοποιώντας την σχέση (4.5.11) ότι

$$T_{\text{ανοιγ}}^{n+1} = T(99, 2) \cdot (T_{\text{τοιχου}, 1} - T_{\text{χωρου}, n-1}) + T_{\text{χωρου}, n-1} \quad (4.5.24)$$

όπου ο αδιαστατος αριθμός φυσικά και εξαρτάται από αριθμό Prandtl που θεωρούμε ότι εκφράζει τη ροή στο τοίχωμα της πλακάς ενώ έχουμε δηλώσει και τον αριθμο κομβων διακριτοποίησης που είναι ο καταλληλος για συμπερασματα.
Αντιστοίχα μπορούμε να βρούμε και την θερμοκρασία ακριβώς έξω από το κάτω άνοιγμα

$$T_{\text{κατωανοιγ}}^{n+1} = T(2, 2) \cdot (T_{\text{τοιχου}, 1} - T_{\text{χωρου}, n-1}) + T_{\text{χωρου}, n-1} \quad (4.5.25)$$

αφου η θερμαινόμενη πλακα θεωρείται οτι εκτεινεται από το κάτω έως και το πανω άνοιγμα

Ο λόγος που χρησιμοποιούμε την θερμοκρασία του χώρου όχι της προηγούμενης αλλά της πιο πριν είναι ότι όταν την χρονική στιγμή n εισρεει στο χώρο προς θέρμανση αέρια μάζα από το άνοιγμα θερμοκρασίας $T_{\text{ανοιγ}}^n$.

Τότε την δεδομένη χρονική στιγμή θα αφαιρείται από το χώρο αέρας προηγούμενης θερμοκρασίας του χώρου $T_{\text{χωρου}}^{n-1}$. Αυτό σημαίνει ότι έχει πιο πριν θερμανθεί αέρας

$T_{\text{χωρου}}^{n-2}$ που έχει βγει την προηγούμενη χρονική στιγμή από το κάτω άνοιγμα ώστε να

υπάρχει ανακυκλοφορία αέρα .Το ρεύμα αυτό θερμαίνεται από την πλακα και φτάνει σε θερμοκρασία $T_{ανοιγ}$ στο πάνω άνοιγμα.

Τώρα πλεον το πρόβλημα μπαίνει στη τελική του ευθεία αφού εχουν υπολογιστεί όλα τα μεγέθη που χρειάζονται για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας του χώρου

υπολογισμός θερμοκρασίας χώρου T_{χ}

Εδώ διακρινονται δυο περιπτώσεις

α)Τα ανοιγματα είναι κλειστα αφού δεν υπάρχει ανάγκη χρησιμοποίησης .Δεν έχουμε πια ηλιοφανεια και περιμένουμε πλέον ο τοιχος trombe να αποδίδει θερμότητα στο χώρο τις νυχτερινες ώρες που υπαρχει ανάγκη.Τα ανοιχτα ανοίγματα σε αυτήν την περίπτωση θα δρουν σαν παράγοντες απωλειας για το δωματιο δηλαδη θα χαναμε θερμότητα του χώρου και θα επεφτε η θερμοκρασία από την τιμή που θα επιθυμουσαμε.Την προστασία του χώρου τις ώρες που περιμένουμε να αποδωσει θερμότητα ο τοιχος μπορουμε να την ενισχυσουμε με τη χρήση εξωτερικής μονωσης στον τοίχο ώστε να υπάρχει βεβαιοτητα ότι κανένα πόσο θερμότητας δεν πρόκειται να διαφυγει με οποιοδηποτε τροπο.Σε αυτή την περίπτωση η εκφραση για την θερμοκρασία του χώρου δίνεται από μια απλή εξίσωση ενεργειακης ισορροπίας

$$h_{in} \left(T_{τοιχου, nw}^{n+1} - T_{χωρου}^{n+1} \right) = \frac{\rho V C_p}{dt} \left(T_{χωρου}^{n+1} - T_{χωρου}^n \right) \quad (4.5.26)$$

όπου φαίνεται χαρακτηριστικα ότι η θερμότητα που φευγει από την επιφάνεια του τοίχου μέσου συναγωγης προς τον αέρα του χώρου μια δεδομένη στιγμή μετατρέπεται ουσιαστικα σε μεταβολή της θερμοκρασίας του χώρου(αν είναι θετικη τότε μιλάμε για αύξηση τα θερμοκρασίας) σε σχέση με την προηγουμενή τιμή.**Θεωρουμε βεβαια ότι προς το παρόν δεν έχουμε άλλες καταβοθρες ενεργείας** δηλαδη ότι φεύγει από τον τοίχο trombe ξοδευεται για την μεταβολή της θερμοκρασίας του χώρου κάτι που μπορούμε να ισχυριστουμε ότι ισχυει στην πραγματικοτητα σε μεγάλο βαθμό.Επισης η μόνη πηγη θερμότητας για τον χώρο είναι ουσιαστικα ο τοιχος trombe .**Δεν υπάρχει άλλη πηγη όπως θερμαντικό σωμα,κεντρική θέρμανση η π.χ εστία θέρμανσης**

β)Όταν υπάρχει ανάγκη για κυκλοφορία του αέρα δηλαδη στην περίπτωση που εκμεταλλευομαστε την ακτινοβολία του ηλίου θα έχουμε επισης μια ισορροπια ενεργειακων ρωων .Ροη θερμότητας υπαρχει από τον τοίχο trombe ως προς το δωματιο μέσω συναγωγης .Επισης ροή θερμότητας υπαρχει πλέον από το πάνω άνοιγμα λόγω ανακυκλοφοριας μάζας αέρα ενώ ροη θερμότητας εξερχεται και από τον χώρο από το κάτω άνοιγμα η οποια όμως δεν χρησιμοποιείται στον ισολογισμό αφού δεν εξερχεται απευθειας (δηλ την δεδομένη χρονική στιγμή) .Θα μπορούσε καποιος να πει ότι εκτός από

συναγωγή έχουμε και ακτινοβολία .Στην παρούσα μελέτη δεν το λαμβάνουμε υποψιν.Θα έχουμε τελικά την εξής εξίσωση

$$h_{in} A_{\text{ανοιγματος}} \left(T_{\text{τοιχου, nw}}^{n+1} - T_{\text{χωρου}}^{n+1} \right) + m_a c_p \left(T_{\text{ανοιγμαπ}}^{n+1} - T_{\text{χωρου}}^{n+1} \right) = \frac{\rho V C_p}{dt} \left(T_{\text{χωρου}}^{n+1} - T_{\text{χωρου}}^n \right) \quad (4.5.27)$$

Από αυτήν την πολυπλοκη εκφραση μονος αγνωστος πλέον είναι μόνο η καινούρια θερμοκρασία του χωρου $T_{\text{χωρου}}^{n+1}$ αφού η μάζα αέρα που εισερχεται στο άνοιγμα και από κει στο χώρο θα είναι

$$m_{air} = \rho_{air} A_{\text{ανοιγ}} u_{\text{αερα}} \quad (4.5.28)$$

Η πυκνότητα και η ειδικη θερμοχωρητικοτητα του αέρα κανονικά βεβαιως και εξαρτιωνται από την θερμοκρασία του αέρα.Δεχομαστε ότι για το εύρος των θερμοκρασιών που θα κυμαινονται στο πάνω άνοιγμα πρακτικά είναι σταθερά ενώ ο αέρας λαμβάνεται σαν τελειο αέριο .

Η ταχύτητα του αέρα θα συμβαδιζει με τη θεωρία θερμαινομενης πλακας και τον αδιαστατο αριθμό Grashoff που και αυτος θα πρέπει υπό ανάλογη εκφραση να θεωρείται δεδομενος όπως και ο Prandtl(να δίνονται από τον μελετητη).Αυτο επιτυγχανεται ως εξής .Απο την επιλυση της ροης στη θερμαινομενη πλακα βρίσκεται σε αδιαστατη μορφή η ταχύτητα $U(99,2)$.Απο την αδιαστατοποιηση των αριθμων είναι γνωστό ότι

$$U = \frac{uL}{\nu Gr}$$

όπου επισης θα είναι γνωστό το ν μέσω Grashof αφού ισχυει από πάνω

$$Gr = B(t_{\pi\lambda} - t_{\infty}) L^3 g / \nu^2$$

$$\text{με } t_{\pi\lambda} = T_{\text{τοιχου, 1}}^n \quad \text{και} \quad t_{\infty} = T_{\text{τωρου}}^{n-2}$$

Ο Grashof είναι σημαντικος γιατί εκφραζει τον λογο δυναμεων ανωσεως προς τις δυνάμεις συνεκτικοτητας οι οποίες δρουν στον ανερχομενο αέρα .Οι μεγάλες τιμές του σημαινουν ότι δεν υπάρχει παρεμποδιση στην ανωση του αέρα και η κυκλοφορία γίνεται οσο το δυνατόν καλύτερα ενώ χαμηλες τιμές δειχνουν την δυσκολια με την οποία ανέρχεται προς το πάνω άνοιγμα ο αέρας επηρεαζοντας έτσι την θερμοκρασία μετέπειτα στο χώρο.

Είναι ευνόητο ότι όλη η παραπάνω διαδικασία πρέπει να γίνεται σε ένα χρονικο βρογχο ώστε να υπολογίζεται η τιμή της θερμοκρασίας στον χώρο όλο το 24ωρο .Παρακατω

θα ακολουθησουν ειδικες παρατηρήσεις που πρέπει να επισημανθουν για την σωστή διάταξη των εξισώσεων ώστε να αποτελεσουν προσφορο έδαφος για πρόγραμμα και επιλυση

4.5.2. Παρατηρήσεις μαθηματικου μοντελου

1) Για τη μεταβαση από τις θερμοκρασίες του περιβαλλοντος, προς το υαλοπινακα έχει κατά καιρους εκφασθει μια ενδιαφερουσα αποψη που ανταποκρινεται στις θερμοκρασίες ηλίου –αερος κατά το 24ωρο. Δεχομαστε ότι κατά τη διάρκεια μιας ώρας ($dt=3600$ s) η θερμοκρασία παραμενη σταθερή κάτι που ενδεχομένως επηρεάζει την μορφή που θα έχει η κατανομή της εξωτερικής και των άλλων θερμοκρασιών . Για πολυ μικρά dt θα υπάρχουν ενδεχομενως πολλά διαστήματα όπου η $T_{sol-air}$ θα είναι σταθερή μέχρι να αλλαξει η ώρα.

2) Οι παραπάνω εξισώσεις κατά σειρά θα μπουν σε ένα επαληπτικο χρονικο βρογχο ώστε να υπολογίζεται κάθε φορά η καινούρια θερμοκρασία . Οι διαστάσεις αυτου του βρογχου εχουν αμεση σχέση με τα διαστήματα στα οποία θεωρούμε ότι υπάρχει ακτινοβολία ηλίου και κυκλοφορία αέρα και ποτε δεν έχει γιατί έχουμε διαφορές στους εν χρήση τύπους . Έτσι π.χ θα θεωρούμε ότι από τις 0-6 π.μ δεν κάνουμε χρήση της ανακυκλοφοριας αέρα και τα ανοίγματα θα είναι κλειστα . Το ίδιο και από τις 6 μ.μ ως και τα μεσανυχτα(24). Το υπόλοιπο διάστημα που θα έχουμε αύξηση της ακτινοβολιας του ηλίου θα έχουμε και χρήση της ανακυκλοφοριας αέρα.

3) Υποτιθεται ότι η ισοδύναμη θερμοκρασία ηλίου αέρα είναι η θερμοκρασία που έχουμε τώρα πλέον στο περιβάλλον έξω από τον υαλοπινακα και από κει και περα θερμότητα μεταδιδεται στον υαλοπινακα με συναγωγη. Καποιος θα μπορούσε να παρακαμψει τελειως τον υαλοπινακα υποθετωντας ότι η ακτινοβολία διαπερνά το πληρως απορροφητικο υαλοπινακα και προσπιπτει κατευθειαν πάνω στον τοίχο. Σε αυτήν την περίπτωση η θερμοκρασία του κενου θα ήταν η $T_{sol-air}$

4) Ο Grashof σχετίζεται άμεσα με την ισοθλιπη διαστολικοτητα του αέρα και αφού αυτό θεωρείται τελειο αέριο τελικα ο $\beta \approx \frac{1}{T_{\mu}}$ όπου $T_{\mu} = \frac{T_{τοιχου,1}^n + T_{χωρου}^{n-2}}{2}$ δηλαδη για

δεδομένο

grashof που θα δίνεται από τον μελετητη για κάθε χρονική στιγμή θα βρίσκεται τελικα η ταχύτητα του αέρα στο πάνω άνοιγμα

κριτηρια οριου dt

Υπενθυμίζεται εδώ ότι οι περισσότερες εξισώσεις που αποτελούν το παραπάνω σύστημα είναι αμεσης μορφής και η καθεμία έχει το δικό της κριτήριο για την σωστή επιλογή της dt που να δίνει φυσικώς παραδοχή τιμή για τις υπολογιζόμενες θερμοκρασίες. Γίνεται ευνόητο ότι η επιλεγόμενη dt πρέπει να υπακούει σε όλα τα παραπάνω κριτήρια. Δηλαδή από την

$$(4.5.16) \rightarrow 1 - \frac{2}{M1} - \frac{2N1}{M1} \geq 0$$

$$(4.5.13) \rightarrow 1 - \frac{2}{M1} \geq 0$$

$$(4.5.19) \rightarrow 1 - \frac{2}{M1} - \frac{2N2}{M1} \geq 0$$

$$(4.5.21) \rightarrow 1 - \frac{2}{M2} - \frac{2N3}{M2} \geq 0$$

$$(4.5.22) \rightarrow 1 - \frac{2}{M2} \geq 0$$

$$(4.5.23) \rightarrow 1 - \frac{2}{M2} - \frac{2N4}{M2} \geq 0$$

Από τα παραπάνω φαίνεται ότι για ένα ελάχιστο dt τα παραπάνω κριτήρια θα ικανοποιούνται. Αυτό γίνεται εύκολα στο πρόγραμμα μας με μια εντολή που βρίσκει το ελάχιστο dt από τα υπολογιζόμενα από κάθε κριτήριο.

4.6. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ 1^{ης} ΥΠΟΘΕΣΗΣ

Θα ακολουθήσουν διάγραμματα για τη σαφέστερη εικόνα της διακυμανσης της θερμοκρασίας του χώρου σε σχέση με τον χρόνο καθώς και άλλων ενδιαφερομενων θερμοκρασιών. Για τη διευκυσηση των συμπερασματος κάποια μεγέθη θα κρατιουνται σταθερά ενώ αλλά θα αλλαζουν για να γίνεται αισθητη η εξαρτηση των θερμοκρασιών από αυτά τα μεγέθη

4.6.1. 1^ο παραδειγμα-(γενικη παρουσιαση)

Από το πρόγραμμα matlab που εξηγείται συνοπτικά στο παραρτημα εισάγουμε στο περιβάλλον χρηστη τα μεγέθη που μας ενδιαφερουν. Θεωρουνται σε αυτό το πρωτο παραδειγμα γνωστά τα

-αρχικές θερμοκρασίες παντου ισες με 12 C° (αφού θεωρουμε ότι είμαστε σε χειμωνα)
 -υλικό του τοίχου trombe(τσιμεντο)

$$k_w = 1.4 \quad \rho_w = 2300 \quad C_p = 880$$

-υλικό του υαλοπινακα(γυαλί απλο)

$$k_w=1.4 \quad \rho_w=2500 \quad C_p=750$$

-Διαστάσεις δωματιου προς θέρμανση(3x3x3)(m³)

-χαρακτηριστικά μεγέθη αέρα γνωστά και θεωρημένα σε κατάσταση αναφοράς (T=273 K)

-Το πάνω άνοιγμα και το κάτω άνοιγμα θεωρούνται ότι έχουν ίσες επιφάνειες πάνω στο τοίχο (δηλ καταλαμβάνουν ίδιο ποσοστό επιφανείας τοίχου).

Έτσι η κατάσταση όπως διαμορφώνεται για τα στοιχεία εισαγωγής πού επιθυμούμε να βαλλουμε είναι:(πίνακας 4.6.1)

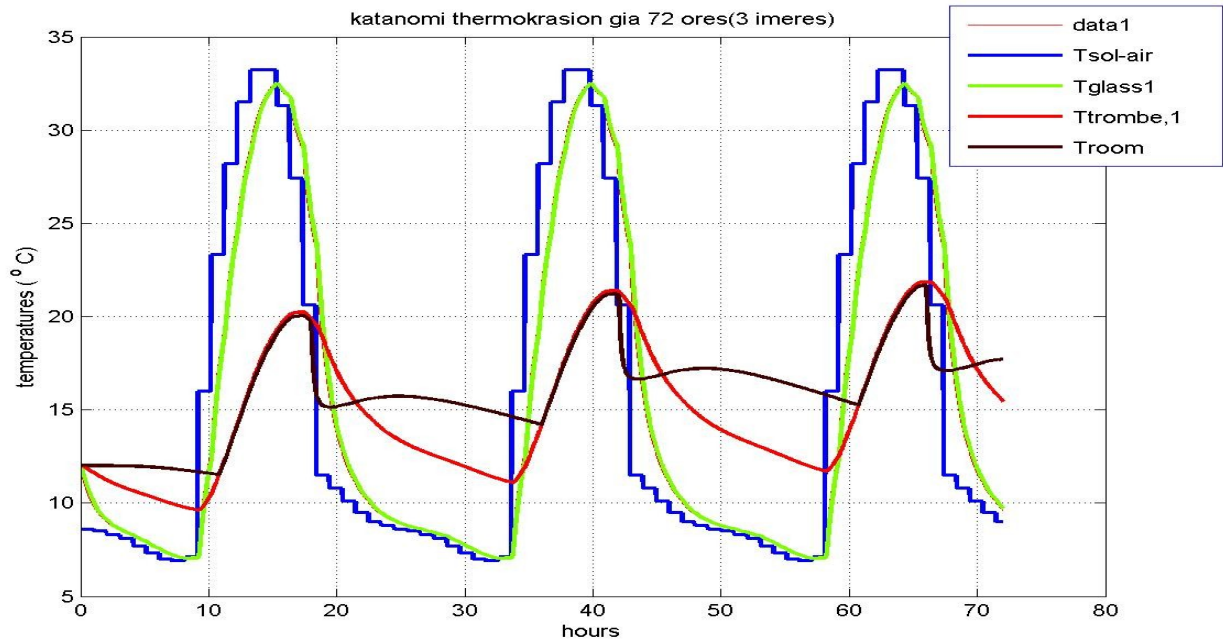
Μήκος υαλοπινακα(l_g)	0.03 m
Αριθμός κομβων υαλοπινακα(n_g)	3
Απόσταση υαλοπινακα-Τοιχου(ap)	0.02 m
Πάχος τοίχου Trombe(l_w)	0.3 m
Αριθμός κομβων Trombe(n)	30
Θεωρουμενο ποσοστό Επιφανείας ανοιγματος(p_n)	15%
Αδιαστατος αριθμός Prandtl για κυκλοφορία αέρα(Pr)	1
Αδιαστατος αριθμός Grashoff για κυκλοφορία αέρα(GR)	3000

Πίνακας 4.6.1:Στοιχεία γνωστά για το διάγραμμα της γενικης παρουσιασης

επισης θεωρούμε συντελεστές συναγωγης ανάμεσα σε περιβάλλον και υαλοπινακα

$h_{out} = 16$ και τους άλλους εωτερικα όλους ίσους με 8 για ευκολια υπολογισμού

Το παρακάτω διάγραμμα είναι ενδεικτικο



Σχῆμα 4.15: Διάγραμμα της μεταβολής διαφόρων θερμοκρασιών κατά τη διάρκεια 72 ωρών

Από τις πρώτες παρατηρήσεις (σχῆμα 4.15) διαπιστώνονται ότι ἡ μορφή της θερμοκρασίας του υαλοπινάκα T_{glass} είναι περίπου ἰδία με αὐτή της θερμοκρασίας του κενού. Αὐτο δὲν πρέπει να δημιουργεῖ ἐκπληξη αφοῦ ἔχει ὑποτεθεῖ πολὺ μικρὸ πάχος υαλοπινάκα που ἄλλωστε εἶναι προϋπόθεση για τὴν ομαλὴ μεταδοσὴ θερμότητας πρὸς τὸ εσωτερικὸ καὶ τὸν τοῖχο. Ἐχομε θερμοκρασίες ἐξωτερικὲς για τὴν 21^η Ἰανουαρίου ἐνῶ ἔχουν ὑποτεθεῖ ἀρχικὲς τιμές 12 °C. **Ἡ μορφή της ἐξωτερικῆς θερμοκρασίας δὲν πρέπει να προκαλεῖ ἐκπληξη** γιατί ἔχομε θεωρησῆ ὅτι ἡ Τηλ-αερος θα ἀλλάζει μόνον ὅταν ξεπερναμε χρονικὰ τὴν μὴ ὥρα. Αὐτο σημαίνει ὅτι μέχρι να ἀλλάξει ἡ ὥρα ἡ θερμοκρασία ἐξῶ θα παραμένει σταθερὴ ἀν καὶ ἔχομε χωρίσει τὸν χρόνο σε μικροτέρα dt ἀπὸ 3600 s που εἶναι ἡ μὴ ὥρα για αὐτὸ καὶ παρουσιαζει σκαλοπατια. Ὁ χρονικὸς διαχωρισμὸς γίνεται αὐτόματα ἀπὸ τὸ πρόγραμμα (δες παραρτημα με βάση τὸ dt που ἐπιλέγεται ἀπὸ τὰ κριτηρια ἐπιλογῆς λογικῆς τιμῆς τῶν ἐξισώσεων).

Ἡ θερμοκρασία του χώρου ξεκίνα ἀπὸ ἀρχικὴ τιμὴ 12 °C που θεωρεῖται ὅτι εἶναι στις 12 μ.μ. Κατὰ τὴ διάρκεια τῆς νυχτας πέφτει καὶ ἔχομε **κατακόρυφη ἀύξηση της κατὰ τὴ διάρκεια τῆς ανακυκλοφορίας του ἀέρα**. Ἡ θερμοκρασία του χώρου μάλιστα φτάνει σχεδὸν τὴν θερμοκρασία του 1^{ου} σημείου του τοῖχου trombe καὶ αὐτὸ γιατί τὸ δωματιο δεχεται καὶ θερμότητα ἀπὸ τὸν τοῖχο trombe μέσω συναγωγῆς ἀλλὰ καὶ ροῆ θερμότητας μέσω τῆς κυκλοφορίας του ἀέρα που ἔχει θερμανθεῖ ἀπὸ τὸν τοῖχο trombe. Πετυχαίνεται καλὴ ἀποδωσὴ θερμότητας τὴ νυχτα ὁπότε παρά τὴν κατακόρυφη πτώση τῆς ἐξωτερικῆς θερμοκρασίας ἡ θερμοκρασία του χώρου αὐξάνει λόγω τῆς ἀποδωσῆς θερμότητας που εἶναι ἀποθηκευθεῖ στὸν τοῖχο καὶ ἀποδίδεται ἀπὸ τὸν τοῖχο κατὰ τὴ διάρκεια τῆς

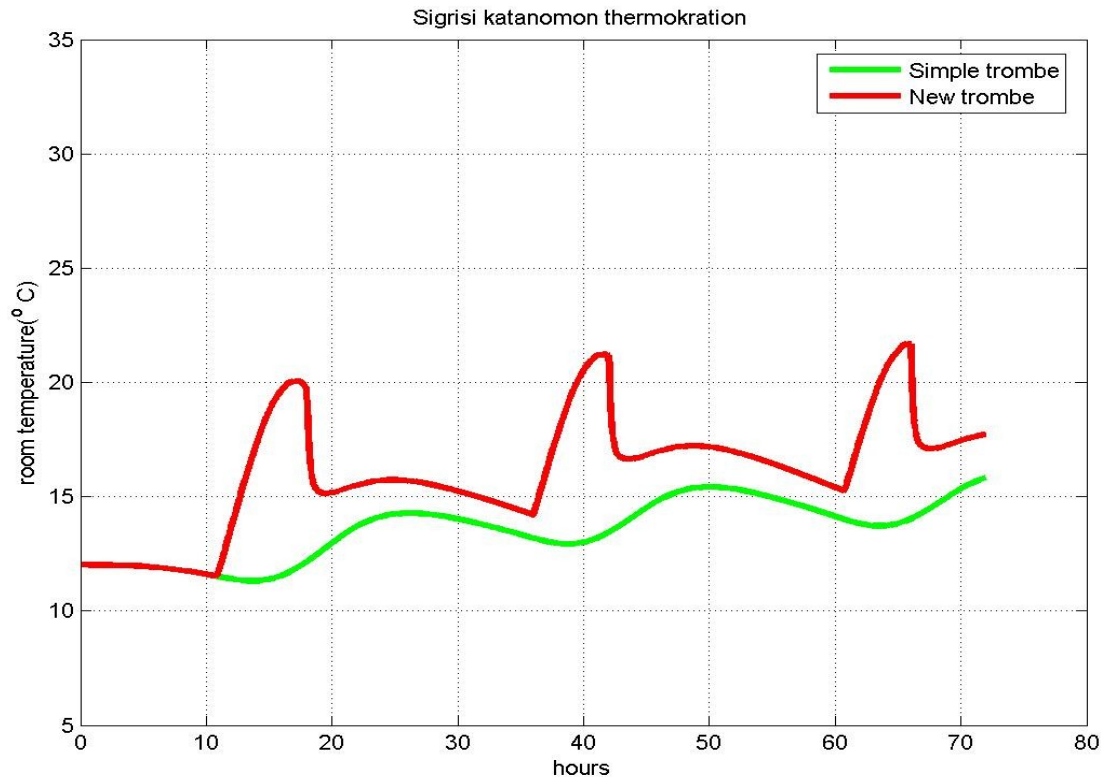
νυχτας. Αυτό επιτρέπει η καμπύλη μείωσης της θερμοκρασίας του χώρου τη νύχτα να μην έχει μεγάλες κλίσεις και ουσιαστικά τη νύχτα η θερμοκρασία πέφτει κατά 0.5-1° C. Δηλαδή τις νύχτες έχουμε μια διατηρήσιμη θερμοκρασιακή κατάσταση που είναι σημαντικό να πετυχαίνεται για την σχετική άνεση στο χώρο. Το πιο σημαντικό είναι ότι η σωστή εκμετάλλευση και ανακυκλοφορία του θερμαινόμενου αέρα βοηθά στη γενικότερη αύξηση της θερμοκρασίας του χώρου και την ανεξαρτητοποίηση της από τις αρχικές συνθήκες. Έτσι μόλις σε διάστημα 3 ημερών πετυχαίνεται το βράδυ της τρίτης ημέρας θερμοκρασία 17.5 ° C δηλαδή σχεδόν αύξηση 5.5 1° C από τις αρχικές συνθήκες και συνεχώς αυξάνεται. Αργότερα θα γίνει μελέτη και για περισσότερες ημέρες

4.6.2. 2° παραδειγμα-(σύγκριση βελτιωμένου –απλου trombe)

Στο νέο παραδειγμα θα γίνει σύγκριση μεταξύ του βελτιωμένου trombe με τα ανοίγματα και του απλου που δεν έχει ανοίγματα και δεν χρησιμοποιείται ανακυκλοφορία αέρα. Στην περίπτωση αυτή θα έχουμε την εξής μορφή για τα παρακάτω δεδομένα(πίνακας 4.6.2)

Μήκος υαλοπινακα(l_g)	0.03 m
Αριθμός κομβων υαλοπινακα(n_g)	3
Απόσταση υαλοπινακα-Τοιχου(ap)	0.02 m
Πάχος τοίχου Trombe(l_w)	0.3 m
Αριθμός κομβων Trombe(n)	30
Θεωρουμενο ποσοστό Επιφανείας ανοιγματος(p_n)	15%
Αδιαστατος αριθμός Prandtl για κυκλοφορία αέρα(Pr)	1
Αδιαστατος αριθμός Grashoff για κυκλοφορία αέρα(GR)	3000

Πίνακας 4.6.2: Στοιχεία γνωστά για το διάγραμμα της συγκρισης βελτιωμένου –Απλου trombe

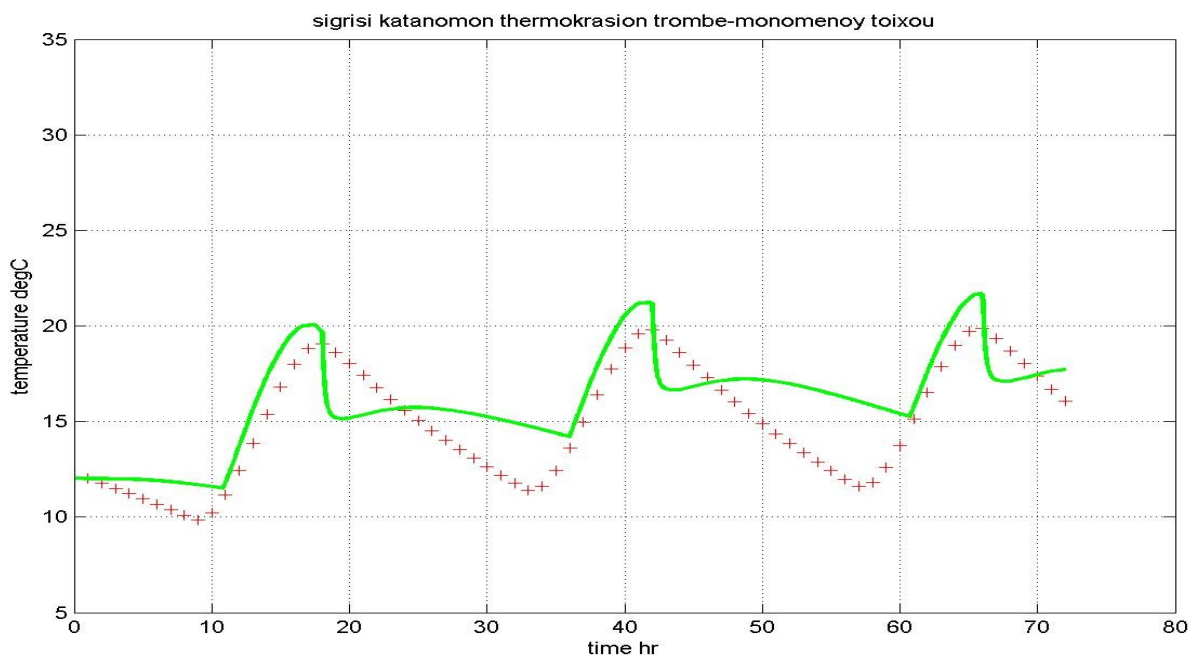


Σχῆμα 4.16: Διάγραμμα της μεταβολής της εσωτερικής θερμοκρασίας του δωματίου για 3 ἡμέρες για βελτιωμένο και απλό τῶν trombe

Από το παραπάνω διάγραμμα (σχῆμα 4.16) φυσικά και φαίνεται ἡ διαφορά του βελτιωμένου trombe με τα ανοίγματα και τὴν ανακυκλοφορία του αἰέρα και του απλού trombe. Ο βελτιωμένος trombe παρουσιάζει σημαντική αύξηση τῆς θερμοκρασίας το μεσημέρι προς ἀπογεύμα λόγω ανακυκλοφορίας και γενικότερη αύξηση τῆς μέσης θερμοκρασίας του συστήματος σε σχέση με τὴν απλό trombe κατά 2 °C .

4.6.3. 3ο παραδειγμα-(σύγκριση βελτιωμένου trombe απλού τοίχου με μόνωση)

Στο τρίτο παραδειγμα θα γίνει μία σύγκριση του βελτιωμένου trombe που μελετάται και ενός τοίχου με μόνωση . Ἡ κύρια διάφορα ἀνάμεσα σε αυτές τις δύο διατάξεις είναι ὅτι ουσιαστικά στο σύστημα του τοίχου trombe ἡ ὑπαρξη υαλοπινάκων που επιτρέπει τὴν ἀπορροφήση ἠλιακῆς ακτινοβολίας και ἡ ανακυκλοφορία του αἰέρα βοηθᾶνε στὴν αύξηση τῆς θερμοκρασίας του χώρου ἐνῶ στον απλό τοίχο με μόνωση ἡ κατανομή τῆς θερμοκρασίας του χώρου ἀναμένεται να ἀκολουθήσει τὴν κατανομή τῆς ἐξωτερικῆς θερμοκρασίας του περιβάλλοντος



Σχημα 4.17: Διάγραμμα της μεταβολής της εσωτερικής θερμοκρασίας του δωματίου για 3 ημέρες για βελτιωμένο τοίχο trombe και απλό μονωμένο τοίχο

Πηραμε την ακραια περίπτωση ώστε ο τοιχος με μόνωση (πάχος μονωσης=0.075 m πάχος τοιχου=0.1m) να δεχεται και αυτος μέγιστη ηλιακη ακτινοβολία σαν να είναι καλυμμενος με απορροφητικο υλικό (σχήμα 4.17). Ο τοιχος trombe εμφανιζει διακριτα πλεονεκτήματα καθώς παρατηρειται κατά τη διάρκεια της νυχτα σταθεροποιηση της θερμοκρασίας σε ένα εύρος μικρό γύρω από τους 15 °C κατά τη διάρκεια της νυχτας την 1^η ημέρα και στους 16 °C την 2^η ημέρα λόγω της αποδωσης θερμότητας τη νυχτα ενω στο ίδιο διάστημα υπάρχει πωση στον 1^ο τοίχο με μόνωση ως και στους 12 °C. Ουσιαστικα θα λεγαμε ότι ο τοιχος trombe λειτουργεί σαν ένα σύστημα σταθεροποιησης της θερμοκρασίας στην μέση τιμής της (περίπου 16 °C) επιτρεποντας μεγαλύτερη ανεση. Το φαινόμενο αυτό ενισχύεται οσο προχωρανε οι ημέρες απομακρυνομενοι από τις αρχικές θερμοκρασιακες συνθήκες.

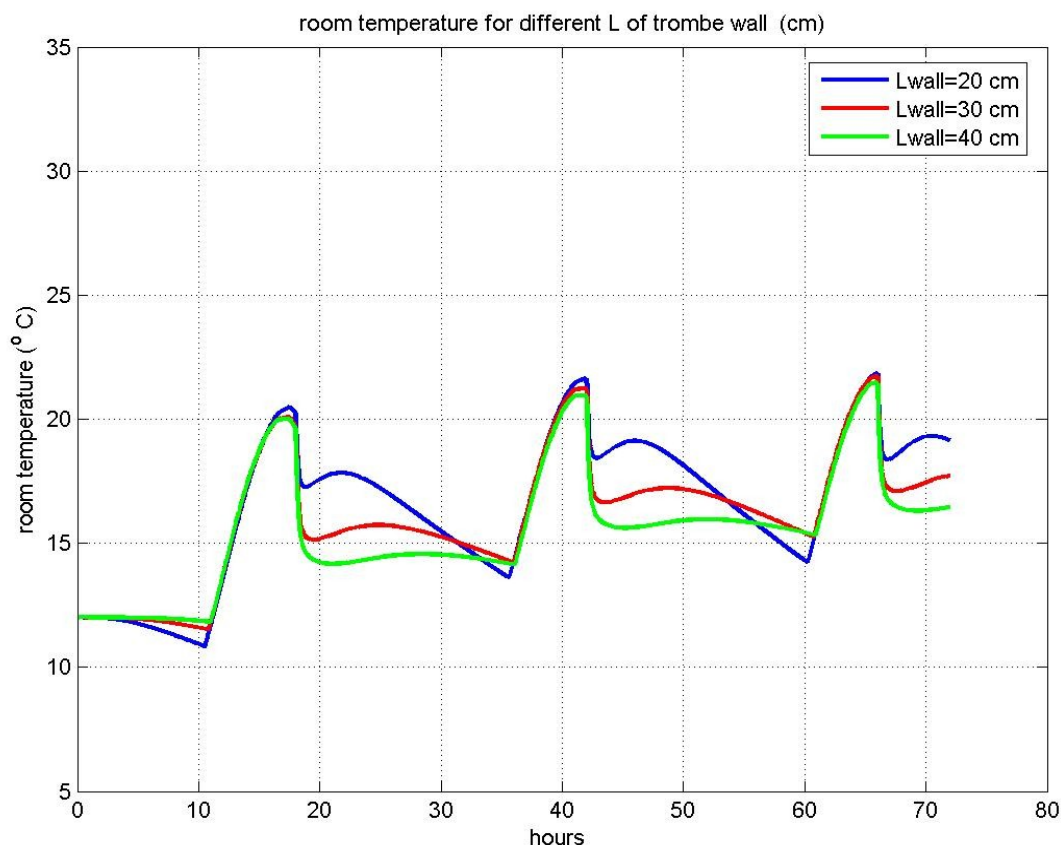
4.6.4. 4^ο παραδειγμα-(επίδραση στην θερμοκρασια για διαφορετικα πάχη τοίχου)

Θα γίνει σύγκριση για διαφορετικα πάχη τοίχου και όλα τα αλλά μεγέθη σταθερά

Μήκος υαλοπινακα(l_g)	0.03 m
Αριθμός κομβων υαλοπινακα(n_g)	3
Απόσταση υαλοπινακα-Τοιχου(ap)	0.02 m
Πάχος τοίχου Trombe(l_w)	0.2-0.3-0.4 m
Αριθμός κομβων Trombe(n)	20-30-40cm

Θεωρούμενο ποσοστό Επιφανείας ανοιγματος(p_n)	15%
Αδιαστατος αριθμός Prandtl για κυκλοφορία αέρα(Pr)	1
Αδιαστατος αριθμός Grashoff για κυκλοφορία αέρα(GR)	3000

Πίνακας 4.6.4: Στοιχεία γνωστά για την επίδραση του παχους



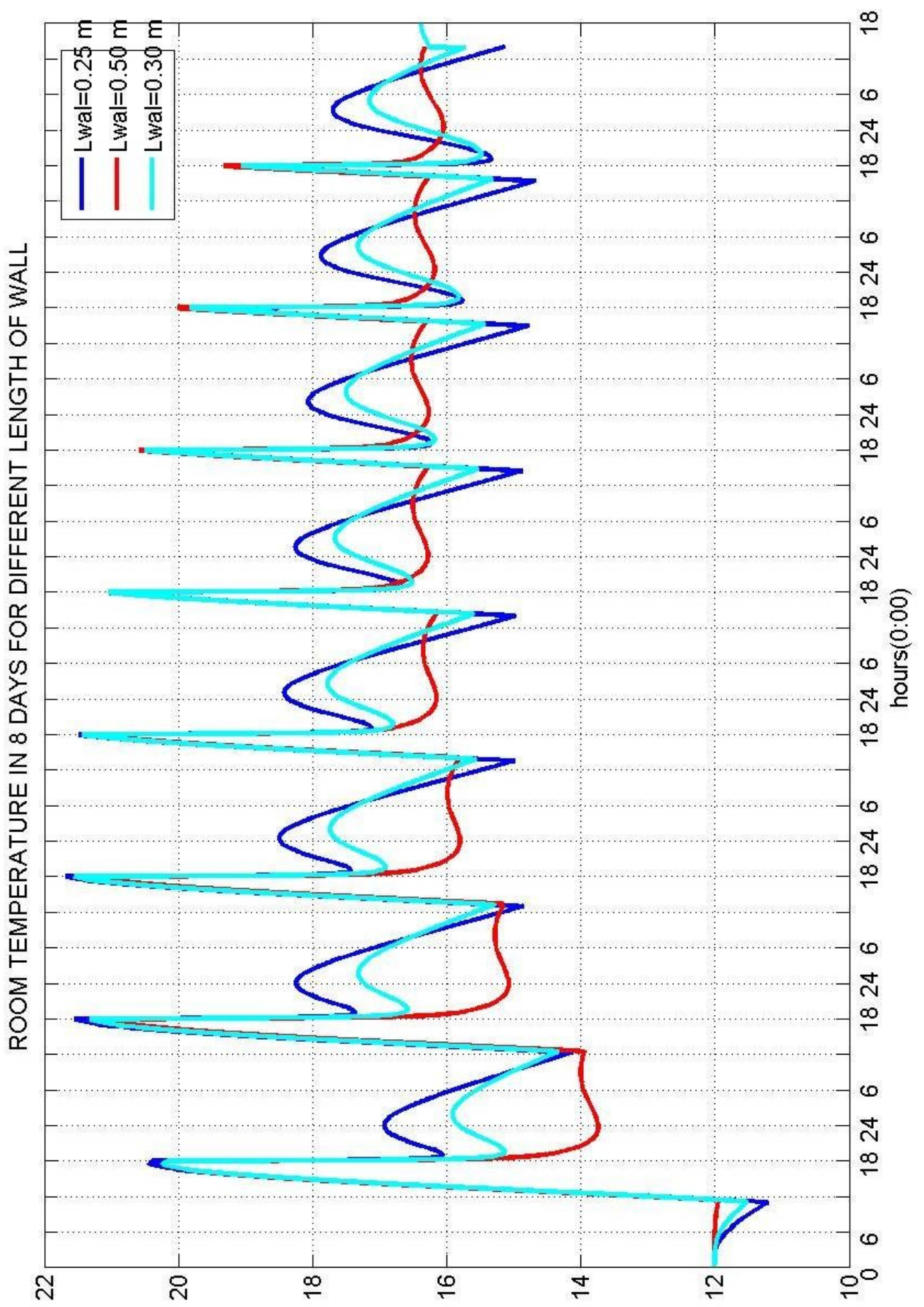
Σχήμα 4.18: Διάγραμμα της μεταβολής της εσωτερικής θερμοκρασίας του δωματίου για 3 ημέρες για διάφορα πάχη τοίχου

Το παραπάνω διάγραμμα(σχήμα 4.18) παρακολουθείται με ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς δηλώνει την μεγάλη εξάρτηση της θερμοκρασίας του χώρου από το πάχος του τοίχου trombe που σε πρώτη φάση έχει θεωρηθεί ότι αποτελείται μόνο από από τσιμμεντο για αρχικά συμπερασματα.

Όσο αυξάνεται το πάχος του τοίχου αυξάνεται ουσιαστικά και το πόσο θερμότητας που αποθηκεύει ο τοίχος και μπορεί να αποδώσει μετά από κάποιο χρόνο αλλά ταυτοχρονα έχουμε και μείωση του ρυθμου μεταδωσης θερμότητας εξαιτίας του μεγάλου πάχους.Απο το πάνω διάγραμμα παρατηρείται ότι όσο μικραινει το πάχος του τοίχου παρατηρείται αποτομη κλίση του διαστηματος της καμπύλης κατά τη νυχτα δηλαδη αυξάνεται ο ρυθμος με τον οποίο πέφτει

η θερμοκρασία .Αυτο γίνεται γιατί ο τοιχος αποδιδει πολύ γρηγορα την θερμότητα που έχει αποθηκευσει και είναι σχετικά μικρότερη από τα αλλά πάχη .Επιτυγχανεται μια μικρή αύξηση περίπου στις 10 μ.μ και υστερα υπαρχει πωση της θερμοκρασιας με μεγαλυτερη κλίση ως και στους 14 ° C.Βεβαια πετυχαινεται ώστε στις 72 ωρες το βραδυ η θερμοκρασία να έχει φτασει στους 19 ° C.Όσο αξανεται το πάχος του υλικου ο τοιχος αρχει να αποδιδει θερμότητα στο χώρο συντελωντας σε μια αρχική πωση της θερμοκρασίας τις πρώτες απογευματινες ώρες αλλά τη νυχτα η θερμοκρασία σταθεροποιειται σε μια ανεκτικη τιμή.

Όσο μεγαλύτερο πάχος έχουμε τόσο και πιο έντονη σταθεροποιηση έχουμε .Βεβαια η καθυστερηση απόδοσης θερμότητας έχει συνέπεια την 3^η ημέρα η θερμοκρασία του χώρου στις 12 μ.μ να φτάνει σε χαμηλοτερες τιμές από μικροτερα πάχη (17-17.5 ° C).Το τι πάχος επιλέγεται συνήθως είναι στην εκτίμηση του ενδιαφερομενου ατομου.Αν υπάρχει ανάγκη για γρηγορη αποδωση θερμότητας (π.χ αν δεν υπάρχει άλλη πηγη θερμότητας την συγκεκριμένη χρονική στιγμή) τοτε προτιμάται υλικό μικροτερου πάχους ρισκαρωντας έτσι όμως μεγαλύτερη πωση της θερμοκρασίας τη νυχτα .Θυμιζουμε ότι μετά από ένα σημείο η χρήση μεγαλυτερου πάχους δεν ωφελει περισσότερο το σύστημα.Αξιζει βέβαια να δούμε πως συμπεριφερεται το σύστημα όταν το αφήσουμε να φτάσει σε μια μονιμη κατάσταση δηλαδη όταν έχει πλέον ανεξαρτητοποιηθει από τις αρχικές συνθήκες τότε παρατηρούμε τα εξής στο κάτω διάγραμμα.

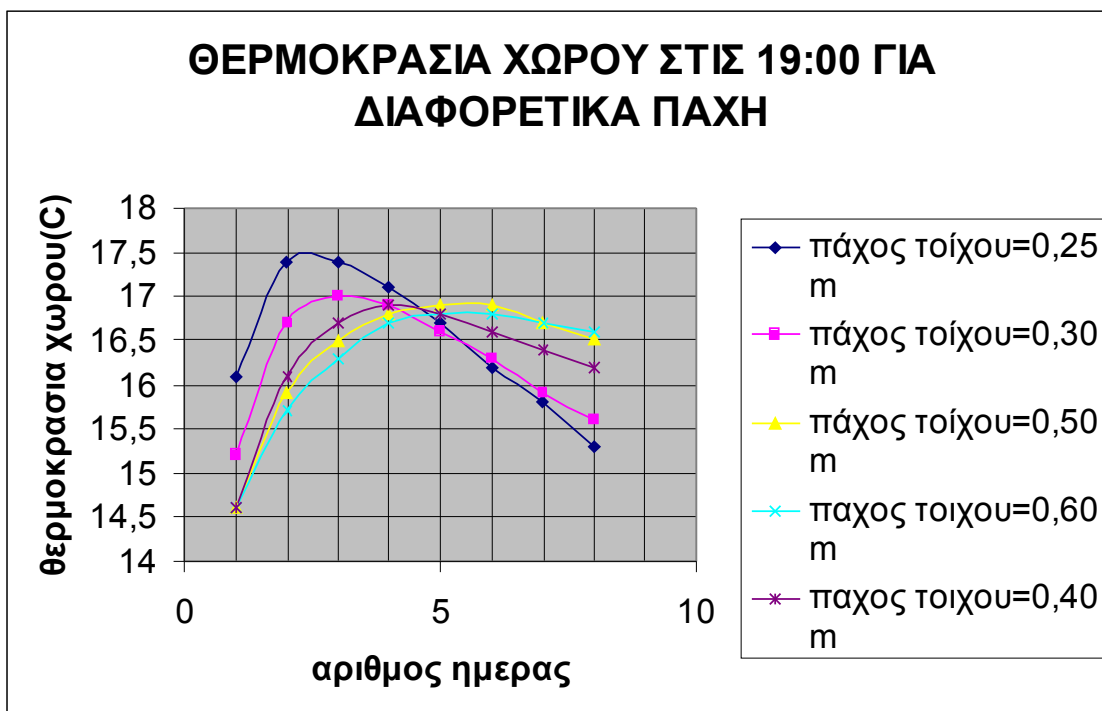


Σχημα 4.19: διάγραμμα μεταβολής της θερμοκρασίας δωματίου για διάφορα πάχη φτανοντας στην μόνιμη κατάσταση

Οι βασικές παρατηρήσεις μετά την παραδοχή ότι περίπου στην 8^η ημέρα φτανουμε στην μονιμη κατάσταση(μικρές διαφορές της τάξης των 1° C θεωρούμε ότι δεν επηρεάζουν την μονιμη κατάσταση του φαινομένου) είναι ότι το μεγαλύτερο πάχος είναι σημαντικά πιο ουσιωδες στην διατηρηση της θερμοκρασίας το βράδυ αλλά και τις πρώτες πρωινές ώρες. Ακομα μετά την 5^η ημέρα πετυχαινονται μεγαλύτερες θερμοκρασίες στο μέγιστο της ανακυκλοφοριας του αέρα .Αυτο οφείλεται στο γεγονός ότι δεν αφηνεται με τη χρήση του μεγαλυτερου πάχους να πέσει η θερμοκρασία οπότε η συνολικη θερμότητα που προσφερεται κατά την ανακυκλοφορια του αέρα βοηθά το σύστημα να έχει αυξημένες τιμές από τα μικροτερα πάχη όπου η θερμοκρασία την νύχτα πέφτει πολύ πιο κάτω από τα μεγαλύτερα πάχη.Εκει το ίδιο πόσο θερμότητας δημιουργεί μια θερμοκρασιακή κατάσταση πιο κάτω από αυτή που πετυχαινεται για πάχος της τάξης των 0.5 cm.Η γραμμικοποιηση που πετυχαινει το μεγαλύτερο πάχος είναι ενδεικτική στην μονιμη κατάσταση.Εδω πρέπει να γίνει μια επισημανση ότι λόγω συνεχόμενης αποθήκευσης θερμότητας κάποια στιγμή υπαρχει πιθανότητα η θερμοκρασία του δωματίου να γίνεται μεγαλύτερη από την θερμοκρασία του τοίχου trombe έξω οπότε και διαδοχικά μειώνεται το διάστημα που μπορεί να γίνεται η ανακυκλοφορια. Υπενθυμιζεται ότι έχει γίνει παραδοχή ότι η ανακυκλοφορια έχει νοημα μόνο όταν η θερμοκρασία του τοίχου trombe εισαι μεγαλύτερη από την θερμοκρασία του εξεργομενου αέρα από τον χωρο

Μπορούμε να δούμε επισης την διακύμανση συγκεκριμενων ωρών της ημέρας για διάφορα παχη και να κάνουμε αντίστοιχες παρατηρήσεις.Ετσι με βάση το παραπανω διάγραμμα (σχημα 4.19) δημιουργουμε τα εξής παρακατω διαγράμματα

Σχημα 4.20: Διάγραμμα της μεταβολής της



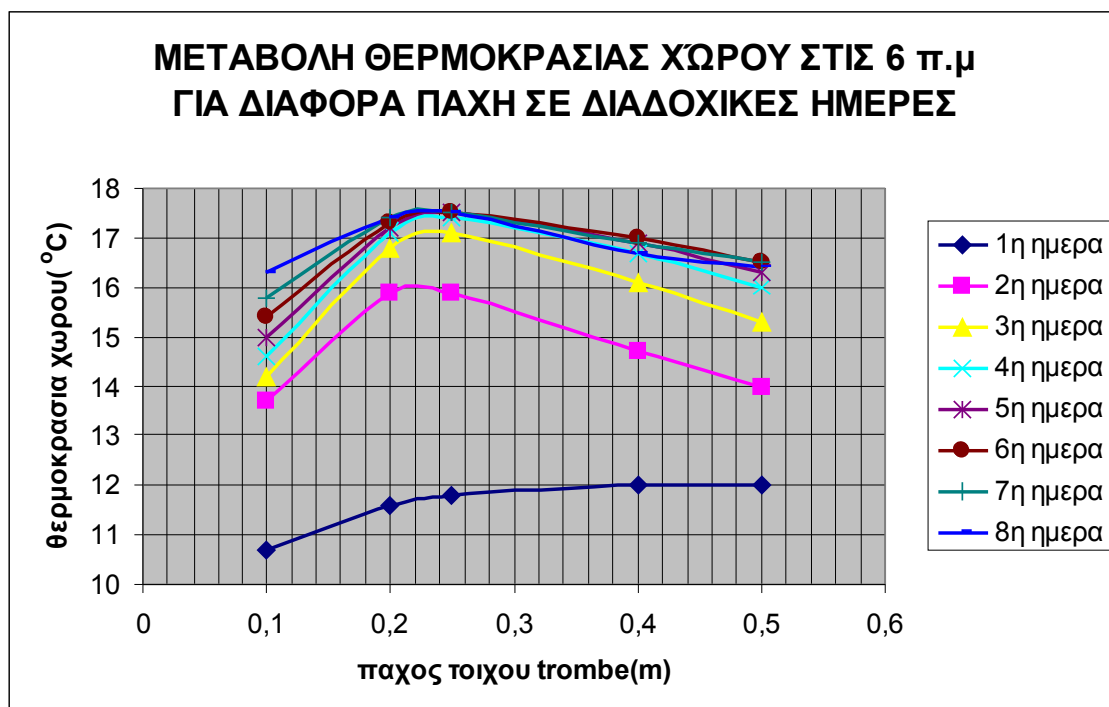
α

εσωτερικής θερμοκρασίας του δωματίου στις 19:00 κατά την διάρκεια 8 ημερων για διάφορα πάχη τοιχου

Στο πάνω διάγραμμα(σχήμα 4.20) παρατηρούμε ότι μέχρι να αρχίσει να γίνεται μόνιμο το φαινόμενο μικρότερες τιμές του πάχους οδηγούσαν σε αυξημένες τιμές. Θυμίζουμε ότι η θερμότητα απόδιδotan γρηγορα οι τιμές αμέσως μετά την ανακυκλοφορια αρχιζαν να αυξάνουν και εδιναν ανάλογη ενισχυση στην θερμοκρασία του χώρου στις 19:00.Μετα την μεταβαση στη μονιμοτητα το μεγαλο πάχος (0.50 m)δινει μεγαλύτερες τιμές ενώ παρατηρείται ότι ακόμα μεγαλύτερη αύξηση του πάχους (0.60 m) δεν δινει μεγάλο κερδο κέρδος στην θρμοκρασιακη κατανομή .Οποτε μια τιμή της τάξης των 0,50 cm δινει μια βέλτιστη κατάσταση για την θερμοκρασιακή ζώνη της 19:00.

Στο παρακάτω διάγραμμα(σχήμα 4.22) εχουμε μια παρόμοια παρουσιαση που όμως εκφραζει θερμοκρασιακές κατανομες της 6:00 π.μ για διαφορετικό πάχος κάθε ημέρας ξεκινώντας από την 1^η ως σε αυτήν που παρατηρείται σε αρκετά προσεγγιστικο βαθμό μονιμοτητα.Οσο περνανε οι ημέρες απομακρυνομαστε από τις αρχικές συνθήκες και φτανουμε σε μια ανεξαρτητη κατάσταση περίπου την 8^η ημέρα .Παραλληλα φαίνεται η επίδραση του πάχους και το γεγονός ότι μια βέλτιστη τιμή του πάχους στην μονιμη κατασταση είναι περίπου 0.25 cm που δινει μια θερμοκρασία περίπου 17.5 °C για τις 6 π.μ

Σχημα 4.22:Δι-αμμα

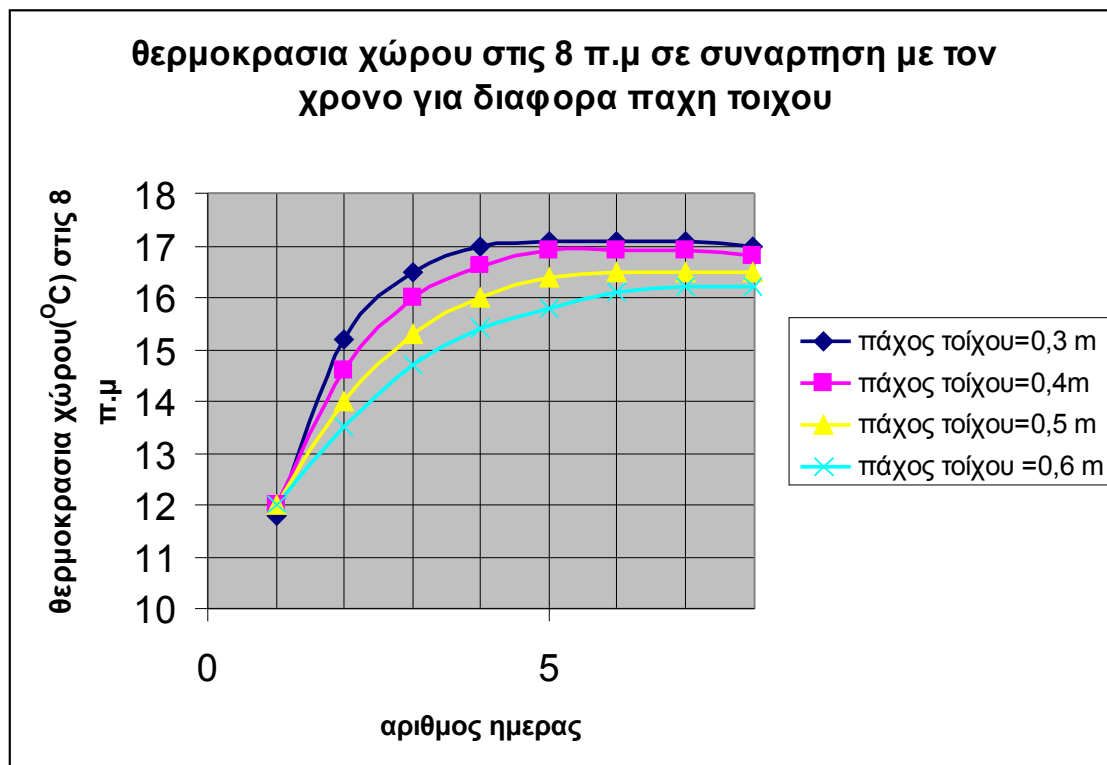


άγρ της

μεταβολής της εσωτερικής θερμοκρασίας του δωματίου στις 6 π.μ σε συνάρτηση με το πάχος για διαδοχικές ημέρες

Στο παρακάτω διάγραμμα(σχήμα 4.23) φαίνεται καλύτερα η μονιμη κατάσταση που πρακτικά πετυχαινεται για την διάρκεια των 8 ημερών για διάφορα πάχη .Για μεγαλύτερη ευκολία σχολιασμου αναφερόμαστε σε συγκεκριμένη θερμοκρασία στις 8 π.μ

Σχήμα
4.23: Δι-
της

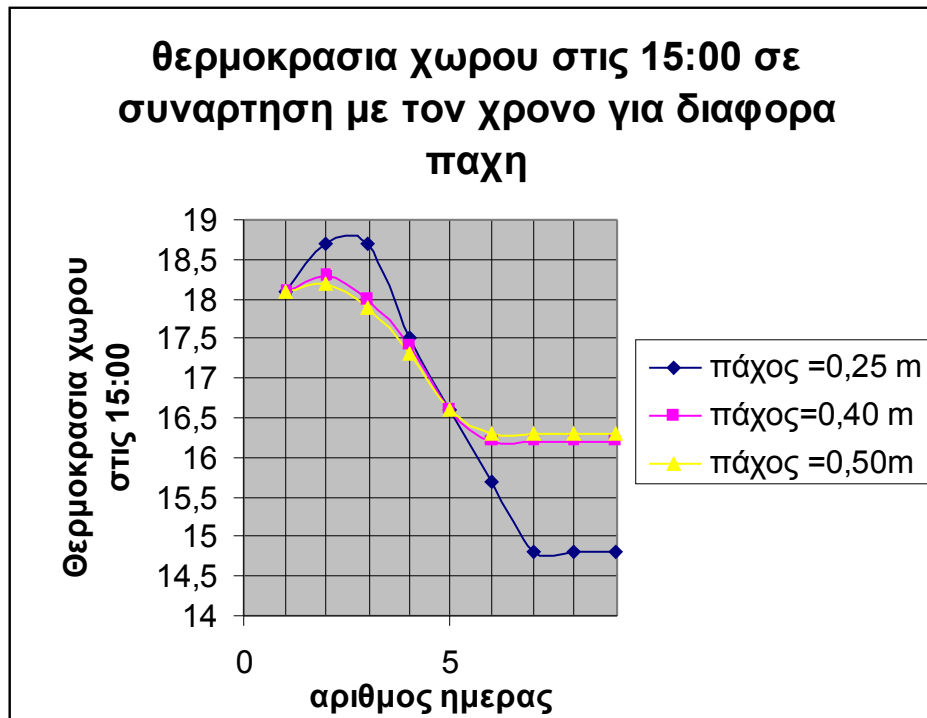


άγραμμα

μεταβολής της εσωτερικής θερμοκρασίας του δωματίου στις 8 π.μ σε συνάρτηση με τον χρόνο για διάφορα πάχη

Το προηγούμενο διάγραμμα μας δίνει μια εικόνα προόδου της της θερμοκρασιακής κατάστασης στις 8 π.μ μέχρι να γτασσουμε στην πράξη στην μονιμη κατάσταση .Αν και αρχικά η χρήση μικρότερου πάχους θερμικής μάζας (π.χ 0,3 m) δίνει μεγαλύτερες τιμές, στην μονιμη κατάσταση η θερμοκρασία δεν αποκλίνει πολύ για κάθε διαφορετικό πάχος .Παρατηρείται δε ότι προσθήκη μεγαλύτερου πάχους δεν βοηθά το σύστημα αντιθετα λειτουργει σαν αντίσταση στην ροή θερμότητας.

Στο επομενο διάγραμμα(σχήμα 4.24) παρατηρούμε επίσης την θερμοκρασιακή κατάσταση του χώρου μέσα σε μια χαρακτηριστικη ώρα της ανακυκλοφοριας αέρα.Στην αρχή πάλι όπως πριν το πάχος των 0,3 m φαίνεται να δίνει μεγαλύτερες θερμοκρασίες στις 15:00 και αυτό είναι φυσικό όχι μόνο γιατί έχουμε ακόμα εξάρτηση από τις αρχικές συνθήκες αλλά και το γεγονός ότι αποδίδεται γρηγορα θερμότητα στο χώρο.Δεν φαίνεται να είναι το ίδιο παραγωγική η υπαρξη μεγαλυτερου πάχους.Οσο εξελισσεται το φαινόμενο η υπαρξη μεγαλυτερου πάχους είναι σημαντική γιατί φαίνεται πλέον η καθυστερημένη αποδοση θερμότητας κατά την διάρκεια της προηγούμενης νύχτας και επομένως η μεταβαση σε μεγαλύτερη θερμοκρασία με την εκμετάλλευση της ηλιακής ενεργειας.Παρατηρείται δε η μείωση του διαστηματος ανακυκλοφοριας αέρα λόγω θέρμανσης του αέρα του χώρου και επομένως η σταδιακή μείωση της θερμοκρασίας στις 15:00 μέχρι την πρακτικη σταθεροποιηση της.Ετσι πλέον στην μονιμη κατάσταση η θερμοκρασία του χώρου είναι αυξημένη σε σχέση με αυτήν του μικρότερου πάχους.Επίσης παρατηρείται ότι ειδικά για αυτή την ώρα η αν το γενικευσουμε κατά την διάρκεια της ανακυκλοφοριας περαιτέρω αύξηση του πάχους (0,4-0,5 m) δεν δίνει πολύ καλύτερη θερμοκρασιακή κατάσταση στην μονιμη κατάσταση από την προηγούμενη.

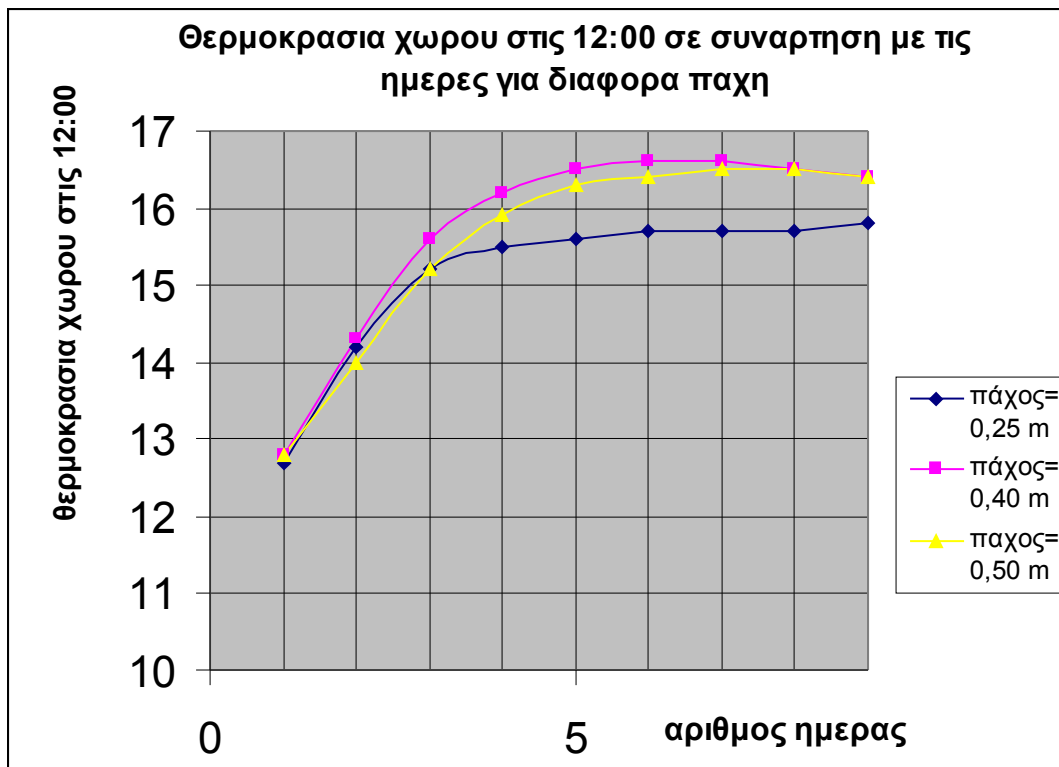


Σχήμα 4.24: Διάγραμμα της μεταβολής της εσωτερικής θερμοκρασίας του δωματίου στις 15:00 σε συνάρτηση με τον χρόνο για διάφορα πάχη

Εδώ πλέον μπορεί να υποστηριχθεί ότι για αυξημένη θερμοκρασία κατά την διάρκεια της ανακυκλοφορίας και ειδικά της 15:00 έχουμε μια βέλτιστη τιμή πάχους του τοίχου της τάξης των 0,4-0,45 m καθώς περαιτέρω αύξηση του πάχους είναι αντισυμβατική γιατί δε δίνει σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας του χώρου.

Η παραπάνω παρατήρηση είναι σημαντική και ενισχύεται και σε άλλες ώρες όπως π.χ όταν αναφερόμαστε στην θερμοκρασιακή κατάσταση του χώρου στις 12:00. Στο διάγραμμα (σχήμα 4.25) έχουμε αντίστοιχα απεικόνιση της θερμοκρασιακής πορείας στις 12:00 μέχρι την μονιμη κατάσταση. Η αύξηση του πάχους (0,4 m) είναι σημαντική για τη βελτίωση της θερμοκρασιακής κατάστασης του χώρου στις 12:00 στην μονιμη κατασταση (περίπου 16.5 °C) ενώ ενδεχομενη αύξηση πάχους δεν δίνει βελτιωμένη εικόνα του συστήματος.

Σχημα
4.25: Διάγραμμα μεταβολής



αμμα της
της

εσωτερικής θερμοκρασίας του δωματίου στις 12:00 σε συνάρτηση με τον χρόνο για διάφορα παχη

Ειναι λοιπον σημαντικό να διευκρινιζεται στην μονιμη κατάσταση η ώρα η καλύτερα η χρονική ζώνη για την οποία θερλουμε βελτιωμενες τιμές αφού διαφορετικό πάχος μπορεί να είναι βελτιστο για κάθε ζώνη. Φαινεται λοιπόν ότι η αναζητη βελτιστου πάχους είναι αρκετά περιπλοκη και εξαρταται από αρκετούς παραμέτρους. Επi αυτου αφηνεται σε αλλον ερευνητη η μελέτη μεγιστου πάχους με πιο προσεγγιστικο τροπο.

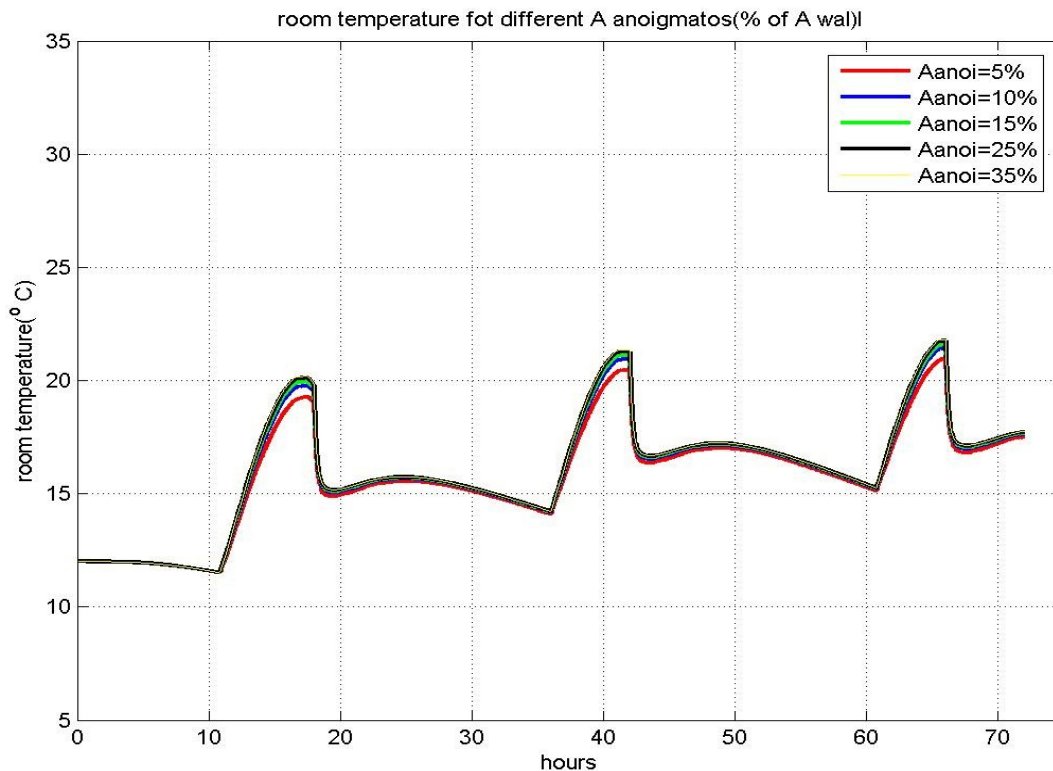
4.6.5. 5° παραδειγμα-(συγκριση για διαφορετικα εμβαδα ανοιγμάτων)

Σε αυτό το παραδειγμα θα ισχύουν

Μήκος υαλοπινακα(l_g)	0.03 m
Αριθμός κομβων υαλοπινακα(n_g)	3
Απόσταση υαλοπινακα-Τοιχου(αρ)	0.02 m

Πάχος τοίχου Trombe(l_w)	0. m
Αριθμός κομβων Trombe(n)	30 cm
Θεωρουμενο ποσοστό Επιφανείας ανοιγματος(p_n)	5-10-15-25-35%
Αδιαστατος αριθμός Prandtl για κυκλοφορία αέρα(Pr)	1
Αδιαστατος αριθμός Grashoff για κυκλοφορία αέρα(GR)	3000

Πίνακας 4.6.5: Στοιχεία γνωστά για το διάγραμμα της συγκρισης διαφορετικών εμβαδων ανοιγματων



Σχημα 4.26: Διάγραμμα της

μεταβολής της εσωτερικής θερμοκρασίας του δωματίου για 3 ημέρες για διάφορα πάχη τοιχου

Στο σχετικό διάγραμμα(σχήμα 4.26) έχουμε ομοιες συνθήκες με αλλαγή του εμβαδου που καταλαμβάνουν το πάνω άνοιγμα και το κάτω πάνω στο τοίχο. Με αυτές τις εννοιες ορίζουμε ουσιαστικά ότι τα ανοίγματα που βρικονται στο πάνω μέρος του τοίχου trombe έχουν ισα εμβαδα με τα κάτω για διευκολυνση υπολογισμων. Παρατηρειται ότι εν γενει με την αύξηση του εμβαδου των ανοιγμάτων έχουμε μετατοπιση της καμπύλης προς τα πάνω και αυτό γιατί αυξανοντας το εμβαδο αυξανουμε την μάζα αέρα που εισρειει στον χώρο από το πάνω. άνοιγμα αφού έχει ειπωθεί ότι

$$m_{air} = \rho_{air} A_{ανοιγ} u_{αερα}$$

με την πυκνότητα εν γενει να είναι σταθερή για το εύρος των θερμοκρασιών που αναπτυσσονται. Ο λόγος για τον οποίο δεν περιμένουμε μεγάλη αύξηση είναι γιατί ταυτοχρονα

μειώνεται το καθαρό εμβαδο του τοίχου trombe που ενιχει την μεταδοση θερμότητας από τον τοίχο μέσω συναγωγής που σημαίνει ότι η συνολικη μεταδοση θερμότητας μεσα στον θερμαινόμενο χώρο μένει πρακτικά σταθερή.

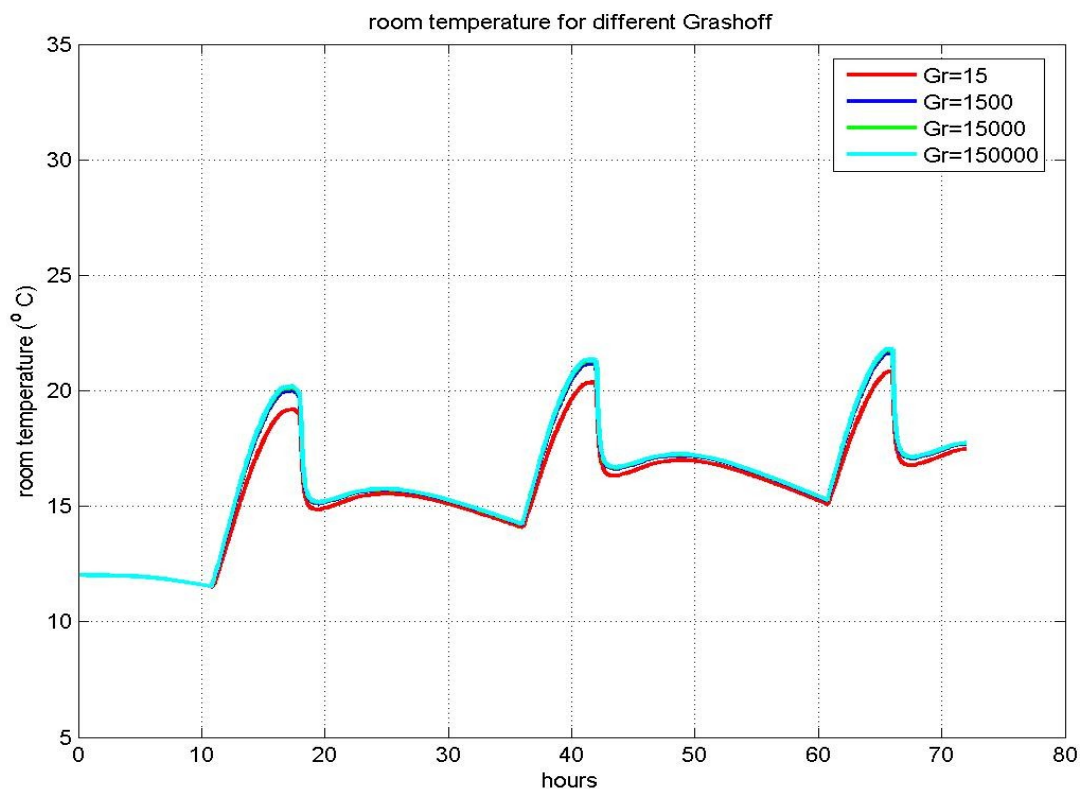
4.6.6. 6ο παραδειγμα-(σύγκριση για διαφορετικους grashoff)

Ακολουθει η σύγκριση για διαφορετικους αριθμούς grashoff

Σε αυτό το παραδειγμα θα ισχύουν

Μήκος υαλοπινακα(l_g)	0.03 m
Αριθμός κομβων υαλοπινακα(n_g)	3
Απόσταση υαλοπινακα-Τοιχου(ap)	0.02 m
Πάχος τοίχου Trombe(l_w)	0. m
Αριθμός κομβων Trombe(n)	30 cm
Θεωρουμενο ποσοστό Επιφανείας ανοιγματος(p_n)	15%
Αδιαστατος αριθμός Prandtl για κυκλοφορία αέρα(Pr)	1
Αδιαστατος αριθμός Grashoff για κυκλοφορία αέρα(GR)	15-1500-15000-150000

Πινακας 4.6.6: Στοιχεία γνωστά για το διάγραμμα της συγκρισης με διαφορετικους grashoff



Σχῆμα 4.27: Διάγραμμα της μεταβολής της εσωτερικής θερμοκρασίας του δωματίου για 3 ἡμέρες για διάφορους αριθμούς **Grashoff**

Ο Grashoff ὅπως ἔχει εἰπωθεῖ ἀποτελεῖ μετρο για την **λειτουργία των δυνάμεων ἀνωσης σε σχέση με αὐτή των δυνάμεων συνεκτικότητας**. Ἀναμενεται ὅτι για μεγαλύτερους grashoff θα ἔχουμε και καλύτερη ροή θερμότης προς το πάνω ἀνοίγμα –μεγαλύτερες θερμοκρασίες στο πάνω ἀνοίγμα-μεγαλύτερη ροή θερμότητας προς το εσωτερικό του χώρου και μετατοπιση προς τα πάνω της καμπύλης θερμοκρασίας του χώρου. Ὁμως επειδη μελεταμε σημείο πολύ κοντά στην επιφάνεια του τοίχου παρατηρεῖται ὅτι ἡ ἀδιαστατη $U(99,2)$ ἔχει περίπου σταθερή τιμή ὅσο και αν αυξάνεται ο grashoff λόγω στο τι κοντά στο τοιχωμα ἔχουμε ισχυρες επιδρασεις συνεκτικότητας με ἀποτέλεσμα να ἔχουμε μετατοπιση της καμπύλης προς τα πάνω ἀλλά ὄχι τόσο ισχυρη ὅσο θα νομιζε κανείς(σχῆμα 4.27).

4.6.7. 7^ο παραδειγμα(σύγκριση για διαφορετικούς Prandtl)

Θα γίνει σύγκριση για διαφορετικούς αριθμούς Prandtl

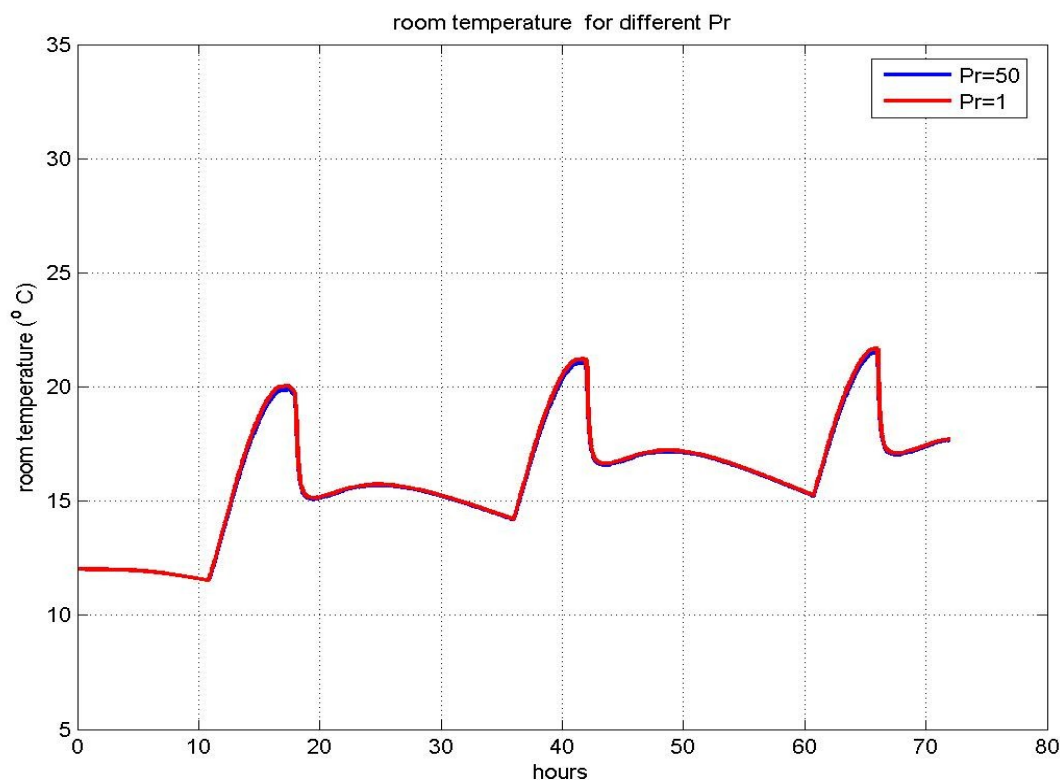
Ο αριθμός Prandtl είναι αριθμός χαρακτηριστικός του θερμικού οριακού στρώματος, που ἀναπτυσσεται σε επίπεδο σωμα και ουσιαστικά είναι ἓνα μετρο συγκρισης του πάχους του θερμικού οριακού στρώματος και και του πάχους του υδροδυναμικού οριακού στρώματος. Ἐπιδρα σημαντικά στη μορφή της κατανομης των ταχυτητων και της θερμοκρασίας. Ουσιαστικα εκφραζει το λογο του ρυθμου διάχυσης ορμης προς τη διάχυση θερμότητας. Ἐτσι για μικρο αριθμό Prandtl σε κάθετη ἀπόσταση y ἀπό την πλακα το μέγιστο της κατανομης ταχυτητων θα είναι πιο κοντά στην πλακα ἀλλά θα παρουσιάζει πιο μικρό εὔρος ἐνῶ για μεγάλο Prandtl το προφιλ των ταχυτητων τείνει να γίνει ευθεῖα. Ὁι τιμές του Prandtl διαφερουν στα διάφορα ρευστα και κυμαινονται ἀπό 10^4 ὡς και 10^{-3} . Για πρακτικούς λόγους τα ρευστα διακρινονται σε 3 κατηγορίες. Σε ἐκεινα που εχουν μικρους ,μετριους και μεγαλους αριθμούς Pr. Τα διάφορα ελαια εχουν μεγαλους αριθμούς Prandtl ἐνῶ τα ἀέρια ,το νερό και τα υγρα εχουν μετριους και τα υγρα μεταλλα πολύ μικρους.

Για το παραδειγμα ισχύουν τα ἐξῆς δεδομένα

Μήκος υαλοπινακα(l_g)	0.03 m
Αριθμός κομβων υαλοπινακα(n_g)	3
Απόσταση υαλοπινακα-Τοιχου(ap)	0.02 m
Πάχος τοίχου Trombe(l_w)	0. m
Αριθμός κομβων Trombe(n)	30 cm
Θεωρουμενο ποσοστό Επιφανείας ανοιγματος(p_n)	15%
Αδιαστατος αριθμός Prandtl για κυκλοφορία ἀέρα(Pr)	1-5-10-20-50
Αδιαστατος αριθμός Grashoff για κυκλοφορία ἀέρα(GR)	3000

Πινακας 4.6.7: Στοιχεία γνωστά για το διάγραμμα της συγκρισης με διαφορετικούς Prandtl

Παρακατω ακολουθει το σχετικό διάγραμμα (σχήμα 4.28)



Σχημα
4.28: Διά-
γραμμα
της

μεταβολής της εσωτερικής θερμοκρασίας του δωματίου για 3 ημέρες για διάφορους αριθμούς **Prandtl**

Οι καμπύλες για την διακύμανση του Pr από 1-50(σχήμα 4.10-4.11-4.12) παραμενουν σχετικά σταθερές γιατί πολύ κοντά στην πλακα στο σηγκεκριμμενο σημείο που έχει επιλεχθει ότι αντιπροσωπευει την είσοδο στο άνω άνοιγμα η τιμή της αδιαστατης θερμοκρασίας έχει πρακτικά σθηρη τιμή. Οι μεγαλές αλλαγές φαινονται για αποστάσεις μακρυνα από την επιφάνεια του τοίχου trombe.

4.6.8. 8ο παραδειγμα(σύγκριση για μεταβλητο διακενο)

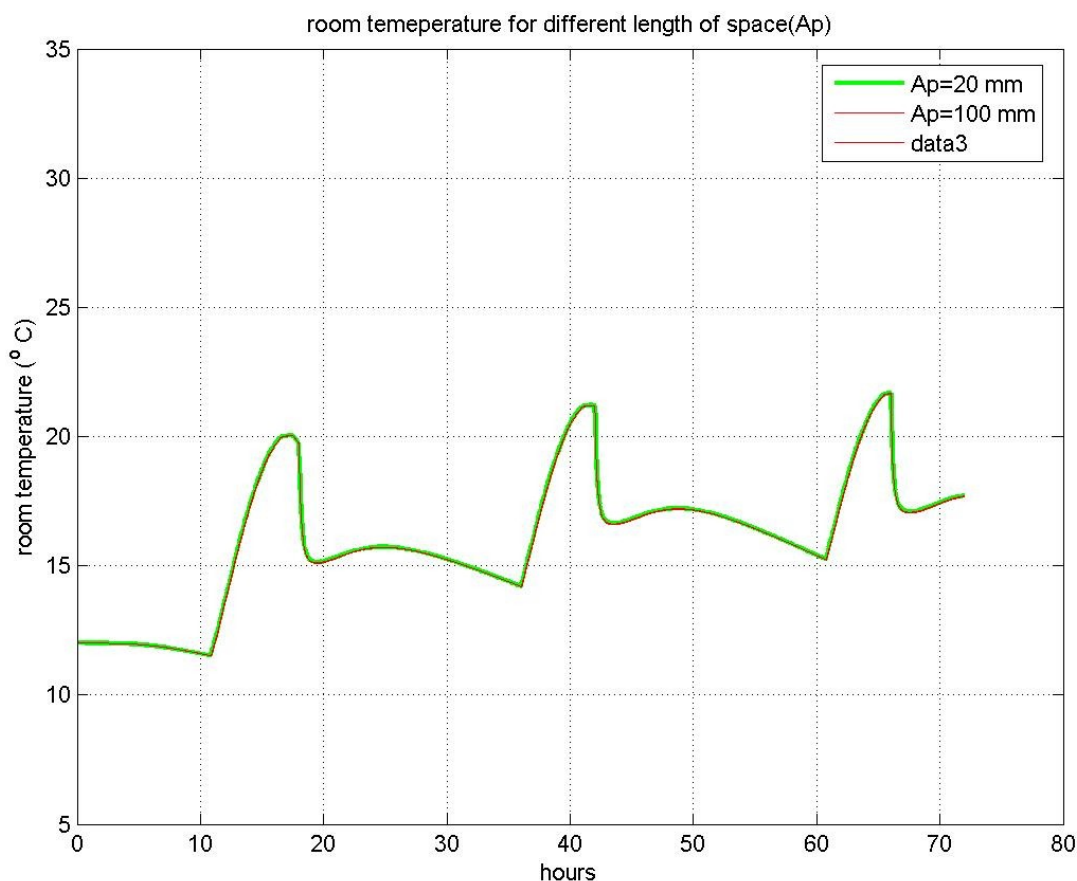
Ακολουθει σύγκριση κατανομή με μεταβλητο διακενο μεταξύ τοίχου-υαλοπινακα.

Γενικά αναμένεται για μεγαλύτερο διακενο να έχουμε χαμηλότερες θερμοκρασίες αφού δυσχεραίνει λόγω αποστασης η μεταφορά θερμότητας προς τον τοίχο Επίσης μεγαλωνει ο ογκος του κενου και η θερμότητα από την αυξηση της θερμοκρασίας του αέρα του κενου κάνει περισσότερο χρόνο να διανεμηθει στον χώρο του κενου.

Θα έχουμε τα εξής στοιχεία

Μήκος υαλοπινακα(l_g)	0.03 m
Αριθμός κομβων υαλοπινακα(n_g)	3
Απόσταση υαλοπινακα-Τοιχου(ap)	0.02-0.1 m
Πάχος τοίχου Trombe(l_w)	0. m
Αριθμός κομβων Trombe(n)	30 cm
Θεωρουμενο ποσοστό Επιφανείας ανοιγματος(p_n)	15%
Αδιαστατος αριθμός Prandtl για κυκλοφορία αέρα(Pr)	1-5-10-20-50
Αδιαστατος αριθμός Grashoff για κυκλοφορία αέρα(GR)	3000

Πίνακας 4.6.8: Στοιχεία γνωστά για το διάγραμμα με διαφορετικα μήκη κενου



Σχῆμα 4.29: Διάγραμμα της μεταβολής της εσωτερικής θερμοκρασίας του δωματίου για 3 ἡμέρες για διάφορα μήκη κενου

Εδώ(σχῆμα 4.29) δεν θα πρέπει να μας φαίνεται περιεργή αυτή η ταυτιση των καμπυλων.Μονη της η θεωρία δεν παιζει υποψιν το ρολό του κενου στην μεταφορά θερμότητας.

Παρατηρείται γενικά μετατοπιση της καμπύλης της θερμοκρασίας προς τα πάνω με τη μείωση της αποστασης του υαλοπινακα από τον τοίχο trombe .Και αυτό γιατί έχουμε κοντινες αποστάσεις και καλύτερη μεταφορά θερμότητας.Ομως έχουμε μεταδωση λόγω συναγωγης στο κενό που γίνεται χρονική μεταβολή της θερμοκρασίας και υποτιθεται ότι θερμότητα αποθηκεύεται γενικά στο χώρο του κενου που αποκται ομοιομορφη θερμοκρασία. Με αποτέλεσμα η απόσταση να μην παίζει μεγάλο ρολό ιδιαίτερα σε μικρές αποστάσεις.Μεγαλες διαφορές παρατηρούνται σε πολύ μεγάλες αποστασεις όπως και αν περιορίσουμε σημαντικά την απόσταση.Αν μηδενισουμε πρακτικά την απόσταση περιορίζεται ουσιαστικα η κυκλοφορία του αέρα λόγω των αυξημενων τριβών του αέρα με τον trombe(Σε αυτό το μοντέλο γενικά δεν φαίνεται η αυτή η επίδραση κάτι που θα δειξυμε σε άλλη υποθεση).

4.6.9. 9ο παραδειγμα-(σύγκριση διαφορετικών υλικών)

Σε αυτό το παραδειγμα θα γίνει σύγκριση για διαφορετικα υλικά που μπορεί να αποτελούν τον τοίχο trombe(βεβαίως αναφερομαστε σε ένα στρωμα υλικου και όχι σε σύνθεση).Θα συγκριθουν τα εξής συνηθισμενα υλικά

ΤΣΙΜΕΝΤΟ $k_w=1.4$ $\rho_w=2300$ $C_p=880$

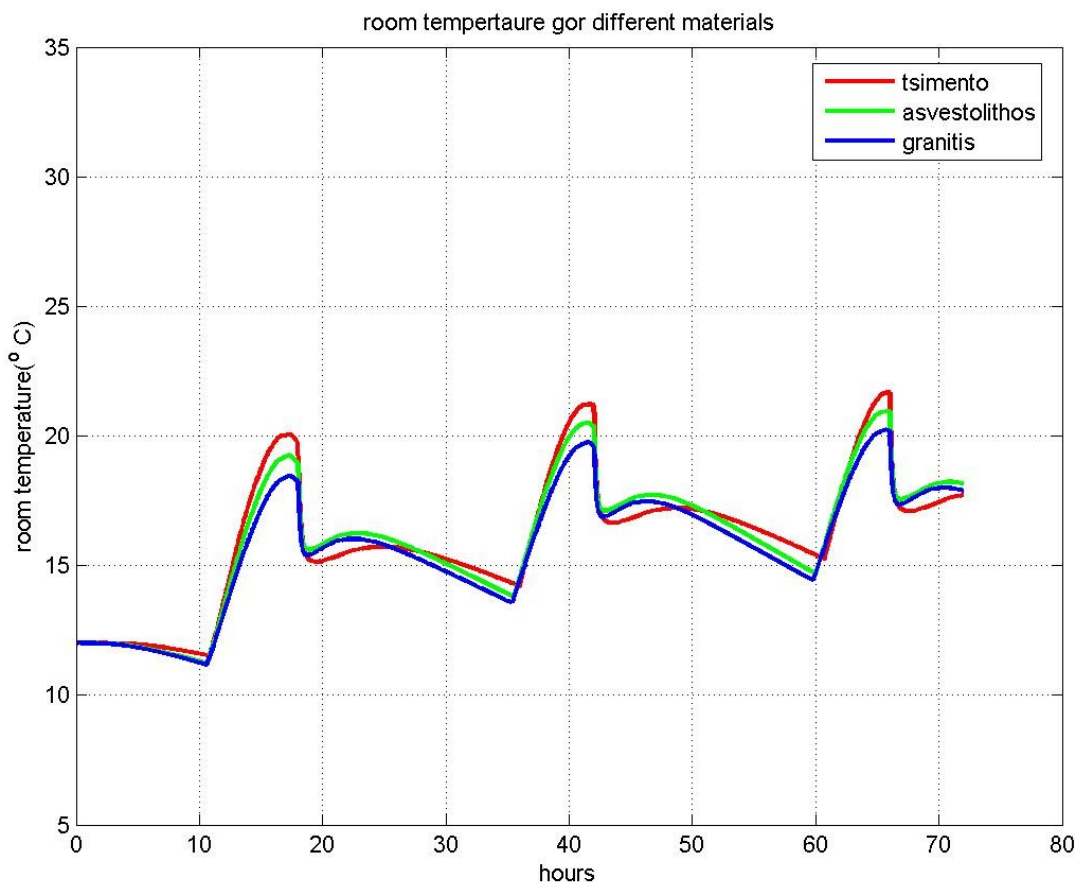
ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ $k_w=2.15$ $\rho_w=2320$ $C_p=810$

ΓΡΑΝΙΤΗΣ $k_w=2.79$ $\rho_w=2630$ $C_p=775$

ενώ τα υπόλοιπα στοιχεία θα είναι

Μήκος υαλοπινακα(l_g)	0.03 m
Αριθμός κομβων υαλοπινακα(n_g)	3
Απόσταση υαλοπινακα-Τοιχου(ap)	0.02 m
Πάχος τοίχου Trombe(l_w)	0.3 m
Αριθμός κομβων Trombe(n)	30 cm
Θεωρουμενο ποσοστό Επιφανείας ανοιγματος(p_n)	15%
Αδιαστατος αριθμός Prandtl για κυκλοφορία αέρα(Pr)	1
Αδιαστατος αριθμός Grashoff για κυκλοφορία αέρα(GR)	3000

Σχημα 4.30: Διάγραμμα της μεταβολής της



εσωτερικής θερμοκρασίας του δωματίου για 3 ημέρες για διάφορα υλικά

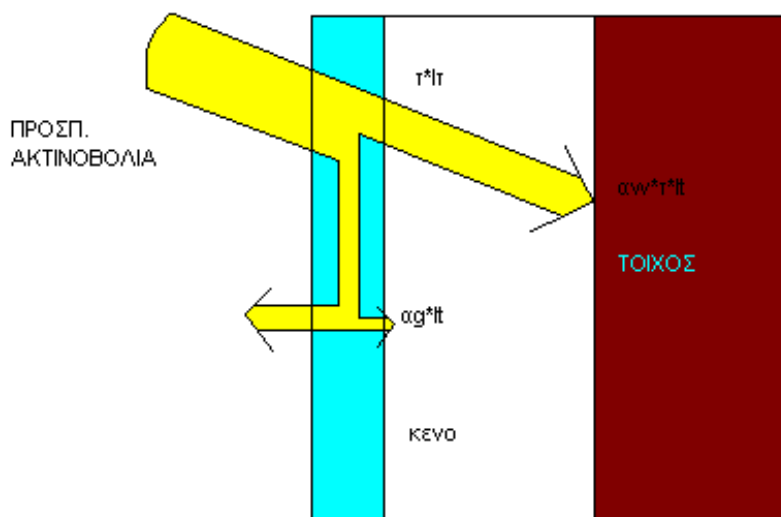
Στο παραπάνω διάγραμμα(σχήμα 4.30) παρατηρούνται τα εξής στοιχεία.Για το ίδιο πάχος υλικού (0.3 m).

το τσιμεντο(σκυρόδεμα) συντελεί στην αύξηση της θερμοκρασίας του χώρου κυρίως κατά τα διαστήματα της ανακυκλοφορίας του αέρα και αυτό ενώ αργεί να αποδώσει θερμότητα σε σχέση με τα άλλα δύο υλικά .Εξαιτίας της μεγαλύτερης ειδικής θερμοχωρητικότητας του μπορεί να αποδίδει μεγαλύτερο πόσο θερμότητας και να το αποδίδει αργότερα τη νυχτα.Ετσι παρατηρείται ότι η θερμοκρασία του χώρου αρχίζει και αυξάνεται από τις 8 μμ ως και τις 2-3 πμ. χάρη στην αποδιδόμενη θερμότητα που δίνει χαμηλότερες κλίσεις στην θερμοκρασιακη πτωση κατά τη διάρκεια της νυχτας.

Στα άλλα υλικά παρατηρείται μικρότερη τιμή στο διάστημα της ανακυκλοφορίας του αέρα ενώ αποδίδεται πιο γρηγορα η θερμότητα στο χώρο με αποτέλεσμα να παρατηρείται μια αύξηση θερμοκρασίας απο τις 6 μμ ως και τις 11 μμ επιτρεποντας την υπολοιπη νυχτα να έχουμε πιο αποτομη κλίση της πτωσης της θερμοκρασίας και λιγότερη αισθητη ανεση για τα άτομα τα οποία βρισκονται την ώρα εκεινη στο χώρο.Αν και είναι υποκειμενικο το πιο υλικό είναι προτιμοτερο συνήθως ο μελετητης υπολογιζει το ότι τη νυχτα οι κατοικοι προτιμουν μια σταθεροποιηση της θερμοκρασίας που θα τους προσφέρει μεγαλύτερη ανεση στο υπνο τους και μεγαλύτερες θερμοκρασίες το πρωινο.

4.7. ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ 1^{ης} ΥΠΟΘΕΣΗΣ

Το παραπάνω μοντέλο αν και διαφέρει πολύ από τις πραγματικές συνθήκες που επικρατούν σε ένα τέτοιο πρόβλημα δίνει μια πρώτη μορφή των καμπυλών που περιμένονται κατά την διάρκεια των 24ωρων που μας αφορούν. **Μεγαλύτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στον ρόλο του πάχους και του υλικού του τοίχου trombe και όχι στην επίδραση του εμβαδου των ανοιγμάτων η του κενου καθώς αυτά επηρεάζονται από ένα πληθος παραγόντων που είναι φυσικως βεβαιο πως συμβαινουν όπως οι απώλειες πίεσης λόγω διαφόρων πυκνοτητων και θερμοκρασιών ,τα φαινόμενα συναγωγης που είναι πιθανόν να αλλαζουν ανά πασα στιγμή και άλλοι παράγοντες.**Μεγαλύτερη πιθανή προσεγγιση των πραγματικων θερμοκρασιων στο προηγούμενο απλουστερο μοντέλο είναι **η κατάργηση των ισοδυναμων θερμοκρασιών Τηλ-αερος και η εξής θεωρηση .**



Σημα 4.31: Σηματικη απεικονηση του βελτιωμενου μοντέλου της 1^{ης} υποθεσης

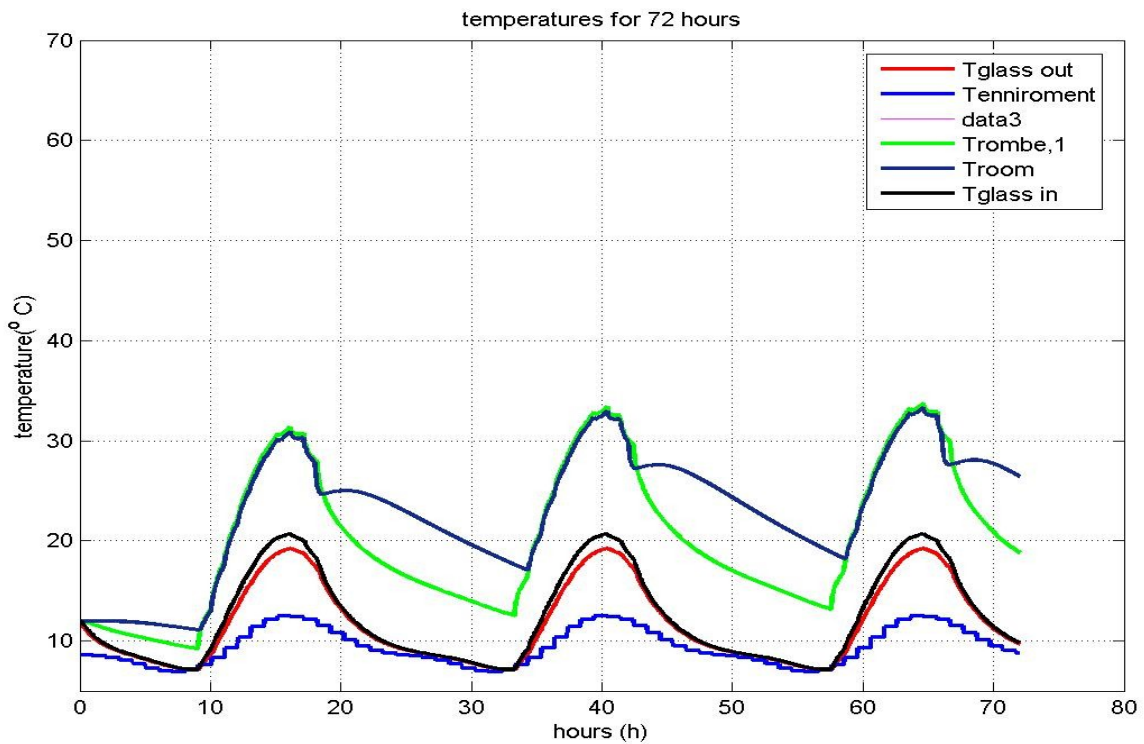
A)Λαμβάνουμε υποψιν την διαπερατοτητα του υαλοπινακα(δηλαδη το ποσοστό %) που αφηνει ο υαλοπινακας να τον διαπερναι και προσπιτει στον τοίχο.

B)Λαμβάνουμε υποψιν την απορροφητικοτητα του τοίχου δηλαδη το ποσοστό της ακτινοβολιας που μπορεί να απορροφήσει και να συμμεχει στην μεταπηδηση της θερμοκρασίας του τοίχου σε άλλη τιμή.Στην περιπτωση αυτή στην ευρεση της $T_{1, τοιχου}$ συμμετέχει

προσθετικά και το πόσο $\tau \cdot \alpha_w \cdot I_t$, όπου α_w : η απορροφητικότητα του τοίχου εξαρτώμενη κυρίως από το χρώμα του ενώ το κανουρίο αυτό μέγεθος έχει μονάδες (W/m²).

Γ) Λαμβάνουμε υπ όψιν την απορροφητικότητα του υαλοπινάκα δηλαδή το ποσοστό της ακτινοβολίας που απορροφάει ο υαλοπινάκας και δεν επιτρέπει να περασει απευθείας μέσα αλλά με τη μορφή διάχυσης θερμότητας προς το κενό. Σε αυτήν την περίπτωση το πόσο αυτό ακτινοβολίας επηρεάζει την θερμοκρασία του υαλοπινάκα $T_{2, \text{υαλοπινάκα}}$ και μετέπειτα την θερμοκρασία στο χώρο.

Με βάση αυτές τις πιο ακριβείς θεωρήσεις μπορούμε να δούμε ένα σχετικό καινούριο διαγράμμα



Σχημα 4.32: Μεταβολή των διαφόρων θερμοκρασιών με την χρήση της βελτιωμένης μορφής του μοντέλου της 1^{ης} υποθέσης

Η μορφή των κατανομών των θερμοκρασιών δεν αλλάζει αισθητά σε σχέση με το προηγούμενο πιο απλό μοντέλο. Αλλάζουν τα όρια τιμών. Η θερμοκρασία του εσωτερικού μέρους του υαλοπινάκα είναι μεγαλύτερη από αυτή του εξωτερικού τμήματος κάτι που αναμένεται αφού στην θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας του υαλοπινάκα επιδρά η απορροφούμενη ακτινοβολία. Η θερμοκρασία του εσωτερικού χώρου που θέλουμε να θερμανούμε φτάνει στο διάστημα της ανακυκλοφορίας του αέρα στους 30° C και αυτό γιατί τώρα έχουμε έντονη επίδραση της προσπιπτουσας ακτινοβολίας στην θερμοκρασία του τοίχου άρα και

μεταγενεστερα στην θερμοκρασία του χώρου. Τα χαρακτηριστικά των καμπυλών του προηγούμενου μοντέλου φαίνονται και εδώ όπως η χρονική καθυστέρηση απόδοσης της θερμότητας παρουσιάζοντας μια γραμμική πτώση την νύχτα σε σχέση με την λιγότερο αποτομη πτώση του προηγούμενου μοντέλου

4.8. 2^η Υπόθεση για την παραγωγή εξισώσεων

ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟΝ ΑΝΕΡΧΟΜΕΝΟ ΑΕΡΑ ΜΕ ΤΗ ΘΕΩΡΙΑ ΠΕΡΙ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ ΣΕ ΚΛΕΙΣΤΟ ΧΩΡΟ

Μίλησαμε για την λειτουργία του 1^{ου} μοντέλου σαν ένα πιο γενικό και απλο οδηγό για μια πιο εύκολη αντιμετώπιση του προβλήματος της θέρμανσης του χώρου. Σε αυτό το 2^ο μοντέλο θα μελετήσουμε περισσότερο σε βάθος τα φαινόμενα που διεπουν το κενό και στην ροή του αέρα συνεισφέροντας εξισώσεις που δίνουν μεγαλύτερο ρεαλισμό στην ανακυκλοφορία του αέρα.

4.8.1. Μαθηματικό μοντέλο-Εξισώσεις

Η μεταφορά θερμότητας σε ρευστό που εισέρχεται στο κενό από τις γειτονικές επιφάνειες διαφορετικής θερμοκρασίας είναι σε γενικές γραμμές ένα πολύπλοκο θέμα που εμφανίζει ανά πάσα χρονική στιγμή μεταβλητότητα των συνθηκών και των φαινομένων. Ενδεχομένως να μην υπάρχει αξιοπιστός τρόπος για την εύρεση των τοπικών τιμών των Nu και hm . Ένας άλλος παραγοντας που παίζει σημαντικό ρόλο είναι οι διαφορές πίεσεως λόγω δυνάμεων συνεκτικότητας και διαφορών πυκνότητας κατά την ροή του θερμού αέρα. Στις απώλειες πίεσης ειδικά θα αναφερθούμε παρακάτω. Ως προς τα άλλα φαινόμενα μεταφοράς από το περιβάλλον στον τοίχο και στον θερμαινόμενο χώρο δεν έχουμε μεγάλη διάφορα σε σχέση με το 1^ο μοντέλο η καλύτερα από το βελτιωμένο μοντέλο που περιλαμβάνει την καλύτερη επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας. Έτσι παρατηρούμε

Περιβάλλον-υαλοπινάκας

Η ενεργειακή κατάσταση και οι εξισώσεις δεν αλλάζουν σε σχέση με το ίδιο κομμάτι του προηγούμενου μοντέλου. Η διαφορά εγκείται μόνο στο ότι το γυαλί θα αντιμετωπίζεται σαν ένα σύνολο 2 ενεργειακών κομβών στην εξωτερική και εσωτερική επιφάνεια του υαλοπινάκα αντίστοιχα αφού έτσι και αλλιώς το πάχος του στις εφαρμογές του τοίχου *trombe* είναι σχετικά μικρό της τάξης των 2-5 cm.

Σε αντιστοιχία με την 1^ο μοντέλο για τον 1^ο κόμβο(εξ 4.5.16) θα έχουμε την εξής εξίσωση

$$T_{γιαλ_1}^{n+1} = \frac{2}{M} \left(T_{γιαλ_{2+N}}^n T_{περιβαλλοντος}^n \right) + \left\{ 1 - \frac{2}{M} - \frac{2N}{M} \right\} T_{γιαλ_1}^n \quad (1)$$

(4.8.1)

όπου $M = \frac{L_{υαλιου}^2}{a\Delta t}$ και $N = \frac{h_{is} L_{υαλιου}}{k_{υαλ}}$

δηλαδή η Τηλ-αέρα έχει αντικατασταθεί απλά από την T περιβαλλοντος και το δχ με το πάχος του υαλοπινάκα αφού αναφερομαστε μόνο σε δυο σημεία.

Υαλοπινάκας-κενό-τοιχος Trombe

Εδώ για να προχωρήσουμε θα πρέπει πάλι να κάνουμε σαφή κάποια πράγματα αρχίζοντας από τις βασικές θεωρίες περί ελευθερης συναγωγης

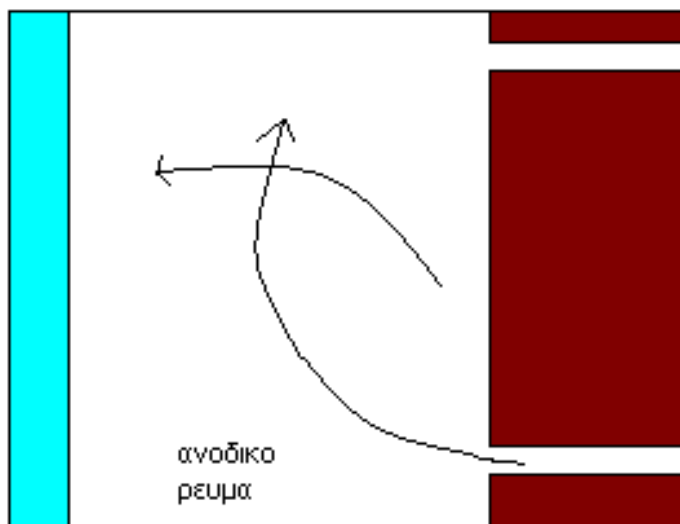
ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΣΥΝΑΓΩΓΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΚΛΕΙΣΤΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ

Ο κλειστος χώρος οριοθετείται από την εσωτερική επιφάνεια του υαλοπινάκα και την επιφάνεια του τοίχου trombe. **Εαν η επιφάνεια του τοίχου trombe έχει θερμοκρασία $T_{1,wall}$ μεγαλύτερη από την θερμοκρασία της εσωτερικής επιφανείας του υαλοπινάκα $T_{2,glass}$ εμφανίζεται μεταφορά θερμότητας δια στρωματος αέρα προς τα πάνω θερμαινοντας έτσι τον ανερχομενο αέρα. **Ουσιαστικά μιλάμε για 2 ρεύματα αέρα.** Ένα που έρχεται εξερχομενο από το κάτω άνοιγμα και ένα ένα άλλο που προέρχεται από την πιο θερμη επιφάνεια προς την πιο κρυα και που θερμαίνει το προηγούμενο ανοδικο ρεύμα..Εν η θερμοκρασιακή διαφορα μεταξύ των επιφανειων είναι μικρή οι δυνάμεις συνεκτικότητας υπερτερουν των δυνάμεων ανωσειως και ο αέρας παραμένει ακινητος.**

Η θερμότητα τότε που μεταφερεται στο κενό και στο ανοδικο ρεύμα γίνεται μόνο με αγωγή και ο αριθμός Nu προκύπτει από την σχέση

$$k \frac{(T_{1,wall} - T_{2,glass})}{apostasi} \approx hc (T_{1,wall} - T_{2,glass}) \quad \text{και} \quad Nu_{\delta} = \frac{hc\delta}{k} = 1$$

όπου δ =απόσταση μεταξύ των επιφανειών. Εαν η θερμοκρασιακή διάφορα αυξηθεί πέρα από ένα όριο και οι δυνάμεις ανωσεις υπερτερησουν των τριβών εμφανίζονται ρεύματα συναγωγης. Εαν η θερμοκρασιακή διάφορα αυξηθεί ακόμη περισσότερο ώστε ο η σχέση Grashoff x Prandt=50000 εμφανίζεται η τυρβωδης κίνηση του ρευστού. Η παραπάνω σχέση **εκφραζει τον αδιαστατο αριθμό Ra**



Σημια 4.33: Σχηματική απεικόνιση της πορείας των 2 ρευμάτων α) από το κάτω άνοιγμα β) από τον τοίχο στην επιφάνεια του υαλοπινάκα

Σε κατακορυφο κλειστό χώρο η ελευθερη συναγωγή έχει μελετηθεί πειραματικά για αέρα για συνθήκες $\alpha=(H/\delta)=(5-110)$ όπου H : το ύψος του τοίχου trombe και δ : η απόσταση ανάμεσα του trombe και του υαλοπινάκα δηλαδή το μήκος του κενου ενώ ο $Ra=10^2-2 \times 10^7$. Επι αυτού του θεματος επειδη δεν είναι σίγουρο ποτε η ροή έχει γίνει τυρβωδης προτεινεται ο υπολογισμός του Nu με τρεις τρόπους και η επιλογή του μεγαλυτερου στο τέλος. Εχουν προταθει τρεις σχέσεις

$$Nu_1 = 0,0605 \cdot Ra^{1/3} \quad (4.8.2)$$

$$Nu_2 = \left[1 + \left[\frac{0.104 Ra^{0.293}}{1 + \left(\frac{6310}{Ra} \right)^{1.36}} \right]^3 \right]^{1/3} \quad (4.8.3)$$

$$Nu_3 = 0,242 \left(\frac{Ra}{a} \right)^{0,272} \quad (4.8.4)$$

όπου ο χαρακτηριστικός αριθμός Ra επηρεάζεται κάθε φορά άμεσα αφού ορίζεται ως εξής

$$Ra = \frac{g\beta(T_{wall,1} - T_{glass,2})\delta^3}{\nu^2} \quad (4.8.5)$$

όπου β, ν , αναφέρονται στην μέση θερμοκρασία $\frac{(T_{wall,1} + T_{glass,2})}{2}$

Δεδομένου ότι κάθε χρονική στιγμή οι δυο θερμοκρασίες αλλάζουν από την επίδραση της ακτινοβολίας και της εξωτερικής θερμοκρασίας καταλαβαίνουμε ο Ra αλλάζει κάθε χρονική στιγμή οπότε υπάρχει ανάγκη να βρεθεί τρόπος υπολογισμού κάθε φορά. **Ετσι τελικά μπορεί να βρεθεί η τιμή του τοπικού συντελεστή συναγωγής hc.**

Από πρόσφατες μελέτες πάνω στην κυκλοφορία του Trombe προτείνεται από τους μηχανικούς Ruiz και Salmeron όπως παρουσιάστηκε στο συνέδριο για τα παθητικά ηλιακά συστήματα στην Σαντορίνη περσι ότι ο Nu μπορεί να πάρει την παρακάτω γενική μορφή θεωρώντας επει των πλειστον ότι η διαφορά μεταξύ των επιφανειών δεν μπορεί να γίνει παρά πολύ μεγάλη και ο Ra δεν θα πάρει πολύ μεγάλες τιμές. Ετσι η ροή μέσα στο κενό λογίζεται έτσι ως στρωτή. Ο τύπος είναι ο παρακάτω

$$Nu = \left\{ \left(\frac{12}{(e/H)Ra} \right)^2 + \left(\frac{1}{0.619((e/H)Ra)^{1/4}} \right)^2 \right\}^{-1/2} \quad (4.8.6)$$

όπου e = η απόσταση μεταξύ των 2 επιφανειών.

Από την στιγμή που υπολογιστηκε ο Nu (βεβαιώς έχουν τεθεί πολλές προτάσεις για αυτόν υπολογισμό του Nu. Εδώ παρουσιάζονται οι τρόποι που υπάρχουν σε ένα οποιοδήποτε βιβλίο θερμότητας. Ο πάντα πειραματικός τρόπος εύρεσης της καταλληλής εξίσωσης δεν μπορεί να είναι φερεγγυος για ακριβή αποτελέσματα παρά μια προσεγγιστική λύση) μπορεί πλέον να υπολογισθεί ο hc της μεταφοράς του ρευματος.

Επομενο βημα είναι πλέον ο τυπολογηση για την εύρεση των θερμοκρασιών.

Για την θερμοκρασία του ρεύματος που εισέρχεται στο πάνω άνοιγμα έχει προταθεί ο εξής τύπος

$$T_{out} = T_p - (T_p - T_{in}) \exp\left(-\frac{V}{e \cdot \nu_A} \cdot H\right) \quad (4.8.7)$$

όπου T'_{out} η θερμοκρασία του ανοδικου ρεύματος που εισέρχεται στο πάνω άνοιγμα.

T'_p η θερμοκρασία που λαμβανεται ως μέση θερμοκρασία των θερμοκρασιών των δυο επιφανειών

$$T_p^t = \frac{T_{2, glass}^t + T_{1, wall}^t}{2} \quad (4.8.9)$$

όπου
$$V = \frac{hc}{r_{air} \cdot c_{air}} \quad (4.8.10)$$

$$hc = \frac{Nu \cdot k_{air}}{e} \quad (4.8.11)$$

με k_{air} = η θερμική αγωγιμότητα του αέρα σε μια δεδομένη θερμοκρασία που εδώ θεωρείται η T_p

Για την εύρεση της ταχύτητας U_a

Για να βρούμε την ταχύτητα του ρεύματος που εισέρχεται στο πάνω άνοιγμα θα πρέπει να αναφέρουμε ότι αυτή αλλάζει κάθε φορά όχι γιατί αλλάζουν οι θερμοκρασίες αλλά για τι ουσιαστικά αλλάζουν οι απώλειες πίεσης κατά τη ροή του αέρα στο κενό.

Η ταχύτητα συνδέεται άμεσα με την ογκομετρική παροχή του αέρα $Q(m^3/s)$ που θεωρείται ότι διοχετεύεται στο πάνω άνοιγμα.

Οι περισσότερες μελέτες περιγραφουν ένα απλο μοντέλο για τον υπολογισμό η καλύτερα την προσεγγιση της παροχής μεσα προς το πάνω άνοιγμα. Είναι η πολύ γνωστή συνάρτηση που δημιουργείται συνδυάζοντας τις εξισώσεις του Bernulli και της συνεχειας. Η γενική του μορφή είναι

$$Q = A^* \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \quad (4.8.12)$$

όπου A^* = είναι η ενεργος διατομή

ΔP = είναι το συνολικό άθροισμα των διαφορων πίεσης αλλά κυρίως της διαφοράς λόγω αυξησης της θερμοκρασίας του ρευστού και διαφορας πυκνοτητων

Το ΔP για ανοδικη κίνηση του ρευστού και θεωρουμενη την εσωτερική θερμοκρασια του κενου πάντα μεγαλύτερη από αυτή του περιβαλλοντος υπολογίζεται ως εξής

$$\Delta P = \frac{gH\rho}{\beta} \left(\frac{1}{T_o} - \frac{1}{T_p} \right) \quad (4.8.13)$$

όπου θεωρούμε ότι εσωτερική θερμοκρασία του κενου την T_r αλλά θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε εξίσου την T του τοίχου που θεωρείται ομοιομορφη σε όλη την επιφάνεια της η και **την θερμοκρασία του αέρα του χώρου** όπως θα δούμε παρακάτω αφού στην πραξη δεν διαφέρουν πολύ κάθε χρονική στιγμή.Εξαρταται πως εμείς εννοουμε την θερμοκρασία του κενου.

Τώρα πλεον μπορούμε να υπολογίσουμε την ογκομετρικη παροχή αέρα που θα περνα από το πάνω άνοιγμα στον εσωτερικό χώρο.

4.8.2. Δραση απωλειών πιεσης

-Απώλειες στα ανοίγματα

Όταν ένα ρευστο εισρει σε ένα ανοιγμα από ένα χώρο διαπιστωνεται αποτομη αλλαγή διατομης (Π.χ από το κενό στο πάνω άνοιγμα) κάποιο μέρος της παροχής του τείνει να αποσπαται από το συνολικό ρεύμα, Αυτό ουσιαστικά με την παρουσια του στις ακρες του ανοιγματος σχηματίζει μικρές δινες που δημιουργουνται λόγω δυνάμεων συνεκτικότητας με τα τοιχωματα του ανοιγματος **εμποδιζοντας το άλλο μέρος του ρευστού να εισρέει**.Οι απώλειες πίεσης αυξανονται συνεισφεροντας έτσι στον σχηματισμό ενός ρεύματος αέρας που εισέρχεται με αυξημένη ταχύτητα .Η αποτομη μείωση ουσιαστικα της διατομης οδηγεί σε αποτομη μεταβολή κλισης των γραμμών ροης που ροκαλει μείωση της πραγματικης δέσμης του ρευστού στο ανοιγμα εισαγωγής σε ένα χώρο μειωνοντας έτσι την ογκομετρικη παροχή.

Ο λόγος αυτής της παροχής προς την διατομή του αγωγού μειωμενη με βάση τις απώλειες **ονομαζεται συντελεστης φορτισης διατομης**.

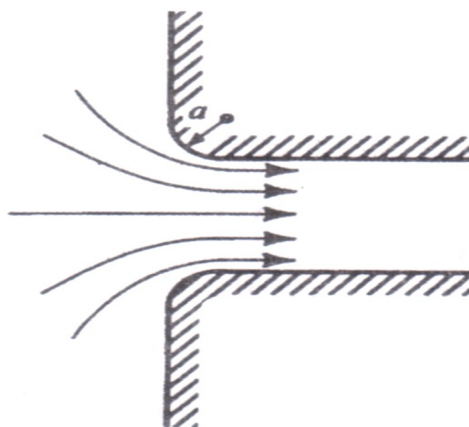
$$c = \frac{Q}{A} \sqrt{\frac{\rho}{2\Delta P}} \quad (4.8.14)$$

Είναι σαφες ότι ο **παραπανω συντελεστης αυξανει** **οσο μικραινει ο βαθμός στενωσης** (αν πηγαινουμε ολο και σε μικρότερες διατομες ανοιγμάτων) ενώ μειώνεται **οσο οι ακμες γίνονται πιο στρογγυλεμενες** .

Ανοίγματα με άκρες αποτομης κλισης (π.χ ορθογωνικα) και ο ανάλογος συντελεστής είναι ιδιαιτερης σημασιας και εξαρτάται συνήθως από τον αριθμό Rey χαρακτηριστικο αριθμό της ροης.Ειναι σύνηθες σε ροες σε αγωγους η ανοίγματα(ένας τετοιος αγωγός είναι ουσιαστικά ο κενος χώρος μεταξύ του τοιχου trombe και του υαλοπινακα) ο συντελεστής φορτισης να συσχετιζεται άμεσα με τον συντελεστή απωλειών που παίρνει την αντίστοιχη μορφή

$$k = \frac{\Delta P}{(\rho u^2 / 2)} \quad (4.8.15)$$

όπου ΔP είναι οι απώλειες πίεσης κατά μήκος τους αγωγού (δηλαδή του ύψους του κενού αν μιλάμε για το κενό σαν αγωγό ή αν μιλάμε για τα ανοίγματα κατά μήκος των ανοιγμάτων). **Τιμές των απωλειών πίεσης** κατά την εισροή του ρευστού από ένα ένα ανοίγμα σε ένα χώρο είναι γενικά δύσκολο να μετρηθούν πειραματικά με ακρίβεια. Ειδικά για τα ανοίγματα σε σχέση με την επαφή τους με το κενό συνηθίζονται να προσομοιάζονται με γωνιακούς ορθογωνίους αγωγούς αν και μια τέτοια προσέγγιση δεν είναι ικανοποιητική για την απεικόνιση των απωλειών σε σχέση με την γεωμετρία των διατομών των ανοιγμάτων. **Στην περίπτωση του συστήματος κενού –απάνω ανοιγματος** και αντίστοιχα θερμαινόμενου χώρου –κάτω ανοιγματος ο βαθμός στενωσης είναι πρακτικά μηδενικός. Όταν το άνοιγμα προεξέχει μέσα στο κενό (π.χ μορφή σωλήνα που συνδέει το κενό με το θερμαινόμενο χώρο) η τιμή του συντελεστή απωλειών k κυμαίνεται από 0.6-3 (στην παρούσα μελέτη στο μεγαλύτερο μέρος των παραδειγμάτων θα θεωρηθεί ίσος με 1.5 ή 1). **Το σίγουρο είναι ότι οι απώλειες μειώνονται** ανάλογα με το πόσο στρογγυλεμένες είναι οι άκρες του ανοιγματος. **Κατω(σχήμα 4.3) παρατηρούμε** την εξάρτηση του k για στομιο-άνοιγμα με στρογγυλεμένες άκρες σε σχέση με τον λόγο a/D όπου a =η ακτίνα καμπυλότητας και D η διατομή του κενού.



a/D	0.02	0.04	0.06	0.10
k	0.28	0.24	0.15	0.09

Σχημα 4.34: Μεταβολή συντελεστή απωλειών σε είσοδο ανοίγματος με βάση το λόγο a/D

-Απώλειες λόγω τριβών κατά ύψους του κενου

Απώλειες πίεσης και ενεργείας λόγω τριβών του αέρα με τα τοιχώματα του κενου είναι σύνηθες φαινόμενο. Για αυτό και **ορίζεται ένας συντελεστής απωλειών που περιλαμβάνει τόσο την επίδραση του είδους της επιφανείας των αγωγών αλλά και την γεωμετρία του**

$$k_f = f \frac{H}{Dh} \quad (4.8.16)$$

όπου f : ο συντελεστής τριβής που γενικά αναφερόμαστε ότι εξαρτάται από την τραχύτητα της επιφάνειας των τοιχωμάτων και από τον χαρακτηριστικό Re_y ενώ H είναι το ύψος του κενού (θεωρούμε ότι είναι ίσο με το ύψος του trombe) και D_H η υδραυλική διάμετρος του κενού. **Επειδή μια διαδικασία επιλογής του f** θα εκανε την ήδη υπάρχουσα μεθοδολογία αρκετά περιπλοκή θεωρήθηκε με βάση την εμπειρία και το γεγονός ότι επί το πλείστον η ροή θεωρείται στρωτή ότι ο f δεν αποκλείει από μια συγκεκριμένη τιμή όπως αφήνεται παρακάτω. Στη μελέτη αυτή θεωρούμε ότι ναι μεν **τέτοιου είδους απώλειες συνεισφέρουν** στην διαμορφωση ροής και θερμοκρασιών αλλά ο κυριος παραγοντας διαφοράς πιεσεων είναι η ίδια η **διαφορα θερμοκρασιών και πυκνοτητων**. Το θεμα ήδη αγγίζει ευαίσθητες περιοχες του τομεα της μηχανικης ρευστων γιαυτο και δεν πρόκειται να αναλυθει περισσοτερο αν και αφήνεται σε μελλοντικους ερευνητες η πιο ορθή αντιμετώπιση του.

Ο Alfonso και ο oliveira έχουν προτείνει τον εξής τύπο για τον υπολογισμό της ογκομετρικής παροχής που περιλαμβάνει και τις απώλειες πίεσης που δημιουργούνται εξαιτίας της ορθογωνικής μορφής των ανοιγμάτων και του συντελεστή f των απωλειών από τριβή και αντίσταση του κενού.

$$Q = \frac{1}{\sqrt{k_{ci} \left(\frac{A_{co}}{A_{ci}} \right)^2 + k_{co} + f \frac{H}{D_H}}} A_{co} \sqrt{2\beta g \Delta T \Delta H} \quad (4.8.17)$$

όπου A_{co} : η επιφάνεια εξόδου (στην περίπτωση μας η διατομή του πάνω ανοιγματος)
 A_{ci} : η επιφάνεια εισόδου (στην περίπτωση μας η διατομή εισόδου του κάτω ανοιγματος)

Επειδή έχουμε θεωρήσει ίσες επιφάνειες εισόδου-εξόδου το $\frac{A_{co}}{A_{ci}} = 1$

επίσης k_{ci} = συντελεστής απωλειών πίεσης λόγω γεωμετρικών χαρακτηριστικών των διατομών v εισόδου και εξόδου και D_H η υδραυλική διάμετρος του χώρου που δημιουργείται στο κενό.

Εκ πρώτης αποψης λόγω το ότι έχουμε ορθογωνικές διατομές οι παραπάνω συντελεστές θα έχουν τις εξής τιμές $k_{ci} = 1.5$ $k_{co} = 1$ ενώ ο συντελεστής λόγω τριβής θεωρείται ίσος $f = 0.056$. Ο παραπάνω τύπος εύκολα μεταφράζεται με μονάδες πίεσης στον τύπο (1) όπου το εμβαδο A^* εισεται με την ποσότητα που περιλαμβάνει το ριζικο στον παρανομαστη. Τώρα πλέον μπορούμε να υπολογίσουμε την ταχύτητα u_a από τον απλο τύπο της παροχής

$$u_a = \frac{Q}{A_{anoigmatos}} \quad (4.8.18)$$

Υπολογισμός T αέρα κενου

Όταν αναφερομαστε στην θερμοκρασία του αέρα του κενου πρωτιστος εμείς θα αναφερομαστε στην θερμοκρασία που αποκταει ο αέρας που μετακινείται **λόγω των φαινομενων της ελευθερης συναγωγης από την θερμη επιφάνεια του τοίχου προς την σχετικά πιο κρυα επιφάνεια του υαλοπινακα**. Είναι φανερο από τα προηγούμενα που εχουν αναφερθεί ότι θα ισχυει ένας ισολογισμος ανάμεσα στην θερμότητα που μεταφέρει αυτό το ρεύμα και την θερμότητα που χρειάζεται να πάρει το ανοδικο ρεύμα που προέρχεται από το κάτω άνοιγμα και οδευει προς τα πάνω.

Θα ισχυει ότι

$$hc \cdot A(T_w - T_{air}) = m_{air} \cdot c_{air}(T_{out} - T_{in}) \quad (4.8.19)$$

όπου T_{out} : η θερμοκρασία που εξερχεται από το κενό προς το πάνω άνοιγμα και T_{in} : η θερμοκρασία που εισέρχεται από το κάτω άνοιγμα από τον εσωτερικό χώρο .Πολυ μελετητες υποστηριζουν ότι είναι προτιμοτερο να χρησιμοποιειται αντί για την T_w η T_p που είναι μια μέση θερμοκρασία και περιλαμβανει και την θερμοκρασία του υαλοπινακα.

Με δεδομένες και γνωστές τις θερμοκρασίες του προηγουμενου χρονικου βηματος μπορούμε να υπολογίσουμε την καινούρια θερμοκρασία του αέρα λόγω της θερμότητας που έχει απαχθει όλη από το προηγούμενο ανοδικο ρεύμα με βάση τις (4.8.10),(4.8.11),(4.8.19)οπότε και θα έχουμε

$$T_{air}^t = T_p^{t-1} + \frac{ua \cdot e}{V \cdot H} (T_{out}^t - T_{χωρου}^{t-2}) \quad (4.8.20)$$

οι διαφοροι παραμετροι εχουν εξηγηθει ηδη παραπάνω και δεν αλλάζει η ουσία χρήσης τους.Θεωρουμε πλέον ότι η θερμότητα δεν αποθηκεύεται στο κενό αλλά χρησιμοποιείται για την θέρμανση του ανοδικου ρεύματος.

Με γνωστή την $T_{αερα}$ υπολογίζεται πλέον η νέα θερμοκρασία της εσωτερικής επιφανείας του υαλοπινακα με την συμμετοχη επισης της απορροφουμενης προσπιπτουσας ηλιακης ακτινοβολίας

$$T_{2,glass}^{n+1} = \frac{2}{M} \left(T_{1,glass}^n + N T_{αερα}^n \right) + \left\{ 1 - \frac{2}{M} - \frac{2N}{M} \right\} T_{2,glass}^n + \frac{2 \cdot dt \cdot ag \cdot I_t^{n+1}}{\rho_{glass} \cdot c_{pglass} \cdot L_{glass}} \quad (4.8.21)$$

$$\text{όπου } M = \frac{Lg^2}{a\Delta t} \quad \text{και} \quad N = \frac{h_{\text{κενου}} \cdot Lg}{k_{\text{βαλ}}}$$

Τοιχος trombe-ανοίγματα-χώρος προς θερμανση

Η νοοτροπια και η μεθοδολογια δεν αλλάζει σε σχέση με αυτή που αναπτυχθηκε στο προηγούμενο μοντέλο. Μεγαλο ρολο παίζει πια η ηλιακη ακτινοβολία που προσπιπτει πάνω στον τοίχο και το γεγονός ότι στη θέση της προηγουμενης $T_{\text{κενου}}$ υπάρχει η εννοια της $T_{\text{αερα}}$ του κενου που επιδρα με συναγωγή στην θερμοκρασία του τοίχου κάθε χρονική στιγμή. Εκτός από τους εσωτερικους κομβους που δεν αλλάζουν οι εξισώσεις για τον υπολογισμο της θερμοκρασιας του 1^{ου} σημειου του τοίχου θα έχουμε πλέον την εξής εξίσωση με βάση την (4.5.21)

$$T_{\text{τοιχου},1}^{n+1} = \frac{2}{M} \left(T_{\text{τοιχου},2}^n + N T_{\text{αερα}}^n \right) + \left\{ 1 - \frac{2}{M} - \frac{2N}{M} \right\} T_{\text{τοιχου},1}^n + \frac{2 \cdot dt \cdot tg \cdot a_w \cdot I_t^{n+1}}{\rho_{\text{wall}} \cdot c_{p\text{wall}} \cdot dx_{\text{wall}}}$$

(4.8.22)

$$\text{όπου } M = \frac{\Delta x^2}{a\Delta t} \quad \text{και} \quad N = \frac{h_{\text{κενου}} \Delta x}{k_{\text{τοιχου}}}$$

όπου το a αναφερεται φυσικα στα χαρακτηριστικα του τοίχου ενώ $tg = \eta$ διαπερατοτητα του υαλινου καλλυματος και η $a_w = \eta$ απορροφητικοτητα του τοίχου και $I_t = \eta$ ηλιακη προσπιπτουσα ακτινοβολια (W/m^2) για δεδομένη μέρα και ώρα του χρόνου όπως παρουσιαζεται σε πίνακες.

Δεν υπάρχει ιδιαίτερη ανάγκη να αναφερθουμε εκ νέου στο πως γίνεται η μεταδοση θερμότητας στον χώρο από τον τοίχο και τα ανοίγματα. Τίποτα δεν αλλάζει από το προηγούμενο μοντέλο ως προς τις παραδοχές και τις εξισώσεις. Αν καποιος θέλει λεπτομερεστερη περιγραφη μπορεί απλά να προβει σε παραπάνω παραγραφους του προηγούμενου μοντελου. **Βασικη διάφορα η χρήση της Tout που είναι ουσιαστικά η Τανοιγματος πάνω.**

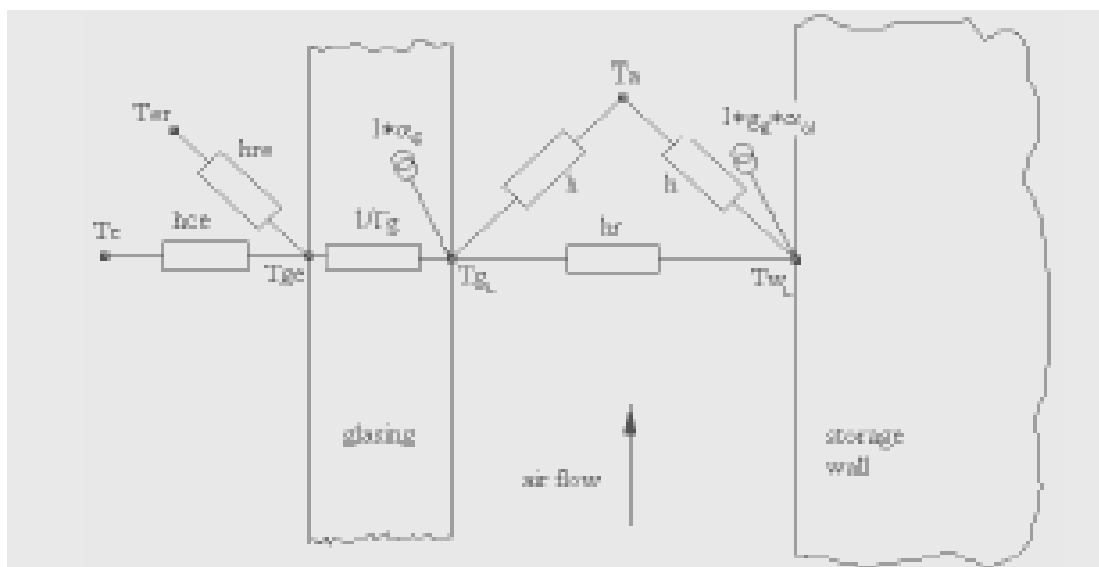
4.8.3. Παρατηρήσεις μαθηματικου μοντελου

Στο συγκεκριμενο μοντέλο χρησιμοποιηθηκε μια διαφορετικη θεωρία για την καλύτερη εικόνα της ανακυκλοφοριας του αέρα και τον επηρεασμο της από την ελευθερη συναγωγή σε κλειστο χώρο όπου ο χώρος αυτος είναι ουσιαστικα το κενό. Επί αυτου ο κυριος **χαρακτηριστικος αριθμός θεωρείται ο Ra** που αποτελεί ένα συνθετο μετρο τόσο των δυναμεων συνεκτικοτητας αλλά και των δυναμεων ανωσης αφού αποτελεί το γινομενο του Grashoff και του Prandtl. Εδώ ο Ra πλέον δεν θα δίνεται από έξω σαν γνωστος από τον μελετητη αλλά θα υπολογίζεται κάθε φορά κάθε χρονική στιγμή δινοντας μεγαλύτερη αξιοπιστια στην εκδοση αποτελεσματος.

Επίσης χρησιμοποιήθηκαν βασικές απλές αρχές συναγωγής συνοδευόμενες από αμφιβολίες περί χαρακτηρισμού της ροής γι αυτό ανάλογα με το τι θεωρεί ο μελετητής μπορεί να χρησιμοποιήσει διαφορους τρόπους για τον υπολογισμό των τοπικών αριθμών Nu. Όσο πιο μικρή είναι απόσταση μεταξύ των 2 ενδιαφερομένων επιφανειών οι θερμοκρασίες διαφέρουν λιγότερο οπότε και μας δίνεται η ευκαιρία χρησιμοποίησης μιας θερμοκρασίας της αμέσως προηγούμενης χρονικής στιγμής σε περίπτωση αγνώστης θερμοκρασίας.

Σχημα 4.36: αντί

του



στοιχο
ηλεκτρικό
διάγραμμα

συστηματος του μοντέλου της 2^{ης} υποθεσης

Οι εξισώσεις δεν έχουν αλλάξει ως προς τον τρόπο υπολογισμού του βελτιστού Δt που ευνοεί το σύστημα των εξισώσεων μας οπότε και τα κριτηρια δεν αλλάζουν σε σχέση με την προηγούμενη μορφή.

Όπως έχει ήδη ειπωθεί προηγουμένως οι συναρτήσεις υπολογισμού κάθε θερμοκρασίας πρέπει να μπουν σε ένα χρονικό βρογχο κατά σειρά ξεκινώντας από το περιβάλλον και μετακινούμενοι προς το εσωτερικό για να υπολογίζονται οι τιμές κάθε χρονική στιγμή. Οι γνωστές παραδοχές και θεωρήσεις ισχύουν για τα διαστήματα που δεχόμαστε ακτινοβολία. Περισσότερες λεπτομερείς βεβαίως περιέχονται στην περιγραφή των προγραμμάτων στο παραρτημα στο τέλος.

4.9. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ 2^{ης} ΥΠΟΘΕΣΗΣ

Θα ακολουθήσουν διάγραμματα για τη σαφέστερη εικόνα της διακυμανσης της θερμοκρασίας του χώρου σε σχέση με τον χρόνο καθώς και άλλων ενδιαφερομενων θερμοκρασιών .Για τη διευκολυνση των συμπερασματος κάποια μεγέθη θα κρατιουνται σταθερά ενώ αλλά θα αλλαζουν για να γίνεται αισθητη η εξαρτηση των θερμοκρασιών από αυτά τα μεγέθη

4.9.1. 1^ο παραδειγμα(-γενικη περιγραφη)

Από το πρόγραμμα matlab που εξηγεται συνοπτικά στο παραρτημα εισάγουμε στο περιβάλλον χρηστη τα μεγέθη που μας ενδιαφερουν .Θεωρουνται σε αυτό το πρωτο παραδειγμα γνωστά τα παρακάτω μεγέθη όπως αναφεραμε και στο πρωτο μοντελο -αρχικές θερμοκρασίες παντου ισες με 12 C°(αφού θεωρουμε ότι είμαστε σε χειμωνα 1^η Ιανουαριου)

-υλικό του τοίχου trombe(τσιμεντο)

$$k_w=1.4 \quad \rho_w=2300 \quad C_p=880$$

-υλικό του υαλοπινακα(γυαλί απλο)

$$k_w=1.4 \quad \rho_w=2500 \quad C_p=750$$

-Διαστάσεις δωματιου προς θέρμανση(3x3x3)(m³)

-χαρακτηριστικα μεγέθη αέρα γνωστά και θεωρημενα σε κατάσταση αναφοράς (T=273 K)

-Το πάνω άνοιγμα και το κάτω άνοιγμα θεωρουνται ότι εχουν ισες επιφάνειες πάνω στο τοίχο (δηλ καταλαμβανουν ίδιο ποσοστό επιφανείας τοιχου).

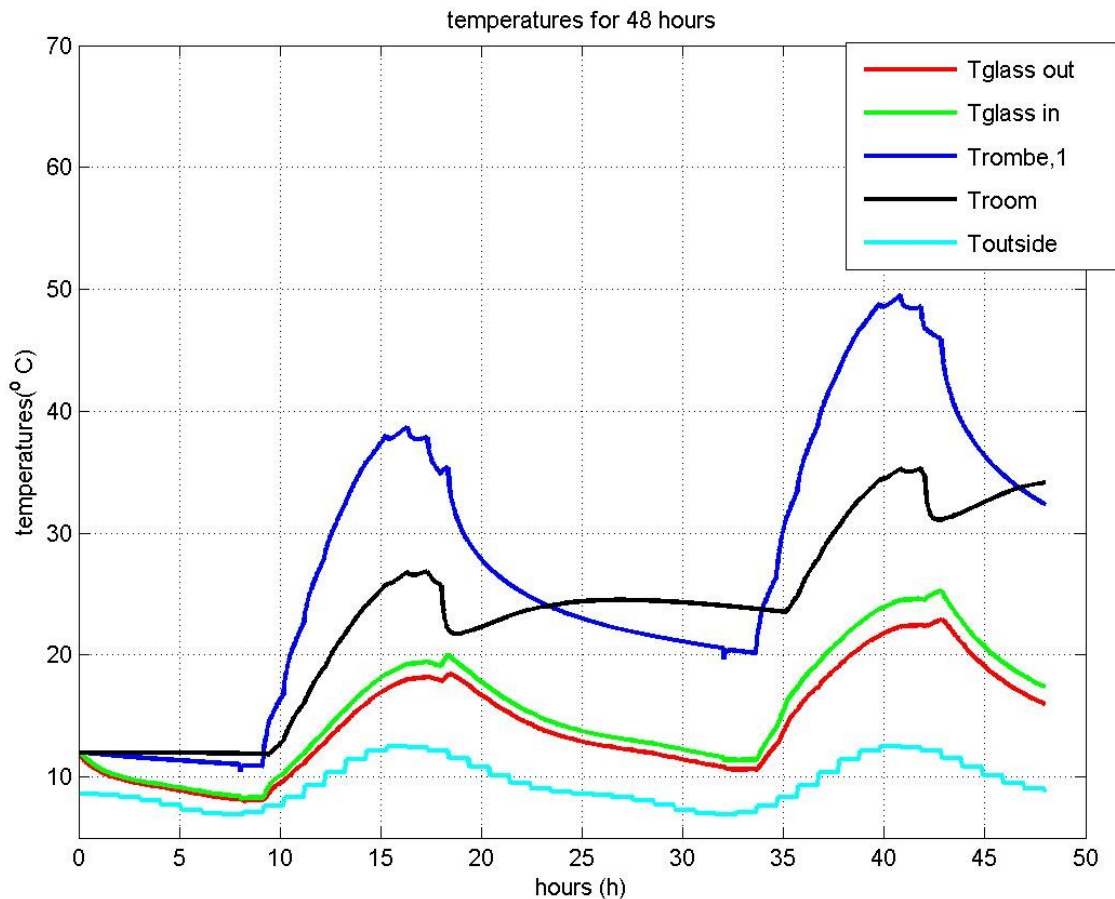
-Χρησιμοποιούμε τον τύπο υπολογισμού Nu κατα Ruiz θεωρωντας ότι έχουμε κατά το πλείστον στρωτη ροή

Έτσι η κατάσταση όπως διαμορφώνεται για τα στοιχεία εισαγωγής που επιθυμουμε να βαλλουμε είναι

Μήκος υαλοπινακα(l_g)	0.03 m
Αριθμός κομβων υαλοπινακα(n_g)	2
Απόσταση υαλοπινακα-Τοιχου(ap)	0.02 m
Πάχος τοίχου Trombe(l_w)	0.3 m
Αριθμός κομβων Trombe(n)	30
Θεωρουμενο ποσοστό Επιφανείας ανοιγματος(p_n)	10%
Διαπερατοτητα υαλοπινακα (τ_g)	0.7
Απορροφητικοτητα υαλοπινακα($a_{γα}$)	0.1

Πίνακας 4.9.1: Στοιχεία γνωστά για το διάγραμμα της γενικης περιγραφης(2^η υποθεση)

επισης η απροφητικοτητα του τοιχου λαμβανεται ιση με $\alpha_w=0.8$ και οι συντελεστές συναγωγης μεταξύ περιβαλλοντος υαλοπινακα ,υαλοπινακα- κενου ,κενου -τοιχου trombe και στο εσωτερικό αντίστοιχα λαμβανονται ισοι με $h_{out}=10(w/m^2 K)$, $h_{in1}=h_{in2}=10, h_{es}=10$
 Το παρακάτω διάγραμμα για τις 48 ώρες φαίνεται παρακάτω



Σχημα 4.37: μεταβολή διαφόρων θερμοκρασιών στην διάρκεια 48 ωρών για το μοντέλο της 2^{ης} υποθεσης

Εκ πρώτης αποψης το διάγραμμα(σχήμα 4.37) σε μορφή δεν παρουσιάζει τεραστιες διαφορές σε σχέση με το αρχικό μοντέλο .**Το πιο σημαντικό είναι η επίδραση της ηλιακης ακτινοβολίας** στην θερμοκρασία του τοιχου Trombe και του υαλοπινακα.Η κατανομή της θερμοκρασίας του χώρου φτάνει σε αυξημένες τιμές ενώ βρισκουμε κάποιες διαφορές στην διακύμανση της θερμοκρασίας την νυχτα.Ο τοιχος φαίνεται να αποδιδει θερμότητα ικανοποιητικα από τις 8 μμ ως και τις 1-2 μετά τα μεσανυχτα δηλαδη για περιπου 6 ώρες κάτι που επιτρεπει σε πολύ μικρή πωση θερμοκρασίας την νυχτα και την διατήρηση της θερμοκρασίας περίπου στους 25° C το 1° βραδυ .Αυτο εξηγειται από τι στιγμή που ο τοιχος δεχεται την επίδραση της ηλιακης ακτινοβολίας άρα και μεγαλύτερη ποσότητας θερμότητας που μπορεί να αποδωσει μετέπειτα

Η μικρή απόσταση επίσης μεταξύ του υαλοπινακα και του τοίχου Trombe βοηθούν σε καλύτερη μεταδωση θερμότητας και σε υψηλές τιμές του τοπικού αριθμού h_c της μετάδοσης θερμότητας βοηθώντας έτσι ώστε με την ανακυκλοφορια του αέρα να πετυχαινεται μια διάφορα ανάμεσα στις αρχικές πρώτες πρωινες ώρες της ημέρα με τις αντίστοιχες της 2^{ης} ημέρας να φτάνει στην διάφορα των 12° C.

Μπορει επίσης κανείς να δει μικρές κορυφες στην κατανομή της θερμοκρασίας του trombe λόγω της μορφής της κατανομης της προσπιπτουσας ηλιακης ακτινοβολίας .Αντιστοιχες μορφες παρουσιαζουν οι θερμοκρασίες των επιφανειών υαλοπινακων από τη στιγμή που τιμές τους επηρεάζονται συμφωνά με την υπάρχουσα μεθοδολογια και τις πεπερασμενες διαφορές από τις προηγούμενες θερμοκρασίες των τοιχων trombe της θερμοκρασίας του χώρου και τις θερμοκρασίες του κινουμενου αέρα στο κενό.

4.9.2. 2° παραδειγμα(σύγκριση λόγω αποστασης)

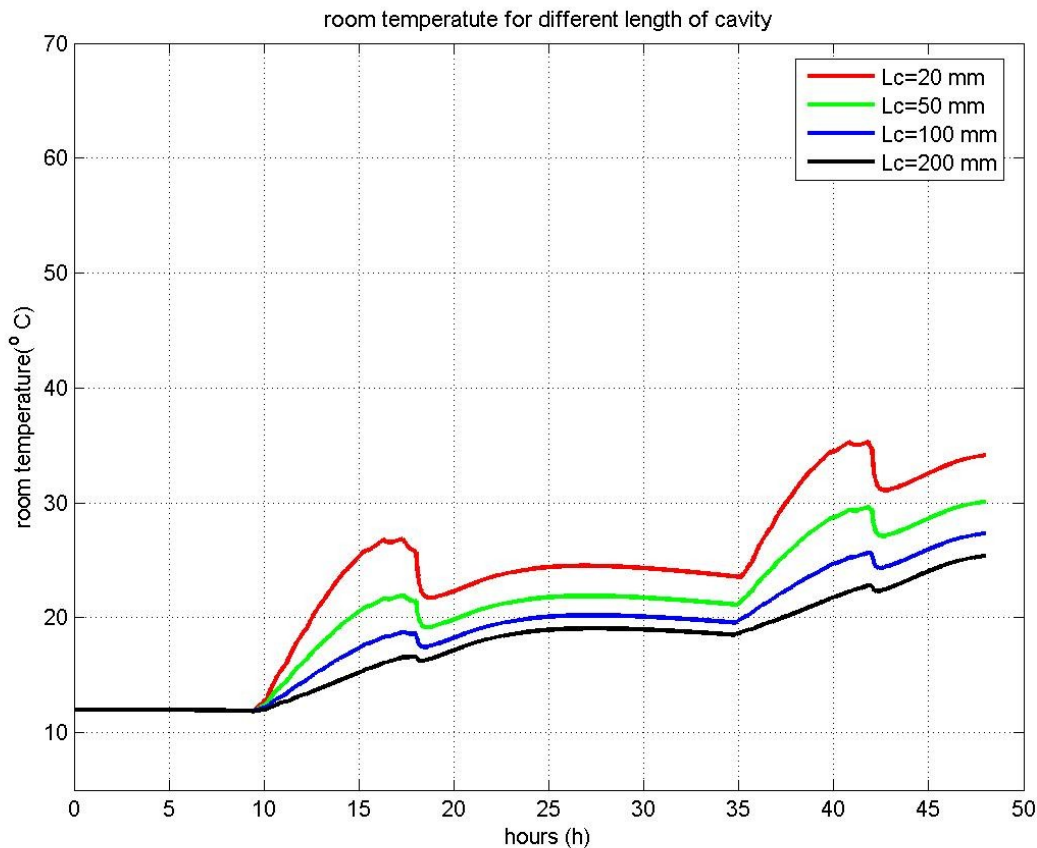
Στο 2° παραδειγμα θα ασχοληθουμε με την επίδραση που προκαλεί στην κατανομή της θερμοκρασίας του χώρου η απόσταση ανάμεσα στον υαλοπινακα και στον τοίχο trombe.Επι αυτου έχουμε την εξής κατάσταση(πίνακας 4.9.2)

Μήκος υαλοπινακα(l_g)	0.03 m
Αριθμός κομβων υαλοπινακα(n_g)	2
Απόσταση υαλοπινακα-Τοιχου(ap)	0.02 -0.2 m
Πάχος τοίχου Trombe(l_w)	0.3 m
Αριθμός κομβων Trombe(n)	30
Θεωρουμενο ποσοστό Επιφανείας ανοιγματος(p_n)	10%
Διαπερατοτητα υαλοπινακα (τ_g)	0.7
Απορροφητικοτητα υαλοπινακα($\alpha_{γα}$)	0.1

Πίνακας 4.9.2: Στοιχεία γνωστά για το διάγραμμα της συγκρισης λόγω απόστασης υαλοπίνακα-trombe

Τα αλλά χαρακτηριστικα όπως οι διαφοροι συντελεστες συναγωγης παραμενουν όπως πριν σταθεροι.

ταβ
της
εσ
ης



Σχῆμα
4.38: με
ολή

ωτερικ

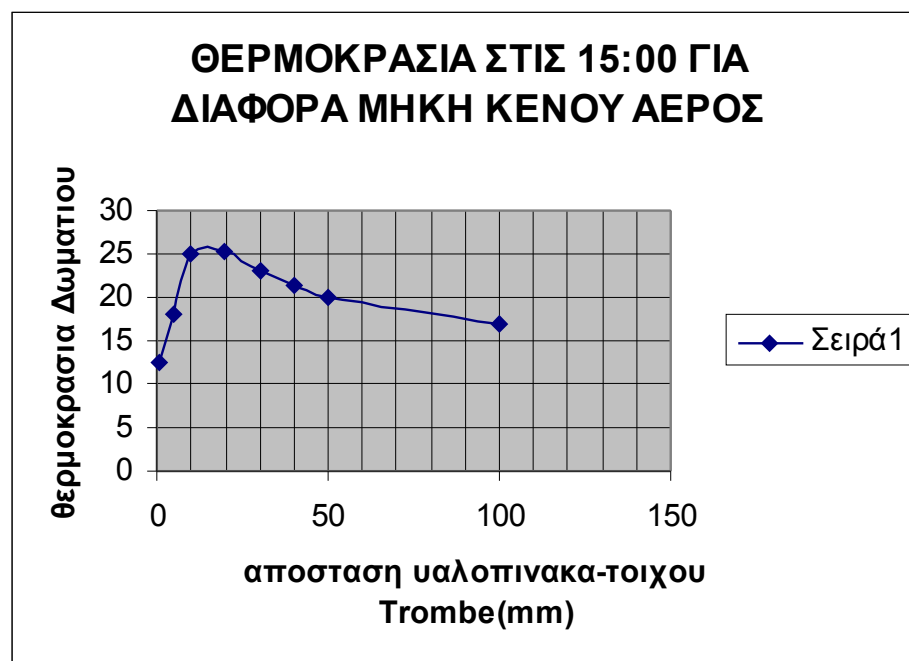
θερμοκρασίας δωματιου για διαφορετικῆς αποστάσεις μεταξύ υαλοπίνακα τοιχου trombe

Από αυτό το διάγραμμα(σχῆμα 4.38) βγάζουμε πολυ σημαντικά αποτελέσματα που άλλωστε δεν φαινονταν στο προηγούμενο μοντέλο. Η χρήση δεδομενης θεωρίας αναδεικνυει τον ρολο της **αποστασης μεταξύ του υαλοπινακα και του τοίχου trombe**. Παρατηρούμε κάτι πολυ ενδιαφέρον .Οτι με την αυξηση της αποστασης εξασθενει η μεταδοση της θερμότητας με συναγωγης στο κενό από τον τοίχο Trombe προς τον υαλοπινακα και αντίστοιχα το πόσο θερμότητας που μπορεί να πάρει το ανοδικο ρεύμα για να φτασει σε μια ορισμενη τιμή θερμοκρασίας στο πάνω άνοιγμα. Οσο αυξανεται η απόσταση και έτσι οσο μεγαλωνει ο λόγος $\frac{e = \text{αποσταση}}{H = \text{υψος τοιχου}}$ ένα σημαντικό μερος του ανερχομενου ρεύματος μενει πρακτικα ανεπηρεαστο λόγω αποκολλησεων του αέρα ενώ αντιθετα όταν το κενό είναι μικρό έχουμε μεγαλύτερη δραση.

Ετσι σταδιακα ο ρόλος της ανακυκλοφοριας του αέρα κατά τη διάρκεια της εντονης προσπιπτουσας ακτινοβολίας εξασθενει και μόνο η ακτινοβολία του ηλίου είναι σημαντική για την λειτουργία του τοίχου trombe .Υπο άλλες συνθήκες και η ηλιακη ακτινοβολία θα περιοριζοταν αφού μεταφεροντας τον τοίχο πιο μεσα εσωτερικά μικραινει ουσιαστικα και η γωνία της ακτινας του ηλίου με την κάθετο προς την επιφάνεια του τοίχου. Εδω θεωρούμε ότι πρακτικά είναι σταθερή και αφηνεται σε άλλο μελετητη για να διαπιστωθει η σημασια της για το φαινόμενο. Επι της πραξης όπως φαίνεται στο διάγραμμα οσο αυξανεται η απόσταση τόσο και πιο κάτω μετατοπιζεται η κατανομή της θερμοκρασίας. **Κατά τα διαστήματα της 1^{ης} νυχτας** από την αρχή της διαδικασίας παρατηρείται ότι όταν η απόσταση θεωρειτο ίση με 20

mm η θερμοκρασία στον εσωτερικό χώρο θα έφτανε τους 24° C ενώ στην περίπτωση που θα είχαμε αύξηση για κάποιο λόγο την απόσταση στα 100 mm(π.χ στην περίπτωση που χρειαζοταν να κάνουμε κάποια εργασία στον τοίχο η καθαρισμα)τότε η θερμοκρασία την νύχτα θα σταθεροποιουταν στους 18° C .Μια τέτοια θερμοκρασιακή διάφορα θεωρεται αρκετά σημαντική ιδιαίτερα σε μια χρονική ζώνη που επιζητείται μεγαλύτερη θερμική άνεση

Το παραπάνω συμπέρασμα όμως δεν σημαίνει ότι μια οποιοδήποτε μείωση της αποστασης ανάμεσα στις 2 επιφανειες επωφελει το σύστημα καθώς μετά απο ένα σημείο όταν οδηγουμαστε σε πρακτικά μηδενικες αποστάσεις **το φαινόμενο της συναγωγης με απλά λόγια δεν βρισκει χώρο να αναπτυχθει**.Ο Ra ↓ ο τοπικος Nu τείνει στο 0 και ο τοπικος συντελεστής συναγωγης hc πρακτικά μηδενίζεται .Θα μπορούσαμε να πούμε ότι σε τόσο μικρη απόσταση γίνεται αισθητη η επίδραση της τριβής του ρευματος αέρα με τις επιφάνειες του κενου δυσκολευοντας την ροή θερμότητας.Στην περίπτωση αυτή το σύστημα αρχίζει και δρα σαν να εξαρτιοταν μόνο και μόνο από την μεταφορά θερμότητας στον τοίχο μέσω της προσπιπτουσας ακτινοβολίας.Η σκεψη αυτή μας δινει ερισμα να αναφέρουμε ότι ανάλογα με τις διαστάσεις του συστήματος **έχουμε ένα βελτιστο μήκος η απόσταση** μεταξύ του υαλοπινακα και της επιφανείας του τοίχου για το οποίο έχουμε μια κατανομή θερμοκρασίας χώρου που φτάνει σε αυξημένες τιμές .



Σχημα

4.39: Μεταβολή της εσωτερικης θερμοκρασίας δωματιου στις 15:00 για διαφορετικες αποστάσεις μεταξύ υαλοπίνακα τοιχου trombe

Μπορούμε να κάνουμε ένα διάγραμμα της θερμοκρασίας(σχήμα 4.39) στον χώρο στις 15:00 για διάφορες αποστάσεις μεταξύ του υαλοπινακα και του trombe .Βλεπουμε σχηματικά ότι αυξανοντας την απόσταση μεχρι σε μια τιμή η θερμοκρασία του χώρου αυξάνεται κατά τις 15:00 που είναι μια ώρα μεσα στο διάστημα που θεωρούμε ότι γίνεται ανακυκλοφορια του αερα.Παρατηρειται ότι περίπου στα 20 mm έχουμε μέγιστη τιμή θερμοκρασίας άρα και βέλτιστη

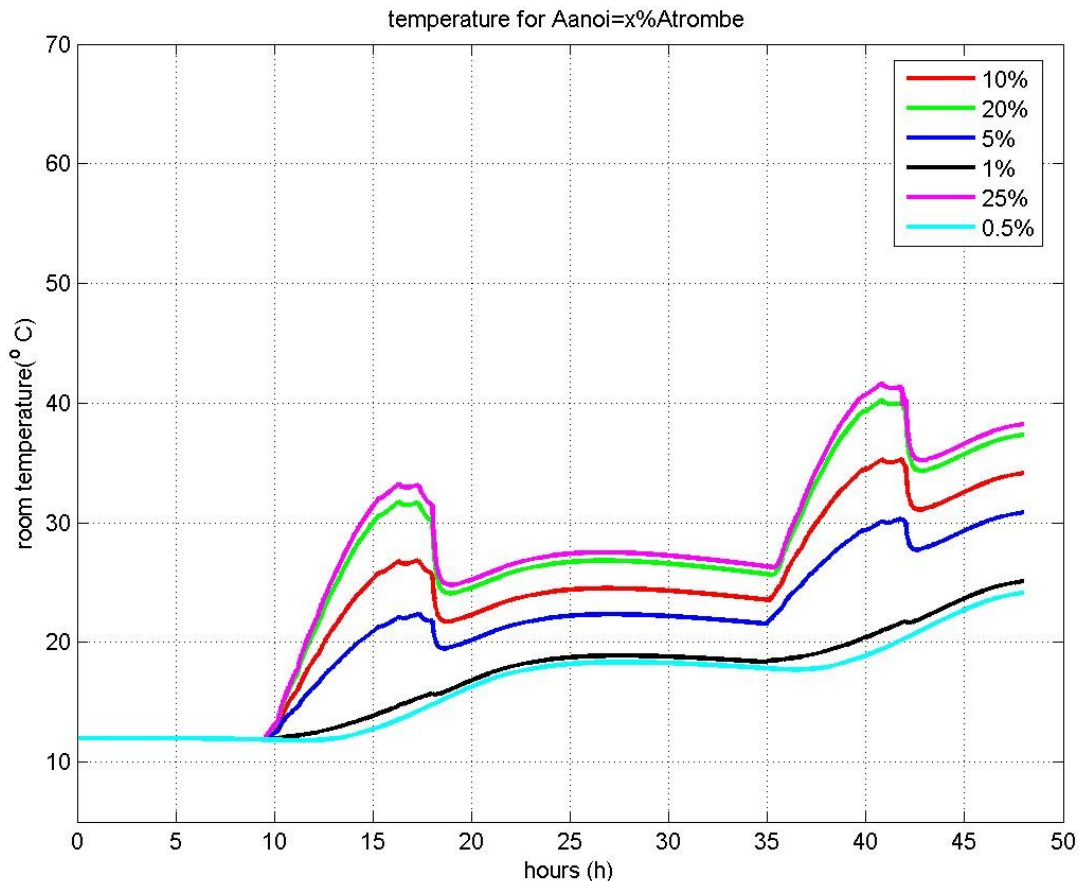
κατανομή αν δοκιμασαμε να σχεδιασουμε. **Μετα από αυτήν την τιμή περαιτερω αύξηση** κάνει την ροή πιο αδύνατη αφού μεγαλώνει ο Ra ,έχουμε κίνδυνο για μεγαλύτερη αναπτυξης τυρβης και περισσότερων απωλειών στην ροή. Αυτή η τιμή της αποστασης μπορούμε να πούμε ότι έχει άμεση σχέση με το ύψος του τοίχου Trombe αφού μαζί συνεισφέρουν στον υπολογισμό του Ra και του Nu οπότε ζητείται από τους νεους μελετητες που θα ακολουθησουν αυτής της εργασιας να διερευνησουν μια λειτουργία του συστήματος με τον λογο H/e.

4.9.3. 3^ο παραδειγμα-(επίδραση εμβαδων ανοιγματος)

Σε αυτό το παραδειγμα θα μελετηθεί η επίδραση του εμβαδου του ανοιγματος στην κατανομή της θερμοκρασίας του χώρου
Έχουμε τα εξής στοιχεία

Μήκος υαλοπινακα(l_g)	0.03 m
Αριθμός κομβων υαλοπινακα(n_g)	2
Απόσταση υαλοπινακα-Τοιχου(ap)	0.02 m
Πάχος τοίχου Trombe(l_w)	0.3 m
Αριθμός κομβων Trombe(n)	30
Θεωρουμενο ποσοστό Επιφανείας ανοιγματος(p_n)	1-5-10-20-25%
Διαπερατοτητα υαλοπινακα (τ_g)	0.7
Απορροφητικοτητα υαλοπινακα($a_{γα}$)	0.1

Έτσι ακόλουθα έχουμε το εξής διάγραμμα στο οποίο μπορούμε να κάνουμε εξισου σημαντικες διαπιστωσεις σε σύγκριση με το διάγραμμα του αντιστοιχου προηγουμενου μοντελου.



Σχῆμα 4.40: Μεταβολή της εσωτερικής θερμοκρασίας δωματίου κατά τη διάρκεια 48 ωρών για διαφορετικές επιφάνειες ανοιγμάτων για το μοντέλο της 2^{ης} υποθεσης

Παρατηρούμε(σχῆμα 4.40) κάτι που σε γενικές γραμμές περιμεναμε και που αναδεικνυεται σε αυτό εδώ το μοντέλο. Εκφραζεται το εμβαδο των ανοιγμάτων(πάνω και κάτω άνοιγμα θεωρουνται ότι εχουν ισα εμβαδα) σαν ποσοστό της επιφανείας του τοίχου Trombe η καλύτερα της επιφανείας του συνολικού τοίχου που περιλαμβανει τον τοίχο και τα ανοίγματα. Μεγαλη σημασια έχει το γεγονός ότι το εμβαδο επηρεάζει πολύ την ογκομετρικη παροχή του αέρα και τελικα την συνολικη ποσότητα θερμότητας που κατευθυνεται εκ νέου μεσα στον εσωτερικό χώρο.

Για αυτό και όσο πηγαινουμε σε μικρότερες τιμές του εμβαδου παρατηρούμε μικρότερες θερμοκρασίες και περιορισμενη χρήση της ανακυκλοφοριας αφού περιορίζεται από την σμικρυνση των εμβαδων ανοιγμάτων πλησιαζοντας σιγά σιγά στην εικόνα που θα μας εδινε ένας trombe χωρίς ανοίγματα. Θυμιζουμε ότι στο αρχικό μοντέλο δεν βρισκαμε μεγάλες διαφορές ανάμεσα στα διάφορα εμβαδα για τι έτσι και αλλιώς ο τροπος με τον οποίο είχε συνδυαστει η ακτινοβολία την εξωτερική θερμοκρασία ήταν λιγότερο προσεγγιστικη στην ρεαλιστικη αντιμετώπιση του φαινομενου . Εδώ η ηλιακη ακτινοβολία είναι άμεσα συνδεδεμενη με την θερμοκρασία του trombe και του υαλοπινακα δινοντας μεγαλύτερα ποσά θερμότητας στο ανοδικο ρεύμα και την δημιουργία ρεύματος μεγαλύτερης ταχύτητας που σε σύγκριση με το εμβαδο δινει μεγαλύτερα ποσά θερμότητας προς τον εσωτερικό χώρο. Η χρηση

μεγαλύτερων ανοιγμάτων είναι ουσιώδης αφού υπάρχει μια θερμοκρασιακή διαφορά με τον αντίστοιχο τοίχο με το σχεδόν μηδενικό εμβαδο ανοιγματος της τάξης των 20° C κατά την περίοδο της ανακυκλοφορίας αφού ουσιαστικά στην δεύτερη περίπτωση έχουμε μόνο την χρήση του τοίχου trombe που επηρεάζει τον χώρο και όχι την θερμοκρασια του ρευματος που εισρεει από το πάνω άνοιγμα. **Βεβαια ο ίδιος ο ρόλος** αυτης της διπλωματικης δεν είναι να ασχοληθει με τις περαιτέρω απώλειες τριβης που δημιουργούνται μεσα στα ίδια τα ανοίγματα η και τως πως επιδρα η αύξηση της ογκομετρικης παροχής στην δημιουργία πιθανων δινων η άλλων φαινομενων στην ίδια την ροή. Εδω θεωρείται ότι στην παρουσία μελέτη δεν παιζουν σημαντικό ρολό τέτοια φαινόμενα. Ζητείται από άλλο μελετητη να διαπιστωσει την σημασία των φαινομενων αυτών ενδεχομένως με περισσοτερα πειραματικά δεδομένα.

4.9.4. 4^ο παραδειγμα(επίδραση πάχους)

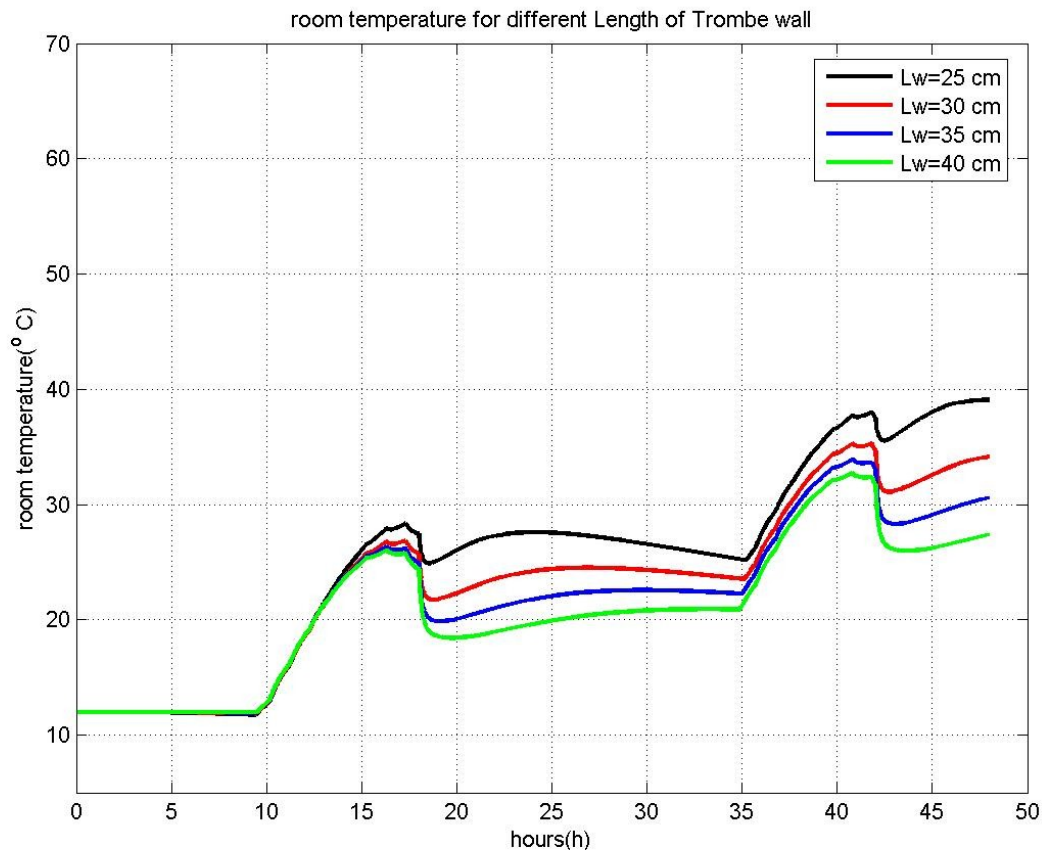
Σε αυτό το παραδειγμα θα μελετηθεί η επίδραση του πάχους του ανοιγματος στην κατανομή της θερμοκρασίας του χώρου

Έχουμε τα εξής στοιχεία

Μήκος υαλοπινακα(l_g)	0.03 m
Αριθμός κομβων υαλοπινακα(n_g)	2
Απόσταση υαλοπινακα-Τοιχου(ap)	0.02 m
Πάχος τοίχου Trombe(l_w)	0.2-0.3-0.4 m
Αριθμός κομβων Trombe(n)	20-30-40
Θεωρουμενο ποσοστό Επιφανείας ανοιγματος(p_n)	10%
Διαπερατοτητα υαλοπινακα (τ_g)	0.7
Απορροφητικοτητα υαλοπινακα($a_{γα}$)	0.1

Πίνακας 4.9.4: Στοιχεία γνωστά για το διάγραμμα της επιδρασης πάχους(2^η υποθεση)

Επί αυτού του παραδειγματος δεν αναμενονται ιδιαιτερες διαφορές στην απεικονιση από το προηγούμενο μοντέλο από τι στιγμή που οι εξισώσεις της χρονικά επομενης θερμοκρασίας του τοίχου trombe και μέσω αυτού επηρεάζονται διαφορετικα μόνο απο την ακτινοβολία του Ηλίου.Επισης επηρεάζει με την τιμή της η θερμοκρασία T αέρα του κενου που θεωρείται ότι συνδέεται ενεργειακά με συναγωγή με τον τοίχο κάθε χρονική στιγμή.



Σχημα 4.41: Μεταβολή της εσωτερικής

θερμοκρασίας δωματίου κατά τη διάρκεια 48 ωρών για διαφορετικά μήκη τοίχου trombe

Πραγματι δεν παρατηρούμε μεγάλες διαφορές σε σχέση με την προηγούμενη κατάσταση. **Ωστόσο πρέπει να τονίστουν κάποια βασικά στοιχεία.** Η συμμετοχή της ηλιακής ακτινοβολίας και η επίδραση του κενού οδηγούν σε μεγαλύτερη απόκλιση των καμπυλών μεταξύ τους σε σχέση με το διαφορετικό πάχος του τοίχου καθώς στο διάγραμμα μελετάται η θερμοκρασία του χώρου που εξαρτάται άμεσα από την κυκλοφορία του αέρα στο κενό. Στο αντίστοιχο διάγραμμα είχαμε τονίσει ότι μεγαλύτερο ρολό στην κυκλοφορία της ροής επαιξε ο ίδιος ο τοίχος. Η συμπεριφορά δεν αλλάζει καθώς ο τοίχος μικρότερου πάχους επιτρέπει καλύτερη μεταφορά θερμότητας στο χώρο καθώς και γρηγορά ποσά θερμότητας στο χώρο λόγω ότι έχει μικρότερη αντίσταση στην θερμική ροή ενώ αντιθετως αποθηκεύει μικρότερη ποσότητα θερμότητας. **Καθώς αποθηκεύει γρηγορά θερμότητα** την αποδίδει και με πιο γρηγορό ρυθμό. Έτσι πετυχαίνεται στα 25 cm πάχος μια αύξηση στη θερμοκρασία του χώρου λόγω απόδοσης θερμότητας στο διάστημα από τις 6 μέχρι και τις 12 η ώρα οπότε και ακολουθεί φυσιολογική πτώση της θερμοκρασίας του χώρου γραμμικά ως προς το μέγιστο που είναι περίπου 28°C στους 25 °C. Αντιθετα όσο αυξάνεται το πάχος το χρονικό διάστημα απόδοσης θερμότητας του τοίχου μετατοπίζεται πιο μετά. Εδώ παρατηρείται ότι η αύξηση μόλις 5cm οδηγεί σε καθυστέρηση αρχής απόδοσης θερμότητας της τάξης της μιας ώρας. **Η θερμοκρασία του χώρου τη νύχτα φτάνει** σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες σε αργότερο χρόνο. Έτσι για τον τοίχο πάχους των 40 cm το μέγιστο μπορεί να φτάσει και στις 5 το πρωί της

επομενης ώρας.Οποτε το γενικό συμπερασμα και από την λειτουργία του τοίχου αυτού του μοντελου οδηγει στο να καταλαβουμε ότι η χρήση του μεγαλυτερου πάχους βοηθά στην μεγαλυτερη σταθεροτητα της θερμοκρασίας του χώρου και σε καλυτερη θερμοκρασιακή ανεση **αφού συνολικα δεν παρατηρειται πτωση της θερμοκρασίας ενώ η χρήση μικρότερου πάχους** συντελεί στην επιτευξη μεγαλύτερων θερμοκρασιών λόγω μικροτερης θερμικής αντιστασης και στην γρηγορη αποδωση θερμότητας .Η χρήση συγκεκριμενου πάχους είναι υποκειμενικο κριτηριο ανάλογα με τα χρηματα που θέλει κάποιος να διαθεσει και το ποτε επιζητα μεγαλύτερη ανεση στον χώρο.Αξιζει να πούμε και εδώ ότι (δες πάνω διάγραμμα) ότι όσο αυξανουμε σε πάχος δεν περιμένουμε μεγάλη διάφορα στην κατανομή –ειδικά στο διαστημα της ανακυκλοφοριας αέρα που έχουμε ίδιες τιμές)

4.10) ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σε αυτήν την μελέτη παρουσιασαμε πως θα μπορούσε να είχε προσομειωθεί η λειτουργία του συστήματος γυαλινου καλλυματος –Trombe τοίχου με ανοίγματα-θερμαινομενου χώρου με τη χρήση μεθοδων πεπερασμενων διαφόρων .**Κατα την πορεία της διαδικασιας** βρεθηκαν κυρίως 2 τροποι να συνδεθει με ουσιαστικο τρόπο η ανακυκλοφορια του αέρα στο κενό μεταξύ του υαλινου καλλυματος και του τοίχου trombe και η σωστή διοχετευση του αέρα μεσα στον χώρο για την καλύτερη θέρμανση του.

Βεβαια από την στιγμή που αγγίζαμε ένα τόσο πολυπλοκο θέμα ήταν αναγκαίο να γίνουν οι παραδοχές που παρουσιάστηκαν πιο πάνω στα 2 διαφορετικα μοντέλα.Ειναι σίγουρο ότι οι παραδοχές αυτές κοστιζουν κάποια απομακρυση από την ρεαλιστικη εικόνα της συμπεριφοράς του συστήματος αλλά αυτό σε καμιοια περίπτωση δεν εμποδιζει από το να βγαλουμε κάποια ουσιαστικά συμπερασματα ως προς την λειτουργία του συστήματος τόσο από άποψη τιμών αλλά και μορφής.

Παρατηρήθηκε λοιπόν ότι μέσω των προγραμματων που αναπτυχθηκαν στα 2 παραπάνω μοντέλα και μπορούν να μελετηθουν πληρωσ στο παραρτημα πίσω ότι

- **Η θερμοκρασία του θερμαινομενου χώρου εξαρτάται άμεσα από την απόσταση** ανάμεσα στον τοίχο trombe και το γυαλινο καλλυμα-Αυξανεται για ένα ορισμένο μήκος και μετά από αυτό σταδιακα μειώνεται .
- **Η θερμοκρασία του θερμαινομενου χώρου εξαρτάται άμεσα από το πάχος του τοίχου trombe**-Για μεγαλύτερα πάχη υπάρχει καθυστερηση στην αποδοση θερμότητας κάτι που επιζητουμε αλλά μικρότερες τιμές κατά την ανακυκλοφορια του αέρα
- **Η θερμοκρασία του θερμαινομενου χώρου εξαρτάται από την επιφάνεια των ανοιγμάτων** πάνω στον τοίχο trombe καθώς με την αύξηση τους όπως μελετηθηκε μεχρι σε ένα ορισμένο σημείο αυξάνεται η ογκομετρικη παροχή και η θερμότητα που διοχετεύεται από το πάνω άνοιγμα στον χώρο

- **Η θερμοκρασία του θερμαινομένου χώρου εξαρτάται από το υλικό της θερμικής μάζας του τοίχου trombe αφού η θερμότητα αποδίδεται σε κάποιο χρονικό διάστημα σε σχέση με την θερμοχωρητικότητα .Όσο πιο μεγάλη θερμοχωρητικότητα αυτό έχει τόσο μεγαλύτερη θερμότητα μπορεί να αποδοθεί υστερα**
- **Ο τοίχος trombe με ανοίγματα αποδίδει για κάποια συγκεκριμένη απόσταση μεταξύ του υαλοπινάκα και του trombe πολύ καλύτερα από τον απλο τοίχο trombe χωρίς ανοίγματα**
- **Ο τοίχος trombe συμφέρει αντί της κατασκευής ενός μονωμένου τοίχου τον χειμώνα αφού εξομαλυνει τις θερμοκρασιακες διακυμανσεις της εξωτερικής θερμοκρασίας και επιφερει σχετική θερμοκή σταθεροτητα και ανεση στον χώρο ιδιαίτερα κατά την διάρκεια της νυχτας που έχουμε μεγάλη εξωτερική θερμοκρασιακή πτωση.**
- **Η θερμότητα η οποία απορροφάει ο τοίχος Trombe από την ηλιακη ακτινοβολία έχει αμεση σχέση με το είδος του υαλινου καλλυματος που βρίσκεται μπροστά από αυτόν και από την ίδια την επιφάνεια του τοίχου.Επιζηταμε γυαλινα καλλυματα που εμποδίζουν να διαφευγουν στο εξωτερικό μεγάλα ποσά θερμότητας με την μορφή ακτινοβολίας(καλλυματα χαμηλης εκπομπης) και ικανα να αφηνουν να περνάει οσο το δυνατόν περισσοτερη προσπιπτουσα ακτινοβολία στον χώρο καθώς και καλύτερη απορροφηση της από σωστή διαμόρφωση της επιφανείας του τοίχου trombe.**
- **Η περιγραφή της ανακυκλοφορίας του τοίχου Trombe με την χρήση της θεωρίας της θερμαινομενης πλακας είναι λιγότερο προσεγγιστικη από αυτήν που δοκιμαστηκε στο 2° μοντέλο με την χρήση ελευθερης συναγωγης στο κενό γιατί λαμβανει σε μικρότερο ποσοστό την επίδραση του κενου και της επιφανείας των ανοιγμάτων.Μπορει όμως να χρησιμοποιηθεί εύκολα για την εξαγωγή συμπερασματος**

4.11. ΘΕΜΑΤΑ ΓΙΑ ΜΕΛΕΤΗ–ΒΕΛΤΙΩΣΗ

Η πολυπλοκοτητα του θεματος και η ουσια της ίδιας αυτής της μελετης ήταν να δει σε 1° σταδιο ουσιαστικά την περιγραφη της λειτουργιας του τοίχου trombe με οσο το δυνατόν πιο προσεγγιστικο τρόπο.Για αυτό και έτσι και αλλιώς αφηνει ένα πλήθος στοιχειων που αξιζει να ερευνηθουν και να μελετηθουν από άλλους και επομενους μελετητες.Καποια από αυτά τα

στοιχεία είναι

- **Η βελτίωση των προηγούμενων μοντελων με καλύτερη επιλογή παραδοχων και μεταβλητων** όπως οι θερμοκρασίες του αέρα στο κενό μεταξύ του υαλοπινακα και του trombe ,η πιο ουσιωδης και λεπτομερης ανάλυση των φαινομενων που διεπουν την ελευθερη συναγωγη στο κενό.
- **Η ενδεχομενη βελτιωση των προηγουμενων μοντελων με άλλες μεθόδους πεπερασμενων διαφορων** καθώς εδώ ακολουθηθηκαν μοντέλα αμεσων μορφων.Μια λύση είναι να χρησιμοποιηθουν συνδυασμενα μοντέλα αμεσων και εμμεσων διαφορων που θα μπορούσαν να προσφερουν γρηγοροτερα και με μεγαλυτερη ακριβεια τα αποτελέσματα
- **Ο συνδυασμος των 2 προηγουμενων θεωριων και μια σωστή αντιμετώπιση τους** .Ο Trombe μπορεί να λειτουργεί σαν θερμαινόμενη πλακα αλλά αυτό δε σημαινει οτι το ανοδικο ρεύμα δεν θερμαίνεται εξίσου από το ρεύμα το οποίο αναπτύσσεται λόγω συναγωγης στο κενό από τις 2 θερμαινομενες επιφάνειες.Οποτε κάποιος μελετητης θα μπορούσε να δει καλύτερα τι συμβαίνει αν συνδυασει αυτές τις θεωριες κάτι που θα οδηγήσει ενδεχομένως σε ακριβοτερα συμπερασματα.
- **Η διερευνηση των διαφορων τοπικων συντελεστων συναγωγης** στο εξωτερικό του τοίχου Trombe και στο εσωτερικό χώρου αφού σε αυτήν μελέτη θεωρηθηκαν με βάση την εμπειρια γνωστοι.
- **Η μελέτη της ιδιομορφιας των ανοιγμάτων και ο ρολος τους συνολικα στις απώλειες** και στην ροή προς τον θερμαινόμενο χώρο.Πρεπει να αναφέρουμε ότι στην συγκεκριμένη μελέτη θεωρηθηκαν ορθογωνικα εμβαδα που μας οδηγησαν σε συγκεκριμενους συντελεστές απωλειών.Ειναι σημαντικό να τεθεί θεμα εξαρτησης της θερμοκρασίας του χώρου από κάποια διαφορετικοτητα κάθε φορά στις συνθήκες εισροής σε διαφορετικου είδους διατομες.
- **Η βελτιωση των ηδη υπαρχουσων μοντελων με την συμμετοχή της θερμότητας στον χώρο μέσω ακτινοβολίας.**Εδω έχει θεωρηθεί ότι πρακτικά στον χώρο η θερμότητα μεταφέρεται με συναγωγη στον χώρο και από τα ανοίγματα με μεταφορά μάζας
- **Η πιο λογικη επίδραση της ηλιακης ακτινοβολίας με εξαρτηση της από την γωνία προσπτωσης** και σε συνάρτηση με την απόσταση του τοίχου trombe από τον υαλοπινακα.Επιπλεον είναι σημαντικό να προστεθει μεσα στην διαδικασία η χρήση σκιαστρον και στεγαστρον που περιοριζουν την ηλιακη ακτινοβολία.

- **Η χρήση υλικών αλλαγής φάσης και η συμπεριφορά τους** ως στοιχεία του τοίχου trombe –ξεχωριστό κεφάλαιο θα μπορούσε να αποτελέσει η χρήση του νερού ως υλικού θερμικής αποθήκευσης
- **Η σύγκριση πειραματικών δεδομένων με τις ήδη ανεπτυγμένες θεωρίες** και τα παραπάνω μοντέλα και η αξιολόγηση τους με την μελέτη ομοίων μικροτερής κλιμακας μοντέλα.
- **Η καλύτερη και σε βάθος αξιολόγηση των συνολικών απωλειών πίεσης** που υπάρχουν όχι μόνο στο κενό κατά τη διέλευση του ρευστού αλλά και στα ίδια τα ανοίγματα κατά μήκος
- **Η ενδεχομενη εξαρτηση της θερμικής συμπεριφοράς του συστήματος από τον λογο (H/δ)** όπου H:το ύψος του trombe άρα και του κενου και το δ: το μήκος του κενου ,βεβαια κάτι τέτοιο θα επρεπε να γινει σε συνάρτηση και με αλλά κυριαρχα μεγέθη
- **Η αναζητηση βελτιστων τιμών για διαφορους παραμετρους** του συστήματος όπως το εμβαδο του ανοιγματος η και η χρήση μονωσεων στο σύστημα.
- **προτεινεται επισης η μελέτη του τοίχου trombe σαν μεγάλου επιπεδου ηλιακού συλλέκτη** αφού στην λειτουργία αυτή εναποκειται η ίδια η λειτουργία του τοίχου ως προς την απορροφηση ηλιακης ακτινοβολιας

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Σε αυτό το σημείο ουσιαστικά τελειώνει αυτή η μελέτη .**Κυριο στοχο είχε να εκθεσει κάποιες βασικές αρχες των παθητικων ηλιακων συστηματος** και την αποδοτικη χρήση τους για το μελλον και σε ένα 2^ο σκελος ειδικά να εκφράσει με μια μεθοδολογια πεπερασμενων διαφορων τις βασικές λειτουργιες του βελτιωμενου τοίχου trombe με ανοίγματα με τρόπο τέτοιο απλο ως προς τον αναγνωστη **ώστε να μπορεί να συμπερανει ουσιαστικά** για την ορθή χρήση του. Οντως διαπιστωθηκε η θερμική ανεση που προσφέρει τα χρονικά διαστήματα που χρειάζεται και

η εξομαλυνση μεγάλων εξωτερικών θερμοκρασιακών διαφορών .

Επίσης διαπιστώθηκε η ουσία χρήσης του σε σχέση με ένα κοινό μονωμένο τοίχο. Η μελέτη υπηρξε προσεγγιστική όσο το επέτρεψαν οι εκάστοτε παραδοχές που έγιναν αλλά επιδεχεται βελτίωση και ανανεωμένες θεωρίες που μπορούν να συμβαλλουν. Στο τέλος όμως αποδεικνύεται τουλάχιστον θεωρητικά και με μοντέλα εξομίωσης η αξία τέτοιων συστημάτων σε μια εποχή που ήδη έχει χαρακτηριστεί κρίσιμη για την ενεργειακή κατάσταση της Ελλάδος στην δεδομένη αλήθεια ότι η έντονη ηλιοφάνεια της σε σχέση με **άλλες χώρες-καταναλωτές** ενέργειας προσφέρεται για την χρήση τέτοιων συστημάτων. Είδη στην Ελλάδα έχουν γίνει προτυπικές κατασκευές με χρήση τέτοιων συστημάτων όπως trombe . Χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων κατασκευών είναι

α) Σχολείο στην Ανδρο

Χρησιμοποιήθηκαν –παθητικά ηλιακά συστήματα

-αμέσου ηλιακού κέρδους

-Τοίχος trombe

Αποτελεσματικότητα

71.6% εξοικονομηση θερμοτητας την περιοδο θερμανσης

68.6% μειωση θερμικου φορτιου απο λειτουργια trombe

διατήρηση θερμοκρασίας χώρου πάνω από 17° C κατά την περίοδο θέρμανσης

β) Σχολείο στο Ρεθυμνο

Χρησιμοποιήθηκαν –παθητικά ηλιακά συστήματα

-αμέσου κέρδους

-θερμοκηπία

Αποτελεσματικότητα

ηλιακα κερδη 63% των θερμικών κερδών

διατήρηση θερμοκρασίας χώρου πάνω από 20° C κατά την περίοδο θέρμανσης

Μπορεί κάποιος να βρει και αλλά τέτοια οικοδομήματα με παρομοία χαρακτηριστικά αποτελεσματικότητας. Πάντως σε κάποια περίπτωση **τα παθητικά ηλιακά συστήματα δεν αποτελούν πρωτογενές μέτρο** για την αντιμετώπιση προβλημάτων θερμικής άνεσης. Οι γρήγορες μεταβολές του καιρού και η ασταθία του σε σχέση με την ηλιοφάνεια μας οδηγούν στην έννοια του βοηθητικού μέτρου για την μείωση των θερμικών αναγκών παρότι όταν εξασφαλίζεται μεγάλη ηλιοφάνεια όπως είδαμε οι ανάγκες ικανοποιούνται από τέτοια συστήματα σε ικανοποιητικό βαθμό. **Βεβαίως καταλαμβάνει κανείς** από όσα έχουν ειπωθεί ότι τέτοια συστήματα αποτελούν αποτελέσματα μακροχρονίων πειραματισμών και υπολογισμών και έπειτα σχεδίασης. Η ορθή κατασκευή τους πάντα σε συνάρτηση με την καλή συμπεριφορά ως προς το περιβάλλον πρέπει να αποτελεί βασικό κριτήριο για την χρήση τους καθώς και με το κόστος ότι αυτό σημαίνει για τον καταναλωτή.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1)ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ- (Έκδοση:ΚΛΕΙΔΑΡΙΘΜΟΣ, Συγγραφείας Ξενοφών κ.Κακατσίος Αναπληρωτής καθηγητής Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου

2)ΘΕΡΜΙΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ(Μέρος Ι)-(Συγγραφείας Κίμωνας Α.Αντωνοπούλος καθηγητής Ε.Μ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ

3)ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ(Μέρος Ι)-)-(Συγγραφείας Κίμωνας Α.Αντωνοπούλος καθηγητής Ε.Μ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ

4)ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ-(Συγγραφείας Κίμωνας Α.Αντωνοπούλος καθηγητής Ε.Μ.ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ

5)ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΡΕΥΣΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗ(Εκδοση:ΣΥΜΜΕΩΝ,
Συγγραφείας Γ.Μπεργελες καθηγητης Ε.Μ.Π

6)ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΙ ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-
(pdf)(Συγγραφείας Νιοβη Ν. Χρυσομαλλιδου Αναπληρωτρια Καθηγητρια Πολιτικων μηχανικων
Θεσσαλονικης)

7)ΑΓΟΡΑ ΗΛΙΟΘΕΡΜΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ(pdf)(Ενωση Βιομηχανιων Ηλιακης Ενεργείας)

8)ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ(pdf)(Συγγραφείας Μιχαλης
Κτενιαδακης Επικουρος καθηγητης ΤΕΙ Ηρακλειου)

9)ΗΛΙΑΚΑ ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΚΤΙΡΙΑ(pdf)(Συγγραφείας M.S Soda,N.K.Bansal-Ινστιτουτο
Τεχνολογιας Ινδιας

10)ΜΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΑΝΑΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ ΗΛΙΑΚΗ
ΚΑΜΙΝΑΝΑ(pdf ΜΑΙΟΣ 2001)-(Συγγραφείας Scott Spencer καθηγητης Πολιτικων μηχανικων
Πανεπιστημιο Concordia Canada

11)ΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΓΙΑ ΒΕΛΤΙΩΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΔΟΜΙΚΩΝ
ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ(pdf)-(Συγγραφείας Ειρηνη Π.Κορωνακη Δρ.Μηχανολογος Μηχανικός ΕΜΠ ,
Ευγενια Λαζαρη Αρχιτεκτων Μ.Α.ARCH Υπεύθυνη τμηματων κτιριων –Κ.Α.Π.Ε)

12)ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΑΠΟ ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (pdf)-(Συγγραφείας Steve
Eckoff ,Martin okkos τμήμα μηχανικων Περιβαλλοντικης Μηχανικης Πανεπιστημιο Purdue

13)ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΚΡΙΣΙΜΗΣ ΑΝΑΛΟΓΙΑΣ ΤΩΝ
ΥΑΛΟΣΤΑΣΙΩΝ ΣΤΟ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΠΕΡΙΒΛΗΜΑ ΤΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ(pdf)-(Συγγραφείας Κ.Ι
Κοντολεων ,Δ.Κ Μπικας τμήμα Πολιτικων Μηχανικων Α.Π.Θ)

14)ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΣΥΝΑΓΩΓΗ ΣΕ ΚΕΝΟ ΧΩΡΟ(pdf)-
(Συγγραφείας Francesco Devia ,Mario Misale,Giovanni Tanda τμήμα Θερμοενεργητικης
Πανεπιστημιο Γενοβα)

15)ΗΛΙΑΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ(ppt)-(Συγγραφείας Tom Murphy τμήμα Πολιτικων Μηχανικων
Πανεπιστημιο California)

16)ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΗΛΙΑΚΩΝ ΠΑΘΗΤΙΚΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΗ ΜΑΖΑ(pdf)-
(Συγγραφείας Stefan Fortuin)

17)ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ(pdf-Ιανουαριος 2001)-(Συγγραφείας ,
Ευγενια Λαζαρη Αρχιτεκτων Μ.Α.ARCH Υπεύθυνη τμηματων κτιριων –Κ.Α.Π.Ε)

18)ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ(pdf)-(Συγγραφέας Γκαγκας Γεώργιος Περιφερειακό Ενεργειακό Κέντρο Θεσσαλίας)

19)ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ VAN GEET OFF –GRID ΚΤΙΡΙΟΥ (pdf-conference paper Ιανουάριος 2003)-(Συγγραφείς C.D Barkley,P.Tortellini,O.Van Geet-Εθνικό εργαστήριο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας Colorado)

20)ΕΝΑ ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΤΟΙΧΟΥΣ ΤΡΟΜΒΕ(pdf-Διεθνές Συνεδριο Παθητικής Αρχιτεκτονικής Μάιος 2005 Σαντορίνη)-(Συγγραφείς A.Ruiz ,J.M Salmeron,F.Shanchez,R.Gonzalez,S.Alvarez Διπλ.Μηχανικοί τμήμα Θερμοτεχνίας Θερμικής Συμπεριφοράς Κτιριών Σεβίλη Ισπανία)

21)ΜΕΤΡΗΣΗ ΚΑΙ ΕΞΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕ ΑΝΑΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΑΕΡΑ(pdf)-(Συγγραφείς Shuho Takase,Toshiyuki Watanabe – Πανεπιστήμιο Kyushou,Πανεπιστήμιο Kitakyushou Ιαπωνία)

22)ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΤΗΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ(pdf)-(Συγγραφέας Ars Becker Πανεπιστήμιο California)

23)ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΤΟΙΧΟ ΜΑΖΑΣ(pdf)-(Συγγραφείς Stanko VI.Shtrakov- Ecothermengineering Ltd Sofia Βουλγαρία)

24)ΕΠΙΛΟΓΕΣ ΠΑΘΗΤΙΚΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΓΙΑ ΤΑ ΣΠΙΤΙΑ ΤΗΣ ΒΟΡΕΙΑΣ ΚΑΡΟΛΙΝΑΣ(pdf,Ιανουάριος 2002)-(Εκδοση Κέντρου Πληροφοριών Ηλιακής ενέργειας Βόρειας Καρολίνας)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Στο παραρτήμα αναπτύσσονται και εξηγούνται λεπτομερώς τα προγράμματα που δημιουργήθηκαν για να λύσουν χρονικά τις πλαισιωμένες εξισώσεις για κάθε μοντέλο παραπάνω. Τα προγράμματα δημιουργήθηκαν με το μαθηματικό προαγγραμμά MATLAB αλλά μπορεί με ευκολία να κατασκευαστεί σε οποιαδήποτε άλλη μαθηματική και υπολογιστική γλώσσα

A)ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΡΟΜΒΕ ΣΑΝ ΘΕΡΜΑΙΝΟΜΕΝΗ ΠΛΑΚΑ **trombemod1.mat**

clc

clear all

close all

Tis1=[8.6 8.5 8.3 8.1 7.7 7.3 7 6.9 7.1 16 23.3 28.2 31.5 33.2 33.2 31.3 27.4 20.6 11.5 10.8 10.1 9.5 9 8.8]; →πίνακας με τις Τηλ-αερος για τις 24 ώρες τις ημερας για μια δεδομένη ημέρα του χρόνου εδώ θεωρείται 21^η Ιανουαριου για επιφάνεια τοίχου ho/a=38 W/m² C

```

for i=1:24 → με βάση τις τιμές του προηγούμενου πίνακα γεμίζουμε διαδοχικά έναν καινούριο πίνακα που περιλαμβάνει το πλήθος των 24ωρων που θέλουμε(εδώ 3 24ωρα =72 ώρες)
Tis(i)=Tis1(i);
Tis(24+i)=Tis1(i);
Tis(48+i)=Tis1(i);
end

```

με την εντολή **disp** και την έκφραση **μεσα** ο ενδιαφερόμενος καλείται να δώσει εξωτερικά τους παραμέτρους του συστήματος

```
disp('dose mikow gialiou(m)');
```

```
lg=input(' '); → πάχος γυαλιού(σε m)
```

```
disp('dose arithmo komvon gialiou');
```

```
ng=input(' '); →αριθμός κομβών γυαλιού
```

```
wg=3; →θεωρούμε γνωστά το ύψους του υαλοπινακα και το πλάτος του (σε m)
```

```
hg=3;
```

```
disp('dose apostasi ialopinaka-trombe(se m)'); → απόσταση υαλοπινακα-trombe τοίχου(σε m)
```

```
ap=input(' '); → απόσταση υαλοπινακα-trombe τοίχου(σε m)
```

```
dxg=lg/(ng-1); → υπολογίζεται το δχ του υαλοπινακα
```

```
disp('dose exoteriko syntelesti synagogis');
```

hout=input(' '); → συντελεστής συναγωγής μεταξύ του περιβαλλοντος και του υαλοπινακα καλούμαστε να τον δώσουμε αν και πιο ακριβής χρήση του προϋποθετεί υπολογισμό του

kg=1.4; → θεωρούνται γνωστά ο συντελεστής αγωγής,η πυκνότητα και η θερμοχωρητικότητα του υαλοπινακα(εδώ θεωρούμε απλο γυαλι)

```
rg=2500;
```

```
cg=750;
```

```
disp('dose syntelesti sinagogis gyaliou kenou');
```

hin1=input(' '); → δίνουμε τον θεωρούμενο συντελεστη συναγωγής στον χώρο μεταξύ της θερμοκρασίας του υαλοπινακα(εσωτερική επιφάνεια-θερμοκρασία κενου εξαιτίας της θερμότητας που αποθηκεύεται μεσα στοκενο και πάλι θα ήταν περισσότερο χρησιμο να υπολογίζεται

```
disp('dose syntelesti sinagogis kenou-trombe');
```

hin2=input(' '); → δίνουμε τον θεωρούμενο συντελεστη συναγωγής στον χώρο μεταξύ της θερμοκρασίας του κενου εξαιτίας της θερμότητας που αποθηκεύεται μεσα στοκενο και της επιφανείας του τοίχου trombe και πάλι θα ήταν περισσότερο χρησιμο να υπολογίζεται

kw=1.4; → θεωρούμε γνωστά τα στοιχεία του υλικού του τοίχου trombe(συντελεστής αγωγής ,πυκνότητα,θερμοχωρητικότητα (εδώ τσιμεντο)

```
rw=2300;
```

```
cw=900;
```



```
disp('dose paxos toixou trombe');
```

lw=input(' '); → δίνουμε εξωτερικά κάθε φορά το πάχος του trombe (σε m)

```
disp('dose arithmo komvon trombe');
```

n=input(' '); → δίνουμε εξωτερικά κάθε φορά τον αριθμό κομβών του τοίχου (σε m)

```
disp('dose sintelesti synagogis trombe-esoterikou xorou');
```

hes=input(' '); → δίνουμε τον θεωρούμενο συντελεστή συναγωγής στον χώρο μεταξύ της θερμοκρασίας του χώρου εξαιτίας της θερμότητας που αποθηκεύεται μέσα στον χώρο και της εσωτερικής επιφάνειας του τοίχου trombe

και πάλι θα ήταν περισσότερο χρήσιμο να υπολογίζεται

lx=3; → θεωρούμε γνωστό το μήκος του εσωτερικού προς θέρμανση χώρου σε m εδώ 3 m

```
disp('dose theoroymeno pososto % poy kalyptei h epifaneia tou anoigma sto toixo');
```

pn=input(' '); → δίνουμε εξωτερικά κάθε φορά το ποσοστό της επιφάνειας του τοίχου που θεωρούμε ότι καλύπτει κάθε άνοιγμα (θεωρούμε ότι πάνω και κάτω άνοιγμα έχουν ίσες επιφάνειες)

```
disp('dose adiastrato arithmo prandtl gia tin roi tis kykloforias aera');
```

PR=input(' '); → δίνουμε εξωτερικά κάθε φορά τον αριθμό prandtl που κυριαρχεί στην πλακά

```
disp('dose adiastrato arithmo GRASHOF gia tin roi tis kykloforias aera');
```

GR=input(' '); → δίνουμε εξωτερικά κάθε φορά τον αριθμό grashoff της ροής πάνω στην πλακά

διαδικασία υπολογισμού μεγεθών πάνω στην θερμαινόμενη πλακά-τοίχο trombe

οι πράξεις γίνονται κατά σειρά όπως έχει περιγραφεί στην θεωρία και θα ήταν καλό να μην αλλάξει κανείς τίποτα και να αφησει αυτό το μέρος του κώδικα όσο έχει

```
d=0.5;
```

```
xn1=100;
```

```
L=1;
```

```
yn1=xn1;
```

```
dx1=1/(xn1-1);
```

```
dy1=11*dx1;
```

```
y(1)=0;
```

```
for K=2:yn1
```

```
    y(K)=y(K-1)+dy1;
```

```
end
```

```
Y=y/L;
```

```
%oriakes synthikes
```

```
for J=1
```

```
for K=1:yn1
```

```
    U(J,K)=0;
```

```
    V(J,K)=0;
```

```
    T(J,K)=0;
```

```
end
```

```
end
```

```
for J=2
```

```

for K=2:xn1
U(J,K)=0;
V(J,K)=0;
T(J,K)=0;
end
end

```

```

for K=1
for J=2:yn1
U(J,K)=0;
V(J,K)=0;
T(J,K)=1;
end
end

```

```

for K=xn1
for J=3:yn1

U(J,K+1)=0;
T(J,K+1)=0;
end
end

```

%epilisi eksisoseon

```

for J=2:xn1-1
for K=2:yn1
A1(J,K)=(U(J,K)/(2*dx1))+(1/(dy1^2));
A2(J,K)= (U(J,K)/(2*dx1))-(1/(dy1^2));
A3(J,K)=(1/(dy1^2))-(V(J,K)/(2*dy1));
A4(J,K)=(1/(dy1^2))+(V(J,K)/(2*dy1));
T1(J,K)=(U(J,K)/(2*dx1))+(1/(PR*dy1^2));
T2(J,K)=(1/(PR*dy1^2))-(V(J,K)/(2*dy1));
T3(J,K)=(U(J,K)/(2*dx1))-(1/(PR*dy1^2));
T4(J,K)=(1/(PR*dy1^2))+(V(J,K)/(2*dy1));

U(J+1,K)=(1/A1(J,K))*(U(J-1,K)*A2(J,K)+U(J,K+1)*A3(J,K)+U(J,K-
1)*A4(J,K)+T(J,K));
V(J,K+1)=V(J,K-1)+(U(J-1,K)-U(J+1,K))*(dy1/dx1);
T(J+1,K)=(1/T1(J,K))*(T(J,K+1)*T2(J,K)+T(J-1,K)*T3(J,K)+T(J,K-1)*T4(J,K));
end
V(J+1,2)=V(J+1,1)+(4*U(J,2)-3*U(J+1,2)-U(J-1,2))*(dy1/(2*dx1));
end

```

T(99,2); → υπολογίζουμε την θερμοκρασία στα σημεία του χώρου κοντά στην πλακα trombe όπως περιγραφηκε στην θεωρία (με την ίδια λογικη και τον τρόπο διαχωρισμου του χώρου όπως εχει αναλυθει μπορεί κάποιος να υπολογισει τα μεγεθη σε οποίο σημείο θελει
T(2,2);

τέλος διαδικασίας υπολογισμού για την πλακα

$dxw=lw/(n-1)$; → υπολογισμος δx του τοίχου trombe

$ag=kg/(rg*cg)$; → θερμοκρασιακή αγωγιμοτητα του υαλοπινακα

$aw=kw/(rw*cw)$; → θερμοκρασιακή αγωγιμοτητα του τοίχου trombe

διαδικασία ευρεσης βέλτιστης τιμής dt για τις μορφες πεπερασμενων διαφορών με την αμεση μέθοδο

$g1=(dxg^2)/(ag)$;

$g2=(dxw^2)/(aw)$;

$N1=(hout*dxg/kg)$; → υπολογισμος συντελεστή $N1$ για τον υαλοπινακα όπως εχει εκφρασθει για τον συντελεστή συναγωγης μεταξύ του υαλοπινακα-περιβάλλον

$N2=(hin1*dxg/kg)$; → υπολογισμος συντελεστή $N2$ για τον υαλοπινακα όπως εχει εκφρασθει για τον συντελεστή συναγωγης μεταξύ του υαλοπινακα-κενου

$N3=(hin2*dxw/kw)$; → υπολογισμος συντελεστή $N3$ για τον τοίχο trombe όπως εχει εκφρασθει για τον συντελεστή συναγωγης μεταξύ του κενου-trombe

$N4=(hes*dxw/kw)$; → υπολογισμος συντελεστή $N4$ για τον τοίχο trombe όπως εχει εκφρασθει για τον συντελεστή συναγωγης μεταξύ του trombe-εσωτερικου χωρου

$m1=2*(N1+1)$; → υπολογισμος συντελεστή $2(N+1)$ για του τεσσερις διαφορετικους συντελεστές συναγωγης

$m2=2*(N2+1)$;

$m3=2*(N3+1)$;

$m4=2*(N4+1)$;

$dt1=g1/m1$; → υπολογισμος dt με βάση το κριτηριο περί λογικης τιμής του dt και την συναγωγή μεταξύ περιβάλλον και υαλοπινακα

$dt2=(dxg^2)/(2*ag)$; → υπολογισμος dt με βάση το κριτηριο περί λογικης τιμής του dt και την αγωγή κατά μήκος του υαλοπινακα

$dt3=g1/m2$; → υπολογισμος dt με βάση το κριτηριο περί λογικης τιμής του dt και την συναγωγή μεταξύ του υαλοπινακα και της θερμοκρασίας του αέρα του κενου

$dt4=g2/m3$; → υπολογισμος dt με βάση το κριτηριο περί λογικης τιμής του dt και την συναγωγή μεταξύ του τοιχου trombe και της θερμοκρασίας του αέρα του κενου

$dt5=(dxw^2)/(2*aw)$; → υπολογισμος dt με βάση το κριτηριο περί λογικης τιμής του dt και την αγωγή κατά μήκος του τοίχου trombe

$dt6=g2/m4$; → υπολογισμος dt με βάση το κριτηριο περί λογικης τιμής του dt και την συναγωγή μεταξύ του τοιχου trombe και της θερμοκρασίας του αέρα στον θερμαινόμενο χωρο

$dtx=[dt1 dt2 dt3 dt4 dt5 dt6]$; → συγκεντρωνουμε τις υπολογιζομενες τιμές σε πινακα

$dt=\min(dtx)$; → υπολογίζεται η ελάχιστη τιμή του dt από τις προηγουμενες

$M1=(dxg^2)/(ag*dt)$; → υπολογίζουμε τους συντελεστές $M1, M2$ των εξισώσεων περί αγωγής θερμότητας μεσα στον υαλοπινακα και από κάτω μεσα στον τοίχο trombe
 $M2=(dxw^2)/(aw*dt)$;

$Vk=hg*wg*ap$; → υπολογισμος ογκου κενου(ύψος υαλοπινακα x πλάτος x απόσταση μεταξύ υαλοπινακα-trombe (m^3))

$rair=1.4$; → θεωρουνται γνωστά οι ιδιότητες του αέρα(πυκνότητα ,θερμοχωρητικοτα στους 300 K) μια και περιμενεται να μην εχουν μεγάλη απόκλιση οι τιμές των θερμοκρασιών από αυτή την τιμή-θα ηταν βεβαια πιο ακριβεις να θεωρουσαμε τα μεγέθη συναρτησεις της θερμοκρασιας
 $cair=1004$;

$rvck=rair*Vk*cair/dt$; → δεικτης που περιλαμβανει τον όγκο του κενου και το dt
 $Atrombe=wg*hg$; → υπολογισμος Εμβαδου επιφανείας τοιχου(θεωρούμε ότι περιλαμβανει και τα ανοίγματα)

$Anoi=(pn/100)*Atrombe$ → υπολογισμός εμβαδου ανοιγματος

$rvchk1=rvck+hin1*Atrombe$;
 $rvchk2=rvck+hin1*Atrombe+hin2*Anoi$;

$Vx=Atrombe*lx$; → υπολογισμός ογκου θερμαινομενου χώρου(m^3)

$rvcx=rair*Vx*cair/dt$; → υπολογισμός συνολικων μεγεθών που χρειάζονται για τις εξισώσεις λυνοντας ως προς τις ενδιαφερομενες θερμοκρασίες (δες περιγραφομενες εξισώσεις)
 $ktot=(rair*Vx*cair/dt)+(hes*Atrombe)$;
 $kt1=(hes*(Atrombe-(2*Anoi)))+(hes*Anoi)+(rair*Vx*cair/dt)$;
 $kt2=(rair*Vx*cair/dt)+(hes*(Atrombe-(2*Anoi)))$;

κατανομή των ισοδυναμων θερμοκρασιών Τηλ-αερος ανάλογα με τον dt

Τιθεται ανάγκη λόγω του υπολογίζουμενου dt να βρούμε ποτε αλλάζει η εξωτερική θερμοκρασία αφού θεωρούμε ότι κατά την διάρκεια της μιας ώρας η θερμοκρασία κρατιεται σταθερή και αλλάζει όταν περναμε σε άλλη ώρα
Ο παρακάτω μικρότερος κωδικας κατανεμει για το διάστημα των 72 ωρων τις θερμοκρασίες σε διαφορετικές ώρες αλλά με τέτοιο τρόπο ώστε όταν η συνεχομενη προσθεση του dt περασει την μια ώρα να αλλαζουμε στην επομενη θερμοκρασία μέχρι να φτασουμε τις 72 ωρες

$t=0$; → ο χρόνος t αρχίζει από το 0

$dk=0$; → ο μετρητης χρονικων στιγμων αρχίζει από το 0

$v=1$; → οι χρονικές στιγμές αρχιζουν από 1

$i=1$; → ο δεικτης i αρχίζει από 1

$TAF(1)=Tis(1)$; → Η 1^η τιμή της TAF ισούται με την 1^η του πίνακα των εξωτερικών θερμοκρασιών για τις 72 ώρες

while $dk < (72*3600)$ → ο μετρητης dk αρχίζει από το 0 .Απο τη στιγμή που ο $dk < 72x3600$ (συνολικα δευτερολεπτα στις 72 ώρες) τοτε

$t=t+dt$; → ο αρχικος μηδενικος χρόνος αυξάνεται κατά dt

`if (t>3600)` → αν ο χρόνος t ξεπεράσει τα 3600 s (δηλαδή την διάρκεια της μιας ώρας) τότε
`t=0;` → ο χρόνος t ξαναγίνεται μηδενικός
`x(i)=v-1;` → το μέγεθος $x(i)$ παίρνει την προηγούμενη τιμή της χρονικής μεταβλητής v
`i=i+1;` → παράλληλα ο δείκτης i αυξάνεται κατά 1
`end`

`TAF(v)=Tis(i);` → Η θερμοκρασία κάθε χρονική στιγμή θα περνεί την αντίστοιχη τιμή της εξωτερικής θερμοκρασίας μέχρι να αλλάξει η ώρα οπότε θα αλλάξει και η τιμή της θερμοκρασίας

`dk=dk+dt;` → παράλληλα ο μετρητής dk συνεχίζει να αυξάνεται μέχρι να φτάσει το πόσο που του έχουμε επιβάλει
`v=v+1;` → παράλληλα οι χρονικές στιγμές αυξανονται ανεξάρτητα τι κάνει το σύστημα μέχρι ο μετρητής dk εκπληρώσει το σκοπό του
`end`

`Tx(1)=12;` → Η θερμοκρασία του χώρου την 1^η χρονική στιγμή θεωρείται ίση με 12° C
`%glass`

`for i=1:ng` → από το 1^ο σημείο του υαλοπινάκα μέχρι το τελευταίο κατά μήκος του πάχους τους την 1^η χρονική στιγμή η θερμοκρασία του υαλοπινάκα θεωρείται ίση επίσης με 12° C
`Tg(1,i)=12;`
`end`

`for i=1:n` → από το 1^ο σημείο του τοίχου *trombe* μέχρι το τελευταίο κατά μήκος του πάχους του την 1^η χρονική στιγμή η θερμοκρασία του τοίχου θεωρείται ίση επίσης με 12° C
`Tr(1,i)=12;`
`end`

`Tk(1)=12;` → την 1^η χρονική στιγμή η θερμοκρασία του αέρα του κενού είναι ίση με 12° C

`for v=2:(x(1)*8)` → από την 2^η χρονική στιγμή μέχρι την χρονική στιγμή που ορίζεται στις 8 το πρωί
`for i=2:ng-1` → υπολογίζεται για κάθε χρονική στιγμή η θερμοκρασία σε κάθε εσωτερικό κομβό κατά μήκος του υαλοπινάκα

`Tg(v,i)=(1/M1)*(Tg(v-1,i-1)+Tg(v-1,i+1))+(1-(2/M1))*Tg(v-1,i);`
`end`

`Tg(v,1)=((2/M1)*((N1*TAF(v-1))+Tg(v-1,2)))+(1-(2/M1)-(2*N1/M1))*Tg(v-1,1);`

→ υπολογίζεται για κάθε χρονική στιγμή η θερμοκρασία στο 1^ο σημείο του υαλοπινάκα και αντίστοιχα η θερμοκρασία του αέρα στο κενό

`Tg(v,ng)=((2/M1)*((N2*Tk(v-1))+Tg(v-1,ng-1)))+(1-(2/M1)-(2*N2/M1))*Tg(v-1,ng);`

`Tk(v)=(1/rvchk1)*((hin1*Atombe*Tg(v,ng))+(rvck*Tk(v-1)));`

`%trombe`

`for i=2:n-1` → υπολογίζεται για κάθε χρονική στιγμή η θερμοκρασία σε κάθε εσωτερικό κομβό του τοίχου

`Tr(v,i)=(1/M2)*(Tr(v-1,i-1)+Tr(v-1,i+1))+(1-(2/M2))*Tr(v-1,i);`

`end`

`Tr(v,1)=((2/M2)*((N3*Tk(v-1))+Tr(v-1,2)))+(1-(2/M2)-(2*N3/M2))*Tr(v-1,1);`

→ υπολογίζεται για κάθε χρονική στιγμή η θερμοκρασία στο 1^ο σημείο του υαλοπινάκα και αντίστοιχα η θερμοκρασία στο τελευταίο κομβό που συνδέεται με τον θερμαινόμενο χώρο

$$\text{Tr}(v,n) = ((2/M2) * ((N4 * T_x(v-1)) + \text{Tr}(v-1,n-1))) + (1 - (2/M2) - (2 * N4/M2)) * \text{Tr}(v-1,n);$$

$$T_x(v) = ((\text{hes} * \text{Atrombe} / (\text{rvcx} + \text{hes} * \text{Atrombe})) * \text{Tr}(v,n)) + ((\text{rvcx} / (\text{rvcx} + (\text{hes} * \text{Atrombe}))) * T_x(v-1));$$

→ υπολογίζεται για κάθε χρονική στιγμή η θερμοκρασία στο στον εσωτερικό χώρο αμεσώς μετά τον τοίχο trombe και θεωρείται ότι ανταπκρινεται για όλο τον σωτερικό χώρο

end

for v=(x(1)*8)+1:(x(1)*18) → από την χρονική στιγμή στις 8 το πρωί μέχρι την χρονική στιγμή που ορίζεται στις 6 το απογευμα δεδομένου ότι θεωρούμε ότι η ανακυκλοφορία του αέρα συμβαίνει σε αυτό το διάστημα γίνονται πάλι οι ίδιες διαδικασίες ως προς τον τρόπο υπολογισμού των θερμοκρασιών του υαλοπινάκα και του χώρου του κενού και του trombe

for i=2:ng-1

$$T_g(v,i) = (1/M1) * (T_g(v-1,i-1) + T_g(v-1,i+1)) + (1 - (2/M1)) * T_g(v-1,i);$$

end

$$T_g(v,1) = ((2/M1) * ((N1 * T_{AF}(v-1)) + T_g(v-1,2))) + (1 - (2/M1) - (2 * N1/M1)) * T_g(v-1,1);$$

$$T_g(v,ng) = ((2/M1) * ((N2 * T_k(v-1)) + T_g(v-1,ng-1))) + (1 - (2/M1) - (2 * N2/M1)) * T_g(v-1,ng);$$

$$T_k(v) = (1/\text{rvchk1}) * ((\text{hin1} * \text{Atrombe} * T_g(v,ng)) + (\text{rvck} * T_k(v-1)));$$

%trombe

for i=2:n-1

$$\text{Tr}(v,i) = (1/M2) * (\text{Tr}(v-1,i-1) + \text{Tr}(v-1,i+1)) + (1 - (2/M2)) * \text{Tr}(v-1,i);$$

end

$$\text{Tr}(v,1) = ((2/M2) * ((N3 * T_k(v-1)) + \text{Tr}(v-1,2))) + (1 - (2/M2) - (2 * N3/M2)) * \text{Tr}(v-1,1);$$

$$\text{Tr}(v,n) = ((2/M2) * ((N4 * T_x(v-1)) + \text{Tr}(v-1,n-1))) + (1 - (2/M2) - (2 * N4/M2)) * \text{Tr}(v-1,n);$$

$\text{tanoi}(v) = T_x(v-2) + (\text{Tr}(v,1) - T_x(v-2)) * T(99,2)$; → υπολογίζεται για κάθε χρονική στιγμή σε αυτό το διάστημα η θερμοκρασία του αέρα στο πάνω άνοιγμα όπως έχουμε εξηγήσει στην θεωρία

$T_f(v) = (273 + T_x(v-2) + 273 + \text{Tr}(v,1)) / 2$; → βρισκουμε μέση θερμοκρασία ανάμεσα στην θερμοκρασία του αέρα που ανεβαίνει από το κάτω άνοιγμα για να θερμανθεί και την θερμοκρασία της επιφανείας του τοίχου trombe (την εκφραζουμε σε K)

$\text{bf}(v) = 1 / T_f(v)$; → υπολογίζεται η ισοθλιπτή διαστολικότητα στην προηγούμενη μέση θερμοκρασία

$$\text{vf}(v) = \sqrt{((9.81 * \text{bf}(v) * (\text{Tr}(v,1) - T_x(v-2)) * (2.8^3)) / \text{GR})};$$

→ υπολογίζεται με δεδομένο τον grashoff η ταχύτητα v κοντά στην πλακα

$$\text{uf} = U(99,2) * \text{vf}(v) * \text{GR} / 2.8; \rightarrow \text{υπολογίζεται η ταχύτητα } U_f \text{ στο πάνω άνοιγμα}$$

$$\text{ma} = \text{rair} * \text{Anoi} * \text{uf}; \rightarrow \text{υπολογίζεται η παροχή μάζας αέρα στο πάνω κενό}$$

$kto = rvcx + (ma * cair) + (hes * (Atrombe - (2 * Anoi)))$; → υπολογίζεται ο συντελεστής kto που εξάγεται από τις εξισώσεις με βάση την μεταδοση θερμότητας στον χώρο και από τον τοίχο αλλά και από την διοχετευση μάζας αέρα από το πάνω ανοιγμα

$if (Tx(v-2) < Tr(v,1))$ → Η ανακυκλοφορία αέρα έχει νοημα μόνο όταν η θερμοκρασία του αέρα που εξέρχεται από τον θερμαινόμενο χώρο είναι μικρότερη από την θερμοκρασία της επιφανείας του trombe αλλιώς δεν θα εδινε θερμότητα ο τοιχος στο ανοδικο ρεύμα τότε ηθερμοκρασια του χώρου λόγω της θερμοτητας που αποθηκεύεται στον χώρο θα είναι

$Tx(v) = ((ma * cair / kto) * tanoi(v)) + ((hes * (Atrombe - (2 * Anoi)) / kto) * Tr(v,n)) + (rvcx * Tx(v-1) / kto)$;
else → αλλιώς θεωρούμε πολύ απλά στο δεν υπάρχει ανακυκλοφορία άρα και μόνο ο τοιχος trombe συμμετέχει στην διαμορφωση της θερμοκρασίας του χώρου

$Tx(v) = ((hes * Atrombe / (rvcx + hes * Atrombe)) * Tr(v,n)) + ((rvcx / (rvcx + (hes * Atrombe))) * Tx(v-1))$;
end

end

for $v = (x(1) * 18) + 1 : (x(1) * 24)$ → όπως το πρωί έτσι και αφού τελειώσει η ανακυκλοφορία αέρα μέχρι τα μεσανυχτα συνεχίζουμε όπως πάνω στον υπολογισμό των θερμοκρασιων

for $i = 2 : ng - 1$
 $Tg(v,i) = (1/M1) * (Tg(v-1,i-1) + Tg(v-1,i+1)) + (1 - (2/M1)) * Tg(v-1,i)$;
end

$Tg(v,1) = ((2/M1) * ((N1 * TAF(v-1)) + Tg(v-1,2))) + (1 - (2/M1) - (2 * N1/M1)) * Tg(v-1,1)$;

$Tg(v,ng) = ((2/M1) * ((N2 * Tk(v-1)) + Tg(v-1,ng-1))) + (1 - (2/M1) - (2 * N2/M1)) * Tg(v-1,ng)$;
 $Tk(v) = (1/rvchk1) * ((hin1 * Atrombe * Tg(v,ng)) + (rvck * Tk(v-1)))$;

%trombe

for $i = 2 : n - 1$
 $Tr(v,i) = (1/M2) * (Tr(v-1,i-1) + Tr(v-1,i+1)) + (1 - (2/M2)) * Tr(v-1,i)$;
end

$Tr(v,1) = ((2/M2) * ((N3 * Tk(v-1)) + Tr(v-1,2))) + (1 - (2/M2) - (2 * N3/M2)) * Tr(v-1,1)$;

$Tr(v,n) = ((2/M2) * ((N4 * Tx(v-1)) + Tr(v-1,n-1))) + (1 - (2/M2) - (2 * N4/M2)) * Tr(v-1,n)$;

$Tx(v) = ((hes * Atrombe / (rvcx + hes * Atrombe)) * Tr(v,n)) + ((rvcx / (rvcx + (hes * Atrombe))) * Tx(v1))$;
end

Καταλαβαίνουμε ότι με την ίδια προηγούμενη λογική φτανουμε σειριακα στις 72 ώρες

for $v = 1 : (x(1) * 72)$ → για όλες τις χρονικές στιγμές (θεωρούμε μέχρι 72 ώρες) εκφραζουμε τα υπολογιζομενα μεγέθη σε πίνακες

$Vt(v) = v$; → πίνακας που μαζευει τις χρονικές στιγμες

$TX(v) = Tx(v)$; → πίνακας που μαζευει τις θερμοκρασίες του χώρου κάθε χρονική στιγμή

$Tex(v) = TAF(v)$; → πίνακας που μαζευει τις εξωτερικές ισοδυναμες θερμοκρασίες

$TK(v) = Tk(v)$; → πίνακας που μαζευει τις θερμοκρασίες του αέρα του κενου για κάθε χρονική στιγμή

TR1(v)=Tr(v,1); →πίνακας που μαζευει τις θερμοκρασίες της εξωτερικής επιφανείας του τοίχου trombe
TG1(v)=Tg(v,1); →πίνακας που μαζευει τις θερμοκρασίες της εξωτερικής επιφανείας του υαλοπινάκα
end

Vm=(1/x(1))*Vt; →πίνακας που διαχωρίζει τις συνολικές χρονικές στιγμές σε 72 ώρες
plot(Vm,TG1,'r',Vm,TeX,'b',Vm,TK,'m',Vm,TR1,'g',Vm,TX,'b')
→κάνουμε διάγραμμα με βάση τον χρόνο τις διαφορές θερμοκρασιες
plot(Vm,TX,'b') →κάνουμε διάγραμμα με βάση τον χρόνο την θερμοκρασία του χωρου
hold on

B)ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΡΟΜΒΕ ΣΑΝ ΘΕΡΜΑΙΝΟΜΕΝΗ ΠΛΑΚΑ ΒΕΛΤΙΩΜΕΝΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

trombemod2.mat

το πρόγραμμα παρουσιάζει διαφορές με το προηγούμενο μοντέλο μόνο στο ότι εξωτερική θερμοκρασία θεωρούμε την θερμοκρασία του περιβαλλοντος ενώ η ακτινοβολία του ηλίου περνάει κατα κάποιο ποσοστό και προσπιπτει πάνω στον τοίχο ενο ένα άλλο μέρος μικρότερο απορροφεται από τον ίδιο τον υαλοπινάκα και επηρεάζει την θερμοκρασία του.Για αυτο δεν παρατιθεται το πρόγραμμα παρά μόνο τα σημεία που αλλαζουν
Έτσι δημιουργείται πίνακας με την T περιβαλλοντος και την ηλιακη προσπιπτουσα ακτινοβολία για την 21^η Ιανουαριου.Οι πίνακες αυτοί είναι με την σειρα

Tis2
Ito

τότε θα έχουμε όπως στο 1^ο προγραμμα

```
for i=1:24  
Tis(i)=Tis2(i);  
Tis(24+i)=Tis2(i);  
Tis(48+i)=Tis2(i);  
Its(i)=Ito(i);  
Its(24+i)=Ito(i);  
Its(48+i)=Ito(i);  
end
```

ak=0.1;→θεωρονται γνωστά η απορροφητικοτητα του υαλοπινάκα ,η διαπερατοτητα του υαλοπινάκα,και η απορροφητικοτητα του τοίχου

tak=0.7;
akw=0.8;

t=0;
dk=0;

v=1;
i=1;

TAF(1)=Tis(1); →όπου θερμοκρασία TAF η θερμοκρασία του περιβαλλοντος την 1^η χρονική στιγμή


```

ITF(1)=Its(1); όπου ακτινοβολία ITF η προσπιπτουσα ηλιακη ακτινοβολία την 1η χρονική στιγμή
while dk<(72*3600)
    %d=d+dt;
    %v=v+1;
    t=t+dt;
    if (t>3600)
        t=0;
        x(i)=v-1;
        i=i+1;
    end
    TAF(v)=Tis(i);
    ITF(v)=Its(i); →Με τον τρόπο που καταμερισαμε την εξωτερική θερμοκρασία καταμερίζουμε και την
ηλιακη ακτινοβολια
    dk=dk+dt;
    v=v+1;
end

```

Για κάθε διαστημα υπολογισμού τώρα θεωρούμε για ευκολια υπολογισμού 2 σημεία του υαλοπινακα ένα εξωτερικα και το άλλο εσωτερικά

$$Tg(v,1)=((2/M1)*((N1*TAF(v-1))+Tg(v-1,2)))+(1-(2/M1)-(2*N1/M1))*Tg(v-1,1);$$

$$Tg(v,2)=((2/M1)*((N2*Tk(v-1))+Tg(v-1,1)))+(1-(2/M1)-(2*N2/M1))*Tg(v-1,2)+(2*dt*ak*ITF(v)/(rg*cg*Lg))$$

→στον υπολογισμο της θερμοκρασίας κάθε χρονική στιγμή στην εσωτερική επιφάνεια του υαλοπινακα προσθετουμε τον ορό που περιλαμβανει ην απορροφημενη ακτινοβολία

$$Tr(v,1)=((2/M2)*((N3*Tk(v-1))+Tr(v-1,2)))+(1-(2/M2)-(2*N3/M2))*Tr(v-1,1)+(2*dt*tak*akw*ITF(v)/(rw*cw*dxw));$$

→στον υπολογισμο της θερμοκρασίας κάθε χρονική στιγμή στην εξωτερική επιφάνεια του τοίχου trombe προσθετουμε τον ορό που περιλαμβανει την απορροφημενη ακτινοβολία που έχει διαπεράσει τον υαλοπινακα

Η διαδικασια συνεχίζεται όπως έχει και στο 1^ο πρόγραμμα

Γ)ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΠΕΡΙ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ ΣΤΟ ΚΕΝΟ ΧΩΡΟ ΚΑΙ ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΑΝΟΔΙΚΟ ΡΕΥΜΑ

trombemod3.mat

Το πρόγραμμα έχει ουσιωδεις διαφορές από τα προηγούμενα αλλά κάποιες βασικές του διαδικασίες παραμενουν ίδιες για αυτό και θα αναφέρουμε μόνο τις σημαντικες αλλαγές.Σημαντικο είναι να θυματαται κάποιος ότι οι πράξεις γίνονται σειριακα για να εχει ιδεα που γινονται οι αλλαγές

```

clc
clear all

```

close all

Tis1=[8.6 8.5 8.3 8.1 7.7 7.3 7 6.9 7.1 16 23.3 28.2 31.5 33.2 33.2 31.3 27.4 20.6 11.5 10.8 10.1 9.5 9 8.8];

Tis2=[8.6 8.5 8.3 8.1 7.7 7.3 7.0 6.9 7.1 7.6 8.3 9.3 10.4 11.4 12.1 12.5 12.4 12.1 11.5 10.8 10.1 9.5 9 8.8];

s=38;

Ito=(Tis1-Tis2)*s; → υπολογίζεται ο πίνακας προσπιπτουσας ακτινοβολίας εύκολα από τον τύπο που συνδέει την Τηλ-αερος και την κανονική Τεξ περιβαλλόντος από την στιγμή που για διαφορές ημερών του χρόνου μπορούμε σε ένα βιβλίο κλιματισμού να ξέρουμε την Τισοδυναμική. Άρα βρίσκουμε αντίστροφα την ηλιακή προσπιπτουσα ακτινοβολία

for i=1:24

Tis(i)=Tis2(i);

Tis(24+i)=Tis2(i);

Tis(48+i)=Tis2(i);

Its(i)=Ito(i);

Its(24+i)=Ito(i);

Its(48+i)=Ito(i);

end

hout=10; → σε αυτό το πρόγραμμα για γρηγορότερους υπολογισμούς οσους παραμετρους ρυθμισαμε εξωτερικα τους θεωρούμε και εδώ γνωστους. Η βασική ιδέα είναι να θυμάται κάποιος ότι ανά πασα στιγμή μπορεί κάποιος να ρυθμίζει αυτούς τους παράγοντες όπως θέλει

hin1=8;

hin2=8;

hes=10;

Lg=3*0.01; → Επειδή έχουμε 2 κοβους για τον υαλοπινακα στη θέση του δχ του υαλοπινακα εισάγουμε το ίδιο το πάχος του υαλοπινακα σε(m) εδώ(3 cm)

lw=0.3;

Hw=2.7; → Καθαρό ύψος trombe (m)

n=30;

kg=1.4;

rg=2500;

cg=750;

kw=1.4;

kair=0.03; → Συντελεστής αγωγής του αέρα(W/m² K)

rw=2300;

cw=900;

dxw=lw/(n-1);

ak=0.1;

tak=0.7;

akw=0.8;

$Dk=20*0.001$; → απόσταση υαλοπινακα-trombe (απλως αλλαζουμε την μεταβλητή γιατι την χρησιμοποιουμε σε τύπους)(σε m) εδώ 20 mm η 0.02 m

$p_n=10$;
 $r_{air}=1.4$;
 $c_{air}=1004$;
 $ag=kg/(rg*cg)$;
 $aw=k_w/(r_w*c_w)$;
 $g_1=(Lg^2)/(ag)$;
 $g_2=(dxw^2)/(aw)$;
 $N_1=(hout*Lg/kg)$;
 $N_2=(hin1*Lg/kg)$;
 $N_3=(hin2*dxw/kw)$;
 $N_4=(hes*dxw/kw)$;
 $m_1=2*(N_1+1)$;
 $m_2=2*(N_2+1)$;
 $m_3=2*(N_3+1)$;
 $m_4=2*(N_4+1)$;
 $dt_1=g_1/m_1$;
 $dt_3=g_1/m_2$;
 $dt_4=g_2/m_3$;
 $dt_5=(dxw^2)/(2*aw)$;
 $dt_6=g_2/m_4$;
 $dt_x=[dt_1 \ dt_3 \ dt_4 \ dt_5 \ dt_6]$;
 $dt=\min(dt_x)$;

$M_1=(Lg^2)/(ag*dt)$;
 $M_2=(dxw^2)/(aw*dt)$;

$A_{trombe}=9$; (m)
 $A_{noi}=(p_n/100)*A_{trombe}$;
 $lx=3$;
 $V_x=A_{trombe}*lx$;
 $r_{vcx}=r_{air}*V_x*c_{air}/dt$;
 $g=9.81 \ m/s^2$ → επιταχυνση βαρυτητας

$V_x=A_{trombe}*lx$;
 $r_{vcx}=r_{air}*V_x*c_{air}/dt$;

$ktot=(r_{air}*V_x*c_{air}/dt)+(hes*A_{trombe})$;
 $kt_1=(hes*(A_{trombe}-(2*A_{noi})))+(hes*A_{noi})+(r_{air}*V_x*c_{air}/dt)$;
 $kt_2=(r_{air}*V_x*c_{air}/dt)+(hes*(A_{trombe}-(2*A_{noi})))$;

$v_1=1.568*10^{-5}$; → κινηματικη συνεκτικότητα (θεωρω στους 300K-27° C αφού δεν έχουμε μεγάλες αλλαγές κοντά σε αυτην θερμοκρασια

```

a1=2.22160*10^-5;
b1=3.33*10^-3;
t=0;
dk=0;
v=1;
i=1;
TAF(1)=Tis(1);
ITF(1)=Its(1);
while dk<(72*3600)
    %d=d+dt;
    %v=v+1;
    t=t+dt;
    if (t>3600)
        t=0;
        x(i)=v-1;
        i=i+1;
        end
        TAF(v)=Tis(i);
        ITF(v)=Its(i);
        dk=dk+dt;
        v=v+1;
    end
    end
    Tg(1,1)=12;
    Tg(1,2)=12;
    for i=1:n
        Tr(1,i)=12;
    end
    Tair(1)=12; →τη θέση του Tk την παίρνει η Tair
    Tx(1)=12;
    for v=2:(x(1)*8)
        Tg(v,1)=((2/M1)*((N1*TAF(v-1))+Tg(v-1,2)))+(1-(2/M1)-(2*N1/M1))*Tg(v-1,1);
        Tg(v,2)=((2/M1)*((N2*Tair(v-1))+Tg(v-1,1)))+(1-(2/M1)-(2*N2/M1))*Tg(v-
        1,2)+(2*dt*ak*ITF(v)/(rg*cg*Lg));
        %trombe
    for i=2:n-1
        Tr(v,i)=(1/M2)*(Tr(v-1,i-1)+Tr(v-1,i+1))+(1-(2/M2))*Tr(v-1,i);
    end
    Tr(v,1)=((2/M2)*((N3*Tair(v-1))+Tr(v-1,2)))+(1-(2/M2)-(2*N3/M2))*Tr(v-
    1,1)+(2*dt*tak*akw*ITF(v)/(rw*cw*dxw));
    Tair(v)=(Tr(v,1)+Tg(v,2))/2; →Θεωρείται ότι τα διάστημα που δεν υπάρχει ανακυκλοφορία αέρα η
    θερμοκρασία του αέρα στο κενό ισούται κάθε στιγμή περίπου ίση με τη μέση των 2 επιφανειών.

    Tr(v,n)=((2/M2)*((N4*Tx(v-1))+Tr(v-1,n-1)))+(1-(2/M2)-(2*N4/M2))*Tr(v-1,n);
    Tx(v)=((hes*Atrombe/(rvcx+hes*Atrombe))*Tr(v,n))+((rvcx/(rvcx+(hes*Atrombe)))*Tx(v1));
    end

```

Διάστημα ανακυκλοφορίας

for v=(x(1)*8)+1:(x(1)*18)

Tg(v,1)=((2/M1)*((N1*TAF(v-1))+Tg(v-1,2)))+(1-(2/M1)-(2*N1/M1))*Tg(v-1,1);

Tg(v,2)=((2/M1)*((N2*Tair(v-1))+Tg(v-1,1)))+(1-(2/M1)-(2*N2/M1))*Tg(v-1,2)+(2*dt*ak*ITF(v)/(rg*cg*Lg));

%trombe

for i=2:n-1

Tr(v,i)=(1/M2)*(Tr(v-1,i-1)+Tr(v-1,i+1))+(1-(2/M2))*Tr(v-1,i);

end

Tr(v,1)=((2/M2)*((N3*Tair(v-1))+Tr(v-1,2)))+(1-(2/M2)-(2*N3/M2))*Tr(v-1,1)+(2*dt*tak*akw*ITF(v)/(rw*cw*dxw));

$Tr(v) = (Tr(v,1) + Tg(v,2))/2$; → Θεωρείται ότι πια η θερμοκρασία του αέρα που κινείται από την θερμη επιφάνεια προς την κρυα της επιφανείας του υαλοπινακα δεν είναι ισούται με την μέση τους αφού ρολό παίζει και η ανακυκλοφορα του αέρα γιαυτο και για ευκολια υπολογισμων θεωρουμε την Tr ίση με το μέσο.

$Rav(v) = (g*b1*(Tr(v,1) - Tg(v,2))*Dk^3)/(v1*a1)$; → Υπολογίζεται ο αριθμός Rav κάθε χρονική στιγμή

$Nmax(v) = (((12/((Dk/Hw)*Rav(v)))^2) + ((1/(0.619*((Dk/Hw)*Rav(v))^0.25))^2))^{(-1/2)}$;

Υπολογίζεται ο αριθμός Nu θεωρώντας ότι η ροή πρακτικά δεν μπορεί να γίνει τυρβωδης. Αναλογα με τις διαφορές θεωριες για τη ροή ο Nu υπολογίζεται διαφορετικα

$hcv(v) = (Nmax(v)*kair)/Dk$; → Υπολογίζεται ο τοπικος συντελεστής συναγωγης θερμότητας που μεταφερει ο αέρας από την θερμη επιφάνεια στην κρυα

$Vm(v) = hcv(v)/(cair*rair)$; → Υπολογίζεται ο συντελεστής Vm

$Tair((x(1)*8)+1) = Tr(x(1)*8)$; → Για ευκολια υπολογισμων θεωρούμε ότι η θερμοκρασία του αέρα την 1^η στιγμή της ανακυκλοφορίας εισουται με αυτή της μεσης

$Tr(v,n) = ((2/M2)*((N4*Tx(v-1))+Tr(v-1,n-1)))+(1-(2/M2)-(2*N4/M2))*Tr(v-1,n)$;

→ Υπολογίζεται η θερμοκρασία στην εσωτερική επιφάνεια του trombe εξαρτωμενη από την προηγουμενή τιμή του χωρου

$bf(v) = 1/(TAF(v)+273)$; → Υπολογίζεται η ισοθλιπη διαστολικοτητα για την εξωτερικη θερμοκρασία την δεδομένη χρονική στιγμή με την θερμοκρασία σε K

$Dp(v) = g*Hw*rair*((1/(TAF(v)+273)) + (1/(Tair(v)+273)))$; → Υπολογίζονται οι απώλειες πίεσης λόγω διαφορών πυκνοτητων – δηλ θερμοκρασιών ως προς την θερμοκρασία του περιβαλλοντος από ανάλογη θεωρια

$Mk = Dk*3$; → Υπολογίζεται η διατομή του κενου ως αγωγού κατά ύψος του πολλαπλασιάζοντας την απόσταση επί το πλάτος που θεωρούμε ίσο με 3 m

$Ast = Anoi/(sqrt(1.5+(0.056*Hw/Mk)+1))$; → Υπολογίζεται το ισοδυναμο εμβαδο την επιφανείας ανοιγματος πάνω συμπεριλαμβανοντας και τους συντελεστες απωλειών λόγω τυρβης και γεωμετρικων χαρακτηριστικων

$Q(v)=A_{st}*\sqrt{2*D_p(v)/r_{air}}$; →Υπολογίζεται η ογκομετρική παροχή (m³/s)
 $u_a(v)=Q(v)/A_{noi}$; →Υπολογίζεται η ταχύτητα του στην είσοδο του πάνω ανοιγματος(m/s)

$T_{out}(v)=T_p(v)-((T_p(v)-T_x(v-2))*\exp(-V_m(v)*H_w/(D_k*u_a(v))))$;
 →Υπολογίζεται η θερμοκρασία εξοδου στο πάνω άνοιγμα με βάση τύπο θεωρίας
 if ($T_p(v)>T_x(v-2)$) →η θερμοκρασία του χώρου έχει νοημα να υπολογίζεται με αυτόν τρόπο μόνο όταν έχει έννοια η ανακυκλοφορια αέρα που εδώ θεωρείται ότι πρέπει η μεση θερμοκρασία των επιφανειών να είναι μεγαλύτερη από την θερμοκρασία του εξερχομενου αερα από τον θερμαινόμενο χωρο
 $m_a(v)=Q(v)*r_{air}$;
 $k_{to}=r_{vcx}+(m_a(v)*c_{air})+(h_{es}*(A_{trombe}-2*A_{noi}))$;
 $T_x(v)=((m_a(v)*c_{air}/k_{to})*T_{out}(v))+((h_{es}*(A_{trombe}-2*A_{noi}))/k_{to})*T_r(v,n))+((r_{vcx}*T_x(v-1))/k_{to})$;

$T_{air}(v+1)=T_p(v)-((u_a(v)*D_k/V_m(v)*H_w)*(T_{out}(v)-T_x(v-2)))$; →η Καινούρια θερμοκρασία του αέρα την επόμενη χρονική στιγμή εξαρτάται από το ποσο θερμότητας που απορροφει την προηγούμενη χρονική στιγμή το ανερχομενο ρευμα

else
 $T_x(v)=((h_{es}*A_{trombe}/(r_{vcx}+h_{es}*A_{trombe}))*T_r(v,n))+((r_{vcx}/(r_{vcx}+(h_{es}*A_{trombe}))*T_x(v-1))$);

$T_{air}(v+1)=T_p(v)$;

end
 end

for $v=((x(1)*18)+1):(x(1)*24)$

$T_g(v,1)=((2/M_1)*((N_1*T_{AF}(v-1))+T_g(v-1,2)))+(1-(2/M_1)-(2*N_1/M_1))*T_g(v-1,1)$;

$T_g(v,2)=((2/M_1)*((N_2*T_{air}(v-1))+T_g(v-1,1)))+(1-(2/M_1)-(2*N_2/M_1))*T_g(v-1,2)+(2*dt*ak*ITF(v)/(rg*cg*Lg))$;

%trombe

for $i=2:n-1$

$T_r(v,i)=(1/M_2)*(T_r(v-1,i-1)+T_r(v-1,i+1))+(1-(2/M_2))*T_r(v-1,i)$;

end

$T_r(v,1)=((2/M_2)*((N_3*T_{air}(v-1))+T_r(v-1,2)))+(1-(2/M_2)-(2*N_3/M_2))*T_r(v-1,1)+(2*dt*tak*akw*ITF(v)/(rw*cx*dxw))$;

$T_{air}(v)=(T_r(v,1)+T_g(v,2))/2$;

$T_r(v,n)=((2/M_2)*((N_4*T_x(v-1))+T_r(v-1,n-1)))+(1-(2/M_2)-(2*N_4/M_2))*T_r(v-1,n)$;

$T_x(v)=((h_{es}*A_{trombe}/(r_{vcx}+h_{es}*A_{trombe}))*T_r(v,n))+((r_{vcx}/(r_{vcx}+(h_{es}*A_{trombe}))*T_x(v-1))$);

end

Από κει και περα το πρόγραμμα δεν εμφανίζει διαφορές από τις προηγούμενες περιγραφες.

Τα προγραμματα επιδεχονται βελτιωσεις και ανατροπες κυρίως σε σχέση με τις θεωρησεις που κάθε φορά γίνονται

