



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΑΕΡΟΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΚΗΣ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΤΗΡΙΩΝ :
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΣΕ ΘΕΜΑΤΑ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗΣ
ΚΑΙ ΥΑΛΩΣΗΣ**

ΤΣΑΚΑΛΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ

A.M : 1026396

**ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ :
ΜΙΧΑΛΑΚΑΚΟΥ ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ**

ΠΑΤΡΑ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2023

Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών
Τσακάλης Αντώνιος
© 2023 – Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος

Η έγκριση της σπουδαστικής εργασίας δεν υποδηλοί την αποδοχή των γνώμών του συγγραφέα.
Κατά τη συγγραφή τηρήθηκαν οι αρχές της ακαδημαϊκής δεοντολογίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΤΗΡΙΩΝ : ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΣΕ ΘΕΜΑΤΑ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗΣ ΚΑΙ ΥΑΛΩΣΗΣ ΤΣΑΚΑΛΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται όλο και πιο έντονα η κλιματική αλλαγή, η οποία συμβάλλει σε μεγάλο βαθμό σε μία ολοένα και αυξανόμενη ενεργειακή κρίση. Στα μεγάλα αστικά κέντρα η κατάσταση γίνεται όλο και δυσχερέστερη με την εμφάνιση του φαινομένου της θερμικής αστικής νησίδας κατά το οποίο η θερμοκρασία του αέρα στις πόλεις παρουσιάζει σημαντική αύξηση σε σχέση με τα προάστια και τις γύρω αγροτικές περιοχές. Με δεδομένες τις σοβαρές συνέπειες του τόσο στον άνθρωπο όσο και στο περιβάλλον κρίνεται απαραίτητη η αντιμετώπιση του. Ο κυριότερος τρόπος αντιμετώπισης του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας είναι ο ενεργειακός σχεδιασμός κτηρίων με τον οποίο θα ασχοληθούμε στην παρούσα εργασία. Με τον όρο «ενεργειακός σχεδιασμός κτηρίων» εννοούμε την βελτίωση όλων των παραμέτρων που αφορούν την κατασκευή ενός κτηρίου προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η ενεργειακή του κατανάλωση. Η πρώτη βασική παράμετρος είναι ο σωστός σχεδιασμός του κτηριακού κελύφους, το οποίο αποτελεί το σύνορο ανάμεσα στον εσωτερικό χώρο του και το περιβάλλον. Ο κύριος σκοπός είναι η ελαχιστοποίηση των θερμικών απωλειών λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας ανάμεσα στο εσωτερικό και το εξωτερικό περιβάλλον προκειμένου να υπάρχει μια άνετη διαβίωση σε όλες τις εποχές του έτους. Στη συνέχεια περιγράφεται η θερμομόνωση του κελύφους η οποία συμβάλλει καθοριστικά στην επιπλέον αντίσταση θερμοδιαφυγής των μονωτικών υλικών επιλέγοντας στην κάθε περίπτωση το κατάλληλο υλικό και πάχος. Τέλος, σημαντικό ρόλο στον ενεργειακό σχεδιασμό των κτηρίων κατέχει η σωστή επιλογή των υαλοπινάκων, οι οποίοι χρησιμοποιούνται στα κτήρια για αερισμό και φωτισμό. Παράλληλα αποτελούν μια σημαντική πηγή θερμικών απωλειών και επομένως χρειάζεται μία κατάλληλη επιλογή βάσει των συνθηκών προκειμένου να συμβάλλουν καθοριστικά στην εξοικονόμηση ενέργειας του κτηρίου. Στο τέλος της παρούσας εργασίας παρουσιάζεται αναλυτικά ο υπολογισμός των u-values για διαφανή και αδιαφανή στοιχεία.

Λέξεις κλειδιά:

Αστική θερμική νησίδα, Ενεργειακός σχεδιασμός κτηρίων, παθητικά ηλιακά συστήματα, κτηριακό κέλυφος, θερμομόνωση, υαλοπίνακες, συντελεστής θερμοπερατότητας διαφανών και αδιαφανών στοιχείων.

ABSTRACT

ENERGY CONSCIOUS DESIGN OF BUILDINGS: A LITERATURE REVIEW ON THERMAL INSULATION AND GLAZING

TSAKALIS ANTONIOS

In recent years it has been observed that the climate change has been intensified which also contributes to a great extent in an increasing energy crisis. In the big urban centers, the situation deteriorates following the appearance of the urban heat-island effect during which the air temperature in cities shows significant increase compared to the suburbs and the surrounding rural areas. Given the severe consequences of that phenomenon both in humans and the environment, it is of vital importance to effectively face it. The main solution includes energy planning of buildings which will be the main topic of this project. By the term “energy planning of buildings” we mean the improvement of all the parameters that concern the construction of a building in order to minimize its energy consumption. The first and most critical parameter is the appropriate design of the building shell which comprises the border between the inner space of the building and the environment. The main goal is the minimization of thermal loss in order to ensure a comfortable living during each season of the year. Thereafter, the thermal insulation of the shell is being described which decisively contributes in the additional resistance of the insulators by choosing in every case the appropriate material and thickness. Finally, the appropriate choice of glass panels plays a key role in the energy planning of buildings, which are used in buildings for ventilation and lighting. At the same time, they comprise a source of thermal loss and as such an appropriate choice is required based on the conditions in order to decisively contribute into the energy saving of the building. The calculation of u-values for transparent and non-transparent materials will be presented in a detailed way in the end of the paper.

Key words:

Urban heat-island effect, energy planning of buildings, passive solar systems, building shell, thermal insulation, glazing, thermal coefficient of transparent and non-transparent materials

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: ο μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας (u-value) των ανοιγμάτων και των γυάλινων προσόψεων των κτηρίων ανά κλιματική ζώνη.....	15
Πίνακας 2 : Η μεταβολή του συντελεστή θερμοπερατότητας ανάλογα με το είδος του υαλοπίνακα και την απόσταση ανάμεσα στους υαλοπίνακες.....	38
Πίνακας 3 : οι τιμές του συντελεστή SHGC για διαφορετικούς τύπους υαλοπινάκων.....	39
Πίνακας 4 : οι τιμές της παραμέτρου VT για διαφορετικούς τύπους υαλοπινάκων.....	40

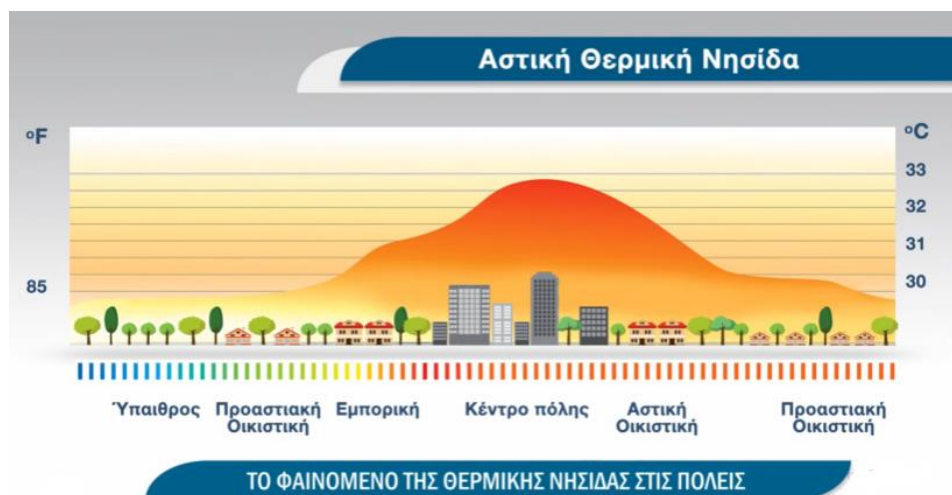
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1 : Διακύμανση αστικής θερμικής νησίδας.....	9
Εικόνα 2: Παράδειγμα ενεργειακού σχεδιασμού κτηρίου στο πρόγραμμα GCAD.....	12
Εικόνα 3: Φυσική διανομή της θερμότητας.....	17
Εικόνα 4: Εξαναγκασμένη διανομή της θερμότητας.....	18
Εικόνα 5: Παθητικό ηλιακό σύστημα με άμεσο ηλιακό όφελος.....	19
Εικόνα 6: Παθητικό ηλιακό σύστημα με έμμεσο ηλιακό όφελος.....	21
Εικόνα 7: Απεικόνιση τοίχου μάζας.....	22
Εικόνα 8: Απεικόνιση τοίχου TROMBE.....	23
Εικόνα 9: Απεικόνιση τοίχου νερού.....	23
Εικόνα 10: Καταμερισμός θερμικών απωλειών	25
Εικόνα 11: Απεικόνιση σημειακής και γραμμικής θερμογέφυρας	26
Εικόνα 12: Πετροβάμβακας	31
Εικόνα 13: Υαλοβάμβακας	32
Εικόνα 14: Διογκωμένη πολυστερίνη	33
Εικόνα 15: Εξυλασμένη πολυστερίνη.....	33
Εικόνα 16: Πολυουρεθάνη	34
Εικόνα 17: Τύποι υαλοπινάκων.....	35

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	4
ABSTRACT.....	5
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	6
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	7
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	8
1. ΑΣΤΙΚΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΝΗΣΙΔΑ.....	9
2. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΤΗΡΙΩΝ.....	12
3. ΚΤΗΡΙΑΚΟ ΚΕΛΥΦΟΣ.....	16
3.1. ΠΑΘΗΤΙΚΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ.....	16
3.2. ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	18
3.3. ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ.....	25
3.4. ΘΕΡΜΟΓΕΦΥΡΕΣ.....	26
4. ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗ.....	28
4.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	28
4.2 ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ.....	29
5. ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΕΣ.....	35
5.1 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΩΝ.....	35
5.2 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΩΝ.....	36
5.3 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΩΝ.....	41
6. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ U-VALUES.....	45
6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ.....	45
6.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ U ΚΑΙ U_w	45
6.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΗΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΚΤΗΡΙΟΥ.....	46
6.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΑΔΙΑΦΑΝΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ.....	48
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	50

1. ΑΣΤΙΚΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΝΗΣΙΔΑ(ΑΘΝ)



Εικόνα 1 : Διακύμανση αστικής θερμικής νησίδας

Ως αστική θερμική νησίδα περιγράφεται το φαινόμενο κατά το οποίο η θερμοκρασία στο εσωτερικό των αστικών περιοχών είναι αυξημένη σε σχέση με αυτή των περι-αστικών/ αγροτικών περιοχών που τη περιβάλλουν.[1]

Παρατηρείται κυρίως μετά τη δύση του ήλιου, όταν δεν υπάρχουν ισχυροί άνεμοι και οφείλεται, κατά κύριο λόγο, σε δυο παράγοντες: στο μικρότερο βαθμό ψύξης του κέντρου της πόλης σε σχέση με την περιφέρεια και στην εκπομπή θερμότητας στο κέντρο απ' τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες που γίνονται εκεί. Για μικρές πόλεις η τιμή της διαφοράς θερμοκρασίας είναι 2-3° C, ενώ για μεγάλες πόλεις όπως π.χ. η Αθήνα μπορεί να φτάσει τους 10-12° C. [2,3].

Η ΑΘΝ εμφανίζεται με δύο μορφές. Η πρώτη σχετίζεται με τις θερμές επιφάνειες που δημιουργούνται στα αστικά κέντρα. Οι πόλεις αποτελούνται επί το πλείστον από υλικά, τα οποία έχουν μεγάλη θερμική αγωγιμότητα και μικρή ανακλαστικότητα με αποτέλεσμα να θερμαίνονται οι επιφάνειες τους και να αποδίδουν θερμότητα στον περιβάλλοντα αέρα. Αυτό το είδος ΑΘΝ ονομάζεται ΑΘΝ επιφανείας. Το δεύτερο είδος ονομάζεται ΑΘΝ ατμόσφαιρας και αφορά την αυξημένη θερμοκρασία του αέρα των αστικών περιοχών σε σχέση με αυτή των γύρω αγροτικών. Συνεπώς στην πρώτη περίπτωση μας ενδιαφέρει η θερμοκρασία των θερμών επιφανειών και στην δεύτερη η θερμοκρασία του αέρα.

Η ΑΘΝ επιφανείας κυριαρχεί κατά τη διάρκεια της ημέρας, ιδιαίτερα τους θερινούς μήνες, αφού ο ήλιος θερμαίνει τις ξηρές, εκτεθειμένες αστικές επιφάνειες, όπως είναι οι οροφές και οι δρόμοι[4]. Κατά την διάρκεια της νύχτας εξακολουθεί να υπάρχει, αλλά η ένταση της είναι πολύ μικρότερη όπως είναι εύλογο. Το μέγεθός της ποικίλλει ανάλογα τις εποχές, λόγω των διακυμάνσεων της έντασης του ήλιου και τις εκάστοτε καιρικές συνθήκες. Πειράματα έχουν δείξει ότι η διαφορά στις θερμοκρασίες επιφανείας μεταξύ των αστικών και αγροτικών περιοχών κυμαίνεται στους 10-15°C την ημέρα και στους 5-10°C την νύχτα. Η μέτρηση της έντασης της ΑΘΝ επιφανείας γίνεται συνήθως έμμεσα με αέριους ή δορυφορικούς αισθητήρες, οι οποίοι λειτουργούν από ψηλά και καταγράφουν την θερμοκρασία του αέρα στην ίδια θέση.

Η ΑΘΝ ατμόσφαιρας έχει την ακριβώς αντίθετη δράση. Κατά την διάρκεια της ημέρας είναι σχεδόν αμελητέα, ενώ κορυφώνεται τις νυχτερινές ώρες. Αυτό συμβαίνει, διότι τα δομικά υλικά έχουν μεγάλη θερμοχωρητικότητα με αποτέλεσμα να υπάρχει χρονική καθυστέρηση στην απόδοση θερμότητας προς το περιβάλλον, με αποτέλεσμα η διαδικασία αυτή να πραγματοποιείται την νύχτα. Η ένταση της έχει μικρότερη διακύμανση σε σχέση με την ΑΘΝ επιφανείας και κυμαίνεται στους $1 - 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ την ημέρα και στους $7 - 12\text{ }^{\circ}\text{C}$ την νύχτα. Η μέθοδος τυπικού προσδιορισμού της είναι άμεση και προσδιορίζεται είτε μέσω σταθερών μετεωρολογικών σταθμών είτε μέσω ευέλικτων μετακινήσεων[1, 5]. Η ΑΘΝ ατμόσφαιρας μπορεί να χωριστεί περαιτέρω σε δύο κατηγορίες: την ΑΘΝ χαράδρας και την ΑΘΝ οριακού στρώματος. Οι δύο αυτές υποκατηγορίες ΑΘΝ ατμόσφαιρας ουσιαστικά χωρίζουν στα 2 τις περιοχές του επηρεασμένου από τις πόλεις αέρα και μαζί καλύπτουν όλο το φάσμα, από το οριακό στρώμα του αέρα στην επιφάνεια των δρόμων μέχρι τον ανεπηρέαστο πλέον αέρα της ατμόσφαιρας. Η ΑΘΝ Χαράδρας χαρακτηρίζει την κάτω περιοχή και εκτείνεται από το έδαφος μέχρι το επίπεδο των οροφών των κατοικιών και των κορυφών των δέντρων. Ουσιαστικά περιλαμβάνει το ενεργό στρώμα αέρα στην ανθρώπινη ζωή και πρακτικά αποτελεί τον κυρίαρχο τύπο ΑΘΝ ατμόσφαιρας. Η ΑΘΝ οριακού στρώματος δρα συμπληρωματικά και καλύπτει την πάνω περιοχή, δηλαδή από τις στέγες μέχρι τον θερμικά ανεπηρέαστο αέρα του περιβάλλοντος. Το ύψος αθροιστικά των δύο περιοχών από το επίπεδο του εδάφους συνήθως δεν ξεπερνά το $1,5\text{ km}$ [6].

Οι αιτίες που δημιουργούν το φαινόμενο ΑΘΝ είναι:

1. Η γεωμετρία των αστικών περιοχών

Οι βασικές δομές των αστικών περιοχών περιλαμβάνουν τις αστικές χαράδρες (μεγάλα και ψηλά κτήρια και ανάμεσα τους ένας στενός δρόμος). Τα μεγάλα και ψηλά κτήρια αποκρύπτουν ένα μεγάλο μέρος του κρύου και ανέφελου νυκτερινού ουρανού με αποτέλεσμα να περιορίζεται η λειτουργία του ατμοσφαιρικού παραθύρου στη διάρκεια της νύχτας, η εκπεμπόμενη θερμική ακτινοβολία να εγκλωβίζεται χαμηλά στην πόλη και ο ρυθμός ψύξης της πόλης να επιβραδύνεται.

2. Τα θερμικά χαρακτηριστικά των δομικών υλικών των αστικών περιοχών

Οι θερμικές ιδιότητες των δομικών υλικών των πόλεων ευνοούν την απορρόφηση και την αποθήκευση μεγάλων ποσών της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στη διάρκεια της ημέρας και την απελευθέρωση τους σαν θερμική ακτινοβολία στη διάρκεια της νύχτας

3. Οι οπτικές παράμετροι των υλικών των αστικών περιοχών

Τα δομικά υλικά των αστικών περιοχών παρουσιάζουν μεγάλες τιμές της απορροφητικότητας και πολύ μικρές τιμές της ανακλαστικότητας στην ηλιακή ακτινοβολία

4. Η ανθρωπογενής θερμότητα

Η θερμότητα η οποία εκλύεται από τα αυτοκίνητα και τα κλιματιστικά των κτηρίων

5. Το φαινόμενο θερμοκηπίου και η ατμοσφαιρική ρύπανση

Οι αστικές περιοχές παρουσιάζουν εντονότερη ατμοσφαιρική ρύπανση και επομένως υψηλότερες θερμοκρασίες λόγω αύξησης της ατμοσφαιρικής ακτινοβολίας προς το έδαφος

6. Η έλλειψη πρασίνου μέσα στον αστικό ιστό

Τα φυτά λόγω της λειτουργίας της εξατμισο-διαπνοής δροσίζουν την πόλη

7. Η μειωμένη ταχύτητα του αέρα μέσα στην πόλη

2. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΤΗΡΙΩΝ



Εικόνα 2: Παράδειγμα ενεργειακού σχεδιασμού κτηρίου στο πρόγραμμα GCAD

Με τον όρο «ενεργειακός σχεδιασμός κτηρίων» εννοούμε τον σχεδιασμό ενός κτηρίου αλλά και το σύνολο των τεχνικών, τεχνολογιών, συστημάτων, μεθοδολογιών, αλγορίθμων, κατασκευών που έχουν σαν σκοπό την εναρμόνιση του κτηρίου ως σύστημα με το Περιβάλλον και την ελαχιστοποίηση της ενεργειακής του κατανάλωσης.

Σκοπός του ενεργειακού σχεδιασμού κτηρίων ή της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής είναι η δημιουργία κτηρίων που έχουν σχεδιαστεί ώστε να καλύψουν τις ενεργειακές τους ανάγκες, χωρίς να προκαλέσουν περιβαλλοντική επιβάρυνση.

Ο σχεδιασμός ενός κτηρίου αποτελεί τη δημιουργία ενός συστήματος που παρουσιάζει δεσμούς με το περιβάλλον και υπόκειται σε μια σειρά από επιδράσεις που σχετίζονται με τις εποχιακές και ημερήσιες αλλαγές των κλιματικών συνθηκών και τις ποικίλες απαιτήσεις των ενοίκων ως προς το χώρο και χρόνο.

Για την εφαρμογή των απαιτήσεων, μεθοδολογιών και αλγορίθμων του ενεργειακού σχεδιασμού απαιτείται γνώση των κλιματικών παραμέτρων και γενικά του κλίματος της περιοχής και ενημέρωση πάνω στις διαθέσιμες τεχνολογίες που μπορούν να εφαρμοστούν στο κτήριο, συνδυασμένες με την κατανόηση του τι αποτελεί άνεση για τον χρήστη και πως οι συνθήκες άνεσης επηρεάζονται από τις αλλαγές των κλιματικών παραμέτρων.

Κανονισμοί Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων

Οι κανονισμοί ενεργειακής απόδοσης κτηρίων είναι ένα σύνολο κανόνων και κανονιστικών απαιτήσεων που αποσκοπούν στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων, με στόχο τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου. Οι κανονισμοί ενεργειακής απόδοσης κτηρίων διαφέρουν ανά περιοχή και χώρα, αλλά συνήθως περιλαμβάνουν απαιτήσεις για την θερμομόνωση, τον αερισμό, την ενεργειακή απόδοση των

συστημάτων φωτισμού, θέρμανσης και ψύξης, την χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και την επιλογή υλικών κατασκευής.

Ο κανονισμός ενεργειακής απόδοσης κτηρίων στην Ελλάδα εισήχθη το 2010 με τον νόμο 3851/2010 "Ενεργειακή απόδοση κτιρίων και άλλες διατάξεις". Αυτός ο νόμος ενσωμάτωσε την Ευρωπαϊκή Οδηγία 2002/91/EK για την ενεργειακή απόδοση των κτηρίων στο εθνικό δίκαιο και καθόρισε τους κανόνες για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των υφιστάμενων και νέων κτηρίων στην Ελλάδα [7, 8]. Με τον ΚΕΝΑΚ θεσμοθετείται ο ολοκληρωμένος ενεργειακός σχεδιασμός στον κτηριακό τομέα με στόχους την εξοικονόμηση της ενέργειας, την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων και την προστασία του περιβάλλοντος.

Λαμβάνοντας υπ' όψη τις εξωτερικές κλιματολογικές και τοπικές συνθήκες, τις κλιματικές απαιτήσεις των εσωτερικών χώρων και τη σχέση κόστους /οφέλους, οι στόχοι του ενεργειακού σχεδιασμού είναι η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, δηλαδή μείωση της ποσότητας ενέργειας που καταναλώνεται για θέρμανση, ψύξη, εξαερισμό, φωτισμό, και παροχή ζεστού νερού χρήσης ενός κτιρίου, η αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) και κυρίως της ηλιακής ενέργειας για τη θέρμανση, ψύξη, φυσικό φωτισμό και παραγωγή ζεστού νερού χρήσης ενός κτιρίου, ο περιορισμός των εκπομπών αέριων ρύπων (π.χ. CO₂) που συντελούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, προκειμένου να εξασφαλισθεί η προστασία του περιβάλλοντος, η χρήση υλικών φιλικών προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο, τα οποία δεν απαιτούν μεγάλη ποσότητα ενέργειας για την παραγωγή τους και δεν εκπέμπουν τοξικές ουσίες στον κύκλο ζωής τους και η σύγκλιση των κτιριακών προτύπων προς αυτά των κρατών – μελών, που έχουν ήδη υψηλά επίπεδα απαιτήσεων. [9,10,11]

Τα οφέλη του ενεργειακού σχεδιασμού είναι πολλαπλά και μπορούμε να τα συνοψίσουμε σε :

1. **Ενεργειακά** : εξοικονόμηση ενέργειας και παράλληλα εξασφάλιση θερμικής και οπτικής άνεσης
2. **Οικονομικά** : μείωση στην κατανάλωση καυσίμων και του κόστους που προέρχονται από αυτά, εξοικονόμηση χρημάτων όσον αφορά την εγκατάσταση των ηλεκτρομηχανολογικών λειτουργιών θέρμανσης, ψύξης, αερισμού φωτισμού.
3. **Περιβαλλοντικά**: μείωση των ρύπων που προκαλούνται από την καύση συμβατικών καυσίμων και κατά συνέπεια περιορισμός φαινομένου του θερμοκηπίου και αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.
4. **Κοινωνικά** : βελτίωση της ποιότητας ζωής, συμβολή στην επιτυχή ανάπτυξη των πόλεων.

Η μελέτη ενεργειακής απόδοσης κτηρίων εκπονείται για κάθε κτήριο, (μεγαλύτερο των 50m²), νέο ή υφιστάμενο που ανακαινίζεται, και βασίζεται σε μια συγκεκριμένη μεθοδολογία η οποία αναφέρεται στην εκπλήρωση ελάχιστων προδιαγραφών του κτηρίου όσον αφορά στο σχεδιασμό του κτηρίου, στο κέλυφος, και στα τεχνικά του συστήματα και στη σύγκριση του κτηρίου με ένα κτήριο αναφοράς. Ως κτήριο αναφοράς θεωρείται ένα κτήριο με τα ίδια γεωμετρικά χαρακτηριστικά, θέση, προσανατολισμό, χρήση, και χαρακτηριστικά λειτουργίας με το εξεταζόμενο κτήριο, που όμως πληροί τις ελάχιστες προδιαγραφές για τον σχεδιασμό, το κέλυφος, και τα τεχνικά συστήματα [12,13].

Ως αποτέλεσμα της σύγκρισης με το κτήριο αναφοράς πραγματοποιείται η ενεργειακή κατάταξη του κτηρίου.

5. Η Κατάσταση στην Ελλάδα

Σύμφωνα με τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων (KENAK), οποίος διαμορφώνει το πλαίσιο αρχών και καθορίζει τους όρους και τις προϋποθέσεις βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων, η ενεργειακή απόδοση των κτηρίων προσδιορίζεται με βάση την μεθοδολογία υπολογισμού της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας. Η μεθοδολογία αυτή περιλαμβάνει σαν δεδομένα εισόδου ένα μεγάλο αριθμό στοιχείων που αφορούν το κτήριο (δομικά χαρακτηριστικά του κτηρίου, γεωμετρικά χαρακτηριστικά, εσωτερικά φορτία, φωτισμός, ηλεκτρολογικός εξοπλισμός, μηχανολογικός εξοπλισμός, HVAC, αριθμός χρηστών, κλπ.), καθώς και στοιχεία του επικρατούντος κλίματος. Το ζητούμενο output είναι η ενεργειακή κατανάλωση του κτηρίου για μια δεδομένη χρονική περίοδο καθώς και η εσωτερική θερμοκρασία του κτηρίου ανά θερμική ζώνη [7,8]. Για την εφαρμογή αυτού του κανονισμού η Ελληνική επικράτεια χωρίστηκε στις ακόλουθες 4 κλιματικές ζώνες με βάση τις βαθμοημέρες θέρμανσης:

Ζώνη Α: Κρήτη, Δωδεκάνησα, Σάμος, Ν. Μεσσηνίας, Ν. Λακωνίας, Ν. Αργολίδας, Ζάκυνθος, Κεφαλονιά, Ιθάκη, Κύθηρα και νησιά Σαρωνικού, Αρκαδία (πεδινή)

Ζώνη Β : Ν. Αττικής, Ν. Κορινθίας, Ν. Ηλείας, Ν. Αχαΐας, Ν. Αιτωλοακαρνανίας, Ν. Φθιώτιδας, Ν. Φωκίδας, Ν. Βοιωτίας, Ν. Εύβοιας, Ν. Μαγνησίας, Λέσβος, Χίος, Κέρκυρα, Λευκάδα, Ν. Θεσπρωτίας, Ν. Πρέβεζας, Ν. Άρτας

Ζώνη Γ : Αρκαδία (ορεινή), Ν. Ευρυτανίας, Ν. Ιωαννίνων, Ν. Λάρισας, Ν. Καρδίτσας, Ν. Τρικάλων, Ν. Πιερίας, Ν. Ημαθίας, Ν. Πέλλας, Ν. Θεσσαλονίκης, Ν. Κιλκίς, Ν. Χαλκιδικής, Ν. Σερρών (εκτός ΒΑ Τμήματος), Ν. Καβάλας, Ν. Ξάνθης, Ν. Ροδόπης, Ν. Έβρου

Ζώνη Δ : Ν. Γρεβενών, Ν. Κοζάνης, Ν. Φλώρινας, Ν. Σερρών (ΒΑ Τμήμα), Ν. Δράμας

Στον Πίνακα 1 αποτυπώνεται ο μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας (u-value) των ανοιγμάτων και των γυάλινων προσόψεων των κτηρίων (μη ανοιγόμενες και μερικώς ανοιγόμενες), ανά κλιματική ζώνη σύμφωνα με τον Κανονισμό KENAK, που είναι νόμος του Κράτους από το 2010.

Ανοίγματα (Παράθυρα, πόρτες μπαλκονιών, κ.α.)			
U-value (W/m²K)			
Ζώνη Α	Ζώνη Β	Ζώνη Γ	Ζώνη Δ
3.20	3.00	2.80	2.60
Γυάλινες προσόψεις κτηρίων μη ανοιγόμενες και μερικώς ανοιγόμενες			
U-value (W/m²K)			
Ζώνη Α	Ζώνη Β	Ζώνη Γ	Ζώνη Δ
2.20	2.00	1.80	1.80

Πίνακας 1: ο μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας (u-value) των ανοιγμάτων και των γυάλινων προσόψεων των κτηρίων (μη ανοιγόμενες και μερικώς ανοιγόμενες), ανά κλιματική ζώνη.

Επιπλέον σύμφωνα με τον κανονισμό ΚΕΝΑΚ η ελάχιστη τιμή του συντελεστή g-value για τους υαλοπίνακες καθορίζεται στο 0.76

3. ΚΤΗΡΙΑΚΟ ΚΕΛΥΦΟΣ

Το κέλυφος ενός κτηρίου αποτελεί το φυσικό σύνορο ανάμεσα στον εσωτερικό χώρο, όπου διαβιούν οι άνθρωποι και στο εξωτερικό περιβάλλον. Σκοπός του κελύφους είναι η δημιουργία ενός θερμικά, οπτικά και ακουστικά άνετου εσωτερικού περιβάλλοντος-κλίματος για όλες τις εποχές του έτους. Είναι εξαιρετικά σημαντική η επιλογή των κατάλληλων υλικών για το κτηριακό κέλυφος καθώς μέσω του κελύφους εξασφαλίζεται σε μεγάλο βαθμό η ελαχιστοποίηση των θερμικών απωλειών λόγω διαφοράς θερμοκρασίας εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος, η εξοικονόμηση ενέργειας στον κτηριακό τομέα και η επίτευξη θερμικής άνεσης στο εσωτερικό του κτηρίου.

3.1 ΠΑΘΗΤΙΚΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ

Η θέρμανση εσωτερικών χώρων με παθητικά ηλιακά συστήματα βασίζεται στα εξής:

3.1.1 Ηλιακή συλλογή και μετατροπή σε θερμότητα

Όταν η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει σε μια διαφανή ή ημιδιαφανή επιφάνεια, μέρος της ανακλάται, μέρος της απορροφάται (από το οποίο ένα μέρος ακτινοβολείται προς το εξωτερικό περιβάλλον και ένα μέρος προς το εσωτερικό) και το υπόλοιπο διαπερνά τα διαφανή μέρη και εισέρχεται στο κτήριο άμεσα.

Η ηλιακή ακτινοβολία που τελικά εισέρχεται στον χώρο, απορροφάται από τα διάφορα υλικά και αντικείμενα του χώρου, των οποίων η θερμοκρασία αυξάνει και αρχίζουν να εκπέμπουν μεγάλο μήκους κύματος ακτινοβολία.

Οι σκούρες και θαμπές επιφάνειες απορροφούν περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία από αυτές που είναι ανοιχτόχρωμες και γυαλιστερές.

Στη μεγιστοποίηση ηλιακής συλλογής συμβάλλει η επιλογή ευνοϊκού προσανατολισμού, η αποφυγή σκίασης καθώς και η επιλογή υαλοστασίων με υψηλές τιμές του συντελεστή διαπερατότητας ηλιακής ακτινοβολίας.

Για την ελαχιστοποίηση απωλειών προτιμάται η χρήση υαλοστασίων με χαμηλό συντελεστή θερμοπερατότητας (low-e glazing).

3.1.2 Αποθήκευση θερμότητας.

Σκοπός της αποθήκευσης είναι να διατηρήσει τη θερμότητα που έχει συγκεντρωθεί και η οποία αποτελεί πλεόνασμα στις τρέχουσες ανάγκες, με σκοπό να τη χρησιμοποιήσει αργότερα όταν απαιτείται.

Τρόποι θερμικής αποθήκευσης είναι οι εξής:

- Η άμεση θερμική αποθήκευση

Διεργασία : η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει σε ένα υλικό είτε άμεσα, είτε έπειτα από μεταφορά διαμέσου τζαμιού και ένα μέρος της απορροφάται, μετατρέπεται σε θερμότητα και αποθηκεύεται στη μάζα του υλικού.

- Η έμμεση θερμική αποθήκευση

Διεργασία : ένα κτηριακό στοιχείο θερμαίνεται με απορρόφηση θερμότητας που ακτινοβολείται από άλλα, θερμότερα στοιχεία, (π.χ. οι τοίχοι και τα δάπεδα), ή με μεταφορά θερμότητας από τον περιβάλλοντα αέρα.

- Απομακρυσμένη θερμική αποθήκευση

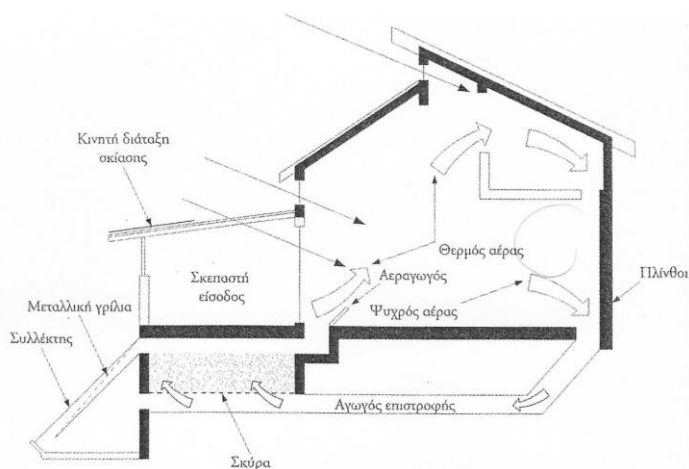
κρυμμένη θερμική αποθήκευση, στοχεύει στη διάχυση της θερμότητας στο κτήριο με τρόπο που να ελέγχεται, π.χ. με φυσική μεταφορά ή χρήση ανεμιστήρα

3.1.3 Διανομή θερμότητας

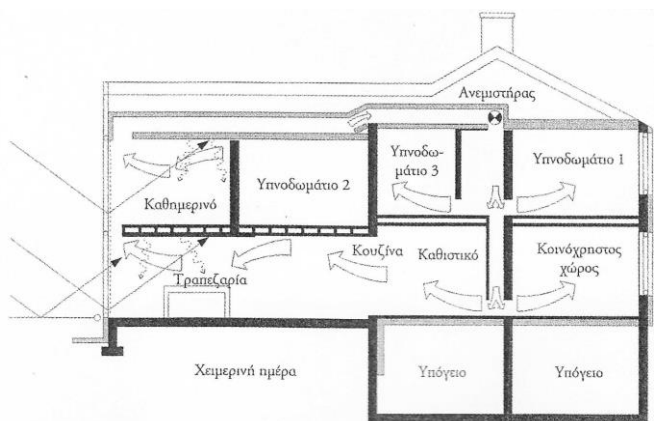
Στόχος της διανομής θερμότητας αποτελεί η διάθεση της θερμότητας στους χώρους όπου απαιτείται. Ο πιο αποτελεσματικός τρόπος διανομής της ηλιακής ενέργειας είναι να σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο η διάταξη των χώρων, ώστε η ηλιακή ενέργεια να συλλέγεται και να αποθηκεύεται στον παρακείμενο χώρο όπου θα χρησιμοποιηθεί. Αν αυτό δεν είναι δυνατό η ενέργεια θα πρέπει να μεταφέρεται σε άλλο χώρο του κτιρίου.

Η διανομή της θερμότητας πραγματοποιείται:

1. με φυσική διανομή, όπου η αποθηκευμένη θερμότητα μεταδίδεται με μεταφορά και ακτινοβολία και πραγματοποιείται όταν η θερμοκρασία της επιφάνειας του υλικού αποθήκευσης είναι μεγαλύτερη από αυτή του περιβάλλοντος, και υπάρχει θερμική κυκλοφορία, όπου ο θερμός αέρας, λόγω της μείωσης της πυκνότητας του, τείνει να κινηθεί προς τα πάνω και
2. με εξαναγκασμένη διανομή, με τη χρήση μηχανικών συσκευών όπως είναι οι ανεμιστήρες ή οι αντλίες.



Εικόνα 3: Φυσική διανομή της θερμότητας



Εικόνα 4: Εξαναγκασμένη διανομή της θερμότητας

Στόχος κάθε κτιρίου είναι να ελαχιστοποιήσει τις απώλειες θερμότητας. Η ελάττωση αυτή επιτυγχάνεται με προσθήκη θερμομόνωσης στο περίβλημα του κτιρίου, με περιορισμό απωλειών από διείσδυση του εξωτερικού αέρα και με μείωση της θερμοκρασιακής διαφοράς ανάμεσα στον εσωτερικό και εξωτερικό αέρα[14,15].

3.2 ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

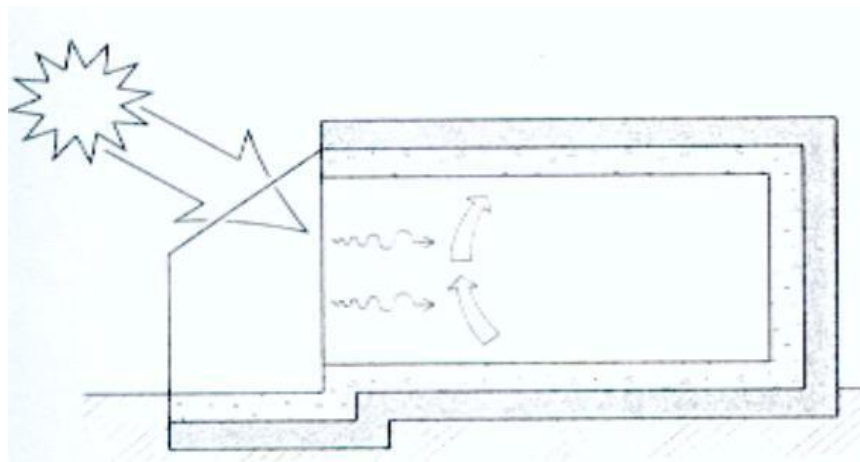
Τα παθητικά ηλιακά συστήματα αποτελούν βασικό στοιχείο του βιοκλιματικού σχεδιασμού, διότι βελτιώνουν την ενεργειακή απόδοση των κατασκευών. Επιπλέον είναι στοιχεία, διατάξεις, και κατασκευές που παρουσιάζουν υψηλό βαθμό ενσωμάτωσης μορφολογικά και κατασκευαστικά στη δομή του κτηρίου, ώστε να επιτυγχάνεται συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας και η αποθήκευση της θερμότητας που προέρχεται από την ηλιακή ακτινοβολία

Πολλές κατηγορίες αυτών των συστημάτων λειτουργούν με σημαντικά αυξημένη απόδοση, αν γίνει χρήση ανεμιστήρα ή αντλίας για υποβοήθηση της ενεργειακής απολαβής

Τα παθητικά συστήματα μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες:

1. Σε συστήματα με άμεσο ή απευθείας ηλιακό όφελος : η συλλογή, αποθήκευση και μετάδοση της θερμότητας γίνεται μέσα στο χώρο, για τον οποίο έχει σχεδιαστεί το σύστημα. Προφανώς, το ηλιακό παθητικό σύστημα αποτελεί μέρος του κελύφους
2. Σε συστήματα με έμμεσο ηλιακό όφελος: Η συλλογή και η αποθήκευση γίνεται σε ειδικά διαμορφωμένο χώρο του κελύφους, ο οποίος εφάπτεται στο χώρο που προβλέπεται να θερμανθεί
3. Σε συστήματα απομονωμένου ηλιακού οφέλους: Το στοιχείο συλλογής βρίσκεται μακριά από την αποθήκη θερμότητας και το χώρο που πρόκειται να θερμανθεί. Σ' αυτήν την περίπτωση δημιουργείται ένα σύστημα μεταφοράς της θερμότητας από τη συλλογή στην αποθήκευση και έπειτα στο θερμαινόμενο χώρο.

3.2.1 Παθητικά ηλιακά συστήματα με άμεσο ηλιακό όφελος



Εικόνα 5: Παθητικό ηλιακό σύστημα με άμεσο ηλιακό όφελος

Το πιο απλό και με την υψηλότερη απόδοση σύστημα είναι αυτό του άμεσου ηλιακού οφέλους, που αποτελείται κυρίως από ένα καλά μονωμένο κτήριο με μια σχετικά μεγάλη νότια προσανατολισμένη επιφάνεια με τζάμι που δέχεται τις ακτίνες του χειμερινού ήλιου υπό μικρή γωνία. Η συλλογή, η αποθήκευση και η μετάδοση θερμότητας γίνεται μέσα στο χώρο που έχει σχεδιαστεί να λειτουργήσει το σύστημα. Στα συστήματα αυτά, η οροφή, οι τοίχοι και το δάπεδο έχουν πολύ καλή μόνωση. Η ηλιακή ακτινοβολία εισέρχεται από τα παράθυρα και απορροφάται από τα δομικά υλικά του κτηρίου ενώ η ενέργεια που συλλέχθηκε κατά την διάρκεια της ημέρας, απελευθερώνεται σταδιακά κατά τη νύχτα, όταν δεν υπάρχει πλέον ενέργεια προερχόμενη άμεσα από τον ήλιο. Πολύ σημαντικούς παράγοντες αποτελούν ο προσανατολισμός των υαλοπινάκων, το μέγεθος των υαλοπινάκων, το είδος του υαλοπίνακα, η σκίαση και ηλιοπροστασία των υαλοπινάκων και τέλος η θερμική μάζα.

Η θερμική μάζα είναι πολύ σημαντική καθώς λειτουργεί ως αποθήκη της θερμότητας η οποία προέρχεται από τον ήλιο και την απελευθερώνει αργότερα με την μορφή θερμικής ακτινοβολίας στον εσωτερικό χώρο. Ο ρόλος της θερμικής μάζας ως αποθήκη της θερμότητας είναι ρόλος-κλειδί. Η θερμική μάζα ενός κτηρίου έχει δύο βασικές λειτουργίες:

- 1) μειώνει τις θερμοκρασιακές κορυφές (μέγιστα και ελάχιστα)
- 2) δημιουργεί χρονοκαθυστέρηση ως προς τις θερμοκρασιακές κορυφές του ατμοσφαιρικού αέρα

Τα κτήρια με μειωμένη θερμική μάζα δεν είναι σε θέση να αποθηκεύσουν ικανοποιητικά ποσά θερμότητας για νυκτερινή χρήση. Η θερμική μάζα αποτελείται από το σύνολο των θερμοσυσσωρευτικών υλικών των δομικών στοιχείων

Θερμοχωρητικότητα ενός κτηρίου είναι η ικανότητά του να αποθηκεύει θερμότητα στο εσωτερικό του. Η θερμότητα αποθηκεύεται στην θερμική μάζα του κτηρίου.

Θερμοχωρητικά υλικά είναι όλα τα οικοδομικά υλικά με πυκνή μοριακή δομή όπως η πέτρα, το μάρμαρο, το σκυρόδεμα, το τούβλο, ο πηλός και τα κεραμικά υλικά.

Η θερμική μάζα απορροφά θερμότητα από την ηλιακή ακτινοβολία καθώς και το θερμό αέρα στο εσωτερικό του κτηρίου. Στη συνέχεια την συσσωρεύει και την αποθηκεύει (ονομάζεται και αποθήκη θερμότητας του κτηρίου). Όταν ο εσωτερικός αέρας είναι θερμότερος από τα δομικά υλικά, αυτά αποθηκεύουν θερμότητα ενώ όταν ο εσωτερικός αέρας είναι ψυχρότερος από τα δομικά υλικά, αυτά αποδίδουν θερμότητα

Η θερμική μάζα του κτηρίου πρέπει να είναι τόση ώστε το χειμώνα αρχικά να προλαβαίνει να θερμανθεί ικανοποιητικά κατά τη διάρκεια της μέρας και έπειτα να αποδίδει θερμότητα και να διατηρεί συνθήκες θερμικής άνεσης καθ' όλη την διάρκεια της νύχτας έως το επόμενο πρωί. Αντίθετα το καλοκαίρι θα πρέπει να προλαβαίνει να ψυχθεί κατά τη διάρκεια της νύχτας και στη συνέχεια οι τοίχοι να εξακολουθούν, έστω και οριακά, να ψύχουν τον εσωτερικό αέρα, ως την δύση, την ώρα της μέρας κατά την οποία η εξωτερική θερμοκρασία πέφτει σε επίπεδα χαμηλότερα από την εσωτερική.

Η αποτελεσματικότητα της θερμικής μάζας σε κτήρια άμεσου ηλιακού οφέλους εξαρτάται από το πάχος της, την επιφάνειά της και τις θερμικές της ιδιότητες (θερμοχωρητικότητα, και θερμική αγωγιμότητα). Τα καλύτερα υλικά που χρησιμοποιούνται ως θερμική μάζα είναι αυτά που έχουν υψηλή θερμοχωρητικότητα (ικανότητα αποθήκευσης) καθώς και αυτά που διευκολύνουν την μεταφορά θερμότητας από την επιφάνεια προς το εσωτερικό για αποθήκευση και το αντίστροφο για την ικανοποίηση των θερμικών αναγκών[14].

Συμπερασματικά η αποτελεσματικότητα του συστήματος εξαρτάται από τους παρακάτω παράγοντες:

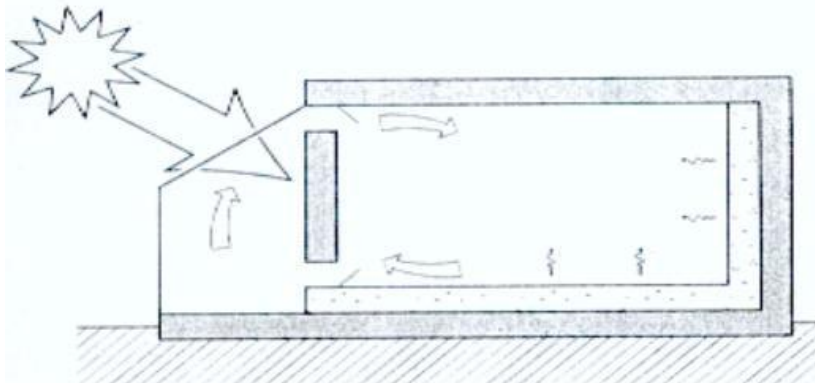
1. Τον προσανατολισμό και την θέση των υαλοστασίων. Ευνοϊκότερος προσανατολισμός είναι ο νότιος.
2. Το μέγεθος και ο τύπος των υαλοστασίων. Επιλογή ειδικού τύπου διπλού ή τριπλού υαλοπίνακα για την αποφυγή θάμβωσης με εσωτερικό και εξωτερικό σκιασμό και νυχτερινή μόνωση.
3. Τη θέση και τη ποσότητα της μάζας της θερμικής αποθήκευσης. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται ως επί το πλείστον για αποθήκευση θερμότητας είναι τα οικοδομικά υλικά με υψηλή θερμοχωρητικότητα, όπως το οπλισμένο σκυρόδεμα, τα τούβλα, το μάρμαρο, τα κεραμικά πλακίδια κ.α. Στην περίπτωση που η θερμική αποθήκη τοποθετείται στο πάτωμα, συνίσταται να επιλεγεί υλικό με σκούρο χρώμα επειδή επιτυγχάνεται μεγαλύτερη απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας.
4. Τη θερμομόνωση του κτιρίου για την αποφυγή της διαφυγής της θερμότητας στο περιβάλλον.

Πλεονεκτήματα των παθητικών ηλιακών συστημάτων με άμεσο ηλιακό όφελος

- το χαμηλό κόστος
- η ευκολία κατασκευής : στις περισσότερες περιπτώσεις αρκεί η σωστή χωροθέτηση των ανοιγμάτων. Δεν απαιτείται πρόσθετη μάζα θερμικής αποθήκευσης, για συμμετοχή έως 25% της ηλιακής ενέργειας στη θέρμανση του χώρου

- η είσοδος και εκμετάλλευση του φυσικού φωτός στο κτήριο και ικανοποιητική οπτική επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον

3.2.2 Παθητικά ηλιακά συστήματα με έμμεσο ηλιακό όφελος



Εικόνα 6: Παθητικό ηλιακό σύστημα με έμμεσο ηλιακό όφελος

Τα συστήματα έμμεσου ηλιακού οφέλους είναι συστήματα τα οποία συλλέγουν και αποθηκεύουν την ηλιακή ενέργεια. Το χειμώνα η ενέργεια συλλέγεται και αποθηκεύεται για να απελευθερωθεί αργότερα κατά τη διάρκεια της ημέρας ενώ το καλοκαίρι τα συστήματα αντιστρέφουν την λειτουργία τους αποτρέποντας την υπερθέρμανση στο εσωτερικό του κτηρίου. Η συλλογή και η αποθήκευση θερμότητας γίνεται σε ειδικά διαμορφωμένο τμήμα του κελύφους, εφαπτόμενο του χώρου που προβλέπεται να θερμανθεί.

Τύποι έμμεσου ηλιακού οφέλους είναι οι εξής:

- Α. Οι τοίχοι θερμικής αποθήκευσης (τοίχος μάζας, τοίχος Trombe, τοίχος νερού).
- Β. Προσαρτημένος ηλιακός χώρος ή θερμοκήπιο

Α. Τοίχοι θερμικής αποθήκευσης

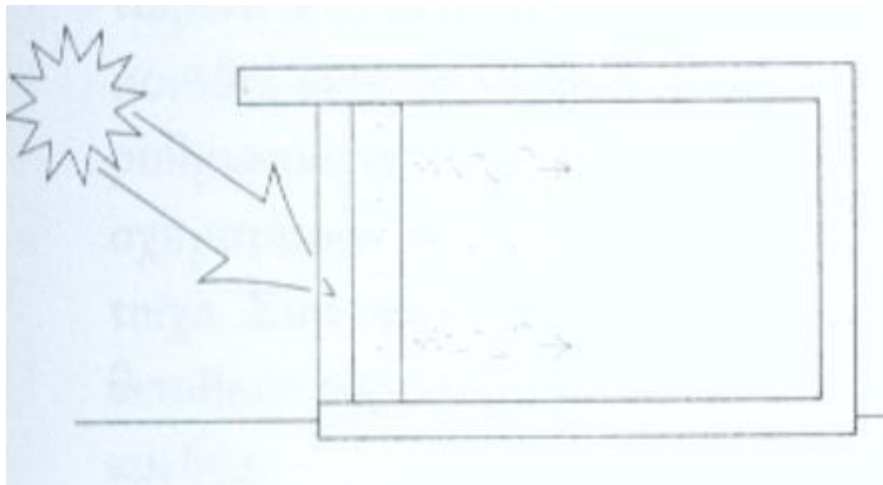
Πλεονεκτήματα τοίχων θερμικής αποθήκευσης:

- Δεν υπάρχει άμβωση και κίνδυνος αλλοίωσης υφασμάτων από υπεριώδη ακτινοβολία
- Οι διακυμάνσεις της εσωτερικής θερμοκρασίας είναι σχετικά μικρές (μικρότερες από ό,τι στο σύστημα άμεσου κέρδους)
- Η μεγάλη χρονική καθυστέρηση για τη μετάδοση της θερμότητας, που έχει σαν αποτέλεσμα η θερμότητα να αποδίδεται κατά τις νυχτερινές ώρες, όταν είναι περισσότερο απαραίτητη

Μειονεκτήματα τοίχων θερμικής αποθήκευσης:

- Η μείωση των νότιων ανοιγμάτων και η δημιουργία κλειστής νότιας όψης
- Το κόστος της νυχτερινής μόνωσης, εάν απαιτείται
- Η καθημερινή λειτουργία των θυρίδων, όταν πρόκειται για τοίχο Trombe
- Η απαίτηση καθαρισμού του υαλοστασίου

Τοίχος μάζας



Εικόνα 7: Απεικόνιση τοίχου μάζας

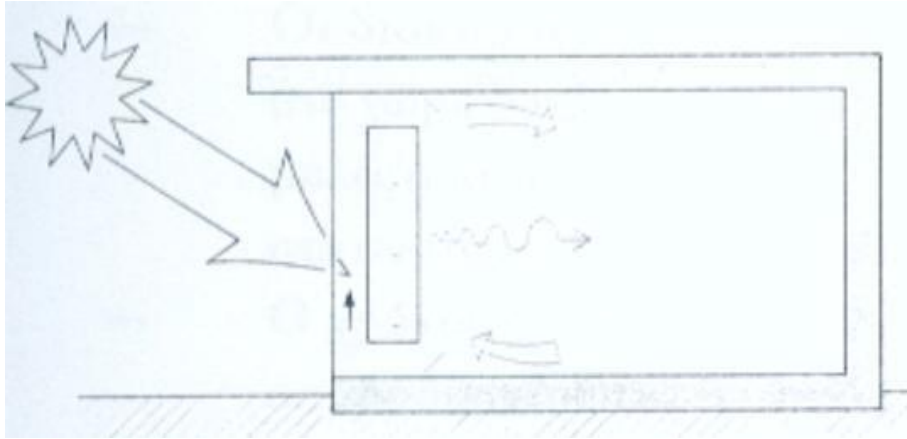
Ο τοίχος μάζας δημιουργείται όταν τοποθετηθεί κάποιο διαφανές κάλυμμα στην εξωτερική επιφάνεια και σε μικρή απόσταση ενός καλά αγωγίμου τοίχου. Η εξωτερική επιφάνεια του τοίχου πρέπει να είναι σκουρόχρωμη ώστε να μεγιστοποιεί την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Ο τοίχος κατασκευάζεται από υλικά μεγάλης θερμοχωρητικότητας για να διασφαλίζει χρονική υστέρηση τουλάχιστον 6 h ώστε η εσωτερική του επιφάνεια να έχει τη μέγιστη θερμοκρασία στην αρχή της νύχτας. Επιπλέον ο τοίχος μάζας μεταφέρει την θερμότητα μέσω αγωγιμότητας. Για την βέλτιστη θερμική απόδοση, τα στοιχεία αποθήκευσης αυτής της μάζας τοποθετούνται εντός του κτηρίου.

Συνήθως κατασκευάζεται ένας μεγάλος τοίχος με κατάλληλο προσανατολισμό. Η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία θερμαίνει την μάζα του τοίχου στη διάρκεια της ημέρας. Μετά τη Δύση η αποθηκευμένη θερμότητα εκπέμπεται για χρονική περίοδο που εξαρτάται από το πάχος του τοίχου και τα θερμικά του χαρακτηριστικά. Το τζάμι στην εξωτερική επιφάνεια μειώνει την απώλεια θερμότητας προς το εξωτερικό περιβάλλον

Δηλαδή η ηλιακή ακτινοβολία πέφτει στον τοίχο μάζας και απορροφάται από αυτόν θερμαίνοντας την επιφάνειά του. Η θερμότητα αυτή, με τη μορφή προοδευτικής αύξησης θερμοκρασίας, μεταφέρεται μέσα από τον τοίχο στην εσωτερική επιφάνεια με συναγωγή, από όπου ακτινοβολείται και διαχέεται στο χώρο διαβίωσης. Η απόδοση ενός τοίχου μάζας εξαρτάται:

1. Από το υλικό κατασκευής και το πάχος του τοίχου. Κατάλληλα υλικά είναι κυρίως το οπλισμένο σκυρόδεμα, οι λιθοδομές, οι συμπαγείς οπτόπλινθοι και οι συμπαγείς τσιμεντόλιθοι. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης το νερό τοποθετημένο σε κατάλληλα δοχεία, καθώς και οικοδομικά υλικά που περιέχουν υλικά αλλαγής φάσης (PCM)
2. Από την επιλογή των υαλοστασίων. Συνήθως χρησιμοποιούνται διπλοί υαλοπίνακες

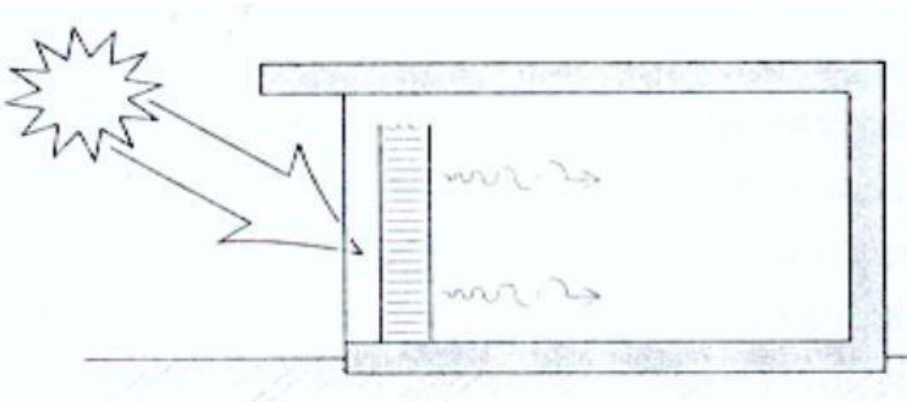
Τοίχος TROMBE



Εικόνα 8: Απεικόνιση τοίχου TROMBE

Ο τοίχος TROMBE είναι μια παραλλαγή του τοίχου μάζας όπου ο τοίχος μάζας διαθέτει ελεγχόμενες οπές αερισμού στα άνω και κάτω μέρη του για να επιτρέπει τη μεταφορά θερμότητας μέσω της φυσικής κυκλοφορίας του αέρα αυξάνοντας έτσι την απόδοσή του. Οι οπές αερισμού στο επάνω και κάτω μέρος επιτρέπουν στον αέρα να κυκλοφορεί διαμέσου αυτών στο χώρο που θερμαίνεται. Βασική προϋπόθεση για τη λειτουργία του τοίχου αποτελεί το κλείσιμο των θυρίδων το βράδυ για να αποτραπεί η αντίστροφη κυκλοφορία του αέρα στο διάκενο.

Τοίχος νερού



Εικόνα 9: Απεικόνιση τοίχου νερού

Ο τοίχος νερού είναι μια παραλλαγή του τοίχου μάζας, όπου το νερό αντικαθιστά τον συμπαγή τοίχο, δηλ. η δεξαμενή νερού αντικαθιστά την τοιχοποιία. Συνήθως χρησιμοποιούνται μακριοί σωλήνες από γυαλί. Το νερό έχει μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα από τον οπτόπλινθο ή το τσιμέντο για ένα δεδομένο όγκο, και συνεπώς ένας τοίχος νερού μπορεί να λειτουργήσει πιο αποτελεσματικά από τον συμπαγή τοίχο.

Ο τοίχος νερού μοιάζει με τα συστήματα τοίχου μάζας και τοίχου TROMBE, με τη διαφορά ότι το περιεχόμενο νερό αντικαθιστά τον τοίχο μάζας

Πλεονέκτημα : Η λειτουργία του συστήματος βασίζεται στη μεγάλη θερμοχωρητική ικανότητα του νερού, που αποθηκεύει μεγαλύτερα ποσά θερμότητας σε σχέση με οποιοδήποτε άλλο υλικό και έχει σημαντική θερμική απόδοση. Το πλεονέκτημα που παρουσιάζουν οι τοίχοι νερού είναι ότι, απαιτούνται μικρότερες επιφάνειες τοίχου, σε σχέση με τους άλλους τοίχους θερμικής αποθήκευσης, από μπετόν, πέτρα, τούβλο κ.λ.π.

Μειονέκτημα : μπορεί να θεωρηθεί το γεγονός ότι, όπως θερμαίνεται ομοιόμορφα παρουσιάζει την ίδια θερμοκρασία τόσο στην εξωτερική, όσο και στην εσωτερική του επιφάνεια, και κατά συνέπεια η ακτινοβολία θερμότητας το βράδυ, συμβαίνει και προς τις δυο κατευθύνσεις, μέσα και έξω. Αυτή η αδυναμία μπορεί να αντιμετωπισθεί με νυχτερινή θερμική μόνωση στην εξωτερική πλευρά.

B. Προσαρτημένος ηλιακός χώρος ή θερμοκήπιο

Ο προσαρτημένος ηλιακός χώρος θεωρείται από τα πλέον λειτουργικά παθητικά ηλιακά συστήματα. Στην ουσία πρόκειται για ένα χώρο που λειτουργεί σαν ένας ηλιακός συλλέκτης αλλά και σαν ένας χρήσιμος χώρος. Είναι συνδυασμός παθητικού συστήματος «άμεσου κέρδους» και τοίχου θερμικής συσσώρευσης. Αποτελείται από ένα κλειστό χώρο με υαλοστάσιο στη νότια πλευρά του κτηρίου. Ανάλογα με το κλίμα και τον τρόπο με τον οποίο χρησιμοποιείται ο ηλιακός χώρος, μπορεί να χωρίζεται από το κυρίως κτήριο με ένα τοίχο θερμικής συσσώρευσης, ή μπορεί να υπάρχει ένα άλλο μέσο θερμικής αποθήκευσης μέσα στον ηλιακό χώρο. Στη δεύτερη περίπτωση το θερμοκήπιο είτε επιλέγεται να χρησιμοποιείται ως βιώσιμη επέκταση του κτιρίου και τότε η αποθήκευση της ηλιακής ενέργειας πρέπει να γίνεται στο δάπεδο που διαστρώνεται με υλικά μεγάλης θερμοχωρητικότητας, όπως το μαύρο μάρμαρο είτε προστίθεται ένας άλλος θερμοσυσσωρευτής όπως βαρέλια με νερό. Τις ηλιόλουστες ημέρες συλλέγει ηλιακή ενέργεια, η οποία μπορεί να μεταφερθεί μέσα στο σπίτι. Το βράδυ, και κατά την διάρκεια των κρύων ημερών, λειτουργεί ως μεταβατική ζώνη, περιορίζοντας τις απώλειες θερμότητας του κτηρίου. Χωρίς ηλιοφάνεια, η εσωτερική θερμοκρασία σ' ένα θερμοκήπιο με διπλό υαλοστάσιο φθάνει το χειμώνα τουλάχιστον στους 10 °C όταν η εξωτερική είναι 0°C.

Η λειτουργία του συστήματος είναι αποτέλεσμα της ακόλουθης διαδικασίας (φαινόμενο θερμοκηπίου): Όταν οι ακτίνες του ήλιου πέφτουν πάνω στον υαλοπίνακα, το μεγαλύτερο από την μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία περνάει το γυαλί αλλά το μεγαλύτερο ποσό της ακτινοβολίας μήκους κύματος μεγαλύτερου από 3- 4μm εμποδίζεται να περάσει. Η ακτινοβολία που περνάει απορροφάται από τους τοίχους, το δάπεδο και τα άλλα αδιαφανή στοιχεία τα οποία θερμαίνονται και επανεκπέμπουν μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία προς όλες τις διευθύνσεις. Όταν η μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία φτάνει στο γυαλί ένα μικρό κομμάτι της ανακλάται και το υπόλοιπο μεγαλύτερο απορροφάται. Η ενέργεια που απορροφάται τότε επανεκπέμπεται και προς τις δυο πλευρές του γυαλιού. Σαν αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας, ένα τμήμα της εισερχόμενης ακτινοβολίας παγιδεύεται στο εσωτερικό του κτιρίου προκαλώντας αύξηση της θερμοκρασίας του.

Οι τρόποι με τους οποίους η θερμότητα μεταφέρεται από το θερμοκήπιο στον εσωτερικό χώρο είναι: με απευθείας πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό του κτηρίου, με

μεταφορά του θερμού αέρα από το θερμοκήπιο στο χώρο, με αγωγή μέσω των διαχωριστικών τοίχων, με τη χρήση απλών ενεργητικών συστημάτων μεταφοράς θερμότητας και αποθήκευσής της στον εσωτερικό χώρο απ' όπου και μεταδίδεται με ακτινοβολία ή μεταφορά και τέλος με συνδυασμό των ανωτέρω[15].

Πλεονεκτήματα ηλιακών χώρων

- Δημιουργείται πρόσθετος κατοικήσιμος χώρος με μικρό κόστος
- Δημιουργείται χώρος για την καλλιέργεια φυτών
- Λειτουργεί ως φράγμα θερμικών απωλειών του κτηρίου κατά τη διάρκεια της ημέρας
- Ενσωματώνεται εύκολα σε υφιστάμενα κτήρια
- Οι θερμοκρασιακές διακυμάνσεις στον κατοικήσιμο χώρο είναι μικρές

Μειονεκτήματα ηλιακών χώρων

- Η θερμική απόδοση επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από το σχεδιασμό και γι' αυτό είναι δύσκολο να προβλεφθεί
- Υπάρχει κίνδυνος υπερθέρμανσης, ιδίως για το καλοκαίρι, εάν δε ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα ηλιοπροστασίας και αερισμού

3.3 ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ



Εικόνα 10: Καταμερισμός θερμικών απωλειών

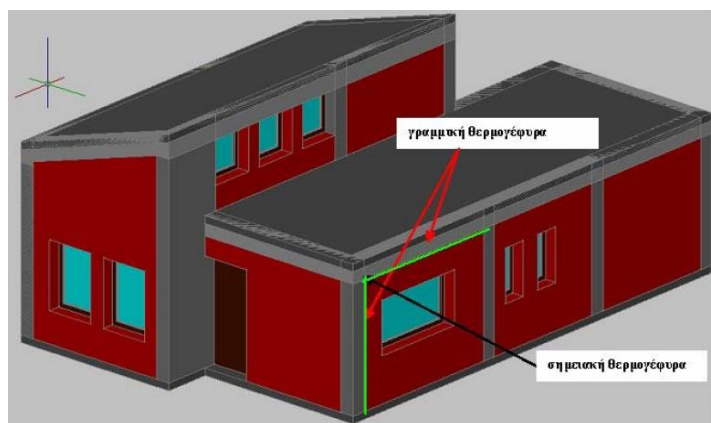
Η συνεχής ροή θερμότητας που προκαλείται ανάμεσα σε δύο σώματα με διαφορετικές θερμοκρασίες έχει ως αποτέλεσμα αυτό που ονομάζουμε θερμικές απώλειες. Θερμικές απώλειες στα κτήρια θεωρούνται τόσο οι απώλειες θερμότητας ενός χώρου το χειμώνα αλλά και η εισροή θερμότητας το καλοκαίρι, όταν ο εξωτερικός ατμοσφαιρικός αέρας είναι θερμότερος.

Θερμικές απώλειες προκαλούνται σε ένα κτήριο από τη μετάδοση θερμότητας του αέρα ενός εσωτερικού χώρου προς την ατμόσφαιρα ή προς ψυχρότερους γειτονικούς χώρους ή/και αντίστροφα.

Ανάμεσα σε δυο σώματα με διαφορετικές θερμοκρασίες, προκαλείται μια συνεχής ροή θερμότητας από το θερμότερο προς το ψυχρότερο, έτσι που οι θερμικές απώλειες δεν θεωρούνται μόνο για την απώλεια ζέστης ενός χώρου τον χειμώνα αλλά και της δροσιάς το καλοκαίρι, όταν ο ατμοσφαιρικός αέρας είναι θερμότερος. Αυτή η ροή θερμότητας είναι αδύνατον να εμποδιστεί τελείως και μπορεί μόνο να περιοριστεί ως προς την ένταση και τη διάρκεια της.

Βασικοί παράγοντες θερμικών απωλειών αποτελούν η θερμική αντίσταση του κελύφους, δηλαδή η ικανότητα του κελύφους να εμποδίζει τη ροή θερμότητας διαμέσου των στρώσεων του κάθε δομικού στοιχείου, οι οπτικές ιδιότητες των δομικών στοιχείων, δηλαδή η ικανότητα των στοιχείων να μην απορροφούν μεγάλα ποσά θερμικής ακτινοβολίας, η σκίαση των δομικών στοιχείων, δηλαδή η εξομάλυνση της θερμικής ακτινοβολίας άρα η μείωση της απορρόφησης αυτής από τα δομικά στοιχεία και η διείσδυση αέρα από χαραμάδες, δηλαδή ο μη ηθελημένος αερισμός του χώρου διαμέσου χαραμάδων και ρωγμών[14,15].

3.4 ΘΕΡΜΟΓΕΦΥΡΕΣ



Εικόνα 11: Απεικόνιση σημειακής και γραμμικής θερμογέφυρας

Θερμογέφυρα καλείται το τμήμα ενός κατασκευαστικού στοιχείου που επιτρέπει τη διάβαση της θερμότητας, με την έννοια ότι ο βαθμός θερμομόνωσής του υπολείπεται σημαντικά της μέσης συνολικής τιμής θερμομόνωσης του συνόλου του στοιχείου. Ως θερμογέφυρες ορίζονται τα σημεία ή οι επιφάνειες του κελύφους με σημαντική μείωση της θερμικής αντίστασης των δομικών στοιχείων σε σχέση με τις λοιπές επιφάνειες, που αποτελούν σημαντική πηγή θερμικών απωλειών. Εμφανίζονται κατεξοχήν στη διεπιφάνεια δύο διαφορετικών δομικών

στοιχείων ή δύο ίδιων δομικών στοιχείων διαφορετικού πάχους, σε συνδέσεις εξωτερικών δομικών στοιχείων και πλευρικά γύρω από ανοίγματα. Δημιουργούνται σε σημεία ένωσης παραθύρων, σε σημεία συμβολής δοκών και υποστυλωμάτων χωρίς ή με ανεπαρκή θερμομόνωση, με θερμομονωμένα τοιχεία του κτιρίου. Μπορούν να αποφευχθούν με την κατάλληλη ενεργειακή σχεδίαση και λεπτομερή εφαρμογή κατασκευής. Διακρίνονται σε γραμμικές και σε σημειακές. Οι γραμμικές θερμογέφυρες εμφανίζονται κατά μήκος μιας επιφάνειας, στην οποία συνενώνονται διάφορα δομικά στοιχεία (ένωση δαπέδου με τοίχο, ένωση δοκού με τοίχο). Αντίθετα οι σημειακές θερμογέφυρες εμφανίζονται τοπικά σε ένα σημείο και δεν υπάρχει ομοιογενής ροή θερμότητας κατά μήκος μια διεύθυνσης, όπως στις γραμμικές [16,17].

Οι θερμογέφυρες οφείλονται :

1. σε κατασκευαστικούς λόγους που καθιστούν δύσκολη ή αδύνατη την πλήρη θερμομονωτική προστασία του κελύφους
2. στην διακοπή της συνέχειας μιας θερμομονωτικής στρώσης στο κέλυφος του κτηρίου
3. σε κατασκευαστικές αδυναμίες, κακοτεχνίες, αστοχίες, παραλείψεις ή και φθορές
4. στη διακοπή της συνέχειας μιας θερμομονωτικής στρώσης ή στην μείωση του πάχους της
5. στην αλλαγή σύνθεσης των στρώσεων ενός φαινομενικά ενιαίου δομικού στοιχείου
6. σε σημεία όπου συναντώνται δύο κάθετα μεταξύ τους δομικά στοιχεία, όπου η θερμομονωτική προστασία είναι δυσχερής

4. ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗ

4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η μετάδοση θερμότητας γίνεται από ένα σώμα υψηλότερης θερμοκρασίας προς ένα σώμα χαμηλότερης θερμοκρασίας, δηλαδή έχουμε πάντοτε ροή θερμότητας από το θερμότερο στο ψυχρότερο περιβάλλον. Αυτή η μετάδοση θερμότητας παρατηρείται και στα κτίρια , με αποτέλεσμα τις κρύες ημέρες να έχουμε ροή θερμότητας από τον εσωτερικό χώρο προς το περιβάλλον και τις θερμές ημέρες από το περιβάλλον προς τον εσωτερικό χώρο. Θερμομόνωση ενός δομικού στοιχείου ονομάζεται το σύνολο των μεθόδων και των υλικών, που χρησιμοποιούνται για τον περιορισμό της ροής θερμότητα μεταξύ των χώρων εκατέρωθεν του στοιχείου. Η επιτυχής θερμομόνωση εξασφαλίζει τη μείωση του συντελεστή θερμοπερατότητας U του δομικού στοιχείου δηλαδή περιορίζει τη ροή θερμότητας διαμέσου του στοιχείου. Κάθε υλικό χαρακτηρίζεται από μια συγκεκριμένη τιμή της αντίστασης θερμοδιαφυγής R_0 αλλά μεγαλύτερες τιμές έχουν τα θερμομονωτικά υλικά. Όταν , λοιπόν θερμομονώσουμε το κέλυφος ενός κτιρίου χρησιμοποιώντας τα υλικά αυτά, αυξάνουμε την αντίσταση θερμοδιαφυγής της οικοδομής . Δηλαδή στην αντίσταση θερμοδιαφυγής της κατασκευής προσθέτουμε την αντίσταση θερμοδιαφυγής των μονωτικών υλικών. Θεωρητικά μπορούμε να μηδενίσουμε τη ροή θερμότητας αυξάνοντας το πάχος του θερμομονωτικού υλικού. Αυτό όμως σημαίνει αύξηση του πάχους των τοιχωμάτων (κόστος χώρου)και αύξηση της ποσότητας του θερμομονωτικού υλικού (κόστος υλικού). Σε κεντρικές κτιριακές εγκαταστάσεις το συνολικό πάχος των τοιχωμάτων έχει τεράστια οικονομική σημασία , γιατί το κόστος του διατιθέμενου ωφέλιμου εμβαδού είναι πολύ υψηλό . Στις περιπτώσεις αυτές δικαιολογείται η χρήση ισχυρών μονωτικών υλικών μεγάλου κόστους γιατί προέχει η εξοικονόμηση ενέργειας [18,21].

Η θερμομόνωση στο κτηριακό κέλυφος είναι σημαντική έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η διαφυγή της θερμότητας προς την ψυχρότερη ατμόσφαιρα ή προς ένα γειτονικό ψυχρότερο χώρο, ή φυσικά το αντίστροφο με σκοπό την δημιουργία θερμικής άνεσης και ευχάριστου εσωτερικού περιβάλλοντος για τους χρήστες.

Η θερμομόνωση πρέπει να εξασφαλίζει την υγιεινή, άνετη και θερμικά ευχάριστη διαβίωση χωρίς να διαταράσσεται το θερμικό ισοζύγιο του ανθρώπινου σώματος, τον περιορισμό των θερμικών απωλειών μέσω του κελύφους (και συνεπώς την εξοικονόμηση ενέργειας), την ταυτόχρονη προστασία από θορύβους καθώς τα περισσότερα θερμομονωτικά υλικά είναι και ηχομονωτικά και τέλος την προστασία του περιβάλλοντος.

Η αύξηση της θερμομονωτικής ικανότητας του κτιριακού κελύφους περιλαμβάνει παρεμβάσεις στους εξωτερικούς τοίχους, στο δώμα, στο δάπεδο εφόσον συνορεύει με μη θερμαινόμενους χώρους (υπόγειο) ή με τον εξωτερικό αέρα και σε εσωτερικούς τοίχους που συνορεύουν με μη θερμαινόμενους χώρους (αποθήκες).

Οι βασικές αρχές της θερμομόνωσης από τις οποίες εξαρτάται η σωστή εφαρμογή της σε ένα κτήριο είναι:

1. Η θερμομονωτική ικανότητα, δηλ. η αντίσταση θερμοδιαφυγής ($1/\Lambda=d/\lambda$) των στοιχείων κατασκευής. Αυτή εξαρτάται από τις ιδιότητες των βασικών υλικών που συνθέτουν μια κατασκευή θερμομόνωσης, δηλαδή, τη θερμική τους αγωγιμότητα και το πάχος τους.

2. Η θερμοχωρητικότητα των στοιχείων της κατασκευής, που συμβάλλει στον περιορισμό της ταχύτητας μεταβολής της θερμοκρασίας. Όταν οι τοίχοι και οι οροφές έχουν μεγάλη θερμοχωρητική ικανότητα, η θερμότητα που συγκεντρώνουν, όσο λειτουργεί το σύστημα θέρμανσης, αποβάλλεται όταν αυτό σταματήσει, με αποτέλεσμα να εμποδίζεται η γρήγορη ψύξη των χώρων. Το αντίστοιχο συμβαίνει με την ψύξη το καλοκαίρι.

3. Οι τιμές των συντελεστών θερμικής αγωγιμότητας και αντίστασης θερμοδιαφυγής των διαφόρων υλικών που συγκροτούν μια κατασκευή. Οι τιμές αυτές αφορούν τη θερμική αγωγιμότητα (λ) των πιο συνηθισμένων οικοδομικών υλικών, την αντίσταση θερμοδιαφυγής ($1/\Lambda$) των συρτωμάτων και τις απαιτήσεις που επιβάλλει ο Κ.ΕΝ.Α.Κ[18,19].

Συμπερασματικά η σωστή θερμομόνωση ενός κτιρίου έχει ως αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη θερμική άνεση στο εσωτερικό του κτιρίου, την αύξηση του κατασκευαστικού κόστους κατά 4% περίπου, τη μείωση των αρχικών δαπανών για την εγκατάσταση του συστήματος θέρμανσης, επειδή περιορίζει τις προβλεπόμενες απώλειες θερμότητας, τη μείωση των λειτουργικών εξόδων του κτιρίου ,επειδή περιορίζει την κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη και τη διατήρηση των θερμικών ηλιακών κερδών επί μεγάλο χρονικό διάστημα στο εσωτερικό του κτηρίου[19,20].

4.2 ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

4.2.1 Βασικά κριτήρια επιλογής θερμομονωτικών υλικών:

Α. Θερμικά χαρακτηριστικά:

- ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας (λ)
- η ειδική θερμότητα
- ο συντελεστής θερμικής διαστολής

Β. Μηχανικά χαρακτηριστικά:

- αντοχή (σε σύνθλιψη, κάμψη, δονήσεις)
- πυκνότητα
- ελαστικότητα, ευθραυστότητα

Γ. χημική συμπεριφορά:

- αντίσταση στη διάβρωση, στους μικροοργανισμούς, έντομα, κλπ.
- συμπεριφορά στην υγρασία
- συμπεριφορά στη φωτιά
- βαθμός ευαισθησίας σε υπεριώδη ακτινοβολία, σε διαλύτες, στο θαλασσινό νερό, κλπ.

Δ. Οικονομικά στοιχεία:

- κόστος, χρόνος απόσβεσης, κλπ.

Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ είναι η πιο σημαντική ιδιότητα. Προσδιορίζει πόσο εύκολα ρέει η θερμότητα δια μέσου ενός υλικού (το αντίστροφο : η θερμομονωτική

ικανότητα). Όσο μικρότερη τιμή έχει τόσο καλύτερη η θερμομονωτική ικανότητα του υλικού. Για μεγαλύτερα πάχη υλικού η τιμή του λ αυξάνεται λόγω κινητικότητας των μορίων του αέρα ενώ με την αύξηση του πάχους του υλικού αυξάνεται το λ .

Θερμομονωτικά υλικά θεωρούνται τα υλικά με $\lambda < 0.20 \text{ W/(mK)}$ ενώ επιπλέον είναι υλικά μικρού ειδικού βάρους (πορώδη). Η θερμομονωτική τους ικανότητα οφείλεται στον εγκλωβισμένο (πρακτικά ακίνητο αέρα) που παρεμβάλλεται ανάμεσα στις ίνες ή μέσα στις κυψελίδες. Σε στερεά μορφή, η δομή της μάζας τους είναι ινώδες σύμπλεγμα ή πλέγμα ανοικτών/κλειστών κυψελίδων.

Χαρακτηριστικά των θερμομονωτικών υλικών

- **Θερμομονωτική ικανότητα του υλικού.** Όσο χαμηλότερος ο συντελεστής του θερμικής αγωγιμότητας, τόσο μεγαλύτερη είναι η θερμομονωτική ικανότητά του.
- **Εύρος των θερμοκρασιών που μπορεί να χρησιμοποιηθεί.** Η μέγιστη και η ελάχιστη θερμοκρασία λειτουργίας εκφράζουν τα θερμοκρασιακά όρια μέσα στα οποία μεταβάλλεται ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας, δηλαδή το υλικό διατηρεί τη θερμομονωτική του ικανότητα.
- **Αντοχή σε υγρασία.** Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του συντελεστή αντίστασης υδρατμοδιαφυγής, τόσο δυσκολότερα διέρχονται οι υδρατμοί μέσω της μάζας του υλικού.
- **Αντοχή σε φωτιά.**
- **Ηχομονωτική ικανότητα.** Όσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής απορρόφησης ήχου, τόσο καλύτερη είναι η ηχοαπορροφητικότητα του υλικού [19,20].

4.2.2 Κατάταξη θερμομονωτικών υλικών

Τα θερμομονωτικά υλικά μπορεί να είναι ανόργανα (με φυσικές πρώτες ύλες: περλίτη, ελαφρόπετρα και συνθετικές πρώτες ύλες: υαλοβάμβακα, πετροβάμβακα), οργανικά (με φυσικές πρώτες ύλες: φελλό, πλάκες αχύρου, βαμβάκι, λινάρι, μαλλί και συνθετικές πρώτες ύλες: πολυστερίνη (διογκωμένη EPS, εξηλασμένη XPS), πολυουρεθάνη, καουτσούκ, φαινολικό αφρό καθώς και σκυροδέματα (με φυσικές πρώτες ύλες: κισσηρόδεμα αμιαντοσκυρόδεμα και συνθετικές πρώτες ύλες: κυψελομετόν αερομετόν περλομετόν)

Τα πιο διαδεδομένα θερμομονωτικά υλικά είναι ο πετροβάμβακας, ο υαλοβάμβακας, η εξηλασμένη πολυστερίνη, η διογκωμένη πολυστερίνη και η πολυουρεθάνη τα οποία αναλύονται παρακάτω [22].

4.2.2.1 Πετροβάμβακας



Εικόνα 12: Πετροβάμβακας

Ο πετροβάμβακας είναι ινώδες μονωτικό υλικό το οποίο χρησιμοποιείται στις οικοδομές, και σε τεχνικές και βιομηχανικές εφαρμογές. Ανήκει στην κατηγορία των ανόργανων ινωδών υλικών και χαρακτηρίζεται από θερμομονωτική και ηχομονωτική ικανότητα, και αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες. Οι πρώτες ύλες για την παραγωγή του είναι ο δολομίτης, ο ασβεστόλιθος, ο βωξίτης. Στο εμπόριο κυκλοφορεί είτε ως πάπλωμα σε ρολό ή ενισχυμένο με μεταλλικό πλέγμα είτε ως απλές ή ενισχυμένες πλάκες.

Τα προϊόντα πετροβάμβακα στο εμπόριο συναντώνται με ένα σκούρο κίτρινο-πράσινο χρώμα. Για την παραγωγή του χρησιμοποιούνται κατά 80% φυσικά πετρώματα και η παραγωγή του δεν αφήνει σημαντικές ποσότητες αποβλήτων, ενώ και οι ίνες του προϊόντος κατά την αποκομιδή τους σε βάθος χρόνου είναι βιοδιαλυτές.

Πλεονεκτήματα του πετροβάμβακα αποτελούν οι πολύ καλές θερμομονωτικές και ηχομονωτικές ιδιότητες, το γεγονός πως αντέχει στη υγρασία και διατηρεί τις θερμομονωτικές του ιδιότητες ακόμα και όταν βραχεί ενώ αντέχει και στη φωτιά καθώς είναι άκαυστος μέχρι τους 1000° C καθυστερώντας και την εξάπλωση της φωτιάς.

Μειονέκτημα του είναι το γεγονός πως η τυχόν εισπνοή των ινών μπορεί να προκαλέσει αναπνευστικά προβλήματα ενώ και η τιμή του είναι αυξημένη σε σχέση με άλλα θερμομονωτικά υλικά.

4.2.2.2 Υαλοβάμβακας



Εικόνα 13: Υαλοβάμβακας

Ο υαλοβάμβακας είναι μονωτικό υλικό που αποτελείται από πολύ λεπτές ίνες γυαλιού και το οποίο ανήκει στην κατηγορία των ανόργανων ινωδών υλικών. Χρησιμοποιείται σαν ενισχυτικό υλικό σε πολλά πολυμερή προϊόντα, δημιουργώντας σύνθετα πολυμερή υλικά γνωστά ως “πολυμερή ενισχυμένα με ίνες” ή “πλαστικά ενισχυμένα με γυαλί”. Τα προϊόντα υαλοβάμβακα έχουν κίτρινο χρώμα που το αποκτούν κατά την επεξεργασία των ινών του γυαλιού με την θερμοσκληρυνόμενη ρητίνη, ενώ ορισμένα προϊόντα συναντώνται και με λευκό χρώμα. Στο εμπόριο κυκλοφορεί ως πάπλωμα σε ρολό, ως πάπλωμα προστατευμένο από τη μια του όψη με φύλλα αλουμινίου, ως πάπλωμα ενισχυμένο με μεταλλικό πλέγμα και ως απλές ή ενισχυμένες πλάκες.

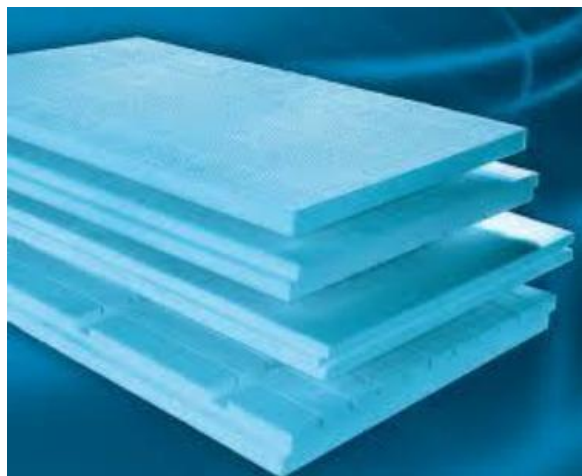
4.2.2.3 Διογκωμένη πολυστερίνη



Εικόνα 14: Διογκωμένη πολυστερίνη

Η διογκωμένη πολυστερίνη είναι γνωστή και ως “φελιζόλ” και διεθνώς γνωστή ως EPS (Expanded polystyrene). Αποτελεί ελαφρύ θερμομονωτικό υλικό που χρησιμοποιείται στην οικοδομή και σε άλλες εφαρμογές. Παράγεται σε μεγάλα μπλοκ τα οποία κόβονται σε πλάκες ενώ προέρχεται από την πετροχημική βιομηχανία και ανήκει στην κατηγορία των αφρωδών συνθετικών υλικών. Πρόκειται για άοσμο υλικό το οποίο έχει την δομή κλειστών κυψελίδων. Κυκλοφορεί είτε σε πλάκες είτε σε κόκκους(χύμα).

4.2.2.4 Εξυλασμένη πολυστερίνη



Εικόνα 15: Εξυλασμένη πολυστερίνη

Η εξυλασμένη πολυστερίνη είναι διεθνώς γνωστή ως XPS (Extruded polystyrene) και αποτελεί ελαφρύ θερμομονωτικό υλικό με βάση την πολυστερίνη που χρησιμοποιείται στην οικοδομή και σε άλλες εφαρμογές. Παράγεται σε πλάκες με την μέθοδο της εξέλασης και έχει μονωτικές ιδιότητες λόγω παγίδευσης αερίου σε κλειστές κυψελίδες. Ένα κύριο χαρακτηριστικό της είναι οι κλειστοί πόροι και η έλλειψη απορρόφησης νερού, κάτι που κάνει την εξηλασμένη πολυστερίνη κατάλληλη για εφαρμογές σε υψηλή υγρασία.

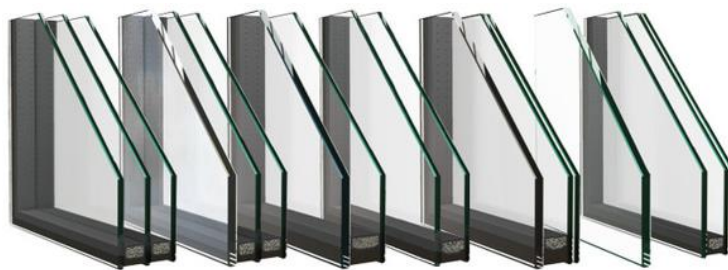
4.2.2.5 Πολυουρεθάνη



Εικόνα 16: Πολυουρεθάνη

Η πολυουρεθάνη είναι μονωτικό υλικό το οποίο ανήκει στην κατηγορία των σκληρών αφρωδών μονωτικών υλικών κλειστής κυψελωτής δομής. Έχει κίτρινο χρώμα σε αποχρώσεις από λευκό έως κίτρινο-πορτοκαλί. Στο εμπόριο διατίθεται ως σκληρές πλάκες, ως αφρός σε φιάλες για ατομική χρήση ή σε κυλινδρικά κιβώτια για γενικό ψεκασμό, ως πετάσματα τύπου σάντουιτς με εκατέρωθεν επικαλύψεις μεταλλικών φύλλων και σε πλάκες με επικάλυψη λεπτού φύλλου αλουμινίου επίπεδης ή τραπεζοειδούς μορφής

5. ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΕΣ



Εικόνα 17: Τύποι υαλοπινάκων

5.1 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΩΝ

Οι υαλοπίνκες χρησιμοποιούνται στα κτήρια για αερισμό και φυσικό φωτισμό. Ένας σημαντικός αριθμός μελετών έχουν δείξει ότι η υγεία, η άνεση και η παραγωγικότητα των ανθρώπων βελτιώνονται όταν ζουν και εργάζονται σε περιβάλλοντα με καλό αερισμό και πρόσβαση στο φυσικό φωτισμό. Ωστόσο οι υαλοπίνκες αποτελούν και μια σημαντική πηγή θερμικών απωλειών, προβλημάτων συμπύκνωσης και αισθήματος δυσφορίας. Μια πραγματική τεχνολογική επανάσταση έχει γίνει στη διάρκεια των τελευταίων ετών στο τομέα των υαλοπινάκων, η οποία περιλαμβάνει τον σχεδιασμό και την εφαρμογή συστημάτων υαλοπινάκων υψηλής ενεργειακής απόδοσης, που μπορούν να μειώσουν δραματικά την ενεργειακή κατανάλωση, παρουσιάζουν μικρές θερμικές απώλειες, μικρότερες διαρροές αέρα, και θερμότερες επιφάνειες που βελτιώνουν το αίσθημα άνεσης και μειώνουν τα προβλήματα συμπυκνώσεως. Αυτοί οι υαλοπίνκες υψηλής ενεργειακής απόδοσης έχουν διάφορα χαρακτηριστικά όπως διπλά ή τριπλά τζάμια, ειδικές διαφανείς επιστρώσεις, μονωτικό αέριο ανάμεσα στα τζάμια, βελτιωμένα πλαίσια, κλπ. Όλα αυτά τα χαρακτηριστικά μειώνουν τις απώλειες θερμότητας μέσω των παραθύρων[23].

Η δημιουργία και η ανάπτυξη κατάλληλων προδιαγραφών για τα συστήματα παραθύρων και υαλοπινάκων είναι πολύ σημαντικές και απαραίτητες για την επίτευξη θερμικής άνεσης και την εξοικονόμηση ενέργειας σε κάθε είδους κτήριο. Σε κτήρια κατοικίας οι σωστές και κατάλληλες ενεργειακές προδιαγραφές στα συστήματα παραθύρων και υαλοπινάκων μπορούν να μειώσουν την ενεργειακή κατανάλωση του κτηρίου σε ποσοστό 10%-50%. Σε εμπορικά, βιομηχανικά και εκπαιδευτικά κτήρια οι κατάλληλες ενεργειακές προδιαγραφές στα συστήματα παραθύρων και υαλοπινάκων έχουν το δυναμικό να μειώσουν το κόστος φωτισμού και HVAC σε ποσοστό 10%-40%.

Ο σχεδιασμός και η επιλογή των παραθύρων και των υαλοπινάκων πρέπει να βασίζονται σε μια ολιστική θεώρηση. Αυτή η ολιστική θεώρηση του σχεδιασμού των παραθύρων και των υαλοπινάκων περιλαμβάνει τα ακόλουθα: θερμικά κέρδη και απώλειες, οπτικές απαιτήσεις, σκίαση και ηλιοπροστασία, θερμική άνεση, έλεγχος συμπύκνωσης, έλεγχος υπερϊώδους

ακτινοβολίας, έλεγχος θερμικής ακτινοβολίας, έλεγχος ακουστικής, φυσικός φωτισμός, ενεργειακές απαιτήσεις

Τελικά, η βέλτιστη επιλογή παραθύρων και υαλοπινάκων εξαρτάται από ένα μεγάλο αριθμό παραγόντων όπως ο τύπος χρήσης του κτηρίου, το τοπικό μικρόκλιμα, ο προσανατολισμός του κτηρίου, κατασκευαστικά χαρακτηριστικά, κλπ[23,24].

5.2 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΩΝ

Οι τέσσερις βασικές οπτικές παράμετροι του τζαμιού που επηρεάζουν και καθορίζουν την μετάδοση ενέργειας με ακτινοβολία είναι η διαπερατότητα (transmittance), η ανακλαστικότητα (reflectance), η απορροφητικότητα (absorptance) και η εκπεμπτικότητα (emittance). Η διαπερατότητα εκφράζει το ποσοστό της ακτινοβολίας που περνάει μέσα από το τζάμι, δηλαδή την ικανότητα του τζαμιού να αφήνει να περάσει η ακτινοβολία από μέσα του, και την προσδιορίζουμε ανάλογα με την περιοχή μηκών κύματος ακτινοβολίας σαν διαπερατότητα στο ορατό κομμάτι του φάσματος, διαπερατότητα στο υπεριώδες, ή ολική διαπερατότητα στην ηλιακή ακτινοβολία. Η ανακλαστικότητα εκφράζει το ποσοστό της ακτινοβολίας που ανακλάται πάνω στην επιφάνεια του τζαμιού, δηλαδή η ικανότητα του τζαμιού να ανακλά την ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια του, ενώ η απορροφητικότητα εκφράζει το ποσοστό της ακτινοβολίας που απορροφάται από το τζάμι, δηλαδή την ικανότητα του τζαμιού να απορροφά την προσπίπτουσα ακτινοβολία. Τέλος η εκπεμπτικότητα εκφράζει το ποσοστό της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από το τζάμι σαν υπέρυθη ακτινοβολία, δηλαδή την ικανότητα του τζαμιού να ακτινοβολεί θερμική ακτινοβολία σύμφωνα με τους νόμους της μετάδοσης θερμότητας με ακτινοβολία[26,27].

Για να θέσουμε πλήρεις και σωστές προδιαγραφές σε ένα σύστημα παραθύρων και υαλοπινάκων, είναι απαραίτητο να προσδιορίσουμε τις ακόλουθες ενεργειακές παραμέτρους:

- Συντελεστής θερμοπερατότητας U-value των υαλοπινάκων
- Συντελεστής ηλιακών θερμικών κερδών από τους υαλοπίνακες (window solar heat gain coefficient, SHGC)
- Διαπερατότητα του τζαμιού στο ορατό κομμάτι του φάσματος (Glass Visible Transmittance, VT)
- Συντελεστής Διείσδυσης αέρα ή Infiltration

5.2.1 Συντελεστής θερμοπερατότητας ή U-value των υαλοπινάκων

Ο Συντελεστής Θερμοπερατότητας, (u-value), χαρακτηρίζει την θερμότητα που μεταδίδεται μέσω του γυαλιού και με τους τρεις τρόπους μετάδοσης θερμότητας (αγωγή, μεταφορά, ακτινοβολία), λόγω διαφοράς θερμοκρασίας στις επιφάνειες του και εκφράζει τον ρυθμό απωλειών θερμότητας, σε μόνιμες συνθήκες, λόγω διαφοράς θερμοκρασίας ανάμεσα στις επιφάνειες του τζαμιού. Η θερμοπερατότητα του τζαμιού εκφράζεται σε $W/m^2 \cdot K$. Ουσιαστικά, ο συντελεστής u-value εκφράζει τις απώλειες θερμότητας ανά τετραγωνικό μέτρο τοποθετημένου

υαλοπίνακα, για κάθε βαθμό ($^{\circ}\text{K}$ ή $^{\circ}\text{C}$) διαφοράς θερμοκρασίας ανάμεσα στον εξωτερικό και εσωτερικό χώρο.

Όσο χαμηλότερος είναι ο συντελεστής θερμοπερατότητας, τόσο μικρότερες είναι οι θερμικές απώλειες και τόσο μεγαλύτερη η θερμομονωτική ισχύς των υαλοπινάκων. Οι τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας μειώνονται όσο αυξάνεται το πάχος του τζαμιού, για παράδειγμα η τιμή του u-value για απλό τζάμι πάχους 4mm είναι $5.8 \text{ W/m}^2\text{K}$ ενώ για ένα μονό υαλοπίνακα πάχους 19mm η τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας μειώνεται σε $5.4 \text{ W/m}^2\text{K}$. Αντίστοιχα, ο συντελεστής u-value για ένα διπλό απλό υαλοπίνακα, ο οποίος αποτελείται από δύο υαλοπίνακες πάχους 4mm ο καθένας με απόσταση 12mm μεταξύ τους μειώνεται σε $2.9 \text{ W/m}^2\text{K}$. Στα διπλά τζάμια ο συντελεστής u-value μειώνεται ελαφρά όσο αυξάνεται η απόσταση ανάμεσα στα δύο τζάμια. Επιπροσθέτως, αν ανάμεσα στους δύο υαλοπίνακες, στα διπλά τζάμια, χρησιμοποιηθεί κάποιο άλλο αέριο όπως κάποιο από τα ευγενή αέρια (Ar ή Kr) η τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας μειώνεται περαιτέρω και φτάνει στο $2.6 \text{ W/m}^2\text{K}$ για την περίπτωση υαλοπινάκων πάχους 4mm ο καθένας με απόσταση μεταξύ τους 16mm. Επίσης οι ανακλαστικοί υαλοπίνακες προστατεύουν τον εσωτερικό χώρο από την ηλιακή ακτινοβολία. Ένας διπλός ανακλαστικός υαλοπίνακας 6mm πάχους και με απόσταση μεταξύ των τζαμιών 12mm (με αέρα), έχει συντελεστή θερμοπερατότητας $2.8 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Στη συνέχεια, εμφανίζονται εξελικτικά οι διπλοί υαλοπίνακες χαμηλής εκπεμπτικότητας (low emissivity glazing), ή ενεργειακοί υαλοπίνακες, (energy efficient glazing), οι οποίοι εμποδίζουν τις απώλειες θερμότητας από την μια πλευρά του τζαμιού στη άλλη, συντελώντας έτσι στην εξοικονόμηση ενέργειας. Αρχικά, διατίθενται οι υαλοπίνακες χαμηλής εκπεμπτικότητας πρώτης γενιάς που βασίζονται στο μπλοκάρισμα της μεταφοράς θερμότητας από την μια πλευρά του υαλοπίνακα στην άλλη λόγω λεπτών επιστρώσεων μεταλλικών οξειδίων (π.χ. οξείδια του αργύρου), τα οποία οι κατασκευαστές εναπέθεταν στη επιφάνεια των υαλοπινάκων. Για low-e glazing δεύτερης γενιάς ο συντελεστής u-value μειώνεται μεταξύ $2.2 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $1.6 \text{ W/m}^2\text{K}$, ενώ για low-e glazing τρίτης γενιάς με Ar στο διάκενο ανάμεσα στους υαλοπίνακες ο συντελεστής u-value φτάνει την τιμή $1.1 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Στον πίνακα 2 φαίνεται η μεταβολή του συντελεστή θερμοπερατότητας σε σχέση με την απόσταση ανάμεσα στους υαλοπίνακες και για τους εξής διαφορετικούς υαλοπίνακες:

- διπλούς με αέρα ανάμεσα στους υαλοπίνακες
- διπλούς με 90% Ar ανάμεσα στους υαλοπίνακες
- διπλούς με 90% Kr ανάμεσα στους υαλοπίνακες
- low-e με αέρα ανάμεσα στους υαλοπίνακες
- low-e με 90% Ar ανάμεσα στους υαλοπίνακες
- low-e με 90% Kr ανάμεσα στους υαλοπίνακες.

Απόσταση ανάμεσα στους υαλοπίνακες 6mm					
u-value=3.3 (αέρας)	u-value=3.0 (90% Ar)	u-value=2.8 (90% Kr)	u-value=2.5 (Low-e και αέρας)	u-value=2.0 (Low-e και 90% Ar)	u-value=1.4 (Low-e και 90% Ar)
Απόσταση ανάμεσα στους υαλοπίνακες 9mm					
u-value=3.0 (αέρας)	u-value=2.8 (90% Ar)	u-value=2.6 (90% Kr)	u-value=2.0 (Low-e και αέρας)	u-value=1.6 (Low-e και 90% Ar)	u-value=1.1 (Low-e και 90% Ar)
Απόσταση ανάμεσα στους υαλοπίνακες 12mm					
u-value=2.9 (αέρας)	u-value=2.7 (90% Ar)	u-value=2.6 (90% Kr)	u-value=1.7 (Low-e και αέρας)	u-value=1.3 (Low-e και 90% Ar)	u-value=1.1 (Low-e και 90% Ar)
Απόσταση ανάμεσα στους υαλοπίνακες 15mm					
u-value=2.7 (αέρας)	u-value=2.6 (90% Ar)	u-value=2.6 (90% Kr)	u-value=1.5 (Low-e και αέρας)	u-value=1.2 (Low-e και 90% Ar)	u-value=1.1 (Low-e και 90% Ar)
Απόσταση ανάμεσα στους υαλοπίνακες 20mm					
u-value=2.8 (αέρας)	u-value=2.6 (90% Ar)	u-value=2.6 (90% Kr)	u-value=1.4 (Low-e και αέρας)	u-value=1.2 (Low-e και 90% Ar)	u-value=1.1 (Low-e και 90% Ar)

Πίνακας 2 : Η μεταβολή του συντελεστή θερμοπερατότητας ανάλογα με το είδος του υαλοπίνακα και την απόσταση ανάμεσα στους υαλοπίνακες

5.2.2 Συντελεστής ηλιακών θερμικών κερδών από τους υαλοπίνακες (window solar heat gain coefficient, SHGC

Ο συντελεστής ηλιακών θερμικών κερδών από τους υαλοπίνακες, (SHGC), είναι η δεύτερη σημαντικότερη ενεργειακή παράμετρος των υαλοπινάκων μετά τον συντελεστή θερμοπερατότητας και εκφράζει την ικανότητα του τζαμιού να ελέγχει τα ηλιακά θερμικά κέρδη μέσω των υαλοπινάκων. Η πηγή των ηλιακών θερμικών κερδών είναι η άμεση ηλιακή ακτινοβολία που έρχεται κατευθείαν από την ήλιο, η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στο έδαφος από διάχυση στα νέφη και στα σωματίδια της ατμόσφαιρας, και η ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία από το έδαφος και τις άλλες επιφάνειες. Οι ενεργειακές προδιαγραφές και τα standards των παραθύρων που παλιότερα αντιπροσωπεύονταν από τον συντελεστή σκίασης, (shading coefficient, SC), σήμερα προσδιορίζονται από αυτόν τον νεότερο συντελεστή που ονομάζεται

SHGC, ο οποίος ορίζεται σαν ο λόγος της θερμότητας που μεταδίδεται μέσω του παραθύρου μέσα στο κτήριο προς την συνολική προσπίπτουσα στο παράθυρο ηλιακής ακτινοβολίας. Ο παλαιότερος SC και ο νεότερος SHGC συνδέονται μεταξύ τους με την σχέση:

$$SC=SHGC/0.87$$

Ο SHGC είναι καθαρός αριθμός και παίρνει τιμές ανάμεσα στο 0 και στο 1. SHGC=0 σημαίνει ότι δεν μεταδίδεται τίποτα από την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σαν θερμότητα μέσα στο κτήριο μέσω του παραθύρου, ενώ SHGC=1 δηλώνει ότι το σύνολο της προσπίπτουσας στο παράθυρο ηλιακής ακτινοβολίας μεταδίδεται σαν θερμότητα μέσω του παραθύρου μέσα στο κτήριο. Ένα παράθυρο με SHGC=0.6 θα μεταδίδει μέσα στο κτήριο διπλάσια ηλιακά θερμικά κέρδη από ένα παράθυρο με SHGC=0.3. Συνεπώς, σε κτήρια με υψηλό ψυκτικό φορτίο είναι λογικό να προτιμώνται υαλοπίνακες με χαμηλές τιμές του SHGC, ενώ παράθυρα με υψηλές τιμές του SHGC προτιμώνται σε κτήρια με υψηλό θερμικό φορτίο. Οι τιμές του συντελεστή SHGC κυμαίνονται από περίπου 80% για καθαρό τζάμι σε λιγότερο από 20% για ανακλαστικό τζάμι με χρωματική επίστρωση. Ένα απλό διπλό τζάμι έχει SHGC περίπου 0.70, αυτή η τιμή μειώνεται με την προσθήκη low-e επιστρώσεων, ενώ μειώνεται δραστικά με τη προσθήκη χρωματικών επιστρώσεων.

Στον Πίνακα 3 φαίνονται οι τιμές του συντελεστή SHGC για διαφορετικούς τύπους υαλοπινάκων.

Τύπος τζαμιού	SHGC
Μονό τζάμι πάχους 6mm	0.81
Μονό, white laminated με επίστρωση που απορρίπτει την θερμότητα, πάχους 6mm	0.46
Διπλό απλό τζάμι, πάχους 6mm	0.70
Διπλό, ανακλαστικό τζάμι (Bronze), πάχους 6mm	0.35
Τριπλό απλό τζάμι, πάχους 3mm	0.67
Διπλό τζάμι, Pyrolytic low-e, πάχους 3mm	0.71
Soft coat Low-e, double glaze with Ar, 6mm	0.57
High Efficiency low-e, 6mm	0.37
Suspended coated film, 3mm	0.35
Suspended coated film with Ar, 3mm	0.27
Double Suspended coated film with Kr, 3mm	0.34

Πίνακας 3 : οι τιμές του συντελεστή SHGC για διαφορετικούς τύπους υαλοπινάκων.

5.2.3 Διαπερατότητα του τζαμιού στο ορατό κομμάτι του φάσματος, ή Glass Visible Transmittance (VT)

Η glass visible transmittance, (VT), εκφράζει το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας από το ορατό κομμάτι του φάσματος που περνάει μέσα από το υλικό του τζαμιού. Η ηλιακή ακτινοβολία είναι μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία και καλύπτει ευρύ τμήμα του φάσματος από 0.2 μm έως 4 μm . Το ηλιακό φάσμα αποτελείται από τρεις κύριες περιοχές: α) το υπεριώδες

(UV), το οποίο δεν είναι ορατό από το ανθρώπινο μάτι και απορροφάται σε πολύ μεγάλο ποσοστό από το στρατοσφαιρικό όζον, β)το ορατό, (0.45 μm έως 0.75 μm), που είναι ορατό από το ανθρώπινο μάτι και περιέχει περίπου το 47% της ηλιακής ενέργειας και γ) το εγγύς υπέρυθρο που δεν είναι ορατό από το ανθρώπινο μάτι και περιέχει περίπου το 46% της ηλιακής ενέργειας. Όπως η SHGC έτσι και η VT είναι καθαρός αριθμός και παίρνει τιμές από 0 έως 1. Υψηλές τιμές της VT δηλώνουν ότι υπάρχει περισσότερος φυσικός φωτισμός σε ένα εσωτερικό χώρο, και αν το κτήριο έχει σχεδιαστεί σωστά μπορεί να μειώσει το ηλεκτρικό φορτίο. Η παράμετρος VT εξαρτάται από τον τύπο του τζαμιού, τον αριθμό των υαλοπινάκων, και την κάθε είδους επίστρωση των υαλοπινάκων. Οι τιμές της VT κυμαίνονται από πάνω από 90% για μη επιστρωμένο καθαρό τζάμι έως λιγότερο από 10% για πολύ ανακλαστικές επιστρώσεις σε χρωματιστά τζάμια. Ένα τυπικό διπλό τζάμι έχει VT περίπου 78%. Αυτή η τιμή ελαττώνεται ελαφρά με την προσθήκη μιας low-e επίστρωσης ενώ μειώνεται δραστικά με την προσθήκη χρώματος. Οι τιμές της VT για όλο το παράθυρο είναι πάντα χαμηλότερες από εκείνες στο κέντρο του τζαμιού καθώς η τιμή της VT για το πλαίσιο του παραθύρου είναι μηδέν. Παλαιότερα, σε περιοχές με υψηλά ψυκτικά φορτία, η χρήση επιστρώσεων και χρωμάτων στα παράθυρα είχε σαν συνέπεια την δραστική μείωση των τιμών της παραμέτρου VT. Ωστόσο, καινούργια υψηλής απόδοσης χρωματιστά τζάμια και low-solar-gain low-e επιστρώσεις έκαναν δυνατή τη μείωση των ηλιακών κερδών με μια μικρή μείωση της VT.

Με δεδομένο ότι η σχέση ανάμεσα στον έλεγχο των ηλιακών κερδών και στον έλεγχο του φωτισμού είναι πολύ σημαντική, ένας καινούργιος συντελεστής αναπτύχθηκε για να αποτυπώνει αυτή τη σχέση. Αυτός ο συντελεστής ονομάστηκε LSG (Lighting Solar Gain) και ορίζεται σαν ο λόγος της visible transmittance (VT) προς τον solar heat gain coefficient (SHGC). Δηλαδή: $LSG = VT / SHGC$

Στον Πίνακα 4 αποτυπώνονται οι τιμές της παραμέτρου VT για διαφορετικούς τύπους υαλοπινάκων.

Τύπος τζαμιού	VT (%)
Μονό τζάμι πάχους 6mm	89
Μονό, white laminated με επίστρωση που απορρίπτει την θερμότητα, πάχους 6mm	73
Διπλό απλό τζάμι, πάχους 6mm	79
Διπλό, ανακλαστικό τζάμι (Bronze), πάχους 6mm	21
Τριπλό απλό τζάμι, πάχους 3mm	74
Διπλό τζάμι, Pyrolitic low-e, πάχους 3mm	75
Soft coat Low-e, double glaze with Ar, 6mm	73
High Efficiency low-e, 6mm	70
Suspended coated film, 3mm	55
Suspended coated film with Ar, 3mm	53
Double Suspended coated film with Kr, 3mm	55

Πίνακας 4 : οι τιμές της παραμέτρου VT για διαφορετικούς τύπους υαλοπινάκων.

5.2.4 Διαρροές αέρα ή διείσδυση αέρα ή Infiltration

Όταν υπάρχει μια διαφορά πίεσης ανάμεσα στον εσωτερικό χώρο ενός κτηρίου και στον χώρο έξω από το κτήριο (η οποία δημιουργείται κυρίως από διαφορά θερμοκρασίας), ο αέρας διεισδύει μέσω των ρωγμών που υπάρχουν ανάμεσα στα μέρη που συναρμολογούν το παράθυρο. Η διείσδυση του αέρα οδηγεί στην αύξηση του θερμικού ή του ψυκτικού φορτίου του κτηρίου όταν ο εξωτερικός αέρας που εισέρχεται μέσα στο κτήριο πρέπει να θερμανθεί ή να ψυχθεί.

Τα επίπεδα της διείσδυσης εξαρτώνται από τις κλιματικές συνθήκες και ιδιαίτερα από το μικροκλίμα γύρω από το κτήριο. Οι ρωγμές και τα κενά αέρα που υπάρχουν αν ανάμεσα στις συναρμολογήσεις των παραθύρων δημιουργούν καταστάσεις διείσδυσης. Συνεπώς, η μόνωση και η στεγανοποίηση αυτών των περιοχών είναι πολύ σημαντικός παράγοντας για τον έλεγχο των διαρροών [25].

Τα αποτελέσματα των διαρροών και της διείσδυσης πολύ συχνά ποσοτικοποιούνται με την χρήση του όρου "Infiltration rate" δηλώνεται η ποσότητα του αέρα (σε κυβικά μέτρα στη μονάδα του χρόνου) που περνάει μέσα στο κτήριο μέσω μιας μοναδιαίας επιφάνειας τζαμιού υπό δεδομένες συνθήκες πίεσης. Πολύ συχνά στην φυσική κτηρίου και στους υπολογισμούς της ενεργειακής συμπεριφοράς των κτηρίων χρησιμοποιείται για τον ποσοτικό προσδιορισμό του Infiltration ο όρος *air exchange rate*, που καθορίζεται σαν ο αριθμός των αλλαγών αέρα μέσα στον όγκο του κτηρίου στη μονάδα του χρόνου. Ο όρος *air exchange rate* είναι επίσης γνωστός και σαν *air changes per hour (ACHs)*.

5.3 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΩΝ

Η επιλογή των υαλοπινάκων αποτελεί σημαντικότατο παράγοντα που επηρεάζει καθοριστικά την θερμική συμπεριφορά ενός κτηρίου. Ο σχεδιασμός και η επιλογή των παραθύρων και του τζαμιού οφείλουν να ενσωματώνονται με τις γενικότερες ενεργειακές απαιτήσεις του κτηρίου για ψύξη, θέρμανση και φωτισμό.[27,28] Τα σημαντικότερα κριτήρια επιλογής υαλοπινάκων μπορούν να συνοψισθούν ως ακολούθως:

- **Θερμική Συμπεριφορά - Θερμομόνωση**

α. Διπλοί Υαλοπίνακες: Ο σχεδιασμός και η εφαρμογή των διπλών υαλοπινάκων αποτέλεσε σταθμό στην θερμομονωτική απόδοση τους. Με τον όρο "διπλά τζάμια" εννοούμε δύο υαλοπίνακες κολλημένοι μεταξύ τους περιμετρικά, με διάκενο μεταξύ τους έτσι ώστε να σχηματίζουν έναν "υαλοθάλαμο". Η χρήση των διπλών υαλοπινάκων αποτελεί εδώ και δεκαετίες τον κανόνα στην κατασκευή παραθύρων και κουφωμάτων που παρέχουν θερμομόνωση και ηχομόνωση. Στη συνέχεια οι διπλοί υαλοπίνακες βελτιώθηκαν σημαντικά έτσι ώστε να αυξηθεί η ενεργειακή τους απόδοση με τη χρήση ευγενών αερίων κυρίως Ar ή Kr για την πλήρωση του διάκενου ανάμεσα στα δύο τζάμια, καθώς και με την κατάλληλη επιλογή των διαστάσεων του

ανωτέρω διάκενου για την επίτευξη των βέλτιστων αποτελεσμάτων όσον αφορά την θερμομόνωση. Η τριπλή υάλωση αποτελεί σύνθεση περισσότερων παραλλήλων υαλώσεων. Σε κουφώματα νέας γενιάς η τριπλή υάλωση θεωρείται πλέον μια "συμβατική υάλωση", αντικαθιστώντας την διπλή για λόγους καλύτερης θερμομόνωσης.

β. Υαλοπίνακες Χαμηλής Εκπεμπτικότητας: οι χαμηλής εκπεμπτικότητας υαλοπίνακες ή low-e ή ενεργειακοί υαλοπίνακες έχουν ιδιαίτερα αυξημένες δυνατότητες παρεμπόδισης (μπλοκαρίσματος) της μεταφοράς θερμότητας από την μια πλευρά τους προς την άλλη, χάριν σε λεπτότατες επιστρώσεις μεταλλικών στοιχείων, όπως οξειδίων του αργύρου, που βρίσκονται στην επιφάνεια των υαλοπινάκων. Οι υαλοπίνακες low-e έχοντας την ειδική επίστρωση στη μια πλευρά της επιφάνειας τους λειτουργούν σαν καθρέπτες της θερμικής ακτινοβολίας, έτσι το ποσοστό της εκπεμπόμενης υπέρυθρης ακτινοβολίας δεν ξεπερνά το 4%, ενώ το 96% ανακλάται. Η χρήση των ενεργειακών υαλοπινάκων μπορεί να επιφέρει σημαντική μείωση στο κόστος ψύξης και θέρμανσης των κτηρίων

γ. Υαλοπίνακες Ελέγχου της Ηλιακής Ακτινοβολίας (solar control glazing) : το είδος αυτό υαλοπινάκων επιτρέπουν στο τμήμα της ηλιακής ακτινοβολίας που αποτελεί το ορατό κομμάτι του ηλιακού φάσματος να περάσει μέσα στο κτήριο δια του παραθύρου, ενώ διαχέουν ή ανακλούν σε μεγάλο ποσοστό την ηλιακή θερμική ακτινοβολία (το εγγύς υπέρυθρο τμήμα του ηλιακού φάσματος). Στην ουσία πρόκειται για διπλά τζάμια συνήθως χρωματιστά, αν και δεν είναι απαραίτητο, με λεπτότατες στρώσεις από ειδικά υλικά ενσωματωμένες στο γυαλί. Τα υλικά αυτά παρέχουν το διπλό πλεονέκτημα της αυξημένης διαπερατότητας στο ορατό τμήμα του ηλιακού φάσματος και της μεγάλης ανακλαστικότητας στο εγγύς υπέρυθρο τμήμα του ηλιακού φάσματος.

- **Ακουστική-Ηχομόνωση**

Ένας υαλοπίνακας υψηλής απόδοσης οφείλει να ικανοποιεί υψηλά standards. Και ένα σημαντικό μέρος της απόδοσης των υαλοπινάκων σχετίζεται με την ακουστική και την ηχομόνωση. Υπάρχουν δύο βασικοί συντελεστές που σχετίζονται με τον ήχο και την ακουστική και πρέπει να υπολογίζονται και να λαμβάνονται υπόψη στο σχεδιασμό ενός συστήματος υαλοπινάκων για ένα κτήριο. Αυτοί οι συντελεστές περιγράφονται ως ακολούθως:

α. Sound Transmission Class ή STC rating: αυτός ο συντελεστής αναφέρεται στα επίπεδα ήχου για το εσωτερικό του κτηρίου όπου οι κύριοι ήχοι είναι από ομιλίες ανθρώπων ή από συσκευές γραφείων

β. Outdoor-Indoor Transmission Class ή OITC rating: αυτός ο συντελεστής αναφέρεται στα επίπεδα ήχου για τους εξωτερικούς τοίχους όπου οι πηγές του ήχου είναι εξωγενείς, όπως π.χ. αυτοκίνητα. Αυτός ο συντελεστής είναι πολύ σημαντικός ιδιαίτερα για τους Αρχιτέκτονες αφού έχει σημαντική επίπτωση στην απόδοση και λειτουργία του κτηρίου

Υψηλές τιμές των ανωτέρω συντελεστών είναι επιθυμητές και επιδιώκονται για καλύτερα αποτελέσματα στις περισσότερες εφαρμογές. Έτσι, ένας μονός υαλοπίνακας έχει STC rating 18-20 ενώ οι απλοί διπλοί υαλοπίνακες έχουν STC rating 25-27

- **Ασφάλεια**

Οι υαλοπίνακες μπορεί να υποστούν φθορές, καταπόνηση ή να καταστραφούν από κρούση, σεισμό, θερμικό σοκ, φωτιά, κ.λ.π. Οι κύριοι υαλοπίνακες ασφαλείας θεωρούνται τα laminated τζάμια, στα Ελληνικά αποδίδονται συνήθως σαν triplex. Στους υαλοπίνακες αυτούς ανήκουν τα αλεξίσφαιρα και τα αντιδιαρρηκτικά τζάμια. Τα τζάμια ασφαλείας πρέπει να ταυτοποιούνται με μια ανεξίτηλη ετικέτα πάνω στο γυαλί που δείχνει την υιοθέτηση από τους κατασκευαστές του των κατάλληλων standards για τα τζάμια ασφαλείας.

- **Προστασία από τις Συμπυκνώσεις**

Η συμπύκνωση συμβαίνει όταν η θερμοκρασία στην εσωτερική επιφάνεια του υαλοπίνακα πέφτει κάτω από το σημείο δρόσου του εσωτερικού αέρα. Οι στρατηγική για τον περιορισμό των συμπυκνώσεων στους υαλοπίνακες περιλαμβάνει τζάμια με χαμηλές τιμές της u-value και επιπλέον θέρμανση του τζαμιού για να αυξηθεί η θερμοκρασία της επιφανείας του

- **Υγιεινή και Ποιότητα Αέρα Εσωτερικού Περιβάλλοντος**

Οι υαλοπίνακες μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα υγιεινής και ποιότητας αέρα μέσα στο κτήριο, (υγρασία και ανάπτυξη μούχλας), επιτρέποντας διαρροές νερού ή συμπυκνώσεις

- **Ανθεκτικότητα και Διάρκεια Ζωής**

Το γυαλί είναι ένα από τα πλέον ανθεκτικά δομικά υλικά, αντιστεκόμενο στις επιδράσεις των καιρικών συνθηκών για δεκαετίες. Ωστόσο είναι υλικό εύθραυστο και μπορεί να εμφανίσει φθορές που κυρίως οφείλονται στους ακόλουθους παράγοντες:

α. Θόλωση από προβλήματα συμπυκνώσεων: εμφανίζεται όταν η υγρασία διεισδύει μέσα στο γυαλί, στο μονωτικό χώρο ανάμεσα στους υαλοπίνακες και προκαλεί φαινόμενα συμπυκνώσεων. Αυτές οι διαρροές εμφανίζονται όταν το σφράγισμα των υαλοπινάκων δεν είναι ερμητικό, αλλά παρουσιάζει διαρροές.

β. Θραύση του γυαλιού : προκαλείται από κρούση ή αποδυνάμωση του γυαλιού λόγω ανάπτυξης ρωγμών ή γρατσουνιών στην επιφάνεια του. Αυτού του είδους οι ζημιές στην επιφάνεια των υαλοπινάκων μπορεί να προκύψουν από ακατάλληλο χειρισμό τους ή από τη επαφή του γυαλιού με το μεταλλικό πλαίσιο

- **Συντήρηση και Επιδιορθώσεις**

Το γυαλί δεν χρειάζεται συντήρηση εκτός φυσικά από καθαρισμό. Τα προϊόντα καθαρισμού για το γυαλί πρέπει να είναι ήπια και μη λειαντικά. Τα σφραγίσματα των υαλοπινάκων πρέπει να αντικαθίστανται περιοδικά ώστε να διατηρείται η καλή απόδοση των υαλοπινάκων και να αποφεύγονται φαινόμενα θόλωσης και συμπυκνώσεων

5.5 Πλεονεκτήματα από τη Ενεργειακή Ταξινόμηση των Παραθύρων

Η εγκατάσταση σε κτήρια κατοικίας παραθύρων με πιστοποιημένη ενεργειακή απόδοση μέσω του συστήματος ενεργειακής ταξινόμησης παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα. Πιο αναλυτικά: η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του κτηρίου, με σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας και συνεπώς μικρότεροι λογαριασμοί για θέρμανση, ψύξη και ηλεκτροδότηση του κτηρίου, η κατάλληλη εξασφάλιση μέσω της πιστοποιημένης έγκρισης του παραθύρου και τέλος τα ενεργειακά ταξινομημένα παράθυρα έχουν κατασκευαστεί σύμφωνα με τα ποιοτικά standards της ΕΕ για κτήρια κατοικιών και ικανοποιούν τις κοινοτικές οδηγίες και απαιτήσεις[.

6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ U-VALUES

6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

- **Συντελεστής Θερμικής Αγωγιμότητας (λ)** : είναι η ποσότητα θερμότητας ανά μονάδα χρόνου που περνά μέσα από τις απέναντι πλευρές ομοιογενούς υλικού πάχους 1m όταν η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των επιφανειών αυτών είναι ίση με 1°K (W/m°K). Η θερμική αγωγιμότητα είναι υψηλή στα υλικά τα οποία αποκαλούνται θερμικά αγωγά, όπως είναι τα μέταλλα και είναι χαμηλή στα υλικά που αποκαλούνται θερμομονωτικά, γι' αυτό όσο μικρότερος είναι ο συγκεκριμένος συντελεστής ενός υλικού τόσο καλύτερη θερμομόνωση έχει.

-**Συντελεστής Θερμοπερατότητας (U-Value)**: είναι η ποσότητα θερμότητας ανά μονάδα χρόνου που περνά μέσα από 1m² στοιχείου κατασκευής με πάχος d (m) όταν η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των επιφανειών αυτών είναι ίση με 1°K. (W/m²°K). Καθορίζει τη θερμομονωτική ικανότητα του

κατασκευαστικού στοιχείου και προφανώς όσο μικρότερος είναι ο συγκεκριμένος συντελεστής ενός δομικού στοιχείου, υλικού ή στρώσεων υλικών, τόσο καλύτερη είναι η θερμομόνωση.

-**Συντελεστής Θερμικής Αντίστασης ($R=1/U$)**: είναι η αντίσταση των στοιχείων στην ροή θερμότητας διαμέσου ομοιογενούς υλικού για διαφορά θερμοκρασίας στις δυο πλευρές του στοιχείου 1°K. (m²K/W). Είναι το αντίστροφο του συντελεστή θερμοπερατότητας. Μετρά δηλαδή με πόση δυσκολία (αντίσταση των μετρούμενων στοιχείων) περνά η θερμότητα, διαμέσου ενός υλικού ή στρώσεων υλικών (σύστημα) με διαφορά θερμοκρασίας στις δύο πλευρές του ίση με ένα °K.

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad [\text{m}^2\text{K/W}]$$

Όπου: R [m²K/W] η αντίσταση που προβάλλει στη ροή θερμότητας η συγκεκριμένη στρώση
d [m] το πάχος στρώσης
 λ [W/mK] ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού της στρώσης.

Όσο μικρότερος ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας τόσο μεγαλύτερη θερμική αντίσταση, συνεπώς υψηλότερη θερμομονωτική ικανότητα.

6.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ U ΚΑΙ U_w

Ο υπολογισμός τόσο των συντελεστών θερμοπερατότητας U των δομικών στοιχείων, όσο και του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας U_m του κτηρίου, γίνεται βάσει της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2/2017[29,30].

Βάσει της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2/2017 η γενική σχέση υπολογισμού του συντελεστή θερμοπερατότητας αδιαφανών δομικών στοιχείων είναι:

$$U = \frac{1}{R_i + \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} + R_\delta + R_a}$$

[6.1]

όπου,

d_j το πάχος της ομογενούς και ισότροπης στρώσης δομικού υλικού j ,

λ_j ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του ομογενούς και ισότροπου υλικού j ,

R_i και R_a οι αντιστάσεις θερμικής μετάβασης εκατέρωθεν του δομικού στοιχείου και

R_δ η θερμική αντίσταση κλειστού διάκενου αέρα

Αντίστοιχα, ο συντελεστής θερμοπερατότητας διαφανούς δομικού στοιχείου U_w δίνεται από τη σχέση:

$$U_w = \frac{A_f \cdot U_f + A_g \cdot U_g + l_g \cdot \Psi_g}{A_f + A_g}$$

[6.2]

όπου,

U_f ο συντελεστής θερμοπερατότητας πλαισίου του κουφώματος,

U_g ο συντελεστής θερμοπερατότητας του υαλοπίνακα του κουφώματος

A_f το εμβαδόν επιφάνειας του πλαισίου του κουφώματος,

A_g το εμβαδόν επιφάνειας του υαλοπίνακα του κουφώματος,

L_g το μήκος της θερμογέφυρας του υαλοπίνακα του κουφώματος και

Ψ_g ο συντελεστής γραμμικής θερμοπερατότητας του υαλοπίνακα του κουφώματος.

Σε κάθε περίπτωση πρέπει τόσο για τα διαφανή όσο και για τα αδιαφανή δομικά στοιχεία να ισχύει:

$$U \leq U_{\delta, \sigma, \max}$$

[6.3]

όπου

U ο συντελεστής θερμικής διαπερατότητας δομικού στοιχείου και

$U_{\delta, \sigma, \max}$ η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή για το δομικό στοιχείο.

6.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΗΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΚΤΗΡΙΟΥ

Εφόσον κάθε δομικό στοιχείο καλύπτει τις νομοθετικές απαιτήσεις, επιβάλλεται το κτήριο στο σύνολό του να παρουσιάζει ένα ελάχιστο βαθμό θερμικής προστασίας. Ο υπολογισμός του μέσου συντελεστή θερμικής διαπερατότητας του κτηρίου δίνεται από τη σχέση:

$$U_m = \frac{\sum_{j=1}^n A_j \cdot U_j \cdot b + \sum_{i=1}^v l_i \cdot \Psi_i \cdot b}{\sum_{j=1}^n A_j} \quad [6.4]$$

όπου:

- A_j το εμβαδό δομικού στοιχείου j
 U_j ο συντελεστής θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου j ,
 Ψ_i ο συντελεστής γραμμικής θερμοπερατότητας της θερμογέφυρας i ,
 l_i το μήκος της θερμογέφυρας i και
 b μειωτικός συντελεστής

Σε κάθε περίπτωση πρέπει:

$$U_m \leq U_{m,max} \quad [6.5]$$

Όπου $U_{m,max}$ είναι ο μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας του κτηρίου.

Σε περίπτωση που $U_m > U_{m,max}$ ο μελετητής είναι υποχρεωμένος να ακολουθήσει μια εκ των τριών παρακάτω επιλογών ή συνδυασμό τους και να αρχίσει εκ νέου τον υπολογισμό:

- να βελτιώσει τη θερμική προστασία των αδιαφανών δομικών στοιχείων,
- να βελτιώσει τη θερμική προστασία των διαφανών δομικών στοιχείων,
- να μειώσει τη δημιουργία θερμογεφυρών στο κτηριακό κέλυφος, τροποποιώντας τον σχεδιασμό των δομικών στοιχείων στα οποία οφείλονται αυτές.

Βάσει της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2/2017 «Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος θερμομονωτικής επάρκειας των κτηρίων» για τον υπολογισμό των θερμογεφυρών, ο μελετητής έχει δύο επιλογές:

- να επακολουθήσει την απλουστευμένη μέθοδο με χρήση του αντίστοιχου πίνακα της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2/2017
- να κάνει αναλυτικά τους υπολογισμούς με χρήση των αντίστοιχων πινάκων της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2/2017.

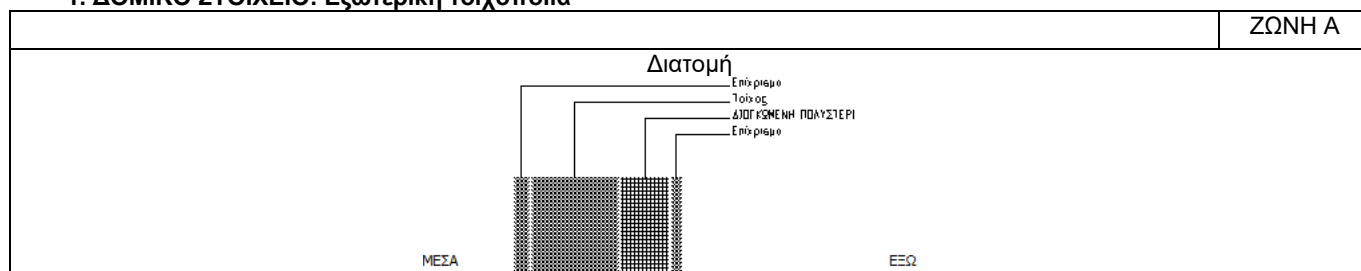
Για λόγους απλοποίησης, το b μπορεί να θεωρηθεί ίσος με 0,5[31,32].

6.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ

ΑΔΙΑΦΑΝΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Παρακάτω παρουσιάζεται ο αναλυτικός υπολογισμός των συντελεστών u-values μέσω του προγράμματος KENAK για δύο δομικά στοιχεία και πιο συγκεκριμένα της εξωτερικής τοιχοποιίας και οροφής σε εξωτερικό περιβάλλον[29,31].

1. ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ: Εξωτερική τοιχοποιία



2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΘΕΡΜΟΔΙΑΦΥΓΗΣ (R_L)

α/α	Στρώσεις δομικού στοιχείου	Πυκνότητα ρ	Πάχος στρ. d	Συντ. θερμ. αγωγιμ. λ	Θερμ. αντίστ. d/ λ
		kg/m ³	m	W/(mK)	(m ² K)/W
1	Επίχρισμα	1900	0.03	0.872	0.034
2	Τοίχος	1200	0.18	0.523	0.344
3	ΔΙΟΓΚΩΜΕΝΗ ΠΟΛΥΣΤΕΡΙΝΗ ESP 100		0.1	0.035	2.857
4	Επίχρισμα	1900	0.020	0.872	0.023
			$\Sigma d=0.330$		$R_L=3.259$

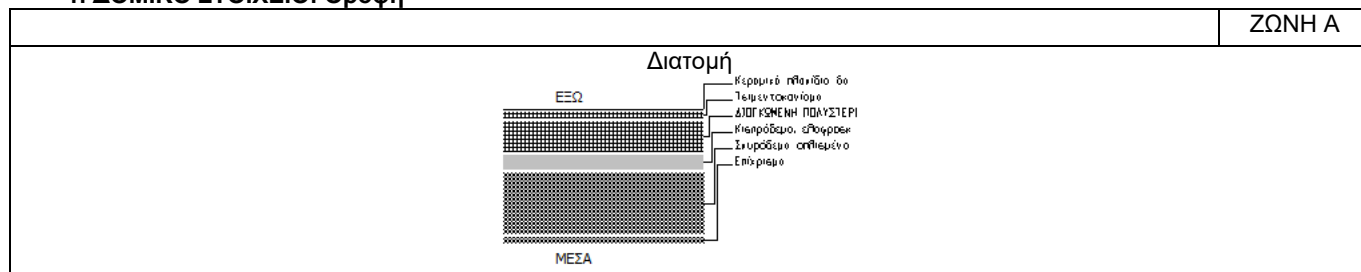
3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ (U)

ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ	R_i (εσωτερ.)	R_a (εξωτερ.)
Εξωτερικοί τοίχοι και παράθυρα (προς εξωτ. αέρα)	0.130	0.040
Τοίχος που συνορεύει με μη θερμαινόμενο χώρο	0.130	0.130
Τοίχος σε επαφή με το έδαφος	0.130	0.000
Στέγες, δώματα (ανερχόμενη ροή θερμότητας)	0.100	0.040
Οροφή που συνορεύει με μη θερμαινόμενο χώρο	0.100	0.100
Δάπεδο επάνω από ανοικτή διάβαση (pilots)	0.170	0.040
Δάπεδο επάνω από μη θερμαινόμενο χώρο (κατερχόμενη ροή)	0.170	0.170
Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος	0.170	0.000

1	Αντίσταση θερμικής μετάβασης (εσωτερικά)	R_i	(m ² K)/W	0.13
2	Αντίσταση θερμοδιαφυγής	R_L	(m ² K)/W	3.259
3	Αντίσταση θερμικής μετάβασης (εξωτερικά)	R_a	(m ² K)/W	0.04
4	Αντίσταση θερμοπερατότητας	R_{oL}	(m ² K)/W	3.429

Συντελεστής θερμοπερατότητας	U	W/(m ² K)	0.292
Μέγιστος επιτρ. συντελεστής θερμοπερατότητας	U_{max}	W/(m ² K)	0.55

1. ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ: Οροφή

2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΘΕΡΜΟΔΙΑΦΥΓΗΣ (R_L)

α/α	Στρώσεις δομικού στοιχείου	Πυκνότητα ρ	Πάχος στρ. d	Συντ. θερμ. αγωγιμ. λ	Θερμ. αντίστ. d/λ_u	Θερμ. αντίστ. d/λ_v
		kg/m^3	m	W/(mK)	$(\text{m}^2\text{K})/\text{W}$	$(\text{m}^2\text{K})/\text{W}$
1	Επίχρισμα	1900	0.020	0.872	0.023	0.023
2	Σκυρόδεμα οπλισμένο με 2% χάλυ	2400	0.200	2.500	0.080	0.080
3	Κισηρόδεμα, ελαφροσκυρόδεμα	500	0.050	0.200	0.250	0.250
4	ΔΙΟΓΚΩΜΕΝΗ ΠΟΛΥΣΤΕΡΙΝΗ ESP 100		0.1	0.035	2.857	2.857
5	Τσιμεντοκονίαμα	1800	0.020	0.870	0.023	0.023
6	Κεραμικά πλακίδια δαπέδου	2000	0.005	1.840	0.003	0.003
			$\Sigma d = 0.395$		$R_{L,u} = 3.236$	$R_{L,v} = 3.236$

3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ (U)

ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ	R_i (εσωτερ.)	R_a (εξωτερ.)
Εξωτερικοί τοίχοι και παράθυρα (προς εξωτ. αέρα)	0.130	0.040
Τοίχος που συνορεύει με μη θερμαινόμενο χώρο	0.130	0.130
Τοίχος σε επαφή με το έδαφος	0.130	0.000
Στέγες, δώματα (ανερχόμενη ροή θερμότητας)	0.100	0.040
Οροφή που συνορεύει με μη θερμαινόμενο χώρο	0.100	0.100
Δάπεδο επάνω από ανοικτή διάβαση (pilotis)	0.170	0.040
Δάπεδο επάνω από μη θερμαινόμενο χώρο (κατερχόμενη ροή)	0.170	0.170
Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος	0.170	0.000

1	Αντίσταση θερμικής μετάβασης (εσωτερικά)	R_i	$(\text{m}^2\text{K})/\text{W}$	0.10
2	Αντίσταση θερμοδιαφυγής	$R_{L,u}$	$(\text{m}^2\text{K})/\text{W}$	3.236
3	Αντίσταση θερμικής μετάβασης (εξωτερικά)	R_a	$(\text{m}^2\text{K})/\text{W}$	0.040
4	Αντίσταση θερμοπερατότητας με κλειστό διάκενο αέρα	$R_{oL,u}$	$(\text{m}^2\text{K})/\text{W}$	3.376
5	Αντίσταση θερμικής μετάβασης με πλήρως αεριζόμενο διάκενο αέρα (εσωτερικά)	R_i	$(\text{m}^2\text{K})/\text{W}$	0.10
6	Αντίσταση θερμοπερατότητας με πλήρως αεριζόμενο διάκενο αέρα	$R_{L,v}$	$(\text{m}^2\text{K})/\text{W}$	3.236
7	Αντίσταση θερμικής μετάβασης με πλήρως αεριζόμενο διάκενο αέρα (εξωτερικά)	R_a	$(\text{m}^2\text{K})/\text{W}$	0.040
8	Εμβαδό θυρίδων	A_v	mm^2	0
9	Αντίσταση θερμοπερατότητας με κλειστό διάκενο αέρα	$R_{oL,v}$	$(\text{m}^2\text{K})/\text{W}$	3.376

Συντελεστής θερμοπερατότητας	U	$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$	0.296
Μέγιστος επιτρ. συντελεστής θερμοπερατότητας	$U_{\max}$	$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$	0.45

Βιβλιογραφία

1. Voogt, J.A. & Oke, T.R. (2003) Thermal remote sensing of urban areas. *Remote Sensing of Environment*, 86, 370–384
2. Synnefa A., Santamouris M. & Livada, I. (2006). A study of the thermal performance of reflective coatings for the urban environment. *Solar Energy*, 80, 968-981
3. Barring, L., Mattsson, J.O. & Lindqvist, S. (1985). Canyon geometry, street temperatures and urban heat island in Malmo, Sweden. *Int. J. Climatol.*, 5, 433-444
4. Oke. T.R. (1987). *Boundary Layer Climates*. Routledge, 2n edition, London and New York
5. Roth, M., Oke, T.R. & Emery, W.J. (1989). Satellite-derived urban heat islands from three coastal cities and the utilization of such data in urban climatology. *Int. J.*
6. Oke T.R. (1982) The energetic basis of the urban heat island. *Quart. J. Roy. Meteor.*
7. Φ.Ε.Κ. 89, νόμος 3661/19-05-2008. «Μέτρα για την μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτηρίων και άλλες διατάξεις».
8. Φ.Ε.Κ.Β' 407/9-4-201, απόφαση Δ6/Β/οικ.5825 «Έγκριση Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων».
9. Energy efficient building design - Energy Education. (n.d.). Retrieved from https://energyeducation.ca/encyclopedia/Energy_efficient_building_design
10. Green Building 101: Why is energy efficiency important? | U.S. Green Building Council. (n.d.). Retrieved from <https://www.usgbc.org/articles/green-building-101-why-energy-efficiency-important>
11. Nina Maritz. (2006, January). ENERGY EFFICIENCY IN BUILDING – AN INTRODUCTION. Polytechnic of Namibia August 2006 (Based on Presentation at National Renewable Energy Workshop, Harmony Centre, January 2006). <https://ecoawards-namibia.org/sites/default/files/201701/Eco%20Awards%20Energy%20efficiency%20in%20building.pdf>
12. Energy Efficiency in Buildings and its Importance - The Constructor. (n.d.). Retrieved from <https://theconstructor.org/building/energy-efficiency-building/562100/>
13. Jaysawal, R. K., Chakraborty, S., Elangovan, D., & Padmanaban, S. (2022). Concept of net zero energy buildings (NZEB) - A literature review. In *Cleaner Engineering and Technology* (Vol. 11). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100582>
14. Things to remember while designing Energy-Efficient Buildings - RTF. (n.d.). Retrieved from <https://www.re-thinkingthefuture.com/sustainable-architecture/a3761-10-things-to-remember-while-designing-energy-efficient-structures/>
15. www.iea.org. (n.d.). Toolkit: Energy efficient building design. Retrieved, from https://iea.blob.core.windows.net/assets/imports/events/610/Buildings.3_Building_design.pdf
16. Αραβαντινός Δ., «Θερμογέφυρες στα κτήρια. Τα αδύναμα σημεία του εξωτερικού κελύφους», περιοδικό «Κτίριο», Νοέμβριος 2009, τεύχος 214 (10/2009), σελ. 117-141.
17. Αραβαντινός Δ., Τσακίρης Ν., Γιαρμά Χρ.: «Μετρητικοί έλεγχοι της θερμικής συμπεριφοράς δομικών στοιχείων σε θέσεις θερμογεφυρών και προτάσεις βελτιωτικών επεμβάσεων», 1^ο πανελλήνιο συνέδριο «δομικών υλικών και στοιχείων», Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας., Αθήνα, 21-23 Μαΐου 2008, πρακτικά συνεδρίου, σελίδες 735-746, τόμος Β'.

18. Φ.Ε.Κ. 362 Δ'. «Κανονισμός Θερμομόνωσης Κτηρίων-Κ.Θ.Κ.»π.δ. Της 1.6/4.7.1979.
19. Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-1/2010 «Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτηρίων». Τεχνική οδηγία ΤΕΕ, Ιούλιος 2010.
20. Αραβαντινός Δ., «Η θερμομόνωση των κτηρίων και τα θερμομονωτικά υλικά», διδακτικό εγχειρίδιο για τις απαιτήσεις του μαθήματος «Οικοδομική ΙΙ», Εργαστήριο Οικοδομικής και Φυσικής των Κτηρίων, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, 2009.
21. Schmitt H., «Κτηριακές κατασκευές», ελληνική μετάφραση από τη γερμανική έκδοση, εκδόσεις Μ. Γιούρδας, Αθήνα, 1980, 7^η έκδοση.
22. Wendehorst R., «Δομικά υλικά», ελληνική μετάφραση από τη γερμανική έκδοση, εκδόσεις Μ. Γιούρδας, Αθήνα, 1981, 7^η έκδοση.
23. G. D. Ander, Windows and Glazing, Whole Building Design Guide, National Institute of Buildings Science, 2015
24. Balaras, C., G air exchange rate aglia, A., Georgopoulou, E., Mirasgedis, S., Sarafidis, Y. & Lalas, P., “European residential buildings and empirical assessment of the Hellenic building stock, energy consumption, emissions and potential energy savings”, Building and Environment, Volume 42, Issue 3, March 2007, 1298-1314
25. Σανταμούρης, Μ., «Κατανάλωση ενέργειας και εξοικονόμηση ενέργειας στον οικιακό τομέα», Πρακτικά ημερίδας που διοργάνωσε η Ακαδημία Αθηνών και το ΕΜΠ με θέμα Εξοικονόμηση Ενέργειας, Αθήνα 2006.
26. J. Goulding, J. Owen Lewis and T. Steemers, Energy in Architecture, Energy Research Group, School of Architecture, UCD, Dublin, 1995.
27. Π. Κοσμόπουλος, Κτίρια, Ενέργεια και Περιβάλλον, University Studio Press, Θεσσαλονίκη 2008
28. Glass for Europe, Building, Automotive, Solar Energy Glass, Issue 2015 KENAK -Νόμος 3661 για την ενεργειακή απόδοση των κτηρίων
29. CYS EN ISO 13790 Energy performance of buildings –Calculation of energy use for space heating and cooling
30. CYS EN ISO 6946:1997 Building components and building elements –Thermal resistance and thermal transmittance –Calculation method
31. CYS EN ISO 10077-1:2006 Thermal performance of windows, doors and shutters – Calculation of thermal transmittance
32. CYS EN ISO 10456-1:2000 Building materials and products –Procedures for determining declared and design thermal values