

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ- ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΗΛΙΑΚΑ ΠΑΘΗΤΙΚΑ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΛΛΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟΝ ΚΤΗΡΙΑΚΟ ΤΟΜΕΑ**



ΑΡΓΥΡΑΚΗ ΜΑΡΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΚΙΜΩΝ ΑΝΤΩΝΟΠΟΥΛΟΣ

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2008

Περιεχόμενα

Πρόλογος	3
1.Εισαγωγή.....	5
2.Βιοκλιματικός Σχεδιασμός.....	6
2.1.Αρχαία Γνώση.....	6
2.2 Βασικές Αρχές Βιοκλιματισμού	7
3.Θερμική Άνεση	8
3.1 Παράμετροι θερμικής άνεσης.....	9
3.1.1 Εξωτερικές Παράμετροι	9
3.1.2 Ατομικές-Προσωπικές Παράμετροι.....	11
3.2 Εξίσωση Θερμικής Ισορροπίας	12
3.3 Δείκτες θερμικής άνεσης: PMV, PDD και PET	13
3.4 Παράδειγμα Υπολογισμού Θερμικής Άνεσης	15
4.Ηλιακά Παθητικά συστήματα.....	20
4.1 Συστήματα άμεσου ή απευθείας ηλιακού κέρδους.....	22
4.1.1 Θερμική Μάζα	22
4.1.2 Ανοίγματα	31
4.2 Συστήματα έμμεσου ηλιακού κέρδους	37
4.2.1 Τοίχοι θερμικής αποθήκευσης.....	37
4.2.2 Ηλιακοί χώροι.....	53
5. Χωροθέτηση, σχήμα και προσανατολισμός του κτηρίου.....	57
6. Ειδικά συστήματα προστασίας του κελύφους και θερμικής προστασίας του κτηρίου	60
6.1 Ηλιοπροστασία-Σκιασμός.....	61
6.1.1 Σταθερά σκίαστρα.....	62
6.1.2 Κινητά Σκίαστρα.....	64
6.1.3 Σκίαση από δέντρα.....	67
6.1.4 Σκίαση από γειτονικά κτήρια.....	68
6.1.5 Ειδικά Κρύσταλλα	68
6.1.6 Ανακλαστικά επιχρίσματα	71
6.1.7 Φραγμα ακτινοβολίας	72
6.1.8 Βλάστηση-Φυτεμένα δώματα	76
6.2 Φυσικός αερισμός	86
6.2.1 Πύργος αερισμού	88
6.2.2 Ηλιακή καμινάδα	89
6.2.3 Διαμπερής αερισμός.....	94
6.2.4 Αεριζόμενο κέλυφος	95
6.3 Φυσική Ψύξη-Δροσισμός	96
6.3.1 Δροσισμός από εξάτμιση	96
6.3.2 Δροσισμός από το έδαφος.....	98
6.3.3 Δροσισμός από ακτινοβολία	99
7. Φωτισμός	100
7.1 Φυσικός φωτισμός και ευεξία ενοίκων.....	101
7.2 Οπτική άνεση	101
7.3 Φυσικός φωτισμός και εξοικονόμηση ενέργειας.....	102
7.4 Συντελεστής φυσικού φωτός	103
7.5 Βάθος δωματίου και φυσικός φωτισμός	105
7.6 Συστήματα και τεχνικές φυσικού φωτισμού.....	105

7.6.1	Ανοίγματα Οροφής	106
7.6.2	Αίθρια.....	107
7.6.3	Ηλιοστάσια	107
7.6.4	Φωτοσωλήνες	109
7.6.5	Φωταγωγοί.....	110
7.6.6	Πρισματικά φωτοδιαπερατά υλικά	110
7.6.7	Ράφια Φωτισμού	111
7.6.8	Ανακλαστικές περσίδες.....	113
7.6.9	Διαφανή μονωτικά υλικά	114
7.7	Τελευταίες τεχνολογίες για το φωτισμό	115
8.	Δομικά Υλικά.....	117
8.1	Δομικά υλικά και τοξικότητα	118
8.2	Η ραδιενέργεια στο χώρο του κτηρίου	119
8.3	Σύνδρομο του άρρωστου κτηρίου.....	120
8.4	Οικολογικά Υλικά.....	121
8.4.1	Κριτήρια Επιλογής Υλικών	121
8.4.2	Οικολογικά δομικά προϊόντα.....	121
8.5	Θερμομονωτικά υλικά	123
8.5.1	Θερμομονωτικά υλικά συμβατικά και μη.....	124
8.5.2	Οικολογικά θερμομονωτικά υλικά	125
8.5.3	Διαφανής θερμομόνωση	125
8.6	Οικολογικά χρώματα	126
8.7	Οικολογικά κονιάματα.....	126
8.8	Κριτήρια επιλογής Δομικών Υλικών.....	127
8.9	Υλικά Νέας Τεχνολογίας –PCM.....	130
8.9.1	Τι είναι τα PCM	130
8.9.2	Κατηγορίες PCM	131
9.	Τεχνικές εξοικονόμησης ενέργειας.....	132
9.1	Απλοί τρόποι εξοικονόμηση ενέργειας στην κεντρική θέρμανση και στο κλιματισμό	132
9.2	Σύγχρονες Τεχνολογίες Εξοικονόμησης Ενέργειας.....	135
9.2.1	Ηλιακή θέρμανση.....	135
9.2.2	Ψύξη από θάλασσα	137
9.2.3	Ψύξη με ηλιακή ενέργεια.....	140
9.2.4	Ανάκτηση θερμότητας.....	146
9.2.5	Κλιματισμός με ψυχόμενα δομικά στοιχεία ή μεταλλικούς πίνακες.....	148
10.	Γενικά Συμπεράσματα	189
	Βιβλιογραφία	190

Πρόλογος

Στο **1^ο κεφάλαιο**, γίνεται μια εισαγωγή στην κατάσταση που επικρατεί στις μέρες μας σε σχέση με την κατανάλωση ενέργειας από τον κτηριακό τομέα και παρουσιάζεται η ανάγκη για εύρεση μεθόδων και τεχνικών για την αξιοποίηση φυσικών πηγών ενέργειας, λόγω της περιβαλλοντικής κρίσης που επικρατεί.

Στο **2^ο κεφάλαιο**, περιγράφονται οι βασικές αρχές του βιοκλιματισμού, ο οποίος δεν αποτελεί γνώση σύγχρονη, αλλά υφίσταται από την αρχαιότητα.

Στο **3^ο κεφάλαιο**, ορίζεται η έννοια της θερμικής άνεσης, οι παράμετροι που την καθορίζουν, περιγράφεται η εξίσωση θερμικής ισορροπίας, ενώ στο τέλος εφαρμόζεται και ένα παράδειγμα υπολογισμού της, για δεδομένες εξωτερικές και προσωπικές παραμέτρους.

Στη συνέχεια, στο **4^ο κεφάλαιο**, αναφέρονται τα βασικά ηλιακά παθητικά συστήματα, άμεσου και έμμεσου κέρδους, ενώ στο **5^ο κεφάλαιο**, παρουσιάζεται η σπουδαιότητα της σωστής χωροθέτησης και του προσανατολισμού του κτηρίου.

Στο **6^ο κεφάλαιο**, γίνεται παρουσίαση των μεθόδων θερμικής προστασίας του κελύφους.

Περιγράφονται συστήματα σκιασμού για επίτευξη ηλιοπροστασίας, καθώς επίσης, οι μέθοδοι φυσικού αερισμού και δροσισμού, προκειμένου να μειωθούν τα θερμικά κέρδη του κτηρίου. Αναφέρονται τα πλεονεκτήματα της βλάστησης στα κτήρια, τόσο στον περιβάλλοντα χώρο, όσο και στις στέγες- φυτεμένα δώματα.

Το **7^ο κεφάλαιο**, σχετίζεται με το φυσικό φωτισμό και τις τεχνικές αξιοποίησής του, αφού πρώτα γίνει αναφορά στην επίδραση του φυσικού φωτισμού τόσο στην εξοικονόμηση ενέργειας, όσο και στην οπτική άνεση και ευεξία των ενοίκων.

Στο **8^ο κεφάλαιο**, παρουσιάζονται τα προβλήματα των συμβατικών δομικών υλικών, όπως είναι η τοξικότητα και η ραδιενέργεια και παρουσιάζεται η σπουδαιότητα των οικολογικών. Επίσης, γίνεται αναφορά στις θερμομονώσεις και σε υλικά νέας τεχνολογίας-PCM.

Τέλος, στο **9^ο κεφάλαιο**, παρουσιάζονται απλοί τρόποι εξοικονόμησης ενέργειας στις κεντρικές θερμάνσεις και στα συστήματα κλιματισμού, καθώς και σύγχρονες τεχνολογίες εξοικονόμησης, όπως είναι ο ηλιακός κλιματισμός, η ψύξη από θάλασσα, η ανάκτηση θερμότητας, κ.α. Στην τελευταία ενότητα, περιγράφεται η λειτουργία κλιματιζόμενων δομικών στοιχείων (πάνελ) και γίνεται μια παραμετρική μελέτη, που βασίζεται σε δημοσίευση του καθηγητή του Ε.Μ.Π. κ. Αντωνόπουλου σχετικά με τη μεταφορά θερμότητας, στα πάνελ ψύξης.

Θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στον κ. Κίμωνα Αντωνόπουλο, καθηγητή του Ε.Μ.Π., για τις πολύτιμες υποδείξεις του και κατευθύνσεις του σε όλη τη διάρκεια της προσπάθειας αυτής.

Θα ήθελα επίσης, να ευχαριστήσω τον ιστορικό, υποψήφιο διδάκτορα κ. Σπύρο Γκούνη για τη βοήθεια του στη σύνταξη του κεφ.2.1, καθώς και για την συμπαράσταση του κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

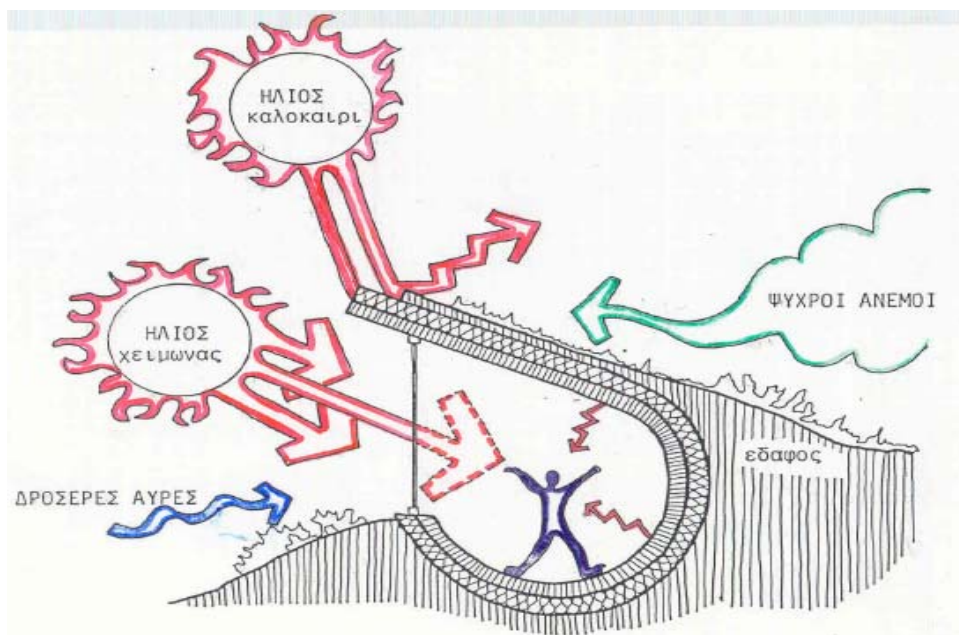
1.Εισαγωγή

Είναι πλέον γνωστό και κοινά αποδεκτό στις μέρες μας, ότι η ορθή κατανάλωση ενέργειας είναι πρωταρχικής σημασίας. Τα αέρια του θερμοκηπίου, υπεύθυνα για την μόλυνση και υπερθέρμανση του πλανήτη, η αλλοίωση τη σύστασης της ατμόσφαιρας και των υδάτων, η εξάντληση των φυσικών πόρων, η διατάραξη των οικοσυστημάτων και τελικά η κλιματική αλλαγή του πλανήτη είναι τα θέματα που μας απασχολούν και καλούμαστε να τα αντιμετωπίσουμε προκειμένου να εξασφαλίσουμε ένα βιώσιμο μέλλον για τον πλανήτη. Για το λόγο αυτό, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται αύξηση του ενδιαφέροντος για την εύρεση εναλλακτικών μορφών ενέργειας, φιλικών προς το περιβάλλον. Ταυτόχρονα γίνεται προσπάθεια ενημέρωσης για τη σπουδαιότητα της εξοικονόμησης ενέργειας.

Στο πλαίσιο της ανάγκης για εξοικονόμηση ενέργειας εντάσσεται και **ο κτηριακός τομέας ο οποίος είναι υπεύθυνος για το 40% περίπου της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας** [12], τόσο σε εθνικό όσο και σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Δεδομένου ότι το 80% των κατοίκων της Ευρώπης κατοικούν πλέον σε πόλεις [9], η ανάγκη για κάλυψη των απαιτήσεων σε θέρμανση, ψύξη, φωτισμό και ζεστό νερό χρήσης αυξάνει συνεχώς. Εκτιμάται ότι τα καύσιμα για την παραγωγή της απαιτούμενης ενέργειας για τα κτήρια ευθύνονται για το 50% περίπου των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και κυρίως του CO₂. Όσον αφορά την κατανάλωση ανά χρήση, η θέρμανση των χώρων κατέχει την πρώτη θέση στις ενεργειακές απαιτήσεις, αφού απορροφάει το 72% περίπου της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης, παρόλο που η Ελλάδα έχει μεσογειακό κλίμα, άρα και λιγότερες απαιτήσεις σε θέρμανση το χειμώνα [10]. Δυστυχώς, τα ποσοστά αυτά έχουν αυξητική τάση λόγω της αύξησης της χρήσης μικροσυσκευών και κλιματιστικών.

Συνεπώς, η κατασκευή περιβαλλοντικά και ενεργειακά αποδοτικών κτηρίων και η χρήση μεθόδων και τεχνικών για τη αξιοποίηση φυσικών πηγών ενέργειας στα κτήρια, είναι επιτακτική ανάγκη, μπροστά στην περιβαλλοντική κρίση που ολοένα εντείνεται. Σύμφωνα με μελέτες που έχουν διεξαχθεί, η εφαρμογή μεθόδων εξοικονόμησης ενέργειας στα ελληνικά κτήρια, θα επέφερε μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης για θέρμανση κατά 50%[10]. Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός, η εφαρμογή ηλιακών παθητικών συστημάτων και η επιλογή των σωστών υλικών σε ένα κτήριο, είναι οι λύσεις για την κατασκευή ενεργειακά αποδοτικών κτηρίων.

2.Βιοκλιματικός Σχεδιασμός



Εικόνα 1: Απεικόνιση Βιοκλιματικού Κελύφους [20]

2.1.Αρχαία Γνώση

Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός δεν είναι σύγχρονη γνώση, αλλά αρχαία. **Στα Απομνημονεύματα του ιστορικού και φιλόσοφου Ξενοφῶντα**, μπορεί κανείς να διαπιστώσει ότι **οι αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού ήταν ήδη γνωστές από το Σωκράτη**. Συγκεκριμένο αναφέρει ο Ξενοφῶντας για το Σωκράτη [1]:

«...Καὶ οἰκίας δὲ λέγων τὰς αὐτὰς καλὰς τε εἶναι καὶ χρησίμους παιδεύειν ἔμοιγ' ἐδόκει, οἷας χρῆ, οἰκοδομῆσθαι. ἐπεσκόπει δὲ ᾧδε· Ἄρα γε τὸν μέλλοντα οἰκίαν, οἷαν χρῆ, ἔχειν τοῦτο δεῖ μηχανᾶσθαι, ὅπως ἡδίστη τε ἐνδικοῦσθαι καὶ χρησιμωτάτη ἔσται; τούτου δὲ ὁμολογουμένου, Οὐκοῦν ἡδὺν μὲν θέρους ψυχρινὴν ἔχειν, ἡδὺν δὲ χειμῶνος ἀλεινὴν; ἐπειδὴ δὲ καὶ τοῦτο συμφαῖεν, Οὐκοῦν ἐν ταῖς πρὸς μεσημβρίαν βλεπούσαις οἰκίαις τοῦ μὲν χειμῶνος ὁ ἥλιος εἰς τὰς παστάδας ὑπολάμπει, τοῦ δὲ θέρους ὑπὲρ ἡμῶν αὐτῶν καὶ τῶν στεγῶν πορευόμενος σκίαν παρέχει. Οὐκοῦν, εἴ γε καλῶς ἔχει ταῦτα οὕτω γίνεσθαι, οἰκοδομῆν δεῖ ὑψηλότερα μὲν τὰ πρὸς μεσημβρίαν, ἵνα ὁ χειμερινὸς ἥλιος μὴ ἀποκλείηται, χθαμαλότερα δὲ τὰ πρὸς ἄρκτον, ἵνα οἱ ψυχροὶ μὴ ἐμπίπτωσιν ἄνεμοι· ὥς δὲ συνελόντι

εἰπεῖν, ὅποι πάσας ὥρας αὐτός τε ἂν ἤδιστα καταφεύγοι καὶ τὰ ὄντα ἀσφαλέστατα τιθοῖτο, αὕτη ἂν εἰκότως ἡδίστη τε καὶ καλλίστη οἰκησις εἴη·...»

«...Και ὅταν ἔλεγε ὅτι τα ἴδια σπίτια εἶναι ωραία και χρήσιμα, νομίζω ὅτι δίδασκε με ποιο τρόπο πρέπει αὐτά να χτίζονται. Εξέταζε το θέμα ἔτσι: « Πρέπει ἀραγε, ὅποιος πρόκειται να ἔχει κατάλληλη οἰκία να βρει τον τρόπο να την κάνει ὅσο το δυνατόν πιο ευχάριστη για την κατοίκηση και χρήσιμη;» Και ὅταν αὐτό γινόταν παραδεκτό, συνέχιζε : «Εἶναι, λοιπόν, ευχάριστο να εἶναι δροσερή το καλοκαίρι και ζεστή το χειμώνα;» Και ὅταν συμφωνούσαν και σε αὐτό, ἔλεγε: «Ο ἥλιος λοιπόν στα σπίτια τα στραμμένα προς νότο λάμπει κάτω στα δωμάτια, ενώ το καλοκαίρι προχωρώντας πάνω ἀπό εμάς και ἀπό τις στέγες παρέχει σκιά. Επομένως, αν αὐτά βέβαια εἶναι καλό να γίνονται ἔτσι, τα σπίτια που εἶναι στραμμένα προς το νότο πρέπει να χτίζονται ψηλότερα, για να μη μένει ἀπέξω ο χειμωνιάτικος ἥλιος, ενώ ὅσα βλέπουν προς βορρά πρέπει να χτίζονται χαμηλότερα, για να μη δέρνονται ἀπό του κρύους ἀνέμους. Με μια λέξη, το σπίτι, στο οποίο μπορεί ο ιδιοκτήτης να βρει πολύ ευχάριστο καταφύγιο σε ὅλες τις εποχές και να τοποθετήσει ἀσφαλέστατα τα υπάρχοντά του, αὐτή θα ἦταν και η πιο ευχάριστη και ὁμορφη κατοικία...»

Στόχος ἀπό την αρχαιότητα, λοιπόν, ἦταν τα σπίτια να εξασφαλίζουν μια ἀρμονική σχέση του ἀνθρώπου με το περιβάλλον. Ο **Αριστοτέλης** σημειώνει: «τα κύρια δωμάτια του σπιτιού δεν θερμαίνονταν μόνο ἀπό τις ἀκτίνες του ἡλίου που περνούσαν στο εσωτερικό του ἀπό το χαγιάτι, ἀλλά ἦταν και προστατευμένα ἀπό το βορρά για να κρατήσουν μακριά τους κρύους ἀνέμους »

2.2 Βασικές Αρχές Βιοκλιματισμού

Θα μπορούσαμε να πούμε ὅτι ο βιοκλιματικός σχεδιασμός λαμβάνει ὑπόψη μια σύνθεση δεδομένων που ἀφορούν τις κλιματικές συνθήκες μιας περιοχής, την τοποθεσία, την θερμική και οπτική ἀνεση των ἐνοίκων, για το σχεδιασμό και την κατασκευή κτηρίων και χώρων ἀξιοποιώντας την ἡλιακή ἐνέργεια, ἀλλά και τα φυσικά φαινόμενα του κλίματος. Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός που ἔχει ως βασικά στοιχεία τα ἡλιακά παθητικά συστήματα, **συμβάλλει στον περιορισμό της κατανάλωσης συμβατικών καυσίμων και στην ἀνάδειξη των ανανεώσιμων πηγών ἐνέργειας** (ἡλιακής ἐνέργειας). Στοχεύει, δηλαδή, στην ἐξοικονόμηση ἐνέργειας και στην προσαρμογή των κτηρίων στο περιβάλλον τους.

Οι βασικές ἀρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού συνοψίζονται στα ἐξῆς:

- Εξασφάλιση ἡλιασμοῦ και μείωσης των θερμικών ἀπωλειών κατὰ τη διάρκεια του χειμώνα, ὥστε να ἀξιοποιεῖται η ἡλιακή ἐνέργεια για την θέρμανση των χώρων

- Εξασφάλιση ηλιοπροστασίας το καλοκαίρι προκειμένου να επιτυγχάνεται μείωση των θερμικών κερδών, άρα και μείωση της ανάγκης για ψυκτικό φορτίο.
- Αξιοποίηση του ήλιου για φυσικό φωτισμό
- Εκμετάλλευση των δροσερών ανέμων για φυσικό αερισμό και δροσισμό
- Βελτίωση του μικροκλίματος γύρω από το κτήριο
- Βελτίωση και ρύθμιση των εσωτερικών συνθηκών ενός χώρου για επίτευξη θερμικής άνεσης των ατόμων

Συνεπώς, για να κατασκευαστεί και να λειτουργεί ένα κτήριο βιοκλιματικά, πρέπει να κατανοήσουμε πλήρως τις τοπικές κλιματικές συνθήκες και να σταθμίσουμε τα κλιματικά οφέλη και τους περιορισμούς. Το κτήριο θα πρέπει να είναι ικανό να συλλέγει και να αποθηκεύει θερμότητα όταν υπάρχει ανάγκη για θέρμανση, να λειτουργεί ως φυσικός συλλέκτης δροσισμού και ως αποθήκη ψύξης, όταν χρειάζεται ψυκτικά φορτία και να δρα ως φυσικός ανανεωτής αέρα, προκειμένου να προσφέρει στους χρήστες άνετο θερμικό εσωκλίμα. Επίσης, πεδίο μελέτης της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής είναι η χρήση τοπικών δομικών υλικών μιας περιοχής, φιλικών προς το περιβάλλον μετά από μελέτη των χαρακτηριστικών και των ιδιοτήτων τους.

Βασικά κριτήρια για την εφαρμογή του βιοκλιματικού σχεδιασμού πρέπει να είναι η απλότητα χρήσης των εφαρμογών και η αποφυγή περίπλοκων συστημάτων και τεχνικών, ώστε να είναι περιορισμένη η συμβολή του χρήστη στη λειτουργία τους, καθώς και η χρήση ευρέως εφαρμοσμένων συστημάτων, [4, 5, 11, 12, 26].

3.Θερμική Άνεση

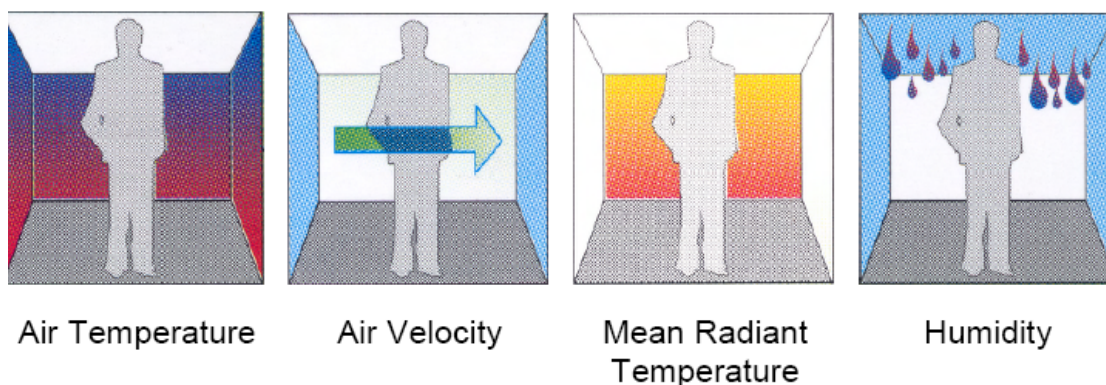
Ως θερμική άνεση, ορίζεται η κατάσταση εκείνη κατά την οποία ο εγκέφαλος εκφράζει ικανοποίηση όσον αφορά στο θερμικό περιβάλλον. Διαφορετικά, θα μπορούσαμε να πούμε ότι σε συνθήκες καλής θερμικής άνεσης το άτομο δεν επιθυμεί καμία θερμική αλλαγή στο περιβάλλον του, διότι δεν αισθάνεται ανεπιθύμητη ζέστη, ούτε ανεπιθύμητο κρύο. Η εσωτερική θερμοκρασία του ανθρώπινου σώματος είναι σταθερή και κάθε θερμότητα που δημιουργείται από αυτό πρέπει να αποβάλλεται. Για το λόγο αυτό, συνθήκες βέλτιστης θερμικής άνεσης έχουμε όταν η παραγωγή εσωτερικής θερμοκρασίας εξισώνεται με τις θερμικές απώλειες του σώματος. Η ισορροπία μεταξύ αυτών των παραμέτρων καθορίζει τις συνθήκες θερμικής άνεσης η οποία εξαρτάται από ένα συνδυασμό φυσικών, οργανικών και περιβαλλοντικών παραμέτρων. Εξαιτίας των διαφορών μεταξύ των ανθρώπων και την υποκειμενικότητα του συναισθήματος τη θερμικής άνεσης τα διαγράμματα και οι συνθήκες

άνεσης που έχουν οριστεί, ικανοποιούν την πλειοψηφία του πληθυσμού και μάλιστα ένα ποσοστό 80% του πληθυσμού [3, 5, 6, 11, 26].



Εικόνα 2: Θερμική Άνεση

3.1 Παράμετροι θερμικής άνεσης



Εικόνα 3: Παράμετροι Θερμικής Άνεσης

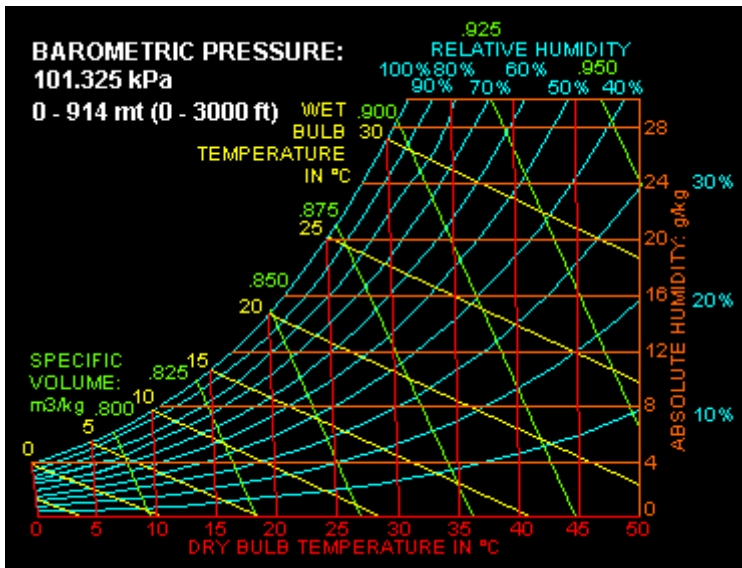
3.1.1 Εξωτερικές Παράμετροι

- Θερμοκρασία αέρα χώρου: Πρόκειται για τη θερμοκρασία ξηρού βολβού του αέρα του χώρου στον οποίο βρίσκεται το άτομο και είναι ιδιαίτερα σημαντική διότι το μεγαλύτερο ποσοστό της θερμότητας που χάνεται από το ανθρώπινο σώμα μεταφέρεται στον αέρα. Αξιοσημείωτο είναι ότι η μέγιστη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του επιπέδου του πατώματος και του ταβανιού (δηλαδή η διαφορά θερμοκρασίας που αντιλαμβάνεται το άτομο μεταξύ των ποδιών και του κεφαλιού του αντίστοιχα) πρέπει να είναι μέχρι 3 °C. Η δε θερμοκρασία δαπέδου συνίσταται να κυμαίνεται μεταξύ 19-29 °C.

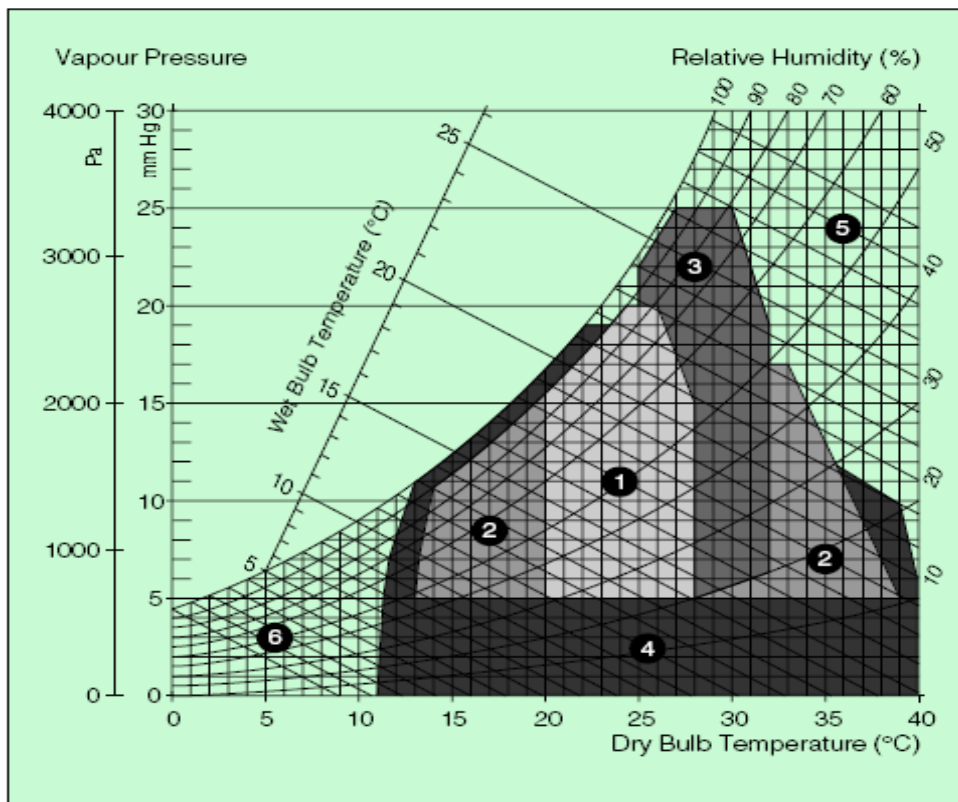
- Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας των εσωτερικών επιφανειών : Αναφέρεται στην θερμότητα που ακτινοβολείται από τις θερμές επιφάνειες του εσωτερικού χώρου. Είναι πολύ σημαντική παράμετρος, διότι επηρεάζει τη θερμότητα που χάνεται με ακτινοβολία και με αγωγιμότητα (σε περίπτωση επαφής) από το σώμα προς τις επιφάνειες. Το δέρμα απορροφά μεγάλα ποσά από αυτή τη θερμότητα, πράγμα που μπορεί, ωστόσο, να μειωθεί λόγω της ανακλαστικότητας των ρούχων. Ένα καλά μονωμένο κτήριο εξασφαλίζει θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας των εξωτερικών τοίχων πολύ κοντά στη θερμοκρασία χώρου, περιορίζοντας έτσι τις απώλειες της ακτινοβολούμενης θερμότητας, με αποτέλεσμα την επίτευξη καλύτερης θερμικής άνεσης.
- Ταχύτητα αέρα: Μέσα στα κτήρια, οι ταχύτητες του αέρα είναι μικρότερες από 0.2 m/s. Η σχετική όμως ταχύτητα του αέρα που οφείλεται στη δραστηριότητα του ατόμου ποικίλει από 0-0,1 για δουλειά γραφείου, έως 0.5-2 m/s, για πιο έντονες δραστηριότητες.
- Σχετική υγρασία: Όταν το νερό θερμαίνεται και εξατμίζεται στο περιβάλλοντα χώρο, παρέχει ως αποτέλεσμα υγρασία στον αέρα του χώρου. Σχετική υγρασία είναι ο λόγος του ποσού της υγρασίας στον αέρα προς την υγρασία που θα περιείχε, αν ήταν κορεσμένος στην ίδια θερμοκρασία και πίεση. Σχετική υγρασία ποσοστού 40% έως 70%, δεν έχει ιδιαίτερη επίδραση στη θερμική άνεση. Σε κάθε περίπτωση, η σχετική υγρασία πρέπει να είναι πάνω από 20% ώστε να εμποδίζεται η αποξήρανση των βλεννογόνων και κάτω από 80% για την αποφυγή σχηματισμού μούχλας στο κτήριο [13, 14].

Πίνακας 1: Σχέση θερμοκρασίας-σχετικής υγρασίας για θερμική άνεση [116], (ASHRAE 55-2004)

ΣΥΝΘΗΚΕΣ	ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ	ΑΠΟΔΕΚΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΧΩΡΟΥ (°C)
Καλοκαίρι (ελαφριά ένδυση)	30%	24,5-28
	60%	23-25,5
Χειμώνας (ζεστός ρουχισμός)	30%	20,5-25,5
	60%	20-24



Διάγραμμα 1: Ψυχομετρικό Διάγραμμα [17]



Διάγραμμα 2: Ένδειξης θερμικής άνεσης σε συνθήκες εσωτερικού χώρου. 1. Ζώνη Θερμικής Άνεσης, 2. Ζώνη εφαρμογής παθητικών συστημάτων θέρμανσης 3. Ζώνη Ανάγκης Αερισμού, 4. Ζώνη επίδρασης στους χρήστες 5. Ζώνη ανάγκης μηχανικής ψύξης, 6. Ζώνη Ανάγκης Θέρμανσης [26]

3.1.2 Ατομικές-Προσωπικές Παράμετροι

- Μεταβολισμός: Περιγράφει τη θερμότητα που παράγεται στο σώμα μας, ως αποτέλεσμα χημικών αντιδράσεων. Όσο μεγαλύτερη είναι η φυσική δραστηριότητα

του ατόμου, τόσο μεγαλύτερη θερμότητα παράγεται και τόσο μεγαλύτερη είναι η ανάγκη να αποβάλει αυτή τη θερμότητα για να μην υπερθερμανθεί το σώμα. Σκοπός είναι να διατηρείται το σώμα σε μια σταθερή εσωτερική θερμοκρασία 36.7 °C. Ωστόσο, η θερμοκρασία του σώματος είναι συνήθως υψηλότερη από αυτή του περιβάλλοντος. Συνεπώς, οι αντιδράσεις μεταβολισμού συμβαίνουν συνεχώς για να αντισταθμίσουν την απώλεια θερμότητας προς το περιβάλλον.

- Ένδυση: Παρεμβαίνει στην ιδιότητα μας να αποβάλλουμε θερμότητα προς το περιβάλλον, για αυτό είναι πολύ σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει τη θερμική άνεση. Η θερμική αντίσταση στην ανταλλαγή θερμότητας, μεταξύ της επιφάνειας του δέρματος και της γύρω ατμόσφαιρας, που οφείλεται στο ρουχισμό, μετριέται σε clo, όπου 1 clo=0.155m²K/watt.
- Θερμοκρασία Δέρματος: Είναι συνάρτηση του μεταβολισμού, της ένδυσης, της θερμοκρασίας χώρου και άλλων παραγόντων και σε αντίθεση με την εσωτερική θερμοκρασία σώματος, αυτή δεν είναι σταθερή [13, 14].

3.2 Εξίσωση Θερμικής Ισορροπίας

Η θερμική άνεση μπορεί να επιτευχθεί με πολλούς διαφορετικούς συνδυασμούς των παραπάνω παραμέτρων. Το ζητούμενο είναι να υπάρχει πάντα μια **θερμική ισορροπία** του σώματος, όπως μπορεί να περιγραφεί από την εξίσωση [16]:

$$M - W = R + C + E + L + K + S \quad 3.2.1$$

Όπου:

Ρυθμός Παραγωγή Θερμότητας= M – W

M, είναι ο συνολικός ρυθμός παραγωγής θερμότητας που οφείλεται στο ρυθμό κατανάλωσης οξυγόνου (1 litre O₂ = 5 kcal = 20.000 joules)

W, ο ρυθμός παραγωγής μηχανικού έργου που παράγεται από το ανθρώπινο σώμα

Ρυθμός Απωλειών Θερμότητας= R + C + E + L + K + S

R, ακτινοβολία θερμότητας μεταξύ του δέρματος ή της επιφάνειας ρουχισμού και των περιβάλλοντων επιφανειών (π.χ. τοίχοι). Σε κατάσταση ξεκούρασης και σε θερμοκρασία χώρου 21 °C, το 60% των θερμικών απωλειών από το σώμα οφείλεται στη μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία.

C, απώλεια θερμότητας δια συναγωγής (ο αέρας κοντά στο σώμα απορροφάει θερμότητα), που σε κατάσταση ξεκούρασης του ατόμου συμβάλλει κατά 18% στις συνολικές απώλειες θερμότητας

E, πρόκειται για τις απώλειες θερμότητας από το σώμα λόγω εξάτμισης του νερού δια μέσου των εξωτερικών στρωμάτων της επιδερμίδας ή εξάτμισης του ιδρώτα που βρίσκεται στην επιφάνεια της επιδερμίδας

L, αναφέρεται στην θέρμανση και ύγρανση του αέρα που εισπνέεται και έπειτα εκπνέεται

K, απώλεια θερμότητας με συναγωγή, μέσω της αμέσου επαφής του δέρματος με τις επιφάνειες (π.χ. όταν κάθεται κανείς σε κρύα επιφάνεια). Σε κατάσταση ξεκούρασης του ατόμου και σε θερμοκρασία χώρου 21 °C ο παράγοντας αυτός είναι υπεύθυνος για το 3% των συνολικών απωλειών

S, ο ρυθμός αποθήκευσης της θερμότητας στο σώμα. Ιδανικά, όταν υπάρχει θερμική ισορροπία, ο παράγοντας αυτός πρέπει να λαμβάνει την τιμή μηδέν (0), δηλαδή:

Ρυθμός Παραγωγή Θερμότητας= Ρυθμός Απωλειών Θερμότητας Χωρίς Αποθήκευση

Άλλη έκφραση της θερμικής ισορροπίας, παρόμοια με την προαναφερθείσα είναι η εξής:

$$M - W = (C + R + E_{sk}) + (C_{res} + E_{res}) + (S_{sk} + S_{cr}) \quad 3.2.2$$

Όπου:

C+R, είναι οι απώλειες θερμότητας από το δέρμα λόγω συναγωγής και ακτινοβολίας

E_{sk}, πρόκειται για τις απώλειες θερμότητας από το δέρμα λόγω εξάτμισης

C_{res}, απώλειες θερμότητας λόγω συναγωγή κατά την αναπνοή

E_{res}, είναι οι απώλειες θερμότητας λόγω εξάτμισης κατά την διαδικασία της αναπνοής

S_{sk}, είναι η αποθήκευση θερμότητας στο δέρμα

S_{cr}, η αποθήκευση θερμότητας στο εσωτερικό του σώματος

3.3 Δείκτες θερμικής άνεσης: PMV, PDD και PET

Ο επικρατέστερος τρόπος συσχέτισης μεταξύ της θερμικής άνεσης και του θερμικού συναισθήματος είναι η θεωρία του **PMV** (Predicted Mean Vote-Δείκτης Μέσης Ψήφου) και του **PDD** (Predicted Percent of Dissatisfied Persons-Εκατοστιαίο Ποσοστό Δυσανεστημένων Ατόμων).

Το **PMV** είναι μια μαθηματική σχέση που συνδέει τα επίπεδα δραστηριότητας, ρουχισμού και περιβαλλοντικών παραμέτρων. Ο προσδιορισμός του έγινε μετά από ανάλυση ενός μεγάλου αριθμού δεδομένων [3, 26]. Η κλίμακα που έχει συνταχθεί είναι από -3 (αίσθηση κρύου) έως +3 (ζέστη).



Εικόνα 4: Κλίμακα προσδιορισμού PMV

Μαθηματικά μπορεί να εκφρασθεί με την παρακάτω εξίσωση:

$$PMV = (0.303e^{-0.036M} + 0.028)L \quad 3.3.1$$

όπου **M** είναι ο Μεταβολικός Ρυθμός και **L** το θερμικό φορτίο που ορίζεται ως η διαφορά μεταξύ της εσωτερικής παραγωγής θερμότητας και των απωλειών προς το περιβάλλον.

Για συνθήκες ικανοποιητικής θερμικής άνεσης, συνίσταται οι δείκτες **PMV** και **PDD**, να κυμαίνονται μεταξύ των ακόλουθων ορίων:

$$-0.5 < PMV < 0.5 \quad 3.3.2$$

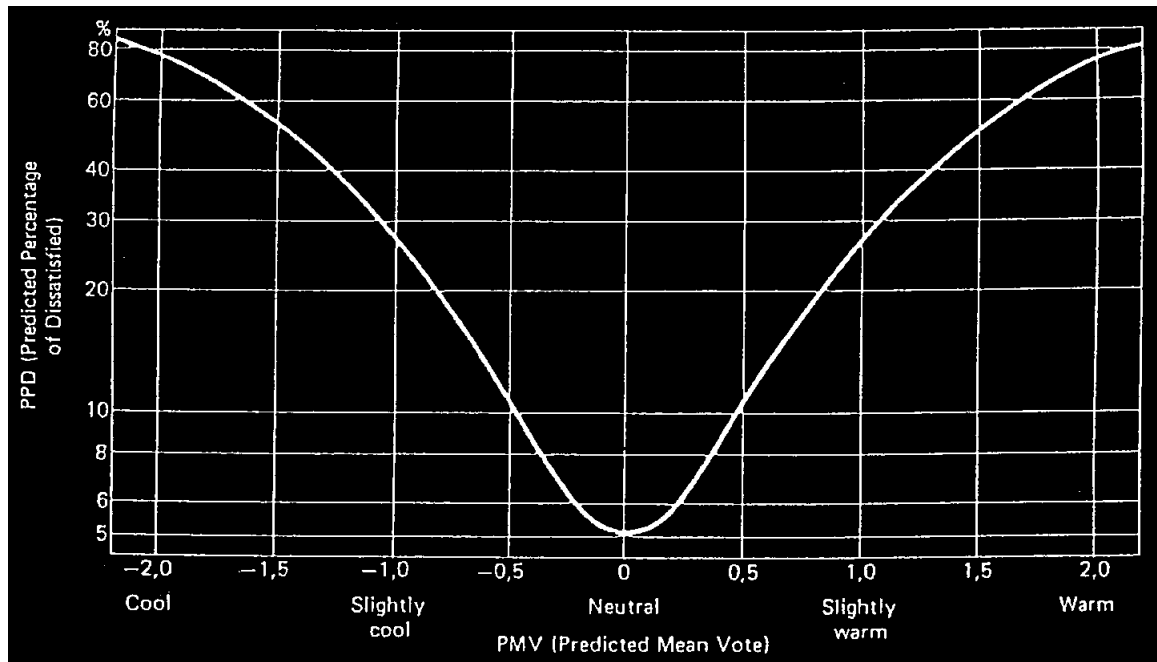
$$PDD < 10\% \quad 3.3.3$$

Ένας άλλος δείκτης θερμικής άνεσης είναι ο **PET** (Physiological Equivalent Temperature), που δείχνει τη θερμική αίσθηση που έχει το άτομο σε ένα χώρο (εξωτερικό ή εσωτερικό) και μετριέται σε °C (Πίνακας 2) [27].

Πίνακας 2: Ισοδύναμη Φυσιολογική Θερμοκρασία- Physiological Equivalent Temperature-, για διαφορετικούς βαθμούς θερμικής αίσθησης, για συγκεκριμένες συνθήκες (αντίσταση ενδυμασίας 0,9 clo, εσωτερική παραγωγή θερμότητας 80W)[27]

PET (°C)	Θερμική αίσθηση
< 4	Πολύ κρύο
4-8	Κρύο
8-13	Δροσιά
13-18	Ελαφριά δροσιά
18-23	Θερμική άνεση
23-29	Ελαφριά ζέστη

29-35	Ζέστη
35-41	Αρκετή ζέστη
>41	Πολύ ζέστη



Διάγραμμα 3: Δείκτες PMV, PPD [18]

3.4 Παράδειγμα Υπολογισμού Θερμικής Άνεσης ¹

Πίνακας 3: Εξωτερικοί και προσωπικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμική άνεση

Εξωτερικοί Παράγοντες	Προσωπικοί Παράγοντες
Θερμοκρασία χώρου (°C)	Βάρος (kg)
Θερμοκρασία ακτινοβολίας (°C)	Εμβαδόν επιφάνειας σώματος (m ²)
Βαρομετρική Πίεση (hPa)	Αντίσταση ένδυσης (clo)
Πίεση ατμών H ₂ O (hPa)	Μεταβολικός Ρυθμός (W m ⁻²)
Σχετική υγρασία (%)	Ρυθμός μηχανικού έργου (W m ⁻²)
Ταχύτητα αέρα χώρου (m s ⁻¹)	Χρόνος έκθεσης (min)

Η επιφάνειας σώματος μπορεί να υπολογιστεί από τον τύπο του DuBois:

¹ <http://atmos.es.mq.edu.au/~rdedear/pmv/>, Πρόγραμμα υπολογισμού Θερμικής Άνεσης, Πανεπιστημίου Σύδνευ, [15]

$$A_D = 0.202m^{0.425}l^{0.725} \quad 3.4.1$$

Όπου:

m, η μάζα του σώματος σε kg και

l, το ύψος του σώματος σε m

Επιλέγοντας θερμοκρασία χώρου και ακτινοβολίας 23°C, βαρομετρική πίεση 1012,4 hPa, πίεση ατμών 16,86hPa, σχετική υγρασία 60%, ταχύτητα αέρα χώρου 0.13 m s⁻¹, για μια γυναίκα βάρους 55 kg, με εμβαδόν επιφάνειας σώματος 1,6m², αντίσταση ενδυμασίας 0,47 clo (προέκυψε από συνδυασμό εσωρούχων=0,04 clo, ρούχων=0.33 και παπουτσιών=0.10), για δουλειά γραφείου-αρχαιοθέτησης καθιστή, όπου ο μεταβολικός ρυθμός είναι 70 W m⁻² και για ρυθμό έκθεσης 120 min, προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα, σύμφωνα με το λογισμικό του Πανεπιστημίου του Σίδνευ, που είναι διαθέσιμο στο διαδίκτυο [15]:

Πίνακας 4: Αποτελέσματα υπολογισμού

Θερμική Δυσφορία	-0,03	Θερμική Άνεση
Θερμική αίσθηση	-0,03	Ουδέτερη
PMV	-0,72	Ελαφριά αίσθηση κρύου
PPD	15,77 %	

Πίνακας 5: Αποτελέσματα υπολογισμού

Θερμοκρασίες Σώματος (°C)	
Θερμοκρασία Δέρματος (T_{sk})	33,40
Εσωτερική Θερμοκρασία(T_{cr})	36,843

Πίνακας 6: Αποτελέσματα υπολογισμού

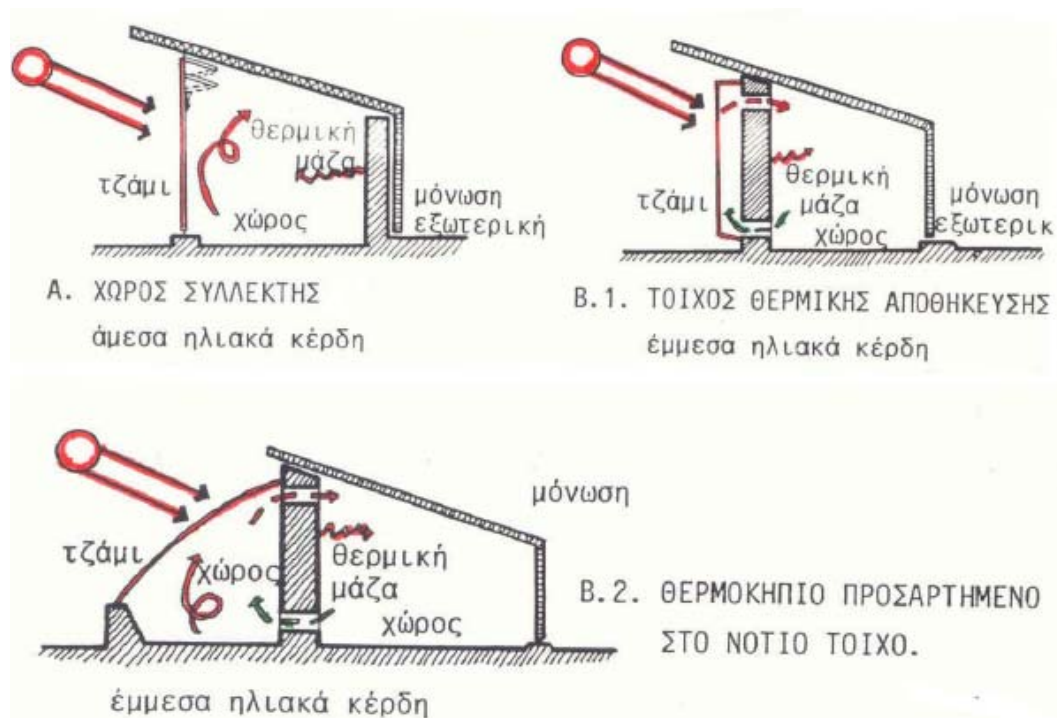
Θερμική Ισορροπία (W m⁻²)	
Μεταβολικός Ρυθμός (M)	70,00 (W m ⁻²)
Μηχανικό εργο (W)	0,00 (W m ⁻²)
Εσωτερική Αποθήκευση Θερμότητας(Scr)	0,00 (W m ⁻²)
Αποθήκευση Θερμότητας Στο Δέρμα (Ssk)	-0,001(W m ⁻²)

Ποσότητα ιδρώτα (REGSW)	0,00 (g hr ⁻¹ m ²)
Απώλειες Με Συναγωγή Κατά Την Αναπνοής(C_{res})	1,078 (W m ⁻²)
Απώλειες Με Εξατμηση Κατά Την Αναπνοής(E_{res})	5,05 (W m ⁻²)
Απώλειες Από Επιφάνεια Δέρματος Με Ακτινοβ./ Συναγ. (DRY)	55,51 (W m ⁻²)
Απώλειες Από Επιφάνεια Δέρματος Με Εξάτμηση (E_{sk})	8,37 (W m ⁻²)
Ροή Αίματος στο Δέρμα (SKBF)	11,44 (L m ⁻² hr ⁻¹)

Πίνακας 7: Διεξαγωγή Αποτελεσμάτων

Time (min)	T_{sk} (°C)	T_{cr} (°C)	E_{res} (Wm⁻²)	C_{res} (Wm⁻²)	DRY (Wm⁻²)	ESK (Wm⁻²)	Skin Store (Wm⁻²)	Core Store (Wm⁻²)	SKBF (Lm⁻²hr⁻¹)	REGSW (ghr⁻¹m²)
1	33.57	36.81	5.05	1.078	57.12	8.49	-	24.792	8.52	0.00
2	33.51	36.82	5.05	1.078	56.45	8.45	-	14.676	9.80	0.00
3	33.47	36.83	5.05	1.078	56.11	8.42	-9.328	8.646	10.50	0.00
4	33.44	36.83	5.05	1.078	55.89	8.40	-5.605	5.170	10.89	0.00
5	33.43	36.83	5.05	1.078	55.75	8.39	-3.395	3.116	11.12	0.00
6	33.42	36.83	5.05	1.078	55.67	8.38	-2.069	1.886	11.26	0.00
7	33.41	36.83	5.05	1.078	55.62	8.38	-1.268	1.144	11.34	0.00
8	33.41	36.83	5.05	1.078	55.58	8.37	-0.783	0.695	11.39	0.00
9	33.41	36.83	5.05	1.078	55.56	8.37	-0.488	0.423	11.42	0.00
10	33.41	36.83	5.05	1.078	55.55	8.37	-0.308	0.258	11.44	0.00
11	33.40	36.83	5.05	1.078	55.54	8.37	-0.199	0.157	11.45	0.00
12	33.40	36.83	5.05	1.078	55.54	8.37	-0.132	0.096	11.45	0.00
13	33.40	36.83	5.05	1.078	55.54	8.37	-0.091	0.058	11.46	0.00
14	33.40	36.83	5.05	1.078	55.53	8.37	-0.065	0.036	11.46	0.00
15	33.40	36.83	5.05	1.078	55.53	8.37	-0.049	0.022	11.46	0.00
16	33.40	36.83	5.05	1.078	55.53	8.37	-0.040	0.014	11.46	0.00
17	33.40	36.83	5.05	1.078	55.53	8.37	-0.033	0.008	11.46	0.00
18	33.40	36.83	5.05	1.078	55.53	8.37	-0.029	0.005	11.46	0.00
19	33.40	36.83	5.05	1.078	55.53	8.37	-0.026	0.003	11.46	0.00
20	33.40	36.83	5.05	1.078	55.53	8.37	-0.025	0.002	11.46	0.00

4. Ηλιακά Παθητικά συστήματα



Εικόνα 5: Ηλιακά Παθητικά Συστήματα [20]

Πρόκειται για συστήματα που παρέχουν στο κτήριο θέρμανση και δροσισμό από την εκμετάλλευση των **φυσικών πηγών ενέργειας**, καθώς και των στοιχείων απορρόφησης ενέργεια. Καθημερινά, η γη δέχεται από τον ήλιο μια εντυπωσιακή ποσότητα θερμότητας που αποβάλλεται προς τον ουρανό κυρίως μέσω της νυχτερινής επανακτινοβολίας. Για την επίτευξη μιας ικανοποιητικής **θερμικής άνεσης** μέσα σε ένα κτήριο, με ταυτόχρονο περιορισμό της χρήση συμβατικών πηγών, μπορούμε να εκμεταλλευτούμε πηγές φυσικής ενέργειας (ηλιακή ακτινοβολία, εξωτερικός αέρας, εσωτερικά κέρδη), καθώς και κατάλληλα στοιχεία απορρόφησης (όπως είναι ο ουρανός, ο εξωτερικός αέρας, οι υγρές επιφάνειες και η βλάστηση). Η θερμική εκμετάλλευση στα παθητικά κτήρια γίνεται, εκτός από τον τρόπο του σχεδιασμού του, την τοποθέτηση, προσανατολισμό, τη μορφή του, κλπ. με τη χρήση παθητικών ηλιακών συστημάτων τα οποία συγκεντρώνουν, αποθηκεύουν, μεταδίδουν, και διαχέουν θερμότητα, και αποτελούν μέρη των αρχιτεκτονικών στοιχείων. Σε γενικές γραμμές, τα αρχιτεκτονικά και δομικά στοιχεία που ρυθμίζουν τη θερμική συμπεριφορά ενός κτιρίου είναι:

- Τα γυάλινα ανοίγματα και ο εξοπλισμός τους
- Οι τοίχοι θερμικής αποθήκευσης που λειτουργούν ως συλλέκτες θερμότητας
- Τα προσαρτημένα θερμοκήπια

- Οι προσαρτημένες ηλιακές καμινάδες
- Η εφαρμογή κατάλληλης γεωμετρίας σκιάστρων
- Η δημιουργία ενεργειακής σκεπής
- Τα κατάλληλα δομικά στοιχεία (μονώσεις, χρώματα, κονιάματα, υαλοπίνακες, στοιχεία τοιχοποιίας)
- Η διαμόρφωση του εξωτερικού περιβάλλοντος χώρου (βλάστηση)

Όταν σε ένα κτήριο η ροή της θερμότητας γίνεται, λοιπόν, με φυσικό τρόπο, δηλαδή μέσω αγωγής, μεταφοράς και ακτινοβολίας και η ηλιακή ενέργεια συνεισφέρει πάνω από το μισό της ολικής εξωτερικής ενέργειας που απαιτείται για θέρμανση, το κτήριο θεωρείται σαν **ηλιακή παθητική κατασκευή**.

Τα παθητικά συστήματα συνεισφέρουν θετικά στις θερμικές απαιτήσεις του κτηρίου σε ψυχρό καιρό, ενώ σε θερμές περιόδους, αποτρέπουν τη διείσδυση του θερμού εξωτερικού αέρα και περιορίζουν τα εσωτερικά κέρδη, ώστε να εξασφαλίζουν αποδεκτές θερμικές καταστάσεις για τους ενοίκους. Ανάλογα με τον **τρόπο λειτουργίας τους από θερμική άποψη**, χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

A. Συστήματα άμεσου ή απευθείας ηλιακού κέρδους:

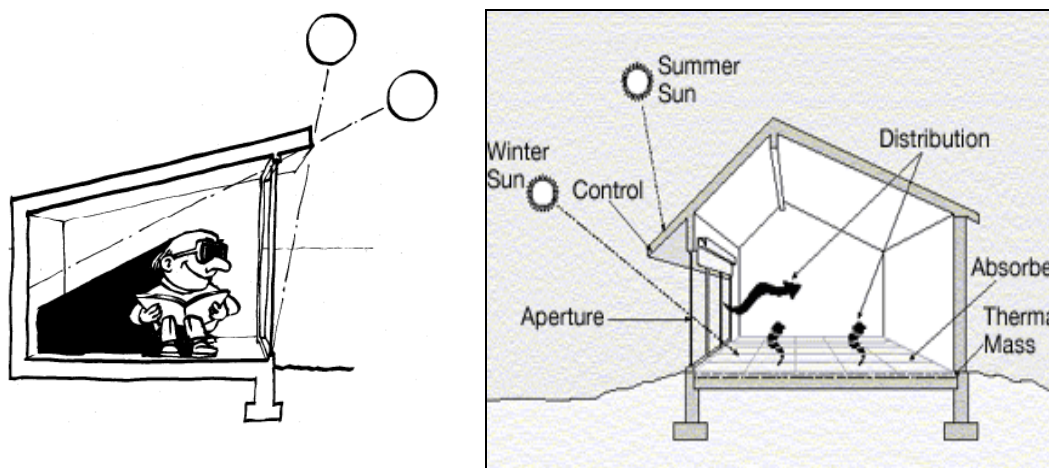
1. Κατάλληλη θερμική μάζα (χρήση υλικών υψηλής θερμοχωρητικότητας), σε συνδυασμό με συστήματα θερμικής προστασίας (θερμομόνωση κελύφους, διπλοί υαλοπίνακες) και την απαιτούμενη ηλιοπροστασία για τους καλοκαιρινούς μήνες
2. Κατάλληλα προσανατολισμένα ανοίγματα

B. Συστήματα έμμεσου ηλιακού κέρδους:

1. Ηλιακοί τοίχοι οι οποίοι αποτελούνται από τοιχοποιία συνδυαζόμενη με υαλοστάσιο που τοποθετείται εξωτερικά Μπορεί να πρόκειται για αμόνωτο τοίχο-τοίχος ηλιακής συλλογής και θερμικής αποθήκευσης- ή θερμομονωμένο τοίχο με θυρίδες-θερμοσιφωνικό πάνελ. Στην κατηγορία αυτή είναι:
 - Τοίχοι μάζας Trombe
 - Τοίχος Barra Constantini
 - Τοίχοι νερού
 - Θερμοσιφωνικό πάνελο
 - Οροφή νερού
2. Στα συστήματα αυτά ανήκουν και οι χώροι θερμικής αποθήκευσης:
 - Θερμοκήπια, προσαρτημένα στη νότια όψη του κτηρίου
 - Ηλιακά αίθρια

Γ. Συστήματα απομονωμένου ηλιακού κέρδους, όπου η συλλέκτρια επιφάνεια της ηλιακής ενέργειας, διαχωρίζεται από το χώρο της θερμικής αποθήκευσης. Πρόκειται για μικτά συστήματα που ονομάζονται υβριδικά και βασίζονται στη φυσική ροή κάποιου ρευστού (π.χ. του αέρα). Σε αυτά τα συστήματα, χρησιμοποιούνται κάποια απλά μηχανικά μέσα για την μεταφορά της θερμότητας (π.χ. ανεμιστήρες) [2, 4, 11, 12, 26].

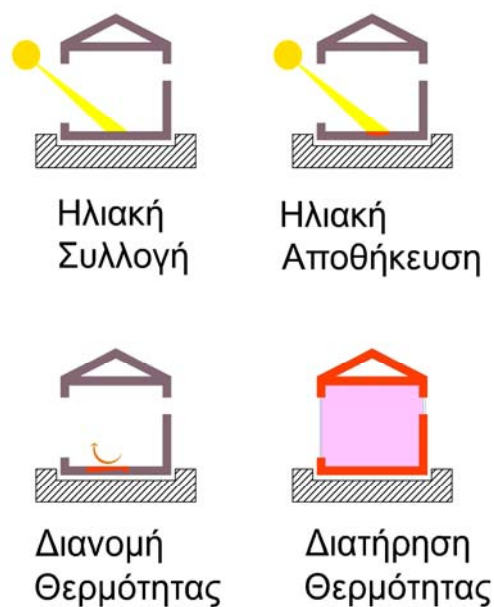
4.1 Συστήματα άμεσου ή απευθείας ηλιακού κέρδους



Εικόνα 6: Συστήματα άμεσου κέρδους [21]

4.1.1 Θερμική Μάζα

Το σύνολο των δομικών στοιχείων και υλικών ενός κτηρίου που έχουν την ικανότητα να αποθηκεύουν θερμότητα, αποτελεί τη θερμική μάζα του κτηρίου. Η μάζα αυτή όταν αξιοποιηθεί σωστά μπορεί να συνεισφέρει στη μείωση των απαιτήσεων σε θέρμανση και κλιματισμό και να έχει ευεργετική επίδραση τόσο κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού (ψύξη), όσο και κατά τη χειμερινή περίοδο (θέρμανση). **Ιδανικά υλικά** για τη συγκρότηση της θερμικής μάζας ενός κτηρίου είναι **υλικά μεγάλης θερμοχωρητικότητας**, δηλαδή ικανά να αποθηκεύουν θερμότητα σε μεγάλο βαθμό. Τέτοια υλικά είναι συμπαγή, πυκνά υλικά, όπως είναι η πέτρα και οι φυσικοί λίθοι γενικότερα, το τούβλο, το μπετόν, κεραμικές πλάκες κ.α., τα οποία επιλέγονται παραδοσιακά για τα μέρη του κτηρίου όπου απαιτείται καλή θερμική αποθήκευση. Έχουν την ιδιότητα να συσσωρεύουν μεγάλες ποσότητες θερμότητας, χωρίς να γίνονται τα ίδια ιδιαίτερα θερμά και να την αποβάλλουν όταν το περιβάλλον γίνει ψυχρότερο. Με άλλα λόγια, λειτουργούν ως μέσα αποθήκευσης θερμότητας και κρύου με το να θερμαίνονται, αλλά και να αποβάλλουν θερμότητα σχετικά αργά. Το ξύλο, για παράδειγμα, είναι ελαφρύ υλικό και έχει μικρή ικανότητα αποθήκευσης θερμότητας.



Εικόνα 7: Λειτουργία Θερμικής Μάζας

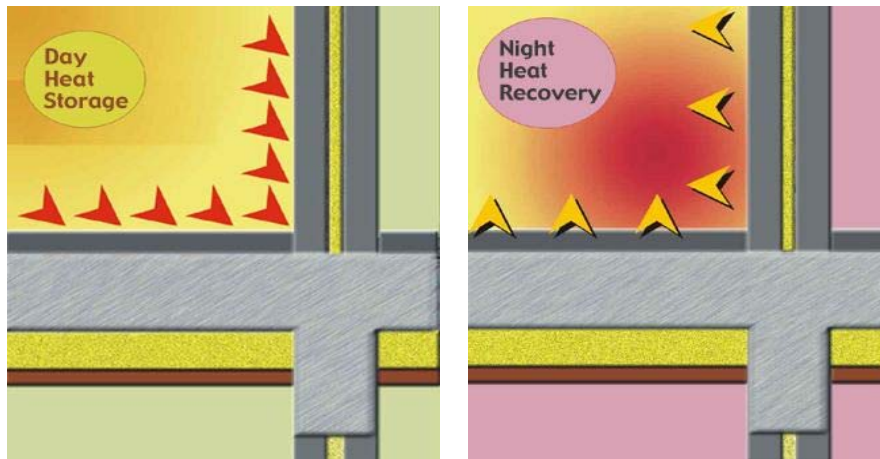
Πίνακας 8: Θερμοχωρητικότητες Υλικών [5]

ΥΛΙΚΟ	ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ (KJ/m ³ °C)
ΜΠΕΤΟΝ	1680-2500
ΠΕΤΡΑ	1596
ΤΟΥΒΛΟ	1200
ΝΕΡΟ	4212
ΞΥΛΟ	528-820

Η σωστή χρήση τα μάζας ενός κτηρίου εξαρτάται από τις κλιματικές συνθήκες και τις αντίστοιχες ανάγκες σε κλιματισμό και θέρμανση.

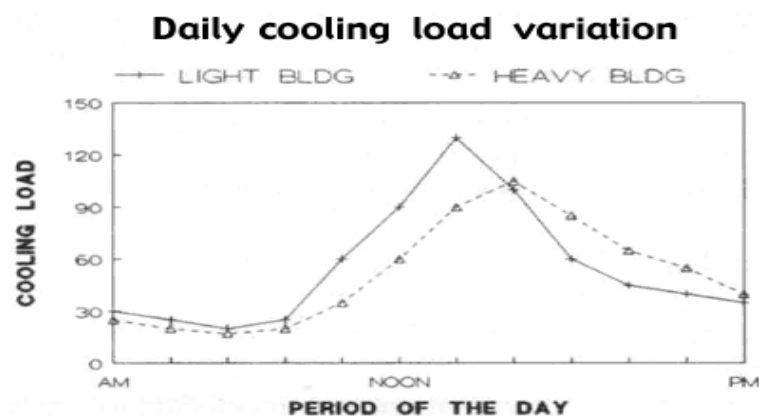
Η ηλιακή ενέργεια αφού εισέλθει στο κτήριο προς το εσωτερικό του (με άμεσο –ανοίγματα- ή έμμεσο τρόπο), παγιδεύεται και μεταφέρεται στα δομικά υλικά.

Κατά το χειμώνα, η περίσσεια ηλιακή ενέργεια αποθηκεύεται στα δομικά στοιχεία του κτηρίου τις ώρες της ημέρας. Τη νύχτα που η θερμοκρασία πέφτει, η αποθηκευμένη αυτή θερμότητα απελευθερώνεται σταδιακά προς τον εσωτερικό χώρο, μειώνοντας τις ανάγκες σε βοηθητική θέρμανση. Χαλιά και άλλες επικαλύψεις του δαπέδου, έπιπλα ή άλλα υλικά ελαφριάς κατασκευής εξουδετερώνουν τη θερμική μάζα του κτηρίου, γι' αυτό συνιστάται τα σημεία άμεσης πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας να μην καλύπτονται το χειμώνα.



Εικόνα 8: Λειτουργία Θερμικής Μάζας [22]

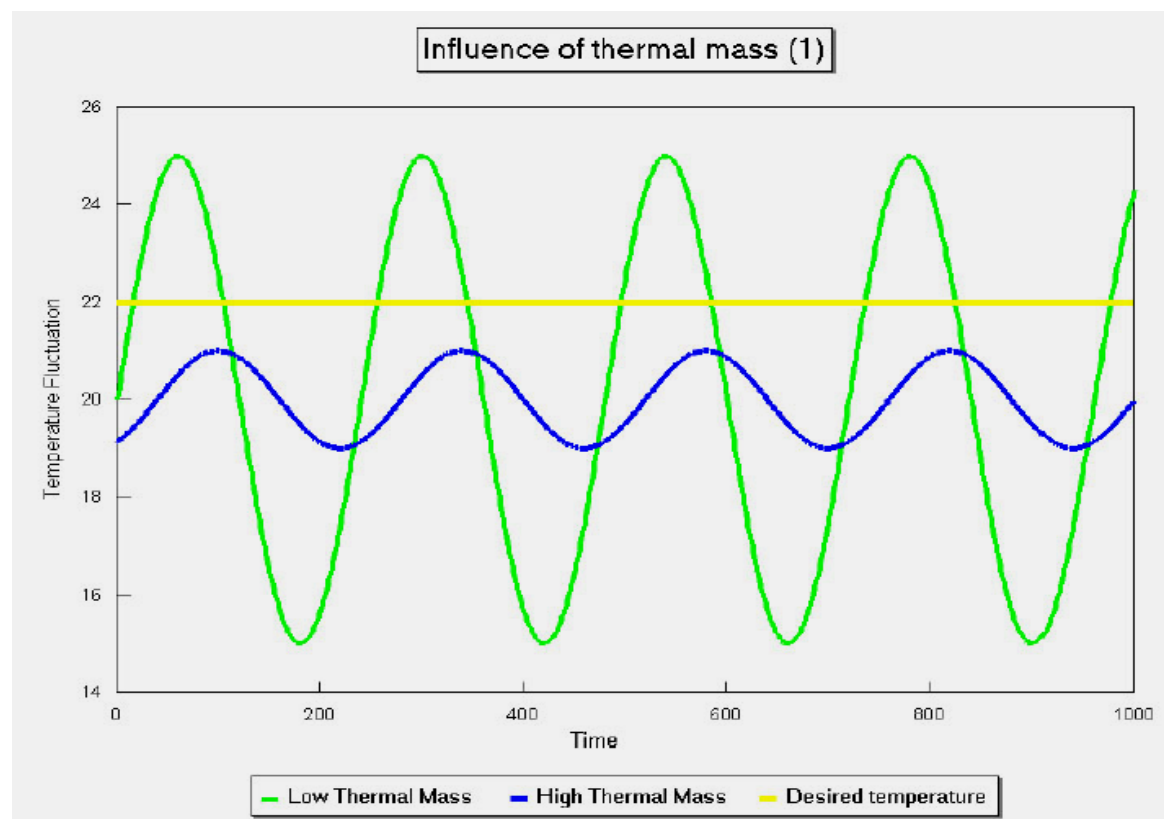
Τη διάρκεια του θέρους, η λειτουργία της θερμικής μάζας συνίσταται στο να καθυστερεί τη ροή θερμότητας από το εξωτερικό στο εσωτερικό του κτηρίου κατά τη διάρκεια της ημέρας, που υπάρχει κίνδυνος υπερθέρμανσης, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών. Η θερμότητα αποθηκεύεται, δηλαδή, στους τοίχους, τα πατώματα και τις οροφές λόγω του ημερήσιου ηλιασμού και τη νύχτα με εφαρμογή κατάλληλου εξαερισμού (άνοιγμα παραθύρων) αποβάλλεται προς τον εξωτερικό χώρο. Κατά αυτόν τον τρόπο, το επόμενο πρωινό, έχει εξασφαλισθεί χαμηλή θερμοκρασία για το χώρο ο οποίος πρόκειται να συσσωρεύσει εκ νέου θερμότητα. Το καλοκαίρι, λοιπόν, η διαδικασία αυτή παρέχει μια εξασθένηση των μέγιστων εσωτερικών θερμοκρασιών, με το να μεταθέτει την αποφόρτιση της θερμότητας αργότερα, όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι χαμηλότερη. Για καλύτερη απόδοση και αποφυγή της υπερθέρμανσης βεβαίως, είναι απαραίτητος ο κατάλληλος σκιασμός των ανοιγμάτων, ώστε να μειώνεται όσο είναι δυνατόν η ηλιακή ενέργεια που εισρέει στο κτήριο [5, 6, 22].



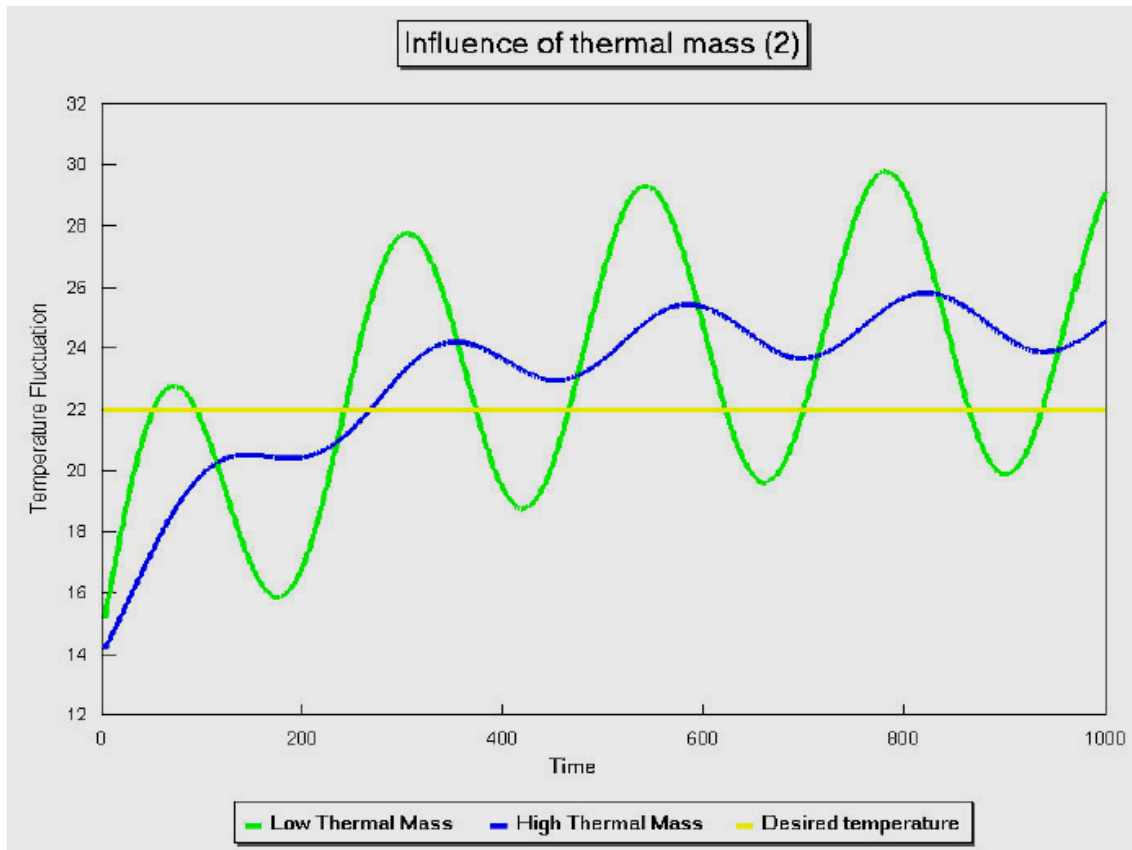
Διάγραμμα 4: Διακόμανση του ψυκτικού φορτίου κατά τη διάρκεια της ημέρας για μικρή και μεγάλη θερμική μάζα [22]

Η χρήση της θερμικής μάζας σε μεγάλη κλίμακα είναι κατάλληλη ιδιαίτερα σε ζεστά κλίματα, όπως είναι η έρημος και οι τροπικές ζώνες. Σε εύκρατα κλίματα, οι πολύ μεγάλης κλίμακας εφαρμογές (π.χ. αρκετά παχύ στρώμα τοιχοποιίας από βαριά υλικά), μπορεί να καταστήσει δύσκολη την ψύξη ή τη θέρμανση ενός σπιτιού.

Η διαδικασία θερμικής φόρτισης και αποφόρτισης της θερμικής μάζας οφείλεται στη θερμοδυναμική αρχή που επιβάλλει τη ροή θερμότητας από τα θερμότερα στα ψυχρότερα. Σε κάθε περίπτωση, **η θερμική μάζα πρέπει να συνδυάζεται με επαρκή μόνωση** του εξωτερικού κελύφους του κτηρίου. Θερμική μάζα που δεν συνδυάζεται με θερμομόνωση, μειώνει κατά πολύ τα πιθανά θερμικά κέρδη κατά το χειμώνα. Πέρα από τη χρήση δομικών υλικών υψηλής θερμοχωρητικότητας, για την αύξηση της θερμικής μάζας ενός κτηρίου χρησιμοποιούνται διάφορα συστήματα όπως οι ηλιακοί τοίχοι, οι ηλιακές λίμνες, καθώς και υλικά αλλαγής φάσης που θα μελετηθούν παρακάτω.



Διάγραμμα 5: Επίδραση της θερμικής μάζας [22].



Διάγραμμα 6: Επίδραση της θερμικής μάζας [22].

Χρονική Υστέρηση

Η χρονική υστέρηση (time lag) που μεσολαβεί από τη στιγμή της **μέγιστης εξωτερικής θερμοκρασίας** μέχρι τη στιγμή που **μεγιστοποιείται η εσωτερική επιφανειακή θερμοκρασία**, εκφράζεται σε ώρες και εξαρτάται από τη θερμοχωρητικότητα των υλικών. Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοχωρητικότητα και το πάχος ενός υλικού, τόσο αργότερα γίνεται η ροή της θερμότητας.

Προσδιορίζεται από τους ακόλουθους τύπους [2]:

$$\varphi = \rho c L^2 / k \quad 4.1.1.1$$

όπου είναι:

φ , η χρονική υστέρηση (s)

ρ , η πυκνότητα του υλικού (kg/m^3)

c , η ειδική θερμότητα –ειδική θερμοχωρητικότητα (kJ/kgK)

L , το πάχος του υλικού (m)

k , η ειδική θερμική αγωγιμότητα του υλικού (W/mK)

Επίσης, εκφράζεται από τον τύπο:

$$\varphi = L^2/\alpha \quad 4.1.1.2$$

Όπου είναι:

φ , η χρονική υστέρηση (s)

$\alpha = k/\rho C$, η θερμοκρασιακή αγωγιμότητα, ή θερμική διαχυτότητα του υλικού (m^2/s), όπου:

k , η θερμική αγωγιμότητα (W/mK)

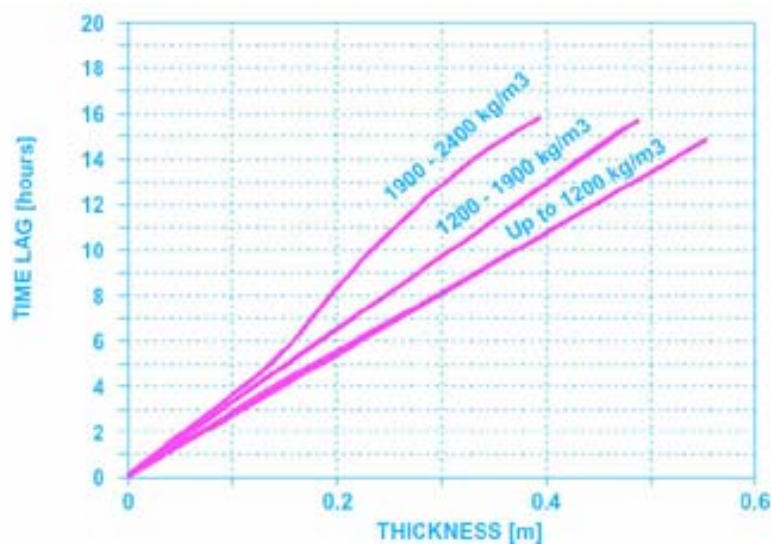
ρ , η πυκνότητα (kg/m^3)

c , η ειδική θερμοχωρητικότητα (J/kgK)

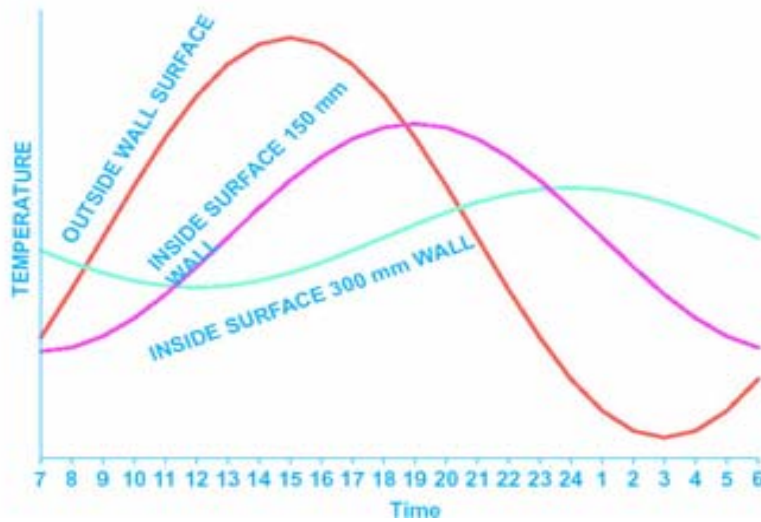
Η φυσική σημασία της θερμοκρασιακής αγωγιμότητας α συνδέεται με τη μεταφορά θερμότητας σε ένα σώμα ,όταν η θερμοκρασία του μεταβάλλεται με το χρόνο, δηλαδή όσο υψηλότερη είναι η τιμή της θερμοκρασιακής αγωγιμότητας ,τόσο ταχύτερα διαχέεται η θερμότητα στο υλικό [117].

Πίνακας 9: Επίδραση της θερμοκρασιακής αγωγιμότητα στη διάχυση θερμότητας για διάφορα υλικά

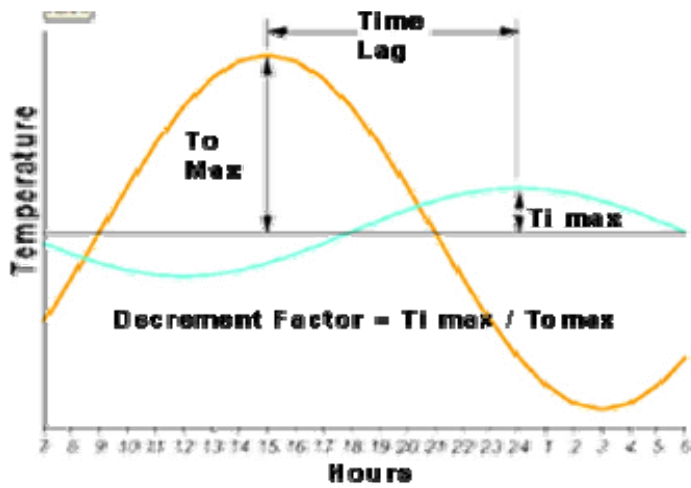
Υλικό	α ($10^6 \cdot m^2/s$)	Χρόνος
ΑΡΓΥΡΟΣ	170	9,5(min)
ΧΑΛΚΟΣ	103	16,5(min)
ΓΥΑΛΙ	0,59	2 (ημέρες)



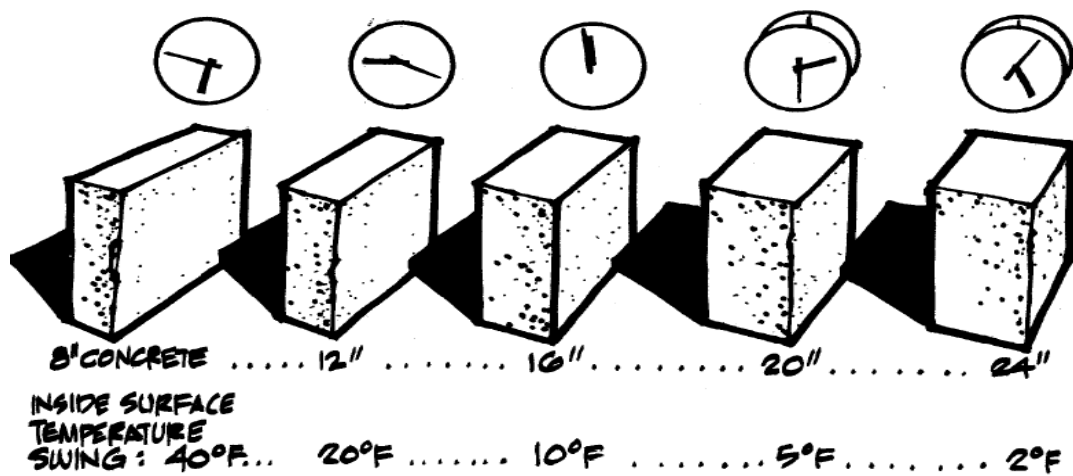
Διάγραμμα 7: Χρονική Υστέρηση (time lag) σε σχέση με το πάχος του υλικού και την πυκνότητα [22]



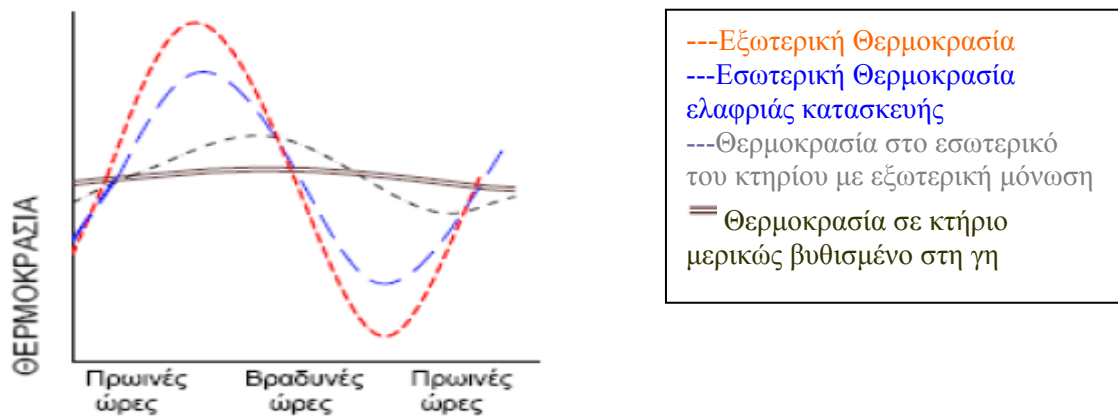
Διάγραμμα 8: Διακύμανση της θερμοκρασίας του τοίχου, λόγω χρονικής υστέρησης [22]



Διάγραμμα 9: Χρονική Υστέρηση. Ο παράγων μείωσης είναι ίσος με $T_{i\max}/T_{o\max}$ (Decrement Factor) [22].



Εικόνα 9: Χρονική Υστέρηση [23]



Διάγραμμα 10: Διακύμανση της θερμοκρασίας κτηρίου κατά τη διάρκεια της ημέρας [5].

Θερμική Αντίσταση (R-Value)

Η ροή της θερμότητας δια μέσου του κελύφους ενός κτηρίου εξαρτάται από τη διαφορά θερμοκρασίας, που πρόκειται για εξωτερικό παράγοντα και την αγωγιμότητα και το πάχος των υλικών, που είναι ιδιότητες των υλικών. Οι παράμετροι αυτοί συνιστούν τη θερμική αντίσταση του κελύφους που ορίζεται ως [22]:

$$R = l/k \quad 4.1.1.3$$

Όπου:

R (m²K/W), είναι η θερμική αντίσταση ανά μονάδα επιφάνειας του υλικού, **l (m)** το πάχος του υλικού και **k (W/mK)** η θερμική αγωγιμότητα του.

Η **συνολική θερμική αντίσταση** του κελύφους που συγκροτείται από στρώματα διαφορετικών υλικών υπολογίζεται ως εξής:

$$R_t = R_{so} + \sum R_n + R_{si} \quad 4.1.1.4$$

Όπου:

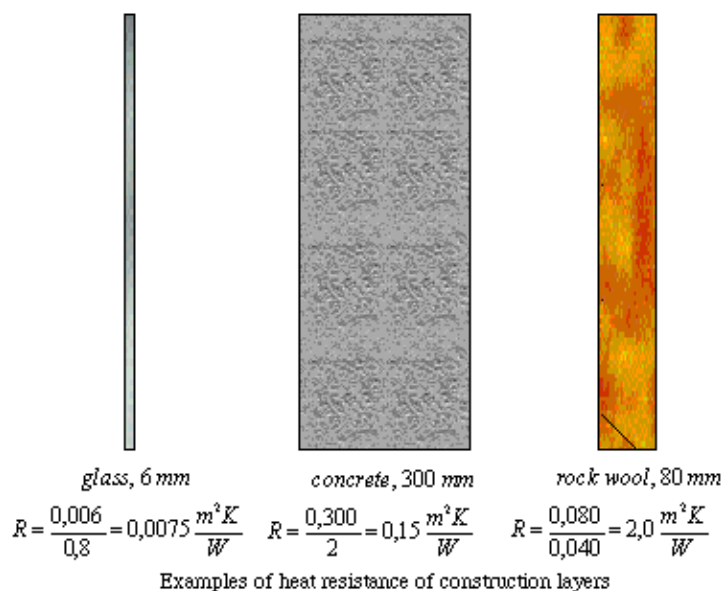
R_t, η συνολική θερμική αντίσταση του στοιχείου του κελύφους (**m²K/W**)

R_n, είναι η θερμική αντίσταση του νιοστού στρώματος, ίση με **R_n=I_n/k_n**, όπου **I_n** το πάχος του νιοστού υλικού (**m**) και **k_n** η θερμική αγωγιμότητα του (**W/mK**)

R_{so} και **R_{si}**, οι αντιστάσεις της εξωτερικής και εσωτερικής επιφάνειας του προς μελέτη στοιχείου αντίστοιχα (**m²K/W**)

Η θερμική αντίσταση συνήθως συμβολίζεται με «R» (**R-Value**) και είναι η θερμική αντίσταση υλικού εμβαδού **1 m²**, σε διαφορά θερμοκρασίας **1 K**. Κατά αυτόν τον τρόπο, γνωρίζοντας τη τιμή της θερμικής αντίστασης «R» (**m²K/Watt**), το εμβαδό του υλικού και τη

θερμοκρασιακή διαφορά, μπορούμε να βρούμε τη ροή θερμότητας δια μέσου του υλικού. **Εύλογο είναι το ότι όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της θερμικής αντίστασης, τόσο καλύτερη μόνωση παρέχει το υλικό, άρα τόσο λιγότερες είναι οι θερμικές απώλειες.** Για παράδειγμα, 100 m² υλικού αντίστασης R = 2.4, που εκτίθεται σε διαφορά θερμοκρασίας 20K, θα αφήσει να περάσει θερμότητα 833 Watts.



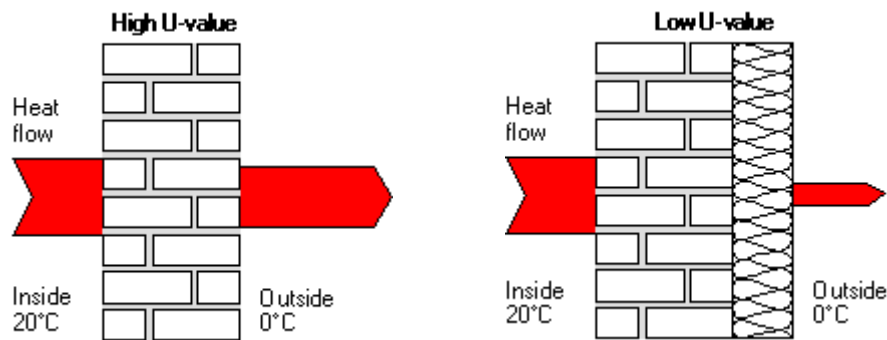
Εικόνα 10: Παραδείγματα θερμικής αντίστασης στρωμάτων της τοιχοποιίας [22]

Συντελεστής θερμοπερατότητας (U value)

Ένας άλλος τρόπος για να εξετάσει κανείς τη θερμική συμπεριφορά ενός κτηρίου είναι να μετρήσει την ικανότητα του να μεταδίδει θερμότητα, πράγμα που εξετάζεται με τον παράγοντα **U** («U value»). Μαθηματικά ισχύει ότι:

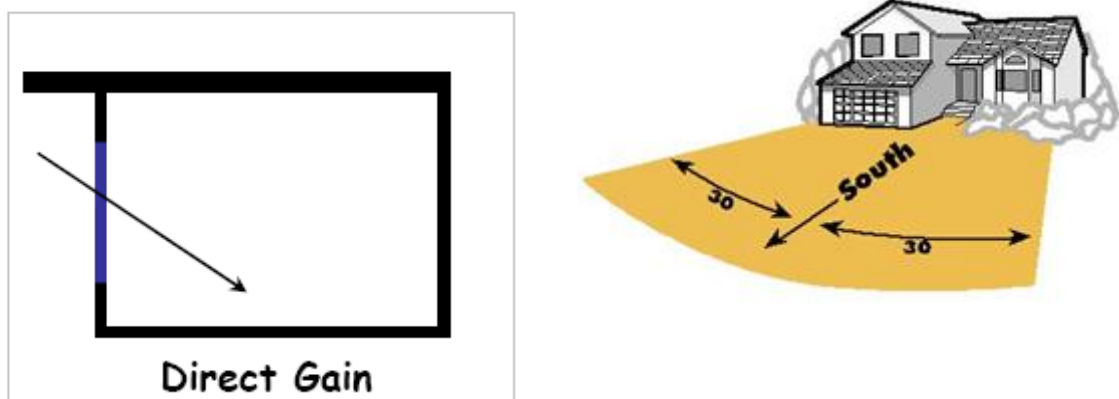
$$U = 1/R_t \quad 4.1.1.5$$

Είναι δηλαδή, το αντίστροφο της θερμικής αντίστασης. **Όσο χαμηλότερη είναι η τιμή του, τόσο μικρότερη είναι η μετάδοση θερμότητας, άρα τόσο χαμηλότερες είναι και οι θερμικές απώλειες.** Ορίζεται ως ο ρυθμός που μεταδίδεται η θερμότητα από ένα υλικό ανά μονάδα επιφάνειας και ανά μονάδα θερμοκρασιακής διαφοράς στις δυο πλευρές του υλικού ($W m^{-2} K^{-1}$), (Εικόνα 11) [24].



Εικόνα 11: Συντελεστής Θερμοπερατότητας [24].

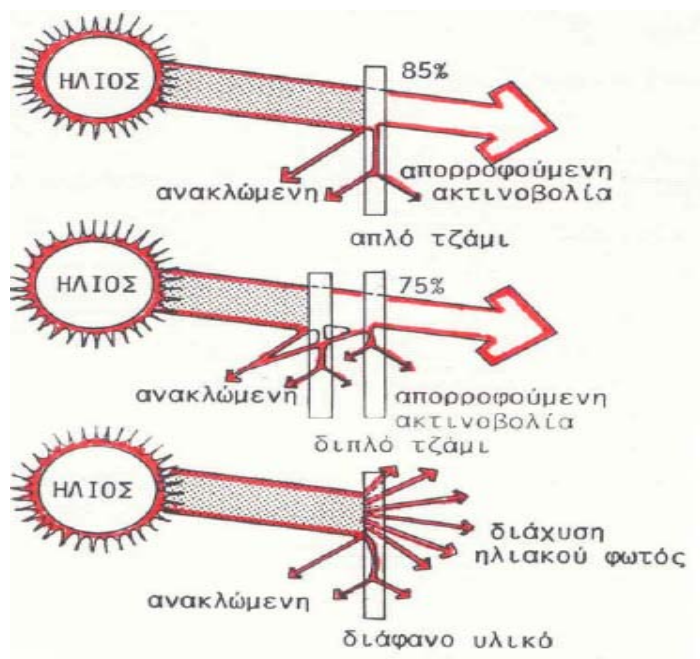
4.1.2 Ανοίγματα



Εικόνα 12: Άμεσα ηλιακά κέρδη μέσω ανοιγμάτων [58]

Όταν η ηλιακή ακτινοβολία πέφτει σε μια διαφανή ή ημιδιαφανή επιφάνεια ενός κτηρίου, ένα μέρος της ανακλάται, ένα άλλο τμήμα της απορροφάται από την επιφάνεια και τελικά το υπόλοιπο μεταδίδεται άμεσα. Η ηλιακή ακτινοβολία που απορροφάται επανεκπέμπεται προς το εσωτερικό, είτε με ακτινοβολία, είτε με μεταφορά. Τα ηλιακά κέρδη εξαρτώνται από το υλικό με το οποίο είναι φτιαγμένο το στοιχείο, από την επιφάνεια του, τη γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτίνων και φυσικά από τη διαθέσιμη ακτινοβολία που σχετίζεται με τον προσανατολισμό, την τοπογραφία του κτηρίου και την υπάρχουσα σκίαση [2, 6].

Με βάση αυτές τις αρχές, ο πιο απλός τρόπος για τη συλλογή της ηλιακής ενέργειας και την εκμετάλλευσή της για θέρμανση των χώρων, είναι η δημιουργία γυάλινων ανοιγμάτων σε ένα κτήριο, με σωστό προσανατολισμό και διαστασιολόγηση. Πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι το γυαλί είναι μη θερμομονωτικό υλικό (δεν αποθηκεύει εύκολα τη θερμική ενέργεια).

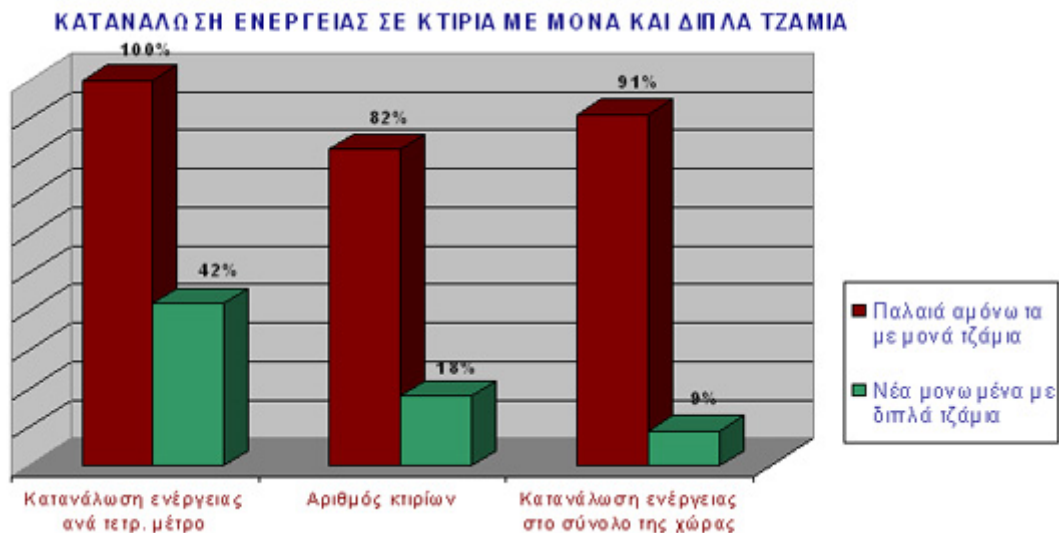


Εικόνα 13: Είσοδος της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα από τζάμι [20]

Αν οι θερμοκρασία του εσωτερικού χώρου είναι 20°C και εξωτερικά επικρατεί θερμοκρασία 0°C, τότε οι θερμικές απώλειες του γυαλιού σε σύγκριση με τοιχοποιία με θερμομόνωση είναι :

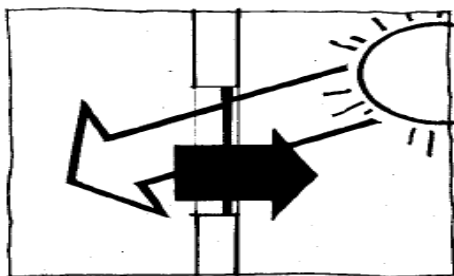
Πίνακας 10: Απώλειες σε σχέση με το τύπο του υαλοπίνακα

ΤΥΠΟΣ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΑ	ΑΠΩΛΕΙΕΣ (Watts/m ²)
Μονός	116
Διπλός	60
Θερμομονωμένη τοιχοποιία	7



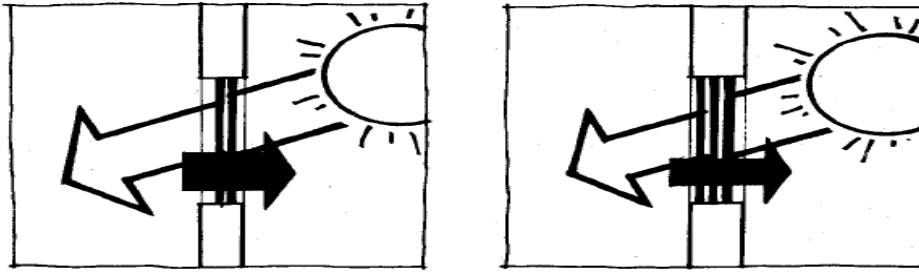
Εικόνα 14: Κατανάλωση Ενέργειας ανάλογα με τον τύπο του υαλοπίνακα [33]

Ο τύπος του υαλοπίνακα, απλός ή διπλός, σχετίζεται αφενός με τον τρόπο που διαχέεται το φως, αλλά και με τις θερμικές απώλειες. **Με την τοποθέτηση διπλού υαλοπίνακα επιτυγχάνουμε μείωση των ηλιακών κερδών κατά 18%** [23] και παράλληλα μειώνουμε τις θερμικές απώλειες από το παράθυρο κατά 50% σε σχέση με τον μονό υαλοπίνακα. Ένα τρίτο στρώμα ύαλου, μειώνει τα ηλιακά κέρδη ακόμη ένα επιπρόσθετο ποσοστό του 18%, αλλά μειώνει τις θερμικές απώλειες επιπρόσθετα κατά ένα τρίτο. Προφανώς, η προσθήκη επιπλέον στρωμάτων υαλοπινάκων, αν και αποτελεσματική είναι δαπανηρή. Τα διπλά τζάμια έχουν πλέον καθιερωθεί στις νέες κατασκευές, λόγω των καλών θερμομονωτικών ιδιοτήτων τους, που οφείλονται στο διάκενο του αέρα μεταξύ των επιφανειών. Για καλύτερη απόδοση του διπλού υαλοπίνακα, στο διάκενο τους μπορεί να υπάρξει κενό αέρα που περιορίζει ακόμη περισσότερο τις θερμικές απώλειες.²

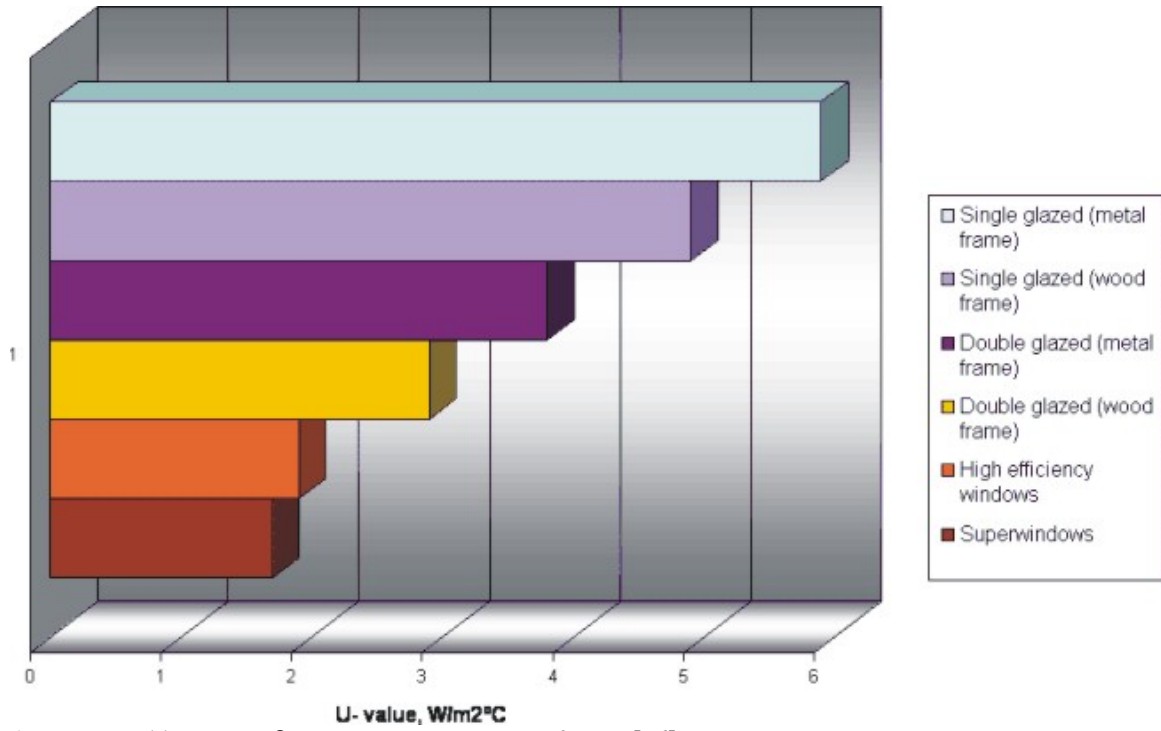


Εικόνα 15: Μονός υαλοπίνακας [23].










² Βλέπε κεφ. 6.2.4.



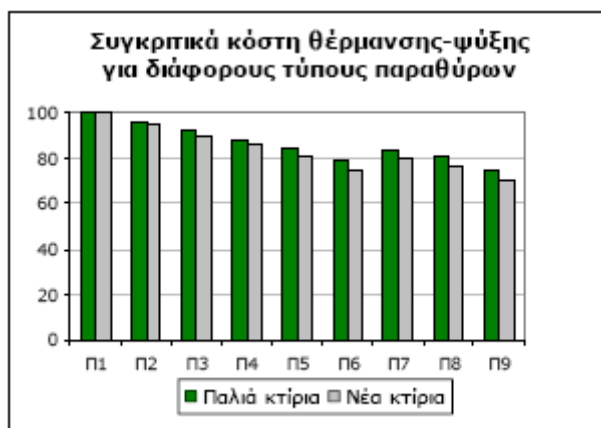
Εικόνα 16: Διπλός και τριπλός υαλοπίνακας και αντίστοιχα ηλιακά κέρδη [23].



Διάγραμμα 11: U-τιμές διαφορετικών τύπων παραθύρων [56]

ΤΥΠΟΙ ΠΑΡΑΘΥΡΩΝ		
Π1		Απλό υαλοστάσιο - Πλαίσιο αλουμινίου
Π2		Απλό υαλοστάσιο - Πλαίσιο αλουμινίου με θερμοδιακοπή
Π3		Απλό υαλοστάσιο - Ξύλινο πλαίσιο
Π4		Διπλό υαλοστάσιο - Πλαίσιο αλουμινίου
Π5		Διπλό υαλοστάσιο - Πλαίσιο αλουμινίου με θερμοδιακοπή
Π6		Διπλό υαλοστάσιο - Ξύλινο πλαίσιο
Π7		Διπλό υαλοστάσιο χαμηλής εκπεψιμότητας (Low-e) Πλαίσιο αλουμινίου
Π8		Διπλό υαλοστάσιο χαμηλής εκπεψιμότητας (Low-e) Πλαίσιο αλουμινίου με θερμοδιακοπή
Π9		Διπλό υαλοστάσιο χαμηλής εκπεψιμότητας (Low-e) Ξύλινο πλαίσιο

Εικόνα 17: Τύποι Παραθύρων [25]



Εικόνα 18: Συγκριτικά κόστη θέρμανσης-ψύξης για διάφορους τύπους παραθύρων [25].

Ο πιο κατάλληλος προσανατολισμός είναι ο νότιος, διότι δέχεται την περισσότερη ακτινοβολία το χειμώνα, το 90% της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ λαμβάνει την ελάχιστη το καλοκαίρι (αποφυγή της υπερθέρμανσης), σε σχέση με τους άλλους προσανατολισμούς. Τα βορινά υαλοστάσια προσφέρουν καλό φωτισμό στον εσωτερικό χώρο διότι δέχονται διάχυτο

και όχι άμεσο φως, ωστόσο, παρουσιάζουν μεγάλες θερμικές απώλειες κατά το χειμώνα. Τα ανατολικά και δυτικά ανοίγματα δεν παρουσιάζουν καλή συμπεριφορά, για το λόγο αυτό δεν συνιστώνται. Δεν λαμβάνουν μεγάλα θερμικά κέρδη το χειμώνα, ενώ το καλοκαίρι, οι δυτικοί προσανατολισμοί περισσότερο, μπορούν να προκαλέσουν υπερθέρμανση λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχονται μετά το μεσημέρι. Συνεπώς, τα δυτικά και ανατολικά ανοίγματα πρέπει να περιορίζονται και να συνοδεύονται από κατάλληλη σκίαση, όταν δεν μπορούν να αποφευχθούν εξαιτίας αναγκών σε φως και θέα. Συνοψίζοντας, για βόρεια γεωγραφικά πλάτη 40 ° περίπου, προτείνονται μεγάλα ανοίγματα στο νότο με μονό ή διπλό τζάμι, ανοίγματα μετρίων διαστάσεων στους ανατολικούς και δυτικούς τοίχους, ενώ στην βορινή πλευρά συνιστώνται μικρά ανοίγματα με διπλό τζάμι.

Η κλίση του υαλοστασίου επιδράει επίσης στα ηλιακά κέρδη. Για παράδειγμα, το καλοκαίρι που ο ήλιος είναι ψηλά στον ουρανό, έχω μικρότερα κέρδη σε ένα κατακόρυφο υαλοστάσιο, σε σχέση με ένα υπό γωνία. Ένα υαλοστάσιο, κεκλιμένο κατά 30° ως προς την οριζόντιο, μπορεί να δώσει χαμηλά κέρδη το χειμώνα και να δημιουργήσει υπερθέρμανση το καλοκαίρι [2, 6].

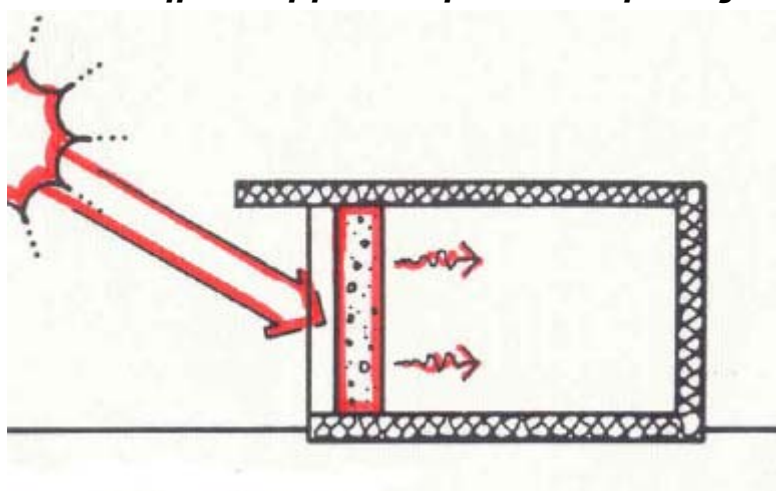
Επίσης, το μέγεθος των ανοιγμάτων επηρεάζει την αποτελεσματικότητα του συστήματος και έχει άμεση σχέση με τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής. Συγκεκριμένα, έχει εκτιμηθεί ότι για εύκρατα κλίματα, με συγκεκριμένη μέση εξωτερική θερμοκρασία το χειμώνα, το εμβαδόν του απαιτούμενου ανοίγματος ανά μονάδα επιφάνειας χώρου σε m², είναι [2]:

Πίνακας 11: Σχέση μεταξύ εξωτερικής θερμοκρασίας και ανοιγμάτων [2]

Μέση Εξωτερική Θερμοκρασία °C	Εμβαδόν ανοίγματος / Μονάδα επιφάνειας χώρου (κάτοψης) m ²
+1,7	0,16-0,25
+4,5	0,13-0,21
+7,2	0,11-1,17

Επιπροσθέτως η θέση του ανοίγματος παίζει ένα σπουδαίο ρόλο. Ένας εμπειρικός κανόνας ορίζει ότι το βάθος ενός χώρου δεν πρέπει να υπερβαίνει τις 2,5 φορές το ύψος του παραθύρου από το δάπεδο.

4.2 Συστήματα έμμεσου ηλιακού κέρδους



Εικόνα 19 : Τοίχος Μάζας [20]

Τα συστήματα αυτά, εκμεταλλεύονται την ηλιακή ακτινοβολία σύμφωνα με την εξής αλληλουχία:

ήλιος→συλλογή→αποθήκευση→θέρμανση

4.2.1 Τοίχοι θερμικής αποθήκευσης

Οι τοίχοι θερμικής αποθήκευσης μπορεί να είναι

- **απλοί τοίχοι μάζας** (μη θερμοσιφωνικής ροής και χωρίς θυρίδες) συμπαγούς κατασκευής, είτε αποτελούμενοι από δοχεία νερού (**τοίχος νερού**), ή από υλικά αλλαγής φάσης
- τοίχοι μάζας θερμοσιφωνικής ροής (**Trombe - Michel**)
- θερμοσιφωνικό πανέλο /Τοίχος **Barra Constantini**

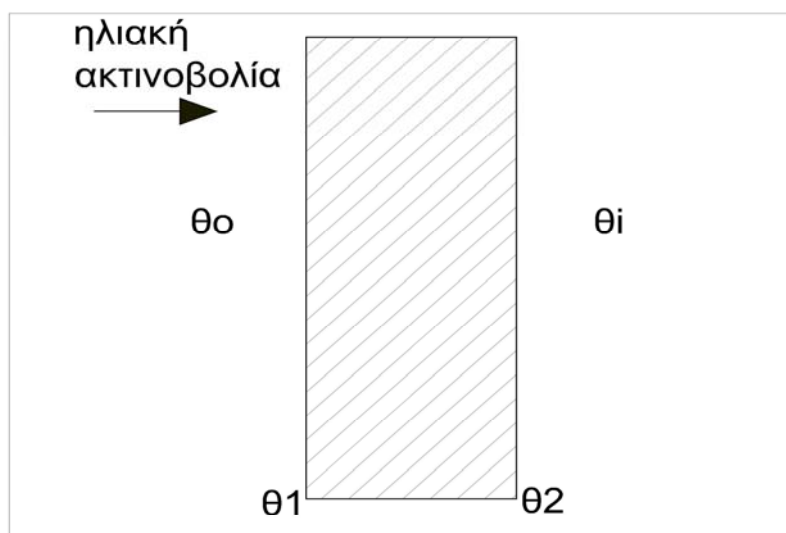
Από μετρήσεις έχει προκύψει ότι **μπορούν να συνεισφέρουν σε εξοικονόμηση ενέργειας για θέρμανση κατοικιών σε ποσοστό 10-40%** (μεγαλύτερη συνεισφορά εξοικονόμησης σε περιοχές με σχετικά ήπιο κλίμα). Συγκεκριμένα, όταν ένας τοίχος συλλέκτης είναι σωστά σχεδιασμένος, η θερμοκρασία του χώρου παραμένει στα όρια της ζώνης άνεσης (20°C -28°C) βαθμούς κατά τη διάρκεια του χειμώνα, χωρίς καμία πρόσθετη θερμαντική πηγή. Η απόδοση του συστήματος εξαρτάται από το μέγεθος της επιφάνειας του τοίχου, το πάχος και τα υλικά κατασκευής και το χρώμα της εξωτερικής επιφάνειας.

Σε κάθε περίπτωση πρέπει να συνδυάζονται με υαλοστάσια προσανατολισμένα προς το νότο, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η ηλιακή συλλογή. Η θερμική ενέργεια απορροφάται από τον τοίχο, θερμαίνει την εξωτερική του επιφάνεια, στη συνέχεια μεταφέρεται με αγωγή σε όλη τη μάζα του και τελικά φτάνει στην εσωτερική του πλευρά. Ο χρόνος που μεσολαβεί ανάμεσα

στη μέγιστη εξωτερική θερμοκρασία του τοίχου και την μέγιστη εσωτερική αντίστοιχα, η οποία θα είναι ελαττωμένη κατά το ποσό θερμότητας που απορροφήθηκε από τη μάζα του τοίχου, ονομάζεται χρονική υστέρηση, όπως έχει ήδη αναφερθεί. Αυξανόμενου του πάχους και της θερμοχωρητικότητας του τοίχου, επιτυγχάνεται μεγαλύτερη χρονική υστέρηση και γι' αυτό έχω μειωμένο άμεσο θερμικό κέρδος. Επιθυμητή είναι η υστέρηση 6-8 ωρών, ώστε να αξιοποιούμε την θερμική συλλογή του τοίχου κατά τη διάρκεια της νύχτας [2]. Η θερμική μόνωση συμμετέχει επίσης σημαντικά στην απόδοση αυτού του ηλιακού συστήματος.

Ανάλυση Μεταφοράς Θερμότητας σε ένα δομικό στοιχείο [59]

Σύμφωνα με ανάλυση του Κέντρου Ενεργειακών Σπουδών ,Τεχνολογικού Ινστιτούτου της Ινδίας προκύπτει η ακόλουθη ενεργειακή ανάλυση.



Εικόνα 20: Πρόσπτωση Ηλιακής Ακτινοβολίας σε δομικό στοιχείο

Κατά τη μεταφορά θερμότητας σε ένα δομικό στοιχείο(παράθυρα, οροφές, πατώματα) λαμβάνουν χώρα ταυτόχρονα όλοι οι μηχανισμοί μετάδοσης θερμότητας, δηλαδή, η συναγωγή, η αγωγή και η ακτινοβολία θερμότητας. Η εικόνα 20, δείχνει ένα δομικό στοιχείο στο οποίο πραγματοποιούνται οι εξής διεργασίες;

- **Συναγωγή** μεταξύ του εξωτερικού ρεύματος αέρα, θερμοκρασίας θ_0 και της εξωτερικής επιφάνειας του τοίχου θερμοκρασίας θ_1
- **Αγωγή** θερμότητας δια μέσου του τοίχου
- **Συναγωγή** μεταξύ της εσωτερικής επιφάνειας του τοίχου, θερμοκρασίας θ_2 και του εσωτερικού αέρα θερμοκρασίας θ_i

- **Ακτινοβολία** θερμότητας από τον τοίχο και προς τις δύο κατευθύνσεις, δηλαδή προς τον εξωτερικό και εσωτερικό αέρα.

Έτσι λοιπόν, λαμβάνοντας υπόψη τις ενεργειακές απώλειες από την εξωτερική επιφάνεια του τοίχου, θερμοκρασίας θ_1 μπορεί κανείς να διατυπώσει ότι η θερμορροή προς το δωμάτιο υπολογίζεται από την εξής εξίσωση:

$$q' = -\alpha_s I + h_o (\theta_1 - \theta_o) \quad 4.2.1.1.$$

Όπου:

θ_o , είναι η εξωτερική θερμοκρασία (°C)

α_s , είναι η απορροφητικότητα της εξωτερικής επιφάνειας ως προς την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία

h_o , είναι ο συνολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας (ειδική συναγωγιμότητα) από την εξωτερική επιφάνεια προς το περιβάλλον ($\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$)

I , η άμεση ηλιακή ακτινοβολία που πέφτει στην κάθετη επιφάνεια (W m^{-2})

Σε σταθερή κατάσταση,

$$q' = k(\theta_2 - \theta_1)/L \quad 4.2.1.2.$$

Και επίσης,

$$q' = h_i (\theta_i - \theta_2) \quad 4.2.1.3.$$

Όπου:

θ_2 , είναι η θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας (°C)

k , είναι η ειδική θερμική αγωγιμότητας του τοίχου ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$)

L , είναι το πάχος του τοίχου

h_i , είναι ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας (ειδική συναγωγιμότητα) του εσωτερικού χώρου ($\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$)

Από τις τρεις παραπάνω εξισώσεις, προκύπτει ότι:

$$q' = -gI + U_w (\theta_i - \theta_o) \quad 4.2.1.4.$$

Όπου:

g , είναι ο παράγων ηλιακού κέρδους

$$g = U_w \alpha_s / h_o \quad 4.2.1.5.$$

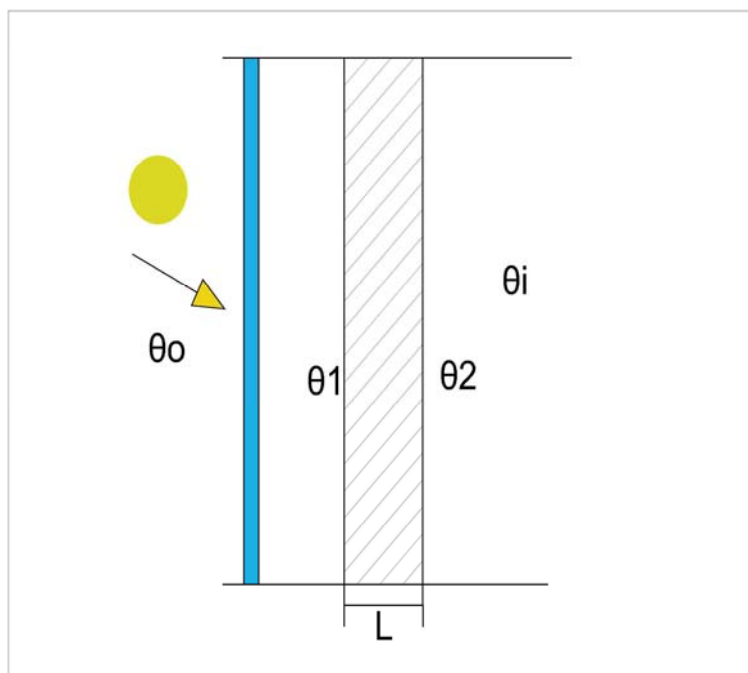
U_w , η ολική θερμική διαπερατότητα ($\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$) του κτηρίου που είναι ίση με:

$$U_w^{-1} = 1/h_o + L/k + 1/h_i \quad 4.2.1.6.$$

Η απόδοση ενός τέτοιου παθητικού συστήματος, μπορεί να ορισθεί με τη βοήθεια της σχέσης 4.2.1.4., ως εξής:

$$\eta = \frac{q'}{I} = U_w (\theta_i - \theta_o) / I \quad 4.2.1.7.$$

Τοίχος μάζας



Εικόνα 21: Τοίχος μάζας.

Σε ένα απλό τοίχο μάζας χωρίς θυρίδες, που έχει γυαλί εξωτερικά (εικόνα 21) η θερμική ισορροπία μπορεί να επίσης να εκφρασθεί με τις εξισώσεις (4.2.1.1-4.2.1.3), με τη διαφορά ότι τώρα ως συντελεστής μεταφοράς θερμότητας (ειδική συναγωγιμότητα), λαμβάνουμε τον h_{og} , από τον τοίχο προς το περιβάλλον δια μέσου του τζαμιού, λαμβάνεται ο h_{og} , που είναι ίσος με :

$$h_{og} = \left(\frac{1}{C} + \frac{L_g}{k_g} + \frac{1}{h_o} \right) \quad 4.2.1.8.$$

Όπου:

C , είναι η θερμική αγωγιμότητα του αέρα στο διάκενο μεταξύ υάλου και τοίχου

L_g , το πάχος του τζαμιού (m)

k_g , η ειδική θερμική αγωγιμότητα το υάλου ($W m^{-1}K^{-1}$)

Σε περίπτωση που ο τοίχος αποτελείται από διάφορα στρώματα υλικών, τότε η **θερμική διαπερατότητα U**, υπολογίζεται ως εξής

$$U_w^{-1} = \frac{1}{h_{og}} + \frac{\sum_n L_n}{k_n} + \frac{1}{h_i} \quad 4.2.1.9.$$

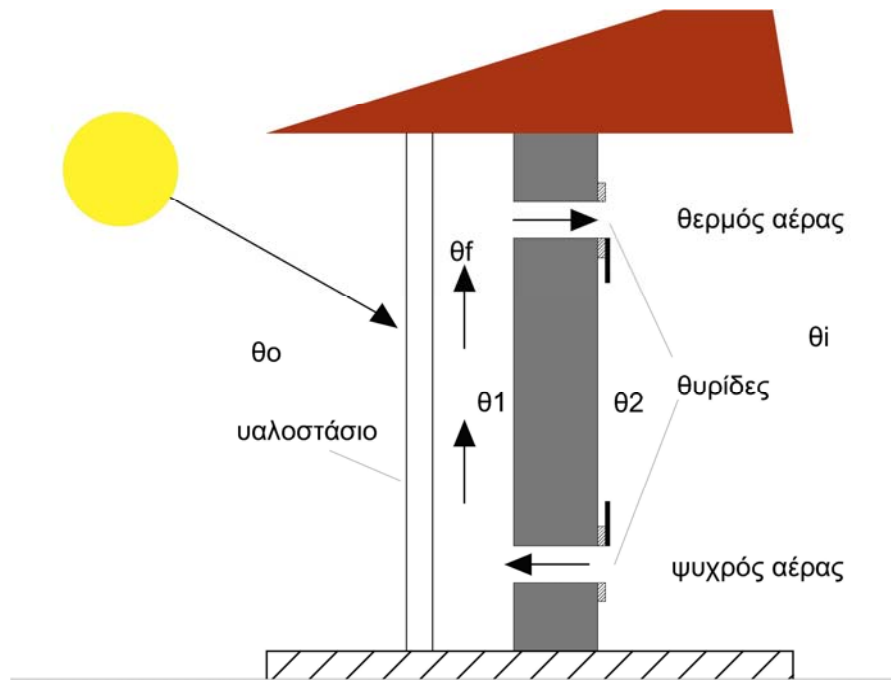
Όπου:

n , είναι ο αριθμός των στρωμάτων από τα οποία αποτελείται ο τοίχος

Τοίχος Trombe

Πρόκειται για τοίχο θερμικής αποθήκευσης, που μελετήθηκε ιδιαίτερα στη Γαλλία από τους F.Trombe και J.Michel, κατασκευασμένος από μπετόν, με θυρίδες, μέσω των οποίων μεταφέρεται με φυσική κυκλοφορία του αέρα μέρος της συλλεγόμενης θερμότητας από το διάκενο μεταξύ τοίχου και υαλοπίνακα προς στον εσωτερικό χώρο. Ο τοίχος είναι **συνήθως πάχους 30-40cm**, βαμμένος σε σκούρο χρώμα από την εξωτερική του πλευρά για αύξηση της απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας. **Συνδυάζεται με μια γυάλινη επιφάνεια** (υαλοστάσιο) σε απόσταση 3 cm περίπου. Στο άνω και κάτω τμήμα του τοίχου υπάρχουν **θυρίδες** ώστε να διευκολύνεται η φυσική κυκλοφορία του αέρα. Όσον αφορά στη συναλλαγή ενέργειας, τμήμα της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας ανακλάται από τη γυάλινη επιφάνεια, κάποιο ποσό θερμικής ενέργειας απορροφάται από τον τοίχο και έπειτα ένα τμήμα ακτινοβολείται προς τα έξω (χάνεται), ενώ ένα σημαντικό ποσό ακτινοβολείται προς τον εσωτερικό χώρο με κάποια χρονική υστέρηση. Επιπρόσθετη θερμική ενέργεια έχουμε από την θερμότητα που μεταφέρεται από τον αέρα του διακένου.

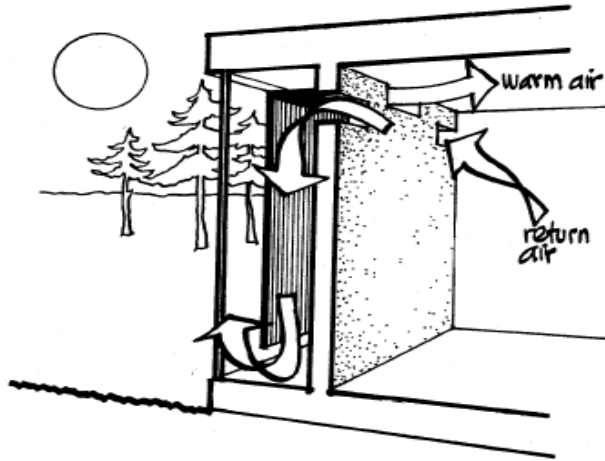
Η λειτουργία του ηλιακού αυτού τοίχου **βασίζεται στην φυσική κυκλοφορία του αέρα** ανάμεσα στο γυαλί και τον τοίχο και μέσα από τις θυρίδες, λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας (Ο θερμός αέρας ανεβαίνει στα υψηλότερα επίπεδα λόγω της μικρότερης πυκνότητας του και ο ψυχρός αέρας καταλαμβάνει τα χαμηλότερα στρώματα.).



Εικόνα 22: Τοίχος Trombe

Τους χειμερινούς μήνες, κατά τη διάρκεια της ημέρας, ο αέρας στο διάκενο μεταξύ του τοίχου και του υαλοστασίου θερμαίνεται λόγω της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, κινείται προς τα πάνω και εισέρχεται στον εσωτερικό χώρο μέσω των άνω θυρίδων. Ο ψυχρότερος αέρας από τον εσωτερικό χώρο, που κινείται στα χαμηλότερα επίπεδα, μπαίνει από τις κάτω θυρίδες στο διάκενο, θερμαίνεται και ανέρχεται. Έτσι δημιουργείται μια συνεχή ροή θερμότητας προς το χώρο. Τις νυχτερινές ώρες και τις νεφοσκεπείς ημέρες η λειτουργία αντιστρέφεται. Οι θυρίδες στο επάνω μέρος του τοίχου μπορούν να παραμένουν κλειστές, ώστε να εμποδίζεται η αντίστροφη κίνηση του θερμού αέρα από το χώρο προς την εξωτερική ψυχρή επιφάνεια του υαλοπίνακα. Η θέρμανση του χώρου, πετυχαίνεται με την ακτινοβολία της αποθηκευμένης από τον τοίχο θερμικής ενέργειας. Στις περιοχές όπου παρατηρούνται χαμηλές θερμοκρασίες κατά τη χειμερινή περίοδο συνιστώνται διπλοί υαλοπίνακες στο υαλοστάσιο καθώς και νυχτερινή προστασία με κινητά θερμομονωτικά εσωτερικά (στο διάκενο) ή εξωτερικά πετάσματα.

Τους καλοκαιρινούς μήνες, κλείνει η επάνω θυρίδα και ταυτόχρονα ανοίγει ένα τμήμα του υαλοστασίου στο επάνω μέρος του (φεγγίτης). Έτσι απομακρύνεται ο ζεστός αέρας προς τα έξω. Για καλύτερη λειτουργία απαιτείται ηλιοπροστασία της συλλεκτικής επιφάνειας κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού με κινητά εξωτερικά πετάσματα [2, 6, 8, 23, 37, 38].



Εικόνα 23: Τοίχος Trombe [23].

Ανάλυση Μεταφοράς Θερμότητας σε ένα Τοίχο Trombe [59]

Από την εικόνα 22 και σύμφωνα με την ανάλυση μεταφοράς θερμότητας που έγινε παραπάνω, η ενεργειακή ισορροπία στον τοίχο Trombe, είναι η εξής:

$$q' = -\alpha_s I + h_{og} (\theta_1 - \theta_o) \quad 4.2.1.10.$$

Με το h_{og} , να δίνεται από την εξίσωση (4.2.1.8.)

Καθώς:

$$q' = \frac{k(\theta_2 - \theta_1)}{L} + m' C_{pa} (\theta_{os} - \theta_i) \quad 4.2.1.11.$$

Όπου:

m' , η παροχή μάζας του αέρα στο διάκενο μεταξύ του τζαμιού και του τοίχου Trombe (kg/h)

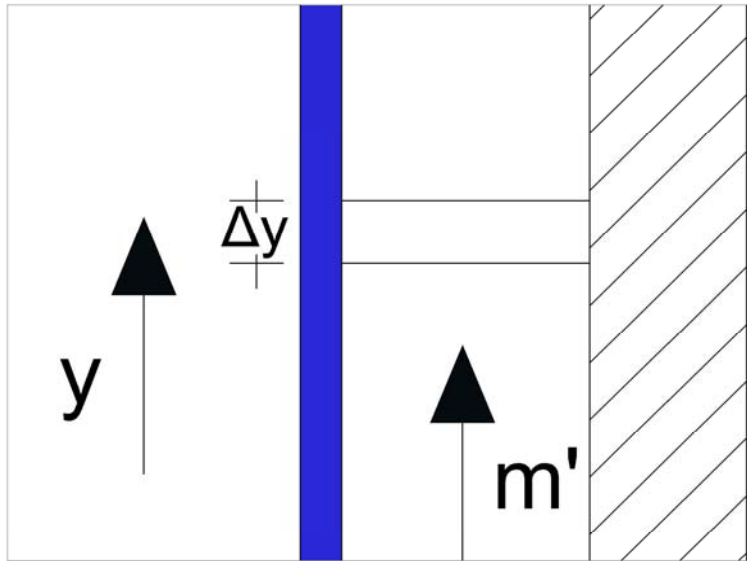
C_{pa} , η ειδική θερμοχωρητικότητα του αέρα υπό σταθερή πίεση ($J Kg^{-1} ^\circ C^{-1}$)

θ_{os} , η θερμοκρασία του αέρα στην άνω θυρίδα ($^\circ C$)

L , το πάχος του τοίχου

Αλλά,

$$\frac{k(\theta_2 - \theta_1)}{L} = h_i (\theta_i - \theta_2) \quad 4.2.1.12.$$



Εικόνα 24: Στοιχειώδες εμβαδό του τοίχου Trombe

Η θερμοκρασιακή αύξηση ενός στοιχειώδους εμβαδού ($\mathbf{b}\Delta\mathbf{y}$) του τοίχου Trombe (εικόνα 24), με \mathbf{b} το πλάτος του τοίχου (\mathbf{m}), μπορεί να γραφεί ως εξής:

$$m'C_{\text{ρα}}\left(\frac{\partial\theta_f}{\partial y}\right)\Delta y = h_f(\theta_1 - \theta_f)b\Delta y \quad 4.2.1.13.$$

Όπου:

h_f , ειδική συναγωγιμότητα στο διάκενο μεταξύ του τοίχου Trombe και του γυαλιού ($\mathbf{W m}^{-2} \mathbf{K}^{-1}$)

θ_f , η θερμοκρασία του αέρα στο διάκενο ($^{\circ}\mathbf{C}$)

Με χρήση των παρακάτω οριακών συνθηκών,

$$\text{για } y = 0, \quad \theta_f = \theta_i \quad 4.2.1.14.$$

$$\text{για } y = h, \quad \theta_f = \theta_{\text{os}} \quad 4.2.1.15.$$

προκύπτει :

$$\theta_{\text{os}} = \theta_i \exp(-\beta h) + \theta_1 [1 - \exp(-\beta h)] \quad 4.2.1.16.$$

Όπου:

$$\beta = h_f b/m'Cr\alpha \quad 4.2.1.17.$$

Από την επίλυση των εξισώσεων (4.2.1.10-4.2.1.17), προκύπτει η τελική έκφραση της θερμοροής προς το δωμάτιο, η οποία είναι η εξίσωση (4.2.1.4), με θερμική διαπερατότητα U:

$$U = \left[\frac{1}{h_{og}} + \frac{1}{\frac{h_i k}{h_i L + k} + m'Cr\alpha(1 - \exp(-\beta h))} \right]^{-1} \quad 4.2.1.18.$$

Παραλλαγές Τοίχου Trombe

Έχουν αναπτυχθεί διάφορες **παραλλαγές του τοίχου Trombe** [60], που σκοπό έχουν να τον καταστήσουν πιο αποτελεσματικό.

- Μια από τις παραλλαγές είναι η **ύπαρξη παραθύρων στον τοίχο**, πράγμα που μειώνει την απόδοση του, ωστόσο εφαρμόζεται για αισθητικούς λόγους και για ύπαρξη φυσικού φωτισμού. Εάν το εξωτερικό γυαλί έχει υψηλή εκπομπή υπεριώδους ακτινοβολίας και το παράθυρο του τοίχου είναι από απλό γυαλί, τότε μπορεί να αξιοποιηθεί το υπεριώδες φως για θέρμανση, ενώ ταυτόχρονα προστατεύονται οι άνθρωποι και τα έπιπλα από την ακτινοβολία, πολύ περισσότερο από όταν γίνεται χρήση παραθύρων με υψηλή εκπομπή υπεριώδους ακτινοβολίας.
- Επίσης, **με τη χρήση μιας επιλεκτικής επιφάνειας** σε έναν τοίχο Trombe βελτιώνεται η απόδοσή του λόγω του περιορισμού της υπέρυθρης ενέργειας που ακτινοβολείται μέσα από το τζάμι. Η επιλεκτική επιφάνεια δεν είναι παρά ένα μεταλλικό φύλλο που επικολλάται στην εξωτερική επιφάνεια του τοίχου ή πολλές φορές μια επιφάνεια περασμένη με ειδικές βαφές. Απορροφά όλη σχεδόν την ακτινοβολία από το ορατό μέρος του ηλιακού φάσματος και εκπέμπει πολύ μικρό μέρος στην κλίμακα της υπέρυθρης ακτινοβολίας. Η υψηλή απορροφητικότητα των επιφανειών των τοίχων μετατρέπει το φως σε θερμότητα, ενώ η χαμηλή ανακλαστικότητα προφυλάσσει από την ακτινοβολία της θερμότητας προς το τζάμι.

Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα

Τα πλεονεκτήματα του τοίχου Trombe είναι ότι:

- είναι απλός στο σχεδιασμό του
- έχει μικρό σχετικά κόστος, ώστε να προσαρμόζεται στην οικονομική κατάσταση του ενδιαφερομένου
- συμβάλλει στην εξοικονόμηση ενέργειας και μπορεί να εφαρμοστεί πολύ εύκολα στα ήδη υπάρχοντα κτίρια.

Μειονεκτήματα του θεωρούνται τα εξής:

- μπορεί να δημιουργηθούν συνθήκες υπερθέρμανσης στον εσωτερικό χρόνο κυρίως όταν η επιφάνεια είναι πολύ μεγάλη.
- είναι πιθανόν να δημιουργούνται θερμοκρασιακές διακυμάνσεις στο χώρο λόγω της κίνησης του αέρα από τις θυρίδες αερισμού.



Εικόνα 25: Εφαρμογές τοίχου Trombe σε κτίρια χαμηλής ενέργειας [61]

Τοίχος νερού

Μια μορφή τοίχου θερμικής αποθήκευσης είναι οι τοίχοι νερού, που είναι κατασκευασμένοι από πλαστικά ή μεταλλικά στεγανά δοχεία, σκούρου χρώματος που περιέχουν νερό, πίσω από μια γυάλινη επιφάνεια νοτίου προσανατολισμού. **Η επιλογή του νερού βασίζεται στη μεγάλη θερμοχωρητική του ικανότητα**, δηλαδή στη ικανότητα του να αποθηκεύει θερμότητα κατά τη θέρμανσή του και να θερμαίνεται ή να ψύχεται εύκολα σε σχέση με άλλα υλικά. Έτσι απαιτούνται μικρότερες επιφάνειες τοίχου, σε σχέση με άλλους τοίχους θερμικής αποθήκευσης που είναι κατασκευασμένοι από μπετόν, πέτρα, τούβλο, κ.λ.π. Η εσωτερική επιφάνεια του τοίχου μπορεί να έρχεται κατευθείαν σε επαφή με ένα από τους χώρους του κτηρίου, ή να διαχωρίζεται από αυτούς, με ένα λεπτό τοίχο, ή με ένα στρώμα μόνωσης.



Solar Components Water Wall

Εικόνα 26: Τοίχος νερού [62]

Μειονέκτημα τους είναι το γεγονός ότι η μάζα του νερού θερμαίνεται ομοιόμορφα και παρουσιάζεται έτσι η ίδια θερμοκρασία και στην εσωτερική και στην εξωτερική επιφάνεια του τοίχου, με αποτέλεσμα να απαιτείται οπωσδήποτε νυχτερινή θερμική μόνωση στην εξωτερική πλευρά, για να αποφευχθεί η ακτινοβολία θερμότητας προς τα έξω κατά τη διάρκεια της νύχτας. Επίσης υπάρχει ο κίνδυνος υπερθέρμανσης, όταν η επιφάνεια του είναι πολύ μεγάλη. Ένα ακόμη μειονέκτημα του είναι ότι δεν επιτρέπει τη διείσδυση του φωτός, τον αερισμό και την οπτική επικοινωνία με τον εξωτερικό χώρο [2].

Ανάλυση Μεταφοράς Θερμότητας σε ένα Τοίχο νερού [59]

Από την εικόνα 27 και σύμφωνα με την ανάλυση μεταφοράς θερμότητας που προηγήθηκε, η ενεργειακή ισορροπία στον τοίχο νερού σε σταθερή κατάσταση θα είναι:

$$q' = h_{og}(\theta_1 - \theta_o) - \alpha_s I \quad 4.2.1.19.$$

$$= h_{w1}(\theta_w - \theta_1) \quad 4.2.1.20$$

$$= h_{w2}(\theta_2 - \theta_w) \quad 4.2.1.21.$$

$$= h_i(\theta_i - \theta_2) \quad 4.2.1.22.$$

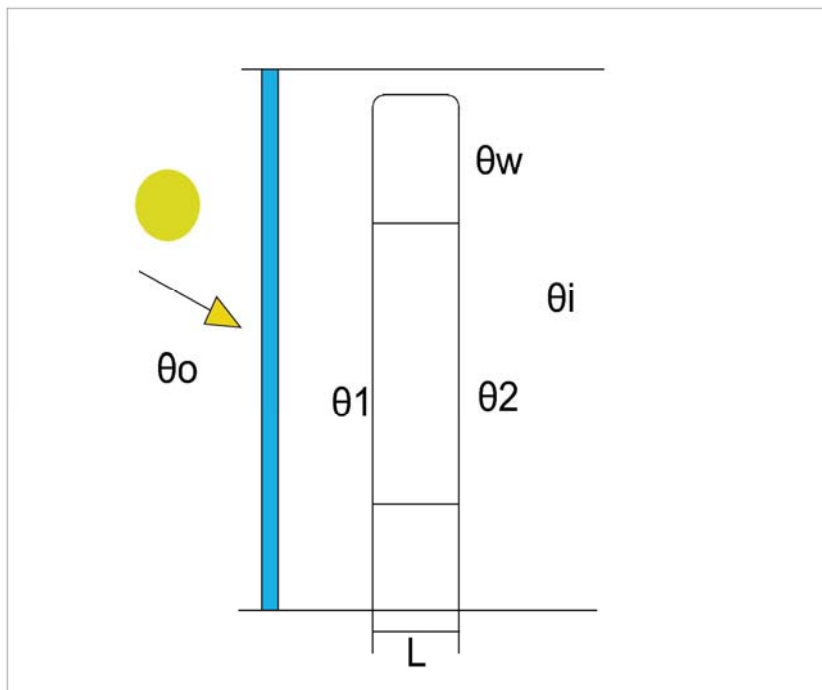
Όπου:

h_{og} , ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας (ειδική συναγωγιμότητα) από τον τοίχο προς το περιβάλλον δια μέσου του τζαμιού, που υπολογίζεται από τη σχέση (4.2.1.8.)

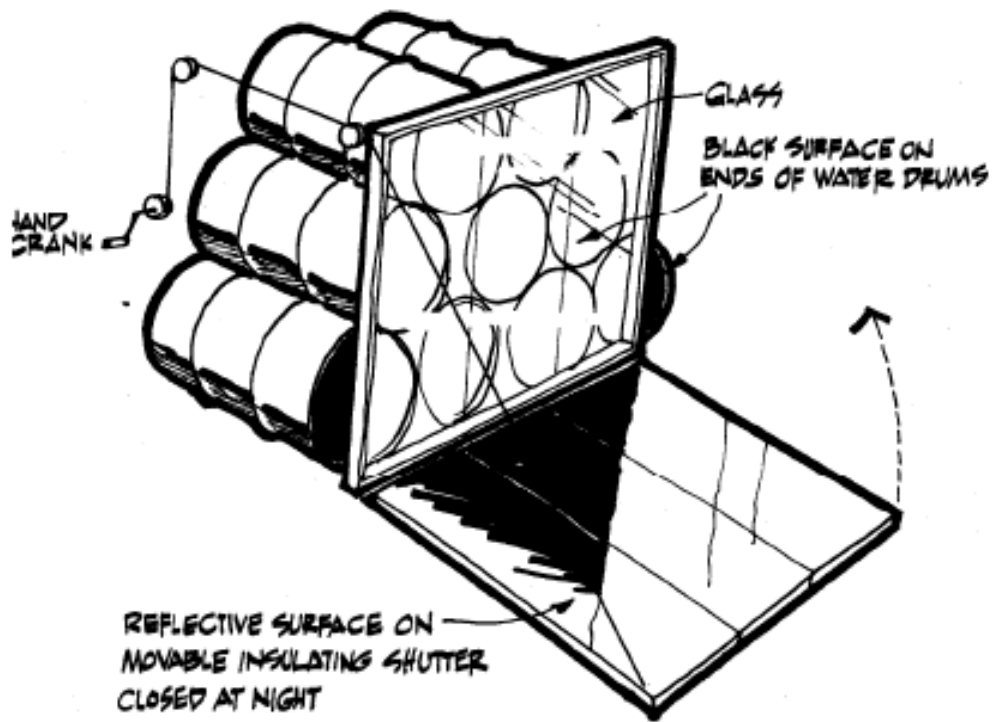
h_{w1} , h_{w2} , οι συντελεστές μεταφοράς θερμότητας (ειδικές συναγωγιμότητες) της εξωτερικής και εσωτερικής επιφάνειας του τοίχου

Η ολική ροή θερμότητας q προς τον εσωτερικό χώρο θα εκφράζεται πάλι μέσω της σχέσης (4.2.1.4.), αλλά με συντελεστή θερμοπερατότητας U , που προκύπτει από τις εξισώσεις (4.2.1.19.-4.2.1.22):

$$U = \left[\frac{1}{h_{og}} + \frac{1}{h_{w1}} + \frac{1}{h_{w2}} + \frac{1}{h_i} \right]^{-1} \quad 4.2.1.23.$$

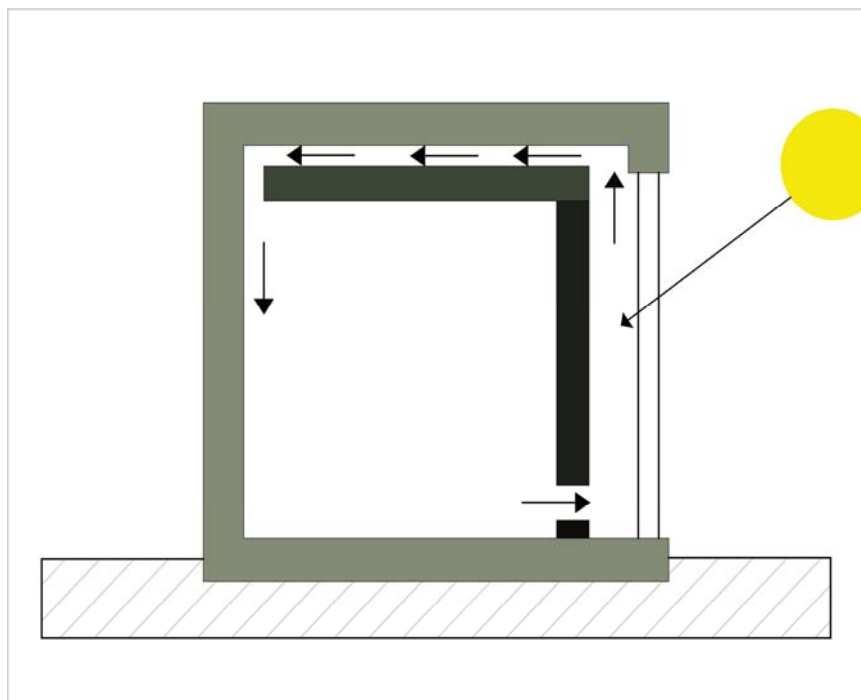


Εικόνα 27: Τοίχος νερού



Εικόνα 28: Τοίχος νερού [23]

Θερμοσιφωνικό πάνελο / Τοίχος Barra Constantini



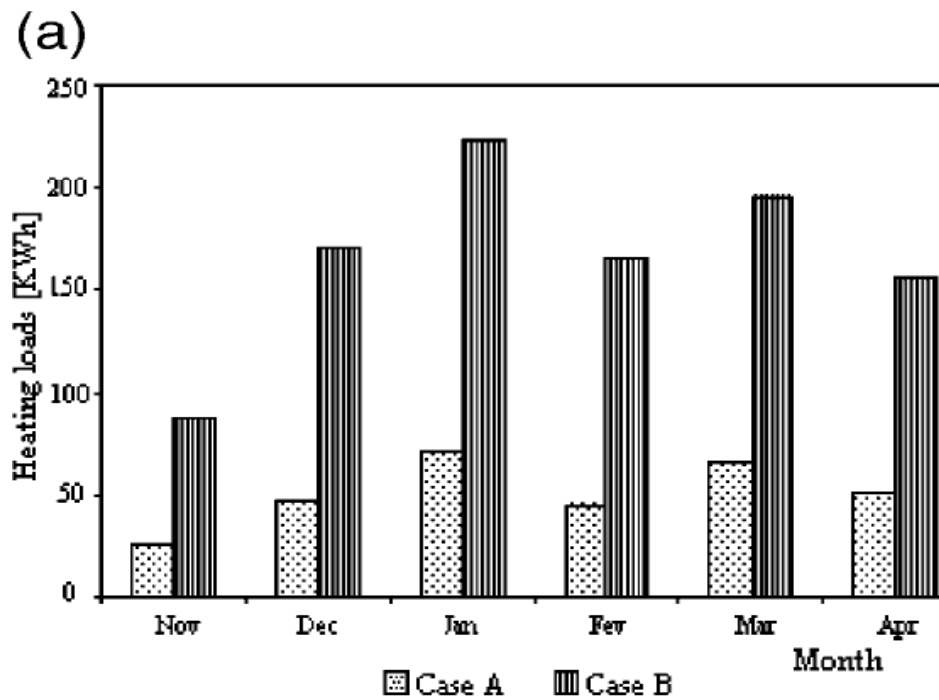
Εικόνα 29: Τοίχος Barra-Constantini

Αποτελεί σύστημα παρόμοιας κατασκευής και λειτουργίας με τον τοίχο Trombe - Michel, αλλά **δίχως την ύπαρξη και λειτουργία της θερμικής μάζας**. Η βασική διαφορά από τον τοίχο μάζας θερμοσιφωνικής ροής είναι ότι ο τοίχος του θερμοσιφωνικού πανέλου απομονώνεται θερμικά από το διάκενο με χρήση θερμομονωτικής (συνήθως μεταλλικής) επικάλυψης και η μεταφορά θερμότητας γίνεται αποκλειστικά με συναγωγή (μεταφορά) από τον αέρα του διακένου και όχι με ακτινοβολία.

Ο αέρας μεταφέρεται στον εσωτερικό χώρο, πάλι μέσω θυρίδων ή αγωγών. Σε αυτό το σύστημα, έχουμε ένα νότιο τοίχο από συμβατικά υλικά (μπετόν, τούβλα κ.λ.π.), σε συνδυασμό με υαλοστάσιο, ο οποίος πρέπει να είναι καλά μονωμένος εξωτερικά. Ένα στοιχείο ηλιακής συλλογής είναι τοποθετημένο μπροστά από τον τοίχο (μεταλλική επιφάνεια). **Το χειμώνα**, λόγω του μονωμένου τοίχου δεν έχουμε απώλειες θερμότητας, **ενώ το καλοκαίρι** αποφεύγουμε ηλιακά κέρδη.

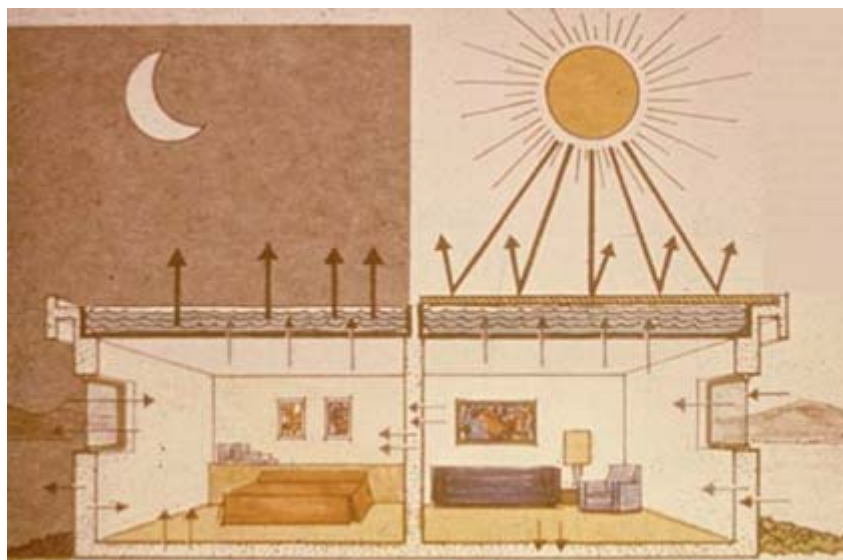
Ο ζεστός αέρας, εισρέει από άνω θυρίδες, κυκλοφορεί και διαπερνάει αρχικά οριζοντίως το κτήριο, μέσα από κανάλια ενσωματωμένα στο ταβάνι και έπειτα κυκλοφορεί γύρω από τοίχους και το πάτωμα, πριν επιστρέψει προς τα έξω μέσω των κάτω θυρίδων. Κατά αυτόν τον τρόπο θερμαίνονται ακόμα και τα βορινά δωμάτια. Έτσι έχουμε καλή διανομή θερμότητας σε όλο το κτήριο. Αντίστοιχα, κατά την θερινή περίοδο, ο κρύος νυχτερινός αέρας μπορεί να εισέλθει μέσω των κάτω θυρίδων, παρέχοντας δροσισμό [63].

Από έρευνα του Πανεπιστημίου και του Κέντρου Ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών της Αλγερίας [64], διαπιστώθηκε ότι η εγκατάσταση ενός συστήματος –τοίχου Barra Constantini, σε συνδυασμό με μια βοηθητική μονάδα θέρμανσης, μπορεί να πετύχει **εξοικονόμηση ενέργειας μέχρι και 60-70%**, σε σύγκριση με ένα συμβατικό σύστημα θέρμανσης. Οι εκτιμήσεις πραγματοποιήθηκαν σε δύο όμοια σπίτια (Α) και (Β) σε τρεις διαφορετικές κλιματικές ζώνες της χώρας. Στην πρώτη (Α) περίπτωση, η παροχή θέρμανσης εξασφαλίστηκε από τον τοίχο θερμοσιφωνικής ροής και μια βοηθητική συσκευή θέρμανσης, ενώ στη δεύτερη κατοικία (Β), η θέρμανση εξασφαλίστηκε εξ ολοκλήρου από ένα συμβατικό σύστημα.. Αυτονόητο είναι ότι τα παθητικά συστήματα δεν επαρκούν για την κάλυψη των συνολικών αναγκών σε θέρμανση, για το λόγο αυτό είναι απαραίτητος ο συνδυασμός τους με βοηθητικές μονάδες θέρμανσης. Τα μηνιαία φορτία σε θέρμανση για μία από τις τρεις περιοχές απεικονίζεται στο **διάγραμμα 12**, ενώ παρόμοια εικόνα παρουσιάζεται και για τις άλλες κλιματικές ζώνες. Σε κάθε περίπτωση **είναι προφανής η εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται**.



Διάγραμμα 12: Μηνιαία φορτία για θέρμανση για την περίπτωση του συνδυασμού τοίχου BC-βοηθητική συσκευή θέρμανσης (Περίπτωση A) και για ένα συμβατικό σύστημα θέρμανσης (Περίπτωση B) [64]

Οροφή νερού-Ηλιακή λίμνη



Εικόνα 30: Λειτουργία ηλιακής λίμνης το καλοκαίρι [65]

Παραλλαγή του συστήματος θερμικής αποθήκευσης στη μάζα του νερού αποτελεί η οροφή νερού. **Πρόκειται για πλαστικούς σκουρόχρωμους σάκους, που δεν διαπερνούνται από την υπεριώδη ακτινοβολία, οι οποίοι περιέχουν νερό και τοποθετούνται στην οροφή του**

κτιρίου. Η «ηλιακή λίμνη», έχει βάθος περίπου 5 εκατοστά και για καλύτερη απόδοση επιλέγεται εξαιρετικά αγωγίμο υλικό για το δώμα πάνω στο οποίο θα κατασκευασθεί.

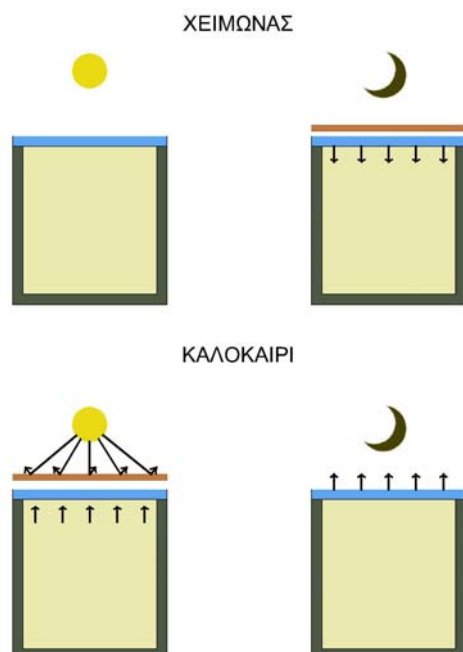
Το χειμώνα, κατά τη διάρκεια της ημέρας, το νερό απορροφάει και αποθηκεύει θερμότητα.

Κατά τις νυχτερινές ώρες, η οροφή νερού καλύπτεται-προστατεύεται με **εξωτερική μόνωση** και η αποθηκευμένη θερμότητα ακτινοβολείται προς τον εσωτερικό χώρο.

Το καλοκαίρι, την ημέρα, η οροφή νερού καλύπτεται με το μονωτικό κάλυμμα για να αποφευχθεί το ανεπιθύμητο ηλιακό κέρδος, ενώ κατά τις νυχτερινές ώρες, απορροφάει τη θερμότητα του εσωτερικού χώρου και την αποβάλλει είτε με ακτινοβολία προς τον ουρανό, είτε μέσω φυσικής συναγωγής με τον εξωτερικό αέρα, με την προϋπόθεση να έχει αφαιρεθεί η εξωτερική μόνωση. Το σύστημα αυτό είναι περισσότερο αποδοτικό σε περιοχές χαμηλής υγρασίας, με καλοκαιρινές νύχτες δίχως σύννεφα.

Σε θερμά και ήπια κλίματα με χαμηλό ποσοστό κατακρημνίσεων, η κατασκευή αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας ως ταβάνι του κτηρίου, επιτυγχάνοντας έτσι απευθείας θέρμανση ή ψύξη του χώρου. Επίσης μπορεί να ψύξει ένα κτίριο λόγω εξάτμισης του νερού.

Σε ψυχρότερα κλίματα, όπου οι χιονοπτώσεις είναι συχνές, το σύστημα αποδίδει αν τοποθετηθεί στη σοφίτα, κάτω από την κεκλιμένη στέγη, σε συνδυασμό με υαλοστάσιο νοτίου προσανατολισμού, ώστε να υπάρχει μέγιστο ηλιακό κέρδος και επιπροσθέτως αν η οροφή βαφεί ή επενδυθεί με ανακλαστικά χρώματα και υλικά



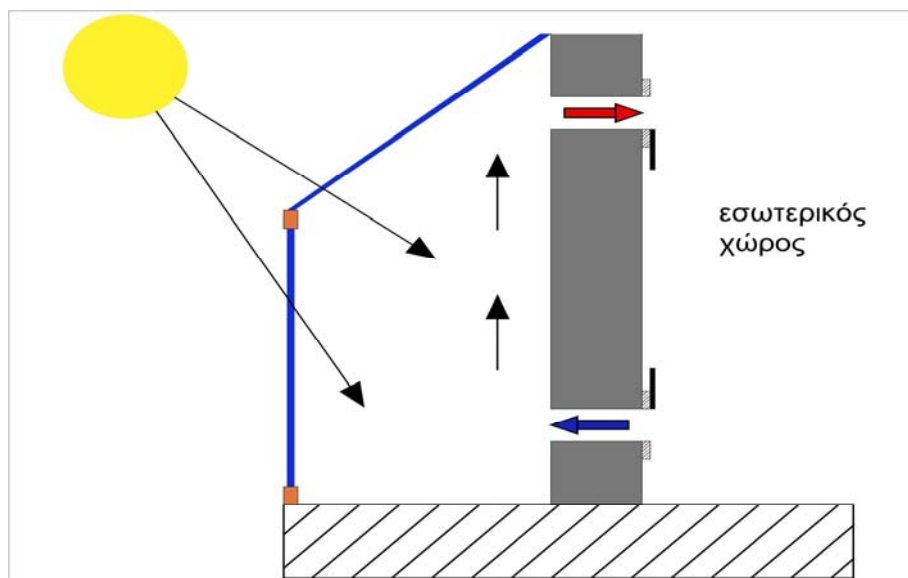
Εικόνα 31: Ηλιακή Λίμνη.

Στα πλεονεκτήματα της ηλιακής λίμνης συγκαταλέγεται το γεγονός ότι όλα τα δωμάτια του χώρου κάτω από την οροφή νερού λαμβάνουν θερμότητα από ακτινοβολία, ανεξάρτητα από τον προσανατολισμό τους.

Μειονεκτήματα αυτού του συστήματος είναι το αυξημένο κόστος της κατασκευής, οι στατικές επιβαρύνσεις του κτηρίου, καθώς επίσης και η μειονεκτική διαστρωμάτωση του νερού κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Το ζεστό νερό βρίσκεται στην επιφάνεια της λίμνης και όχι στο πυθμένα που γειτνιάζει με τον εσωτερικό χώρο και έτσι οι απώλειες θερμότητας είναι αυξημένες, πράγμα όμως που αποδεικνύεται πλεονέκτημα κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού διότι το ψυχρό νερό βρίσκεται στη βάση της λίμνης, άρα κοντά στον εσωτερικό χώρο. Επίσης δέντρα, κτήρια και τοίχοι του περιβάλλοντος χώρου μπορούν να μειώσουν το βαθμό ψύξης, μειώνοντας την ακτινοβολία προς το νυχτερινό ουρανό. Τα περιβάλλοντα αυτά στοιχεία, μπορούν επίσης να απορροφήσουν θερμική ενέργεια τη μέρα και να την ακτινοβολήσουν στην λίμνη κατά τη διάρκεια της νύχτας. Επίσης η ύπαρξη σύννεφων μπορεί να μειώσει την αποδοτικότητα της καλοκαιρινής ψύξης. Για το λόγο αυτό, το σύστημα είναι λιγότερο αποδοτικό σε παράκτιες περιοχές, που εμφανίζονται σύννεφα και ομίχλη [38, 65].

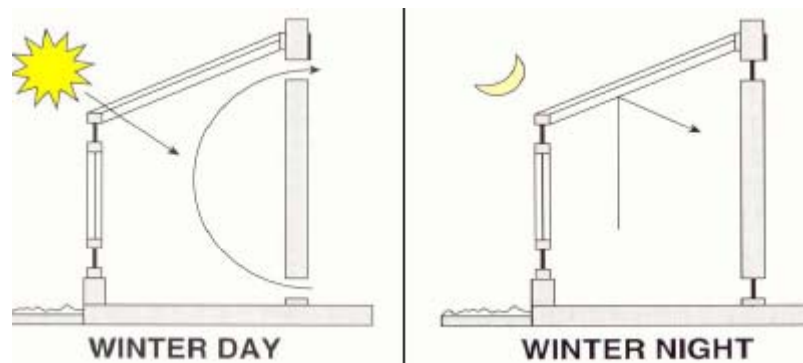
4.2.2 Ηλιακοί χώροι

Θερμοκήπιο



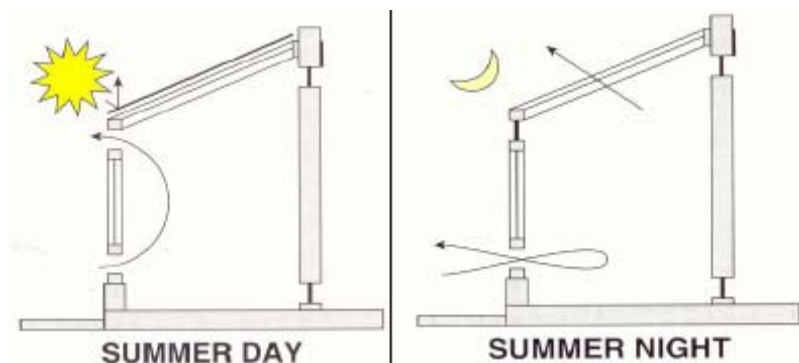
Εικόνα 32: Λειτουργία Θερμοκηπίου

Πρόκειται για κλειστό χώρο που προσαρτάται ή ενσωματώνεται σε νότια τμήματα του κτηρίου και περιβάλλεται από υαλοστάσια. Πρόκειται για ένα συνδυασμό ενός παθητικού συστήματος με άμεσο ηλιακό κέρδος και τοίχου θερμικής αποθήκευσης που μεταφέρει έμμεσα την θερμότητα στον εσωτερικό κατοικημένο χώρο. Η μεταφορά της θερμικής ενέργειας από τον ηλιακό χώρο προς το εσωτερικό του κτηρίου επιτυγχάνεται μέσω θυρίδων ή ανοιγμάτων του διαχωριστικού δομικού στοιχείου. Η λειτουργία του βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Όταν οι ακτίνες του ήλιου πέσουν στο υαλοστάσιο, μεγάλο μέρος από την ορατή και μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία μεταδίδεται στο εσωτερικό, απορροφάται από τα διαφανή ή στερεά στοιχεία του χώρου (δάπεδο, τοίχοι, έπιπλα) που θερμαίνονται και επανεκπέμπεται ως ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος η οποία κατά ένα μέρος της απορροφάται από το υαλοστάσιο και η υπόλοιπη ανακλάται (βλέπε κεφ.6.1.5). Η ενέργεια αυτή επανεκπέμπεται στη συνέχεια και στις δύο πλευρές του υαλοστασίου. Έτσι, τμήμα της ακτινοβολίας που εισέρχεται παγιδεύεται στο εσωτερικό και προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας, που χαρακτηρίζεται ως φαινόμενο του θερμοκηπίου. Ως αποτέλεσμα, **το χειμώνα, κατά την διάρκεια της ημέρας** και σε περίπτωση ηλιοφάνειας, το θερμοκήπιο λειτουργεί ως επιλεκτική επιφάνεια, αφήνοντας να διέρχεται συνολικά η ηλιακή ακτινοβολία, ενώ μειώνει τις απώλειες-ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος-, που απορροφάται από τις επιφάνειες και τη θερμική μάζα του θερμοκηπίου.



Εικόνα 33: Λειτουργία Θερμοκηπίου

Τις νυχτερινές ώρες, το σύστημα αυτό αποβάλλει μέσω ακτινοβολίας, όση θερμότητα συνέλεξε την ημέρα, με αποτέλεσμα το θερμικό ισοζύγιο (θερμικό κέρδος μείον θερμικές απώλειες) να είναι αρνητικό. Για τη μείωση των θερμικών απωλειών, συνιστάται η νυχτερινή προστασία του υαλοστασίου με θερμομονωτικά εσωτερικά πετάσματα, εκτός αν το τμήμα του κτιριακού κελύφους, με το οποίο ο ηλιακός χώρος βρίσκεται σε επαφή, είναι θερμομονωμένο. Επίσης, σε περιοχές με πολύ χαμηλές θερμοκρασίες κατά την χειμερινή περίοδο, προτείνεται η εφαρμογή διπλών υαλοπινάκων στον ηλιακό χώρο, καθώς και θερμομόνωση του κοινού τμήματος της τοιχοποιίας.



Εικόνα 34: Λειτουργία Θερμοκηπίου

Το καλοκαίρι, για την αποφυγή ανεπιθύμητης υπερθέρμανσης απαιτείται σκιασμός της γυάλινης επιφάνειας του θερμοκηπίου, με εξωτερικά - κατά προτίμηση - κινητά σκιάχτρα, με σταθερά στέγαστρα, ή με φυλλοβόλο βλάστηση, ή ακόμη και απομάκρυνση των τζαμιών για τα πιο θερμά κλίματα.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση προσαρτημένου στο κτήριο θερμοκηπίου, είναι ο **προσανατολισμός** του (αποδοτικότερη λύση είναι η ενσωμάτωση του στη νότια πλευρά, σε σχήμα επίμηκες, κατά τον άξονα ανατολή-δύση), **το μέγεθος** (που εξαρτάται από το μέγεθος του κτηρίου και τις ανάγκες σε θέρμανση), **η κλίση του υαλοστασίου** (Για την εύκρατη ζώνη συνίσταται κλίση 30° - 65° σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο, ενώ σε βορειότερα κλίματα ενδείκνυται κλίση 30° - 40°) και **τα υλικά κατασκευής** (που πρέπει να είναι διαφανή), καθώς και η **σύνδεση** με τα στοιχεία θερμικής αποθήκευσης του κτηρίου.



Εικόνα 35: Προσαρτημένο θερμοκήπιο [23].

Στην Ελλάδα, από μετρήσεις και προσομοιώσεις που έγιναν σε κατοικίες με προσαρτημένα θερμοκήπια προκύπτει ότι αυτά **συνεισφέρουν σε εξοικονόμηση ενέργειας για θέρμανση της τάξης του 13 με 30%**. Για το δικό μας κλίμα, συνιστάται η αδιαφανής οροφή, για αποφυγή υπερθέρμανσης, αλλά και για να μην υπάρχουν προβλήματα φθοράς λόγω των κατακρημνίσεων. Επίσης, το καλοκαίρι, συνιστάται η απομάκρυνση των τζαμιών, λόγω του θερμού ελληνικού καλοκαιριού, ώστε να μην έχουμε αυξημένα ηλιακά κέρδη. Σε περίπτωση γυάλινης οροφής που δεν απομακρύνεται, απαραίτητο είναι να υπάρχει άνοιγμα-φεγγίτης για την απαγωγή του θερμού αέρα.



Εικόνα 36: Θερμοκήπιο [19].

Σε κάθε περίπτωση, **αναγκαίος είναι ο αερισμός** του χώρου που εξασφαλίζεται από την είσοδο του αέρα από το κάτω άνοιγμα του υαλοστασίου στο χώρο του θερμοκηπίου. Γεγονός πάντως είναι ότι το σύστημα του θερμοκηπίου προσαρμόζεται καλύτερα σε περιοχές όπου επικρατεί η διάχυτη ακτινοβολία (η προερχόμενη από τον περιβάλλοντα και μόνο χώρο) με λιγότερο έντονη την άμεση. Για το λόγο αυτό έχει αναπτυχθεί σε περιοχές με ψυχρότερο κλίμα. Στα **πλεονεκτήματα** του συστήματος είναι ότι η κατασκευή του μπορεί να προβλεφθεί από το αρχικό σχέδιο ενός βιοκλιματικού κτηρίου, αλλά μπορεί να γίνει και εκ των υστέρων σε προϋπάρχον κτήριο [2, 6, 8, 11, 12, 32, 38, 40].

Ηλιακό Αίθριο

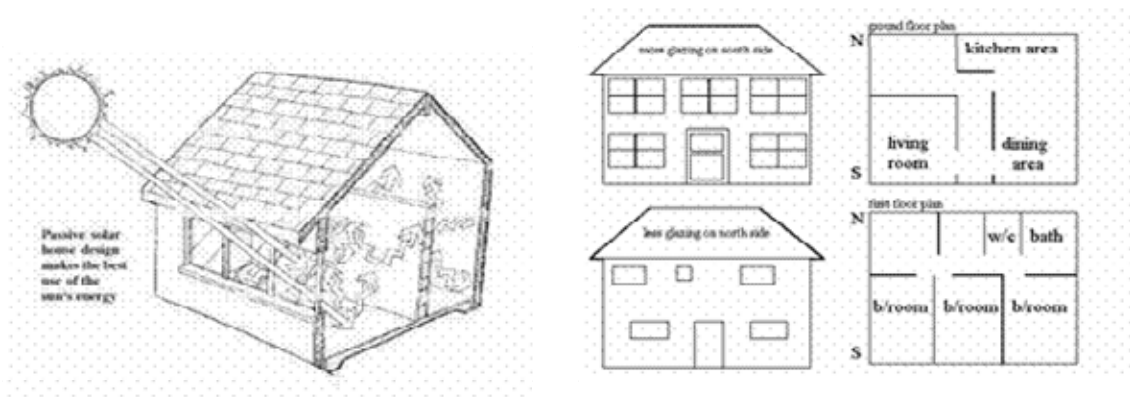
Πρόκειται για αιθριακούς χώρους του κτηρίου οι οποίοι επικαλύπτονται με υαλοστάσια και η θερμική τους λειτουργία είναι παρόμοια με αυτή των θερμοκηπίων. Η ηλιακή ενέργεια συλλέγεται από το γυάλινο στοιχείο της οροφής και συσσωρεύεται στον εσωτερικό χώρο του

αίθριου. Ένα μέρος της μεταφέρεται στους περιβάλλοντες εσωτερικούς χώρους του κτηρίου μέσω ανοιγμάτων, ενώ η υπόλοιπη θερμική ενέργεια αποθηκεύεται στα δομικά στοιχεία. Κατά τη χειμερινή περίοδο το ηλιακό αίθριο λειτουργεί και ως χώρος θερμικής ανάσχεσης. Κατά τη θερινή περίοδο όμως, για την αποφυγή υπερθέρμανσης, απαιτείται αερισμός του αίθριου μέσω ανοιγμάτων στη γυάλινη οροφή καθώς και πλήρης σκιασμός [12],

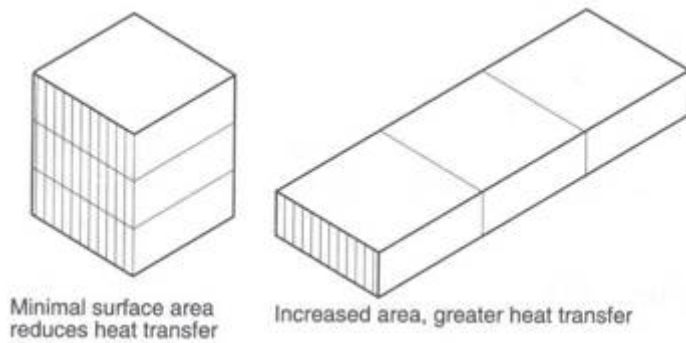


Εικόνα 37: Ηλιακά αίθρια [45]

5. Χωροθέτηση, σχήμα και προσανατολισμός του κτηρίου.



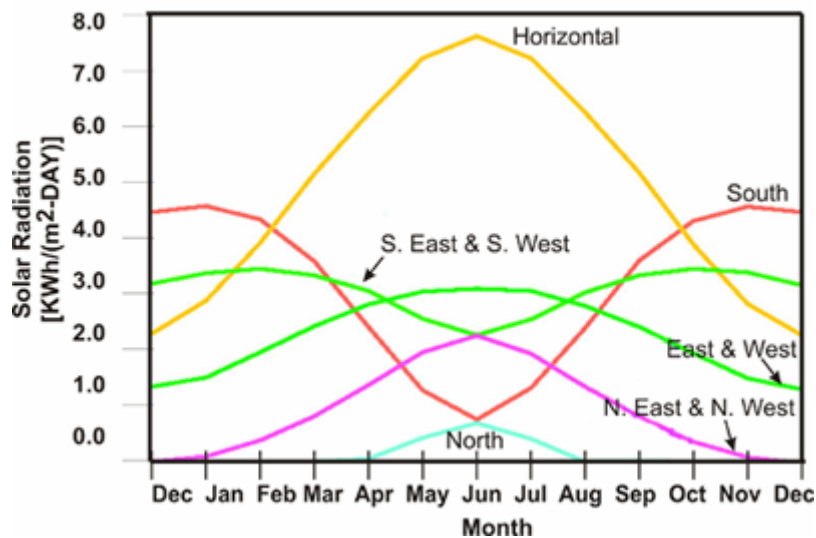
Εικόνα 38: Βέλτιστη Χωροθέτηση



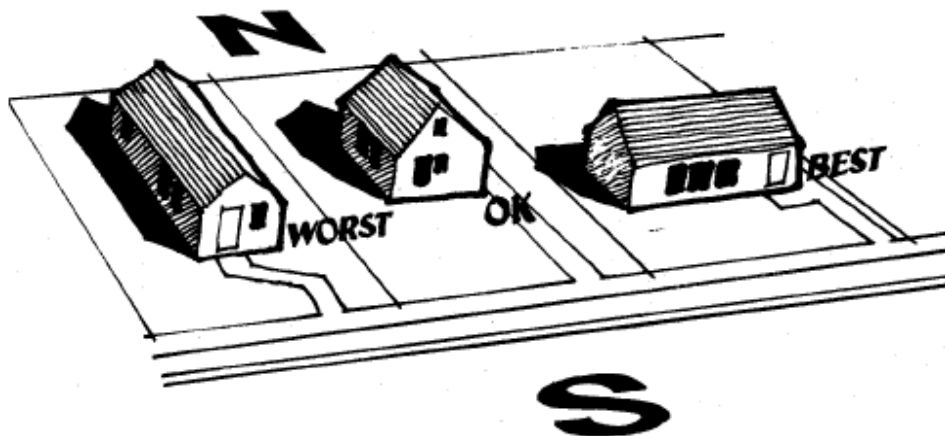
Εικόνα 39: Σχήμα κτηρίου και μεταφορά θερμότητας [22]

Το σχήμα και το περιβάλλον ενός κτηρίου παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην ενεργειακή συμπεριφορά του. Οι παράγοντες αυτοί μπορούν να προκαλέσουν εισροή ηλιακών κερδών όταν ο δροσισμός είναι απαραίτητος, ή απώλειες θερμότητας όταν υπάρχει ανάγκη για συλλογή θερμικής ενέργειας. Δυο κτήρια με τον ίδιο όγκο και κατασκευασμένα από τα ίδια υλικά είναι δυνατόν να παρουσιάσουν τελείως διαφορετική ενεργειακή συμπεριφορά αν διαφέρει το σχήμα, ο περιβάλλον χώρος, αλλά και ο προσανατολισμός τους. **Η τοποθέτηση** ενός κτηρίου στο οικόπεδο πρέπει να είναι τέτοια ώστε να λαμβάνει υπόψη τις τροχιές του ήλιου, τη διάρκεια ηλιασμού και την ένταση της θερμικής ακτινοβολίας. Πολύτιμο εργαλείο αποτελούν οι ηλιακοί χάρτες, οι οποίοι μπορούν να βοηθήσουν στον καθορισμό του ανάγλυφου του περιβάλλοντος για το συγκεκριμένο οικόπεδο, καθώς επίσης και να ορίσουν τις ανάγκες σε σκιασμό από δέντρα ή γειτονικά κτήρια. **Οι νότιες προσόψεις είναι οι πιο αξιόλογες**, όσον αφορά στη δυνατότητα συλλογής ακτινοβολίας κατά το χειμώνα και αποφυγή της υπερθέρμανσης κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού.

Το σχήμα του κτηρίου, όπως είναι αναμενόμενο, εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος και τις κλιματολογικές συνθήκες μιας περιοχής. Ο λόγος της συνολικής επιφάνειας ενός κτηρίου προς τον όγκο του είναι ένας σημαντικός παράγοντας που καθορίζει τα ηλιακά κέρδη και τις θερμικές απώλειες ενός κτηρίου. Όσο μεγαλύτερη είναι η επιφάνεια ενός κτηρίου τόσο μεγαλύτερα τα κέρδη/ απώλειες. Ελάχιστος λόγος επιφάνειας προς όγκο από την άλλη μεριά, οδηγεί σε ελάχιστα κέρδη και ελάχιστες απώλειες. Το κτήριο σε σχήμα κύβου, αν και παρουσιάζει συνεπτυγμένο σχήμα δεν είναι το βέλτιστο, διότι για παράδειγμα δεν συμβάλλει στην προστασία των δυτικών τοίχων από την υπερθέρμανση. Ύστερα από έρευνες που έχουν διεξαχθεί σε σχέση με το σχήμα ενός κτηρίου, **ως βέλτιστο σχήμα θεωρείται το επίμηκες κατά τον άξονα ανατολής-δύσης.** Το σχήμα αυτό εξασφαλίζει μεγαλύτερη επιφάνεια προς το νότο για τη συλλογή ηλιακής ακτινοβολίας το χειμώνα και τον ελάχιστο ηλιασμό το καλοκαίρι [2, 3, 5, 6, 22].



Διάγραμμα 13: Ηλιακή Ακτινοβολία για διάφορους προσανατολισμούς [22]



Εικόνα 40: Βέλτιστο σχήμα και προσανατολισμός κτηρίου [23]

Συνεπώς, ο βέλτιστος προσανατολισμός ενός κτηρίου για την εύκρατη ζώνη θεωρείται ο νότιος. Φυσικά το πρόβλημα του προσανατολισμού εξαρτάται και από την τοπογραφία μιας περιοχής, τους πολεοδομικούς περιορισμούς, τον άνεμο και την ηλιακή ακτινοβολία, καθώς επίσης και από την προσπάθεια μείωσης του θορύβου. Μελέτες αναδεικνύουν ως βέλτιστο προσανατολισμό αυτόν που βρίσκεται $17,5^\circ$ ανατολικότερα του νότου, για βόρεια γεωγραφικά πλάτη 40° (Η Ελλάδα βρίσκεται σε γεωγραφικό πλάτος 38°). Το χειμώνα παρέχεται έτσι προστασία από τους βόρειους ανέμους και το καλοκαίρι μειώνονται οι συνθήκες υπερθέρμανσης. Επίσης, ένα κτήριο που προστατεύεται από τη γη έχει μειωμένες απώλειες θερμότητας από διείσδυση, ιδιαίτερα σε χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Αυτό οφείλεται στο ότι οι θερμοκρασίες του εδάφους μένουν σταθερές σε όλη τη διάρκεια

του έτους και το χώμα συμβάλλει στο να δίνει μια πρόσθετη θερμική αντίσταση στο περίβλημα του κτηρίου.

Πέρα από τα ηλιακά κέρδη, ο προσανατολισμός ενός κτηρίου σχετίζεται και με τις συνθήκες φυσικού φωτισμού. Μια κατοικία πρέπει να είναι έτσι σχεδιασμένη ώστε να εκμεταλλεύεται όσο το δυνατόν περισσότερο το φως κατά τη διάρκεια της μέρας. Ο σωστός προσανατολισμός του σπιτιού είναι εκείνος που εξασφαλίζει, επίσης, την ποσότητα και την ποιότητα του φωτός που εισέρχεται στους εσωτερικούς χώρους. **Επίσης σημαντικός είναι ο τρόπος διαρρύθμισής των χώρων**, ο οποίος πρέπει να γίνεται με βάση το βαθμό δραστηριότητας που πραγματοποιείται. Έτσι, οι χώροι συχνής χρήσης με υψηλές ενεργειακές απαιτήσεις προσανατολίζονται προς τον νότο, ενώ οι υπόλοιποι προς τη βόρεια πλευρά του κτηρίου. Για τα εύκρατα κλίματα **στην βορινή πλευρά του κτηρίου**, η οποία είναι η ψυχρότερη και η πιο σκοτεινή, πρέπει να τοποθετούνται χώροι μικρότερης χρήσης, όπως αποθήκες, κλιμακοστάσια και γκαράζ. Οι χώροι αυτοί προστατεύουν το υπόλοιπο κτήριο, λειτουργούν ως χώροι ανάσχεσης και μετριάζουν τις εξωτερικές θερμοκρασιακές συνθήκες. Τα υπόγεια και οι σοφίτες μπορούν να επιτελούν παρεμφερείς λειτουργίες. Για να λειτουργούν πιο αποτελεσματικά αυτοί οι χώροι, καλό είναι να υπάρχει μόνωση μεταξύ αυτών των τμημάτων του κτηρίου από τα άλλα τμήματα που θερμαίνονται καλύτερα. **Στη νότια πλευρά**, που δέχεται το μεγαλύτερο ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας κατά το χειμώνα και το ελάχιστο κατά το θέρος, μπορούν να προσαρτηθούν θερμοκήπια και βεράντες που συμβάλλουν στη δέσμευση της θερμικής ενέργειας, καθώς επίσης να τοποθετηθούν οι αίθουσες καθημερινής χρήσης όπως τα σαλόνια, η τραπεζαρία και η κουζίνα που έχουν ανάγκες σε φωτισμό και θέρμανση [2, 3, 6].

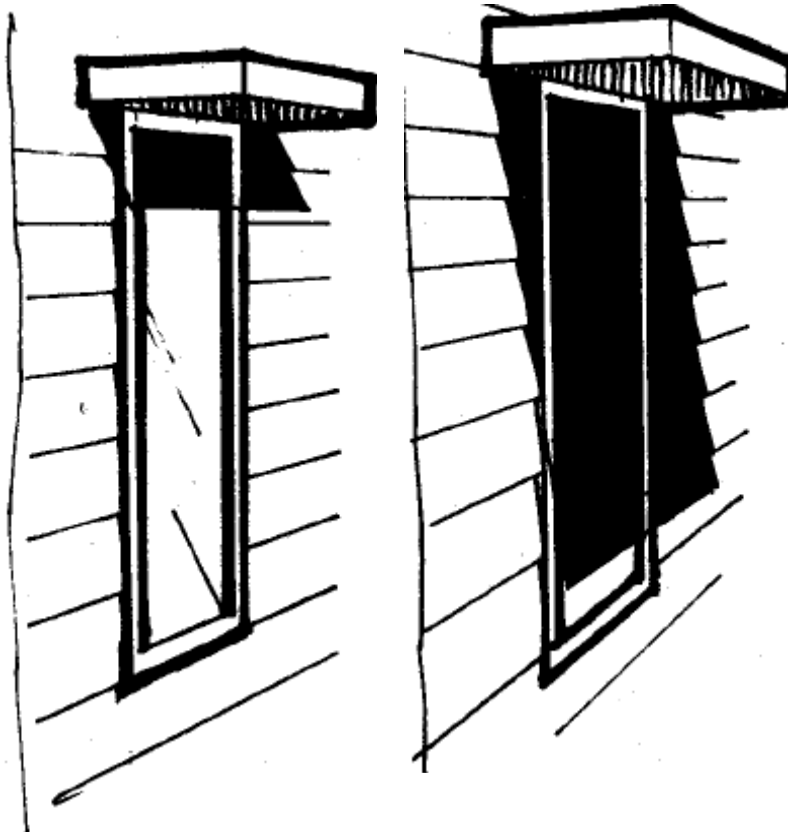
6. Ειδικά συστήματα προστασίας του κελύφους και θερμικής προστασίας του κτηρίου

Στην κατηγορία αυτή, **ανήκουν συστήματα και τεχνικές που σκοπό έχουν να μειώσουν τα θερμικά φορτία που δέχεται ένα κτήριο κατά την περίοδο του θέρους**. Την περίοδο αυτή, που οι εξωτερικές θερμοκρασίες είναι υψηλές, υπάρχει ο κίνδυνος υπερθέρμανσης, γι' αυτό το κτήριο πρέπει να «συμπεριφέρεται» ως «φυσικός συλλέκτης» δροσισμού και ψύξης. Οι ακτίνες του ήλιου, η διείσδυση του θερμού εξωτερικού αέρα στο κτήριο και τα εσωτερικά κέρδη από τις δραστηριότητες των ενοίκων και τις συσκευές μπορεί να οδηγήσει σε μη αποδεκτές καταστάσεις. Για να επιτευχθεί μια άνετη εσωτερική θερμοκρασία, πρέπει να ληφθούν μια σειρά από μέτρα όπως :

- Ηλιοπροστασία με κατάλληλο σκιασμός, ώστε να προλαμβάνονται οι ακτίνες του ήλιου από τη διείσδυση τους στον εσωτερικό χώρο και φύτευση βλάστησης στο περιβάλλοντα χώρο και στα δώματα

- Φυσικός Αερισμός, προκειμένου να αποβάλλεται ο ανεπιθύμητος θερμός αέρας και να αντικαθίσταται από καθαρό εξωτερικό
- Φυσική ψύξη και δροσισμός, για να μεταφέρεται η περίσσεια θερμότητας από το κτήριο προς το περιβάλλον

6.1 Ηλιοπροστασία-Σκίασμός



Εικόνα 41:Εξωτερικά σταθερά οριζόντια σκίαστρα [23]

Τα ηλιακά κέρδη που προκύπτουν από τα παράθυρα ενός κτηρίου, κατά το πέρασμα της θερμογόνου ηλιακής ακτινοβολίας είναι ιδιαίτερα μεγάλα και χρειάζονται απαραίτητως ηλιοπροστασία. Η μελέτη της ηλιοπροστασίας πρέπει να περιλαμβάνει την επαρκή σκίαση των ανοιγμάτων κατά το θέρος, αλλά να μην περιορίζει το ηλιακό θερμικό κέρδος κατά το χειμώνα και να λαμβάνει υπόψη τις ανάγκες σε φυσικό φωτισμό.

Η σκίαση είναι περισσότερη αποδοτική όταν είναι εξωτερική, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι η ηλιακή ακτινοβολία εμποδίζεται να εισέλθει και να εγκλωβιστεί μέσω των υαλοπινάκων στους χώρους και **μπορεί να μειώσει κατά 80-90% τα ηλιακά κέρδη** [66]. Παράλληλα, η χρήση κινητών σκιάστρων παρέχει τη δυνατότητα να επιτυγχάνεται σκίαση των ανοιγμάτων όταν είναι αυτό απαραίτητο, ανεξάρτητα από την εποχή του έτους. Συνεπώς, **ο πιο**

αποτελεσματικός τρόπος σκιασμού, είναι η χρήση εξωτερικών σκιάστρων με κινητές περσίδες, που όμως είναι ιδιαίτερα ακριβά. Για το λόγο αυτό προτιμάται σταθερή εξωτερική σκίαση που συνδυάζεται με εσωτερικά στόρια που λειτουργούν συμπληρωματικά, επειδή τα συμβατικά κρύσταλλα έχουν πολύ μικρή αντίσταση.

Από τους πιο απλούς τρόπους σκιασμού είναι η **τοποθέτηση φυλλοβόλων δέντρων** ή βλάστησης που διακόπτουν τον άμεσο ηλιασμό, αλλά παράλληλα, λόγω της σκιάς τους μειώνουν τις θερμοκρασίες κοντά στο έδαφος. **Σε σχέση με τον προσανατολισμό των ανοιγμάτων** έχει προκύψει ότι [2, 3, 11, 16, 68]:

- Τα νότια ανοίγματα λαμβάνουν πιο λίγη ακτινοβολία κατά την καλοκαιρινή περίοδο και είναι εύκολο να προστατευτούν.
- Τα δυτικά και ανατολικά παράθυρα, ωστόσο, θέτουν ένα μεγαλύτερο πρόβλημα, διότι η θέση του ήλιου είναι χαμηλά στον ουρανό όταν βρίσκεται στην ανατολή ή στην δύση. Για το λόγο αυτό, μια βιοκλιματική λύση είναι η μελέτη μείωσης κατά το δυνατόν της επιφάνειας των ανατολικών και δυτικών υαλοστασίων.

Πίνακας 12: Προτεινόμενο τύπος σκίασης ανάλογα με τον προσανατολισμό [67].

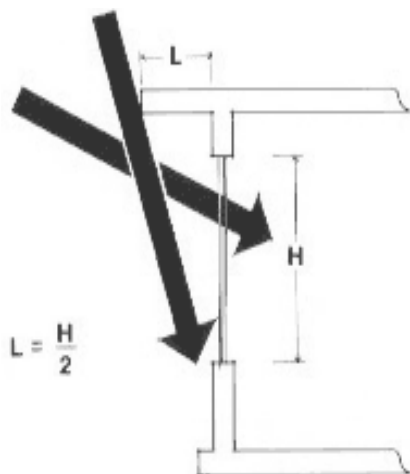
Προσανατολισμος	Προτεινόμενος τύπος Σκίασης
Νότιος	Σταθερά ή ρυθμιζόμενα σκιάστρα τοποθετημένα οριζόντια πάνω από το παράθυρο
Ανατολικός & Δυτικός	Ρυθμιζόμενα κατακόρυφα πετάσματα εξωτερικά των παραθύρων
Νοτιοανατολικός & Νοτιοδυτικός	Ρυθμιζόμενη Σκίαση
Βορειοανατολικός& Βορειοδυτικός	Φύτευση Βλάστησης

6.1.1 Σταθερά σκιάστρα

Αποτελούν σταθερό μέρος του κτηρίου και ο σχεδιασμός τους πρέπει να λαμβάνει υπόψη τον προσανατολισμό και το σχήμα του ανοίγματος που χρειάζεται να προστατευτεί σε συσχέτιση με τη θέση του ήλιου στις διάφορες χρονικές περιόδους της ημέρας και του έτους.

Χρησιμοποιούνται στην εξωτερική όψη του κτηρίου και εμποδίζουν την άμεση ακτινοβολία να φτάσει στα ανοίγματα, με αποτέλεσμα να απορροφούν και να διαχέουν τη θερμότητα στον εξωτερικό αέρα. Υλικό κατασκευής τους είναι το σκυρόδεμα, το αλουμίνιο και το πλαστικό [2, 3, 6, 11, 68]. Διακρίνονται σε:

- Οριζόντια εξωτερικά σταθερά σκίαστρα Που συνιστώνται για **νότιο προσανατολισμό**. Μπορεί να έχουν τη μορφή προβόλου ή ανακλαστικών ραφιών ή περσίδων. Για γεωγραφικό πλάτος 40° οι αναλογίες τους πρέπει να είναι τέτοιες ώστε να σχηματίζεται ανάμεσα στο εξωτερικό σκίαστρο και στο κατώφλι του ανοίγματος γωνία ύψους 55° , ενώ για γεωγραφικό πλάτος 36° συνίσταται γωνία 60° . **Για την Αθήνα**, οπότε, καλές αναλογίες προβόλου είναι αυτές για τις οποίες η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της εξωτερικής πλευράς του σκιάστρου και του κατωφλιού του ανοίγματος είναι $55-60^{\circ}$.
- Κατακόρυφα εξωτερικά σκίαστρα, κατάλληλα για **ανατολικά και δυτικό προσανατολισμό**. Μπορεί να είναι είτε κάθετα, ή κεκλιμένα ως προς το επίπεδο της κάτοψης του ανοίγματος. Για τη χώρα μας, το μήκος προεξοχής καθορίζεται από τη γωνία των 35° .



Εικόνα 42:Οριζόντια εξωτερικά σταθερά σκίαστρα, κατάλληλα για νότιο προσανατολισμό. Όταν το σκίαστρο έχει μήκος ίσο με το μισό του ανοίγματος του παραθύρου, επιτυγχάνεται επαρκής σκιασμός από το Μάιο έως τον Αύγουστο, ενώ παράλληλα το χειμώνα επιτρέπεται η είσοδος της ηλιακής ακτινοβολίας στ εσωτερικό [38]



Εικόνα 43: Όριζόντιες εξωτερικές περσίδες, κατάλληλες για νότιο προσανατολισμό. Λειτουργούν αποδοτικά, εκτός από τις γωνίες. Διπλή σειρά περσίδων έχει χρησιμοποιηθεί [66]

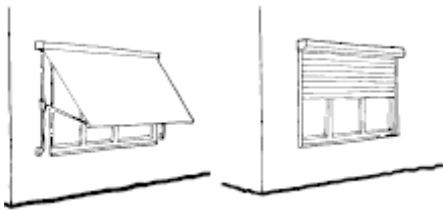


Εικόνα 44: Διάταξη από κάθετες, σταθερές, εξωτερικές περσίδες, κατάλληλες για ανατολικό και δυτικό προσανατολισμό [66]

6.1.2 Κινητά Σκίαστρα

Επειδή οι κλιματικές εποχές δε συμφωνούν με τις ηλιακές εποχές, στις περιοχές με μεγάλο διάστημα λειτουργίας της θέρμανσης είναι προτιμότερο να εφαρμόζεται κινητή προστασία η οποία μπορεί να ρυθμιστεί εύκολα. Σκίαστρα, στόρια, ενετικά στόρια, τέντες και κουρτίνες, αποτελούν ρυθμιζόμενους μηχανισμούς σκίασης [3, 6, 11, 67]. Διακρίνονται σε:

- Εξωτερικά κινητά σκίαστρα, που είναι εν γένει μεταλλικές περσίδες, **οριζόντιες για νότιο προσανατολισμό και κατακόρυφες για δυτικό/ ανατολικό**. Στην κατηγορία αυτή είναι και οι κοινές τέντες.



Εικόνα 45: Εξωτερικά κατακόρυφα σκίαστρα, κατάλληλα για δυτικό/ανατολικό προσανατολισμό [67]



Εικόνα 46: Τέντες για εξωτερική σκάση [67]

- Εσωτερικά κινητά σκίαστρα, συνιστώνται **για νότιους, ανατολικούς και δυτικούς προσανατολισμούς**. Προτεινόμενα είναι τα ενετικά στόρια, κατά προτίμηση κινούμενα πάνω σε οδηγούς, για εξασφάλιση καλής λειτουργίας και μεγαλύτερου χρόνου ζωής.



Εικόνα 47: Εσωτερικά ενετικά στόρια [69]

Τα κινητά σκίαστρα, μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν **και το χειμώνα** αυξάνοντας τη θερμομόνωση. Ο έλεγχος τους μπορεί να είναι χειροκίνητος ή μηχανοκίνητος. Οι τέντες μπορούν να περιορίσουν το θερμικό κέρδος μέχρι 65%, στις νότιες όψεις, ενώ για ανατολικούς και δυτικούς προσανατολισμούς το ποσοστό αγγίζει το 80% [2]. **Η αποδοτικότητα τους εξαρτάται από τα υλικά, την ηλικία και τη φθορά από τις καιρικές συνθήκες.** Τα ενετικά στορ επιτυγχάνουν ταυτόχρονα αερισμό και σκίαση και είναι πιο αποτελεσματικά όταν είναι τοποθετημένα εξωτερικά. Η αποτελεσματικότητα της σκίασης που εξασφαλίζουν εκφράζεται με ένα **συντελεστή σκίασης** που είναι ο λόγος της ηλιακής ενέργειας που διέρχεται από το προστατευτικό άνοιγμα σε σχέση με την ενέργεια που θα περνούσε αν το άνοιγμα δεν ήταν προστατευόμενο.

Ένας άλλος τρόπος σκίασης είναι **με ειδικά διάτρητα ρολά**. Πρόκειται για διάτρητα ηλιοπροστατευτικά ρολά, τα οποία τοποθετούνται **εσωτερικά ή εξωτερικά**, κατάλληλα για **όλους τους προσανατολισμούς**, που μπορούν να μειώσουν την εισερχόμενη ακτινοβολία έως και 70-80% [3]. Το ύφασμα τους αποτελείται από ίνες γυαλιού, πλαστικού ή αλουμινίου, σε αραιή λεπτή ύφανση. Συμβάλλουν επίσης στη μείωση της θάμβωσης, ενώ επιτρέπουν μερική θέα προς το εξωτερικό περιβάλλον .

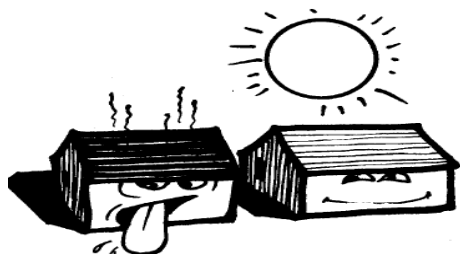
6.1.3 Σκίαση από δέντρα



Εικόνα 48: Σκίαση από βλάστηση

Κυρίως για τον **ανατολικό και δυτικό προσανατολισμό**. Τα φυλλοβόλα δέντρα, το χειμώνα, όταν τα κλαδιά είναι γυμνά, επιτρέπουν την ακτινοβολία του ήλιου να διέλθει από τα υαλοστάσια, ενώ το καλοκαίρι την εμποδίζουν, όπως είναι επιθυμητό. Είναι καλό να επιλέγονται δέντρα με πυκνό φύλλωμα και λίγα κλαδιά, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή σκίαση το καλοκαίρι και η ελάχιστη το χειμώνα. Αειθαλή δέντρα συνιστώνται για αρκετά υγρά και ορισμένες φορές για ζεστά κλίματα [3, 67]. **Αξιοσημείωτο είναι ότι ένα γυμνό δέντρο παρεμποδίζει τις ακτίνες του ήλιου περίπου κατά 20-40%**. Σε θερμές περιοχές, ένα σπίτι που η σκεπή του σκιάζεται μπορεί να είναι κατά 6-12 °C πιο δροσερό από ένα ασκίαστο. Αρκετά καλαίσθητη είναι επίσης η λύση της πέργκολας, προσκείμενης σε μια πλευρά του κτηρίου. Αποτελέσματα από έρευνες στις ΗΠΑ δεικνύουν ότι **με την φύτευση ενός δέντρου ανά σπίτι, η εξοικονόμηση ενέργειας για ψύξη κυμαίνεται μεταξύ του 12%-24%**. Επιπροσθέτως, η τοποθέτηση τριών δέντρων σε κάθε σπίτι μπορεί να μειώσει το ψυκτικό φορτίο από 17% έως 57%. **Ο σκιασμός από δέντρα μόνο, συμβάλλει κατά 10-35% στην εξοικονόμηση ενέργειας για ψύξη [70]**.

6.1.4 Σκίαση από γειτονικά κτήρια



Εικόνα 49: Σκίαση από γειτονικά κτήρια [23]

Φαινόμενο που χρησιμοποιείται κυρίως σε θερμά και ξηρά κλίματα, όπου οι πόλεις σχεδιάζονται και χτίζονται σε πολύ συμπαγή μορφή, με στενούς δρόμους, ώστε τα κτήρια να σκιάζονται σε κάποιο ποσοστό. Γενικά η τοπογραφική διαμόρφωση μιας θέσης μπορεί να δημιουργεί σκιά, η οποία επηρεάζεται από την τροχιά του ήλιου, τον προσανατολισμό του και την κλίση του εδάφους .

6.1.5 Ειδικά Κρύσταλλα

Πρόκειται για ειδικά κρύσταλλα συγκεκριμένης τεχνολογίας, τα οποία διαφοροποιούνται από τα κοινά ως προς τα θερμικά και τα φωτομετρικά τους χαρακτηριστικά και συμβάλλουν στην εξοικονόμηση ενέργειας.

Διακρίνονται σε [72] :

α) Απορροφητικά: Περιορίζουν την διαπερατότητα της ακτινοβολίας διαμέσου του παραθύρου και αυξάνουν, μετά την απορρόφηση, την επανεκπομπή προς το εξωτερικό. Πλεονέκτημα τους είναι το ότι δεν δημιουργούν θάμβωση στον περιβάλλοντα χώρο του κτιρίου.

β) Τα ανακλαστικά: Καλύπτονται από λεπτή στρώση οξειδίου μετάλλου που είναι έντονα ανακλαστικό. Συνιστώνται για τη μείωση των ηλιακών κερδών, αλλά μπορεί να προκαλέσουν θάμβωση στον περιβάλλοντα χώρο και στα γύρω κτίρια.

Οι δύο αυτοί τύποι τζαμιών συστήνονται κυρίως για **δυτικά/ ανατολικά** παράθυρα.

γ) Κρύσταλλα χαμηλής εκπομπής (low-e): Τα κρύσταλλα αυτά, είναι **σχεδόν αδιαπέραστα από την υπέρυθη ακτινοβολία** (θερμική ακτινοβολία προερχόμενη κυρίως από γειτονικά κτήρια). Όπως είναι γνωστό λιγότερη από τη μισή ακτινοβολία του ήλιου είναι ορατή.

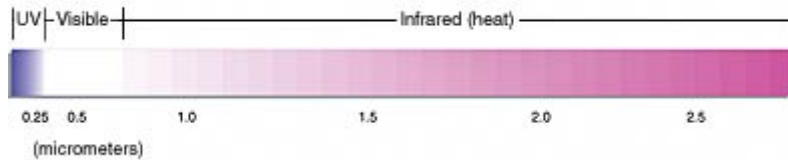
Ακτινοβολία μεγαλύτερου μήκους κύματος από την ορατή είναι η υπέρυθη ακτινοβολία, η οποία γίνεται αισθητή ως θερμότητα, ενώ ακτινοβολία μικρότερου μήκους κύματος είναι η υπεριώδης. (Εικόνα 50)

Όταν η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει σε ένα παράθυρο, ορατό φως, θερμότητα και υπεριώδης ακτινοβολία αντανακλώνται, απορροφώνται, ή εκπέμπονται στο εσωτερικό του κτηρίου.

Με την τοποθέτηση κρυστάλλων χαμηλής εκπομπής, σε θερμά κλίματα, αντανακλάται η θερμή ακτινοβολία μεγάλου κύματος, αλλά επιτρέπεται η διέλευση της ορατής ακτινοβολίας. Αντίθετα, **σε ψυχρά κλίματα** αντανακλάται η θερμή ακτινοβολία μεγάλου κύματος προς το εσωτερικό του κτηρίου, με ταυτόχρονη, επίσης, διέλευση της ορατής ακτινοβολίας. Η μικρότερου κύματος ορατή ακτινοβολία απορροφάται έπειτα από το πάτωμα, τους τοίχους και τα έπιπλα και επανεκπέμπεται ως θερμή ακτινοβολία μεγαλύτερου μήκους κύματος, που τα ανακλαστικά κρύσταλλα κρατούν στο εσωτερικό. Συνεπώς, τα κρύσταλλα αυτά λειτουργούν αποδοτικότερα, όταν σε **θερμά κλίματα** τοποθετηθούν στην εξωτερική επιφάνεια ενός παραθύρου και στα **ψυχρά** στην εσωτερική [71] (Εικόνα 51). Από τον πίνακα 13, φαίνεται η αποδοτικότητα των κρυστάλλων αυτών.

Πίνακας 13: Εξοικονόμηση ενέργειας από τζάμια ειδικής τεχνολογίας [33]

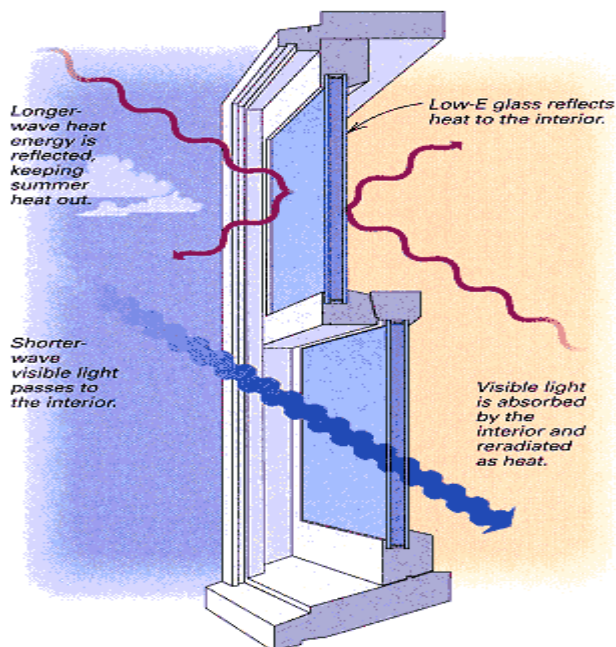
ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ/ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΣΕ ΤΥΠΙΚΟ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑ ΑΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΔΙΠΛΩΝ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΩΜΕΝΩΝ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΩΝ ΣΕ 4 ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ			
ΠΕΡΙΟΧΗ	ΤΥΠΟΣ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΑ	Εξοικονόμηση ενέργειας (kWh)	Εξοικονόμηση πετρελαίου (λίτρα)
ΦΛΩΡΙΝΑ	Διπλός 4-6-4	12.216	1.222
	Διπλός 4-12-4	14.381	1.438
	Διπλός-χαμηλής εκπομπής με αργό 4-12-4	16.421	1.642
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	Διπλός 4-6-4	8.551	855
	Διπλός 4-12-4	10.007	1.001
	Διπλός-χαμηλής εκπομπής με αργό 4-12-4	11.604	1.160
ΑΘΗΝΑ	Διπλός 4-6-4	5.192	519
	Διπλός 4-12-4	6.016	602
	Διπλός-χαμηλής εκπομπής με αργό	7.473	747
ΧΑΝΙΑ	Διπλός 4-6-4	4.191	419
	Διπλός 4-12-4	4.449	445
	Διπλός-χαμηλής εκπομπής με αργό 4-12-4	5.491	549



Εικόνα 50: Φάσμα ακτινοβολίας [71]

δ) Έγγρωμοι ναλοπίνακες, οι οποίοι με τη βοήθεια χημικής επεξεργασίας παρουσιάζουν χαμηλή θερμοπερατότητα, αλλά και μειωμένη φωτοδιαπερατότητα και συνιστώνται για τη μείωση των ηλιακών κερδών ενός χώρου. Κρύσταλλα πράσινης ή μπλε απόχρωσης, που είναι σχεδόν αδιαπέραστα στην υπέρυθη ακτινοβολία, θα παρέχουν αισθητικό αποτέλεσμα και **μείωση των ηλιακών κερδών κατά 30-50%.**

ε) Φωτοχρωμικά, θερμοχρωμικά και ηλεκτροχρωμικά κρύσταλλα, τα οποία τροποποιούν τις ακτίνες του ήλιου, καθώς αυτές εισέρχονται. Τα πρώτα, είναι κρύσταλλα στα οποία οι οπτικές ιδιότητες μεταβάλλονται ανάλογα με το ποσό της προσπίπτουσας σε αυτά ηλιακής ακτινοβολίας. Τα θερμοχρωμικά, με την αύξηση της θερμοκρασίας μεταβάλλονται από διαφανή σε γαλακτόχρωμα, ενώ στα ηλεκτροχρωμικά τα οπτικά χαρακτηριστικά και η διαπερατότητα μεταβάλλονται με τη διοχέτευση ηλεκτρικού ρεύματος.



Εικόνα 51: Τα κρύσταλλα χαμηλής εκπομπής αντανακλούν τη θερμική ενέργεια, ενώ επιτρέπουν τη διέλευση του ορατού φωτός. Έτσι, το καλοκαίρι αποφεύγεται η υπερθέρμανση του χώρου, ενώ το χειμώνα, η ηλιακή ορατή ακτινοβολία, που σχηματίζει χαμηλότερη γωνία, εισέρχεται στο εσωτερικό και απορροφάται ως θερμότητα [71]

Παράγων Ηλιακού Κέρδους

Ο παράγοντας ηλιακού κέρδους (SHGC), δείχνει το ποσοστό της **διαθέσιμης** ηλιακής θερμικής ακτινοβολίας, που επιτυχώς διέρχεται από ένα παράθυρο. Η κλίμακα μέτρησης του είναι από 0 έως 1 (για διέλευση 100% της διαθέσιμης ακτινοβολίας). Τα κρύσταλλα των παραθύρων, κατασκευάζονται έτσι ώστε να επιτρέπουν τη διέλευση ορισμένου μήκους ακτινοβολίας. Έτσι, για παράδειγμα, ένας ιδανικός συνδυασμός για τα **ζεστά κλίματα** είναι να έχουμε ένα παράθυρο που να μπλοκάρει την θερμή ακτινοβολία μεγάλου κύματος (χαμηλός SHGC), αλλά να επιτρέπει την διέλευση της ορατής. Ένας χαμηλός παράγοντας θερμικού κέρδους μπορεί να μειώσει τις ανάγκες για κλιματισμό, περισσότερο απ' ό τι θα μείωνε η προσθήκη ενός επιπλέον φύλλου γυαλιού στο παράθυρο, για αύξηση της μόνωσης. [71].

Πίνακας 14: Προτεινόμενες τιμές του παράγοντα ηλιακού θερμικού κέρδους για διάφορους τύπους κλίματος [71]

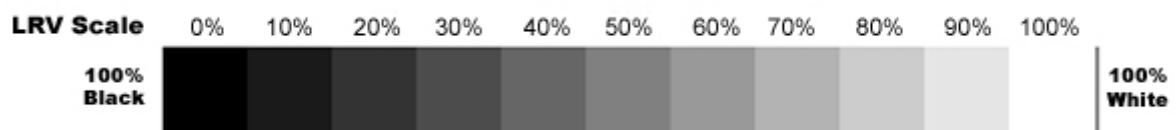
Τύπος κλίματος	Τιμή SHGC
Θερμά	<0.40
Ψυχρά	>0.55
Εύκρατα	0.40-0.55

6.1.6 Ανακλαστικά επιχρίσματα



Εικόνα 52: «Όσο πιο ζεστή η στέγη, τόσο πιο ζεστά τα δωμάτια. Οι ανοιχτόχρωμες ανακλαστικές στέγες είναι σαν το κτήριο να φοράει «λευκό» πουκάμισο, το οποίο ανακλά την ηλιακή ακτινοβολία. Ακόμα κα ένα ελαφρύ γκρι χρώμα είναι καλύτερο από ένα μπλε ή πράσινο.» [74]

Πρόκειται για τα ανοικτά χρώματα, με τα οποία είναι βαμμένα τα κτήρια της Μεσογείου, για να αντανακλούν μεγάλο ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας. Οι μουντοί σκουρόχρωμοι εξωτερικοί τοίχοι απορροφούν το 70-90% της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας, με συνέπεια την αποθήκευση θερμότητας, η οποία τελικά μεταδίδεται στο εσωτερικό του κτηρίου [3,6]. Αντίθετα, **οι ανοιχτόχρωμοι τοίχοι ανακλούν μεγαλύτερο ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας**, μειώνοντας τη μετάδοση θερμότητας μέσω των επιφανειών στους εσωτερικούς χώρους. Η θερμοκρασία μιας επιφάνειας με σκούρο χρώμα μπορεί να φτάσει μέχρι και 40 °C υψηλότερα από μια ανοικτού χρώματος επιφάνεια. **Η μείωση του απαραίτητου ψυκτικού φορτίου μπορεί να φτάσει το 25%, βάζοντας τις σκουρόχρωμες επιφάνειες των εξωτερικών όψεων ή του δώματος, με ανοικτά χρώματα** [6]. Δεδομένου ότι η αλλαγή χρώματος δεν συνεπάγεται υψηλό κόστος, πρόκειται για μια αρκετά αποτελεσματική επέμβαση. Μέτρο της ανακλαστικότητας ενός χρώματος είναι η τιμή ανάκλασης του φωτός (**LRV-Light Reflective Value**). Ο συντελεστής αυτός δείχνει πόση ακτινοβολία οποιουδήποτε κύματος ανακλά ένα χρώμα. Υψηλή τιμή **LRV** υποδεικνύει ανοιχτόχρωμη επιφάνεια. Αξιοσημείωτο είναι επίσης, ότι οι επιφάνειες ανοικτού χρώματος έχουν και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, διότι αντανακλούν και βλαβερές ακτινοβολίες του ήλιου, τη στιγμή που μια μαύρη θα τις απορροφούσε [75].



Εικόνα 53: Δείκτης ανακλαστικότητας LRV [75]

6.1.7 Φραγμα ακτινοβολίας

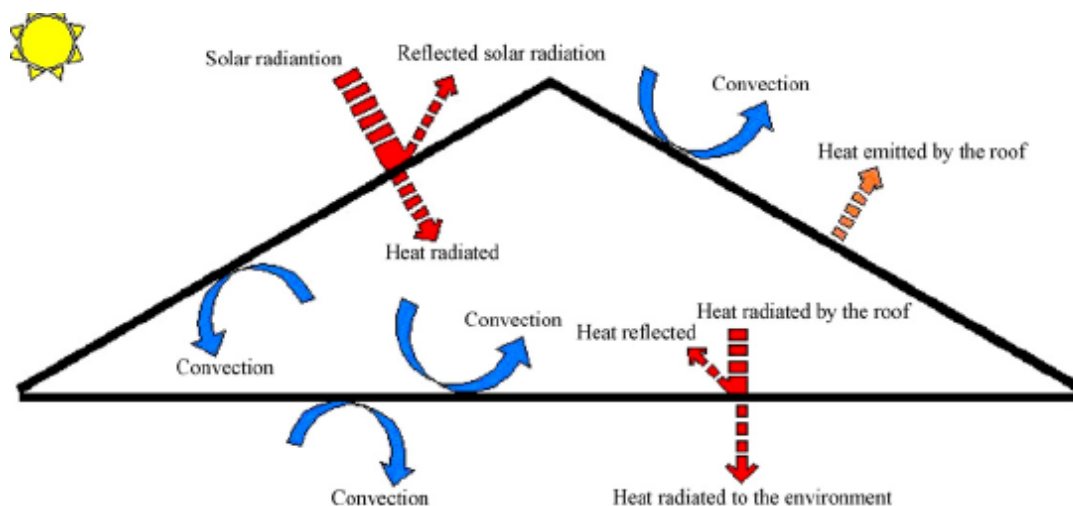


Εικόνα 54: Φράγμα ακτινοβολίας [34]

Όταν η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει σε μια στέγη, μέρος της απορροφάται και θερμαίνει τα δομικά στοιχεία της στέγης, ένα άλλο μέρος της ακτινοβολείται προς το εξωτερικό

περιβάλλον και ένα άλλο μέρος της μεταφέρεται ως θερμότητα, με συναγωγή και ακτινοβολία προς τον εσωτερικό χώρο. Οι θερμικές συναλλαγές με τη στέγη, φαίνονται στην εικόνα 55 [34].

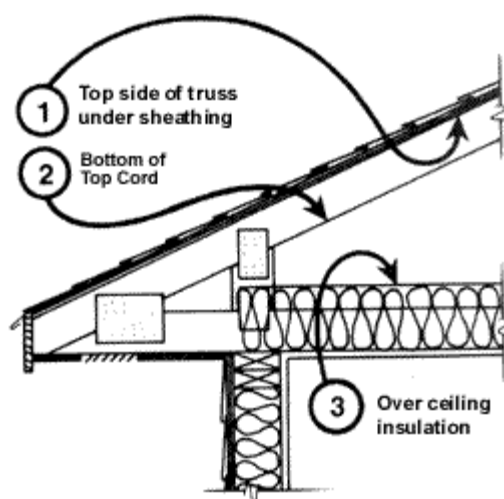
Το φράγμα ακτινοβολίας τοποθετείται στα κτήρια, στη στέγη, προκειμένου να μειώσει τα θερμικά κέρδη το καλοκαίρι και να μειώσει τις απώλειες το χειμώνα, περιορίζοντας έτσι τις ανάγκες σε ψυκτικά και θερμικά φορτία αντίστοιχα. Πρόκειται για λεπτά φύλλα που κατασκευάζονται από υψηλά ανακλαστικά υλικά, συνήθως από αλουμίνιο στη μία ή και στις δύο πλευρές τους. Τα φύλλα αυτά πέρα από **μεγάλη ανακλαστικότητα, έχουν και υψηλό συντελεστή εκπομπής,** με αποτέλεσμα να διαπερνώνται από ελάχιστα μόνον ποσοστά ακτινοβολίας (Ο συντελεστής εκπομπής δείχνει την ικανότητα ενός υλικού να εκπέμπει την ακτινοβολία που έχει απορροφήσει). Λειτουργεί αποδοτικότερα όταν τοποθετείται έτσι ώστε να «βλέπει» το εξωτερικό περιβάλλον. Ωστόσο, μπορεί να τοποθετηθεί και κάτω από τη στέγη, στη σοφίτα, στο διάκενο δηλαδή, που υπάρχει αέρας μεταξύ της στέγης και του ταβανιού του τελευταίου ορόφου, ή κατευθείαν κάτω από τη στέγη (Εικόνα 56). Λόγω της ανακλαστικότητας του, μπορεί να ανακλάσει προς τη στέγη, μεγάλο ποσό της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από αυτήν προς τα κάτω, ενώ η χαμηλή εκπομπή της κάτω πλευράς του, που έρχεται σε επαφή με το ταβάνι του κάτω ορόφου, εμποδίζει τη ροή θερμότητας προς τα δωμάτια [76].



Εικόνα 55: Μετάδοση θερμότητας προς την στέγη κτηρίου [76]

Ένα από τα πλεονεκτήματα του είναι ότι μπορεί να τοποθετηθεί σε οποιοδήποτε κτήριο, βιομηχανικής, εμπορικής, ή οικιστικής χρήσης. Στις κατοικίες μπορεί να τοποθετηθεί στις στέγες, ακολουθώντας την κλίση τους ή οριζόντια στα δώματα. Σύμφωνα με έρευνες, τα φύλλα που τοποθετούνται οριζόντια έχουν 5% καλύτερη απόδοση από αυτά που τοποθετούνται κάτω από κεκλιμένες στέγες [76].

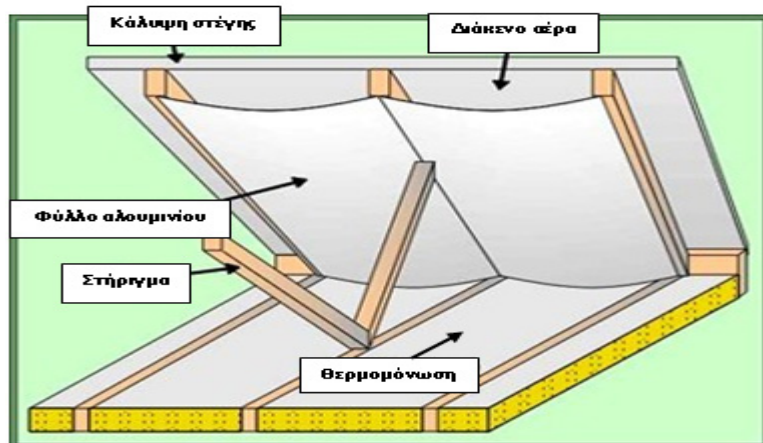
Το σύστημα παρέχει θερμική προστασία κυρίως τους **καλοκαιρινούς μήνες**, διότι η θερμική ακτινοβολία που απορροφάται από τη στέγη δεν εισέρχεται στον εσωτερικό χώρο, αλλά το μεγαλύτερο τμήμα της ανακλάται μακριά από τον κατειλημμένο χώρο του κτηρίου. Τα φράγματα ακτινοβολίας συνιστώνται κυρίως για τμήματα των ελαφρών κτηρίων **σε θερμά και υγρά κλίματα**, όπου είναι δύσκολο να παρασχεθεί προστασία από τη θερμότητα. Αποδίδουν ιδιαίτερα σε χώρους όπου έχω ροή θερμότητας προς τα κάτω, όπως σε μια σοφίτα κατά την καλοκαιρινή περίοδο. Εάν στη σοφίτα τοποθετηθεί απλό ανακλαστικό φύλλο, μπορούμε να πετύχουμε **μεγάλη μείωση της μετάδοσης θερμότητας**. Προσοχή χρειάζεται η συνδυασμένη χρήση και μόνωσης, διότι το χειμώνα η ροή θερμότητας αντιστρέφεται και υπάρχει περίπτωση συμπύκνωσης. Για το λόγο αυτό, εξελιγμένα φράγματα ακτινοβολίας επιτρέπουν τους υδρατμούς του νερού να τα διαπερνούν. Διαφορετικά, κατά τη διάρκεια του χειμώνα, οι υδρατμοί που έρχονται από τον κάτω όροφο, είναι δυνατόν να συμπυκνωθούν ή ακόμα και να παγώσουν στην κάτω επιφάνεια του φράγματος που βρίσκονται στο «πάτωμα» της σοφίτας [22, 76, 77].



Εικόνα 56: Θέσεις στις οποίες μπορεί να τοποθετηθεί ένα φράγμα ακτινοβολίας [77]

Σύμφωνα με έρευνα του Πανεπιστημίου της Σάντα Καταρίνα στη Βραζιλία [76], ένα αξιόπιστο φράγμα ακτινοβολίας μπορεί να **μειώσει τη ροή θερμότητας μέχρι 70%**. Το πείραμα που διεξήγαγε το Πανεπιστήμιο ήταν το εξής:

Έγιναν μετρήσεις σε πραγματική στέγη, της οποίας ένα κεκλιμένος μέρος χωρίστηκε σε οχτώ ίσα μέρη. Κάθε κομμάτι είχε ως επιστροφή διαφορετικό υλικό, όπως αλουμινοχαρτο, πορώδη κεραμίδια κόκκινου χρώματος, κεραμίδια βαμμένα λευκά, εμπορικά φύλλα φράγματος ακτινοβολίας κ.α, ενώ ένα κομμάτι έμεινε χωρίς επιστροφή.



Εικόνα 57: Φράγμα Ακτινοβολίας [22]

Η επίστρωση που εμφάνισε την καλύτερη απόδοση ήταν το ένα από τα εμπορικά φράγματα ακτινοβολίας που χρησιμοποιήθηκαν. Ενδεικτικά, για μια τυπική καλοκαιρινή μέρα στη Βραζιλία, με υψηλή ακτινοβολία, την πιο θερμή ώρα της ημέρας, η ροή θερμότητας δια μέσου του ακάλυπτου τμήματος ήταν 82.4 Wm^{-2} , ενώ δια μέσου του τμήματος με το φράγμα 22.5 Wm^{-2} . Από τον πίνακα 15, διαπιστώνουμε ότι για μια καλοκαιρινή ημέρα με χρήση φράγματος ακτινοβολίας έχουμε κατά 63-73% μείωση της θερμορροής προς το εσωτερικό. Τη νύχτα που η ροή αντιστρέφεται, στην περίπτωση των κεραμιδιών, έχουμε μεγαλύτερη απώλεια θερμότητας προς τα έξω απ'ότι στην περίπτωση της ακάλυπτης οροφής (αρνητική απόδοση).

Πίνακας 15: Αποδόσεις των διαφορετικών υλικών κατά τη διάρκεια καλοκαιρινής ημέρας στη Βραζιλία [76]

Είδος Επίστρωσης	Απόδοση % σε ώρα υψηλότερης θερμοκρασίας	Μέση 24ωρη απόδοση %	Νυχτερινή Απόδοση%
Χωρίς Επίστρωση	-	-	-
Εμπορικό Φράγμα Ακτινοβολίας 1	73	76	63
Πορώδη κεραμίδα	48	86	-24
Κεραμίδα λευκά	30	70	-25

Από την έρευνα διαπιστώθηκε ότι η τοποθέτηση του φράγματος ακτινοβολίας εμπόδισε όχι μόνο τα θερμικά κέρδη κατά τη διάρκεια της ζεστής καλοκαιρινής ημέρας, αλλά επίσης και

τις θερμικές απώλειες τις νυχτερινές ώρες και κατά τη διάρκεια κρύων ή συννεφιασμένων ημερών.

6.1.8 Βλάστηση-Φυτεμένα δώματα

Σε κάθε τοποθεσία, ο άνθρωπος μπορεί να παρέμβει προκειμένου να τροποποιήσει το περιβάλλον γύρω από τα κτήρια, δημιουργώντας συνθήκες που συνιστούν το **μικροκλίμα**, όπως ονομάζεται το κλίμα, μια μικρής σχετικά επιφάνειας .

Ο ρόλος της βλάστησης σε ένα δομημένο περιβάλλον είναι ιδιαίτερα σημαντικός. Τα φυτά σκιάζουν το κτήριο και έτσι παρέχουν πολύτιμη ηλιοπροστασία κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, μειώνοντας τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος αέρα.

Επίσης, μέσω των βασικών λειτουργιών των φυτών για φωτοσύνθεση, διαπνοή και εξάτμιση, παρέχεται σημαντικός δροσισμός.

Η αποβολή νερού από τα φύλλα με τη μορφή υδρατμών γίνεται με τη βοήθεια θερμότητας που αντλείται από τον αέρα περιβάλλοντος με αποτέλεσμα την τοπική μείωση της θερμοκρασίας. Χαρακτηριστικό είναι ότι ένα μεσαίου μεγέθους δέντρο, στη διάρκεια μιας καλοκαιρινής μέρας, εξατμίζει περίπου 1.460 kg νερού και ο δροσισμός που πετυχαίνεται είναι πολύ σημαντικός. Συνεπώς, ο αέρας κοντά στο έδαφος σε δεντροφυτεμένες περιοχές είναι πιο δροσερός από άλλες δομημένες περιοχές. **Πειραματικές μετρήσεις έχουν δείξει ότι η διαφορά θερμοκρασίας δεντροφυτεμένων περιοχών και δομημένων αντίστοιχα, μπορεί να φτάσει μέχρι και 5 °C [3, 12, 73].**



Εικόνα 58: Πράσινες στέγες

Ιδιαίτερα σε πυκνοκατοικημένες περιοχές, όπου εμφανίζεται το **φαινόμενο της θερμικής νησίδας**, η βλάστηση είναι αναγκαία. Σύμφωνα με το φαινόμενο αυτό, η θερμοκρασία του αέρα είναι ιδιαίτερα υψηλή στις πόλεις λόγω του μικροκλίματος που δημιουργείται από το υπερδομημένο περιβάλλον και τις ανθρώπινες επεμβάσεις. Οι αστικές περιοχές με χαμηλή ποιότητα κλίματος, που είναι περιοχές που χαρακτηρίζονται από υψηλές θερμοκρασίες το καλοκαίρι, μεγάλο πληθυσμό, κυκλοφοριακό πρόβλημα, αυξημένο δομημένο περιβάλλον και μειωμένους πράσινους χώρους, χρησιμοποιούν περισσότερο ποσό ενέργειας για κλιματισμό από τις μη αστικές περιοχές. **Η πόλη της Αθήνας χαρακτηρίζεται από έντονο φαινόμενο θερμικής νησίδας**, λόγω της αυξημένης βιομηχανικής δραστηριότητας και της αστικοποίησης των τελευταίων χρόνων. Το φαινόμενο εμφανίζεται τόσο το καλοκαίρι, όσο και το χειμώνα, με μέση ημερήσια ένταση που κυμαίνεται μεταξύ 6-12 °C για τις κεντρικές ζώνες. **Οι φυτεμένες στέγες και η φύτευση βλάστησης μπορούν να επιδράσουν θετικά στο κλίμα της πόλης και στο εσωτερικό κλίμα των κτηρίων**, προστατεύοντας τα από την ηλιακή ακτινοβολία και **μειώνοντας το φαινόμενο της θερμικής νησίδας** [70].

Φυτεμένο δώμα

Είναι ένα πολύπλοκο θερμικό σύστημα που έχει **σημαντικές θερμομονωτικές ιδιότητες για το καλοκαίρι, αλλά και για το χειμώνα**. Τη θερινή περίοδο, έχει την ιδιότητα να ανακλάει 20-30% της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στο δώμα και απορροφάει το υπόλοιπο τμήμα της στην επιφάνεια των φύλλων. Επίσης το χώμα, λόγω της θερμοχωρητικότητας του, επιβραδύνει τη ροή θερμότητας προς το εσωτερικό του κτηρίου. Το φυτεμένο δώμα αποτελεί, **άρα, μέσο θερμικής μόνωσης** του κτηρίου, λόγω των υλικών που το αποτελούν (χώμα ικανού πάχους και αέρας που εγκλωβίζεται μεταξύ των φυλλωμάτων των φυτών).

Γενικότερα, η φύτευση βλάστησης στο δώμα, πέρα από τη **μείωση των καλοκαιρινών θερμικών φορτίων**, συμβάλλοντας έτσι στην **εξοικονόμηση ενέργειας, βελτιώνει την ποιότητα της ατμόσφαιρας**, καθαρίζοντας τον αέρα από ρύπους και παρέχοντας οξυγόνο, **αλλάζει το μικροκλίμα** της περιοχής, **μειώνει την ηχορύπανση, τη σκόνη και το νέφος**. Επιπροσθέτως, προστατεύει τα υποκείμενα **μονωτικά υλικά από φθορές** που θα προκαλούσε η έκθεσή τους στον ήλιο, στην υπεριώδη ακτινοβολία και στις μεγάλες αυξομειώσεις της θερμοκρασίας. Επίσης, **τα φυτεμένα δώματα συμβάλλουν και στη συγκράτηση των νερών της βροχής**.

Φύτευση μπορεί να γίνει πάνω σε δώματα και κεκλιμένες στέγες από μπετόν ή και πάνω σε ξύλινες κεκλιμένες στέγες, ακόμη και όταν οι κλίσεις είναι μεγάλες, διότι το ριζικό σύστημα των φυτών λειτουργεί ως οπλισμός στη μάζα του χώματος και το συγκρατεί αποτελεσματικά ακόμη και σε περιπτώσεις μεγάλης κακοκαιρίας [3, 12, 42, 43].

Οι φυτεμένες στέγες χωρίζονται σε **τρεις βασικούς τύπους** [73, 78] :

- **Εκτατικός Τύπος:**

Το σύστημα αποτελείται από πολυεπίπεδη διαστρωμάτωση υλικών με ελαφρύ υπόστρωμα ανάπτυξης των φυτών ύψους έως 20 εκατοστών. Το φορτίο του συστήματος είναι μικρό (περίπου 120 kg/m^2 –κορεσμένο-) και το ριζικό σύστημα των φυτών επιφανειακό.

Επιλέγονται φυτά ανθεκτικά στην ξηρασία, ώστε να μην απαιτείται πολύ συχνός ποτισμός, αλλά και φυτά ανθεκτικά στον άνεμο και στο ψύχος. Το sedum, είναι για παράδειγμα, φυτό που αντέχει 60-80 μέρες χωρίς πότισμα (εικόνα 62). Εκτατικός τύπος φυτεμένου δώματος μπορεί να εφαρμοσθεί σε κλίσεις μέχρι και 33%.



Εικόνα 59: Εκτατικός Τύπος [73]

- **Ημιεντατικός Τύπος:**

Είναι το σύστημα που αποτελείται από υπόστρωμα ύψους μέχρι 25 εκατοστών και περιλαμβάνει φυτική κάλυψη με χλοοτάπητα, θάμνοι, ή φυτά εδαφοκάλυψης. Το φορτίο κυμαίνεται στα $100\text{-}270 \text{ kg/m}^2$ και σχέση με τον προηγούμενο τύπο, συγκρατεί μεγαλύτερη ποσότητα νερού.



Εικόνα 60: Ημιεντατικός Τύπος [73]

- **Εντατικός Τύπος:**

Πρόκειται για φύτευση με θάμνους, ποικιλία φυτών, ακόμη και δέντρα, πράγμα που σημαίνει ότι το φορτίο είναι μεγαλύτερο των 300 kg/m^2 . Ο τύπος αυτός φυτεμένης στέγης απαιτεί τακτική συντήρηση και παρουσιάζει την μορφή ολοκληρωμένου κήπου.

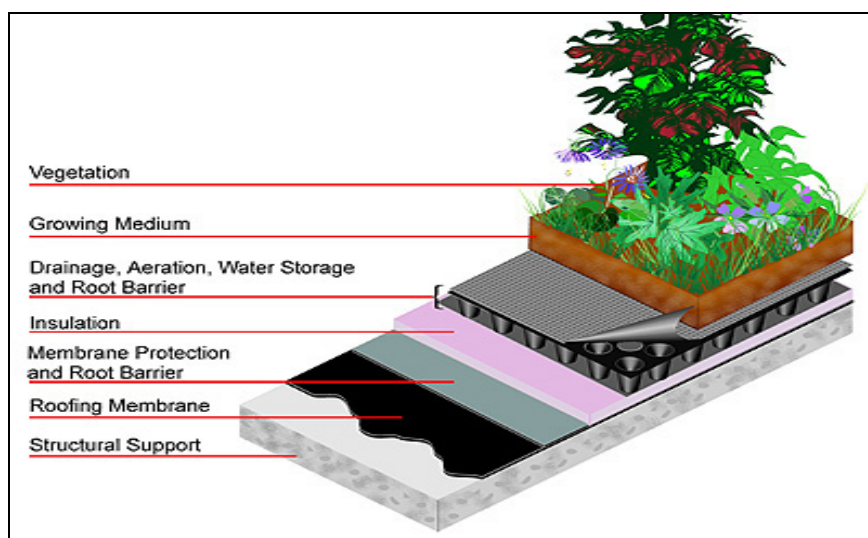


Εικόνα 61: Εντατικός Τύπος 73]

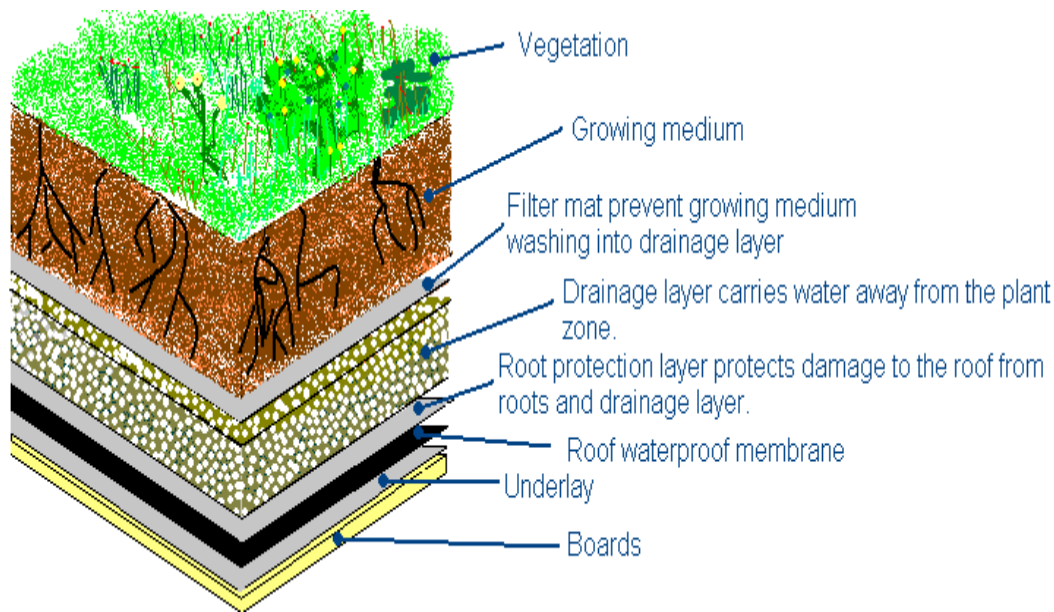


Εικόνα 62: Το φυτό «σέδο» (sedum), που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εκτατικό τύπο φυτεμένου δώματος, αντέχει χωρίς πότισμα 60-80 μέρες [79]

Η διαστρωμάτωση της πράσινης στέγης περιλαμβάνει μια μεμβράνη ελέγχου ανάπτυξης του ριζικού συστήματος, υπόστρωμα συγκράτηση υγρασίας, στρώμα αποστράγγισης που συγκρατεί την απαραίτητη ποσότητα νερού και απομακρύνει την πλεονάζουσα, ένα διηθητικό φύλλο που εμποδίζει τα χώματα να περάσουν στην αποστραγγιστική στρώση, υπόστρωμα ανάπτυξης των φυτών και φυσικά το φυτικό υλικό.



Εικόνα 63: Διαστρωμάτωση φυτεμένου δώματος [80]



Εικόνα 64: Διαστρωμάτωση φυτεμένου δώματος εκτατικού τύπου, από πάνω προς τα κάτω: Βλάστηση, στρώμα ανάπτυξης των φυτών (χώμα), διηθητικό φύλλο που εμποδίζει τα χώματα να περάσουν στην αποστραγγιστική στρώση, στρώμα αποστράγγισης, που συγκρατεί την απαραίτητη ποσότητα νερού, μεμβράνη ελέγχου ανάπτυξης του ριζικού συστήματος για προστασία του δώματος, μεμβράνη συγκράτησης υγρασίας για προστασία της στέγης [78]

Έρευνα σχετικά με τα φυτεμένα δώματα, που διεξήχθη στην Αθήνα από ελληνικά Πανεπιστήμια [70], οδήγησε σε σημαντικά αποτελέσματα, μέσω της ανάλυσης της ενεργειακής λειτουργίας φυτεμένης στέγης που εφαρμόστηκε σε νηπιαγωγείο κοντά στο κέντρο της Αθήνας. Το ποσοστό του δώματος που καλύφθηκε με βλάστηση ήταν το 40% της συνολικής επιφάνειας του. Οι Πίνακες 16, 17, δείχνουν τη **διακύμανση του ψυκτικού φορτίου** σε (KWh/m²), και επί τοις εκατό (%) **εξαιτίας της εφαρμογής του φυτεμένου δώματος**, κατά τη καλοκαιρινή περίοδο, τόσο σε μη μονωμένο, όσο και για μονωμένο κτήριο. Ο Πίνακας 18, δείχνει τη διακύμανση του ψυκτικού φορτίου επίσης επί τοις εκατό (%), μόνο για τον τελευταίο όροφο, στον οποίο τοποθετήθηκε το σύστημα της πράσινης στέγης. **Οι αρνητικές τιμές αντιστοιχούν στη μείωση του ψυκτικού φορτίου**, λόγω της πράσινης οροφής. Από τους πίνακες, μπορεί να παρατηρηθεί ότι ένα σημαντικό ποσό ενέργειας εξοικονομήθηκε κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών. Συγκεκριμένα:

- Για μη μονωμένο κτήριο είναι εφικτή η μείωση του ψυκτικού φορτίου **15-49%**
- Για μονωμένο κτήριο σημειώνεται μείωση του ψυκτικού φορτίου **6-33%**
- Ομοίως, για τον τελευταίο όροφο, η μείωση για μη μονωμένο κτήριο κυμαίνεται μεταξύ **27-87%**, ενώ
- Για τον τελευταίο όροφο και για μονωμένο κτήριο, επιτυγχάνεται μείωση **12-76%**

Όσον αφορά το θερμικό φορτίο που χρειάζεται το κτήριο κατά το χειμώνα, η έρευνα έδειξε ότι η επίδραση της φυτεμένης στέγης δεν είναι σημαντική. Αυτό θεωρείται πλεονέκτημα, διότι συνήθως ένα σύστημα που στοχεύει στη μείωση των ηλιακών κερδών

κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, οδηγεί σε αύξηση των αναγκών σε θερμικά φορτία κατά το χειμώνα.

Πίνακας 16: Η διακύμανση του ψυκτικού φορτίου σε (KWh/m²) και %, για όλο το κτήριο, για μη μονωμένο κτήριο [70]

Μήνας	Μη μονωμένο κτήριο με πράσινη στέγη (KWh/m ²)	Μη μονωμένο κτήριο χωρίς πράσινη στέγη (KWh/m ²)	Διακύμανση ψυκτικού φορτίου για μη μονωμένο κτήριο (%)
ΜΑΙΟΣ.	1.13	2.23	-49
ΙΟΥΝ.	5.28	7.32	-28
ΙΟΥΛ.	8.97	11.23	-20
ΑΥΓ.	12.34	14.52	-15
ΣΕΠ.	4.54	5.67	-20

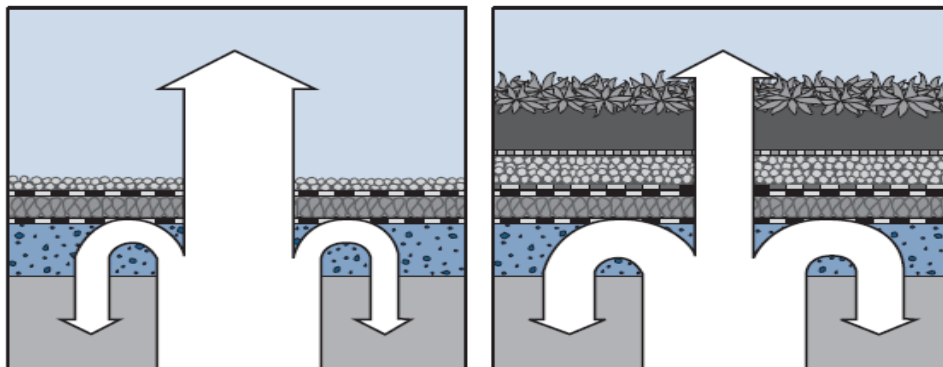
Πίνακας 17: Η διακύμανση του ψυκτικού φορτίου σε (KWh/m²) και %, για όλο το κτήριο, για μονωμένο κτήριο [70]

Μήνας	Μονωμένο κτήριο με πράσινη στέγη (KWh/m ²)	Μονωμένο κτήριο χωρίς πράσινη στέγη (KWh/m ²)	Διακύμανση ψυκτικού φορτίου για μονωμένο κτήριο (%)
ΜΑΙΟΣ.	1.29	1.93	-33
ΙΟΥΝ.	4.87	5.72	-15
ΙΟΥΛ.	8.14	8.95	-9
ΑΥΓ.	11.19	11.88	-6
ΣΕΠ.	5.61	6.01	-7

Πίνακας 18: Η διακύμανση του ψυκτικού φορτίου (%), για τον τελευταίο όροφο του κτηρίου [70]

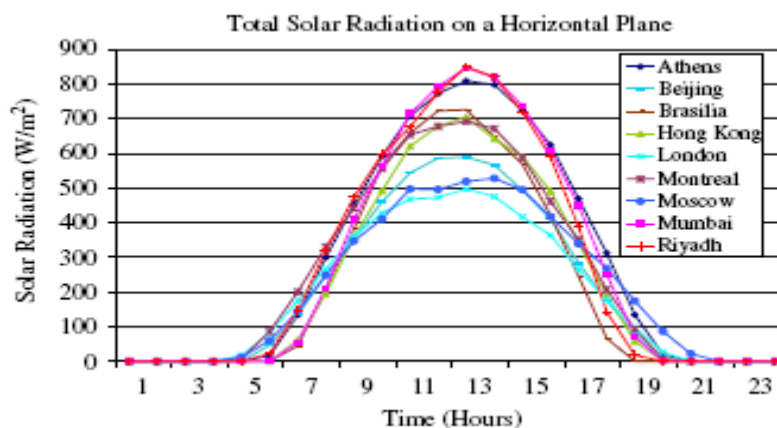
Μήνας	Διακύμανση ψυκτικού φορτίου για μη μονωμένο κτήριο και για τον τελευταίο όροφο (%)	Διακύμανση ψυκτικού φορτίου για μονωμένο κτήριο και για τον τελευταίο όροφο (%)
ΜΑΙΟΣ.	-87	-76
ΙΟΥΝ.	-48	-37
ΙΟΥΛ.	-35	-19

ΑΥΓ.	-27	-12
ΣΕΠ.	-44	-18

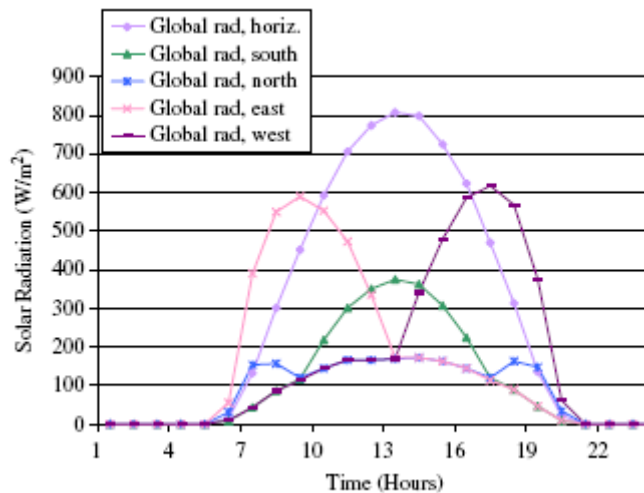


Εικόνα 65: Ροή θερμότητας δια μέσου, στέγης χαλικοστρωμένης και «πράσινης» οροφής. Στη δεύτερη περίπτωση η θερμική μάζα του φυτεμένου δώματος αποτρέπει ένα μεγάλο ποσό θερμότητας να διαφύγει [44]

Επίσης σημαντικά ήταν και τα αποτελέσματα της έρευνας σχετικά με την μείωση της θερμοκρασίας στις πόλεις και συγκεκριμένα σε «αστικό φαράγγι» (-urban canyon- που είναι αστικό περιβάλλον που μοιάζει με φαράγγι και διαμορφώνεται από δρόμους που βρίσκονται ανάμεσα στα ψηλά κτήρια) λόγω πράσινων τοίχων και οροφών (βλάστηση τόσο στους τοίχους, όσο και στις στέγες). Διεξήχθη από την Ελευθερία Αλεξανδρή και τον Phil Jones-Welsh School of Architecture –[82], και για την πραγματοποίηση της μελετήθηκαν 9 διαφορετικές πόλεις με διαφορετικά κλιματικά χαρακτηριστικά και διαφορετική ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 14.



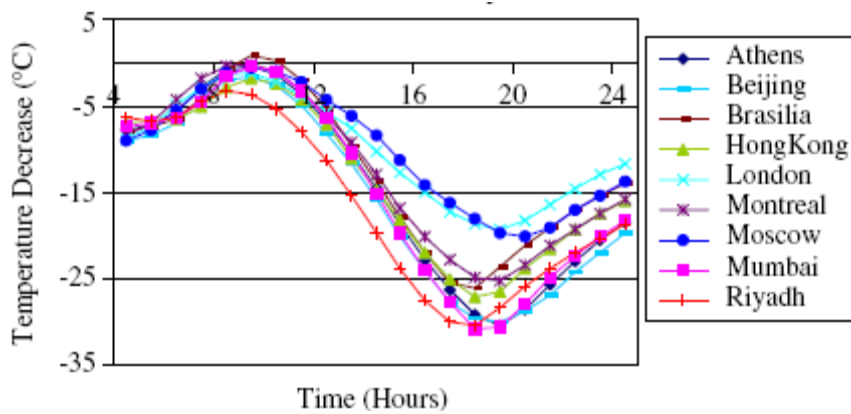
Διάγραμμα 14: 24ωρο προφίλ της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο, για το ζεστότερο μήνα κάθε πόλης [82]



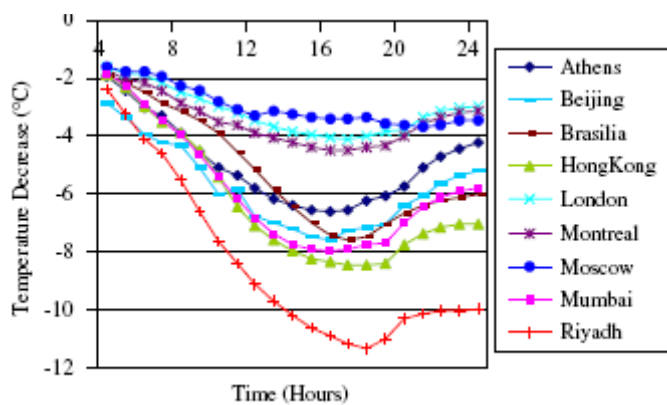
Διάγραμμα 15: Πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο και κατακόρυφο επίπεδο για νότιο, βόριο, ανατολικό και δυτικό προσανατολισμό για το μήνα Ιούλιο [82]

Μερικά από τα **συμπεράσματα** ήταν τα εξής:

- Οι **αστικές** θερμοκρασίες μπορούν να μειωθούν σημαντικά, όταν το κτηριακό κέλυφος καλύπτεται με βλάστηση, δηλαδή όταν καλύπτεται και η στέγη και οι τοίχοι με πράσινο. Όσο πιο ζεστό και ξηρό είναι το κλίμα μιας περιοχής, τόσο πιο έντονη είναι η επίδραση της βλάστησης.
- Όσο πιο φαρδύ είναι το φαράγγι (φαρδύτεροι δρόμοι μεταξύ των ψηλών κτηρίων), τόσο πιο μικρή είναι η επίδραση της καλυμμένης με βλάστηση κτηριακής επιφάνειας, λόγω του ότι οι φαρδιοί δρόμοι είναι περισσότερο εκτεθειμένοι στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία
- **Στο επίπεδο της στέγης η θερμοκρασία** του αέρα μπορεί να μειωθεί κατά **26 °C** (Διάγραμμα 16)
- **Μέσα στο «αστικό φαράγγι»** η θερμοκρασιακή μείωση μπορεί να φτάσει τους **11.3 °C** (Διάγραμμα 17)
- **Όσον αφορά τα ψυκτικά φορτία**, για την Αθήνα, με εφαρμογή βλάστησης στους τοίχους μόνο, έχουμε **εξοικονόμηση ενέργειας** μέχρι και **43%**, ενώ όταν και οι τοίχοι και η ταράτσα είναι καλυμμένα από βλάστηση, εξοικονομείται ενέργεια μέχρι και **64%**



Διάγραμμα 16 : Πτώση της θερμοκρασίας της επιφάνειας της στέγης όταν καλύπτεται με βλάστηση, για διάφορες πόλεις



Διάγραμμα 17: Η μείωση της θερμοκρασίας μέσα στο «αστικό φαράγγι» όταν καλύπτονται με βλάστηση τόσο οι στέγες, όσο και οι τοίχοι, για διάφορες κλιματικές ζώνες.

Μία ακόμη σημαντική ιδιότητα των φυτεμένων δωμάτων είναι ότι **βελτιώνουν την ποιότητα του νερού**, πριν αυτό αποχετευτεί (Εικόνα 66). Το χώμα και το ριζικό σύστημα των φυτών συγκρατεί και φιλτράρει το νερό της βροχής μέσω μιας σειράς χημικών και βιολογικών διαδικασιών και το απαλλάσσουν από ρυπαντικές ουσίες πριν καταλήξει στις λεκάνες απορροής. Για παράδειγμα, ρύποι αζώτου που προέρχονται από τις εξατμίσεις των οχημάτων, τα χημικά λιπάσματα και από διάφορες βιομηχανικές δραστηριότητες, αιωρούνται στον αέρα και πέφτουν στο έδαφος μέσω της βροχής, συμβάλλοντας στον ευτροφισμό του νερού, δηλαδή στην αύξηση των χημικών θρεπτικών ουσιών του και προκαλώντας προβλήματα στα επιφανειακά ύδατα. Ωστόσο, μέσω του χώματος των φυτεμένων δωμάτων, το άζωτο διασπάται και τελικό προϊόν είναι το αζωτούχο άλας, που δεν είναι παρά αζωτούχο λίπασμα που βοηθάει τα φυτά στην ανάπτυξη τους. Επιπροσθέτως, αποτελέσματα ερευνών έχουν δείξει ότι ουσίες, όπως είναι τα βαρέα μέταλλα, οι οποίες περιέχονται στο νερό της βροχής, περιορίζονται στο υπόστρωμα του χώματος, αντί να εκχύνονται στα ποτάμια και στις διάφορες λεκάνες απορροής. Έχει εκτιμηθεί ότι **πάνω από 95% του καδμίου, του χαλκού**

και του μολύβδου και 16% του ψευδάργυρου μπορούν να συγκρατηθούν και να αφαιρεθούν από τα νερά της βροχής, εξαιτίας της βλάστησης στα δώματα [83].



Εικόνα 66: Απορροή βρόχινου νερού. Αριστερά χωρίς την ύπαρξη βλάστησης στην ταράτσα, δεξιά, μετά από φιλτράρισμα του από το φυτεμένο δώμα [84]

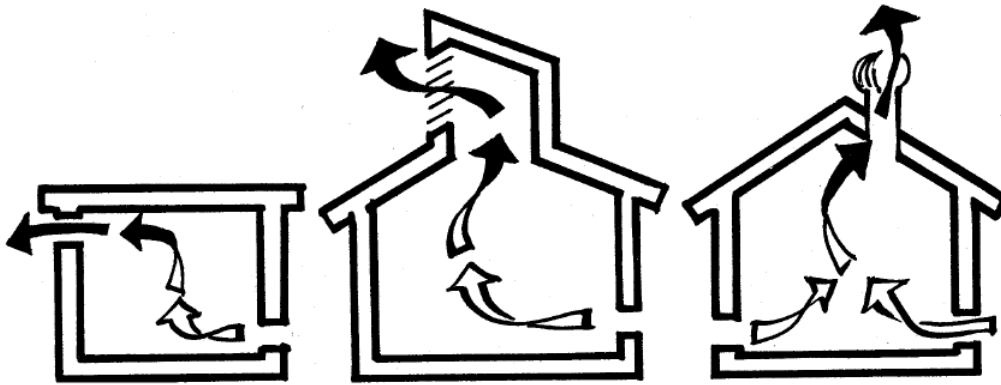
Επίσης, όπως συμβαίνει και γενικότερα με τα φυτά στη φύση, **η βλάστηση στα δώματα συμβάλλει στη συγκράτηση των νερών της βροχής και στην αποφυγή πλημμύρων** μέσω των παρακάτω διεργασιών:

- Μέρος του νερού αποθηκεύεται στο υπόστρωμα του χώματος
- Νερό απορροφάται επίσης από τα ρίζες των φυτών
- Απορρόφηση, επίσης, νερού από το φύλλωμα των φυτών, το οποίο στη συνέχεια επιστρέφει στην ατμόσφαιρα μέσω των διεργασιών της εξατμισοδιαπνοής
- Επιβραδύνεται η ταχύτητα των νερών της βροχής λόγω της διήθησης του από τη φυτική κάλυψη.

Ενδεικτικά, **2.5 εκατοστά φυτού sedum** (Εικόνα 62) πάνω από **αμμοχάλικο 5 εκατοστών** μπορεί να συγκρατήσει μέχρι και **58%** από το νερό των κατακρημνίσεων.

Έρευνα στη Γερμανία, έδειξε ότι οι φυτεμένες ταράτσες **μπορούν να απορροφήσουν έως και 75%** των κατακρημνίσεων που πέφτουν πάνω τους, πράγμα που μεταφράζεται σε μια άμεση μείωση της εκροής στο 25% σε σχέση με τα φυσιολογικά επίπεδα [83].

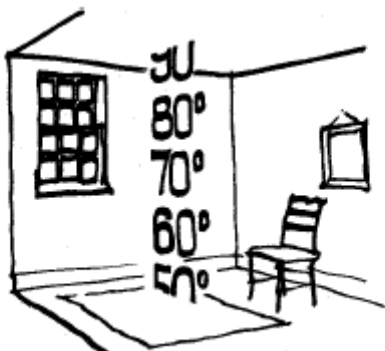
6.2 Φυσικός αερισμός



Εικόνα 67: Φυσικός αερισμός [23]

Ο αερισμός ενός κτηρίου είναι μείζονος σημασίας, αφενός γιατί μπορεί να εξασφαλίσει χαμηλότερες θερμοκρασίες μέσα στα κτήρια κατά τη θερινή περίοδο και αφετέρου διότι είναι απαραίτητη η αντικατάσταση του εσωτερικού αέρα με φρέσκο εξωτερικό, που είναι πλούσιος σε οξυγόνο, για την καλή υγεία των ενοίκων. **Οι φυσικές δυνάμεις που προκαλούν το φυσικό αερισμό είναι ο άνεμος και το φαινόμενο της καμινάδας.** Οι παράμετροι που επηρεάζουν τον φυσικό αερισμό είναι: οι εξωτερικές κλιματικές συνθήκες, ο προσανατολισμός, η θέση, το μέγεθος των ανοιγμάτων, η χρήση του κτηρίου και η δραστηριότητα των ενοίκων.

Η ροή του αέρα μέσα σε ένα κτήριο επιτυγχάνεται, βάση των **θερμοκρασιακών διαβαθμίσεων**, αλλά και λόγω της **διαφοράς πιέσεων** που προκαλούνται γύρω από ένα κτήριο.



Εικόνα 68: Θερμοκρασιακές Διαβαθμίσεις σε Φαρεναίτ. Ο θερμός αέρας βρίσκεται στα υψηλότερα στρώματα [23]

Όσον αφορά στην **επιρροή των θερμοκρασιακών διαφορών**, ισχύει ότι όταν δύο αέριες μάζες έχουν διαφορετικές θερμοκρασίες, οι πυκνότητες και οι πιέσεις τους είναι επίσης διαφορετικές, γεγονός που αυξάνει την **κίνηση του αέρα από την πυκνότερη (ψυχρότερη) στην λιγότερο πυκνή (θερμότερη ζώνη)**.

Επίσης, η διαφορά πίεσης λειτουργεί ως εξής:

Όταν ο άνεμος ενεργεί σε ένα κτήριο εμφανίζεται **υψηλή πίεση στην εκτεθειμένη πλευρά και χαμηλή στην προστατευόμενη όψη**. Η κίνηση του ανέμου γίνεται από τις ζώνες υψηλής πίεσης στις ζώνες χαμηλής πίεσης. Έτσι μπορεί να διεισδύσει σε ένα κτήριο μέσω των ανοιγμάτων του, των οποίων η θέση και το μέγεθος καθορίζουν την ταχύτητα και την κατεύθυνση κίνησης του αέρα [2, 3, 6, 12, 26]

Εν γένει ο **φυσικός αερισμός**, ανάλογα με τον τρόπο που επιτυγχάνεται μπορεί να είναι:

- Κατακόρυφος (φαινόμενο φυσικού ελκυσμού, μέσω κατακόρυφων ανοιγμάτων, καμινάδων ή πύργων αερισμού)
- Κατακόρυφος ενισχυμένος από ηλιακή καμινάδα
- Διαμερή, διαμέσου παραθύρων και άλλων ανοιγμάτων
- Αεριζόμενο κέλυφος

Φαινόμενο Venturi

Για να προκληθεί κυκλοφορία σε συγκεκριμένη κατεύθυνση μπορεί να γίνει χρήση αυτού του φαινομένου. Ο αέρας υποχρεώνεται να κινηθεί από ένα περιορισμένο τμήμα του κτηρίου, όπου η ταχύτητα αυξάνεται και μειώνεται ανάλογα η πίεση του. Η μειωμένη αυτή πίεση δημιουργεί ένα ρεύμα αέρα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να οδηγήσει το θερμό αέρα από το κτήριο.

Το ποσοστό αερισμού είναι:

$$Q = \frac{q}{\rho c_p (T_2 - T_1)} \quad \mathbf{6.2.1}$$

όπου:

Q είναι σε **m³/h**, ο απαιτούμενος όγκος αερισμού

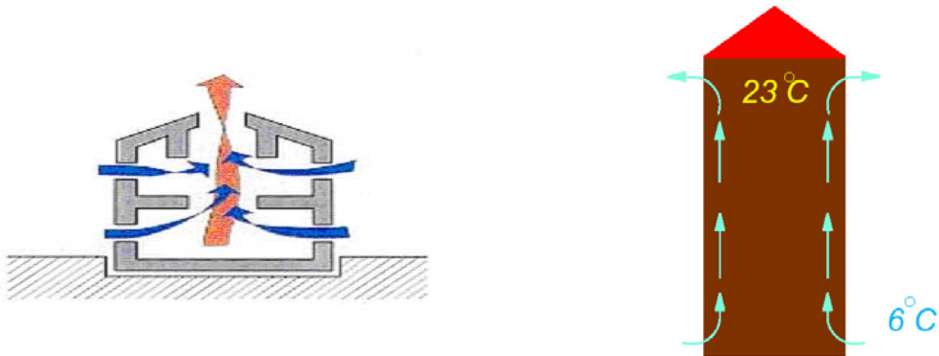
q, το συνολικό θερμικό κέρδος από ενοίκους και συσκευές σε **kcal/h**

ρ, η μέση πυκνότητα του αέρα σε **kg/m³**

c_p, η ειδική θερμότητα του αέρα σε **kcal/(kg°C)**

T₂-T₁, η διαφορά εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας σε **°C**

Φαινόμενο Καμινάδας



Natural Ventilation: Stack Effect

Εικόνα 69: Φαινόμενο Καμινάδας

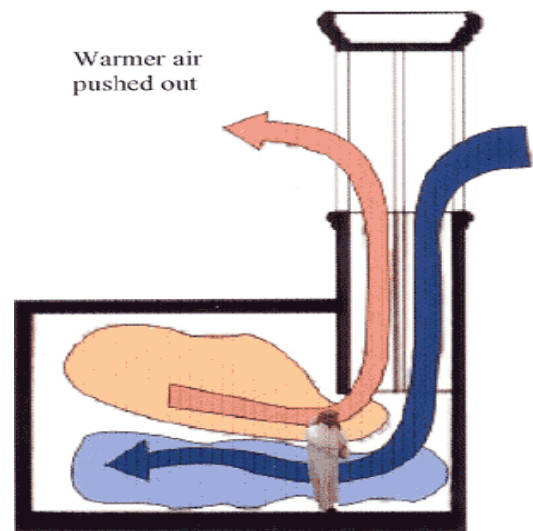
Το φαινόμενο της καμινάδας μπορεί να αξιοποιηθεί σε ένα κτήριο, με ανοίγματα στην κορυφή και στην βάση του. Ο θερμός αέρας ανέρχεται και διαφεύγει προς τα έξω από την κορυφή και ο φρέσκος ψυχρός θα εισέλθει διαμέσου των ανοιγμάτων στη βάση.

Δύο κύριες μορφές του φαινομένου της καμινάδας αποτελούν: Ο πύργος αερισμού και η ηλιακή καμινάδα.

6.2.1 Πύργος αερισμού



Εικόνα 70: Πύργος Αερισμού [19]



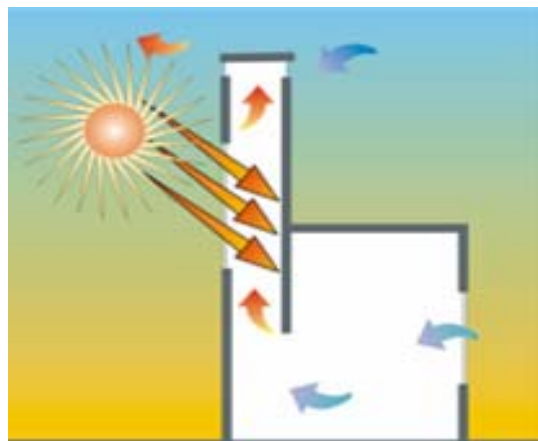
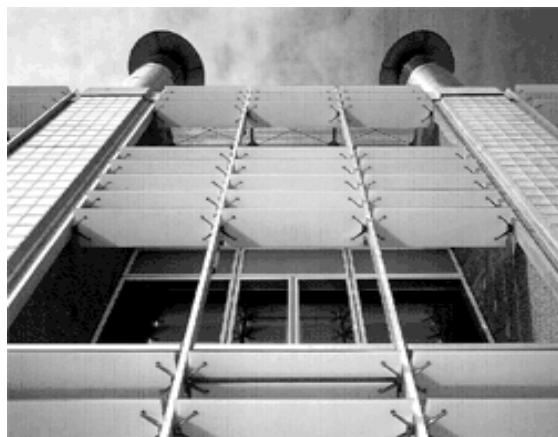
Ο πύργος αερισμού αξιοποιεί την δύναμη του ανέμου μεταφέροντας τον στο εσωτερικό. Το στόμιο εισόδου βρίσκεται στην προσήνεμο πλευρά, παγιδεύει τον άνεμο και τον οδηγεί προς

τα κάτω. Ο αέρας βγαίνει από ένα απάνεμο άνοιγμα του κτηρίου. Εκμεταλλεύεται ,έτσι, το **φαινόμενο του φυσικού ελκυσμού** και όταν δεν υπάρχει έντονο ρεύμα αέρα γύρω από το κτήριο, το σύστημα μπορεί να λειτουργεί με ανεμιστήρα (υβριδικός αερισμός), ο οποίος ενσωματώνεται στο υψηλότερο τμήμα της καμινάδας, εξασφαλίζοντας συνεχή εναλλαγή του εσωτερικού αέρα.

Καμινάδες αερισμού μπορεί να είναι **κατάλληλα διαμορφωμένα κλιμακοστάσια** ή και **εσωτερικά αίθρια** ή **φωταγωγοί των κτηρίων**. Σε περιοχές με έντονο άνεμο υπάρχει η δυνατότητα εφαρμογής πύργων αερισμού, οι οποίοι προεξέχουν σημαντικά από την οροφή του κτιρίου, φέρουν άνοιγμα προς την σημαντική κατεύθυνση του ανέμου και έχουν τη δυνατότητα να «συλλαμβάνουν» τα ψυχρά ρεύματα αέρα και να τα κατευθύνουν μέσα στο χώρο, υποβοηθούμενοι, σε ορισμένες περιπτώσεις, από ανεμιστήρα [3, 81].

6.2.2 Ηλιακή καμινάδα

Φέρει στη νότια ή νοτιοδυτική επιφάνειά της **υαλοπίνακα** αντί τοιχοποιίας (εν γένει έναν **μικρό ηλιακό τοίχο**). Εκμεταλλεύεται τον ήλιο για να θερμάνει την εσωτερική της επιφάνεια.. Η λειτουργία της βασίζεται στο φαινόμενο Venturi (βλέπε παραπάνω) και συμβάλλει αποτελεσματικά στον αερισμό και στην απομάκρυνση της υγρασίας από τους εσωτερικούς χώρους, καθώς μέσω της υψηλής θερμοκρασίας του αέρα που προκύπτει μέσα στην καμινάδα, ενισχύεται σημαντικά το φαινόμενο του φυσικού ελκυσμού και συνεπώς της ανανέωσης του αέρα μέσα στους χώρους.



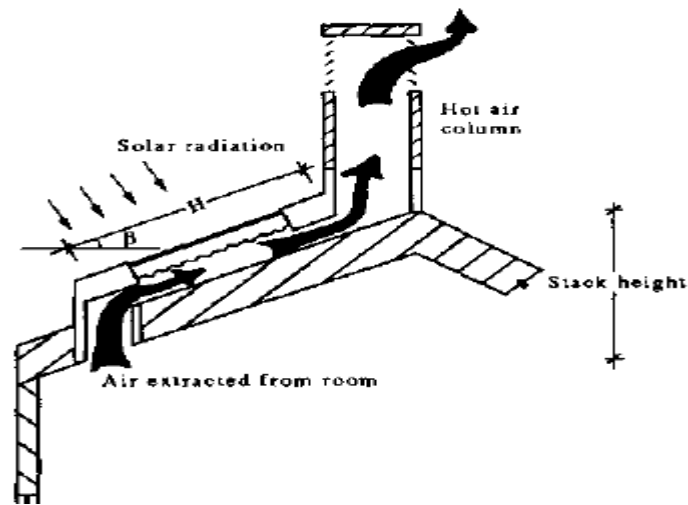
Εικόνα 71: Ηλιακή καμινάδα [19, 81]

Ο αέρας μέσα στην καμινάδα θερμαίνεται και ανεβαίνει προς τα πάνω και αντικαθίσταται από αέρα του σπιτιού. Έτσι επιτυγχάνει **διαρκή ανανέωση του εσωτερικού αέρα**.

Συνιστάται σε περιοχές με υψηλή σχετική υγρασία κατά τη θερινή περίοδο.

Τα πλεονεκτήματα από την χρήση της ηλιακής καμινάδας είναι ότι δεν εξαρτάται από τον άνεμο και έτσι μπορεί να εφαρμοσθεί σε καλοκαιρινές ζεστές, μέρες με άπνοια, οπότε και

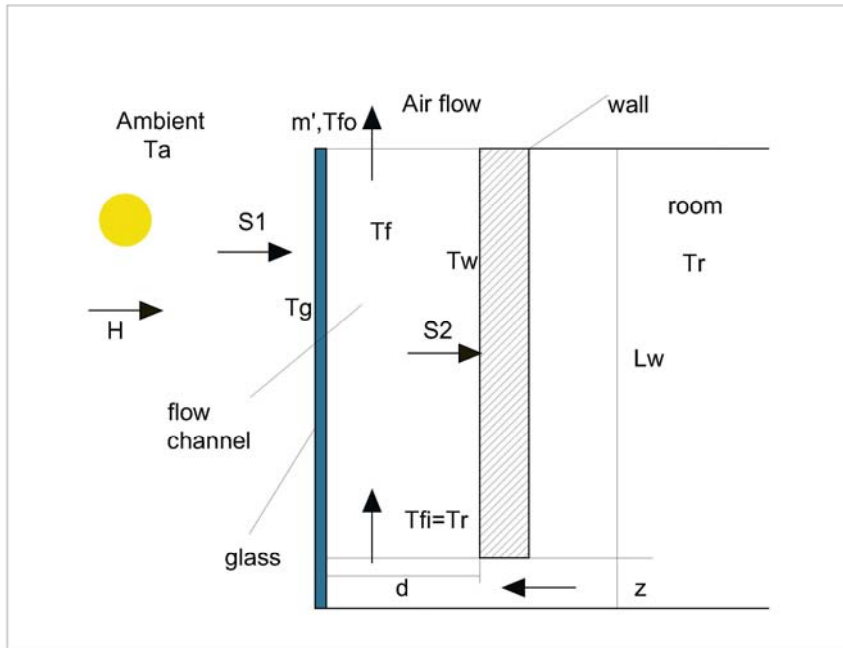
χρειάζεται περισσότερο ο αερισμός. Επιπροσθέτως, η κίνηση του αέρα είναι σχετικά σταθερή και ελεγχόμενη σε σχέση με τις διακυμάνσεις ενός ανέμου [3, 81].



Εικόνα 72: Ηλιακή Καμινάδα

Ανάλυση Λειτουργίας Ηλιακής Καμινάδας [85]

Η λειτουργία της ηλιακής καμινάδας είναι παρόμοια με τον τοίχο Trombe, σαν σύλληψη. Η ειδοποιός διαφορά είναι ότι ενώ ο τοίχος Trombe έχει μια θερμική μάζα για να απορροφάει την ηλιακή ενέργεια και ανακυκλοφορεί το θερμό αέρα για επίτευξη παθητικής θέρμανσης, η ηλιακή καμινάδα είναι σχεδιασμένη για να παρέχει αερισμό στο κτήριο κατά τη διάρκεια της ημέρας. Στην **εικόνα 73**, φαίνεται μια ηλιακή καμινάδα. Η μια πλευρά της αποτελείται από γυαλί, σε κάποια απόσταση **d**, από τον εσωτερικό τοίχο. Ο αέρας του εσωτερικού χώρου εισέρχεται στην καμινάδα από το κάτω άνοιγμα, ύψους **z**, με μια **θερμοκρασία εισόδου $T_{f,i}$** , που είναι ίση με την **θερμοκρασία T_r του δωματίου**. Ο θερμός αέρας διαφεύγει από την κορυφή της καμινάδας με **θερμοκρασία εξόδου $T_{f,o} > T_{f,i}$** . Η **θερμοκρασία του τζαμιού είναι T_g** , ενώ του **τοίχου T_w** .



Εικόνα 73: Λειτουργία Ηλιακής καμινάδας

Από την **ακτινοβολία H** που προσπίπτει στην ηλιακή καμινάδα, ένα μέρος της S_1 , απορροφάται από το τζάμι και ένα μέρος της S_2 , από τον τοίχο.

Το **θερμικό ισοζύγιο** που προκύπτει είναι το εξής:

$$T_g : S_1 + h_{rwg}(T_w - T_g) + h_g(T_f - T_g) = U_t(T_g - T_a) \quad 6.2.2.1.$$

Όπου:

h_{rwg} , συντελεστής μεταφοράς θερμότητας λόγω ακτινοβολίας από τον τοίχο στο τζάμι ($W m^{-2} K^{-1}$)

T_f , η θερμοκρασία του αέρα στο διάκενο ($^{\circ}C$)

h_g , συντελεστής μεταφοράς θερμότητας λόγω συναγωγής (ειδική συναγωγιμότητα) μεταξύ του τζαμιού και του αέρα του διακένου ($W m^{-2} K^{-1}$)

U_t , ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας (θερμοδιαπερατότητα) του πάνω μέρους του γυαλιού ($W m^{-2} K^{-1}$)

T_a , η θερμοκρασία περιβάλλοντος ($^{\circ}C$)

$$T_f : h_w(T_w - T_f) = h_g(T_f - T_g) + q' \quad 6.2.2.2.$$

Όπου:

h_w , συντελεστής μεταφοράς θερμότητας λόγω συναγωγής (ειδική συναγωγιμότητα) μεταξύ του τοίχου και του αέρα του διακένου ($W m^{-2} K^{-1}$)

T_f , η θερμοκρασία του αέρα στο διάκενο ($^{\circ}C$)

h_g , συντελεστής μεταφοράς θερμότητας λόγω συναγωγής (ειδική συναγωγιμότητα) μεταξύ του τζαμιού και του αέρα του διακένου ($W m^{-2} K^{-1}$)

q' , το καθαρό θερμικό κέρδος από το ρεύμα αέρα ($W m^{-2}$), που είναι ίσο με:

$$q' = m' c_f (T_f - T_{f,i}) / \gamma W L \quad 6.2.2.3.$$

Όπου:

m' , η παροχή μάζας του αέρα (kg/s)

c_f , η θερμοχωρητικότητα του αέρα ($J Kg^{-1} K^{-1}$)

T_f , η θερμοκρασία του αέρα στο διάκενο ($^{\circ}C$)

W , το πλάτος του καναλιού (m)

L , ολικό μήκος της καμινάδας (m)

γ , σταθερά ίση με 0.74

$$T_w : S_2 = h_w (T_w - T_f) + h_{rwg} (T_w - T_g) + U_b (T_w - T_r) \quad 6.2.2.4.$$

Με

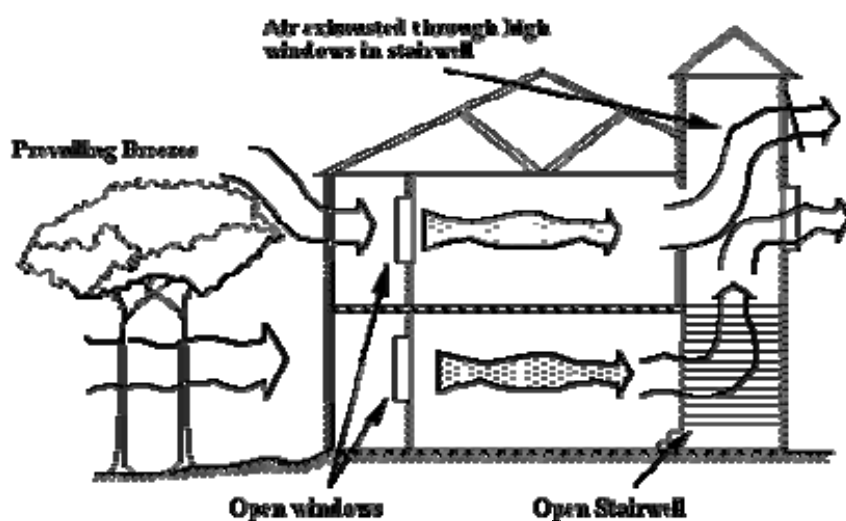
U_b , ο ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας (θερμοπερατότητα) μεταξύ του κατακόρυφου τοίχου και του δωματίου ($W m^{-2} K^{-1}$)

Από πειραματική μελέτη του Πανεπιστημίου της Μαλαισίας που προτείνει και το παραπάνω υπολογιστικό μοντέλο [85], με αναφορά στο σχήμα 73, για τοίχο μήκους $L_w=1.875m$, με κανάλι αέρα πλάτους $W=0.45m$, βάθους $d=0.1m, 0.2m, 0.3m$ και με άνοιγμα ύψους $z=0.1m$, προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:

- Ο τοίχος θερμικής απορρόφησης της καμινάδας είχε μεγαλύτερη επίδραση στην θερμοκρασιακή διακύμανση του αέρα, στην περίπτωση της «στενότερης» καμινάδας, δηλαδή για $d=0.1m$.
- Η θερμοκρασία του τοίχου ήταν υψηλότερη από τη θερμοκρασία του αέρα, αλλά και από του γυαλιού, σε όλο το μήκος της καμινάδας. Παρατηρήθηκε ότι η θερμοκρασία του αέρα είχε μια θερμοκρασιακή μείωση της τάξης του $1.7^{\circ}C$, λόγω τη ανάμιξης του ζεστού αέρα με τον αέρα περιβάλλοντος.
- Η μέση θερμοκρασία του αέρα ήταν πάντα μικρότερη από την αντίστοιχη μέση θερμοκρασία του γυαλιού για την ίδια ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής

ακτινοβολίας. Ενδεικτικά, για ηλιακή ακτινοβολία $H=670 \text{ Wm}^{-2}$ και διάκενο $d=0.1\text{m}$, στο μέσο της καμινάδας, η θερμοκρασία του γυαλιού ήταν $T_g=43.5 \text{ }^\circ\text{C}$, του αέρα $T_f=41.9 \text{ }^\circ\text{C}$ και του τοίχου $T_w=66.1 \text{ }^\circ\text{C}$

- Όπως ήταν αναμενόμενο οι μέσες θερμοκρασίες του αέρα, του τοίχου και του γυαλιού ήταν ανάλογες με την ηλιακή ακτινοβολία. Επίσης, με αύξηση της απόστασης d (εικόνα 72), αυτή η αύξηση των θερμοκρασιών μειωνόταν. Διότι οι μεγαλύτερες παροχές αέρα είχαν ως αποτέλεσμα να ψυχραίνουν τα στοιχεία της καμινάδας
- Διαπιστώθηκε επίσης, ότι ηλιακή καμινάδα με διάκενο βάθους $d=0.3\text{m}$ προκαλεί 56%περισσότερο αερισμό από άλλη βάθους $d=0.1\text{m}$

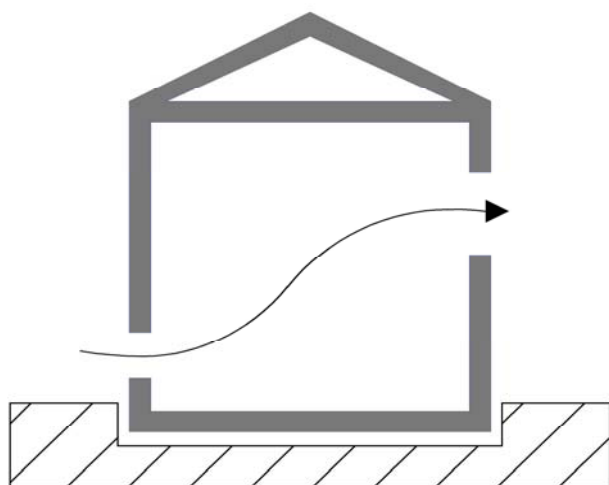


Εικόνα 74: Λειτουργία ηλιακής καμινάδας κατασκευασμένη το εσωτερικό κτηρίου. Από τα ανοιχτά παράθυρα (αριστερά στο σχήμα) εισέρχεται ο αέρας ο οποίος κατευθύνεται στο κλιμακοστάσιο που λειτουργεί ως ηλιακή καμινάδα. Ο αέρας θερμαίνεται και διαφεύγει από τα παράθυρα-θυρίδες στο πάνω μέρος της καμινάδας. Η όλη διαδικασία ευνοεί τον φυσικό αερισμό του σπιτιού [86]

Επίσης, από προσομοίωση και πείραμα του πανεπιστημίου της Πορτογαλίας [87] πάνω σε ηλιακή καμινάδα της περιοχής βρέθηκαν τα εξής συμπεράσματα:

- Είναι θεμελιώδης η τοποθέτηση εξωτερικής μόνωσης στον τοίχο, προκειμένου να γίνεται δυνατή η εκμετάλλευση του ηλιακού κέρδους. Χωρίς μόνωση η απόδοση του συστήματος μπορεί να μειωθεί έως και 60%. Πάχος μόνωση 5cm είναι επαρκές
- Το σωστό πάχος της καμινάδας εξαρτάται από τη χρήση του κτηρίου. Για ημερήσια λειτουργία προτείνεται μικρό πάχος, ενώ για νυχτερινή μεγαλύτερο. Ωστόσο, δεν παρατηρούνται σημαντικές βελτιώσεις στην απόδοση για πάχος πάνω από 10 cm

6.2.3 Διαμπερήσ αερισμός



Εικόνα 75: Διαμπερήσ αερισμός

Ο αέρας διεισδύει, λόγω διαφοράς πίεσης, μέσω των ανοιγμάτων σε ένα κτήριο και η κατεύθυνση του μπορεί να ρυθμιστεί εξωτερικά με χρήση βλάστησης. **Ως βέλτιστη θεωρείται η διεύθυνση ανέμου που σχηματίζει γωνία 45°** ως προς τα ανοίγματα εισόδου. **Η ταχύτητα του αέρα είναι μέγιστη**, όταν τα ανοίγματα εισόδου του αέρα είναι μικρότερα από τα αντίστοιχα εξόδου του και μάλιστα για καλύτερη διανομή του, όταν τα ανοίγματα αυτά είναι διαγώνια αντίθετα το ένα από το άλλο, το άνοιγμα εισόδου χαμηλότερα και το άνοιγμα εξόδου υψηλότερα. Η χρήση μονόπλευρου αερισμού, δηλαδή ανοιγμάτων μόνο από τη μία πλευρά δε συνίσταται λόγω κακής κυκλοφορίας του αέρα. **Ο νυχτερινός διαμπερήσ αερισμός** είναι ιδιαίτερα αποδοτικός, τι καλοκαιρινές μέρες, κατά τις οποίες ο ημερήσιος αερισμός δεν είναι δυνατός. Ο κρύος αέρας, κυκλοφορώντας μέσα στο χώρο, **απάγει τη θερμότητα που είναι αποθηκευμένη στη θερμική μάζα του κτηρίου και έτσι την επόμενη μέρα, το κτήριο βρίσκεται σε χαμηλότερη θερμοκρασία.** Για την αύξηση της απόδοσης του νυχτερινού αερισμού, συνίσταται η τοποθέτηση ανεμιστήρων οροφής που αυξάνουν την ταχύτητα του. Μελέτη σε κτήρια γραφείων της Αθήνας έχει δείξει ότι με την εφαρμογή του αερισμού κατά τη διάρκεια της νύχτας, **μπορεί να επιτευχθεί μείωση κατά 30% στις ανάγκες για ψυκτικά φορτία** για τον κλιματισμό των χώρων.

Για βελτίωση του διαμπερή αερισμού μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανεμοθραύστες, για να εντείνουν τις διαφορές πίεσης. Οι θαμνοφράκτες για παράδειγμα μπορούν να επιτρέψουν μια απαλή αύρα να φιλτράρεται μέσα από το φύλλωμα, ενώ ένας κτιστός ανεμοφράκτης δημιουργεί μια ήσυχη, προστατευμένη ζώνη πίσω του. Διάκενα στους ανεμοθραύστες, ανοίγματα μεταξύ των κτηρίων ή μεταξύ του εδάφους και ενός στεγάστρου από δέντρα

μπορούν να δημιουργήσουν διαύλους ανέμου, αυξάνοντας κατά 20% περίπου τις ταχύτητες του ανέμου [3, 81].

6.2.4 Αεριζόμενο κέλυφος

Πρόκειται για κατασκευή **διπλού στρώματος δομικών υλικών**, είτε στην **οροφή** είτε στις **προσόψεις** του κτηρίου, μέσα στο οποίο κυκλοφορεί αέρας που έρχεται σε επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον. **Λόγω διαφοράς πυκνότητας**, δημιουργείται ροή στο διάκενο, και απάγεται ο θερμός αέρας. **Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού**, το αεριζόμενο κέλυφος συνεισφέρει στη σκίαση του περιβλήματος και, συνεπώς, στη θερμική προστασία του κτηρίου, αλλά και στη μεταφορά θερμότητας από το περίβλημα στο εξωτερικό περιβάλλον, μέσω του αέρα που κυκλοφορεί στο διάκενο.

Κατά τους χειμερινούς μήνες, ο αέρας που κυκλοφορεί στο κέλυφος είναι χαμηλότερης ταχύτητας του εξωτερικού, οπότε μέσω του διπλού κελύφους, οι θερμικές απώλειες προς το εξωτερικό περιβάλλον περιορίζονται, αυξάνεται δηλαδή η θερμομονωτική ικανότητα του κελύφους. Πρέπει ωστόσο, να είναι θερμομονωμένο το εσωτερικό τμήμα του αεριζόμενου κελύφους.

Με την χρήση αεριζόμενων δομικών στοιχείων αποτρέπονται φαινόμενα συμπύκνωσης υδρατμών μέσα στην τοιχοποιία (ή την οροφή) και τις επικαλύψεις, ενώ προστατεύονται τα δομικά υλικά του κτηρίου.

Εφαρμόζεται κυρίως σε κτήρια μεσαίου ύψους και μεγάλου πλάτους.

Παραλλαγή του συστήματος αποτελεί η αεριζόμενη γυάλινη πρόσοψη, η οποία χρησιμοποιεί δύο στρώματα διαφορετικών δομικών υλικών και ένα διάκενο αέρα ανάμεσά τους. Το εξωτερικό στρώμα της πρόσοψης είναι γυάλινο, ενώ το εσωτερικό από συμπαγές υλικό. **Πλεονεκτήματα** τέτοιων συστημάτων είναι η επίτευξη πολύ καλών συνθηκών φυσικού φωτισμού στο κτήριο, σε συνδυασμό με αισθητικό αποτέλεσμα. Ωστόσο, σημειώνεται αύξηση των θερμικών κερδών, αλλά και των θερμικών απωλειών [88].

Μελέτη του ΚΑΠΕ, διερεύνησε τη θερμική συμπεριφορά ενός αεριζόμενου στοιχείου οροφής σε κλιματικές συνθήκες θερμών και ψυχρών μηνών. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων, σε σχέση με συμβατική οροφή φαίνονται στον Πίνακα 19 [10].

Πίνακας 19: Σύγκριση συμπεριφοράς αεριζόμενης με συμβατική οροφή (θετικό πρόσημο: καλύτερη συμπεριφορά, αρνητικό πρόσημο :χειρότερη συμπεριφορά) [10]

Μείωση θερμικών απώλειες αεριζόμενης / συμβατικής οροφής

Περίοδος	Διάκενο (cm)	Ημέρα	Νύκτα
Καλοκαίρι	8	45%	-18%
	6	56%	-13%
Χειμώνας	6	70%	-11%
	8	28%	-10%

6.3 Φυσική Ψύξη-Δροσισμός

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι που μπορούν να μας εξασφαλίσουν ψύξη με φυσικό τρόπο. Αέρας που διαρρέει το κτήριο είναι δυνατόν να ψυχθεί με εξάτμιση, ενώ ο αέρας αερισμού μπορεί να μειωθεί με ψύξη του από το έδαφος. Είναι δυνατή και αποτελεσματική επίσης, η ψύξη ενός χώρου μέσω της νυχτερινής ακτινοβολίας θερμότητας προς τον ουρανό. Μια λογική αύξηση της ταχύτητας του αέρα στο χώρο, μπορεί να προκαλέσει αυξημένη άνεση των ενοίκων, δεδομένου ότι η θερμοκρασία του αέρα είναι χαμηλότερη από τη θερμοκρασία του δέρματος. Η ψύξη που αντιλαμβάνεται ένα άτομο μπορεί επίσης να εμφανιστεί με την αύξηση του ρυθμού εξάτμισης της επιφάνειας του δέρματος με τη δημιουργία κίνησης του αέρα, ώστε να διακόπτεται το στρώμα του κεκορεσμένου αέρα που περιβάλλει το σώμα.

Υπάρχουν, λοιπόν, **οι εξής τρόποι ψύξης:**

- Από εξάτμιση (πύργος δροσισμού, άμεση- έμμεση συνδυασμένη εξάτμιση)
- Από το έδαφος
- Από ακτινοβολία

6.3.1 Δροσισμός από εξάτμιση

Για να αλλάξει κατάσταση το νερό και από υγρό να μετατραπεί σε ατμό, απαιτείται ένα ορισμένο ποσό θερμότητας, που ονομάζεται **λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης**. Για να συμβεί αυτό είναι απαραίτητο η πίεση ατμών του νερού (που είναι σε μορφή σταγονιδίων ή βρεγμένης επιφάνειας) να είναι υψηλότερη από τη μερική πίεση των υδρατμών στην παρακείμενη ατμόσφαιρα. Όταν η απορρόφηση θερμότητας, για να επιτελεσθεί αυτή η αλλαγή φάσης, γίνεται από θερμό αέρα, εμφανίζεται πτώση της θερμοκρασίας του αέρα, με παράλληλη αύξηση των επιπέδων υγρασίας του.



Εικόνα 76: Δροσισμός από Εξάτμιση [89].

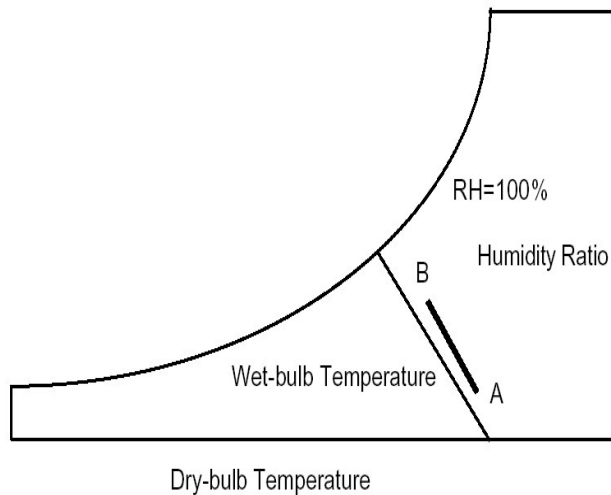
Στην περίπτωση αυτή, έχουμε **άμεσο εξατμιστικό δροσισμό** (Διάγραμμα 18), σε αντίθεση με το **έμμεσο εξατμιστικό δροσισμό** (Διάγραμμα 19), που συμβαίνει όταν η εξάτμιση συνοδεύεται από μείωση της θερμοκρασίας του γειτονικού αέρα, χωρίς όμως να αυξηθεί η περιεχόμενη υγρασία σε αυτόν. Η τελευταία περίπτωση απαντάται όταν η εξάτμιση του νερού γίνεται πάνω σε μια επιφάνεια ή μέσα σε ένα σωλήνα.

Η ψύξη από εξάτμιση είναι δυνατόν να μεγιστοποιηθεί με την αύξηση της επιφάνειας επαφής του αέρα με το νερό, αλλά και με τη σχετική κίνηση του αέρα και του νερού.

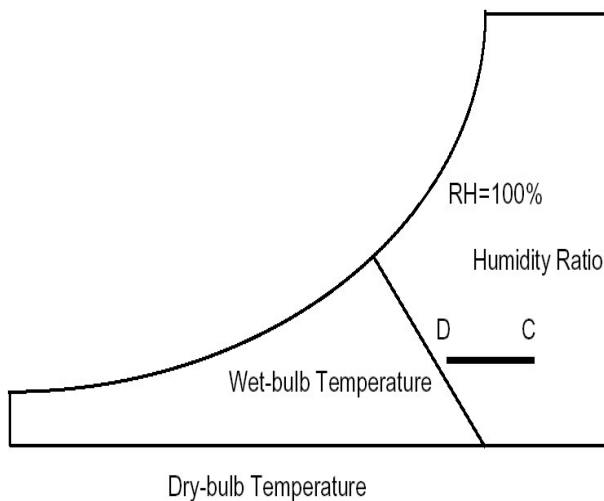
Η άμεση ψύξη από εξάτμιση, επειδή αυξάνει την υγρασία των εσωτερικών χώρων, πρέπει να συνδυάζεται από ικανοποιητικό ρυθμό ανανέωσης του αέρα, για αποφυγή συμπύκνωσης και ανάπτυξης μούχλας. Τα συστήματα άμεσης εξατμιστικής ψύξης περιλαμβάνουν τη **χρήση βλάστησης** για εξατμισοδιαπνοή, καθώς και **σιντριβάνια, κρήνες, πισίνες, υδάτινους πίδακες**, σε εξωτερικούς χώρους κοντά στα κτήρια, αλλά και σε εσωτερικές αυλές και αίθρια, ώστε να ψύχουν τον αέρα που εισέλθει στο κτήριο. Μερικά συστήματα βασίζονται στη **χρήση πύργων** στους οποίους ψεκάζεται νερό. Ο εξωτερικός αέρας εισέρχεται στον πύργο, ψύχεται λόγω εξάτμισης (του ψεκαζόμενου νερού) και κατόπιν μεταφέρεται στο κτήριο.

Τεχνικές έμμεσου εξατμιστικού δροσισμού είναι οι **ανοιχτές λίμνες οροφής** και ο ψεκασμός των δωματίων με νερό. Επιπλέον, υπάρχουν και υβριδικές (μηχανικές) ψυκτικές μονάδες εξάτμισης (άμεσης, έμμεσης ή συνδυασμένης εξάτμισης) [3, 6, 22, 89].

Ο δροσισμός από εξάτμιση δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε υγρά κλίματα όπου ο αέρας είναι κοντά στην κατάσταση κορεσμού.



Διάγραμμα 18: Άμεσος δροσισμός από εξάτμιση. Ο αέρας που πρόκειται να ψυχθεί βρίσκεται αρχικά στο σημείο A, ενώ λόγω της άμεσης εξάτμισης, ψύχεται και φτάνει στο σημείο B. Η διαδικασία γίνεται υπό σταθερή θερμοκρασία υγρής σφαίρας, δηλαδή έχουμε πτώση της θερμοκρασίας του αέρα, με παράλληλη αύξηση της υγρασίας του [22]



Διάγραμμα 19: Έμμεσος δροσισμός από εξάτμιση. Ο αέρας που πρόκειται να ψυχθεί βρίσκεται αρχικά στο σημείο C, ενώ λόγω της έμμεσης εξάτμισης, ψύχεται και φτάνει στο σημείο D. Η διαδικασία γίνεται υπό σταθερό λόγο υγρασίας. Δηλαδή, η θερμοκρασία του αέρα μειώνεται, αλλά παραμένει σταθερός ο λόγος υγρασίας του (Δηλαδή ο λόγος της μάζας των υδρατμών προς τη μάζα του ξηρού αέρα)[22]

6.3.2 Δροσισμός από το έδαφος

Πρόκειται για αξιοποίηση της χαμηλής θερμοκρασίας του εδάφους σε σχέση με τον αέρα περιβάλλοντος κατά τους θερμούς μήνες. Ενώ σε πολλά σημεία μιας χώρας μπορεί να υπάρχουν ισχυρές διακυμάνσεις στη θερμοκρασία αναλόγως της εποχής, από καύσωνα το καλοκαίρι σε θερμοκρασίες υπό του μηδενός τον χειμώνα, μερικά μόλις μέτρα κάτω από την επιφάνεια της γης το έδαφος παραμένει σε μια σχετικά σταθερή θερμοκρασία. Σε

εξάρτηση από το γεωγραφικό πλάτος, οι θερμοκρασίες εδάφους κυμαίνονται από **10°C έως 21°C**, για τον ελλαδικό χώρο. Αυτή η θερμοκρασία εδάφους είναι θερμότερη από τον αέρα πάνω από το έδαφος κατά τη διάρκεια του χειμώνα και ψυχρότερη από τον αέρα το καλοκαίρι. Η εκμετάλλευση αυτής της ιδιότητας του εδάφους μπορεί αν γίνει με δύο τρόπους. Είτε με **διάχυση** θερμότητας προς το έδαφος με **αγωγή**, είτε με **μεταφορά**.

Στην πρώτη περίπτωση, μέρος του περιβλήματος του κτηρίου πρέπει να βρίσκεται σε άμεση επαφή με το εδαφικό υλικό. **Η κατασκευή υπόσκαφων ή ημιυπόσκαφων κτηρίων**, εφόσον το επιτρέπουν οι τοπογραφικές συνθήκες, συνεισφέρει σημαντικά στη μείωση του ψυκτικού φορτίου των κτηρίων. Με αυτόν τον τρόπο, σε θερμά και ξηρά κλίματα, αποβάλλεται θερμότητα από το εσωτερικό προς το έδαφος. Για να εφαρμοσθεί αυτή η μέθοδος, τα τμήματα του περιβλήματος κάτω από το έδαφος δε θα πρέπει να μονώνονται, αλλά συνίσταται να υγραμονώνονται για να αποφεύγονται προβλήματα από την υγρασία στις επιφάνειες τους. Ωστόσο, σε κλίματα με ψυχρούς χειμώνες συνιστάται η θερμομόνωση του κτηριακού κελύφους, ώστε να μειώνονται οι θερμικές απώλειες προς το έδαφος.

Στη δεύτερη περίπτωση γίνεται χρήση **υπεδάφιου συστήματος εναλλακτών**, που σκοπό έχει να ψυχθεί ο αέρας για τον αερισμό του κτηρίου πριν εισέλθει στο κτήριο με τη διέλευση του μέσα από ένα υπόγειο αγωγό, αφού πρώτα αναρροφηθεί από ανεμιστήρες. Εκτός από το καλοκαίρι, το σύστημα λειτουργεί και το χειμώνα, συμβάλλοντας στην προθέρμανση του ψυχρού εξωτερικού αέρα, καθώς το έδαφος είναι το χειμώνα θερμότερο από τον εξωτερικό αέρα [3, 22, 38, 89].

6.3.3 Δροσισμός από ακτινοβολία

Για να γίνει μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία, πρέπει να υπάρχουν δύο παρακείμενες μάζες, οι οποίες να έχουν διαφορετική θερμοκρασία. **Το θερμότερο στοιχείο ακτινοβολεί θερμότητα προς το ψυχρότερο**. Αν το ψυχρότερο στοιχείο έχει σταθερή θερμοκρασία, το άλλο στοιχείο θα ψυχθεί τόσο ώστε να φτάσει σε κατάσταση ισορροπίας προς το ψυχρότερο. Ο νυχτερινός θόλος, ακόμα και κατά την καλοκαιρινή περίοδο είναι σταθερά ψυχρός, όταν είναι καθαρός, χωρίς σύννεφα. Επομένως, κάθε κτηριακό στοιχείο που αντικρίζει τον ουρανό ανταλλάσσει θερμότητα με αυτόν. Για να υπάρξει σημαντική ροή θερμότητας, θα πρέπει οι διαφορές θερμοκρασίας να είναι τουλάχιστον **7°C**. Με βάση αυτή την αρχή, ένα σημαντικό ποσό της θερμότητας που έχει συλλεχθεί σε μία μάζα νερού ή σε ένα κτήριο **κατά τη διάρκεια της μέρας** θα ακτινοβοληθεί προς τον ουρανό, τις **νυχτερινές ώρες**, σε καλό καιρό. Κατά αυτόν τον τρόπο, στο τέλος της νύχτας έχει επιτευχθεί ψύξη του νερού ή του κτηρίου. Οι αδιαφανείς κτηριακές επιφάνειες θα πρέπει να έχουν μεγάλη ανακλαστικότητα στην περιοχή της ακτινοβολίας μικρού κύματος, ώστε να ανακλούν την ανεπιθύμητη ηλιακή ακτινοβολία, αλλά ταυτόχρονα να έχουν μέγιστη ικανότητα εκπομπής της ακτινοβολίας

μεγάλου μήκους κύματος, ώστε να υποβοηθούν τη διαδικασία ακτινοβολίας θερμότητας από το κτήριο προς τον ουρανό. Σε υγρά κλίματα, η επίδραση της ακτινοβολίας θερμότητας δεν είναι τόσο έντονη, διότι ο υγρός αέρας είναι λιγότερο διαπερατός από την υπέρυθη ακτινοβολία (μεγάλου μήκους κύματος), απ'ότι ο ξηρός αέρας. Η νυχτερινή ακτινοβολία από κατακόρυφες επιφάνειες είναι περιορισμένη, γι' αυτό το λόγο γίνεται καλύτερη χρήση του φαινομένου στις οροφές των κτηρίων. Τα συνηθέστερα συστήματα νυκτερινής ακτινοβολίας είναι ο μεταλλικός ακτινοβολητής τοποθετημένος στην οροφή του κτιρίου και η λίμνη οροφής, η οποία έχει ήδη αναφερθεί.

Το σύστημα του μεταλλικού ακτινοβολητή, αποτελείται από μεταλλική, αυλακωτή, διπλή πλάκα τοποθετημένη εξωτερικά της οροφής του κτιρίου, η οποία ακτινοβολεί προς τον ουρανό μεγάλα ποσά θερμότητας, κατά τις νυχτερινές ώρες. Μπορούν να προστεθούν πτερύγια για να μεγιστοποιηθεί η μετάδοση θερμότητας από τον εσωτερικό αέρα προς το δροσιστικό στοιχείο. Η εξωτερική του επιφάνεια είναι ανακλαστική, ενώ στην εσωτερική πλευρά τοποθετείται θερμομονωτικό υλικό. Μέσα από το σύστημα του ακτινοβολητή διέρχεται θερμός αέρας από το κτήριο, ψύχεται κατά την επαφή του με την ψυχρή εξωτερική πλευρά του ακτινοβολητή και επαναδιοχετεύεται στο εσωτερικό του κτηρίου. Σε περιοχές με έντονα ρεύματα αέρα, το σύστημα καλύπτεται με φύλλο πολυαιθυλενίου, που είναι διαπερατό από την υπέρυθη ακτινοβολία. Το πολυαιθυλένιο επιτρέπει την εκπομπή της θερμικής ακτινοβολίας, ενώ περιορίζει την επαφή της ψυχρής επιφάνειας του ακτινοβολητή με το θερμότερο αέρα του περιβάλλοντος και συνεπώς περιορίζει την αύξηση της θερμοκρασίας στον ακτινοβολητή [3, 22, 38, 89].

7. Φωτισμός



Εικόνα 77: Φυσικός φωτισμός [45]

Η σωστή εκμετάλλευση του φυσικού φωτισμού, μπορεί να αντικαταστήσει σε μεγάλο βαθμό τον τεχνητό φωτισμό και να συμβάλει σημαντικά στην ενεργειακή αποδοτικότητα και στην

εξοικονόμηση ενέργειας, γενικότερα, ενός κτηρίου, στην οπτική άνεση και στην βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης των ενοίκων. Ένα καλό σύστημα φυσικού φωτισμού λαμβάνει υπόψη τον **προσανατολισμό**, την **οργάνωση** και τη **γεωμετρία των χώρων** που πρόκειται να φωτιστούν, την **εγκατάσταση**, το **σχήμα** και τις **διαστάσεις των ανοιγμάτων**, τη **θέση** και τις **ιδιότητες** των επιφανειών των εσωτερικών χωρισμάτων, που ανακλούν το φυσικό φως και επηρεάζουν τη διανομή του, καθώς και τη **θέση και το σχήμα των διατάξεων** που παρέχουν προστασία από το υπερβολικό φως και τη θάμβωση. Πρόκειται δηλαδή για μια ενιαία μελέτη του χώρου, των υαλοστασίων, των πλαισίων και των διατάξεων σκιασμού [3, 6].

7.1 Φυσικός φωτισμός και ευεξία ενοίκων

Ο φυσικός φωτισμός στα κτήρια συνίσταται ιδιαίτερα, δεδομένης της μεταβλητότητας και της ευαισθησίας του, που δημιουργούν περιβάλλον πιο ευχάριστο από το αντίστοιχο μονότονο που δημιουργεί ο τεχνητός φωτισμός. Υποστηρίζεται ότι συνδέεται με την καλή **ψυχική υγεία του ατόμου** και το σύνδρομο εποχικής συναισθηματικής διαταραχής. Πειραματικές ομάδες με σημάδια μελαγχολίας είχαν μετρήσιμες αλλαγές στη διάθεση τους, όταν υπέστησαν σε θεραπεία με χρήση φωτός παρόμοιο με το ηλιακό κατά την θερινή περίοδο.

7.2 Οπτική άνεση

Η οπτική άνεση περιγράφει την ικανότητα του ατόμου να εντοπίζει, να αναγνωρίζει και να αναλύει λεπτομερώς εύκολα ό,τι βρίσκεται στο πεδίο ορατότητας του, λαμβάνοντας υπόψη την ταχύτητα, την ποιότητα και τη ακρίβεια της αντιληπτικότητας του. Εξαρτάται κατά κύριο λόγο από της **συνθήκες φωτισμού** του χώρου στον οποίο βρίσκεται το άτομο. Όταν υπάρχει **ανεπαρκής φωτισμός**, ή το φαινόμενο της **θάμβωσης** (κακή κατανομή του φωτός που μπορεί να περισπά ελαφρά ή να τυφλώνει οπτικά τους ενοίκους, δημιουργώντας αίσθημα κόπωσης και δυσφορίας), η ικανότητα του ατόμου να δει αντικείμενα ή λεπτομέρειες σε ένα χώρο μειώνεται. Όσον αφορά στην οπτική άνεση, η ικανότητα του οφθαλμού να προσαρμόζεται στις αλλαγές στάθμης και στο χαρακτήρα του φωτισμού είναι πολύ σημαντική για τον μελετητή του φωτισμού. Εφαρμόζεται εμπειρικά ότι το ανθρώπινο μάτι μπορεί εύκολα να προσαρμοστεί στην αλλαγή από το ζωηρό φυσικό φως της υπαίθρου, σε ένα χώρο με τεχνητό φωτισμό, αρκεί η στάθμη του τεχνητού φωτισμού (η ποσότητα του δηλαδή) να είναι το ένα εκατοστό (ή περισσότερο) από την στάθμη του εξωτερικού φωτισμού. Το μέγεθος προσδιορίζεται από την ανάγκη του οφθαλμού να προσαρμοστεί όχι μόνο στην αλλαγή της στάθμης λαμπρότητας, αλλά επίσης στην αλλαγή στον χαρακτήρα του φωτός. Για την εξασφάλιση καλής οπτικής άνεσης **απαιτείται στους εσωτερικούς χώρους**

να υπάρχει επαρκής ποσότητα φωτισμού (στάθμη φωτισμού) αφενός και αφετέρου ομαλή κατανομή, ώστε να αποφεύγονται έντονες διαφοροποιήσεις της στάθμης, οι οποίες προκαλούν το φαινόμενο της θάμβωσης. Τόσο η επάρκεια όσο και η κατανομή του φωτισμού εξαρτώνται από τα γεωμετρικά στοιχεία του χώρου και των ανοιγμάτων, αλλά και από τα φωτομετρικά χαρακτηριστικά των αδιαφανών επιφανειών (χρώμα/ υφή) και των υαλοπινάκων (φωτοδιαπερατότητα/ ανακλαστικότητα). Ένας συμβατικός, μονός υαλοπίνακας μεταδίδει το 85% της ακτινοβολίας που προσπίπτει, ενώ ένας διπλός ή τριπλός υαλοπίνακας εκπέμπουν μειωμένο ποσοστό ακτινοβολίας, περίπου 70% και 60% αντίστοιχα [3, 6, 45].

7.3 Φυσικός φωτισμός και εξοικονόμηση ενέργειας

Ο φωτισμός συνδέεται επίσης με την κατανάλωση ενέργειας. Από το σύνολο της παραγόμενης πρωτογενούς ενέργειας, περίπου το 1/3 χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, το δε ποσοστό πρωτογενούς ενέργειας που χρησιμοποιείται για φωτισμό υπολογίζεται σε περίπου 4%. Συνεπώς, η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας για φωτισμό φαίνεται να συνεισφέρει πολύ λίγο στην συνολική εξοικονόμηση ενέργειας. Ωστόσο, αν εξετάσουμε τον κτηριακό τομέα οδηγούμαστε στα εξής αποτελέσματα:

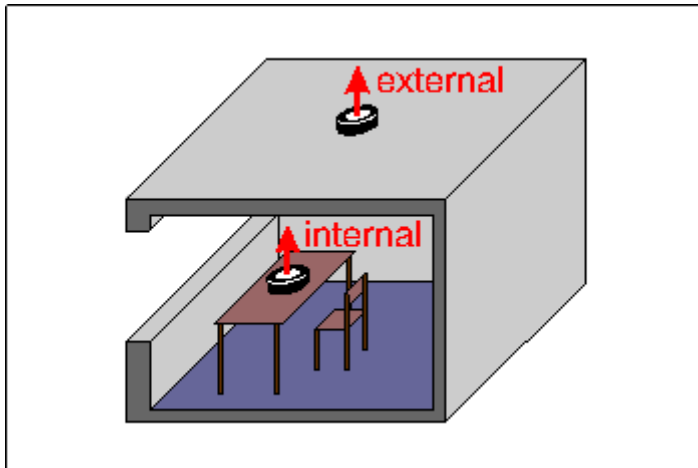
Πίνακας 20: Κατανάλωση ενέργειας για φωτισμό για διάφορα είδη κτηρίων [3, 5]

Είδος κτηρίου	Γενική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (%)	Ηλεκτρική κατανάλωση σε φωτισμό (%)
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΚΤΗΡΙΑ	35,5%	2,5%
ΚΑΤΟΙΚΙΕΣ	39,5%	2,5%
ΕΜΠΟΡΙΚΑ ΚΤΗΡΙΑ-ΚΤΗΡΙΑ ΓΡΑΦΕΙΩΝ	12,0%	8,0%

Συμπεραίνουμε, λοιπόν, ότι στα εμπορικά κτήρια και στα κτήρια γραφείων, ο φωτισμός καταναλώνει μεγάλο ποσό από τις συνολικές ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια. Έτσι, οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται σήμερα στοχεύουν στην μείωση της ηλεκτρικής ενέργειας, που απαιτείται για φωτισμό και στην μείωση των ωρών χρήσης του τεχνητού φωτισμού [3, 5].

7.4 Συντελεστής φυσικού φωτός

Ο συντελεστής φυσικού φωτός (daylight factor), μας παρέχει έναν εύκολο τρόπο να μετρήσουμε την ποιότητα του φυσικού φωτός σε ένα δωμάτιο. Είναι ο λόγος του φωτισμού που δέχεται ένα σημείο στον εσωτερικό χώρο προς τον αντίστοιχο φωτισμό στην ύπαιθρο και εκφράζεται σε ποσοστό (%). Όσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής, τόσο περισσότερο είναι το φυσικό φως στον εσωτερικό χώρο.



Εικόνα 78: Συντελεστής Φυσικού Φωτός [22].

Εκφράζεται ως [22]:

$$DF = 100E_{in}/E_{ext} \quad (7.4.1.)$$

Όπου:

DF, είναι ο συντελεστής φυσικού φωτός

E_{in}, ο εσωτερικός φωτισμός σε συγκεκριμένο σημείο του χώρου

E_{ext}, ο εξωτερικός φωτισμός στη οριζόντια επιφάνεια της υπαίθρου

Ο εσωτερικός φωτισμός, **E_{in}**, μπορεί να εκφραστεί ως το άθροισμα των εξής επιμέρους φωτισμών:

- Του άμεσου φωτισμού, εάν ο ουρανός είναι ορατός από το συγκεκριμένο σημείο που μελετάται
- Του φωτισμού που οφείλεται στις ανακλάσεις στο εξωτερικό περιβάλλον
- Και του φωτισμού λόγω ανακλάσεων στον εσωτερικό χώρο

Έτσι, ο συντελεστής φυσικού φωτισμού μπορεί να εκφραστεί επίσης:

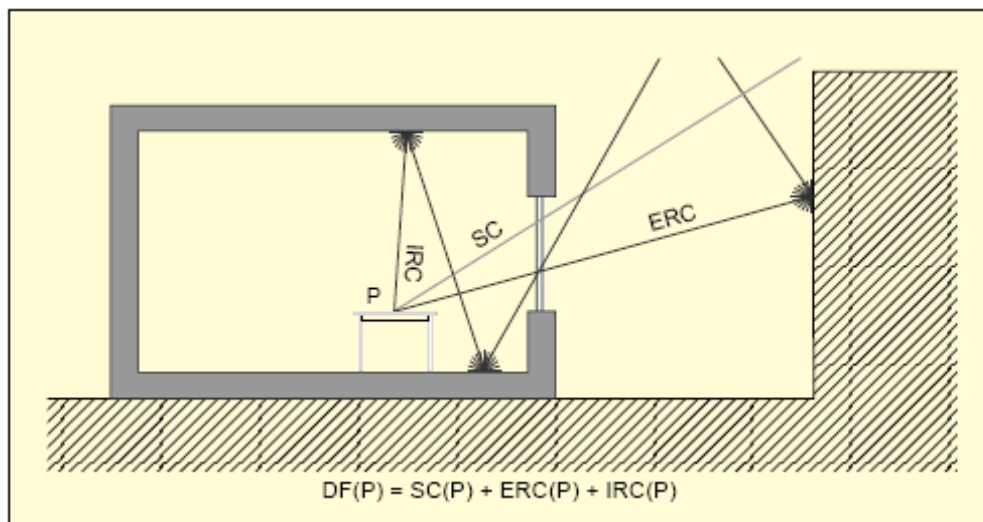
$$DF = SC + ERC + IRC \quad (7.4.2.)$$

Όπου (Εικόνα 79):

SC, είναι η άμεση συνιστώσα (Sky Component)

ERC, η συνιστώσα των εξωτερικών ανακλάσεων (Externally Reflected Component)

IRC, η συνιστώσα των εσωτερικών ανακλάσεων (Internally Reflected Component)



Εικόνα 79: Συντελεστής φυσικού φωτισμού. (P), είναι το σημείο ως προς το οποίο γίνονται υπολογισμοί [45]

Πίνακας 21: Συντελεστής Φυσικού Φωτός και Οπτική Αίσθηση [22]

Μέσος DF (%)	Αποτέλεσμα-Οπτική αίσθηση	Ενεργειακές επιπτώσεις
<2%	Σκοτεινό δωμάτιο	Τεχνητός φωτισμός είναι απαραίτητος, κατά τη μεγαλύτερη διάρκεια της ημέρας.
2%-5%	Το δωμάτιο φαίνεται φωτεινό, αλλά βοηθητικός τεχνητός φωτισμός είναι απαραίτητος	Καλή ισορροπία μεταξύ φωτισμού και θερμικών φορτίων.
>5%	Το δωμάτιο είναι πολύ φωτεινό	Τη μέρα σπάνια χρειάζεται τεχνητός φωτισμός. Υπάρχει πιθανότητα υπερθέρμανσης

		το καλοκαίρι και θερμικών απωλειών το χειμώνα.
--	--	--

7.5 Βάθος δωματίου και φυσικός φωτισμός

Αν ένα δωμάτιο φωτίζεται από τη μια πλευρά μόνο, το βάθος του δωματίου “L”, δεν πρέπει γενικά να υπερβαίνει την τιμή που δίνεται από την παρακάτω εξίσωση [22]:

Όπου:

$$\left[\frac{L}{W} + \frac{L}{H} \right] < \frac{2}{1-R_b} \quad (7.5.1.)$$

W, είναι το πλάτος του δωματίου

H, είναι το ύψος του παραθύρου μετρούμενο από το δάπεδο

R_b, είναι η μέση ανακλαστικότητα των επιφανειών στο εσωτερικό, πίσω μέρος του δωματίου

Αν το “L”, υπερβεί αυτή τη τιμή, το πίσω μέρος του δωματίου θα είναι σκοτεινό και θα παρουσιασθεί η ανάγκη για βοηθητικό τεχνητό φωτισμό.

Σε κάθε περίπτωση, **οι επιφάνειες του δωματίου πρέπει να είναι όσο πιο ανακλαστικές γίνεται**. Το πόσο ανακλαστική είναι μια επιφάνεια εξαρτάται από τη **σύνθεση-υφή** και από το **χρώμα** της. Ένας λείος, λευκός τοίχος μπορεί να ανακλάσει μέχρι και 85% της φωτεινής ακτινοβολίας που προσπίπτει πάνω του. Ένας κρεμ τοίχος θα ανακλάσει ίσως το 75%, ενώ ένας κίτρινος μόλις το 65%. Τα έντονα χρώματα, όπως είναι το πορτοκαλί και το κόκκινο, έχουν την ιδιότητα να απορροφούν μεγάλο ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει, ωστόσο δημιουργούν την αίσθηση θαλπωρής-ζέστης στους χώρους που δεν φτάνει η ηλιακή ακτινοβολία.

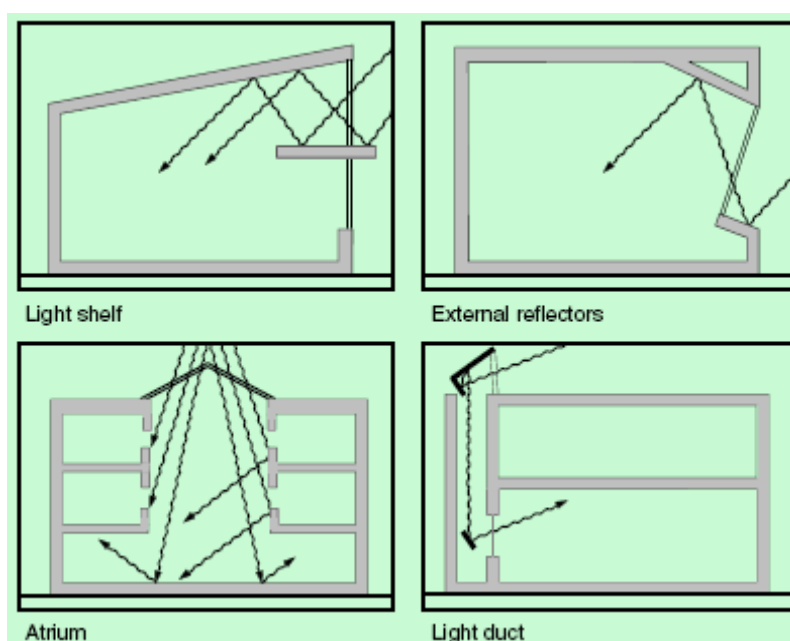
7.6 Συστήματα και τεχνικές φυσικού φωτισμού.

Κατηγορίες συστημάτων

- Ανοίγματα στην κατακόρυφη τοιχοποιία
- Ανοίγματα οροφής
- Αίθρια
- Φωταγωγοί/ Φωτοσωλήνες

Ενώ οι **τεχνικές** που σκοπεύουν στην βελτίωση αυτών των συστημάτων περιλαμβάνουν:

- Ηλιοστάσια
- Ειδικούς υαλοπίνακες
- Σκίαστρα
- Πρισματικά φωτοδιαπερατά υλικά
- Ράφια φωτισμού
- Ανακλαστικές περσίδες
- Διαφανή μονωτικά υλικά



Εικόνα 80: Μερικά από τα συστήματα φυσικού φωτισμού. Πάνω σειρά από αριστερά:ράφια φωτισμού, εξωτερικοί ανακλαστής. Κάτω σειρά από αριστερά: αίθριο, φωταγωγός [26]

7.6.1 Ανοίγματα Οροφής

Τα ανοίγματα οροφής, τα οποία μπορεί να φέρουν διαφανείς ή ημιδιαφανείς υαλοπίνακες, παρουσιάζουν τα εξής **πλεονεκτήματα** σε σχέση με τα ανοίγματα στην κατακόρυφη τοιχοποιία:

- Συντελούν στην ομοιόμορφη κατανομή του φωτός σε όλο το χώρο
- Παρέχουν μεγάλη ποσότητα διάχυτου φωτός (που προτιμάται έναντι του άμεσου φωτός) από τον ουράνιο θόλο

Έχουν το **μειονέκτημα**, ωστόσο, ότι δέχονται μεγαλύτερη ηλιακή πρόπτωση το καλοκαίρι από ότι το χειμώνα λόγω της οριζόντιας θέσης τους, δεδομένου ότι ο ήλιος κατά το θέρος

είναι ψηλότερα. Για το λόγο αυτό συχνά συνιστώνται κατακόρυφα ή κεκλιμένα ανοίγματα στην οροφή, σε συνδυασμό με διατάξεις σκιασμού, όπως είναι οι ανακλαστικές, περσίδες, ή κινητά πετάσματα [3, 45, 90]

7.6.2 Αίθρια

Τα αίθρια στο εσωτερικό ενός κτηρίου, συμβάλλουν στην **βελτίωση των συνθηκών φυσικού φωτισμού**, επιτρέποντας την είσοδο του φωτός στις κεντρικές ζώνες του κτηρίου με παράλληλη αύξηση της στάθμης του στους διάφορους χώρους. Επίσης βοηθούν στην ομοιογενή κατανομή διάχυτου φωτός που προέρχεται από το ουράνιο θόλο, με αποτέλεσμα την αποφυγή της ανεπιθύμητης εμφάνισης του φαινομένου της θάμβωσης. Εξασφαλίζουν, δηλαδή καλή οπτική άνεση για ένα κτήριο. Η στάθμη φωτισμού των διάφορων χώρων καθορίζεται από τα **γεωμετρικά χαρακτηριστικά** του αίθριου, την **ανακλαστικότητα των επιφανειών** (τοιχών-δαπέδων) και τα **οπτικά χαρακτηριστικά των υαλοπινάκων** που βρίσκονται στους χώρους που περιβάλλουν το αίθριο.



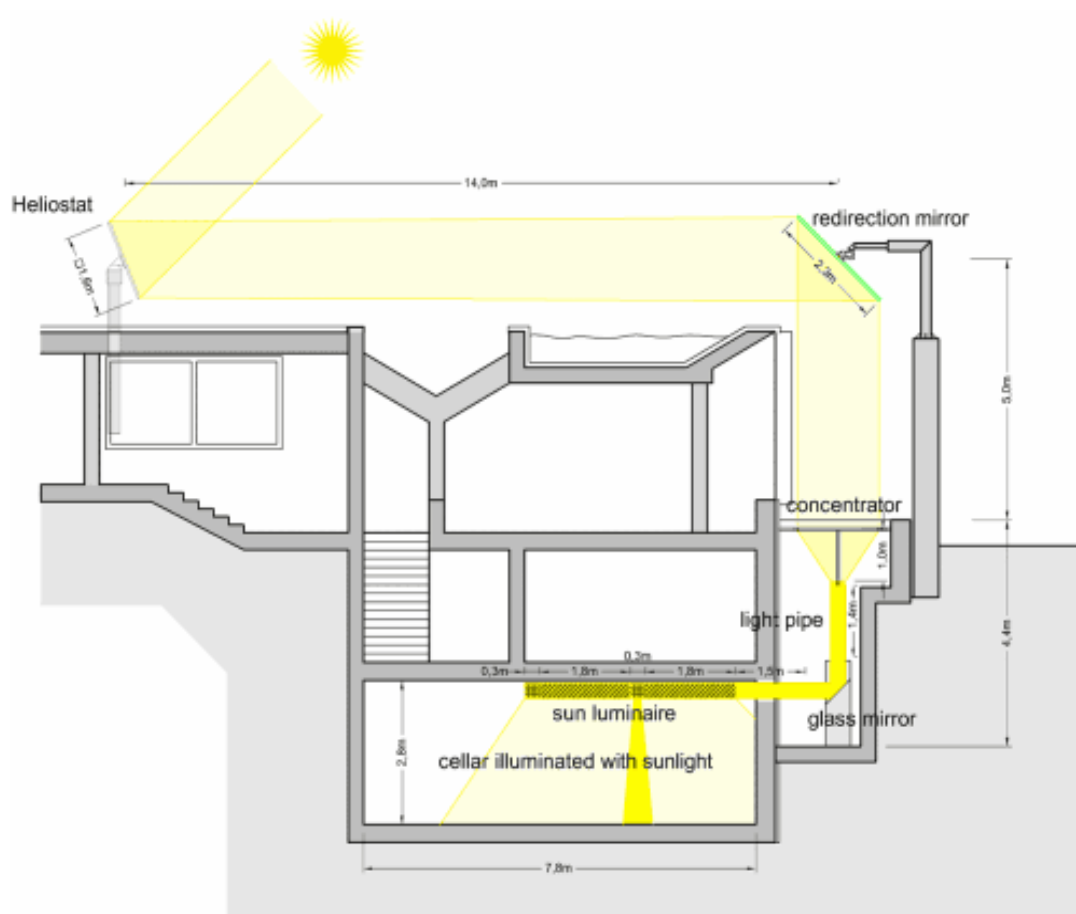
Εικόνα 81: Αίθριο

7.6.3 Ηλιοστάσια



Εικόνα 82: Ηλιοστάσιο [22]

Τα ηλιοστάσια είναι ένα σύστημα κατόπτρων και φακών που τοποθετούνται στα δώματα των κτηρίων και συλλέγουν το φυσικό φως. Η θέση τους ρυθμίζεται έτσι ώστε να συλλέγεται η μέγιστη ποσότητα φυσικού φωτός, ανάλογα με την εποχή του έτος και την ώρα της ημέρας. Το φυσικό φως που συγκεντρώνεται κατευθύνεται σε δέσμη προς την είσοδο ενός φωτοσωλήνα ή ενός φωταγωγού, δια μέσου του οποίου μεταφέρεται στον εσωτερικό χώρο του κτηρίου [3, 45, 90].

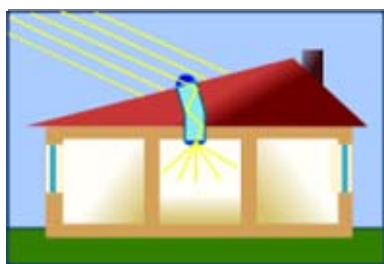


Εικόνα 83: Χρήση ηλιοστασίων για φυσικό φωτισμό [22]

7.6.4 Φωτοσωλήνες



Εικόνα 84: Φωτοσωλήνες [22]

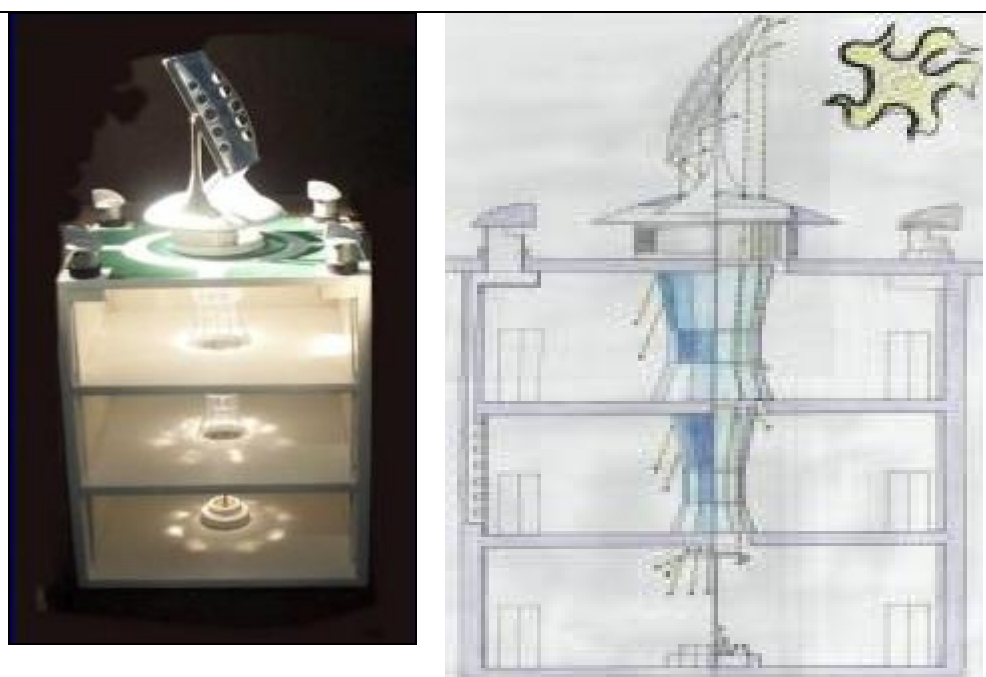


Εικόνα 85: Φωτοσωλήνας

Πρόκειται για σωλήνες (light pipes) διαμέτρου 0,5 m περίπου, που εξέρχουν από την στέγη, διαπερνούν τη **σοφίτα ή το δώμα** και καταλήγουν στο εσωτερικό του κτηρίου. Η εσωτερική επιφάνεια τους είναι κατασκευασμένη από υψηλά ανακλαστικό υλικό ικανό να ανακλάσει το φως σε μεγάλο βαθμό. Εξαιτίας αυτής της ιδιότητας, το φως μεταφέρεται στο κτήριο χωρίς μεγάλες απώλειες. Αν ο φωτοσωλήνας έχει διαφανή τοιχώματα, καθίσταται γραμμική φωτεινή πηγή σε όλο το μήκος του. Για να μεταφέρεται κατά το μέγιστο η φωτεινή δέσμη, πρέπει να προσπίπτει κάθετα στη διατομή του φωτοσωλήνα. Διαφορετικά θα πρέπει ο φωτοσωλήνας να είναι μικρού μήκους και μεγάλης διατομής. Υπάρχουν φωτοσωλήνες από μέταλλο και άκαμπτα πλαστικά, πλήρως ακριλικοί φωτοσωλήνες, ενώ στο εσωτερικό τους μπορούν να έχουν γυάλινες ή πλαστικές οπτικές ίνες, οι οποίες τον καθιστούν ιδιαίτερα αποτελεσματικό, όταν η εισερχόμενη φωτεινή δέσμη χρειάζεται να διανεμηθεί σε επιμέρους δέσμες. Χρησιμοποιούνται ολοένα και περισσότερο, ιδίως σε κτήρια που χρησιμοποιούνται κυρίως **κατά τη διάρκεια της ημέρας**, όπως είναι αποθήκες και στο οικιακό τομέα, στους διαδρόμους και στους προθαλάμους-εισόδους. Δεν είναι σχετικά ακριβοί και εύκολα προσαρμόζονται σε υφιστάμενα κτήρια [3, 90].

7.6.5 Φωταγωγοί

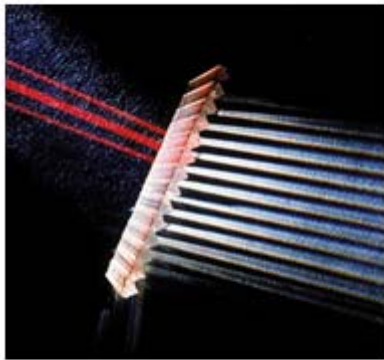
Παραλλαγή των φωτοσωλήνων είναι οι φωταγωγοί (light ducts) οι οποίοι είναι αγωγοί που διαπερνούν το κτήριο κάθετα, ώστε να μεταδίδεται το φως σε όλους τους ορόφους. Συνηθέστερα, συνδυάζονται με ηλιοστατικούς καθρέφτες που ανακλούν το φως μέσα στον αγωγό, το οποίο μετά διαχέεται μέσω μιας σειράς από διαχυτικά τζάμια, κατάλληλης γεωμετρίας. Είναι δύσκολο, ωστόσο, να προσαρμοστούν σε υφιστάμενο κτήριο, λόγω των αλλαγών που χρειάζονται να γίνουν για τα ανοίγματα. Γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται μόνο σε καινούρια κτήρια [3, 90].



Εικόνα 86: Φωταγωγοί [22]

7.6.6 Πρισματικά φωτοδιαπερατά υλικά

Πρόκειται για **ημιδιαφανή στοιχεία**, που διαθλούν την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία και αναλόγως της κατασκευής τους μπορούν είτε να της αλλάξουν κατεύθυνση, είτε να αποκλείσουν τελείως την είσοδο της. Τοποθετούνται στο **κέλυφος του κτηρίου**, ή **μεταξύ δύο φύλλων υαλοπινάκων**.



Εικόνα 87: Πρισματικά φωτοδιαπερατά υλικά [22]

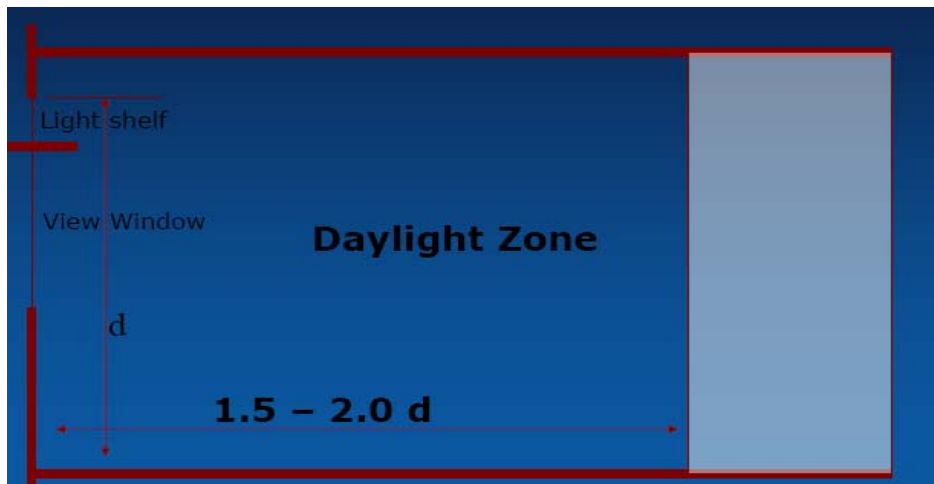
Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι πρισματικοί ακριλικοί υαλοπίνακες, που αποτρέπουν την είσοδο των ηλιακών ακτινών με κατάλληλο προσανατολισμό. Για καλύτερη ηλιοπροστασία, είναι απαραίτητη η ρύθμιση της κλίσης τους ανάλογα με το ύψος του ήλιου. Μια ειδική κατηγορία αποτελούν οι ασύμμετροι υαλοπίνακες (τα στοιχειώδη πρίσματα τους δεν έχουν όμοιες πλευρές), οι οποίοι έχουν την ιδιότητα να αλλάζουν την διεύθυνση των ηλιακών ακτινών, με σκοπό τη βελτίωση της οπτικής άνεσης. Άλλες κατηγορίες υαλοπινάκων έχουν αναπτυχθεί στο κεφάλαιο της ηλιοπροστασίας [22], [90].

7.6.7 Ράφια Φωτισμού

Πρόκειται για επίπεδα, ή καμπύλα σταθερά στοιχεία (light shelves), που τοποθετούνται οριζόντια στα πλαίσια των ανοιγμάτων, πάνω από το επίπεδο του ματιού και προεξέχουν εξωτερικά ή εσωτερικά. Από πάνω τους, στη συνέχεια του παραθύρου, υπάρχει ανοιγμαθυρίδα. **Σκοπό έχουν** να μειώσουν το επίπεδο φωτισμού κοντά στο παράθυρο και να το αυξήσουν στο πίσω μέρος του χώρου. Είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικά στις **νότιες όψεις**, βελτιώνουν τη διανομή του φυσικού φωτός, προκαλώντας μείωση των επιπέδων φωτισμού κοντά στο παράθυρο και αποφυγή της θάμβωσης.



Εικόνα 88: Εξωτερικά ράφια φωτισμού



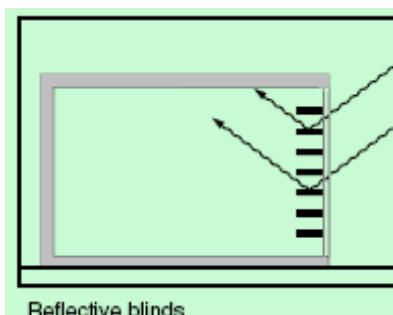
Εικόνα 89: Πόσο βαθιά σε ένα δωμάτιο μπορεί να φτάσει το φυσικό φως, ανάλογα με τις διαστάσεις του παραθύρου, συνδυασμένο με ράφι φωτισμού [58]



Εικόνα 90: Ράφια φωτισμού [91]

Τα **εξωτερικά ράφια** φωτισμού είναι **πιο αποτελεσματικά** από τα εσωτερικά, ενώ ο συνδυασμός τους επιφέρει μεγαλύτερη ακόμη απόδοση στο σύστημα. Ένας πρακτικός κανόνας υπαγορεύει ότι το μήκος του ραφιού πρέπει να είναι περίπου ίσο με το ύψος του παραθύρου που βρίσκεται πάνω του, ενώ το υλικό του πρέπει να είναι αρκετά ανακλαστικό.

7.6.8 Ανακλαστικές περσίδες



Εικόνα 91: Ανακλαστικές Περσίδες [26]

1. Σταθερές περσίδες.

Πρόκειται για ένα πλαίσιο με σταθερές περσίδες από ανακλαστικό υλικό που καλύπτουν ολόκληρη την επιφάνεια ενός ανοίγματος ή τμήμα του. Η κλίση των περσίδων καθορίζεται έτσι ώστε να αποτρέπεται η διείσδυση των ηλιακών ακτίνων **κατά την περίοδο του θέρους**. Η ανακλαστική τους ικανότητα μπορεί να μειωθεί εξαιτίας της συγκέντρωσης ρύπων στην επιφάνεια τους, γι' αυτό απαιτείται συχνή συντήρηση.

2. Ρυθμιζόμενες Περσίδες

Μειονέκτημα των σταθερών περσίδων είναι ότι λειτουργούν αποτελεσματικά μόνο για ορισμένη διεύθυνση των ηλιακών ακτίνων. Έτσι προτιμούνται οι ρυθμιζόμενες, των οποίων η ρύθμιση γίνεται είτε χειροκίνητα, είτε μηχανοκίνητα. Πιο εξελιγμένα συστήματα περιλαμβάνουν καμπύλες περσίδες, οι οποίες είναι εξοπλισμένες με ρυθμιζόμενο πλαστικό φιλμ. Εκτός από την κλίση των περσίδων, ρυθμίζεται επίσης, η κλίση του φιλμ αυτού, έτσι ώστε για κάθε γωνία πρόσπτωσης των ακτίνων, η ανακλώμενη δέσμη να διατηρεί σταθερή κατεύθυνση. Εκτός από την εκτροπή των ηλιακών ακτίνων κατά το θέρος και την αντιμετώπιση της θάμβωσης, λειτουργούν επίσης αποτελεσματικά όσον αφορά τον απαιτούμενο **χειμερινό ηλιασμό**.

Τόσο οι σταθερές, όσο και οι κινητές ανακλαστικές περσίδες μπορούν να τοποθετηθούν **εσωτερικά, αλλά και εξωτερικά** του ανοίγματος, αλλά και στο διάκενο διπλών τζαμιών [3, 90].

7.6.9 Διαφανή μονωτικά υλικά



Εικόνα 92: Διαφανής Μόνωση [90]

Πρόκειται για υλικά που λειτουργούν όπως τα πρότυπα μονωτικά υλικά, ενώ ταυτόχρονα **επιτρέπουν τη διέλευση του φωτός** δια μέσου αυτών. Περιορίζονται έτσι οι απώλειες από θερμική μετάδοση από το κτήριο, ενώ επιτρέπεται στο φως να συνεχίζει να μεταδίδεται. Επειδή, η διαφανής θερμομόνωση απορροφά τόσο την ακτινοβολία που προσπίπτει άμεσα στην επιφάνειά της όσο και τη διάχυτη ακτινοβολία, επιφέρει θετικά αποτελέσματα σε οποιαδήποτε όψη κι αν εφαρμοστεί. Μπορεί να τοποθετηθεί **τόσο σε τοίχους, αλλά και σε οροφές**. Εάν για λόγους οικονομίας αποφασιστεί να μη μονωθούν όλες οι όψεις, η πρώτη επιλογή είναι η **νότια όψη και ακολουθούν η ανατολική και η δυτική**. Η διαφανής μόνωση έχει 2-3 φορές υψηλότερη θερμομονωτική ικανότητα από τους διπλούς υαλοπίνακες. Διαφανή μονωτικά υλικά μπορούν να τοποθετηθούν, επίσης, μεταξύ δύο φύλλων υαλοπινάκων ή πλαστικών φύλλων. Η φωτοδιαπερατότητα των διαφανών υλικών κυμαίνεται μεταξύ του 45% -80% , με μια μείωση γύρω στο 8% για κάθε φύλλο υαλοπίνακα. Το κόστος αυτών των υλικών παραμένει σχετικά υψηλό, ενώ απαιτούνται ορισμένες βελτιώσεις, για να διατηρούνται οι αποδόσεις και οι θερμοοπτικές ιδιότητες των υλικών, καθώς και η διάρκεια ζωής τους. Σε υφιστάμενα κτήρια μπορεί να τοποθετηθεί πάνω από υπάρχουσα αμόνωτη τοιχοποιία, όπως γίνεται και η προσθήκη της συνήθους θερμομόνωσης [45, 90].



Εικόνα 93: Διαφανής θερμομόνωση [45]

7.7 Τελευταίες τεχνολογίες για το φωτισμό



Εικόνα 94: Λαμπτήρας Φθορισμού [92]

Πειράματα, τόσο στην Ευρώπη όσο και στην Αμερική, αναδεικνύουν την μεγάλη αξία της σωστής εκμετάλλευσης του φυσικού φωτισμού. Στις ΗΠΑ, το εργαστήριο Oak Ridge National Laboratory δοκίμασε σε περίπου δέκα διαφορετικές κατασκευές **ένα σύστημα φυσικού φωτισμού με τη βοήθεια ενός δικτύου οπτικών ινών**. Η λειτουργία στηρίζονταν στην συσσώρευση των ηλιακών ακτίνων σε μια ειδική επιφάνεια τοποθετημένη στη στέγη. Στη συνέχεια ένας δευτερεύων καθρέφτης έστειλε την ηλιακή ακτινοβολία που δεχόταν στις οπτικές ίνες, οι οποίες μετέφεραν με τη σειρά τους το φως μέσα στο κτήριο. Σύμφωνα με τους επινοητές, δύο οπτικές ίνες είναι ικανές να μεταφέρουν φωτεινότητα που αντιστοιχεί σε ένα λαμπτήρα ισχύος 50Watt.

Επίσης, όσον αφορά **τον τεχνητό φωτισμό**, αξίζει να σημειωθεί ότι μόνο το **10%** της ενέργειας που καταναλώνουν οι κοινές λάμπες πυρακτώσεως χρησιμοποιείται για φωτισμό, διότι το υπόλοιπο **90%** της ενέργειας γίνεται θερμότητα και χάνεται. Για αυτό το λόγο, είναι

καλύτερο να προτιμούνται λαμπτήρες νέας τεχνολογίας, οι **συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού** χαμηλής κατανάλωσης, που καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια και διαρκούν περισσότερο. Η εξοικονόμηση ενέργειας είναι τόσο μεγάλη ώστε μέσα σε λίγους μόνο μήνες γίνεται απόσβεση της αγοράς του λαμπτήρα. Έτσι στη συνέχεια, οι μειωμένοι λογαριασμοί ρεύματος μεταφράζονται σε καθαρό κέρδος, τόσο χρηματικό όσο και περιβαλλοντικό, καθώς κάθε κιλοβατώρα που εξοικονομείται στη χώρα μας ισοδυναμεί με ένα κιλό λιγότερο διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα.

Μια ταξινόμηση των λαμπτήρων είναι η εξής:

- **Λαμπτήρες Πυρακτώσεως:**

Οι λαμπτήρες πυρακτώσεως έχουν χαμηλό κόστος αγοράς και συντήρησης, η φωτεινή ροή τους ρυθμίζεται εύκολα, προσφέρουν άριστη αποδόση χρωμάτων, επιδέχονται άμεση έναυση και επανέναυση εν θερμώ και λειτουργούν χωρίς πρόβλημα σε οποιαδήποτε θέση (οριζόντια, κατακόρυφη, διαγώνια)



Εικόνα 95: Λαμπτήρες πυρακτώσεως [93]

- **Λαμπτήρες Φθορισμού:**

Οι λαμπτήρες φθορισμού παρουσιάζουν μεγαλύτερη φωτεινή απόδοση (περίπου **τριπλάσια**) σε σχέση με τους λαμπτήρες πυρακτώσεως, ενώ η διάρκεια ζωής τους ξεπερνά τις 6.000 ώρες.

- **Λαμπτήρες Οικονομίας:**

Οι σύγχρονοι οικονομικοί λαμπτήρες, για το ίδιο επίπεδο φωτεινότητας με τους κοινούς λαμπτήρες πυρακτώσεως, έχουν **10 φορές μεγαλύτερο χρόνο ζωής** (10.000 ώρες), και το **ένα πέμπτο της ηλεκτρικής κατανάλωσης**. Το κόστος αγοράς τους είναι μεν μεγαλύτερο αλλά το συνολικό οικονομικό όφελος κατά τη χρήση τους είναι σημαντικό ως αποτέλεσμα της χαμηλής κατανάλωσης ρεύματος και της μεγαλύτερης διάρκειας ζωής τους (1 λαμπτήρας χαμηλής κατανάλωσης αντιστοιχεί με 10 κοινούς λαμπτήρες). Σε χώρους όπου τα φώτα λειτουργούν αρκετή ώρα (κουζίνα, καθιστικό ή εξωτερικός νυχτερινός φωτισμός), η κατανάλωση ενέργειας μπορεί να μειωθεί κατά 5 φορές περίπου εάν αντικαταστήσουμε τους κοινούς λαμπτήρες πυρακτώσεως με λαμπτήρες χαμηλής κατανάλωσης. **Για το ίδιο επίπεδο**

φωτισμού, ένας λαμπτήρα χαμηλής κατανάλωσης, καταναλώνει **5 W** σε αντίθεση με ένα κοινό λαμπτήρα πυρακτώσεως που καταναλώνει **25 W**.

Επίσης, **σύγχρονα φωτιστικά** αποτελούνται από προσεκτικά σχεδιασμένα συστήματα ανακλαστήρων για να κατευθύνουν το φως από τους λαμπτήρες προς την απαιτούμενη κατεύθυνση, επιτρέποντας έτσι την χρήση λιγότερων λαμπτήρων ή φωτιστικών για την παραγωγή συγκεκριμένης στάθμης φωτισμού. Σε παλαιά φωτιστικά σώματα χαμηλής απόδοσης, είναι δυνατή η βελτίωση της απόδοσής τους με την αντικατάσταση των συστημάτων διάχυσης ή ανάκλασης με νέα συστήματα ανακλαστήρων. Εναλλακτικά, μπορούν να προστεθούν ανακλαστήρες στο παλαιό φωτιστικό, διατηρώντας τα υπάρχοντα εξαρτήματα ελέγχου του φωτός.

Στην εξοικονόμηση ενέργειας συμβάλλουν επίσης τα συστήματα ελέγχου φωτισμού, που οδηγούν σε μείωση της σπατάλης και ρυθμίζουν την κατανάλωση [93].

Αξιοσημείωτο είναι ότι η απόδοση μιας εγκατάστασης φωτισμού μειώνεται σε σχέση με το χρόνο, λόγω της επικάθησης ρύπων στις επιφάνειες των φωτιστικών και των λαμπτήρων και της γήρανσης των υλικών τους. Έρευνες έχουν δείξει ότι η **μείωση του φωτισμού στις πλημμελώς συντηρημένες εγκαταστάσεις φωτισμού μπορεί να υπερβεί το 40%**, ενώ αν η συντήρηση είναι τακτική δεν υπερβαίνει το 25%. Συμπεράσματα από μετρήσεις που έγιναν σε επαγγελματικούς χώρους, δείχνουν ότι συντελείται εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης του 15%, εάν τα φωτιστικά καθαρίζονται ανά έτος, με ταυτόχρονη αντικατάσταση του 1/3 των λαμπτήρων (έστω και αν λειτουργούν). Σημειώνεται επίσης, ότι η απόδοση των λαμπτήρων φθορισμού μειώνεται κατά 30%, όταν υπερβούν το 70% της ζωής τους. Το ποσοστό αυτό είναι, βέβαια, ενδεικτικό και δε χαρακτηρίζει όλους τους τύπους λαμπτήρων [10].

Γενικά, είναι εφικτή η **εξοικονόμηση ενέργειας σε ποσοστό 30-50 %**, με την υιοθέτηση κατάλληλων μέτρων, που είναι ο σωστός σχεδιασμός του τεχνητού φωτισμού, η αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού, η χρήση λαμπτήρων υψηλής απόδοσης και χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης, η επιλογή κατάλληλων φωτιστικών σωμάτων, η εγκατάσταση συστημάτων ελέγχου και η σωστή συντήρηση των φωτιστικών σωμάτων [93, 94].

8. Δομικά Υλικά

Όσον αφορά τα δομικά στοιχεία ενός κτηρίου, **οι προσπάθειες προσανατολίζονται σε δύο κατευθύνσεις.**

A) Καταρχήν, επιδιώκεται η ανεύρεση υλικών που θα έχουν **βελτιωμένες ιδιότητες** οι οποίες θα αξιοποιούνται για την αύξηση της απόδοσης ενός κτηρίου, όσον αφορά τη συλλογή, αποθήκευση και μετάδοση της θερμότητας. Οι ιδιότητες των υλικών που σχετίζονται με

αυτές τις λειτουργίες είναι η **ειδική θερμοχωρητικότητα** και η **θερμοαγωγιμότητα**, οι οποίες, όπως έχει αναφερθεί, είναι χαρακτηριστικές για κάθε υλικό. Προκειμένου, για παράδειγμα, να διατηρήσουμε την εσωτερική θερμοκρασία σταθερή και ανεπηρέαστη από τις εξωτερικές θερμοκρασιακές συνθήκες, απαιτείται να χρησιμοποιούμε τοίχους που να διαθέτουν υψηλή ειδική θερμοχωρητικότητα και χαμηλή θερμοαγωγιμότητα. Βέβαια, επειδή τον συνδυασμό αυτό είναι σπάνιο να τον συναντήσουμε στο ίδιο υλικό κατασκευής, πρέπει να χρησιμοποιούμε δυο διαφορετικά υλικά με τις αντίστοιχες ιδιότητες.

Β) Επιπροσθέτως όμως, παρουσιάζεται η ανάγκη ανεύρεσης δομικών υλικών που να είναι επίσης και **οικολογικά**. Ένα από τα κριτήρια στα οποία υπακούει ο βιοκλιματικός σχεδιασμός είναι η επιλογή και η χρήση τοπικών οικοδομικών υλικών, που να είναι φιλικά προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο, μετά από μελέτη των χαρακτηριστικών και ιδιοτήτων τους.

8.1 Δομικά υλικά και τοξικότητα

Τοξικότητα είναι η ιδιότητα ορισμένων υλικών που χρησιμοποιούνται στις κατασκευές και αποτελούνται ή περιέχουν ουσίες που ονομάζονται τοξικές οι οποίες, όταν απελευθερώνονται μπορεί να επηρεάσουν την ποιότητα του εσωτερικού αέρα και την υγεία των χρηστών του κτηρίου. Χρώματα, συγκολλητικές ουσίες, πτητικές οργανικές ενώσεις, φορμαλδεΐδες, πετροχημικά προϊόντα που περιέχονται κυρίως στα πλαστικά, πετροχημικές βαφές κόλλες και ρητίνες, καθώς και άλλα υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή οικοδομικών υλικών είναι υψηλά τοξικά και καρκινογόνα. Συνεπώς, στην επιλογή ενός δομικού προϊόντος πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η τοξικότητα των συστατικών του, έτσι ώστε να αποφευχθούν προϊόντα που παράγονται, κατασκευάζονται ή περιέχουν ουσίες επιβλαβείς για τον άνθρωπο και το περιβάλλον. Έρευνες που έχουν διεξαχθεί, αποκαλύπτουν πως το 37% των δομικών προϊόντων έχουν μέση τοξικότητα και είναι επιβλαβή για την ανθρώπινη υγεία, ενώ 2% είναι από τοξικά έως πολύ τοξικά. Οι επιπτώσεις της τοξικότητας των υλικών στην υγεία περιλαμβάνουν αναπαραγωγικές ανωμαλίες, τοξική δράση στο ανοσοποιητικό και το νευρικό σύστημα, καρκινογόνος και μεταλλαξιογόνο δράση, ερεθισμούς και ποικίλες αλλεργικές αντιδράσεις. Τα κυριότερα τοξικά υλικά είναι:

Πίνακας 22: Τοξικά Δομικά Υλικά [3]

Ουσία-Υλικό	Χρήση
Αμίαντος	Παλιά κτήρια
Βενζόλιο	Βενζίνη
Πριονίδια ξύλου	Ξυλουργικές εργασίες
Νικέλιο	Ηλεκτροσυγκολλήσεις
Χρωμικός Ψευδάργυρος	Αντισκωριακές στρώσεις

Κάδμιο	Επιχρίσματα
Ενώσεις Χρωμίου	Βερνίκια ξύλου
Διοξίνες	Καμένα Κτήρια
Χρωμικός Μόλυβδος	Επιχρίσματα
Φορμαλδεΰδη	Συγκολλητικό
Συνθετικές ίνες	Μονώσεις
PCB	Λαμπτήρες Αερίου

Τα περισσότερα δομικά προϊόντα ωστόσο, δεν περιέχουν μόνο ένα, αλλά δύο ή περισσότερα συστατικά που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και δρουν σφρευτικά, όσον αφορά την τοξικότητα τους. Το ίδιο ισχύει και για προϊόντα που χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα στις κατασκευές [3].

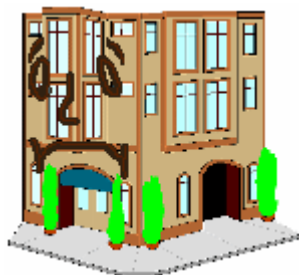
8.2 Η ραδιενέργεια στο χώρο του κτηρίου

Το ραδόνιο 222 είναι ένα ραδιενεργό ευγενές αέριο που απελευθερώνεται κατά τη διαδικασία της φυσικής διάσπασης των στοιχείων φθορίου και ουρανίου, τα οποία είναι συνήθη στοιχεία και υπάρχουν σε ποικίλες ποσότητες στα πετρώματα και στο έδαφος. Στον εξωτερικό αέρα, το ραδόνιο αραιώνεται σε χαμηλές συγκεντρώσεις, αποτελώντας έτσι σημαντικά μικρότερο κίνδυνο απ' ό,τι στον εσωτερικό αέρα ενός χώρου, όπου μπορεί να συσσωρεύεται σε σημαντικά επίπεδα. Η συγκέντρωση του ραδονίου σε ένα κτήριο εξαρτάται από την ποσότητα του στο υποκείμενο έδαφος. Διαφορές πίεσης μεταξύ του αέρα του κτηρίου και του εδάφους, οδηγούν στην διείσδυση του ραδονίου δια μέσου ρωγμών, προς το εσωτερικό του κτηρίου. Μετά την είσοδο του στο κτήριο, το ραδόνιο διασπάται ραδιενεργώς σε θυγατρικά προϊόντα, μερικά από τα οποία είναι επίσης ραδιενεργά και εκλύουν ακτινοβολία κατά τη διάσπαση.

Ωστόσο, μια επίσης σημαντική πηγή ραδιενέργειας, είναι και η **χρήση ραδιενεργών υλικών κατά τη δόμηση**. Το τσιμέντο, για παράδειγμα, που έχει παραχθεί από πετρώματα που περιέχουν ουράνιο, μπορεί να αποτελέσει πηγή ραδονίου. Επίσης κεραμικά υλικά, ο πορώλιθος, η κίσηρη και γρανίτες είναι στοιχεία που ενδέχεται να εκπέμπουν ραδιενέργεια. Έχει διαπιστωθεί, επίσης, ότι η ανεξέλεγκτη αποβολή ραδιενεργών πηγών και αποβλήτων έχει δημιουργήσει τα τελευταία χρόνια προβλήματα στις βιομηχανίες χάλυβα. Η ραδιενέργεια συνδέεται με τον χάλυβα που χρησιμοποιείται για το σπλισμένο σκυρόδεμα και κυρίως με αυτόν που κατασκευάζεται στις χαλυβουργίες από την ανακύκλωση παλαιοσιδήρου. Στην Ελλάδα τον Αύγουστο του 1997 εντοπίστηκε κρούσμα ραδιενέργειας σε παλαιοσίδηρο και χάλυβα σε γνωστή βιομηχανία.

Σε κάθε περίπτωση, για την αποφυγή της ραδιενέργειας συνίσταται **καλός αερισμός του χώρου, η χρήση ειδικών στεγανοποιητικών μεμβρανών και η χρήση μη ραδιενεργών, οικολογικών δομικών υλικών** [3].

8.3 Σύνδρομο του άρρωστου κτηρίου



Εικόνα 96: Σύνδρομο του άρρωστου κτηρίου [55]

Σύμφωνα με την Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας, το 30% των νέων ή επισκευαζόμενων κτιρίων παρουσιάζουν προβλήματα «εσωτερικής ρύπανσης».

Η ρύπανση αυτή οφείλεται στον ανεπαρκή αερισμό του χώρου, στην ατμοσφαιρική ρύπανση, στη σκόνη και στα ακάρεα που υπάρχουν στο χώρο, στις ακτινοβολίες, αλλά και σε χημικούς ρύπους που οφείλονται στα υλικά κατασκευής. Συγκεκριμένα, όσον αφορά τους χημικούς ρύπους, η φορμαλδεΐδη (που συναντάται στα μονωτικά υλικά από πίσσα, ουρεθάνες, ίνες ύαλου, αλκαλοειδή, κλπ., σε έπιπλα από κόντρα πλακέ, σε ψευδοροφές, σε νοβοπάν ή άλλα συνθετικά υλικά, όπως για παράδειγμα στις συνθετικές μοκέτες και σε ταπετσαρίες από συνθετικά υλικά), είναι μια πηγή ρύπανσης των χώρων στους οποίους ζούμε ή εργαζόμαστε. Βλαπτικός, επίσης, παράγοντας είναι και ο **αμιάντος** που χρησιμοποιήθηκε ευρέως τις προηγούμενες δεκαετίες σε δομικά υλικά (τσιμέντο), υλικά ηχομόνωσης, πυροπροστασίας καθώς και σε μηχανολογικές εγκαταστάσεις. Πρόκειται για ουσία καρκινογόνο που έπρεπε να έχει απομακρυνθεί από όλα τα κτίρια από τη δεκαετία του '70, όμως ο αμιάντος έκτοτε δεν εξαφανίστηκε από τα κτίρια. Στις περισσότερες περιπτώσεις όχι μόνο παραμένει σε πολλά κτίρια αλλά και απελευθερώνεται στον χώρο λόγω της παλαιώσης και φθοράς των υλικών επιδεινώνοντας την κατάσταση του κτηρίου. Ρυπογόνες ουσίες είναι επίσης και οι **τεχνητές ορυκτές ύλες** (πετροβάμβακας/ υαλοβάμβακας) που αντικαθιστούν τον αμιάντο σαν θερμομονωτικά υλικά, καθώς επίσης πτητικές οργανικές ουσίες, οι οποίες εξαερώνονται με τη θερμοκρασία των εσωτερικών χώρων από διάφορα προϊόντα, όπως χρώματα, πλαστικά, κόλλες, κ.λ.π., όπου υπάρχουν ως διαλύτες. Βέβαια, και ο καπνός από τα τσιγάρα συγκαταλέγεται στις ρυπογόνες πηγές που μπορούν να δημιουργήσουν ένα βλαβερό για τους ένοικους περιβάλλον, όπως επίσης τα οξειδία του αζώτου, το μονοξείδιο του άνθρακα και το διοξείδιο άνθρακα που απελευθερώνονται από τις διάφορες συσκευές του χώρου.

Συμπτώματα του συνδρόμου του άρρωστου κτιρίου είναι πονοκέφαλοι, ζαλάδες, δύσπνοια, εκζέματα, παθήσεις του ήπατος, των νεφρών και του κεντρικού νευρικού συστήματος και διάφορες αλλεργικές εκδηλώσεις. Συνεπώς, είναι αναγκαίο να παγιωθεί μια οικολογική

προσέγγιση στην οικοδομική, ικανή να προτείνει εναλλακτικές οικολογικές οδούς, φιλικές προς τον άνθρωπο [3, 47, 48, 55].

8.4 Οικολογικά Υλικά

8.4.1 Κριτήρια Επιλογής Υλικών

Τα «σωστά» υλικά που πρέπει να χρησιμοποιούνται για την κατασκευή ενός κτηρίου, πρέπει να πληρούν τις εξής **προυποθέσεις** [46, 49]:

- Είναι ανακυκλώσιμα και μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν
- Είναι φυσικά και όχι αποτέλεσμα της χημικής βιομηχανίας, βρίσκονται σε αφθονία ή είναι ανανεώσιμα
- Η παρασκευή τους στοχεύει στην μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης, στην ελαχιστοποίηση των αποβλήτων και στην μείωση των αερίων που είναι υπεύθυνα για το φαινόμενο του θερμοκηπίου
- Είναι τοπικά διαθέσιμα υλικά, ώστε να αποφεύγεται η κατανάλωση ενέργειας για μεταφορά στον τόπο χρήσης τους
- Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής
- Δεν είναι τοξικά.
- Έχουν καθόλου ή ελάχιστο ποσοστό χημικών εκπομπών (π.χ.οι πτητικές ουσίες)
- Αντέχουν στην υγρασία, ώστε να μην εμφανίζεται το φαινόμενο της «μούχλας» στα κτήρια
- Η συντήρησή τους δεν εμπεριέχει χημικές διεργασίες
- Συμβάλλουν στην εξοικονόμηση ενέργειας στα κτήρια
- Βελτιώνουν την ποιότητα του εσωτερικού αέρα και γενικότερα συμβάλλουν στη δημιουργία υγιούς περιβάλλοντος για τους ενοίκους

8.4.2 Οικολογικά δομικά προϊόντα

Πρόκειται για ένα περιορισμένο αριθμό προϊόντων, που χρησιμοποιούνταν παραδοσιακά στις κατασκευές και δεν περιέχουν συνθετικά υλικά, ενώ προέρχονται από φυσικούς πόρους που υπάρχουν σε αφθονία [3, 50, 51]:

- **Ωμή άργιλος:** Είναι ένα άριστο οικοδομικό υλικό με πολύ καλές ιδιότητες όσον αφορά στη μηχανική αντοχή, στη θερμομόνωση και στην «αναπνοή» των εξωτερικών

τοίχων. Χρησιμοποιούνται παραδοσιακά στην περιοχή της Μεσογείου. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατάλληλα σχηματισμένη με τη μορφή ωμοπλίνθων ή χυτή σε καλούπια που μοιάζουν με αυτά του σκυροδέματος. Ένα σπίτι από ωμοπλίνθους μπορεί επίσης να χρησιμοποιήσει το ίδιο σκάμμα για την θεμελίωση της ανωδομής, περιορίζοντας την επίπτωση των οικοδομικών εργασιών στο περιβάλλον

- **Ασβέστης**: Επιτρέπει την ανταλλαγή αέρα μεταξύ εξωτερικού και εσωτερικού χώρου, επιτρέποντας έτσι την «αναπνοή» του κτηρίου και έχει το πλεονέκτημα να γίνεται εύκολα η ανακατασκευή του σε τμήματα που υφίσταται φθορές με το χρόνο. Απορροφά διοξείδιο του άνθρακα από τον αέρα, εξισορροπεί την υγρασία
- **Κετσές από καρύδα**: Συνίσταται από το Ινστιτούτο της Βιολογίας της Κατασκευής του Ρόζενχαιμ της Γερμανίας. θεωρείται «πράσινο» υλικό με καλές ηχομονωτικές ιδιότητες
- **Ξύλο**: Πρόκειται για ένα από τα κυριότερα υλικά της οικοδομικής. Είναι ανανεώσιμο, απαιτεί μικρή επεξεργασία και αποτελεί ένα ζωντανό υλικό για τη κατασκευή. Προκειμένου, όμως, να χαρακτηρίζεται ως οικολογικό πρέπει να πληρούνται κάποιες προϋποθέσεις που αφορούν στην προέλευση του, στη διαδικασία παραγωγής του και στον τύπο της επεξεργασίας που υφίσταται. Επεξεργασίες του ξύλου με προϊόντα χημικής προέλευσης μπορούν να αποτελέσουν ρυπογόνες πηγές, ενώ η χρήση ξυλείας που προέρχεται από δάση των οποίων η διαχείριση αλλοιώνει τα δασικά οικοσυστήματα, σε καμία περίπτωση δε χαρακτηρίζεται ως οικολογική λύση. Για το λόγο αυτό οικολογικές οργανώσεις παρέχουν πιστοποίηση (FSC -Forest Stewardship Council-) που εγγυάται ότι τα προϊόντα ξύλου που χρησιμοποιούνται προέρχονται από δάση των οποίων η διαχείριση δεν αντιτίθεται στα κριτήρια για την ανάπτυξη τους
- **Ξύλο εμποτισμένο με μαγνήσιο**: Πρόκειται για οικολογικό υλικό με καλή θερμική και ακουστική μόνωση, που μπορεί να «αναπνέει». Είναι, επίσης, ηλεκτρικά ουδέτερο και μη ραδιενεργό. Προκύπτει από τον εμποτισμό ινών του ξύλου με θειικό μαγνήσιο και οξείδιο του μαγνησίου σε υψηλή θερμοκρασία
- **Κόλλα από καουτσούκ**: Οι συνήθεις κόλλες από συνθετικές ρητίνες μπορούν να γίνουν αιτία πρόκλησης επιβλαβών για την ανθρώπινη υγεία αναθυμιάσεων. Η κόλλα από καουτσούκ είναι φυσικό, μη τοξικό προϊόν, με σταθερές συγκολλητικές ιδιότητες στο χρόνο
- **Κερί από μέλισσες**: Οικολογικό προϊόν που μπορεί να αξιοποιηθεί για το φινίρισμα και την προστασία του ξύλινων δαπέδων και γενικότερα των ξύλινων κατασκευών
- **Πλέγμα γιούτας**: Πρόκειται για φυτικές κλωστικές ίνες που εξάγονται από το βλαστό μερικών φυτών των τροπικών χωρών. Χρησιμοποιείται στην κατασκευή

εσωτερικών μονωτικών επιχρισμάτων, έτσι ώστε να απορροφούνται οι τάσεις, λόγω της συστολής του νερού του κονιάματος

- **Φελλός:** Έχει άριστες μονωτικές και ηχοαπορροφητικές ιδιότητες. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί συμπιεσμένος σε φύλλα, ή τριμμένος σε κόκκους. Είναι φυσικό υλικό και μη τοξικό
- **Ωστενιτικός Χάλυβας:** Λόγω της χαρακτηριστικής του σύνθεσης, είναι αμαγνητικός και ανοξείδωτος. Μοναδικό μειονέκτημα του το υψηλό του κόστους

8.5 Θερμομονωτικά υλικά

Σταθμό στην εξέλιξη των θερμομονωτικών υλικών απετέλεσε η πρώτη ενεργειακή κρίση των αρχών του 1970, όπου η επιταγή περιορισμού των αναγκών σε θέρμανση οδήγησε σε άνθηση στην αγορά θερμομονωτικών υλικών που αυξήθηκε ταχύτατα για να φτάσει σ' ένα κύκλο εργασιών της τάξης του 1.000.000.000 T το χρόνο. Ωστόσο, συχνά η χρήση πολλών από αυτά εγκυμονεί κινδύνους για την υγεία και το περιβάλλον. Είναι γνωστό ότι **μια σωστή θερμομόνωση**, η οποία απαιτεί περίπου το 2 - 5% του αρχικού κόστους κατασκευής του κτηρίου, **μπορεί να εξοικονομήσει μέχρι και το 50% του κόστους λειτουργίας της θέρμανσής του**. Μια κατοικία 100m² καλά θερμομονωμένη, εξοικονομεί περίπου 2 τόνους πετρέλαιο σε σχέση με μια αμόνωτη κατοικία [10]. Η καλή θερμομόνωση μπορεί να μειώσει τη μεταφορά θερμότητας μέσα από τους τοίχους, τα πατώματα, τις οροφές, τα παράθυρα, κ.λ.π. κατά πολύ μεγάλο ποσοστό. Επιθυμητή είναι η χρήση υλικών με μικρό συντελεστή θερμοπερατότητας U [5, 10, 54, 56].

Πίνακας 23 : Τιμή U ανάλογα με τη μόνωση [56]

Πάχος εξωτερικού τοίχου	τιμή-U με πρόσθετη θερμική μόνωση (W/m ² .°K)					
	Όχι μόνωμένα	6cm	8cm	10cm	12cm	14cm
38cm σταθερού τούβλου	1.45	0.45	0.37	0.31	0.27	0.24
38cm κενό τούβλο (παλιό)	1.08	0.41	0.34	0.29	0.25	0.23
38cm κενό τούβλο (νέο)	0.36	0.23	0.21	0.19	0.17	0.16
30cm πυρότουβλο (Ytong)	0.46	0.27	0.24	0.21	0.19	0.18
30cm οπλισμένο σκυρόδεμα	3.20	0.55	0.43	0.36	0.30	0.26
30cm συμπαγές ξύλο	0.60	0.32	0.27	0.24	0.21	0.19

Πίνακας 24: Διακυμάνσεις των τιμών U, ανάλογα με τα επίπεδα θερμομόνωσης [56]

>0.40	Ανεπαρκές
0.31 - 0.40	Καλό
0.25-0.30	Πολύ καλό
<0.25	Εξαιρετικά (Χαμηλά ενεργειακά επίπεδα)

8.5.1 Θερμομονωτικά υλικά συμβατικά και μη

Στην αγορά κυκλοφορούν τα εξής θερμομονωτικά υλικά (συμβατικά και οικολογικά) [3].

- **Εξηλασμένη πολυστερίνη:** Πρόκειται για υλικό που διατίθεται στην αγορά. Είναι υλικό μη ανακυκλώσιμο, προέρχεται από μη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας (υδρογονάνθρακες), η παραγωγή του είναι ενεργοβόρος και είναι υπεύθυνο για τη διαφυγή πτητικών ουσιών αερίων στο περιβάλλον, όπως χλωροφθορανθράκων και πεντανίου. Συμβάλλει έτσι στην καταστροφή της στουβιάδας του όζοντος και στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Σε περίπτωση πυρκαγιάς απελευθερώνονται επικίνδυνα, τοξικά βρωμιούχα αέρια
- **Πολυουρεθάνη:** Υλικό μη ανακυκλώσιμο που προέρχεται από μη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Δεν επιτρέπει στο κτήριο να διαπνέει, ενώ έχει επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου. Είναι δυνατόν να απελευθερώνονται αμίνες, που είναι ουσίες επικίνδυνες, ενώ σε εκδήλωση φωτιάς παράγεται κυάνιο που είναι ιδιαίτερα τοξικό
- **Υαλοβάμβακας και πετροβάμβακας:** Η παραγωγή τους συνδέεται με εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, είναι μη ανανεώσιμα (εκτός της υάλου), προέρχονται όμως από υλικά σε αφθονία. Έχουν αρνητικές επιδράσεις στην υγεία, για αυτό κατατάσσονται από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας στα εν δυνάμει καρκινογόνα υλικά που επιδρούν στον άνθρωπο μέσω της αναπνευστικής οδού. Στη Γερμανία έχει απαγορευτεί η χρήση τους στα δημόσια κτήρια και εφαρμόζονται μόνο στα μικρότερα κτήρια όταν αυτά στεγανοποιηθούν απόλυτα
- **Περλίτης:** Πρόκειται για μη ανανεώσιμο υλικό, που βρίσκεται ωστόσο σε αφθονία στη φύση. Ανακυκλώνεται μερικώς και δεν απελευθερώνει τοξικές ουσίες
- **Hraklith:** Είναι ένα αποδεκτό υλικό, που αποτελείται κυρίως από ξυλόμαλλο-ίνες ξύλου και τσιμέντο, που απαιτεί μεν αρκετή ενέργεια για την παραγωγή του, αλλά μικρότερη δε σε σχέση με τα άλλα υλικά. Παρέχει υγιεινή θερμομόνωση, ηχομόνωση και ηχοαπορρόφηση, καθώς επίσης και πυροπροστασία λόγω της ορυκτοποίησης του ξύλου με το τσιμέντο. Επίσης παρουσιάζει εξαιρετική πρόσφυση στο μπετόν και στα επιχρίσματα. Δεν επηρεάζεται από την υγρασία, έχει μεγάλη διάρκεια ζωής, είναι

απρόσβλητος από τους μικροοργανισμούς. Δεν συνδέεται με προβλήματα υγείας των ενοίκων και δεν απελευθερώνονται τοξικές ουσίες σε περίπτωση πυρκαγιάς

- **Διογκωμένος φελλός**: Είναι ανακυκλώσιμο υλικό κατά 100%, προέρχεται από ανανεώσιμη πηγή (φελλόδεντρα) και η παραγωγή του απαιτεί χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Δεν έχει επιπτώσεις στην υγεία, είναι απόλυτα φιλικό, αρκεί η τοποθέτηση του να μη συνδυάζεται με χρήση συνθετικών κολλών. Μειονέκτημα του είναι το σχετικά αυξημένο κόστος του, συγκριτικά με τα άλλα θερμομονωτικά υλικά

8.5.2 Οικολογικά θερμομονωτικά υλικά

Υλικά που είναι ανακυκλώσιμα και ταυτόχρονα φιλικά προς το περιβάλλον, δίχως να είναι ακριβά, είναι τα παρακάτω [3, 56]:

- **Λιναρόμαλλο**
- **Ρολό από ίνες κοκοφοίνικα**
- **Μονωτικό ρολό από υπολείμματα βαμβακιού**
- **Τζίβα**
- **Διογκωμένο άργιλο**

Τα υλικά αυτά, μπορεί κανείς να τα βρει στις Ευρωπαϊκές χώρες, ωστόσο στην Ελλάδα δεν είναι ακόμα γνωστά, παρά το γεγονός ότι η χώρα μας διαθέτει και άργιλο και βαμβάκι και λινάρι.

Οι προσπάθειες ωστόσο για ανεύρεση οικολογικών θερμομονωτικών υλικών συνεχίζεται, τουλάχιστον σε εργαστηριακό επίπεδο. Το Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, για παράδειγμα, υπό την επίβλεψη του Αντώνη Φραγκουδάκη, πραγματοποίησε την εργαστηριακή παραγωγή δομικών-θερμομονωτικών υλικών με **πρώτη ύλη το καλάμι από Μίσχανθο** και έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα [50]. Ένα από τα συμπεράσματα της έρευνας είναι ότι παραγωγή θα μπορούσε να επεκταθεί και σε άλλα είδη φυτών εκτός από το Μίσχανθο (*arundo donax*, *cynara*, *foufa cylindrica*) και να συμπεριλάβει ακόμα και τα γεωργικά υπολείμματα όπως η βαμβακιά και τα καλαμπόκια ως πρώτες ύλες για την παραγωγή οικολογικών δομικών υλικών.

8.5.3 Διαφανής θερμομόνωση

Εναλλακτική θερμομόνωση αποτελεί η διαφανής θερμομόνωση για την κατασκευή μεγάλων εξωτερικών επιφανειών. Οι θερμομονωτικές ιδιότητες της είναι πολύ καλές, καλύτερες ακόμη και από διπλούς υαλοπίνακες. Συγκεκριμένα, ο μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας των υλικών αυτών είναι $1 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ για πάχος 10 cm, ενώ για διπλό υαλοπίνακα η τιμή

είναι περίπου $3 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-13}$. Η διαφανής θερμομόνωση μπορεί να εφαρμοσθεί και πάνω από υπάρχουσες αμόνωτες τοιχοποιίες, όπως ακριβώς συμβαίνει με τις παραδοσιακές μονώσεις.

8.6 Οικολογικά χρώματα

Τα χρώματα με τα οποία βάφουμε μια επιφάνεια (τοίχο, οροφή, κουφώματα, αλλά και έπιπλα), προκειμένου να παράσχουμε προστασία από την φθορά του χρόνου και την οξειδωση, αλλά και για αισθητικούς λόγους, συνήθως περιέχουν μια πληθώρα χημικών ουσιών που είναι επικίνδυνες για την ανθρώπινη υγεία. Τέτοιες ουσίες είναι βαρέα μέταλλα, πτητικές ενώσεις, καθώς και άλλες επιβλαβείς ουσίες. Συνεπώς η ανάγκη για οικολογικά χρώματα είναι μεγάλη. Τέτοια χρώματα είναι αυτά που φτιάχνονται **100% από φυσικά συστατικά**, που δυστυχώς όμως ακόμα έχουν μεγάλο κόστος, καθώς και **χρώματα ήπιας χημείας**, τα οποία περιέχουν χημικά πρόσθετα τα οποία ωστόσο είναι ήπιας σύστασης, παραμένοντας έτσι **φιλικά προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο**. Σε ένα κτήριο στο οποίο χρησιμοποιούμε οικολογικά χρώματα, πετυχαίνουμε εξοικονόμηση ενέργειας, μικρότερη παραγωγή ρύπων, λιγότερο ακάθαρτο νερό και μικρότερες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Αξιοσημείωτο είναι ότι τα χρώματα που παρασκευάζονται από την πετροχημική βιομηχανία δημιουργούν σημαντική ποσότητα αποβλήτων, ενώ το νερό που χρησιμοποιείται στα εργοστάσια παραγωγής τους, διοχετεύεται συνήθως (μολυσμένο) στο περιβάλλον, λόγω του υψηλού κόστους ανακύκλωσης του. Σήμερα, ακόμα και στον Ελλαδικό χώρο, υπάρχουν εταιρίες που δραστηριοποιούνται στα οικολογικά χρώματα [3].

8.7 Οικολογικά κονιάματα

Στο πλαίσιο της αναζήτησης οικολογικών δομικών υλικών, τοποθετείται και οι στροφή προς τους «εναλλακτικούς» σοβάδες. Πρόκειται για υλικά που χρησιμοποιούνταν στο παρελθόν και σέβονται το περιβάλλον και τον άνθρωπο. Αποτελούν συνδυασμό κονιάς και κεραμικών προϊόντων και έχουν ως κύριο πλεονέκτημα ότι είναι φυσικά προϊόντα δίχως χημικές προσμίξεις, που αντέχουν στο χρόνο. Αποτελούνται από τα εξής συστατικά:

- **Θηραϊκή γη:** Πρόκειται για φυσική ηφαιστιογενή ποζολάνη (υλικό με ιδιότητες παραπλήσιες με αυτές του τσιμέντου), που χρησιμοποιείται κυρίως για την αποκατάσταση μνημείων, αλλά και τη δόμηση νέων κατασκευών. Πλεονέκτημα της είναι η ιδιότητα της να ενώνεται με την άσβεστο και να σχηματίζει ασβεστοπυριτικές ενώσεις που σκληραίνουν το κονίαμα, παρουσίας υγρασίας. Την ιδιότητα αυτή την οφείλει στο πυρίτιο που περιέχει. Συνίσταται να μην χρησιμοποιείται το υλικό σε θερμοκρασίες κάτω των 5°C και άνω των 35°C , ενώ πρέπει να αποθηκεύεται σε καλυμμένο και στεγνό χώρο

³ Βλέπε κεφάλαιο φυσικού φωτισμού 7.6.9.

- **Ποζολάνη Μήλου:** Η φυσική ποζολάνη χρησιμοποιήθηκε πρώτα από τους Ρωμαίους και ήταν συστατικό του Ρωμαϊκού σκυροδέματος, που αποτέλεσε μεγάλη καινοτομία στις κατασκευές. Στη Μήλο υπάρχουν μεγάλα κοιτάσματα ποζολάνης που προέρχονται από την ηφαιστειακή δράση σε παλιότερες εποχές στο νησί, και είναι προϊόντα του υψηλού γεωθερμικού πεδίου και της κυκλοφορίας των γεωθερμικών ρευστών στο εσωτερικό αυτού. Τα ενεργά ορυχεία ποζολάνης βρίσκονται στη Μήλο, αλλά και στην Κίμωλο και την Σκύδρα του νομού Πέλλης
- **Κεραμάλευρο:** Ένα ακόμη στοιχείο που αξίζει να προστίθεται στο σοβά είναι το κεραμάλευρο, αγαπημένο υλικό των Ρωμαίων και των Βυζαντινών. Χρησιμοποιήθηκε κατά την Βυζαντινή περίοδο στην εκκλησία της Αγίας Σοφίας στη Θεσσαλονίκη, αποδεικνύοντας έτσι και την αντοχή του στο πέρασμα των χρόνων. Είναι φτιαγμένο από άργιλο που έχει ψηθεί σε υψηλή θερμοκρασία και μετά έχει γίνει σκόνη. Εκτός του ότι αυξάνει εντυπωσιακά την αντοχή του σοβά, μπορεί να δώσει και κάποια φυσικά γαιώδη χρώματα, απαλλάσσοντας τον ιδιοκτήτη από τα έξοδα του βαφίματος

Σε κάθε περίπτωση η αντοχή του οικολογικού σοβά δε συγκρίνεται με εκείνη του συμβατικού. Τα ιστορικά κτήρια που ακόμη στέκουν σε εξαιρετική κατάσταση είναι ζωντανή απόδειξη αυτής της ιδιότητας τους. Επίσης, είναι δυνατόν να αποφευχθεί η χρήση χρωμάτων, αφού τα κονιάματα αυτά μπορούν να προσφέρουν φυσικούς καλαίσθητους χρωματισμούς. Όσον αφορά δε την υγρασία, τα οικολογικά κονιάματα επιτρέπουν την αναπνοή του κτηρίου, ώστε να μην εγκλωβίζεται ανεπιθύμητη υγρασία.

8.8 Κριτήρια επιλογής Δομικών Υλικών

Πίνακας 25: Ενδεικτικά παραδείγματα επιλογών σε δομικά προϊόντα [95]

ΕΦΑΡΜΟΓΗ	1 ^η ΠΡΟΤΙΜΗΣΗ	2 ^η ΠΡΟΤΙΜΗΣΗ	3 ^η ΠΡΟΤΙΜΗΣΗ	ΔΕ ΣΥΝΙΣΤΑΤΑΙ
Μόνωση Τοίχων	•Φελλός •Κυτταρίνη •Ξυλόμαλλο	•Πετροβάμβακας	•Διογκωμένη πολυστερίνη (EPS) •Υαλοβάμβακας	•Εξηλασμένη πολυστερίνη (XPS) •Πολουρεθάνη
Εσωτερικοί Αγωγοί Αποχέτευσης	Κεραμικοί σωλήνες	•Πολυαιθυλένιο (PE) •Πολυπροπυλένιο (PP)	-	•PVC
Σωληνώσεις νερού	•Πολυπροπυλένιο (PP)	•Ανοξείδωτο ατσάλι	•Χαλκός	-

	<ul style="list-style-type: none"> • Πολυαιθυλένιο (PE) • Πολυβουτυλένιο 			
Εξωτερικές πόρτες	<ul style="list-style-type: none"> • Πιστοποιημένη ανθεκτική ξυλεία αειφορικής διαχείρισης • Ξυλεία κωνοφόρων χωρίς συντηρητικά 	<ul style="list-style-type: none"> • Ξυλεία κωνοφόρων με εμφυτεύματα βορικών αλάτων • Κόντρα πλακέ από ξυλεία αειφορικής διαχείρισης 	<ul style="list-style-type: none"> • Αλουμίνιο • Ξυλεία κωνοφόρων με συντηρητικά 	<ul style="list-style-type: none"> • Μη πιστοποιημένη τροπική ξυλεία • PVC
Εσωτερικές πόρτες	<ul style="list-style-type: none"> • Πιστοποιημένη ξυλεία αειφορικής διαχείρισης • Κυψελοειδής μοριοσανίδα 	<ul style="list-style-type: none"> • Ευρωπαϊκή ξυλεία κωνοφόρων 	<ul style="list-style-type: none"> • Κόντρα πλακέ από ξυλεία αειφορικής διαχείρισης • Νοβοπάν 	<ul style="list-style-type: none"> • Μη πιστοποιημένη τροπική ξυλεία • PVC
Πλακάκια και κάλυψη πατωμάτων	<ul style="list-style-type: none"> Λινόλαιο • Πιστοποιημένη ανθεκτική ξυλεία αειφορικής διαχείρισης • Φελλός 	<ul style="list-style-type: none"> • Κεραμικά πλακάκια (κατά προτίμηση με οικολογική σήμανση) • Ξυλεία επεξεργασμένη με συντηρητικά 	<ul style="list-style-type: none"> • Καουτσούκ 	<ul style="list-style-type: none"> • Φελλός με επίστρωση PVC ή πολυουρεθάνης
Επιστέγαστρα και διαφανή συστήματα επικαλύψεων	<ul style="list-style-type: none"> • Γυάλινα 	<ul style="list-style-type: none"> • Πολυανθρακικά 	<ul style="list-style-type: none"> • Ακρυλικά (Plexiglas) 	<ul style="list-style-type: none"> • PVC

Ο παραπάνω πίνακας, δίνει ενδεικτικά τα κριτήρια επιλογής για διάφορα δομικά προϊόντα, **βάση της μεθοδολογίας «Περιβαλλοντικής Προτίμησης»**, η οποία εφαρμόζεται με επιτυχία σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες που επιλέγουν και προωθούν την οικολογική δόμηση. Η «Περιβαλλοντική Προτίμηση» βασίζεται στην **αξιολόγηση των υλικών κατασκευής** και την **βαθμονόμηση** τους, λαμβάνοντας υπόψη ορισμένους παράγοντες, έτσι ώστε να επιτευχθεί ένα είδος περιβαλλοντικής κατάταξης τους. Μερικά από τα κριτήρια αυτά είναι τα εξής [54, 95]:

- Η σπανιότητα των πρώτων υλών
- Η οικολογική επίπτωση που σχετίζεται με την εξόρυξη και την παραγωγή των πρώτων υλών, καθώς επίσης οι εκπομπές ρύπων κατά την παραγωγική διαδικασία.
- Η ενεργειακή κατανάλωση σε όλα τα στάδια (εξόρυξη, επεξεργασία, μεταφορά)

- Η κατανάλωση νερού
- Η χρήση ή έκλυση ουσιών επιβλαβών τόσο για την ανθρώπινη υγεία, όσο και για το περιβάλλον (π.χ. έκλυση τοξικών ουσιών)
- Η πρόκληση ηχορύπανσης ή δυσάρεστων οσμών

Μια ενδεικτική παρουσίαση της ποιότητας των οικοδομικών υλικών, είναι και ο πίνακας που ακολουθεί, του οποίου η ερμηνεία εξηγείται παρακάτω:

Πίνακας 26: Ποιότητα δομικών υλικών [54]

A	Πηγή Προέλευσης
B	Βιολογική Διάρκεια Ζωής
Γ	Οικολογική Συμβατότητα
Δ	Κατανάλωση Ενέργειας
E	Ραδιενέργεια
ΣΤ	Τοξικές Πτητικές Ουσίες
Z	Οσμές

Πίνακας 27: Ποιότητα δομικών υλικών [54]

0	Να αποφεύγεται η χρήση του
1	Δε συνίσταται
2	Αμφίβολη χρήση
3	Συνίσταται η χρήση του

Πίνακας 28: Ποιότητα δομικών υλικών[54]

ΥΛΙΚΟ	ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ						
	A	B	Γ	Δ	E	ΣΤ	Z
Ξόλο	3	3	3	3	3	3	3
Φελλός	3	3	3	3	3	3	3
Άργιλος	3	3	3	3	3	3	3
Κερί Μέλισσας	3	3	3	3	3	3	3
Τούβλο	2	3	3	2	2	2	3
Ασβεστοκονίαμα	2	2	3	2	3	2	3
Φυσικό Λινέλαιο	1	2	3	2	3	3	3
Τσιμέντο Τύπου Portland	1	0	2	1	0	1	3
Πλάκα Αμιάντου	1	0	0	1	1	-	3

Συνθετικός Γύψος	0	0	0	1	0	-	3
Γυαλί	0	1	1	0	3	0	3
Ασφαλτόπανο	1	0	1	1	3	-	0
Πολυεστέρας	0	0	0	0	3	0	0
PVC	0	0	0	0	3	0	0
Συνθετική κόλλα	0	0	0	0	3	0	3
BETANAME	0	0	0	0	1	0	3
Συνθετικό Βερνίκ	0	0	0	0	3	0	0

8.9 Υλικά Νέας Τεχνολογίας –PCM



Εικόνα 97: Υλικά αλλαγής φάσης

8.9.1 Τι είναι τα PCM

Τα υλικά αλλαγής φάσης (**Phase Change Materials**), έχουν την ιδιότητα να τήκονται και να στερεοποιούνται – να αλλάζουν δηλαδή φάση- στο εύρος των θερμοκρασιών στις οποίες χρησιμοποιούνται, με αποτέλεσμα να αποθηκεύουν, αλλά και να προσφέρουν μεγάλα ποσά ενέργειας. Δεδομένου ότι η **λανθάνουσα θερμότητα** είναι η ενέργεια στη μορφή θερμότητας που αποβάλλεται ή απορροφάται από ένα υλικό κατά την αλλαγή φάσης, επιθυμητό είναι τα υλικά αλλαγής φάσης να παρουσιάζουν μεγάλη τιμή λανθάνουσας θερμότητας. Έχουν την ιδιότητα να ομαλοποιούν τις διακυμάνσεις θερμότητας στον εσωτερικό χώρο ενός κτηρίου κατά τη διάρκεια της ημέρας, με το να μειώνουν τις ακραίες θερμοκρασίες, που είναι αποτέλεσμα ακραίων εξωτερικών θερμοκρασιών που παρατηρούνται κατά τη διάρκεια της ημέρας. Μειώνουν, λοιπόν, τις ανάγκες σε θερμικά και ψυκτικά φορτία εξασφαλίζοντας έτσι εξοικονόμηση ενέργειας για το χρήστη [8, 57].

Με απλά λόγια θα μπορούσε να περιγραφεί η **λειτουργία τους** ως εξής:

Σε θερμοκρασία δωματίου τα υλικά αλλαγής φάσης βρίσκονται σε στερεά κατάσταση. Όταν όμως αυξηθεί η θερμοκρασία του χώρου, υγροποιούνται απορροφώντας θερμότητα την οποία παίρνουν από το δωμάτιο, το οποίο τελικά ψύχεται. Όταν δε η θερμοκρασία του χώρου πέφτει, τα υλικά αυτά στερεοποιούνται, αποβάλλοντας κατά τη διαδικασία της στερεοποίησης τους θερμότητα προς τον εσωτερικό χώρο.

Συνεπώς, είναι προφανές ότι ο εντοιχισμός τέτοιων υλικών σε τοιχοποιία, ή η χρήση τους σε συνεργασία με ενδοδαπέδια θέρμανση είναι μέθοδοι ιδιαίτερα αποδοτικές.

Για τη χρήση των υλικών αλλαγής φάσης στα κτήρια [8] είναι επιθυμητό αυτά να έχουν τις εξής ιδιότητες:

- Επιθυμητό σημείο τήξης πάνω από 25 °C
- Σχετικό χαμηλό κόστος παραγωγής και αγοράς
- Να μην είναι τοξικά, διαβρωτικά, ή εύφλεκτα
- Να παρουσιάζουν υψηλή αγωγιμότητα
- Μεγάλη τιμή λανθάνουσας θερμότητας

8.9.2 Κατηγορίες PCM

Με βάση τη σύστασή τους, τα υλικά που αλλάζουν φάση μπορούν να ομαδοποιηθούν σε δύο κατηγορίες, **τα οργανικά και τα ανόργανα υλικά** [8]:

Οργανικά υλικά

Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει κυρίως τις παραφίνες και τα μικροκρυσταλλικά κεριά, καθώς επίσης τα λιπαρά οξέα, εστέρες, αλκοόλες λιπαρών οξέων ή και μίγματα αυτών.

Τα **πλεονεκτήματα** τους είναι τα εξής:

- Είναι σχετικά φτηνά
- Είναι μη διαβρωτικά υλικά, χημικά και θερμικά σταθερά
- Σχετίζονται με μικρό κίνδυνο ρύπανσης του νερού
- Έχουν σχετικά χαμηλό κόστος σε σχέση με τα άλλα υλικά αλλαγής φάσης

Ωστόσο, παρουσιάζουν τα ακόλουθα **μειονεκτήματα**:

- Είναι αναφλέξιμα σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες (200)
- Έχουν συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας χαμηλότερο από τα ανόργανα υλικά
- Έχουν μικρότερη πυκνότητα από τα μη οργανικά
- Η λανθάνουσα θερμότητας υγροποίησης τους είναι επίσης χαμηλότερη από τα ανόργανα υλικά

Ανόργανα υλικά

Πρόκειται κυρίως για διαλύματα ενυδρών αλάτων, που παρουσιάζουν πολύ καλές ιδιότητες.

Τα **πλεονεκτήματα** τους είναι [8]:

- Έχουν μεγάλη τιμή λανθάνουσας θερμότητας και αγωγιμότητας
- Είναι μη αναφλέξιμα
- Έχουν σχετικά μεγάλη πυκνότητα

Στα **μειονεκτήματα** τους συγκαταλέγονται τα εξής:

- Είναι διαβρωτικά, για το λόγο αυτό είναι απαραίτητη η αποθήκευση των υλικών σε ενισχυμένη συσκευασία
- Δεν είναι θερμικά σταθερά
- Έχουν αρκετά μεγάλο κόστος αγοράς σε σχέση με τα οργανικά
- Αν εκτεθούν σε υγρασία εκφυλίζονται οι ιδιότητες τους

9. Τεχνικές εξοικονόμησης ενέργειας

Εκτός από τον βιοκλιματικό σχεδιασμό, τα παθητικά συστήματα και την επιλογή των κατάλληλων δομικών υλικών και θερμομονώσεων, υπάρχουν και άλλες τεχνικές εξοικονόμησης ενέργειας για τα κτήρια. Αυτές ποικίλουν από απλούς τρόπους εξοικονόμησης, που μπορούμε να εφαρμόσουμε στα συστήματα κλιματισμού και θέρμανσης των κτηρίων, μέχρι σύγχρονες τεχνολογικά μεθόδους που έχουν αναπτυχθεί. Ενδεικτικά αναφέρονται μερικές από αυτές.

9.1 Απλοί τρόποι εξοικονόμησης ενέργειας στην κεντρική θέρμανση και στο κλιματισμό

Κεντρική Θέρμανση

Σύμφωνα με μελέτες, στα μεγάλα αστικά κέντρα της Ελλάδας υπάρχουν **σημαντικά περιθώρια εξοικονόμησης ενέργειας όσον αφορά τα συστήματα κεντρικής θέρμανσης**. Αξιοσημείωτο είναι ότι το 35-40% της συνολικής ενέργειας καταναλώνεται σήμερα στα κτήρια, ενώ από αυτήν την ενέργεια το 50% οφείλεται στα συστήματα κεντρικής θέρμανσης. Μια εγκατάσταση κεντρικής θέρμανσης, όπως ονομάζεται η παραγωγή θερμότητας για τη θέρμανση χώρων ή/ και την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, από ένα εγκατεστημένο στο κτήριο κεντρικό σύστημα, θεωρείται επιτυχημένη όταν θερμαίνει σωστά και όσο χρειάζεται και εφόσον λειτουργεί οικονομικά και με ασφάλεια. Μερικές απλές παρεμβάσεις στο σύστημα αυτό μπορούν να εξοικονομήσουν σημαντικά ποσά ενέργειας, μέχρι και 20% και είναι οι ακόλουθες [5, 118]:

- Πρέπει να αποφεύγονται οι μεγάλοι λέβητες που δε λειτουργούν σε πλήρη ισχύ και με χαμηλή απόδοση.
- Σε μεσαίου μεγέθους εγκαταστάσεις και πάντα στις μεγάλες προτιμούνται περισσότεροι του ενός λέβητες, ώστε να υπάρχει η δυνατότητα της λειτουργίας μόνο του ενός, όταν δεν υπάρχει υψηλή ζήτηση. Το κόστος αγοράς δύο λεβήτων αντί του ενός αντισταθμίζεται γρήγορα από την εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται

- Οι λέβητες καλό είναι να μονώνονται. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι ένας λέβητας χωρίς μόνωση μπορεί να έχει απώλειες πάνω από 5%, τη στιγμή που ένας μονωμένος μπορεί να έχει απώλειες το πολύ έως 1%
- Πολύ σημαντική είναι η μείωση της προκαθορισμένη θερμοκρασίας αναφοράς. Μια μείωση της τάξης του ενός βαθμού, οδηγεί σε πάνω από 6% λιγότερα καύσιμα
- Καυστήρες προηγμένης τεχνολογίας μπορούν να οδηγούν σε τέλεια καύση, για το λόγο αυτό είναι σημαντικό να προτιμούνται
- Οι σωληνώσεις της εγκατάστασης που περνούν μέσα από μη θερμαινόμενους χώρους θα πρέπει να μονώνονται προς αποφυγή απωλειών
- Η τοποθέτηση μετρητών θερμικής ενέργειας συμβάλλει στην μείωση της σπατάλης και της αλόγιστης χρήσης
- Προτείνεται η χρήση θερμοστάτη στα θερμαντικά σώματα για την ρύθμιση της απαραίτητης και επιθυμητής θερμοκρασίας σε ένα χώρο
- Εγκατάσταση συστήματος αντιστάθμισης. Πρόκειται για σύστημα που ρυθμίζει αυτόματα τη θερμοκρασία του προσαγόμενου θερμού νερού στο κτήριο ή στα καλοριφέρ, σε συνάρτηση με την εξωτερική θερμοκρασία και την επιθυμητή εσωτερική θερμοκρασία. Το σύστημα αντιστάθμισης ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις για ορθολογική χρήση της ενέργειας
- Όταν ένα θερμαντικό σώμα βρίσκεται κοντά σε εξωτερικό τοίχο θα πρέπει να τοποθετείται μονωτικό υλικό μεταξύ των δύο και επίσης να μην τοποθετούνται καλύμματα στα σώματα
- Σε κάθε περίπτωση, ένα κεντρικό σύστημα θα πρέπει να διαστασιολογείται μετά από ειδική μελέτη, προκειμένου να αποφευχθεί υπερδιαστασιολόγηση και σπατάλη καυσίμων
- Η συντήρηση του συστήματος θέρμανσης βελτιώνει την απόδοση, μειώνει την κατανάλωση καυσίμων και την ρύπανση της ατμόσφαιρας και ο εξοπλισμός αποκτάει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής

Κλιματισμός

Έχει υπολογισθεί από διάφορες μελέτες ότι **μέχρι και το 30% του ενεργειακού κόστους μπορεί να εξοικονομηθεί**, στις περιπτώσεις που ο κλιματισμός είναι απαραίτητος, εάν γίνει η **κατάλληλη επιλογή, συνειδητός σχεδιασμός και καλός έλεγχος του συστήματος**, καθώς και **αποτελεσματική συντήρηση** του. Είναι γεγονός ότι σε ένα μεγάλο αριθμό κτηρίων, ο πλήρης κλιματισμός των χώρων τους δεν είναι απαραίτητος και μεγάλα ενεργειακά οφέλη

μπορούν να επιτευχθούν με χρήση μηχανικού ή φυσικού εξαερισμού. Μερικά από τα μέτρα εξοικονόμηση είναι τα εξής [5, 98]:

- Η θερμοκρασία των κατειλημμένων χώρων πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 23-25 °C. Χαμηλότερες θερμοκρασίες αυξάνουν σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας, χωρίς να συνεπάγονται την αντίστοιχη βελτίωση των συνθηκών άνεσης
- Σημαντικά ενεργειακά οφέλη μπορούμε να έχουμε με την τοποθέτηση χρονοδιακοπών και με κατάλληλη ρύθμιση θερμοστατών
- Απαραίτητη είναι η επαρκής συντήρηση των εγκαταστάσεων. Ο ολοκληρωμένος καθαρισμός των φίλτρων διασφαλίζει καλύτερη ποιότητα αέρα και μικρότερη κατανάλωση ενέργειας. Μπορεί να εξοικονομηθεί 10-30% της ενέργειας που χρησιμοποιείται εάν ακολουθηθούν σωστά οι πρακτικές της συντήρησης
- Η αύξηση της θερμοκρασίας παραγωγής ψυχρού νερού μπορεί να προκαλέσει ενεργειακά οφέλη της τάξεως του 10% για κάθε βαθμό μεταβολής
- Μείωση της παραγόμενης στο κτήριο θερμότητας μπορεί να μειώσει σημαντικά τις ανάγκες σε ψυκτικό φορτίο. Για παράδειγμα, σβήσιμο ή μείωση του επιπέδου φωτισμού μπορεί να αποφέρει μείωση 25-60% στο απαιτούμενο ψυκτικό φορτίο. Ένας κλασικός λαμπτήρας πυρακτώσεως, για παράδειγμα, μετατρέπει το 80% περίπου της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας σε θερμότητα την οποία ακτινοβολεί στο χώρο ζεσταίνοντας τον άσκοπα. Για το λόγο αυτό καλό είναι να προτιμούνται οι λαμπτήρες χαμηλής κατανάλωσης (π.χ. λαμπτήρες φθορισμού)⁴
- Σε περίπτωση υγρασίας, μια ρύθμιση των ανεμιστήρων σε χαμηλά επίπεδα αποφέρει λιγότερη ψύξη, αλλά θα αφαιρεθεί περισσότερη υγρασία από τον αέρα, κάνοντας το χώρο να μοιάζει πιο δροσερός
- Η επιλογή ενεργειακά αποδοτικού κλιματιστικού μειώνει την κατανάλωση ενέργειας κατά 20-50%, ενώ το μέγεθος το κλιματιστικού πρέπει να είναι κατάλληλο για το χώρο
- Η διεύθυνση του αέρα πρέπει να ρυθμίζεται προς τα κάτω, αφού ο ζεστός αέρας είναι ελαφρύτερος και κινείται προς τα πάνω, με φυσικό τρόπο
- Οι ανεμιστήρες οροφής βελτιώνουν σημαντικά τις συνθήκες θερμικής άνεσης, ενώ συμβάλλουν στην εξοικονόμηση ενέργειας, λόγω της χαμηλής κατανάλωσης τους. Ακόμα και αν ο χώρος κλιματίζεται, η χρήση ανεμιστήρων οροφής οδηγεί σε μείωση της κατανάλωσης ενέργειας για την κάλυψη των ψυκτικών φορτίων κατά 28-40%. (Πίνακας 29)

⁴ Κεφάλαιο 7.7

- Η απόδοση ενός συστήματος κλιματισμού βελτιώνεται όταν το εξωτερικό τμήμα του μηχανήματος προστατεύεται από την άμεση έκθεση του στον ήλιο και τους ισχυρούς ανέμους.

Πίνακας 29: Σύγκριση ωριαίας λειτουργίας κλιματιστικού και ανεμιστήρα οροφής [5]

Συσκευή	Κόστος Λειτουργίας ανά ώρα	Εκπομπές CO ₂ ανά ώρα
Ανεμιστήρας Οροφής (40 W)	0,35 λεπτά	50 γραμμάρια
Κλιματιστικό (9000Btu 1000W)	7,5 λεπτά	1000γραμμάρια

9.2 Σύγχρονες Τεχνολογίες Εξοικονόμησης Ενέργειας

9.2.1 Ηλιακή θέρμανση

Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί, μέσω ηλιακών συλλεκτών, τόσο για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, όσο και για την θέρμανση χώρου. Την περίοδο 1990-2001, η μέση ετήσια αύξηση της ευρωπαϊκής αγοράς ηλιοθερμικών συστημάτων ήταν 13,6%. Κάθε χρόνο, στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης εγκαθίστανται πάνω από 1 εκατ. τετραγωνικά μέτρα συλλεκτών, ενώ τα συνολικά εγκατεστημένα συστήματα (επίπεδοι συλλέκτες με κάλυμμα) ανέρχονται σε 11 εκατ. τετραγωνικά μέτρα περίπου. Αν μάλιστα προσθέσει κανείς και τα μικρότερα μερίδια των συλλεκτών με σωλήνες κενού και τους συλλέκτες χωρίς κάλυμμα, τότε φτάνει στα 12,8 τετραγωνικά μέτρα (m²) ηλιακών συλλεκτών ή αλλιώς σε 34 m² ανά 1.000 ευρωπαίους. **Ο στόχος που έχει τεθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση για τη χώρα μας, είναι η εγκατάσταση περίπου 10 εκατ. τετραγωνικών μέτρων συλλεκτών ως το 2015** (περιλαμβανομένων των συστημάτων για θέρμανση και κλιματισμό). Ο στόχος αυτός (περίπου 1 m² ηλιακών συλλεκτών για κάθε κάτοικο) έχει υιοθετηθεί και από μη κυβερνητικές περιβαλλοντικές οργανώσεις, αφού θα μπορούσε να συνεισφέρει στην αποφυγή της έκλυσης τουλάχιστον 4 εκατ. τόνων διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) ετησίως [97]

Παραγωγή ζεστού νερού χρήσης

Όσον αφορά στη παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, αξιοσημείωτο είναι ότι ένας ηλιακός θερμοσίφωνας μπορεί να εξοικονομήσει από 30-80% της ηλεκτρικής ενέργειας που

καταναλώνει ένας ηλεκτρικός θερμοσίφωνας [96]. Συμβάλλει στη μείωση της χρήσης των συμβατικών καυσίμων και κατ'επέκταση στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Συγκεκριμένα, ένα τυπικό θερμοσιφωνικό σύστημα για οικιακή χρήση παράγει ετησίως 840-1.080 KWh και αποσοβεί την έκλυση 925-1.200 κιλών CO₂/χρόνο [97].



Εικόνα 98: Παραγωγή ζεστού νερού χρήσης με ηλιακά

Τα περισσότερα ηλιακά συστήματα για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης αποτελούνται συνιστώνται από:

- Τον ηλιακό συλλέκτη
- Μια δεξαμενή αποθήκευσης

Ο πιο κοινός τύπος συλλέκτη που χρησιμοποιείται είναι οι επίπεδοι συλλέκτες με κάλυμμα. Με τη βοήθεια της ηλιακής θερμικής ενέργειας που συλλέγεται στο συλλέκτη, θερμαίνεται το νερό και μεταφέρεται στην καλά μονωμένη δεξαμενή αποθήκευσης, έτοιμο προς χρήση (Εικόνα 98). Ένα συμβατικό σύστημα (συμβατικός θερμαντήρας νερού), χρησιμοποιείται συμπληρωματικά, όταν οι ανάγκες για θέρμανση του νερού δεν καλύπτονται από το ηλιακό σύστημα [99].

Ηλιακή Θέρμανση Χώρων με συνδυσμένα συστήματα

Τα ηλιακά συστήματα θέρμανσης χώρου χρησιμοποιούνται ευρέως στη Βόρεια και Κεντρική Ευρώπη, συνήθως σε συνδυασμό με κάποιο άλλο σύστημα θέρμανσης (που λειτουργούν με π.χ. βιομάζα, ή αέριο), γι'αυτό είναι γνωστά ως συνδυσμένα συστήματα (**combisystems**).

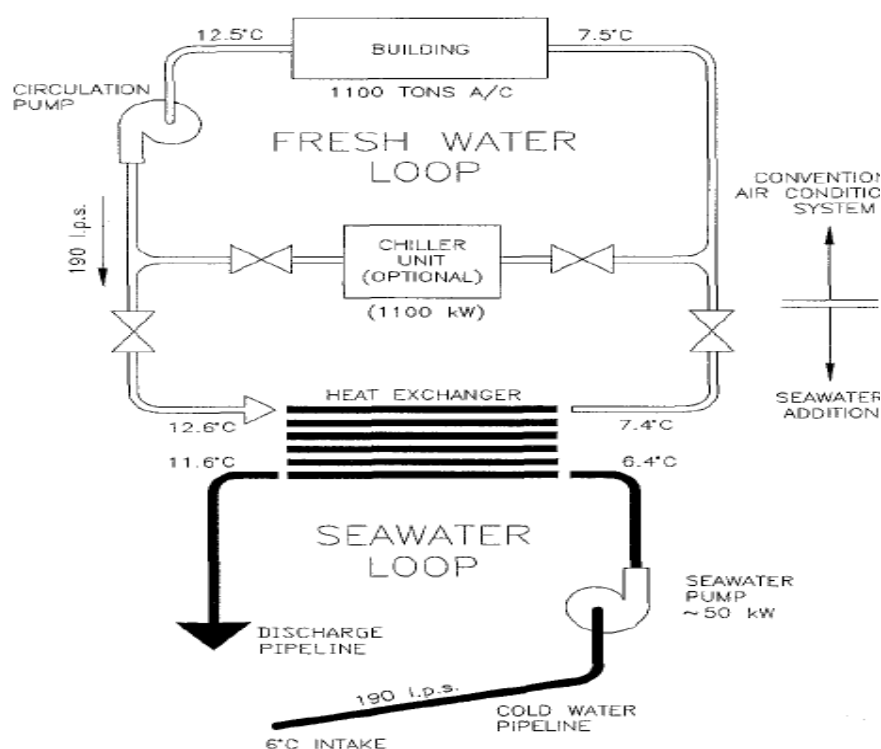
Τα συστήματα αυτά παρέχουν ζεστό νερό χρήσης, αλλά και εξασφαλίζουν τη θέρμανση των χώρων, με τη χρήση μια κοινής διάταξης συλλεκτών, που συνδυάζεται με τη βοηθητική

μονάδα θέρμανσης. Ανάλογα με το μέγεθος του συστήματος που εγκαθίσταται, η ετήσια συμβολή του για τη θέρμανση χώρων κυμαίνεται από 30% έως 50%. Οι υπόλοιπες απαιτήσεις σε θερμότητα καλύπτονται από τη βοηθητική μονάδα. **Πλεονέκτημα των συστημάτων αυτών είναι ότι**

- Μπορούν να συνδυασθούν με σύστημα ηλιακής ψύξης.
- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο σε νοσοκομεία, ξενοδοχεία, βιομηχανίες, όσο και σε σπίτια.
- Ιδιαίτερα στα νότια κλίματα, η τεχνολογία αυτή είναι αρκετά αποδοτική. Σε συνδυασμό με βοηθητικό σύστημα που κάνει χρήση βιομάζας, η κάλυψη των αναγκών για θέρμανση, μπορεί να φτάσει το 100%.
- Το κόστος τους είναι συγκρίσιμο με τα κοινά ηλιακά συστήματα
- Μπορούν να συνδυαστούν με ήδη εγκατεστημένα συμβατικά συστήματα

Για κάλυψη των θερμικών αναγκών της τάξης του 40-50%, πρέπει η επιφάνεια των συλλεκτών να είναι ίση με το 20% της επιφάνειας του χώρου που πρόκειται να θερμανθεί. Δηλαδή, για σπίτι 100m², χρειάζονται συλλέκτες επιφάνειας 20 m².

9.2.2 Ψύξη από θάλασσα



Εικόνα 99: Σχηματικό Διάγραμμα Ροής, ενός μεγάλου συστήματος κλιματισμού που λειτουργεί είτε με κρύο νερό θάλασσας, είτε με συμβατικό σύστημα ψύξης (air conditioning with deep seawater; a reliable, cost effective technology [100])

Το νερό της θάλασσας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ψύξη των κτηρίων. **Η θάλασσα έχει την ιδιότητα να διατηρεί τη θερμοκρασία της σταθερή σε μεγάλα βάθη**, ανεξάρτητα από τις θερμοκρασίες που επικρατούν εξωτερικά. Για να γίνει αυτό κατανοητό, το καλοκαίρι η επιφανειακή θερμοκρασία της θάλασσας βρίσκεται στους 20 °C, ενώ σε μεγάλο βάθος η θερμοκρασία της μπορεί να φτάνει τους 4 °C. Την ιδιότητα αυτή μπορούμε να την αξιοποιήσουμε στα κτήρια, αφού το κρύο νερό αυτό αποτελεί μια μόνιμη πηγή ψύξης [101]. Η πολυτιμότητα του κρύου νερού της θάλασσας ως πηγή ενέργειας, έχει αναγνωρισθεί εδώ και πολύ καιρό, ενώ μελετητές από το 1970, παρακινημένοι από την ενεργειακή κρίση, αναδεικνύουν τα πλεονεκτήματα του κλιματισμού από το θαλασσινό νερό. Ο κλιματισμός με θαλασσινό νερό απαιτεί πολύ λιγότερη ηλεκτρική ενέργεια, απ'ότι ένα συμβατικό σύστημα ψύξης. Κατά τις πρώτες μελέτες που έγιναν, το κόστος ενός τέτοιου συστήματος ήταν αβέβαιο, επειδή οι σωληνώσεις δεν είχαν τοποθετηθεί στο σωστό βάθος και οι εναλλάκτες θερμότητας δεν είχαν εξελιχθεί.

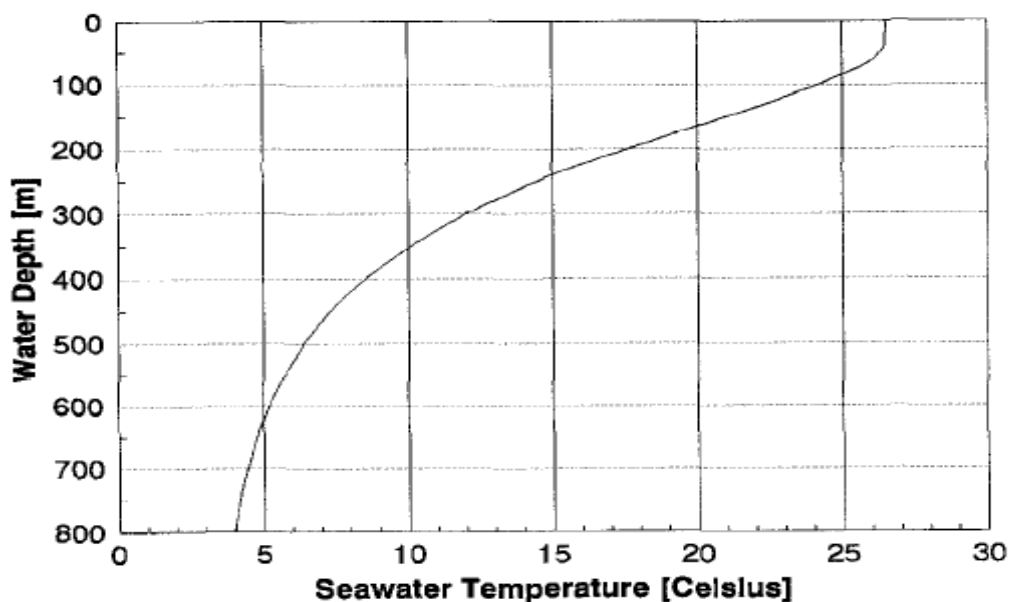
Τα τελευταία, ωστόσο, χρόνια σχετικές έρευνες οδήγησαν στην εξέλιξη αξιόπιστων, μεσαίου μεγέθους σωληνώσεων, κατάλληλων για τη χρήση αυτή, καθώς και την κατασκευή κατάλληλων εναλλακτών χαμηλού κόστους, από αλουμίνιο, συμβατών με το κρύο θαλασσινό νερό. **Για πολλά μέρη το σύστημα ψύξης με θαλασσινό νερό είναι πλέον μια αξιόπιστη και οικονομικά αποδεκτή τεχνολογία** [100]

Αξιοσημείωτο είναι, ότι τα υδρόψυκτα συστήματα πλεονεκτούν έναντι των αερόψυκτων καθώς μπορούν να λειτουργήσουν σε χαμηλότερη θερμοκρασία και συνεπώς παρουσιάζουν πολύ μεγαλύτερη απόδοση. Συγκεκριμένα για το ίδιο ψυκτικό αποτέλεσμα η εξοικονόμηση ενέργειας κυμαίνεται από 30 - 50% [102].

Η πρώτη χρήση του θαλασσινού νερού για ψύξη κτηρίων έγινε το 1985 στο κτηριακό συγκρότημα **Purdy' s Wharf** στο Halifax του Καναδά. Το σύστημα ψύξης αποτελείται από δυο κυκλώματα νερού και έναν εναλλάκτη θερμότητας. Το πρώτο κύκλωμα περιέχει θαλασσινό νερό και το δεύτερο γλυκό νερό για την ψύξη των κτηρίων. Δυο φυγόκεντρες αντλίες, οι οποίες βρίσκονται στο υπόγειο του κτηριακού συγκροτήματος, αντλούν κρύο νερό από τον πυθμένα του λιμανιού. Το κρύο νερό εισέρχεται στον εναλλάκτη θερμότητας με θερμοκρασία 7 °C περίπου και ψύχει το γλυκό νερό του δεύτερου κυκλώματος. Μετά την έξοδό του από τον εναλλάκτη θερμότητας, το θαλασσινό νερό, που είναι θερμότερο κατά μερικούς βαθμούς, επιστρέφει στη θάλασσα. Το νερό της ψύξης των κτηρίων με θερμοκρασία 10 °C μεταφέρεται μέσω του δεύτερου κυκλώματος στα γραφεία όπου παρέχεται δροσερός αέρας

Η ψύξη με τη χρήση του νερού της θάλασσας απαιτεί πολύ μικρότερη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και έχει μικρότερο κόστος συντήρησης αλλά έχει μεγαλύτερο κόστος κατασκευής από ένα συμβατικό σύστημα ψύξης. Παρ' όλο το μεγαλύτερο αρχικό κόστος, το

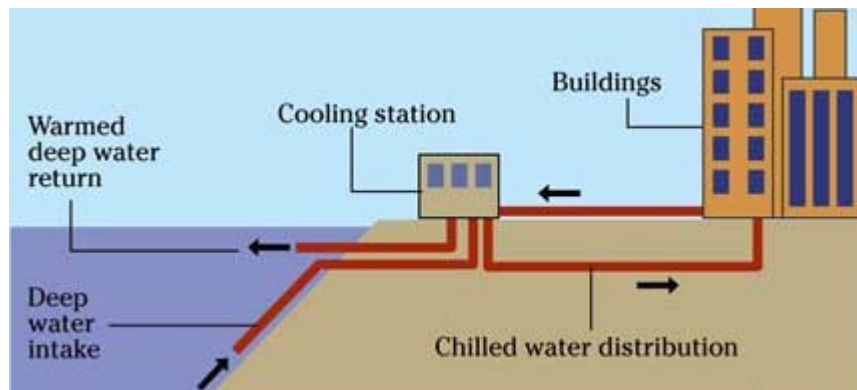
σύστημα είναι εξαιρετικά αποδοτικό λαμβάνοντας υπ' όψιν το χαμηλότερο κόστος λειτουργίας. Το σύστημα ψύξης του Purdy ' s Wharf κόστισε 200000 δολάρια Καναδά αλλά η ετήσια εξοικονόμηση χρημάτων ανέρχεται σε 100000 δολάρια Καναδά. Αυτό σημαίνει ότι η απόσβεση του έργου έγινε σε δυο χρόνια.



Διάγραμμα 20: Τυπικές θερμοκρασίες του θαλασσινού νερού για διάφορα βάθη, στην περιοχή της Χαβάης [100]

Επίσης, στο εργαστήριο **φυσικής ενέργειας της Χαβάης** (Natural Energy Laboratory of Hawai Authority, NELHA) υπάρχει ένα σύστημα παροχής θαλασσινού νερού σε μεγάλο μέγεθος. Το βάθος άντλησης του κρύου νερού είναι 900 m και η θερμοκρασία του νερού είναι 4 °C . Πρόκειται για τον βαθύτερο αγωγό άντλησης θαλασσινού νερού στον κόσμο [103].

Εκτός των εφαρμογών του συστήματος υπάρχουν και άλλες πολλές που ακολουθούν, όπως η χρήση ενός τέτοιου συστήματος κλιματισμού το 2006 σε ένα ξενοδοχειακό συγκρότημα στη Γαλλική Πολυνησία, η ενεργειακής αξιοποίησης της λίμνης Οντάριο, καθώς και άλλες πολλές περιπτώσεις.



Εικόνα 100: [104]

Το κρύο θαλασσινό νερό, αντλείται και οδηγείται σε ένα σταθμό ψύξης, όπου μέσω εναλλάκτη ψύχει το νερό που χρησιμοποιείται από τα κτήρια. Το θερμότερο πλέον, θαλασσινό νερό επιστρέφει στη θάλασσα.

Τα πλεονεκτήματα ενός συστήματος ψύξης με θαλασσινό νερό είναι τα εξής [101, 104]:

- Μειωμένη χρήση ηλεκτρικού ρεύματος, σε σχέση με ένα συμβατικό σύστημα κλιματισμού, που μπορεί να φτάσει το 90%
- Γίνεται χρήση καθαρής, ανανεώσιμης πηγής ενέργειας
- Αποφυγή της χρήσης των χλωροφθορανθράκων (CFCs) που επιδρούν αρνητικά στην τρύπα του όζοντος
- Συμβάλλει στη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου
- Μειώνει την εξάρτηση από τα συμβατικά καύσιμα
- Σταθερό κόστος κατανάλωσης ενέργειας, που δεν εξαρτάται από τις διακυμάνσεις των τιμών των συμβατικών καυσίμων
- Έχει μεγάλη διάρκεια ζωής, 75-100 χρόνια
- Παρέχει αξιόπιστο ψυκτικό αποτέλεσμα
- Μειώνει την ανάγκη για χρήση πύργου ψύξης
- Ο εξοπλισμός είναι εύκολος στη χρήση, αλλά και στο να διατηρηθεί
- Με τη χρήση κρύου φυσικού νερού αποφεύγεται ο θόρυβος, η ρύπανση και η υγρασία που προκαλούν οι συμβατικοί ψύκτες

9.2.3 Ψύξη με ηλιακή ενέργεια

Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιεί την ηλιακή ενέργεια για την ψύξη των κτηρίων. Η χρήση της ηλιακής ενέργειας για τη λειτουργία συστημάτων κλιματισμού είναι ελκυστική, δεδομένου ότι οι ανάγκες σε ψυκτικό φορτίο συμπίπτουν κυρίως με τις περιόδους υψηλής ακτινοβολίας. Οι πρώτες πιλοτικές εφαρμογές του ηλιακού κλιματισμού έγιναν στην Ελλάδα ήδη εδώ και μια εικοσαετία. Ένα τέτοιο σύστημα εγκαταστάθηκε το 1999 στην Βοιωτία, με

συνολική επιφάνεια συλλεκτών 2.700m² και δύο ηλιακούς ψύκτες των 350kW, παρέχοντας **παραγωγή ενέργειας πάνω από 1719 MWh το χρόνο** και μειώνοντας τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα κατά 5125 τόνους/ έτος [5, 96].

Τα συστήματα ηλιακής ψύξης μπορούν να χωρισθούν σε δύο κατηγορίες:

- **Ηλιακά συστήματα ρόφησης** (sorption)
- **Ηλιακά μηχανικά συστήματα**

Η πρώτη κατηγορία βασίζεται στη χρήση της θερμικής ενέργειας του ήλιου και περιλαμβάνει **ψύκτες απορρόφησης-προσρόφησης** (absorption-adsorption) καθώς και **ψύξη με αφύγρανση**.

Η δεύτερη κατηγορία βασίζεται στη λειτουργία ενός κινητήριου μηχανισμού, όπως είναι ένας ηλεκτρικός κινητήρας που κινείται μέσω της ηλιακής ενέργεια με **χρήση φωτοβολταϊκού**, για παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Είναι 4-5 φορές πιο ακριβή από τις τεχνολογίες που κάνουν χρήση της θερμικής ενέργειας του ήλιου. Για το λόγο αυτό έχουν εφαρμοσθεί σε μικρότερη κλίμακα.

Τα συστήματα ηλιακού κλιματισμού προσφέρουν τα εξής πλεονεκτήματα:

- Χρησιμοποιούν απολύτως αβλαβή ρευστά, όπως το νερό, ή διαλύματα αλάτων
- Είναι ενεργειακά αποδοτικά
- Είναι φιλικά προς το περιβάλλον
- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αυτόνομα συστήματα, είτε σε συνδυασμό με συμβατικά συστήματ κλιματισμού

Τα συστήματα ηλιακού κλιματισμού που χρησιμοποιούνται μέχρι τώρα (ηλιακά συστήματα ρόφησης) ταξινομούνται στις εξής κατηγορίες:

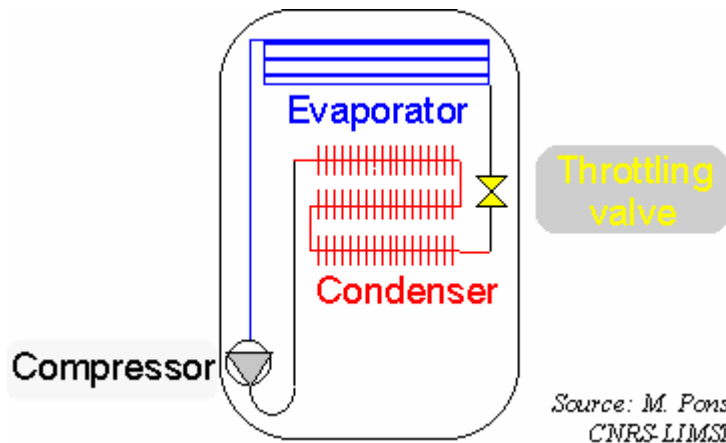
- **Κλειστά συστήματα**, που είναι θερμοκίνητοι ψύκτες που παρέχουν ψυχρό νερό, το οποίο είτε χρησιμοποιείται στις κεντρικές κλιματιστικές μονάδες για να παρέχει πλήρως κλιματισμένο αέρα, είτε διανέμεται μέσω ενός δικτύου ψυχρού νερού σε καθορισμένους χώρους για να ενεργοποιήσει τοπικές μονάδες των δωματίων (π.χ. fan coils). Υπάρχουν σήμερα στην αγορά, διαθέσιμοι ψύκτες απορρόφησης και προσρόφησης.
- **Ανοικτά συστήματα**, που επιτρέπουν πλήρη κλιματισμό παρέχοντας ψυχρό και ξηρό αέρα σύμφωνα με τις απαιτήσεις για θερμική άνεση. Τα πιο κοινά συστήματα είναι συστήματα ψύξης με αφύγρανση που χρησιμοποιούν τροχό αφύγρανσης με στερεό πορώδες υλικό [96]

Πίνακας 30: Κατηγορίες συστημάτων ηλιακού κλιματισμού, που κάνουν χρήση της ηλιακής θερμικής ενέργειας, που συλλέγουν με τη χρήση συλλεκτών [96]

Μέθοδος	Κλειστού κύκλου		Ανοικτού κύκλου	
Αρχή	Ψυχρό νερό από εξάτμιση		Αφύγρανση του αέρα και ψύξη με εξάτμιση	
Φάση υλικού ρόφησης	Στερεό	Υγρό	Στερεό	Υγρό
Συνήθη ζεύγη υλικών	νερό-silica gel	νερό-βρωμιούχο λίθιο, αμμωνία - νερό	Νερό-silica gel, νερό-χλωριούχο ασβέστιο	νερό-χλωριούχο ασβέστιο, νερό-χλωριούχο λίθιο
Διαθέσιμη Τεχνολογία	Ψύκτης προσρόφησης	Ψύκτης απορρόφησης	desiccant	Κοντά στην εισαγωγή στην αγορά
Τυπική ψυκτική ικανότητα	50-430 kW	15 kW-5 MW	20 kW-350 kW	
Θερμικός Συντελεστής Απόδοσης COP ⁵	0,5-0,7	0,6-0,75	0,5-1	>1
Είδος ηλιακού συλλέκτη	Συλλέκτες κενού, επίπεδοι συλλέκτες	Συλλέκτες κενού, επίπεδοι συλλέκτες	Επίπεδοι Συλλέκτες, συλλέκτες αέρος	Επίπεδοι Συλλέκτες, συλλέκτες αέρος

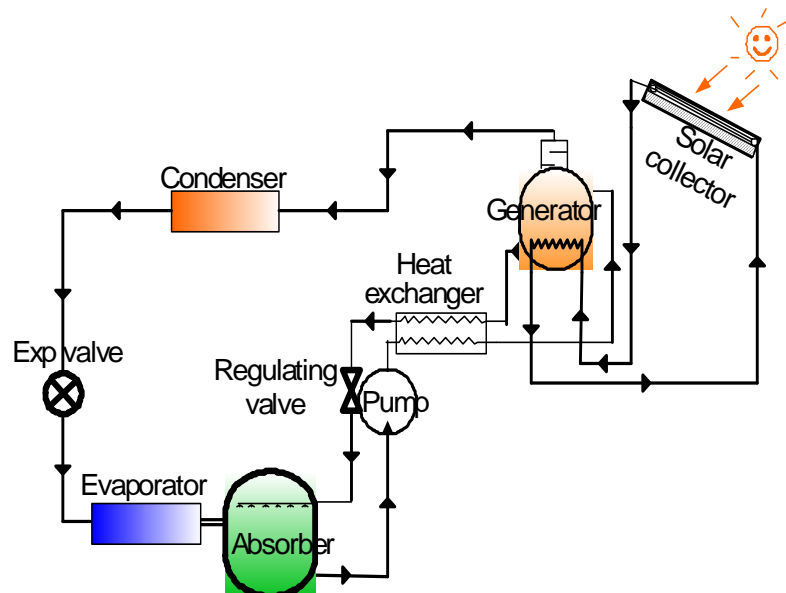
Στην Εικόνα 101, φαίνεται ο βασικός κύκλος ψύξης, που ακολουθείται σε κάθε σύστημα κλιματισμού και αποτελείται από τις διεργασίες της συμπίεσης, της συμπύκνωσης, εκτόνωσης και ατμοποίησης.

⁵Υψηλή τιμή του COP είναι πλεονεκτική



Εικόνα 101: Απεικόνιση βασικού κύκλου ψύξης, που αποτελείται από τις εξής διαδικασίες: 1. Συμπίεση, 2. Συμπύκνωση 3. Εκτόνωση 4. Ατμοποίηση (παροχή ψύξης) [105]

Ψύκτες απορρόφησης (absorption)

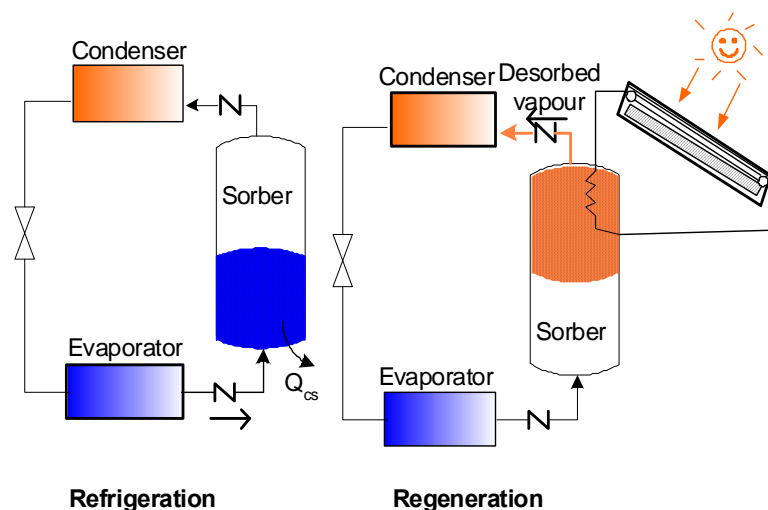


Εικόνα 102: Διαδικασία ηλιακού κλιματισμού με απορρόφηση. Αποτελείται από το ηλιακό συλλέκτη, τον συμπυκνωτή, την εκτονωτική βαλβίδα, τον ατμοποιητή και τη μονάδα απορρόφησης, η οποία μαζί με τη γεννήτρια (αναγεννητής) και ένα σύστημα που συνίσταται από τον εναλλάκτη, μια αντλία και τη ρυθμιστική βαλβίδα, παίζει το ρόλο του συμπιεστή [106].

Πρόκειται για τους πιο διαδεδομένους ψύκτες. Η θερμική συμπίεση του ψυκτικού μέσου, επιτυγχάνεται με τη χρήση υγρού διαλύματος ψυκτικού μέσου/ ροφητικού υλικού και πηγή θερμότητας, **αντικαθιστώντας με αυτόν τον τρόπο την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ενός μηχανικού συμπιεστή**. Τα περισσότερα συστήματα χρησιμοποιούν εσωτερική αντλία για το διάλυμα, καταναλώνοντας όμως μικρή ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας. Η ψύξη βασίζεται στην εξάτμιση του ψυκτικού μέσου (νερό) στον εξατμιστή σε πολύ χαμηλές πιέσεις. Το ατμοποιημένο ψυκτικό μέσο απορροφάται στον απορροφητή, αραιώνοντας του διάλυμα (π.χ. διάλυμα $H_2O/LiBr$). Το διάλυμα αντλείται συνεχώς στον

αναγεννητή (γεννήτρια ατμού), όπου επιτυγχάνεται η αναγέννηση του διαλύματος χρησιμοποιώντας θερμότητα (π.χ. ζεστό νερό από ηλιακά). Το ψυκτικό μέσο στη συνέχεια, συμπυκνώνεται στο συμπυκνωτή και κυκλοφορεί με τη βοήθεια της εκτονωτικής βαλβίδας πάλι στον εξατμιστή. (Εικόνα 102)

Ψύκτες προσρόφησης (adsorption)



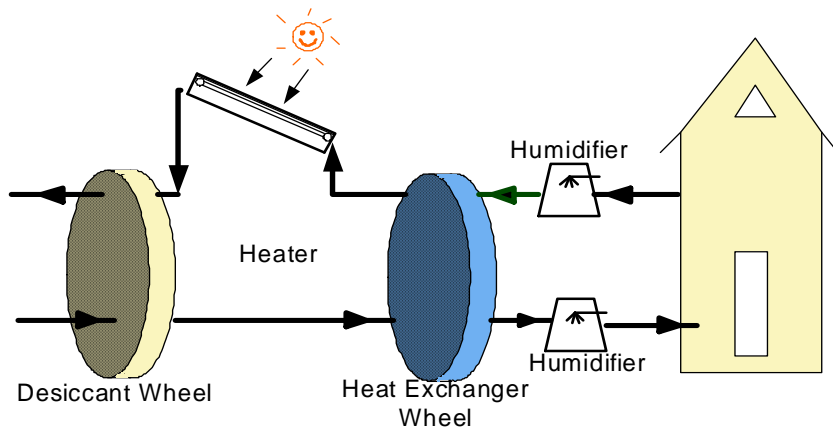
Εικόνα 103: . Διαδικασία ηλιακού κλιματισμού με προσρόφηση [106].

Οι ψύκτες προσρόφησης, αντί για υγρό διάλυμα, χρησιμοποιούν στερεά πορώδη ροφητικά υλικά. Μπορούν να δουλεύουν για μεγαλύτερη διάρκεια από τους ψύκτες απορρόφησης και με χαμηλότερη θερμοκρασία. Επίσης, μπορούν να κατασκευαστούν σε μικρότερη κλίμακα σε σχέση με τους ψύκτες απορρόφησης και μπορούν να λειτουργήσουν χωρίς την απαίτηση ύπαρξης κινητών μηχανισμών. Επίσης δε παρουσιάζουν προβλήματα διάβρωσης, που μερικές φορές απαιτώνται σε ψύκτες απορρόφησης βρωμιούχου λιθίου. Μέχρι σήμερα, ωστόσο, οι ψύκτες προσρόφησης χρησιμοποιούνται κυρίως για την παραγωγή πάγου. Τα διαθέσιμα στην αγορά συστήματα χρησιμοποιούν νερό ως ψυκτικό μέσο και silica gel ως ροφητικό υλικό. Αποτελούνται από δύο χώρους ροφητικού υλικού, έναν εξατμιστή και έναν συμπυκνωτή (Εικόνα 103). Στον πρώτο χώρο, το ροφητικό υλικό αναγεννάται, αυξάνεται η θερμοκρασία, άρα και η πίεση, χρησιμοποιώντας ζεστό νερό από τον ηλιακό συλλέκτη, ενώ στο δεύτερο χώρο, το υλικό προσροφά τους υδρατμούς που εισάγονται από τον εξατμιστή. Αυτός ο χώρος πρέπει να ψυχθεί προκειμένου να επιτευχθεί συνεχής προσρόφηση. Το νερό στον εξατμιστή περνά στην αέρια φάση, θερμαινόμενο από το εξωτερικό κύκλωμα νερού. Στο σημείο αυτό παράγεται η χρήσιμη ψυκτική ισχύς.

Ψύκτες ανοικτού κύκλου (desiccant)

Ο θερμός και υγρός νωπός αέρας εισάγεται στον τροχό αφύγρανσης (desiccant wheel) (Εικόνα 104) και αφυδατώνεται με την προσρόφηση της υγρασίας. Ο αέρας θερμαίνεται από τη θερμότητα προσρόφησης, οδηγείται στον τροχό ανάκτησης θερμότητας (Heat Exchanger Wheel), με συνέπεια να επιτυγχάνεται σημαντική πρόψυξη του ρεύματος νωπού αέρα. Στη συνέχεια ο αέρας υγραίνεται και ψύχεται περαιτέρω, από ελεγχόμενο υγραντή (humidifier), σύμφωνα με την επιθυμητή θερμοκρασία και υγρασία του αέρα παροχής.

Το ρεύμα αέρα που απορρίπτεται έπειτα, υγραίνεται κοντά στο σημείο κορεσμού του για να εκμεταλλευτεί τη μέγιστη δυνατότητα ψύξης. Στη συνέχεια οδηγείται στον τροχό ανάκτησης θερμότητας. Τέλος, το ροφητικό υλικό του τροχού αναγεννάται με τη χρήση θερμότητας σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες, επιτρέποντας έτσι συνεχή λειτουργία αφύγρανσης.



Εικόνα 104: Ηλιακός κλιματισμός με αφύγρανση [106]

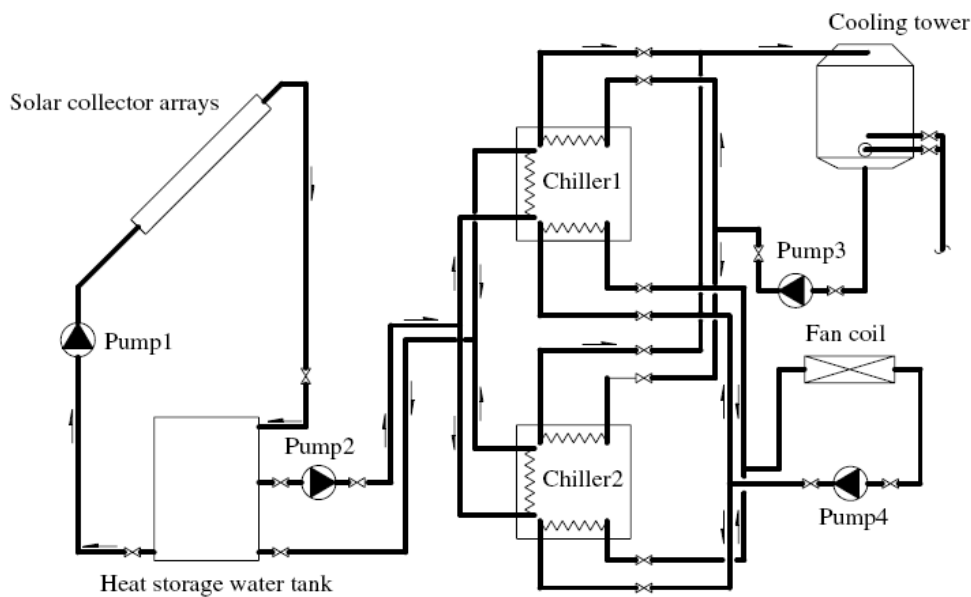


Fig. 3. Flow diagram of the solar-powered air-conditioning system.

Εικόνα 105: Διάγραμμα ροής συστήματος ηλιακού κλιματισμού. Αποτελείται από τον ηλιακό συλλέκτη (solar collector), 2 ψύκτες προσρόφησης (chillers), ένα πύργο ψύξης (cooling tower), ένα fan

coil μέσα στο κλιματιζόμενο χώρο, αντλία 1 (pump 1) για τον ηλιακό συλλέκτη, αντλία 2 (pump 2) για το ζεστό νερό, αντλία 3 (pump 3) για το νερό προς ψύξη, αντλία 4 (pump 4) για το κρύο νερό. Επίσης μια δεξαμενή νερού (heat storage water tank) χρησιμοποιείται για την αποθήκευση της θερμότητας και για παροχή ζεστού νερού στο σύστημα κλιματισμού [107]

Θα μπορούσαμε να πούμε ότι τα ηλιακά συστήματα ψύξης, αν και παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον και **μπορούν να συμβάλλουν στην εξοικονόμηση ενέργειας** και στη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, **δεν είναι άμεσα ανταγωνιστικά, σε οικονομικό επίπεδο**, σε σύγκριση με τα συμβατικά συστήματα κλιματισμού, κατά κύριο λόγο, επειδή έχουν υψηλό πάγιο κόστος, λόγω του υψηλού κόστους του εξοπλισμού, που απέχουν ακόμη πολύ από το επίπεδο της βιομηχανικής παραγωγής μεγάλης κλίμακας.



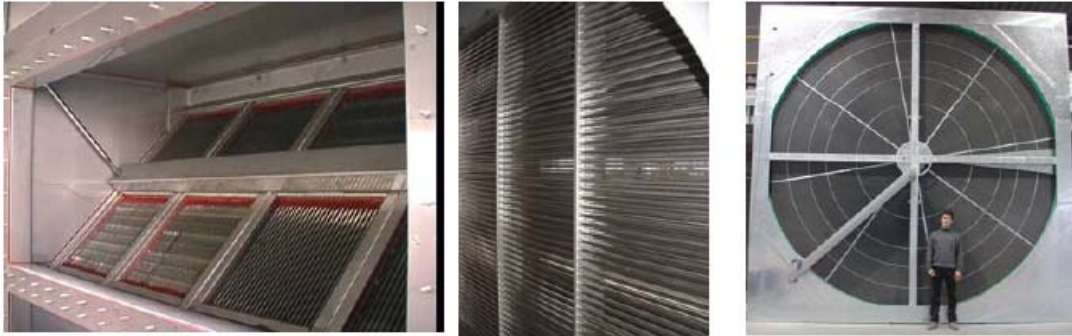
Εικόνα 106: Διάταξη ηλιακών σωλήνων-συλλεκτών [107].

9.2.4 Ανάκτηση θερμότητας

Ανάκτηση θερμότητας είναι η διαδικασία με την οποία επιτυγχάνεται αξιοποίηση μέρους της θερμότητας που αποβάλλεται από κάποια μονάδα παραγωγής θερμότητας. Η ανάκτηση γίνεται μέσω εναλλαγής θερμότητας μεταξύ ρευμάτων ρευστών που αποβάλλονται (π.χ. καυσαέρια, απόνερα κλπ) και ρευστών που συμμετέχουν στην παραγωγική διαδικασία (π.χ. αέρας καύσης, νερά διεργασιών κλπ). Η ανακτώμενη θερμότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προθέρμανση του νερού ή του αέρα καύσης, αυξάνοντας έτσι τη συνολική απόδοση του συστήματος παραγωγής ενέργειας, καθώς και για την κάλυψη αναγκών της παραγωγικής διαδικασίας σε θερμό νερό ή θερμό αέρα [108]. Έτσι, επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας, αφού μειώνονται οι θερμικές απαιτήσεις. Η επιλογή κατάλληλων εναλλακτών, προϋποθέτει γνώση της μέγιστης πίεσης λειτουργίας, των ελάχιστων και μέγιστων θερμοκρασιών και των περιορισμών που επιβάλλει το ρευστό. Επίσης, σημαντική είναι η μελέτη του μεγέθους του εναλλάκτη που θα επιλεγεί, ώστε να είναι οικονομικά συμφέρουσα η τοποθέτηση του [109].

Οι τρόποι ανάκτησης θερμότητας είναι οι εξής:

- Ανάκτηση θερμότητας από καυσαέρια: Οι απώλειες θερμότητας ενός λέβητα οφείλονται κυρίως στα καυσαέρια και είναι ανάλογες με την παροχή των καυσαερίων και της θερμοκρασίας τους. Η θερμότητα από τα καυσαέρια, ωστόσο μπορεί να μεταφερθεί σε ένα ρεύμα αέρα που εισέρχεται σε εναλλάκτη και έτσι να ανακτηθεί. Συνήθως χρησιμοποιείται αυτή η μέθοδος για την προθέρμανση του αέρα καύσης, αλλά και για άλλες διεργασίες, όπως είναι η παραγωγή θερμού νερού, η προθέρμανση υγρών, κ.λ.π

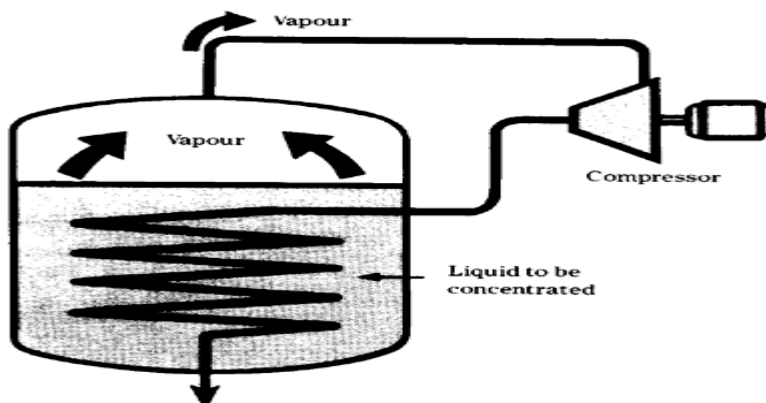


Αριστερά πλακοειδής εναλλάκτης θερμότητας αέρα/ αέρα, στο κέντρο σωληνωτός εναλλάκτης θερμότητας αέρα /νερού και δεξιά εναλλάκτης τύπου Rotary Wheel αέρα/ αέρα, παροχής $220.000\text{Nm}^3/\text{h}$.

Εικόνα 107: Διάφοροι τύποι εναλλακτών [10]

- Ανάκτηση θερμότητας από δίκτυα ατμού:

Πρόκειται για τη συλλογή των συμπυκνωμάτων, που δημιουργούνται σε δίκτυα ατμού και η μετέπειτα χρήση τους ως νερό τροφοδοσίας στον ατμολέβητα. Τα συμπυκνώματα έχουν υψηλή θερμοκρασία, η οποία μπορεί να αξιοποιηθεί με τη συλλογή και επιστροφή τους στη δεξαμενή συμπυκνωμάτων για χρησιμοποίησή τους σαν νερό τροφοδοσίας.



Σχήμα 1: Μηχανικός συμπιεστής ατμού [109]

- Ανάκτηση θερμότητας από απόνερα:

Ανάκτηση απορριπτόμενης θερμότητας είναι δυνατόν να επιτευχθεί και από τα ζεστά απόνερα που προκύπτουν από την παραγωγική βιομηχανικές διαδικασίες, όπως είναι τα απόνερα των βαφείων. Τα ζεστά αυτά απόβλητα έχουν τεράστια ποσά ενέργειας. Στη χώρα μας για παράδειγμα, τα μεγάλα βαφεία απορρίπτουν 1000-5000m³/ ημέρα υγρά απόβλητα με μέση θερμοκρασία 60 °C. Είναι προφανές ότι η διαθέσιμη προς ανάκτηση θερμότητα είναι αξιόλογη, δεδομένου ότι η μέση θερμοκρασία του νερού που τροφοδοτεί αυτά τα εργοστάσια είναι 17 °C. Υπάρχουν δύο είδη εναλλακτών, οι πλακοειδείς και οι σωληνωτοί.



Εικόνα 108: Εναλλάκτες αποβλήτων. Αριστερά πλακοειδης και δεξιά σωληνωτός [10]

Ως προς την εξοικονόμηση ενέργειας ενός τέτοιου συστήματος, αναφέρεται ότι για θερμική ισχύ συστήματος ίση με 5000W, έχουμε ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας 1200 τόνους μαζούτ/ χρόνο και ετήσιο οικονομικό όφελος 340000 ευρώ, με κόστος έργου 300000 ευρώ [10,110].

9.2.5 Κλιματισμός με ψυχόμενα δομικά στοιχεία ή μεταλλικούς πίνακες

Χρήσιμα μεγέθη-ορισμοί

Μέγιστη τάση υδρατμών

Ονομάζεται η τάση των υδρατμών στο σημείο κόρου, ή σημείο δρόσου. Αυτή είναι συνάρτηση μόνο της θερμοκρασίας του αέρα και αυξάνει μόνο με αυτήν.

Απόλυτη υγρασία

Ονομάζεται η ποσότητα (μάζα) των υδρατμών που βρίσκονται εκάστοτε, σε όγκο ξηρού αέρος. Η ικανότητα του αέρα να συγκρατεί μικρή ή μεγάλη ποσότητα υδρατμών είναι ανάλογη προς τη θερμοκρασία του.

Ειδική Υγρασία

Είναι το κλάσμα των γραμμομορίων (ή μάζα) υδρατμών που περιέχονται στα γραμμομόρια (ή μάζα) υγρού αέρα (που είναι ο ξηρός αέρας μαζί με τους υδρατμούς που περιέχει).

Σχετική Υγρασία

Είναι ο λόγος της ποσότητας ή του βάρους των υδρατμών, που περιέχει ο αέρας, προς εκείνη την ποσότητα ή το βάρος των υδρατμών τους οποίους μπορεί να συμπεριλάβει (υπό την αυτή θερμοκρασία και πίεση) μέχρις ότου αυτός κορεσθεί. Εκφράζεται επί τοις εκατό (%). Ο κορεσμένος αέρας έχει σχετική υγρασία 100%, ενώ ο τελείως ξηρός έχει υγρασία 0%.

Σημείο Δρόσου (Dew Point)

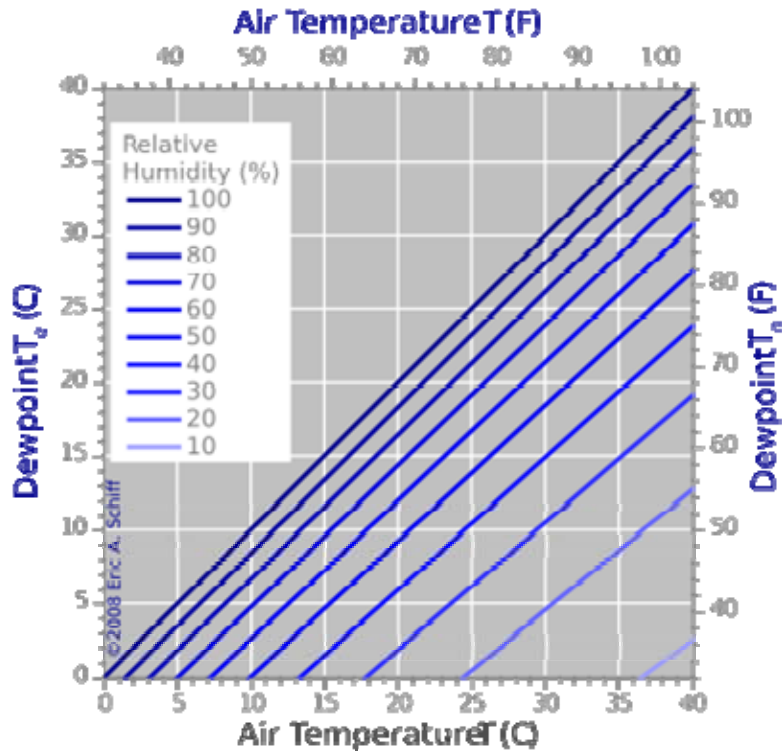
Σημείο Δρόσου ονομάζεται η θερμοκρασία εκείνη στην οποία όταν ο αέρας ψυχθεί υπό σταθερή πίεση, συμπυκνώνονται οι υδρατμοί, δημιουργώντας σταγόνες νερού. Ο αέρας είναι σε αυτή τη θερμοκρασία κορεσμένος και δε μπορεί να συγκρατήσει άλλους υδρατμούς, με αποτέλεσμα η σχετική υγρασία να είναι 100%.

Στις κατασκευές οι πιο επιρρεπείς προς συμπύκνωση επιφάνειες είναι κατά τεκμήριο πιο κρύες : μονά τζάμια, διπλά τζάμια, αμόνωτες τοιχοποιίες.

Όταν σε ένα χώρο υπάρχει υψηλή σχετική υγρασία τότε το σημείο δρόσου είναι κοντά στην επικρατούσα θερμοκρασία του αέρα. Προφανώς, εάν έχω σχετική υγρασία 100%, τότε το σημείο δρόσου είναι ίσο με την επικρατούσα θερμοκρασία.

Για σταθερό σημείο δρόσου, μια αύξηση στην θερμοκρασία του αέρα οδηγεί σε μείωση της σχετικής υγρασίας (Διάγραμμα 21).

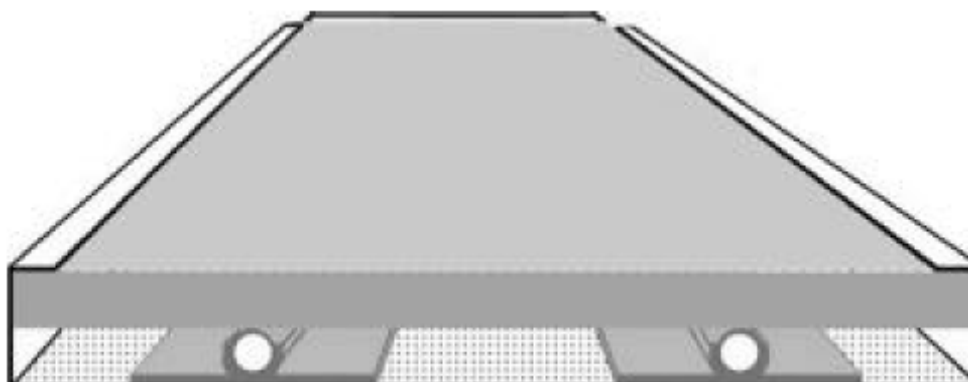
Για σταθερή βαρομετρική πίεση, ανεξάρτητα από τη θερμοκρασία, το σημείο δρόσου δείχνει το κλάσμα των γραμμομορίων υδρατμών που περιέχονται στον αέρα, δηλαδή την **ειδική υγρασία του αέρα.** Αν η πίεση αυξηθεί, χωρίς να αλλάξει η ειδική υγρασία, θα αυξηθεί και το σημείο δρόσου αντιστοίχως και οι υδρατμοί συμπυκνώνονται σε υψηλότερη θερμοκρασία. Αν μειωθεί η ειδική υγρασία, δηλαδή γίνει ο αέρας πιο ξηρός, θα επανέλθει το σημείο δρόσου στην αρχική τιμή.



Διάγραμμα 21: Πως μεταβάλλεται το σημείο δρόσου σε σχέση με την θερμοκρασία που επικρατεί και με παράμετρο την σχετική υγρασία.

Για σταθερή θερμοκρασία, ανεξάρτητα από την πίεση, το σημείο δρόσου δείχνει την **απόλυτη υγρασία του αέρα**. Αν η θερμοκρασία αυξηθεί, χωρίς αλλαγή της απόλυτης υγρασίας, αυξάνεται αντίστοιχα και το σημείο δρόσου, δηλαδή οι υδρατμοί συμπυκνώνονται σε μεγαλύτερη πίεση. Με μείωση της απόλυτης υγρασίας θα επανέλθει το σημείο δρόσου χαμηλότερα στην αρχική του τιμή. Ομοίως, αυξάνοντας την απόλυτη υγρασία μετά από μείωση της θερμοκρασίας, οδηγεί το σημείο δρόσου προς τα πάνω. Δηλαδή, **αν σε δυο σημεία έχω ίδια θερμοκρασία και ίδιο σημείο δρόσου, θα έχω ίδια απόλυτη υγρασία**.

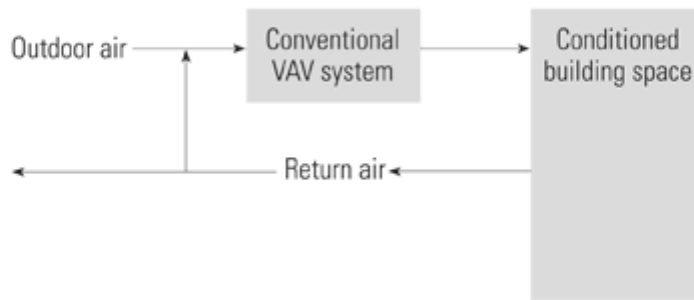
Πάνελ κλιματισμού



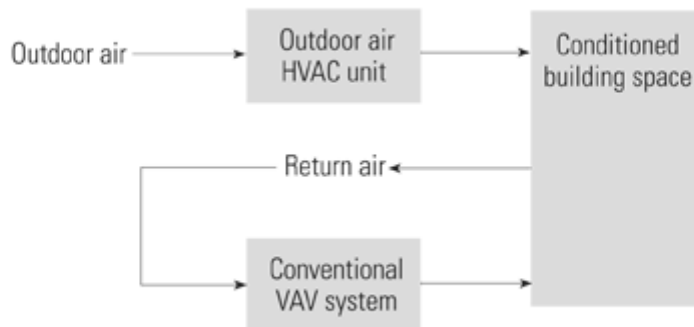
Εικόνα 109: Απεικόνιση ενός συστήματος κλιματισμού με ψυχόμενα δομικά στοιχεία οροφής [111].

Για τον κλιματισμό κτηρίων μπορούν να χρησιμοποιηθούν ψυχόμενα δομικά στοιχεία τα οποία απορροφούν τη θερμότητα που παράγεται ή εισάγεται στο δωμάτιο, μέσω ενός ψυκτικού ρευστού (νερού) που ρέει σε σωλήνες εντοιχισμένους στην οροφή του δωματίου. Σε καινούρια κτήρια, το ταβάνι κατασκευάζεται έτσι ώστε να τοποθετηθεί το σύστημα αυτό, ενώ σε ήδη υφιστάμενα τοποθετείται στην οροφή μια επιπρόσθετη μεταλλική πλάκα με σωλήνες. Ο κλιματισμός επιτυγχάνεται μέσω φυσικής συναγωγής και ακτινοβολίας. Παρόλο που η τεχνολογία υπάρχει περισσότερα από 50 χρόνια, **παρουσίαζε προβλήματα στο παρελθόν. Η συμπύκνωση** της υγρασίας στις ψυχρές επιφάνειες πολλές φορές, οδηγούσε στην καταστροφή των υλικών του ταβανιού (π.χ. σοβάδες) και δημιουργούσε συνθήκες, ευνοϊκές για την ανάπτυξη βιολογικών μικροοργανισμών (μούχλας). **Ωστόσο σήμερα**, έχει διαπιστωθεί [111], **ότι τα συστήματα αυτά μπορούν να λειτουργήσουν, χωρίς το ανεπιθύμητο φαινόμενο της συμπύκνωσης**, όταν συνδυάζονται με τη χρήση ειδικών συστημάτων τροφοδότησης εξωτερικού αέρα (**Dedicated Outdoor Air Systems**) και πάντα με την συμβολή στεγανού και μονωμένου κτηριακού κελύφους. Στα περισσότερα εμπορικά κτήρια αποφεύγεται το φαινόμενο της συμπύκνωσης στα ψυχόμενα πάνελ, με τη χρήση ενός ξεχωριστού συστήματος αερισμού, που τροφοδοτεί με φρέσκο εξωτερικό αέρα το εσωτερικό του κτηρίου. Ο εξωτερικός αυτός αέρας δεν αναμιγνύεται με τον αέρα επιστροφής πριν εισέλθει στο κτήριο και έτσι τα συστήματα αυτά συμβάλλουν στη ρύθμιση της υγρασίας και στο σωστό αερισμό του εσωτερικού χώρου. Στην Εικόνα 106 φαίνεται η διαφορά μεταξύ ενός συμβατικού συστήματος μεταβλητού όγκου αέρα (VAV) για τον κλιματισμό και ενός ειδικού συστήματος εξωτερικού αέρα (DOAS) [112].

A. Basic arrangement of a conventional all-air VAV system



B. DOAS with separate conditioning of outdoor and return air



Notes: DOAS = dedicated outdoor air system; VAV = variable air volume.

Source: E SOURCE

Εικόνα 110: Ένα συμβατικό σύστημα μεταβλητού όγκου αέρα (VAV) για τον κλιματισμό έχει μία μονάδα μόνο για να ρυθμίζει και τον εξωτερικό, αλλά και τον αέρα επιστροφής. Αντίθετα σε ένα σύστημα DOAS, υπάρχουν ξεχωριστές μονάδες για το κάθε ρεύμα αέρα (επιστροφής και εξωτερικό). Η διάταξη αυτή δίνει στο δεύτερο σύστημα την ικανότητα να έχει βελτιωμένο έλεγχο της υγρασίας, να παρέχει πιο ακριβή ποσότητα αέρα που χρειάζεται για τον εξαερισμό, να επιτρέπει στους σχεδιαστές να χρησιμοποιούν ένα ευρύ φάσμα τύπων συστημάτων HVAC, καθώς επίσης να αυξάνει την ενεργειακή απόδοση [112].

Με τον τρόπο αυτό το σημείο δρόσου του εσωτερικού αέρα διατηρείται σε χαμηλότερα επίπεδα από τη θερμοκρασία του πάνε.

Ένα τέτοιο σύστημα (συνδυασμός πάνελ ψύξης με σύστημα εξωτερικού αέρα) **μειώνει σε ικανοποιητικό βαθμό την ενεργειακή κατανάλωση για κλιματισμό** με διάφορους τρόπους:

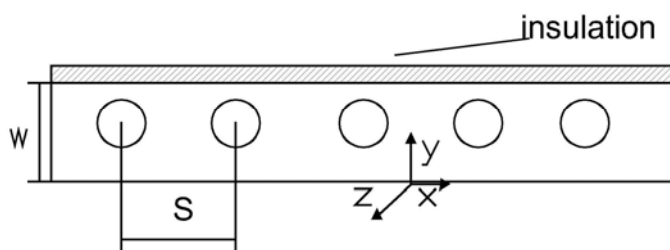
- Κατά την ψύξη χώρων, η εξοικονόμηση ενέργειας προκύπτει από το γεγονός, ότι **το κρύο νερό που εισάγεται στο πάνελ, βρίσκεται σε υψηλότερη θερμοκρασία σε σχέση με τα άλλα συμβατικά συστήματα κλιματισμού**. Ενώ σε συμβατικά συστήματα η θερμοκρασία εισόδου κυμαίνεται μεταξύ 4 -7°C, στο σύστημα αυτό η θερμοκρασία εισόδου του νερού είναι 10-16°C. Έτσι έχω μεγάλη απόδοση του συστήματος [113]
- Λόγω της **άμεσης ακτινοβολίας ψύξης** προς τους ενοίκους, είναι επιτρεπτή η ελαφριά αύξηση της εσωτερικής θερμοκρασίας του δωματίου, χωρίς να μειώνει την

αίσθηση της θερμικής άνεσης στα άτομα, ενώ ταυτόχρονα **μειώνεται το μέγεθος των αναγκαίων ψυκτικών φορτίων**. Το αποτέλεσμα με απλά λόγια είναι οι ένοικοι να αισθάνονται δροσιά στο επίπεδο του κεφαλιού και ζέστη στα πόδια, πράγμα που αυξάνει την εγρήγορση και τη θερμική τους άνεση. Ένα δωμάτιο με ακτινοβολία ψύξης, που βρίσκεται σε θερμοκρασία $25,6^{\circ}\text{C}$, δίνει την ίδια θερμική αίσθηση με αυτήν που θα έδινε ένας χώρος στους $23,9^{\circ}\text{C}$

- Τα πάνελ ακτινοβολίας ψύξης, συνήθως αποκλείουν την χρήση οικονομητήρα (για την ψύξη του αέρα πριν εισέλθει στο εσωτερικό). Γενικά, θα μπορούσαμε να πούμε ότι το σύστημα του πάνελ ψύξης μειώνει τα ψυκτικά φορτία κατά 15-20%
- Ο συνδυασμός ενός τέτοιου συστήματος με ένα DOAS (ειδικό σύστημα τροφοδότησης εξωτερικού αέρα) μειώνει την ενέργεια που χρειάζεται για την κυκλοφορία του αέρα, με το να κυκλοφορεί μόνο την ποσότητα του αέρα που χρειάζεται για τον εξαερισμό (που είναι ίση με το 25-30% της παροχής αέρα που απαιτείται σε όλα τα συμβατικά συστήματα αέρα)
- Από ανάλυση που συγκρίνει την ενεργειακή κατανάλωση σε ένα συμβατικό σύστημα μεταβλητού όγκου αέρα (VAV) και ενός πάνελ με ειδικό σύστημα τροφοδοσίας εξωτερικού αέρα (DOAS), προκύπτει ότι το τελευταίο μπορεί να εξασφαλίσει μέχρι και **25% μείωση των ετήσιων ενεργειακών αναγκών** σε σχέση με ένα συμβατικό σύστημα
- Μπορεί να τοποθετηθεί τόσο σε νέα όσο και σε υφιστάμενα κτήρια

[111, 112, 113, 114]

Ανάλυση της Μεταφοράς Θερμότητας στο ψυχόμενο πάνελ



Εικόνα 111 : Τομή ενός συστήματος-πάνελ

Σκοπός της ανάλυσης αυτής [114] είναι α) να προσδιοριστούν οι θερμοκρασίες που επικρατούν στο πάνελ, β) να υπολογιστεί η θερμότητα που απορροφάται ανά μονάδα επιφάνειας του πάνελ γ) να προσδιοριστούν οι ποσότητες που προσδιορίζουν την απόδοση

του πάνελ. Για αυτό το σκοπό, ακολουθεί μια μονοδιάστατη αναλυτική λύση, που παρουσιάζει πολλές ομοιότητες με την θεωρία του ηλιακού συλλέκτη.

Κατανομή της θερμοκρασίας μεταξύ των σωλήνων

Θεωρώ ένα καρτεσιανό σύστημα αξόνων x,y,z , όπου οι διευθύνσεις x,y είναι στο επίπεδο των σωλήνων, ενώ ο άξονας z ταυτίζεται με την κατεύθυνση της ροής. Για τον προσδιορισμό της θερμοκρασίας του ελάσματος μεταξύ των σωλήνων, θεωρώ αμελητέα την μεταβολή της θερμοκρασίας κατά την διεύθυνση του πάχους w του πάνελ (κατεύθυνση y). Επίσης υποτίθεται, προς το παρόν, ότι η μεταβολή της θερμοκρασίας κατά μήκος της ροής είναι αμελητέα. Από την ενεργειακή ισορροπία ενός στοιχειώδους τμήματος Δx μεταξύ δύο σωλήνων, προκύπτει ότι η **κατανομή της θερμοκρασίας μεταξύ των σωλήνων** είναι η εξής:

$$\frac{T - T_r}{T_o - T_r} = \frac{\cosh(mx)}{\cosh[m(S - D_o)/2]} \quad (9.2.5.1.)$$

Όπου:

T , η τοπική θερμοκρασία του πάνελ [°C]

T_r , η θερμοκρασία του εσωτερικού χώρου [°C]

T_o , η θερμοκρασία του πάνελ στην περιοχή του σωλήνα [°C]

h , ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας της κάτω επιφάνειας του πάνελ και [W m⁻² K⁻¹]

$m = h/(kw)$, όπου k η ειδική αγωγιμότητα [W m⁻¹ K⁻¹] και w το πάχος του πάνελ [m]

x , καρτεσιανή συντεταγμένη που κατά την διεύθυνση της απόστασης μεταξύ δυο σωλήνων

S , η απόσταση μεταξύ των αξόνων δυο διαδοχικών σωλήνων [m]

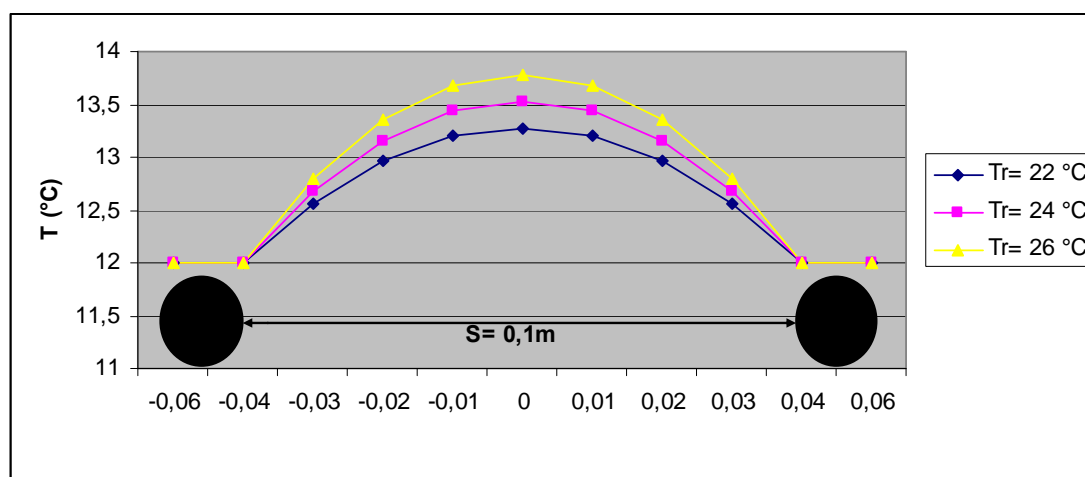
D_o , η εξωτερική διάμετρος του σωλήνα [m]

Αν υποθέσουμε ότι οι σωλήνες απέχουν $S=0,2m, 0,3m, 0,4m$ το πάχος του πάνελ είναι $w=0,04m$, ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας $h=10W m^{-2} °C^{-1}$, η θερμική αγωγιμότητα $k=1,4W m^{-1} °C^{-1}$, η θερμοκρασία του πάνελ στην περιοχή του σωλήνα $T_o=12°C$ και η εξωτερική διάμετρος του σωλήνα $D_o=0,02m$, για θερμοκρασίες δωματίου $T_r=22°C, 24°C, 26°C$, η **θερμοκρασιακή κατανομή μεταξύ των σωλήνων** φαίνεται στα Διαγράμματα 22, 23, 24.

Πίνακας 31: Κατανομή θερμοκρασίας μεταξύ των σωλήνων για διάφορες θερμοκρασίες χώρου και για $S=0,1m, w=0,04m, h=10W m^{-2} °C^{-1}, k=1,4W m^{-1} °C^{-1}, T_o=12°C, D_o=0,02m$. Θεωρώ $x=0$, το μέσο της απόστασης των αξόνων των δύο σωλήνων.

x	$T(°C)$	$T(°C)$	$T(°C)$
-----	---------	---------	---------

	($T_r=22\text{ }^\circ\text{C}$)	($T_r=24\text{ }^\circ\text{C}$)	($T_r=26\text{ }^\circ\text{C}$)
0	13,27621	13,53145	13,7867
0,01	13,1982	13,43785	13,67749
0,02	12,96279	13,15535	13,3479
0,03	12,56575	12,67891	12,79206
0,04	12	12	12

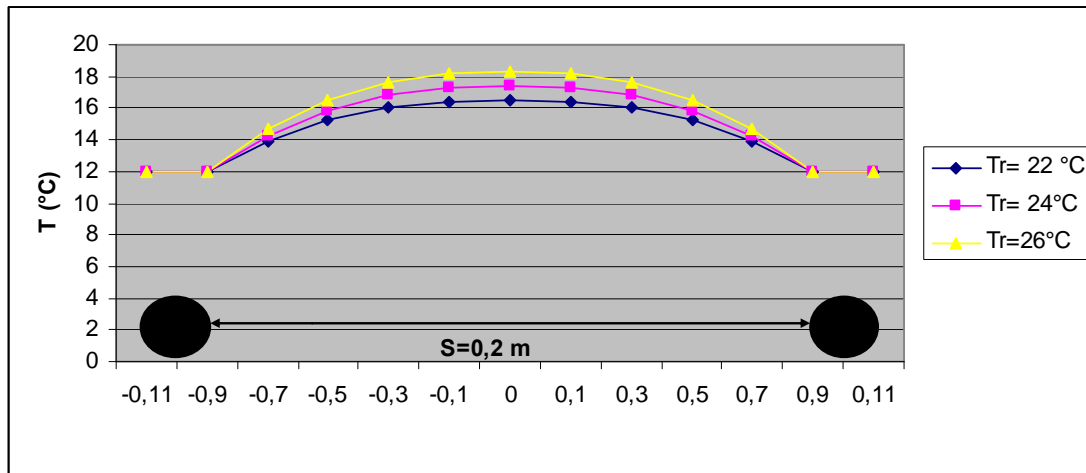


Διάγραμμα 22: Κατανομή της θερμοκρασίας μεταξύ των σωλήνων του πάνελ για $S=0,1\text{m}$, $w=0,04\text{ m}$, $h=10\text{ W m}^{-2}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $k=1,4\text{ W m}^{-1}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $T_o=12\text{ }^\circ\text{C}$, $D_o=0,02\text{ m}$, για $T_r=22\text{ }^\circ\text{C}$, $24\text{ }^\circ\text{C}$, $26\text{ }^\circ\text{C}$. (οι αρνητικές τιμές προκύπτουν συμβολικά, επειδή θεωρώ ως 0 το μέσο της απόστασης των αγωγών)

Πίνακας 32: Κατανομή θερμοκρασίας μεταξύ των σωλήνων για διάφορες θερμοκρασίες χώρου και για $S=0,2\text{m}$, $w=0,04\text{ m}$, $h=10\text{ W m}^{-2}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $k=1,4\text{ W m}^{-1}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $T_o=12\text{ }^\circ\text{C}$, $D_o=0,02\text{ m}$. Θεωρώ $x=0$, το μέσο της απόστασης των αξόνων των δύο σωλήνων

x	$T(^\circ\text{C})$ ($T_r=22\text{ }^\circ\text{C}$)	$T(^\circ\text{C})$ ($T_r=24\text{ }^\circ\text{C}$)	$T(^\circ\text{C})$ ($T_r=26\text{ }^\circ\text{C}$)
0	16,48945	17,38734	18,28523
0,01	16,44017	17,32821	18,21624
0,02	16,29147	17,14976	18,00806
0,03	16,04067	16,84881	17,65694
0,04	15,6833	16,41997	17,15663
0,05	15,21297	15,85556	16,49816
0,06	14,62126	15,14551	15,66976
0,07	13,89758	14,2771	14,65662
0,08	13,02901	13,23481	13,44061

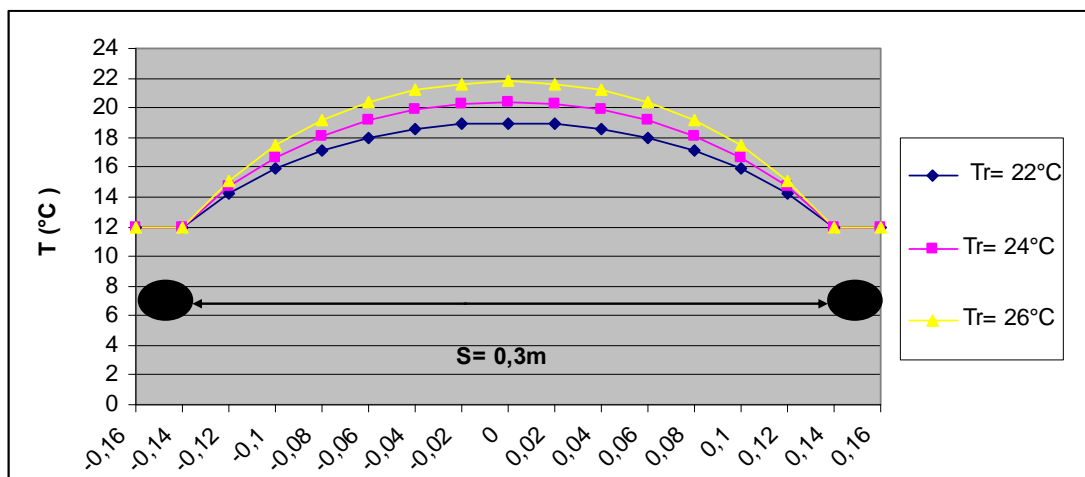
0,09	12	12	12
------	----	----	----



Διάγραμμα 23: Κατανομή της θερμοκρασίας μεταξύ των σωλήνων του πάνελ για $S=0,2m$, $w=0,04m$, $h=10W m^{-2} °C^{-1}$, $k=1,4W m^{-1} °C^{-1}$, $T_o=12°C$, $D_o=0,02m$, για $T_r=22°C, 24°C, 26°C$. (οι αρνητικές τιμές προκύπτουν συμβολικά, επειδή θεωρώ ως 0 το μέσο της απόστασης των αγωγών)

Πίνακας 33 Κατανομή θερμοκρασίας μεταξύ των σωλήνων για διάφορες θερμοκρασίες χώρου και για $S=0,3m$, $w=0,04m$, $h=10W m^{-2} °C^{-1}$, $k=1,4W m^{-1} °C^{-1}$, $T_o=12°C$, $D_o=0,02m$. Θεωρώ $x=0$, το μέσο της απόστασης των αξόνων των δύο σωλήνων

x	T(°C) ($T_r=22°C$)	T(°C) ($T_r=24°C$)	T(°C) ($T_r=26°C$)
0	18,99143	20,38971	21,788
0,02	18,88334	20,26	21,63667
0,04	18,5513	19,86156	21,17182
0,06	17,97146	19,16575	20,36004
0,08	17,10214	18,12257	19,143
0,1	15,8809	16,65708	17,43326
0,12	14,21997	14,66396	15,10795
0,14	12	12	12



Διάγραμμα 24: Κατανομή της θερμοκρασίας μεταξύ των σωλήνων του πάνελ για $S=0,3m$, $w=0,04m$, $h=10Wm^{-2}^{\circ}C^{-1}$, $k=1,4Wm^{-1}^{\circ}C^{-1}$, $T_o=12^{\circ}C$, $D_o=0,02m$, για $T_r=22^{\circ}C$, $24^{\circ}C$, $26^{\circ}C$. (οι αρνητικές τιμές προκύπτουν συμβολικά, επειδή θεωρώ ως 0 το μέσο της απόστασης των αγωγών)

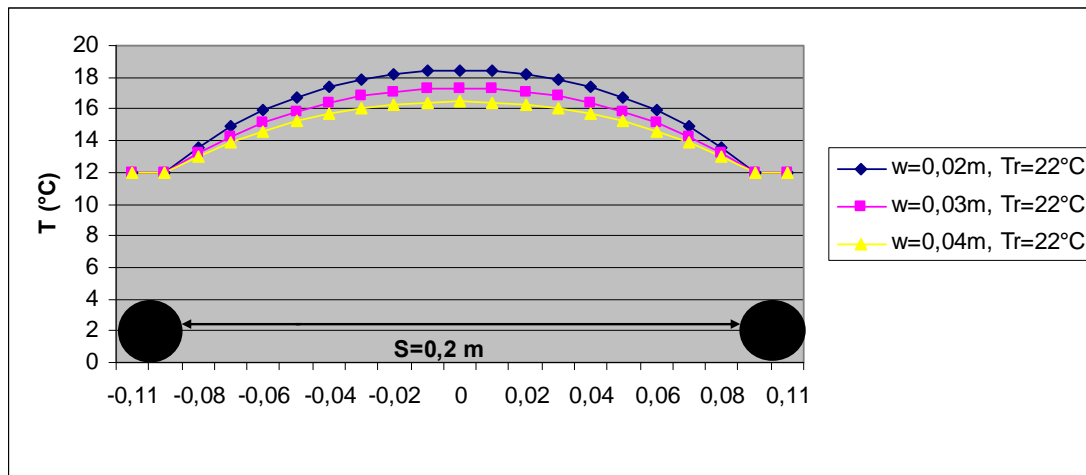
Από τα παραπάνω διαγράμματα (22, 23, 24) συμπεραίνουμε ότι μέγιστη θερμοκρασία επικρατεί στο μέσο της απόστασης των αγωγών. Η θερμοκρασία αυτή είναι τόσο υψηλότερη, όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση S των αγωγών και όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία T_r , που επικρατεί στον εσωτερικό χώρο.

Αν υποθέσουμε τώρα, ότι οι σωλήνες απέχουν $S=0,2m$ και το πάχος του πάνελ είναι $w=0,02m$, $0,03m$ και $0,04m$ κάθε φορά, ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας $h=10Wm^{-2}^{\circ}C^{-1}$, η θερμική αγωγιμότητα $k=1,4Wm^{-1}^{\circ}C^{-1}$, η θερμοκρασία του πάνελ στην περιοχή του σωλήνα $T_o=12^{\circ}C$, εξωτερική διάμετρος του σωλήνα $D_o=0,02m$, για θερμοκρασίες δωματίου $T_r=22^{\circ}C$, $24^{\circ}C$, $26^{\circ}C$, η θερμοκρασιακή κατανομή μεταξύ των σωλήνων φαίνεται στα Διαγράμματα 25, 26, 27

Πίνακας 34: Κατανομή θερμοκρασίας μεταξύ των σωλήνων για θερμοκρασίες χώρου $T_r=22^{\circ}C$, $S=0,2m$, $w=0,02m$, $0,03m$, $0,04m$, $h=10Wm^{-2}^{\circ}C^{-1}$, $k=1,4Wm^{-1}^{\circ}C^{-1}$, $T_o=12^{\circ}C$, $D_o=0,02m$. Θεωρώ $x=0$, το μέσο της απόστασης των αξόνων των δύο σωλήνων

x	T (°C) Για w=0,02m, Tr=22 °C	T (°C) Για w=0,03m, Tr=22 °C	T (°C) Για w=0,04m, Tr=22 °C)
0	18,4671	17,30422	16,48945
0,01	18,40383	17,24821	16,44017
0,02	18,21174	17,07884	16,29147
0,03	17,88394	16,79206	16,04067

0,04	17,40871	16,38103	15,6833
0,05	16,76902	15,83596	15,21297
0,06	15,94195	15,14383	14,62126
0,07	14,89787	14,28813	13,89758
0,08	13,59939	13,24846	13,02901
0,09	12	12	12

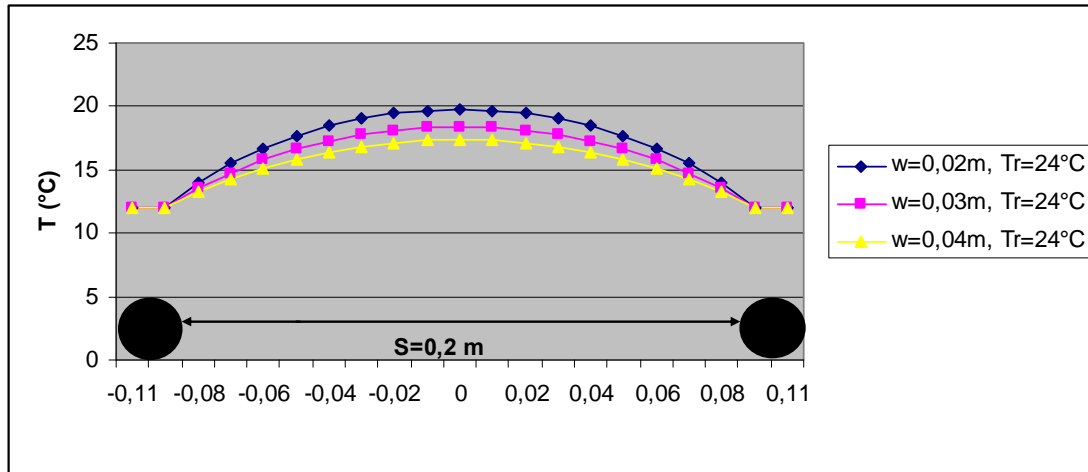


Διάγραμμα 25: Κατανομή θερμοκρασίας μεταξύ των σωλήνων για θερμοκρασίες χώρου $T_r=22\text{ }^\circ\text{C}$, $S=0,2\text{m}$, $w=0,02\text{m}$, $0,03\text{m}$, $0,04\text{m}$, $h=10\text{ W m}^{-2}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $k=1,4\text{ W m}^{-1}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $T_o=12\text{ }^\circ\text{C}$, $D_o=0,02\text{ m}$. Θεωρώ $x=0$, το μέσο της απόστασης των αξόνων των δύο σωλήνων.. (οι αρνητικές τιμές προκύπτουν συμβολικά, επειδή θεωρώ ως 0 το μέσο της απόστασης των αγωγών)

Πίνακας 35: Κατανομή θερμοκρασίας μεταξύ των σωλήνων για θερμοκρασίες χώρου $T_r=24\text{ }^\circ\text{C}$, $S=0,2\text{m}$, $w=0,02\text{m}$, $0,03\text{m}$, $0,04\text{m}$, $h=10\text{ W m}^{-2}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $k=1,4\text{ W m}^{-1}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $T_o=12\text{ }^\circ\text{C}$, $D_o=0,02\text{ m}$. Θεωρώ $x=0$, το μέσο της απόστασης των αξόνων των δύο σωλήνων

x	T (°C) Για w=0,02m, Tr=24 °C	T (°C) Για w=0,03m, Tr=24 °C	T (°C) Για w=0,04m, Tr=24 °C
0	19,76052	18,36507	17,38734
0,01	19,68459	18,29785	17,32821
0,02	19,45408	18,0946	17,14976
0,03	19,06073	17,75047	16,84881
0,04	18,49046	17,25724	16,41997
0,05	17,72282	16,60315	15,85556
0,06	16,73034	15,7726	15,14551

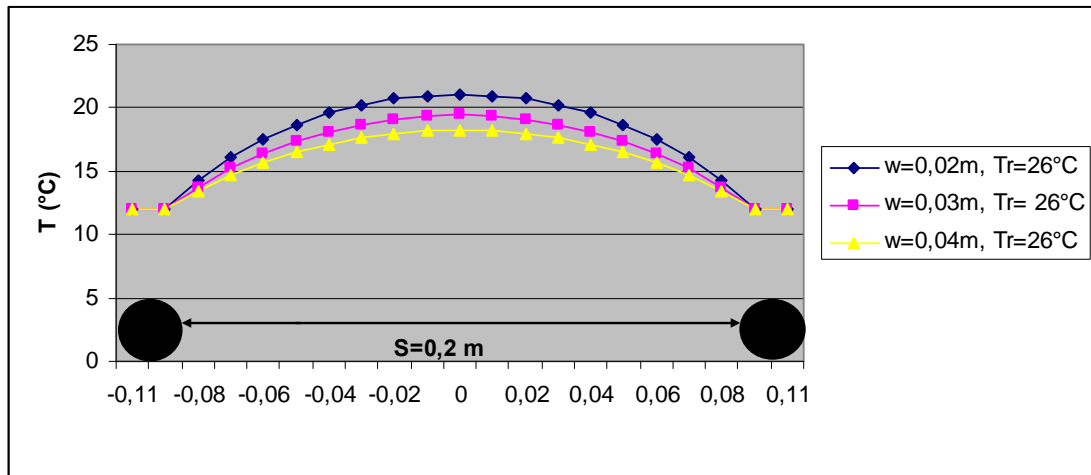
0,07	15,47745	14,74576	14,2771
0,08	13,91927	13,49815	13,23481
0,09	12	12	12



Διάγραμμα 26: Κατανομή θερμοκρασίας μεταξύ των σωλήνων για θερμοκρασίες χώρου $T_r=24\text{ }^\circ\text{C}$, $S=0,2\text{m}$, $w=0,02\text{m}$, $0,03\text{m}$, $0,04\text{m}$, $h=10\text{ W m}^{-2}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $k=1,4\text{ W m}^{-1}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $T_o=12\text{ }^\circ\text{C}$, $D_o=0,02\text{ m}$. Θεωρώ $x=0$, το μέσο της απόστασης των αξόνων των δύο σωλήνων. (οι αρνητικές τιμές προκύπτουν συμβολικά, επειδή θεωρώ ως 0 το μέσο της απόστασης των αγωγών)

Πίνακας 36: Κατανομή θερμοκρασίας μεταξύ των σωλήνων για θερμοκρασίες χώρου $T_r=26\text{ }^\circ\text{C}$, $S=0,2\text{m}$, $w=0,02\text{m}$, $0,03\text{m}$, $0,04\text{m}$, $h=10\text{ W m}^{-2}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $k=1,4\text{ W m}^{-1}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $T_o=12\text{ }^\circ\text{C}$, $D_o=0,02\text{ m}$. Θεωρώ $x=0$, το μέσο της απόστασης των αξόνων των δύο σωλήνων

x	T (°C) Για w=0,02m, Tr=26 °C	T (°C) Για w=0,03m, Tr=26 °C	T (°C) Για w=0,04m, Tr=26 °C
0	21,05395	19,42591	18,28523
0,01	20,96536	19,3475	18,21624
0,02	20,69643	19,11037	18,00806
0,03	20,23752	18,70888	17,65695
0,04	19,5722	18,13345	17,15663
0,05	18,67663	17,37034	16,49816
0,06	17,51873	16,40136	15,66976
0,07	16,05702	15,20339	14,65662
0,08	14,23915	13,74784	13,44061
0,09	12	12	12



Διάγραμμα 27: Κατανομή θερμοκρασίας μεταξύ των σωλήνων για θερμοκρασίες χώρου $T_r=26\text{ }^\circ\text{C}$, $S=0,2\text{m}$, $w = 0,02\text{m}$, $0,03\text{m}$, $0,04\text{m}$, $h=10\text{ W m}^{-2}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $k=1,4\text{ W m}^{-1}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $T_o=12\text{ }^\circ\text{C}$, $D_o=0,02\text{m}$. Θεωρώ $x=0$, το μέσο της απόστασης των αξόνων των δύο σωλήνων. (οι αρνητικές τιμές προκύπτουν συμβολικά, επειδή θεωρώ ως 0 το μέσο της απόστασης των αγωγών)

Από τα παραπάνω διαγράμματα (25, 26, 27) συμπεραίνουμε ότι όσο μικρότερο είναι το πάχος του πάνελ w , τόσο μεγαλύτερες θερμοκρασίες επικρατούν μεταξύ των αγωγών. Επίσης, η θερμοκρασίες είναι υψηλότερες όσο μεγαλύτερη είναι ο θερμοκρασία T_r , που επικρατεί στον εσωτερικό χώρο.

Θερμότητα που απορροφάται από το σύστημα

Η ροή θερμότητας ανά μονάδα μήκους κατά τη κατεύθυνση της ροής q^* (W/m^{-1}), μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$q^* = h(T_r - T_o)[D_o + (S - D_o)F] \quad (9.2.5.2.)$$

Όπου:

$$F = \frac{\tanh[m(S - D_o)/2]}{m(S - D_o)/2} \quad (9.2.5.3.)$$

Θεωρώντας τη θερμική αντίσταση του σωλήνα αμελητέα, λόγω του μικρού του πάχους και της μεγάλης θερμικής του αγωγιμότητας, η ροή θερμότητας ανά μονάδα μήκους κατά τη κατεύθυνση της ροής, μπορεί επίσης να εκφραστεί:

$$q^* = \pi D_i h_f (T_o - T_f) \quad (9.2.5.4.)$$

Όπου:

q^* , η ροή θερμότητας (W/m^2) ανά μονάδα μήκους κατά τη κατεύθυνση της ροής

D_i , είναι η εσωτερική διάμετρος του σωλήνα [m]

h_f , ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας της εσωτερικής επιφάνειας του σωλήνα [$W m^{-2} K^{-1}$]

T_f , η θερμοκρασία του ρευστού [$^{\circ}C$]

Από τις εξισώσεις (9.2.5.2)-(9.2.5.4.) προκύπτει ότι:

$$q^* = S F_1 h (T_r - T_f) \quad (9.2.5.5)$$

Όπου:

$$F_1 = \frac{\frac{1}{h}}{S \left[\frac{1}{h[D_o + (S - D_o)F]} + \frac{1}{\pi D_i h_f} \right]} \quad (9.2.5.6.)$$

Το F_1 είναι ο παράγων απόδοσης του πάνελ και λόγω της (9.2.5.5.) παριστά το λόγο της πραγματικής αποδιδόμενης ψυκτικής ισχύος του πάνελ, προς τη ψυκτική ισχύ που θα απέδιδε αν κάθε σημείο της επιφάνειας του πάνελ είχε την αντίστοιχη θερμοκρασία του ρευστού T_f . Από την τελευταία εξίσωση (9.2.5.6.) προκύπτει και μια άλλη φυσική ερμηνεία του παράγοντα απόδοσης F_1 . **Εκφράζει το λόγο της θερμικής αντίστασης από την επιφάνεια του πάνελ προς τον αέρα του εσωτερικού χώρου, προς τη θερμική αντίσταση από το ρευστό προς τον εσωτερικό χώρο.**

Η θερμότητα που απορροφάται ανά μονάδα επιφάνειας $q(W/m^2)$ του πάνελ, υπολογίζεται από την εξίσωση (9.2.5.7.):

$$q = q^* / S = F_1 h (T_r - T_f) \quad (9.2.5.7.)$$

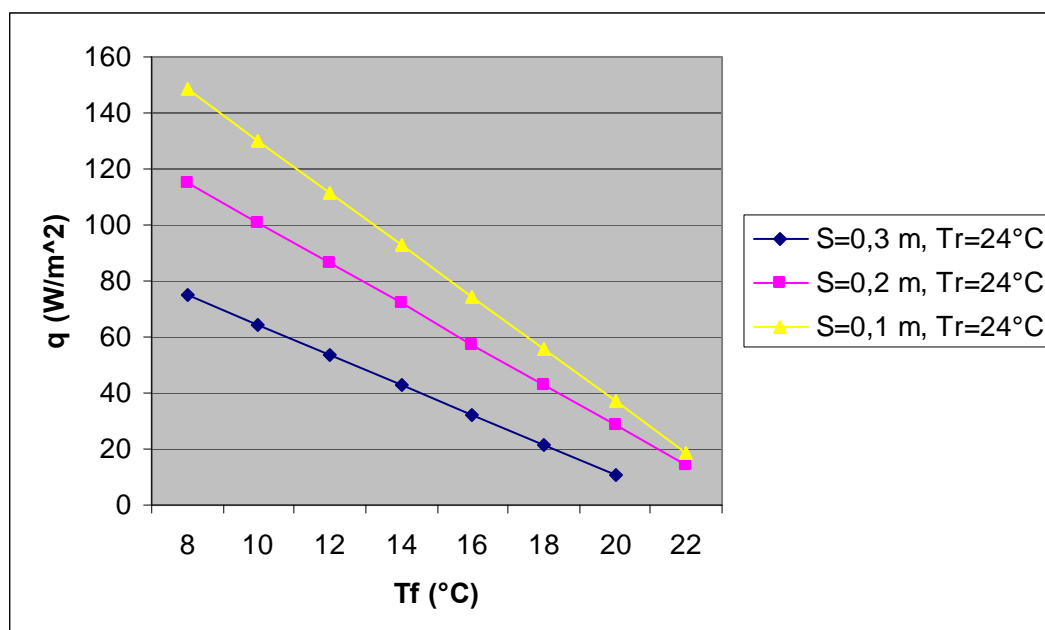
Με χρήση της εξίσωσης (9.2.5.7.) κατασκευάστηκαν τα Διάγραμματα 28 και 29, που δείχνουν την θερμότητα $q (W/m^2)$ που απορροφάται σε συνάρτηση με την θερμοκρασία του ρευστού T_f , με παράμετρο την απόσταση των αγωγών S . Για τους υπολογισμούς λήφθηκαν τα εξής: συντελεστής μεταφοράς θερμότητας $h = 10 W m^{-2} ^{\circ}C^{-1}$, $T_r = 24^{\circ}C$ και $26^{\circ}C$, $D_o = 0,02$

m , $D_i=0,018$ m, συντελεστής μεταφοράς θερμότητας της εσωτερικής επιφάνειας του σωλήνα $h_f=3000$ W m⁻² °C⁻¹, $k=1,4$ W m⁻¹ °C⁻¹ και $w=0,04$ m

Πίνακας 37: Η θερμότητα q που απορροφάται ανά μονάδα επιφάνειας του πάνελ σε συνάρτηση με την θερμοκρασία του ρευστού T_f με παράμετρο το S , για συντελεστή μεταφοράς θερμότητας $h=10$ W m⁻² °C⁻¹, $T_r=24$ °C, $D_o=0,02$ m, $D_i=0,018$ m, συντελεστής μεταφοράς θερμότητας της εσωτερικής επιφάνειας του σωλήνα $h_f=3000$ W m⁻² °C⁻¹, $k=1,4$ W m⁻¹ °C⁻¹ και $w=0,04$ m

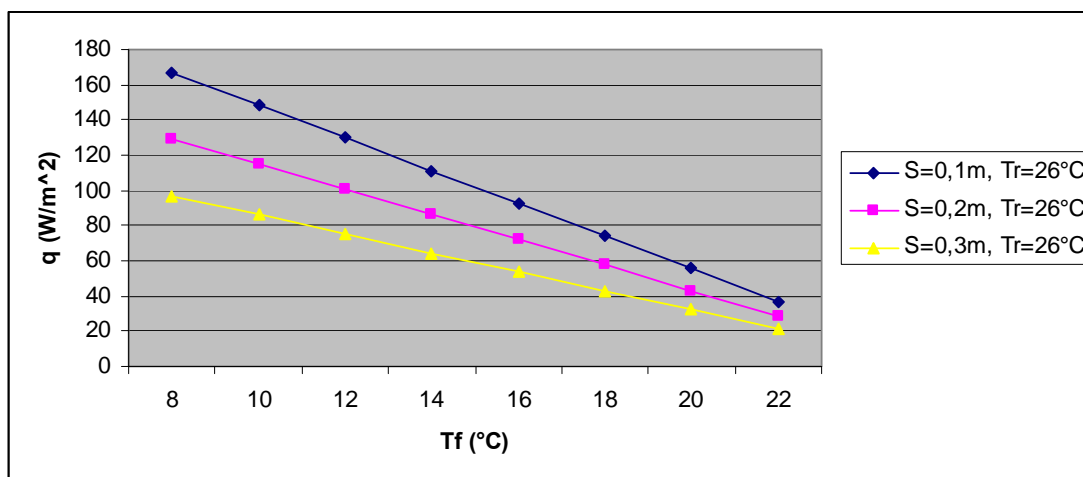
T_f (°C)	q (W/m ²) (για $S=0,3$ m και $T_r=24$ °C)	q (W/m ²) (για $S=0,2$ m και $T_r=24$ °C)	q (W/m ²) (για $S=0,1$ m και $T_r=24$ °C)
8	85,96543	114,9314	148,2438
10	75,21976	100,565	129,7133
12	64,47408	86,19855	111,1829
14	53,7284	71,83212	92,65239
16	42,98272	57,4657	74,12191
18	32,23704	43,09927	55,59144
20	21,49136	28,73285	37,06096
22	10,74568	14,36642	18,53048

Διάγραμμα 28: Η θερμότητα q που απορροφάται ανά μονάδα επιφάνειας του πάνελ σε συνάρτηση με την θερμοκρασία του ρευστού T_f με παράμετρο το S , για συντελεστή μεταφοράς θερμότητας $h=10$ W m⁻² °C⁻¹, $T_r=24$ °C, $D_o=0,02$ m, $D_i=0,018$ m, συντελεστής μεταφοράς θερμότητας της εσωτερικής επιφάνειας του σωλήνα $h_f=3000$ W m⁻² °C⁻¹, $k=1,4$ W m⁻¹ °C⁻¹ και $w=0,04$ m



Πίνακας 38: Η θερμότητα q που απορροφάται ανά μονάδα επιφάνειας του πάνελ σε συνάρτηση με την θερμοκρασία του ρευστού T_f με παράμετρο το S , για συντελεστή μεταφοράς θερμότητας $h = 10 \text{ W m}^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $T_r = 24 \text{ }^\circ\text{C}$, $D_o = 0,02 \text{ m}$, $D_i = 0,018 \text{ m}$, συντελεστής μεταφοράς θερμότητας της εσωτερικής επιφάνειας του σωλήνα $h_i = 3000 \text{ W m}^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $k = 1,4 \text{ W m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ και $w = 0,04 \text{ m}$

T_f ($^\circ\text{C}$)	$q(\text{W/m}^2)$ (για $S=0,3\text{m}$ και $T_r=26^\circ\text{C}$)	$q(\text{W/m}^2)$ (για $S=0,2\text{m}$ και $T_r=26^\circ\text{C}$)	$q(\text{W/m}^2)$ (για $S=0,1\text{m}$ και $T_r=26^\circ\text{C}$)
8	96,71111	129,2978	166,7743
10	85,96543	114,9314	148,2438
12	75,21976	100,565	129,7133
14	64,47408	86,19855	111,1829
16	53,7284	71,83212	92,65239
18	42,98272	57,4657	74,12191
20	32,23704	43,09927	55,59144
22	21,49136	28,73285	37,06096



Διάγραμμα 29: Η θερμότητα q που απορροφάται ανά μονάδα επιφάνειας του πάνελ σε συνάρτηση με την θερμοκρασία του ρευστού T_f με παράμετρο το S , για συντελεστή μεταφοράς θερμότητας $h = 10 \text{ W m}^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $T_r = 24 \text{ }^\circ\text{C}$, $D_o = 0,02 \text{ m}$, $D_i = 0,018 \text{ m}$, συντελεστής μεταφοράς θερμότητας της εσωτερικής επιφάνειας του σωλήνα $h_i = 3000 \text{ W m}^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $k = 1,4 \text{ W m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ και $w = 0,04 \text{ m}$

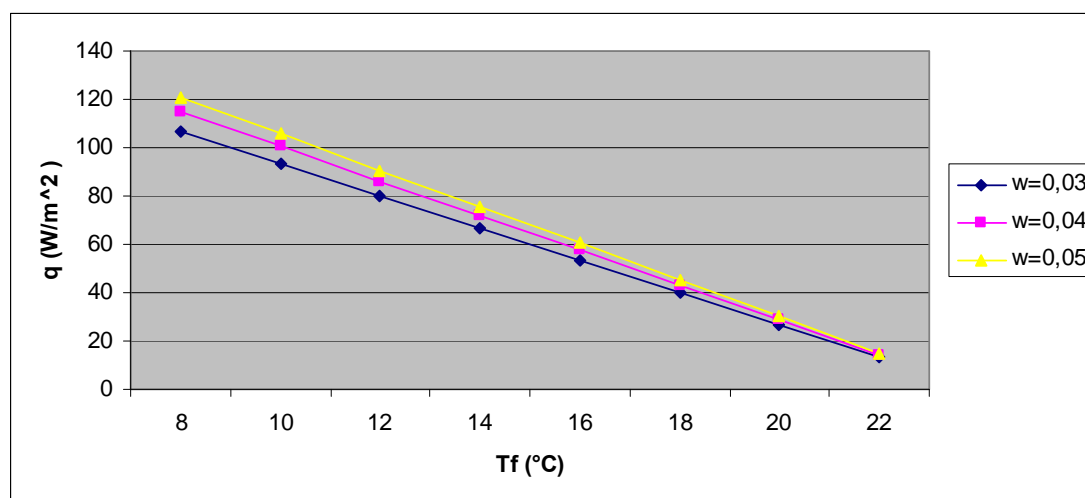
Συμπεραίνουμε ότι όσο μικρότερη είναι η απόσταση των αγωγών S , τόσο μεγαλύτερη είναι η θερμότητα q ανά μονάδα επιφάνειας του πάνελ, που απορροφάται, για δεδομένη θερμοκρασία ρευστού T_f (Πίνακες 37,38). Για μεγαλύτερη θερμοκρασία του αέρα δωματίου και για την ίδια απόσταση αγωγών, έχω μεγαλύτερη απορρόφηση θερμότητας. Ενδεικτικά, όπως φαίνεται στα διαγράμματα 28 και 29, για απόσταση αγωγών $S=0,2\text{m}$, όταν επικρατεί

στο χώρο θερμοκρασία $T_r = 24^\circ\text{C}$, έχω για θερμοκρασία του ρευστού $T_f = 10^\circ\text{C}$, απορροφούμενη θερμότητα $q = 100,565 \text{ W/m}^2$, ενώ για την ίδια πάλι απόσταση αγωγών, με επικρατούσα στο χώρο θερμοκρασία αέρα $T_r = 26^\circ\text{C}$, έχω για θερμοκρασία του ρευστού $T_f = 10^\circ\text{C}$, απορροφούμενη θερμότητα $q = 114,9314 \text{ W/m}^2$

Τα **Διαγράμματα 30 και 31**, δείχνουν τη θερμότητα q που απορροφάται σε συνάρτηση με την θερμοκρασία του ρευστού T_f , με παράμετρο το πάχος του πάνελ w , με ίδιες τις υπόλοιπες συνθήκες, για $T_r = 24^\circ\text{C}$ και $T_r = 26^\circ\text{C}$

Πίνακας 39: Η θερμότητα q που απορροφάται ανά μονάδα επιφάνειας του πάνελ σε συνάρτηση με την θερμοκρασία του ρευστού T_f με παράμετρο το πάχος του πάνελ w , για $h = 10 \text{ W m}^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $T_r = 24^\circ\text{C}$, $D_o = 0,02 \text{ m}$, $D_i = 0,018 \text{ m}$, συντελεστής μεταφοράς θερμότητας της εσωτερικής επιφάνειας του σωλήνα $h_f = 3000 \text{ W m}^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $k = 1,4 \text{ W m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ και $S = 0,2 \text{ m}$

T_r ($^\circ\text{C}$)	q (W/m^2) ($w=0,03\text{m}$)	q (W/m^2) ($w=0,04\text{m}$)	q (W/m^2) ($w=0,05\text{m}$)
8	106,7026	114,9314	120,8813
10	93,3648	100,565	105,7711
12	80,02697	86,19855	90,66095
14	66,68914	71,83212	75,55079
16	53,35131	57,4657	60,44063
18	40,01349	43,09927	45,33048
20	26,67566	28,73285	30,22032
22	13,33783	14,36642	15,11016

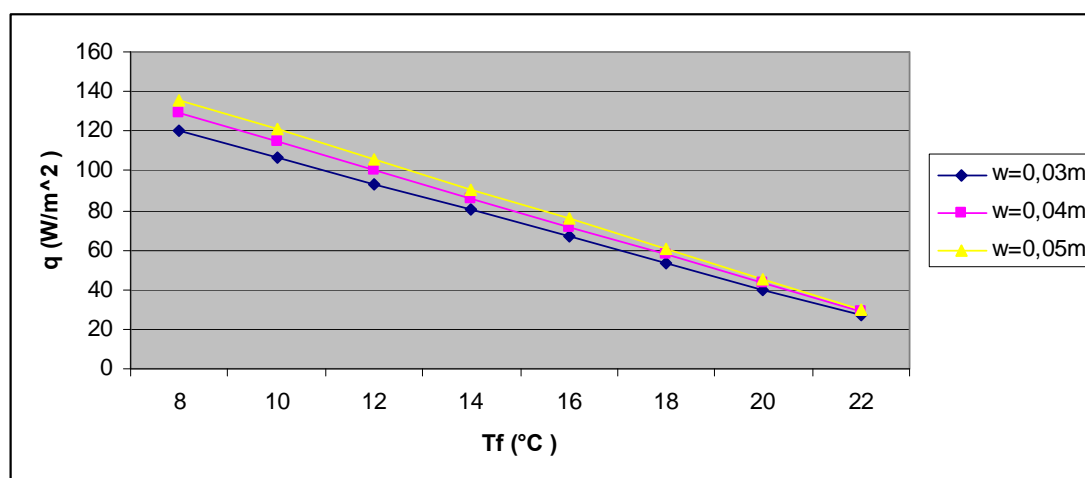


Διάγραμμα 30: Η θερμότητα q που απορροφάται ανά μονάδα επιφάνειας του πάνελ σε συνάρτηση με την θερμοκρασία του ρευστού T_f με παράμετρο το πάχος του πάνελ w , για $h = 10 \text{ W m}^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $T_r = 24^\circ\text{C}$,

$D_o=0,02$ m, $D_i=0,018$ m, συντελεστής μεταφοράς θερμότητας της εσωτερικής επιφάνειας του σωλήνα $h_f=3000$ W m⁻² °C⁻¹, $k=1,4$ W m⁻¹ °C⁻¹ και $S=0,2$ m

Πίνακας 40: Η θερμότητα q που απορροφάται ανά μονάδα επιφάνειας του πάνελ σε συνάρτηση με την θερμοκρασία του ρευστού T_f με παράμετρο το πάχος του πάνελ w , για $h=10$ W m⁻² °C⁻¹, $T_r=26$ °C, $D_o=0,02$ m, $D_i=0,018$ m, συντελεστής μεταφοράς θερμότητας της εσωτερικής επιφάνειας του σωλήνα $h_f=3000$ W m⁻² °C⁻¹, $k=1,4$ W m⁻¹ °C⁻¹ και $S=0,2$ m

T_f (°C)	q (W/m ²) ($w=0,03$ m)	q (W/m ²) ($w=0,04$ m)	q (W/m ²) ($w=0,05$ m)
8	120,0405	129,2978	135,9914
10	106,7026	114,9314	120,8813
12	93,3648	100,565	105,7711
14	80,02697	86,19855	90,66095
16	66,68914	71,83212	75,55079
18	53,35131	57,4657	60,44063
20	40,01349	43,09927	45,33048
22	26,67566	28,73285	30,22032



Διάγραμμα 31: Η θερμότητα q που απορροφάται ανά μονάδα επιφάνειας του πάνελ σε συνάρτηση με την θερμοκρασία του ρευστού T_f με παράμετρο το πάχος του πάνελ w , για $h=10$ W m⁻² °C⁻¹, $T_r=26$ °C, $D_o=0,02$ m, $D_i=0,018$ m, συντελεστής μεταφοράς θερμότητας της εσωτερικής επιφάνειας του σωλήνα $h_f=3000$ W m⁻² °C⁻¹, $k=1,4$ W m⁻¹ °C⁻¹ και $S=0,2$ m

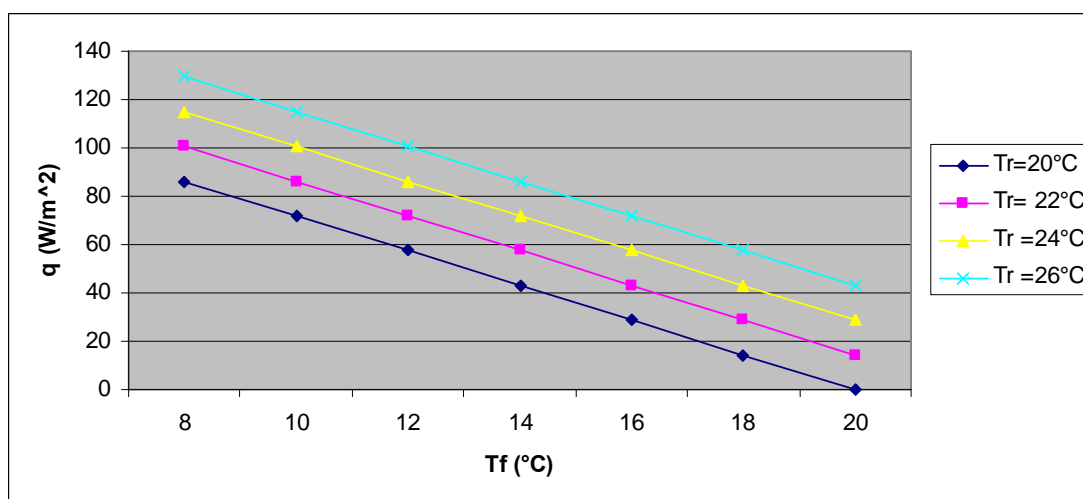
Συμπεραίνουμε ότι όσο μεγαλύτερο είναι το πάχος του πάνελ w , τόσο μεγαλύτερη είναι η θερμότητα q ανά μονάδα επιφάνειας του πάνελ, που απορροφάται για δεδομένη θερμοκρασία ρευστού T_f (Πίνακες 39,40). Για μεγαλύτερη θερμοκρασία του αέρα δωματίου και για το ίδιο πάχος του πάνελ, έχω μεγαλύτερη απορρόφηση θερμότητας. Ενδεικτικά, όπως φαίνεται στα διαγράμματα 30 και 31, για πάχος πάνελ $w=0,03$ m, όταν επικρατεί στο χώρο θερμοκρασία $T_r=24$ °C, έχω για θερμοκρασία του ρευστού $T_f=10$ °C, απορροφούμενη θερμότητα

$q=93,3648\text{W/m}^2$, ενώ για το ίδιο πάλι πάχος, με επικρατούσα στο χώρο θερμοκρασία $T_r = 26$ °C, έχω για θερμοκρασία του ρευστού $T_f=10^\circ\text{C}$, απορροφούμενη θερμότητα $q=106,7026\text{W/m}^2$

Ενώ στο **διάγραμμα 32**, απεικονίζεται η θερμότητα q που απορροφάται σε συνάρτηση με την θερμοκρασία του ρευστού T_f , με παράμετρο την θερμοκρασία του χώρου T_r .

Πίνακας 41: Η θερμότητα q που απορροφάται σε συνάρτηση με την θερμοκρασία του ρευστού T_f , με παράμετρο την θερμοκρασία του χώρου T_r , για $h = 10 \text{ W m}^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $T_r = 24 \text{ }^\circ\text{C}$, $D_o = 0,02\text{m}$, $D_i = 0,018\text{m}$, συντελεστής μεταφοράς θερμότητας της εσωτερικής επιφάνειας του σωλήνα $h_f = 3000 \text{ W m}^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $k = 1,4 \text{ W m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $S = 0,2\text{m}$ και $w = 0,04 \text{ m}$

$T_f(^\circ\text{C})$	$q(\text{W/m}^2)$ ($T_r=20^\circ\text{C}$)	$q(\text{W/m}^2)$ ($T_r=22^\circ\text{C}$)	$q(\text{W/m}^2)$ ($T_r=24^\circ\text{C}$)	$q(\text{W/m}^2)$ ($T_r=26^\circ\text{C}$)
8	86,19855	100,565	114,9314	129,2978
10	71,83212	86,19855	100,565	114,9314
12	57,4657	71,83212	86,19855	100,565
14	43,09927	57,4657	71,83212	86,19855
16	28,73285	43,09927	57,4657	71,83212
18	14,36642	28,73285	43,09927	57,4657
20	0	14,36642	28,73285	43,09927

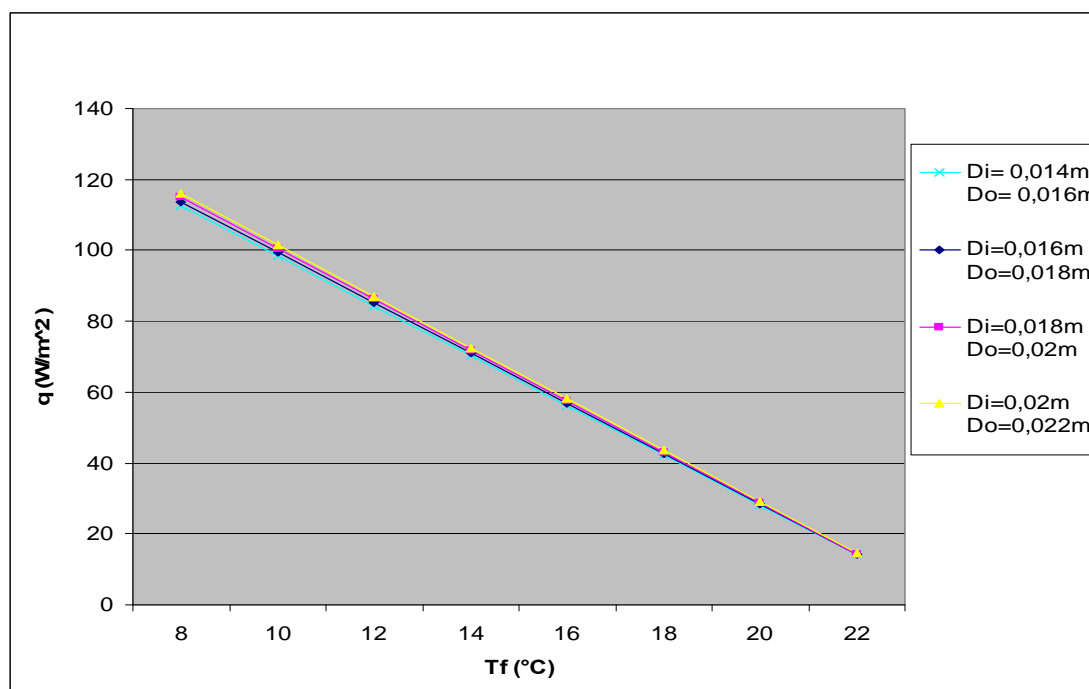


Διάγραμμα 32: Η θερμότητα q που απορροφάται σε συνάρτηση με την θερμοκρασία του ρευστού T_f , με παράμετρο την θερμοκρασία του χώρου T_r , για $h = 10 \text{ W m}^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $D_o = 0,02\text{m}$, $D_i = 0,018\text{m}$, συντελεστής μεταφοράς θερμότητας της εσωτερικής επιφάνειας του σωλήνα $h_f = 3000 \text{ W m}^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $k = 1,4 \text{ W m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $S = 0,2\text{m}$ και $w = 0,04 \text{ m}$

Συμπεραίνουμε ότι όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία του αέρα του εσωτερικού χώρου T_r , τόσο μεγαλύτερη είναι η απορρόφηση θερμότητας q από το πάνελ, για δεδομένη θερμοκρασία ρευστού T_f (Πίνακα 41).

Πίνακας 42: Η θερμότητα q που απορροφάται σε συνάρτηση με την θερμοκρασία του ρευστού T_f , με παράμετρο τις διαστάσεις των αγωγών, για $h=10 \text{ W m}^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $T_r=24 \text{ }^\circ\text{C}$, $h_f=3000 \text{ W m}^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $k=1,4 \text{ W m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $S=0,2\text{m}$ και $w=0,04 \text{ m}$

$T_f(^\circ\text{C})$	$q(\text{W/m}^2)$ ($D_i=0,014\text{m}$, $D_o=0,016\text{m}$)	$q(\text{W/m}^2)$ ($D_i=0,016\text{m}$, $D_o=0,018\text{m}$)	$q(\text{W/m}^2)$ ($D_i=0,018\text{m}$, $D_o=0,020\text{m}$)	$q(\text{W/m}^2)$ ($D_i=0,020\text{m}$, $D_o=0,022\text{m}$)
8	112,4523	113,7114	114,9314	116,1206
10	98,39577	99,49746	100,565	101,6055
12	84,33923	85,28354	86,19855	87,09046
14	70,28269	71,06961	71,83212	72,57538
16	56,22615	56,85569	57,4657	58,06031
18	42,16961	42,64177	43,09927	43,54523
20	28,11308	28,42785	28,73285	29,03015
22	14,05654	14,21392	14,36642	14,51508



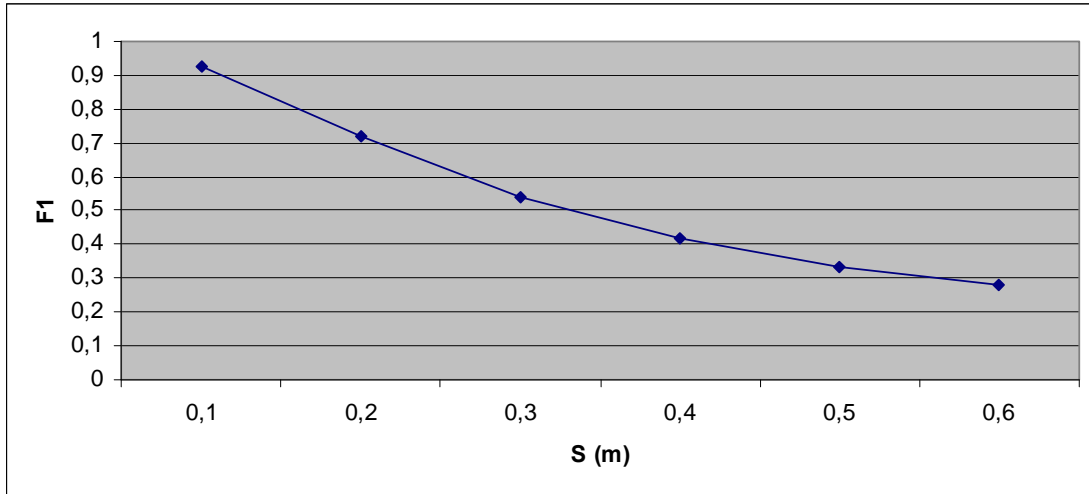
Διάγραμμα 33: Η θερμότητα q που απορροφάται σε συνάρτηση με την θερμοκρασία του ρευστού T_f , με παράμετρο τις διαστάσεις των αγωγών, για $h=10 \text{ W m}^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $T_r=24 \text{ }^\circ\text{C}$, $h_f=3000 \text{ W m}^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $k=1,4 \text{ W m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $S=0,2\text{m}$ και $w=0,04 \text{ m}$

Όπως φαίνεται από τον πίνακα 42 και το διάγραμμα 33, η απορροφούμενη θερμότητα q δε μεταβάλλεται σημαντικά με τις διαστάσεις των αγωγών, για δεδομένη θερμοκρασία ρευστού T_f . Παρατηρείται, ωστόσο, μια μικρή αύξηση της θερμότητας απορρόφησης για τους αγωγούς μεγαλύτερων διαστάσεων, που είναι πιο έντονη για μικρότερες θερμοκρασίες του ρευστού T_f . (Πρώτη σειρά του Πίνακα 42)

Με χρήση της εξίσωση (9.2.5.6.) και μέσω της (9.2.5.3), μπορούμε να βρούμε την εξάρτηση του παράγοντα απόδοσης F_1 από την απόσταση των αγωγών S , για συντελεστή μεταφοράς θερμότητας $h = 10 \text{ W m}^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, διαμέτρους $D_o = 0,02 \text{ m}$, $D_i = 0,018 \text{ m}$ και συντελεστή μεταφοράς θερμότητας της εσωτερικής επιφάνειας του σωλήνα $h_f = 3000 \text{ W m}^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, με $k = 1,4 \text{ W m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ και $w = 0,04 \text{ m}$ (Διάγραμμα 34). Με τις ίδιες συνθήκες, μπορούμε επίσης να βρούμε την εξάρτηση του παράγοντα απόδοσης F_1 , από το πάχος του πάνελ w , με αποστάσεις αγωγών $S = 0,1 \text{ m}$, $S = 0,2 \text{ m}$ και $S = 0,3 \text{ m}$.

Πίνακας 43 Εξάρτηση του παράγοντα απόδοσης F_1 από την απόσταση των αγωγών S , για $h = 10 \text{ W m}^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, διαμέτρους $D_o = 0,02 \text{ m}$, $D_i = 0,018 \text{ m}$ και συντελεστή μεταφοράς θερμότητας της εσωτερικής επιφάνειας του σωλήνα $h_f = 3000 \text{ W m}^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, με $k = 1,4 \text{ W m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ και $w = 0,04 \text{ m}$

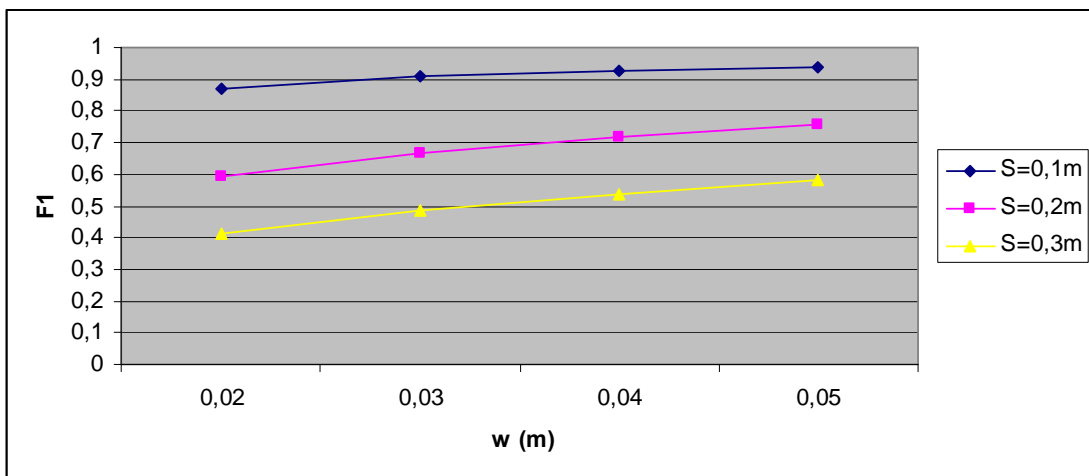
S (m)	F₁
0,1	0,926524
0,2	0,718321
0,3	0,537284
0,4	0,415419
0,5	0,335011
0,6	0,279765



Διάγραμμα 34 Εξάρτηση του παράγοντα απόδοσης F_1 από την απόσταση των αγωγών S , για $h = 10 \text{ W m}^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, διαμέτρους $D_o = 0,02 \text{ m}$, $D_i = 0,018 \text{ m}$ και συντελεστή μεταφοράς θερμότητας της εσωτερικής επιφάνειας του σωλήνα $h_i = 3000 \text{ W m}^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, με $k = 1,4 \text{ W m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ και $w = 0,04 \text{ m}$

Πίνακας 44: Εξάρτηση του παράγοντα απόδοσης F_1 από το πάχος του πάνελ w , με παράμετρο την απόσταση των αγωγών S , για $h = 10 \text{ W m}^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, διαμέτρους $D_o = 0,02 \text{ m}$, $D_i = 0,018 \text{ m}$, συντελεστή μεταφοράς θερμότητας της εσωτερικής επιφάνειας του σωλήνα $h_i = 3000 \text{ W m}^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ και $k = 1,4 \text{ W m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

w (m)	F_1 (S=0,1m)	F_1 (S=0,2m)	F_1 (S=0,3m)
0,2	0,871406	0,59088	0,412861
0,3	0,906948	0,666891	0,483213
0,4	0,926524	0,718321	0,537284
0,5	0,93892	0,755508	0,580482



Διάγραμμα 35: Εξάρτηση του παράγοντα απόδοσης F_1 από το πάχος του πάνελ w , με παράμετρο την απόσταση των αγωγών S , για $h = 10 \text{ W m}^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, διαμέτρους $D_o = 0,02 \text{ m}$, $D_i = 0,018 \text{ m}$, συντελεστή

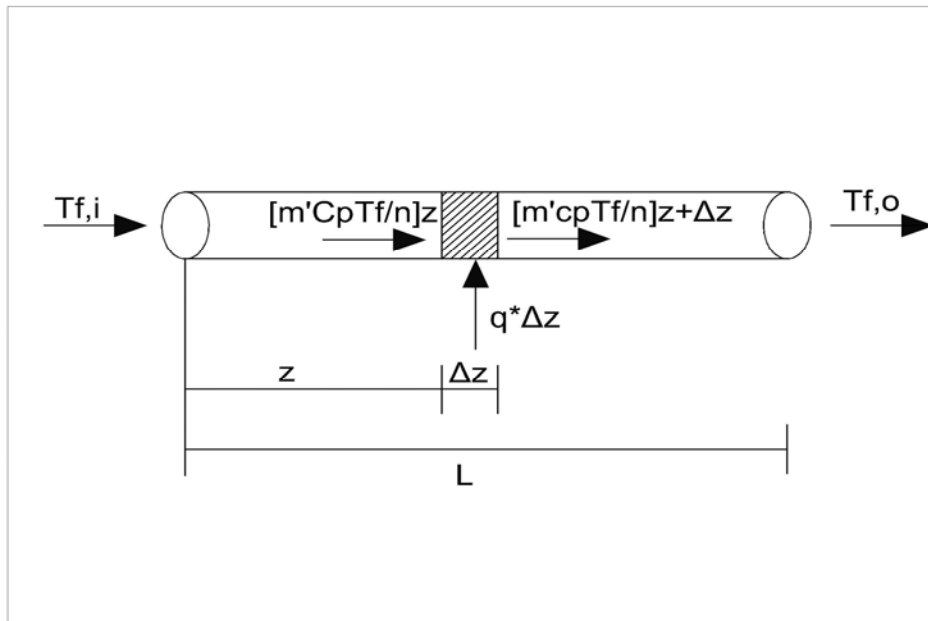
μεταφοράς θερμότητας της εσωτερικής επιφάνειας του σωλήνα $h_f=3000 \text{ W m}^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ και $k=1,4 \text{ W m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

Παρατηρούμε ότι όσο μικρότερη είναι η απόσταση των αγωγών S , τόσο μεγαλύτερος είναι ο παράγων απόδοσης F_1 . Για την ίδια απόσταση των αγωγών S , ο παράγων απόδοσης είναι μεγαλύτερος για μεγαλύτερο πάχος πάνελ, w .

Κατανομή της θερμοκρασίας κατά τη διεύθυνση της ροής

Το ψυκτικό ρευστό εισέρχεται στο πάνελ με θερμοκρασία $T_{f,i}$ και εξέρχεται με θερμοκρασία $T_{f,o}$. Προφανώς θα ισχύει ότι:

$$T_{fi} < T_{fo} \quad (9.2.5.8.)$$



Εικόνα 112: Ενεργειακή ισορροπία σε ένα στοιχείο Δz του ψυκτικού ρευστού.

Σύμφωνα με την Εικόνα 112, που δείχνει ένα σωλήνα του πάνελ, **η ενεργειακή ισορροπία σε ένα στοιχείο Δz του ψυκτικού ρευστού είναι :**

$$\left[\frac{m'}{n} cp T_f \right]_z - \left[\frac{m'}{n} cp T_f \right]_{z+\Delta z} + q * \Delta z = 0 \quad (9.2.5.9.)$$

Όπου:

m' , είναι η παροχή μάζας του νερού kg s^{-1}

c_p , είναι η ειδική θερμοχωρητικότητα του νερού, ($c_p= 4184 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$)

n , ο αριθμός των αγωγών

T_f , η θερμοκρασία του ρευστού ($^\circ\text{C}$)

Δz , στοιχείο του ψυκτικού ρευστού κατά τη διεύθυνση της ροής (m)

q^* , η ροή θερμότητας (W/m^{-1}) ανά μονάδα μήκους κατά τη κατεύθυνση της ροής

Θεωρώντας ότι:

$$[T_f]_{z+\Delta z} = [T_f]_z + dT_f = 0 \quad (9.2.5.10.)$$

Αντικαθιστώντας το q^* από την εξίσωση (9.2.5.5.) και θέτοντας $\Delta z=dz$ η (9.2.5.9.) γίνεται:

$$m'c_p \frac{dT_f}{dz} - nSF_1 h(T_r - T_f) = 0 \quad (9.2.5.11.)$$

Από την ολοκλήρωση της (9.2.5.11.), με οριακές συνθήκες $T_f=T_{f,i}$ για $z=0$ προκύπτει:

$$\frac{T_f - T_r}{T_{f,i} - T_r} = \exp(-hnSF_1 z/m'c_p) \quad (9.2.5.12.)$$

και με δεδομένο ότι το μήκος του πάνελ κατά τη διεύθυνση της ροής είναι L , οπότε για $z=L$ μπορώ να υπολογίσω τη θερμοκρασία εξόδου του ρευστού $T_{f,o}$ από την εξίσωση (9.2.5.12.), προκύπτει επίσης :

$$\frac{T_{f,o} - T_r}{T_{f,i} - T_r} = \exp(-A_p h F_1 / m'c_p) \quad (9.2.5.13.)$$

Όπου $A_p = nSL$ είναι η επιφάνεια του πάνελ.

Ισχύει επίσης ότι η πυκνότητα του νερού:

$$\rho = m'/V' \quad (9.2.5.14.)$$

Άρα:

$$m' = \rho V' = \rho \frac{\pi D_i^2}{4} u \quad (9.2.5.15.)$$

Η πυκνότητα του νερού για θερμοκρασία εισαγωγής γύρω στους $10 \text{ }^\circ\text{C}$, είναι $\rho=999,7 \text{ kg/m}^3$

Άρα, για $D_i=0,018 \text{ m}$:

$$m' = 0,2543u \quad (9.2.5.16.)$$

Η ταχύτητα ροής μπορεί να παίρνει τιμές το πολύ μέχρι 1,5-2 m/s, για αποφυγή προβλημάτων θορύβου.

Ανάλογα με την ταχύτητα της ροής, η παροχή μάζα παίρνει τιμές που φαίνονται στον Πίνακα 45.

Πίνακας 45: Παροχή μάζας m , ανάλογα με την ταχύτητα της ροής u , για $D_i=0,018$ m

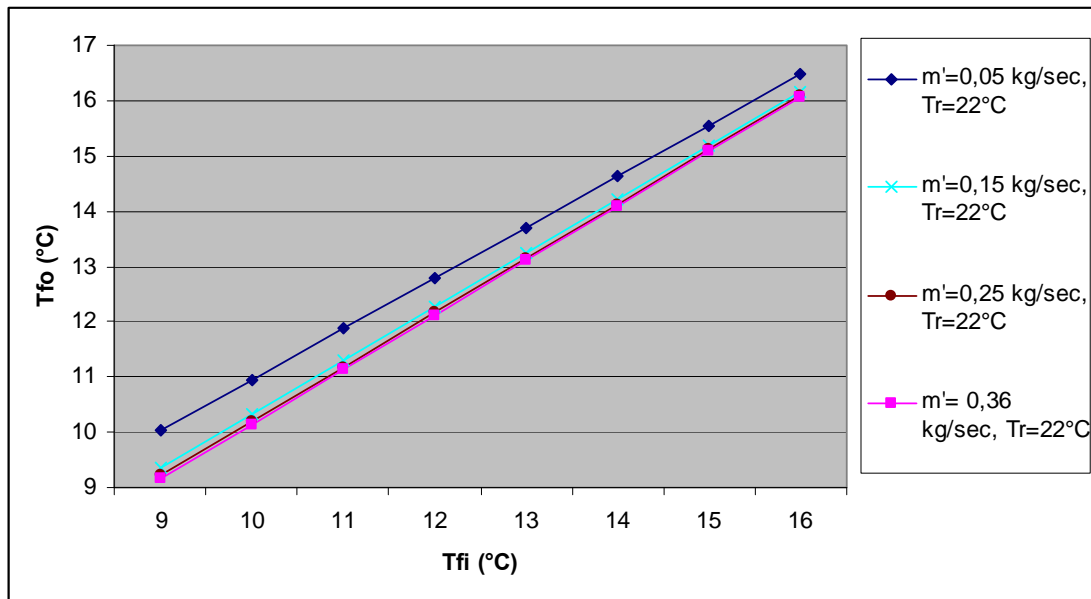
Ταχύτητα ροής u (m/sec)	Παροχή μάζας ρευστού m (kg/sec)
0,2	0,05
0,4	0,1
0,6	0,15
0,8	0,20
1,0	0,25
1,2	0,31
1,4	0,36

Από την εξίσωση (9.2.5.13) για $cp= 4184$ J/kg °C, $n=4$ αγωγοί, μήκους $L=3$ m, απόσταση $S=0,2$ m, $h=10$ W m⁻² °C⁻¹, $k=1,4$ W m⁻¹ °C⁻¹, διαμέτρους $D_o=0,02$ m, $D_i=0,018$ m, $w=0,04$ m και $F_1= 0,718321$, (από Πίνακα 43) προκύπτουν τα ακόλουθα διαγράμματα, που δείχνουν τη θερμοκρασία εξόδου T_{fo} του ρευστού από το σωλήνα, σε συνάρτηση με την θερμοκρασία εισόδου T_{fi} , για διαφορετικές παροχές μάζας m' (Πίνακας 45) και θερμοκρασίες T_r του εσωτερικού αέρα.

Πίνακας 46: Η θερμοκρασία εξόδου T_{fo} του ρευστού από το σωλήνα, σε συνάρτηση με την θερμοκρασία εισόδου του T_{fi} , για διαφορετικές παροχές μάζας m' και θερμοκρασία $T_r=22$ °C του εσωτερικού αέρα, για $cp= 4184$ J/kg °C, $n=4$ αγωγοί, μήκους $L=3$ m, απόσταση $S=0,2$ m, $h=10$ W m⁻² °C⁻¹, $k=1,4$ W m⁻¹ °C⁻¹, διαμέτρους $D_o=0,02$ m, $D_i=0,018$ m, $w=0,04$ m και $F_1= 0,718321$ (από Πίνακα 43)

T_{fi} (°C)	T_{fo} (°C) $m'=0,05$ kg/sec ($T_r=22$ °C)	T_{fo} (°C) $m'=0,15$ kg/sec ($T_r=22$ °C)	T_{fo} (°C) $m'=0,25$ kg/sec ($T_r=22$ °C)	T_{fo} (°C) $m'=0,36$ kg/sec ($T_r=22$ °C)
9	10,02835	9,35224	9,212504	9,147944
10	10,94924	10,32514	10,19616	10,13656
11	11,87014	11,29805	11,17981	11,12518
12	12,79104	12,27095	12,16346	12,1138
13	13,71193	13,24386	13,14712	13,10242
14	14,63283	14,21676	14,13077	14,09104

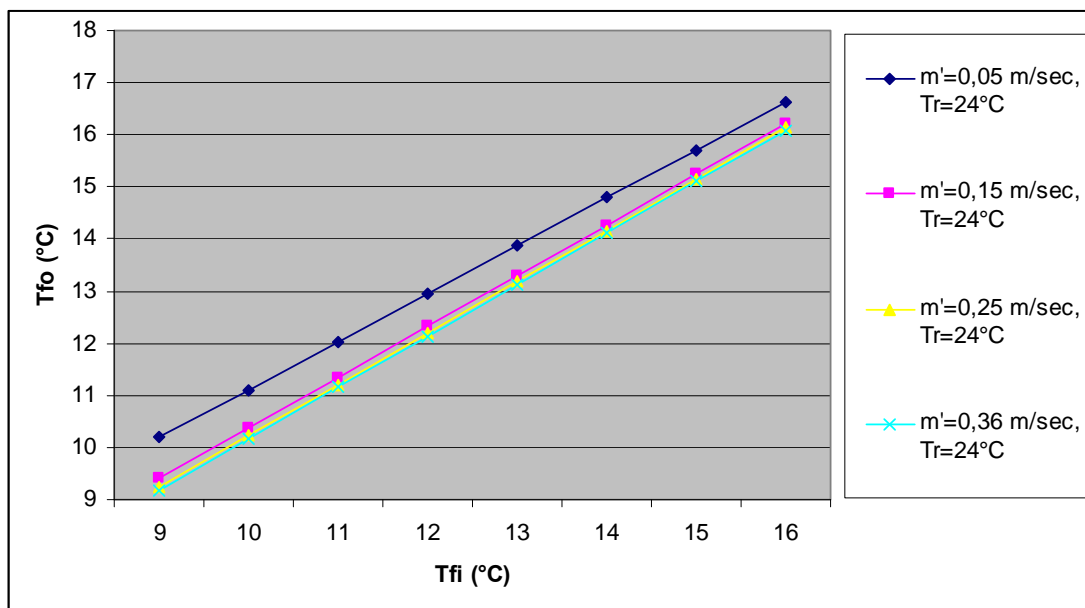
15	15,55373	15,18967	15,11443	15,07966
16	16,47462	16,16257	16,09808	16,06828



Διάγραμμα 36: Η θερμοκρασία εξόδου $T_{f,o}$ του ρευστού από το σωλήνα, σε συνάρτηση με την θερμοκρασία εισόδου του $T_{f,i}$, για διαφορετικές παροχές μάζας m' και θερμοκρασία $T_r=22^\circ\text{C}$ του εσωτερικού αέρα, για $c_p=4184\text{ J/kg }^\circ\text{C}$, $n=4$ αγωγοί, μήκους $L=3\text{m}$, απόσταση $S=0,2\text{m}$, $h=10\text{ W m}^{-2}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $k=1,4\text{ W m}^{-1}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, διαμέτρους $D_o=0,02\text{ m}$, $D_i=0,018\text{ m}$, $w=0,04\text{m}$ και $F_1=0,718321$ (από Πίνακα 43).

Πίνακας 47: Η θερμοκρασία εξόδου $T_{f,o}$ του ρευστού από το σωλήνα, σε συνάρτηση με την θερμοκρασία εισόδου του $T_{f,i}$, για διαφορετικές παροχές μάζας m' και θερμοκρασία $T_r=24^\circ\text{C}$ του εσωτερικού αέρα, για $c_p=4184\text{ J/kg }^\circ\text{C}$, $n=4$ αγωγοί, μήκους $L=3\text{m}$, απόσταση $S=0,2\text{m}$, $h=10\text{ W m}^{-2}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $k=1,4\text{ W m}^{-1}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, διαμέτρους $D_o=0,02\text{ m}$, $D_i=0,018\text{ m}$, $w=0,04\text{m}$ και $F_1=0,718321$ (από Πίνακα 43).

$T_{f,i}$ ($^\circ\text{C}$)	$T_{f,o}$ ($^\circ\text{C}$) $m'=0,05\text{ kg/sec}$ ($T_r=24^\circ\text{C}$)	$T_{f,o}$ ($^\circ\text{C}$) $m'=0,15\text{ kg/sec}$ ($T_r=24^\circ\text{C}$)	$T_{f,o}$ ($^\circ\text{C}$) $m'=0,25\text{ kg/sec}$ ($T_r=24^\circ\text{C}$)	$T_{f,o}$ ($^\circ\text{C}$) $m'=0,36\text{ kg/sec}$ ($T_r=24^\circ\text{C}$)
9	10,18655	9,406431	9,245197	9,170704
10	11,10745	10,37934	10,22885	10,15932
11	12,02835	11,35224	11,2125	11,14794
12	12,94924	12,32514	12,19616	12,13656
13	13,87014	13,29805	13,17981	13,12518
14	14,79104	14,27095	14,16346	14,1138
15	15,71193	15,24386	15,14712	15,10242
16	16,63283	16,21676	16,13077	16,09104

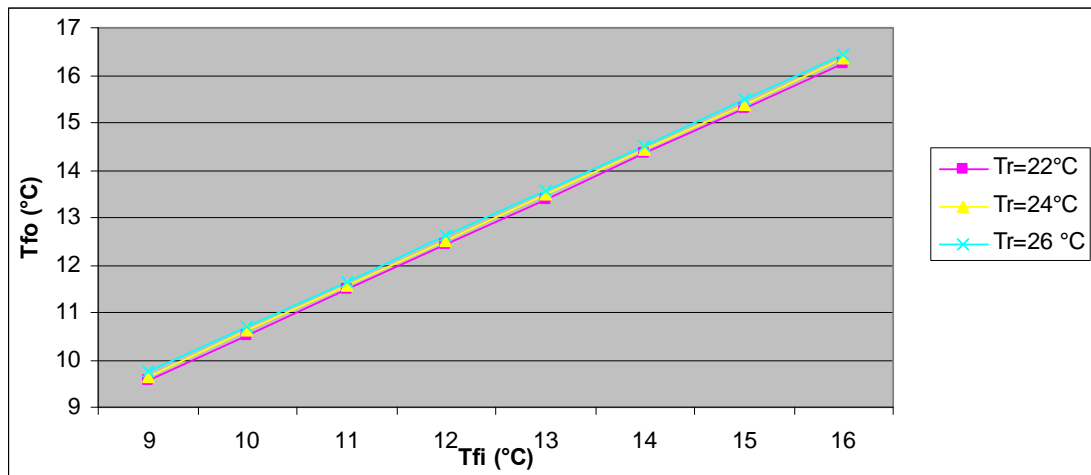


Διάγραμμα 37: Η θερμοκρασία εξόδου $T_{f,o}$ του ρευστού από το σωλήνα, σε συνάρτηση με την θερμοκρασία εισόδου του $T_{f,i}$, για διαφορετικές παροχές μάζας m' και θερμοκρασία $T_r=24^\circ\text{C}$ του εσωτερικού αέρα, για $c_p=4184\text{ J/kg }^\circ\text{C}$, $n=4$ αγωγοί, μήκους $L=3\text{m}$, απόσταση $S=0,2\text{m}$, $h=10\text{ W m}^{-2}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $k=1,4\text{ W m}^{-1}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, διαμέτρους $D_o=0,02\text{ m}$, $D_i=0,018\text{ m}$, $w=0,04\text{m}$ και $F_1=0,718321$ (από Πίνακα 43).

Συμπεραίνουμε ότι, για την ίδια θερμοκρασία αέρα και για δεδομένη θερμοκρασία εισόδου του ρευστού, η **θερμοκρασία εξόδου είναι μεγαλύτερη για τις μικρότερες παροχές.** Στις μεγαλύτερες παροχές, η θερμοκρασία εξόδου δε διαφέρει πολύ από τη θερμοκρασία εισόδου. Για ίδια παροχή μάζας ρευστού και για την ίδια θερμοκρασία εισόδου, η **θερμοκρασία εξόδου του ρευστού είναι μεγαλύτερη, όταν επικρατεί στο χώρο μεγαλύτερη εσωτερική θερμοκρασία.**

Πίνακας 48: Η θερμοκρασία εξόδου $T_{f,o}$ του ρευστού από το σωλήνα, σε συνάρτηση με την θερμοκρασία εισόδου $T_{f,i}$, για διάφορες θερμοκρασίες T_r , για $c_p=4184\text{ J/kg }^\circ\text{C}$, $n=4$ αγωγοί, μήκους $L=3\text{m}$, απόσταση $S=0,2\text{m}$, παροχή μάζας $m'=0,15\text{ kg s}^{-1}$ ($u=0,6\text{ m/sec}$), $h=10\text{ W m}^{-2}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $k=1,4\text{ W m}^{-1}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, διαμέτρους $D_o=0,02\text{ m}$, $D_i=0,018\text{ m}$, $w=0,04\text{m}$ και $F_1=0,718321$ (από Πίνακα 43).

$T_{f,i}(^\circ\text{C})$	$T_{f,o}(^\circ\text{C})$ ($T_r=22^\circ\text{C}$)	$T_{f,o}(^\circ\text{C})$ ($T_r=24^\circ\text{C}$)	$T_{f,o}(^\circ\text{C})$ ($T_r=26^\circ\text{C}$)
9	9,35224	9,406431	9,460622
10	10,32514	10,37934	10,43353
11	11,29805	11,35224	11,40643
12	12,27095	12,32514	12,37934
13	13,24386	13,29805	13,35224
14	14,21676	14,27095	14,32514
15	15,18967	15,24386	15,29805
16	16,16257	16,21676	16,27095



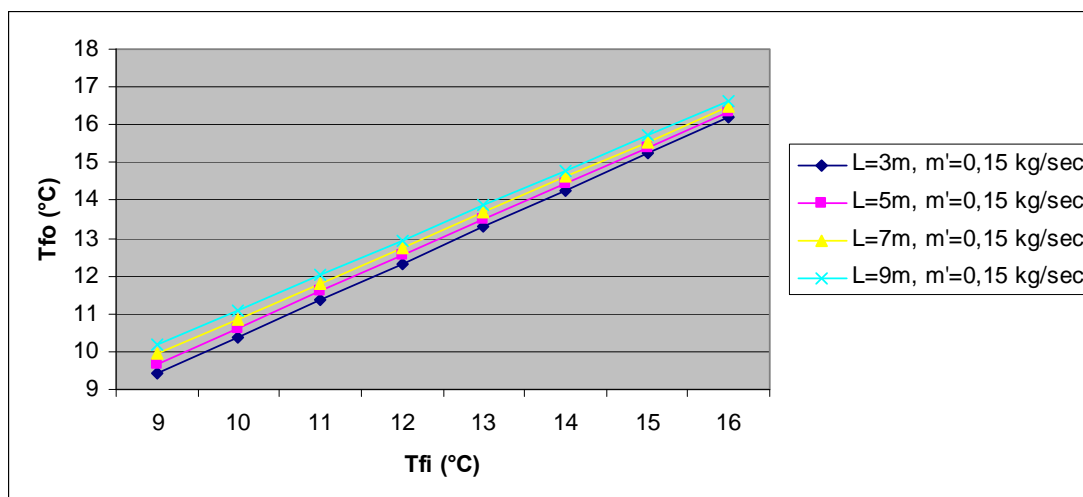
Διάγραμμα 38: Η θερμοκρασία εξόδου $T_{f,o}$ του ρευστού από το σωλήνα, σε συνάρτηση με την θερμοκρασία εισόδου $T_{f,i}$, για διάφορες θερμοκρασίες T_r , για $c_p = 4184 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$, $n=4$ αγωγοί, μήκους $L=3\text{m}$, απόσταση $S=0,2\text{m}$, παροχή μάζας $\dot{m}' = 0,15 \text{ kg s}^{-1}$ ($u=0,6 \text{ m/sec}$), $h=10 \text{ W m}^{-2} ^\circ\text{C}^{-1}$, $k=1,4 \text{ W m}^{-1} ^\circ\text{C}^{-1}$, διαμέτρους $D_o=0,02 \text{ m}$, $D_i=0,018 \text{ m}$, $w=0,04\text{m}$ και $F_1=0,718321$

Από το διάγραμμα 38, φαίνεται ότι για την ίδια παροχή μάζας, η θερμοκρασία εξόδου του ρευστού είναι ελαφρώς μεγαλύτερη, για μεγαλύτερη θερμοκρασία αέρα χώρου.

Με βάση την εξίσωση (9.2.5.13.) προκύπτει επίσης για $c_p = 4184 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$, $n=4$ αγωγοί, απόσταση $S=0,2\text{m}$, $h = 10 \text{ W m}^{-2} ^\circ\text{C}^{-1}$, διαμέτρους $D_o = 0,018 \text{ m}$, $D_i = 0,02 \text{ m}$, $\dot{m}' = 0,15\text{kg/sec}$ ($u=0,6 \text{ m/sec}$), $w=0,04\text{m}$ και $F_1=0,718321$ (από εξίσωση 9.2.5.6.), το Διάγραμμα της θερμοκρασία εξόδου $T_{f,o}$ του ρευστού από το σωλήνα, σε συνάρτηση με την θερμοκρασία εισόδου $T_{f,i}$, με παράμετρο το μήκος L των αγωγών, για θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα $T_r=24^\circ\text{C}$.

Πίνακας 49: Η θερμοκρασία εξόδου $T_{f,o}$ του ρευστού από το σωλήνα, σε συνάρτηση με την θερμοκρασία εισόδου $T_{f,i}$, με παράμετρο το μήκος L των αγωγών, για θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα $T_r=24^\circ\text{C}$, για $c_p = 4184 \text{ J/kg }^\circ\text{C}$, $n=4$ αγωγοί, απόσταση $S=0,2\text{m}$, παροχή μάζας $m' = 0,15 \text{ kg s}^{-1}$ ($u=0,6 \text{ m/sec}$), $h = 10 \text{ W m}^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $k = 1,4 \text{ W m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, διαμέτρους $D_o = 0,02 \text{ m}$, $D_i = 0,018 \text{ m}$, $w=0,04\text{m}$ και $F_1 = 0,718321$ (από εξίσωση 9.2.5.6.).

$T_{f,i} (^\circ\text{C})$	$T_{f,o} (^\circ\text{C})$ ($L=3\text{m}$, $m'=0,15$ kg/sec)	$T_{f,o} (^\circ\text{C})$ ($L=5\text{m}$ $m'=0,15$ kg/sec)	$T_{f,o} (^\circ\text{C})$ ($L=7\text{m}$ $m'=0,15$ kg/sec)	$T_{f,o} (^\circ\text{C})$ ($L=9\text{m}$ $m'=0,15$ kg/sec)
9	9,406431	9,671249	9,931261	10,18655
10	10,37934	10,6265	10,86918	11,10745
11	11,35224	11,58175	11,80709	12,02835
12	12,32514	12,537	12,74501	12,94924
13	13,29805	13,49225	13,68292	13,87014
14	14,27095	14,4475	14,62084	14,79104
15	15,24386	15,40275	15,55876	15,71193
16	16,21676	16,358	16,49667	16,63283



Διάγραμμα 39: Η θερμοκρασία εξόδου $T_{f,o}$ του ρευστού από το σωλήνα, σε συνάρτηση με την θερμοκρασία εισόδου $T_{f,i}$, με παράμετρο το μήκος L των αγωγών, για θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα $T_r=24^\circ\text{C}$, για $c_p = 4184 \text{ J/kg }^\circ\text{C}$, $n=4$ αγωγοί, απόσταση $S=0,2\text{m}$, παροχή μάζας $m' = 0,15 \text{ kg s}^{-1}$ ($u=0,6 \text{ m/sec}$), $h = 10 \text{ W m}^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $k = 1,4 \text{ W m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, διαμέτρους $D_o = 0,02 \text{ m}$, $D_i = 0,018 \text{ m}$, $w=0,04\text{m}$ και $F_1 = 0,718321$ (από εξίσωση 9.2.5.6.).

Συμπεραίνουμε ότι όσο μεγαλύτερο μήκος έχουν οι σωλήνες, τόσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία εξόδου, για την ίδια θερμοκρασία εσωτερικού αέρα και για την ίδια θερμοκρασία εισόδου του ρευστού.

Επαναλαμβάνοντας τα Διαγράμματα 36-39, αλλά θεωρώντας αγωγό μικρότερης διαμέτρου, δηλαδή για $D_i=0,014\text{m}$ και $D_o=0,016\text{m}$, έχουμε λόγω της (9.2.5.15.):

$$m' = 0,1538u \quad (9.2.5.17.)$$

Οπότε, ο Πίνακας 45 γίνεται:

Πίνακας 50: Παροχή μάζας m , ανάλογα με την ταχύτητα της ροής u , για $D_i=0,014\text{ m}$

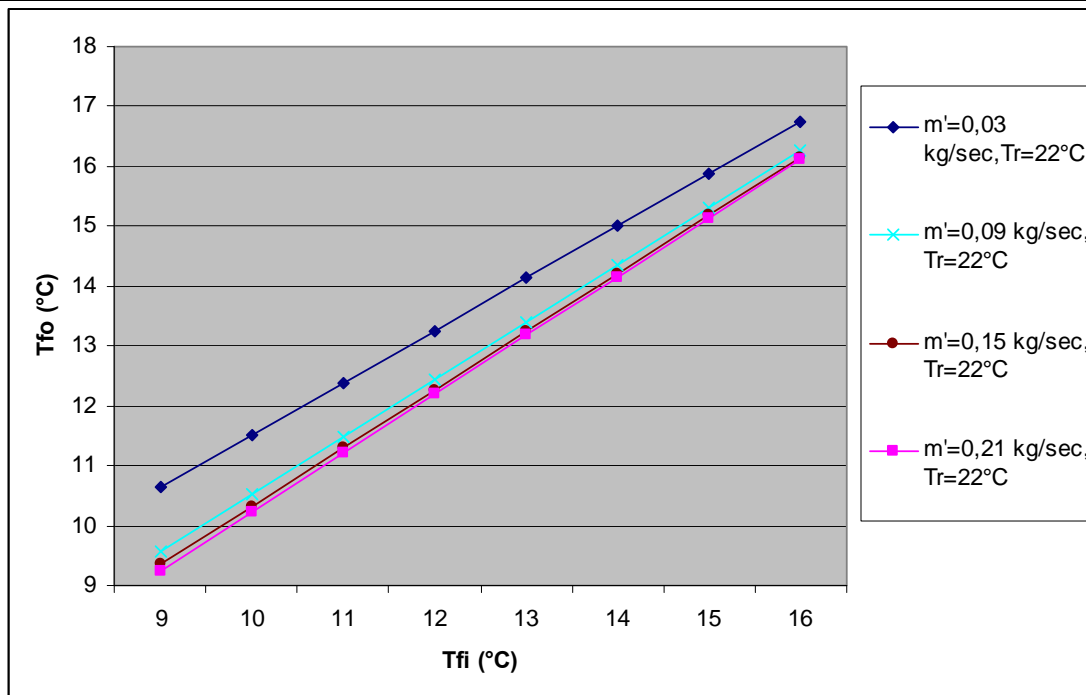
Ταχύτητα ροής $u(\text{m/sec})$	Παροχή μάζας ρευστού m' (kg/sec)
0,2	0,03
0,4	0,06
0,6	0,09
0,8	0,12
1,0	0,15
1,2	0,23
1,4	0,21

Από την εξίσωση (9.2.5.13) για $cp=4184\text{ J/kg }^\circ\text{C}$, $n=4$ αγωγοί, μήκους $L=3\text{m}$, απόσταση $S=0,2\text{m}$, $h=10\text{ W m}^{-2}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, διαμέτρους $D_o=0,016\text{ m}$, $D_i=0,014\text{ m}$, $w=0,04\text{m}$ και $F_1=0,702827$, (από εξίσωση 9.2.5.6.), προκύπτουν τα ακόλουθα Διαγράμματα, που δείχνουν τη θερμοκρασία εξόδου $T_{f,o}$ του ρευστού από το σωλήνα, σε συνάρτηση με την θερμοκρασία εισόδου $T_{f,i}$, για διαφορετικές παροχές μάζας m' (Πίνακας 50) και θερμοκρασίες T_r του εσωτερικού αέρα.

Πίνακας 51: Η θερμοκρασία εξόδου $T_{f,o}$ του ρευστού από το σωλήνα, σε συνάρτηση με την θερμοκρασία εισόδου του $T_{f,i}$, για διαφορετικές παροχές μάζας m' (Πίνακας 50) και θερμοκρασία $T_r=22\text{ }^\circ\text{C}$ του εσωτερικού αέρα, για $cp=4184\text{ J/kg }^\circ\text{C}$, $n=4$ αγωγοί, μήκους $L=3\text{m}$, απόσταση $S=0,2\text{m}$, $h=10\text{ W m}^{-2}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $k=1,4\text{ W m}^{-1}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, διαμέτρους $D_o=0,016\text{ m}$, $D_i=0,014\text{ m}$, $w=0,04\text{m}$ και $F_1=0,702827$ (από εξίσωση 9.2.5.6.).

$T_{f,i}$ ($^\circ\text{C}$)	$T_{f,o}$ ($^\circ\text{C}$) $m'=0,03\text{ kg/sec}$ ($T_r=22\text{ }^\circ\text{C}$)	$T_{f,o}$ ($^\circ\text{C}$) $m'=0,09\text{ kg/sec}$ ($T_r=22\text{ }^\circ\text{C}$)	$T_{f,o}$ ($^\circ\text{C}$) $m'=0,15\text{ kg/sec}$ ($T_r=22\text{ }^\circ\text{C}$)	$T_{f,o}$ ($^\circ\text{C}$) $m'=0,21\text{ kg/sec}$ ($T_r=22\text{ }^\circ\text{C}$)
9	10,63469	9,56948	9,344744	9,247189
10	11,50895	10,52567	10,31823	10,22817
11	12,3832	11,48187	11,29171	11,20916
12	13,25745	12,43806	12,26519	12,19015
13	14,13171	13,39426	13,23867	13,17113

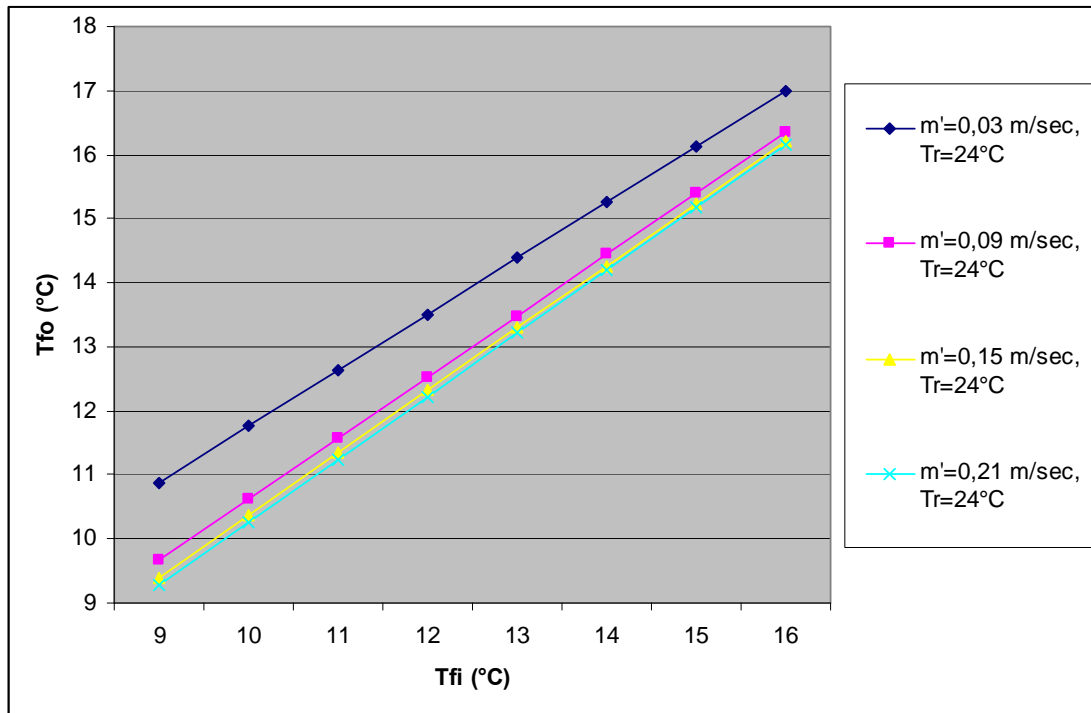
14	15,00596	14,35045	14,21215	14,15212
15	15,88022	15,30664	15,18563	15,1331
16	16,75447	16,26284	16,15911	16,11409



Διάγραμμα 40: Η θερμοκρασία εξόδου T_{f_o} του ρευστού από το σωλήνα, σε συνάρτηση με την θερμοκρασία εισόδου του T_{f_i} , για διαφορετικές παροχές μάζας m' (Πίνακας 50) και θερμοκρασία $T_r=22^\circ\text{C}$ του εσωτερικού αέρα, για $c_p=4184\text{ J/kg}^\circ\text{C}$, $n=4$ αγωγοί, μήκους $L=3\text{m}$, απόσταση $S=0,2\text{m}$, $h=10\text{ W m}^{-2}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, διαμέτρους $D_o=0,016\text{ m}$, $D_i=0,014\text{ m}$, $w=0,04\text{m}$ και $F_1=0,702827$ (από εξίσωση 9.2.5.6.).

Πίνακας 52 Η θερμοκρασία εξόδου T_{f_o} του ρευστού από το σωλήνα, σε συνάρτηση με την θερμοκρασία εισόδου του T_{f_i} , για διαφορετικές παροχές μάζας m' (Πίνακας 50) και θερμοκρασία $T_r=24^\circ\text{C}$ του εσωτερικού αέρα, για $c_p=4184\text{ J/kg}^\circ\text{C}$, $n=4$ αγωγοί, μήκους $L=3\text{m}$, απόσταση $S=0,2\text{m}$, $h=10\text{ W m}^{-2}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $k=1,4\text{ W m}^{-1}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, διαμέτρους $D_o=0,016\text{ m}$, $D_i=0,014\text{ m}$, $w=0,04\text{m}$ και $F_1=0,702827$ (από εξίσωση 9.2.5.6.).

T_{f_i} ($^\circ\text{C}$)	T_{f_o} ($^\circ\text{C}$)	T_{f_o} ($^\circ\text{C}$)	T_{f_o} ($^\circ\text{C}$)	T_{f_o} ($^\circ\text{C}$)
	$m'=0,03\text{ kg/sec}$ ($T_r=24^\circ\text{C}$)	$m'=0,09\text{ kg/sec}$ ($T_r=24^\circ\text{C}$)	$m'=0,15\text{ kg/sec}$ ($T_r=24^\circ\text{C}$)	$m'=0,21\text{ kg/sec}$ ($T_r=24^\circ\text{C}$)
9	10,88618	9,657092	9,397782	9,285219
10	11,76044	10,61329	10,37126	10,2662
11	12,63469	11,56948	11,34474	11,24719
12	13,50895	12,52567	12,31823	12,22817
13	14,3832	13,48187	13,29171	13,20916
14	15,25745	14,43806	14,26519	14,19015
15	16,13171	15,39426	15,23867	15,17113
16	17,00596	16,35045	16,21215	16,15212



Διάγραμμα 41: Η θερμοκρασία εξόδου $T_{f,o}$ του ρευστού από το σωλήνα, σε συνάρτηση με την θερμοκρασία εισόδου του $T_{f,i}$, για διαφορετικές παροχές μάζας m' (Πίνακας 49) και θερμοκρασία $T_r=24^\circ\text{C}$ του εσωτερικού αέρα, για $c_p=4184\text{ J/kg}^\circ\text{C}$, $n=4$ αγωγοί, μήκους $L=3\text{m}$, απόσταση $S=0,2\text{m}$, $h=10\text{ W m}^{-2}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $k=1,4\text{ W m}^{-1}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, διαμέτρους $D_o=0,016\text{ m}$, $D_i=0,014\text{ m}$, $w=0,04\text{m}$ και $F_1=0,702827$ (από εξίσωση 9.2.5.6.).

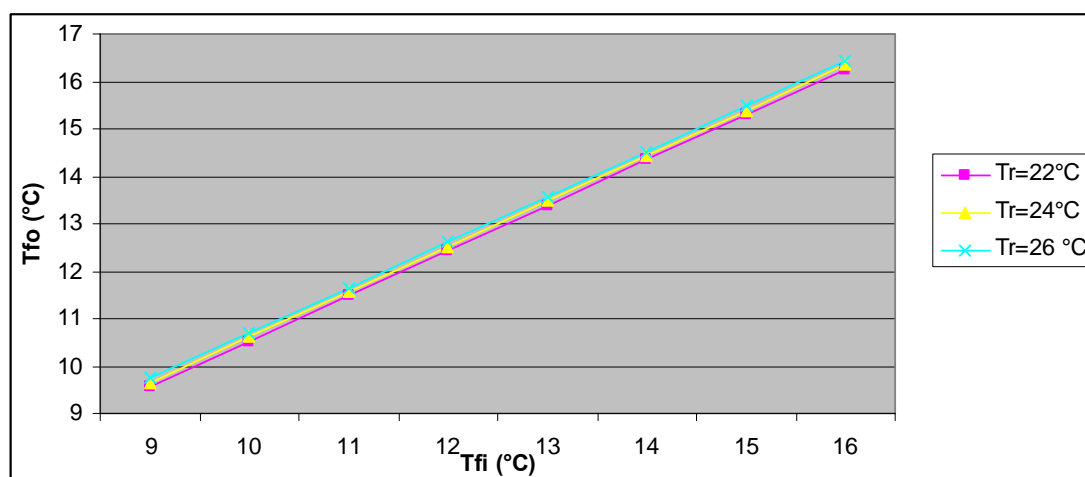
Σε σύγκριση με τα διαγράμματα 36, 37, συμπεραίνουμε ότι όσο μικρότερη είναι η παροχή μάζας, τόσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία εξόδου για δεδομένη θερμοκρασία εισόδου και θερμοκρασία εσωτερικού αέρα. Ενδεικτικά αναφέρεται στο παρακάτω πίνακα, πως διαμορφώνεται η θερμοκρασία εξόδου του ρευστού $T_{f,o}$, για ταχύτητα $u=0,06\text{ m/sec}$, και για διαφορετικές εσωτερικές διαμέτρους.

Πίνακας 53: Όσο μικρότερη είναι η παροχή μάζας, τόσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία εξόδου για δεδομένη θερμοκρασία εισόδου και θερμοκρασία εσωτερικού αέρα.

	$T_{f,i}$ (°C)	$T_{f,o}$ (°C) ($T_r=22^\circ\text{C}$)	$T_{f,o}$ (°C) ($T_r=24^\circ\text{C}$)
$U=0,6\text{m/sec}$, $D_i=0,018\text{m}$ ($m'=0,15\text{kg/sec}$)	12	12,27095	12,32514
$U=0,6\text{m/sec}$, $D_i=0,014\text{m}$ ($m'=0,09\text{ kg/sec}$)	12	12,43806	12,52567

Πίνακας 54 Η θερμοκρασία εξόδου $T_{f,o}$ του ρευστού από το σωλήνα, σε συνάρτηση με την θερμοκρασία εισόδου $T_{f,i}$, για διάφορες θερμοκρασίες T_r , για $c_p = 4184 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$, $n=4$ αγωγοί, μήκους $L=3\text{m}$, απόσταση $S=0,2\text{m}$, παροχή μάζας $\dot{m} = 0,09 \text{ kg s}^{-1}$, $h = 10 \text{ W m}^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, διαμέτρους $D_o = 0,016 \text{ m}$, $D_i = 0,014 \text{ m}$, $w=0,04\text{m}$ και $F_1 = 0,702827$ (από εξίσωση 9.2.5.6.).

$T_{f,i} (^\circ\text{C})$	$T_{f,o} (^\circ\text{C})$ ($T_r=22^\circ\text{C}$)	$T_{f,o} (^\circ\text{C})$ ($T_r=24^\circ\text{C}$)	$T_{f,o} (^\circ\text{C})$ ($T_r=26^\circ\text{C}$)
9	9,56948	9,657092	9,744704
10	10,52567	10,61329	10,7009
11	11,48187	11,56948	11,65709
12	12,43806	12,52567	12,61329
13	13,39426	13,48187	13,56948
14	14,35045	14,43806	14,52567
15	15,30664	15,39426	15,48187
16	16,26284	16,35045	16,43806



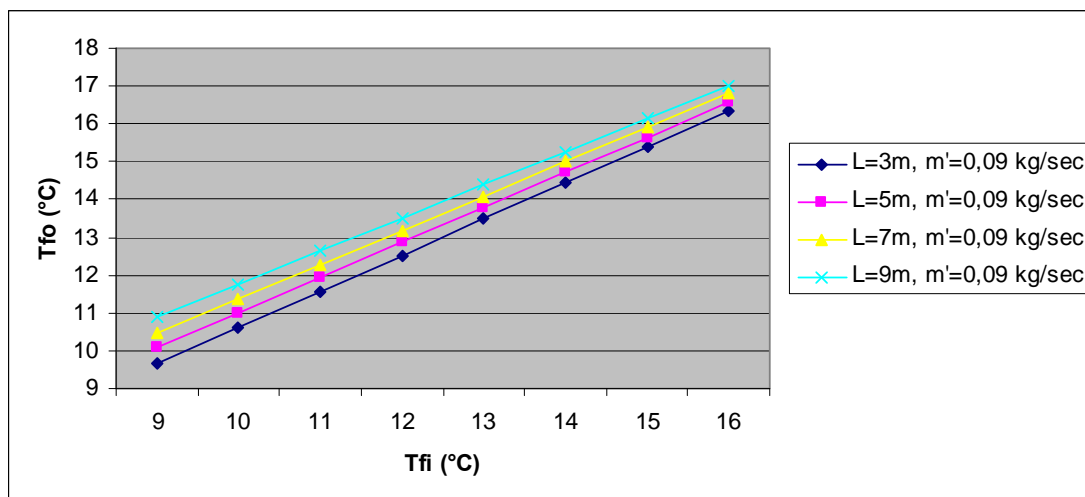
Διάγραμμα 42: Η θερμοκρασία εξόδου $T_{f,o}$ του ρευστού από το σωλήνα, σε συνάρτηση με την θερμοκρασία εισόδου $T_{f,i}$, για διάφορες θερμοκρασίες T_r , για $c_p = 4184 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$, $n=4$ αγωγοί, μήκους $L=3\text{m}$, απόσταση $S=0,2\text{m}$, παροχή μάζας $\dot{m} = 0,09 \text{ kg s}^{-1}$ ($u=0,6 \text{ m/sec}$), $h = 10 \text{ W m}^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, $k = 1,4 \text{ W m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, διαμέτρους $D_o = 0,016 \text{ m}$, $D_i = 0,014 \text{ m}$, $w=0,04\text{m}$ και $F_1 = 0,702827$ (από εξίσωση 9.2.5.6.).

Ομοίως, συμπεραίνουμε ότι όσο μικρότερη είναι η παροχή μάζας, τόσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία εξόδου για δεδομένη θερμοκρασία εισόδου και διαφορετικές θερμοκρασίες εσωτερικού αέρα. Προφανώς, όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα, τόσο μεγαλύτερη είναι και η θερμοκρασία εξόδου.

Με βάση την εξίσωση (9.2.5.13.) προκύπτει επίσης για $c_p=4184 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$, $n=4$ αγωγοί, απόσταση $S=0,2\text{m}$, $h=10 \text{ W m}^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, διαμέτρους $D_o=0,016 \text{ m}$, $D_i=0,014 \text{ m}$, $m'=0,09\text{kg/sec}$, $w=0,04\text{m}$ και $F_1=0,702827$, (από εξίσωση 9.2.5.6.), το διάγραμμα 44 της θερμοκρασία εξόδου $T_{f,o}$ του ρευστού από το σωλήνα, **σε συνάρτηση με την θερμοκρασία εισόδου $T_{f,i}$, με παράμετρο το μήκος L των αγωγών, για θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα $T_r=24 \text{ } ^\circ\text{C}$.**

Πίνακας 55: Η θερμοκρασία εξόδου $T_{f,o}$ του ρευστού από το σωλήνα, σε συνάρτηση με την θερμοκρασία εισόδου $T_{f,i}$, με παράμετρο το μήκος L των αγωγών, για θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα $T_r=24 \text{ } ^\circ\text{C}$, για $c_p=4184 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$, $n=4$ αγωγοί, απόσταση $S=0,2\text{m}$, παροχή μάζας $m'=0,09 \text{ kg s}^{-1}$ ($u=0,6 \text{ m/sec}$), $h=10 \text{ W m}^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, $k=1,4 \text{ W m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, διαμέτρους $D_o=0,016 \text{ m}$, $D_i=0,014 \text{ m}$, $w=0,04\text{m}$ και $F_1=0,702827$ (από εξίσωση 9.2.5.6.).

$T_{f,i}(^\circ\text{C})$	$T_{f,o}(^\circ\text{C})$ ($L=3\text{m}$, $m'=0,09$ kg/sec)	$T_{f,o}(^\circ\text{C})$ ($L=5\text{m}$ $m'=0,09$ kg/sec)	$T_{f,o}(^\circ\text{C})$ ($L=7\text{m}$ $m'=0,09$ kg/sec)	$T_{f,o}(^\circ\text{C})$ ($L=9\text{m}$ $m'=0,09$ kg/sec)
9	9,657092	10,07908	10,48866	10,88618
10	10,61329	11,00714	11,38941	11,76044
11	11,56948	11,9352	12,29017	12,63469
12	12,52567	12,86327	13,19093	13,50895
13	13,48187	13,79133	14,09168	14,3832
14	14,43806	14,71939	14,99244	15,25745
15	15,39426	15,64745	15,89319	16,13171
16	16,35045	16,57551	16,79395	17,00596



Διάγραμμα 43: Η θερμοκρασία εξόδου $T_{f,o}$ του ρευστού από το σωλήνα, σε συνάρτηση με την θερμοκρασία εισόδου $T_{f,i}$, με παράμετρο το μήκος L των αγωγών, για θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα $T_r=24\text{ }^\circ\text{C}$, για $c_p = 4184\text{ J/kg }^\circ\text{C}$, $n=4$ αγωγοί, απόσταση $S=0,2\text{m}$, παροχή μάζας $m' = 0,09\text{ kg s}^{-1}$ ($u=0,6\text{ m/sec}$), $h=10\text{ W m}^{-2}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $k=1,4\text{ W m}^{-1}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, διαμέτρους $D_o = 0,016\text{ m}$, $D_i=0,014\text{ m}$, $w=0,04\text{m}$ και $F_1 = 0,702827$ (από εξίσωση 9.2.5.6.)

Παρατηρούμε ότι το μήκος του αγωγού επιδράει στην θερμοκρασία εξόδου του ρευστού.

Μεγαλύτερος αγωγός συνεπάγεται μεγαλύτερη θερμοκρασία εξόδου του ρευστού. Σε σύγκριση με το διάγραμμα 39, παρατηρούμε πάλι ότι η επίδραση του μήκους του αγωγού στη θερμοκρασία εξόδου του ρευστού είναι μεγαλύτερη για μικρότερες παροχές μάζας.

Ψυκτική απόδοση του συστήματος

Η ψυκτική απόδοση του συστήματος ή παράγων αφαίρεσης θερμότητας του πάνελ F_c μπορεί να οριστεί ως ο λόγος του πραγματικού ψυκτικού αποτελέσματος που επιφέρει το πάνελ προς το ψυκτικό αποτέλεσμα που θα προκαλούνταν εάν η θερμοκρασία της επιφάνειας του πάνελ ήταν ίση με τη θερμοκρασία εισόδου $T_{f,i}$ του ρευστού. Δηλαδή:

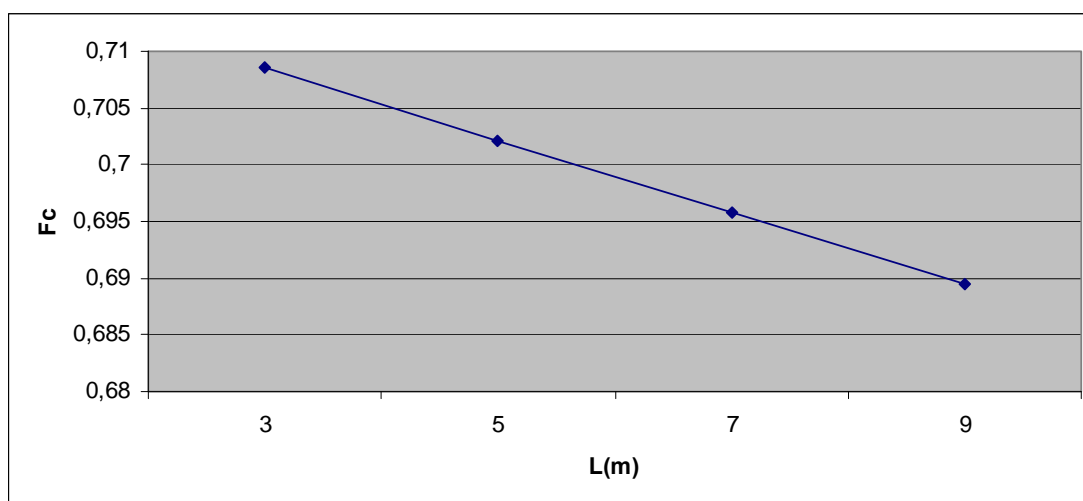
$$F_c = \frac{m'c_p(T_{f,o} - T_{f,i})}{Aph(T_r - T_{f,i})} \quad (9.2.5.18.)$$

Από τον τύπο (9.2.5.18), με δεδομένη θερμοκρασία εισόδου του ρευστού $T_{f,i}=12\text{ }^\circ\text{C}$, με θερμοκρασία εσωτερικού αέρα $T_r=24\text{ }^\circ\text{C}$, λαμβάνοντας $c_p = 4184\text{ J/kg }^\circ\text{C}$, $n=4$ αγωγοί, απόσταση $S=0,2\text{m}$, παροχή μάζας $m' = 0,15\text{ kg s}^{-1}$, ($u=0,6\text{ m/sec}$), $D_o = 0,02\text{ m}$, $D_i=0,018\text{ m}$, $w=0,04\text{m}$ και $F_1 = 0,718321$, (από Πίνακα 43), $h=10\text{ W m}^{-2}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $k=1,4\text{ W m}^{-1}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, για διάφορες τιμές του μήκους L των αγωγών και θερμοκρασία εξόδου του ρευστού $T_{f,o}$, όπως

προκύπτει από τον Πίνακα 49, κατασκευάζεται το Διάγραμμα 44, όπου φαίνεται η εξάρτηση του F_c από το μήκος του αγωγού.

Πίνακας 56: Εξάρτηση του παράγοντα F_c από το μήκος L του αγωγού, για $T_{f,i}=12\text{ }^\circ\text{C}$, με θερμοκρασία εσωτερικού αέρα $T_r=24\text{ }^\circ\text{C}$, λαμβάνοντας $c_p=4184\text{ J/kg }^\circ\text{C}$, $n=4$ αγωγοί, απόσταση $S=0,2\text{m}$, παροχή μάζας $m'=0,15\text{ kg s}^{-1}$ ($u=0,6\text{ m/sec}$), $D_o=0,02\text{ m}$, $D_i=0,018\text{ m}$, $w=0,04\text{m}$ και $F_1=0,718321$, (από Πίνακα 43), $h=10\text{ W m}^{-2}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $k=1,4\text{ W m}^{-1}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

L (m)	Fc
3	0,708545
5	0,702126
7	0,695785
9	0,68952



Διάγραμμα 44: Εξάρτηση του παράγοντα F_c από το μήκος L του αγωγού, για $T_{f,i}=12\text{ }^\circ\text{C}$, με θερμοκρασία εσωτερικού αέρα $T_r=24\text{ }^\circ\text{C}$, λαμβάνοντας $c_p=4184\text{ J/kg }^\circ\text{C}$, $n=4$ αγωγοί, απόσταση $S=0,2\text{m}$, παροχή μάζας $m'=0,15\text{ kg s}^{-1}$ ($u=0,6\text{ m/sec}$), $D_o=0,02\text{ m}$, $D_i=0,018\text{ m}$, $w=0,04\text{m}$ και $F_1=0,718321$, (από Πίνακα 43), $h=10\text{ W m}^{-2}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$,

Από το διάγραμμα 44, είναι προφανές το συμπέρασμα ότι ο παράγων F_c επηρεάζεται από το μήκος του αγωγού και μάλιστα είναι μεγαλύτερος για μικρότερα μήκη αγωγών.

Με χρήση της σχέσης (9.2.5.18.) προκύπτει η θερμότητα q που απορροφάται ανά μονάδα επιφάνειας του πάνελ., η οποία εκφράζεται ως:

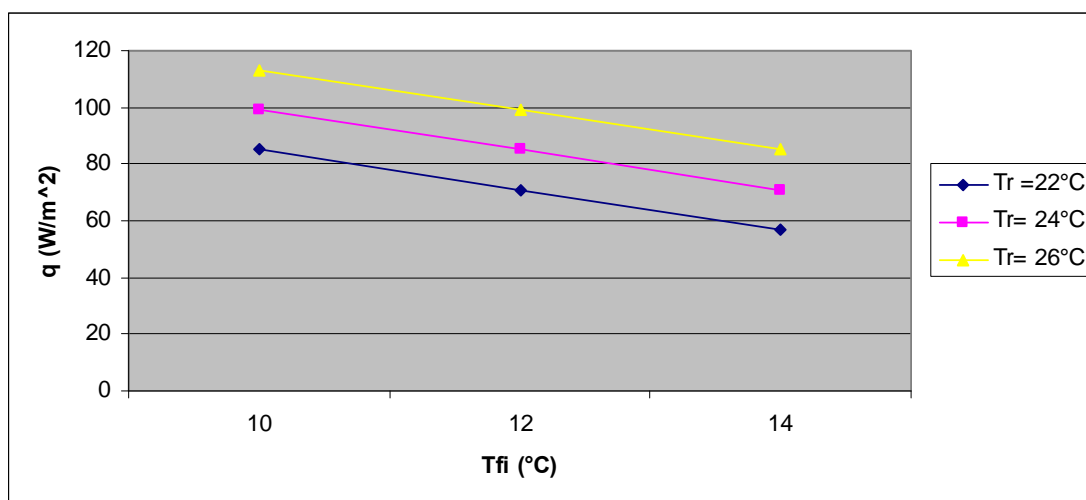
$$q = F_c h (T_r - T_{f,i}) \quad (9.2.5.19.)$$

Η παραπάνω εξίσωση είναι πιο χρήσιμη από την εξίσωση (9.2.5.7.), διότι επιτρέπει τον υπολογισμό της θερμότητας q όταν είναι γνωστή η θερμοκρασία εισόδου $T_{f,i}$ του ρευστού.

Από την εξίσωση (9.2.5.19.) προκύπτει το διάγραμμα 45, που δείχνει την εξάρτηση της απορροφούμενης θερμότητας q , ανά μονάδα επιφάνειας του πάνελ, από την θερμοκρασία εισόδου του ρευστού T_{fi} , με παράμετρο τη θερμοκρασία εσωτερικού αέρα T_r . Για τον υπολογισμό του F_c χρησιμοποιήθηκε η σχέση (9.2.5.18) και οι εξής συνθήκες: $cp=4184$ J/kg °C, $n=4$ αγωγοί, απόσταση $S=0,2m$, $L=3m$, παροχή μάζας $m'=0,15$ kg s⁻¹, $D_o=0,02$ m, $D_i=0,018$ m, $h=10$ W m⁻² °C⁻¹, $k=1,4$ W m⁻¹ °C⁻¹. Οι τιμές της θερμοκρασίας εξόδου T_{fo} είναι γνωστές από τον Πίνακα 48

Πίνακας 57: Εξάρτηση της απορροφούμενης θερμότητας q , ανά μονάδα επιφάνειας του πάνελ, από την θερμοκρασία εισόδου του ρευστού T_{fi} , με παράμετρο τη θερμοκρασία εσωτερικού αέρα T_r , για $cp=4184$ J/kg °C, $n=4$ αγωγοί, απόσταση $S=0,2m$, $L=3m$, παροχή μάζας, $m'=0,15$ kg s⁻¹, $D_o=0,02$ m, $D_i=0,018$ m, $h=10$ W m⁻² °C⁻¹, $k=1,4$ W m⁻¹ °C⁻¹, T_{fo} από τον Πίνακα 48, F_c από σχέση (9.2.5.14)

T_{fi} (°C)	T_r (°C)	F_c	q (W/m ²)
10	22	0,708534	85,02408
10	24	0,708553	99,19742
10	26	0,708551	113,3682
12	22	0,708534	70,8534
12	24	0,708534	85,02408
12	26	0,708553	99,19742
14	22	0,708534	56,68272
14	24	0,708534	70,8534
14	26	0,708534	85,02408



Διάγραμμα 45: Εξάρτησης της απορροφούμενης θερμότητας q , ανά μονάδα επιφάνειας του πάνελ, από την θερμοκρασία εισόδου του ρευστού T_{fi} , με παράμετρο τη θερμοκρασία εσωτερικού αέρα T_r , για

$cp = 4184 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$, $n=4$ αγωγοί, απόσταση $S=0,2\text{m}$, $L=3\text{m}$, παροχή μάζας, $m' = 0,15 \text{ kg s}^{-1}$, $D_o = 0,02 \text{ m}$, $D_i = 0,018 \text{ m}$, $h = 10 \text{ W m}^{-2} ^\circ\text{C}^{-1}$, $k = 1,4 \text{ W m}^{-1} ^\circ\text{C}^{-1}$, $T_{f,o}$ από τον Πίνακα 48, F_c από σχέση (9.2.5.14)

Από το διάγραμμα 45, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η απορροφούμενη θερμότητα ανά μονάδα επιφάνειας του πάνελ, εξαρτάται από τη θερμοκρασία εισόδου του ρευστού και από την εσωτερική θερμοκρασία του αέρα. Για μεγαλύτερη θερμοκρασία εισόδου του ρευστού έχω μικρότερη θερμότητα απορρόφησης, ενώ για την ίδια θερμοκρασία εισόδου του ρευστού, η θερμότητα που απορροφάται είναι μεγαλύτερη, όταν επικρατεί μεγαλύτερη θερμοκρασία εσωτερικού αέρα.

Μέση θερμοκρασία υγρού και πάνελ

Η μέση θερμοκρασία του υγρού

$$T_{f,m} = \frac{1}{L} \int_0^L T_f dy \quad (9.2.5.20.)$$

μπορεί να υπολογιστεί από την αντικατάσταση της θερμοκρασίας T_f της εξίσωση (9.2.5.12.) στην παραπάνω εξίσωση. Χρησιμοποιώντας επίσης την εξίσωση (9.2.5.19.) προκύπτει:

$$T_{f,m} = T_{f,i} + \frac{q}{hF_c} (1 - F_2) \quad (9.2.5.21.)$$

όπου F_2 είναι ο παράγων ροής του πάνελ:

$$F_2 = \frac{m'cp}{A_p hF_1} [1 - \exp(-A_p hF_1 / m'cp)] \quad (9.2.5.22.)$$

Η θερμότητα q που απορροφάται ανά μονάδα επιφάνειας του πάνελ, μπορεί επίσης να εκφραστεί σε σχέση με την μέση θερμοκρασία του πάνελ $T_{p,m}$ την εξίσωση (9.2.5.23.):

$$q = h(T_r - T_{p,m}) \quad (9.2.5.23.)$$

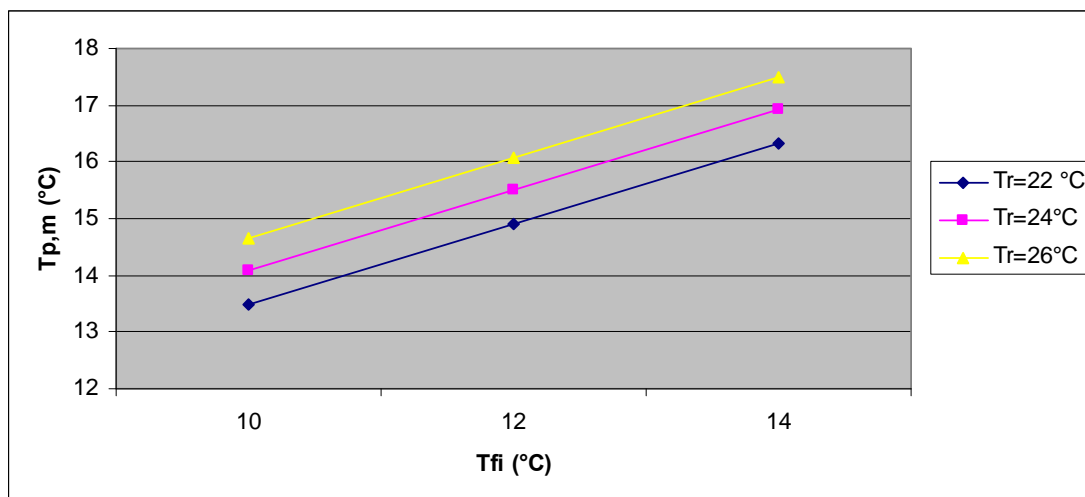
Έτσι προκύπτει η μέση θερμοκρασία του πάνελ:

$$T_{p,m} = T_{f,i} + \frac{q}{hF_c} (1 - F_c) \quad (9.2.5.24.)$$

Στο διάγραμμα 46, φαίνεται η εξάρτηση της μέσης θερμοκρασία του πάνελ $T_{p,m}$ από την θερμοκρασία εισόδου του ρευστού $T_{f,i}$, για διάφορες θερμοκρασίες εσωτερικού αέρα, με βοήθεια της σχέσης (9.2.5.24.). Οι τιμές της θερμότητας q και οι τιμές του παράγοντα F_c , λήφθηκαν από τον Πίνακα 57 και τη βοήθεια της σχέσης (9.2.5.19.).

Πίνακας 58: Η μέση θερμοκρασία του πάνελ $T_{p,m}$ σε σχέση με την θερμοκρασία εισόδου του ρευστού $T_{f,i}$, για διάφορες θερμοκρασίες εσωτερικού αέρα T_r , για $cp=4184 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$, $n=4$ αγωγοί, απόσταση $S=0,2\text{m}$, $L=3\text{m}$, παροχή μάζας, $m'=0,15 \text{ kg s}^{-1}$, $D_o=0,02 \text{ m}$, $D_i=0,018 \text{ m}$, $h=10 \text{ W m}^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, $k=1,4 \text{ W m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, με q και F_c από τον Πίνακα 57

$T_{f,i}(^\circ\text{C})$	$T_r(^\circ\text{C})$	$T_{p,m}(^\circ\text{C})$
10	22	13,49759
12	22	14,91466
14	22	16,33173
10	24	14,08026
12	24	15,49759
14	24	16,91466
10	26	14,66318
12	26	16,08026
14	26	17,49759



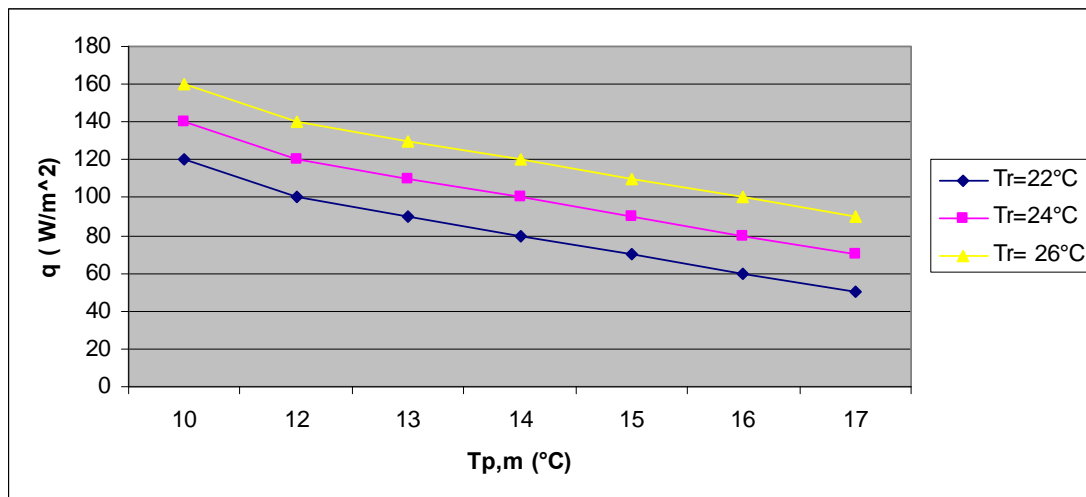
Διάγραμμα 46: Η μέση θερμοκρασία του πάνελ $T_{p,m}$ σε σχέση με την θερμοκρασία εισόδου του ρευστού $T_{f,i}$, για διάφορες θερμοκρασίες εσωτερικού αέρα T_r , για $cp=4184 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$, $n=4$ αγωγοί, απόσταση $S=0,2\text{m}$, $L=3\text{m}$, παροχή μάζας, $m'=0,15 \text{ kg s}^{-1}$, $D_o=0,02 \text{ m}$, $D_i=0,018 \text{ m}$, $h=10 \text{ W m}^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, $k=1,4 \text{ W m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, με q και F_c από τον Πίνακα 57.

Συμπεραίνουμε ότι η μέση θερμοκρασία του πάνελ είναι μεγαλύτερη για μεγαλύτερες θερμοκρασίες του ρευστού, όπως ήταν αναμενόμενο και για μεγαλύτερες θερμοκρασίες του αέρα χώρου.

Με βάση τη σχέση (9.2.5.23.), προκύπτει το διάγραμμα 47, που δίνει τη **θερμότητα q** που απορροφάται ανά μονάδα επιφάνειας του πάνελ, σε σχέση με τη μέση θερμοκρασία του πάνελ $T_{p,m}$, για διάφορες θερμοκρασίες εσωτερικού αέρα T_r . Στους υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκε ως ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας, $h = 10 \text{ W m}^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

Πίνακας 59 : Η θερμότητα **q** που απορροφάται ανά μονάδα επιφάνειας του πάνελ, σε σχέση με τη μέση θερμοκρασία του πάνελ $T_{p,m}$, για διάφορες θερμοκρασίες εσωτερικού αέρα T_r .

$T_{p,m}(^\circ\text{C})$	$T_r(^\circ\text{C})$	q (W/m^2)
10	22	120
12	22	100
13	22	90
14	22	80
15	22	70
16	22	60
17	22	50
10	24	140
12	24	120
13	24	110
14	24	100
15	24	90
16	24	80
17	24	70
10	26	160
12	26	140
13	26	130
14	26	120
15	26	110
16	26	100
17	26	90



Διάγραμμα 47: Η θερμότητα q που απορροφάται ανά μονάδα επιφάνειας του πάνελ, σε σχέση με τη μέση θερμοκρασία του πάνελ $T_{p,m}$, για διάφορες θερμοκρασίες εσωτερικού αέρα T_r

Συνεπώς, μεγαλύτερη μέση θερμοκρασία πάνελ, συνεπάγεται μικρότερη απορροφούμενη θερμότητα.

10. Γενικά Συμπεράσματα

Θα μπορούσαμε να συμπεράνουμε ότι αν ο βιοκλιματικός σχεδιασμός και τα ηλιακά παθητικά συστήματα εφαρμοσθούν στα κτήρια, μπορούμε να εξοικονομήσουμε σημαντικά ποσά ενέργειας και να περιορίσουμε σημαντικά τους ρύπους. Με επιλογή της σωστής θερμικής μάζας του κτηρίου, ανάλογα με τα κλιματολογικά δεδομένα της περιοχής, με το σχεδιασμό κατάλληλων ανοιγμάτων, την εφαρμογή απλών παθητικών συστημάτων, καθώς επίσης με το κατάλληλο προσανατολισμό και χωροθέτηση του κτηρίου, μπορούμε να εξασφαλίσουμε συνθήκες θερμικής άνεσης με ταυτόχρονη μείωση της ενεργειακής εξάρτησης από τα συμβατικά καύσιμα. Ο κατάλληλος σχεδιασμός και προστασίας του κελύφους από τα θερμικά κέρδη, η φύτευση βλάστησης, σε συνδυασμό με εφαρμογή φυσικού αερισμού και δροσισμού, οδηγούν στη μείωση της εξάρτησης μας από τα κλιματιστικά. Επιπροσθέτως, η αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού και η επιλογή λαμπτήρων χαμηλής ενέργειας, συμβάλλουν αφενός στην οπτική μας άνεση και αφετέρου στην εξοικονόμηση ενέργειας για φωτισμό. Μεγάλη προσοχή χρειάζεται επίσης, στην επιλογή οικολογικών δομικών υλικών, που αντέχουν στο χρόνο και δε βλάπτουν τον άνθρωπο και το περιβάλλον. Επίσης, με εφαρμογή απλών τεχνικών εξοικονόμησης ενέργειας στα συστήματα θέρμανσης και στα συστήματα κλιματισμού καθώς επίσης με την ενσωμάτωση τεχνολογιών που κάνουν χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, επιτυγχάνουμε ακόμα περισσότερη εξοικονόμηση ενέργειας. Τεχνολογίες, όπως η ηλιακή ψύξη, η ψύξη από θάλασσα και ο κλιματισμός από ψυχόμενες διατάξεις, αν και έχουν ένα αρχικό κόστος, σύντομα μας αποζημιώνουν ενεργειακά και οικονομικά. Σε κάθε περίπτωση, είναι αναγκαία η σωστή επιλογή των διαστάσεων και η σωστή εφαρμογή των διατάξεων ανάλογα με τις ανάγκες του κτηρίου.

Βιβλιογραφία

1. **ΑΠΑΝΤΑ 1-Απομνημονεύματα 1**, Ξενοφών, Αρχαία Ελληνική Γραμματεία «Οι Έλληνες», Εκδόσεις Κάκτος
2. **ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΚΕΝΤΡΙΚΩΝ ΘΕΡΜΑΝΣΕΩΝ**, Μιχάλης Γρ.Βραχόπουλος, Εκδόσεις Αθ.Σταμούλης, 2004
3. **ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ**, Βιοκλιματική αρχιτεκτονική, οικολογική δόμηση, γεωβιολογία, εσωτέρα αρχιτεκτονική, Κώστας και Θέμης Στεφ.Τσιπής, Εκδόσεις Κεδρος, 2005
4. **ΚΤΙΡΙΑ ΓΙΑ ΕΝΑΝ ΠΡΑΣΙΝΟ ΚΟΣΜΟ**, οικολογική δόμηση , βιοκλιματική αρχιτεκτονική, Μαργαρίτα Καραβασίλη, Ευώνυμος Οικολογική Βιβλιοθήκη, Psystems international ΑΕ, Αθήνα 1999
5. **ΚΤΙΡΙΟ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ**, Ηλίας Ευθυμιόπουλος, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 2005
6. **ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ**, Εισαγωγή για αρχιτέκτονες, ΜΑΛΛΙΑΡΗΣ- Παιδεία για την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1994
7. **ENVIRONMENTAL DESIGN**, Randall Thomas, Max Fordham & Partners, E & FN SPON, London 1996
8. **ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ** Μαθήματος «Θερμική Συμπεριφορά Κτιρίων», Χ.Τζιβανίδης.
9. **ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΑ ΚΤΗΡΙΑ**,
<http://www.evonymos.org/files1/155SOLAR%20ENERGY%20FOR%20BUILDING S.IENE.doc>
10. **ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΗΜΕΡΙΔΑΣ ΜΕ ΘΕΜΑ «ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ»**, 3 Νοεμβρίου 2006, Ακαδημία Αθηνών, ΕΜΠ
11. **ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ**, Ενεργειακή Απόδοση και Κατευθύνσεις Εφαρμογής, Καπε, Πικέρμι, Σεπτέμβριος 2002, Ευγενία Α. Λαζάρη,
http://www.cres.gr/kape/education/bioclimate_brochure.pdf
12. **ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΟΙΚΙΣΤΙΚΑ ΣΥΝΟΛΑ**
<http://www.cres.gr/kape/education/Apeoikistika.pdf>
13. **THERMALCOMFORT**, <http://www.hse.gov.uk/temperature/thermal/explained.htm>
14. **VISUALIZING THERMAL COMFORT**,
http://www.design.asu.edu/radiant/01_thermalComfort/comfortC_01variables.htm
15. **HUMAN HEAT BALANCE CALCULATION**, Macquarie University, Sydney, Australia, <http://atmos.es.mq.edu.au/~rdedear/pmv/>

16. **THERMAL REGULATION LECTURE**, Cornell University Ergonomics
<http://ergo.human.cornell.edu/studentdownloads/DEA350notes/Thermal/thregnotes.html>
17. **INTRODUCTION TO THE PSYCHOMETRIC CHART**,
<http://www.healthyheating.com/Page%2055/Humidity/chart/index.htm>
18. **PREDICTION OF THERMAL COMFORT**,
<http://personal.cityu.edu.hk/~bsapplec/newpage315.htm>
19. **Ευώνυμος Οικολογική Βιβλιοθήκη**, <http://www.evonymos.org/greek/index.html>
20. **Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, Παθητικά Συστήματα**,
www.arch.tuc.gr/main_site/information/lectures/documents/pathitika_systimata.pdf
21. http://en.wikipedia.org/wiki/Passive_solar_building_design
22. <http://www.learn.londonmet.ac.uk/packages/clear/about/tree.html>
23. **PASSIVE SOLAR ENERGY BOOK**,
<http://www.builditsolar.com/Projects/SolarHomes/PasSolEnergyBk/PSEbook.htm>
24. **UNDERSTANDING U-VALUES**, <http://www.builddesk.com/sw56126.asp>
25. **ΕΞΥΠΝΑ ΠΑΡΑΘΥΡΑ**,
http://www.domika.gr/newSolutions/oikologia/exipna_parathira.asp
26. **BIOCLIMATIC ARCHITECTURE**, The Demonstration Component of the Joule Thermie Programme, European Commission, Energy Research Group University College Dublin, Ireland, Published by: LIOR E.E.I.G., 1997
http://erg.ucd.ie/mb_bioclimatic_architecture.pdf
27. **SELECTED EXAMPLES OF BIOCLIMATIC ANALYSIS APPLYING THE PHYSIOLOGICALLY EQUIVALENT TEMPERATURE IN HUNGARY**,
<http://www.sci.u-szeged.hu/eghajlattan/akta07/037-046.pdf>
28. http://www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis_bioclimatic_passive.htm
29. http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/bioklimatikos_sxediasmos.htm
30. http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/thermiki_prostasia_kelyfous_thermomonomosi.htm
31. http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/hliasmos.htm
32. http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/pathitika_iliaka_systimata.htm
33. http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/thermiki_prostasia_kelyfous_xrisi_yalopina_kon.htm
34. http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/thermiki_prostasia_kelyfous_fragma.htm
35. http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/fysikos_fotismos_monotika_ylika.htm
36. http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/fysikos_fotismos_prismatika.htm
37. http://everything2.com/index.pl?node_id=1914968
38. <http://www.azsolarcenter.com/design/passive-2.html>

39. **ΗΛΙΑΚΟΙ ΤΟΙΧΟΙ ΚΑΙ ΠΑΡΑΘΥΡΑ**,
[http://www.ktirio.gr/gr/_dynoP/articles/arhtra_det.asp?KATEGORY_CODE=23&AR
THRO_NAME=118-27.TXT](http://www.ktirio.gr/gr/_dynoP/articles/arhtra_det.asp?KATEGORY_CODE=23&AR
THRO_NAME=118-27.TXT)
40. **ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ**, κατασκευή για θερμική εκμετάλλευση ηλιακής ενέργειας στα
κτίρια, http://klimalarissa.blogspot.com/2007/04/blog-post_402.html
41. Greenpeace, <http://www.greenpeace.org/greece/137368/137396/138787>
42. **ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗ ΦΥΤΕΜΕΝΟΥ ΔΩΜΑΤΟΣ**,
<http://building.dow.com/styrofoam/europe/el/applications/thermal/flat/4.htm>
43. <http://www.egreen.gr/why.html>
44. **GREEN ROOFS**, <http://www.nrel.gov/docs/fy04osti/36060.pdf>
45. **DAYLIGHTING IN BUILDINGS**, A Thermie Programm Action, The European
Comission Directorate-General For Energy, DGXVII
http://erg.ucd.ie/mb_daylighting_in_buildings.pdf
46. **GREEN BUILDING MATERIALS**, California Integrated Waste Management
Board , <http://www.ciwmb.ca.gov/GreenBuilding/Materials/>
47. **ΤΟ ΣΥΝΔΡΟΜΟ ΤΟΥ ΑΡΡΩΣΤΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ**,
http://tovima.dolnet.gr/print_article.php?e=B&f=13250&m=A44&aa=1
48. **ΤΟ ΣΥΝΔΡΟΜΟ ΤΟΥ ΑΡΡΩΣΤΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ**, [http://eva-
varoutaflorou.blogspot.com/2008/01/blog-post_20.html](http://eva-
varoutaflorou.blogspot.com/2008/01/blog-post_20.html)
49. **ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΟΙΚΟΛΟΓΙΑ**, Αιμ.Γ.Κορωναίος καθηγητής Ε.Μ.Π.,
Γ.Φοίβος Σαργέντης Υπ.Δρ.Ε.Μ.Π., Αθήνα 2005,
<http://www.ntua.gr/vitruvius/ecomat.pdf>
50. **ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ**,
<http://www.hirc.gr/services/newsletter/inn6/ecomat.htm>,
51. http://www.s-ol-ar.gr/oik_domisi.html
52. **ΘΗΡΑΪΚΗ ΓΗ**, <http://www.dalkafoukis.gr/pdf/THIRAIKH%20GH.pdf>
53. <http://www.milos-island.gr/history/econhistory.gr.html>
54. <http://www.oikologos.gr/News/Thermomonosi.htm>
55. <http://www.presenting.net/sbs/sbs.html>
56. [http://www.energytraining4europe.org/greek/training/guide_eff_use/insulation_05.ht
m](http://www.energytraining4europe.org/greek/training/guide_eff_use/insulation_05.htm)
57. **PHASE CHANGE MATERIALS**, [http://www.toolbase.org/Technology-
Inventory/HVAC/phase-change-materials](http://www.toolbase.org/Technology-
Inventory/HVAC/phase-change-materials)
58. **ENERGY EFFICIENT BUILDING DESIGN**, Renewable Energy for NREL,
November 13, 2006, Otto Van Geet P.E., National Renewable Laboratory
[http://www.nrel.gov/visitors_center/pdfs/powerlunch_energy_efficient_building_nrel.
pdf](http://www.nrel.gov/visitors_center/pdfs/powerlunch_energy_efficient_building_nrel.pdf)

59. **Solar Heat Gain Factor and Heat Loss Coefficients for Passive Heating concepts**, M.S. Bhandari, N.K.Bansall, Centre for Energy Studies, Indian Institute of Technology, USA, 1994, www.sciencedirect.com
60. http://en.wikipedia.org/wiki/Trombe_wall
61. **TROMBE WALLS IN LOW ENERGY BUILDINGS**, <http://www.nrel.gov/docs/fy04osti/36277.pdf>
62. **A WATER WALL SOLAR DESIGN MANUAL**, <http://builditsolar.com/Projects/SpaceHeating/AWaterWallIntro.pdf>
63. **BARRA CONSTANTINI SYSTEM**, <http://www.osti.gov/accomplishments/pdf/DE90012500/066.pdf>
64. **PERFORMANCE OF BARRA-CONSTANTINI PASSIVE HEATING SYSTEM UNDER ALGERIAN CLIMATE CONDITIONS**, K.Imessad, N. Ait Messaoudene, M.Belhamel, Algeria, 2003, www.sciencedirect.com
65. http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/fysikos_drosismos_nyxterini_aktinobolia.htm
66. <http://www.energybooks.com/pdf/919929.pdf>
67. <http://www.yourhome.gov.au/technical/pubs/fs44.pdf>
68. http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/thermiki_prostasia_kelyfous_hlioprostasia.htm
69. http://www.levolux.com/L_products/specialist_venetian_blinds_details2.htm
70. **INVESTIGATING AND ANALYSING THE ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF AN EXPERIMENTAL GREEN ROOF SYSTEM INSTALLED IN A NURSERY SCHOOL BUILDING IN ATHENS, GREECE**, M.Sanatmouris, C.Pavlou, P.Doukas, G.Mihalakakou, A.Synnefa, A.Hatzibiros, P.Patargias, 2005, www.sciencedirect.com
71. **UNDERSTANDING ENERGY- EFFICIENT WINDOWS**, <http://www.taunton.com/finehomebuilding/how-to/articles/understanding-energy-efficient-windows.aspx>
72. http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/fysikos_fotismos_yalopinakes.htm
73. **ΠΡΑΣΙΝΕΣ ΣΤΕΓΕΣ/ ΦΥΤΕΜΕΝΑ ΔΩΜΑΤΑ**, <http://www.conferences.gr/fileadmin/dtemplates/palenc2007/pdf/egreen.pdf>
74. http://www.sciencebuddies.com/science-fair-projects/project_ideas/EnvEng_p012.shtml?from=Home
75. **LIGHT REFLECTANCE VALUE**, <http://www.squidoo.com/LRV>
76. **EVALUATION OF HEAT FLUX REDUCTION PROVIDED BY THE USE OF RADIANT BARRIERS IN CLAY TILES ROOFS**, Caren Michels, Roberto Lamberts, Saulo Gueths, Brazil, 2007, www.sciencedirect.com

77. **RADIANT BARRIERS**, <http://www.fsec.ucf.edu/en/publications/html/FSEC-EN-15/index.htm>
78. **GREEN ROOFS**, <http://www.delston.co.uk/greenroofs.htm>
79. **GREEN ROOFS GROW...WITH BROWN COMPOST**,
http://www.jgpress.com/archives/_free/000254.html
80. <http://www.usemenow.com/web-log/greenroof1.jpg>
81. http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/fysikos_drosismos_fysikos_aerismos.htm
82. **TEMPERATURE DECREASES IN AN URBAN CANYON DUE TO GREEN WALLS AND GREEN ROOFS IN DIVERSE CLIMATES**, Eleftheria Alexandri, Phil Jones, 2006, www.sciencedirect.com
83. http://www.lid-stormwater.net/greenroofs_benefits.htm
84. <http://hortweb.cas.psu.edu/research/greenroofcenter/research.html>
85. **PERFORMANCE OF SOLAR CHIMNEY**, K.S.Ong, C.C.CHOW, Malaysia, www.sciencedirect.com
86. <http://www.greenbuilder.com/sourcebook/PassSolGuide3.html>
87. **SOLAR CHIMNEY: SIMULATION AND EXPERIMENT**, Clito Afonso, Armando Oliveira, Portugal, 1999, www.sciencedirect.com
88. **ΑΕΡΙΖΟΜΕΝΟ ΚΕΛΥΦΟΣ**,
http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/thermiki_prostasia_kelyfous_aerizomeno_kelyfos.htm
89. **ΦΥΣΙΚΟΣ ΔΡΟΣΙΣΜΟΣ**,
http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/fysikos_drosismos.htm
90. http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/fysikos_fotismos.htm
91. **LET THERE TO BE LIGHT**, <http://www.ntnu.no/gemini/3,45,902003-06e/11.htm>
92. http://en.wikipedia.org/wiki/Compact_fluorescent_lamp
93. http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/teknitos_fotismos.htm
94. http://www.cres.gr/energy-saving/enimerosi_teknitofotismos.htm
95. <http://www.greenpeace.org/greece/137368/137396/138760>
96. http://www.cres.gr/kape/education/solar_cooling_brochure-SMALL.pdf
97. http://www.ebhe.gr/library/Greek_Solar_Market_Greek.doc
98. http://www.cres.gr/kape/education/ODHGOS_HVAC.pdf
99. (http://www1.eere.energy.gov/solar/sh_use.html)
100. <http://ieeexplore.ieee.org/iel4/595/13398/00613904.pdf>
101. <http://science.duth.gr/modules.php?name=News&file=print&sid=69>
102. <http://www.sychem.gr/SYSTMATA%20EKSOIKONOMHSHS%20ENERGEIAS.htm>

103. <http://science.duth.gr/modules.php?name=News&file=print&sid=69>
104. <http://starbulletin.com/2004/12/02/business/story2.html>
105. http://www.teipat.gr/socrates-ip2006/files/Solar_cooling_course.ppt
106. http://www.physics.uio.no/energy/rebus/phd_2003/Pres-Solar_cooling.ppt
107. **DESIGN AND PERFORMANCE OF A SOLAR-POWERED AIR-CONDITIONING SYSTEM IN A GREEN BUILDING**, Shanghai, China, 2007, www.sciencedirect.com
108. http://www.cres.gr/energy_saving/biomixania/paragogiki_diadikasia_anaktisi_thermotitas.htm
109. http://www.seav.sustainability.vic.gov.au/manufacturing/sustainable_manufacturing/resource.asp?action=show_resource&resourcetype=2&resourceid=44#types
110. http://www.cres.gr/energy_saving/biomixania/paragogiki_diadikasia_anaktisi_thermotitas.htm
111. **CEILING RADIANT COOLING PANELS AS A VIABLE DISTRIBUTED PARALLEL SENSIBLE COOLING TECHNOLOGY INTEGRATED WITH DEDICATED OUTDOOR AIR SYSTEMS**, Christopher Conroy, Stanley Mumma, http://doas-radiant.psu.edu/DOAS_RADIANANT_HONOLULU_TP4573.pdf
112. www.mge.com/business/saving/madison/PA_54.html
113. **RADIANT CEILING COOLING**, John Dieckmann, Kurt Roth, James Brodrick, Ashrae Journal, 2004, http://doas-radiant.psu.edu/Journal_Emerging_CRCPCP_04.pdf
114. **ANALYTICAL AND NUMERICAL HEAT TRANSFER IN COOLING PANELS**, K. A. Antonopoulos, NTUA, 1991.
115. http://honolulu.wac.com/index.php?option=com_content&task=view&id=7&Itemid=19
116. www.ccohs.ca/oshanswers/phys_agents/thermal_comfort.html
117. http://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_diffusivity
118. www.cres.gr/kape/pdf/press/cres_thermans.pdf

