



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ**



**Βιοκλιματικός σχεδιασμός και παθητικά συστήματα–
Παραμετρική μελέτη λειτουργίας ηλιακής καμινάδας**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αρετή Θ. Παπασίμπα

Επιβλέπων : Κίμων Α. Αντωνόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2009



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ**

**Βιοκλιματικός σχεδιασμός και παθητικά συστήματα –
Παραμετρική μελέτη λειτουργίας ηλιακής καμινάδας**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αρετή Θ. Παπασίμπα

Επιβλέπων : Κίμων Α. Αντωνόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2009

.....
Αρετή Θ. Παπασίμπα

Διπλωματούχος Μηχανολόγος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Copyright © Αρετή Θ. Παπασίμπα, 2009

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τη συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να παρουσιάσει τα παθητικά συστήματα βιοκλιματικού σχεδιασμού των κτιρίων και στη συνέχεια ειδικότερα να παρουσιάσει τα αποτελέσματα της μελέτης της συμπεριφοράς και λειτουργίας ενός από αυτά, της ηλιακής καμινάδας.

Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός αφορά την αρχιτεκτονική των κτιρίων και σε συνδυασμό με τον ενεργειακό σχεδιασμό προτείνουν λύσεις για την κατασκευή, τον εξοπλισμό και τη λειτουργία των κτιρίων ώστε αυτά να αποτελούν «άνετο» και «ποιοτικό» περιβάλλον για τους χρήστες τους. Η θερμοκρασία, η υγρασία και η ποιότητα του αέρα είναι οι κυριότερες παράμετροι ενός εσωτερικού χώρου, που χρίζουν μελέτης. Λαμβάνοντας υπόψιν τις μεγάλες ενεργειακές απαιτήσεις για τη ρύθμιση των παραμέτρων αυτών και την επιτακτική ανάγκη για εξοικονόμηση ενέργειας ο βιοκλιματικός σχεδιασμός προτείνει παθητικά συστήματα κάλυψης των αναγκών των κτιρίων για θέρμανση, ψύξη, φωτισμό και αερισμό. Τα παθητικά συστήματα εκμεταλλεύονται ενέργεια που προέρχεται από φυσικές πηγές, όπως το φως, τον άνεμο, την ηλιακή ακτινοβολία και με κατάλληλο σχεδιασμό μπορούν να καλύψουν μεγάλο μέρος των ενεργειακών απαιτήσεων και αναγκών ενός κτιρίου.

Ένα παθητικό σύστημα αερισμού και δροσισμού είναι η ηλιακή καμινάδα, η οποία αποτελείται από μια γυάλινη επιφάνεια, τοίχο απορρόφησης και διάκενο μεταξύ τους, όπου κυκλοφορεί αέρας. Εκμεταλλεύεται την ηλιακή ακτινοβολία για να αυξήσει τη θερμοκρασία του αέρα που εισέρχεται στο «κανάλι» της και να δημιουργήσει ανοδικό ρεύμα. Το «φαινόμενο της καμινάδας», όπως ονομάζεται αυτή η λειτουργία, έχει σαν αποτέλεσμα το φυσικό αερισμό του χώρου με τον οποίο συνορεύει και επικοινωνεί μέσω του ανοίγματος εισόδου της. Ο αέρας που κυκλοφορεί στο χώρο της καμινάδας προέρχεται από τον εσωτερικό χώρο του κτιρίου όπου εισήλθε μέσω ανοιγμάτων.

Τη λειτουργία της ηλιακής καμινάδας επηρεάζουν οι διαστάσεις της, η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, οι συντελεστές μεταφοράς θερμότητας μεταξύ των επιφανειών, του περιβάλλοντος και της ροή του αέρα. Τη μεγαλύτερη επίδραση στη λειτουργία της καμινάδας έχει η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, η οποία συνδέεται άμεσα με τη χρονική περίοδο λειτουργίας.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Βιοκλιματικός σχεδιασμός, ενεργειακός σχεδιασμός, παθητικά συστήματα, εξοικονόμηση ενέργειας, νομικό πλαίσιο εξοικονόμησης ενέργειας, ηλιακή καμινάδα, παραμετρική μελέτη ηλιακής καμινάδας.

ABSTRACT

The aim of this project is to present passive solar systems of bioclimatic design of buildings and more specifically to present the results of the research and study of a solar chimney.

Bioclimatic design refers to the architecture of buildings and combined with the energy design propose solutions for the construction, equipment and performance of buildings in order to create an environment of comfort and quality. Temperature, humidity and air quality are the main aspect of interior environments, that need research. Taking into consideration the great energy amounts that are needed to regulate these parameters and the imperative need for energy saving, bioclimatic design proposes passive systems. Passive systems use energy coming from natural sources, such as wind, light, solar radiation, to provide natural lighting, natural ventilation and cover the needs for heating, cooling, lighting and ventilation.

Solar chimney is a passive system of ventilation and cooling. It consists of a glass surface, an absorber wall and a gap between them, where the air coming from the room flows. The solar chimney uses solar radiation in order to warm up the air inside the gap. The chimney effect results to the natural ventilation of the room that “communicates” with through the inlet opening. The air enters from the windows of the room, flows through it towards the inlet opening, enters the chimney and flowing upwards is finally comes out to the outside environment.

The performance of a solar chimney depends on the size of the chimney, amount of solar radiation, outside temperature, heat transfer coefficients among the surfaces, the outside environment and the air flow. Thermal coefficients and solar radiation have the greatest impact on the performance of the solar chimney and are connected with the time period the research is being carried out.

KEY WORDS

Bioclimatic design, energy design, passive systems, energy saving, solar chimney, parametrical analysis of solar chimney.

Ευχαριστίες

Θέλω να ευχαριστήσω θερμά τον κ.Τζιβανίδη για την προθυμία και τη βοήθειά του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης αυτής της εργασίας. Η συμβολή του ήταν καθοριστική.

Επίσης ένα ευχαριστώ στους δασκάλους μου και στην οικογένειά μου για τη στήριξη, την ενθάρρυνση σε ό,τι έχω κάνει ως τώρα και την εμπιστοσύνη τους σε μένα .

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο – ΚΛΙΜΑ

1.1	Τι είναι κλίμα	11
1.2	Μακρόκλιμα, μεσόκλιμα , μικροκλίμα	
1.2.1	Το μακρόκλιμα.....	11
1.2.2	Το μεσόκλιμα.....	12
1.2.3	Το μικροκλίμα.....	13
1.3	Παράγοντες που καθορίζουν το κλίμα	
1.3.1	Ηλιακή ακτινοβολία.....	13
1.3.2	Υγρασία.....	14
1.3.3	Άνεμος.....	14
1.4	Αστικά μικροκλίματα	
1.4.1	Ηλιακή ακτινοβολία-άνεμοι.....	16
1.4.2	Το φαινόμενο της θερμικής νησίδας.....	18
1.4.3	Το φαινόμενο της αστικής χαράδρας.....	20
1.5	Το κλίμα της Ελλάδας	
1.5.1	Περιγραφή κλίματος.....	20
1.5.2	Κλιματολογικά στοιχεία της Ελλάδας (Ε.Μ.Υ).....	22
1.6	Κλιματική αλλαγή	
1.6.1	Σε παγκόσμιο επίπεδο.....	29
1.6.2	Στην Ελλάδα (έκθεση αστεροσκοπείου).....	31
1.6.3	Ανάγκη λήψης μέτρων προστασίας.....	31

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο – ΚΤΙΡΙΟ

2.1	Κτίριο και κλίμα.....	33
2.2	Κτίριο και ενέργεια.....	33
2.3	Ενεργειακή πολιτική σχετικά με τον κτιριακό τομέα (νομικό πλαίσιο)	
2.3.1	Κοινοτικό νομικό πλαίσιο.....	34
2.3.2	Εθνικό νομικό πλαίσιο.....	39
2.4	Εξοικονόμησης ενέργειας στα κτίρια.....	44

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο -ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ-ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΤΙΡΙΩΝ

3.1	Ενεργειακός σχεδιασμός.....	48
3.2	Βιοκλιματική αρχιτεκτονική.....	49
3.3	Βιοκλιματικός σχεδιασμός	
3.3.1	(βιοκλιματικό..) κτίριο φιλικό στο χρήστη	
3.3.1.1	Θερμική άνεση.....	50
3.3.1.2	Οπτική άνεση.....	58
3.3.1.3	Ακουστική άνεση.....	61
3.3.1.4	Ποιότητα αέρα.....	62
3.3.2	(βιοκλιματικό) κτίριο φιλικό στο περιβάλλον.....	64
3.4	Αρχές βιοκλιματικού σχεδιασμού.....	66
3.5	Η βιοκλιματική μελέτη.....	67

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο – ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

4.1	Εισαγωγή.....	69
4.2	Παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης	
4.2.1	Συστήματα άμεσου ηλιακού κέρδους.....	70
4.2.2	Συστήματα έμμεσου ηλιακού κέρδους.....	71
4.3	Παθητικά συστήματα και τεχνικές δροσισμού-ψύξης	
4.3.1	Ηλιοπροστασία-θερμική προστασία κελύφους.....	77
4.3.2	Φυσικός αερισμός-υβριδικός αερισμός.....	83
4.3.3	Εξατμιστική ψύξη.....	92
4.3.4	Απόρριψη θερμότητας με ακτινοβολία.....	93
4.3.5	Αξιοποίηση του υπεδάφους.....	95
4.4	Παθητικά συστήματα και τεχνικές φυσικού φωτισμού.....	99

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο – ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΚΑΜΙΝΑΔΑΣ

5.1	Εισαγωγή.....	101
5.2	Περιγραφή φυσικού μοντέλου ηλιακής καμινάδας.....	102
5.3	Περιγραφή λειτουργίας ηλιακής καμινάδας.....	105

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο – ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

6.1 Ορολογία.....	108
6.2 Ηλιακή ακτινοβολία	
6.2.1 Γενικά.....	109
6.2.2 Ηλιακή ακτινοβολία κατακόρυφου επιπέδου.....	111
6.3 Συντελεστές μετάδοσης θερμότητας.....	113
6.4 Μεγέθη της ροής του αέρα.....	114
6.5 Διακριτοποίηση του χώρου της ηλιακής καμινάδας.....	115

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο – ΘΕΡΜΙΚΗ ΚΑΙ ΡΟΪΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

7.1 Εισαγωγή στη θερμοροϊκή ανάλυση.....	118
7.2 Μελέτη της ροής του αέρα καθ' ύψος του καναλιού της ηλιακής καμινάδας.....	119
7.3 Ενεργειακός ισολογισμός στον τοίχο απορρόφησης	
7.3.α 1 ^η υπόθεση για τον τοίχο απορρόφησης.....	124
7.3.β 2 ^η υπόθεση για τον τοίχο απορρόφησης.....	125
7.4 Απόδοση ηλιακής καμινάδας.....	126
7.5 Αριθμός εναλλαγών αέρα.....	127

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο - ΜΕΛΕΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΚΑΜΙΝΑΔΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ 21^η ΙΟΥΛΙΟΥ

8.1 Γενικά.....	128
8.2 Κλιματικά και μετεωρολογικά στοιχεία για την 21 ^η Ιουλίου.....	128
8.3 Διαστασιολόγηση και άλλα δεδομένα.....	130
8.4 Παρουσίαση αποτελεσμάτων για τα χαρακτηριστικά μεγέθη της καμινάδας.....	131

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9^ο – ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΚΑΜΙΝΑΔΑΣ

9.1 Γενικά.....	135
9.2 Γεωμετρική παραμετροποίηση.....	135
9.3 Θερμική παραμετροποίηση.....	137

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10^ο- ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΚΑΜΙΝΑΔΑΣ ΤΟΥΣ
ΜΗΝΕΣ ΜΑΪΟ ΚΑΙ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟ**

10.1 Γενικά.....	140
10.2 Κλιματικά στοιχεία για τους μήνες Μάιο και Σεπτέμβριο.....	141
10.3 Παρουσίαση αποτελεσμάτων για τα χαρακτηριστικά μεγέθη της καμινάδας.....	143

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11^ο – ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΕΠΙΛΥΣΗ146

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12^ο – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

12.1 Εισαγωγικά.....	148
12.2 Διακύμανση θερμοκρασιών-παροχής μάζας-αριθμού εναλλαγών αέρα.....	148

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....150

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....152

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.....169

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο - ΚΛΙΜΑ

1.1 Τι είναι κλίμα

Το *κλίμα* ορίζεται ως η μέση καιρική κατάσταση μιας περιοχής, που προκύπτει από μακροχρόνιες παρατηρήσεις των διαφόρων μετεωρολογικών στοιχείων. Η καταγωγή της λέξης είναι ελληνική και αναφέρεται στην γωνία που σχηματίζει η τροχιά περιστροφής της γης με τη σχετική τροχιά περιστροφής του ηλίου γύρω της. Πράγματι μπορούμε να θεωρήσουμε το κλίμα ως την μακροπρόθεσμη επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια και την ατμόσφαιρα της γης.

Πρέπει να επισημάνουμε τη διαφορά ανάμεσα στον «καιρό» και το «κλίμα». Ο καιρός συνίσταται από ημερήσιες διακυμάνσεις θερμοκρασίας, υγρασίας, βροχοπτώσεων κ.λ.π. που παρατηρούνται σε μια δεδομένη περιοχή και μετρώνται με ειδικά όργανα. Η μελέτη του κλίματος από την άλλη πλευρά βασίζεται σε πολύπλοκες στατιστικές μελέτες του καιρού, πάνω σε ημερήσια, μηνιαία και ετήσια δεδομένα, που γίνονται σε μακροχρόνια βάση. Εκτός όμως από την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας, το γεωγραφικό μήκος και πλάτος, η μορφολογία του εδάφους, το υψόμετρο, το ανάγλυφο κ.α. της κάθε περιοχής καθορίζουν το κλίμα της.

1.2 Μακρόκλιμα, μεσόκλιμα, μικροκλίμα

Η βασικότερη διάκριση του κλίματος είναι σε *μακρόκλιμα*, *μεσόκλιμα* και *μικροκλίμα*.

1.2.1 Το μακρόκλιμα

Το *μακρόκλιμα* αφορά το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής και αναφέρεται σε κλιματικές ζώνες, στις οποίες «χωρίζουμε» τα δυο ημισφαίρια της γης. Συγκεκριμένα έχουμε την τροπική ζώνη, η οποία χαρακτηρίζεται από υψηλές θερμοκρασίες και μεγάλες περιόδους ξηρασίας με σχεδόν ανύπαρκτους χειμώνες, την εύκρατη, η οποία χαρακτηρίζεται από θερμά καλοκαίρια και ήπιους χειμώνες και την πολική, όπου έχουμε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες καθώς επικρατεί χειμώνας καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου.

1.2.2 Το μεσόκλιμα

Το μεσόκλιμα αφορά την τοπογραφία μιας συγκεκριμένης περιοχής, δηλαδή το ανάγλυφο, το υψόμετρο, το ποσοστό και τη κατανομή των υδάτινων επιφανειών, την απόστασή της από τη θάλασσα κ.α. Τύποι μεσοκλίματος είναι οι παραλιακές περιοχές, η επίπεδη ανοικτή υπαίθρος, τα δάση, οι κοιλάδες, οι πόλεις και οι ορεινές περιοχές.

Στις παραλιακές περιοχές και κατά μήκος των ακτών, η θάλασσα επιδρά στις ημερήσιες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας που εμφανίζονται στο εσωτερικό. Έτσι λοιπόν το χειμώνα η θερμοκρασία του αέρα στην ακτή είναι υψηλότερη αυτής που επικρατεί στο εσωτερικό, ενώ το καλοκαίρι είναι ψυχρότερη και πιο υγρή. Όσον αφορά την ένταση των ανέμων, αυτοί είναι πιο δυνατοί με κατεύθυνση από την ξηρά προς τη θάλασσα, λόγω απουσίας φυσικών εμποδίων (δέντρα, κτίρια) και χαμηλής επιφανειακής τριβής πάνω στην επιφάνεια της θάλασσας. Ακόμη όταν η στεριά είναι θερμότερη από τη θάλασσα εμφανίζεται, συνήθως το απόγευμα, άνεμος με κατεύθυνση από τη θάλασσα προς τη στεριά. Η λεγόμενη αύρα. Κατά τη διάρκεια της νύχτας η κατεύθυνσή του τείνει να αναστραφεί.

Τα εμπόδια σε έκταση επίπεδης ανοικτής υπαίθρου επηρεάζουν τοπικά τους ανέμους, οι οποίοι μπορεί να επιβραδύνονται, πάνω από θάμνους ή σειρές δέντρων, αλλά και να ξεπερνούν τη μέση ταχύτητα λόγω απουσίας εμποδίων. Η ηλιακή ακτινοβολία προσεγγίζει τα μακροκλιματικά στοιχεία της κάθε περιοχής.

Τα δάση με τα ψηλά δέντρα και το πυκνό φύλλωμά τους διαμορφώνουν ένα προπέτασμα για τον ήλιο και τον άνεμο. Το αποτέλεσμα είναι στη σκιά τους να εγκλωβίζονται οι ψυχρές μάζες του αέρα την ημέρα, οπότε η θερμοκρασία είναι χαμηλή συγκριτικά με αυτή που επικρατεί σε ανοικτές περιοχές. Ενώ τη νύχτα εμποδίζεται η έξοδος της ακτινοβολίας μεγάλου κύματος που εκπέμπεται από το έδαφος και έτσι η θερμοκρασία ανεβαίνει.

Το μεσόκλιμα μιας κοιλάδας εξαρτάται από τον προσανατολισμό της ως προς τη διεύθυνση του κύριου ανέμου. Αν βλέπει προς τη διεύθυνση αυτή, τότε η ροή του αέρα διοχετεύεται έντονα κατά μήκος του κάτω μέρους της κοιλάδας. Αν είναι προσανατολισμένη κάθετα σε αυτήν, τότε το κάτω μέρος της κοιλάδας προστατεύεται από τον αέρα. Όσον αφορά την ηλιακή ακτινοβολία, οι νοτιοανατολικές και νοτιοδυτικές πλαγιές είναι πολύ εκτεθειμένες, ενώ οι βορειοανατολικές και βορειοδυτικές λιγότερο. Η θερμοκρασία σε κάθε τοποθεσία καθορίζεται από τη

συνδυασμένη επίδραση του ανέμου και της ηλιακής ακτινοβολίας καθώς και της ύπαρξης και ποσότητας του συσσωρευμένου νερού στο κάτω μέρος της.

Η σχετική θερμότητα σε σχέση με τις γειτονικές περιοχές είναι αυτή που καθορίζει και το μεσόκλιμά της, καθώς είναι υπεύθυνη για τους ανέμους που δημιουργούνται στην περιοχή. Συγκεκριμένα ο θερμός αέρας της πόλης ανεβαίνει ψηλά και αντικαθίσταται από ψυχρό αέρα από την περιοχή της υπαίθρου. Η «παροχή» αυτή του αέρα από την υπαίθρο, «ανακουφίζει» σημαντικά τις πόλεις.

Τέλος στις ορεινές περιοχές οι πλαγιές κάθε όρους έχουν διαφορετικά κλιματικά χαρακτηριστικά, ανάλογα με τους ανέμους στους οποίους εκτίθενται. Σε μεγαλύτερα ύψη η βροχή, η οποία είναι συμπύκνωση υδρατμών σε μεγάλα ύψη λόγω πτώσης πίεσης, μετατρέπεται συχνά σε χιόνι.

1.2.3 Το μικροκλίμα

Το *μικροκλίμα* αναφέρεται στο φυσικό και αστικό περιβάλλον κάθε τοποθεσίας. Φυσικό περιβάλλον νοείται ο τύπος του εδάφους και η υγρασία του, ο τύπος και η ποσότητα της βλάστησης. Αστικό περιβάλλον νοείται η πυκνότητα και το ύψος της δόμησης, οι δρόμοι, τα πάρκα.

Το μικροκλίμα υφίσταται λόγω :

- της διαφορετικής ικανότητας των επιφανειών και των αντικειμένων να απορροφούν την ηλιακή ενέργεια ,
- της διαφορετικής ικανότητάς τους να τη μετατρέπουν σε θερμότητα,
- της διαφορετικής ποσότητας θερμότητας και υγρασίας που εκπέμπουν,
- της διαφορετικής επίδρασης που έχουν στην κίνηση του αέρα.

Συνεπώς τα μεγέθη που μελετώνται, σε σχέση με το μικροκλίμα κάθε περιοχής, είναι η ηλιακή ακτινοβολία, η υγρασία και ο άνεμος. Η θερμοκρασία καθορίζεται από την ηλιακή ακτινοβολία και τους ανέμους

1.3 Παράγοντες που καθορίζουν το κλίμα

1.3.1 Ηλιακή ακτινοβολία

Το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που λαμβάνεται σε μια τοποθεσία εξαρτάται από την τοπική βλάστηση και τα γειτονικά κτίρια. Ειδικότερα ο τύπος της βλάστησης

π.χ. αειθαλή ή φυλλοβόλα δέντρα παίζει σημαντικό ρόλο, καθώς μπορούν είτε να παρέχουν σκίαση και φιλτράρισμα της ακτινοβολίας είτε καθόλου σκίαση το χειμώνα αντίστοιχα. Επίσης μεγάλη σημασία έχουν το σχήμα, το μέγεθος, η θέση και κυρίως το ύψος των κτιρίων στην ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που διατίθεται σε κάθε σημείο μιας περιοχής.

1.3.2 Υγρασία

Η υγρασία του αέρα εξαρτάται κυρίως από το φυσικό περιβάλλον της περιοχής, δηλαδή από την παρουσία νερού αλλά και βλάστησης στην τοποθεσία, καθώς η διαδικασία της εξατμισοδιαπνοής στα φυτά απελευθερώνει μεγάλα ποσά υγρασίας. Επίσης στοιχεία του τεχνητού περιβάλλοντος όπως δεξαμενές, κανάλια και συντριβάνια επιφέρουν ύγρανση του αέρα.

1.3.3 Άνεμος

Κατά βάση τα δέντρα παρέχουν προστασία από τον άνεμο καθώς προκαλούν την επιβράδυνσή του κατάντι του φυλλώματός τους. Όσον αφορά τα κτίρια όμως, η διάταξή τους, το σχήμα και ο προσανατολισμός τους κάνουν τη μελέτη της κίνησης του αέρα αρκετά πολύπλοκη. Η πλευρά του κτιρίου που εκτίθεται στον άνεμο βρίσκεται σε υπερπίεση και η πλευρά κατάντι σε υποπίεση, ενώ δημιουργούνται και στροβιλισμοί στη βάση του κτιρίου αλλά και στο πίσω μέρος. Γενικά η ροή του ανέμου στις πόλεις είναι στροβιλώδης και αλλάζει εύκολα κατεύθυνση. Επίσης η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται με το ύψος πάνω από το έδαφος. Η θεωρία του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος εξηγεί την κίνηση του αέρα.

Θεωρία ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος

Καθώς η ατμόσφαιρα βρίσκεται σε σχετική κίνηση με τη γη, στο κατώτατο τμήμα της λόγω του ιξώδους του αέρα δημιουργείται ένα στρώμα αέρα, το ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα (ΑΟΣ), μέσα στο οποίο η σχετική ταχύτητα μεταβάλλεται από το μηδέν πάνω στην επιφάνεια της γης, μέχρι μεγαλύτερες τιμές. Το ύψος του ΑΟΣ δεν είναι σταθερό ούτε τοπικά, ούτε χρονικά και εξαρτάται από τη μορφή του στερεού ορίου (τραχύτητα του εδάφους) και την κατάσταση ευστάθειας της ατμόσφαιρας. Ειδικότερα το ΑΟΣ διαχωρίζεται στο

- α)στρωτό οριακό υπόστρωμα, το οποίο βρίσκεται σε επαφή με το έδαφος και έχει πάχος το πολύ μερικά χιλιοστά,

β)το επιφανειακό στρώμα που χαρακτηρίζεται από μικρής κλίμακας τύρβη και έχει πάχος κατά τη διάρκεια της ημέρας 100 μέτρα και

γ)το στρώμα Ekman, όπου το διάνυσμα της οριζόντιας συνιστώσας της ταχύτητας διαγράφει σπείρα γύρω από κατακόρυφο άξονα.

Η διανομή της ταχύτητας μέσα στο επιφανειακό στρώμα περιγράφεται με τον παρακάτω λογαριθμικό νόμο :

$$\frac{U}{u_*} = \frac{1}{k} \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

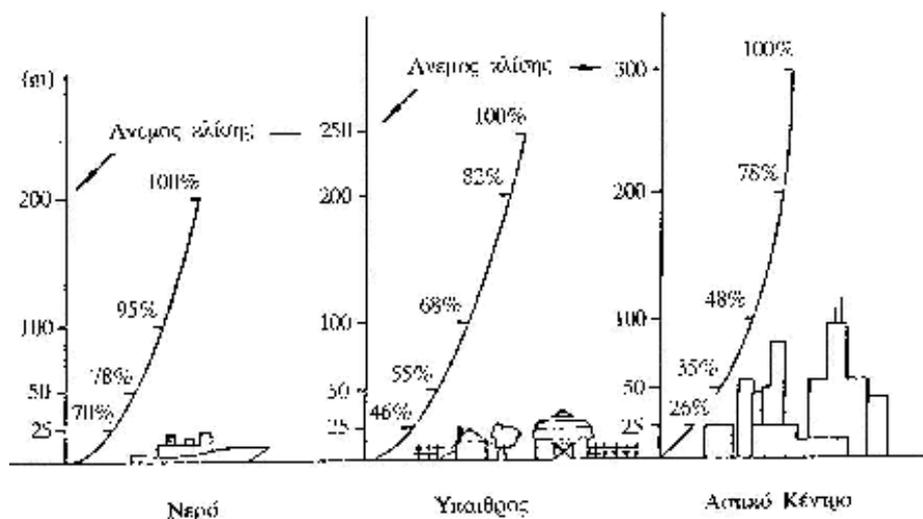
όπου U η οριζόντια συνιστώσα της ταχύτητας στο ύψος z,

u* η ταχύτητα τριβής,

k η σταθερά von Karman(=0.35) και

z₀ το μήκος τραχύτητας.

Συμπεραίνουμε από τη σχέση και από τα διαγράμματα ότι σε δοσμένο ύψος η ταχύτητα είναι χαμηλότερη στις πόλεις, όπου η τραχύτητα είναι μεγαλύτερη, απ' ότι στην ανοικτή ύπαιθρο. Επίσης το πάχος του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος μεταβάλλεται ανάλογα με την τραχύτητα του εδάφους, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 1.1 : Μεταβολή του πάχους του Α.Ο.Σ. ανάλογα με την τραχύτητα του εδάφους.

1.4 Αστικά μικροκλίματα

1.4.1 Ηλιακή ακτινοβολία – άνεμοι

Η πολυπλοκότητα και ποικιλία χαρακτηριστικών σε ένα αστικό περιβάλλον συνθέτουν ένα αρκετά ενδιαφέρον μωσαϊκό το οποίο και παρεμβαίνει στο μικροκλίμα της περιοχής. Το λεγόμενο *αστικό μικροκλίμα* επηρεάζεται όπως και κάθε μικροκλίμα από την ηλιακή ακτινοβολία, την υγρασία και τον άνεμο με τη διαφορά ότι η κατανομή των μεγεθών αυτών στην περίπτωση αστικού μικροκλίματος παρουσιάζει ιδιαιτερότητες και η μελέτη της είναι πολύπλοκη.

Σε γενικές γραμμές μπορούμε να πούμε ότι ο χειμώνας στο αστικό μικροκλίμα είναι ηπιότερος απ' ό τι σε αγροτικές περιοχές. Επικρατούν ελαφρώς υψηλότερες θερμοκρασίες και ασθενέστεροι άνεμοι, λόγω του αριθμού των εμποδίων που υπάρχουν και σύμφωνα με τη θεωρία του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος, που αναφέραμε παραπάνω. Τα πιο θερμά τμήματα της πόλης την ημέρα είναι οι φαρδιοί δρόμοι, ενώ τη νύχτα τα στενά δρομάκια αν και οι τοπικοί άνεμοι μπορεί να τροποποιήσουν τη διανομή της θερμοκρασίας.

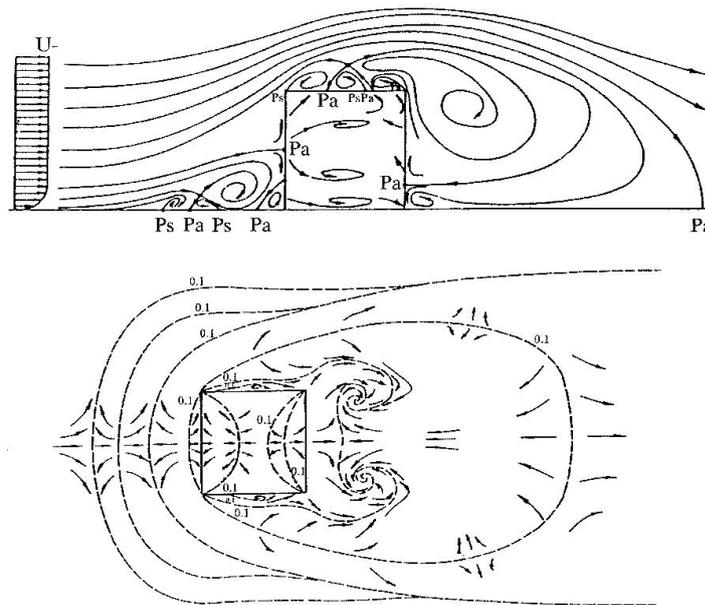
Ο χαρακτηρισμός της ροής του ανέμου σ' ένα δρόμο γίνεται με βάση τη γωνία πρόσπτωσης του ανέμου στο δρόμο. Έτσι λοιπόν έχουμε τρεις κατηγορίες:

- Ροή υπεράνω των κτιρίων παράλληλη στον άξονα του δρόμου. Κοντά στις κατακόρυφες επιφάνειες παρατηρείται ανοδική ροή.
- Ροή υπεράνω των κτιρίων κάθετη στον άξονα του δρόμου. Το είδος της ροής εντός του δρόμου ταξινομείται ανάλογα με τα ύψος των κτιρίων H , το πλάτος του δρόμου W και το μήκος του δρόμου L σε τρεις υποκατηγορίες :
 - i. Όταν $H/W < 0,3-0,4$ επιτυγχάνεται καλός αερισμός του χώρου γύρω από τα κτίρια.
 - ii. Όταν $0,3-0,4 < H/W < 0,7$ η επιφάνεια του προσήνεμου κτιρίου χαρακτηρίζεται από μικρές κατακόρυφες ταχύτητες αέρα και το δυναμικό φυσικού αερισμού των κτιρίων αυτών είναι σχετικά περιορισμένο.
 - iii. Όταν $H/W > 0,7$ ο αέρας που ρέει υπεράνω των κτιρίων πρακτικά δεν εισέρχεται στο δρόμο και το δυναμικό φυσικού αερισμού των κτιρίων αυτών είναι περιορισμένο.

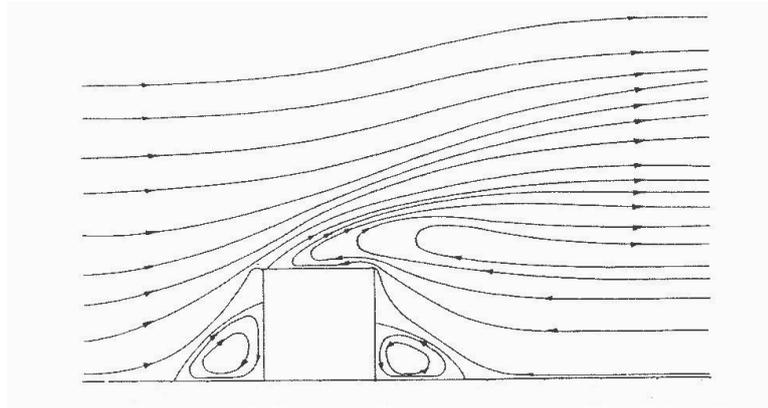
- Ροή υπεράνω των κτιρίων υπό γωνία προς τον άξονα του δρόμου. Η ροή ανάμεσα στα κτίρια χαρακτηρίζεται από ελικοειδή κίνηση κατά πλάτος του δρόμου και διαδίδεται ταυτόχρονα κατά μήκος του. Όταν $H/W > 0,7$ το δυναμικό φυσικού αερισμού των κτιρίων αυτών είναι σχετικά μικρό.

Όσον αφορά την ηλιακή ακτινοβολία, το ποσοστό που λαμβάνεται εξαρτάται από τις συνθήκες σκίασης που δημιουργούνται από τα γειτονικά κτίρια και τον προσανατολισμό τους. Η επίδραση της μάσκας σκίασης από κτίρια που βρίσκονται κατά μήκος του δρόμου ονομάζεται «οδική επίδραση» και εκφράζεται ως ποσοστό των ηλιακών κερδών.

Η κατεύθυνση και η ταχύτητα των ανέμων σε ένα αστικό μικροκλίμα καθορίζονται από τη διάταξη, το μέγεθος, το σχήμα, το ύψος και τον προσανατολισμό των κτιρίων και των κτιριακών συγκροτημάτων. Τυπικά παραδείγματα φαίνονται στο σχήμα 1.2 , ενώ πρέπει να αναφέρουμε ότι σε ορισμένες περιπτώσεις η συγκλίνουσα διάταξη των κτιρίων μπορεί να δημιουργήσει απότομη αύξηση της ταχύτητας του ανέμου, επικίνδυνη για την ασφάλεια των πεζών.



Σχήμα 1.2.α : Το πεδίο ροής ανέμου γύρω από κυβικό κτίριο.



Σχήμα 1.2.β : Το πεδίο ροής ανέμου γύρω από μακρόστενο κτίριο

1.4.2 Το φαινόμενο της θερμικής νησίδας

Η πιο σημαντική επίδραση μιας αστικής περιοχής στο μικροκλίμα και η πιο έκδηλη επίπτωση της αστικοποίησης είναι το φαινόμενο της *αστικής θερμικής νησίδας*, που εμφανίζεται στα κέντρα των πόλεων.

Κύριο χαρακτηριστικό του φαινομένου αυτού είναι η ανάπτυξη υψηλότερων θερμοκρασιών στο κέντρο της πόλης σε σχέση με τις γύρω αγροτικές περιοχές. Η αύξηση της θερμοκρασίας είναι αποτέλεσμα του θερμικού πλεονάσματος που προκαλεί διαταραχή στο θερμικό ισοζύγιο των πόλεων. Η θερμοκρασία των κτιρίων, αλλά και του εδάφους στις πόλεις είναι υψηλότερη από αυτή στην ύπαιθρο, καθώς αποθηκεύουν μεγάλα ποσά θερμότητας. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με τη μεγάλη θερμική αδράνεια των δομικών κατασκευών των πόλεων, που έχει σαν αποτέλεσμα την ετεροχρονισμένη εκπομπή θερμότητας, προκαλούν εκπομπές υψηλού επιπέδου και επιπλέον μεγάλου μήκους κύματος. Επιπλέον η ατμοσφαιρική ρύπανση με τη μεγάλη συγκέντρωση αερίων ρύπων, δημιουργεί επιπλέον νέφωση εγκλωβίζοντας έτσι τη θερμότητα. Τελικά η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται, αντανακλάται συνεχώς, παγιδεύεται και δεν διαφεύγει στην ατμόσφαιρα, αυξάνοντας έτσι τη θερμοκρασία, σε συνδυασμό και με την ελλιπή φυσική ψύξη.

Οι κύριοι παράγοντες που συνεισφέρουν στην εμφάνιση του φαινομένου της θερμικής νησίδας είναι οι εξής :

- Η γεωμετρία των κτιρίων και των αστικών δρόμων
- Οι θερμικές και οπτικές ιδιότητες των υλικών
- Η ανθρωπογενής θερμότητα
- Το φαινόμενο του θερμοκηπίου

- Η μειωμένη εξατμισοδιαπνοή και εξάτμιση
- Η μείωση της ροής του αέρα στους δρόμους

Σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία, η ένταση της θερμικής νησίδας μπορεί να φτάσει έως και 15 °C και σχετίζεται με τον πληθυσμό των πόλεων. Η θερμοκρασιακή διαφορά ανάμεσα στην πόλη και την ύπαιθρο υπολογίζεται συναρτήσει της μέσης τοπικής ταχύτητας του ανέμου και του πληθυσμού ως εξής :

$$\Delta\theta \cong \frac{\phi^{1/4}}{u_r^{1/2}} \quad ,$$

όπου $\Delta\theta = T_U - T_C$

T_U , η θερμοκρασία της πόλης

T_C , η θερμοκρασία της υπαίθρου

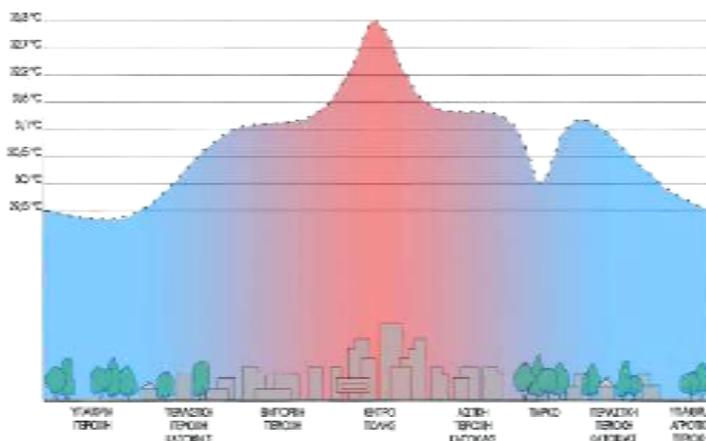
ϕ , ο πληθυσμός της πόλης

u_r , ταχύτητα του ανέμου.

Πρέπει να σημειώσουμε πάνω από μια μέγιστη τιμή της ταχύτητας του ανέμου, το φαινόμενο της θερμικής νησίδας παύει να εμφανίζεται. Η ταχύτητα αυτή σχετίζεται με τον πληθυσμό και δίνεται :

$$u_{lim} = 3,4 \log \phi - 11,6 .$$

Μετρήσεις της περιόδου 1996-2000 έχουν δείξει ότι η αύξηση της θερμοκρασίας στο κέντρο της Αθήνας το καλοκαίρι είναι γύρω στους 10°C και το χειμώνα είναι περίπου 8 °C.



Σχήμα 1.2 : Θερμική νησίδα σε αστικό περιβάλλον.

1.4.3 Το φαινόμενο της αστικής χαράδρας

Εκτός από τη θερμική νησίδα, εμφανίζεται στις πόλεις και το φαινόμενο της *αστικής χαράδρας*, το οποίο αφορά τη μείωση της ταχύτητας και την αλλαγή της διεύθυνσης του ανέμου καθώς και την θερμοκρασιακή διαστρωμάτωση του αέρα στους δρόμους των πόλεων.

Οι κατακόρυφες όψεις που περιβάλλουν έναν αστικό δρόμο δρουν όπως τα πλευρικά τοιχώματα μιας φυσικής χαράδρας που μεταβάλλει την στρωμάτωση των θερμοκρασιών και τα ανεμολογικά δεδομένα, ανάλογα με τα γεωμετρικά της χαρακτηριστικά και την απορροφητικότητα των επιφανειών. Η απορροφητικότητα των επιφανειών, η οποία μετράται μέσω του συντελεστή απορρόφησης στο ηλιακό φάσμα και του συντελεστή εκπομπής, επηρεάζει καταλυτικά τη θερμοκρασία τους. Μάλιστα σημαντικό ρόλο παίζει και το χρώμα της επιφάνειας. Τα σκούρα χρώματα παρουσιάζουν αυξημένη απορροφητικότητα, μεταβάλλοντας τη θερμοκρασία της επιφάνειας μέχρι και κατά 30°C.

Η διαστρωμάτωση της θερμοκρασίας παρατηρείται καθ' ύψος και κατά μήκος του δρόμου. Η πρώτη οφείλεται στην υψηλότερη θερμοκρασία στα χαμηλότερα στρώματα του δρόμου, λόγω εγκλωβισμού της θερμικής ακτινοβολίας, και η διαφορά αυτή είναι περίπου 1-2°C. Ενώ η δεύτερη οφείλεται στο γεγονός ότι κοντά στις επιφάνειες των τοίχων και γύρω από υλικά που δέχονται ηλιακή ακτινοβολία δημιουργείται ένα λεπτό θερμό στρώμα. Έτσι κατά πλάτος του δρόμου παρουσιάζεται θερμοκρασιακή διαφορά έως και 4°C και είναι προφανώς σημαντικότερη.

1.4 Το κλίμα της Ελλάδας

1.5.1 Περιγραφή κλίματος

Η Ελλάδα βρίσκεται μεταξύ των παραλλήλων 340 και 420 του Βορείου ημισφαιρίου και βρέχεται από την Ανατολική Μεσόγειο. Βρίσκεται σε ολόκληρη την έκτασή της στην εύκρατη ζώνη, ενώ μεγάλο ρόλο στη διαμόρφωση του κλίματός της παίζει η Μεσόγειος. Το κλίμα της έχει τα χαρακτηριστικά του Μεσογειακού κλίματος, δηλαδή ήπιους και υγρούς χειμώνες, σχετικά θερμά και ξηρά καλοκαίρια και μεγάλες περιόδους ηλιοφάνειας το χρόνο.

Στις διάφορες περιοχές της Ελλάδας παρουσιάζεται μια μεγάλη ποικιλία κλιματικών τύπων, πάντα μέσα στα πλαίσια του Μεσογειακού κλίματος. Αυτό οφείλεται στην τοπογραφική διαμόρφωση και το ανάγλυφο της χώρας που έχει μεγάλες διαφορές

υψομέτρου (μεγάλες οροσειρές κατά μήκος της κεντρικής χώρας και άλλοι ορεινοί όγκοι) και εναλλαγή ξηράς και θάλασσας. Είναι χαρακτηριστικό ότι κλιματικές διαφορές συναντώνται ακόμη και σε τόπους που βρίσκονται σε μικρή απόσταση μεταξύ τους, πράγμα που παρουσιάζεται σε λίγες μόνο χώρες σε όλο τον κόσμο.

Το έτος μπορεί να χωριστεί κυρίως σε δύο εποχές με βάση τα κλιματικά χαρακτηριστικά :

α) την ψυχρή και υγρή χειμερινή περίοδο που διαρκεί από τα μέσα του Οκτωβρίου και μέχρι το τέλος Μαρτίου και

β) τη θερμή και άνομβρη εποχή που διαρκεί από τον Απρίλιο έως τον Οκτώβριο.

Κατά την πρώτη περίοδο οι ψυχρότεροι μήνες είναι ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος, όπου κατά μέσον όρο η μέση ελάχιστη θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 5° - 10° C στις παραθαλάσσιες περιοχές, 0° – 5° C στις ηπειρωτικές περιοχές ενώ τιμές κάτω από το μηδέν εμφανίζονται στις βόρειες περιοχές. Οι βροχές ακόμη και τη χειμερινή περίοδο δεν διαρκούν πολλές ημέρες και ο ουρανός της Ελλάδας δεν μένει συνεφιασμένος για αρκετές συνεχόμενες ημέρες, όπως συμβαίνει σε άλλες περιοχές της γης. Επίσης χιονοπτώσεις σημειώνονται στους ορεινούς όγκους της χώρας αρκετά συχνά τους χειμερινούς μήνες σε υψόμετρο από 800m και πάνω, ενώ σπανιότερα μπορεί να σημειωθούν και σε πεδινές περιοχές. Οι χειμερινές κακοκαιρίες διακόπτονται συχνά κατά τον Ιανουάριο και το πρώτο δεκαπενθήμερο του Φεβρουαρίου από ηλιόλουστες ημέρες, τις γνωστές από την αρχαιότητα

“ Αλκονίδες ημέρες”. Αξίζει να αναφέρουμε ότι η χειμερινή εποχή είναι γλυκύτερη στα νησιά του Αιγαίου και του Ιονίου από ότι στη Βόρεια και Ανατολική Ελλάδα.

Κατά τη θερμή και άνομβρη εποχή ο καιρός είναι σταθερός, ο ουρανός σχεδόν αίθριος, ο ήλιος λαμπερός και δεν βρέχει εκτός από σπάνια διαλείμματα με ραγδαίες βροχές ή καταιγίδες μικρής όμως διάρκειας. Η θερμότερη περίοδος είναι το τελευταίο δεκαήμερο του Ιουλίου και το πρώτο του Αυγούστου. Κατά τη θερμή εποχή οι υψηλές θερμοκρασίες μετριάζονται από τη δροσερή θαλάσσια αύρα στις παράκτιες περιοχές της χώρας και από τους βόρειους ανέμους (μπουρίνια) που φυσούν κυρίως στο Αιγαίο. Η Άνοιξη έχει μικρή διάρκεια, διότι ο μεν χειμώνας είναι όψιμος, το δε καλοκαίρι αρχίζει πρόωγα. Το Φθινόπωρο είναι μακρύ και θερμό και πολλές φορές παρατείνεται στη Νότια Ελλάδα και μέχρι τα μισά του Δεκεμβρίου.

1.5.2 Τα κλιματολογικά στοιχεία της Ελλάδας (ΕΜΥ)

Τα στοιχεία που παρουσιάζονται παρακάτω προέρχονται από μετρήσεις στο μετεωρολογικό σταθμό του Ελληνικού Αττικής της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας.

Ύψος σταθμού : 15m

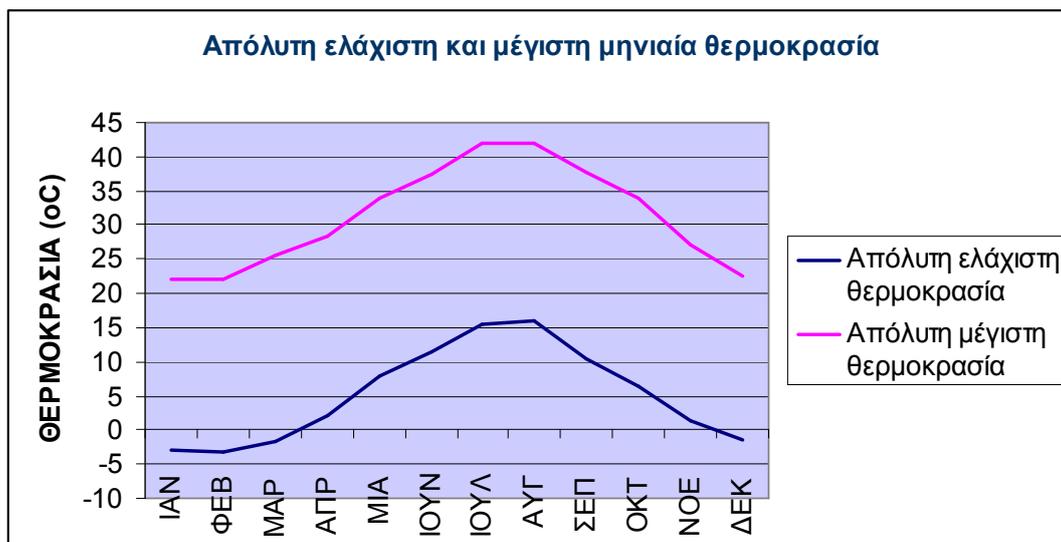
Γεωγραφικό μήκος (longitude): 23° 43'

Γεωγραφικό πλάτος (latitude) : 37° 58'

ΠΙΝΑΚΑΣ 1 – απόλυτη μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία

Μήνα	Απόλυτη ελάχιστη θερμοκρασία (°C)	Απόλυτη μέγιστη θερμοκρασία (°C)
ΙΑΝ	- 2,9	22,1
ΦΕΒ	- 3,2	22
ΜΑΡ	- 1,6	25,6
ΑΠΡ	2,2	28,4
ΜΑΙ	8	33,9
ΙΟΥΝ	11,5	37,5
ΙΟΥΛ	15,5	42
ΑΥΓ	16	41,9
ΣΕΠ	10,4	37,6
ΟΚΤ	6,3	33,8
ΝΟΕ	1,4	27
ΔΕΚ	- 1,4	22,5

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΙΝΑΚΑ 1



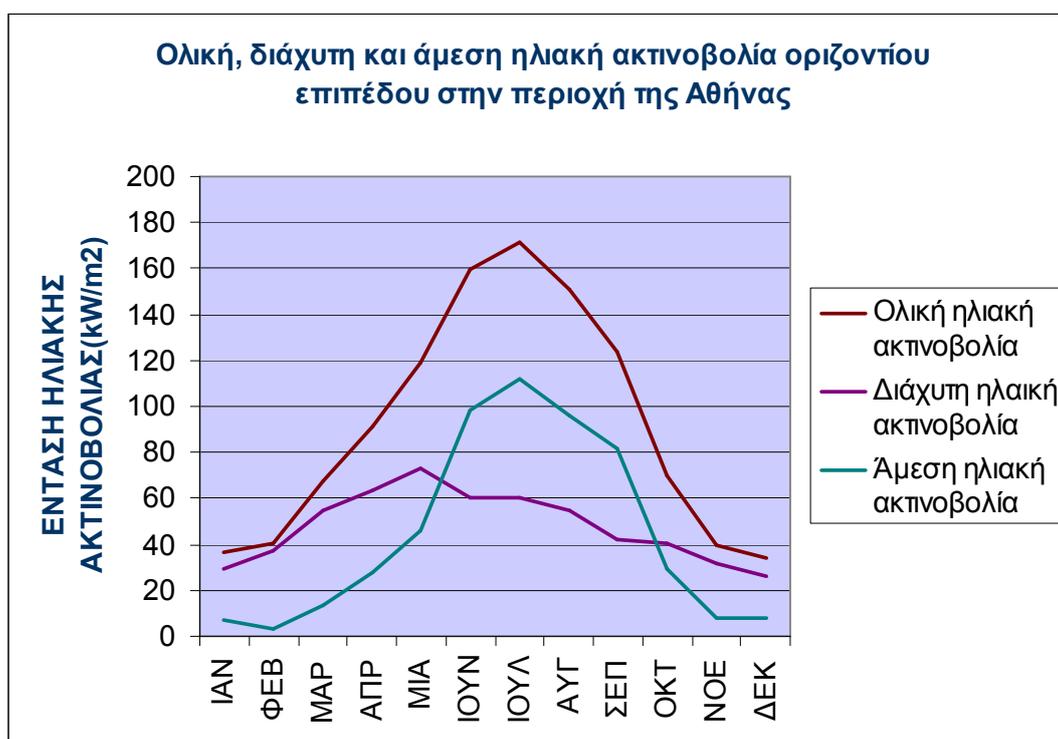
ΠΙΝΑΚΑΣ 2 Βαρομετρική πίεση, ταχύτητα ανέμου και μέση θερμοκρασία αέρα.

Μήνα	βαρομετρική πίεση (mmHg)	ταχύτητα ανέμου (m/sec)	μέση θερμοκρασία αέρα (°C)
ΙΑΝ	1017,8	3.8	10.3
ΦΕΒ	1016,6	3.5	10.6
ΜΑΡ	1015,6	3.6	12.3
ΑΠΡ	1013,4	3.2	15.9
ΜΑΙ	1013,8	3	20.7
ΙΟΥΝ	1012,9	3.4	25.2
ΙΟΥΛ	1011,7	4.2	28
ΑΥΓ	1012,2	4	27.8
ΣΕΠ	1015,3	3.4	24.2
ΟΚΤ	1017,6	3.4	19.5
ΝΟΕ	1018	3	15.4
ΔΕΚ	1017,2	3.6	12

ΠΙΝΑΚΑΣ 3

Μήνας	Ώρες ηλιοφάνειας (h)	Ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο(kW/m ²)	Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο(kW/m ²)	Άμεση ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο(kW/m ²)
ΙΑΝ	135,8	36,81	29,71	7,1
ΦΕΒ	126,5	40,67	37,34	3,33
ΜΑΡ	180,2	67,83	54,37	13,46
ΑΠΡ	225	90,92	63,34	27,58
ΜΑΙ	273,3	118,89	73,13	45,76
ΙΟΥΝ	338,3	159,23	60,54	98,69
ΙΟΥΛ	355,1	171,8	60,23	111,57
ΑΥΓ	334,2	151,09	55,12	95,97
ΣΕΠ	282,7	124,11	42,21	81,9
ΟΚΤ	205,6	69,97	40,45	29,52
ΝΟΕ	143,9	39,78	31,80	7,98
ΔΕΚ	134,5	34,05	26,09	7,96

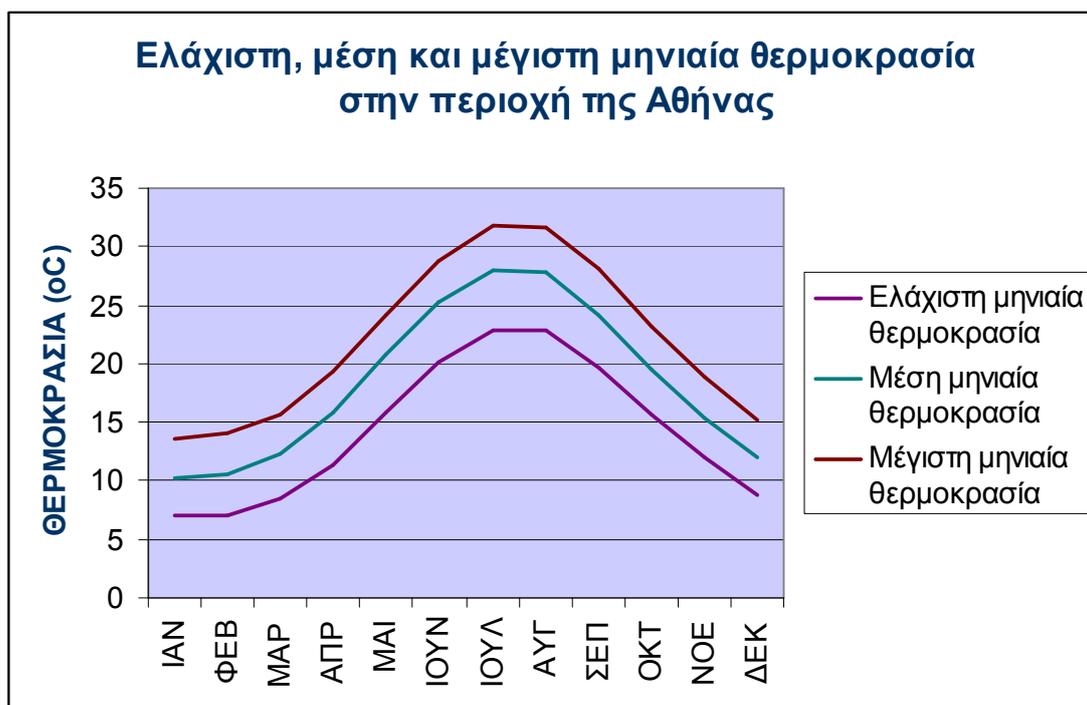
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΙΝΑΚΑ 3



ΠΙΝΑΚΑΣ 4 Ελάχιστη, μέση και μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία

Μήνας	Ελάχιστη μηνιαία θερμοκρασία (°C)	Μέση μηνιαία θερμοκρασία (°C)	Μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία (°C)
ΙΑΝ	7	10,3	13,6
ΦΕΒ	7,1	10,6	14,1
ΜΑΡ	8,4	12,3	15,7
ΑΠΡ	11,4	15,9	19,4
ΜΑΙ	15,8	20,7	24,1
ΙΟΥΝ	20,1	25,2	28,7
ΙΟΥΛ	22,8	28	31,8
ΑΥΓ	22,8	27,8	31,7
ΣΕΠ	19,6	24,2	28,2
ΟΚΤ	15,6	19,5	23,2
ΝΟΕ	12	15,4	18,8
ΔΕΚ	8,8	12	15,2

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΙΝΑΚΑ 4



ΠΙΝΑΚΑΣ 5 Ποσοστό μέσης μηνιαίας υγρασίας

Μήνας	Υγρασία(%)
ΙΑΝ	68,8
ΦΕΒ	68,0
ΜΑΡ	65,9
ΑΠΡ	62,6
ΜΑΙ	59,0
ΙΟΥΝ	52,8
ΙΟΥΛ	47,0
ΑΥΓ	47,1
ΣΕΠ	53,4
ΟΚΤ	62,1
ΝΟΕ	68,7
ΔΕΚ	70,2

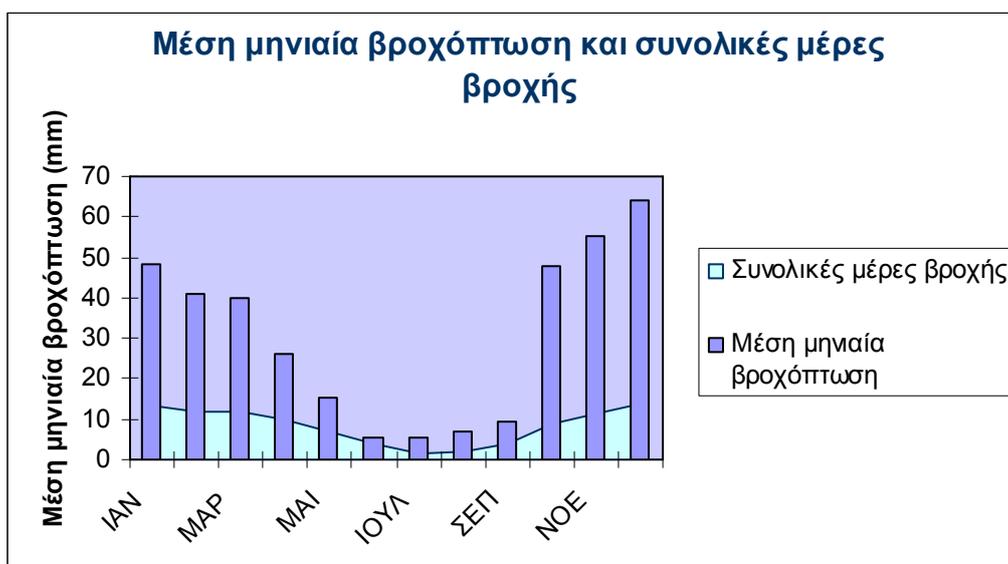
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΙΝΑΚΑ 5



ΠΙΝΑΚΑΣ 6 Μέση μηνιαία βροχόπτωση και συνολικές μέρες βροχής

Μήνα	Μέση μηνιαία βροχόπτωση(mm)	Συνολικές μέρες βροχή
ΙΑΝ	48,3	13,2
ΦΕΒ	40,9	11,8
ΜΑΡ	39,7	11,9
ΑΠΡ	26,0	9,7
ΜΑΙ	15,2	6,8
ΙΟΥΝ	5,6	3,7
ΙΟΥΛ	5,2	1,6
ΑΥΓ	7,0	1,8
ΣΕΠ	9,6	3,9
ΟΚΤ	47,8	8,9
ΝΟΕ	55,4	11,3
ΔΕΚ	64,1	13,7

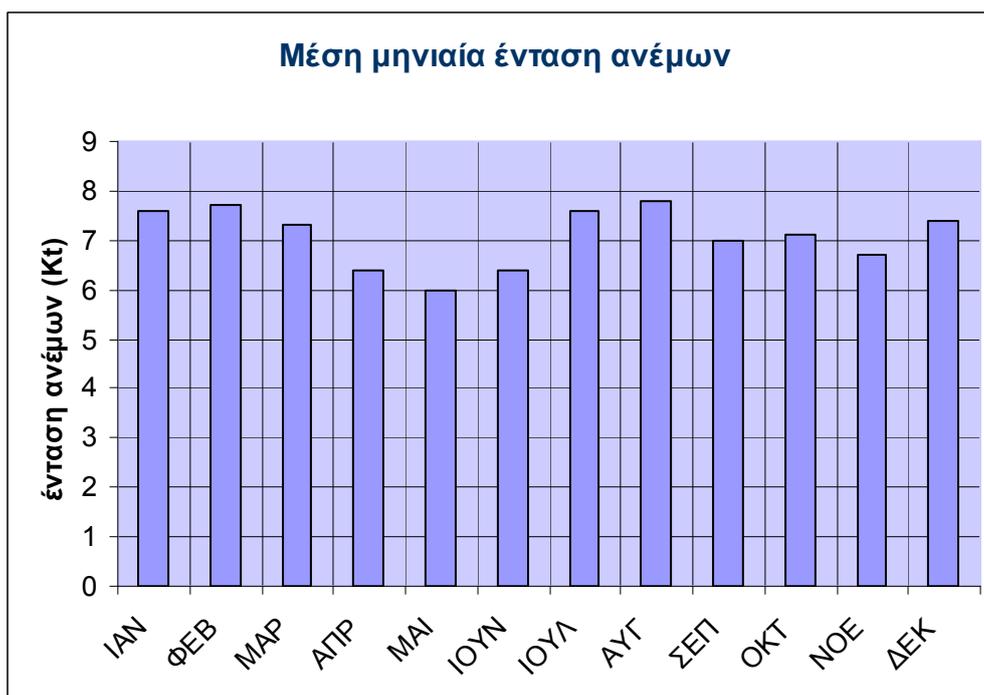
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΙΝΑΚΑ 6



ΠΙΝΑΚΑΣ 7 - Μέση μηνιαία ένταση ανέμων

Μήνας	Μέση μηνιαία ένταση ανέμων (Κt)
ΙΑΝ	7,6
ΦΕΒ	7,7
ΜΑΡ	7,3
ΑΠΡ	6,4
ΜΑΙ	6,0
ΙΟΥΝ	6,4
ΙΟΥΛ	7,6
ΑΥΓ	7,8
ΣΕΠ	7,0
ΟΚΤ	7,1
ΝΟΕ	6,7
ΔΕΚ	7,4

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΙΝΑΚΑ 7



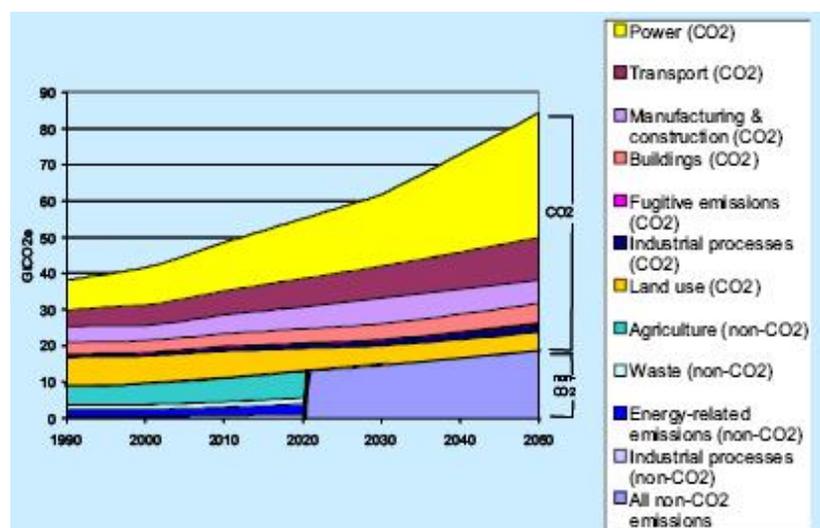
1.6 Κλιματική αλλαγή

1.6.1 Σε παγκόσμιο επίπεδο

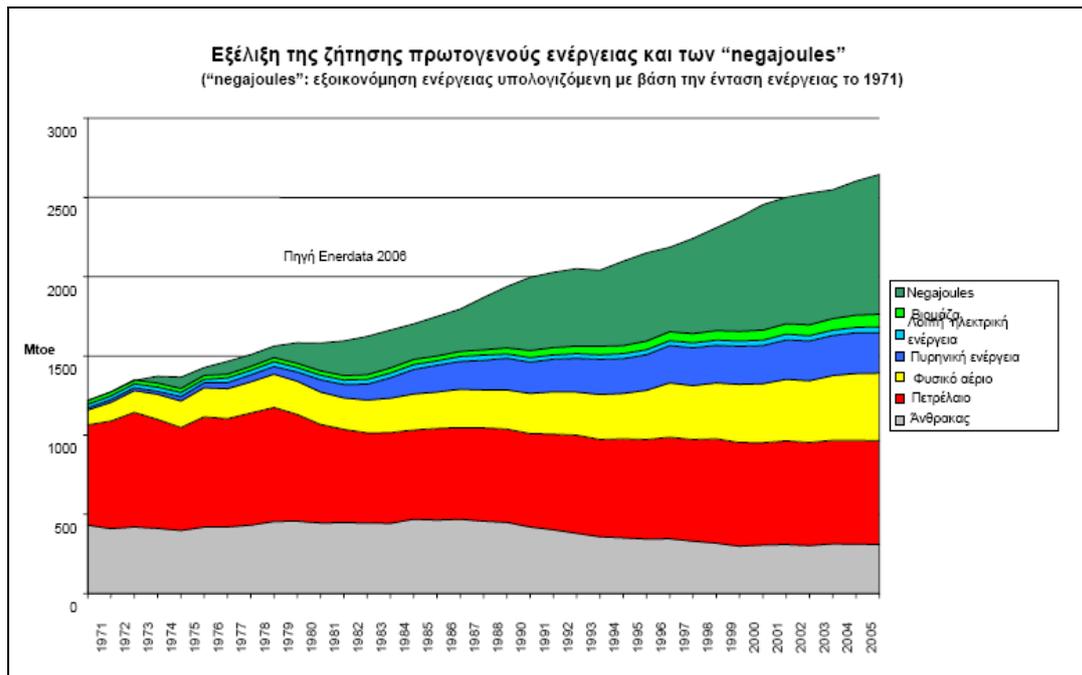
Ο όρος κλιματική αλλαγή αναφέρεται στην αλλαγή του παγκόσμιου κλίματος ως αποτέλεσμα των ανθρώπινων δραστηριοτήτων.

Πού οφείλεται η κλιματική αλλαγή

Είναι δεδομένο πως η αύξηση της συγκέντρωσης Αερίων του Θερμοκηπίου (ΑτΘ) στην ατμόσφαιρα είναι ο βασικός μηχανισμός που προκαλεί την κλιματική αλλαγή. Αυτή η αύξηση της συγκέντρωσης των ΑτΘ αποδίδεται κατά κύριο λόγο στις ανθρωπογενείς εκπομπές. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνονται οι ιστορικές και οι προβλεπόμενες εκπομπές ΑτΘ από το 1990 μέχρι το 2050, ανά τομέα δραστηριότητας.



Σχήμα 1.2.3 : Ιστορικές και προβλεπόμενες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από το 1990 ως το 2050



Σχήμα 1.4 : Εξέλιξη ζήτησης ενέργειας από το 1971 ως το 2005

Οι επιπτώσεις από την κλιματική αλλαγή

Η κλιματική αλλαγή θα επηρεάσει κάθε πτυχή του περιβάλλοντος αλλά και της κοινωνικής και οικονομικής δραστηριότητας. Ο πιο χαρακτηριστικός δείκτης της κλιματικής αλλαγής είναι η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη. Η έκθεση του Διακυβερνητικού Πάνελ για την κλιματική αλλαγή του 2001 (IPCC) επισημαίνει πως 11 από τα 12 τελευταία έτη είναι στα 12 θερμότερα έτη στην ιστορία, ενώ οι θερμοκρασίες στην Αρκτική αυξάνονται με διπλάσιο ρυθμό από τον παγκόσμιο μέσο όρο, οι παγετώνες της μειώνονται κατά 2,7% την δεκαετία και η στάθμη της θάλασσας ανεβαίνει με 3,1 χιλιοστά ετησίως. Ακόμη προβλέπει ότι η αύξηση της θερμοκρασίας μπορεί να φτάσει τους 6 βαθμούς μέχρι το 2100, ενώ νεώτερες μελέτες την ανεβάζουν στους 10 βαθμούς.

Πέρα από την αύξηση της θερμοκρασίας όμως, η κλιματική αλλαγή θα σημαίνει:

- Άνοδο της στάθμης της θάλασσας
- Εντονότερα ακραία καιρικά φαινόμενα
- Εξάπλωση ασθενειών
- Εντονότερα ακραία καιρικά φαινόμενα
- Εξάπλωση ασθενειών
- Εξαφάνιση ειδών
- Μόνιμους "κλιματικούς πρόσφυγες"

1.6.2 Στην Ελλάδα

Η ελληνική επιστημονική κοινότητα ξεκίνησε πρόσφατα την εφαρμογή κλιματικών μοντέλων περιοχικής κλίμακας, ώστε να παραχθεί λεπτομερής πληροφορία για το μελλοντικό κλίμα ανά περιοχή και για τις αναμενόμενες επιπτώσεις. Έτσι, στο τέλος του 2003 εγκαταστάθηκε και προσαρμόστηκε στο Ινστιτούτο Ερευνών Περιβάλλοντος του Εθνικού Αστεροσκοπείου το περιοχικό κλιματικό μοντέλο PRCCIS. Το μοντέλο αυτό αναπτύχθηκε στο Hadley Centre (Meteorological Office, Βρετανία) και βασίζεται στην τελευταία έκδοση του παγκόσμιου κλιματικού μοντέλου (HadCM3). Η τελευταία λοιπόν έκθεση του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, για το κλίμα στην Ελλάδα κατά το 2071-2100 προβλέπει :

- Μείωση των θερινών βροχοπτώσεων στη χώρα μας έως και 40% και μέση μέγιστη θερμοκρασία τον Ιούλιο πάνω από 40 βαθμούς Κελσίου.
- Για την πρωτεύουσα προβλέπεται ότι θα έχουμε 1.925 ημέρες με θερμοκρασία μεγαλύτερη των 37 βαθμών Κελσίου την περίοδο 2071-2100, ενώ το 1961-1990 ο συνολικός αριθμός ήταν μόνο 195 ημέρες.
- Κι ενώ ο συνολικός αριθμός των ημερών με θερμοκρασία μεγαλύτερη των 40 βαθμών ήταν το 1961-1990 μόνο 28, το 2071-2100 αναμένεται να είναι 1.078, μια αύξηση κατά 385%.

1.6.3 Ανάγκη λήψης μέτρων προστασίας

Όλες οι μελέτες που κατατίθενται και τα στοιχεία που παραθέτουν κρούουν τον κώδωνα του κινδύνου και καθιστούν άμεση και επιτακτική την ανάγκη λήψης μέτρων για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.

Τα μέτρα αυτά και γενικότερα η πολιτική αντιμετώπισης του φαινομένου έχουν δυο κύριους άξονες:

- ❖ Την μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου
- ❖ Την μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης

Όσον αφορά τις εκπομπές των αερίων, το πρόβλημα εντοπίζεται στις εκπομπές από τα μέσα μεταφοράς, καθώς ολοένα και αυξάνεται ο αριθμός των αυτοκινήτων που κυκλοφορούν στους δρόμους, και στις εκπομπές από σταθμούς παραγωγής ενέργειας.

Οι έρευνες λοιπόν εστιάζουν στην ανάπτυξη τεχνολογιών χρήσης «καθαρών» καυσίμων στα αυτοκίνητα π.χ. τεχνολογίες υδρογόνου, κυψέλες καυσίμων, ηλεκτρικό όχημα κ.α. και την χρήση εναλλακτικών μορφών ενέργειας και ανανεώσιμων πηγών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας π.χ. αιολική, ηλιακή, γεωθερμική,

υδροηλεκτρική ενέργεια κ.α. Είναι σημαντικό να σημειώσουμε ότι η παραγωγή και χρήση ενέργειας είναι υπεύθυνη για το 94% των εκπομπών CO₂ στην ατμόσφαιρα.

Ο δεύτερος άξονας, της μείωσης της ενεργειακής κατανάλωσης αφορά την κατασκευή και χρήση ηλεκτρικών συσκευών μειωμένης κατανάλωσης ρεύματος αλλά κυρίως αφορά την εξοικονόμηση ενέργειας στον κτιριακό τομέα, τριτογενή και οικιακό, όπου παρατηρείται αυξημένη κατανάλωση ενέργειας. Παράλληλα με την αυξημένη κατανάλωση ο κτιριακός τομέας κατέχει μεγάλο μερίδιο στις εκπομπές CO₂, συγκεκριμένα το 45%.

Μελέτες που έχουν γίνει υποστηρίζουν ότι το ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας για τα κτίρια είναι σημαντικά μεγάλο. Εκτιμούν μάλιστα ότι με απλές και ενεργειακά αποδοτικές τεχνικές, μπορεί να επιτευχθεί εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης του 22% μέχρι το 2020, μείωση της παρούσας χρήσης πετρελαίου κατά 10% και μείωση των εκπομπών αερίων ρύπων κατά 20%.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο - ΚΤΙΡΙΟ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΣΤΟΝ ΚΤΙΡΙΑΚΟ ΤΟΜΕΑ

2.1 Κτίριο και κλίμα

Το κάθε κτίριο αποτελεί ένα ξεχωριστό περιβάλλον με τις δικές του ξεχωριστές λειτουργίες. Δεν παύει όμως να είναι ενταγμένο σε ένα ευρύτερο αστικό περιβάλλον και να αλληλεπιδρά με αυτό. Οι λειτουργίες που συντελούνται μέσα στο κτίριο, καθώς και ο πληθυσμός που δραστηριοποιείται σε αυτό συμβάλλουν στη διαμόρφωση των συνθηκών του κτιρίου. Παράλληλα οι συνθήκες που επικρατούν σε ένα αστικό περιβάλλον επηρεάζουν άμεσα τις εσωτερικές συνθήκες ενός κτιρίου, καθορίζοντάς του έτσι σε μεγάλο βαθμό και τις ανάγκες του.

Η κατά τα τελευταία χρόνια αύξηση της θερμοκρασίας και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, όπως επίσης και η χρήση υλικών και συσκευών μη φιλικών προς το περιβάλλον έχουν συντελέσει στην εμφάνιση σημαντικών, ποιοτικά και ποσοτικά, περιβαλλοντικών και ενεργειακών προβλημάτων στα κτίρια.

Μάλιστα, λαμβάνοντας υπόψιν το γεγονός ότι ο κάτοικος των αστικών κέντρων βιώνει το 80% της ζωής του στο εσωτερικό των κτιρίων, είναι προφανής η επίδραση της ποιότητας του εσωτερικού κλίματος αυτών τόσο στην υγεία, όσο και την παραγωγικότητά του.

2.2 Κτίριο και ενέργεια

Ο τομέας των κτιρίων αποτελεί ίσως τον σημαντικότερο οικονομικό χώρο της Ευρώπης, παρουσιάζοντας ετήσιο κύκλο εργασιών που ξεπερνά τα 400 δις Ευρώ. Στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ο τομέας των κτιρίων απορροφά, κατά μέση τιμή, το 40% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης. Η ανά χώρα κύμανση ποικίλει από 20% για την Πορτογαλία, έως και 45% για την Ιρλανδία, ενώ στην Ελλάδα κυμαίνεται περίπου στο 30%.

Η ετήσια ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων στην Ελλάδα, είναι της τάξης των 4.6 Mtoe, και αντιστοιχούν 0.55 Mtoe ενέργειας ανά κάτοικο το έτος, δηλαδή περίπου το μισό της αντίστοιχης κατανάλωσης στην υπόλοιπη Ευρώπη. Η διαχρονική μεταβολή της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων στην Ελλάδα είναι καθαρά αυξητική και ο ετήσιος ρυθμός αύξησης της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων είναι περίπου 1,8%. Ειδικότερα, η αύξηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος στα μεγάλα αστικά

κέντρα έχει συντελέσει στην δραματική αύξηση της απαιτούμενης ενέργειας για τον δροσισμό των κτιρίων κατά την καλοκαιρινή περίοδο. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι η απαιτούμενη ενέργεια για τον δροσισμό ενός κτιρίου στο κέντρο της Αθήνας είναι σχεδόν διπλάσια από την απαιτούμενη στην περιφέρεια της πόλης.

Τα στατιστικά στοιχεία που διατίθενται για την ενεργειακή κατανάλωση στον κτιριακό τομέα δείχνουν ότι η θέρμανση των κτιρίων απαιτεί τα μεγαλύτερα ποσά ενέργειας.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1 – Μέση ετήσια ενεργειακή κατανάλωση διαφόρων τύπων κτιρίων ανά είδος χρήσης στην Ελλάδα (kWh/m²)

Τύπος Κτιρίου	Δροσισμός	Θέρμανση	Φωτισμός	Συσκευές	Σύνολο
Γραφεία	24	95	20	48	187
Εμπορικά	18	74	19	41	152
Σχολεία	2	66	16	8	92
Νοσοκομεία	3	299	52	53	407
Ξενοδοχεία	11	198	24	40	273

Σύμφωνα με μελέτη της Ομάδας Εξοικονόμησης Ενέργειας του Ινστιτούτου Ερευνών Περιβάλλοντος & Βιώσιμης Ανάπτυξης του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, περίπου 43% των ελληνικών κτιρίων έχουν κατανάλωση μεγαλύτερη από την μέση τιμή των ελληνικών καταγραφέντων κτιρίων, ενώ 18% έχουν μεγαλύτερη από την μέση τιμή των ευρωπαϊκών καταγραφέντων κτιρίων.

2.3 Ενεργειακή πολιτική σχετικά με τον κτιριακό τομέα

2.3.1 Κοινοτικό νομικό πλαίσιο

➤ Οδηγία **89/106/ΕΟΚ** της 21^{ης} Δεκεμβρίου 1988: ορίζει να γίνονται οι δομικές κατασκευές και οι εγκαταστάσεις θέρμανσης, ψύξης και αερισμού κατά τρόπο ώστε η απαιτούμενη κατανάλωση ενέργειας κατά τη χρησιμοποίηση του έργου να είναι χαμηλή, ανάλογα με τα κλιματικά δεδομένα του τόπου αλλά και τους χρήστες.

➤ Οδηγία **93/76/ΕΟΚ** της 13^{ης} Δεκεμβρίου 1993 : ορίζει ότι τα κράτη μέλη πρέπει να καταρτίζουν και εφαρμόζουν προγράμματα και να υποβάλουν σχετικές εκθέσεις για την ενεργειακή απόδοση στον κτιριακό τομέα.

➤ **30 Μαΐου 2000 και 5 Δεκεμβρίου 2000** : εγκρίνεται πρόγραμμα δράσης της Κοινότητας για την ενεργειακή απόδοση και ζητείται λήψη ειδικών μέτρων στον τομέα των κτιρίων.

➤ Οδηγία **2002/91/ΕΚ** της 16^{ης} Δεκεμβρίου 2002 :

Στο άρθρο 1 αναφέρεται ο στόχος της οδηγίας, ο οποίος είναι η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων εντός της Κοινότητας, λαμβάνοντας υπόψη τις εξωτερικές κλιματολογικές και τοπικές συνθήκες, καθώς και τις κλιματικές απαιτήσεις των εσωτερικών χώρων και τη σχέση κόστους/οφέλους.

Επίσης επισημαίνεται το δυναμικό εξοικονόμησης σε σχέση με τον σχεδιασμό και τον προσανατολισμό του κτιρίου.

Η πρόταση καλύπτει τέσσερα βασικά στοιχεία:

- Καθιέρωση γενικού πλαισίου κοινής μεθοδολογίας για τον υπολογισμό της ολοκληρωμένης ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων.
- Εφαρμογή προτύπων ελάχιστης ενεργειακής απόδοσης για νέα κτίρια και ορισμένα υφιστάμενα κτίρια κατά την ανακαίνισή τους.
- Προγράμματα πιστοποίησης για νέα και υφιστάμενα κτίρια βάσει των ανωτέρω προτύπων και δημόσια επίδειξη των πιστοποιητικών ενεργειακής απόδοσης.
- Ειδική επιθεώρηση και αξιολόγηση των λεβήτων και των εγκαταστάσεων θέρμανσης/ψύξης.

Παρακάτω παρατίθεται το γενικό πλαίσιο που προβλέπεται από την παρούσα οδηγία και αφορά τη μεθοδολογία υπολογισμού ενεργειακής απόδοσης κτιρίων.

Γενικό πλαίσιο για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων:

1. Η μέθοδος υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων πρέπει τουλάχιστον να περιλαμβάνει τους ακόλουθους παράγοντες:

- α) θερμικά χαρακτηριστικά του κτιρίου
- β) εγκατάσταση θέρμανσης και τροφοδοσία θερμού νερού,

- γ) εγκατάσταση κλιματισμού
- δ) αερισμό
- ε) ενσωματωμένη εγκατάσταση φωτισμού
- στ) θέση και προσανατολισμό των κτιρίων
- ζ) παθητικά ηλιακά συστήματα και ηλιακή προστασία
- η) φυσικό αερισμό
- θ) εσωτερικές κλιματικές συνθήκες, στις οποίες περιλαμβάνονται οι επιδιωκόμενες εσωτερικές κλιματικές συνθήκες.

2. Στον υπολογισμό αυτόν θα συνεκτιμάται, κατά περίπτωση, η θετική επίδραση των ακόλουθων παραγόντων:

- α) ενεργά ηλιακά συστήματα και άλλα συστήματα θέρμανσης και ηλεκτρικά συστήματα βασιζόμενα σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας
- β) ηλεκτρική ενέργεια παραγόμενη με ΣΠΗΘ
- γ) συστήματα κεντρικής θέρμανσης και ψύξης
- δ) φυσικός φωτισμός

3. Για το σκοπό αυτού του υπολογισμού, τα κτίρια θα κατατάσσονται σε κατηγορίες όπως:

- α) οικογενειακές κατοικίες διαφόρων τύπων
- β) συγκροτήματα διαμερισμάτων
- γ) γραφεία
- δ) εκπαιδευτικά κτίρια
- ε) νοσοκομεία
- στ) ξενοδοχεία και εστιατόρια
- ζ) αθλητικές εγκαταστάσεις
- η) κτίρια υπηρεσιών χονδρικού και λιανικού εμπορίου
- θ) άλλα είδη κτιρίων που καταναλώνουν ενέργεια.

➤ **Πράσινη βίβλος 2005** : εκτιμά ότι η εφαρμογή της κοινοτικής οδηγίας 2002/91 θα αποδώσει κέρδος 40 Μταπ μέχρι το 2020. Ακόμη αναφέρει ότι, καθώς το 1/3 της ενεργειακής κατανάλωσης στον οικιακό τομέα αντιστοιχεί στο φωτισμό, η Κοινότητα πρέπει να προωθήσει τη χρήση πιο μοντέρνου, ενεργειακά οικονομικού και «έξυπνου» φωτισμού.

➤ **Πράσινη βίβλος 2006** : προτείνει μακροχρόνιες στοχοθετημένες εκστρατείες για την ενεργειακή απόδοση, συμπεριλαμβανομένης της απόδοσης στα κτίρια, ιδίως στα δημόσια.

➤ **Οδηγία 2006/32/EK** : στο άρθρο 1 αναφέρεται ότι σκοπός της παρούσας οδηγίας είναι να ενισχυθεί η οικονομικώς αποτελεσματική βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κατά την τελική χρήση στα κράτη μέλη.

Σύμφωνα με την παρούσα οδηγία, τα κράτη μέλη θεσπίζουν και προσπαθούν να επιτύχουν εθνικό ενδεικτικό στόχο εξοικονόμησης ενέργειας 9 % για το ένατο έτος εφαρμογής της, με τη βοήθεια ενεργειακών υπηρεσιών και άλλων μέτρων βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης. Παρακάτω παρατίθεται το γενικό πλαίσιο που προβλέπεται και αφορά τη μεθοδολογία υπολογισμού του εθνικού ενδεικτικού στόχου εξοικονόμησης ενέργειας :

Μεθοδολογία για τον υπολογισμό του εθνικού ενδεικτικού στόχου εξοικονόμησης ενέργειας

1. Τα κράτη μέλη χρησιμοποιούν την ετήσια τελική εγχώρια ενεργειακή κατανάλωση των χρηστών που εμπίπτουν στο πεδίο εφαρμογής της παρούσας οδηγίας, κατά την τελευταία πενταετία πριν από την εφαρμογή της παρούσας οδηγίας για την οποία υπάρχουν επίσημα δεδομένα, για να υπολογίσουν μια ετήσια μέση κατανάλωση. Βάσει αυτής της ετήσιας μέσης κατανάλωσης, ο εθνικός ενδεικτικός στόχος εξοικονόμησης υπολογίζεται μια φορά, και η προκύπτουσα απόλυτη ποσότητα ενέργειας προς εξοικονόμηση ισχύει για όλη τη διάρκεια ισχύος της παρούσας οδηγίας. Ο εθνικός ενδεικτικός στόχος εξοικονόμησης ενέργειας:

- α) συνίσταται στο 9 % της προαναφερθείσας ετήσιας μέσης κατανάλωσης
- β) μετράται μετά το ένατο έτος εφαρμογής της παρούσας οδηγίας
- γ) είναι το αποτέλεσμα της σωρευτικής ετήσιας εξοικονόμησης ενέργειας που επιτυγχάνεται καθ' όλη την περίοδο των εννέα ετών εφαρμογής της παρούσας οδηγίας
- δ) επιτυγχάνεται με τις ενεργειακές υπηρεσίες και τα άλλα μέτρα βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης.

Αυτή η μεθοδολογία για τη μέτρηση της εξοικονόμησης ενέργειας εξασφαλίζει ότι η συνολική εξοικονόμηση ενέργειας που προβλέπεται από την παρούσα οδηγία είναι

σταθερό ποσό, και, συνεπώς, δεν εξαρτάται από μελλοντική αύξηση του ΑΕΠ και από τυχόν μελλοντική αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης.

2. Ο εθνικός ενδεικτικός στόχος εξοικονόμησης ενέργειας εκφράζεται σε απόλυτες τιμές ως GWh.

3. Κατά τον υπολογισμό της ετήσιας εξοικονόμησης ενέργειας, μπορεί να λαμβάνεται υπόψη η εξοικονόμηση ενέργειας κατά τη διάρκεια ενός έτους μετά την έναρξη ισχύος της παρούσας οδηγίας, η οποία προκύπτει από την εφαρμογή μέτρων βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης που δρομολογήθηκαν σε προηγούμενο έτος, άλλα όχι πριν από το 1995, και η οποία παρουσιάζει διάρκεια. Τα μέτρα τεχνολογικής φύσεως πρέπει είτε να προσαρμόζονται στα τελευταία δεδομένα, ώστε να λαμβάνεται υπόψη η πρόοδος της τεχνολογίας, ή να αξιολογούνται σε σχέση με την επίδοση αναφοράς για κάθε μέτρο.

Παρακάτω αναφέρονται παραδείγματα επιλέξιμων μέτρων βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης:

Τομέας κατοικίας και τριτογενής τομέας

- α) Θέρμανση, ψύξη, κλιματισμός (π.χ. αντλίες θερμότητας, νέοι αποδοτικοί λέβητες)
- β) μόνωση και αερισμός (π.χ. διάκενα τοίχων και μόνωση στεγών, διπλοί/τριπλοί υαλοπίνακες παραθύρων, παθητική θέρμανση και ψύξη)
- γ) ζεστό νερό
- δ) φωτισμός (π.χ. νέοι αποδοτικοί λαμπτήρες και στραγγαλιστικά πηνία, ψηφιακά συστήματα ελέγχου, χρήση ανιχνευτών κίνησης για συστήματα φωτισμού εμπορικών κτιρίων)
- ε) μαγείρεμα και ψύξη (π.χ. νέες αποδοτικές συσκευές, συστήματα ανάκτησης θερμότητας)
- στ) άλλος εξοπλισμός και συσκευές (π.χ. συσκευές συμπαραγωγής θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας, νέες αποδοτικές συσκευές, χρονορυθμιστικές διατάξεις, μείωση απωλειών σε κατάσταση εφεδρείας)
- ζ) οικιακή παραγωγή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

➤ **Λευκή βίβλος 2006** : αναφέρει ότι η κατανάλωση ενέργειας στον οικιακό τομέα και τον τομέα των υπηρεσιών μπορεί να μειωθεί σημαντικά αν ληφθούν μέτρα ορθολογικής χρήσης της ενέργειας τόσο για το κέλυφος των κτιρίων, όσο και για το

φωτισμό, τη θέρμανση, τον αερισμό και την ψύξη, χρησιμοποιώντας επίσης τεχνολογίες ανανεώσιμης ενέργειας. Συγκεκριμένα η μείωση υπολογίζεται ότι μπορεί να φτάσει το 50% στην Ευρωπαϊκή Ένωση μέχρι το 2010 και προτείνονται ειδικότερα μέτρα για εισαγωγή ανανεώσιμης ενέργειας στα κτίρια :

- χρήση ηλιακής ενέργειας για θέρμανση, ψύξη και ζεστό νερό
- εγκατάσταση παραθύρων και σκιάστρων υψηλής αποδοτικότητας
- χρήση φυσικού αερισμού
- προώθηση οικολογικών δομικών υλικών

➤ **Σχέδιο δράσης 2007-2012** : προτείνεται σχέδιο δράσης με σκοπό να αξιοποιηθεί το δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας. Στο σχέδιο απαριθμείται σειρά μέτρων που συμφέρουν οικονομικά και προτείνονται κατά προτεραιότητα δράσεις προς άμεση ανάληψη, και άλλες προς σταδιακή δρομολόγηση στη διάρκεια των έξι ετών εφαρμογής του σχεδίου. Θα απαιτηθούν περαιτέρω δράσεις ώστε να αξιοποιηθεί το πλήρες δυναμικό μέχρι το 2020.

Μεταξύ άλλων ορίζεται η "παθητική κατοικία": συνήθως σπίτι χωρίς παραδοσιακά συστήματα θέρμανσης και χωρίς ενεργητική ψύξη. Αυτό μπορεί να σημαίνει πολύ καλά επίπεδα μόνωσης και ένα σύστημα μηχανικού αερισμού με πολύ υψηλής απόδοσης ανάκτηση θερμότητας.

Ως πρώτη προτεραιότητα ορίζεται η ενεργειακή απόδοση στον κτιριακό τομέα.

2.3.2 Εθνικό νομικό πλαίσιο

➤ **ΦΕΚ 320Δ/1979 - Κανονισμός θερμομόνωσης** : εγκρίθηκε το 1979 και σύμφωνα με αυτόν η χώρα χωρίζεται σε 3 κλιματικές ζώνες : Α, Β, Γ . Η ζώνη Γ είναι αυτή με τις μεγαλύτερες θερμομονωτικές απαιτήσεις. Κριτήρια για το διαχωρισμό αυτό ήταν η μέση ελάχιστη θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα και η μέση διάρκεια της περιόδου θέρμανσης.

Βάσει του κανονισμού καθορίζονται :

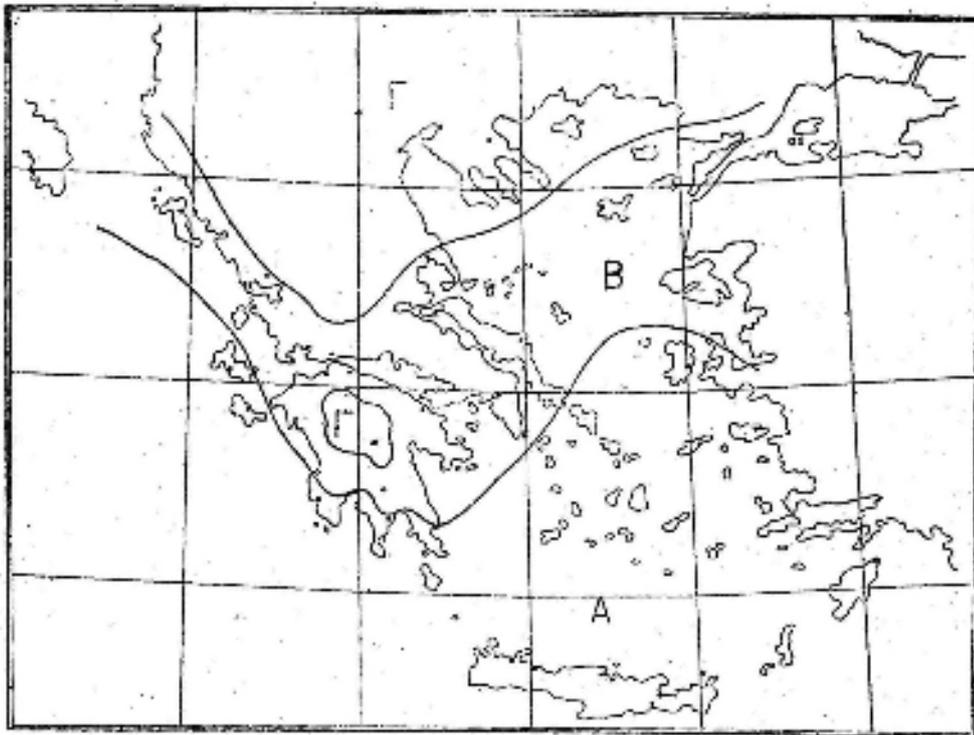
- οι μέσες ελάχιστες θερμοκρασίες πόλεων-περιοχών.
- οι συνιστώμενες επιθυμητές θερμοκρασίες των χώρων διαμονής και εργασίας.

- οι θερμοκρασίες για τους μη θερμαινόμενους χώρους του κτιρίου και για τυχόν γειτονικά κτίσματα.

Ο Κανονισμός Θερμομόνωσης ορίζει :

- Ανώτατο όριο για το συντελεστή θερμοπερατότητας K_{max} για κάθε δομικό στοιχείο του κελύφους του κτιρίου
- Μέγιστο επιτρεπόμενο μέσο συντελεστή θερμοπερατότητας K_m των εξωτερικών τοιχωμάτων (τοιχών και ανοιγμάτων) του κάθε ορόφου του κτιρίου. ($K_m (W,F) = 1,60 \text{ kcal/m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}$)
- Μέγιστο επιτρεπόμενο μέσο συντελεστή θερμοπερατότητας K_m ολόκληρου του κτιρίου, ο οποίος αναφέρεται σε όλο το κέλυφος του κτιρίου, που το διαχωρίζει από το περιβάλλον ή από μη θερμαινόμενους χώρους και είναι συνάρτηση της ζώνης που ανήκει το κτίριο και του λόγου F/V (F : η εξωτερική επιφάνεια του κτιρίου μέσω της οποίας γίνεται η συναλλαγή θερμότητας και V : ο όγκος που περικλείει η επιφάνεια F).

Ο χάρτης της Ελλάδας χωρισμένος στις τρεις ζώνες θερμομόνωσης φαίνεται στο σχ. 1.



Σχήμα 1 : Χάρτης κατανομής της χώρας σε ζώνες θερμομόνωσης

➤ **ΦΕΚ 4/Α του 1985** , **ν.1512/85** : περιλαμβάνει διατάξεις που αφορούν «κίνητρα για εξοικονόμηση ενέργειας»

➤ **ΦΕΚ 210/Α/18-12-1985** , **ν.1577/85** : **Γενικός Οικοδομικός Κανονισμός**

➤ **ΦΕΚ 59/Β του 1989 : Κτιριοδομικός Κανονισμός** : Σύμφωνα με το άρθρο 11 του Κτιριοδομικού Κανονισμού, όλοι οι χώροι κύριας χρήσης των κτιρίων και δομικών έργων πρέπει να έχουν επαρκή φυσικό φωτισμό και αερισμό, άμεσο ή έμμεσο. Ανάλογα με τη χρήση του κτιρίου οι ανάγκες θα καλύπτονται στο απαιτούμενο ποσοστό από φυσικό φωτισμό και αερισμό. Ιδιαίτερα άμεσο φωτισμό και αερισμό πρέπει να έχουν οι χώροι άθλησης, οι θάλαμοι νοσηλείας ή περίθαλψης, τα μαγειρεία, τα αναγνωστήρια βιβλιοθηκών, τα εργαστήρια, τα εστιατόρια κ.α.

➤ **ΦΕΚ 880/Β της 19^{ης} Αυγούστου 1998** – **εμπεριέχεται ο Κανονισμός για την Ορθολογική Χρήση και Εξοικονόμηση Ενέργειας (ΚΟΧΕΕ):**

εκδίδεται με σκοπό την ενσωμάτωση στο εθνικό δίκαιο της κοινοτικής οδηγίας 93/76/ΕΟΚ του 1993.

Στο άρθρο 4 του ΦΕΚ θεσπίζεται ο Κανονισμός για την Ορθολογική Χρήση και Εξοικονόμηση Ενέργειας (ΚΟΧΕΕ) :

Ο ΚΟΧΕΕ αντικαθιστά τον ισχύοντα κανονισμό θερμομόνωσης και έχει εφαρμογή σε όλα τα νεοανεγερμένα κτίρια για την μελέτη και κατασκευή τους, καθώς και σε υφιστάμενα κτίρια για τη μελέτη των αναγκαίων επεμβάσεων βελτίωσης της ενεργειακής τους απόδοσης. Επιβάλλει την εκπόνηση μελετών, όπως ενεργειακή μελέτη για την εκτίμηση του βαθμού ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων και ενεργειακή επιθεώρηση για την πιστοποίηση του πραγματοποιούμενου βαθμού ενεργειακής απόδοσης και την κατάταξη τους στην αντίστοιχη ενεργειακή κατηγορία (βαθμονόμηση). Τα στοιχεία της ενεργειακής μελέτης και της επιθεώρησης αναγράφονται στο ειδικό έντυπο (ΔΕΤΑ), το οποίο αποτελεί αναπόσπαστο στοιχείο της οικοδομικής άδειας του κτιρίου και είναι απαραίτητο σε όλες τις δικαιοπραξίες που καταρτίζονται για το ακίνητο.

Στόχοι του ΚΟΧΕΕ είναι :

- Η εξοικονόμηση συμβατικής ενέργειας για την θέρμανση, την ψύξη, τον αερισμό, τον φωτισμό και το ζεστό νερό χρήσης, με συγκεκριμένους κανόνες και διατάξεις που περιορίζουν τις ενεργειακές ανάγκες.
- Η υποκατάσταση της συμβατικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για την κάλυψη μέρους ή του συνόλου των αναγκών σε ενέργεια στα κτίρια σε συνδυασμό με εφαρμογή των αρχών του βιοκλιματικού σχεδιασμού.
- Η εξασφάλιση υγιεινής και άνετης διαβίωσης των ενοίκων του κτιρίου με τη διατήρηση των επιπέδων θερμικής και οπτικής άνεσης, καθώς και της καλής ποιότητας του εσωτερικού αέρα.
- Η οικονομία στο κόστος κατασκευής και λειτουργίας (αποδοτικής) των εγκαταστάσεων θέρμανσης - κλιματισμού.

Τα περιεχόμενα του ΚΟΧΕΕ είναι:

- Οι όροι και προϋποθέσεις για τον βέλτιστο σχεδιασμό των κτιρίων και τη θερμική τους προστασία και ο καθορισμός των ορίων θερμικής άνεσης.
- Ανώτατα επιτρεπόμενα όρια κατανάλωσης συμβατικής ενέργειας .
- Κλιματικές ζώνες για όλη τη χώρα.
- Παράμετροι θερμικών απωλειών του κτιρίου, απαιτήσεις σε θερμομόνωση του κελύφους, μέγιστοι επιτρεπόμενοι συντελεστές θερμοπερατότητας.
- Παράμετροι θερμικών συνεισφορών στα κτίρια .
- Παράμετροι για τη φυσική ψύξη του κτιρίου.
- Χαρακτηριστικά των υλικών κατασκευής .
- Υπολογισμοί ενεργειακών αναγκών του κτιρίου και τρόπος εκπόνησης ενεργειακής μελέτης.
- Παράμετροι και κριτήρια για την εκπόνηση μελέτης βιοκλιματικού σχεδιασμού του κτιρίου ως συμπληρώματος της αρχιτεκτονικής μελέτης του κτιρίου και στοιχείου της ενεργειακής μελέτης αυτού.
- Παράμετροι για τη συμπλήρωση της μελέτης Η/Μ εγκαταστάσεων με τη μελέτη εγκατάστασης και ένταξης ΕΗΣ ή / και Φ/Β, εφόσον προβλέπονται, ως στοιχεία της ενεργειακής μελέτης του κτιρίου.
- Μέθοδος υπολογισμού απαιτήσεων μελέτης φωτισμού - φυσικού και τεχνητού - με βάση τη χρήση του κτιρίου.

- Ειδικό έντυπο ΔΕΤΑ όπου αναγράφονται τα αποτελέσματα όλων των υπολογισμών των σχετικών μελετών και όπου καταγράφεται ο σχεδιαζόμενος βαθμός ενεργειακής απόδοσης και η ενεργειακή κατηγορία του κτιρίου.
- Τρόποι διενέργειας περιοδικών ενεργειακών επιθεωρήσεων.
- Σύστημα και διαδικασία ενεργειακής πιστοποίησης και βαθμονόμησης κτιρίων.
- Έντυπο - πιστοποιητικό που συμπληρώνεται κατά τις περιοδικές ενεργειακές επιθεωρήσεις.

➤ **ΦΕΚ 89/Α της 19^{ης} Μαΐου 2008** : με τις διατάξεις του νόμου 3661, εναρμονίζεται η ελληνική νομοθεσία με την Οδηγία 2002/91/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 16ης Δεκεμβρίου 2002 «Για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων».

Συγκεκριμένα :

- εγκρίνεται Κανονισμός ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων
- τα νέα κτίρια πρέπει να πληρούν τις ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης που ορίζονται στον Κανονισμό.
- στα υφιστάμενα κτίρια συνολικής επιφάνειας άνω των 1.000 m², που υφίστανται ριζική ανακαίνιση, η ενεργειακή απόδοσή τους αναβαθμίζεται, στο βαθμό που αυτό είναι τεχνικά, λειτουργικά και οικονομικά εφικτό, ώστε να πληρεί τις ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης, όπως αυτές καθορίζονται στον Κανονισμό.
- με την ολοκλήρωση της κατασκευής νέου κτιρίου ή την ριζική ανακαίνιση υφιστάμενου κτιρίου, ο ιδιοκτήτης υποχρεούται να ζητήσει την έκδοση πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης, το οποίο εκδίδεται από διαπιστευμένους ενεργειακούς επιθεωρητές και ισχύει, κατά ανώτατο όριο, για δέκα (10) έτη.
- ορίζεται ενεργειακή επιθεώρηση λεβήτων και εγκαταστάσεων κλιματισμού με σκοπό τη μείωση των εκπομπών CO₂ .

➤ **ΦΕΚ 140/Α της 13^{ης} Ιουνίου 2000** : τροποποιεί τον Γενικό Οικοδομικό Κανονισμό

➤ **Σχέδιο Δράσης «Ενέργεια 2001»** : εκπονήθηκε από το ΥΠΕΧΩΔΕ αρχές 1996 σε συνεργασία με το ΚΑΠΕ και εκπροσώπους Ανωτάτων Εκπαιδευτικών Ιδρυμάτων

της χώρας, ερευνητικών κέντρων, Κλαδικών Συλλόγων αρμόδιων Οργανισμών, κ.ά. και από ομάδες εξειδικευμένων επιστημόνων. Με βάση αυτό το σχέδιο :

- Αναμορφώνεται και συμπληρώνεται ο ισχύον Κανονισμός Θερμομόνωσης με τον Κανονισμό Ορθολογικής Χρήσης και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΟΧΕΕ) για την εισαγωγή περιβαλλοντικών και ενεργειακών δεικτών, προτύπων και προδιαγραφών για τον σχεδιασμό και τη κατασκευή νέων κτιρίων, καθώς και νέων διαδικασιών και μεθόδων ελέγχου, όπως είναι η διενέργεια ενεργειακής ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ της ενεργειακής ταυτότητας των κτιρίων (του βαθμού ενεργειακής απόδοσης) και η κατάταξή τους στην αντίστοιχη ενεργειακή κατηγορία .
- Η ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΤΑΥΤΟΤΗΤΑ του κτιρίου θα αναγράφεται σε σχετικό ΔΕΛΤΙΟ.
- Θεσπίζεται η εκπόνηση ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.
- Σε όλα τα υφιστάμενα κτίρια του ευρύτερου δημόσιου τομέα εφαρμόζονται υποχρεωτικά επεμβάσεις ενεργειακής απόδοσης μέσω της χρηματοδότησης εκ μέρους τρίτων.
- Θεσπίζονται υποχρεωτικοί ενεργειακοί έλεγχοι και επιθεωρήσεις για την ενεργειακή πιστοποίηση και βαθμονόμηση των κτιρίων, αλλά και των πολύ ενεργοβόρων επιχειρήσεων, κανονισμοί εγκατάστασης ενεργειακού εξοπλισμού και προδιαγραφές ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ .
- Καθορίζονται διαδικασίες και κανονισμοί ενεργειακής πιστοποίησης και πιστοποίησης ποιότητας.
- Προβλέπεται η εφαρμογή του ισχύοντος ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΥ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΔΑΠΑΝΩΝ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ.
- Προβλέπονται θεσμικά, οικονομικά και διοικητικά κίνητρα για την εφαρμογή επεμβάσεων ενεργειακής απόδοσης σε υφιστάμενα κτίρια.

2.4 Εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια

Τα στατιστικά στοιχεία που παρουσιάστηκαν στην παράγραφο 2.2 και οι αποφάσεις σε κοινοτικό και εθνικό επίπεδο αναφορικά με την ενεργειακή πολιτική καθιστούν επιτακτική ανάγκη τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης στον κτιριακό τομέα. Άλλωστε οι δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας στα κτίρια είναι μεγάλες, χωρίς αυτό να συνεπάγεται τη μείωση του επιπέδου διαβίωσης μέσα σε αυτά.

Οι τρόποι εξοικονόμησης ενέργειας έχουν εφαρμογή στο εσωτερικό περιβάλλον των κτιρίων, το εξωτερικό, το κέλυφος που τα διαχωρίζει και τη συμπεριφορά των χρηστών και αφορούν είτε δραστικές επεμβάσεις σε αυτά τα πεδία, είτε απλές καθημερινές πρακτικές. Παρακάτω θα αναλυθούν διάφοροι τρόποι εξοικονόμησης ενέργειας και βελτίωσης της ενεργειακής συμπεριφοράς των κτιρίων.

Η βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου μπορεί να επιτευχθεί καταρχήν μέσω του **βιοκλιματικού σχεδιασμού** του, ο οποίος αξιοποιεί τις τοπικές κλιματικές και περιβαλλοντικές παραμέτρους για θέρμανση-ψύξη και φωτισμό, σε συνδυασμό με τη μείωση των ενεργειακών καταναλώσεων συσκευών και λαμπτήρων στο κτίριο. Τεχνικές βιοκλιματικού σχεδιασμού αποτελούν η θερμική προστασία του κελύφους, τα παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης, οι τεχνικές και συστήματα φυσικού φωτισμού και αερισμού.

Το *κέλυφος* του κτιρίου αποτελεί το φυσικό όριο το εσωτερικού περιβάλλοντός του με το εξωτερικό. Η θερμική προστασία του λοιπόν, εξασφαλίζει τη διατήρηση των συνθηκών του εσωτερικού περιβάλλοντος στα επιθυμητά επίπεδα, χωρίς αυτές να επηρεάζονται από τις εξωτερικές συνθήκες, κατά το δυνατόν. Τα δομικά στοιχεία του κελύφους είναι αυτά που συμβάλλουν στη θερμική προστασία. Η θερμομόνωση των εξωτερικών τοίχων, του δώματος και της πυλωτής παίζει καθοριστικό ρόλο στη μείωση των απωλειών θερμότητας, επιτυγχάνοντας ένα σημαντικό ποσοστό ΕΞΕ για το κτίριο συνολικά. Το δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας στον τομέα αυτό είναι σημαντικό αφού, σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία, επί του συνολικού αριθμού των πολυκατοικιών στην Ελλάδα διαθέτει θερμομόνωση μόνο το 5,1% στις τοιχοποιίες, 1,5% στο δάπεδο, 12,7% στην πιλοτή, 30,4% στην οροφή, 2,1% διαθέτει διπλά τζάμια και 4,2% έχει θερμομόνωση των σωληνώσεων θέρμανσης .

Επίσης η χρήση κατάλληλων κατακόρυφων **υαλοστασίων** και η αεροστεγανότητα μειώνει τις διαρροές θερμότητας στο εξωτερικό περιβάλλον. Η τοποθέτηση μονής υάλωσης, λόγω υψηλής θερμικής αγωγιμότητας του γυαλιού, έχει αποτέλεσμα υψηλές θερμικές απώλειες. Αποτελεσματική αύξηση της θερμικής αντίστασης επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση δεύτερου φύλλου γυαλιού που διαχωρίζεται από το πρώτο με διάκενο αέρα, δηλαδή διπλής υάλωσης. Ακόμη μεγαλύτερη θερμική αντίσταση, που αντιστοιχεί σε 5 cm θερμομόνωσης, προσφέρει η τριπλή υάλωση. Μια ακόμη μέθοδος περιορισμού των εκπομπών ακτινοβολίας από τις υαλώσεις, είναι η επίστρωση χαμηλής εκπομπής, η οποία μπορεί να μειώσει τις απώλειες θερμότητας με ακτινοβολία έως και 75%. Τέλος η πλήρωση του διακένου μεταξύ των φύλλων γυαλιού

με αέρια χαμηλότερης θερμικής αγωγιμότητας από αυτή του αέρα, όπως αδρανή αέρια μπορεί να μειώσει τις απώλειες λόγω ακτινοβολίας αλλά δεν είναι, ακόμα τουλάχιστον, αρκετά διαδεδομένη πρακτική.

Όσον αφορά τα *ανοίγματα*, οι δυνατότητες ΕΞΕ είναι πολύ μεγάλες, καθώς αυτές δεν περιορίζονται στην τοποθέτηση υαλοστασίων, αλλά επεκτείνονται και στην θέση, τον προσανατολισμό και το μέγεθός τους. Η βέλτιστη αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας για θέρμανση και η μεγαλύτερη μείωση των θερμικών απωλειών, επιτυγχάνονται με την τοποθέτηση μεγάλων κατακόρυφων ανοιγμάτων στο νότο και μικρών στο βορρά. Τα μεγάλα ανοίγματα στο νότο συλλέγουν μεγάλο ποσοστό ηλιακής ακτινοβολίας θερμαίνοντας τους νότιους χώρους και σε συνδυασμό με τα ανοίγματα στο βορρά, δημιουργούν συνθήκες διαμπερούς αερισμού και δροσισμού το καλοκαίρι. Είναι προφανής η σημασία της κατάλληλης χωροθέτησης των δωματίων και των χώρων γενικά του κτιρίου, ανάλογα με τις λειτουργίες και τη χρήση τους, για την αποτελεσματικότερη θέρμανση και ψύξη και τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης. Τέλος πρέπει να τονίσουμε το σημαντικό ρόλο που παίζει στην ΕΞΕ στα κτίρια, η *σκίαση*. Τα οριζόντια εξωτερικά σκίαστρα στα νότια ανοίγματα, επιτρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία να εισχωρήσει στο εσωτερικό του κτιρίου το χειμώνα και την εμποδίζουν το καλοκαίρι. Κατακόρυφα σκίαστρα συνιστώνται για τα ανοίγματα με ανατολικό και δυτικό προσανατολισμό. Τα σκίαστρα μπορούν να είναι εξωτερικά κινητά, όπως τέντες, ή ακίνητα, όπως πρόβολοι, πέργκολες κ.λ.π. Επίσης μπορούν να είναι εσωτερικά όπως περσίδες, κουρτίνες, στόρια.

Η διαμόρφωση του εξωτερικού περιβάλλοντος, όπως «πράσινες» στέγες, κάθετοι «πράσινοι» κήποι, *φύτευση* μπαλκονιών και ακάλυπτων χώρων είναι από τα πιο απλά και αποδοτικά μέτρα για εξοικονόμηση ενέργειας. Επίσης η φύτευση φυλλοβόλων δέντρων κατά το νότιο προσανατολισμό του κτιρίου προσδίδει ηλιακά κέρδη το χειμώνα και ηλιοπροστασία και δροσισμό το καλοκαίρι. Μειώνονται έτσι οι ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση και κλιματισμό, ενώ βελτιώνεται η ποιότητα του αέρα στο εσωτερικό των κτιρίων μέσω φυσικού αερισμού.

Πέρα από τις παρεμβάσεις στο εξωτερικό περιβάλλον και το κέλυφος του κτιρίου, σημαντικό ρόλο σε μια ενεργειακά αποδοτική κατοικία έχει ο ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός και ειδικότερα οι οικιακές *συσκευές*. Η αντικατάσταση των συμβατικών συσκευών και λαμπτήρων, με συσκευές και λαμπτήρες χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης συμβάλλει ουσιαστικά στην εξοικονόμηση ενέργειας. Μάλιστα κατόπιν κοινοτικής οδηγίας οι συσκευές πλέον χαρακτηρίζονται μέσω μιας ετικέτας, όπου

αναγράφεται βάσει της κλίμακας A-F η ενεργειακή κατανάλωση. Ο δείκτης A αντιστοιχεί σε ελάχιστη κατανάλωση, ενώ ο δείκτης F σε μέγιστη.



Σχήμα 2.1 : Ετικέτα ενεργειακών κλάσεων ηλεκτρικών συσκευών.

Σχετικά με τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό πρέπει να αναφέρουμε ότι στα κτίρια με συμβατικά συστήματα θέρμανσης, θεωρείται επιτακτική η χρήση θερμοστατών, καθώς ρυθμίζουν βάσει ενδείξεων την επιθυμητή θερμοκρασία σε έναν χώρο χωρίς να γίνεται σπατάλη ενέργειας. Επίσης η σωστή συντήρηση και ρύθμιση του λέβητα και η εξαέρωση των θερμαντικών σωμάτων αποτελούν αναγκαίες ετήσιες εργασίες και πρακτικούς τρόπους εξοικονόμησης ενέργειας και καυσίμων.

Τελευταίο και πιο σημαντικό απ' όλα τα παραπάνω, είναι η ενεργειακή συμπεριφορά των χρηστών των κτιρίων. Ο χρήστης του κάθε κτιρίου μπορεί να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας με απλές καθημερινές πρακτικές και τελικά να προχωρήσει και σε εφαρμογή κάποιων μέτρων από τα παραπάνω, ανάλογα με το είδος του κτιρίου, το χρηματικό κόστος κ.λ.π. Βασικό είναι να συνειδητοποιήσουν οι χρήστες ότι με το να μην βρίσκονται οι συσκευές σε κατάσταση αναμονής ή σε άσκοπη λειτουργία και κυρίως οι λαμπτήρες επιτυγχάνεται αθροιστικά μεγάλο ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας και χρημάτων με μηδενικό κόστος. Επίσης συνιστάται να αποφεύγεται η άσκοπη ή υπερβολική χρήση κλιματιστικών, όταν υπάρχουν κατάλληλες συνθήκες για φυσικό αερισμό και δροσισμό των χώρων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο - ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ-ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

3.1 Ενεργειακός σχεδιασμός

Ο ενεργειακός σχεδιασμός, καταγράφει τις ενεργειακές ανάγκες για θέρμανση, ψύξη, φωτισμό και ζεστό νερό και προτείνει τρόπους και μέσα για την κάλυψη των αναγκών αυτών, με τελικό στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας και την εξασφάλιση συνθηκών άνεσης για τους χρήστες του εκάστοτε κτιρίου ή κτιριακού συγκροτήματος. Ένας ολοκληρωμένος ενεργειακός σχεδιασμός προσφέρει :

- βελτιωμένη ενεργειακή απόδοση κτιρίου, μέσω της εξοικονόμησης ενέργειας
- οικονομικά οφέλη, καθώς μειώνεται η κατανάλωση καυσίμων και η ενεργειακή κατανάλωση για την κάλυψη των αναγκών που αναφέρθηκαν παραπάνω
- περιβαλλοντικά οφέλη, λόγω της μείωσης των εκπεμπόμενων ρύπων από την κατανάλωση καυσίμων
- αναβαθμισμένη ποιότητα ζωής, εξασφαλίζοντας συνθήκες άνεσης σε ένα βιώσιμο αστικό περιβάλλον

και βασίζεται σε:

- εφαρμογή αρχών βιοκλιματικού σχεδιασμού κτιρίων και ανοιχτών υπαίθριων χώρων
- αξιοποίηση των τοπικά διαθέσιμων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
- χρήση συσκευών και συστημάτων χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης.

Βασικό τμήμα του ενεργειακού σχεδιασμού αποτελεί ο *βιοκλιματικός σχεδιασμός* τόσο σε επίπεδο κτιρίου, οικοδομικού τετραγώνου, κτιριακού συγκροτήματος ή πόλης. Ορίζεται ως ο σχεδιασμός, ο οποίος λαμβάνοντας υπόψιν το τοπικό κλίμα , στοχεύει στην εξασφάλιση των απαραίτητων και βελτιωμένων εσωκλιματικών συνθηκών με την ελάχιστη δυνατή κατανάλωση ενέργειας, αξιοποιώντας τις διαθέσιμες περιβαλλοντικές πηγές. Άμεσα συνδεδεμένη με το σχεδιασμό είναι η αρχιτεκτονική, η οποία ορίζεται παρακάτω και διαχωρίζεται από το βιοκλιματικό σχεδιασμό.

3.2 Βιοκλιματική αρχιτεκτονική

Σύμφωνα με τον Ιταλό αρχιτέκτονα, συγγραφέα, φιλόσοφο Alberti Αρχιτεκτονική ορίζεται εκείνη η νοητική σύλληψη που οδηγεί τη ζωή και την εξέλιξη των ανθρώπινων κοινωνιών στο να εναρμονιστούν όσο το δυνατόν καλύτερα και πληρέστερα με τα κριτήρια: *necessitas*, *commoditas* και *voluptas*.

– *necessitas* = αναγκαιότητα : ορίζεται η εναρμόνιση της κατασκευής με τους νόμους της φυσικής και της μηχανικής.

– *commoditas* = άνεση : ορίζεται η κάλυψη της μέσης κοινωνικής ανάγκης και

– *voluptas* = θελκτικότητα : ορίζεται η ικανότητα της αρχιτεκτονικής να εκφράζει, με τα δικά της μέσα, μια ποιητική του δομημένου χώρου, που προέρχεται από την εσωτερική ευχαρίστηση της έκφρασης του συναισθήματος της ομορφιάς.

Βιοκλιματική αρχιτεκτονική ορίζεται η αρχιτεκτονική, η οποία εκτός από τα παραπάνω κριτήρια, πληρεί επιπρόσθετα και το κριτήριο *ecologicas*.

– *ecologicas* = λογική του οίκου, οικολογική λογική : ορίζεται η εξοικονόμηση ενέργειας και η χρησιμοποίηση οικοδομικών υλικών φιλικών προς τον άνθρωπο και το περιβάλλον.

Η μελέτη της ιστορίας της αρχιτεκτονικής σε τοπικό επίπεδο αποδεικνύει ότι η βιοκλιματική «ευαισθησία» έχει τις ρίζες της στο παρελθόν, στις βασικές αρχές της παραδοσιακής αρχιτεκτονικής, τότε που η εργασία και η διαβίωση των ανθρώπων ήταν άμεσα συνδεδεμένη με το φυσικό περιβάλλον. Η κατασκευή των κτισμάτων βασιζόταν στα τοπικά υλικά και η θέση και λειτουργία τους ήταν σύμφωνη με τις ιδιαίτερες κλιματικές συνθήκες της περιοχής. Χαρακτηριστικά παραδείγματα παραδοσιακής βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής είναι τα γκλου, οι αχυρένιες καλύβες των φυλών των τροπικών περιοχών, τα παραδοσιακά λευκά κυκλαδίτικα σπίτια, τα χαγιάτια και άλλα ακόμη. Ιδιαίτερα στην αραβική παραδοσιακή αρχιτεκτονική συναντάμε ανεπτυγμένα συστήματα βιοκλιματικών λειτουργιών που εξυπηρετούσαν τον αερισμό και δροσισμό, όπως αυτόνομους πύργους ψύξης κ.λ.π.

Παρόλα αυτά δεν μπορούμε να πούμε ότι η παραδοσιακή αρχιτεκτονική βασιζόταν συνειδητά στις αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού. Περισσότερο μπορούμε να μιλήσουμε για πρακτική εμπειρία, η οποία ελλείπει τεχνολογικών μέσων, εφαρμοζόταν προσαρμόζοντας την κατοικία και τον οικισμό στα τοπικά κλιματικά και τοπογραφικά δεδομένα στοχεύοντας στην καλύτερη προστασία από τις κλιματικές συνθήκες αλλά και τη μέγιστη οικονομία δυνάμεων και πόρων. Η βιοκλιματική αρχιτεκτονική, τελικά

είναι ένας σύγχρονος όρος και αποτελεί συνδυασμό της παραδοσιακής εμπειρίας με τη σύγχρονη τεχνογνωσία με στόχο να επιτευχθούν άνετες συνθήκες διαβίωσης και βέλτιστη θερμική συμπεριφορά και ενεργειακή απόδοση των κτιρίων.

3.3 Βιοκλιματικός σχεδιασμός

Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός μελετά τη σχέση αλληλεπίδρασης του κτιρίου με το εξωτερικό του περιβάλλον, με σκοπό τον έλεγχο της ροής ενέργειας μεταξύ του κτιρίου και του εξωτερικού, κατά τέτοιο τρόπο ώστε το κτίριο να λειτουργεί σαν «φίλτρο» το οποίο ρυθμίζει την εισαγωγή ενέργειας, για την εξασφάλιση συνθηκών άνεσης στο εσωτερικό του.

3.3.1 (βιοκλιματικό) κτίριο φιλικό στο χρήστη

3.3.1.1 Θερμική άνεση

Η πρωταρχική λειτουργία ενός κτιρίου είναι να προστατεύει τους χρήστες του από τις συνθήκες του εξωτερικού περιβάλλοντος, όπως ακραίες θερμοκρασίες, άνεμο, βροχή, θόρυβο, ακτινοβολία κ.λ.π., και να εξασφαλίζει στο εσωτερικό του συνθήκες *θερμικής άνεσης*. Μάλιστα θα μπορούσαμε να ορίσουμε τη θερμική άνεση ως την κατάσταση ικανοποίησης που εκφράζει ο ανθρώπινος παράγοντας, όντας σε θερμική ισορροπία με το περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται. Ακόμη και στο ίδιο περιβάλλον, όμως κάθε άνθρωπος μπορεί να έχει διαφορετική αίσθηση της θερμικής ισορροπίας, καθώς αυτή εξαρτάται από τις μεταβολικές αντιδράσεις του κάθε οργανισμού, την ένδυση κ.ά. Για το λόγο αυτό όταν αναφερόμαστε σε θερμική άνεση εννοούμε μια «περιοχή» θερμικής άνεσης.

Το αίσθημα της θερμικής άνεσης εξαρτάται κυρίως από 7 παραμέτρους.

- Μεταβολισμός
- Ένδυση
- Θερμοκρασία δέρματος
- Θερμοκρασία χώρου
- Σχετική υγρασία
- Θερμοκρασία επιφάνειας των τοίχων
- Ταχύτητα αέρα

Οι τρεις πρώτες παράμετροι αφορούν τους χρήστες του κτιρίου και οι επόμενοι τέσσερις το περιβάλλον μέσα στο κτίριο και τη θερμική του αδράνεια. Ο μεταβολισμός

και οι λοιπές δραστηριότητες του σώματος οδηγούν σε έκλυση θερμότητας, ρυθμίζοντας έτσι τη θερμοκρασία του σώματος σε επιτρεπτά επίπεδα. Συγκεκριμένα η θερμοκρασία του σώματος για επίτευξη θερμικής άνεσης σε κατάσταση ακινησίας είναι 36.8°C και του δέρματος 33-34 °C. Σημειώνουμε ότι η θερμοκρασία δέρματος προσαρμόζεται στη θερμοκρασία χώρου και την ένδυση. Ακόμη η θερμότητα που παράγεται από κάποιον ενήλικα, λόγω μεταβολισμού, σε κατάσταση ακινησίας είναι 100W ή 56met, δεχόμενοι επιφάνεια σώματος 1.8 m². Είναι 1 met = 58 W/m². Η θερμότητα αυτή κυρίως εκλύεται στο περιβάλλον μέσω της αναπνοής και του δέρματος, με διαδικασίες συναγωγής, ακτινοβολίας και εξάτμισης, ενώ μέρος της αποθηκεύεται στο σώμα. Ο παράγοντας της ένδυσης μπορεί να ποσοτικοποιηθεί μέσω του μεγέθους clo, τη μονάδα της θερμικής αντίστασης που οφείλεται στην ένδυση. Είναι 1 clo = 0.155 m² K / W.

Οι πίνακες 1 και 2 παρουσιάζουν τη μεταβολική ενέργεια που παράγεται ανάλογα με τη δραστηριότητα και τη θερμική αντίσταση που αντιστοιχεί σε διάφορα είδη ένδυσης.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1 – Παραγωγή ενέργειας μεταβολισμού για διάφορες δραστηριότητες

Δραστηριότητα	Παραγωγή ενέργειας Μεταβολισμού M	
	W/m ²	met
ανάπαυση-κατάκλιση	46	0.8
ανάπαυση-κάθισμα	58	1.0
εργασία γραφείου	70	1.2
Διάβασμα σε καθιστή θέση	55	1.0
μαγείρεμα	95-115	1.6-2.0
νοικοκυριό	115-200	2.0-3.4
οδήγηση αυτοκινήτου	60-115	1.0-2.0
τέννις	290	5.0
squash	406	7.0
χορός	140-255	2.4-4.4
μπάσκετ	290-440	5.0-7.6

ΠΙΝΑΚΑΣ 2 – Θερμική αντίσταση για διάφορα είδη ένδυσης

Ένδυση	Θερμική αντίσταση ενδυμάτων C	
	m ² K/W	clo
χωρίς ενδύματα	0.00	0.0
εσώρουχα	0.02	0.1
θερινή ένδυση	0.08	0.5
χειμερινή ένδυση για εσωτερικό χώρο	0.16	1.0
χειμερινή ένδυση για ύπαιθρο	0.23	1.5

Η θερμική αλληλεπίδραση του ανθρώπινου σώματος με το περιβάλλον μπορεί να εκφραστεί μέσω του θερμικού ισοζυγίου ως εξής :

$$M - W = q_{sk} + q_{res} + S = (C+R+E_{sk}) + (C_{res}+E_{res}) + (S_{sk}+S_{cr}) \quad , \quad (3.1)$$

όπου

M , μεταβολικός ρυθμός παραγωγής θερμότητας (W/m²)

W , μηχανικό έργο που παράγεται από το ανθρώπινο σώμα (W/m²)

q_{sk} , συνολικές θερμικές απώλειες από το δέρμα (W/m²)

q_{res} , συνολικές απώλειες λόγω αναπνοής (W/m²)

S , συνολική αποθηκευμένη θερμότητα (W/m²)

C+R , αισθητές απώλειες θερμότητας από το δέρμα λόγω συναγωγής και ακτινοβολίας (W/m²)

E_{sk} , απώλειες θερμότητας από το δέρμα λόγω εξάτμισης (W/m²)

C_{res} , απώλειες θερμότητας λόγω συναγωγής κατά την αναπνοή (W/m²)

E_{res} , απώλειες θερμότητας λόγω εξάτμισης κατά την αναπνοή (W/m²)

S_{sk} , αποθήκευση θερμότητας στην περιοχή του δέρματος (W/m²)

S_{cr} , αποθήκευση θερμότητας στο εσωτερικό του σώματος (W/m²).

Σχετικά με τις παραμέτρους που αφορούν το εσωτερικό περιβάλλον του κτιρίου πρέπει να σημειώσουμε ότι το ποσοστό της σχετικής υγρασίας θα πρέπει να είναι μεταξύ 20% – 60%, ώστε να αποφεύγεται αφενός μεν η ξηρότητα και αφετέρου η ανάπτυξη μούχλας. Συνήθως λαμβάνεται ίσο με 50% ή 60% . επίσης μέσα στα κτίρια η ταχύτητα του αέρα είναι γενικά μικρότερες από 0.2 m/s, ανάλογα πάντα και με τη δραστηριότητα στο χώρο.

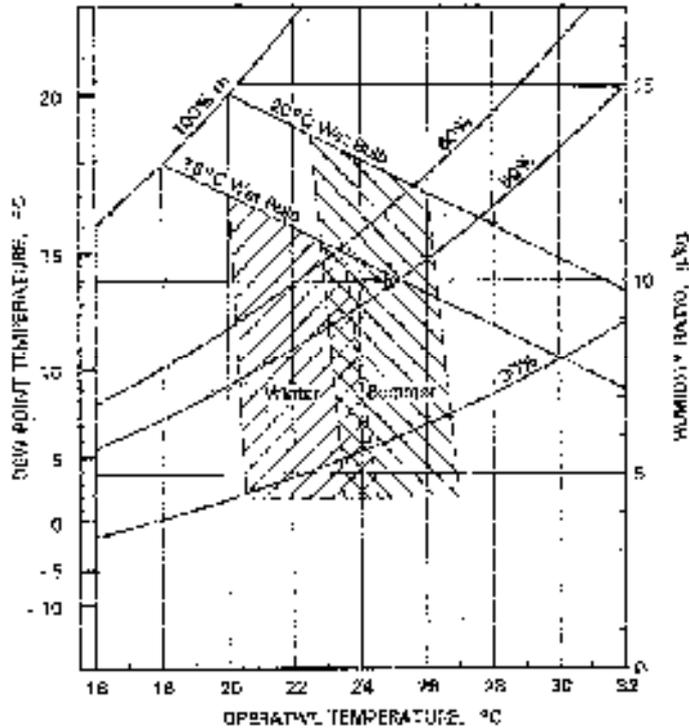
Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι η «μέτρηση» της θερμικής άνεσης απαιτεί να ληφθούν υπόψιν διάφορες παράμετροι, κάποιες από τις οποίες αφορούν τον άνθρωπο. Στόχος λοιπόν των ερευνών είναι η μελέτη της θερμικής άνεσης να καταλήγει σε αποτελέσματα που να αντιπροσωπεύουν όσο γίνεται μεγαλύτερο ποσοστό ανθρώπων. Τα τελευταία χρόνια οι έρευνες έχουν οδηγήσει στη δημιουργία «κλιμάκων θερμικής άνεσης» ή «δεικτών θερμικής άνεσης» και διαγραμμάτων όπου απεικονίζονται οι περιοχές θερμικής άνεσης.

Με βάση αποτελέσματα μελέτης της ASHRAE του 1993 προκύπτει ο πίνακας 3 της κλίμακας θερμικής αίσθησης Υ. Η ισχύς της κλίμακας προϋποθέτει για θερινή και χειμερινή άνεση, ένδυση θερμικής αντίστασης 0.5 και 0.9 clo αντίστοιχα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3- Κλίμακα θερμικής αίσθησης κατά ASHRAE

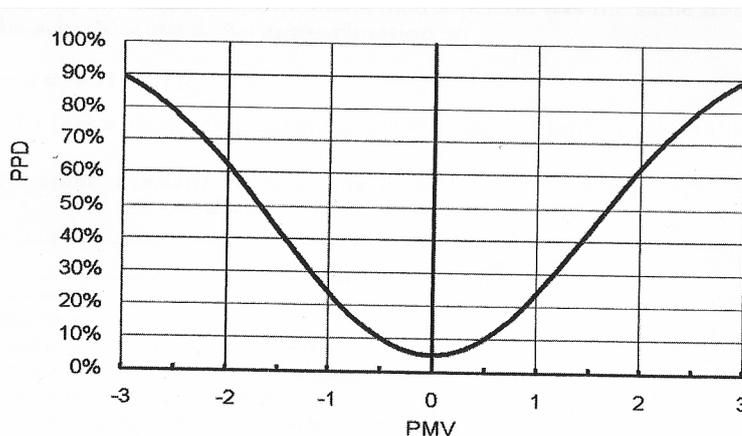
Κλίμακα θερμικής αίσθησης Υ κατά ASHRAE	
+3	hot
+2	warm
+1	slightly warm
0	neutral
-1	slightly cool
-2	cool
-3	cold

Το σχήμα 3.1 απεικονίζει της περιοχές θερμικής άνεσης για χειμώνα και καλοκαίρι, οι οποίες κυμαίνονται μεταξύ του -0.3 και 0.3 της κλίμακας, ενώ το 0 αντιστοιχεί στο κέντρο της περιοχής.



Σχήμα 3.1 : Περιοχές θερμικής άνεσης κατά ASHRAE.

Το 1982 ο Fanger προτείνει τη μέθοδο υπολογισμού της αναμενόμενης μέσης τιμής αίσθησης “predicted mean vote” (PMV), η οποία βασίζεται στην μέση γνώμη ενός συνόλου ατόμων σχετικά με τη θερμική αίσθηση κάτω από διαφορετικές θερμικές καταστάσεις, ως ένδειξη θερμικής άνεσης. Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό είναι αδύνατο να επιτευχθεί θερμική άνεση για όλους, το 100%. Το ποσοστό των ατόμων που αναμένεται να μην νιώθουν «άνετα» στις εκάστοτε θερμικές συνθήκες, δηλαδή το ποσοστό δυσφορίας ονομάζεται “predicted percentage of dissatisfied” (PPD) και η ελάχιστη τιμή του είναι περίπου 5%. Το PPD εξαρτάται από το PMV και η σχέση τους απεικονίζεται στο σχήμα 3.2.



Σχήμα 3.2 : Σχέση μεταξύ δεικτών PPD και PMV.

Η εξίσωση θερμικής άνεσης του Fanger είναι η εξής :

$$PMV = (0.303 \cdot \exp(-0.036 \cdot M) + 0.028) \cdot [M - W - 0.00305 \cdot (5733 - 6.99 \cdot (M - W) - p) - 0.42 \cdot (M - W - 58.15) - 0.000017 \cdot M \cdot (5787 - p) - 0.0014 \cdot M \cdot (307 - T_a \cdot D) - F] \quad (3.2)$$

όπου

M , μεταβολικός ρυθμός παραγωγής θερμότητας (W/m²)

W , μηχανικό έργο που παράγεται από το ανθρώπινο σώμα (W/m²)

p , μερική πίεση ατμού (Pa)

T_a , θερμοκρασία του αέρα (K)

F , παράγοντας ένδυσης :

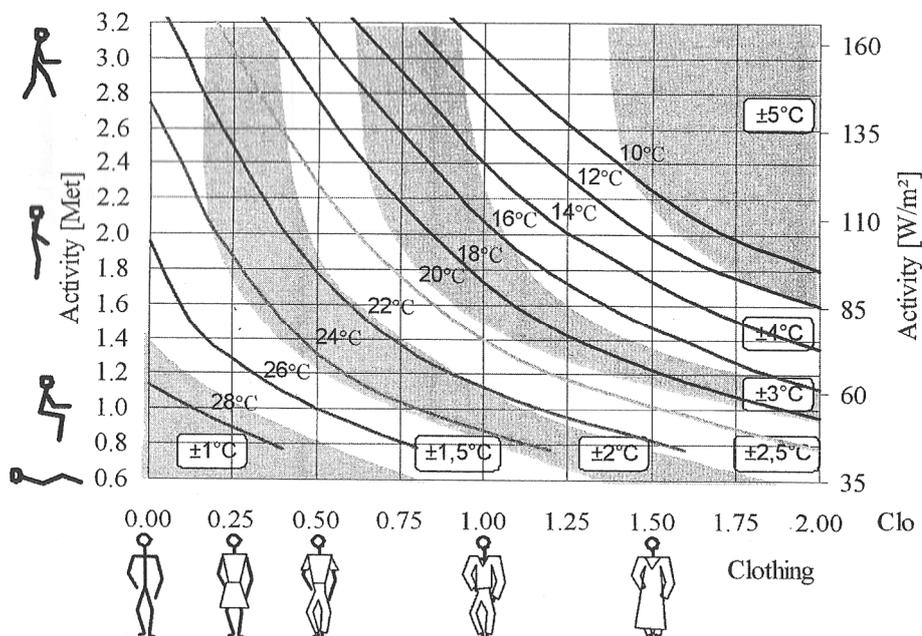
$$F = (3.96 \cdot 10^{-8} \cdot f \cdot (T_{cl}^4 - T_r^4) + f \cdot h \cdot (T_{cl} - T_a)) ,$$

όπου T_{cl} = 308.9 - 0.028 · (M - W) - R · F , η απόλυτη θερμοκρασία της επιφάνειας των ρούχων και

$$f = 1.00 + 1.290 \cdot R \text{ αν } R < 0.078 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$f = 1.05 + 0.645 \cdot R \text{ αν } R > 0.078 \text{ m}^2\text{K/W} , \text{ η θερμοκή αντίσταση των ρούχων.}$$

Στο σχήμα 3.3 παρουσιάζεται το εύρος των θερμοκρασιών θερμικής άνεσης για διάφορα είδη ένδυσης και δραστηριότητας, σύμφωνα με τον Fanger.



Σχήμα 3.3 : Θερμοκρασιακό εύρος θερμικής άνεσης ανάλογα με το είδος ένδυσης και δραστηριότητας.

Ακόμη ο Fanger το 1988 διατύπωσε τη σχέση υπολογισμού του “percentage dissatisfied” (PD), δηλαδή του ποσοστού δυσφορίας λόγω ρεύματος αέρα, που σχετίζεται με την ταχύτητα του αέρα στο χώρο:

$$PD = \max(0, (u - 0.05))^{0.6223} * (3.143 + 36.96 * \sigma) * (34 - \theta_a) \quad (3.3)$$

όπου u , η μέση ταχύτητα του αέρα (m/s)

θ_a , η θερμοκρασία του αέρα

σ , η διακύμανση της ταχύτητας του αέρα .

Προκύπτει και από την παραπάνω σχέση και από λοιπά στοιχεία ότι η ταχύτητα του αέρα σ’ ένα περιβάλλον «άνετης» θερμοκρασίας δεν πρέπει να ξεπερνά τα 0.15 m/s.

Τα μοντέλα που παρουσιάστηκαν ανταποκρίνονται σε ένα πολύ καλό ποσοστό για κλιματιζόμενα κτίρια, ενώ δεν ισχύει το ίδιο και για τα φυσικώς αεριζόμενα κτίρια. Στο συμπέρασμα που αναφέρθηκε, έφτασαν οι McCartney & Nicol και de Dear & Brager το 2002, οπότε και οι δεύτεροι πρότειναν ένα διαφορετικό «προσαρμοσμένο» μοντέλο υπολογισμού της ενδεικνύμενης θερμοκρασίας, συνάρτηση μόνο της θερμοκρασίας εξωτερικού χώρου :

$$\theta_{\text{comf}} = 17.8 + 0.31\theta_e \quad , \quad (3.4)$$

όπου

θ_{comf} , η εσωτερική θερμοκρασία σε συνθήκες άνεσης

θ_e , η εξωτερική θερμοκρασία .

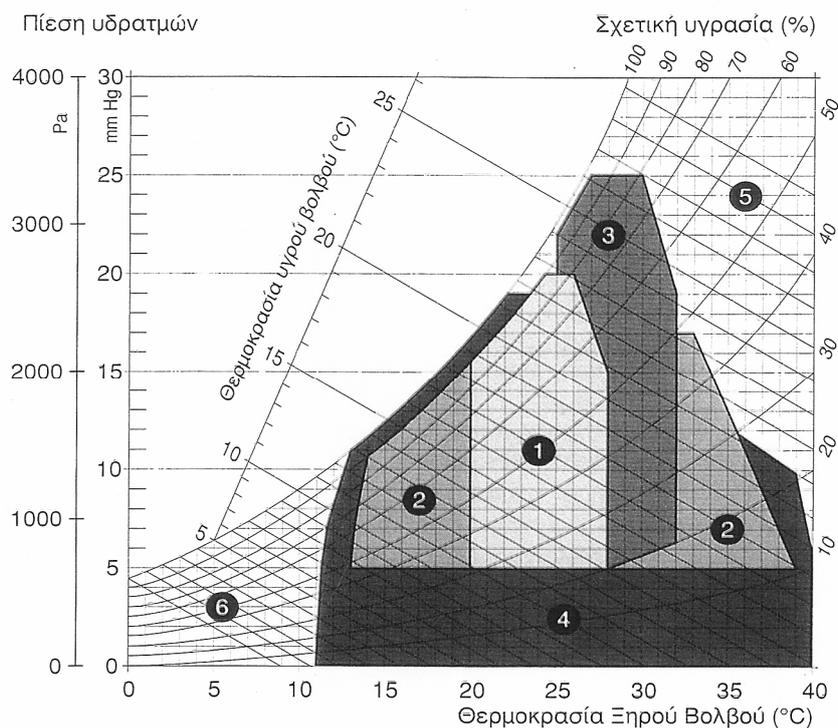
Η σχέση αυτή υπολογισμού παρέχει μεγάλη ακρίβεια και αποτελεί γνώμονα κατά τη σχεδίαση χώρων και ανοιγμάτων σε ένα φυσικώς αεριζόμενο κτίριο.

Αξίζει να σημειώσουμε ότι ο Nicol πρότεινε το εξής μοντέλο :

$$\theta_{\text{comf}} = 11.9 + 0.534\theta_e \quad , \quad (3.5)$$

το οποίο παρουσιάζει πολύ μικρή απόκλιση από το προηγούμενο.

Η επίδραση στη θερμική άνεση της αλλαγής παραμέτρων σχετικών με το κτίριο, όπως η αδράνεια και το ποσοστό αερισμού, απεικονίζεται στα βιοκλιματικά διαγράμματα, τα οποία δημιουργήθηκαν από τον B.Givoni . Τα διαγράμματα αυτά έχουν σαν βάση τον ψυχομετρικό χάρτη και πάνω του οριοθετούνται οι περιοχές θερμικής άνεσης. Ένα βιοκλιματικό διάγραμμα φαίνεται στο σχήμα 3.4.



1. Ζώνη άνεσης
2. Ζώνη επίδρασης της θερμικής αδράνειας
3. Ζώνη επίδρασης του αερισμού
4. Ζώνη επίδρασης της συμπεριφοράς των ενοίκων
5. Ζώνη κλιματισμού
6. Ζώνη θέρμανσης

Σχήμα 3.4 : Διάγραμμα υδροθερμικών συνθηκών, όπου φαίνονται οι εσωτερικές θερμικές συνθήκες άνεσης (βιοκλιματικό διάγραμμα).

Είναι φανερό από το διάγραμμα ότι κάνοντας ορισμένες αλλαγές σε παραμέτρους του κτιρίου μπορεί να παραταθεί σημαντικά η ζώνη άνεσης, ακόμη και αν οι εξωτερικές συνθήκες δεν είναι ευνοϊκές. Ουσιαστική επίδραση, πρέπει να σημειώσουμε, ότι έχει η συμπεριφορά των ενοίκων, η οποία επεκτείνει σε μεγάλο ποσοστό την περιοχή θερμικής άνεσης.

3.3.1.2 Οπτική άνεση

Στο κέντρο του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας του φωτός, βρίσκεται το ορατό φως με μήκος κύματος που κυμαίνεται από 380 έως 760nm και είναι αυτό που μπορεί να αντιληφθεί ο ανθρώπινος οφθαλμός. Ανάλογα με την πηγή του φωτός αυτό μπορεί να είναι φυσικό, αν πηγή είναι ο ήλιος, ενώ αν προέρχεται από τεχνητή πηγή πρόκειται για τεχνητό φως. Ανάλογα με το είδος των εργασιών που εκτελούνται σε ένα χώρο απαιτείται και κατάλληλος σχεδιασμός φωτισμού, ώστε η *ποιότητα φωτός* να είναι η καλύτερη δυνατή στο εσωτερικό του κτιρίου και να επιτυγχάνεται η *οπτική άνεση* των χρηστών.

Η οπτική άνεση επιτρέπει στους χρήστες κάθε κτιρίου να βλέπουν επαρκώς, ελαχιστοποιώντας τη θάμβωση και χωρίς να δημιουργούνται συνθήκες δυσφορίας ή κόπωσης. Η εξασφάλιση τέτοιων συνθηκών απαιτεί μια ιδιαίτερη μελέτη για το φωτισμό, η οποία καθορίζει τη βέλτιστη τοποθέτηση των ανοιγμάτων και των χώρων εργασίας και επίσης τη σωστή επιλογή και τοποθέτηση τεχνητών πηγών. Σε τελική φάση η ποιότητα και η σταθερότητα του φωτός, φυσικού και τεχνητού, που προκύπτουν πρέπει να είναι οι πλέον κατάλληλες για τις δραστηριότητες που διενεργούνται σε κάθε χώρο. Πρέπει να σημειωθεί ότι η ποιότητα του εσωτερικού οπτικού περιβάλλοντος και η οπτική άνεση των χρηστών ενός κτιρίου είναι άμεση συνάρτηση της ποσότητας φυσικού φωτός που εισέρχεται στο κτίριο.

Τα παρακάτω μεγέθη χρησιμεύουν στη μελέτη του φωτισμού :

Φωτεινή ροή : μετράται σε lumen και εκφράζει την ισχύ που εκπέμπεται από τον ήλιο και τον ουρανό, όπως φαίνεται από το ανθρώπινο μάτι.

Ένταση φωτισμού : μετράται σε lux, που ισούται με lumen/m^2 , και εκφράζει την ποσότητα της φωτεινής ροής που κατανέμεται ομοιόμορφα σε μια επιφάνεια.

Λαμπρότητα : μετράται σε candelas/m² και εκφράζει την ένταση φωτισμού που παραλαμβάνεται από επιφάνεια, τροποποιημένη από την ανακλαστικότητα της επιφάνειας.

Με βάση τη λαμπρότητα και την ένταση του φωτισμού μπορεί να εκφραστεί η αντίθεση, η διαφορά της οπτικής εμφάνισης ενός αντικειμένου και του άμεσου βάθους πίσω του. Η οπτική άνεση προϋποθέτει όρια στο εύρος της αντίθεσης. Ο πίνακας 4 που ακολουθεί περιλαμβάνει τη στάθμη έντασης φωτισμού που συνιστάται σε διάφορα κτίρια, ανάλογα με τη χρήση τους.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4 – Συνιστώμενη στάθμη έντασης φωτισμού

Γραφεία, εργαστήρια, καταστήματα	
Χώροι αποθήκευσης	150 lux
Μηχανουργεία	300 lux
Γραφεία	500 lux
Σχεδιαστήρια	750 lux
Χώροι συναρμολόγησης	1000 lux
Συνεργεία λεπτών εργασιών	1500 lux
Ιδιωτικές κατοικίες	
Είσοδοι	50-100 lux
Τραπεζαρίες	100 lux
Καθιστικά/κουζίνες	200 lux
Χώροι γραφείου	300-500 lux

Ένας χρήσιμος δείκτης χαρακτηρισμού των συνθηκών οπτικής άνεσης είναι ο «παράγοντας φυσικού φωτισμού» (daylight factor) ΠΦΦ, ο οποίος σχετίζεται με τη λαμπρότητα και συγκεκριμένα ορίζεται ως το πηλίκο της λαμπρότητας στο εσωτερικό του κτιρίου όπως μετράται σε καθορισμένο ύψος (συνήθως 1 μέτρο από το έδαφος) προς τη λαμπρότητα όπως μετράται στο εξωτερικό του κτιρίου υπό συνθήκες νεφοσκεπούς ουρανού. Ο πίνακας 5 περιέχει τις προτεινόμενες τιμές του ΠΦΦ για την επίτευξη συνθηκών οπτικής άνεσης.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5- Προτεινόμενες τιμές ΠΦΦ ανάλογα με το είδος του εσωτερικού χώρου

Είδος εσωτερικού χώρου	ΠΦΦ (%)
Κτίρια κατοικιών με κατακόρυφα παράθυρα στον ένα τοίχο-τιμή στο μέσον του δωματίου	>0.75
Κτίρια γραφείων με κατακόρυφα παράθυρα στον ένα τοίχο-τιμή στο βάθος του δωματίου	>1.00
Κτίρια κατοικιών με κατακόρυφα παράθυρα σε δυο γειτονικούς τοίχους-τιμή στο μέσον του δωματίου	>1.00
Κτίρια γραφείων με κατακόρυφα παράθυρα σε δυο γειτονικούς τοίχους-τιμή στο βάθος του δωματίου	>1.75
Κτίρια με φεγγίτες οροφής για αποφυγή της υπερθέρμανσης	<10.00

Εναλλακτικά χρησιμοποιείται ο συντελεστής φυσικού φωτισμού, οι ελάχιστες συνιστώμενες τιμές του οποίου για κτίρια πολλαπλών χρήσεων και κατοικιών, φαίνονται στον πίνακα 6.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6 – Συνιστώμενοι ελάχιστοι συντελεστές φυσικού φωτισμού

Κτίρια πολλαπλών χρήσεων	
Εκκλησίες	1%
Εργοστάσια	5%
Γραφεία	2%
Αίθουσες διδασκαλίας	2%
Θάλαμοι νοσοκομείων	1%
Ιδιωτικές κατοικίες	
Υπνοδωμάτιο	0.5% στα $\frac{3}{4}$ του βάθους του χώρου
Κουζίνα	2% στα ήμισυ του βάθους του χώρου
Καθιστικό	1% στα ήμισυ του βάθους του χώρου

Τέλος πρέπει να τονιστεί η σημασία της αποφυγής της θάμβωσης στη δημιουργία συνθηκών οπτικής άνεσης, διότι η στάθμη της, χαμηλή ή υψηλή, προκαλεί πάντα αίσθημα δυσφορίας και κόπωσης. Η σωστή τοποθέτηση των πηγών φωτισμού, όχι πολύ έντονη πηγή στο οπτικό πεδίο, η χαμηλή στάθμη λαμπρότητας των τοίχων και ο περιορισμός της ανάκλασης από γυαλισμένες επιφάνειες μπορούν να περιορίσουν σημαντικά τη θάμβωση.

Επίσης η διείσδυση της ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό των χώρων βελτιώνει σε μεγάλο βαθμό την ποιότητα του φωτός, εφόσον οι ακτίνες του ήλιου δεν φτάνουν άμεσα, είτε μέσω ανάκλασης στους οφθαλμούς των χρηστών. Για την ποσοτική μέτρηση του φαινομένου της θάμβωσης χρησιμοποιείται ο λόγος λαμπροτήτων C , που ορίζεται ως το πηλίκο μεταξύ της φωτεινότητας μιας επιφάνειας εργασίας (L_0) και του γειτονικού της περιβάλλοντος (L_s) :

$$C = L_0 / L_s . \quad (3.6)$$

Όταν $3 < C < 10$ τότε είναι δυνατή η άνετη παρατήρηση ενός αντικειμένου.

Σχετικά με την έκφραση της οπτική άνεσης, αυτή μπορεί να γίνει μέσω της σχέσης των Freymuth & Seidel :

$$U = 3.2 * \ln(\Pi\Phi\Phi) + 6.6 . \quad (3.7)$$

Η οπτική άνεση U κυμαίνεται μεταξύ των τιμών -2 (όταν οι συνθήκες φωτισμού είναι πολύ κακές) και 2 (όταν οι συνθήκες φωτισμού είναι πολύ καλές), ενώ το 0 της κλίμακας αντιστοιχεί σε ουδέτερες συνθήκες.

3.3.1.3 Ακουστική άνεση

Η ακουστική άνεση ενός κτιρίου είναι η ικανότητά του να προστατεύει τους ενοίκους του από τους εξωγενείς θορύβους, αλλά και τους θορύβους που παράγονται μέσα σ' αυτό και να παρέχει ακουστικό περιβάλλον κατάλληλο για διαμονή ή για διάφορες δραστηριότητες. Σήμερα ο θόρυβος θεωρείται μορφή ρύπανσης του περιβάλλοντος, επιδρώντας στην ποιότητα ζωής των ανθρώπων, την υγεία και την ευεξία τους.

Το ανθρώπινο αυτί μπορεί να ακούσει ήχους συχνότητας από 16 Hz έως 20kHz, επίσης αντιλαμβάνεται ήχους από 0dB, ενώ το όριο του πόνου ποικίλει κατά άτομο και μπορεί να φτάσει τα 140dB. Στάθμη θορύβου πάνω από 150dB μπορεί να προκαλέσει βλάβη στα όργανα ακοής. Επίσης στάθμη ησυχίας θεωρούνται τα 30dB, κανονική στάθμη θορύβου τα 50dB , στάθμη όχλησης τα 75dB. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι η συνομιλία δυο ανθρώπων υπολογίζεται στα 60dB περίπου.

Η διατήρηση της ακουστικής πίεσης σε έναν εσωτερικό χώρο σε όρια που να προσφέρουν ακουστική άνεση, ανεξάρτητα των συνθηκών που επικρατούν στο εξωτερικό περιβάλλον, απαιτεί παρεμβάσεις στο κέλυφος του κτιρίου και τον εξωτερικό περιβάλλον χώρο, όπου είναι δυνατόν. Το κύριο μέσο για την εξασφάλιση συνθηκών θερμικής άνεσης είναι η ηχομόνωση, με χρήση υλικών με ηχοαπορροφητικές ικανότητες, όπως πορώδη υλικά, είτε με αύξηση του πάχους της μόνωσης, είτε με επικάλυψη της μόνωσης με ειδικά υλικά, όπως υαλοβάμβακας, πετροβάμβακας κ.α. και τέλος με χρήση υαλοπινάκων με μεγάλο συντελεστή ηχομόνωσης. Επίσης η ηχοπροστασία μέσω της διαμόρφωσης του εξωτερικού χώρου με φύτευση κυρίως θάμνων και άλλων δενδρυλίων, τα οποία λειτουργούν σαν ηχοφράγματα, μπορούν να μειώσουν εντυπωσιακά τη στάθμη έντασης θορύβου στο κτίριο.

3.3.1.4 Ποιότητα αέρα

Το σύνδρομο του «άρρωστου κτιρίου» αποτελεί πλέον φαινόμενο και συναντάται πολύ συχνά στα σύγχρονα κτίρια του αστικού περιβάλλοντος. Το κακό εσωτερικό περιβάλλον, από άποψη ποιότητας αέρα, είναι η αιτία που προκαλεί δυσφορία, ενόχληση και χρόνιες ήπιες ασθένειες που σχετίζονται με το αναπνευστικό αλλά και αλλεργίες, ασθένειες του δέρματος, ναυτίες, πονοκεφάλους και λήθαργο.

Μάλιστα στα σύγχρονα κτίρια, όπου το κέλυφος είναι σε πολύ μεγάλο ποσοστό αεροστεγές με αποτέλεσμα να μην υπάρχει επαρκής αερισμός και εναλλαγή του αέρα, το πρόβλημα γίνεται έντονο.

Κρίνεται λοιπόν αναγκαίος ο αερισμός των εσωτερικών χώρων, φυσικά ή μηχανικά, για την απομάκρυνση των ρύπων, καθώς και η κατά το δυνατόν μείωση της παραγωγής εσωτερικών ρύπων .

Η ποιότητα του εσωτερικού αέρα δεν σχετίζεται μόνο με την υγιεινή, αλλά και με τη θερμική άνεση των χρηστών ενός κτιριακού χώρου. Αποτελεί δε συνάρτηση διαφόρων παραμέτρων, όπως η ποιότητα του εξωτερικού αέρα , η γεωμετρία του κτιρίου, την δραστηριότητα των ενοίκων, τον σχεδιασμό του συστήματος αερισμού, τον τρόπο λειτουργίας και συντήρησης του συστήματος αερισμού και την παρουσία εσωτερικών και εξωτερικών πηγών ρύπων. Οι κύριες εσωτερικές πηγές ρύπων είναι τα δομικά υλικά, τα χρώματα, τα έπιπλα και οι δραστηριότητες των ανθρώπων στους εσωτερικούς χώρους. Αναφέρονται παρακάτω οι κυριότεροι ρύποι:

Τυπικοί εξωτερικοί ρύποι:

- SO₂
- σωματίδια (PM₁₀)
- Pb
- NO_x
- CO
- O₃

Τυπικοί εσωτερικοί ρύποι:

- CO₂ από ρυθμό μεταβολισμού των ενοίκων
- καπνός τσιγάρου
- HCHO από υφάσματα και έπιπλα

- O₃ από μηχανές γραφείου (εκτυπωτές, φωτοτυπικά κτλ.)
- πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC) από κτιριακά υλικά, χρώματα, καλλυντικά κτλ.
- αλλεργιογόνα
- ραδόνιο από υπέδαφος
- αμίαντος
- σωματίδια από αερολύματα
- υγρασία από ανθρώπινη δραστηριότητα.

Για τον περιορισμό της ρύπανσης του αέρα στο εσωτερικό των κτιρίων προτείνεται η χρήση συστημάτων αερισμού, τα οποία ρυθμίζουν την ανανέωση του αέρα και ο έλεγχος των πηγών ρύπανσης. Ο μελέτη του αερισμού εσωτερικού χώρου, είτε είναι μηχανικός, είτε φυσικός αερισμός, θα πρέπει να λαμβάνει υπόψιν

(α) την απομάκρυνση των ρύπων και συνεπώς τη διατήρηση καλής ποιότητας αέρα

(β) την εξασφάλιση συνθηκών θερμικής άνεσης για τους χρήστες, συνεκτιμώντας τα ποσοστά δυσφορίας (PMV,PPD,PD) .

Τελικά ο ρυθμός εναλλαγών αέρα (ACH) σε ένα χώρο πρέπει να πληρεί και τις δυο παραπάνω προϋποθέσεις. Ενδεικτικά στον πίνακα 7 αναγράφονται οι προτεινόμενες αλλαγές αέρα ανά ώρα για διάφορους χώρους.

ΠΙΝΑΚΑΣ 7 – Προτεινόμενες αλλαγές αέρα για διάφορους χώρους

χώρος	Αλλαγές αέρα ανά ώρα
Γραφεία	4-8
Βιβλιοθήκες	4-5
Αμφιθέατρα	8-10
Εμπορικοί χώροι	4-6
Κινηματογράφοι-θέατρα	4-6
Κλειστές πισίνες	3-4
Γυμναστήρια	8-10
Νοσοκομεία	15-20
Χειρουργεία	15-20
αποδυτήρια	8-10
Χώροι στάθμευσης αυτοκινήτων	3-6

3.3.2 (βιοκλιματικό) κτίριο φιλικό στο περιβάλλον

Ο διάλογος, η σχέση, η επαφή της φύσης με τον άνθρωπο είναι το φυσικό περιβάλλον. Ένα κτίριο φιλικό προς το περιβάλλον είναι αυτό, του οποίου η λειτουργία, ως αυτόνομο στοιχείο αλλά και ως στοιχείο ενταγμένο σε έναν ευρύτερο χώρο (οικισμό), ενισχύει τη σχέση της φύσης με τον άνθρωπο, που αναφέρεται παραπάνω. Η αρμονική αυτή συνύπαρξη δημιουργεί τις πλέον κατάλληλες συνθήκες για να αναπτυχθεί και να ευδοκιμήσει η ζωή, της οποίας πηγές είναι τα τέσσερα στοιχεία :

- γη
- ύδωρ
- αέρας
- ήλιος

Ένα βιοκλιματικό κτίριο λειτουργεί με τέτοιο τρόπο, ώστε να εκμεταλλεύεται όσο το δυνατόν περισσότερο τα οφέλη που προσφέρουν τα τέσσερα αυτά στοιχεία, χρησιμοποιώντας τα για να καλύψει ανάγκες και να εξοικονομήσει ενέργεια.

Το στοιχείο της γης σχετίζεται με τη δομική μάζα και τα δομικά υλικά και με τη μορφολογία και τοπογραφία της κάθε περιοχής. Τα υλικά που βρίσκονται σε αφθονία ή εξάγονται σε κάθε τόπο, για παράδειγμα ξυλεία, πέτρα, άμμος, μπορούν με κατάλληλη επεξεργασία να χρησιμοποιηθούν στην κατασκευή κτισμάτων, εντάσσοντας έτσι ομαλά τα κτίσματα αυτά στο φυσικό περιβάλλον. Άλλωστε τα φυσικά δομικά υλικά δημιουργούν πολύ πιο υγιεινές συνθήκες διαβίωσης στους χώρους σε σύγκριση με τα συνθετικά, καθώς ελαττώνουν τις εκπομπές ρύπων και ραδιενέργειας. Η ελάττωση της «γκρίζας ενέργειας» είναι άλλο ένα όφελος που προκύπτει από τη χρησιμοποίηση τοπικών δομικών υλικών. Η «γκρίζα ενέργεια» είναι η ενέργεια που καταναλώνεται κατά την εξαγωγή, επεξεργασία και μεταφορά του δομικού υλικού. Επιπλέον η δομική ή θερμική μάζα λειτουργεί ως μόνωση, αποθηκεύοντας στο εσωτερικό της θερμότητας και εμποδίζοντας την μεταφορά της θερμότητας από το εσωτερικό του κτιρίου στο εξωτερικό περιβάλλον και αντίστροφα.

Αλλά και η τοπογραφία της περιοχής αποτελεί ένα στοιχείο προς μελέτη κυρίως κατά την επιλογή της θέσης ενός κτίσματος. Μια υπήνεμη πλαγιά με προσανατολισμό στο νότο για παράδειγμα χαρακτηρίζεται από ηπιότερα κλιματικά χαρακτηριστικά απ' ότι μια πλαγιά με προσανατολισμό στο βορρά. Τέλος σημαντικά οφέλη σε δροσισμό

και προστασία από την ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να αποφέρει η μορφολογία του εδάφους, η οποία ευνοεί την βλάστηση, συγκρατεί τα όμβρια ύδατα και διευκολύνει την υδροδότηση και την αποχέτευση των κτιρίων.

Το νερό αποτελεί ένα σημαντικό στοιχείο που ενσωματώνεται κυρίως στον βιοκλιματικό σχεδιασμό υπαίθριων χώρων. Ειδική διαμόρφωση των ανοιχτών χώρων περιλαμβάνει κατασκευές όπως δεξαμενές συγκράτησης νερού, τα σιντριβάνια, τεχνητοί καταρράκτες και μικρές η μεγάλες λίμνες. Το νερό επισημαίνεται ότι έχει μεγάλη θερμοχωρητικότητα και συμβάλει στον δροσισμό με την εξάτμιση.

Οι υγιεινές συνθήκες διαβίωσης στους κλειστούς χώρους των κτιρίων απαιτούν επαρκή αερισμό. Ο αέρας λοιπόν αποτελεί ένα αόρατο μα σημαντικό στοιχείο, καθώς όλοι οι κλειστοί χώροι είναι γεμάτοι από αέρα και περιτριγυρισμένοι από αυτόν. Η εκμετάλλευσή του χρησιμεύει όχι απλά για τη βελτίωση των εσωκλιματικών συνθηκών σε ένα κτίριο(δροσισμός), αλλά και για την εξασφάλιση συνθηκών βιωσιμότητας μέσα σε αυτό, δηλαδή την εξασφάλιση της ποιότητας αέρα (αερισμός). Ακόμη κατάλληλες διατάξεις, μικρές ανεμογεννήτριες, εκμεταλλεύονται το δυναμικό του αέρα, την κινητικότητά του, με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας προς κατανάλωση του ίδιου του κτιρίου.

Ο ήλιος, το φως, θεμελιώδες στοιχείο και πηγή ζωής έχει τη μεγαλύτερη αποδοτικότητα, συγκριτικά με τα στοιχεία που αναφέρθηκαν παραπάνω, κατά τη χρησιμοποίηση τρόπων, μέσων, συστημάτων για την εκμετάλλευσή του, με σκοπό τη ρύθμιση εσωτερικών συνθηκών. Παίζει καθοριστικό ρόλο στην επιλογή της θέσης, του προσανατολισμού, της χωροθέτησης των κτιρίων. Μάλιστα ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος αναζητείται είτε προστασία από τον ήλιο, είτε αύξηση κατά το δυνατό του ηλιακού κέρδους. Βασικό ρόλο επίσης παίζει η ηλιακή ακτινοβολία στην ανάπτυξη της βλάστησης κάθε τύπου, καθορίζοντας τη μορφολογία του φυσικού περιβάλλοντος, το οποίο έχει άμεσο αντίκτυπο στα ενταγμένα σε αυτό κτίρια και οικισμούς.

Η τέταρτη διάσταση, αυτή του χρόνου, η οποία επίσης χαρακτηρίζει το κλίμα, τα φυσικά και τεχνητά αντικείμενα, είναι ακόμα μια παράμετρος που συνεκτιμάται κατά τη μελέτη του βιοκλιματικού σχεδιασμού. Άλλωστε κάθε κατασκευή προορίζεται να «ζήσει» για κάποιο χρονικό διάστημα και αυτός ο κύκλος ζωής πρέπει να μελετηθεί. Ο κύκλος ζωής περιλαμβάνει την εξέλιξη των δομικών υλικών μέσα στο χρόνο καθώς και την περιοδικότητα της εναλλαγής των εποχών και τη συνεχή ανταπόκριση της κατασκευής σε αυτήν.

3.4 Αρχές βιοκλιματικού σχεδιασμού

Οι βασικές βιοκλιματικές αρχές είναι αυτές του ηλιασμού και ηλιοπροστασίας, του ανεμισμού και της ανεμοπροστασίας, του δροσισμού, των στοιχείων νερού και του πρασίνου. Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός, όπως έχει αναφερθεί ήδη, αφορά τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό κτιρίων και χώρων (εσωτερικών και εξωτερικών), με βάση το τοπικό κλίμα, με στόχο την εξασφάλιση συνθηκών άνεσης στο εσωτερικό τους, αξιοποιώντας περιβαλλοντικές πηγές, όπως ο ήλιος, ο άνεμος, το έδαφος, το νερό, η βλάστηση. Για την περαιτέρω αξιοποίηση αυτών για θέρμανση, ψύξη, αερισμό και φωτισμό των κτιρίων γίνεται η ενσωμάτωση παθητικών συστημάτων, τα οποία αποτελούν βασικά στοιχεία του βιοκλιματικού σχεδιασμού.

Οι βασικές αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού είναι οι εξής :

- ❖ Θερμική προστασία των κτιρίων το χειμώνα και το καλοκαίρι με εφαρμογή κατάλληλων τεχνικών στο εξωτερικό κέλυφος των κτιρίων, και κυρίως με κατάλληλη θερμομόνωση και αεροστεγάνωση του κτιρίου και των ανοιγμάτων του.
- ❖ Αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας για τη θέρμανση των κτιρίων τη χειμερινή περίοδο και για φυσικό φωτισμό όλο το χρόνο. Αυτό επιτυγχάνεται με
 - προσανατολισμό των ανοιγμάτων (ο νότιος προσανατολισμός είναι ο καταλληλότερος), ώστε να συλλέγεται το μεγαλύτερο ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας για την εξασφάλιση ηλιασμού το χειμώνα
 - διαρρύθμιση και προσανατολισμό των εσωτερικών χώρων, ανάλογα με τις λειτουργίες και τις θερμικές τους ανάγκες
 - εγκατάσταση παθητικών ηλιακών συστημάτων, τα οποία συλλέγουν την ηλιακή ακτινοβολία, διοχετεύουν τη θερμότητα στο εσωτερικό του κτιρίου προσφέροντας ταυτόχρονα φυσικό φωτισμό.
- ❖ Προστασία των κτιρίων από την ηλιακή ακτινοβολία κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, μέσω της σκίασης, αλλά και της κατάλληλης κατασκευής του κελύφους (ηλιοπροστασία).
- ❖ Προστασία των κτιρίων από τους ανέμους με δημιουργία ανεμοφραγμάτων στον εξωτερικό χώρο τους (ανεμοπροστασία).
- ❖ Απομάκρυνση της θερμότητας που συσσωρεύεται στο εσωτερικό του κτιρίου το καλοκαίρι, εφαρμόζοντας τεχνικές και συστήματα παθητικού δροσισμού, όπως ο φυσικός αερισμός, και κυρίως ο νυχτερινός αερισμός.
- ❖ Ρύθμιση των εσωτερικών συνθηκών ώστε να δημιουργούνται συνθήκες θερμικής, οπτικής και ακουστικής άνεσης.

- ❖ Συλλογή και έλεγχος της ηλιακής ακτινοβολίας για φυσικό φωτισμό των κτιρίων, εξασφαλίζοντας επάρκεια και ομοιόμορφη κατανομή του φωτός.
- ❖ Βελτίωση του κλίματος έξω και γύρω από τα κτίρια, με τον βιοκλιματικό σχεδιασμό των υπαίθριων χώρων αλλά και του εξωτερικού του κελύφους του κτιρίου, αξιοποιώντας φυσικές πηγές, όπως το νερό και η βλάστηση.

3.5 Η βιοκλιματική μελέτη

Παρακάτω παρουσιάζεται η ακολουθία των φάσεων για τη διεξαγωγή μιας βιοκλιματικής μελέτης κτιρίου.

Α' ΦΑΣΗ

- Σωστό τοπογραφικό διάγραμμα, με ισοϋψείς καμπύλες και αποτυπωμένη τη σωστή θέση του βορρά (και μαγνητικού και γεωγραφικού).
- Μελέτη του ραδονίου του εδάφους, με τη χρήση ειδικού οργάνου (Radon Alert).
- Μελέτη του επιπέδου θορύβου, με χρήση ηχομέτρου.
- Μελέτη του υπεδάφους, με χρήση γεωλογικών χαρτών.
- Αποτύπωση των γεωμαγνητικών γραμμών του δικτύου Hartmann, με ράβδους και γεωμαγνητόμετρο.
- Μελέτη του επιπέδου της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, που εκπέμπεται από πυλώνες και ηλεκτρικά καλώδια, κεραιές κινητής τηλεφωνίας κλπ.
- Μελέτη της υπάρχουσας φυτοκάλυψης και του ανάγλυφου του εδάφους της γύρω περιοχής.
- Μελέτη της θέσης του ήλιου, με Solar Parthfinder.

Β' ΦΑΣΗ

- Μελέτη του κλίματος.
- Μελέτη της θερμικής άνεσης.
- Μελέτη της ηλιακής γεωμετρίας .

Γ' ΦΑΣΗ

- Κτιριολογικό πρόγραμμα και εφαρμογή του Γ.Ο.Κ.

Δ' ΦΑΣΗ

- Μελέτη παθητικών ηλιακών συστημάτων για την εξοικονόμηση ενέργειας για θέρμανση (BIO-ΘΕΡΜΑΝΣΗ) .
- Μελέτη παθητικών ηλιακών συστημάτων για την εξοικονόμηση ενέργειας για δροσισμό (BIO-ΔΡΟΣΙΣΜΟΣ) .
- Μελέτη ηλιασμού και σκιασμού .
- Μελέτη του φυσικού φωτισμού .
- Πιθανή μελέτη για ενεργειακή αυτοδυναμία του κτιρίου, με χρήση π.χ. φωτοβολταϊκών ή και ανεμογεννητριών.
- Μελέτη για την χρησιμοποίηση οικολογικών δομικών υλικών (π.χ. στην θερμομόνωση, στους χρωματισμούς κλπ) ή αδρανοποίησης των αρνητικών επιπτώσεων στην υγεία από άλλα υλικά, όπως το οπλισμένο σκυρόδεμα (π.χ. με την γείωση του οπλισμού του).
- Ενεργειακή ταυτότητα του κτιρίου.

Ε' ΦΑΣΗ

- Μελέτη εφαρμογής .

[Πηγή: "Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Κτιρίων", Κ. Σ. Τσίπηρα]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο – ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

4.1 Εισαγωγή

Η διαμόρφωση συνθηκών θερμικής και οπτικής άνεσης μέσα σ' ένα κτίριο, μέσω της εκμετάλλευσης φυσικών στοιχείων, όπως η ηλιακή ακτινοβολία, ο αέρας κ.λ.π., γίνεται με την ενσωμάτωση στο κτίριο παθητικών και υβριδικών συστημάτων.

Παθητικά ονομάζονται τα συστήματα που ενσωματώνονται στο κέλυφος του κτιρίου και για τη συλλογή, αποθήκευση και μεταφορά της θερμότητας δεν χρησιμοποιούν κανένα μηχανικό μέσο.

Αν για τη λειτουργία του παθητικού συστήματος απαιτείται η χρήση μηχανικού μέσου, απλού και χαμηλής κατανάλωσης, όπως ανεμιστήρας, τότε το σύστημα ονομάζεται *υβριδικό*.

Τα παθητικά συστήματα, ανάλογα με τη χρήση για την οποία είναι αρχικώς κατασκευασμένα διακρίνονται σε :

- παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης

- παθητικά συστήματα δροσισμού-ψύξης

- παθητικά συστήματα φυσικού φωτισμού.

Πρέπει να σημειώσουμε ότι ανεξάρτητα αν τα παθητικά συστήματα έχουν σχεδιαστεί αρχικά για να καλύψουν ανάγκες θέρμανσης ή ψύξης, κύριο μέλημα είναι η καλή ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου. Προβλέπεται δηλαδή η λειτουργία τους χειμώνα και καλοκαίρι.

4.2 Παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης

Βασικός σκοπός των παθητικών ηλιακών συστημάτων θέρμανσης είναι η θέρμανση του εσωτερικού του κτιρίου το χειμώνα σε συνδυασμό με την παροχή φυσικού φωτισμού. Αποτελούν συνήθως απλές κατασκευές ενσωματωμένες στο κέλυφος του κτιρίου και για την κατασκευή τους χρησιμοποιούνται συχνά κοινά οικοδομικά υλικά.

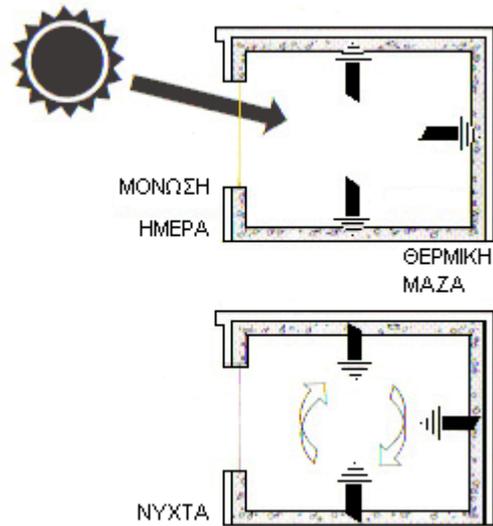
Η λειτουργία των παθητικών ηλιακών συστημάτων θέρμανσης κατά τους χειμερινούς μήνες είναι η συλλογή ηλιακής ενέργειας, η αποθήκευσή της και η διανομή της στους εσωτερικούς χώρους του κτιρίου. Απαραίτητη είναι η θερμική προστασία του κτιρίου, ώστε να ελαχιστοποιούνται οι απώλειες, και η θερμική μάζα, η οποία θα αποθηκεύει τη θερμότητα και θα την αποδίδει στο χώρο με χρονική υστέρηση, ομαλοποιώντας έτσι την κατανομή της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια του 24ωρου. Κατά τους καλοκαιρινούς μήνες τα παθητικά συστήματα θέρμανσης πρέπει να συνδυάζονται με κατάλληλη ηλιοπροστασία και δυνατότητα αερισμού, εμποδίζοντας με τον τρόπο αυτό την άνοδο της θερμοκρασίας.

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης ομαδοποιούνται στις εξής βασικές κατηγορίες:

- Συστήματα άμεσου ηλιακού κέρδους
- Συστήματα έμμεσου κέρδους

4.2.1 Συστήματα άμεσου ηλιακού κέρδους

Στα συστήματα άμεσου ηλιακού κέρδους ανήκουν τα παράθυρα κατάλληλου προσανατολισμού, θέσης και μεγέθους. Τη μεγαλύτερη ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας υπό μικρή γωνία πρόσπτωσης το χειμώνα, δέχονται τα παράθυρα νότιου προσανατολισμού. Η ύπαρξη θερμικής μάζας στον εσωτερικό χώρο (τοίχοι, δάπεδα κ.λ.π.) από μπετόν, τούβλα εξασφαλίζει την αποθήκευση και έκλυση θερμότητας με χρονική καθυστέρηση, οπότε ο χώρος συνεχίζει να θερμαίνεται ακόμη και μετά τη δύση του ηλίου και ταυτόχρονα απορροφώνται οι απότομες μεταβολές της θερμοκρασίας. Επίσης για την αξιοποίηση της εκλυόμενης θερμότητας, απαραίτητη είναι και η ύπαρξη θερμομόνωσης στην εξωτερική πλευρά του κελύφους και κυρίως στη βόρεια πλευρά του. Η σωστή τοποθέτηση των ανοιγμάτων σε σχέση με τη λειτουργία του εσωτερικού χώρου, αυξάνει την απόδοσή τους και παρέχεται φυσικός φωτισμός κατά τη διάρκεια της ημέρας, ενώ η χρήση σκιάστρων, εσωτερικών και εξωτερικών, προστατεύει από τη δυνατή ανεπιθύμητη ακτινοβολία το καλοκαίρι.



Σχήμα 4.1 : Σύστημα άμεσου ηλιακού κέρδους.

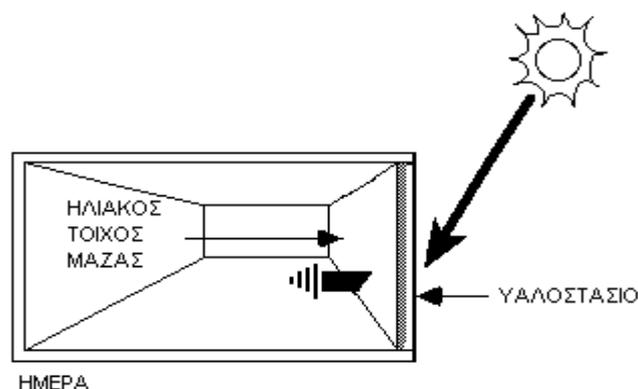
4.2.2 Συστήματα έμμεσου ηλιακού κέρδους

Στην κατηγορία των συστημάτων έμμεσου ηλιακού κέρδους ανήκουν :

- Ηλιακοί τοίχοι (απλοί τοίχοι μάζας , τοίχοι Trombe-Michel)
- Ηλιακοί χώροι (θερμοκήπια)
- Αίθρια

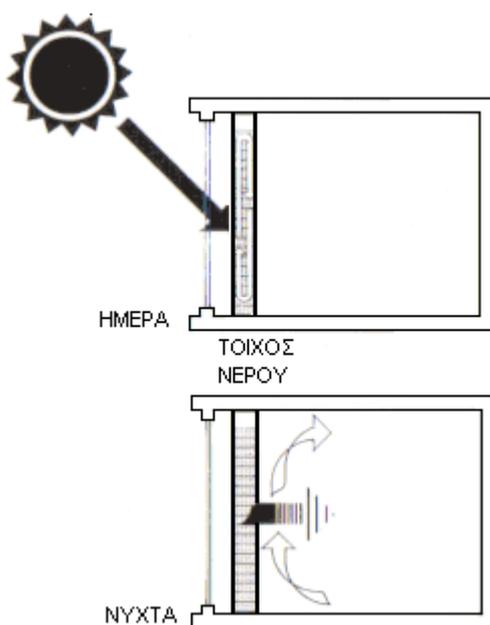
Η λειτουργία των συστημάτων έμμεσου ηλιακού κέρδους, όπως συλλογή, αποθήκευση, έκλυση θερμικής ενέργειας, αφορά τον τοίχο αποταμίευσης. Αυτό σημαίνει ότι ο μηχανισμός θέρμανσης του εσωτερικού χώρου δεν βασίζεται άμεσα στην ηλιακή ακτινοβολία, αλλά έμμεσα στη συλλογή και αποθήκευση της ενέργειας της σε τοίχο θερμικής μάζας και στη συνέχεια στη ροή της ενέργειας μέσω του τοίχου στον εσωτερικό χώρο.

Ο απλός τοίχος μάζας φαίνεται στο σχήμα 4.2.

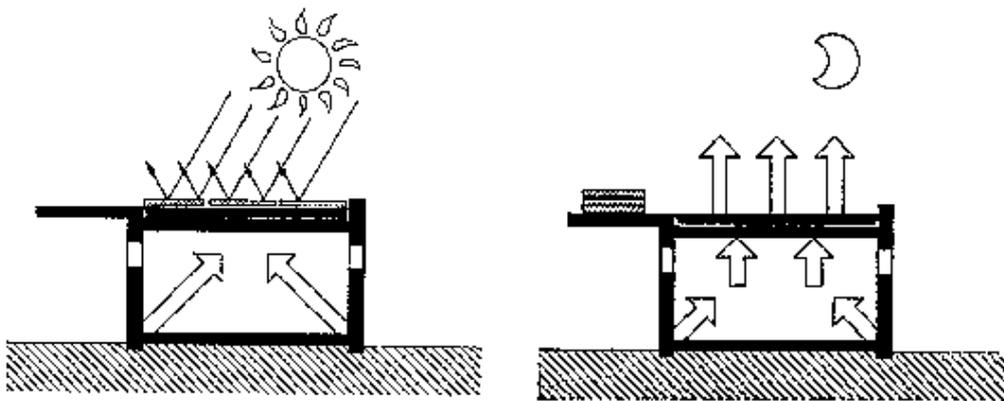


Σχήμα 4.2 : Απλός ηλιακός τοίχος μάζας

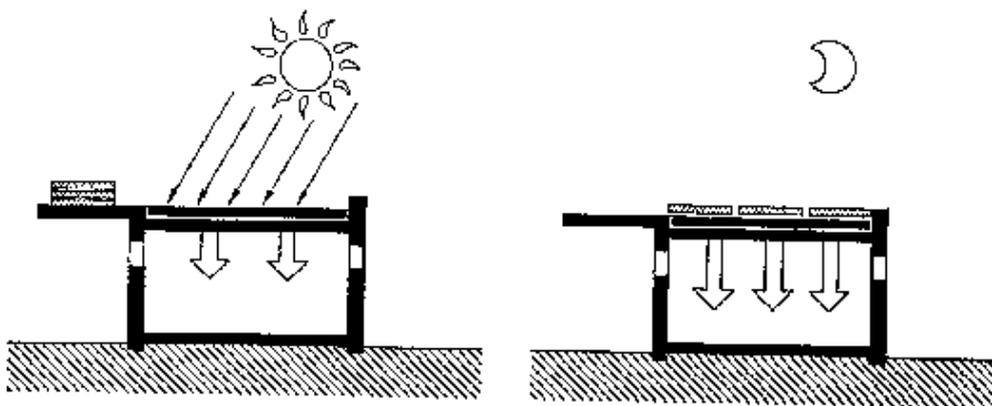
Το σύστημα αυτό αποτελείται από εξωτερική γυάλινη επιφάνεια, η οποία επιτρέπει τη ηλιακή ακτινοβολία να τη διαπερνά, να εισέρχεται στον ενδιάμεσο κενό χώρο και να προσπίπτει στον θερμικό τοίχο μάζας αυξάνοντας τη θερμοκρασία του. με τον τρόπο αυτό ο τοίχος αποθηκεύει τη θερμική ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, ενώ η θερμότητα μεταφέρεται μέσω αγωγής στο μεγάλης θερμοχωρητικότητας υλικό του τοίχου και μέσω συναγωγής και ακτινοβολίας στον εσωτερικό χώρο. Η χρονική υστέρηση που χαρακτηρίζει τη λειτουργία του ηλιακού τοίχου έχει σαν αποτέλεσμα το εσωτερικό περιβάλλον να επωφελείται του θερμικού κέρδους ακόμη και όταν παύει να υπάρχει ηλιασμός, κατά τις νυχτερινές ώρες. Μεγαλύτερη απόδοση του συστήματος επιτυγχάνεται με την ενσωμάτωση στον ηλιακό τοίχο υλικών αλλαγής φάσης ή τοποθέτηση δικτύου νερού για αύξηση της θερμοχωρητικότητας, ακόμη και τοποθέτησή του στην οροφή του κτιρίου.



Σχήμα 4.3.α : Ηλιακός τοίχος νερού



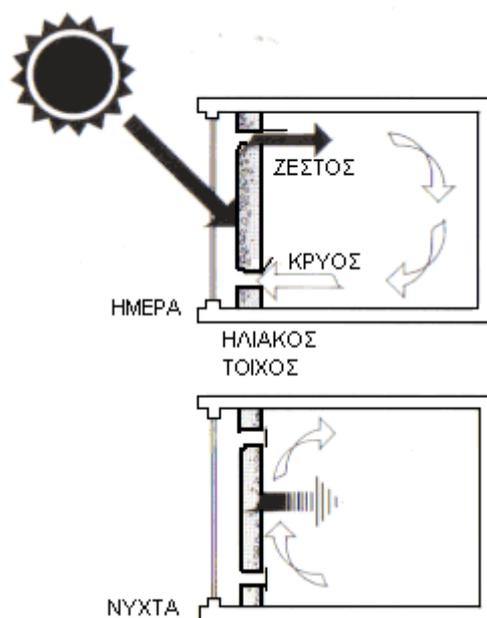
Σχήμα 4.3.β : Λειτουργία συστήματος οροφής νερού το καλοκαίρι



Σχήμα 4.3.γ : Λειτουργία συστήματος οροφής νερού το χειμώνα

Εξελιγμένη μορφή του απλού ηλιακού τοίχου αποτελεί ο τοίχος Trombe-Michel, ο οποίος εκμεταλλεύεται το θερμοσιφωνικό φαινόμενο. Η μορφή του συστήματος είναι ίδια με αυτή του απλού ηλιακού τοίχου, με τη διαφορά ότι ο τοίχος φέρει ανοίγματα-θυρίδες στη βάση και την κορυφή του. Επιτρέπει έτσι την κυκλοφορία του αέρα στον ενδιάμεσο χώρο της γυάλινης επιφάνειας και της θερμικής μάζας, ο οποίος εισέρχεται από τη βάση του τοίχου, θερμαίνεται και ανεβαίνει προς την κορυφή του, για να

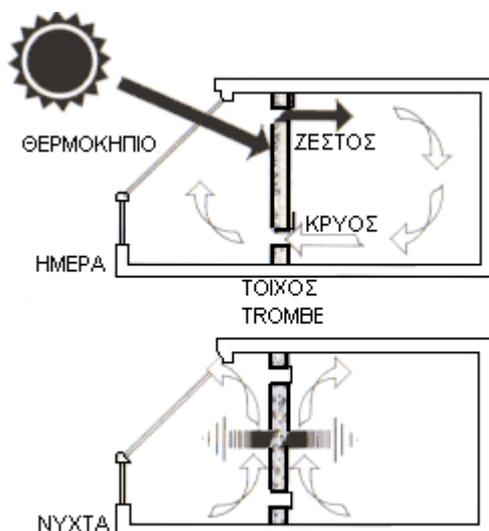
εισέλθει ξανά θερμότερος στον εσωτερικό χώρο. Η θέρμανση του αέρα σε συνδυασμό με την έκλυση θερμότητας από τον θερμικό τοίχο, όπως έχει περιγραφεί παραπάνω, καθιστά το σύστημα ιδιαίτερα αποδοτικό. Κατά τις νυχτερινές ώρες τα ανοίγματα του τοίχου κλείνουν και ο χώρος θερμαίνεται μόνο με την ακτινοβολία θερμότητας, ενώ κατά τους καλοκαιρινούς μήνες κλείνει η πάνω θυρίδα και ανοίγεται ένα τμήμα του υαλοστασίου, ώστε ο αέρας να εξέρχεται από τον εσωτερικό χώρο μέσω της κάτω θυρίδας και να απομακρύνεται στο περιβάλλον. Ο τοίχος Trombe-Michel και η λειτουργία του φαίνονται σχηματικά στο σχήμα 4.4.



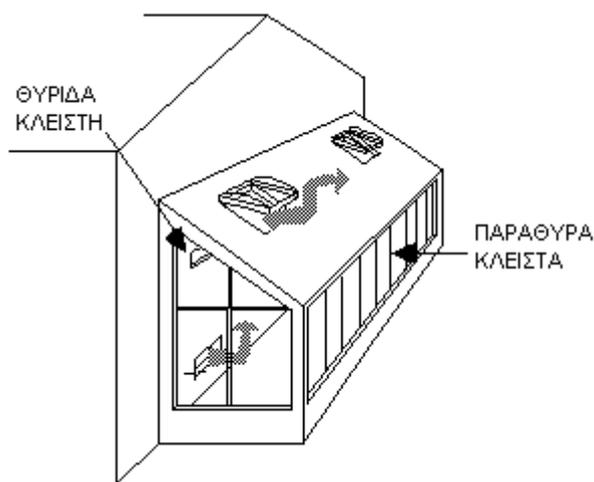
Σχήμα 4.4 : Ηλιακός τοίχος Trombe-Michel

Οι ηλιακοί χώροι, θερμοκήπια, είναι κλειστοί χώροι που ενσωματώνονται σε νότια τμήματα του κτιριακού κελύφους και περιβάλλονται από υαλοστάσια. Η ηλιακή ακτινοβολία που εισέρχεται στο θερμοκήπιο είτε εισέρχεται άμεσα στον εσωτερικό χώρο, είτε απορροφάται από τον θερμικό τοίχο και αποδίδεται σε μορφή θερμότητας ύστερα στον εσωτερικό χώρο. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα να διοχετεύεται ο θερμός αέρας, που συγκεντρώνεται στο χώρο του θερμοκηπίου, στο εσωτερικό αυξάνοντας τα θερμικά κέρδη αν ο θερμικός τοίχος μετατραπεί σε τοίχο Trombe. Κατά τους καλοκαιρινούς μήνες ο αερισμός του θερμοκηπίου είναι πολύ σημαντικός για την αποφυγή αύξησης της θερμοκρασίας, καθώς και η τοποθέτηση φυτών μέσα σε αυτό. Τη μεγαλύτερη απόδοση παρουσιάζουν τα θερμοκήπια με νότιο προσανατολισμό, σε σχήμα επίμηκες κατά τον άξονα ανατολής-δύσης, με κλίση

30°-65° ως προς το οριζόντιο επίπεδο για τα εύκρατα κλίματα και κατασκευή από γυαλί ή πλαστικό, με μεταλλικά ή ξύλινα στηρίγματα. Ο ηλιακός τοίχος μπορεί να είναι από τους τύπους που αναφέρθηκαν παραπάνω.



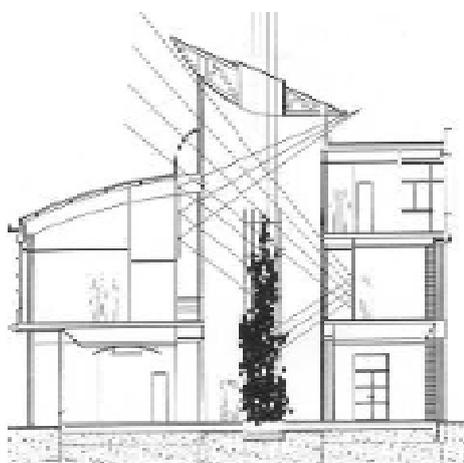
Σχήμα 4.5 : Θερμοκήπιο με τοίχο Trombe



Σχήμα 4.6 : Λειτουργία θερμοκηπίου κατά τις νυχτερινές ώρες για αποφυγή υπερθέρμανσης

Τα αίθρια είναι χώροι στο εσωτερικό των κτιρίων, οι οποίοι έχουν ανοιχτή οροφή ή καλυμμένη με γυάλινη ή πλαστική επιφάνεια. Το αίθριο λειτουργεί ως παθητικό ηλιακό σύστημα θέρμανσης όταν η οροφή του είναι καλυμμένη. Εισέρχεται έτσι η ηλιακή ακτινοβολία στο εσωτερικό του κτιρίου και αποθηκεύεται σε μορφή

θερμότητας στους τοίχους, όπου αυτή προσπίπτει. Ο μηχανισμός θέρμανσης του χώρου είναι ο ίδιος με αυτόν του ηλιακού τοίχου. Παράλληλα η γυάλινη οροφή ευνοεί την αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα κατά τους χειμερινούς μήνες, ενώ με κατάλληλους μηχανισμούς μπορεί να μετακινηθεί και να ανοίξει κατά τους καλοκαιρινούς μήνες επιτρέποντας τον νυχτερινό αερισμό του αιθρίου. Επιπλέον το αίθριο αποτελεί παθητικό σύστημα φυσικού φωτισμού, η λειτουργία του οποίου περιγράφεται σε επόμενη παράγραφο.



Σχήμα 4.7 : Αίθριο

4.3 Παθητικά συστήματα δροσισμού-ψύξης

Η παθητική ή φυσική ψύξη και ο δροσισμός σκοπό έχουν την εξασφάλιση συνθηκών άνεσης μέσω της μείωσης της αισθητής θερμοκρασίας τους καλοκαιρινούς μήνες. Επιτυγχάνεται με την εγκατάσταση παθητικών συστημάτων και την εφαρμογή τεχνικών ψύξης, η λειτουργία των οποίων δεν θα πρέπει να διαταράσσει τη θερμική άνεση κατά τους χειμερινούς μήνες. Βασικές αρχές της παθητικής ψύξης είναι :

- α) η παρεμπόδιση της εισροής θερμότητας στο εσωτερικό του κτιρίου
- β) η αποβολή της θερμότητας από τον εσωτερικό χώρο στο εξωτερικό περιβάλλον
- γ) η αξιοποίηση της θερμικής μάζας του κτιρίου για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας.

Οι μέθοδοι παθητικού σχεδιασμού φυσικής ψύξης είναι οι εξής :

- Ηλιοπροστασία-θερμική προστασία κελύφους
- Φυσικός αερισμός- υβριδικός αερισμός
- Εξατμιστική ψύξη
- Απόρριψη θερμότητας με νυχτερινή ακτινοβολία
- Αξιοποίηση της θερμικής κατάστασης του υπεδάφους

4.3.1 Ηλιοπροστασία-θερμική προστασία κελύφους

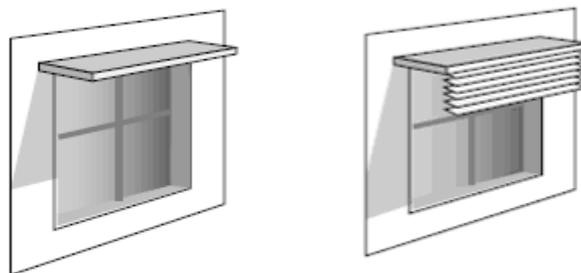
Η ηλιοπροστασία αφορά την εμπόδιση της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμικής ενέργειας που αντιστοιχεί σε αυτήν, να εισέλθει στον εσωτερικό χώρο. Αυτό επιτυγχάνεται καταρχήν με το σωστό προσανατολισμό του κτιρίου και των ανοιγμάτων του. Ο καταλληλότερος προσανατολισμός της μεγαλύτερης όψης του κτιρίου είναι ο νότιος, καθώς ελαχιστοποιείται η έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία το καλοκαίρι και μεγιστοποιείται το χειμώνα. Τα μέσα ηλιοπροστασίας είναι :

- (i) η σκίαση των επιφανειών του κτιρίου
- (ii) η τοποθέτηση βλάστησης γύρω και πάνω στο κτίριο
- (iii) το φράγμα ακτινοβολίας
- (iv) τα χρώματα των επιφανειών του κτιρίου
- (v) οι υαλοπίνακες ειδικής επίστρωσης και επεξεργασίας.

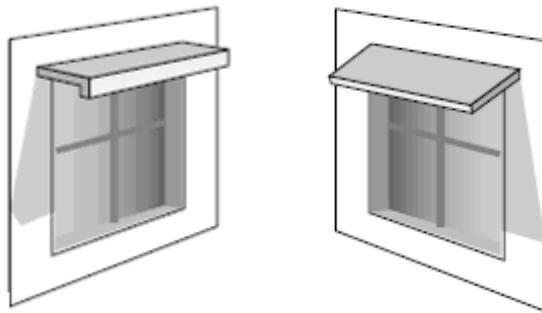
Ειδικότερα:

(i) Η σκίαση των ανοιγμάτων συμβάλει αποτελεσματικά στη μείωση των ηλιακών κερδών σε ένα κτίριο. Υπάρχουν σταθερά και κινητά, εσωτερικά και εξωτερικά συστήματα σκίασης ανοιγμάτων, από διάφορα υλικά. Ανάλογα με τον προσανατολισμό των ανοιγμάτων χρησιμοποιούνται διαφορετικά σκίαστρα.

Στα ανοίγματα νότιου προσανατολισμού αποτελεσματικότερα κρίνονται τα οριζόντια σταθερά σκίαστρα, τα οποία μπορεί και να αποτελούν μέρος της γεωμετρίας του κτιρίου.



Σχήμα 4.8 : Τύποι οριζόντιου συστήματος σκίασης



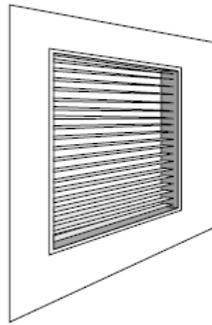
Σχήμα 4.9 : Βελτιωμένοι τύποι οριζόντιου συστήματος σκίασης για μεγαλύτερη επιφάνεια σκίασης

Τα βόρεια ανοίγματα δεν χρειάζονται σκίαση, λόγω του πολύ μικρού ποσοστού ηλιακής ακτινοβολίας που δέχονται. Η σκίαση των ανατολικών και δυτικών ανοιγμάτων γίνεται με κατακόρυφα σκίαστρα, είναι όμως πιο πολύπλοκη, καθώς η γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας σε αυτά ποικίλει κατά τη διάρκεια του έτους. Για το λόγο αυτό τη βέλτιστη απόδοση, κυρίως για τα δυτικά ανοίγματα, έχουν τα ρυθμιζόμενα συστήματα εξωτερικής σκίασης με κατακόρυφες περσίδες και καταλληλότερο υλικό το ύφασμα ανοιχτού χρώματος, όπου το σύστημα σκίασης ακολουθεί την πορεία του ήλιου.



Σχήμα 4.10 : Κατακόρυφο σύστημα σκίασης

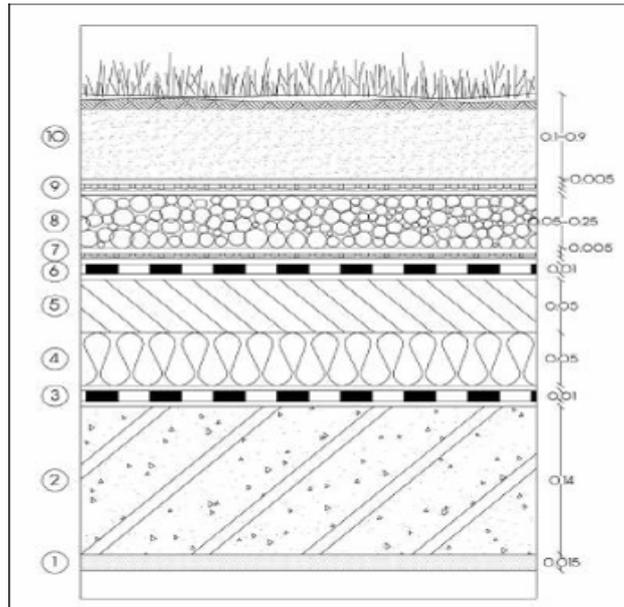
Η εσωτερική σκίαση, παρότι πιο πρακτική, εμφανίζει μειωμένη απόδοση κατά 30%, καθώς επιτρέπει στην ηλιακή ακτινοβολία να εισχωρήσει στο εσωτερικό του χώρου. Τέλος υπάρχει η δυνατότητα προσαρμογής συστήματος σκίασης στο πλαίσιο του ανοίγματος και ο συνδυασμός σταθερών και κινητών σκιάστρων.



Σχήμα 4.11 : Σύστημα σκίασης προσαρμοσμένο στο πλαίσιο του ανοίγματος

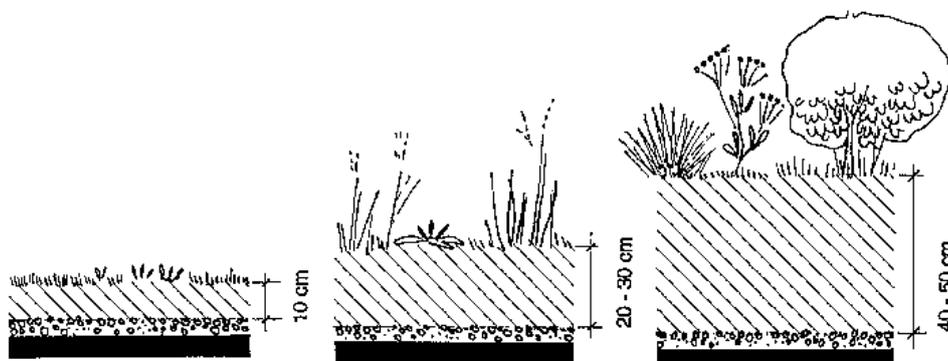
(ii) Εναλλακτικό μέσο σκίασης αποτελεί η προσθήκη υδάτινων στοιχείων, τα οποία συμβάλλουν στην εξατμιστική ψύξη, και η βλάστηση στον εξωτερικό χώρο του κτιρίου. Ιδιαίτερα τα φυλλοβόλα δέντρα προστατεύουν από την ηλιακή ακτινοβολία το καλοκαίρι, ενώ το χειμώνα δεν την εμποδίζουν να φτάσει στο κτίριο. Ακόμη τα αναρριχώμενα φυτά που αναπτύσσονται σε ειδικές εγκαταστάσεις-πέργκολες-λειτουργούν σαν σκίαστρα.

Σημαντική απόδοση στη θερμική προστασία του κελύφους του κτιρίου έχουν πράσινες στέγες ή φυτεμένα δώματα και οι «κατακόρυφοι κήποι». Με την προϋπόθεση ότι η στέγη του κτιρίου φέρει κατάλληλη θερμομόνωση και υγραμόνωση, η φύτευσή της έχει σημαντικά αποτελέσματα στο δροσισμό του εσωτερικού χώρου που βρίσκεται κάτω από το σημείο. Βασικό πλεονέκτημα της φυτεμένης στέγης είναι ότι δεν επιτρέπει στην ηλιακή ακτινοβολία να επιδράσει στην οροφή του κτιρίου, μηδενίζοντας έτσι τα θερμικά κέρδη, ενώ παράλληλα η συμβάλλει στην εξατμιστική ψύξη, μέσω της εξάτμισης των φυτών. Γενικά αποτελεί μέσο θερμικής μόνωσης του κτιρίου, οπότε συμβάλλει και στη διατήρηση των συνθηκών θερμικής άνεσης και το χειμώνα. Οι κλιματικές συνθήκες και το είδος της οροφής αποτελούν κριτήρια για την επιλογή των φυτών της στέγης. Ομοίως λειτουργούν και οι «κατακόρυφοι κήποι», οι οποίοι καλύπτουν τις κατακόρυφες επιφάνειες του κτιρίου με αναρριχώμενα φυτά κυρίως.



- 1.Κονίαμα
- 2.Οπλισμένο σκυρόδεμα
- 3.Στεγάνωση
- 4.Θερμομόνωση
- 5.Ελαφροσκυρόδεμα κλίσεων
- 6.Στεγάνωση
- 7.Προστασία από ρίζες
- 8.Στρώση αποστράγγισης
- 9.Γεώφασμα
- 10.Στρώση φύτευσης

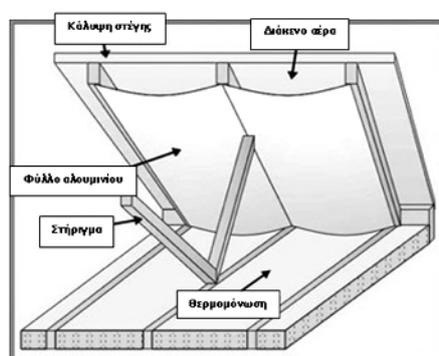
Σχήμα 4.12.α : Στρωμάτωση υλικών φυτεμένου δώματος



Σχήμα 4.12.β : Πάχος υλικών σε φυτεμένη στέγη ανάλογα με τη βλάστηση.

(iii) Η ηλιακή ενέργεια που διαπερνά την οροφή μπορεί επίσης να μειωθεί με την εγκατάσταση φράγματος ακτινοβολίας (radiant barrier) σε αυτή. Το σύστημα αποτελείται από λεπτά φύλλα αλουμινίου, υψηλού συντελεστή εκπομπής και ανακλαστικότητας, τα οποία τοποθετούνται κάτω από τη στέγη.

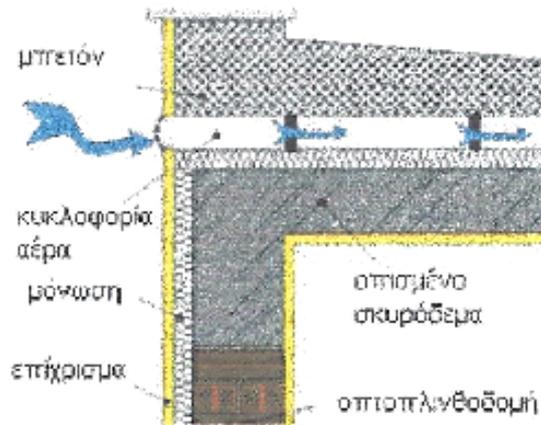
Με τον τρόπο αυτό η ηλιακή ακτινοβολία δεν εισέρχεται στον εσωτερικό χώρο, ενώ σε συνδυασμό με διαμερή αερισμό της οροφής η θερμότητα του φράγματος ακτινοβολίας εκλύεται στο εξωτερικό περιβάλλον με αποτέλεσμα την αποδοτικότερη λειτουργία του.



Σχήμα 4.13 : Φράγμα ακτινοβολίας

(iv) Τα δομικά στοιχεία του κτιρίου μπορούν να προστατευτούν από την ηλιακή ακτινοβολία με τη χρήση ανακλαστικών (ανοικτόχρωμων) επιχρισμάτων, τα οποία μειώνουν την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Μια ακόμη αποδοτική μέθοδος παθητικής ψύξης είναι ο αερισμός των δομικών στοιχείων του κελύφους ενός κτιρίου. Ο αέρας οδηγείται ανάμεσα και διαμέσου των δομικών στοιχείων και ερχόμενος σε επαφή με αυτά απάγει τη θερμότητα που τείνουν να αποθηκεύσουν. Η εφαρμογή του αερισμού δομικών στοιχείων προϋποθέτει την ύπαρξη διπλού κελύφους, διαμέσου του οποίου κυκλοφορεί ο αέρας που προέρχεται από το εξωτερικό περιβάλλον, και επίσης την ενισχυμένη εξωτερική θερμομόνωση του κελύφους. Αποτέλεσμα της εφαρμογής αυτής της μεθόδου είναι η διατήρηση της μάζας του κτιρίου σε χαμηλή θερμοκρασία, η παρεμπόδιση της αύξησης της θερμοκρασίας των εσωτερικών χώρων και η τελικά η εξασφάλιση συνθηκών άνεσης για τους χρήστες.



Σχήμα 4.14 : Αεριζόμενη οροφή

(v) Η σωστή τοποθέτηση και σκίαση των ανοιγμάτων που αναφέρθηκε παραπάνω συνδυασμένες με τη χρήση ειδικών υαλοπινάκων έχουν τη βέλτιστη απόδοση. Οι υαλοπίνακες ειδικής επεξεργασίας και με ειδικές ιδιότητες συμβάλλουν ουσιαστικά στη μείωση των θερμικών κερδών το καλοκαίρι, τη μείωση των θερμικών απωλειών το χειμώνα με την ταυτόχρονη εξασφάλιση φυσικού φωτισμού. Η μείωση θερμικών κερδών επιτυγχάνεται λόγω της χαμηλής θερμοπερατότητας και φωτοδιαπερατότητας των ειδικών υαλοπινάκων, οπότε μειώνεται σημαντικά η εισχώρηση της ηλιακής ακτινοβολίας στον εσωτερικό χώρο από τα ανοίγματα. Οι συνηθέστεροι τύποι υαλοπινάκων που χρησιμοποιούνται είναι οι εξής :

- Έγχρωμοι : με τη βοήθεια χημικής επεξεργασίας παρουσιάζουν χαμηλή θερμοπερατότητα, αλλά και μειωμένη φωτοδιαπερατότητα
- Ανακλαστικοί υαλοπίνακες : ανακλούν σημαντικό μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας και συνιστώνται για τη μείωση των ηλιακών κερδών, αλλά μπορεί να προκαλέσουν θάμβωση στον περιβάλλοντα χώρο και στα γύρω κτίρια.
- Απορροφητικοί υαλοπίνακες : απορροφούν σημαντικό μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας (περιορίζουν τη θερμοπερατότητα χωρίς να μειώνουν σημαντικά τη φωτοδιαπερατότητα) και συνιστώνται για τη μείωση των ηλιακών κερδών ενός χώρου. Έχουν το πλεονέκτημα, σε σχέση με τους ανακλαστικούς, ότι δεν δημιουργούν θάμβωση στον περιβάλλοντα χώρο του κτιρίου.
- Υαλοπίνακες χαμηλού συντελεστή εκπομπής (Low-e) : εμποδίζουν μεγάλο μέρος της θερμικής ακτινοβολίας είτε να εισέρχεται προς το κτίριο, είτε να

εκπέμπεται προς το εξωτερικό περιβάλλον, ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο τοποθετούνται.

- Ηλεκτροχρωμικοί : οι ιδιότητές τους (οπτικά χαρακτηριστικά, διαπερατότητα) μεταβάλλονται με τη διοχέτευση ηλεκτρικού ρεύματος.
- Θερμοχρωμικοί : οι οπτικές τους ιδιότητες μεταβάλλονται ανάλογα με την εξωτερική θερμοκρασία. Με την αύξηση της θερμοκρασίας μεταβάλλονται από διαφανείς σε γαλακτόχρωμους.
- Φωτοχρωμικοί : οι οπτικές τους ιδιότητες μεταβάλλονται ανάλογα με το ποσό της προσπίπτουσας σε αυτούς ηλιακής ακτινοβολίας. Η φωτοδιαπερατότητά τους μειώνεται με την αύξηση της έντασης της φωτεινής ακτινοβολίας

4.3.2 Φυσικός αερισμός – υβριδικός αερισμός

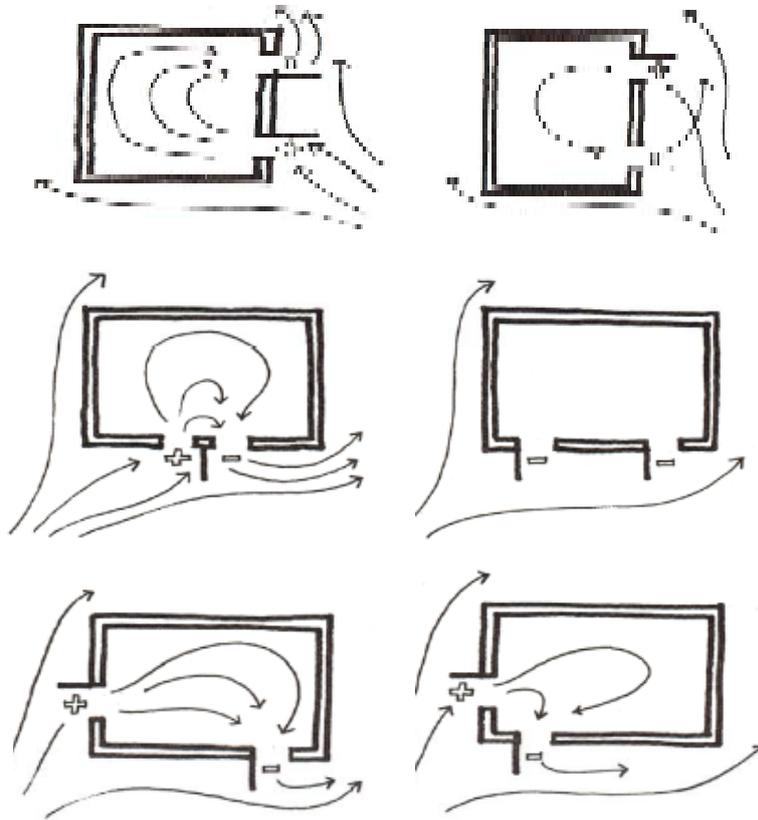
Ο φυσικός αερισμός ενός εσωτερικού χώρου έχει πολλαπλά οφέλη, όταν χρησιμοποιείται βάσει «στρατηγικής». Η παροχή φρέσκου αέρα στο χώρο βελτιώνει την ποιότητα του αέρα απομακρύνοντας ρύπους, σκόνη, μικρόβια κ.λ.π. και μπορεί να εξασφαλίσει θερμική άνεση στους χρήστες ψύχοντας το χώρο κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Η υπολογισμός της παροχής του αέρα είναι πολύπλοκος διότι πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν :

- (α) η ποιότητα του εσωτερικού αέρα
- (β) οι συνθήκες θερμικής άνεσης.

Επίσης το σύστημα φυσικού αερισμού που επιλέγεται κάθε φορά εξαρτάται από τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής, τη διαμόρφωση του εξωτερικού περιβάλλοντος, την εσωτερική διαμόρφωση του κτιρίου και επιπλέον από οικονομικά κριτήρια.

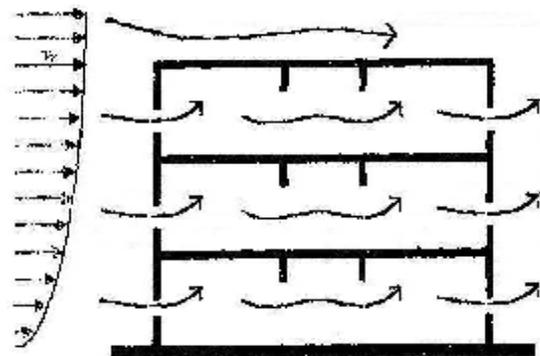
Ο φυσικός αερισμός των χώρων ενός κτιρίου πραγματοποιείται με τη φυσική εισροή αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον στο εσωτερικό του κτιρίου. Προϋποθέτει ότι η θερμοκρασία του αέρα εξωτερικού περιβάλλοντος είναι χαμηλότερη από αυτή του εσωτερικού χώρου και των δομικών του στοιχείων. Η εισροή αέρα μπορεί να συμβεί είτε λόγω διαφοράς πίεσης, είτε λόγω διαφοράς θερμοκρασίας, είτε από συνδυασμό των δυο. Και οι δυο παραπάνω λόγοι προκαλούν την κίνηση του αέρα, ο οποίος διαμέσου των ανοιγμάτων οδηγείται στο εσωτερικό και κυκλοφορεί απόγοντας θερμότητα από τα δομικά στοιχεία του κελύφους και μειώνοντας τη θερμοκρασία του χώρου.

Η διαφορά πίεσης μεταξύ δυο πλευρών του κτιρίου δημιουργεί κίνηση του αέρα με κατεύθυνση από την πλευρά που βρίσκεται σε θετική πίεση, προσηνεμη πλευρά, προς την πλευρά με αρνητική πίεση, υπήνεμη πλευρά.



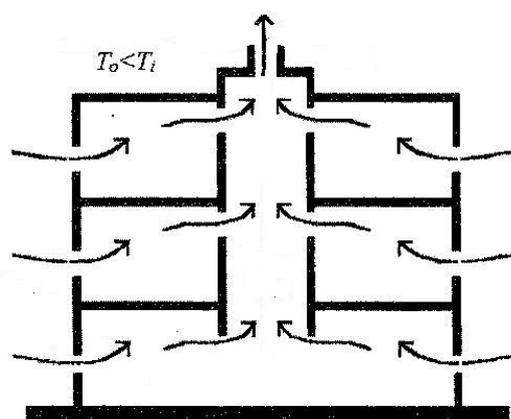
Σχήμα 4.15 : Κατεύθυνση της ροής του αέρα διαμέσου των ανοιγμάτων των κτιρίων, λόγω διαφοράς πίεσης

Η ύπαρξη ανοιγμάτων στις δυο πλευρές έχει σαν αποτέλεσμα τον διαμπερή αερισμό του χώρου (cross ventilation). Ο αέρας εισέρχεται από την μια πλευρά του περιβλήματος, «σαρώνει» τον εσωτερικό χώρο και εξέρχεται από την άλλη πλευρά, με την κατεύθυνση που προαναφέρθηκε.



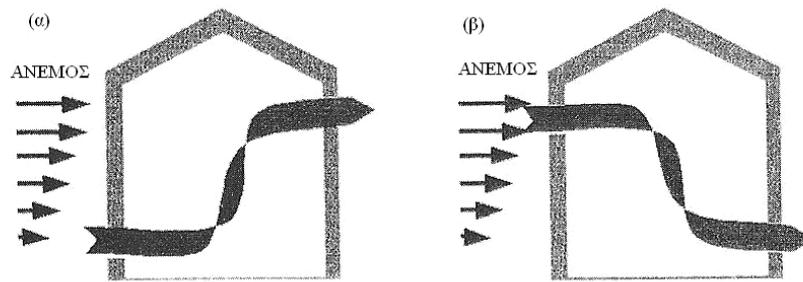
Σχήμα 4.16 : Διαμπερή αερισμός (cross ventilation)

Η διαφορά θερμοκρασίας σε ένα χώρο προκαλεί την κίνηση του αέρα και συγκεκριμένα προκαλεί άνωση. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ο θερμός αέρας να κινείται ανοδικά και τη θέση του να παίρνει ο ψυχρός. Πρόκειται για το λεγόμενο «θερμοσιφωνικό φαινόμενο» ή «φαινόμενο της καμινάδας», το οποίο μπορεί να αξιοποιηθεί για το φυσικό αερισμό ενός χώρου (stack ventilation). Ο αέρας εισέρχεται από την πλευρά που βρίσκεται σε χαμηλότερη θερμοκρασία και θετική πίεση, και διέρχεται από το χώρο κινούμενος ανοδικά ώσπου να εξέλθει από την απέναντι πλευρά.



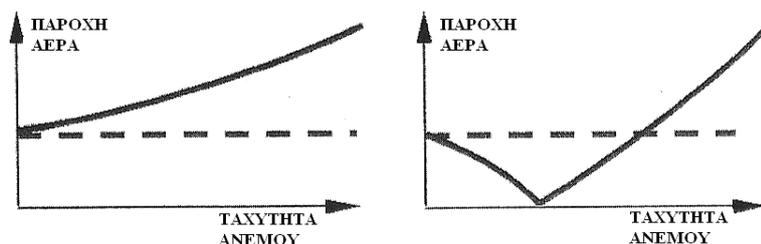
Σχήμα 4.17 : Αερισμός λόγω άνωσης (buoyancy-driven stack ventilation)

Είναι σημαντικό τα ανοίγματα εισόδου και εξόδου να βρίσκονται σε υψομετρική διαφορά, με χαμηλότερο το άνοιγμα εισόδου. Η ροή του αέρα έχει αποδειχθεί ότι μεγαλώνει, με την αύξηση της διαφορά ύψους των ανοιγμάτων έως κάποια βέλτιστη τιμή, καθώς μετά από αυτή δημιουργείται ανεπιθύμητη αναστροφή της κυκλοφορίας του αέρα. Συνήθως τα ανοίγματα εξόδου βρίσκονται στην υπήνεμη πλευρά του κτιρίου, ώστε να ενισχύεται η κίνηση του αέρα από τη διαφορά πίεσης, χωρίς όμως αυτό να είναι απαραίτητο.



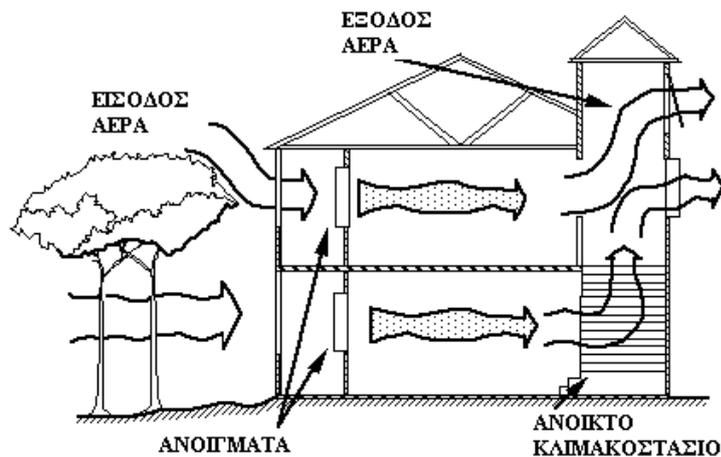
Σχήμα 4.18 : (α) Ροή του αέρα σε χώρο με άνοιγμα εισόδου σε μικρότερο ύψος από άνοιγμα εξόδου
 (β) Ροή του αέρα σε χώρο με άνοιγμα εισόδου σε μεγαλύτερο ύψος από άνοιγμα εξόδου

Τα παρακάτω διαγράμματα του σχήματος 4.19, δείχνουν τη σημασία της υψομετρικής διαφοράς των ανοιγμάτων εισόδου και εξόδου του αέρα για τον αερισμό του κτιρίου. Με συνεχή γραμμή φαίνεται η επίδραση της διαφοράς πίεσης μεταξύ των ανοιγμάτων του κτιρίου και με διακεκομμένη γραμμή η επίδραση του φαινομένου της καμινάδας, η οποία είναι σταθερή και μεμονωμένα δεν μεταβάλλει την παροχή του αέρα που εισέρχεται στο κτίριο. Στην περίπτωση (α) του σχήματος 4.18 η παροχή του αέρα αυξάνεται λόγω της επίδρασης της διαφοράς πίεσης των δυο ανοιγμάτων, οπότε ενισχύεται ο αερισμός του χώρου. Στην περίπτωση (β), όπου το άνοιγμα εξόδου του αέρα στην υπήνεμη πλευρά βρίσκεται σε χαμηλότερο ύψος από το άνοιγμα εισόδου, η παροχή μειώνεται έως μια ταχύτητα του αέρα, όπου και μηδενίζεται. Μετά την τιμή αυτή ξεκινά να ανακάμπτει και να αυξάνει ο αερισμός.



Σχήμα 4.19 : Επίδραση της διαφοράς πίεσης και του φαινομένου της καμινάδας στον αερισμό των κτιρίων του σχήματος 4.18.

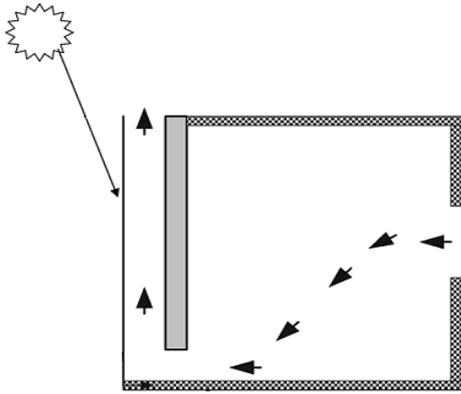
Το παθητικό σύστημα που χρησιμοποιείται για φυσικό αερισμό κτιρίου και εκμεταλλεύεται το θερμοσιφωνικό φαινόμενο λέγεται ηλιακή καμινάδα. Η ηλιακή καμινάδα χρησιμοποιεί την ηλιακή ακτινοβολία για να επιτύχει διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του εσωτερικού της χώρου και του χώρου του κτιρίου, με τον οποίο συνδέεται, και να δημιουργήσει κατακόρυφη ανοδική κίνηση του αέρα σε αυτήν. Με τον τρόπο αυτό αέρας «αντλείται» (pumping effect) από τον εσωτερικό γειτονικό χώρο, προκαλώντας τη φυσική κίνησή του διαμέσου του χώρου. το σχήμα 4.20 απεικονίζει γενικά τη λειτουργία αυτού του συστήματος σε διώροφο κτίριο.



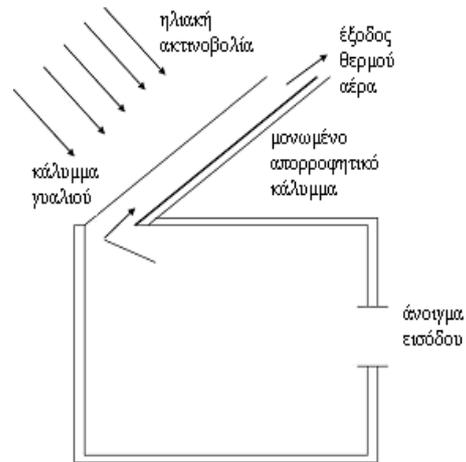
Σχήμα 4.20 : Λειτουργία ηλιακής καμινάδας σε διώροφο κτίριο

Υπάρχουν διάφοροι τύποι ηλιακής καμινάδας, όπως κατακόρυφη σε επαφή με μια πλευρά του κτιρίου, κεκλιμένη κάτω από την οροφή του κ.α.

(α)



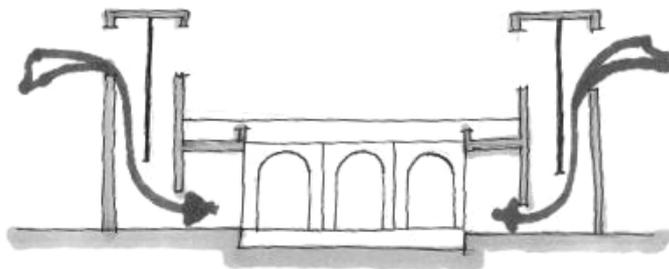
(β)

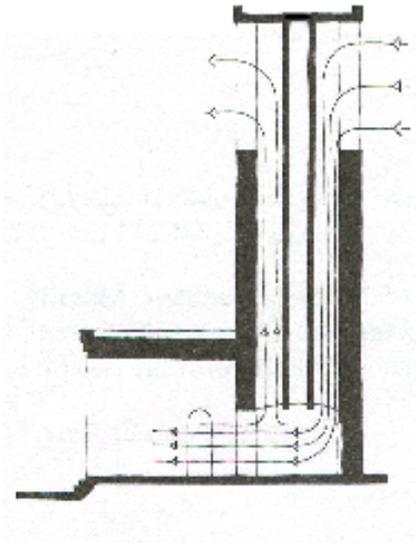


Σχήμα 4.21 : (α) Ηλιακή καμινάδα κατακόρυφη

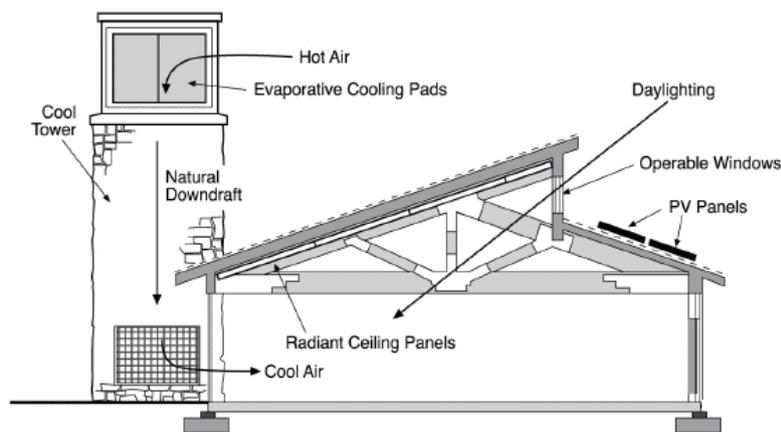
(β) Κεκλιμένη ηλιακή καμινάδα οροφής

Το θερμοσιφωνικό φαινόμενο εκμεταλλεύεται και το σύστημα του πύργου ανεμισμού, ο οποίος μοιάζει στη λειτουργία του με την ηλιακή καμινάδα αλλά διαφέρει στο ότι είναι αρκετά ψηλότερος από το υπόλοιπο κτίριο και μπορεί να εισέρχεται σε αυτόν ο εξωτερικός αέρας να κυκλοφορεί στο κτίριο και στη συνέχεια να εξέρχεται πάλι διαμέσου αυτού. Για το λόγο αυτό οι πύργοι ανεμισμού είναι χωρισμένοι εσωτερικά κατακόρυφα σε δυο, τέσσερα ή ακόμη και οχτώ μέρη. Χρησιμοποιούνται ευρέως σε κλίματα θερμά και υγρά, κυρίως στις ανατολικές χώρες.



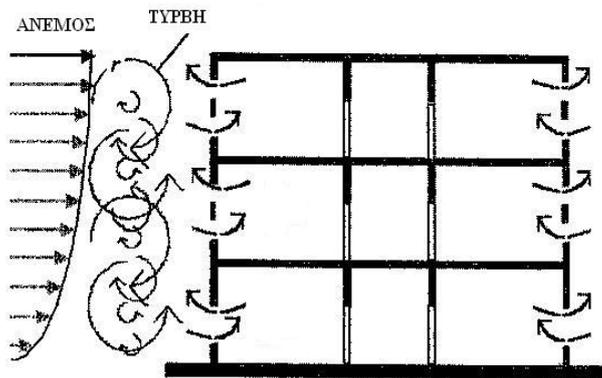


Σχήμα 4.22.α : Πύργοι ανεμισμού



Σχήμα 4.22.β : Πύργος ανεμισμού

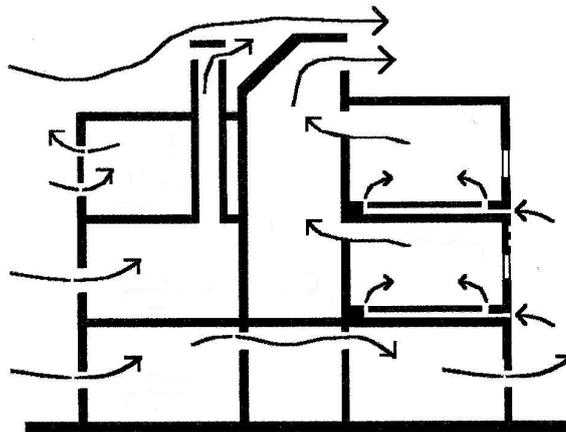
Ο φυσικός αερισμός μπορεί να επιτευχθεί και με συνδυασμό της διαφοράς πίεσης και θερμοκρασίας. Στην περίπτωση αυτή αέρας εισέρχεται στο χώρο από άνοιγμα σε χαμηλό ύψος της μιας πλευράς του περιβλήματος του κτιρίου λόγω διαφοράς πίεσης μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος, και καθώς θερμαίνεται μέσα στο χώρο κινείται ανοδικά και εξέρχεται από άνοιγμα σε υψηλότερη θέση στην ίδια πλευρά από όπου εισήλθε. Ο αερισμός αυτός λέγεται μονόπλευρος (single-sided ventilation) και είναι λιγότερο αποδοτικός από τους παραπάνω διότι δεν επιτυγχάνεται σωστή κυκλοφορία του αέρα στο χώρο. Επίσης για να είναι αποδοτικός χρειάζεται να υπάρχει αρκετή διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού χώρου.



Σχήμα 4.23 : Μονόπλευρος αερισμός (single-sided ventilation)

Η ρύθμιση της παροχής του αέρα που εισέρχεται στο κτίριο μπορεί να ρυθμιστεί με την εγκατάσταση ρυθμιζόμενων περυγίων-περσίδων (vents) στα ανοίγματα που ανοιγοκλείνουν. Επίσης η κατασκευή ανεμοπτερυγίων εξωτερικά των ανοιγμάτων στο κέλυφος του κτιρίου που μπορούν να εκτρέψουν τον άνεμο προς το εσωτερικό του, ενισχύει το φυσικό αερισμό.

Συνδυασμός όλων των μεθόδων φυσικού αερισμού σε κτίριο φαίνεται παρακάτω.



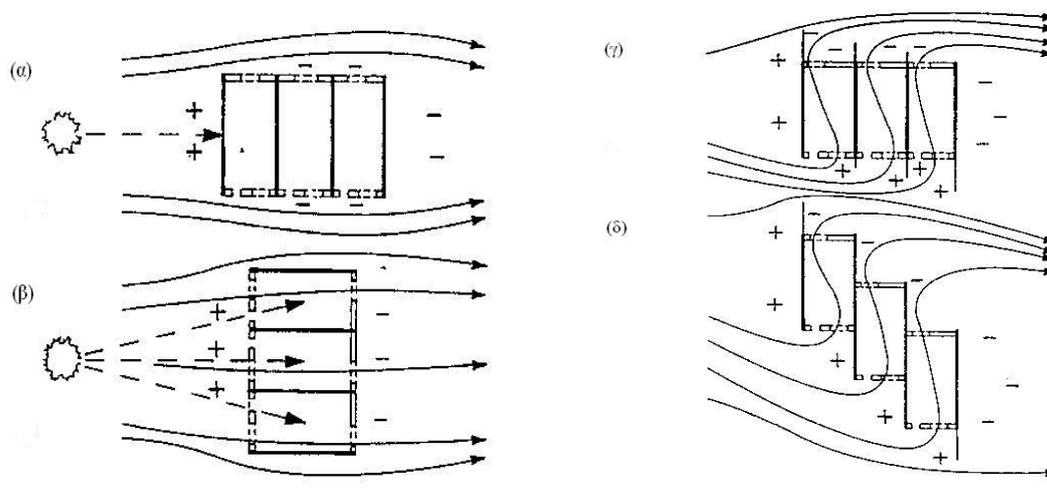
Σχήμα 4.24 : Συνδυασμένη λειτουργία φυσικού αερισμού σε κτίριο.

Η πιο διαδεδομένη και ιδιαίτερα αποδοτική μέθοδος φυσικού αερισμού είναι ο νυχτερινός αερισμός. Κατά τη διάρκεια της νύχτας που η θερμοκρασία είναι χαμηλή ο εξωτερικός αέρας εισέρχεται στο χώρο και απάγει την θερμότητα που έχει αποθηκευτεί στα δομικά στοιχεία κατά τη διάρκεια της ημέρας. Με τον τρόπο αυτό σταματά η

ετεροχρονισμένη εκπομπή θερμότητας από τη μάζα του κτιρίου προς τον εσωτερικό χώρο και επιπλέον μειώνεται η θερμοκρασία της. Την επόμενη μέρα η θερμοκρασία των χώρων είναι χαμηλότερη και το κέλυφος ξεκινά να αποθηκεύει θερμότητα από χαμηλότερη θερμοκρασία.

Ο νυχτερινός αερισμός είναι πολύ αποδοτικός στις περιοχές με μεγάλη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ ημέρας και νύχτας, αλλά ικανοποιητικά είναι τα αποτελέσματα και σε περιοχές με εύκρατο κλίμα, όπως η Ελλάδα. Ο ειδικός σχεδιασμός των ανοιγμάτων μπορεί να αυξήσει την ταχύτητα του εισερχόμενου αέρα, αυξάνοντας έτσι την αποδοτικότητα, και να ρυθμίσει την παροχή του.

Ο προσανατολισμός του κτιρίου και των ανοιγμάτων του είναι πολύ σημαντικός για την επίτευξη επαρκούς φυσικού αερισμού στο κτίριο. Σε συνδυασμό με την ανάγκη εξασφάλισης φυσικού φωτισμού χρειάζεται ειδική μελέτη των κλιματικών συνθηκών και συγκεκριμένα της έντασης και κατεύθυνσης του ανέμου και της ηλιακής ακτινοβολίας στην περιοχή. Στο σχήμα 4.25 παρουσιάζονται διάφορες περιπτώσεις προσανατολισμού κτιρίου και ανοιγμάτων ως προς την ηλιακή ακτινοβολία και τον άνεμο και η απόδοση του φυσικού φωτισμού και αερισμού σε αυτά.



Σχήμα 4.25 : Διαφορετικοί προσανατολισμοί ανοιγμάτων κτιρίου και τύποι κτιρίου:

- (α) ηλιοπροστασία , όχι αερισμός
- (β)όχι ηλιοπροστασία , διαμπερής αερισμός
- (γ) και (δ) ηλιοπροστασία , αερισμός

4.3.3 Εξατμιστική ψύξη

Η παθητική εξατμιστική ψύξη βασίζεται στο φαινόμενο της εξάτμισης του νερού κατά το οποίο απορροφώνται μεγάλα ποσά θερμότητας. Ο αέρας που διέρχεται πάνω από λίμνες, σιντριβάνια, γενικά σώματα νερού, προκαλεί την εξάτμιση του νερού, εμπλουτίζεται με υδρατμούς και ψύχεται. Εκμεταλλευόμενοι το φαινόμενο αυτό μπορούμε να ψύξουμε χώρους του κτιρίου είτε άμεσα, είτε έμμεσα.

Η άμεση εξατμιστική ψύξη ή εξατμιστικός δροσισμός επιτυγχάνεται με χρήση ανοικτών σωμάτων νερού, όπως λίμνες, πισίνες, σιντριβάνια κ.λ.π. Ο θερμός αέρας που περνά από πάνω τους προκαλεί εξάτμιση ποσότητας νερού και έτσι πέφτει η θερμοκρασία του και ψύχει τον εσωτερικό χώρο, όπου εισέρχεται. Ακόμα κι αν ο αέρας δεν οδηγείται άμεσα στο κτίριο, το σύστημα αυτό δημιουργεί μικροκλίμα στο εξωτερικό του κτιρίου με χαμηλότερες θερμοκρασίες, το οποίο είναι επίσης αποδοτικό ενεργειακά. Πρέπει να σημειωθεί ότι ο αέρας που ψύχεται με εξάτμιση έχει αυξημένο ποσοστό υγρασίας, το οποίο στα θερμά και υγρά κλίματα μπορεί να διαταράξει τις συνθήκες άνεσης και να δημιουργήσει προβλήματα –μούχλα- στα δομικά υλικά, αλλά είναι ιδιαίτερα ευεργετικό στα ξηρά κλίματα, όπου και χρησιμοποιείται περισσότερο.

Κατά την έμμεση εξατμιστική ψύξη, η εξάτμιση του νερού γίνεται σε επιφάνεια ή σε σωλήνα με αποτέλεσμα να ψύχεται η εξωτερική τους επιφάνεια και ο αέρας που έρχεται σε επαφή με αυτή. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται η θερμοκρασία του αέρα χωρίς όμως να αυξάνεται η υγρασία του. Τα συστήματα εξατμιστικής ψύξης αποτελούνται συνήθως από εναλλάκτες θερμότητας ή ψεκαστήρες, φίλτρα κατακράτησης σωματιδίων κ.α. Τέτοια συστήματα είναι οι υπεδάφεις σωληνώσεις, οι πύργοι ψύξης, οι ψεκασμοί οροφών κ.α.

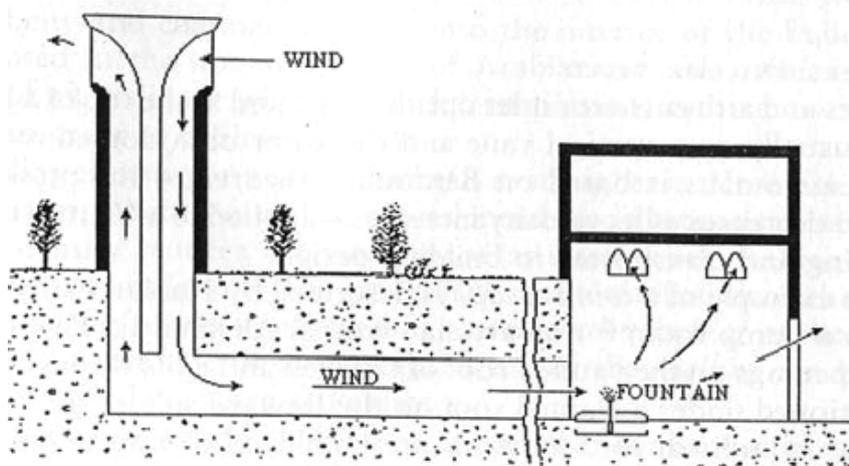
Μεγαλύτερη αποδοτικότητα στα συστήματα εξατμιστικής ψύξης επιτυγχάνεται με τη μεγιστοποίηση της ροής του αέρα πάνω από το νερό, ώστε να αποφεύγεται ο κορεσμός του αέρα σε υδρατμούς.

Το σύστημα ψεκασμού οροφής φαίνεται στο παρακάτω σχήμα και λειτουργεί ως εξής : Νερό ψεκάζεται πάνω στην κεκλιμένη οροφή με αποτέλεσμα κυλώντας στην επιφάνειά της, μέρος του να εξατμίζεται και να ψύχει την οροφή. Το υπόλοιπο νερό συλλέγεται και οδηγείται ξανά για χρήση. Η οροφή καλύπτεται με μεταλλικά φύλλα, διευκολύνοντας έτσι την ακτινοβολία θερμότητας στο νυχτερινό ουρανό. Παρέχεται με τον τρόπο αυτό συνδυαστική εξατμιστική ψύξη και ψύξη ακτινοβολίας.



Σχήμα 4.26 : Σύστημα ψεκασμού οροφής. Συνδυασμός παθητικής ψύξης με εξάτμιση και ακτινοβολία.

Ο πύργος ανεμισμού που αναφέρθηκε παραπάνω μπορεί να συμβάλλει μέσω της εξατμιστικής ψύξης στο δροσισμό του κτιρίου, όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



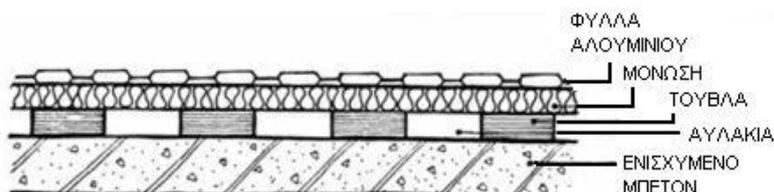
Σχήμα 4.27 : Πύργος ψύξης

4.3.4 Απόρριψη θερμότητας με ακτινοβολία

Η απόρριψη θερμότητας στο περιβάλλον βασίζεται στο φαινόμενο της ακτινοβολίας «μέλανος σώματος». Η θερμική ενέργεια που αποθηκεύεται στο κέλυφος του κτιρίου κατά τη διάρκεια της ημέρας ακτινοβολείται κατά τη διάρκεια της νύχτας στον ουρανό, ο οποίος λειτουργεί ως «μέλαν σώμα» και απορροφά όλη την ακτινοβολία που «προσπίπτει» σε αυτόν. Μάλιστα όσο καθαρότερος είναι ο ουρανός, δηλαδή όσο πιο μαύρος είναι, και όσο χαμηλότερη η θερμοκρασία περιβάλλοντος,

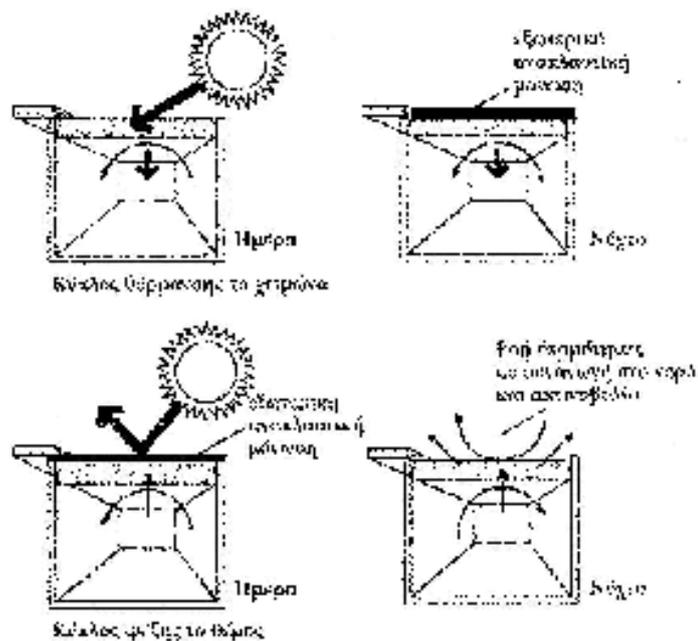
τόσο περισσότερη θερμότητα ακτινοβολείται. Τα μεγαλύτερα ποσά θερμότητας εκπέμπουν οι επιφάνειες που αποτελούνται από βαριά δομικά υλικά, τα οποία έχουν αποθηκεύσει μεγάλα ποσά θερμικής ενέργειας την ημέρα χωρίς να μεταβάλλουν την εσωτερική θερμοκρασία του κτιρίου και οι επιφάνειες που έχουν τη μεγαλύτερη «θέα» στον ουρανό, δηλαδή οι οροφές. Λόγω όμως των μεγάλων θερμικών απωλειών το χειμώνα, οι οροφές διαθέτουν πολύ καλή μόνωση, γεγονός που δυσκολεύει την νυχτερινή ακτινοβολία. Για το λόγο αυτό το σύστημα δροσισμού νυχτερινής ακτινοβολίας αποτελείται από ειδική διάταξη, τον «μεταλλικό ακτινοβολητή» ή από λίμνη οροφής.

Ο μεταλλικός ακτινοβολητής τοποθετείται εξωτερικά της οροφής του κτιρίου και αποτελείται από διπλή, μεταλλική, αυλακωτή πλάκα, η εξωτερική επιφάνεια της οποίας είναι ανακλαστική και η εσωτερική καλυμμένη με θερμομονωτικό υλικό. Μέσα στα αυλάκια της πλάκας διοχετεύεται θερμός αέρας από το εσωτερικό του κτιρίου, ο οποίος ψύχεται ερχόμενος σε επαφή με την ψυχρή εξωτερική πλάκα και επαναδιοχετεύεται στο κτίριο.



Σχήμα 4.28 : Μεταλλικός ακτινοβολητής

Ένα άλλο σύστημα νυχτερινής ακτινοβολίας, αρκετά ασύμφορο για κατασκευαστικούς λόγους, είναι η λίμνη οροφής. Εγκαθίσταται στην οροφή του κτιρίου αβαθής δεξαμενή νερού, περίπου 5 cm, η οποία κατά τους καλοκαιρινούς μήνες σκιάζεται την ημέρα, ενώ τη νύχτα «ανοίγει» ακτινοβολώντας θερμότητα ψύχοντας έτσι το χώρο του κτιρίου που βρίσκεται κάτω από αυτήν. Η λίμνη μπορεί να είναι καλυμμένη με διαφανές κάλυμμα, να αποτελείται από πλαστικού σάκου με νερό ή να είναι ανοικτή στο περιβάλλον, οπότε μπορεί να παρέχεται ψύξη και με εξάτμιση. Κατά τους χειμερινούς μήνες η λίμνη οροφής λειτουργεί αντίστροφα μένοντας ανοικτή την ημέρα, οπότε και θερμαίνεται και «κλείνοντας» τη νύχτα με ειδικό κινητό κάλυμμα από θερμομονωτικά φύλλα.



Σχήμα 4.29 : Λειτουργία λίμνης οροφής

4.3.5 Αξιοποίηση του υπεδάφους

Η δυνατότητα αξιοποίησης του υπεδάφους για την ψύξη των κτιρίων βασίζεται στη διαφορά θερμοκρασίας υπεδάφους και περιβάλλοντος αέρα. Η χαμηλότερη θερμοκρασία του υπεδάφους μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την απομάκρυνση θερμότητας από το κτίριο το καλοκαίρι, ενώ το χειμώνα που είναι υψηλότερη μπορεί να μειώσει τις θερμικές απώλειες. Η χρησιμοποίηση του εδάφους για ψύξη κτιρίου μπορεί να γίνει με δυο τρόπους :

- (α) με την κατασκευή υπόσκαφων ή ημιυπόσκαφων κτιρίων
- (β) με υπεδάφιο σύστημα αγωγών.

Τα κτίρια, των οποίων οι τοίχοι και η οροφή βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος λέγονται υπόσκαφα ή ημιυπόσκαφα. Η μεταφορά θερμότητας μέσω αγωγής μεταξύ κελύφους των κτιρίων και εδάφους έχει σαν αποτέλεσμα να διατηρούνται ζεστά το χειμώνα και δροσερά το καλοκαίρι. Κατά την κατασκευή τους θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν ορισμένες ιδιαιτερότητες όπως :

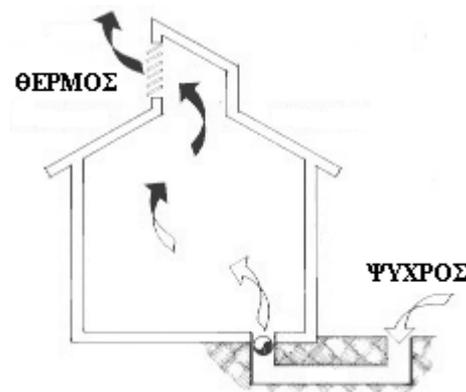
- ο η επιφάνεια που εκτίθεται στην ηλιακή ακτινοβολία πρέπει να φέρει μεγάλα ανοίγματα για να καλύπτονται οι ανάγκες φωτισμού

- ο τα τμήματα του κελύφους που βρίσκονται κάτω από το έδαφος πρέπει να έχουν υγραμόνωση αλλά όχι θερμομόνωση
- ο περιμετρική θερμομόνωση χρειάζονται τα σημεία εκείνα του κελύφους που βρίσκονται σε θερμοκρασίες κοντά σε αυτές του εξωτερικού αέρα
- ο οι οροφές και οι τοίχοι που βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος πρέπει να είναι ενισχυμένοι για να αντέχουν το βάρος και τις αναπτυσσόμενες τάσεις.

Όλες αυτές ο ιδιαιτερότητες καθιστούν την κατασκευή τους ασύμφορη και γι' αυτό είναι και περιορισμένη.

Το υπεδάφιο σύστημα αγωγών είναι υβριδικό σύστημα που εκμεταλλεύεται έμμεσα τη διαφορά θερμοκρασίας εδάφους και εξωτερικού αέρα. Αποτελείται από σωλήνωση μεταλλική ή PVC που τοποθετείται σε βάθος 1-3 μέτρα και στην οποία εισάγεται αέρας είτε από το εξωτερικό περιβάλλον είτε από το εσωτερικό του κτιρίου.

Το καλοκαίρι ο αέρας αυτός ψύχεται μέσω αγωγής θερμότητας και εξάτμισης αν το υπεδάφος έχει υγρασία και στη συνέχεια διοχετεύεται μέσα στο κτίριο με φυσητήρες. Αντίστοιχα το χειμώνα ο αέρας που εισέρχεται στους σωλήνες θερμαίνεται πριν διοχετευθεί ξανά στο εσωτερικό του κτιρίου. Οι σωλήνες πρέπει να έχουν μεγάλο μήκος, να είναι ευθύγραμμοι και να φέρουν φίλτρα για την κατακράτηση σκόνης και σωματιδίων. Η λειτουργία του συστήματος μπορεί να γίνει και με χρήση εναλλακτών εδάφους-αέρα, ανοικτού ή κλειστού κυκλώματος. Στην περίπτωση ανοικτού κυκλώματος η είσοδος του αέρα είναι στο περιβάλλον, έχει μικρή κλίση για να μην εισέρχεται νερό σε περίπτωση βροχής και βρίσκεται σε σκιασμένη θέση ώστε ο αέρας να είναι σε χαμηλή θερμοκρασία. Στην περίπτωση κλειστού κυκλώματος η είσοδος του αέρα είναι στο εσωτερικό του κτιρίου και σε υψηλό σημείο ώστε να είναι όσο το δυνατόν θερμότερος.



Σχήμα 4.30 : Αερισμός με υπεδάφιο σύστημα αγωγών και ανεμιστήρα.

4.4 Παθητικά συστήματα και τεχνικές φυσικού φωτισμού

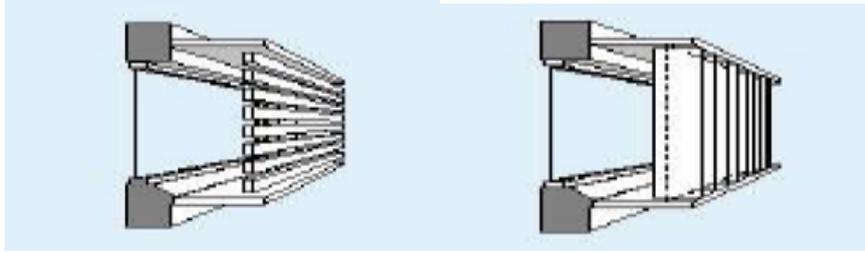
Η χρήση παθητικών συστημάτων και η εφαρμογή τεχνικών φυσικού φωτισμού έχει στόχο την επίτευξη οπτικής άνεσης αλλά και την κατά το δυνατόν μεγαλύτερη κάλυψη των αναγκών φωτισμού από φυσικό φως. Με τα κατάλληλα συστήματα εξασφαλίζεται επαρκής στάθμη φωτισμού και ομαλή κατανομή φωτός στο εσωτερικό ενός κτιρίου.

Τα συστήματα φυσικού φωτισμού ομαδοποιούνται στις εξής βασικές κατηγορίες:

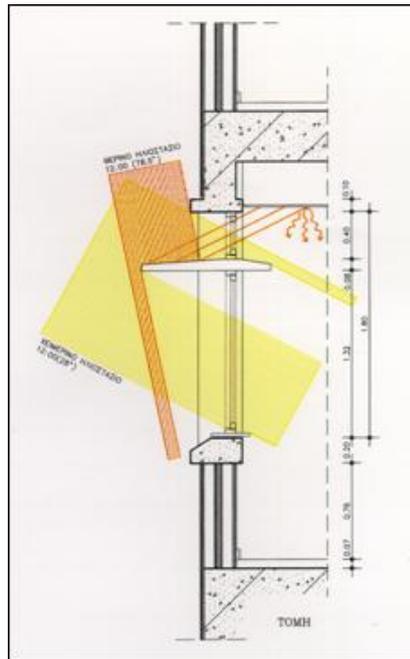
- Ανοίγματα στην κατακόρυφη τοιχοποιία
- Ανοίγματα οροφής
- Αίθρια
- Φωταγωγοί

Όσον αφορά τα *ανοίγματα* πρέπει να σημειώσουμε ότι σύστημα θεωρείται ο υαλοπίνακας, το πλαίσιο και η διάταξη σκίασης. Εφαρμόζοντας κατάλληλες τεχνικές που αφορούν το σχεδιασμό (θέση, μέγεθος, γεωμετρία) των ανοιγμάτων και τα φωτομετρικά χαρακτηριστικά των αδιαφανών επιφανειών (χρώμα, υφή) και των υαλοπινάκων (φωτοδιαπερατότητα, ανακλαστικότητα) αυξάνεται η απόδοση του συστήματος και βελτιώνονται οι συνθήκες άνεσης. Οι συνηθέστεροι τύποι υαλοπινάκων έχουν αναφερθεί στην προηγούμενη παράγραφο.

Πέρα από τη χρήση ειδικών υαλοπινάκων συνίσταται και η χρήση κατάλληλων σκιάστρων στα ανοίγματα κατακόρυφης τοιχοποιίας. Η σκίαση εκτός από μέσο ηλιοπροστασίας αποτελεί και μέσο ελέγχου του φυσικού φωτισμού και, ιδιαίτερα, της θάμβωσης, καθώς μειώνει την άμεση πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας στους χώρους. Συνεπώς, κατά την επιλογή του κατάλληλου σκιάστρου θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη τόσο η θερμική, όσο και η οπτική του απόδοση όλο το χρόνο. Υπάρχουν σταθερές και κινητές διατάξεις σκιάστρων, εσωτερικές και εξωτερικές. Από ενεργειακής πλευράς είναι προτιμότερο να χρησιμοποιούνται εξωτερικά σκίαστρα. Όσον αφορά το φυσικό φωτισμό οι κινητές διατάξεις σκιάστρων, όπως τα βενετικά στόρια είναι κατάλληλες για τη βελτίωση των συνθηκών φυσικού φωτισμού, καθώς περιορίζουν τη θάμβωση που προκαλείται από τα παράθυρα, μέσω της εκτροπής των ηλιακών ακτίνων προς την οροφή. Τα κινητά σκίαστρα μπορεί να ελέγχονται χειροκίνητα, μηχανικά ή αυτόματα με τηλεχειριστήριο, ανάλογα με την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία, την εξωτερική ή εσωτερική θερμοκρασία.

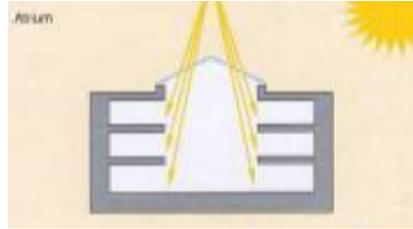
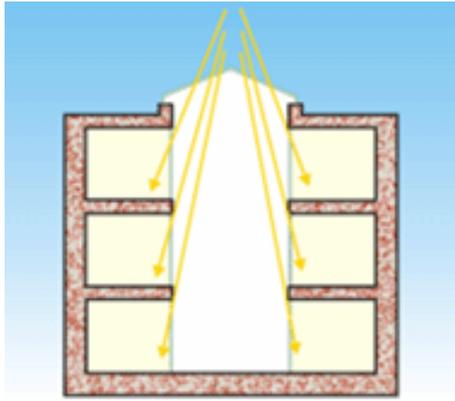


Σχήμα 4.31 : Οριζόντια και κατακόρυφα σκίαστρα



Σχήμα 4.32 : Σχεδιασμός σκίαστρου για χειμερινό ηλιασμό, θερινή ηλιοπροστασία και ενίσχυση φυσικού φωτισμού.

Το *αίθριο* είναι ένα είδος παθητικού συστήματος και μπορεί να συνεισφέρει σημαντικά στην εξοικονόμηση ενέργειας σε ένα κτίριο, λειτουργώντας ως πηγή φυσικού φωτός στην καρδιά του. Μάλιστα οι συνεχώς αναπτυσσόμενες τεχνικές αερισμού των αιθρίων και η συσχέτισή τους με τις αρχές του παθητικού ηλιακού σχεδιασμού καθιστούν τα αίθρια ιδιαίτερα αποδοτικά.



Σχήμα 4.33 : Αίθριο

Ειδικότερα τα αίθρια :

- Επιτρέπουν την είσοδο φωτεινής ακτινοβολίας στις κεντρικές ζώνες του κτιρίου.
- Βοηθούν στην αύξηση της στάθμης του φωτισμού των χώρων.
- Παρέχουν διάχυτο φως, και φως από επάλληλες ανακλάσεις συντελώντας στην ομοιόμορφη κατανομή του αποτρέποντας τη θάμβωση.

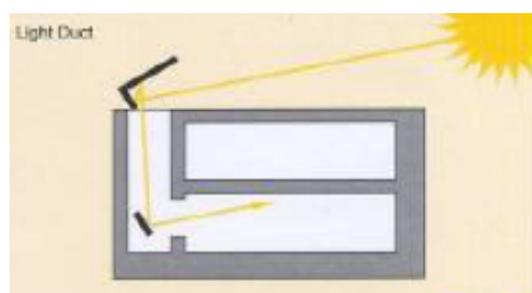
Η στάθμη του φωτισμού των εσωτερικών χώρων εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του αιθρίου, τα οπτικά χαρακτηριστικά των επιφανειών των τοίχων, του δαπέδου και της οροφής (ανακλαστικότητα, απορροφητικότητα) και τα οπτικά χαρακτηριστικά των υαλοπινάκων (ανακλαστικότητα, απορροφητικότητα, φωτοδιαπερατότητα) που βρίσκονται στους χώρους που περιβάλλουν το αίθριο.

Επίσης το αίθριο μπορεί να είναι ανοιχτό, με κάλυψη υαλοπίνακα ακόμη και διαφόρων χρωμάτων, ή σκιασμένο με περσίδες κ.λ.π. Ανάλογα με το σχεδιασμό και τη χρήση του κτιρίου συνιστάται η εγκατάσταση κινητής διάταξης σκίασης, καθώς η φωτεινότητα του ουρανού κυμαίνεται σε ευρύ φάσμα. Κατά τις νεφελώδεις μέρες του χειμώνα τα υαλοστάσια δεν πρέπει να περιορίζουν την ένταση του φωτισμού, αλλά να παρέχεται επαρκής φυσικός φωτισμός στο αίθριο, ενώ κατά τις ανέφελες μέρες του καλοκαιριού πρέπει να αποφεύγεται η θάμβωση και η υπερθέρμανση του αιθρίου. Γενικά προτιμάται η χρήση υαλοπινάκων υψηλής διαπερατότητας και επίστρωσης των τοίχων γύρω από το αίθριο με υψηλό συντελεστή ανάκλασης.

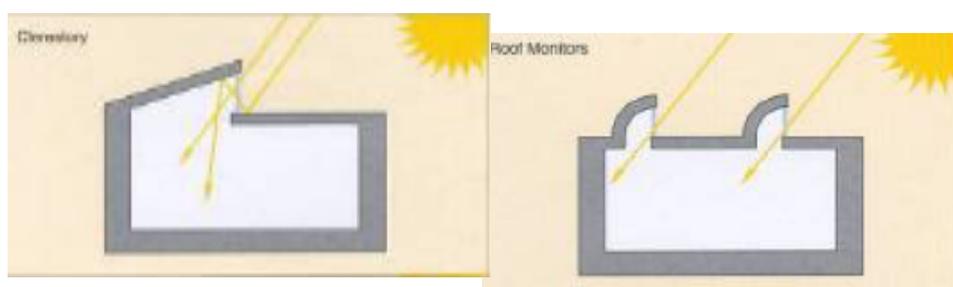
Οι *φωταγωγοί*, καθώς και οι φεγγίτες, εισάγουν το φυσικό φως σε χώρους όπου είναι δύσκολη η διείσδυση φυσικού φωτός με άλλο τρόπο. βρίσκονται στη στέγη των

κτιρίων και το φως που διεισδύει είτε κατακόρυφα, είτε υπό γωνία, εισάγεται στο εσωτερικό του κτιρίου είτε άμεσα, είτε με ανάκλαση. Η διάταξη αυτή περιλαμβάνει ανακλαστήρες στην είσοδο του φωταγωγού που διοχετεύουν το φως προς το εσωτερικό, ενώ αποδοτικότερος είναι ο ηλιοστάτης, ο οποίος φέρει καθρέπτη και ακολουθεί την κίνηση του ηλίου.

Ακόμη για το φυσικό φωτισμό περισσότερων ορόφων χρησιμοποιείται ο σωλήνας-φωταγωγός ή φωτοσωλήνας, ο οποίος με επάλληλες ανακλάσεις οδηγεί το φως βαθύτερα μέσα στο κτίριο.



Σχήμα 4.34: φωτοσωλήνας



Σχήμα 4.35 : φεγγίτες

Τα παραπάνω αποτελούν συστήματα φυσικού φωτισμού, η λειτουργία των οποίων βελτιώνεται με την εφαρμογή τεχνικών που αφορούν στο σχεδιασμό και την τοποθέτηση των ανοιγμάτων, τις οπτικές ιδιότητες των υαλοπινάκων, τα φωτομετρικά χαρακτηριστικά των επιφανειών του χώρου και των ανοιγμάτων του (υφή, χρώμα, φωτοδιαπερατότητα υλικών) και τη χρήση ανακλαστήρων, για την εξασφάλιση επάρκειας και ομαλής κατανομής του φυσικού φωτός. Υαλοπίνακες με κατάλληλες ιδιότητες, πρισματικά φωτοδιαπερατά στοιχεία, διαφανή μονωτικά υλικά και ανακλαστήρες (ράφια φωτισμού ή ανακλαστικές περσίδες) είναι από τις συνηθέστερες τεχνολογίες φυσικού φωτισμού.

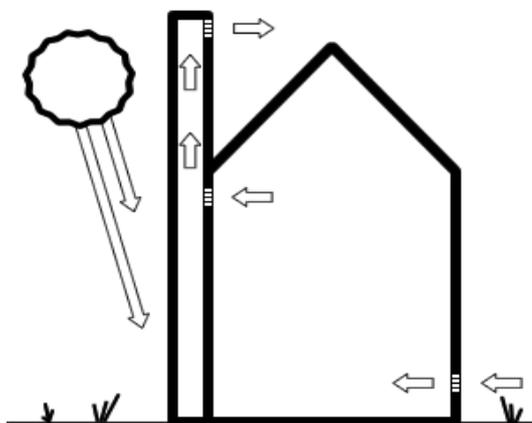
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΚΑΜΙΝΑΔΑΣ

5.1 Εισαγωγή

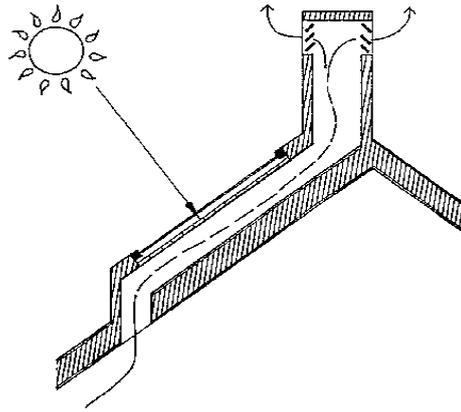
Η ηλιακή καμινάδα αναφέρεται συχνά και ως θερμική καμινάδα μελετάται και εφαρμόζεται ως παθητικό σύστημα φυσικού αερισμού και δροσισμού σε σύγχρονα οικολογικά κτίρια. Η εφαρμογή της είναι ευρέως διαδεδομένη σε χώρες της ανατολής, όπου το κλίμα είναι θερμό και υγρό. Η χρήση της στις περιοχές αυτές γίνεται συνήθως σε συνδυασμό με πύργο αερισμού, και αποτελείται ολόκληρη από θερμική δομική μάζα.

Βασικό πλεονέκτημά της είναι ότι μπορεί να προσφέρει φυσικό αερισμό στο κτίριο που είναι κατασκευασμένη ακόμα και τις μέρες που δεν έχει καθόλου άνεμο, καθώς η διαφορά θερμοκρασίας στο εσωτερικό της προκαλεί την κίνηση του αέρα.

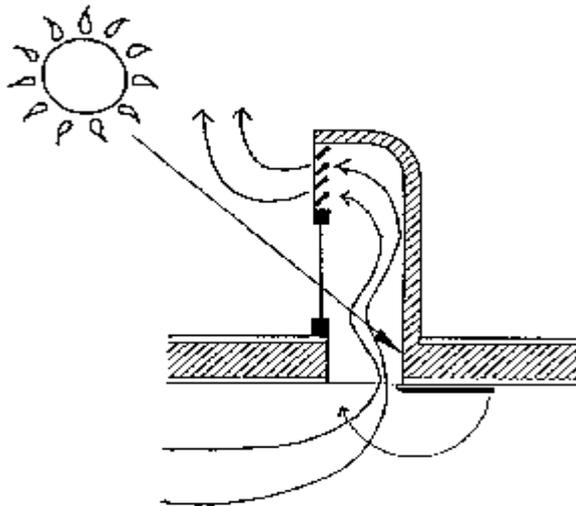
Η κατασκευή της ηλιακής καμινάδας ποικίλει ανάλογα με το σχεδιασμό και τη χρήση του κτιρίου. Έτσι μπορεί να είναι κατακόρυφη και να βρίσκεται σε επαφή με έναν εξωτερικό τοίχο (σχήμα 5.1), να είναι κεκλιμένη ακολουθώντας τη γεωμετρία της οροφής (σχήμα 5.2) ή κατακόρυφη πάνω στην οροφή (σχήμα 5.3).



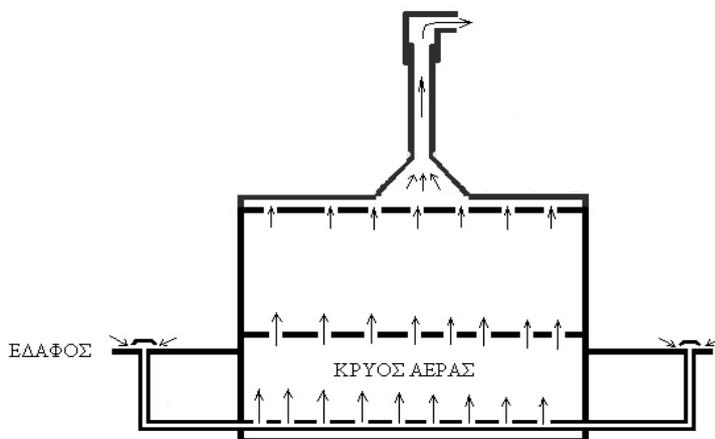
Σχήμα 5.1: Κατακόρυφη ηλιακή καμινάδα σε επαφή με τον εξωτερικό τοίχο.



Σχήμα 5.2 : Κεκλιμένη ηλιακή καμινάδα στην οροφή του κτιρίου.



Σχήμα 5.3.α : Κατακόρυφη ηλιακή καμινάδα πάνω στην οροφή του κτιρίου.



Σχήμα 5.3.β : Κατακόρυφη ηλιακή καμινάδα στην κορυφή του κτιρίου.

5.2 Περιγραφή φυσικού μοντέλου

Η ηλιακή καμινάδα ουσιαστικά είναι ένα δομικό μέρος, το οποίο βρίσκεται σε επαφή με το κυρίως σώμα του κτιρίου και συνδέεται με τον εσωτερικό του χώρο μέσω ενός ανοίγματος εισόδου αέρα. Αποτελείται από μια γυάλινη επιφάνεια, υλικού χαμηλής απορροφητικότητας και υψηλής διαπερατότητας και εκπομπής ηλιακής ακτινοβολίας, και τον εξωτερικό τοίχο του κτιρίου, ο οποίος ονομάζεται τοίχος απορρόφησης, είναι σκούρου χρώματος, αποτελεί μεγάλη θερμική μάζα και αποτελείται από υλικό μεγάλης ικανότητας θερμικής αποθήκευσης. Μεταξύ των επιφανειών αυτών παρεμβάλλεται διάκενο απ' όπου περνά ο αέρας που εισέρχεται από τον εσωτερικό χώρο του κτιρίου και κινούμενος ανοδικά, λόγω θερμικού κέρδους, εξέρχεται από άνοιγμα εξόδου που βρίσκεται στην κορυφή της ηλιακής καμινάδας.

Το παθητικό αυτό σύστημα εκμεταλλεύεται το θερμοσιφωνικό φαινόμενο, το οποίο ονομάζεται επίσης και «φαινόμενο της καμινάδας», με τη βοήθεια της ηλιακής ακτινοβολίας και τη μετατροπή της μέσα στα δομικά υλικά σε θερμική ενέργεια.

Παρακάτω επεξηγούνται τα σύμβολα και οι μεταβλητές που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή και τη μελέτη του φαινομένου και αφορούν τη γεωμετρία της ηλιακής καμινάδας:

H_c , ύψος της ηλιακής καμινάδας

H_g , ύψος της γυάλινης επιφάνειας

H_w , ύψος του τοίχου απορρόφησης

d , βάθος του διακένου/απόσταση μεταξύ των δυο επιφανειών

z , ύψος ανοίγματος εισόδου

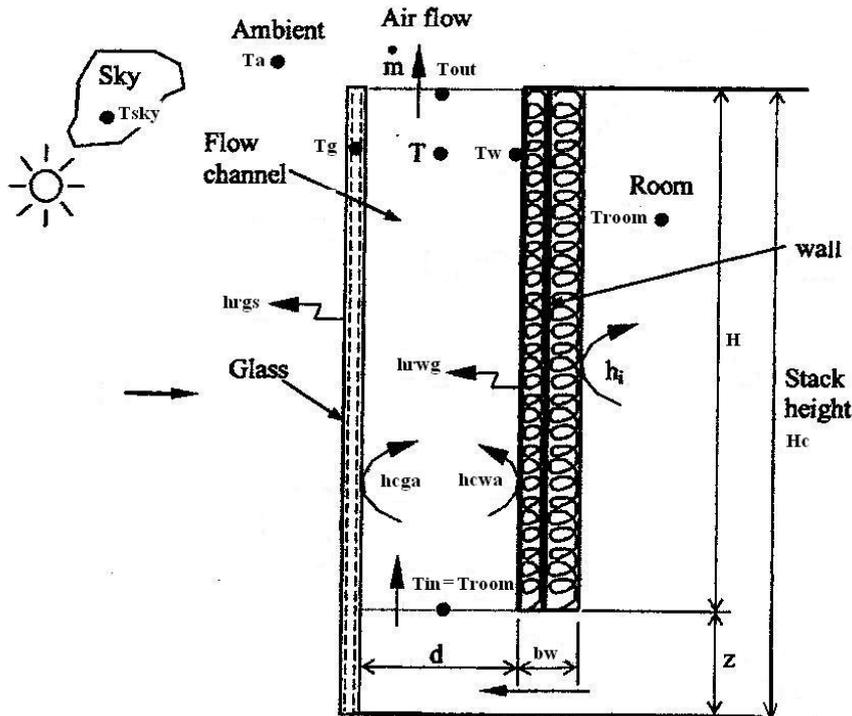
w , πλάτος της ηλιακής καμινάδας

b_g , πάχος γυάλινης επιφάνειας

b_w , πάχος τοίχου απορρόφησης

A_i , επιφάνεια ανοίγματος εισόδου

A_o , επιφάνεια ανοίγματος εξόδου



Σχήμα 5.5: Φυσικό μοντέλο ηλιακής καμινάδας με απεικόνιση της ροής της θερμότητας μεταξύ των μερών της.

Η ροή στο εσωτερικό της καμινάδας σχετίζεται με τις διαστάσεις της και το είδος της καθορίζεται από αυτές. Γενικά έχει μελετηθεί και αποδειχθεί ότι ο βέλτιστος λόγος ύψος/πλάτος καμινάδας για μέγιστο ρυθμό ροής είναι 10.

5.3 Περιγραφή λειτουργίας ηλιακής καμινάδας

Η ηλιακή καμινάδα (solar chimney) αποτελεί ηλιακό παθητικό σύστημα δροσισμού. Βασίζεται στο «θερμοσιφωνικό φαινόμενο» ή «φαινόμενο της καμινάδας» και στις αρχές του φυσικού αερισμού. Η λειτουργία της εξαναγκάζει τον εξωτερικό αέρα που εισέρχεται σε κάποιον εσωτερικό χώρο σε κυκλοφορία και έξοδο του με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται

- (α) αερισμός του χώρου,
- (β) βελτίωση της ποιότητας του αέρα – με δεδομένο ότι οι ρύποι του εξωτερικού αέρα δεν ξεπερνούν τις καθορισμένες τιμές –
- (γ) μείωση της θερμοκρασίας του χώρου και ειδικότερα της αισθητής θερμοκρασίας.

Χρησιμοποιείται τους θερμούς μήνες του έτους κατά τη διάρκεια της ημέρας, αλλά και της νύχτας ως σύστημα νυχτερινού αερισμού.

Ο απλούστερος τρόπος εφαρμογής φυσικού αερισμού σε κτίρια είναι μέσω των ανοιγμάτων τους. Παρόλα αυτά η διαφορά πίεσης μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού χώρου δεν είναι πάντα αρκετή, ώστε να εισέλθει αρκετός αέρας στους εσωτερικούς χώρους και να προκληθεί η κυκλοφορία του και η έξοδος του, δηλαδή η ανανέωσή του, η οποία είναι πολύ σημαντική τόσο για τη βελτίωση της ποιότητας του εσωτερικού αέρα, όσο και για τη μείωση της θερμοκρασίας.

Η ενίσχυση της κυκλοφορίας του αέρα σε ένα χώρο, μεταξύ του ανοίγματος εισόδου του αέρα και του ανοίγματος εξόδου, μπορεί να γίνει με χρήση της ηλιακής καμινάδας, η οποία δημιουργεί στο άνοιγμα εισόδου της διαφορά πίεσης σε σχέση με τον υπόλοιπο χώρο, οπότε και εξαναγκάζει ουσιαστικά τον αέρα να εισέλθει σε αυτή (αντλητικό αποτέλεσμα). Στον εσωτερικό χώρο της καμινάδας η διαφορά θερμοκρασίας, λόγω της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας, είναι αυτή που εξαναγκάζει τον αέρα σε κίνηση ανοδική επιτυγχάνοντας τελικά την έξοδό του από το υψηλότερο σημείο της (φυσικός ερπυσμός).

Τελικά αέρας θερμοκρασίας εξωτερικού περιβάλλοντος εισέρχεται στο χώρο, κυκλοφορεί απάγοντας θερμότητα από τα δομικά στοιχεία, οδηγείται στο άνοιγμα εισόδου της ηλιακής καμινάδας, όπου η θερμοκρασία του αρχίζει να αυξάνεται, η πυκνότητά του να μειώνεται με αποτέλεσμα να ακολουθεί ανοδική κίνηση και να οδηγείται στο υψηλότερο σημείο της καμινάδας, από τα ανοίγματα του οποίου εξέρχεται. Τα τοιχώματα της καμινάδας είναι αυτά που απορροφούν την ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει σε αυτά, την αποθηκεύουν και στη συνέχεια την εκπέμπουν μέσω συναγωγής και ακτινοβολίας στον εσωτερικό της χώρο, οπότε και θερμαίνεται ο αέρας. Πρέπει να σημειωθεί ότι τα τοιχώματα της καμινάδας εκπέμπουν θερμότητα σε κάθε σώμα με το οποίο συνορεύουν, οπότε υπάρχουν απώλειες και στο εξωτερικό περιβάλλον αλλά και τον εσωτερικό χώρο, αν και αυτές μπορούν να ελαχιστοποιηθούν με τη χρήση καλής θερμομόνωσης. Η ετεροχρονισμένη εκπομπή θερμότητας που εμφανίζουν τα δομικά στοιχεία καθιστά δυνατή τη λειτουργία της ηλιακής καμινάδας και κατά τις νυχτερινές ώρες, προκαλώντας νυχτερινό αερισμό.

Προϋποθέσεις αποδοτικότητας της λειτουργίας της ηλιακής καμινάδας είναι η ύπαρξη στην περιοχή διαθέσιμης ηλιακής ακτινοβολίας μεγάλης έντασης και ο διαυγής, καθαρός ουρανός. Η κατακόρυφη ηλιακή καμινάδα τοποθετείται εξωτερικά του κτιρίου, σε άμεση επαφή με αυτό και ο προσανατολισμός της πρέπει να είναι

νότιος, ώστε να δέχεται μεγάλο ποσοστό ηλιακής ακτινοβολίας. Ειδικότερα, οι παράμετροι που επηρεάζουν άμεσα τη λειτουργία της ηλιακής καμινάδας είναι η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, η θερμοκρασία του αέρα εξωτερικού περιβάλλοντος, η θερμοκρασία του αέρα εσωτερικού χώρου και τα υλικά των δομικών στοιχείων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο – ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

6.1 Ορολογία

hc_{ga} : συντελεστής συναγωγής θερμότητας μεταξύ γυαλιού και αέρα (W/m^2K)

hc_{wa} : συντελεστής συναγωγής θερμότητας μεταξύ τοίχου και αέρα (W/m^2K)

h_{rwg} : συντελεστής ακτινοβολίας θερμότητας από τον τοίχο προς το γυαλί (W/m^2K)

h_{rgs} : συντελεστής ακτινοβολίας θερμότητας από το γυαλί στον ουρανό (W/m^2K)

hc : συντελεστής συναγωγής του αέρα που ρέει στην καμινάδα (W/m^2K)

α_g : συντελεστής απορρόφησης ηλιακής ακτινοβολίας γυαλιού

α_w : συντελεστής απορρόφησης ηλιακής ακτινοβολίας τοίχου

ϵ_g : συντελεστής ακτινοβολίας ηλιακής ακτινοβολίας γυαλιού

ϵ_w : συντελεστής ακτινοβολίας ηλιακής ακτινοβολίας τοίχου

τ_g : συντελεστής εκπομπής γυαλιού

μ_f : δυναμική συνεκτικότητα αέρα (kg/ms)

ρ_f : πυκνότητα αέρα (kg/m^3)

k_f : θερμική αγωγιμότητα αέρα (W/mK)

k_g : θερμική αγωγιμότητα γυαλιού (W/mK)

k_w : θερμική αγωγιμότητα τοίχου (W/mK)

ν_f : κινηματική συνεκτικότητα αέρα (m^2/s)

C_p : ειδική θερμοχωρητικότητα (J/kgK)

Nu : αριθμός Nusselt

Pr : αριθμός Prandtl (0.7-0.8 για τον αέρα)

Ra : αριθμός Rayleigh

Gr : αριθμός Grashof-(μεταξύ 10^8 - 10^9 γίνεται η μετάβαση του οριακού στρώματος από στρωτή ροή σε τυρβώδη, για φυσική συναγωγή κατά μήκος κατακόρυφης πλάκας)

H_c : ύψος ηλιακής καμινάδας

w : πλάτος ηλιακής καμινάδας

d : απόσταση μεταξύ τοίχου απορρόφησης και υαλοπίνακα (πλάτος διάκενου)

z : ύψος ανοίγματος εισόδου

b_g : πάχος υαλοπίνακα

b_w : πάχος τοίχου απορρόφησης

T_w : θερμοκρασία τοίχου απορρόφησης

T_g : θερμοκρασία υαλοπίνακα

T : θερμοκρασία του αέρα που ρέει στο «κανάλι» της ηλιακής καμινάδας

T_m : μέση θερμοκρασία των δυο επιφανειών

T_a : θερμοκρασία εξωτερικού αέρα

T_{sky} : θερμοκρασία «ουρανού»

T_{room} : θερμοκρασία εσωτερικού χώρου του κτιρίου

6.2 Ηλιακή ακτινοβολία

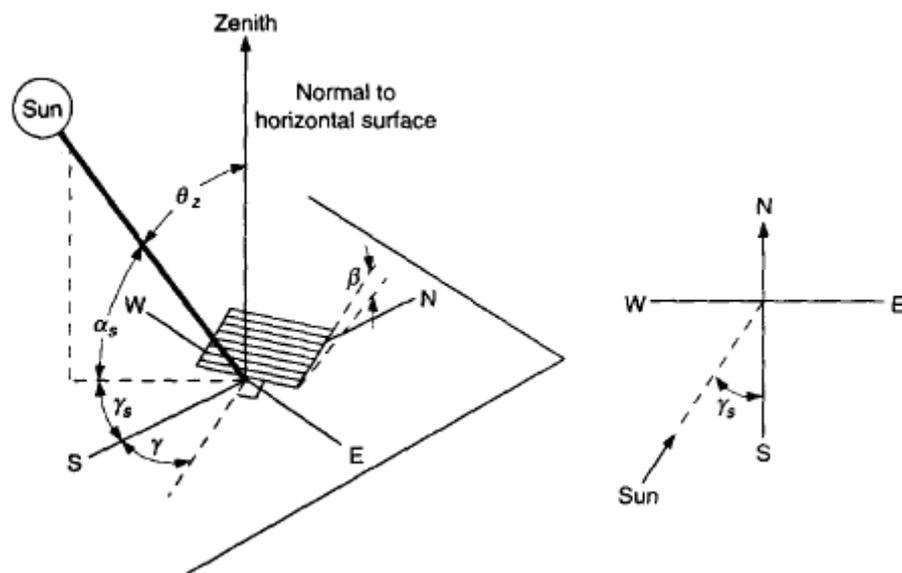
6.2.1 Γενικά

- *Ακτινική ή άμεση Ακτινοβολία (d)* : η ηλιακή ακτινοβολία που λαμβάνεται από τον ήλιο χωρίς να έχει υποστεί διάχυση από την ατμόσφαιρα. (Η ακτινική συνιστώσα αναφέρεται συχνά και ως άμεση συνιστώσα)
- *Διάχυτη Ακτινοβολία (b)* : η ηλιακή ακτινοβολία που λαμβάνεται από τον ήλιο αφού η κατεύθυνσή της έχει αλλάξει από τη διάχυση στην ατμόσφαιρα.
- *Ολική Ηλιακή Ακτινοβολία* : το άθροισμα ακτινικής και διάχυτης ακτινοβολίας σε μια οριζόντια επιφάνεια
- *Ένταση Ακτινοβολίας* (W/m^2) είναι η τιμή της ακτινοβολούμενης ενέργειας που προσπίπτει σε μοναδιαία επιφάνεια προς την επιφάνεια αυτή. Το σύμβολο G χρησιμοποιείται για την περιγραφή της έντασης της ακτινοβολίας με αντίστοιχους δείκτες για την ακτινική και τη διάχυτη.

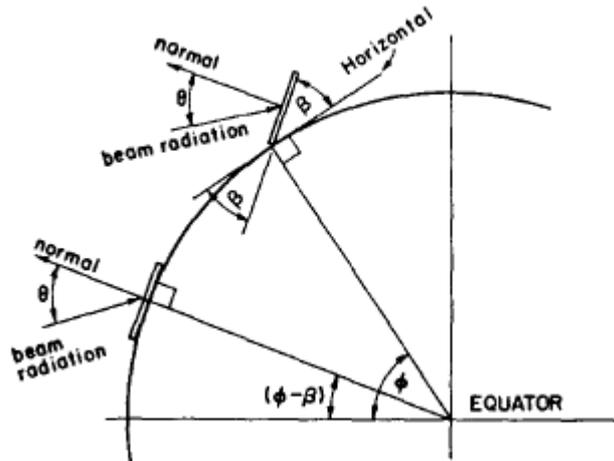
Οι γεωμετρικές σχέσεις μεταξύ ενός επιπέδου αυθαίρετου προσανατολισμού ως προς τη γη οποιαδήποτε χρονική στιγμή (ανεξαρτήτως αν το επίπεδο είναι σταθερό ή κινείται σε σχέση με τη γη) και της προσπίπτουσας άμεσης ακτινοβολίας, που ισοδυναμεί με τη θέση του ήλιου σχετικά με τη θέση του επιπέδου, μπορούν να περιγραφούν με τη βοήθεια γωνιών:

- φ : γεωγραφικό πλάτος, η γωνιακή θέση της τοποθεσίας βόρεια ή νότια από τον ισημερινό, θετικό στο βόρειο ημισφαίριο και αρνητικό στο νότιο ($-90^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$)
- δ : ηλιακή απόκλιση, η γωνιακή θέση του ήλιου το ηλιακό μεσημέρι (δηλ. όταν ο ήλιος είναι στον τοπικό μεσημβρινό) σε σχέση με το επίπεδο του ισημερινού, θετική στο βόρειο ημισφαίριο και αρνητική στο νότιο ($-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$)

- β : κλίση, η γωνία μεταξύ του επιπέδου της υπό εξέταση επιφάνειας και του οριζόντια, $0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$ ($\beta > 90^\circ$ σημαίνει ότι το επίπεδο της επιφάνειας είναι στραμμένο προς τα κάτω)
- γ : αζιμούθια γωνία επιφάνειας, η γωνιακή απόκλιση της προβολής της καθέτου της επιφάνειας στο οριζόντιο επίπεδο από τον τοπικό μεσημβρινό, με μηδενική τιμή στο νότο, -90° στην ανατολή, 90° στη δύση, 180° στο βορρά
- ω : ωριαία γωνία, η γωνιακή απόκλιση του ήλιου ανατολικά ή δυτικά από τον τοπικό μεσημβρινό που οφείλεται στην περιστροφή της γης γύρω από τον άξονα της κατά 15° την ώρα, παίρνει αρνητικές τιμές πριν τις 12: και θετικές μετά
- θ : γωνία πρόσπτωσης, η γωνία μεταξύ της ακτινικής συνιστώσας της ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μια επιφάνεια και της καθέτου στην επιφάνεια αυτή
- θ_z : ζενιθιακή γωνία, η γωνία μεταξύ της κατακορύφου και της ευθείας με τον ήλιο, ή η γωνία πρόσπτωσης της άμεσης ακτινοβολίας που προσπίπτει σε οριζόντια επιφάνεια



Σχήμα 6.1 : Γωνίες προσδιορισμού θέσης επιπέδου και ήλιου.



Σχήμα 6.2 : Ισοδύναμες γωνίες κεκλιμένων επιφανειών

6.2.2 Ηλιακή ακτινοβολία κατακόρυφου επιπέδου

Η στιγμιαία ολική ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου δίνεται από τη σχέση :

$$G_T = R \cdot G \quad (6.1)$$

$$\text{Και λόγω της } R = \frac{G_b}{G} \cdot R_b + \frac{G_d}{G} \cdot \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + \rho \cdot \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) , \quad (6.2)$$

$$\text{προκύπτει ότι } G_T = G_b \cdot R_b + G_d \cdot \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + (G_b + G_d) \cdot \rho \cdot \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) . \quad (6.3)$$

Στις παραπάνω σχέσεις η γωνία β αντιστοιχεί στην κλίση του κεκλιμένου επιπέδου ως προς το οριζόντιο και το μέγεθος ρ αντιστοιχεί στην ανακλαστικότητα του εδάφους ($\rho=0.2$ για συνηθισμένο έδαφος, έως 0.7 για χιονισμένο).

Στην περίπτωση της ηλιακής καμινάδας, όπου η επιφάνεια είναι κατακόρυφη, είναι $\beta=90^\circ$ και $\rho=0.2$ για συνηθισμένο έδαφος. Οπότε τελικά μπορούμε να γράψουμε την 6.3 ως εξής :

$$G_T = G_b \cdot R_b + \frac{G_d}{2} + 0.1 \cdot (G_b + G_d) \quad (6.4)$$

Υπολογισμός της άμεσης στιγμιαίας ακτινοβολίας οριζοντίου επιπέδου

Σύμφωνα με μετρήσεις του Αστεροσκοπείου Αθηνών για κάθε ώρα και ημέρα του έτους και μετά από στατιστική επεξεργασία αυτών η μέση στιγμιαία άμεση ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου (kW/m^2) δίνεται από τη σχέση :

$$G_b = M_t + A_t \cdot \sin\left(\frac{360}{365} \cdot D - P_t\right) \quad (6.5)$$

Όπου οι συντελεστές M_t , A_t και P_t δίνονται στον πίνακα 6.1 για κάθε ώρα από τις 8:00 έως τις 17:00 και $D = 1 \div 365$ ο αριθμός της ημέρας του τυπικού έτους, όπου $D=1$ για την 1^η Ιανουαρίου, $D=202$ για την 21^η Ιουλίου, $D=141$ για την 21^η Μαΐου και $D=264$ για την 21^η Σεπτεμβρίου.

Υπολογισμός της διάχυτης στιγμιαίας ακτινοβολίας οριζοντίου επιπέδου

Ομοίως υπολογίζεται και η διάχυτη στιγμιαία ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου (kW/m^2) από τη σχέση 6.6 :

$$G_d = m_t + a_t \cdot \sin\left(\frac{360}{365} \cdot D - p_t\right) \quad (6.6)$$

Όπου οι συντελεστές m_t , a_t και p_t δίνονται στον πίνακα 6.1 για κάθε ώρα από τις 8:00 έως τις 17:00.

Υπολογισμός λόγου άμεσης ακτινοβολίας

Ο λόγος της αμέσου ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου προς την άμεσο οριζοντίου επιπέδου υπολογίζεται :

$$R_b = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z}, \quad (6.7)$$

$$\text{όπου } \cos \theta = -\sin \delta \cdot \cos \phi \cdot \cos \gamma + \cos \delta \cdot \sin \phi \cdot \cos \gamma \cdot \cos \omega + \cos \delta \cdot \sin \gamma \cdot \sin \omega \quad (6.8)$$

$$\text{και } \cos \theta_z = \sin \delta \cdot \sin \phi + \cos \delta \cdot \cos \phi \cdot \cos \omega \quad (6.9)$$

Οι γωνίες που εμφανίζονται στους υπολογισμούς είναι :

$$\delta = 23.45 \cdot \sin\left(\frac{360 \cdot (284 + n)}{365}\right) \quad (6.10)$$

$\varphi=38^\circ$, γεωγραφικό πλάτος

$\gamma=0^\circ$, αζιμούθιο επιφανείας

$\omega=0.25x(\text{min από το ηλιακό μεσημέρι}/12:00)$, ωριαία γωνία

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1 - Συντελεστές υπολογισμού στιγμιαίας ακτινοβολίας

ώρες	Mt	At	Pt	mt	at	pt
8:00	0,057	0,068	87,31	0,134	0,127	82,45
9:00	0,119	0,104	87,84	0,208	0,133	83,94
10:00	0,191	0,129	88,31	0,261	0,129	85,60
11:00	0,258	0,153	89,35	0,283	0,117	86,05
12:00	0,319	-0,181	-88,88	0,271	0,095	82,71
13:00	0,342	-0,194	-89,18	0,243	0,081	81,95
14:00	0,325	0,183	87,21	0,210	0,083	87,23
15:00	0,269	0,166	86,22	0,176	0,087	89,53
16:00	0,183	0,147	82,10	0,141	-0,085	-88,19
17:00	0,078	0,131	79,85	0,104	-0,079	-88,97

Τελικά από την εξίσωση 6.4 υπολογίζεται η μέση στιγμιαία ολική ακτινοβολία κατακόρυφου επιπέδου σε kW/m^2 .

6.3 Συντελεστές μετάδοσης θερμότητας

Οι συντελεστές μετάδοσης θερμότητας με ακτινοβολία εξαρτώνται από τις θερμοκρασίες των επιφανειών που εκπέμπουν και που δέχονται την ακτινοβολία καθώς και από τους αντίστοιχους συντελεστές των υλικών. Υπολογίζονται για κάθε γραμμή (i) κάθε χρονική στιγμή (n) με βάση τους τύπους :

- συντελεστές ακτινοβολίας

$$hrwg = \frac{\sigma \cdot (T_w + T_g) \cdot (T_w^2 + T_g^2)}{\left(\frac{1}{\varepsilon_g} + \frac{1}{\varepsilon_w} - 1 \right)} \quad (6.11)$$

$$hrgs = \frac{\sigma \cdot \varepsilon_g \cdot (T_g^4 - T_{sky}^4)}{(T_g - T_a)} \quad (6.12)$$

Οι συντελεστές μετάδοσης θερμότητας με συναγωγή εξαρτώνται από τις θερμοκρασίες των επιφανειών και από τη γεωμετρία της καμινάδας. Υπολογίζονται για κάθε γραμμή (i) κάθε χρονική στιγμή (n) με βάση τους τύπους :

- συντελεστές συναγωγής

$$hcga = \frac{Nu \cdot k_f}{H} \quad (6.13)$$

$$hcwa = \frac{Nu \cdot k_f}{H} \quad (6.14)$$

$$hc = \frac{Nu \cdot k_f}{d} \quad (6.15)$$

6.4 Μεγέθη της ροής του αέρα

Τα μεγέθη που χαρακτηρίζουν τη ροή του αέρα εξαρτώνται από τη θερμοκρασία του αέρα και των επιφανειών και υπολογίζονται για κάθε θέση (i) κάθε χρονική στιγμή (n) ως εξής :

$$\mu_f = 1,846 \cdot 10^{-5} + 0,00472 \cdot 10^{-5} \cdot (T_m - 300) \quad (6.16)$$

$$k_f = 0,0263 + 0,000074 \cdot (T_m - 300) \quad (6.17)$$

$$\rho_f = 1,614 - 0,00353 \cdot (T - 300) \quad (6.18)$$

$$C_p = 1007 + 0,004 \cdot (T_m - 300) \quad (6.19)$$

$$\text{Pr} = \frac{\mu \cdot C_p}{k_f} \quad (6.20)$$

$$\text{Gr} = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot H_c^3}{\nu^2} \quad (6.21)$$

$$\text{Ra} = \text{Gr} \cdot \text{Pr} \quad (6.22)$$

$$\text{Nu} = 0,68 + \frac{0,67 \cdot \text{Ra}^{0,25}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{\text{Pr}} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{4}{9}}} \quad (6.23)$$

$$\text{όπου } \beta = \frac{1}{T_m},$$

$$T_m = \frac{T_g + T_{sur}}{2}$$

$$\Delta T = T_{sur} - T$$

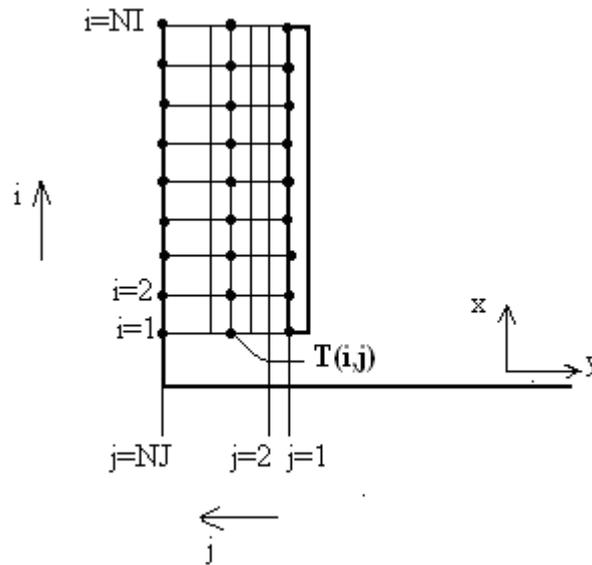
Η θερμοκρασία επιφάνειας (T_{sur}) παίρνει κάθε φορά την τιμή της επιφάνειας του συστήματος που εξετάζεται. Εδώ για λόγους απλοποίησης των υπολογισμών θεωρούμε $\Delta T = T_w - T$.

6.5 Διακριτοποίηση του χώρου της ηλιακής καμινάδας

Για τη μελέτη της ηλιακής καμινάδας χρειάζεται να διακριτοποιηθεί ο χώρος. Τοποθετείται πάνω στο φυσικό χώρο του πεδίου ροής κατάλληλο αριθμητικό πλέγμα. Το πλέγμα αποτελείται από γραμμές σταθερού x και σταθερού y . Κάθε σημείο τομής των γραμμών του πλέγματος αποτελεί αντιπροσωπεύει μια θερμοκρασία και είναι σημείο υπολογισμού. Το πλέγμα επιλέγουμε να είναι ομοιόμορφο κατά x και κατά y . Δηλαδή οι γραμμές i ισαπέχουν μεταξύ τους, το ίδιο και οι γραμμές j .

Καθ' ύψος χωρίζουμε την καμινάδα σε NI γραμμές. Σε κάθε γραμμή δεχόμαστε μονοδιάστατη μεταφορά θερμότητας και με βάση το μαθηματικό μοντέλο που παρουσιάζεται σε επόμενη παράγραφο υπολογίζονται οι θερμοκρασίες των κόμβων.

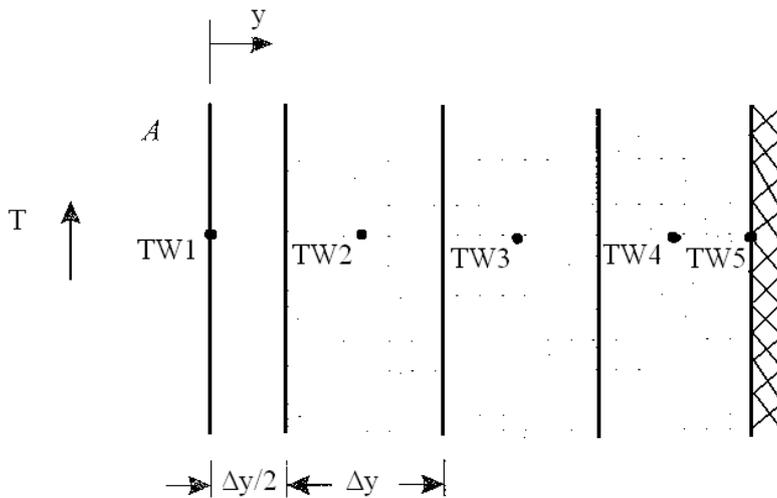
Για τον εσωτερικό χώρο της ηλιακής καμινάδας:



Σχήμα 6.1 : Διακριτοποίηση του χώρου της ηλιακής καμινάδας.

Οι κόμβοι που βρίσκονται πάνω στη γραμμή $j=NJ$ αντιστοιχούν στη θερμοκρασία της γυάλινης επιφάνειας, αυτοί που βρίσκονται στις γραμμές $j=2$ έως $j=NJ-1$ αντιστοιχούν στη θερμοκρασία του αέρα που ρέει στην ηλιακή καμινάδα και τέλος πάνω στη γραμμή $j=1$ βρίσκονται οι κόμβοι που αντιστοιχούν στη θερμοκρασία της επιφάνειας του τοίχου απορρόφησης.

Για τον τοίχο απορρόφησης ειδικότερα:



Σχήμα 6.2 : Σχηματική αναπαράσταση των κόμβων του τοίχου απορρόφησης

Ο τοίχος απορρόφησης χωρίζεται κατά το πάχος του σε 5 κόμβους, καθώς λόγω θερμικής αδράνειας της μάζας του η θερμοκρασία δεν είναι η ίδια σε όλο το πάχος του. Οπότε $\Delta y = bw/4$. Καθ' ύψος ο τοίχος είναι χωρισμένος σε NI, όπως και το εσωτερικό της καμινάδας. Μάλιστα για λόγους ομοιομορφίας επιλέγεται $\Delta x = \Delta y$. Η επιλογή αυτή είναι αποδεκτή καθώς η διαμέριση καθ' ύψος γενικά δεν έχει περιορισμούς αποδεκτών λύσεων, αλλά αφορά την ακρίβεια που θέλουμε να επιτύχουμε. Ειδικότερα κατά την επίλυση της ροής του αέρα, όπως περιγράφεται στην παράγραφο 7.2, οι περιορισμοί αφορούν τη διαμέριση κατά την κατεύθυνση y, όπου και θέλουμε μεγάλη ακρίβεια για τη θερμοκρασία και την ταχύτητα της ροής.

Σημειώνουμε ότι το Δy που επιλέγεται για το εσωτερικό της καμινάδας είναι διαφορετικό από το Δy στο εσωτερικό του τοίχου, καθώς η επίλυση της ροής γίνεται ξεχωριστά.

Πέρα από τη διακριτοποίηση του χώρου πρέπει να προσθέσουμε ότι οι θερμοκρασίες που υπολογίζονται αφορούν διαφορετικές χρονικές στιγμές n. Η παραμετρική μελέτη εξετάζει τις μεταβολές της θερμοκρασίας χωρικά και χρονικά στο διάστημα των ωρών 8:00 έως 17:00 για τρεις διαφορετικές ημερομηνίες. Οπότε οι θερμοκρασίες παρουσιάζονται $TG(i,n)$, $T(i,n)$, $TW1(i,n)$, $TW2(i,n)$, $TW3(i,n)$, $TW4(i,n)$, $TW5(i,n)$, όπου ο δείκτης n αντιπροσωπεύει τις χρονικές στιγμές. Αρχικά στην τιμή του $n=1$ αντιστοιχεί η ώρα 8:00 και στην τελική τιμή του δείκτη $n=NN$ αντιστοιχεί η ώρα 17:00. Επίσης επιλέχθηκε το χρονικό διάστημα μελέτης να χωριστεί σε 100 κόμβους με $dt=327,27$ sec. Το χρονικό βήμα πληρεί την προϋπόθεση 7.21 αποδεκτών λύσεων, που αναφέρεται στο επόμενο κεφάλαιο και αφορά τη ροή της θερμότητας. Σύμφωνα με αυτό το κριτήριο θα πρέπει $dt < 2316$ sec.

Τελικά η ηλιακή καμινάδα διαμερίστηκε καθ' ύψος σε 49 κόμβους (NI=49) με $dx=0.0625$ m, ο τοίχος απορρόφησης σε 5 κόμβους κατά το πάχος του με $dy=0.0625$ m. Και το χρονικό διάστημα σε 100 (NN=100) με $dt=327,27$ sec. Επιλέχθηκε $dx=dy$ για λόγους ομοιομορφίας πλέγματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο – ΘΕΡΜΙΚΗ ΚΑΙ ΡΟΪΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

7.1 Εισαγωγή στη θερμοροϊκή ανάλυση.

Η επίλυση του μαθηματικού μοντέλου που θα παρουσιαστεί για την παραμετρική μελέτη της ηλιακής καμινάδας βασίζεται σε κάποιες παραδοχές, οι οποίες γίνονται για λόγους απλοποίησης των υπολογισμών.

Παραδοχές

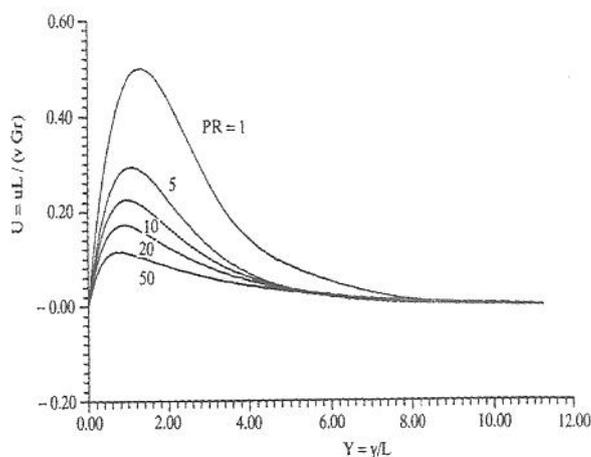
- Η ροή του αέρα στον εσωτερικό χώρο της καμινάδας θεωρείται *στρωτή* ($Re < 10^9$).
- Ο αριθμός Prandtl σύμφωνα με τη βιβλιογραφία μπορεί να θεωρηθεί σταθερός και ίσος με 0,708.
- Η μετάδοση θερμότητας στον τοίχο θεωρείται *μονοδιάστατη*.
- Η θερμοκρασία του αέρα κατά την είσοδό του στην ηλιακή καμινάδα θεωρείται σταθερή και ίση με 298K.
- Οι αρχικές θερμοκρασίες της επιφάνειας του γυαλιού και του τοίχου απορρόφησης θεωρούνται ενιαίες σε όλο το μήκος και το πάχος τους.
- Οι απώλειες θερμότητας από τον τοίχο απορρόφησης προς τον εσωτερικό χώρο του κτιρίου με τον οποίο συνορεύει θεωρούνται αμελητέες, λόγω της τοποθέτησης θερμομόνωσης.
- Κατά τους υπολογισμούς αμελούνται τα ψυκτικά φορτία από τα δομικά στοιχεία του εσωτερικού χώρου του κτιρίου, καθώς εξετάζεται μεμονωμένα η λειτουργία της ηλιακής καμινάδας και η απόδοσή της.
- Για λόγους ευκολίας υπολογισμών οι συντελεστές μεταφοράς θερμότητας θεωρούνται σταθεροί.
- Η ροή του αέρα απορροφά το 10% της ηλιακής ακτινοβολίας που επιτρέπει ο υαλοπίνακας να στο εσωτερικό της καμινάδας και επίσης δέχεται θερμότητα μέσω συναγωγής από την επιφάνεια του τοίχου απορρόφησης.
- Ο τοίχος απορρόφησης απορροφά ένα ποσό του 90%, της ηλιακής ακτινοβολίας που διαπερνά τον υαλοπίνακα ανάλογα με την απορροφητικότητα του υλικού του, και μεταφέρει θερμότητα μέσω αγωγής στο εσωτερικό του και μέσω συναγωγής στη ροή του αέρα.
- Ο υαλοπίνακας δεν αλληλεπιδρά θερμοκρασιακά με τη ροή του αέρα, οπότε και δεν συμπεριλαμβάνεται στους υπολογισμούς που γίνονται.

7.2 Μελέτη της ροής του αέρα καθ' ύψος του καναλιού της ηλιακής καμινάδας

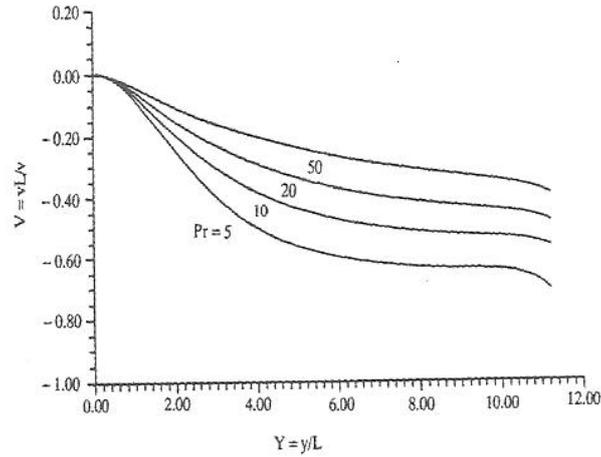
Η βιβλιογραφία προτείνει για την εκτίμηση των τιμών της θερμοκρασίας και της ταχύτητας τη χρήση των παρακάτω διαγραμμάτων, όπου για διάφορους αριθμούς Prandtl απεικονίζεται η κατανομή αδιάστατης θερμοκρασίας και ταχύτητας. Η κατασκευή των διαγραμμάτων βασίζεται στη θεωρία της θερμαινόμενης πλάκας. Αν δίνεται ο αριθμός Prandtl οι τιμές των ταχυτήτων και της θερμοκρασίας μπορούν να ληφθούν από τα διαγράμματα αυτά. Σε περίπτωση που ο αριθμός Prandtl δεν είναι γνωστός πρέπει να υπολογιστεί σύμφωνα με τον τύπο $Pr = \mu C_p / k_f$. Πρέπει να τονίσουμε ότι οι τιμές που λαμβάνουμε από τα διαγράμματα είναι οι αδιαστατοποιημένες τιμές και δεν αντιστοιχούν στις απόλυτες τιμές των μεγεθών.

Στην περίπτωση της ηλιακής καμινάδας όμως η θεωρία αυτή είναι πολύ προσεγγιστική καθώς το ρευστό ρέει ανάμεσα σε δυο θερμαινόμενες πλάκες. Για το λόγο αυτό και δε θα χρησιμοποιηθούν τα διαγράμματα παρακάτω.

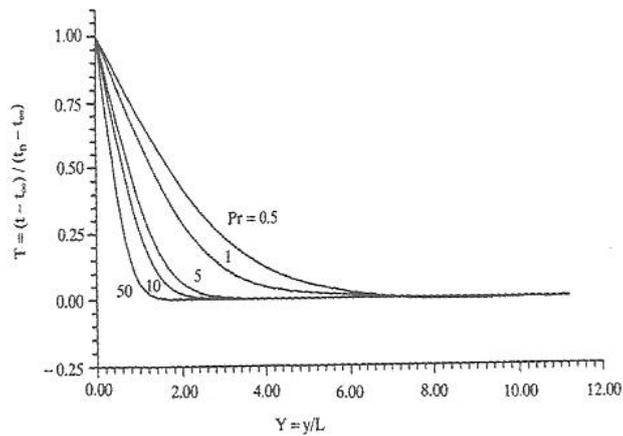
Σημειώνουμε ότι ο αριθμός Prandtl για τον αέρα έχει τιμή της τάξης του 0,7.



Σχήμα 7.1 : Κατανομή U ταχύτητας-επίδραση αριθμού Prandtl



Σχήμα 7.2 : Κατανομή V ταχύτητας-επίδραση αριθμού Prandtl



Σχήμα 7.3 : Κατανομή θερμοκρασίας T-επίδραση αριθμού Prandtl

Για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας της ροής του αέρα χρησιμοποιούμε τη θεωρία της κατακόρυφης θερμαινόμενης πλάκας. Οι εξισώσεις που περιγράφουν τη ροή είναι :

Εξίσωση συνέχειας:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (7.1)$$

Εξίσωση ορμής:

$$\rho \cdot \left(u \cdot \frac{\partial u}{\partial x} + v \cdot \frac{\partial u}{\partial y} \right) = \mu \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \rho \cdot g \cdot B \cdot (t - t_\infty) \quad (7.2)$$

Εξίσωση ενέργειας:

$$\rho \cdot C_p \cdot \left(u \cdot \frac{\partial t}{\partial x} + v \cdot \frac{\partial t}{\partial y} \right) = k \cdot \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} \quad (7.3)$$

Αδιαστατοποιούμε κατάλληλα τις εξισώσεις αυτές:

$$U = \frac{u \cdot L}{v \cdot Gr} \quad (7.4)$$

$$V = \frac{v \cdot L}{v} \quad (7.5)$$

$$X = \frac{x}{L \cdot Gr} \quad (7.6)$$

$$Y = \frac{y}{L} \quad (7.7)$$

$$T = \frac{t - t_\infty}{t_\pi - t_\infty} \quad (7.8)$$

$$\text{όπου } Gr = \frac{B \cdot (t_\pi - t_\infty) \cdot L^3 \cdot g}{\nu^2} \quad (7.9)$$

Και οι αρχικές εξισώσεις γίνονται :

$$U \cdot \frac{\partial U}{\partial X} + V \cdot \frac{\partial U}{\partial Y} = \frac{\partial^2 U}{\partial Y^2} + T \quad (7.10)$$

$$\frac{\partial U}{\partial X} + \frac{\partial V}{\partial Y} = 0 \quad (7.11)$$

$$U \cdot \frac{\partial T}{\partial X} + V \cdot \frac{\partial T}{\partial Y} = \frac{1}{Pr} \frac{\partial^2 T}{\partial Y^2} \quad (7.12)$$

με τις οριακές συνθήκες:

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

$$V(X, 0) = 0, \quad V(0, Y) = 0$$

$$T(X, 0) = 1, \quad T(0, Y) = 1, \quad T(X, \infty) = 1$$

Τελικά δημιουργούμε τις εξισώσεις πεπερασμένων διαφορών :

$$U_{i,j} \cdot \frac{U_{i+1,j} - U_{i-1,j}}{2 \cdot \Delta X} + V_{i,j} \cdot \frac{U_{i,j+1} - U_{i,j-1}}{2 \cdot \Delta Y} = \frac{U_{i,j+1} - U_{i-1,j} - U_{i+1,j} + U_{i,j-1}}{\Delta Y^2} + T_{i,j} \quad (7.13)$$

$$\frac{U_{i+1,j} - U_{i-1,j}}{2 \cdot \Delta X} + \frac{V_{i,j+1} - V_{i,j-1}}{2 \cdot \Delta Y} = 0 \quad (7.14)$$

$$U_{i,j} \cdot \frac{T_{i+1,j} - T_{i-1,j}}{2 \cdot \Delta X} + V_{i,j} \cdot \frac{T_{i,j+1} - T_{i,j-1}}{2 \cdot \Delta Y} = \frac{1}{Pr} \cdot \frac{T_{i,j+1} - T_{i-1,j} - T_{i+1,j} + T_{i,j-1}}{\Delta Y^2} \quad (7.15)$$

Από τις εξισώσεις αυτές υπολογίζονται αλγεβρικά οι $U_{i+1,j}$, $V_{i,j+1}$, $T_{i+1,j}$.

Για τη δημιουργία του κώδικα θεωρούμε NJ=100 και NI=49.

Η αδιάστατη θερμοκρασία που θα χρησιμοποιήσουμε είναι $T(i+1,20)$, η οποία αντιστοιχεί σε μια θέση κοντά στον τοίχο απορρόφησης, δεδομένου ότι η επιφάνεια του τοίχου αντιστοιχεί σε $j=1$ και του γυαλιού σε $j=NJ$.

Υπολογίζουμε την πραγματική θερμοκρασία ως εξής :

$$T(i+1, n) = T(i+1, 20) * (TW1(i+1, n) - 298) + 298 \quad (7.16)$$

Κατά την αδιαστατοποίηση της θερμοκρασίας χρησιμοποιούμε τη θερμοκρασία εισόδου του αέρα στην καμινάδα, η οποία είναι σταθερή και ίση με 298K, ενώ ως θερμοκρασία της πλάκας θεωρήσαμε τη θερμοκρασία του τοίχου την προηγούμενη χρονική στιγμή.

7.3 Ενεργειακός ισολογισμός στον τοίχο απορρόφησης

Το πεδίο μεταφοράς θερμότητας περιγράφεται σύμφωνα με την εξίσωση διάχυσης για μονοδιάστατη ροή :

$$\frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (7.17)$$

όπου $a = \frac{k}{\rho \cdot C_p}$ η θερμοκρασιακή αγωγιμότητα του υλικού του τοίχου σε m^2/sec .

Η εξίσωση 7.17 γράφεται υπό μορφή πεπερασμένων διαφορών ως εξής :

$$\frac{T_{j+1}^n + T_{j-1}^n - 2 \cdot T_j^n}{(\Delta y)^2} = \frac{1}{a} \cdot \frac{T_j^{n+1} - T_j^n}{\Delta t} \quad (7.18)$$

Ο τοίχος απορρόφησης δέχεται ένα ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που επιτρέπει ο υαλοπίνακας να περάσει, εξαρτάται από τη διαπερατότητα του υαλοπίνακα και απορροφά ένα μέρος αυτής, ανάλογα με την απορροφητικότητα του υλικού από το οποίο είναι κατασκευασμένος. Μέρος της θερμότητας αυτή μεταφέρεται στη ροή του αέρα μέσω συναγωγής, χάνεται με τη μορφή απωλειών προς τον εσωτερικό χώρο του κτιρίου, μπορεί να μεταδίδεται μέσω ακτινοβολίας στον υαλοπίνακα και το υπόλοιπο αποθηκεύεται στο υλικό μεταβάλλοντας τη θερμοκρασία του με το χρόνο.

Στην περίπτωση του τοίχου απορρόφησης η αγωγή θερμότητας στο εσωτερικό περιγράφεται με το γενικό τύπο :

$$TW(j, n+1) = \frac{a \cdot dt}{dy^2} \cdot (TW(j-1, n) + TW(j+1, n)) + \left(1 - \frac{2 \cdot a \cdot dt}{dy^2}\right) \cdot TW(j, n) \quad (7.19)$$

και για τους επιφανειακούς κόμβους η αγωγή και συναγωγή θερμότητας χωρίς πηγές θερμότητας ισχύει ο παρακάτω τύπος :

$$TW(j, n+1) = \frac{2}{M} \cdot (TW(j, n) + N \cdot T(j, n)) + \left(1 - \frac{2}{M} - \frac{2N}{M}\right) \cdot TW(j, n) \quad (7.20)$$

όπου $M = \frac{(\Delta y)^2}{a \Delta t}$ και $N = \frac{h \Delta y}{k}$.

Για να είναι αποδεκτή η λύση πρέπει να πληρούται η εξής προϋπόθεση :

$$M \geq 2(N+1) \quad (7.21)$$

Η ροή θερμότητας μπορεί επίσης να περιγραφεί και με ισολογισμό ενέργειας όπως αναπτύσσεται στην επόμενη παράγραφο.

7.3.α 1^η υπόθεση για τον τοίχο απορρόφησης

Αρχικά υποθέτουμε ότι τοίχος απορρόφησης δεν είναι μονωμένος κατάλληλα, με αποτέλεσμα να υπάρχουν απώλειες θερμότητας προς το εσωτερικό του χώρου με τον οποίο αυτός συνορεύει. Είναι προφανές ότι το αποτέλεσμα αυτό δεν είναι επιθυμητό καθώς μειώνει την αποτελεσματικότητα της ηλιακής καμινάδας. Παρακάτω παρουσιάζονται οι εκφράσεις του ενεργειακού ισολογισμού σε αυτήν την περίπτωση.

Ο ενεργειακός ισολογισμός γράφεται ως εξής:

(i) αν δεχτούμε ακτινοβολία θερμότητας από τον τοίχο απορρόφησης προς τον υαλοπίνακα

[θερμότητα που απορροφάται λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας] = [θερμότητα που μεταδίδει στον υαλοπίνακα μέσω ακτινοβολίας] + [θερμότητα που μεταδίδει στη ροή του αέρα μέσω συναγωγής] + [απώλειες θερμότητας προς τον εσωτερικό χώρο του κτιρίου] + [χρονική αποθήκευση θερμότητας στο υλικό του τοίχου]

Εκφράζεται από τη σχέση :

$$0.9 \cdot \tau_g \cdot a_w \cdot (1 - a_g) \cdot I^n = hcwa(T_{w1}^n - T^n) + hrwg(T_{w1}^n - T_g^n) + k_w \frac{(T_{w1} - T_{w2})}{\Delta y} + hcwr(T_{w5} - T_{room}) + \rho \cdot C_p \cdot \frac{\Delta y}{2} \cdot \frac{(T_{w1}^{n+1} - T_{w1}^n)}{\Delta t} \quad (7.22)$$

(ii) αν αμελήσουμε την ακτινοβολία θερμότητας από τον τοίχο απορρόφησης προς τον υαλοπίνακα

[θερμότητα που απορροφάται λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας] = [θερμότητα που μεταδίδει στη ροή του αέρα μέσω συναγωγής] + [απώλειες θερμότητας προς τον εσωτερικό χώρο του κτιρίου] + [χρονική αποθήκευση θερμότητας στο υλικό του τοίχου]

Και σχηματίζεται η παρακάτω έκφραση:

$$0.9 \cdot \tau_g \cdot a_w \cdot (1 - a_g) \cdot I^n = hcwa(T_{w1}^n - T^n) + k_w \frac{(T_{w1} - T_{w2})}{\Delta y} + hcwr(T_{w5} - T_{room}) + \rho \cdot C_p \cdot \frac{\Delta y}{2} \cdot \frac{(T_{w1}^{n+1} - T_{w1}^n)}{\Delta t} \quad (7.23)$$

7.3.β 2^η υπόθεση για τον τοίχο απορρόφησης

Για την απλοποίηση των υπολογισμών θεωρούμε ότι ο τοίχος στην πλευρά που συνορεύει με τον εσωτερικό χώρο είναι μονωμένος. Με τον τρόπο αυτό αμελούνται οι απώλειες θερμότητας προς τον χώρο του κτιρίου. Επιπλέον κάνουμε την παραδοχή ότι η θερμοκρασία του τοίχου είναι ενιαία σε όλο το πάχος του στο ύψος που βρίσκεται κάθε σημείο-κόμβος. Οπότε αμελούμε τη μεταφορά θερμότητας με αγωγή στο εσωτερικό του τοίχου.

[θερμότητα που απορροφάται λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας] = [θερμότητα που μεταδίδει στη ροή του αέρα μέσω συναγωγής] + [χρονική αποθήκευση θερμότητας στο υλικό του τοίχου]

$$0.9 \cdot \tau_g \cdot a_w \cdot (1 - a_g) \cdot I^n = hcwa(T_{w1}^n - T^n) + kw \cdot \frac{(T_{w1} - T_{w2})}{\Delta y} + \rho \cdot C_p \cdot \frac{\Delta y}{2} \cdot \frac{(T_{w1}^{n+1} - T_{w1}^n)}{\Delta t}$$

(7.24)

Αν συνυπολογίσουμε την ακτινοβολία θερμότητας προς τον υαλοπίνακα έχουμε :

[θερμότητα που απορροφάται λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας] = [θερμότητα που μεταδίδει στη ροή του αέρα μέσω συναγωγής] + [θερμότητα που μεταδίδει στον υαλοπίνακα μέσω ακτινοβολίας] + [χρονική αποθήκευση θερμότητας στο υλικό του τοίχου]

$$0.9 \cdot \tau_g \cdot a_w \cdot (1 - a_g) \cdot I^n = hcwa(T_{w1}^n - T^n) + kw \cdot \frac{(T_{w1} - T_{w2})}{\Delta y} + hrwg(T_{w1}^n - T_g^n) + \rho \cdot C_p \cdot \frac{\Delta y}{2} \cdot \frac{(T_{w1}^{n+1} - T_{w1}^n)}{\Delta t} \quad (7.25)$$

Σημειώνουμε ότι $\Delta y = b_w/4$, όπου b_w το πάχος του τοίχου.

Για τους εσωτερικούς κόμβους του τοίχου απορρόφησης ισχύουν τα παρακάτω :

$$kW \cdot \frac{(T_{w1} - T_{w2})}{\Delta y} = kW \cdot \frac{(T_{w2} - T_{w3})}{\Delta y} + \rho \cdot C_p \cdot \Delta y \cdot \frac{(T_{w2}^{n+1} - T_{w2}^n)}{\Delta t} \quad (7.26)$$

$$kW \cdot \frac{(T_{w2} - T_{w3})}{\Delta y} = kW \cdot \frac{(T_{w3} - T_{w4})}{\Delta y} + \rho \cdot C_p \cdot \Delta y \cdot \frac{(T_{w3}^{n+1} - T_{w3}^n)}{\Delta t} \quad (7.27)$$

$$kW \cdot \frac{(T_{w3} - T_{w4})}{\Delta y} = kW \cdot \frac{(T_{w4} - T_{w5})}{\Delta y} + \rho \cdot C_p \cdot \Delta y \cdot \frac{(T_{w4}^{n+1} - T_{w4}^n)}{\Delta t} \quad (7.28)$$

$$kW \cdot \frac{(T_{w4} - T_{w5})}{\Delta y} = \rho \cdot C_p \cdot \frac{\Delta y}{2} \cdot \frac{(T_{w5}^{n+1} - T_{w5}^n)}{\Delta t} \quad (7.29)$$

Στην περίπτωση του τοίχου απορρόφησης τα ρ, kW και C_p αντιστοιχούν στο υλικό του τοίχου. Το σχήμα 6.2 εξηγεί γιατί στις εξισώσεις που αφορούν τα TW1 και TW5 στη χρονική αποθήκευση υπάρχει το $\Delta y/2$.

7.4 Απόδοση ηλιακής καμινάδας

Η απόδοση της ηλιακής καμινάδας υπολογίζεται κάθε ώρα και εξαρτάται από την τιμή της έντασης της ωριαίας ηλιακής ακτινοβολίας, την παροχή μάζας και τις θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου του αέρα σε αυτή. Συγκεκριμένα ο τύπος που υπολογίζει τον ωριαίο βαθμό απόδοσης της ηλιακής καμινάδας είναι :

$$\eta = \frac{\dot{m} \cdot C_p \cdot (T_{out} - T_{in})}{w \cdot L \cdot I^n} \cdot 100 \quad (7.30)$$

όπου T_{in} και T_{out} οι θερμοκρασίες στον πρώτο και τελευταίο κόμβο αντίστοιχα.

Έχουμε ήδη αναφέρει ότι η θερμοκρασία του πρώτου κόμβου λαμβάνεται κάθε στιγμή ίση με τη θερμοκρασία του χώρου που συνορεύει με την καμινάδα, την οποία θεωρούμε σταθερή και ίση με 25°C.

Η παροχή μάζας γενικά υπολογίζεται με βάση τον τύπο :

$$\dot{m} = \frac{C_d \cdot \rho \cdot S_{gap,o}}{\sqrt{1 + \left(\frac{S_{gap,o}}{S_{gap,i}} \right)}} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot L_c \cdot \left(\frac{T_{out}}{T_{in}} - 1 \right)} \quad (7.31)$$

Στη συγκεκριμένη ηλιακή καμινάδα τα εμβαδά του κενού εισόδου και εξόδου λαμβάνονται ίσα, οπότε προκύπτει απλοποιημένος ο τύπος :

$$\dot{m} = \frac{C_d \cdot \rho \cdot S_{gap}}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot L_c \cdot \left(\frac{T_{out}}{T_{in}} - 1 \right)} \quad (7.32)$$

7.5 Αριθμός εναλλαγών αέρα

Έχει αναφερθεί στην παράγραφο 3.3.1.4 ότι για κάθε χώρο , ανάλογα με τη χρήση του είναι απαραίτητος ένας ελάχιστος αριθμός εναλλαγών αέρα, ώστε να επιτυγχάνονται ανεκτά και «άνετα» επίπεδα ποιότητας αέρα σε αυτόν.

Ο υπολογισμός του αριθμού εναλλαγών αέρα (ACH) υπολογίζεται ως εξής :

$$ACH = \frac{\dot{V} \cdot 3600}{V_{room}} \quad (7.33)$$

όπου $\dot{V} = \dot{m} \cdot \rho_f$, η παροχή όγκου διαμέσου της ηλιακής καμινάδας ανά ώρα και

V_{room} , ο όγκος του δωματίου.

Με βάση τον τύπο 7.33 μπορούμε να υπολογίζουμε

α) τον αριθμό εναλλαγών αέρα , αν είναι γνωστός ο όγκος του δωματίου και η παροχή μάζας στην ηλιακή καμινάδα

β) την παροχή μάζας που απαιτείται για να επιτυγχάνεται ο επιθυμητός ACH σε ένα συγκεκριμένο χώρο, γνωστών διαστάσεων και

γ) το μέγεθος του χώρου που μπορεί να εξυπηρετήσει ηλιακή καμινάδα με γνωστή παροχή μάζας ώστε να επιτυγχάνεται ο επιθυμητός ACH.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο - ΜΕΛΕΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΚΑΜΙΝΑΔΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ 21^η ΙΟΥΛΙΟΥ

8.1 Γενικά

Μελετήθηκε με βάση το μαθηματικό μοντέλο που παρουσιάστηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο η συμπεριφορά και λειτουργία της ηλιακής καμινάδας κατά τις ώρες 8:00 έως 17:00 της 21^{ης} Ιουλίου, ως αντιπροσωπευτικής ημέρας του καλοκαιριού. Ο αύξων αριθμός της ημέρας αυτής είναι $n=202$.

Παρακάτω παρουσιάζονται στα διαγράμματα 5-9 τα αποτελέσματα της μελέτης που αφορούν την παροχή μάζας που διακινείται μέσα στο «κανάλι» της καμινάδας, τη θερμοκρασία του αέρα που ρέει σε αυτό, τη θερμοκρασία της γυάλινης επιφάνειας και του τοίχου απορρόφησης και τον αριθμό των εναλλαγών αέρα που υπολογίζεται σε κάθε περίπτωση.

8.2 Κλιματικά και μετεωρολογικά στοιχεία για την 21^η Ιουλίου

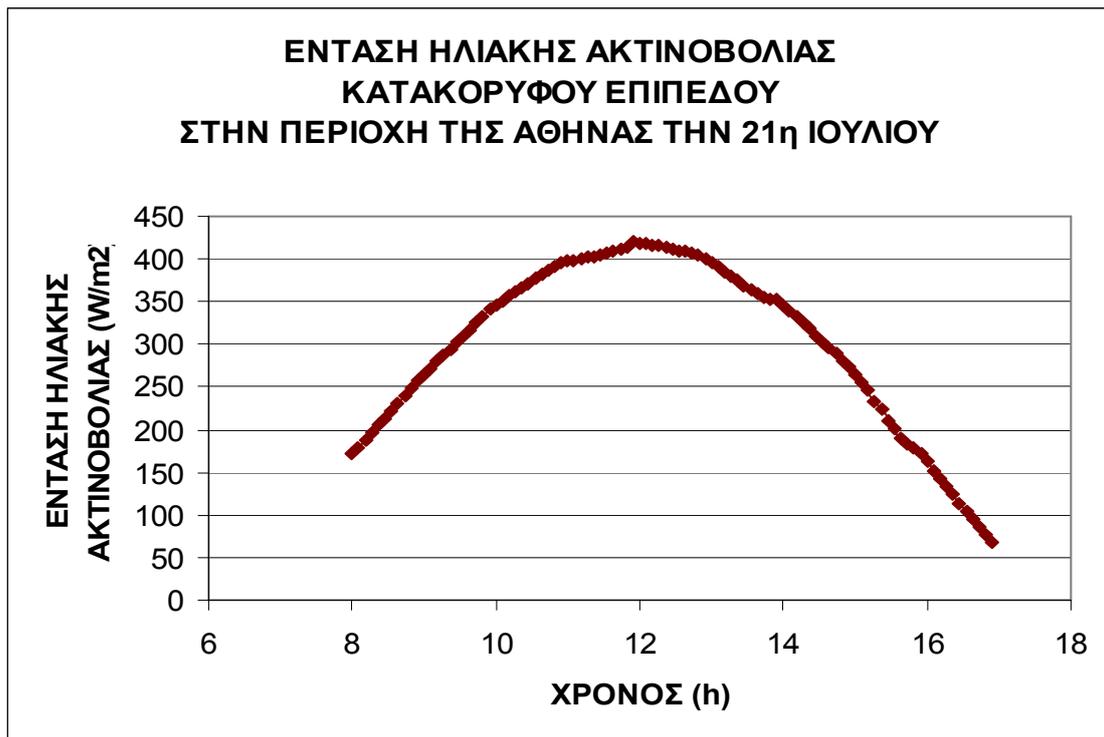
Ο προσανατολισμός της ηλιακής καμινάδας επιλέγεται να είναι νότιος για δυο λόγους:

α) διότι η ηλιακή καμινάδα εκμεταλλεύεται την ηλιακή ακτινοβολία για τη λειτουργία της και οι επιφάνειες νότιου προσανατολισμού δέχονται τα μεγαλύτερα ποσά ηλιακής ακτινοβολίας,

β) διότι με την ηλιακή καμινάδα επιδιώκεται να λειτουργεί στο χώρο διαμπερής φυσικός αερισμός, οπότε ο αέρας που κυκλοφορεί στο χώρο του κτιρίου εισέρχεται από ανοίγματα που βρίσκονται στην απέναντι πλευρά από την ηλιακή καμινάδα. Αν η καμινάδα έχει νότιο προσανατολισμό ο αέρας εισέρχεται από βόρεια ανοίγματα και πιο δροσερός.

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας κατακόρυφου επιπέδου, που έχει νότιο προσανατολισμό, για την περιοχή της Αθήνας στις 21 Ιουλίου υπολογίστηκε με βάση τις εξισώσεις 6.4-6.14 και απεικονίζεται στο διάγραμμα 1. Η μέγιστη ένταση παρατηρείται στις 12:00, οπότε είναι και το ηλιακό μεσημέρι.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1



Στο διάγραμμα 2 φαίνεται η διακύμανση της θερμοκρασίας εξωτερικού περιβάλλοντος για την ίδια περιοχή την ίδια ημέρα.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2



8.3 Διαστασιολόγηση και άλλα δεδομένα

Αρχικά η ηλιακή καμινάδα επιλέχθηκε να έχει τις παρακάτω διαστάσεις :

ΠΙΝΑΚΑΣ 1 – Διαστάσεις ηλιακής καμινάδας

Ύψος (m)	3.2
Πλάτος (m)	0.45
Βάθος (m)	0.3
Ύψος ανοίγματος εισόδου (m)	0.2

Οι διαστάσεις της γυάλινης επιφάνειας και του τοίχου απορρόφησης καθώς και οι συντελεστές που εκφράζουν τις ιδιότητες των υλικών αναγράφονται στον πίνακα 2.

Επίσης αναγράφεται και η αρχική θερμοκρασία των δυο επιφανειών, η οποία αρχικά θεωρείται ενιαία.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2 – Διαστάσεις και συντελεστές υλικών γυάλινης επιφάνειας και τοίχου απορρόφησης

	Γυάλινη επιφάνεια	Τοίχος απορρόφησης
Ύψος (m)	3.20	3.00
Πλάτος (m)	0.45	0.45
Πάχος (m)	0.04	0.25
Συντελεστής απορροφητικότητας	0.06	0.97
Συντελεστής εκπομπής	0.90	
Συντελεστής ακτινοβολίας	0.95	0.90
Αρχική Θερμοκρασία (K)	300.00	305.00

Για την απλοποίηση των υπολογισμών αρχικά οι συντελεστές μεταφοράς θερμότητας θεωρήθηκαν σταθεροί κατά προσέγγιση και ανεξάρτητοι της θερμοκρασίας. Άλλωστε η τάξη της διαφοράς των θερμοκρασιών που εμφανίζεται κατά τη λειτουργία της ηλιακής καμινάδας δεν προκαλεί μεγάλη μεταβολή στην τιμή των συντελεστών. Σύμφωνα με βιβλιογραφικά δεδομένα δόθηκαν οι παρακάτω τιμές στους συντελεστές μετάδοσης θερμότητας για την 21^η Ιουλίου.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3 – Συντελεστές συναγωγής και ακτινοβολίας θερμότητας

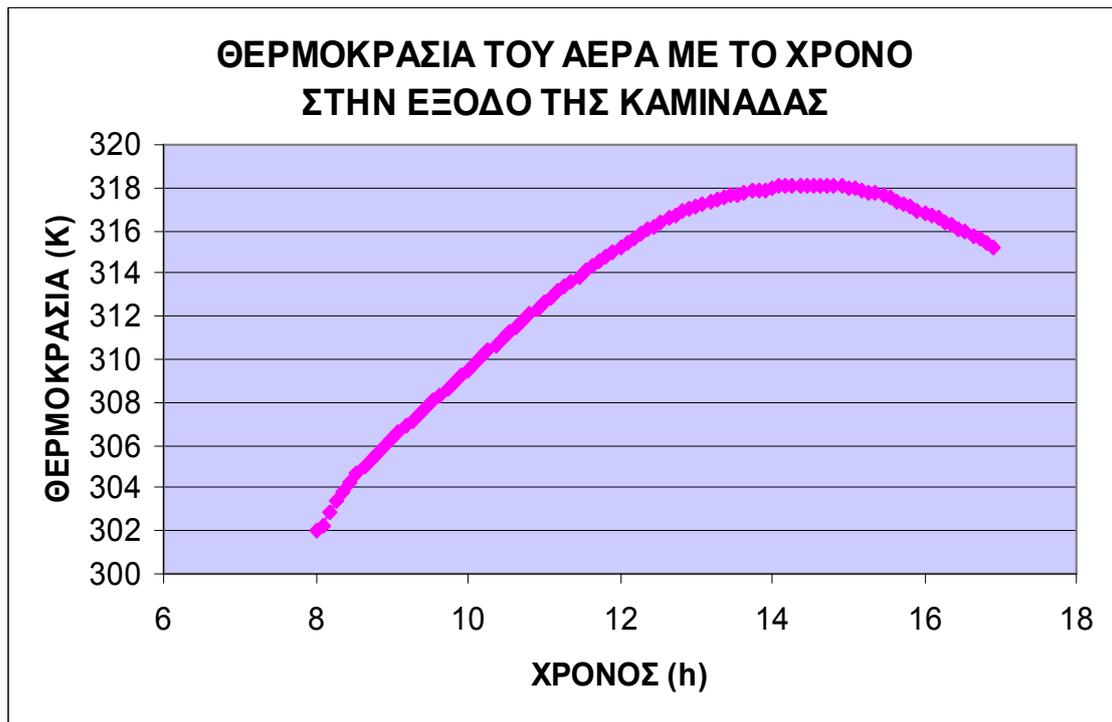
HCGA(W/m ² K)	5
HCWA(W/m ² K)	5
HRWG(W/m ² K)	5
HRGS(W/m ² K)	15

8.4 Παρουσίαση αποτελεσμάτων για τα χαρακτηριστικά μεγέθη της καμινάδας

Σημειώνουμε ότι κατά τη διάρκεια λειτουργίας της καμινάδας ο αέρας που εισέρχεται σε αυτήν είναι σταθερής θερμοκρασίας 298K (θερμοκρασία εισόδου). Επίσης δεχόμαστε ότι τη στιγμή που η ηλιακή καμινάδα αρχίζει να λειτουργεί, η θερμοκρασία του αέρα σε όλο το ύψος της είναι 302K (εκτός της εισόδου), καθώς για το διάστημα που τα ανοίγματα εισόδου και εξόδου είναι κλειστά επικρατεί θερμική ισορροπία μεταξύ του τοίχου, του γυαλιού και του αέρα που βρίσκεται μέσα στο «κανάλι».

Το διάγραμμα 3 απεικονίζει την χρονική εξέλιξη της θερμοκρασίας του αέρα που ρέει στην καμινάδα στο σημείο εξόδου αυτής. Διαπιστώνεται ότι η ροή φτάνει σε μια μέγιστη θερμοκρασία περίπου στις 14:30 και στη συνέχεια αρχίζει να μειώνεται. Όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο η ροή του αέρα απορροφά 10% από την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία, οπότε τουλάχιστον μέχρι τις 12, οπότε και έχουμε τη μέγιστη ένταση ακτινοβολίας, είναι προφανές ότι η θερμοκρασία του αέρα θα αυξάνεται. Συνεχίζει όμως να αυξάνεται και μετά τις 12:00, διότι απορροφά θερμότητα από τον τοίχο, η επιφάνεια του οποίου έχει υψηλότερη θερμοκρασία από τον αέρα, καθώς είναι συμπαγής μάζα που αποθηκεύει θερμότητα.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3

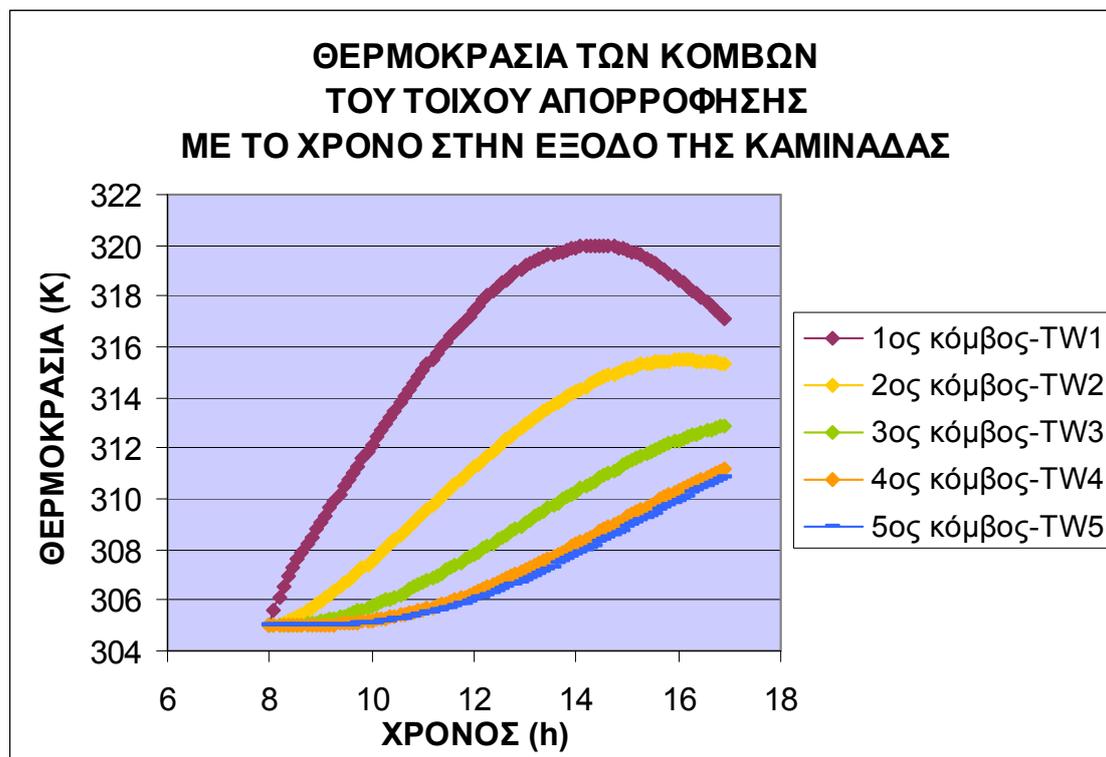


Η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα (ΔT) από την είσοδο ως την έξοδο της καμινάδας φαίνεται για κάθε στιγμή στο διάγραμμα 4. Η καμπύλη έχει την ίδια μορφή με την θερμοκρασία εξόδου του αέρα και είναι αναμενόμενο, αφού κάθε φορά είναι $\Delta T = T_{\text{εξόδου}} - 298$.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5

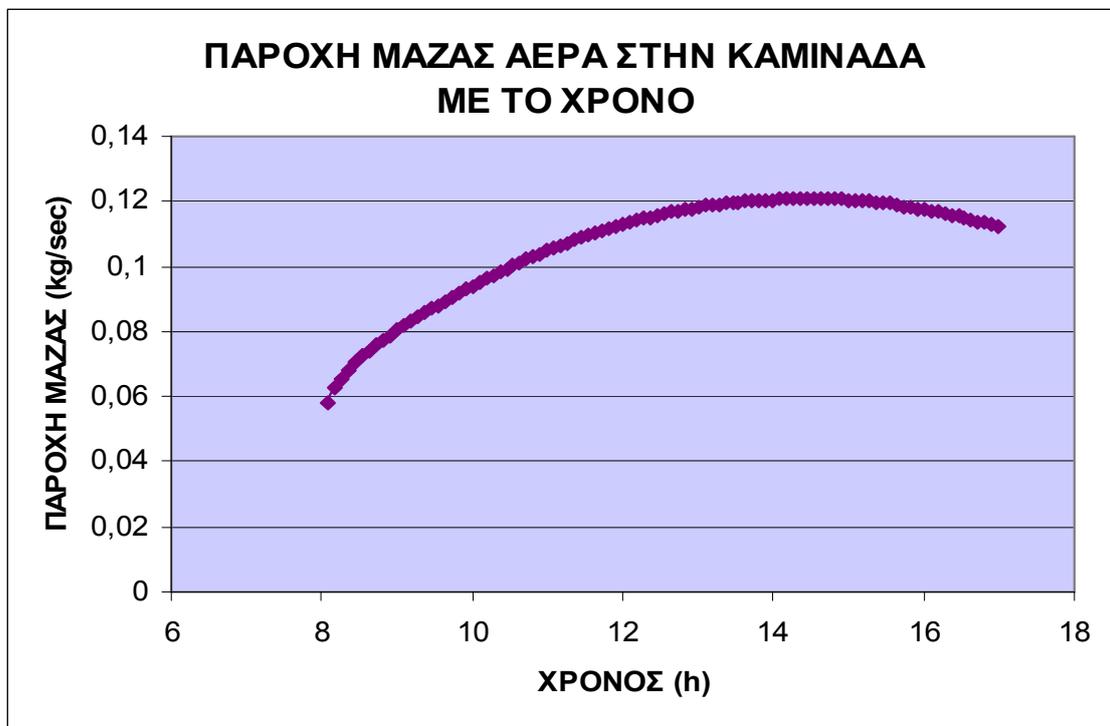


Έχοντας θεωρήσει 5 κόμβους για τον τοίχο απορρόφησης κατά το πάχος του, προκύπτουν οι θερμοκρασίες των κόμβων στο σημείο της εξόδου της καμινάδας. Η θερμοκρασία της επιφάνειας του τοίχου TW1 αυξάνεται μέχρι τις 14:00 και στη συνέχεια μειώνεται παραμένοντας πάντα μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του αέρα. Η μορφή αυτή της καμπύλης οφείλεται στη μείωση της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε αυτόν και στο γεγονός ότι μεταφέρει θερμότητα μέσω συναγωγής στον αέρα, αλλά και μέσω αγωγής στον δεύτερο κόμβο TW2. Η θερμοκρασία των εσωτερικών κόμβων θα συνεχίζει να αυξάνεται ώσπου ο τελευταίος κόμβος (TW5) να φτάσει σε μια μέγιστη θερμοκρασία, οπότε και θα αρχίσει να μεταφέρεται θερμότητα με αγωγή προς την αντίθετη κατεύθυνση, δηλαδή προς τον κόμβο TW1. Αυτό θα συμβεί όταν $TW1 = TW2$. Από τη στιγμή αυτή και μετά ο τοίχος θα συνεχίσει να μεταφέρει θερμότητα στη ροή του αέρα. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στη θερμική αδράνεια της μάζας του τοίχου. Η χρονική στιγμή αυτή δεν περιλαμβάνεται στο χρονικό διάστημα που μελετάμε εδώ.

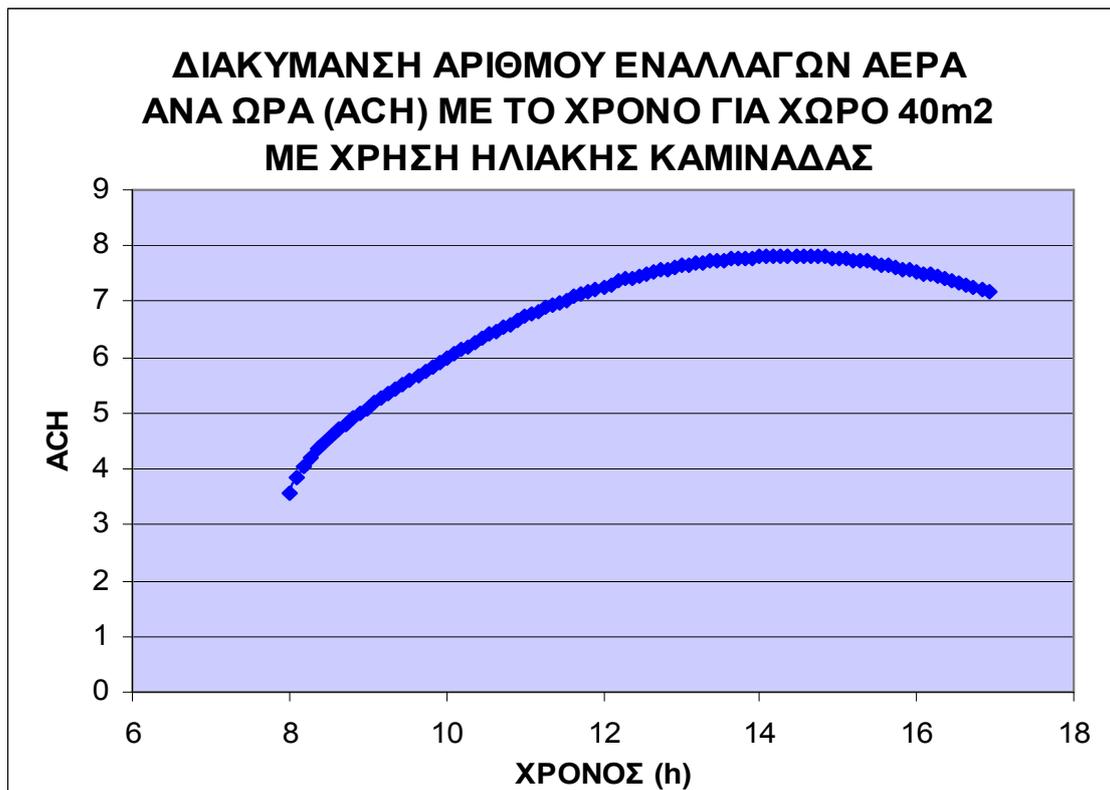
Στο διάγραμμα 6 απεικονίζεται η χρονική εξέλιξη της παροχής μάζας του αέρα διαμέσου της καμινάδας. Ενώ στο διάγραμμα 7 ο αριθμός εναλλαγών αέρα ανά ώρα

που επιτυγχάνεται για χώρο 40m². Η μορφή των δυο καμπυλών είναι ίδια, καθώς ο ACH εξαρτάται από την παροχή μάζας του αέρα στην καμινάδα.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 7



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9^ο - ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΚΑΜΙΝΑΔΑΣ

9.1 Γενικά

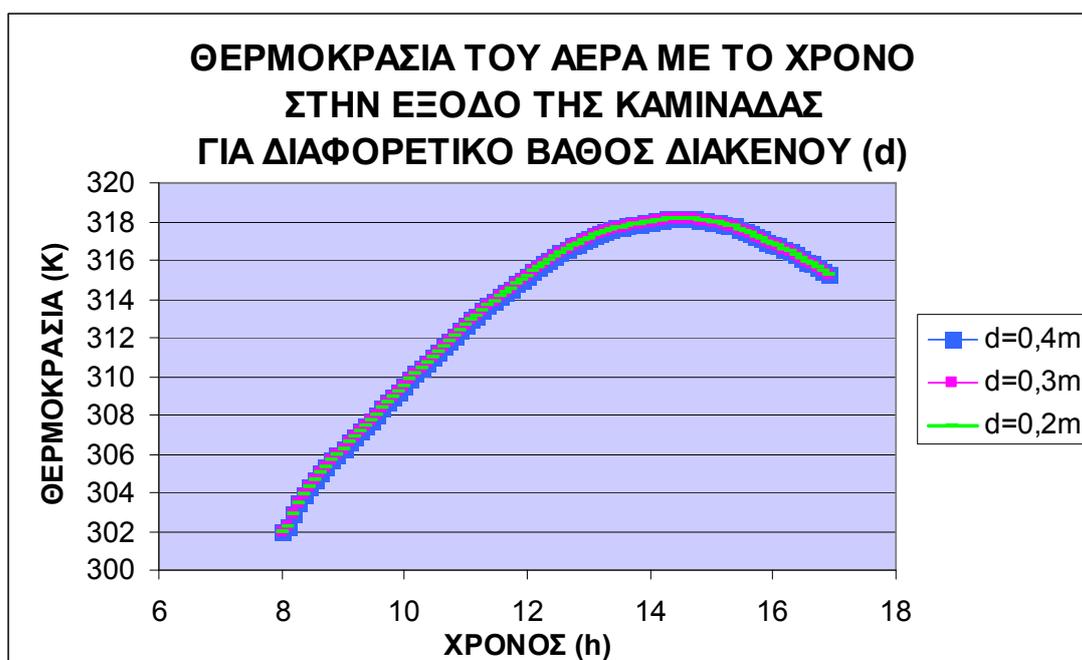
Οι υπολογισμοί των χαρακτηριστικών μεγεθών της καμινάδας επαναλήφθηκαν, αλλάζοντας κάθε φορά συγκεκριμένα δεδομένα, ώστε να μελετηθεί η συμπεριφορά των μεγεθών αυτών. Αρχικά γίνεται παραμετρική μελέτη με μεταβολή γεωμετρικών μεγεθών της καμινάδας και στη συνέχεια με μεταβολή συντελεστών μεταφοράς θερμότητας.

9.2 Γεωμετρική παραμετροποίηση

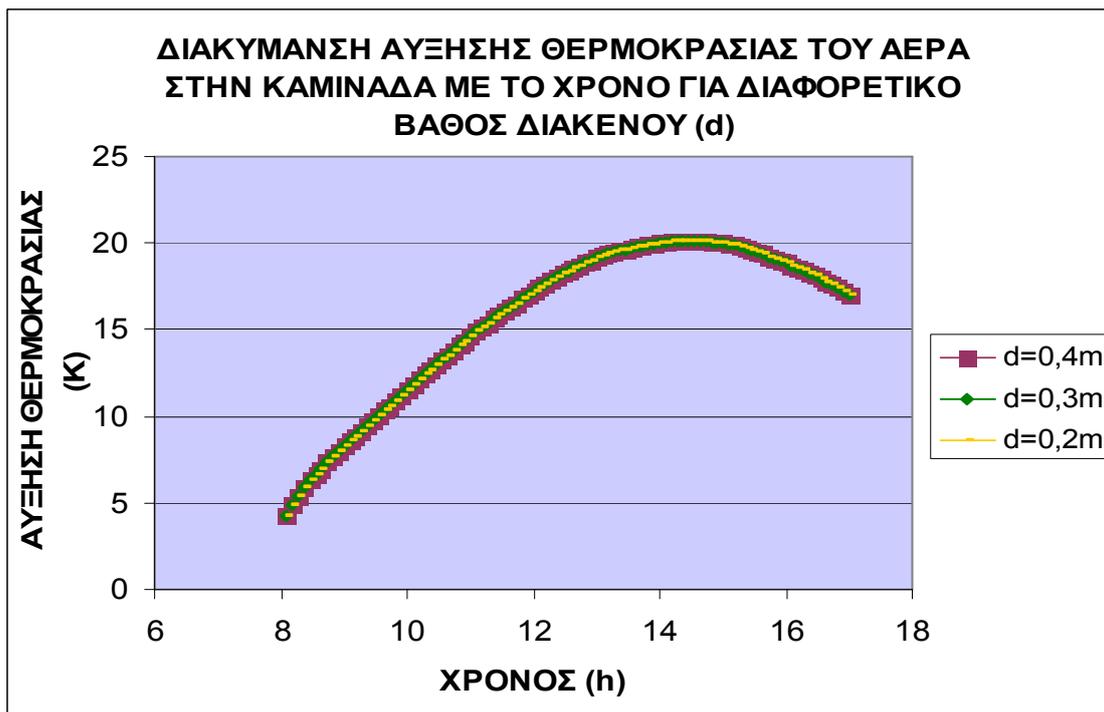
Μεταβολή του βάθους του διακένου (d) της καμινάδας

Διατηρώντας τις υπόλοιπες διαστάσεις της καμινάδας σταθερές και μεταβάλλοντας το βάθος του διακένου της παρατηρούμε ότι η θερμοκρασία του αέρα στην έξοδο δεν μεταβάλλεται. Ομοίως και η κλίση της θερμοκρασίας κάθε χρονική στιγμή, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα 9.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8

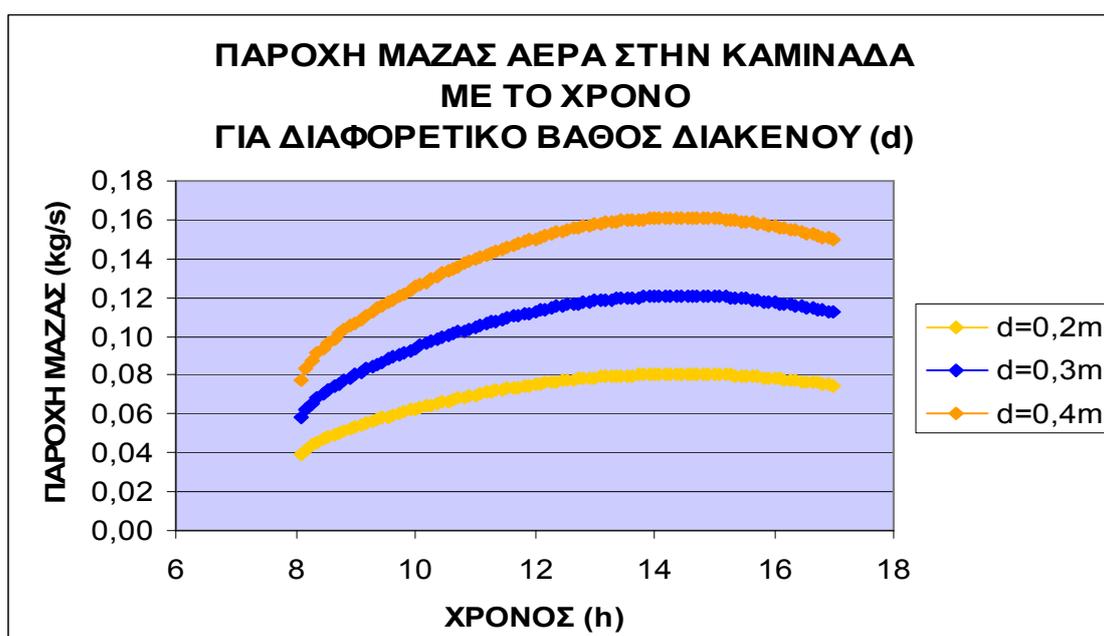


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 9

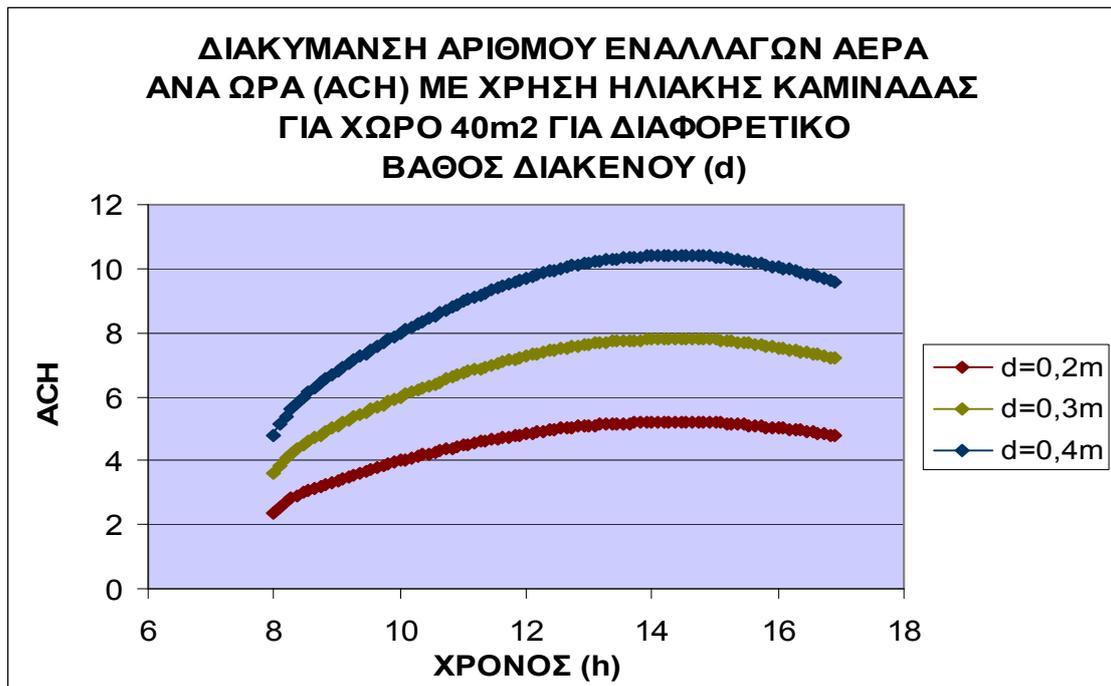


Αντίθετα αλλάζει η παροχή μάζας και ο αριθμός εναλλαγών αέρα με τη μεταβολή του μεγέθους του διακένου. Αύξηση του βάθους του διακένου της καμινάδας έχει σαν αποτέλεσμα αυξημένη παροχή μάζας και μεγαλύτερο ACH, δηλαδή γίνεται διακίνηση μεγαλύτερης ποσότητας αέρα διαμέσου της καμινάδας. Η πολύ μεγάλη αύξηση του διακένου, παρόλα αυτά δεν συνιστάται, διότι πάνω από ένα μέγιστο βάθος αρχίζει να δημιουργείται τυρβώδης ροή στο εσωτερικό της καμινάδας και ανακυκλοφορία του αέρα μέσα σε αυτό.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 10



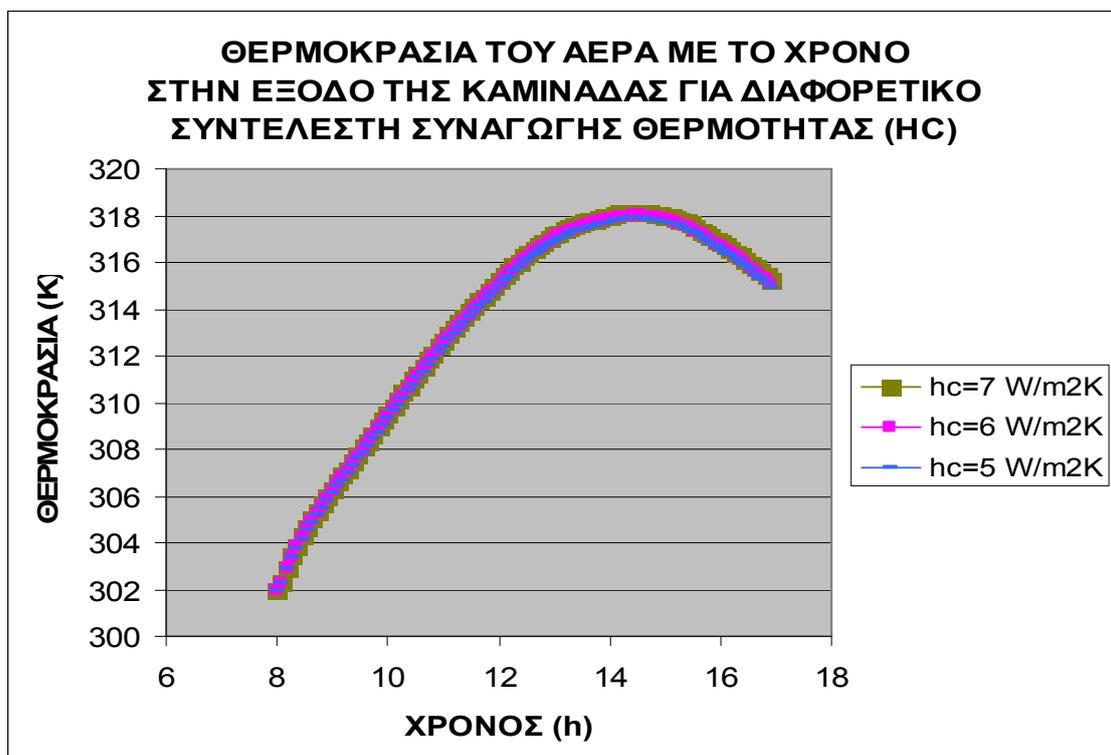
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 11



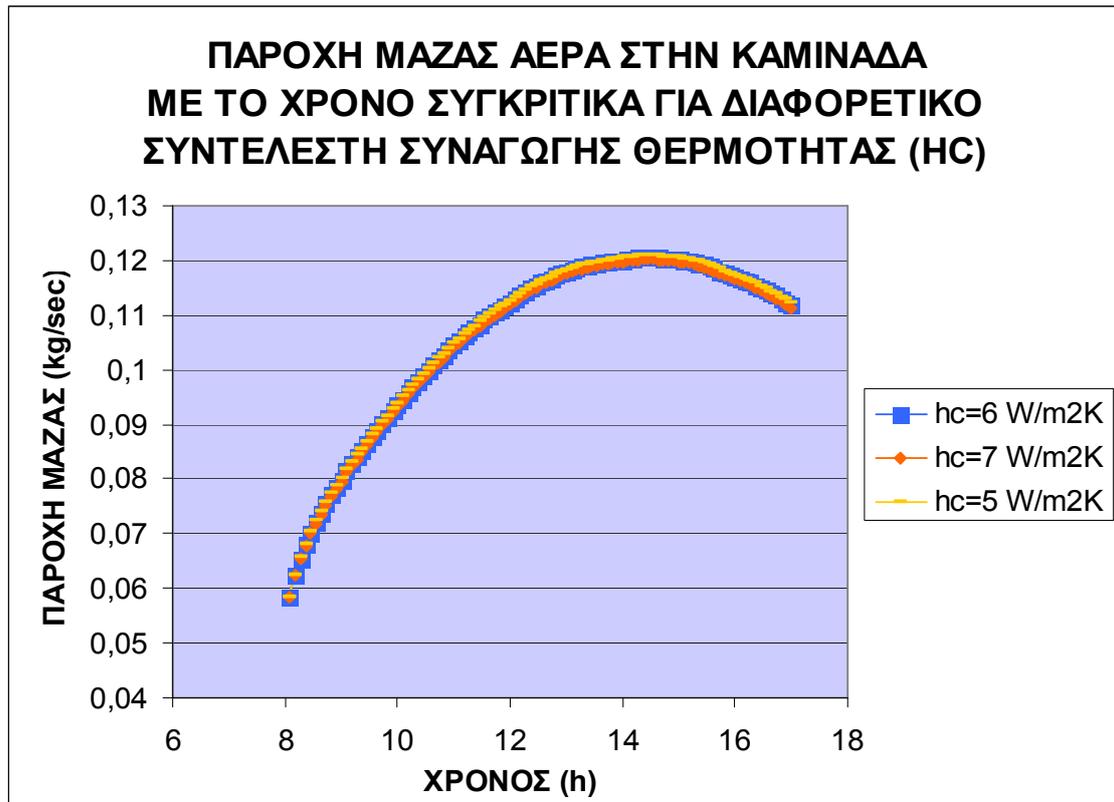
9.3 Θερμική παραμετροποίηση

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της παραμετρικής μελέτης με παράμετρο το συντελεστή μεταφοράς θερμότητας μέσω συναγωγής από τον τοίχο απορρόφησης προς τη ροή του αέρα.

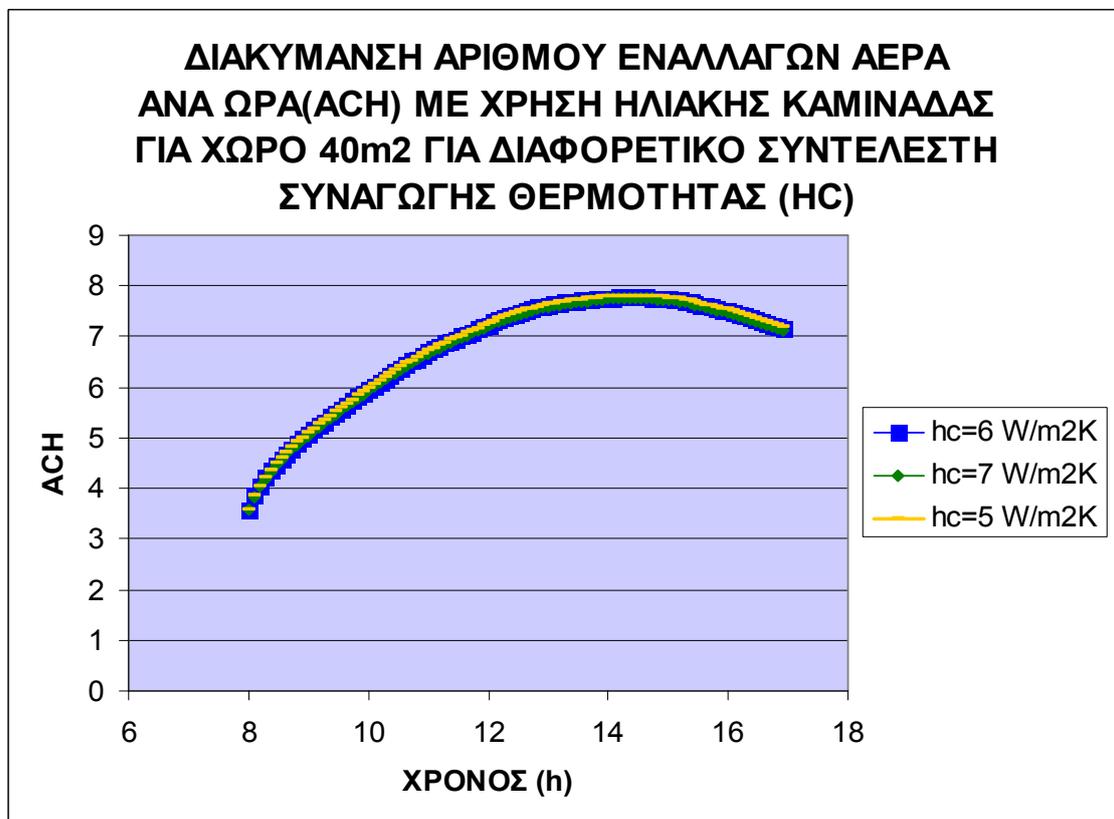
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 13



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 14



Η θερμοκρασία του αέρα αυξάνεται όταν αυξάνεται ο συντελεστής συναγωγής και η αύξηση αυτή είναι της τάξης του 0,2K. Παρατηρούμε και από το διάγραμμα 12, ότι δεν είναι σημαντική αύξηση και αυτό συμβαίνει διότι για τον υπολογισμό της αδιάστατης θερμοκρασίας με βάση τη θεωρία της θερμαινόμενης πλάκας δεν χρησιμοποιείται ο συντελεστής συναγωγής, αλλά ο αριθμός Prandtl. Κατά τον υπολογισμό της τελικής θερμοκρασίας του αέρα η θερμοκρασία του τοίχου απορρόφησης δεν έχει αρκετά μεγάλη επίδραση, ώστε να προκαλεί σημαντικές μεταβολές.

Φαίνεται στα διαγράμματα 13 και 14, ότι η παροχή μάζας και ο αριθμός εναλλαγών αέρα δεν επηρεάζονται σημαντικά από τη μεταβολή του συντελεστή συναγωγής θερμότητας. Η μεταβολή στην τιμή τους είναι της τάξης του 0,001 kg/sec για την παροχή μάζας και 0,02 για τον ACH.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10^ο – ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΚΑΜΙΝΑΔΑΣ ΤΟΥΣ ΜΗΝΕΣ ΜΑΙΟ ΚΑΙ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟ

10.1 Γενικά

Η μελέτη της συμπεριφοράς της ηλιακής καμινάδας επαναλήφθηκε για τους μήνες Μάιο και Σεπτέμβριο και συγκεκριμένα για τη μέση ημέρα του κάθε μήνα, 21 Μαΐου και 21 Σεπτεμβρίου με αντίστοιχο αύξοντα αριθμό ημέρας 141 και 264.

Η διαστασιολόγηση της ηλιακής καμινάδας είναι ίδια με αυτή που χρησιμοποιήθηκε για τη μελέτη της 21^{ης} Ιουλίου :

ΠΙΝΑΚΑΣ 1- Διαστάσεις ηλιακής καμινάδας.

Ύψος (m)	3.2
Πλάτος (m)	0.45
Βάθος (m)	0.3
Ύψος ανοίγματος εισόδου (m)	0.2

ΠΙΝΑΚΑΣ 2 – Διαστάσεις και συντελεστές υλικών γυάλινης επιφάνειας και τοίχου απορρόφησης.

	Γυάλινη επιφάνεια Τοίχος απορρόφησης	
Ύψος (m)	3.20	3.00
Πλάτος (m)	0.45	0.45
Πάχος (m)	0.04	0.25
Συντελεστής απορροφητικότητας	0.06	0.97
Συντελεστής εκπομπής	0.90	
Συντελεστής ακτινοβολίας	0.95	0.90
Θερμοκρασία (K)	300.00	305.00

Οι αρχικές θερμοκρασίες των επιφανειών και του αέρα θεωρήθηκαν όπως στον πίνακα 1.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1 – Αρχικές θερμοκρασίες επιφανειών και αέρα.

T (K)	298
TG (K)	300
TW (K)	305

Ενώ οι συντελεστές μεταφοράς θερμότητας θεωρήθηκαν σταθεροί και φαίνονται στον πίνακα 2.

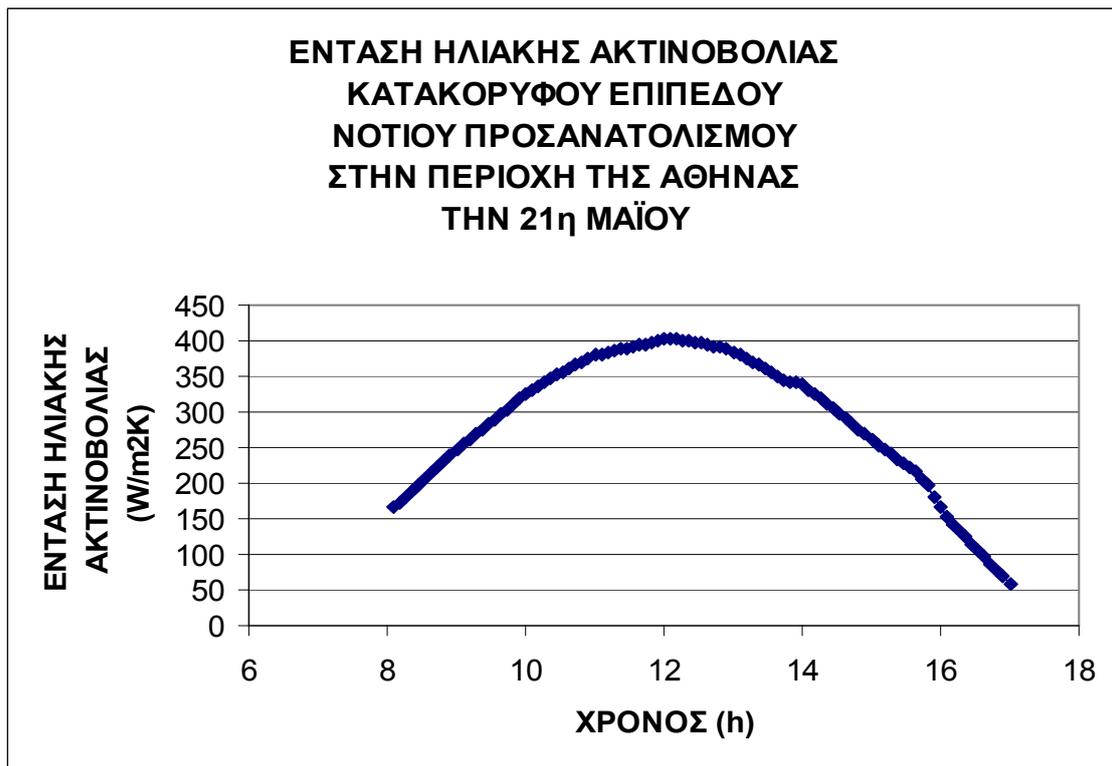
ΠΙΝΑΚΑΣ 2- Συντελεστές συναγωγής και ακτινοβολίας θερμότητας

HCGA (W/m ² K)	5
HCWA (W/m ² K)	5
HRWG (W/m ² K)	5
HRGS (W/m ² K)	15

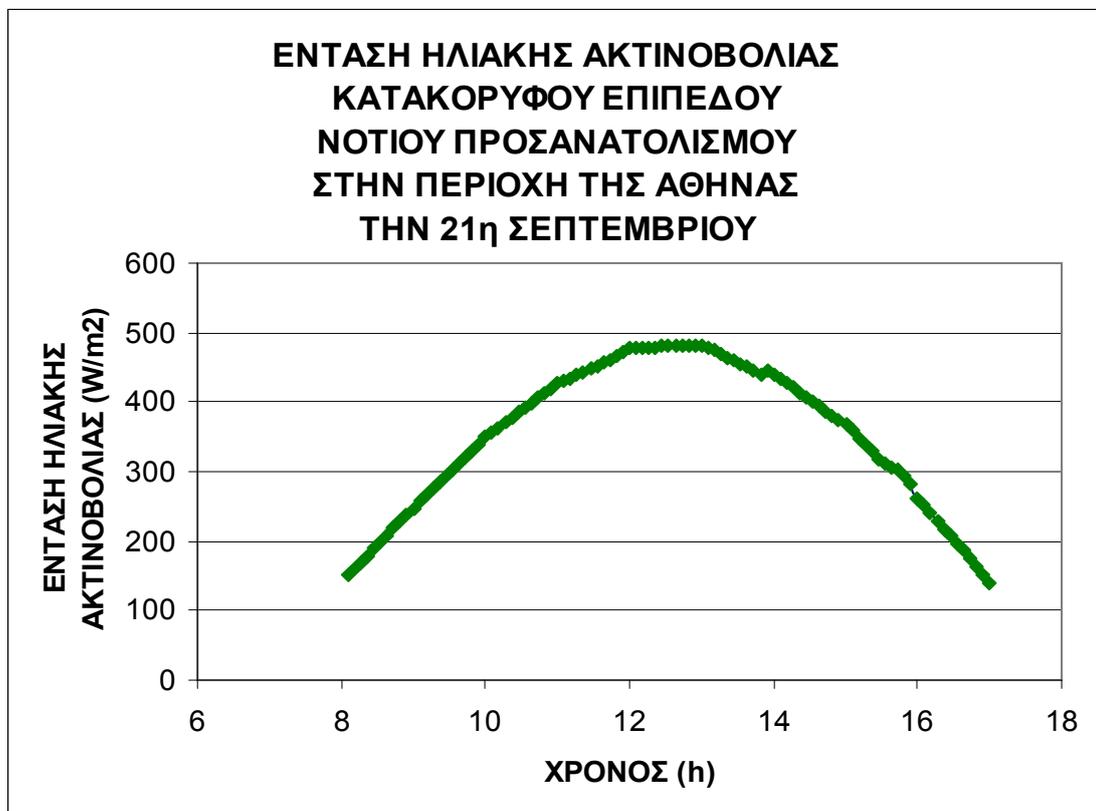
10.2 Κλιματικά στοιχεία για τους μήνες Μάιο και Σεπτέμβριο

Ο προσανατολισμός της καμινάδας επιλέγεται νότιος για τους λόγους που αναφέρθηκαν στην παράγραφο 8.2. Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας για την 21^η Μαΐου και την 21^η Σεπτεμβρίου απεικονίζεται στα διαγράμματα 15 και 16.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ15



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 16

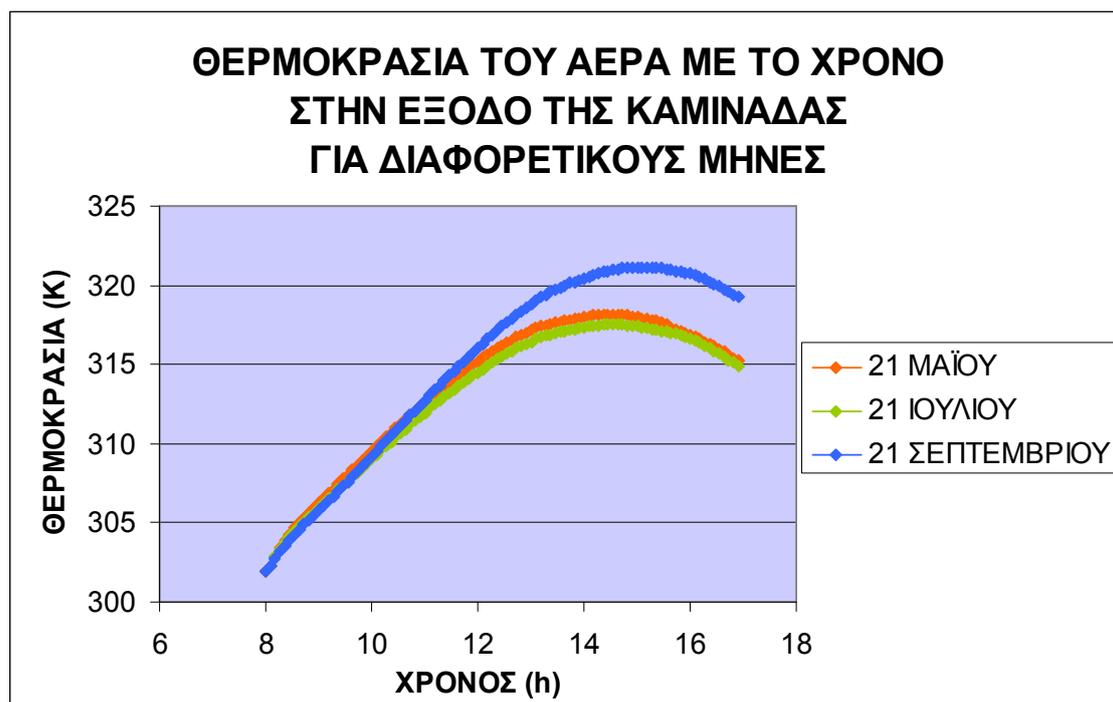


10.3 Παρουσίαση αποτελεσμάτων για τα χαρακτηριστικά μεγέθη της καμινάδας

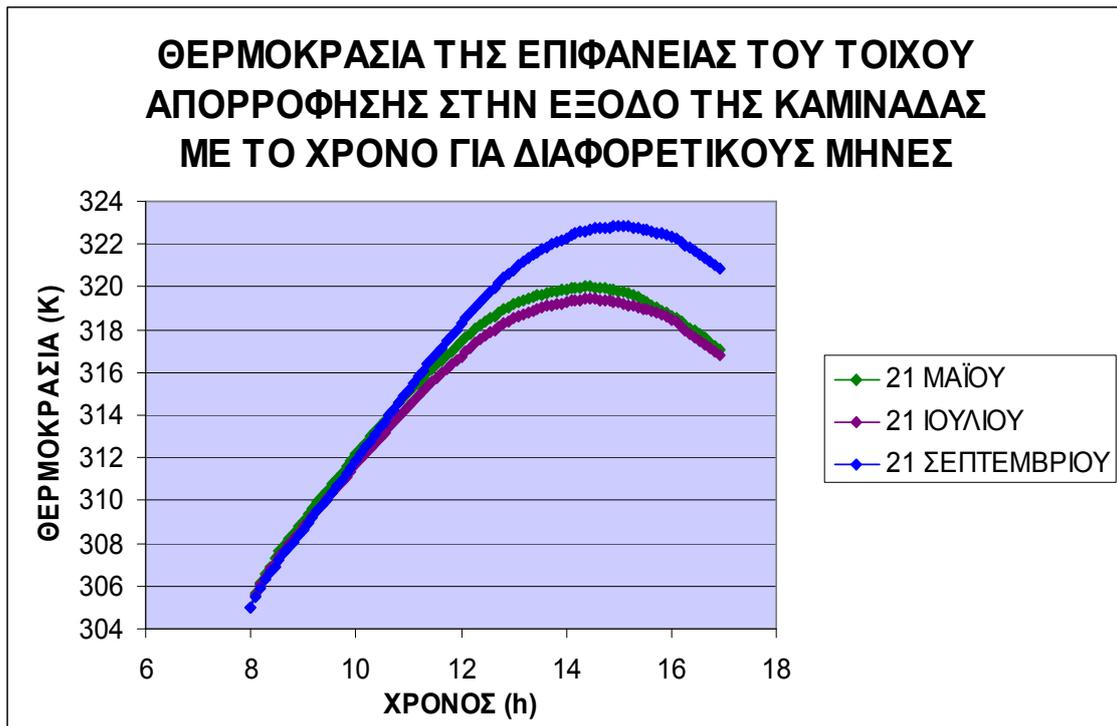
Η θερμοκρασία του αέρα φαίνεται να έχει μεγαλύτερη κλίση στην έξοδο της καμινάδας το μήνα Σεπτέμβριο συγκριτικά με τους άλλους μήνες. Το ίδιο συμβαίνει και με τη θερμοκρασία της επιφάνειας του τοίχου απορρόφησης και κατ' επέκταση και με την παροχή μάζας και τον αριθμό εναλλαγών του αέρα ανά ώρα. Αυτό συμβαίνει διότι η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι μεγαλύτερη στο κατακόρυφο επίπεδο το Σεπτέμβριο απ' ό τι τον Μάιο και τον Ιούλιο, λόγω της χαμηλότερης θέσης του ηλίου.

Επίσης πρέπει να ληφθεί υπόψιν, ότι οι αρχικές θερμοκρασίες διατηρήθηκαν οι ίδιες και για τις τρεις περιπτώσεις, γεγονός που οδηγεί σε αποτελέσματα κατά προσέγγιση. Αν θεωρούσαμε κατάλληλες αρχικές συνθήκες, η κλίση της θερμοκρασίας θα παρέμενε περίπου η ίδια, αλλά οι τιμές των θερμοκρασιών στην έξοδο θα ήταν διαφορετικές και συγκεκριμένα μικρότερες.

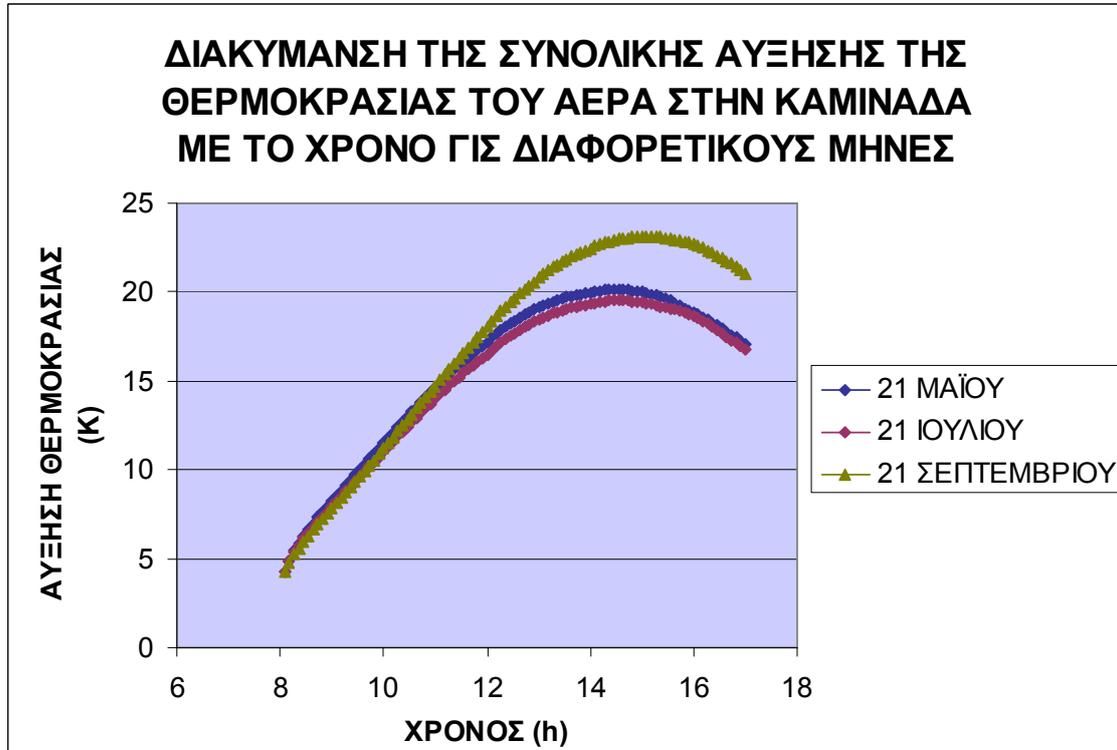
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 17



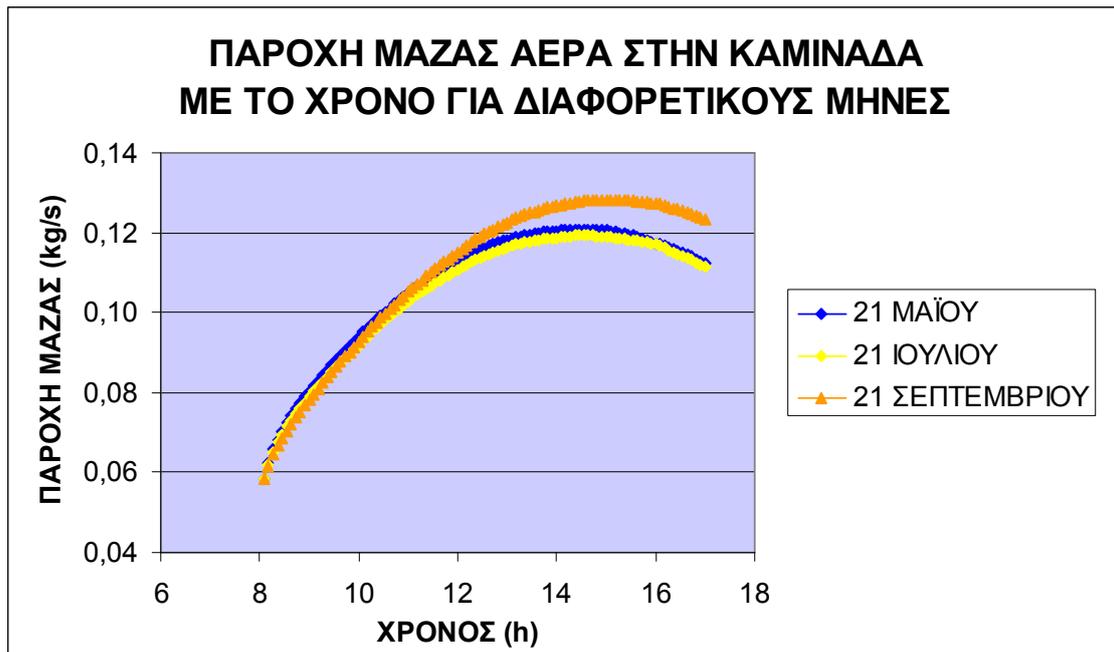
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 18



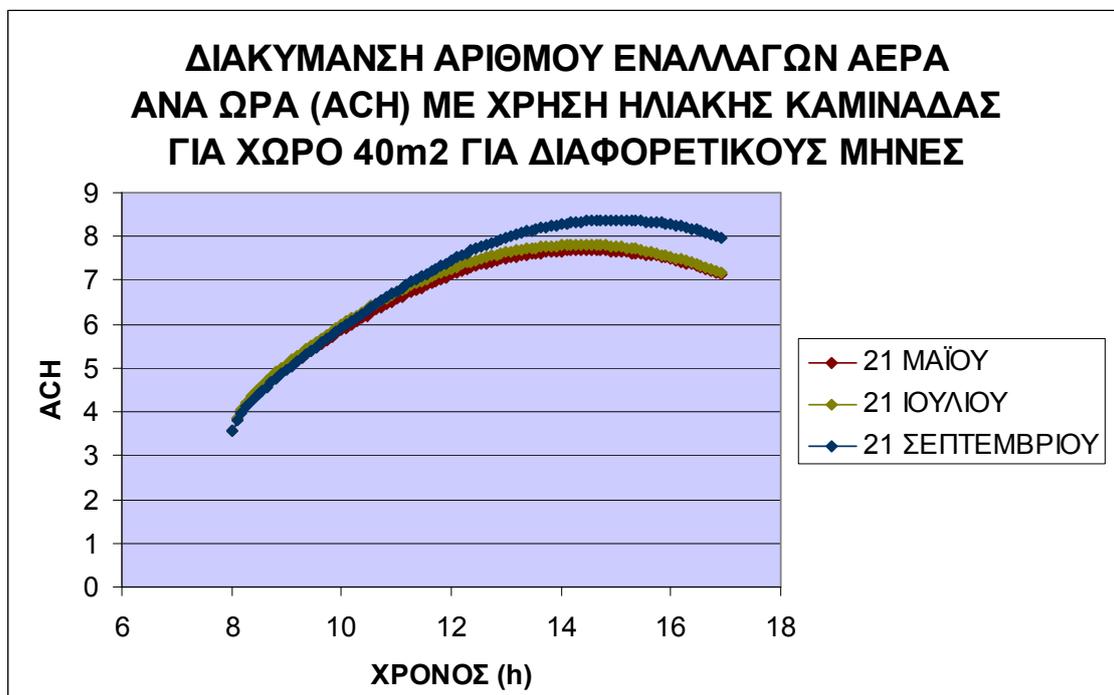
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 19



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 20



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 21



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11^ο – ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΕΠΙΛΥΣΗ

Η παραδοχή που έγινε για την επίλυση του προβλήματος και αναφέρεται και στην παράγραφο 7.1 είναι ότι η μεταφορά θερμότητας στον τοίχο απορρόφησης είναι μονοδιάστατη. Λόγω της θεώρησης αυτής τα αποτελέσματα που εξήχθησαν είναι σε ένα βαθμό προσεγγιστικά. Επίσης η χρήση της θεωρίας της θερμαινόμενης πλάκας με δεδομένο ότι η ροή είναι πάντα στρωτή στο εσωτερικό της καμινάδας αλλοιώνει τα αποτελέσματα.

Στην περίπτωση που θέλουμε μεγαλύτερη ακρίβεια στους υπολογισμούς, μπορούμε να θεωρήσουμε διδιάστατη μεταφορά θερμότητας στο εσωτερικό του τοίχου και να υπολογιστούν τα μεγέθη με βάση τους παρακάτω τύπους διδιάστατης μεταφοράς, οι οποίοι προκύπτουν από την επίλυση του παραβολικού διδιάστατου πεδίου ροής βάσει της εξίσωσης διάχυσης (12.1).

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (12.1)$$

$$\text{όπου } a = \frac{k}{\rho \cdot C_p}.$$

Κάθε όρος της 12.1 είναι ως εξής :

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{T_{i+1,j}^n + T_{i-1,j}^n - 2 \cdot T_{i,j}^n}{(\Delta x)^2} \quad (12.2)$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = \frac{T_{i,j+1}^n + T_{i,j-1}^n - 2 \cdot T_{i,j}^n}{(\Delta y)^2} \quad (12.3)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{T_{i,j}^{n+1} - T_{i,j}^n}{\Delta t} \quad (12.4)$$

Προκύπτουν οι παρακάτω εξισώσεις

$$\begin{aligned}
 TW1(i, n+1) &= \frac{2 \cdot a \cdot dt}{kw \cdot dx} \cdot (1 - ag) \cdot trg \cdot aw \cdot I(n) \cdot 0.9 + \\
 &+ \frac{2 \cdot a \cdot dt}{dx^2} (TW1(i-1, n) + TW1(i+1, n) + 2 \cdot TW2(i, n)) + \frac{2 \cdot HCWA(i, n) \cdot a \cdot dt}{kw \cdot dx} \cdot T(i, n) + \\
 &+ \left(1 - \frac{8 \cdot a \cdot dt}{dx^2} - \frac{2 \cdot HCWA(i, n) \cdot a \cdot dt}{kw \cdot dx} \right) \cdot TW1(i, n)
 \end{aligned} \tag{12.5}$$

$$\begin{aligned}
 TW2(i, n+1) &= \frac{a \cdot dt}{dx^2} \cdot (TW1(i, n) + TW3(i, n) + TW2(i-1, n) + TW2(i+1, n)) + \\
 &+ \left(1 - \frac{4 \cdot a \cdot dt}{dx^2} \right) \cdot TW2(i, n)
 \end{aligned} \tag{12.6}$$

$$\begin{aligned}
 TW3(i, n+1) &= \frac{a \cdot dt}{dx^2} \cdot (TW2(i, n) + TW4(i, n) + TW3(i-1, n) + TW3(i+1, n)) + \\
 &+ \left(1 - \frac{4 \cdot a \cdot dt}{dx^2} \right) \cdot TW3(i, n)
 \end{aligned} \tag{12.7}$$

$$\begin{aligned}
 TW4(i, n+1) &= \frac{a \cdot dt}{dx^2} \cdot (TW3(i, n) + TW5(i, n) + TW4(i-1, n) + TW4(i+1, n)) + \\
 &+ \left(1 - \frac{4 \cdot a \cdot dt}{dx^2} \right) \cdot TW4(i, n)
 \end{aligned} \tag{12.8}$$

$$\begin{aligned}
 TW5(i, n+1) &= \frac{2 \cdot a \cdot dt}{dx^2} \cdot (2 \cdot TW4(i, n) + TW5(i-1, n) + TW5(i+1, n)) + \\
 &+ \left(1 - \frac{8 \cdot a \cdot dt}{dx^2} \right) \cdot TW5(i, n)
 \end{aligned} \tag{12.9}$$

Οι παραπάνω σχέσεις ισχύουν για ομοιόμορφο πλέγμα $dx=dy$.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12^ο – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

12.1 Εισαγωγικά

Οι διαστάσεις της καμινάδας επιλέχθηκαν με βάση βιβλιογραφικά δεδομένα, ώστε να μπορούν να συγκριθούν τα θεωρητικά αποτελέσματα που θα προέκυπταν από τη μελέτη με ήδη υπάρχοντα πειραματικά αποτελέσματα. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία ο βέλτιστος λόγος ύψους καμινάδας προς μέγεθος διακένου είναι 10, ώστε να επιτυγχάνεται μέγιστη ροή αέρα, οπότε επιλέχθηκε $H_c/d=10$.

Θέτοντας σε εφαρμογή το μαθηματικό μοντέλο που παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 7, έγιναν οι παραδοχές που αναφέρονται στην παράγραφο 7.1. Τα αποτελέσματα καταγράφηκαν σε διαγράμματα και παρουσιάστηκαν στα κεφάλαια 8-10. Με βάση τα αποτελέσματα αυτά εξάγονται ορισμένα συμπεράσματα σχετικά με τη λειτουργία της ηλιακής καμινάδας, τα οποία και καταγράφονται παρακάτω.

12.2 Διακύμανση θερμοκρασίας αέρα-παροχής μάζας-αριθμού εναλλαγών αέρα

Η θερμοκρασία του τοίχου απορρόφησης λαμβάνεται εξαρχής υψηλότερη από αυτή της γυάλινης επιφάνειας και του αέρα. Καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας της ηλιακής καμινάδας η θερμοκρασία του τοίχου παραμένει η υψηλότερη, λόγω της μεγαλύτερης απορροφητικότητας αλλά και της μεγάλης θερμικής μάζας που έχει την ικανότητα να αποθηκεύει μεγάλα ποσά θερμότητας.

Οι θερμοκρασίες του τοίχου και του αέρα δεν επηρεάζονται έντονα από τη μεταβολή του βάθους του διακένου της καμινάδας. Αντιθέτως επηρεάζονται η παροχή μάζας και ο αριθμός εναλλαγών του αέρα. Συγκεκριμένα η κλίση της θερμοκρασίας του αέρα και του τοίχου μένει η ίδια, ενώ αυξάνεται σημαντικά η παροχή μάζας. Αυτό σημαίνει ότι η καμινάδα υπό τις ίδιες συνθήκες μπορεί να αποδώσει εξίσου διακινώντας μεγαλύτερη ποσότητα αέρα.

Αντίθετα σύμφωνα και με τις παραδοχές που κάναμε η μεταβολή του συντελεστή συναγωγής μεταξύ τοίχου και αέρα δεν επηρεάζει σημαντικά ούτε τις θερμοκρασίες, ούτε και την παροχή μάζας.

Οι υπολογισμοί που έγιναν για τη λειτουργία της ηλιακής καμινάδας στις 21 Ιουλίου επαναλήφθηκαν για την 21^η Μαΐου και την 21^η Σεπτεμβρίου για να μελετηθεί η λειτουργία σε περιόδους με διαφορετική διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία. Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν συμπεραίνουμε ότι η ηλιακή καμινάδα μπορεί να

λειτουργήσει ικανοποιητικά ακόμη και τους μήνες Μάιο και Σεπτέμβριο. Μάλιστα το Σεπτέμβριο παρουσιάζει μεγαλύτερη δυνατότητα αύξησης της θερμοκρασίας του αέρα και διακίνησης μάζας καθώς είναι μεγαλύτερη η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Η τάση αυτή εμφανίζεται όχι μόνο στην παροχή μάζας, αλλά και στην κατανομή των θερμοκρασιών του αέρα και των επιφανειών στην έξοδο της καμινάδας με το χρόνο. Ενώ η καθ' ύψος κατανομή έχει περίπου την ίδια κλίση λόγω της παραδοχής που έγινε για ίσους συντελεστές θερμότητας. Τέλος ελαφρώς αυξημένος εμφανίζεται ο αριθμός εναλλαγών αέρα κατά την 21^η Σεπτεμβρίου συγκριτικά με την 21^η Μαΐου, που σημαίνει ότι η λειτουργία της ηλιακής καμινάδας είναι ικανοποιητική τους μήνες Σεπτέμβριο και Μάιο, ελαφρώς πιο αποδοτική βέβαια το Σεπτέμβριο.

Δεδομένου ότι ένας χώρος που χρησιμοποιείται ως κατοικία ή γραφείο χρειάζεται περίπου 4-6 εναλλαγές αέρα την ώρα, το μοντέλο της ηλιακής καμινάδας που επιλέχθηκε και μελετήθηκε σε αυτήν την εργασία μπορεί να καλύψει πλήρως τις ανάγκες για αερισμό σε χώρο 40m² παρέχοντας φυσικό αερισμό κατά τις ώρες 8:00 έως 17:00 την 21^η Ιουλίου, αλλά εξίσου μπορεί να καλύψει τις ανάγκες για αερισμό αι τους μήνες Μάιο και Σεπτέμβριο. Αυξάνοντας το βάθος του διακένου της καμινάδας μπορούμε να επιτύχουμε ικανοποιητικό αερισμό και για μεγαλύτερο χώρο.

Βιβλιογραφία

1. Αντωνόπουλος Κ., “Θερμικά-Ηλιακά Συστήματα”, Μέρος Πρώτο, Ε.Μ.Π., 2004
2. Αντωνόπουλος Κ., “Κλιματισμός”, Μέρος Πρώτο, Ε.Μ.Π., 2004
3. Τζιβανίδης Χ., “Θερμική συμπεριφορά κτιρίων”, Ε.Μ.Π., 2004
4. Μπεργελές Γ., “Υπολογιστική Ρευστομηχανική”, Συμείων, 2006
5. Κακάτσιος Ξ., “Μεταφορά θερμότητας”, Κλειδάριθμος, 2000
6. Ανδρεαδάκη-Χρονάκη Ε., Ζήσης Ξ., “ Βιοκλιματικός σχεδιασμός και καθαρές τεχνολογίες δόμησης”, Παρατηρητής, 1996
7. Ελληνικά γράμματα, “Οικολογική δόμηση”, 2000
8. Μάλλιαρης (Παιδεία), “Ενέργεια στην Αρχιτεκτονική-Το Ευρωπαϊκό εγχειρίδιο για τα παθητικά ηλιακά κτίρια”, 1996
9. Babalis D., “Bioclimatic design & urban regeneration for sustainable development”, Polistampa, 2003
10. Ghiaus C., Allard F., “Natural ventilation in the urban environment, assessment and design”, 2007
11. Allard F., Santamouris M., “Natural ventilation in buildings - A design handbook”, 2007
12. Santamouris M., “Passive cooling of buildings”, 2004
13. ΥΠ.Ε.ΧΩ.ΔΕ., “Εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια. Σχέδιο δράσης του ΥΠ.Ε.ΧΩ.ΔΕ «Ενέργεια 2001».”, 2001
14. Τσίπηρας, “ Βιοκλιματικός σχεδιασμός κτιρίων”, 2000
15. Ong K.S., Chow C.C., “Performance of a solar chimney”, Solar Energy 74, 2003
16. Ong K.S., “A mathematical model of a solar chimney”, Renewable Energy 28, 2003
17. Martí-Herrero J., Heras-Celemin M.R., “Dynamic physical model for a solar chimney”, Solar Energy 81, 2007
18. Bassiouny R., Koura Nader S.A., “An analytical and numerical study of solar chimney use for room natural ventilation”, Energy and Buildings 40, 2008

Ηλεκτρονικές διευθύνσεις

1. www.cres.gr
 2. www.buildings.gr
 3. www.minenv.gr
 4. <http://eur-lex.europa.eu/>
 5. www.tee.gr
 6. www.aivc.org
 7. www.inive.org
 8. www.ashrae.org
 9. www.sciencedirect.com
-

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ ΤΗΣ
ΡΟΗΣ ΤΟΥ ΑΕΡΑ ΚΑΙ ΤΟΥ ΤΟΙΧΟΥ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ, ΤΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ
ΜΑΖΑΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΕΝΑΛΛΑΓΩΝ ΑΕΡΑ ΑΝΑ ΩΡΑ ΓΙΑ ΧΩΡΟ
40m² ΓΙΑ ΤΗΝ 21^η ΙΟΥΛΙΟΥ, 21^η ΜΑΪΟΥ ΚΑΙ 21^η ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΥ.**

```
program HLIAKH_KAMINADA
```

```
C*****
```

```
C DHLWNOUME METABLHTES
```

```
C*****
```

```
IMPLICIT double precision (a-h,o-z)
```

```
PARAMETER(g=9.81d0,Cd=0.57d0,omega=0.57d0)
```

```
PARAMETER(sigma=5.67d0/100000000)
```

```
PARAMETER (Gsc=1353.d0,ff=0.663d0,bb=1.57d0,alpha=0.907d0,gg=0.d0)
```

```
INTEGER Di
```

```
DIMENSION T(200,200)
```

```
DIMENSION H(200),S(200),hours(200),Tm(200,200),ACH(200)
```

```
DIMENSION b(200,200),zmf(200,200),Cp(200,200)
```

```
DIMENSION zNu(200,200),zmass(200),vzf(200,200)
```

```
DIMENSION rf(200,200),velocity(200)
```

```
DIMENSION zkf(200,200),Gr(200,200),Ta(10),Tair(200)
```

```
DIMENSION HC(200,200),HCGA(200,200),HCWA(200,200)
```

```
DIMENSION HRGS(200,200),HRWG(200,200),Ray(200,200)
```

```
!DIMENSION GH(1200),Gb(1200),Gd(1200),GT(1200),GHOR(1200)
```

```
DIMENSION GT(200)
```

```
DIMENSION TW2(200,200),TW3(200,200),TW4(200,200)
```

```
DIMENSION TW5(200,200)
```

```
DIMENSION TW1(200,200),TG1(200,200)
```

```
dimension Uf(200,200),Vf(200,200), Tf(200,200)
```

C*****

C DHMIOURGOUME ARXEIA

C*****

```
OPEN(2,FILE='GRID.txt')
OPEN(333,FILE='TESE2.txt ')
OPEN(666,FILE='diafores.txt ')
WRITE(2,*)'GRID'
OPEN(20,FILE='GEOMETRY.txt')
WRITE(20,*)'GEOMETRY'
OPEN(40,FILE='HEIGHTS.txt')
WRITE(40,*)'HEIGHTS'
OPEN(50,FILE='SURFACES.txt')
WRITE(50,*)'SURFACES'
OPEN(55,FILE='XRONIKES STIGMES.txt')
WRITE(55,*)'XRONIKES STIGMES'
OPEN(30,FILE='MATERIAL COEFFICIENTS.txt')
WRITE(30,*)'MATERIAL COEFFICIENTS'
OPEN(60,FILE='MASS FLOW-60.txt')
WRITE(60,*)'MASS FLOW-60'
OPEN(70,FILE='THERMAL COEFFICIENTS.txt')
WRITE (70,*)'THERMAL COEFFICIENTS'
OPEN(80,FILE='DT.txt')
WRITE (80,*)'DT'
OPEN(100,FILE='AIR FLOW TEMPERATURE-T.txt')
WRITE(100,*)'AIR FLOW TEMPERATURE-T'
OPEN(200,FILE='WALL TEMPERATURE-TW.txt')
WRITE(200,*)'WALL TEMPERATURE-TW'
OPEN(300,FILE='GLASS TEMPERATURE-TG.txt')
WRITE(300,*)'GLASS TEMPERATURE-TG'
OPEN(600,FILE='flow coefficients.txt')
WRITE(600,*)'flow coefficients'
OPEN(800,FILE='DX1.txt')
WRITE (800,*)'DX1'
OPEN(900,FILE='THERMOKRASIA PERIB.txt')
```

```
WRITE (900,*)'THERMOKRASIA PERIB'  
  OPEN(1000,FILE='dtmin.txt')  
  WRITE(1000,*)'dtmin'  
  OPEN(1050,FILE='OUTSIDE AIR TEMPERATURE.txt')  
OPEN(1055,FILE='OUTSIDE AIR TEMPERATURE-check.txt')  
  OPEN(5,FILE='VOLUMEroom.txt')  
  WRITE(5,*)'VOLUMEroom'
```

c arxeio gia arithmo enallagwn aera ana wra

```
OPEN(7,FILE='Ach.txt')  
  WRITE(7,*)'Ach'
```

c arxeio gia taxythta

```
OPEN(8,FILE='velocity.txt')  
  WRITE(8,*)'velocity'
```

C arxeio me thn paroxi mazas

```
OPEN(11,FILE='hour-massflow.txt')  
  WRITE(11,*)'hour-massflow'
```

C.....

c edw apothhkeyontai oi thermokrasies kath'ypsos tis kaminadas stis 16:00

```
OPEN(21,FILE='height-TW12.txt')  
  WRITE(21,*)'height-TW12'  
OPEN(61,FILE='height-TW34.txt')  
  WRITE(61,*)'height-TW34'  
OPEN(91,FILE='height-TW5.txt')  
  WRITE(91,*)'height-TW5'  
OPEN(41,FILE='height-T.txt')  
  WRITE(41,*)'height-T'  
OPEN(71,FILE='height-TG1.txt')  
  WRITE(71,*)'height-TG1'
```

c edw apothhkeyontai oi thermokrasies sthn eksodo tis kaminadas gia kathe wra

```
OPEN(22,FILE='hour-TW1.txt')  
  WRITE(22,*)'hour-TW1'  
OPEN(23,FILE='hour-TW2.txt')  
  WRITE(23,*)'hour-TW2'  
OPEN(24,FILE='hour-TW3.txt')
```

```

WRITE(24,*)'hour-TW3'
OPEN(25,FILE='hour-TW4.txt')
WRITE(25,*)'hour-TW4'
OPEN(26,FILE='hour-TW5.txt')
WRITE(26,*)'hour-TW5'
OPEN(42,FILE='hour-T.txt')
WRITE(42,*)'hour-T'
OPEN(72,FILE='hour-TG1.txt')
WRITE(72,*)'hour-TG1'

```

C edw apothhkeyontai oi thermokrasies stin eisodo tis kaminadas gia kathe wra

```

OPEN(122,FILE='hour-TW1EISODOS.txt')
WRITE(122,*)'hour-TW1EISODOS'
OPEN(123,FILE='hour-TW2EISODOS.txt')
WRITE(123,*)'hour-TW2EISODOS'
OPEN(124,FILE='hour-TW3EISODOS.txt')
WRITE(124,*)'hour-TW3EISODOS'
OPEN(125,FILE='hour-TW4EISODOS.txt')
WRITE(125,*)'hour-TW4EISODOS'
OPEN(126,FILE='hour-TW5EISODOS.txt')
WRITE(126,*)'hour-TW5EISODOS'
OPEN(142,FILE='hour-TEISODOS.txt')
WRITE(142,*)'hour-TEISODOS'
OPEN(172,FILE='hour-TG1EISODOS.txt')
WRITE(172,*)'hour-TG1EISODOS'

```

c arxeia me thn entasi tis hliakhs aktinobolias

```

OPEN(51,FILE='radiation.txt')
OPEN(52,FILE='AKTINOBOLIA.txt')

```

C.....

C DINOUME TON ARITHMO THS HMERAS D

```

WRITE(*,*)'DWSE ARITHMO HMERAS-Di'
WRITE(*,*)'Di='
READ(*,*)Di
! Di=202 gia 21 Iouliou
! Di=141gia 21 Maiou
! Di=264 gia 21Septembriou

```

```

WRITE(2,*)'Di=',Di
C DINOYME TO PLEGMA dx
100 WRITE(*,*)'DWSE ARITHMO KOMVWN-NI'
WRITE(*,*)'NI='
READ(*,*)NI
WRITE(2,*)'NI=',NI
C DINOYME TO PLEGMA dt
500 WRITE(*,*)'DWSE ARITHMO KOMVWN-NN'
WRITE(*,*)'NN='
READ(*,*)NN
WRITE(2,*)'NN=',NN
C
C*****
C DINOUME DEDOMENA
C*****
C
C GEWMETRIA KAMINADAS
w=0.45d0
z=0.1d0
d=0.3d0
bw=0.25d0
bg=bw/8
Sgap=w*d
Hchimn=3.1d0
WRITE(20,*)'chimney height:',Hchimn
WRITE(20,*)'chimney width:',w
WRITE(20,*)'air gap depth:',d
WRITE(20,*)'gap surface:',Sgap
WRITE(20,*)'air gap height:',z
WRITE(20,*)'glass thickness:',bg
C.....
C KATHORISMOS dx- THEWROYME dx=bw/4 GIA OMOIOMORFO
PLEGMA OPOTE PROKYPTEI NI=49
dx=0.0625d0

```

```
WRITE(800,*)'dx=',dx
NI=((Hchimn-z)/dx)+1
WRITE(2,*)'NI=',NI
```

C.....

C THEWROYME TON PRWTO KOMVO STO YPSOS OPOU KSEKINA O
TOIXOS APORROFHSHS

C OPOTE SE KATHE KOMVO TA YPSH KAI OI EPIFANEIES TOY TOIXOU
KAI TOY GYALIOY

C THA EINAI ISA

```
DO i=1,NI
H(i)=dx*(i-1)+0.0001
S(i)=H(i)*w
WRITE(40,*)'H(',i,')=',H(i)
WRITE(50,*)'S(',i,')=',S(i)
END DO
```

C.....

C IDIOTHTES YLIKWN

```
aw=0.97d0
ag=0.09d0
trg=0.9d0
zkw=1.4d0
zkg=1.8d0
ew=0.95d0
eg=0.9d0
WRITE(30,*)'absorptivity of wall:aw=',aw
WRITE(30,*)'absorptivity of glass:ag=',ag
WRITE(30,*)'emissitivity of wall:ew=',ew
WRITE(30,*)'emissitivity of glass:eg=',eg
WRITE(30,*)'transmitivity of glass:trg=',trg
```

C.....

C DIABAZEI TO ARXEIO ME TH THERMOKRASIA PERIBALLONTOS

```
DO n=1,10
READ(1050,*) Ta(n)
WRITE(1055,*)'Ta(',n,')=',Ta(n)
```

END DO

C.....

C KATHORISMOS dt1

dt=9.d0/(NN-1.d0)

hours(1)=8.d0

WRITE(55,*)'hours(1)=' ,hours(1)

C.....

C DEDOMENA THERMOKRASIAS PERIBALLONTOS

C YPOLOGIZEI THERMOKRASIA PERIBALLONTOS-XRONIKES STIGMES

DO n=1,NN

C

C THERMOKRASIA PERIBALLONTOS

IF (hours(n).EQ.8.d0) THEN

Tair(n)=Ta(1)

ELSE IF(hours(n).GT.8.d0.AND.hours(n).LT.9.d0) THEN

Tair(n)=((Ta(2)-Ta(1))/((NN/12.d0)-1.d0))+Tair(n-1)

ELSE IF(hours(n).EQ.9.d0) THEN

Tair(n)=Ta(2)

ELSE IF(hours(n).GT.9.d0.AND.hours(n).LT.10.d0) THEN

Tair(n)=((Ta(3)-Ta(2))/((NN/12.d0)-1.d0))+Tair(n-1)

ELSE IF(hours(n).EQ.10.d0) THEN

Tair(n)=Ta(3)

ELSE IF(hours(n).GT.10.d0.AND.hours(n).LT.11.d0) THEN

Tair(n)=((Ta(4)-Ta(3))/((NN/12.d0)-1.d0))+Tair(n-1)

ELSE IF(hours(n).EQ.11.d0) THEN

Tair(n)=Ta(4)

ELSE IF(hours(n).GT.11.d0.AND.hours(n).LT.12.d0) THEN

Tair(n)=((Ta(5)-Ta(4))/((NN/12.d0)-1.d0))+Tair(n-1)

ELSE IF(hours(n).EQ.12.d0) THEN

Tair(n)=Ta(5)

ELSE IF(hours(n).GT.12.d0.AND.hours(n).LT.13.d0) THEN

Tair(n)=((Ta(6)-Ta(5))/((NN/12.d0)-1.d0))+Tair(n-1)

ELSE IF(hours(n).EQ.13.d0) THEN

Tair(n)=Ta(6)

```

ELSE IF(hours(n).GT.13.d0.AND.hours(n).LT.14.d0) THEN
    Tair(n)=((Ta(7)-Ta(6))/((NN/12.d0)-1.d0))+Tair(n-1)
ELSE IF(hours(n).EQ.14.d0) THEN
    Tair(n)=Ta(7)
ELSE IF(hours(n).GT.14.d0.AND.hours(n).LT.15.d0) THEN
    Tair(n)=((Ta(8)-Ta(7))/((NN/12.d0)-1.d0))+Tair(n-1)
ELSE IF(hours(n).EQ.15.d0) THEN
    Tair(n)=Ta(8)
ELSE IF(hours(n).GT.15.d0.AND.hours(n).LT.16.d0) THEN
    Tair(n)=((Ta(9)-Ta(8))/((NN/12.d0)-1.d0))+Tair(n-1)
ELSE IF(hours(n).EQ.16.d0) THEN
    Tair(n)=Ta(9)
ELSE IF(hours(n).GT.16.d0.AND.hours(n).LT.17.d0) THEN
    Tair(n)=((Ta(10)-Ta(9))/((NN/12.d0)-1.d0))+Tair(n-1)
ELSE IF(hours(n).GE.17.d0) THEN
    Tair(n)=Ta(10)
END IF
WRITE(900,*)'Tair('n,')=',Tair(n)

```

```

IF (n.EQ.NN) THEN
    GO TO 600
else
    continue
END IF

```

c.....

C XRONIKES STIGMES

```

hours(n+1)=hours(n)+dt !p.x. 7.5=7:30
    WRITE(55,*)'hours('n+1,')=',hours(n+1)
END DO

```

600 CONTINUE

c.....

```

dt=dt*3600.d0
WRITE(80,*)'dt=',dt

```

C.....

C DIABAZEI THN HLIAKH AKTINOBOLIA

```
do n=1,NN
  READ(51,*)GT(n)
  WRITE(52,*)GT(n)
end do
```

C*****

C EPILYSH ME BASH TH THEWRIA THS THERMAINOMENHS PLAKAS

C*****

```
DX1=0.001
  DY1=1.0/99.0 ! XWRIZW SE 100 KOMBOUS KATA j
pr=0.708
  NJ=100.d0
```

C ORIAKES SYNTHHKES

```
do i=1,49
  Uf(i,1)=0.d0
  Uf(i,NJ)=0.d0
  Vf(i,1)=0.d0
  Tf(i,1)=1.d0
  Tf(i,NJ)=1.d0
enddo
```

```
do j=1,100
  Vf(1,j)=0.d0
  Vf(2,j)=0.d0
  Uf(1,j)= 10.d0**(-6)
  Uf(2,j)= 11.d0**(-6)
  Tf(1,j)= 1.d0
  Tf(2,j)= 1.01
enddo
```

C EPILYSH

```
do i=1,47
  do j=2,99
    A1=(Uf(i+1,j)/(2.0*DX1))+(1.0/(DY1**2))
    A2=(1.0/(DY1**2))-(Vf(i+1,j)/(2.0*DY1))
```

$$A3=(Uf(i+1,j)/(2.0*DX1))-(1.0/(DY1**2))$$

$$A4=(1.0/(DY1**2))+(Vf(i+1,j)/(2.0*DY1))$$

$$B1=(1.0/(Pr*DY1**2))-(Vf(i+1,j)/(2.0*DY1))$$

$$B2=(1.0/(Pr*DY1**2))+(Vf(i+1,j)/(2.0*DY1))$$

$$B3=(Uf(i+1,j)/(2.0*DX1))-(1.0/(Pr*DY1**2))$$

$$B4=(Uf(i+1,j)/(2.0*DX1))+(1.0/(Pr*DY1**2))$$

$$Uf(i+2,j)=(1.0/A1)*(Uf(i,j)*A3+Uf(i+1,j+1)*A4+$$

$$1 \quad Uf(i+1,j-1)*A2+Tf(i+1,j))$$

$$Vf(i+1,j+1)=Vf(i+1,j-1)+(Uf(i,j)-Uf(i+2,j))*DY1/DX1$$

$$Tf(i+2,j)=(1.0/B4)*(Tf(i+1,j+1)*B1+Tf(i,j)*B3+Tf(i+1,j-1)*B2)$$

enddo

enddo

C EPILEGW NA KRATHSW TH THERMOKRASIA STH THESH j=20

DO i=1,49

WRITE(333,*) Tf(i,20)

ENDDO

Tm(1,1)= 301.0

C THERMOKRASIA PLAKAS

do i=1,49

tw1(i,1)=305.0

enddo

C-----

C IDIOTHTES YLIKWN

zkw=1.4

zkg=1.8

Cpglass=750.d0

Cpwall=880.d0

rfglass=2500.d0

rfglass=2300.d0

alphaw=zkw/(rffield*Cpwall)

alphag=zkg/(rfglass*Cpglass)

C DINW STATHERO ARITHMO PRANDTL

Pr=0.708

C*****

C XRONIKH EKSELIKSH

C*****

300 DO n=1,NN

DO i=1,NI

C H PRAGMATIKH THERMOKRASIA TOY AERA YPOLOGIZETAI ME
BASH TH SXESH

C THS ADIASTATOPOIHMENHS

T(i,n+1)=Tf(i,7)*(TW1(i,n)-T(1,n))+T(1,n)

C

b(i,n)=1.d0/Tm(i,n)

zmf(i,n)=(1.846+0.00472*(Tm(i,n)-300.d0))/100000.d0

Cp(i,n)=1005.7d0+0.04d0*(T(i,n)-300.d0)

zkf(i,n)=0.0263+0.000074*(Tm(i,n)-300.d0)

rf(i,n)=1.178d0-0.00353d0*(T(i,n)-300.d0)

vVf(i,n)=zmf(i,n)/rf(i,n)

Gr(i,n)=g*b(i,n)*0.9*0.94*GT(n)*H(i)**4/(vVf(i,n)**2*zkw)

Ray(i,n)=Pr*Gr(i,n)

IF(Ray(i,n).LT.10.0**11)THEN

zNu(i,n)=0.68*(Ray(i,n)**0.2)

ELSE

zNu(i,n)=0.568*(Ray(i,n)**0.22)

END IF

C KATAGRAFOYME OLA TA APOTELESMATA SE ENA ARXEIO GIA NA TA
ELEGXOYME

WRITE(600,*)'b('i','n')=',b(i,n)

WRITE(600,*)'Cp('i','n')=',Cp(i,n)

WRITE(600,*)'zmf('i','n')=',zmf(i,n)

```

WRITE(600,*)'rf('i','n')=',rf(i,n)
WRITE(600,*)'zkf('i','n')=',zkf(i,n)
WRITE(600,*)'vVf('i','n')=',vVf(i,n)
WRITE(600,*)'Gr('i','n')=',Gr(i,n)
WRITE(600,*)'Ray('i','n')=',Ray(i,n)
WRITE(600,*)'zNu('i','n')=',zNu(i,n)

```

```

C.....
C SYNTELESTES METAFORAS THERMOTHTAS STH THESH i TH STIGMH n
C TOYS THEWRW STATHEROYS DIOTI OI DIAFORES
THERMOKRASIWN DEN EINAI
C TOSO MEGALES WSTE NA PROKALOYN SHMENTIKES METABOLES
C STIS TIMES TWN SYNTELESTWN

```

```

HC(i,n)=5.d0 !zNu(i,n)*zkf(i,n)/H(i)
HCGA(i,n)=5.d0 !zNu(i,n)*zkf(i,n)/H(i)
HCWA(i,n)=5.d0 !zNu(i,n)*zkf(i,n)/H(i)
HRWG(i,n)=5.d0 !sigma*(TW1(i,n)+TG(i,n))*(TW1(i,n)**2.d0+
1 !TG1(i,n)**2.d0)/((1.d0/eg)+(1.d0/ew)-1.d0)
HRGS(i,n)=15.d0 !sigma*eg*(TG(i,n)**4.d0-Tair(n)**4.d0)
WRITE (70,*)'HC('i','n')=',HC(i,n)
WRITE (70,*)'HCGA('i','n')=',HCGA(i,n)
WRITE (70,*)'HCWA('i','n')=',HCWA(i,n)
WRITE (70,*)'HRWG('i','n')=',HRWG(i,n)
WRITE (70,*)'HRGS('i','n')=',HRGS(i,n)

```

```

C.....
IF (n.EQ.NN) THEN
GO TO 800
END IF

```

```

C.....
C YPOLOGIZOYME TH THERMOKRASIA SE KATHE THESH i GIA KATHE
XRONIKH STIGMH n
C ME BASH THN PROHGOYMENH n-1
C _____
C THN PRWTH XRONIKH STIGMH , opou exw arxikes thermokrasies
C _____

```

```

IF(n.EQ.1)THEN
    TW1(i,1)=305.d0
write(122,*)hours(1),TW1(i,1)
    TW2(i,1)=305.d0
write(123,*)hours(1), TW2(i,1)
    TW3(i,1)=305.d0
write(124,*)hours(1), TW3(i,1)
    TW4(i,1)=305.d0
write(125,*)hours(1), TW4(i,1)
    TW5(i,1)=305.d0
write(126,*)hours(1), TW5(i,1)
    TG1(i,1)=300.d0
write(172,*)hours(1), TG1(i,1)
WRITE (200,*)'TW1(',i,', 1)=' ,TW1(i,1)
WRITE (300,*)'TG1(',i,', 1)=' ,TG1(i,1)
    Tm(i,1)=(TW1(i,1)+TG1(i,1))/2.d0

```

```

if(i.EQ.1)then
    T(1,1)=298.d0
    write(142,*)hours(1), T(1,1)
    WRITE(100,*)'T(',i,',1)=' ,T(1,1)
else
    T(i,1)=302.d0
    write(142,*)hours(1), T(1,1)
    WRITE(100,*)'T(',i,',1)=' ,T(1,1)
endif
    go to 450

```

END IF

450 CONTINUE

C

C STHN PRWTH THESH i=1 , opou T=298 panta kai TW1 gwniakos kombos

C

```

IF(i.EQ.1)THEN
    T(1,n+1)=298.d0

```

write(142,*)hours(n+1), T(1,n+1)

C

c sto gyalii einai $dx/2=0.03125$, kai thewroume $bg=0.03m$

c o kombos einai sto eswteriko toy gyalioy

$$TG1(i,n+1)=(dt/bg/rfglass/Cpglass)*ag*GT(n)-$$
$$1 (2.d0*HRGS(i,n)*alphag*dt/zkg/dx)*Tair(n)+$$
$$1 (1-(2.d0*HRGS(i,n)*alphag*dt/zkg/dx))*TG1(i,n)$$

write(172,*)hours(n+1), TG1(1,n+1)

C

c gia to TW1 einai $dx/2=(bw/4)/2=(0.25/4)/2=0.03125m$

c o kombos TW1 einai panw sth epifaneia toy toixou

$$TW1(i,n+1)=(2.d0*alphaw*dt/zkw/dx)*0.9*trg*aw*GT(n)+$$
$$1 (2.d0*alphaw*dt/(dx**2.d0))*2.d0*TW2(i,n)+$$
$$1 (2.d0*HCWA(i,n)*alphaw*dt/zkw/dx)*T(i,n)+$$
$$1 (1.d0-(2.d0*HCWA(i,n)*alphaw*dt/zkw/dx)-(4.d0*alphaw*dt/$$
$$1 (dx**2.d0)))*TW1(i,n)$$

c

write(122,*)hours(n+1), TW1(1,n+1)

C

c gia to TW2-TW4 einai $dx=0.0625m$

c o kombos einai eswterikos

$$TW2(i,n+1)=(alphaw*dt/(dx**2.d0))*(TW1(i,n)+TW3(i,n))+$$
$$1 (1.d0-(2.d0*alphaw*dt/(dx**2.d0)))*TW2(i,n)$$

write(123,*)hours(n+1), TW2(1,n+1)

c

$$TW3(i,n+1)=(alphaw*dt/(dx**2.d0))*(TW2(i,n)+TW4(i,n))+$$
$$1 (1.d0-(2*alphaw*dt/(dx**2.d0)))*TW3(i,n)$$

write(124,*)hours(n+1), TW3(1,n+1)

c

$$TW4(i,n+1)=(alphaw*dt/(dx**2.d0))*(TW3(i,n)+TW5(i,n))+$$
$$1 (1.d0-(2.d0*alphaw*dt/(dx**2.d0)))*TW4(i,n)$$

write(125,*)hours(n+1), TW4(1,n+1)

c

- c gia to TW5 einai dx/2
- c o kombos einai sthn pisw epifaneia toy toixou,meta apo ayton yparxei monwsh

```

TW5(i,n+1)=(2.d0*alphaw*dt/(dx**2.d0))*2.d0*TW4(i,n)+
1 (1.d0-(4.d0*alphaw*dt/(dx**2.d0))*TW5(i,n)
write(126,*)hours(n+1), TW5(1,n+1)
GO TO 800
ELSE
GO TO 350
END IF

```

C

C SE OLES TIS ALLES THESEIS

C

350 CONTINUE

```

TG1(i,n+1)=(dt/bg/rfglass/Cpglass)*ag*GT(n)-
1 (2.d0*HRGS(i,n)*alphag*dt/zkg/dx)*Tair(n)+
1 (1-(2.d0*HRGS(i,n)*alphag*dt/zkg/dx))*TG1(i,n)

```

c

```

TW1(i,n+1)=(2.d0*alphaw*dt/zkw/dx)*0.9*trg*aw*GT(n)+
1 (2.d0*alphaw*dt/(dx**2.d0))*(2.d0*TW2(i,n))+
1 (2.d0*HCWA(i,n)*alphaw*dt/zkw/dx)*T(i,n)+
1 (1.d0-(2.d0*HCWA(i,n)*alphaw*dt/zkw/dx)-(4.d0*alphaw*dt/
1 (dx**2.d0))*TW1(i,n)

```

c

```

c TW2(i,n+1)=(alphaw*dt/(dx**2.d0))*(TW1(i,n)+TW3(i,n))+
1 (1.d0-(2.d0*alphaw*dt/(dx**2.d0))*TW2(i,n)

```

c

```

TW3(i,n+1)=(alphaw*dt/(dx**2.d0))*(TW2(i,n)+TW4(i,n))+
1 (1.d0-(2.d0*alphaw*dt/(dx**2.d0))*TW3(i,n)

```

c

```

TW4(i,n+1)=(alphaw*dt/(dx**2.d0))*(TW3(i,n)+TW5(i,n))+
1 (1.d0-(2.d0*alphaw*dt/(dx**2.d0))*TW4(i,n)

```

c

```

TW5(i,n+1)=(2.d0*alphaw*dt/(dx**2.d0))*2.d0*TW4(i,n)+
1 (1 .d0-(4.d0*alphaw*dt/(dx**2.d0))*TW5(i,n)

```

c

```
WRITE(100,*)T('i',',',',n+1,')=',T(i,n+1)
WRITE(200,*)TW1('i',',',',n+1,')=',TW1(i,n+1)
WRITE(300,*)TG1('i',',',',n+1,')=',TG1(i,n+1)
Tm(i,n+1)=(TW1(i,n+1)+TG1(i,n+1))/2
```

C

```
IF(n.EQ.89.d0) then
  write(21,*) H(i), TW1(i,n),TW2(i,n)
  write(61,*) H(i),TW3(i,n),TW4(i,n)
  write(91,*) H(i),TW5(i,n)
  write(41,*) H(i), T(i,n)
  write(71,*) H(i), TG1(i,n)
END IF
```

C

```
IF(i.EQ.NI) then
  write(22,*)hours(n),TW1(i,n)
  write(23,*)hours(n), TW2(i,n)
  write(24,*)hours(n), TW3(i,n)
  write(25,*)hours(n), TW4(i,n)
  write(26,*)hours(n), TW5(i,n)
  write(72,*)hours(n), TG1(i,n)
  write(42,*)hours(n), T(i,n)
END IF
```

C

```
800 continue
  END DO
```

C

```
  END DO
```

C

C

C YPOLOGISMOS PAROXHS MAZAS-ACH

```
DO n=2,NN
  diafora=T(NI,n)-T(1,n)
  write(666,*) hours(n) , diafora
```

```

IF(diafora.LT.0.d0) THEN
WRITE(60,*)'ARNHTIKH DIAFORA'
GO TO 900
ELSE
c ypologismos paroxhs mazas
zmass(n)=Cd*rf(NI,n)*Sgap*
1 sqrt(g*3.d0*(T(NI,n)-T(1,n))/T(1,n))
1000 WRITE(60,*)'zmass('n,')=',zmass(n)
write(11,*)hours(n) , zmass(n)
c ypologismos ogkou dwmatiou gia ACH=3
VOLUMEroom(n)=zmass(n)*3600.d0/(rf(NI,n)*3.d0)
WRITE(5,*)VOLUMEroom(n)
c ypologismos ACH gia dwmatio 40m3
ACH(n)=zmass(n)*3600.d0/(rf(NI,n)*40.d0) !thewrw dwmatio 40m3
write(7,*)GT(n),ACH(n)
c ypologismos taxyhtas
velocity(n)=zmass(n)/rf(1,n)/Sgap
WRITE(8,*)hours(n) , velocity(n)
900 END IF
CONTINUE
END DO
C.....
END
C////////////////////////////////////
C////////////////////////////////////

```

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ
ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ
21^η ΙΟΥΛΙΟΥ, 21^η ΜΑΪΟΥ ΚΑΙ 21^η ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΥ.**

**C ΥΠΟΛΟΓΙΖΕΙ ΤΗΝ ΕΝΤΑΣΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ
ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ
C ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΕΣ ΚΑΙ
WRES**

program SOLAR_RADIATION

C-----
IMPLICIT double precision (a-h,m-z)
PARAMETER (Gsc=1353.d0,ff=0.663d0,bb=1.57d0,alpha=0.907d0,gg=0.d0)
DIMENSION AAt(100),Mt(100),Pt(100),parb(100)
DIMENSION AAtok(100),Mtok(100),Ptok(100)
DIMENSION mmt(100),aaat(100),ppt(100),pard(100)
DIMENSION mmtok(100),aaatok(100),pptok(100)
DIMENSION Gb(100),Gd(100),Ghor(100),GT(100),hours(100)
C FILES
OPEN(123,FILE='AAt.txt')
OPEN(234,FILE='Mt.txt')
OPEN(345,FILE='Pt.txt')
OPEN(456,FILE='aaat.txt')
OPEN(567,FILE='mmt.txt')
OPEN(678,FILE='ppt.txt')
OPEN(321,FILE='AAtok.txt')
OPEN(432,FILE='Mtok.txt')
OPEN(543,FILE='Ptok.txt')
OPEN(654,FILE='aaatok.txt')
OPEN(765,FILE='mmtok.txt')
OPEN(876,FILE='pptok.txt')

```

OPEN(11,FILE='SOLARRAD.txt')
WRITE(11,*)'SOLARRAD.txt'
OPEN(12,FILE='radiation.txt')
WRITE(12,*)'radiation.txt'

```

C DEDOMENA

```

Di=204.d0      ! Di=202 gia 21 Iouliou
                ! Di=141 gia 21 Maiou
                ! Di=264 gia 21 Septembriou

hours(1)=8.d0
dt=0.0909d0  !(se wres)

```

C-----

C DIABAZEI TA ARXEIA ME TOYS SYNTELESTES

```

DO n=1,100

  READ(123,*)AAAt(n)
  WRITE(321,*)AAAt(n)
  READ(234,*)Mt(n)
  WRITE(432,*)Mt(n)
  READ(345,*)Pt(n)
  WRITE(543,*)Pt(n)
  READ(456,*)aaat(n)
  WRITE(654,*)aaat(n)
  READ(567,*)mmt(n)
  WRITE(765,*)mmt(n)
  READ(678,*)ppt(n)
  WRITE(876,*)ppt(n)

  if(n.EQ.100)then
    go to 100
  else
    hours(n+1)=hours(n)+dt
  end if

```

END DO

100 continue

C-----

C YPOLOGISMOI HLIAKHS AKTINOBOLIAS

DO n=1,100

C

C YPOLOGISMOS AMESOUY STIGMIAIAS AKTINOBOLIAS ORIZONTIOY
EPIPEDOY

$timh2=(360.d0*Di/365.d0)-Pt(n)$

$timh2=timh2*3.14152d0/180.d0$

$parb(n)=dsin(timh2)$

$Gb(n)=Mt(n)+AAt(n)*parb(n)$

C YPOLOGISMOS DIAXYTOY STIGMIAIAS AKTINOBOLIAS
ORIZONTIOY EPIPEDOY

$timh3=(360.d0*Di/365.d0)-ppt(n)$

$timh3=timh3*3.14152d0/180.d0$

$pard(n)=dsin(timh3)$

$Gd(n)=mmt(n)+aaat(n)*pard(n)$

C YPOLOGISMOS Rb (LOGOY AMESOUY AKTINOBOLIAS KEKLIMENOY
PROS ORIZONTIO EPIPEDO)

$timh1=360.d0*(284.d0+Di)/365.d0$

$timh1=timh1*3.14152d0/180.d0$

$dd=23.45d0*dsin(timh1)*3.14152d0/180.d0$

$ww=15.d0*(hours(n)-12.d0)*3.14152d0/180.d0$

$THITA=-dsin(dd)*dsin(alpha)+dcos(dd)*dcos(alpha)*$

1 $dcos(ww)$

$THITAZ=dsin(dd)*dsin(ff)+dcos(dd)*dcos(ff)*dcos(ww)$

$Rb=THITA/THITAZ$

C YPOLOGISMOS Ghor(n) (OLIKH HLIAKH AKTINOBOLIA ORIZONTIOY
EPIPEDOY)

$Ghor(n)=Gb(n)+Gd(n)$

