

ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ

**ΚΑΤΑΡΤΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΕΠΙΘΕΩΡΗΤΩΝ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ**

Α. ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΚΤΗΡΙΩΝ

**ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ: ΔΕ3
ΚΛΙΜΑ ΚΑΙ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ. ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΣ
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΤΗΡΙΩΝ**

Α΄ έκδοση

Αθήνα, Ιούνιος 2011

Ομάδα εργασίας θεματικής ενότητας ΔΕ3:

Ανδρουτσόπουλος Ανδρέας	Μηχανολόγος μηχανικός, M.Sc., υπεύθυνος εργαστηρίου Ενεργειακών Μετρήσεων, Τμήμα Κτηρίων, Δ/ση Ενεργειακής Αποδοτικότητας, Κ.Α.Π.Ε.
Αραβαντινός Δημήτρης	Δρ. πολιτικός μηχανικός, αναπληρωτής καθηγητής στο Εργαστήριο Οικοδομικής και Φυσικής των Κτηρίων του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ.
Αξαρή Κλειώ	Δρ. αρχιτέκτων μηχανικός, αναπληρώτρια καθηγήτρια στο Εργαστήριο Οικοδομικής και Φυσικής των Κτηρίων του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ.
Θεοδοσίου Θεόδωρος	Δρ. πολιτικός μηχανικός, λέκτορας στο Εργαστήριο Οικοδομικής και Φυσικής των Κτηρίων του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ.
Τσικαλουδάκη Κατερίνα	Δρ. πολιτικός μηχανικός, λέκτορας στο Εργαστήριο Οικοδομικής και Φυσικής των Κτηρίων του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.	ΤΟ ΚΛΙΜΑ.....	4
1.1.	ΓΕΝΙΚΑ.....	4
1.1.1.	Παραλιακές περιοχές	6
1.1.2.	Επίπεδη ανοικτή ύπαιθρος	6
1.1.3.	Δάση	6
1.1.4.	Κοιλάδες.....	7
1.1.5.	Ορεινές περιοχές	7
1.1.6.	Αστικές περιοχές.....	7
1.2.	ΑΣΤΙΚΟ ΚΛΙΜΑ	7
1.3.	ΚΛΙΜΑΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ	9
1.3.1.	Ηλιακή ακτινοβολία	9
1.3.1.1.	Ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας	10
1.3.1.2.	Ηλιοφάνεια	11
1.3.1.3.	Ηλιακά διαγράμματα	12
1.3.1.4.	Ηλιασμός επιφανειών.....	12
1.3.1.5.	Ηλιασμός κατακόρυφων και οριζοντίων επιφανειών.....	13
1.3.2.	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ	14
1.3.2.1.	Θερμοκρασία του αέρα: Μετρούμενες τιμές.....	15
1.3.2.2.	Μεταβολή της θερμοκρασίας	16
1.3.3.	Ετήσια πορεία της θερμοκρασίας του αέρα	17
1.3.4.	Θερμοκρασιακό εύρος	17
1.3.4.1.	Κατανομή της θερμοκρασίας στην Ελλάδα.....	17
1.4.	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΔΑΦΟΥΣ	18
1.4.1.	Θερμοκρασία επιφάνειας εδάφους	18
1.4.2.	Θερμοκρασία βάθους εδάφους.....	19
1.5.	ΑΝΕΜΟΣ	19
1.6.	ΥΓΡΑΣΙΑ ΤΟΥ ΑΕΡΑ	21
1.6.1.	Πορεία της υγρασίας στην Ελλάδα	22
2.	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΚΤΗΡΙΟ	23
2.1.	ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΚΑΙ ΗΛΙΑΚΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ	23
2.1.1.	Συνιστώσες ηλιακής ακτινοβολίας	23
2.1.2.	Ηλιακό ύψος και αζιμούθιο.	24
2.2.	Μικροκλίμα	25
2.2.1.	Η επίδραση του μικροκλίματος στο κτήριο	25
3.	ΕΣΩΚΛΙΜΑ	27
3.1.	ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ	27
3.1.1.	Παράγοντες θερμικής άνεσης	28
3.1.1.1.	Περιβαλλοντικοί παράγοντες θερμικής άνεσης.....	29
3.1.1.2.	Προσωπικοί παράγοντες θερμικής άνεσης.....	31
3.1.1.3.	Τοπική θερμική δυσφορία	31
3.1.2.	Μέθοδοι αξιολόγησης της θερμικής άνεσης.....	32
3.1.2.1.	Θερμικοί δείκτες	32
3.1.2.2.	Διαγράμματα θερμικής άνεσης.....	33
3.1.2.3.	Οι δείκτες PMV – PPD	34

4.	ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΤΗΡΙΩΝ	37
4.1.	ΤΑ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΝΟΤΙΟΥ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ	37
4.2.	Η ΣΥΛΛΟΓΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ..	39
4.3.	Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΜΑΖΑΣ.....	40
4.4.	Η ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΤΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ ΣΤΟ ΟΙΚΟΠΕΔΟ ΚΑΙ Η ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ	40
4.5.	ΤΟ ΚΕΛΥΦΟΣ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ	42
5.	ΗΛΙΑΚΑ ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ	43
5.1.	ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΗΛΙΑΚΩΝ ΠΑΘΗΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ	43
5.2.	ΑΜΕΣΗ ΗΛΙΑΚΗ ΠΡΟΣΟΔΟΣ: ΜΕΓΑΛΑ ΝΟΤΙΑ ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ-ΠΑΘΗΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ «ΑΜΕΣΟΥ ΚΕΡΔΟΥΣ»	44
5.3.	ΕΜΜΕΣΗ ΗΛΙΑΚΗ ΠΡΟΣΟΔΟΣ: ΤΟΙΧΟΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ Ή ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗΣ.....	47
5.4.	ΕΜΜΕΣΗ ΗΛΙΑΚΗ ΠΡΟΣΟΔΟΣ: ΠΡΟΣΑΡΤΗΜΕΝΟΣ ΗΛΙΑΚΟΣ ΧΩΡΟΣ Ή ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ	50
6.	ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΡΟΣΙΣΜΟΥ	54
6.1.	Η ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑΤΟΣ	54
6.2.	Ο ΑΥΤΟΣΚΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΚΤΗΡΙΑΚΟΥ ΚΕΛΥΦΟΥΣ	55
6.3.	ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΕΞΩΤΕΡΙΚΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ	56
6.4.	Η ΣΚΙΑΣΗ ΤΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ.....	57
6.5.	ΗΛΙΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΚΤΗΡΙΟΥ	60
6.6.	Η ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΔΡΑΝΕΙΑ της ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ Ο ΝΥΧΤΕΡΙΝΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΣ.....	61
6.7.	Ο ΦΥΣΙΚΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΣ	62
7.	ΦΥΤΕΜΕΝΑ ΔΩΜΑΤΑ	66
7.1.	ΤΥΠΟΙ ΦΥΤΕΜΕΝΩΝ ΔΩΜΑΤΩΝ - ΣΤΡΩΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	66
7.2.	Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ της ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ	68
7.3.	ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΣΤΗΝ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΚΑΙ ΣΤΟ ΔΡΟΣΙΣΜΟ	71
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	73

1. ΤΟ ΚΛΙΜΑ

1.1. ΓΕΝΙΚΑ

Το κλίμα αναφέρεται στη μέση καιρική κατάσταση, δηλαδή στη σύνθεση του καιρού για μια μεγάλη χρονική περίοδο, συνήθως 30 χρόνων, που είναι απαραίτητη για την απαλοιφή των σφαλμάτων και την εδραίωση στατιστικών παραμέτρων. Το κλίμα περιλαμβάνει το σύνολο των ατμοσφαιρικών συνθηκών, μεταξύ αυτών τη θερμότητα, την υγρασία, τις κατακρημνίσεις και την κίνηση του αέρα και προσδιορίζεται από τις μέσες τιμές τους. Το κλίμα, δηλαδή, είναι ανεξάρτητο από οποιαδήποτε στιγμιαία κατάσταση.

Το κλίμα μπορεί να αναφέρεται σε περιοχές διαφορετικής έκτασης, οπότε μιλάμε για μακρόκλιμα, μεσόκλιμα και μικρόκλιμα.

Πίνακας 1.1.1. Κατηγορίες κλίματος.

Κλίμακα	Μήκος	Εμβαδό	Χωρική κλίμακα
Μικρόκλιμα	1 m - 1km	1 m ² - 1km ²	Τοπική
Μεσόκλιμα	1 km – 100 km	1 km ² – 100 km ²	Περιφερειακή
Μακρόκλιμα	100 km – 10.000 km	100 km ² – 10.000 km ²	Ηπειρωτική

Το **μακρόκλιμα** είναι η γενικευμένη κλιματική εικόνα μιας μεγάλης γεωγραφικής περιοχής με διάφορα γεωφυσικά χαρακτηριστικά. Τα μακροκλιματικά στοιχεία, τα οποία παρέχονται από τυποποιημένους μετεωρολογικούς σταθμούς, περιγράφουν το γενικό χαρακτήρα μιας περιοχής με όρους όπως η ηλιοφάνεια, τα νέφη, η θερμοκρασία, ο άνεμος, η υγρασία και οι κατακρημνίσεις. Τα στοιχεία του μακροκλίματος βοηθούν στον προσδιορισμό των γενικών χαρακτηριστικών μιας περιοχής και στην πρόγνωση του καιρού.

Το σύστημα κατάταξης που χρησιμοποιείται ευρύτατα και στηρίζεται στο μέσο όρο των θερμοκρασιών, των κατακρημνίσεων και της βλάστησης που υπάρχει σε μια περιοχή είναι το σύστημα του Köppen. Διακρίνονται πέντε βασικοί κλιματικοί τύποι:

- Υγρό τροπικό κλίμα: Χαρακτηρίζεται από υψηλές θερμοκρασίες και βροχοπτώσεις καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου (τύπος Α).
- Ξηρό κλίμα: Χαρακτηρίζεται από λίγες βροχοπτώσεις και μεγάλη ημερήσια θερμοκρασιακή διακύμανση (τύπος Β). Στο ξηρό κλίμα ανήκουν οι υποκατηγορίες: S - στέπα και W - έρημος.
- Υγρό μέσου γεωγραφικού πλάτους κλίμα: Χαρακτηρίζεται από ζεστά, ξηρά καλοκαίρια και κρύους και υγρούς χειμώνες (τύπος C).
- Εύκρατο κλίμα: Η συνολική ετήσια κατακρήμνιση δεν είναι πολύ υψηλή, ενώ οι εποχιακές θερμοκρασίες διαφέρουν σημαντικά (τύπος D).
- Κρύο κλίμα: Μόνο για 4 μήνες το χρόνο η θερμοκρασία είναι υψηλότερη του 0°C και το χιόνι είναι σχεδόν μόνιμο (τύπος E).

Η Ελλάδα βρίσκεται στη νότια ζώνη της ευρωπαϊκής ηπείρου και το κλίμα της χαρακτηρίζεται ως μεσογειακό. Το μεσογειακό κλίμα ανήκει στην κατηγορία C του συστήματος κατάταξης του Köppen. Τέτοια κλίματα εμφανίζουν συνήθως οι ακτές ηπειρωτικών εδαφών, μεταξύ γεωγραφικών πλατών περίπου 30° και 45° βόρεια και νότια του ισημερινού.

Σε περιοχές με μεσογειακό κλίμα οι βροχοπτώσεις κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού είναι σπάνιες, με εξαίρεση κάποιες καταιγίδες, ενώ το χειμώνα πολικά αέρια ρεύματα και περιοδικές καταιγίδες φτάνουν μέχρι τα χαμηλότερα γεωγραφικά πλάτη των μεσογειακών ζωνών και προκαλούν βροχή, με χιόνι στα μεγαλύτερα υψόμετρα.

Ως αποτέλεσμα των παραπάνω, οι περιοχές με μεσογειακό κλίμα δέχονται τη συνολική βροχόπτωση του έτους μόνο το χειμώνα και παραμένουν επί 2 έως 5 μήνες χωρίς κάποια σημαντική κατακρήμνιση.

Όλες οι περιοχές με μεσογειακό κλίμα εμφανίζουν σχετικά ήπιους χειμώνες, αλλά οι καλοκαιρινές θερμοκρασίες διαφέρουν ανά περιοχή, ανάλογα με την απόσταση από τη θάλασσα, το υψόμετρο και το γεωγραφικό πλάτος. Επίσης περιοχές που βρίσκονται σε μεγαλύτερο γεωγραφικό πλάτος, όπως το βόρειο τμήμα της Ελλάδας, και είναι αποκομμένες από τους ήπιους θαλάσσιους ανέμους μπορεί να έχουν πιο ψυχρό χειμώνα και διακριτές εποχές.

Το ελληνικό κλίμα χαρακτηρίζεται από μεγάλη ποικιλομορφία, λόγω της γεωγραφικής θέσης της χώρας, του έντονου ανάγλυφου και της κατανομής μεταξύ του ηπειρωτικού τμήματος της χώρας και της θάλασσας. Το καλοκαίρι, στις ξηρές ζεστές ημέρες παρέχουν δροσισμό εποχιακοί άνεμοι που ονομάζονται «μελτέμια», ενώ οι ορεινές περιοχές είναι πιο δροσερές. Οι χειμώνες είναι ήπιοι στα πεδινά με λίγη παγωνιά και χιόνι, αλλά τα βουνά είναι συνήθως καλυμμένα με χιόνι. Επίσης είναι συχνό φαινόμενο να εμφανίζονται διαφορετικές κλιματικές συνθήκες ταυτοχρόνως την ίδια εποχή σε διάφορες περιοχές, όπως για παράδειγμα ήπια ζέστη κοντά στη θάλασσα και δροσιά στις ορεινές περιοχές.

Από κλιματολογικής πλευράς το έτος μπορεί να χωριστεί κυρίως σε δύο εποχές:

- Στην ψυχρή και βροχερή χειμερινή περίοδο που διαρκεί από τα μέσα του Οκτωβρίου μέχρι το τέλος Μαρτίου.
- Στη θερμή και άνομβρη εποχή που διαρκεί από τον Απρίλιο μέχρι τον Οκτώβριο.

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, οπότε η μέση μέγιστη θερμοκρασία κυμαίνεται από 29°C μέχρι 35°C. Κατά τη θερμή εποχή οι υψηλές θερμοκρασίες μετριάζονται από τη δροσερή θάλασσα αύρα στις παράκτιες περιοχές της χώρας και από τους βόρειους ανέμους που φυσούν κυρίως στο Αιγαίο.

Μεσόκλιμα: Είναι το κλίμα μικρών εκτάσεων της επιφάνειας της γης με ιδιαίτερα ευδιάκριτα στοιχεία. Το κλίμα μιας τέτοιας έκτασης δεν μπορεί να θεωρηθεί αντιπροσωπευτικό του κλίματος της ευρύτερης περιοχής, στην οποία η έκταση ανήκει.

Τα γεωφυσικά χαρακτηριστικά ενός τόπου, η βλάστηση, καθώς και οι ανθρωπογενείς επεμβάσεις καθορίζουν το μεσόκλιμα.

Τα στοιχεία του μεσοκλίματος χρησιμοποιούνται για τη χωροθέτηση οικισμών και για το σχεδιασμό των πόλεων και των κτηρίων.

Μικρόκλιμα: Αναφέρεται στο κλίμα του αερίου στρώματος ανάμεσα στην επιφάνεια του εδάφους και του ύψους εκείνου, επάνω από το οποίο ο χαρακτήρας της υποκείμενης επιφάνειας δεν μπορεί να επηρεάσει το κλίμα της περιοχής. Αυτό το ύψος δεν είναι καθορισμένο και εξαρτάται από το ύψος των επιφανειακών δομών και ανωμαλιών. Δηλαδή μικρόκλιμα είναι το κλίμα ενός μικρού, συγκεκριμένου τόπου μέσα σε μια περιοχή.

Ανάλογα με το ύψος της υποκείμενης επιφάνειας, το μικρόκλιμα υποδιαιρείται σε αστικό μικρόκλιμα, μικρόκλιμα χλοερής επιφάνειας, κ.ο.κ., κρυπτόκλιμα (οικιών, σπηλαίων και γενικά περιορισμένων χώρων), φυτόκλιμα (μικρόκλιμα στην επιφάνεια των φυτών, του χώρου που καταλαμβάνουν οι φυτοκοινωνίες, του χώρου ανάμεσα στα φυτά) κ.τ.λ.

Τα στοιχεία του μικροκλίματος χρησιμοποιούνται στο σχεδιασμό των υπαίθριων χώρων, των κτηρίων και του περιβάλλοντος χώρου τους. Παρέχουν επίσης πληροφορίες για τη δυνατότητα επέμβασης για την τροποποίηση ή μεταβολή του μικροκλίματος

Τα γεωγραφικά όρια μεταξύ του μεσοκλίματος και μικροκλίματος δεν είναι σαφή. Γενικά, τα στοιχεία που προέρχονται από τους τοπικούς μετεωρολογικούς σταθμούς θεωρείται ότι καλύπτουν το κλίμα μιας ευρύτερης περιοχής, δηλαδή το μεσόκλιμα. Αυτά τα δεδομένα χρησιμοποιούνται στους ενεργειακούς υπολογισμούς. Όμως ο βιοκλιματικός σχεδιασμός των κτηρίων και των ανοικτών χώρων είναι σκόπιμο να βασιστεί σε δεδομένα του κλίματος της εγγύτερης προς την τοποθεσία εφαρμογής περιοχή, δηλαδή είναι σκόπιμο να συγκεντρωθούν στοιχεία για το μικρόκλιμα της περιοχής. Αυτά τα στοιχεία θα προέλθουν από επί τόπου μετρήσεις, από παρατηρήσεις των γεωφυσικών και τεχνητών στοιχείων της περιοχής και από την εμπειρία των χρηστών.

Στοιχεία του κλίματος αποτελούν:

- Η ηλιακή ακτινοβολία, με παραμέτρους την ηλιοφάνεια και την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας.
- Η θερμοκρασία του αέρα.
- Η θερμοκρασία εδάφους (επιφανειακή και βάθους).
- Η θερμοκρασία των υδάτων.
- Ο αέρας, με παραμέτρους την ένταση και τη διεύθυνση.
- Η ατμοσφαιρική πίεση.
- Η υγρασία, με παραμέτρους τη σχετική υγρασία του αέρα και τη βροχόπτωση.
- Τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα: βροχή, χιόνι, χαλάζι.

Καταγραφικά όργανα συγκεντρώνουν τα κλιματικά στοιχεία για τον προσδιορισμό του μακροκλίματος, του μεσοκλίματος και του μικροκλίματος. Η καταγραφή των κλιματικών στοιχείων γίνεται με ειδικό τρόπο:

- σε χάρτες,
- σε πίνακες ή γραφήματα.

Σε γενικές γραμμές το κλίμα επηρεάζεται από τη μορφολογία του εδάφους και του δομημένου περιβάλλοντος. Επομένως, διακρίνεται σε κλίμα υπαίθρου και αστικό κλίμα. Τα ιδιαίτερα κλιματικά και ενεργειακά χαρακτηριστικά των περιοχών, ανάλογα με τη γεωφυσική και οικιστική τους ανάπτυξη, αναφέρονται στις παρακάτω ενότητες.

1.1.1. Παραλιακές περιοχές

- Την ημέρα του καλοκαιριού δημιουργείται κίνηση αέρα από τη στεριά προς τη θάλασσα.
- Αντίθετα, το απόγευμα του καλοκαιριού αναπτύσσεται θαλάσσια αύρα, δηλαδή κίνηση του αέρα από τη θάλασσα προς τη στεριά.

1.1.2. Επίπεδη ανοικτή ύπαιθρος

- Οι ανώμαλες επιφάνειες (δέντρα, θάμνοι, φράκτες, οικισμοί) επιβραδύνουν τον άνεμο κοντά στο έδαφος.
- Οι συνθήκες της ηλιακής ακτινοβολίας πλησιάζουν τα μακροκλιματικά δεδομένα.

1.1.3. Δάση

- Λειτουργούν ως προπέτασμα για τον ήλιο και τον άνεμο (άνεμοι ασθενείς, σκιά).
- Η θερμοκρασία την ημέρα διατηρείται χαμηλή.
- Η θερμοκρασία το βράδυ παραμένει υψηλή.

1.1.4. Κοιλάδες

- Εμφανίζουν θερμική συμπεριφορά ανάλογα με τη διεύθυνση του ανέμου.
- Η ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας μεταβάλλεται ανάλογα με τον προσανατολισμό της κοιλάδας.
- Η συσσωρευμένη ποσότητα νερού στο κάτω μέρος της κοιλάδας επιδρά στη διακύμανση της ημερήσιας θερμοκρασίας και στο επίπεδο της υγρασίας.
- Δημιουργούνται ανοδικά ρεύματα αέρα στη διάρκεια της ημέρας και καθοδικά ρεύματα στη διάρκεια της νύχτας.

1.1.5. Ορεινές περιοχές

- Η ενεργειακή συμπεριφορά της πλαγιάς επηρεάζεται από τον προσανατολισμό της.
- Παρατηρείται πτώση θερμοκρασίας ανάλογα με το υψόμετρο: περίπου 0.7°C ανά 100 m ύψους.
- Χιόνι και βροχή εμφανίζονται συχνά.

1.1.6. Αστικές περιοχές

Η αστικοποίηση και οι δραστηριότητες της πόλης επιφέρουν σημαντικές διαφοροποιήσεις στο κλίμα, με σημαντικότερες την αυξημένη θερμοκρασία και ρύπανση, καθώς και την απουσία αερισμού.

1.2. ΑΣΤΙΚΟ ΚΛΙΜΑ

Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν το αστικό κλίμα είναι :

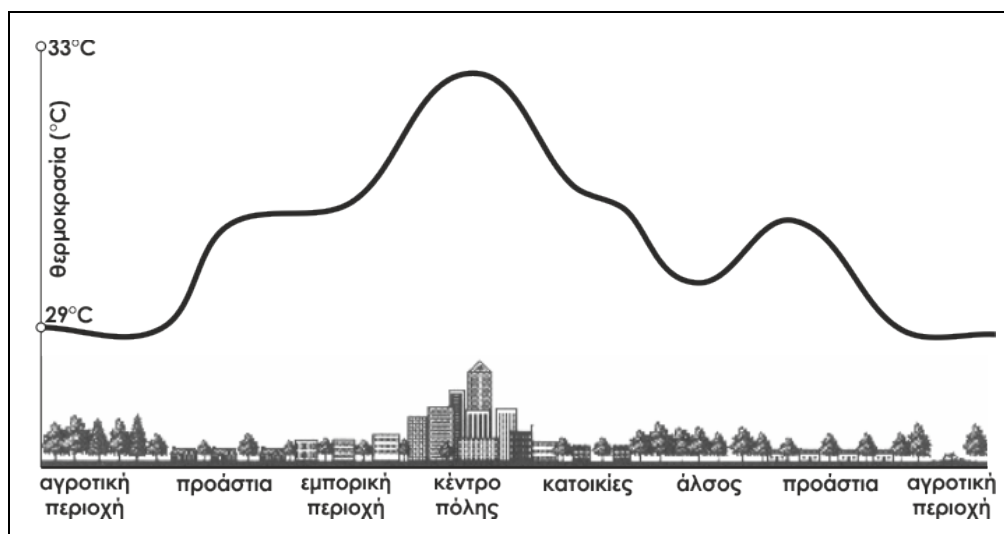
- Η δομή και η γεωμετρία των υφιστάμενων κατασκευών (π.χ. ύπαρξη συμπαγών κτισμάτων, αναλογία ύψους προς πλάτος δρόμων, κ.τ.λ.).
- Οι θερμικές και οπτικές ιδιότητες των οικοδομικών υλικών και των επιστρώσεων (θερμοχωρητικότητα, ανάκλαση, απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας).
- Η έλλειψη υδάτινου στοιχείου για εξάτμιση.
- Η βροχόπτωση που είναι μεγαλύτερη. Όμως το νερό απάγεται πιο γρήγορα με τις σκληρές επιφάνειες και το αποχετευτικό σύστημα.
- Η μειωμένη παρουσία πρασίνου (μειωμένη εξατμισοδιαπνοή και εξάτμιση).
- Ο αστικός ιστός που δυσχεραίνει και παρεμποδίζει την ελεύθερη κίνηση του αέρα, με αποτέλεσμα να μην απάγεται η θερμότητα και να μειώνεται ο δροσισμός.
- Η αυξημένη θερμότητα που απορρίπτεται από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες (αυτοκίνητα, βιομηχανία, θέρμανση, κλιματισμό).
- Η ρύπανση της ατμόσφαιρας (από αυτοκίνητα, βιομηχανία, θέρμανση, κλιματισμό), η οποία επηρεάζει το φαινόμενο του θερμοκηπίου, μειώνει τη φωτοδιαπερατότητα και αλλάζει τη σύνθεση της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στο έδαφος (μεγαλύτερη ποσότητα διάχυτης ακτινοβολίας και μικρότερη ποσότητα απευθείας ακτινοβολίας).

Το θερμικό - ενεργειακό αποτέλεσμα μέσα στις πόλεις, που διακρίνεται ως **φαινόμενο θερμικής νήσου ή θερμική νησίδα**, χαρακτηρίζεται από:

- υψηλότερες θερμοκρασίες αέρα με θερμοκρασία κατά 5-8°C μεγαλύτερη από της υπαίθρου (ανάλογα και με το μέγεθος της πόλης),
- ηλιοφάνεια μικρότερη κατά 15% (ή μείωση μεγαλύτερη κατά τη διάρκεια του χειμώνα και των πρωινών και απογευματινών ωρών,
- ετήσια σχετική υγρασία κατά περίπου 6% μικρότερη απ' ό,τι στην ύπαιθρο,
- βροχόπτωση και συννεφιά κατά 10% μεγαλύτερη απ' ό,τι στην ύπαιθρο,
- απουσία ανέμων και μικρότερη ταχύτητα ανέμων,
- ατμοσφαιρική ρύπανση.

Στην ίδια την πόλη επίσης δημιουργούνται κλιματικές διαφοροποιήσεις. Αναπτύσσεται διαφορετική θερμοκρασία σε διάφορες περιοχές ανάλογα με την επιρροή των κτηρίων. Γενικά, το κέντρο της πόλης, στο οποίο ο αστικός ιστός είναι πυκνότερος, είναι θερμότερο από τα προάστια (σχήμα 1.2.1.):

- Οι μέγιστες διαφορές στη θερμοκρασία εμφανίζονται τη νύχτα (με καθαρό ουρανό και άπνοια). Την ημέρα η διαφορά μειώνεται ή και αντιστρέφεται. Σε παραθαλάσσιες πόλεις μπορεί να δημιουργηθεί θερμοκρασιακή αναστροφή μετά το μεσημέρι κατά την καλοκαιρινή περίοδο.
- Η θερμοκρασία που αναπτύσσεται εξαρτάται από το χρώμα και την υφή των επιφανειών του αστικού ιστού .
- Δημιουργείται διαστρωμάτωση της θερμοκρασίας: Κοντά στο έδαφος εμφανίζεται το βράδυ θερμοκρασία μεγαλύτερη κατά 1-2 °C από τα υψηλότερα αέρια στρώματα.



Σχήμα 1.2.1. Η κατανομή της θερμοκρασίας σε μια πόλη.

Επίσης τα κτήρια λειτουργούν ως εμπόδια στον άνεμο. Τα κτήρια κτισμένα εκατέρωθεν του δρόμου δημιουργούν **τα αστικά φαράγγια ή αστικές χαράδρες**.

- Οι κατακόρυφες όψεις των κτηρίων μεταβάλλουν τη διαστρωμάτωση των θερμοκρασιών και τα ανεμολογικά δεδομένα (όπως οι κοιλάδες).
- Τα ψηλά κτήρια και η διοχέτευση του αέρα μέσα από τα στενά φαράγγια των δρόμων προκαλούν πολύπλοκες κινήσεις με δίνες και στροβίλους.
- Η ροή του ανέμου στον αστικό ιστό εξαρτάται από τη διεύθυνση του ανέμου σε σχέση με τον προσανατολισμό του δρόμου και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του δρόμου (ύψος κτηρίων, πλάτος και μήκος δρόμου).

1.3. ΚΛΙΜΑΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ

Οι κυριότεροι κλιματικοί παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη στο σχεδιασμό των ανοικτών και κλειστών χώρων είναι:

- Η ηλιακή ακτινοβολία (ένταση ακτινοβολίας και διάρκεια ηλιασμού).
- Η θερμοκρασία του αέρα.
- Η θερμοκρασία εδάφους.
- Ο άνεμος (ταχύτητα και διεύθυνση).
- Η υγρασία του αέρα (σχετική υγρασία ή πίεση υδρατμών).
- Η βροχή και οι κατακρημνίσεις (ύψος βροχής).

Για την αξιοποίηση των κλιματικών παραγόντων απαιτείται:

- Ανάλυση του ετήσιου κλιματικού κύκλου.
- Ποσοτική έκφραση των κλιματικών παραγόντων με μέσες, μέγιστες και ελάχιστες τιμές.
- Προσδιορισμός των απαραίτητων για την περιοχή κλιματικών παραγόντων και εύρος τιμών: ωριαίων, μέσων ημερήσιων, μέσων μηνιαίων κ.ο.κ.

Επίσης, για την εκτίμηση της ενεργειακής απόδοσης κτηρίου, όλες οι μεθοδολογίες υπολογισμού απαιτούν τη χρήση κλιματικών δεδομένων για την κάθε κλιματική ζώνη ή/και περιοχή που βρίσκεται το κτήριο. Ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν σε μια περιοχή (θερμοκρασία, υγρασία, ηλιακή ακτινοβολία, ταχύτητα αέρα, κ.ά.), διαμορφώνεται και η τελική απαιτούμενη ενέργεια για θέρμανση, ψύξη και κλιματισμό του κτηρίου. Τα κλιματικά δεδομένα χρησιμοποιούνται στις διάφορες μεθοδολογίες υπολογισμού ενεργειακής απόδοσης κτηρίων, είτε σε ωριαία (μοντέλα προσομοίωσης) είτε σε μηνιαία βάση (μηνιαίες μεθοδολογίες).

Οι κλιματικές συνθήκες σχεδιασμού για τη διαστασιολόγηση των συστημάτων θέρμανσης, ψύξης και κλιματισμού στις κτιριακές εγκαταστάσεις και τα κλιματικά δεδομένα ελληνικών περιοχών σε επίπεδο μέσων μηνιαίων τιμών για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων, αναφέρονται στην τεχνική οδηγία: Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3/2010 «Κλιματικά δεδομένα ελληνικών περιοχών».

1.3.1. Ηλιακή ακτινοβολία

Ηλιακή ακτινοβολία ή ηλιακή ενέργεια είναι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που παίρνει η γη από τον ήλιο. Είναι δηλαδή η εκπομπή και διάδοση της ενέργειας που γίνεται με ηλεκτρομαγνητικά κύματα.

Η κατανομή της ενέργειας της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, ως συνάρτηση του μήκους κύματος, ονομάζεται **φάσμα** και αναλύεται ως εξής:

- ακτίνες γ και χ ($\lambda < 10 \text{ \AA}$)
- υπεριώδεις (UV) με μήκος κύματος 100 nm - 400 nm
- ορατό τμήμα (Vis) με μήκος κύματος 400 nm - 740 nm
- υπέρυθρο τμήμα (IR) με μήκος κύματος 740 nm - 4000 nm
- μικροκύματα και ραδιοκύματα ($\lambda > 1000 \text{ }\mu\text{m}$)

Η ορατή ακτινοβολία ή φυσικό φως (ακτινοβολία μικρού μήκους) αποτελεί περίπου το 45% της συνολικής ηλιακής ακτινοβολίας και το υπέρυθρο τμήμα (θερμική ακτινοβολία μεγάλου μήκους) το

46%. Τα κύματα του ορατού φάσματος με διαφορετικό μήκος προκαλούν αίσθηση φωτός με διαφορετικό χρωματισμό. Το φάσμα διαιρείται σε 7 περιοχές:

- ιώδους (380 nm - 450 nm ή περίπου 4100 Å)
- κυανού (450 nm - 480 nm ή περίπου 4700 Å)
- πράσινου (510 nm - 575 nm ή περίπου 5200 Å)
- κίτρινου (575 nm - 585 nm ή περίπου 5800 Å)
- πορτοκαλί (585 nm - 620 nm ή περίπου 6000 Å)
- κόκκινου (620 nm - 800 nm ή περίπου 6500 Å)

Η ποσότητα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που εκπέμπεται από την επιφάνεια του ήλιου είναι $3,91 \cdot 10^{26}$ W. Μόνον τα $1,8 \cdot 10^{16}$ W (λιγότερο από τα 2 δισεκατομμυριοστά της συνολικής εκπεμπόμενης ηλιακής ενέργειας) φτάνει στα ανώτερα όρια της γήινης ατμόσφαιρας

Η ηλιακή ακτινοβολία (S) που φτάνει στα όρια της γήινης ατμόσφαιρας:

- διαπερνά την ατμόσφαιρα,
- διαχέεται μετά από σκέδαση σε αιωρούμενα σωματίδια και επαναακτινοβολείται στο διάστημα ή διαπερνά την ατμόσφαιρα,
- απορροφάται (λόγω της ύπαρξης οξυγόνου, όζοντος, διοξειδίου του άνθρακα, υδρατμών, ατμοσφαιρικού κονιορτού) και επανεκπέμπεται ως ακτινοβολία μεγάλου μήκους.

Γενικώς, περίπου το 35% της ακτινοβολίας που φτάνει στα όρια της ατμόσφαιρας ανακλάται πίσω στο διάστημα και το υπόλοιπο φτάνει στη γη. Η συνολική ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στη γη αποτελείται από δύο επί μέρους συνιστώσες:

- Από την **άμεση ακτινοβολία** (δέσμη παράλληλων ακτίνων προερχόμενη απευθείας από τον ήλιο). Η άμεση ακτινοβολία έχει διεύθυνση που καθορίζεται από τη θέση του ήλιου στον ουράνιο θόλο (ηλιακή γεωμετρία).
- Από τη **διάχυτη ακτινοβολία** (μετά από σκέδαση σε αιωρούμενα σωματίδια της ατμόσφαιρας). Η διάχυτη ακτινοβολία δεν έχει συγκεκριμένη διεύθυνση και το ποσοστό της εξαρτάται από το ύψος ήλιου, το υψόμετρο του τόπου, την περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε αιωρούμενα σωματίδια, το μέγεθος και το είδος των νεφών και την ανακλαστικότητα του εδάφους (λευκαύγεια - albedo).

Η **ολική ηλιακή ακτινοβολία** είναι το άθροισμα της άμεσης και διάχυτης ακτινοβολίας

Από την ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της γης:

- ένα μέρος απορροφάται και εκπέμπεται ως θερμική ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος και είναι η **γήινη ακτινοβολία** (L.W. radiation) και
- ένα μέρος ανακλάται ως ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος το μέγεθος του οποίου εξαρτάται από το είδος της επιφάνειας (συντελεστής ανάκλασης ή albedo) και είναι η **ανακλώμενη ακτινοβολία**.

1.3.1.1. Ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας

Είναι η ενέργεια που διέρχεται κατά μια διεύθυνση στη μονάδα του χρόνου και της στερεάς γωνίας από τη μονάδα της επιφάνειας που τοποθετείται κάθετα σ' αυτή τη διεύθυνση. Οι μονάδες μέτρησης είναι: $\text{cal/cm}^2/\text{min}$ ή $\text{kcal/cm}^2/\text{h}$ ή W/m^2 .

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας μετρείται με τα πυρανόμετρα και μεταβάλλεται ανάλογα με τις εποχές και τη γεωμετρία της επιφάνειας που προσπίπτει. Εξαρτάται από τους εξής παράγοντες:

- Από **αστρονομικούς** παράγοντες:
 - τη μεταβολή της απόστασης γης - ήλιου (η μείωση ανάλογη με το μήκος της διαδρομής),

- το ύψος του ήλιου επάνω από τον ορίζοντα. Όσο πιο μικρή είναι η γωνία πρόσπτωσης στο οριζόντιο επίπεδο μιας περιοχής, τόσο μεγαλύτερη είναι και η διαδρομή της ακτινοβολίας μέσα στην ατμόσφαιρα και η μείωση της έντασής της.
- Από **γεωγραφικούς** παράγοντες:
 - το γεωγραφικό πλάτος (διότι επηρεάζει τον υπολογισμό του μέγιστου ύψους του ήλιου, της ηλιοφάνειας και των ημερήσιων ποσών ηλιακής ακτινοβολίας),
 - το ύψος του σημείου μέτρησης από την επιφάνεια της θάλασσας,
 - την τοπογραφία του ορίζοντα στο σημείο παρατήρησης,
 - το είδος και την υφή της επιφάνειας που δέχεται την ακτινοβολία,
 - την κατάσταση της ατμόσφαιρας (νεφοκάλυψη, ρύπανση).
- Από **γεωμετρικούς** παράγοντες:
 - τον προσανατολισμό της επιφάνειας,
 - την κλίση της επιφάνειας.

Η ένταση της άμεσης ακτινοβολίας μεγιστοποιείται σε καθαρή ατμόσφαιρα.

- Η ένταση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας (W/m^2) που προσπίπτει σε κάθετο προς τις ηλιακές ακτίνες επίπεδο έχει τη μεγαλύτερη τιμή.
- Η ένταση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας (W/m^2) που προσπίπτει επάνω σε μια οριζόντια επιφάνεια εξαρτάται από τη γωνία πρόσπτωσης και είναι ποσοστό της ακτινοβολίας που προσπίπτει στην κάθετη προς την ακτινοβολία επιφάνεια.

Η ένταση της διάχυτης ακτινοβολίας εξαρτάται από την περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε αιωρούμενα σωματίδια, το ποσό και το είδος των νεφών και την ανακλαστικότητα του εδάφους (λευκαύγεια - albedo).

Στην Ελλάδα παρατηρείται αύξηση των τιμών της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας από βορρά προς νότο με μεγαλύτερες τιμές στη Ρόδο και Κρήτη ($5860 - 6100 \text{ MJ/m}^2/\text{έτος}$). Οι μέσες μηνιαίες τιμές κυμαίνονται από 150 έως $780 \text{ MJ/m}^2/\text{μήνα}$. Οι μηνιαίες τιμές της χειμερινής περιόδου είναι μικρότερες από τις αντίστοιχες της θερινής (το χειμώνα επικρατεί μεγαλύτερη νέφωση και επίσης μικρότερο ύψος ήλιου). Οι μεγαλύτερες μέσες μηνιαίες τιμές παρατηρούνται τον Ιούλιο (τον Ιούλιο επικρατούν οι ετήσιοι άνεμο, με αποτέλεσμα τη νεφοδιάλυση).

1.3.1.2. Ηλιοφάνεια

Θεωρητική ή αστρονομική ηλιοφάνεια (για μια ορισμένη ημερομηνία) είναι η μέγιστη χρονική διάρκεια (από την ανατολή έως τη δύση του ήλιου), κατά την οποία ο ήλιος βρίσκεται επάνω από τον ορίζοντα του τόπου, δηλαδή η μέγιστη χρονική διάρκεια κατά την οποία η άμεση ηλιακή ακτινοβολία φτάνει μέχρι την επιφάνεια του εδάφους.

Μετρούμενη ή πραγματική ηλιοφάνεια (για μια ορισμένη ημερομηνία) είναι η χρονική διάρκεια, κατά την οποία ο ήλιος βρίσκεται επάνω από τον ορίζοντα του τόπου, λαμβάνοντας υπόψη και τα αντικείμενα που ορίζουν τον ορίζοντα του τόπου (π.χ. βουνά) και την παρουσία της νέφωσης.

Η ηλιοφάνεια, ανάλογα με τη χρονική περίοδο που χρησιμοποιείται, διακρίνεται σε:

- ηλιοφάνεια ώρας,
- ηλιοφάνεια ημέρας,
- ηλιοφάνεια μήνα,
- ηλιοφάνεια έτους.

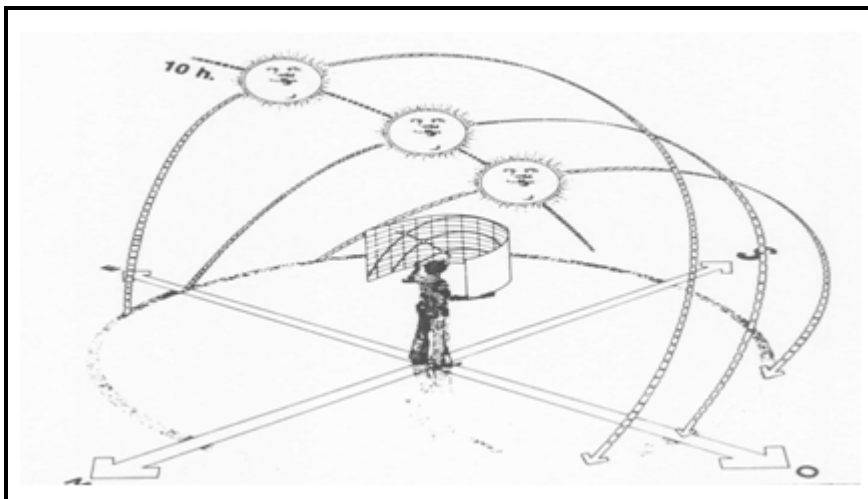
Η ηλιοφάνεια μετρείται με τους ηλιογράφους ή υπολογίζεται έμμεσα με τη βοήθεια μετρήσεων - παρατηρήσεων της νέφωσης και χρησιμοποιείται και για την έμμεση εκτίμηση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας σε ένα τόπο.

Στην Ελλάδα οι μικρότερες τιμές ηλιοφάνειας (περίπου 2200 ώρες ετησίως) σημειώνονται επάνω από τις ΒΔ περιοχές της χώρας. Οι μεγαλύτερες τιμές (περίπου 3000 ώρες ετησίως) σημειώνονται επάνω από την περιοχή των Δωδεκανήσων. Οι μεγαλύτερες μέσες μηνιαίες τιμές ηλιοφάνειας (300-390 ώρες) σημειώνονται στη διάρκεια των θερινών μηνών. Οι μικρότερες μέσες μηνιαίες τιμές ηλιοφάνειας (μέχρι και 70 ώρες) σημειώνονται στη διάρκεια των χειμερινών μηνών.

1.3.1.3. Ηλιακά διαγράμματα

Κάθε ηλιακό διάγραμμα αντιστοιχεί σε συγκεκριμένο γεωγραφικό πλάτος. Ο παρατηρητής κατά παραδοχή βρίσκεται στο κέντρο του διαγράμματος. Τα διαγράμματα χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της θέσης του ήλιου, τον υπολογισμό της διάρκειας ηλιασμού σε έναν τόπο, για τον έλεγχο του ηλιασμού και της σκίασης υπαίθριων χώρων, τον προσδιορισμό της σκιάς που προκαλούν τα κτήρια, τον έλεγχο του ηλιασμού των κατακόρυφων επιφανειών (χωρίς εμπόδια και με εμπόδια), τον υπολογισμό του ηλιασμού και της σκίασης στο εσωτερικό των κτηρίων, τον υπολογισμό του φυσικού φωτισμού κ.τ.λ.

- **Διαγράμματα οριζόντιας προβολής:** Περιλαμβάνουν την ισοαποστατική, τη στερεογραφική, και άλλους τρόπους προβολής της κίνησης του ήλιου σε οριζόντιο επίπεδο. Η κίνηση του ήλιου παρουσιάζεται σαν μια πανοραμική (180°) φωτογραφία.
- **Διαγράμματα κυλινδρικής προβολής:** Παρουσιάζουν τον ημισφαιρικό ουράνιο θόλο σαν ένα κυλινδρικό δίσκο, με το κέντρο του να αντιστοιχεί στο ζενίθ, δηλαδή απολύτως κατακόρυφα επάνω από το κεφάλι του παρατηρητή.



Σχήμα 1.3.1 Ηλιακό διάγραμμα

1.3.1.4. Ηλιασμός επιφανειών

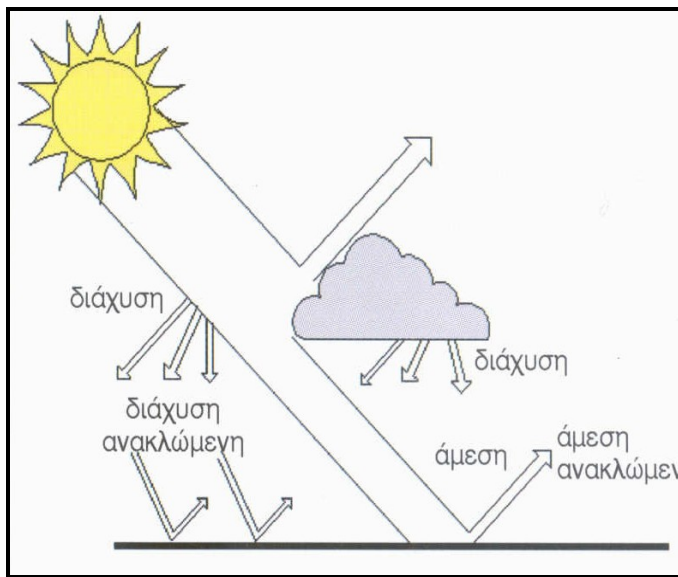
Μια συγκεκριμένη επιφάνεια στη γη δέχεται (σχήμα 1.3.2):

- άμεση ηλιακή ακτινοβολία από τον ήλιο (I_D)
- διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία από τον ουράνιο θόλο (I_d)
- ανακλώμενη ακτινοβολία από το έδαφος και τα γύρω κτήρια (I_R)

Το άθροισμα αυτών είναι η ολική ηλιακή ακτινοβολία (I) η οποία υπολογίζεται από την σχέση:

$$I = I_D + I_d + I_R$$

- Η ακτινοβολία που δέχεται μια επιφάνεια εξαρτάται από το μέγεθος του ουράνιου θόλου που «βλέπει» αυτή η επιφάνεια (π.χ. οριζόντιες επιφάνειες «βλέπουν» μεγαλύτερο ποσοστό ουράνιου θόλου από τις κατακόρυφες).
- Το ποσό που δέχονται οι κατακόρυφες επιφάνειες, εξαρτάται από τον προσανατολισμό τους σε σχέση με τη θέση του ήλιου
- Η ένταση της άμεσης ακτινοβολίας μεγιστοποιείται σε καθαρή ατμόσφαιρα.
- Η ένταση της διάχυτης μεγιστοποιείται σε θολή ατμόσφαιρα.
- Η ανακλώμενη ακτινοβολία εξαρτάται από την ολική προσπίπτουσα ακτινοβολία και την ανακλαστικότητα του εδάφους (κατακόρυφες επιφάνειες δέχονται το μεγαλύτερο ποσοστό, ενώ οι οριζόντιες καθόλου).



Σχήμα 1.3.2. Οι συνιστώσες της ηλιακής ακτινοβολίας.

1.3.1.5. Ηλιασμός κατακόρυφων και οριζοντίων επιφανειών

- Για τον ηλιασμό των υπαίθριων αστικών χώρων (οριζόντιες επιφάνειες), το αζιμούθιο του ηλίου έχει πολύ μικρή σημασία, ενώ το ύψος ηλίου προσδιορίζει κυρίως την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας.
- Στις κατακόρυφες επιφάνειες (κτιριακά μέτωπα) οι τιμές αζιμουθίου και ύψους ηλίου παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο (π.χ., χαμηλό ύψος - ικανοποιητικό για ηλιασμό και γωνία πλάγιας πρόσπτωσης λόγω αζιμουθίου, σχεδόν παράλληλη της πρόσοψης)
- Τα πολύ χαμηλά ύψη ηλίου (5° - 7°) δεν δημιουργούν παραδεκτές συνθήκες ηλιασμού (η μεγάλη απόσταση που διανύει η ακτινοβολία στην ατμόσφαιρα αυξάνει την ανάκλαση και τη διάχυση της ακτινοβολίας, καθιστώντας την ανενεργή).

1.3.2. ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ

Η θερμοκρασία του αέρα αποτελεί το βασικότερο κλιματικό στοιχείο και τη σημαντικότερη παράμετρο σε όλες τις κλιματικές κατατάξεις. Η θερμική ενέργεια (θερμότητα) γίνεται αντιληπτή ως:

- **αισθητή θερμότητα:** Το αποτέλεσμα, δηλαδή η αισθητή θερμοκρασία, μπορεί να μετρηθεί απευθείας με τη βοήθεια ενός οργάνου
- **λανθάνουσα θερμότητα**, που παράγεται κατά τη διάρκεια ορισμένων φυσικών διεργασιών, όπως εξάτμιση, συμπύκνωση, κ.τ.λ.

Η ηλιακή ενέργεια ρυθμίζει άμεσα και έμμεσα τη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας (ιδιαίτερα των κατώτερων στρωμάτων της) και της γης. Τα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας θερμαίνονται:

- άμεσα με τη μικρού μήκους ηλιακή ακτινοβολία
- έμμεσα από τη μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία (γήινη ακτινοβολία) η οποία εξαρτάται από την ένταση της προσπίπτουσας στο έδαφος ακτινοβολίας

Η μετάδοση της θερμότητας στην ατμόσφαιρα, δηλαδή η θέρμανση του αέρα γίνεται κυρίως με τρεις μηχανισμούς:

1. Μετάδοση με αγωγιμότητα: Ο αέρας θερμαίνεται με την απευθείας επαφή με το έδαφος.
2. Με μεταφορά: Ο αέρας θερμαίνεται από τη γη, διαστέλλεται και ανέρχεται. Νέος ψυχρός αέρας κατέρχεται για να καταλάβει το «κενό» που δημιουργήθηκε και θερμαίνεται από τη γη
3. Με ακτινοβολία: Η γη δέχεται τη μικρού μήκους κύματος ηλιακή ακτινοβολία. Κατόπιν η γη ακτινοβολεί μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία (θερμική ακτινοβολία) και θερμαίνει τον αέρα.

Οι κυριότεροι παράγοντες που διαμορφώνουν τις θερμοκρασιακές συνθήκες σε ένα τόπο είναι:

- Η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται ο τόπος.
- Το υψόμετρο του τόπου.
- Η δυνατότητα (λόγω ανάγλυφου του εδάφους) και η συχνότητα μεταφοράς θερμότητας με οριζόντιες και κατακόρυφες κινήσεις αέριων μαζών.
- Τα ποσά της θερμότητας που εκλύονται ή προσλαμβάνονται κατά τους μηχανισμούς της συμπύκνωσης ή της εξάτμισης του νερού.
- Τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά της επιφάνειας του εδάφους που συνδέονται και με την ανακλαστικότητα και τη φυτοκάλυψή του.
- Τα θαλάσσια ρεύματα που τυχόν περνούν κοντά από τον τόπο.

Παρατηρείται **ελάττωση της θερμοκρασίας του αέρα στην ατμόσφαιρα, καθ' ύψος**. Έχει υπολογιστεί για την Ελλάδα κατακόρυφη ελάττωση της θερμοκρασίας του αέρα ανά 100m, που κυμαίνεται, ανάλογα με το μήνα από 0,50 έως 0,70°C.

Πίνακας 1.3.1. Η ελάττωση της θερμοκρασίας του αέρα.

Ελάττωση της θερμοκρασίας του αέρα ανά 100m καθ' ύψος στην Ελλάδα ανά μήνα.											
ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
0.70	0.64	0.59	0.50	0.47	0.55	0.67	0.70	0.63	0.64	0.66	0.64

Για κλιματολογικούς και μετεωρολογικούς σκοπούς, η θερμοκρασία του αέρα μετρίεται «υπό σκιά» μέσα σε ειδικό στέγαστρο (μετεωρολογικό κλωβό) και σε ύψος 1,5 - 2,0 m από το έδαφος.

1.3.2.1. Θερμοκρασία του αέρα: Μετρούμενες τιμές

Η θερμοκρασία του αέρα αποδίδεται με τις παρακάτω παραμέτρους:

- **Η απολύτως μέγιστη ($T_{\max}$) και ελάχιστη ($T_{\min}$)** τιμή της θερμοκρασίας του αέρα που σημειώνεται στον εξεταζόμενο τόπο κατά τη διάρκεια της περιόδου που μελετάται (24-ωρο, μήνα, έτος).
- **Η μέση ημερήσια τιμή ($\bar{T}_d$)** της θερμοκρασίας. Εάν οι μετρήσεις στο μετεωρολογικό σταθμό γίνονται κάθε ώρα, τότε η μέση ημερήσια είναι ο μέσος όρος των 24 τιμών. Εάν καταγράφονται τιμές θερμοκρασίας για τις ώρες της ημέρας, 8:00, 14:00 και 20:00, τότε για τον υπολογισμό της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας χρησιμοποιείται ένας από τους παρακάτω εμπειρικούς τύπους:

$$\bar{T}_d = \frac{1}{2} (T_{\max} + T_{\min})$$

$$\bar{T} = \frac{1}{3} (T_8 + T_{14} + T_{20})$$

$$T = \frac{1}{4} (T_8 + T_{14} + 2T_{20})$$

Ο τελευταίος τύπος εφαρμόζεται από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (Ε.Μ.Υ.) για τον υπολογισμό της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας σε ολόκληρο το δίκτυο των μετεωρολογικών σταθμών της.

- **Η μέση μηνιαία θερμοκρασία ($\bar{T}_{mo}$)** είναι ο μέσος όρος των μέσων ημερήσιων τιμών κάθε μήνα.
- **Η μέση μηνιαία κανονική θερμοκρασία ($\bar{T}_{mo(normal)}$)** είναι ο μέσος όρος των μέσων μηνιαίων τιμών θερμοκρασίας, λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές από πλήθος ετών (συνήθως 30 ετών).
- **Η μέση ετήσια θερμοκρασία ($\bar{T}_E$)** υπολογίζεται από τις μέσες τιμές θερμοκρασίας των 12 μηνών.
- **Το ημερήσιο θερμοκρασιακό εύρος (ΗΘΕ)** ορίζεται ως η διαφορά ανάμεσα στη μέγιστη και την ελάχιστη τιμή της θερμοκρασίας στο 24ωρο.

$$H\Theta E = T_{\max} - T_{\min}$$

- **Το ετήσιο θερμοκρασιακό εύρος (ΕΘΕ)** ορίζεται ως η διαφορά της μέσης θερμοκρασίας του αέρα του ψυχρότερου μήνα από τη μέση θερμοκρασία του θερμότερου μήνα, που σημειώνονται μέσα στο έτος.

$$H\Theta E = T_{mo}(\text{θερμότερου}) - T_{mo}(\text{ψυχρότερου})$$

- **Ημέρα μερικού παγετού και ημέρα ολικού παγετού.** Ορίζεται ως ημέρα μερικού παγετού η ημέρα εκείνη, για την οποία η τιμή της ελάχιστης θερμοκρασίας του αέρα είναι $< 0^{\circ}\text{C}$. Αν συμβεί σε μια ημέρα η τιμή της μέγιστης θερμοκρασίας του αέρα να είναι $< 0^{\circ}\text{C}$, τότε η ημέρα αυτή χαρακτηρίζεται ως ημέρα ολικού παγετού.
- **Περίοδος ελεύθερη παγετού** είναι το πλήθος των διαδοχικών ημερών, για τις οποίες η ελάχιστη θερμοκρασία του αέρα βρίσκεται συνεχώς υψηλότερα από τους 0°C .
- **Η ισόθερμη καμπύλη:** Είναι μια γραμμή επάνω σε ένα χάρτη που ενώνει τόπους (σημεία) ίσης θερμοκρασίας. Η μορφή της κατανομής των καμπυλών, επιτρέπει την ευκολότερη μελέτη διαφόρων κλιματικών φαινομένων. Η μεταβολή της θερμοκρασίας κατά μια διεύθυνση κάθετη προς τις ισόθερμες λέγεται **οριζόντια θερμοβαθμίδα**.

Για τους ενεργειακούς υπολογισμούς θέρμανσης και ψύξης χρησιμοποιείται η **βαθμοημέρα θέρμανσης** και η **βαθμοημέρα ψύξης** αντίστοιχα.

Οι βαθμοημέρες μιας ημέρας είναι ένα λογιστικό μέγεθος, που ορίζεται ως το άθροισμα της θετικής διαφοράς της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος, αφαιρούμενης από μια προκαθορισμένη

θερμοκρασία (συνήθως λαμβάνεται η τιμή 18°C ή 20°C για την περίοδο θέρμανσης ή η τιμή των 26°C για την περίοδο ψύξης), υπολογισμένη για τις 24 ώρες της ημέρας.

Το άθροισμα των ημερησίων βαθμοημερών για την περίοδο θέρμανσης είναι χαρακτηριστικό μέγεθος που προσδιορίζει και τη δριμύτητα του κλίματος. Στην Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3/2010 δίνονται αναλυτικά οι βαθμοημέρες θέρμανσης και ψύξης για διάφορες περιοχές της Ελλάδας. Ενδεικτικά, στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται οι βαθμοημέρες θέρμανσης και οι μέσες θερμοκρασίες κατά τη θερινή περίοδο και ετησίως, για ορισμένες ελληνικές περιοχές.

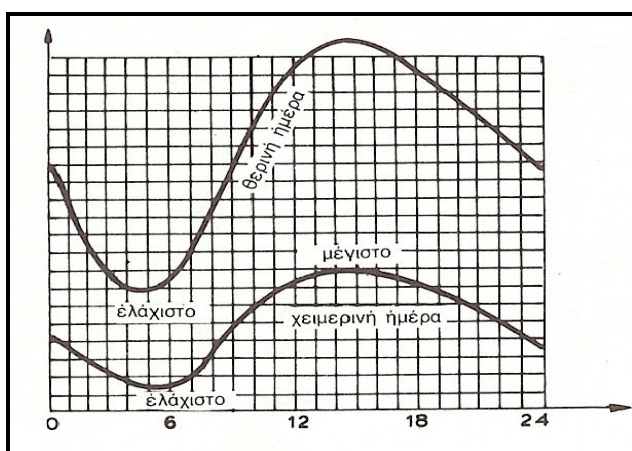
Πίνακας 1.3.2. Βαθμοημέρες θέρμανσης ελληνικών πόλεων (θερμοκρασία βάσης 18°C)

Περιοχή	Βαθμοημέρες	Μέση θερμοκρασία αέρα για την χειμερινή περίοδο (°C)	Μέση ετήσια θερμοκρασία αέρα (°C)
Αθήνα	947	12,8	18,6
Θεσσαλονίκη	1676	10,1	15,8
Ιωάννινα	1937	10,0	14,3
Καβάλα	1791	9,5	15,1
Λάρισα	1716	9,9	15,8
Μυτιλήνη	1079	12,0	17,6
Σπάρτη	1080	12,0	18,2
Χανιά	781	13,7	18,5

1.3.2.2. Μεταβολή της θερμοκρασίας

Ημερήσια πορεία της θερμοκρασίας του αέρα. Στη διάρκεια μιας κανονικής ημέρας χωρίς σύννεφα και με νηνεμία η θερμοκρασία του αέρα παρουσιάζει κατά κανόνα απλή διακύμανση, γνωστή ως «**ημερήσια πορεία της θερμοκρασίας**». Η μέγιστη τιμή της θερμοκρασίας σημειώνεται 1-2 ώρες μετά τη μεσουράνηση του ήλιου και η ελάχιστη τιμή παρατηρείται λίγο πριν από την ανατολή του ήλιου. (σχήμα 1.3.3.).

Σε περίπτωση που η ημέρα δεν είναι κανονική, η καμπύλη της ημερήσιας πορείας της θερμοκρασίας είναι συνήθως ακανόνιστη, με αποτέλεσμα η εμφάνιση της μέγιστης και ελάχιστης τιμής να επηρεάζεται από τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν.



Σχήμα 1.3.3. Ημερήσια πορεία της θερμοκρασίας

1.3.3. Ετήσια πορεία της θερμοκρασίας του αέρα

Η ετήσια πορεία ή ετήσιος κύκλος της θερμοκρασίας του αέρα παρουσιάζει συνήθως απλή διακύμανση. Οι μέγιστες τιμές (στο βόρειο ημισφαίριο) σημειώνονται τον Ιούλιο ή τον Αύγουστο και οι ελάχιστες τον Ιανουάριο ή το Φεβρουάριο. Οι ακραίες τιμές σημειώνονται 1-2 μήνες μετά από τα αντίστοιχα ηλιοστάσια.

1.3.4. Θερμοκρασιακό εύρος

Το **ημερήσιο θερμοκρασιακό εύρος (ΗΘΕ)** είναι σημαντική κλιματική παράμετρος και εξαρτάται από τα εξής στοιχεία:

- Το γεωγραφικό πλάτος και την εποχή: Το ΗΘΕ ελαττώνεται, καθώς αυξάνεται το γεωγραφικό πλάτος. Στα μέσα και μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη το ΗΘΕ είναι μεγαλύτερο κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου και μικρότερο κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου
- Τη γεωγραφική θέση: Το ΗΘΕ είναι μικρότερο επάνω από τη θάλασσα (συνήθως η τιμή του δεν υπερβαίνει τους 2-3°C), απ' ό,τι επάνω από τις ηπειρωτικές περιοχές (επάνω από την ξηρά μπορεί να υπερβεί και τους 20 °C).
- Τη νέφωση: Η τιμή του ΗΘΕ είναι μεγαλύτερη σε μια ανέφελη ημέρα απ' ό,τι στη διάρκεια μιας νεφοσκεπούς ημέρας.
- Τη βλάστηση και τη φύση του εδάφους: Η τιμή του ΗΘΕ είναι μικρότερη σε περιοχές με εκτεταμένη βλάστηση, σε σχέση με τις ερημικές περιοχές. Η τιμή είναι μεγαλύτερη σε περιοχές με ξηρά εδάφη απ' ό,τι με υγρά εδάφη.
- Το υψόμετρο: Η τιμή του ΗΘΕ ελαττώνεται με την αύξηση του υψομέτρου (επειδή ο αέρας κοντά στο έδαφος δέχεται σε μεγαλύτερο βαθμό την επίδραση της γής. Επίσης σε μεγαλύτερο ύψος αυξάνεται η ταχύτητα του ανέμου).

Ο μηχανισμός της αύρας ορέων και κοιλάδων συντελεί στην αύξηση του ΗΘΕ των κοιλάδων και στην ελάττωση του ΗΘΕ των κυρτών επιφανειών.

Το **ετήσιο θερμοκρασιακό εύρος (ΕΘΕ)** είναι μια χρήσιμη κλιματική παράμετρος που συνεισφέρει στο χαρακτηρισμό του κλίματος μιας περιοχής. Η τιμή του ΕΘΕ αυξάνεται με την αύξηση του γεωγραφικού πλάτους. Οι υπόλοιποι ρυθμιστικοί παράγοντες για τη διαμόρφωση της τιμής του είναι ίδιοι με εκείνους που ρυθμίζουν την τιμή του ΗΘΕ, δηλαδή τη γεωγραφική θέση, τη νέφωση, τη βλάστηση, τη φύση του εδάφους και το υψόμετρο, και λειτουργούν ανάλογα.

Από τη διαμόρφωση των τιμών του ΕΘΕ στην ελληνική περιοχή, που κυμαίνονται από 12 έως 23°C, ο τύπος κλίματος στην Ελλάδα, σύμφωνα με τον Corczynski είναι το **θαλάσσιο μεταβατικό**.

1.3.4.1. Κατανομή της θερμοκρασίας στην Ελλάδα

Ο Ιανουάριος και ο Ιούλιος είναι οι αντιπροσωπευτικοί μήνες των δύο περιόδων στην Ελλάδα.

- Ψυχρότερη περιοχή αποτελούν τα γεωγραφικά διαμερίσματα της Δυτικής Μακεδονίας και της Ηπείρου.
- Ψυχρές νησίδες σημειώνονται κατά μήκος του κεντρικού κορμού της Ελλάδας, στα ορεινά της Πελοποννήσου και της Κρήτης.
- Θερμότερες περιοχές αποτελούν η κλειστή θεσσαλική πεδιάδα, η περιοχή της νοτίου Πελοποννήσου, οι ακτές του Σαρωνικού κόλπου, τα νησιά του ΝΑ Αιγαίου και οι νότιες και ανατολικές ακτές της Κρήτης.
- Το καλοκαίρι, οι δύο θάλασσες (Αιγαίο και Ιόνιο πέλαγος) είναι σχετικά ψυχρότερες με μια θερμοκρασιακή διαφορά ανάμεσα στην ενδοχώρα και στις ακτές περίπου 2 °C.

1.4. ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΔΑΦΟΥΣ

Διακρίνεται σε:

- θερμοκρασία επιφάνειας εδάφους,
- θερμοκρασία βάθους εδάφους.

Η θερμοκρασία του εδάφους εξαρτάται από:

- την ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στο έδαφος,
- την ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που ανακλάται από το έδαφος,
- παράγοντες που επιδρούν στη θερμοκρασιακή συμπεριφορά του εδάφους, δηλαδή τα φυσικά χαρακτηριστικά του (άργιλο, άμμο, πέτρα κ.τ.λ.), τη θερμοχωρητικότητα του (που εξαρτάται και από την υγρασία και τον περιεχόμενο σε αυτό αέρα).

1.4.1. Θερμοκρασία επιφάνειας εδάφους

Είναι η θερμοκρασία του γυμνού εδάφους. Για ειδικούς σκοπούς αναφέρεται και η θερμοκρασία του χλοερού εδάφους, δηλαδή του εδάφους που καλύπτεται από πυκνό στρώμα χλόης. Η θερμοκρασία εδάφους μετρείται τόσο στην επιφάνεια, όσο και σε ύψος επάνω από την επιφάνεια του εδάφους κατά 10 cm.

Η μελέτη επιφάνειας γίνεται σε ειδικά προκατασκευασμένες επιφάνειες, που είναι οριζόντιες και το υλικό τους έχει, κατά το δυνατόν, ομογενοποιηθεί. Σε μια τέτοια επιφάνεια είναι δυνατόν να καλλιεργηθεί και χλόη, που πρέπει να ελέγχεται τόσο ως προς την πυκνότητα, όσο και ως προς το ύψος (μέγιστο επιτρεπτό ύψος για τις μετρήσεις 10 cm).

Η θερμοκρασία επιφάνειας εδάφους παρουσιάζει περιοδικές ημερήσιες και ετήσιες διακυμάνσεις.

- Στη διάρκεια της ημέρας του καλοκαιριού η επιφάνεια του εδάφους θερμαίνεται περισσότερο απ' ό,τι ο αέρας, ενώ το βράδυ η θερμοκρασία επιφάνειας του εδάφους ελαττώνεται γρηγορότερα και περισσότερο από ό,τι η θερμοκρασία του αέρα.
- Η μέση θερμοκρασία εδάφους είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του αέρα.
- Η ελάχιστη τιμή της θερμοκρασίας επιφάνειας του εδάφους σημειώνεται χρονικά πολύ κοντά με την αντίστοιχη του αέρα.
- Η μέγιστη τιμή της θερμοκρασίας επιφάνειας του εδάφους σημειώνεται κατά μέσο όρο 1-2 ώρες νωρίτερα από ό,τι σημειώνεται η μέγιστη τιμή της θερμοκρασίας του αέρα.

Σε σχέση με την **επικάλυψη του εδάφους** (γυμνό έδαφος - χλοερό έδαφος):

- Το γυμνό έδαφος είναι θερμότερο από το αντίστοιχο χλοερό, κατά μέσο όρο, στη διάρκεια του έτους (μέσες μηνιαίες τιμές και απόλυτα μέγιστες τιμές). Το σύνολο της ακτινοβολίας που φτάνει στο έδαφος απορροφάται από το γυμνό έδαφος, ενώ το χλοερό εμποδίζει ένα τμήμα να απορροφηθεί.
- Οι απόλυτα μέγιστες τιμές της θερμοκρασίας εδάφους διαμορφώνονται σε πολύ υψηλά επίπεδα στη θερινή περίοδο, ιδιαίτερα στο γυμνό έδαφος.
- Οι απόλυτα ελάχιστες τιμές διαμορφώνονται στα ίδια επίπεδα τόσο στο γυμνό, όσο και στο χλοερό έδαφος.
- Οι μέσες θερμοκρασιακές τιμές στη διάρκεια του έτους σε ύψος 10 cm, τόσο σε γυμνό, όσο και σε χλοερό έδαφος, είναι μικρότερες από τις αντίστοιχες της επιφάνειας σε ύψος 0 cm.
- Οι μέσες θερμοκρασιακές τιμές στη διάρκεια του έτους σε ύψος 10 cm, τόσο σε γυμνό όσο και σε χλοερό έδαφος, είναι μικρότερες από τις αντίστοιχες της θερμοκρασίας του αέρα στο ύψος

του μετεωρολογικού κλωβού (σε ύψος 1,5 m περίπου), στη διάρκεια της χειμερινής περιόδου Οκτωβρίου - Απριλίου.

- Στο ύψος των 10 cm είναι δυνατόν να σημειωθεί παγετός κατά δύο μήνες νωρίτερα (Σεπτέμβριο, Οκτώβριο) απ' ό,τι στην περίπτωση με γυμνό έδαφος.

1.4.2. Θερμοκρασία βάθους εδάφους

Η θερμοκρασία βάθους εδάφους παρουσιάζει περιοδικές ημερήσιες και ετήσιες διακυμάνσεις.

Το βάθος στο οποίο μηδενίζονται οι ετήσιες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας του εδάφους λέγεται **αμετάβλητο στρώμα**. Κάτω από αυτό το στρώμα η θερμοκρασία αυξάνεται με το βάθος. Κατά μέσο όρο η γεωθερμική βαθμίδα λαμβάνεται ίση με $1^{\circ}\text{C} / 33 \text{ m}$.

- Οι χρονικές περίοδοι, στις οποίες σημειώνονται οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές της θερμοκρασίας του εδάφους, παρουσιάζουν καθυστέρηση με την αύξηση του βάθους.
- Οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές της θερμοκρασίας του εδάφους ελαττώνονται ή αυξάνονται αντίστοιχα με την αύξηση του βάθους.
- Το μέγεθος του ημερήσιου θερμομετρικού εύρους ελαττώνεται με την αύξηση του βάθους και σε βάθος 70 - 80 cm περίπου, μηδενίζεται. Ακόμη και στο βάθος των 50 cm, διαπιστώνεται πολύ μικρή διαφορά ανάμεσα στη μέγιστη και ελάχιστη τιμή της θερμοκρασίας εδάφους. Στο βάθος του 1,00 m έχει μηδενιστεί.
- Το ετήσιο θερμοκρασιακό εύρος μηδενίζεται σε πολύ μεγαλύτερα βάθη, που εξαρτώνται και από την τιμή του ΕΘΕ στην επιφάνεια του εδάφους. Στον ισημερινό το βάθος είναι μικρότερο των 6 m, ενώ στα μέσα γεωγραφικά πλάτη πλησιάζει τα 15 m.

1.5. ΑΝΕΜΟΣ

Άνεμος είναι η οριζόντια μετακίνηση του ατμοσφαιρικού αέρα. Ο άνεμος αποτελεί ένα πολύ βασικό κλιματικό στοιχείο. Σε ορισμένες περιπτώσεις δημιουργεί και χαρακτηριστικό τύπο κλίματος (π.χ. κλίμα μουσώνων). Οι παράγοντες που δημιουργούν και διαμορφώνουν την κίνηση του ατμοσφαιρικού αέρα είναι:

- η ηλιακή ενέργεια που απορροφάται από την ατμόσφαιρα,
- η ηλιακή ενέργεια που απορροφάται από την επιφάνεια του εδάφους,
- το ανάγλυφο του εδάφους,
- η περιστροφική κίνηση της γης γύρω από τον άξονά της.

Ο άνεμος προσδιορίζεται από δύο στοιχεία: τη **διεύθυνση** και την **ένταση**.

- Ως **διεύθυνση** ορίζεται το σημείο του ορίζοντα από το οποίο πνέει ο άνεμος.
- Η **ένταση** εκφράζεται με την ταχύτητα ή την πίεση που ασκεί ο άνεμος επάνω στην επιφάνεια των διαφόρων σωμάτων.

Η πίεση (P) και η ταχύτητα (V) συνδέονται με τη σχέση:

$$P = k \cdot V^2$$

όπου k είναι μια σταθερά που εξαρτάται από το σχήμα της επιφάνειας και την πυκνότητα του ανέμου). Δηλαδή η πίεση του ανέμου είναι ανάλογη του τετραγώνου της ταχύτητάς του

Συνήθεις μονάδες έκφρασης της ταχύτητας είναι m/sec ή km/h.

Ανάλογα με τις εφαρμογές χρησιμοποιούνται επίσης ως μονάδα μέτρησης ο κόμβος (knot) και τα μίλια ανά ώρα:

$$1 \text{ knot (kt)} = 0,5148 \text{ m/s} = 1,854 \text{ km/h} = 1,152 \text{ mile/h}$$

$$1 \text{ km/h} = 2,237 \text{ mph (μίλια ανά ώρα)}$$

Τα όργανα που προσδιορίζουν τη διεύθυνση του ανέμου είναι οι ανεμοδείκτες

Τα όργανα που προσδιορίζουν την ταχύτητα του ανέμου είναι τα ανεμόμετρα. Ο προσδιορισμός της ταχύτητας γίνεται και εμπειρικά. Οι άνεμοι διακρίνονται στους παρακάτω γενικούς τύπους:

- **Εποχιακούς ανέμους (μουσώνες):** Πνέουν στους ωκεανούς, κοντά στις μεγάλες ηπείρους. Δημιουργούνται από τη διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στην ξηρά και στη θάλασσα (το χειμώνα πνέουν από την ξηρά προς τη θάλασσα, το καλοκαίρι αντίθετα).
- **Ημερήσιους ανέμους: θαλάσσια αύρα (μπάτης, μπουκαδούρα), απόγειος αύρα** (επίσης του ιδίου γενεσιουργού αιτίου είναι οι αύρες των λιμνών, των δασών και γενικά χλοερών και παρακείμενων γυμνών εδαφών), **αύρες κοιλάδων και βουνών**.
 - Η **θαλάσσια αύρα** αρχίζει 2-3 ώρες μετά την ανατολή του ηλίου. Το μέγιστο της έντασής της σημειώνεται την ώρα της μέγιστης θερμοκρασιακής διαφοράς γης - θάλασσας. Στις πρώτες νυκτερινές ώρες παύει να πνέει. Όταν το ανάγλυφο του εδάφους είναι ομαλό και η θερμοκρασιακή διαφορά μεγάλη, η θαλάσσια αύρα μπορεί να φτάσει μέχρι τα 20 - 40 km από την ακτή, με ύψος ρεύματος έως και 500 m.
 - Η **απόγειος αύρα** πνέει το βράδυ μέχρι περίπου την ανατολή του ηλίου. Η ένταση και το ύψος της είναι μικρότερο από αυτό της θαλάσσιας αύρας (οι θερμοκρασιακές διαφορές θάλασσας - ξηράς είναι μεγαλύτερες την ημέρα από τη νύκτα)
 - Οι αύρες κοιλάδων και βουνών πνέουν κατά τη διάρκεια της ημέρας από τα χαμηλότερα στα ψηλότερα σημεία επικλινών εδαφών (αύρα κοιλάδων) και κατά τη νύκτα πνέουν αντίθετα (αύρα βουνών). Η **αύρα κοιλάδων** είναι εντονότερη στις νότιες πλαγιές και μερικές φορές φτάνει τα 5 m/s. Γίνεται αισθητή και σε ύψη 100 - 150 m από το έδαφος. Το καλοκαίρι, όταν ο ανερχόμενος αέρας ψύχεται, συμπυκνώνεται ένα μέρος των υδρατμών του και δημιουργούνται συνήθως βροχές ή και καταιγίδες. Η νυκτερινή αύρα ορέων είναι συνήθως ασθενέστερη κοντά στο έδαφος.
- **Τοπικούς ανέμους:** Είναι μικρής κλίμακας και δημιουργούνται από την τοπογραφική διαμόρφωση ορισμένων περιοχών σε συνάρτηση με ορισμένες καιρικές συνθήκες. Για παράδειγμα τέτοιοι άνεμοι είναι:
 - Λίβας: άνεμος ξηρός και θερμός.
 - Μιστράλ: ισχυρός, ψυχρός και ξηρός άνεμος, με Β-ΒΔ διεύθυνση στις μεσογειακές ακτές.
 - Βαρδάρης: ισχυρός Β-ΒΔ άνεμος ξηρός, που εμφανίζεται περίπου 40 ημέρες το χρόνο για 1-2 ημέρες, με ταχύτητα θύελλας που μπορεί να φτάσει και τα 20 - 25 m/s.
- **Μελτέμια:** πνέουν στην ανατολική πλευρά της Λεκάνης της Μεσογείου από τα μέσα Ιουλίου έως τα μέσα Σεπτεμβρίου με ΒΑ-ΒΔ ή και δυτική διεύθυνση.

1.6. ΥΓΡΑΣΙΑ ΤΟΥ ΑΕΡΑ

Η ατμόσφαιρα (κυρίως το κατώτερο τμήμα) περιέχει μια μεταβλητή ποσότητα νερού σε:

- αέρια κατάσταση (υδρατμούς),
- υγρή κατάσταση (σύννεφα από υδροσταγονίδια, βροχή, ομίχλη, κ.τ.λ.),
- στερεή κατάσταση (χιόνι, χαλάζι, σύννεφα από παγοκρυστάλλους, κ.τ.λ.)

Το νερό που περιέχεται στον ατμοσφαιρικό αέρα προέρχεται από την εξάτμιση του νερού στις διάφορες υδάτινες επιφάνειες. Το νερό με τα ατμοσφαιρικά υδατώδη κατακρημνίσματα (βροχή, χιόνι, χαλάζι, κ.τ.λ.) από την ατμόσφαιρα ξαναγυρίζει στην επιφάνεια της γης.

Η ικανότητα του αέρα να συγκρατεί τους υδρατμούς εξαρτάται από:

- **την ατμοσφαιρική πίεση** (σχετικά ασήμαντη παράμετρος),
- **τη θερμοκρασία**. Αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα επιτρέπει κατακράτηση μεγαλύτερης ποσότητας υδρατμών, ενώ μείωση της θερμοκρασίας την περιορίζει.

Ορίζονται ως:

- **Απόλυτη υγρασία:** η ποσότητα των υδρατμών του αέρα, που περιέχονται στη μονάδα του όγκου του (kg/m^3).
- **Ποσότητα κορεσμού:** η μέγιστη ποσότητα υδρατμών που μπορεί να συγκρατήσει ο αέρας στη μονάδα του όγκου του για μια συγκεκριμένη θερμοκρασία, τη **θερμοκρασία (σημείο) δρόσου ή κορεσμού (θ_s)**. Στην περίπτωση που ο αέρας περιέχει μια τέτοια οριακή ποσότητα υδρατμών είναι «κορεσμένος» σε υδρατμούς. Διαφορετικά, είναι «ακόρεστος» σε υδρατμούς.
- **Σχετική υγρασία:** το πηλίκο της συγκέντρωσης των μορίων υδρατμού (C) που υπάρχουν σε κάποια συγκεκριμένη θερμοκρασία προς τη συγκέντρωση των μορίων σε κατάσταση κορεσμού (C_s) στον ίδιο όγκο αέρα και στην ίδια θερμοκρασία

$$\varphi = (C / C_s) \times 100\%$$

- **Θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου (t_w):** Είναι η θερμοκρασία που αποκτά ο ατμοσφαιρικός αέρας κάτω από σταθερή πίεση, όταν μέσα σ' αυτόν γίνεται συνεχής εξάτμιση νερού, μέχρι να καταστεί κορεσμένος, χωρίς ανταλλαγή θερμότητας με το περιβάλλον.
 - Για τον ακόρεστο ατμοσφαιρικό αέρα: $t > t_w > t_d$
 - Για τον κορεσμένο ατμοσφαιρικό αέρα: $t = t_w = t_d$

Κατά μια άλλη έκφραση, η σχετική υγρασία ορίζεται ως το πηλίκο της μερικής πίεσης (P) προς την πίεση κορεσμού των υδρατμών (P_s), δηλαδή της πίεσης που ασκεί ανά μονάδα επιφάνειας ο αριθμός των μορίων των υδρατμών που βρίσκονται στον αέρα σε μια ορισμένη θερμοκρασία προς την πίεση των μορίων των υδρατμών που αντιστοιχούν σε κατάσταση κορεσμού, στην ίδια θερμοκρασία.

Ισχύει, δηλαδή:

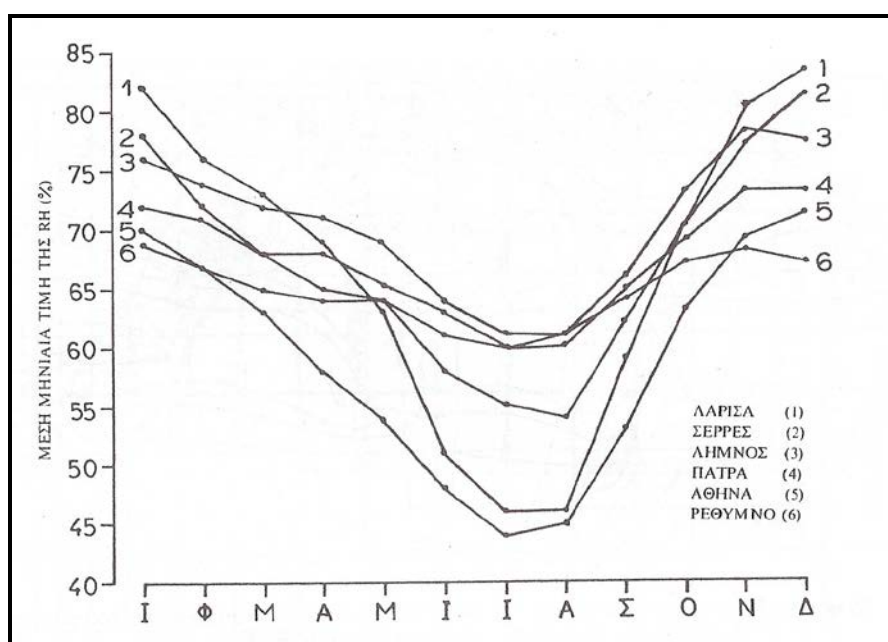
$$\varphi = (P / P_s) \times 100\%$$

Αντίθετα, πτώση της θερμοκρασίας κάτω από την θερμοκρασία δρόσου ($\theta < \theta_s$) επιφέρει μείωση της ικανότητας του αέρα να συγκρατεί υδρατμούς και άρα πλεόνασμα μιας ποσότητας υδρατμών, που, επειδή δεν μπορούν να συγκρατηθούν, υγροποιούνται και εναποτίθενται με τη μορφή μικρών σταγόνων στις επιφάνειες. Αυτό είναι το **φαινόμενο της δρόσου**.

Όταν η υγροποίηση επέρχεται σε θερμοκρασίες χαμηλότερες του μηδενός, τότε παρουσιάζεται το φαινόμενο της **πάχνης (παγωμένης δρόσου)**.

1.6.1. Πορεία της υγρασίας στην Ελλάδα

- Η μέγιστη μέση τιμή της σχετικής υγρασίας σημειώνεται στη διάρκεια της περιόδου Νοεμβρίου - Φεβρουαρίου.
- Η ελάχιστη μέση τιμή σημειώνεται στην περίοδο Ιουνίου - Σεπτεμβρίου.
- Στη διάρκεια της περιόδου Νοεμβρίου - Φεβρουαρίου οι μέγιστες μέσες τιμές σημειώνονται επάνω από τους ορεινούς όγκους και επάνω από τις κεντρικές και νότιες περιοχές των Κυκλάδων.
- Οι ελάχιστες τιμές σημειώνονται επίσης επάνω από τους ορεινούς όγκους.
- Το ετήσιο εύρος της μέσης τιμής της σχετικής υγρασίας είναι μέγιστο επάνω από τα ορεινά τμήματα, και ελάχιστο επάνω από τις νησιωτικές και παράκτιες περιοχές της Δυτικής Ελλάδας.



Σχήμα 1.6.1. Η διακύμανση της σχετικής υγρασίας σε διάφορες πόλεις της Ελλάδας κατά τη διάρκεια του έτους.

2. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΚΤΗΡΙΟ

2.1. ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΚΑΙ ΗΛΙΑΚΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ

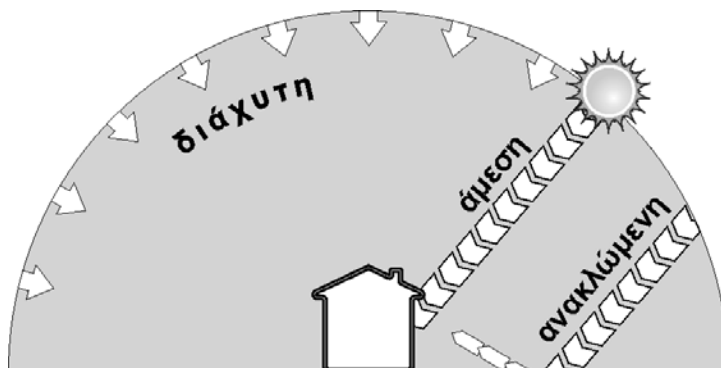
Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί σημαντική παράμετρο στο πλαίσιο του ενεργειακά αποδοτικού σχεδιασμού των κτηρίων. Η αξιοποίηση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στο κτήριο μπορεί να έχει σημαντική συμβολή στη μείωση της απαιτούμενης ενεργειακής κατανάλωσης για θέρμανση και φωτισμό. Αντίθετα, κατά τη θερμή περίοδο του έτους η απουσία επαρκούς ηλιοπροστασίας του κτηρίου οδηγεί σε αυξημένη ενεργειακή κατανάλωση για ψύξη και σε κακή ποιότητα εσωκλίματος.

Στην προσπάθεια ελέγχου και ορθής αξιοποίησης της ηλιακής ακτινοβολίας είναι σημαντική η κατανόηση των συνιστωσών της ηλιακής ακτινοβολίας αλλά και της ηλιακής γεωμετρίας, προκειμένου ο σχεδιασμός να μπορεί να διασφαλίσει την καλύτερη αξιοποίησή της σε όλο το διάστημα του έτους.

2.1.1. Συνιστώσες ηλιακής ακτινοβολίας

Η συνολική ηλιακή ακτινοβολία, η οποία προσπίπτει στα κτήρια, εμφανίζεται και με τις τρεις συνιστώσες της:

- Η **άμεση ηλιακή ακτινοβολία**, που προέρχεται από την απευθείας έκθεση των δομικών στοιχείων του κτηρίου στον ήλιο. Αυτή η συνιστώσα της ηλιακής ακτινοβολίας έχει κατά κανόνα το μεγαλύτερο ενεργειακό περιεχόμενο και συνεπώς παρουσιάζει και το μεγαλύτερο ενδιαφέρον στο πλαίσιο του ενεργειακού σχεδιασμού των κτηρίων. Σχεδόν πάντα η προσπάθεια αύξησης του ηλιακού κέρδους το χειμώνα και ηλιοπροστασίας το καλοκαίρι στοχεύει στον έλεγχο της προσπίπτουσας άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας.
- Η **διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία**, που προέρχεται από το σύνολο του ουράνιου θόλου, ο οποίος είναι ορατός από τα δομικά στοιχεία του κτηριακού κελύφους. Παρόλο που έχει κατά κανόνα μικρότερο ενεργειακό περιεχόμενο από την άμεση ηλιακή ακτινοβολία, αποτελεί αξιόλογο μέρος του ηλιακού κέρδους στα κτήρια, ενώ καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την ένταση και την ποιότητα του φυσικού φωτισμού σ' αυτά καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.
- Η **ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία**, που εξαρτάται από τη γεωμετρία της περιοχής του κτηρίου, τα επιφανειακά υλικά των δαπέδων αλλά και των κατακόρυφων επιφανειών που βρίσκονται σε οπτική επαφή με το κτήριο (π.χ. γειτονικά κτήρια).



Σχήμα 2.1.1. Συνιστώσες της ηλιακής ακτινοβολίας.

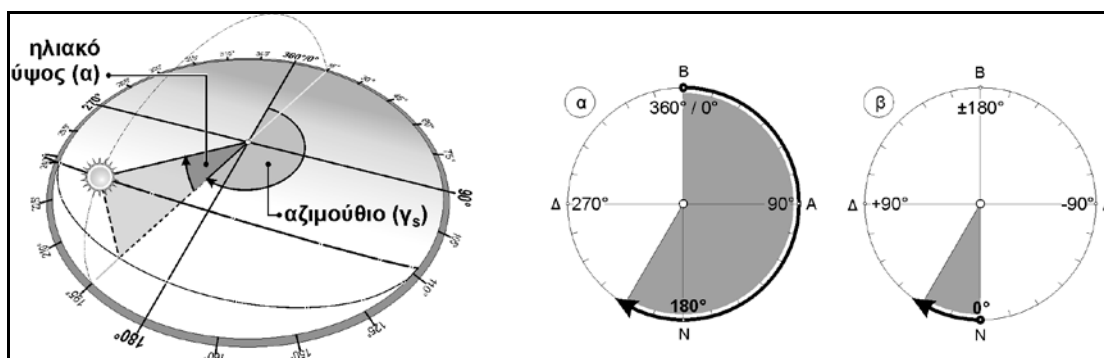
2.1.2. Ηλιακό ύψος και αζιμούθιο.

Ο έλεγχος του ηλιασμού και της σκίασης ενός κτηρίου αποβλέπει στο σχεδιασμό, ο οποίος το χειμώνα επιτρέπει την ηλιακή πρόσπτωση, κυρίως στα ανοίγματα και στα παθητικά ηλιακά συστήματα του κελύφους, ενώ το καλοκαίρι διακόπτει την άμεση ηλιακή ακτινοβολία, προτού αυτή διαπεράσει τα διαφανή δομικά στοιχεία. Αυτός ο σχεδιασμός απαιτεί καλή αντίληψη της ηλιακής γεωμετρίας τόσο σε εποχιακό επίπεδο, όσο και σε ωριαίο επίπεδο στο διάστημα της ημέρας.

Η **ηλιακή γεωμετρία** –ή αλλιώς η θέση του ήλιου στον ουράνιο θόλο– καθορίζεται από το ηλιακό ύψος και το αζιμούθιο του ήλιου, ανάλογα με την ώρα, την εποχή και το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής.

Το **ηλιακό ύψος**, όπως μετράται σε ένα σημείο, είναι η κατακόρυφη γωνία που σχηματίζει ο ορίζοντας με την ευθεία, η οποία ενώνει αυτό το σημείο με τη θέση του ήλιου στον ουράνιο θόλο.

Το **αζιμούθιο** είναι η οριζόντια γωνία μεταξύ της ευθείας που ενώνει το σημείο με την προβολή της θέσης του ήλιου στον ορίζοντα, μετρούμενο είτε από την ευθεία από το σημείο προς το βορρά είτε από την ευθεία από το σημείο προς το νότο. Στην πρώτη περίπτωση, η γωνία παίρνει θετικές τιμές από 0° έως 360° και μετριέται δεξιόστροφα, ενώ στη δεύτερη περίπτωση παίρνει τιμές από 0° έως 180° (μέτρηση από νότο προς βορρά διά μέσου της δύσης) και από 0° έως -180° (μέτρηση από νότο προς βορρά διά μέσου της ανατολής).



Σχήμα 2.1.2. Συνιστώσες της ηλιακής γεωμετρίας και συνηθέστερα συστήματα αρχής μέτρησης αζιμούθιου. (α) αρχή μέτρησης ο βοράς, (β) αρχή μέτρησης ο νότος

Το παράρτημα Γ της TOTEE-20701-3, δίνει τιμές ηλιακού ύψους και αζιμουθίου για διάφορα γεωμετρικά πλάτη της Ελλάδας σε χαρακτηριστικές ώρες και μήνες του έτους, ενώ στην ίδια TOTEE δίνεται και οι αναλυτικές σχέσεις υπολογισμού αυτών των τιμών. (σχέσεις 4.11. και 4.12. από Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3/2010).

Η απλή γνώση της ηλιακής γεωμετρίας δεν επαρκεί για να διασφαλιστεί η ικανοποιητική εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας το χειμώνα και της επαρκούς σκίασης το καλοκαίρι. Ανάλογα με τον προσανατολισμό των όψεων είναι κρίσιμο να επιλεγούν και να διαστασιοποιηθούν διατάξεις σκίασης, οι οποίες θα επιτυγχάνουν να ανακόψουν την ηλιακή ακτινοβολία στα χρονικά διαστήματα κατά τα οποία η κάθε όψη δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία.

Για να επιτευχθεί αυτός ο σχεδιασμός είναι απαραίτητο από την ηλιακή γεωμετρία, η οποία περιγράφει τη θέση του ήλιου στο χώρο, να προκύψουν γεωμετρικά μεγέθη, που να αναπαριστούν τις γωνίες πρόσπτωσης σε συγκεκριμένες επιφάνειες διαφόρων προσανατολισμών.

Για να βρεθεί η κατακόρυφη γωνία σκίασης σε επίπεδο κάθετο στην εξεταζόμενη όψη χρησιμοποιείται η παρακάτω σχέση:

$$VSA = \arctan(\tan(\alpha) / \cos(HSA))$$

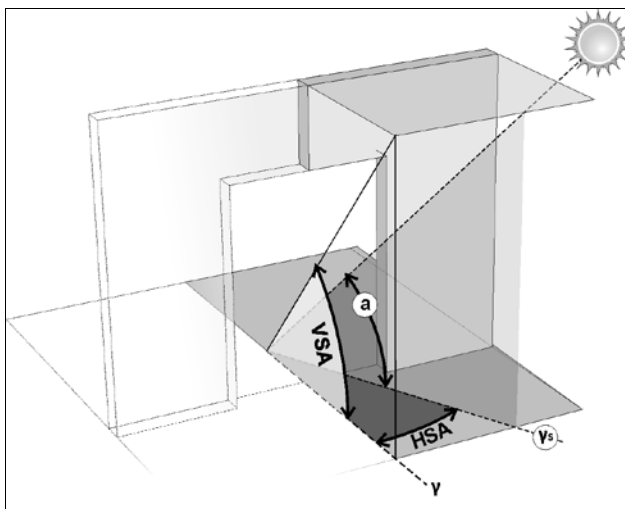
όπου: α το ηλιακό ύψος (σχέση 4.11. από Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3/2010),
HSA η οριζόντια γωνία σκιάς (horizontal shadow angle).

Η HSA δίνεται από τη σχέση:

$$HSA = |\gamma_s - \gamma| \leq 90^\circ$$

όπου: γ_s το ηλιακό αζιμούθιο (σχέση 4.12. από Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3/2010),
 γ το αζιμούθιο της όψης.

Στις παραπάνω σχέσεις, ως αφετηρία μέτρησης του αζιμούθιου ορίζεται ο νότος.



Σχήμα 2.1.3. Οριζόντια και κατακόρυφη γωνία σκιάς

2.2. ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑ

Το κλίμα αποτελεί καθοριστική παράμετρο της ενεργειακής απόδοσης ενός κτηρίου. Ωστόσο, οι κλιματικές συνθήκες χαρακτηρίζουν μια ευρύτερη περιοχή μεγάλης έκτασης (π.χ. πόλη, νομό κ.τ.λ.) και συχνά διαφοροποιούνται σημαντικά από τις κλιματικές συνθήκες που αντιμετωπίζει ένα συγκεκριμένο κτήριο. Για παράδειγμα, σε ένα πυκνοδομημένο αστικό περιβάλλον οι τιμές ακτινοβολίας που χαρακτηρίζουν τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής διαφοροποιούνται σε υπερβολικά μεγάλο βαθμό από κτήριο σε κτήριο, ανάλογα με τις συνθήκες δόμησης, τα πλάτη των οδών και τα ύψη των κτηρίων περιμετρικά του κτηρίου μελέτης. Το ίδιο ισχύει και για τον άνεμο (ένταση και διεύθυνση), αλλά σε μικρότερο βαθμό και για τη θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα και τη σχετική υγρασία.

Με τον όρο μικρόκλιμα, χαρακτηρίζονται οι ιδιαίτερες κλιματικές συνθήκες που εμφανίζονται στη θέση του κτηρίου μελέτης. Το μικρόκλιμα προφανώς συνδέεται άρρηκτα με το κλίμα της περιοχής, ωστόσο οι επί μέρους τιμές των κλιματικών μεγεθών σε επίπεδο μικροκλίματος μπορούν να παρουσιάζουν σημαντική μεταβολή σε σχέση με τις αντίστοιχες σε επίπεδο κλίματος.

2.2.1. Η επίδραση του μικροκλίματος στο κτήριο

Σε επίπεδο μικροκλίματος μια σειρά παραμέτρων μεταβάλλουν σε μικρό ή μεγάλο βαθμό τις επικρατούσες κλιματικές συνθήκες της περιοχής. Οι κυριότερες από αυτές τις παραμέτρους είναι:

- Η **πυκνότητα** και το **ύψος της δόμησης**, τα οποία επηρεάζουν τόσο το σύνολο των συνιστωσών της ηλιακής ακτινοβολίας (κατά κανόνα μείωση της άμεση και διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας και συχνά αύξηση της ανακλώμενης), όσο και τη ροή του ανέμου (ελάττωση ή τοπική ενίσχυση). Αυτές οι δυο μεταβολές έχουν και επίπτωση στη θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα και της σχετικής υγρασίας.
- Τα **επιφανειακά υλικά** (δάπεδα, όψεις κ.τ.λ.), τα οποία δέχονται την ηλιακή ακτινοβολία και ανάλογα με τη σύστασή τους την αποθηκεύουν ως θερμότητα ή την ανακλούν. Οι φυσικές επιφάνειες και ιδιαίτερα οι επιφάνειες βλάστης στην περιοχή, έχουν την ιδιότητα να δεσμεύουν την ηλιακή ακτινοβολία χωρίς αξιόλογη αύξηση της θερμοκρασίας τους λόγω μιας σειράς βιολογικών διεργασιών, με κυριότερη την εξατμισοδιαπνοή. Η βλάστηση και οι φυσικές επιφάνειες (χώμα, νερό) αποτελούν ρυθμιστές των κλιματικών συνθηκών. Αυξημένη πυκνότητα τέτοιων επιφανειών οδηγεί κατά κανόνα σε εξομάλυνση του κλίματος.
- Οι **ανθρωπογενείς δραστηριότητες**, όπως, κυρίως, η κυκλοφορία οχημάτων και η λειτουργία πλήθους κλιματιστικών συσκευών.

Το μικρόκλιμα που αντιμετωπίζει το κτήριο σαφώς και επηρεάζει την ενεργειακή συμπεριφορά του, αλλά και το ίδιο το κτήριο επηρεάζει με τη σειρά του τις μικροκλιματικές συνθήκες. Αυτή η αλληλεπίδραση οφείλει να γίνεται αντιληπτή από τους μελετητές και να επιδιώκεται πάντα η μικρότερη δυνατή επιβάρυνση των μικροκλιματικών συνθηκών.

Δεδομένου ότι ειδικά στο στάδιο της ενεργειακής επιθεώρησης ο κτιριακός όγκος είναι κατά κανόνα δεδομένος, η βασική προσπάθεια του μελετητή είναι καταρχάς να αποφύγει την επιδείνωση των μικροκλιματικών συνθηκών και κατόπιν να προτείνει τρόπους βελτίωσής του.

Σε ό,τι αφορά στο πρώτο, οι ενδεχόμενες επεμβάσεις στο εξωτερικό κέλυφος (για παράδειγμα στην περίπτωση αναδρομικής εξωτερικής θερμομονωτικής προστασίας) οφείλουν όχι μόνο να προστατεύσουν το κτήριο της μελέτης αλλά και τα γύρω κτήρια από άστοχες επιλογές, όπως για παράδειγμα ανακλαστικές βαφές ή επενδύσεις στα κατακόρυφα δομικά στοιχεία. Μια τέτοια επιλογή, χωρίς προσεκτική μελέτη, ενδεχομένως να επιβάρυνε το μικρόκλιμα με ανακλάσεις της ηλιακής ακτινοβολίας, προβλήματα οπτικής θάμβωσης κ.τ.λ.

Σε ό,τι αφορά στο δεύτερο, η ανάκτηση φυσικών επιφανειών (χώμα, βλάστηση, επιφάνειες νερού) είτε στο επίπεδο του εδάφους είτε στο επίπεδο του κτηρίου, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση του φυτεμένου δώματος, μπορεί να βελτιώσει αξιόλογα τις μικροκλιματικές συνθήκες, παρέχοντας την απαιτούμενη σκίαση προτού η ηλιακή ακτινοβολία να πλήξει το κτήριο το καλοκαίρι, ή ταπεινώνοντας τη θερμοκρασία του αέρα γύρω από το κτήριο μέσω της εξάτμισης.

3. ΕΣΩΚΛΙΜΑ

Η βιολογική και ψυχολογική ισορροπία του ανθρώπου εξασφαλίζεται από την επιτυχή προσαρμογή του στο φυσικό περιβάλλον. Παράμετροι όπως το κλίμα, το φως, ο θόρυβος, η βλάστηση, οι ζωντανοί οργανισμοί, η μόλυνση της ατμόσφαιρας, κ.τ.λ., συσχετιζόμενοι μεταξύ τους συνθέτουν το φυσικό περιβάλλον και επηρεάζουν την υγεία και την παραγωγικότητα του ατόμου.

Η θερμική, η οπτική και η ακουστική άνεση είναι οι τρεις σημαντικότερες συνισταμένες που επηρεάζουν την ευεξία του ανθρώπου και εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το κέλυφος του κτηρίου και τα συστήματα ελέγχου του εσωκλίματος. Ο βαθμός ανταπόκρισης του κελύφους και των συστημάτων ελέγχου στις απαιτήσεις για την εξασφάλιση άνεσης, είναι κριτήριο αξιολόγησης του σχεδιασμού.

3.1. ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ

Το **αίσθημα της θερμικής άνεσης** δημιουργείται όταν καταναλώνεται η ελάχιστη ενέργεια από τον οργανισμό για την εξασφάλιση των θερμορυθμιστικών λειτουργιών στο ανθρώπινο σώμα, ώστε να διατηρηθεί το θερμικό ισοζύγιο του ατόμου (σχήμα 3.1.1.). Μια έκφραση για τη θερμική άνεση ενός ατόμου είναι «αυτή η κατάσταση του εγκεφάλου που εκδηλώνει ικανοποίηση σε σχέση με το θερμικό περιβάλλον».

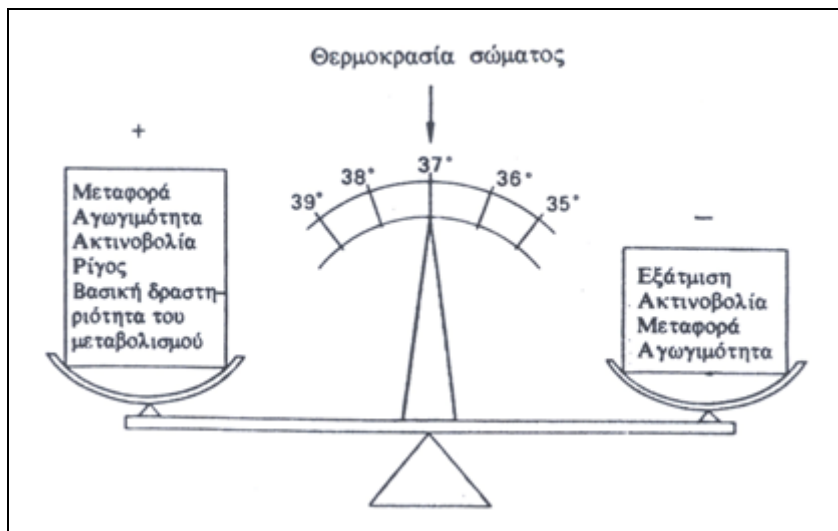
Όταν οι κλιματικές συνθήκες του περιβάλλοντος είναι ευνοϊκές, το θερμορυθμιστικό σύστημα λειτουργεί με το ελάχιστο έργο και το άτομο αισθάνεται «θερμικά άνετα». Σε δυσμενείς όμως συνθήκες, π.χ. αν επικρατεί πολύ «κρύο» ή πολύ «ζέστη», το σώμα χάνει πολύ περισσότερη από όση θα έπρεπε θερμότητα ή αντίστοιχα αδυνατεί να αποβάλει το πλεόνασμα της παραγόμενης θερμότητας και τότε δεν υπάρχει «θερμική άνεση».

Η θερμική άνεση εξαρτάται και επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από προσωπικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες. Οι εσωτερικές συνθήκες και απαιτήσεις για τη θερμική ισορροπία του ατόμου διαφέρουν σημαντικά ανάλογα με τη λειτουργία του κτηρίου, την ηλικία και το φύλο του χρήστη, το βαθμό ένδυσής του και τη δραστηριότητα που εκτελεί.

Η ανταλλαγή θερμότητας ανάμεσα στο ανθρώπινο σώμα και το περιβάλλον γίνεται με πολλούς τρόπους:

- Με μεταφορά θερμότητας μέσω του αέρα, ο οποίος έρχεται σε επαφή με το άτομο.
- Με αγωγή μέσω της επαφής του ανθρωπίνου σώματος με επιφάνειες διαφορετικής θερμοκρασίας.
- Με ακτινοβολία θερμότητας από το ανθρώπινο σώμα προς τις περιβάλλουσες το χώρο επιφάνειες (τοίχους, δάπεδο, οροφή, ανοίγματα, κ.τ.λ.), εάν αυτές είναι ψυχρότερες ή –το αντίστροφο– εάν αυτές είναι θερμότερες από την ανθρώπινη επιδερμίδα.
- Με εξάτμιση μέσω της αναπνοής ή από την επιδερμίδα του σώματος μέσω της άδηλης αναπνοής ή της εφίδρωσης.

Κατά συνέπεια η θερμοκρασία του αέρα, η θερμοκρασία των περιβαλλουσών επιφανειών, η κίνηση του αέρα και η υγρασία είναι οι περιβαλλοντικές παράμετροι της θερμικής άνεσης που επιταχύνουν ή μειώνουν την ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ του ατόμου και του περιβάλλοντος χώρου.



Σχήμα 3.1.1 Παραγωγή θερμότητας από το άτομο και ανταλλαγή θερμότητας του ανθρώπινου σώματος με το περιβάλλον για τη διατήρηση του θερμικού ισοζυγίου του ατόμου

Ο ρόλος του μελετητή είναι να δημιουργήσει τις βέλτιστες κατά το δυνατόν εσωκλιματικές συνθήκες, επειδή η αίσθηση της άνεσης ή η έλλειψή της *αθροιστικά* συνεισφέρουν στη κρίση του χρήστη για την ποιότητα διαβίωσης εντός της κατοικίας στην οποία ζει ή του σχολείου ή του γραφείου ή του εργοστασίου στο οποίο εργάζεται.

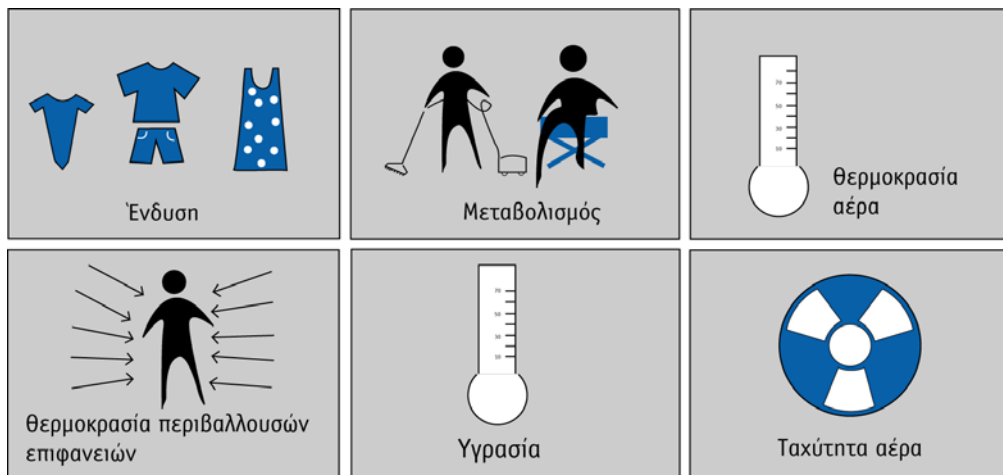
Ένας από τους στόχους του βιοκλιματικού σχεδιασμού είναι να διατηρήσει τις εσωκλιματικές συνθήκες ικανοποιητικές, ώστε ο χρήστης του κτηρίου να αισθάνεται θερμικά άνετα και να μην καταφεύγει στην υπερβολική χρήση του μηχανολογικού εξοπλισμού (σύστημα θέρμανσης για το χειμώνα και κλιματισμού για το καλοκαίρι).

Το κέλυφος των κτηρίων αποτελεί το ρυθμιστικό παράγοντα για τη δημιουργία συνθηκών θερμικής άνεσης στον εσωτερικό χώρο με την αξιοποίηση των θετικών κατά περίπτωση κλιματικών στοιχείων και την αποφυγή των επιζήμιων.

Η ζώνη της θερμικής άνεσης αναφέρεται στο συνδυασμό εκείνων των μεταβλητών του εσωκλίματος (θερμοκρασία αέρα, θερμοκρασία περιβαλλουσών επιφανειών, σχετική υγρασία και ταχύτητα αέρα), στις οποίες κατά μερικούς μελετητές το 50%, και κατ' άλλους το 80% των ατόμων που ερωτώνται αισθάνονται θερμικά άνετα ή θερμικά ουδέτερα.

3.1.1. Παράγοντες θερμικής άνεσης

Έξι σημαντικοί φυσικοί παράγοντες που λειτουργούν αλληλένδετα μεταξύ τους σαν ένα σύστημα, το οποίο επηρεάζεται και από ψυχολογικούς παράγοντες, καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό το αίσθημα της θερμικής άνεσης. Αυτοί οι παράγοντες διακρίνονται σε **προσωπικούς**, όπως ο βαθμός ένδυσης και ο μεταβολισμός και σε **περιβαλλοντικούς**, όπως η θερμοκρασία του αέρα, η θερμοκρασία των περιβαλλουσών επιφανειών, η ταχύτητα του αέρα και η σχετική υγρασία του αέρα, (σχήμα 3.1.2.). Άλλοι παράγοντες, που είναι λιγότερο προφανείς και έμμεσα επηρεάζουν το αίσθημα της θερμικής άνεσης, είναι η ηλικία και το φύλο, το μέγεθος του σώματος και το βάρος, η ικανότητα εγκλιματισμού και προσαρμογής, η κατάσταση της υγείας, η διαιτητική, το επίπεδο φωτισμού, ακόμη το χρώμα και η διακόσμηση.



Σχήμα 3.1.2. Βασικοί παράγοντες θερμικής άνεσης

3.1.1.1. Περιβαλλοντικοί παράγοντες θερμικής άνεσης

Πιο αναλυτικά, οι περιβαλλοντικοί παράγοντες που εξαρτώνται άμεσα από το σχεδιασμό του κτηρίου (αρχιτεκτονικό και μηχανολογικό) επηρεάζουν κατά διαφορετικό βαθμό τη θερμική άνεση:

Η θερμοκρασία του αέρα (t_{air}) είναι η βάση για την αξιολόγηση της θερμικής άνεσης. Ένα γυμνό άτομο ανέχεται θερμοκρασία ακίνητου αέρα μεταξύ $37,5^{\circ}\text{C}$ - 35°C , αισθάνεται ευχάριστα όταν η θερμοκρασία είναι $26,5^{\circ}\text{C}$ - 25°C , κρυώνει σε θερμοκρασία 15°C , ενώ, εάν είναι εκτεθειμένο σε ακίνητο αέρα θερμοκρασίας $11,5^{\circ}\text{C}$, αισθάνεται πολύ κρύο σε ελάχιστα λεπτά. Η επιθυμητή θερμοκρασία του αέρα για ένα χώρο καθορίζεται από τους κανονισμούς που ισχύουν, με στόχο την εξασφάλιση θερμικής άνεσης για τον συγκεκριμένο χρήστη του χώρου. Αυτή η επιθυμητή θερμοκρασία του αέρα έχει άμεση σχέση με τους “προσωπικούς παράγοντες”, δηλαδή την δραστηριότητα που εκτελείται στο χώρο, την ηλικία, τον τρόπο ένδυσης κ.τ.λ.

Για να επιτευχθεί και να διατηρηθεί η επιθυμητή θερμοκρασία, παρέχεται στο κτήριο θέρμανση ή ψύξη. Όσο μικρότερη είναι η συμβολή της θέρμανσης ή της ψύξης για την επίτευξη συνθηκών θερμικής άνεσης, τόσο οικονομικότερη είναι η λειτουργία του κτηρίου.

Κατά την ASHRAE το 80% των ατόμων αισθάνεται θερμικά άνετα, όταν η θερμοκρασία του αέρα κυμαίνεται μεταξύ $21,5^{\circ}$ και 25°C (με σχετική υγρασία 50%).

Στην Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010 (στον πίνακα 2.2.) αναφέρονται οι αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων (θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας) για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτηρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης.

Ένα πρόβλημα που συνδέεται με τη θερμοκρασία του αέρα είναι η διαστρωμάτωση της θερμοκρασίας σε ένα χώρο που οφείλεται στη διαφορά της πυκνότητας του θερμού και ψυχρού αέρα. Αυτό το φαινόμενο βελτιώνεται ή γίνεται δυσμενέστερο ανάλογα με το μέγεθος και το σχήμα του χώρου, την κατασκευή του περιβλήματος, τον τύπο του θερμαντικού συστήματος που χρησιμοποιείται και από τη μέση θερμοκρασία που ακτινοβολείται από τις περιβάλλουσες το χώρο επιφάνειες.

Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας των επιφανειών που περιβάλλουν το χώρο (t_{mr}), επηρεάζει την αίσθηση της θερμοκρασίας του αέρα, έτσι ώστε σε κάποιο βαθμό εξισορροπεί πολύ υψηλές ή χαμηλές θερμοκρασίες αέρα.

Πριν από λίγες δεκαετίες, η θερμοκρασία του αέρα θεωρούνταν ο πιο σημαντικός δείκτης για τον προσδιορισμό της θερμικής άνεσης και σε πολλά διαγράμματα άνεσης θεωρείται ότι η θερμοκρασία των περιβαλλουσών επιφανειών είναι ίση με τη θερμοκρασία του αέρα. Μετά από σχετικές έρευνες κρίνεται πλέον αναγκαίο να συναξιολογείται και η θερμότητα που ακτινοβολείται από τις επιφάνειες,

αφού το αθροιστικό θερμικό αποτέλεσμα είναι εκείνο που πραγματικά αισθάνεται ο άνθρωπος και που επιδρά στο θερμικό ισοζύγιο του σώματος.

Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας είναι ο αναλογικός μέσος όρος των θερμοκρασιών των επιφανειών που περικλείουν ένα χώρο. Κατά τον Fanger, όταν η θερμοκρασία του αέρα είναι 30,6°C και η ταχύτητα του αέρα είναι μικρότερη από 1,5 m/s, για να υπάρξει θερμική άνεση, πρέπει η μέση ακτινοβολούμενη να είναι 20,6°C.

Στην τυπική αρχιτεκτονική πρακτική θα πρέπει η διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας του αέρα και των περιβαλλουσών επιφανειών να μην υπερβαίνει τους 3°C - 4°C, και εξαρτάται από τη θέση και το μέγεθος των επιφανειών που περιβάλλουν το χώρο και την ικανότητά τους να εκπέμπουν θερμότητα.

Η θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας δομικών στοιχείων που δεν είναι μονωμένα είναι χαμηλότερη από αυτής των θερμομονωμένων. Αποτέλεσμα αυτού είναι η θερμοκρασία του χώρου ενός μονωμένου κτηρίου να μπορεί να διατηρηθεί χαμηλότερη σε σχέση με μια κατασκευή που δεν είναι μονωμένη, παρέχοντας τον ίδιο βαθμό θερμικής άνεσης.

Επισημαίνεται, τέλος, ότι παράθυρα και τοίχοι θερμικής μάζας είναι επιφάνειες, στις οποίες εμφανίζονται μεγάλες θερμοκρασιακές διακυμάνσεις. Αίσθημα θερμικής δυσφορίας προκαλείται είτε από χαμηλές επιφανειακές θερμοκρασίες των υαλοστασίων είτε από μεγάλο ποσό θερμότητας που ακτινοβολείται από τα δομικά στοιχεία τα οποία είναι εκτεθειμένα στην ηλιακή ακτινοβολία, στη διάρκεια της ηλιοφάνειας καθώς και μετά από αυτήν.

Η σχετική υγρασία επηρεάζει το αίσθημα της θερμικής άνεσης, επειδή επιδρά στην ικανότητα του σώματος να αποβάλλει θερμότητα με την εξάτμιση. Συνδυασμός υψηλής σχετικής υγρασίας και υψηλής θερμοκρασίας του αέρα δημιουργεί θερμική δυσφορία. Τιμές χαμηλής σχετικής υγρασίας διευκολύνουν την αποβολή νερού από το ανθρώπινο σώμα (υπό τη μορφή ιδρώτα), προκαλώντας μια αίσθηση δροσισμού. Το αντίθετο συμβαίνει με τιμές υψηλής σχετικής υγρασίας, η οποία παρεμποδίζει την εξάτμιση του ιδρώτα, δηλαδή την αποβολή θερμότητας, που είναι και ο μόνος τρόπος διατήρησης του θερμικού ισοζυγίου σε υψηλές θερμοκρασίες.

Αυξάνοντας τη σχετική υγρασία από 20% σε 60%, η θερμοκρασία του αέρα πρέπει να μειωθεί περίπου κατά 1 K, για να διατηρηθεί το ίδιο αίσθημα της θερμικής άνεσης. Γενικά, το άτομο αισθάνεται την υγρασία όταν η θερμοκρασία του αέρα είναι χαμηλότερη από 20°C ή υψηλότερη από 25°C.

Αν και δεν υπάρχουν όρια στο ποσοστό της υγρασίας, θεωρείται ότι σε χώρους με εσωτερική θερμοκρασία μεταξύ 18°C και 20°C, το εσωκλίμα χαρακτηρίζεται ξηρό όταν η σχετική υγρασία είναι μικρότερη από 50%, φυσικό με σχετική υγρασία 50% - 60%, υγρό με σχετική υγρασία 60% - 75% και, τέλος, πολύ υγρό όταν η σχετική υγρασία είναι μεγαλύτερη από 75%.

Η ταχύτητα του αέρα επηρεάζει σημαντικά την αίσθηση θερμικής άνεσης. Ο αέρας που κινείται απομακρύνει την επιπλέον θερμότητα από το σώμα, αυξάνοντας ή μειώνοντας το βαθμό μεταφοράς και εξάτμισης. Όταν η θερμοκρασία του αέρα είναι χαμηλότερη από τη θερμοκρασία του σώματος, η αύξηση της ταχύτητας του αέρα δημιουργεί αίσθηση ψύχους που αυξάνεται όσο μειώνεται η θερμοκρασία του αέρα (πίνακας 3.1.1.). Αντίθετα, όταν η θερμοκρασία του αέρα είναι υψηλότερη από τη θερμοκρασία του σώματος, η αύξηση της ταχύτητας του αέρα προκαλεί στο σώμα αίσθηση ζέστης και δροσισμού συγχρόνως. Πάντως το αποτέλεσμα του δροσισμού είναι ισχυρότερο από το αποτέλεσμα της θέρμανσης μέχρι περίπου 40°C θερμοκρασία αέρα, μετά από την οποία η υπερθέρμανση είναι μεγαλύτερη.

Όταν η ταχύτητα του αέρα είναι μικρή η θερμική άνεση επηρεάζεται εξίσου από τη θερμοκρασία του αέρα και από τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας των περιβαλλουσών επιφανειών.

Πίνακας 3.1.1 Αίσθηση ψύχους σε °C στο άτομο, σε σχέση με την ταχύτητα του αέρα και τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος (πηγή: Boulet Terry).

Ταχύτητα αέρα (m/s)	Θερμοκρασία περιβάλλοντος °C			
	4,4	1,6	-1,1	-4,0
2,2	-2,8	0	-2,2	-6,1
4,5	-5,6	-6,1	-8,9	-12,2
6,7	-7,8	-9,4	-12,2	-16,7
8,9	-9,4	-11,7	-15,6	-19,4
11,2	-11,1	-13,9	-17,8	-21,6

3.1.1.2. Προσωπικοί παράγοντες θερμικής άνεσης

Οι προσωπικοί παράγοντες είναι ο βαθμός ένδυσης και ο βαθμός μεταβολισμού του ατόμου:

Ο βαθμός ένδυσης (μονάδες σε clo ή $m^2 \cdot ^\circ C/W$) επηρεάζει την ευαισθησία του ατόμου στις κλιματικές αλλαγές, καθώς μεταβάλλει την ικανότητα εφίδρωσης του σώματος και λειτουργεί ως φράγμα στην αποβολή της θερμότητας. Αποτελεί ουσιαστικά ένα δείκτη θερμομόνωσης του ατόμου. Μειώνει την επίδραση των χαμηλών θερμοκρασιών του αέρα και των περιβαλλουσών επιφανειών. Για παράδειγμα, ένα άτομο που φορά κουστούμι και βαμβακερό φανελάκι (1 clo) αισθάνεται θερμικά άνετα σε θερμοκρασία χαμηλότερη κατά $9^\circ C$, σε σχέση με ένα γυμνό άτομο.

Ο τύπος του ρουχισμού που χρησιμοποιείται εξαρτάται από τη δραστηριότητα του ατόμου, τις εσωτερικές συνθήκες του χώρου, τη θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα (εποχή του έτους) και το φύλο.

Ο βαθμός μεταβολισμού του ατόμου (met) αποτελεί επίσης ένα σημαντικό παράγοντα για τη θερμική άνεση. Λόγω του γεγονότος ότι η θερμοκρασία του σώματος είναι συνήθως υψηλότερη αυτής του περιβάλλοντος του χώρου, ο μεταβολισμός λαμβάνει χώρα, ώστε να ισορροπήσει τις θερμικές απώλειες προς το περιβάλλον και να διατηρηθεί η θερμοκρασία του σώματος σταθερή στους $37^\circ C \pm 0,5^\circ C$. Ο μεταβολισμός εξαρτάται από το βάρος του σώματος, το φύλο, την ηλικία και τη διατροφή, και κυρίως από τη δραστηριότητα που εκτελεί το άτομο. Ο μεταβολισμός αυξάνεται όσο αυξάνεται και η δραστηριότητα του ατόμου: Το σώμα έχει ανάγκη από περισσότερο δροσισμό, καθώς αυξάνεται ο μεταβολισμός και λιγότερο, καθώς μειώνεται ο μεταβολισμός.

Ένα met είναι ο μεταβολισμός ενός καθιστού ατόμου ($1\text{met} = 58\text{ W/m}^2$, όπου m^2 είναι η επιφάνεια του δέρματος ενός μέσου άνδρα ενήλικα και υπολογίστηκε σε $1,8\text{ m}^2$, δηλαδή $1\text{ met} = 105\text{ W}$).

Ο μεταβολισμός των παιδιών είναι το 75% του μεταβολισμού του ενήλικα.

Στην τεχνική οδηγία, Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010 «Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτηρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης», στον πίνακα 2.7. καθορίζονται οι μέσες τυπικές τιμές έκλυσης θερμότητας ανά άτομο (αισθητά και λανθάνοντα κέρδη), λαμβάνοντας υπόψη την αντίστοιχη μέση δραστηριότητα των χρηστών στις διάφορες κατηγορίες κτηρίων, σύμφωνα με τα πρότυπα ΕΛΟΤ EN ISO 13790:2009 και ΕΛΟΤ EN 13779:2008.

3.1.1.3. Τοπική θερμική δυσφορία

Επίσης, η διανομή και η στρωμάτωση της θερμοκρασίας στον εσωτερικό χώρο μπορεί να προκαλέσει **τοπική θερμική δυσφορία**. Είναι δυνατόν ένα άτομο να αισθάνεται θερμικά ουδέτερα, δηλαδή να μην επιθυμεί ψυχρότερο ή θερμότερο περιβάλλον και συγχρόνως να μην αισθάνεται θερμικά άνετα, εάν ένα τμήμα του σώματος του είναι θερμό και ένα άλλο ψυχρό (τοπική θερμική δυσφορία). Άλλωστε είναι γνωστό ότι η θερμοκρασία του δέρματος των διαφόρων τμημάτων του σώματος είναι διαφορετική.

Η διαφορετική κατανομή των θερμοκρασιών, τόσο του αέρα, όσο και της επιφανειακής των περιβαλλουσών επιφανειών, σχετίζεται με το βαθμό θερμομόνωσης και το μέγεθος της θερμοχωρητικότητας των εξωτερικών δομικών στοιχείων, που καθορίζουν το ποσό της θερμότητας που ακτινοβολείται (π.χ. μονωμένες τοιχοποιίες και παράθυρα με μονό υαλοπίνακα), την ύπαρξη ψυχρών ή θερμών επιφανειών σε επαφή με το σώμα (π.χ. δάπεδα), και επίσης με τα ρεύματα αέρα και τις τοπικές πηγές που ακτινοβολούν θερμότητα (π.χ. δομικά στοιχεία και θερμαντικά σώματα).

Η κατακόρυφη ασυμμετρία της θερμοκρασίας του αέρα, δημιουργείται από:

- τις τερματικές μονάδες απόδοσης θέρμανσης (σώματα καλοριφέρ, κ.ά.),
- τη θερμότητα που εκπέμπουν οι χρήστες και ο τεχνητός φωτισμός,
- την κυκλοφορία του θερμού αέρα με φυσικό τρόπο.

Πρέπει να επισημανθούν δύο σχετικές παρατηρήσεις, ειδικά για τα βιοκλιματικά κτήρια:

- Οι χρήστες των βιοκλιματικών κτηρίων ανέχονται υψηλότερες και χαμηλότερες θερμοκρασίες και γενικά είναι περισσότερο ανεκτικοί στη διακύμανση των εσωκλιματικών συνθηκών από τους χρήστες των κτηρίων, στα οποία το εσώκλιμα ελέγχεται αποκλειστικά με μηχανικό τρόπο. Γι' αυτό, και στα παθητικά κτήρια μπορεί να εξοικονομηθεί περισσότερη ενέργεια.
- Η θερμική άνεση αποκτά μεγαλύτερη βαρύτητα στα κτήρια, τα οποία εν μέρει ή εξ ολοκλήρου εξαρτώνται από την ηλιακή ακτινοβολία για την κάλυψη των ενεργειακών τους αναγκών. Ο τρόπος που η ηλιακή ενέργεια συλλέγεται, αποθηκεύεται και διανέμεται στο κτήριο επηρεάζει σημαντικά την άνεση των χρηστών του κτηρίου, διότι το ανθρώπινο σώμα είναι περισσότερο ευαίσθητο στη ροή της θερμότητας από ό,τι στη θερμοκρασία.

3.1.2. Μέθοδοι αξιολόγησης της θερμικής άνεσης

Με τον καθορισμό της άνεσης και των ορίων της ασχολούνται τις τελευταίες δεκαετίες πολλοί ερευνητές, προσπαθώντας να εντάξουν σε διαγράμματα τα αποτελέσματά τους, που πολλές φορές παρουσιάζουν αποκλίσεις μεταξύ τους, αφενός διότι η άνεση και τα όριά της είναι ως ένα ποσοστό υποκειμενικά και αφετέρου διότι οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται και η μεθοδολογία που ακολουθείται διαφέρουν .

Η έρευνα σχετικά με το αίσθημα της άνεσης έχει ως στόχους:

- τον προσδιορισμό των βέλτιστων παραμέτρων σχεδιασμού του κτηρίου,
- την επιλογή των πλέον κατάλληλων υλικών κατασκευής, ανάλογα με τη χρήση του κτηρίου,
- την εξεύρεση εκείνων των εργαλείων, που θα αξιολογήσουν τα συστήματα ελέγχου του εσωκλίματος (θέρμανση, αερισμό, ψύξη), ώστε ο συνδυασμός των εσωκλιματικών μεταβλητών να είναι ο βέλτιστος για το χρήστη του χώρου.

3.1.2.1. Θερμικοί δείκτες

Οι θερμικοί δείκτες εκφράζουν τη θερμοκρασία που αισθάνεται το άτομο με την επίδραση όλων ή μερικών από τις μεταβλητές παραμέτρους της θερμικής άνεσης. Τα τελευταία ογδόντα χρόνια έχουν αναπτυχθεί αρκετοί δείκτες θερμικής άνεσης με κύριους σκοπούς:

- τον προσδιορισμό με ακρίβεια των συνεπειών του συνδυασμού των 4 περιβαλλοντικών μεταβλητών (θερμοκρασία του αέρα, θερμοκρασία των περιβαλλουσών επιφανειών, σχετική υγρασία, ταχύτητα του αέρα) και των 2 προσωπικών, του ρουχισμού και της δραστηριότητας (ή του μεταβολισμού), όσον αφορά στο αίσθημα άνεσης του χρήστη,

- την εκτίμηση του αισθήματος της θερμικής δυσφορίας, η οποία αναφέρεται όχι μόνο στο βαθμό (θερμό ή ψυχρό), αλλά επίσης και στο πλήθος των χρηστών ενός χώρου και στη χρονική διάρκεια που αυτοί την αισθάνονται,
- την παροχή βοήθειας στο μελετητή να δημιουργήσει ένα θερμικά άνετο περιβάλλον αφού μπορέσει με ακρίβεια να προσδιορίσει τη δραστηριότητα και το ρουχισμό,
- τον προσδιορισμό της θερμικής ασυμμετρίας που δημιουργείται σε ένα χώρο τόσο χρονικά, όσο και τοπικά.

Οι σημαντικότεροι δείκτες που αναπτύχθηκαν είναι:

- Η **αισθητή θερμοκρασία** (effective temperature - ET). Είναι ο πρώτος δείκτης που χρησιμοποιήθηκε το 1923 και συνδυάζει μόνο τη θερμοκρασία του αέρα και τη σχετική υγρασία (από τους Houghton και Yaglou).
- Η **λειτουργική θερμοκρασία** (operative temperature - t_o). Είναι η θερμοκρασία που προκύπτει από το συνδυασμό της θερμοκρασίας του αέρα και της μέσης θερμοκρασίας που ακτινοβολούν οι επιφάνειες. Ισχύει για ταχύτητα ανέμου <0.2 m/s.

$$t_o = 0.5 t_{air} + 0.5 t_{mr}$$

- η **διορθωμένη αισθητή θερμοκρασία** (corrected effective temperature - CET). Προκύπτει από το συνδυασμό της θερμοκρασίας του αέρα, της ακτινοβολούμενης θερμοκρασίας από τις επιφάνειες, της ταχύτητας του αέρα και της σχετικής υγρασίας, και είναι το αποτέλεσμα πλήθους βελτιώσεων στο δείκτη της αισθητής θερμοκρασίας.
- η **τυπική αισθητή θερμοκρασία** (standard effective temperature - SET). Είναι η θερμοκρασία που προκύπτει από το συνδυασμό και των 4 παραμέτρων που προαναφέρθηκαν, με το δεδομένο της τυπικής ενδυμασίας και δραστηριότητας.

3.1.2.2. Διαγράμματα θερμικής άνεσης

Οι 6 βασικοί παράγοντες της θερμικής άνεσης, όλοι μαζί ή σε συνδυασμούς, αποτυπώνονται σε νομογραφήματα και διαγράμματα (περισσότερο εύχρηστα για τους μελετητές κτηρίων), στα οποία συγχρόνως ορίζεται και το πλήθος των συνδυασμών των μεταβλητών που παρέχουν συνθήκες θερμικής άνεσης στους χρήστες. Οι βέλτιστοι συνδυασμοί που προέκυψαν μετά από πειράματα και στατιστική επεξεργασία, ορίζουν την **περιοχή της άνεσης**. Τα διαγράμματα έχουν περιορισμούς στην πρακτική τους εφαρμογή και στην αξιοπιστία τους, που σχετίζονται με τις εξωτερικές κλιματικές συνθήκες και τις προσωπικές και ψυχολογικές παραμέτρους των χρηστών.

Ιδιαίτερη κατηγορία αποτελούν τα βιοκλιματικά διαγράμματα ή οι βιοκλιματικοί χάρτες. Με τα βιοκλιματικά διαγράμματα αξιολογείται η διαδικασία σχεδιασμού των κτηρίων και προτείνονται τρόποι ελέγχου (με φυσικό τρόπο ή με μηχανολογικό εξοπλισμό) των εσωκλιματικών συνθηκών, ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες του τόπου, λαμβάνοντας υπόψη τα υλικά, το μέγεθος και τη σκίαση των ανοιγμάτων, το εξωτερικό χρώμα του κτηρίου και τον αερισμό, ώστε να δημιουργηθούν συνθήκες εσωτερικής θερμικής άνεσης.

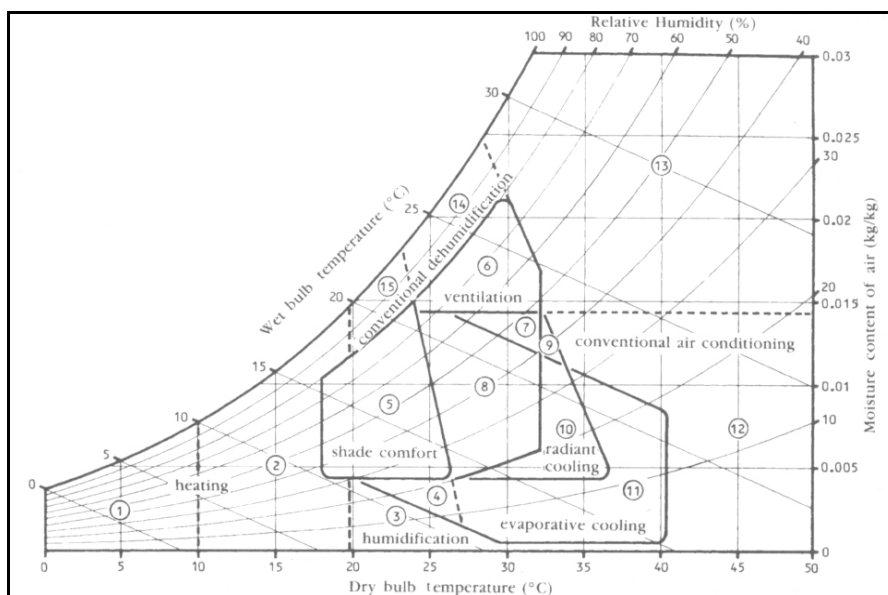
Οι βιοκλιματικοί χάρτες για τα κτήρια, παρέχουν γενικές πληροφορίες για τον τρόπο ελέγχου των εσωκλιματικών συνθηκών και μειονεκτούν στο ότι δεν λαμβάνουν υπόψη τους την τυπολογία του κτηρίου και τα εσωτερικά κέρδη.

Τα απαιτούμενα μετεωρολογικά στοιχεία για την κατασκευή των βιοκλιματικών χαρτών είναι η μέση ωριαία τιμή της θερμοκρασίας του αέρα (ξηρού θερμομέτρου) και η μέση ωριαία τιμή της σχετικής υγρασίας του αέρα για κάθε μήνα.

Με το βιοκλιματικό χάρτη των Givoni και Watson & Labs (σχήμα 3.1.3.), που βασίζεται στο ψυχομετρικό διάγραμμα, όταν η εξωτερική θερμοκρασία του αέρα και η σχετική υγρασία είναι μέσα στα όρια μιας περιοχής που οριοθετεί μια στρατηγική ελέγχου των εσωκλιματικών συνθηκών, τότε, εάν χρησιμοποιηθεί αυτή η διαδικασία ελέγχου, στο εσωτερικό του κτηρίου θα επικρατούν συνθήκες θερμικής άνεσης. Τα απαιτούμενα μετεωρολογικά στοιχεία για την κατασκευή των βιοκλιματικών χαρτών είναι η μέση ωριαία τιμή της θερμοκρασίας του αέρα (θερμομέτρου ξηρού βολβού) και η μέση ωριαία τιμή της σχετικής υγρασίας του αέρα για κάθε μήνα.

Εάν εφαρμοσθεί ο βιοκλιματικός χάρτης για τις κλιματικές συνθήκες της Θεσσαλονίκης, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- για την περίοδο θέρμανσης (Οκτώβριος - Μάιος), επειδή η περιοχή της Θεσσαλονίκης εμπεριέχεται κυρίως στις ζώνες 1 και 2 του βιοκλιματικού διαγράμματος, η αναγκαία στρατηγική ενεργειακού σχεδιασμού πρέπει να έχει ως στόχο τη μείωση των θερμικών απωλειών (αγωγιμότητας και αερισμού) και την αύξηση των ηλιακών κερδών,
- για τους μήνες Μάιο και Οκτώβριο, που βρίσκονται στα όρια της περιόδου θέρμανσης, η ηλιοπροστασία των ανοιγμάτων είναι το κύριο μέτρο που πρέπει να εφαρμοστεί, για να επικρατήσουν συνθήκες θερμικής άνεσης. Ενδεικτικά παρουσιάζεται ο βιοκλιματικός χάρτης για την περίοδο Οκτωβρίου - Μαΐου.
- για το Σεπτέμβριο και τον Ιούνιο, απαιτείται εκτός από την ηλιοπροστασία των ανοιγμάτων και ψύξη της κατασκευής με αερισμό, με εξάτμιση ή και με ακτινοβολία (ζώνη 8 του βιοκλιματικού διαγράμματος).



Σχήμα:3.1.3 Βιοκλιματικό διάγραμμα κτηρίου, κατά Givoni, and Watson & Labs

3.1.2.3. Οι δείκτες PMV – PPD

Για το χαρακτηρισμό των θερμικών συνθηκών ενός χώρου ο Fanger ανέπτυξε το **δείκτη προβλεπόμενης μέσης ψήφου PMV (predicted mean vote)**, μια κλίμακα επτά σημείων θερμικής άνεσης στην οποία προβλέπεται η μέση τιμή ψήφων ατόμων που βρίσκονται σε χώρο με συγκεκριμένες συνθήκες. Αυτή η κλίμακα προτείνεται και από την ASHRAE και το σημείο μηδέν υποδεικνύει ότι οι άνθρωποι απλώς αισθάνονται άνετα (θερμικά ουδέτερα), δεν νιώθουν ούτε ζέστη, ούτε ψύχρα. Θετικές τιμές υποδηλώνουν υψηλότερη θερμοκρασία από την ιδανική, ενώ αρνητικές τιμές υποδηλώνουν χαμηλότερες θερμοκρασίες από την ιδανική (σχήμα 3.1.4.).

	+ 3	Πολύ Θερμό
	+ 2	Θερμό
	+ 1	Λίγο Θερμό
	0	Ουδέτερο
	-1	Λίγο Ψυχρό
	-2	Ψυχρό
	-3	Πολύ Ψυχρό

Σχήμα 3.1.4 Κλίμακα 7 σημείων θερμικής άνεσης (ASHRAE)

Ο δείκτης PMV περιλαμβάνει την επίδραση των έξι παραμέτρων θερμικής άνεσης, της θερμοκρασίας αέρα, της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας, της ταχύτητας αέρα, της σχετικής υγρασίας, της δραστηριότητας και της ένδυσης.

Μια διαπίστωση που έχει γίνει είναι ότι ένας αριθμός ανθρώπων που βρίσκεται στον ίδιο χώρο, με τις ίδιες συνθήκες, εκτελώντας την ίδια δραστηριότητα, ακόμη και αν φορά τα ίδια ρούχα, θα έχει διαφορετική αντίληψη περί της θερμικής άνεσης. Οπότε οι τιμές ψήφων των ατόμων θα διαφέρουν μεταξύ τους και κυμαίνονται γύρω από τη μέση τιμή. Πρέπει να ληφθεί υπόψη επίσης και το γεγονός ότι υπάρχει ανομοιομορφία συνθηκών σε ένα χώρο, όπως αυτή που παρατηρείται κοντά σε παράθυρα, στα αέρια ρεύματα που τυχόν υπάρχουν ή δημιουργούνται σε ένα χώρο, στις θερμοκρασιακές διαφορές που υπάρχουν από το πάτωμα έως την οροφή, και γενικά σε ό,τι αφορά στις τοπικές συνθήκες θερμικής άνεσης.

Ο δείκτης PMV μπορεί να καθοριστεί με χρήση πινάκων που υπάρχουν στο πρότυπο ISO 7730 για διάφορες τιμές των παραμέτρων άνεσης ή με την εξίσωση που περιλαμβάνει αυτά τα μεγέθη:

$$PMV = (0.303 \cdot e^{-0.036 \cdot M} + 0.028) \cdot [(M - W) - H - E_c - C_{res} - E_{res}]$$

- όπου
- M ο ρυθμός μεταβολισμού, σε W/m²,
 - W το ωφέλιμο έργο, σε W/m²,
 - H οι απώλειες θερμότητας από την επιφάνεια του σώματος με αγωγή, συναγωγή και ακτινοβολία, σε W/m²,
 - E_c το ποσό θερμότητας που απάγεται λόγω εξάτμισης σε κατάσταση θερμικής ισορροπίας σε W/m²,
 - C_{res} το ποσό θερμότητας που απάγεται με συναγωγή κατά την αναπνοή σε W/m²,
 - E_{res} το ποσό θερμότητας που απάγεται λόγω εξάτμισης κατά την αναπνοή σε W/m².

Ο δείκτης PMV συνίσταται να χρησιμοποιείται μεταξύ των τιμών -2 έως +2 όταν οι παράμετροι θερμικής άνεσης βρίσκονται μεταξύ των ορίων:

- Θερμοκρασία αέρα: t_a: 10°C έως 30°C.
- Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας, t_r: 10 °C έως 40 °C.
- Ταχύτητα αέρα: μικρότερη από 1m/s.
- Δραστηριότητα: 0,8 έως 4 met.
- Ένδυση: 0 έως 2 clo.

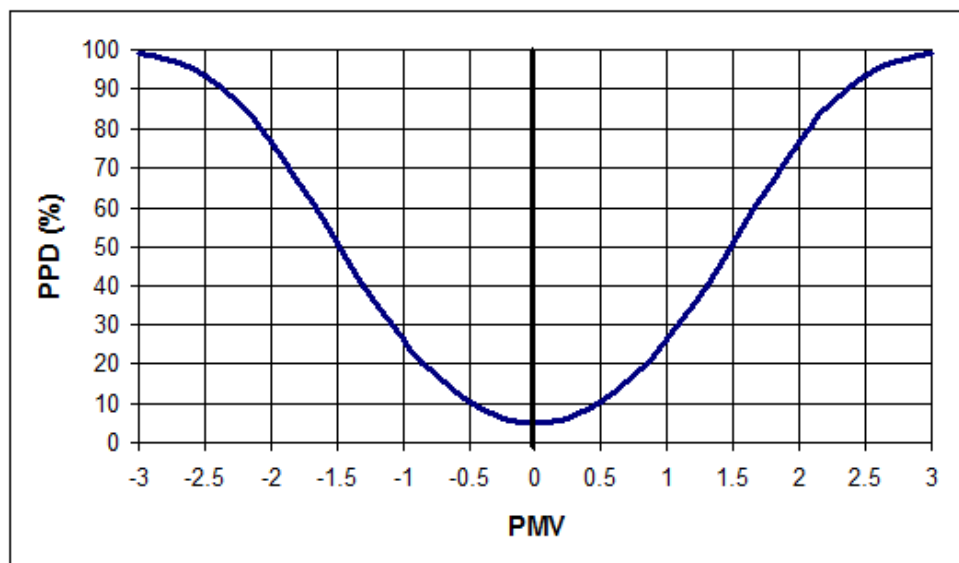
Επειδή είναι αδύνατο όλοι οι ευρισκόμενοι στο ίδιο περιβάλλον να αισθάνονται άνετα κάτω από τις υπάρχουσες συνθήκες, είναι σημαντικό να είναι γνωστό το ποσοστό των ατόμων που αισθάνονται το χώρο ψυχρότερο ή θερμότερο από ό,τι θα επιθυμούσαν. Γι' αυτό το λόγο ο δείκτης PMV

χρησιμοποιείται ταυτόχρονα με το δείκτη προβλεπόμενου ποσοστού δυσαρεστημένων ή δείκτη δυσαρέσκειας PPD (predicted percentage of dissatisfied).

Ο δείκτης PPD δηλώνει το ποσοστό των ατόμων από το συνολικό αριθμό που βρίσκονται στο συγκεκριμένο χώρο, που δηλώνει δυσαρέσκεια σε σχέση με τις συνθήκες θερμικής άνεσης που επικρατούν. Μπορεί να υπολογιστεί, αφού πρώτα έχει βρεθεί ο PMV από τη σχέση:

$$PPD = 100 - 95 * e^{-0.03353 PMV^4 - 0.2179 PMV^2}$$

Πιο εύκολα μπορεί να προσδιορισθεί με τη χρήση διαγράμματος που δείχνει τη σχέση των δύο δεικτών (σχήμα 3.1.5.).



Σχήμα 3.1.5 Δείκτης προβλεπόμενου ποσοστού δυσαρεστημένων, PPD συναρτήσει του δείκτη PMV (Δείκτης προβλεπόμενης μέσης ψήφου).

Από το σχήμα 3.1.5. διαπιστώνεται ότι ακόμη και σε κατάσταση θερμικής άνεσης, δηλαδή για $PMV = 0$, υπάρχει ένα ποσοστό ατόμων, περίπου 5%, που δηλώνει δυσαρέσκεια, ενώ στις ακραίες συνθήκες, στις οποίες $PMV = +3$ ή $PMV = -3$ υπάρχει ένα πολύ μικρό ποσοστό που δηλώνει ικανοποιημένο με τις συνθήκες άνεσης (PPD περίπου 99%).

Με βάση το ISO 7730 θεωρείται ότι η κατάσταση σε ένα χώρο είναι ικανοποιητική, όταν το ποσοστό δυσαρεστημένων ή αλλιώς ο δείκτης PPD είναι μικρότερος του 10%. Για να ισχύει αυτό, πρέπει η τιμή του PMV να είναι μεταξύ των τιμών $-0,5$ και $+0,5$.

Τέλος, πρέπει να επισημανθεί ότι υπάρχουν πίνακες και διαγράμματα για τον προσδιορισμό του ποσοστού των δυσαρεστημένων ατόμων σε σχέση με κάθε μεταβλητή (θερμοκρασία επιδερμίδας, θερμοκρασία δέρματος, ρεύμα αέρα, κ.τ.λ.).

4. ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΤΗΡΙΩΝ

Κατά τη διαδικασία σχεδιασμού των νέων κτηρίων, ο μελετητής παίρνει υπόψη του ένα σύνολο παραμέτρων –θεσμικών, κτιριολογικών και σχεδιαστικών–, οι οποίες καθορίζουν τελικά τη μορφή του κτηρίου. Στο γενικότερο προβληματισμό για την αρχιτεκτονική σύνθεση έχει προστεθεί και ο ενεργειακός σχεδιασμός των κτηρίων τόσο για τη χειμερινή, όσο και για τη θερινή περίοδο.

Η θερμική λειτουργία των κτηρίων, την οποία εξυπηρετεί ο σχεδιασμός και η κατασκευή, είναι μια δυναμική κατάσταση που άμεσα εξαρτάται από τις τοπικές κλιματικές και περιβαλλοντικές παραμέτρους (ηλιοφάνεια, θερμοκρασία εξωτερικού αέρα, σχετική υγρασία, άνεμο, βλάστηση, κ.τ.λ.), την παράδοση και τον πολιτισμό.

Η βιοκλιματική αρχιτεκτονική αναφέρεται στο σχεδιασμό κτηρίων με βάση το κλίμα της περιοχής, έχοντας ως στόχο την επίτευξη συνθηκών άνεσης, με όσο το δυνατόν καλύτερη εκμετάλλευση των φυσικών χαρακτηριστικών του κλίματος, και τη μείωση στο ελάχιστο της χρήσης τεχνητών μέσων για θέρμανση, δροσισμό, αερισμό, φωτισμό. Ακόμη και αν δεν είναι εφικτή η επίτευξη συνθηκών άνεσης με καθαρά φυσικούς τρόπους, ο βιοκλιματικός σχεδιασμός στοχεύει σε μικρή παρέμβαση με τεχνητά μέσα για να δημιουργηθούν συνθήκες άνεσης, προσφέροντας σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας με θετικές επιπτώσεις τόσο στην οικονομία, όσο και στο περιβάλλον.

Κατά το βιοκλιματικό σχεδιασμό λαμβάνονται υπόψη ο σωστός προσανατολισμός, το μέγεθος και η μορφή του κτηρίου, ο γενικότερος πολεοδομικός σχεδιασμός (γειτνίαση με άλλα κτήρια ή εμπόδια για την ηλιακή ακτινοβολία και τον αέρα), η ύπαρξη δέντρων, η χωροθέτηση των κατάλληλων ανοιγμάτων και υαλοπινάκων, η θερμομόνωση, κ.τ.λ.

Στη *χειμερινή περίοδο*, ο βιοκλιματικός σχεδιασμός αποσκοπεί:

- στην ελαχιστοποίηση των θερμικών απωλειών από το κέλυφος του κτηρίου και των θερμικών απωλειών από την είσοδο του ψυχρού εξωτερικού αέρα, επιτρέποντας μόνο τον απαραίτητο για λόγους υγιεινής αερισμό,
- στην αύξηση της θερμικής προσόδου από την ηλιακή ακτινοβολία, και
- στη διάθεση επαρκούς ποσοτικά και ποιοτικά φυσικού φωτισμού,

ώστε να μειωθεί έως και να μηδενιστεί η παρεχόμενη από συμβατικό σύστημα θέρμανση και να ελαττωθεί η χρήση του τεχνητού φωτισμού.

Αντίστοιχα, στην *θερινή περίοδο*, ο βιοκλιματικός σχεδιασμός στοχεύει:

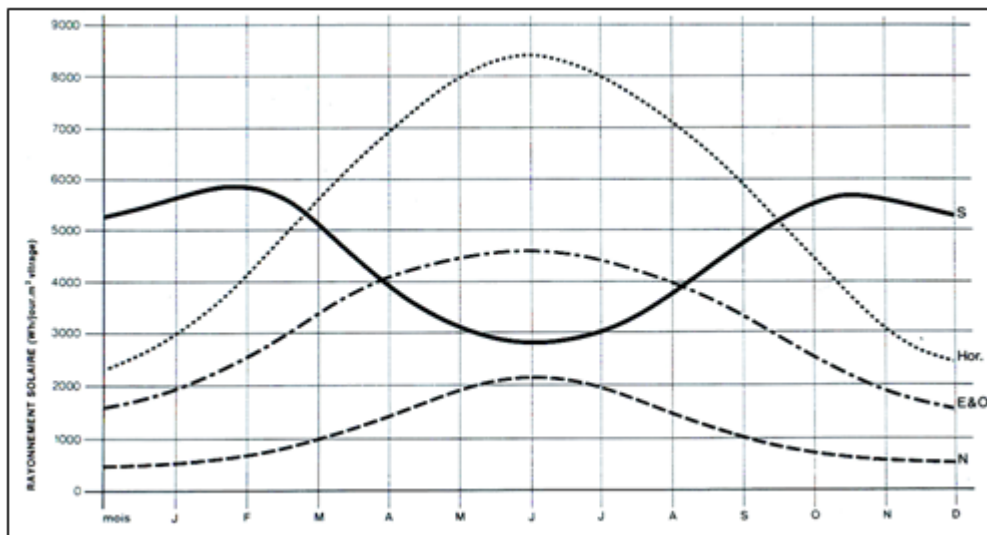
- στη μείωση της θερμικής επιβάρυνσης από την ηλιακή ακτινοβολία
- στην αποφυγή της οπτικής θάμβωσης και
- στη βελτιστοποίηση των διαφόρων μεθόδων φυσικού δροσισμού,

ώστε να ελαχιστοποιηθεί ή ακόμη και να αποτραπεί η παρεχόμενη ψύξη με το μηχανολογικό εξοπλισμό.

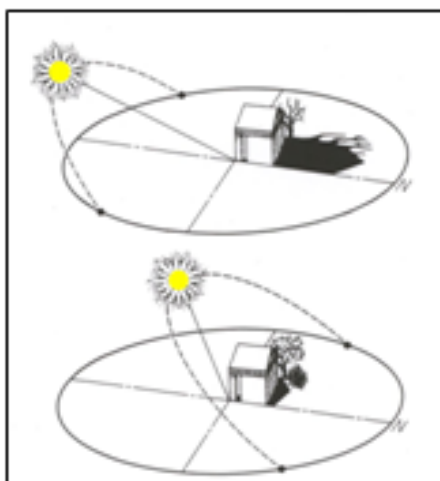
4.1. ΤΑ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΝΟΤΙΟΥ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ

Ο νότιος προσανατολισμός των ανοιγμάτων είναι ο ευνοϊκότερος ενεργειακά, διότι η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία είναι σχεδόν τριπλάσια σε σχέση με την προσπίπτουσα στον ανατολικό ή στο δυτικό προσανατολισμό, για την περίοδο του χειμώνα. Αντίστοιχα, κατά τη θερινή περίοδο η ηλιακή ακτινοβολία μειώνεται σχεδόν στο μισό για τη νότια προσανατολισμένη επιφάνεια σε σχέση με την ανατολική ή δυτική. (σχήμα 4.1.1) Επιπλέον, οι νότια προσανατολισμένες κατακόρυφες επιφάνειες δέχονται το χειμώνα την ηλιακή ακτινοβολία όλες τις ώρες της ημέρας με μικρές γωνίες πρόσπτωσης, ενώ το καλοκαίρι δέχονται την ακτινοβολία λίγες ώρες και με μεγάλες γωνίες

πρόσπτωσης. Το χειμώνα, ο ανατολικός ή ο δυτικός προσανατολισμός δέχεται ακτινοβολία λίγες ώρες το πρωί ή το απόγευμα αντίστοιχα, όταν δηλαδή οι ηλιακές ακτίνες έχουν μειωμένη ένταση λόγω της μεγάλης τους διαδρομής μέσα από την ατμόσφαιρα, ενώ το καλοκαίρι δέχονται περισσότερες ώρες την ακτινοβολία, εφόσον ο ήλιος ανατέλλει βορειοανατολικά και δύει βορειοδυτικά (σχήμα 4.1.2.).



Σχήμα 4.1.1 Ένταση της ημερήσιας προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας (W/m^2) σε επιφάνειες διαφορετικού προσανατολισμού ανά μήνα για περιοχή με γεωγραφικό πλάτος 40° Γ.Π. (αναπροσαρμογή από Mazria Ed., "The Passive Solar Energy Book", Rodale Press, Emmaus, Pa., 1979).



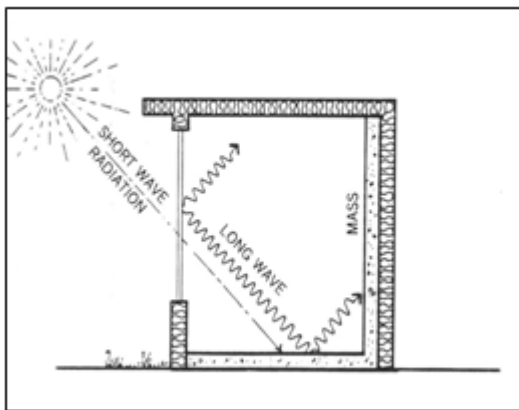
Σχήμα 4.1.2 Οι τροχιές του ήλιου το χειμώνα και το καλοκαίρι. Είναι εμφανής η διάρκεια ηλιασμού των διαφόρων προσανατολισμών.

4.2. Η ΣΥΛΛΟΓΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Η εκμετάλλευση της θερμότητας που προέρχεται από την ηλιακή ενέργεια βασίζεται στην ακτινοβολία που διέρχεται από τα διαφανή στοιχεία του κελύφους, εφόσον τα αδιαφανή στοιχεία του κελύφους (τοιχοποιίες και επιστεγάσεις) είναι θερμομονωμένα και η επίδραση της ακτινοβολίας που έχει ως συνέπεια την αύξηση της θερμοκρασίας των δομικών στοιχείων στα οποία προσπίπτει, περιορίζεται στην εξωτερική επιφάνεια του κελύφους.

Η θέρμανση του εσωτερικού χώρου ενός κτηρίου από την ηλιακή ενέργεια μπορεί να γίνει μόνο με τη διείσδυση της ακτινοβολίας από τα ανοίγματα με υαλοστάσια γι' αυτό και είναι σκόπιμο να υπάρχουν όσο το δυνατόν περισσότερα νότια ανοίγματα, τα οποία και δέχονται τη μεγαλύτερη ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας σε σχέση με τα ανοίγματα σε άλλο προσανατολισμό. Επιπλέον, με την ύπαρξη του διαφανούς υλικού δημιουργείται το «φαινόμενο του θερμοκηπίου» και η θερμότητα παραμένει στον εσωτερικό χώρο:

Το ορατό τμήμα του φάσματος της ηλιακής ακτινοβολίας, που ανάλογα με τη διαπερατότητα του διαφανούς υλικού διέρχεται στον εσωτερικό χώρο του κτηρίου, είναι μικρού μήκους κύματος (0,4-0,8 μm). Η ακτινοβολία προσπίπτει στα δομικά στοιχεία και τα αντικείμενα που βρίσκονται στον εσωτερικό χώρο και, αλλάζοντας μήκος κύματος, μετατρέπεται σε θερμική ακτινοβολία (ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος) και τα θερμαίνει. Η θερμότητα που έχει απορροφηθεί από τα σώματα που δέχθηκαν άμεσα την ηλιακή ακτινοβολία εκπέμπεται πλέον ως θερμική ακτινοβολία. Ο υαλοπίνακας και τα διαφανή εν γένει υλικά είναι αδιαπέραστα από τη μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία που εκπέμπεται από τα σώματα. Η προερχόμενη θερμότητα με αυτό τον τρόπο δεν μπορεί να διαπεράσει ως θερμική ακτινοβολία τον υαλοπίνακα και εγκλωβίζεται στον εσωτερικό χώρο. Η παγιδευμένη θερμότητα απορροφάται και από τα υπόλοιπα δομικά στοιχεία και κατόπιν μεταδίδεται στον εσωτερικό αέρα με αγωγή, συναγωγή και ακτινοβολία, συμβάλλοντας στη διαμόρφωση της εσωτερικής θερμοκρασίας του χώρου (σχήμα 4.2.1).



Σχήμα 4.2.1 Είσοδος της ηλιακής ακτινοβολίας στο χώρο, μετατροπή της σε θερμική ακτινοβολία και αποθήκευση στα δομικά στοιχεία

4.3. Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΜΑΖΑΣ

Η αποτελεσματική αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας προϋποθέτει ύπαρξη θερμικής μάζας στο εσωτερικό του κτηρίου για να αποθηκευτεί η θερμότητα που αποκτήθηκε. Το πιο πρόσφορο μέσο για την αποθήκευση της θερμότητας αποτελούν τα υλικά με υψηλή θερμοχωρητικότητα, όπως ορισμένα οικοδομικά υλικά (πέτρα, σκυρόδεμα, πλίνθοι, κεραμικά πλακίδια, μάρμαρο) ή νέας τεχνολογίας υλικά, όπως τα υλικά αλλαγής φάσης (PCM - phase change materials).

Η αποθήκευση της θερμότητας στα δομικά στοιχεία προϋποθέτει ότι η θερμομόνωση του κελύφους έχει τοποθετηθεί εξωτερικά στα δομικά στοιχεία ή και ενδιάμεσα, εάν δεν είναι ολόσωμη κατασκευή. Η εσωτερική θερμομόνωση εξουδετερώνει τη δυνατότητα του στοιχείου να αποθηκεύσει θερμότητα.

Ένα δομικό στοιχείο αποθηκεύει τη θερμότητα που προέρχεται από την ηλιακή ακτινοβολία με τρεις τρόπους:

- Το στοιχείο εκτίθεται άμεσα στην ηλιακή ακτινοβολία και αποτελεί την κύρια θερμική αποθήκη. Η απευθείας πρόσπτωση της ακτινοβολίας στο στοιχείο αντιπροσωπεύει την αποδοτικότερη μέθοδο για τη θερμική του φόρτιση.
- Το δομικό στοιχείο δέχεται θερμική ακτινοβολία που εκπέμπεται από την άμεσα ηλιαζόμενη περιοχή του κτηρίου, με την οποία έχει «οπτική επαφή», όπως η οροφή ενός χώρου, του οποίου το δάπεδο δέχεται άμεση ηλιακή ακτινοβολία.
- Το δομικό στοιχείο θερμαίνεται με μεταφορά θερμότητας διά μέσου της κίνησης του αέρα που θερμάνθηκε. Είναι ο λιγότερο αποδοτικός τρόπος φόρτισης ενός στοιχείου θερμικής αποθήκευσης, αλλά μ' αυτόν τον τρόπο μπορεί η θερμότητα να μεταφερθεί και σε απομακρυσμένα σημεία του κτηρίου.

Η αποταμιευμένη θερμότητα αποδίδεται στον εσωτερικό χώρο με χρονική υστέρηση, δηλαδή το βράδυ που η εσωτερική θερμοκρασία έχει μειωθεί.

Παράλληλα, η ύπαρξη θερμικής μάζας συμβάλλει στην αποτροπή της υπερθέρμανσης κατά την καλοκαιρινή περίοδο. Η πλεονάζουσα θερμότητα, που προέρχεται από τα ηλιακά κέρδη ή από την υψηλή θερμοκρασία του περιβάλλοντος, αποθηκεύεται στα βαριά δομικά στοιχεία και αποδίδεται σταδιακά τις βραδινές ώρες, κατά τις οποίες η θερμοκρασία του εξωτερικού και εσωτερικού περιβάλλοντος είναι χαμηλή. Οι ιδιότητες των υλικών, όσον αφορά στη δυνατότητά τους να αποθηκεύουν θερμότητα και η διαδικασία υπολογισμού της θερμοχωρητικότητας αναλύεται στις τεχνικές οδηγίες του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας, Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010 «Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτηρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης» και Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2/2010 «Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτηρίων».

4.4. Η ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΤΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ ΣΤΟ ΟΙΚΟΠΕΔΟ ΚΑΙ Η ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ

Το σωστότερο από ενεργειακή άποψη σχήμα ενός κτηρίου είναι εκείνο που εμφανίζει το χειμώνα τις μικρότερες θερμικές απώλειες και το μεγαλύτερο ηλιακό κέρδος, ενώ το καλοκαίρι τη μικρότερη δυνατή θερμική επιβάρυνση από την ηλιακή ακτινοβολία. Το κλίμα ενός τόπου παίζει καθοριστικό ρόλο στην επιλογή του βέλτιστου σχήματος. Για ένα συγκεκριμένο όγκο, το συμπαγές σχήμα εμφανίζει τις μικρότερες θερμικές απώλειες το χειμώνα. Όμως το κτήριο τετράγωνης κάτοψης δεν είναι η καλύτερη λύση για όλες τις περιοχές: για τα ψυχρά κλίματα βέλτιστη λύση αποτελούν τα κτήρια

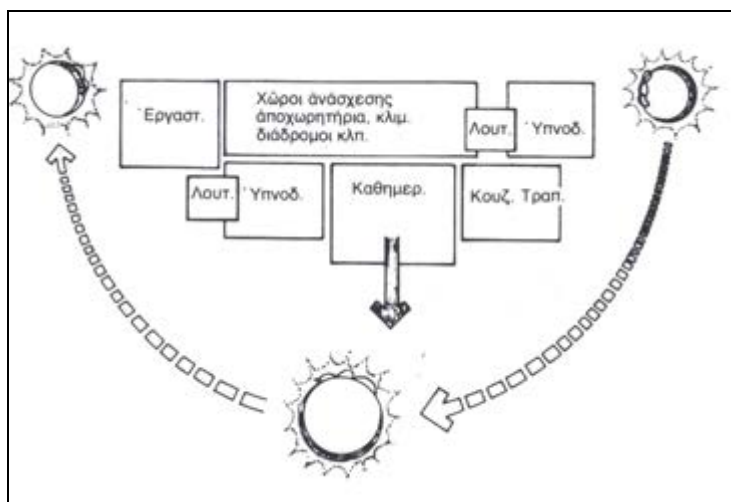
κυβικής μορφής, ενώ για τα εύκρατα κλίματα, τα επιμηκυμένα κτήρια στον άξονα Α-Δ και με μεγαλύτερη ελευθερία για την εκλογή της μορφής.

Η τοποθέτηση του κτηρίου, όταν υπάρχει η δυνατότητα, πρέπει να γίνεται στην πίσω βορινή πλευρά του οικοπέδου, αφήνοντας περισσότερο ελεύθερο υπαίθριο χώρο προς το νότο και δημιουργώντας νότια όψη με απρόσκοπτο ηλιασμό. Προσοχή χρειάζεται η χωροθέτηση σε σχέση με τα γειτονικά κτήρια, ώστε να αποφευχθεί η σκίαση από αυτά, κυρίως στη σημαντική νότια πλευρά.

Κατά συνέπεια η κύρια όψη του κτηρίου θα πρέπει να είναι στραμμένη προς τον νότο. Η μέγιστη δυνατή απόκλιση ανατολικά ή δυτικά, ώστε να μην εξαλειφθούν τα πλεονεκτήματα του νότιου προσανατολισμού, είναι περίπου 30° , επειδή δεν είναι δυνατό πάντα να κατασκευαστεί ένα κτήριο με τον απόλυτα νότιο προσανατολισμό. Το πρόβλημα που προκύπτει, είναι ότι συνήθως η δόμηση στις αστικές περιοχές γίνεται παράπλευρα οδικών αξόνων με κατεύθυνση βορρά - νότου ή ανατολής - δύσης, οπότε μόνο ένα μικρό ποσοστό των κτηρίων μπορεί να κατασκευασθεί με νότιο προσανατολισμό.

Οι εσωτερικοί χώροι πρέπει να χωροθετηθούν, λαμβάνοντας υπόψη εκτός των λειτουργικών απαιτήσεων και τις μικροκλιματικές συνθήκες που επικρατούν στις πλευρές του κτηρίου, ώστε ανάλογα με τη χρήση να επιτυγχάνονται οι κατάλληλες συνθήκες θερμικής και οπτικής άνεσης με την ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας.

Η βόρεια πλευρά παραμένει η πιο ψυχρή, διότι δεν δέχεται άμεση ηλιακή ακτινοβολία και διότι οι χειμερινοί άνεμοι έχουν συνήθως βορινή κατεύθυνση. Η ανατολική και δυτική πρόσοψη δέχεται ίση ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας, αλλά η δυτική παραμένει πιο ζεστή εξαιτίας του συνδυασμού ηλιακής ακτινοβολίας και υψηλών μεσημβρινών θερμοκρασιών του αέρα. Η νότια πλευρά είναι η φωτεινότερη και η πιο ζεστή και δέχεται ηλιακή ακτινοβολία στη διάρκεια όλης της ημέρας, (σχήμα 4.4.1.).



Σχήμα 4.4.1 Διάταξη των χώρων μιας ενεργειακά σωστής κατοικίας.

Οι χώροι, στους οποίους οι κάτοικοι περνούν αρκετές ώρες της ημέρας, πρέπει να βρίσκονται στη νότια πλευρά του κτηρίου (σαλόνια, τραπεζαρίες, καθιστικά). Ακόμη και οι χώροι εργασίας ή τα αναγνωστήρια - γραφεία προτείνεται να τοποθετηθούν στη νότια πλευρά, διότι λόγω των μεγάλων ανοιγμάτων που υπάρχουν για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας παρέχεται περισσότερος φυσικός φωτισμός, αρκεί να ληφθούν τα ανάλογα μέτρα για την αποφυγή της θάμβωσης.

Στην πιο κρύα, βορινή πλευρά τοποθετούνται βοηθητικοί χώροι που δεν έχουν μεγάλες απαιτήσεις για θέρμανση και φωτισμό, όπως αποθήκες και χώροι στάθμευσης αυτοκινήτων. Αυτοί οι χώροι λειτουργούν και ως ζώνες θερμικής προστασίας για τους κύριους χώρους. Η τεχνική της τοποθέτησης

αυτών των χώρων στο βορρά ήταν γνωστή από παλιά. Στην αγροτική κατοικία ήταν ο στάβλος, η αποθήκη σιτηρών και άχυρων και στην αστική κατοικία το κελάρι και οι χώροι υγιεινής. Τα δωμάτια που χρησιμοποιούνται λιγότερες ώρες της ημέρας, ή άλλοι χώροι με μικρές απαιτήσεις σε θερμότητα, τοποθετούνται στην ενδιάμεση ζώνη του κτηρίου. (σχήμα 4.4.1.)

Σημαντικό ρόλο παίζει και το σχήμα του κτηρίου. Η επιμήκης μορφή κατά τον άξονα ανατολής - δύσης, ώστε να αναπτυχθεί η μεγαλύτερη πλευρά με τα περισσότερα ανοίγματα προς το νότο, είναι το ιδανικό σχήμα για το βιοκλιματικό σχεδιασμό. Λιγότερο αποτελεσματικά είναι τα επιμήκη κτήρια κατά τον άξονα βορρά - νότου.

4.5. ΤΟ ΚΕΛΥΦΟΣ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ

Για την επιτυχή εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, η διαμόρφωση του κελύφους του κτηρίου πρέπει να είναι τέτοια, που να επιτρέπει *τη μέγιστη συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας, τη μέγιστη δυνατότητα για την αποθήκευση της θερμικής ενέργειας και τις ελάχιστες θερμικές απώλειες προς το εξωτερικό περιβάλλον.*

Δηλαδή, η εφαρμογή στρατηγικών εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας προϋποθέτει την ύπαρξη αφενός μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας (θερμομόνωση, αεροστεγανότητα προστασία κτηρίου από δυσμενείς χειμερινούς ανέμους, μορφή κτηρίου, σκίαση από παρόδια κτήρια και εξωτερικά εμπόδια κ.τ.λ.), και αφετέρου τη χρήση υλικών με μεγάλη μάζα, ικανά να συγκρατήσουν και να αποθηκεύσουν τη συλλεχθείσα θερμότητα. Τα σχετικά με τις θερμομονωτικές ιδιότητες των υλικών αναφέρονται στην τεχνική οδηγία του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας, Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2/2010 «Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτηρίων».

5. ΗΛΙΑΚΑ ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης αποτελούν βασικό στοιχείο του βιοκλιματικού σχεδιασμού, διότι βελτιώνουν την ενεργειακή απόδοση των κατασκευών. Είναι στοιχεία και κατασκευές (ειδικά υαλοστάσια, τοίχοι θερμικής αποθήκευσης, θερμοκήπια, αεροσυλλέκτες, κ.τ.λ.,) που ενσωματώνονται μορφολογικά και κατασκευαστικά στη δομή του κτηρίου, ώστε να επιτυγχάνεται συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας και αποθήκευση της θερμότητας που προέρχεται από την ηλιακή ακτινοβολία. Η μετάδοση της θερμότητας προς τους χώρους που προβλέπεται να θερμανθούν γίνεται με φυσικό τρόπο, δηλαδή με αγωγή, μεταφορά και ακτινοβολία της θερμότητας.

Η λειτουργία των παθητικών ηλιακών συστημάτων για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας προϋποθέτει ένα σωστά ενεργειακά σχεδιασμένο κτήριο, σύμφωνα με τις αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού που ήδη αναπτύχθηκαν. Ιδιαίτερα η διαμόρφωση του κελύφους του κτηρίου πρέπει να είναι τέτοια, που να επιτρέπει τη μέγιστη συλλογή της ηλιακής ενέργειας, τη μέγιστη δυνατότητα για την αποθήκευση της θερμικής ενέργειας και τις ελάχιστες θερμικές απώλειες προς το εξωτερικό περιβάλλον.

Η λειτουργία των παθητικών ηλιακών συστημάτων στηρίζεται στο «φαινόμενο του θερμοκηπίου» για τη συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας, στη θερμοχωρητικότητα των υλικών για την αποθήκευση της θερμότητας και στους βασικούς νόμους της θερμοδυναμικής για τη μεταφορά της θερμότητας από τη συλλογή στην αποθήκη και στο χώρο που θα θερμανθεί.

Κρίσιμο στοιχείο για την απόδοσή τους αποτελεί η συμπεριφορά τους στη θερινή περίοδο. Ο έλεγχος της απόδοσης του συστήματος πρέπει να γίνεται σε ετήσια βάση, διότι, για παράδειγμα, υπερθέρμανση το καλοκαίρι μπορεί να ακυρώσει το όφελος της εφαρμογής.

Για τη βελτιστοποίηση της απόδοσής τους είναι απαραίτητη η συμμετοχή του χρήστη. Ο χρήστης καθορίζει το πρότυπο της ενεργειακής κατανάλωσης και με τον καθημερινό τρόπο ζωής και δράσης του διαμορφώνει το κατάλληλο περιβάλλον για την ενεργειακή συμπεριφορά του κτηρίου. Ο συνειδητοποιημένος χρήστης θα πρέπει να χειρίζεται τις κινητές διατάξεις, για τη μεγιστοποίηση της απόδοσής τους. Πολλές φορές απαιτείται συνδυασμός διαφόρων χειρισμών.

Η περαιτέρω αποδοτική λειτουργία του κτηρίου βασίζεται στη μετατροπή των συστημάτων ελέγχου της ενεργειακής συμπεριφοράς του σε αυτόματα και εν συνεχεία σε "σκεπτόμενα συστήματα" και κατ' επέκταση των κτηρίων σε "έξυπνα κτήρια". Ο ψηφιακός έλεγχος είναι συνήθως βασική παράμετρος για τη βελτιστοποίηση του συστήματος και το ύστατο μέτρο που διαθέτουμε για τον έλεγχο της απόδοσης και τη δημιουργία συνθηκών θερμικής άνεσης με παθητικά μέσα.

5.1. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΗΛΙΑΚΩΝ ΠΑΘΗΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

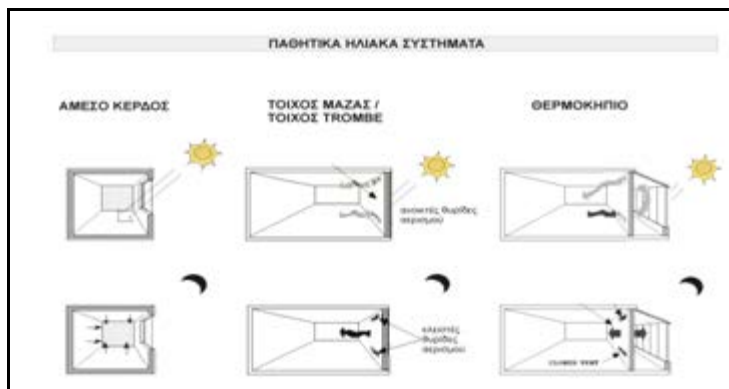
Η επικρατέστερη μέθοδος ταξινόμησης στηρίζεται στη συσχέτιση των στοιχείων συλλογής και αποθήκευσης της θερμότητας με το χώρο που θερμαίνεται. Διακρίνονται τρεις κατηγορίες:

- **Άμεση ηλιακή πρόσδοος:** Η συλλογή, αποθήκευση και μετάδοση της θερμότητας γίνεται μέσα στο χώρο, για τον οποίο έχει σχεδιαστεί το σύστημα. Το ηλιακό παθητικό σύστημα αποτελεί μέρος του κελύφους.
- **Έμμεση ηλιακή πρόσδοος:** Η συλλογή και αποθήκευση γίνεται σε ειδικά διαμορφωμένο χώρο του κελύφους, ο οποίος εφάπτεται στο χώρο που προβλέπεται να θερμανθεί.
- **Απομονωμένη ηλιακή πρόσδοος:** Το στοιχείο συλλογής βρίσκεται μακριά από την αποθήκη θερμότητας και το χώρο που πρόκειται να θερμανθεί. Σ' αυτήν την περίπτωση

δημιουργείται ένα σύστημα –μηχανισμός μεταφοράς της θερμότητας από τη συλλογή στην αποθήκευση και έπειτα στο θερμαινόμενο χώρο.

Υπάρχει πληθώρα ηλιακών παθητικών συστημάτων και καθότι το σύστημα δε είναι κλειστό, μπορούν να συνδυαστούν χαρακτηριστικά από διάφορα συστήματα και να προκύψουν διαφορετικές μορφές και λειτουργίες ηλιακών παθητικών συστημάτων.

Παρακάτω θα αναφερθούν οι βασικοί τύποι παθητικών ηλιακών συστημάτων: το άμεσο κέρδος, ο τοίχος θερμικής αποθήκευσης και το προσαρτημένο θερμοκήπιο (σχ. 5.1.1.), διότι είναι αυτά που περισσότερο προσφέρονται για εφαρμογή στις ελληνικές κλιματικές συνθήκες και κατασκευαστική πρακτική.



Σχήμα 5.1.1. Οι βασικοί τύποι παθητικών ηλιακών συστημάτων

5.2. ΑΜΕΣΗ ΗΛΙΑΚΗ ΠΡΟΣΟΔΟΣ: ΜΕΓΑΛΑ ΝΟΤΙΑ ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ-ΠΑΘΗΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ «ΑΜΕΣΟΥ ΚΕΡΔΟΥΣ»

Ο πιο συνηθισμένος και απλός τρόπος εκμετάλλευσης της ηλιακής ακτινοβολίας για τη θέρμανση του κτηρίου είναι η δέσμευσή της μέσα από τα γυάλινα ανοίγματα και εν γένει διαφανή στοιχεία του κελύφους και η αποθήκευση της θερμότητας στη μάζα των δομικών του στοιχείων. Στην περίπτωση αυτή το κτήριο λειτουργεί ως συλλέκτης, αποθήκη και διανομέας της θερμότητας.

Για να είναι αποδοτικό το σύστημα θα πρέπει η σύζευξη του θερμαινόμενου χώρου και των υαλοστασίων να επιτρέπει την ακτινοβολία να διεισδύσει σε σημαντικό τμήμα του χώρου, προσπίπτοντας σε μεγάλη επιφάνεια δομικών στοιχείων, ώστε να διατεθεί ικανοποιητική ποσότητα πρωτεύουσας θερμικής μάζας για την αποθήκευση της θερμότητας.

Επίσης βασική προϋπόθεση για τη λειτουργία του συστήματος του άμεσου κέρδους, όπως και των άλλων συστημάτων παθητικής θέρμανσης, αποτελεί η ικανοποιητική θερμομόνωση του κελύφους, ώστε η θερμότητα που θα συλλεγεί να μη διαφεύγει στο περιβάλλον.

Όσον αφορά στα υαλοστάσια, αεροστεγανότητα, καλά θερμομονωμένο πλαίσιο, διπλός υαλοπίνακας ή σε ειδικές περιπτώσεις ειδικό θερμομονωτικό υαλοπίνακες ή υαλοπίνακες χαμηλής εκπεμπικότητας συμβάλλουν σε θετικό θερμικό ισοζύγιο. Το θερμικό όφελος από την ηλιακή ακτινοβολία πρέπει να υπερκαλύπτει τις θερμικές απώλειες από το άνοιγμα.

Ειδικότερα, οι παράγοντες που καθορίζουν τη λειτουργία του συστήματος είναι:

- **Η θέση και ο προσανατολισμός των υαλοστασίων:** Με βάση την αρχή ότι η ηλιακή ακτινοβολία πρέπει να μπαίνει στο κτήριο το χειμώνα και να κρατιέται μακριά το καλοκαίρι,

καθοριστικά στοιχεία για την απόδοση είναι ο προσανατολισμός του ανοίγματος και η ηλιοπροστασία του.

Νότια ανοίγματα ή με απόκλιση έως 30° προς την ανατολή ή τη δύση δέχονται τη μεγαλύτερη ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας το χειμώνα και μικρές ποσότητες το καλοκαίρι, όπως ήδη έχει αναπτυχθεί διεξοδικά στα προηγούμενα κεφάλαια. Επομένως, μεγάλα νότια ανοίγματα στις όψεις, φεγγίτες ή ανοίγματα οροφής ή πριονωτές στέγες με νότιο προσανατολισμό, είναι το χαρακτηριστικό στοιχείο του παθητικού ηλιακού συστήματος του άμεσου κέρδους (σχήμα 5.2.1.).

- **Το μέγεθος των υαλοστασίων:** Όσο μεγαλύτερο είναι το άνοιγμα τόσο μεγαλύτερη και η ηλιακή πρόσδοος. Εάν όμως το άνοιγμα δεν συνοδεύεται από νυχτερινή κινητή θερμομόνωση (ειδικά θερμομονωμένα φύλλα ασφαλείας ή ακόμη και συμβατικά ρολά), μπορεί να αποδώσει αρνητικά, καθώς επιτρέπει αυξημένες θερμικές απώλειες τη νύχτα. Η συμμετοχή του χρήστη είναι απαραίτητη για τη συστηματική εφαρμογή της νυχτερινής κινητής μόνωσης. Επίσης η χρήση συστημάτων αυτόματου ελέγχου με θερμοστάτη ή χρονοδιακόπτη για τη λειτουργία της κινητής μόνωσης των ανοιγμάτων μπορεί να αντικαταστήσει τη συμμετοχή του χρήστη, ιδιαίτερα σε κτήρια του τριτογενούς τομέα.

Διαστασιολογώντας τα υαλοστάσια του άμεσου κέρδους θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η συνεισφορά τους στο φυσικό φωτισμό, ώστε να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις των χρηστών. Συγχρόνως τα μεγάλα ανοίγματα δημιουργούν κίνδυνο θαμπώματος και μείωση της ιδιωτικότητας.

Η ορθολογική χωροθέτηση, διαστασιολόγηση και προστασία των ανοιγμάτων και συγχρόνως η αύξηση της λαμπρότητας των περιβαλλουσών επιφανειών του φωτιζόμενου χώρου απομακρύνει τον κίνδυνο της θάμβωσης και της οπτικής όχλησης.

- **Η ηλιοπροστασία των υαλοστασίων:** Ο συνδυασμός εξωτερικών και εσωτερικών ηλιοπροστατευτικών διατάξεων πρέπει να διασφαλίζει αποτελεσματικό ηλιακό έλεγχο. Όσο πιο μεγάλη είναι η επιφάνεια των μη ηλιοπροστατευμένων ανοιγμάτων –ή δεν είναι σωστά διαστασιολογημένη–, τόσο μεγαλύτερη είναι η θερμική επιβάρυνση των χώρων από την ηλιακή ακτινοβολία και κατά συνέπεια ο κίνδυνος υπερθέρμανσης κατά την καλοκαιρινή περίοδο.

Νότια ανοίγματα εύκολα ηλιοπροστατεύονται με οριζόντια προστεγάσματα.

Είναι σημαντικό να γνωρίζουμε ότι τα σκίαστρα που βρίσκονται στην εξωτερική πλευρά του ανοίγματος είναι προτιμότερα, από την άποψη ότι το μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ενέργειας δεν εισέρχεται στο κτήριο. Από την άλλη όμως πρέπει να είναι κατασκευές αδιάβροχες, με αντοχή σε ισχυρούς ανέμους και συνήθως απαιτούν πιο ειδικό μηχανισμό εξοπλισμό.

Επίσης η διάτρητη ηλιοπροστασία είναι πιο αποτελεσματική από τη συμπαγή, εφόσον δεν εγκλωβίζει θερμό αέρα και δεν επιβαρύνει θερμικά τις όψεις των κτηρίων.

Ακόμη, η χρήση δέντρων και ιδιαίτερα φυλλοβόλων μπροστά από τα ανοίγματα είναι μια οικολογική τεχνική, που εξασφαλίζει ηλιασμό το χειμώνα και ηλιοπροστασία το καλοκαίρι, διασφαλίζοντας συγχρόνως ψύξη με την εξατμισοδιαπνοή και διόδους αέρα για φυσικό αερισμό και δροσισμό κατά τις θερμές περιόδους.

- **Η επιλογή του υαλοπίνακα:** η διαπερατότητα, η ανακλαστικότητα και η απορροφητικότητα του διαφανούς υλικού στην ηλιακή ακτινοβολία και η αντοχή του στις κλιματικές μεταβολές είναι καθοριστικά κριτήρια επιλογής.

Όσο μεγαλύτερη διαπερατότητα στην ηλιακή ακτινοβολία εμφανίζει ο υαλοπίνακας, τόσο αυξάνεται η απόδοση του συστήματος.

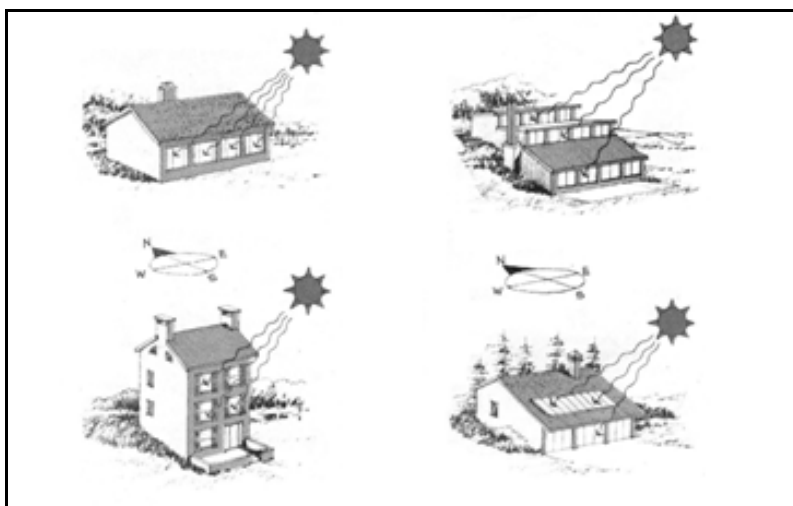
Επίσης ανάλογα και με τη θέση των στοιχείων για τη θερμική αποθήκευση μπορεί να χρησιμοποιηθούν διαφανή υλικά που διαχέουν την ακτινοβολία, σε αντίθεση με το καθαρό γυαλί, ώστε να αποθηκευτεί η θερμότητα σε κάθε δομικό στοιχείο που περικλείει το χώρο.

- **Η θέση και η ποσότητα της μάζας θερμικής αποθήκευσης:** Ο ρόλος της θερμικής μάζας είναι να αποθηκεύσει τη θερμότητα που συλλέχθηκε από την ηλιακή ακτινοβολία κατά τις ώρες της ηλιοφάνειας, ώστε να αξιοποιηθεί τη νύχτα ή σε περιόδους νέφωσης. Επίσης ο ρόλος της είναι να συμβάλλει στην ομαλή διακύμανση της θερμοκρασίας σε ημερήσια βάση, εφόσον με την απορρόφηση της θερμότητας στη διάρκεια της ημέρας καθυστερεί την άνοδο της θερμοκρασίας του αέρα, ενώ με την αποφόρτισή της στη διάρκεια της νύχτας συμβάλλει στην καθυστέρηση της πτώσης της θερμοκρασίας του αέρα.

Όπως προαναφέρθηκε, η αποτελεσματικότητά της αυξάνεται, όταν δέχεται απευθείας την ηλιακή ακτινοβολία. Τα δομικά στοιχεία του κτηρίου που είναι κατασκευασμένα από βαριά υλικά (σκυρόδεμα, πλίνθους συμπαγείς ή διάτρητες, φυσικούς λίθους ή τα υλικά επένδυσης (λίθοι, μάρμαρο, κεραμικά πλακίδια, κ.τ.λ.) ή οικοδομικά υλικά με πρόσμεικτα υλικά αλλαγής φάσης (PCM), δηλαδή υλικά με μεγάλη θερμοχωρητικότητα, αποτελούν τη θερμική αποθήκη.

Ο ελληνικός τρόπος κατασκευής ευνοεί την εφαρμογή του συστήματος του άμεσου κέρδους, αρκεί η θερμομονωτική στρώση να μην τοποθετείται εσωτερικά, διότι τότε μηδενίζεται η δυνατότητα αποθήκευσης της θερμότητας στο δομικό στοιχείο. Επίσης, επειδή στην ημερήσια φόρτιση και αποφόρτιση της θερμικής μάζας συμμετέχουν τα πρώτα 9-12 cm από τη διατομή του δομικού στοιχείου, η εφαρμογή θερμομόνωσης στον πυρήνα των τοιχοποιιών δεν μειώνει τη δυνατότητα εκμετάλλευσης της θερμικής μάζας της τοιχοποιίας.

Η ελάχιστη επιφάνεια της θερμικής αποθήκης που απαιτείται για τη λειτουργία του συστήματος του άμεσου κέρδους, ανεξάρτητα από το πάχος της, υπολογίζεται ότι θα πρέπει να είναι περίπου 6 φορές η επιφάνεια των υαλοστασίων του χώρου (Givoni, 1998, σ. 156).



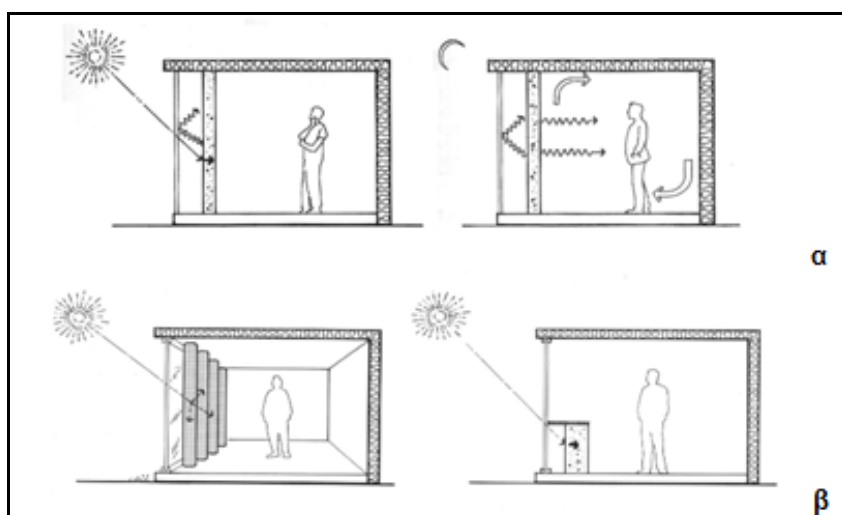
Σχήμα 5.2.1. διάφορες διατάξεις ανοιγμάτων άμεσου κέρδους

5.3. ΕΜΜΕΣΗ ΗΛΙΑΚΗ ΠΡΟΣΟΔΟΣ: ΤΟΙΧΟΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ Ή ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗΣ

Η συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας και η αποθήκευση της θερμότητας γίνεται στο νότιο τοίχο του κτηρίου που είναι κατάλληλα διαμορφωμένος. Ο τοίχος είναι κατασκευασμένος από υλικά με μεγάλη θερμοχωρητικότητα, η εξωτερική του επιφάνεια είναι βαμμένη με σκούρο χρώμα για τη μεγιστοποίηση της απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας και μπροστά από την εξωτερική του πλευρά και σε μικρή απόσταση από αυτήν υπάρχει υαλοστάσιο για τη δέσμευση της ακτινοβολίας. (σχ. 5.3.1.) Το κύριο χαρακτηριστικό του είναι ότι δεν είναι θερμομονωμένος. Μια παραλλαγή του τοίχου είναι ο τοίχος με θυρίδες ή τοίχος Trombe

Η ηλιακή ακτινοβολία που εισέρχεται από το διαφανές στοιχείο μετατρέπεται σε θερμότητα στο χώρο μεταξύ του υαλοστασίου και του τοίχου και αποθηκεύεται ως θερμική ενέργεια στον τοίχο. Από εκεί μεταδίδεται με αγωγιμότητα, με ακτινοβολία ή και με μεταφορά, ανάλογα με την κατασκευή του συστήματος, στο χώρο. Ταυτόχρονα, το διαφανές υλικό και σε ορισμένες περιπτώσεις επιπρόσθετα και το ακίνητο στρώμα αέρα μεταξύ τοίχου και υαλοστασίου λειτουργούν ως μονωτικό στρώμα για τη μείωση των θερμικών απωλειών από το θερμό τοίχο προς το εξωτερικό ψυχρό περιβάλλον.

Δηλαδή ο τοίχος λειτουργεί ως συλλέκτης, αποθήκη και διανομέας της θερμότητας. Σύμφωνα με τον ελληνικό Κανονισμό Ενεργειακή Απόδοσης Κτηρίων (Κ.Εν.Α.Κ.), η συμμετοχή του τοίχου θερμικής αποθήκευσης, στον υπολογισμό του φορτίου θέρμανσης και ψύξης του κτηρίου γίνεται έμμεσα. Δεν υπολογίζονται τα ηλιακά κέρδη, επειδή δεν έχει προβλεφθεί η σχετική διαδικασία στο λογισμικό αλλά ενώ ο τοίχος είναι χωρίς θερμομόνωση υπεισέρχεται ως θερμομονωμένο στοιχείο. Στους υπολογισμούς λαμβάνεται υπόψη ότι η επιφάνεια του παθητικού συστήματος είναι μια συμβατική αδιαφανής επιφάνεια, με συντελεστή θερμοπερατότητας U_{V-W} ($W/(m^2 \cdot K)$) ίσο με το μέγιστο επιτρεπτό για την αντίστοιχη θερμική ζώνη. Για τον έλεγχο θερμικής επάρκειας ο συντελεστής θερμοπερατότητας U_{V-W} υπεισέρχεται στον υπολογισμό του U_m αυτούσιος (συντελεστής 1,0), ενώ για την ενεργειακή μελέτη (εισαγωγή δεδομένων στο λογισμικό) υπεισέρχεται με το ήμισυ της τιμής (πολλαπλασιασμένος με μειωτικό συντελεστή 0,5). Τα υπόλοιπα τεχνικά χαρακτηριστικά, δηλαδή συντελεστής σκίασης, απορροφητικότητα και συντελεστής εκπομπής στη θερμική ακτινοβολία λαμβάνονται όπως οι αδιαφανείς επιφάνειες του κτηρίου αναφοράς.



Σχήμα 5.3.1 Τοίχος θερμικής αποθήκευσης: α) με υλικά τοιχοποιίας, β) με νερό τοποθετημένο σε δοχεία: πλήρης τοίχος ή ποδιά παραθύρου

Η απόδοση του τοίχου εξαρτάται από:

- **Το υλικό κατασκευής και το πάχος του τοίχου.** Όσο μεγαλύτερη πυκνότητα έχει το υλικό κατασκευής για να αποθηκεύει τη θερμότητα και συγχρόνως υψηλή θερμική αγωγιμότητα για να επιτυγχάνεται η μετάδοση της θερμότητας, τόσο μεγαλύτερη είναι η απόδοση του τοίχου. Κατάλληλα υλικά είναι κυρίως το οπλισμένο σκυρόδεμα, οι λιθοδομές, οι συμπαγείς οπτόπλινθοι και οι συμπαγείς τσιμεντόλιθοι. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης το νερό τοποθετημένο σε κατάλληλα δοχεία, καθώς και οικοδομικά υλικά που περιέχουν υλικά αλλαγής φάσης (PCM) .

Η μετάδοση της θερμότητας από την εξωτερική επιφάνεια του τοίχου στην εσωτερική δεν γίνεται αμέσως αλλά με χρονική υστέρηση που εξαρτάται από το υλικό και το πάχος του τοίχου. Με την επιλογή δηλαδή του πάχους του τοίχου προσφέρεται η δυνατότητα να αποδοθεί η θερμότητα το βράδυ ή και να ελεγχθεί η διακύμανση της εσωτερικής θερμοκρασίας.

Για παράδειγμα, με το δεδομένο ότι σε ένα τοίχο από οπλισμένο σκυρόδεμα πάχους 30 cm παρατηρείται χρονική υστέρηση περίπου 9 ωρών, η εφαρμογή του σε ένα κτήριο κατοικίας δίνει τη δυνατότητα να αποδοθεί η μέγιστη θερμότητα (η οποία συλλέχθηκε το μεσημέρι) μετά από 9 ώρες, οπότε και είναι ευπρόσδεκτη.(Mazria, 1979).

Για να αυξηθεί η απόδοση του συστήματος πρέπει να αυξηθεί όσο το δυνατόν η δέσμευση της ηλιακής ακτινοβολίας. Σκούρα χρώματα με μεγάλη απορροφητικότητα με τα οποία βάφεται η εξωτερική επιφάνεια του τοίχου ή επιλεκτικές βαφές ή η εφαρμογή αδρής επιφάνειας συμβάλλουν στην αύξηση της δέσμευσης της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στον τοίχο.

- **Επιλογή υαλοστασίων:** στους τοίχους θερμικής αποθήκευσης, επειδή η ροή θερμότητας από το θερμό τοίχο πραγματοποιείται και προς το εξωτερικό περιβάλλον, χρησιμοποιούνται διπλοί υαλοπίνακες ή διαφανής θερμομόνωση.

Νυχτερινή κινητή μόνωση είναι απαραίτητη, εάν ο τοίχος αποτελείται από δοχεία με νερό και είναι επιθυμητή για τοίχο με υλικά τοιχοποιίας ιδίως εάν επιδιώκεται υψηλή απόδοση του συστήματος.

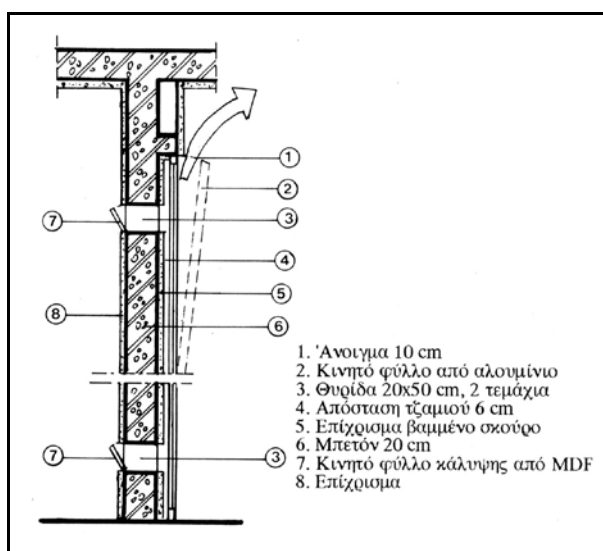
Κατά την καλοκαιρινή περίοδο η λειτουργία του τοίχου μάζας πρέπει να αποτραπεί για να αποφευχθεί η υπερθέρμανση. Η πλήρης σκίαση του υαλοστασίου είναι η πλέον αποτελεσματική μέθοδος. Η χρήση προστεγασμάτων δεν είναι η καταλληλότερη, διότι ενώ αποκόπουν την απευθείας ακτινοβολία, δεν εμποδίζουν τη διάχυτη και την ανακλώμενη. Κατάλληλα είναι κινητά στοιχεία που τοποθετούνται μπροστά από το υαλοστάσιο, όπως κατακόρυφη τέντα, ρολά κ.τ.λ.

Εναλλακτικά, με ανοίγματα στο υαλοστάσιο (φεγγίτες, θυρίδες, κ.τ.λ.), με τη δημιουργία ηλιακής καμινάδας απάγεται ο θερμός αέρας που συγκεντρώνεται μεταξύ του υαλοστασίου και του τοίχου, και ο τοίχος διατηρείται δροσερός.

- **Τοίχος Trombe:** Όταν ο τοίχος θερμικής αποθήκευσης είναι εξοπλισμένος με θυρίδες, δηλαδή με ανοίγματα στην κορυφή και τη βάση του, ώστε να επικοινωνεί ο αέρας που βρίσκεται ανάμεσα στον υαλοπίνακα και στον τοίχο με τον εσωτερικό χώρο, το σύστημα ονομάζεται τοίχος Trombe. Η θερμότητα από τον τοίχο που με την ίδια διαδικασία θερμαίνεται μεταδίδεται όχι μόνο με την αγωγιμότητα, τη μεταφορά και την ακτινοβολία από την εσωτερική πλευρά του τοίχου, αλλά και με τη θερμοσιφωνική κυκλοφορία του αέρα. Η μετάδοση της θερμότητας και με θερμοσιφωνική ροή επιτρέπει στον τοίχο Trombe να έχει ταχύτερη απόκριση για τη θέρμανση του χώρου, εφόσον ο αέρας του διακένου μόλις θερμανθεί

εισέρχεται στο χώρο από τις επάνω θυρίδες του τοίχου. Έχει υπολογιστεί ότι για έναν τοίχο από σκυρόδεμα πάχους 30 cm περίπου το 30% της συνολικής ροής ενέργειας γίνεται με θερμοσιφωνισμό και το υπόλοιπο 70% με αγωγή διά μέσου του τοίχου (Givoni 1998, σ. 163). (σχ.5.3.2.).

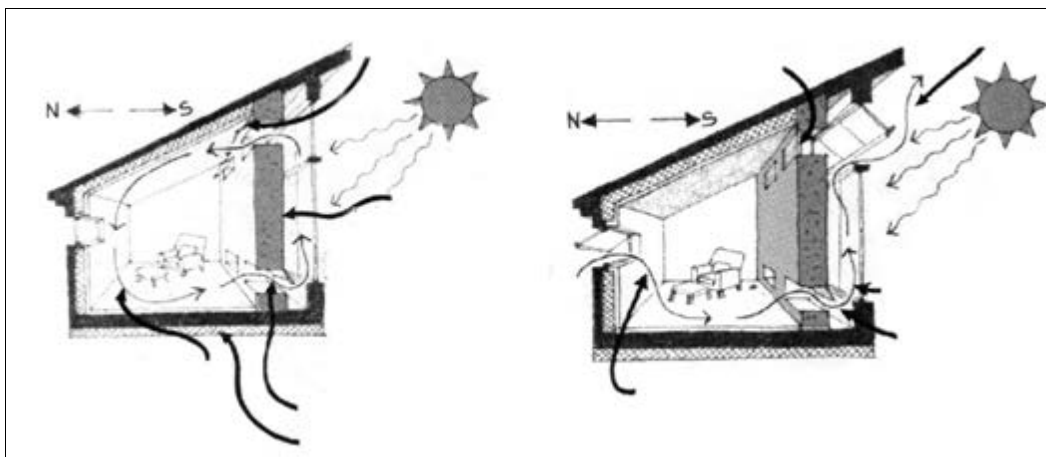
Βασική προϋπόθεση για τη λειτουργία του τοίχου αποτελεί το κλείσιμο των θυρίδων το βράδυ για να αποτραπεί η αντίστροφη κυκλοφορία του αέρα στο διάκενο. Με την τοποθέτηση κάποιου διαφράγματος (damper) στις κάτω ή στις επάνω θυρίδες εμποδίζεται ο αντίθετος θερμοσιφωνισμός, δηλαδή ο θερμός αέρας του χώρου να εισέλθει από τις επάνω θυρίδες στο διάκενο μεταξύ τοίχου και υαλοπίνακα, να ψυχθεί και να εξέλθει από τις κάτω θυρίδες, ψυχρός πλέον, στον εσωτερικό χώρο.



Σχήμα 5.3.2. Λεπτομέρεια λειτουργίας τοίχου Trombe

Οι υπόλοιπες ρυθμίσεις σχετικά με τη μείωση των θερμικών απωλειών, την ηλιοπροστασία και το δροσισμό του τοίχου θερμικής αποθήκευσης (χωρίς θυρίδες) που προαναφέρθηκαν, ισχύουν και στην περίπτωση του τοίχου Trombe .

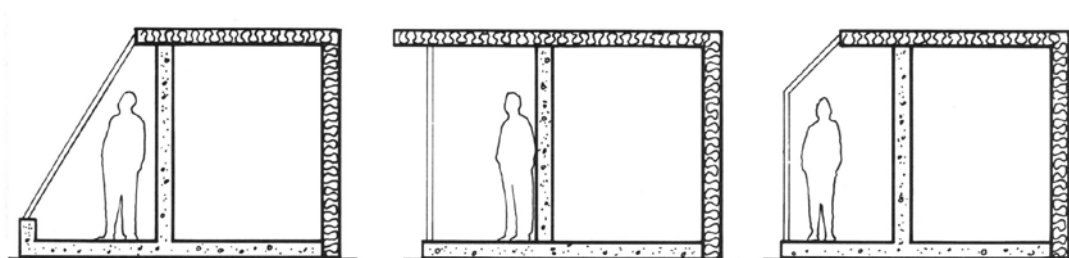
Επί πλέον στην περίπτωση του τοίχου Trombe υπάρχει η δυνατότητα, ο τοίχος όχι μόνον να παραμείνει δροσερός, αλλά και να συμβάλλει στον παθητικό δροσισμό του κτηρίου. Ανοίγει ένας φεγγίτης στο επάνω μέρος του υαλοστασίου και αντίστοιχα ένα άνοιγμα στο επάνω μέρος του βόρειου τοίχου του σπιτιού, ενώ παραμένει κλειστή η άνω θυρίδα του τοίχου και ανοικτή η κάτω, με αποτέλεσμα να δημιουργείται και πάλι το φαινόμενο της ηλιακής καμινάδας. Ο δροσισμός του χώρου επιτυγχάνεται με το δροσερό αέρα που εισέρχεται από το βορινό άνοιγμα του κτηρίου και το ρεύμα που δημιουργείται μέσα στο χώρο. Είναι αξιοσημείωτο ότι όσο περισσότερο θερμαίνεται ο τοίχος τόσο πιο έντονο είναι το φαινόμενο της ηλιακής καμινάδας και τόσο μεγαλύτερη η ταχύτητα του ρεύματος του αέρα που κυκλοφορεί στο κτήριο, με αποτέλεσμα τον εντονότερο δροσισμό του χώρου (σχήμα 5.3.3.).



Σχήμα 5.3.3 Τοίχος Trombe.: λειτουργία το χειμώνα και το καλοκαίρι

5.4. ΕΜΜΕΣΗ ΗΛΙΑΚΗ ΠΡΟΣΟΔΟΣ: ΠΡΟΣΑΡΤΗΜΕΝΟΣ ΗΛΙΑΚΟΣ ΧΩΡΟΣ Ή ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ

Ο προσαρτημένος ηλιακός χώρος είναι συνδυασμός παθητικού συστήματος «άμεσου κέρδους» και τοίχου θερμικής συσσώρευσης. Το κτήριο δηλαδή αποτελείται από δύο θερμικές ζώνες: τον ηλιακό χώρο που δεν είναι θερμαινόμενος και τον κυρίως θερμαινόμενο χώρο. Ο ηλιακός χώρος είναι στραμμένος προς το νότο, περιβάλλεται από τη μία ή μέχρι και τις τρεις πλευρές του ή και την οροφή του με υαλοστάσιο και συνδέεται με το κυρίως κτήριο με συμπαγή τοίχο θερμικής μάζας χωρίς θερμομόνωση ή με έναν τοίχο θερμομονωμένο με θυρίδες ή χωρίς θυρίδες, ή με υαλοστάσιο ή με συνδυασμό όλων αυτών (σχ. 5.4.1.). Συνήθως ο ηλιακός χώρος φέρει συμπαγή οροφή, ενώ το θερμοκήπιο γυάλινη κεκλιμένη επιστέγαση.



Σχήμα 5.4.1 Διάφορες διατάξεις ηλιακού χώρου προσαρτημένου στο κτήριο

Ο ηλιακός χώρος θερμαίνεται απευθείας από την ηλιακή ακτινοβολία και λειτουργεί όπως το παθητικό σύστημα του «απευθείας κέρδους». Συγχρόνως, η ηλιακή ενέργεια, όταν προσπίπτει στον ενδιάμεσο συμπαγή τοίχο μεταξύ ηλιακού χώρου και θερμαινόμενου χώρου, μετατρέπεται σε θερμότητα και ένα ποσοστό, εάν ο ενδιάμεσος τοίχος δεν έχει θερμομόνωση, μεταφέρεται στο κτήριο με αγωγιμότητα. Από αυτή την άποψη, ο προσαρτημένος ηλιακός χώρος είναι ένα εκτεταμένο σύστημα τοίχου θερμικής αποθήκευσης με τη μόνη διαφορά ότι το υαλοστάσιο δεν απέχει από τον τοίχο μερικά εκατοστά αλλά βρίσκεται σε αρκετή απόσταση, ώστε να δημιουργείται κατοικήσιμος χώρος για την ημέρα ή ένας χώρος, στον οποίο καλλιεργούνται φυτά.

Ο ηλιακός χώρος επίσης λειτουργεί ως φράγμα θερμικών απωλειών του κτηρίου προς το εξωτερικό περιβάλλον. Σχεδόν όλες τις ώρες της ημέρας ο ηλιακός χώρος έχει υψηλότερη θερμοκρασία από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος και έτσι συμβάλλει στη μείωση των θερμικών απωλειών από το κτήριο. Χωρίς ηλιοφάνεια, η εσωτερική θερμοκρασία σ' ένα θερμοκήπιο με διπλό υαλοστάσιο φθάνει το χειμώνα τουλάχιστον στους 10°C όταν η εξωτερική είναι 0°C.

Υπάρχουν πέντε βασικές μέθοδοι για τη μεταφορά της θερμότητας από το θερμοκήπιο στον εσωτερικό χώρο (σχήμα 5.4.2.):

- Με απευθείας πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό του κτηρίου.
- Με μεταφορά του θερμού αέρα από το θερμοκήπιο στο χώρο με θερμοσιφωνισμό ή με βεβιασμένη μεταφορά.
- Με αγωγιμότητα μέσω των διαχωριστικών τοίχων.
- Με τη χρήση απλών ενεργητικών συστημάτων μεταφοράς της θερμότητας και αποθήκευσής της στον εσωτερικό χώρο απ' όπου και μεταδίδεται με ακτινοβολία ή μεταφορά.
- Με συνδυασμό από τις παραπάνω λύσεις.

Στη μέθοδο της απευθείας πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας στο κτήριο μέσω του ηλιακού χώρου, ένα τμήμα του κοινού τοίχου μεταξύ του θερμοκηπίου και του κτηρίου καλύπτεται με υαλοστάσιο. Ένα σημαντικό ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας –εξαρτάται από το σχεδιασμό– που πέφτει στο θερμοκήπιο, μπαίνει στο κτήριο απευθείας μέσα από τα ανοίγματα, ιδιαίτερα το χειμώνα που ο ήλιος είναι χαμηλά στον ορίζοντα. Ένα άλλο ποσοστό της ακτινοβολίας παραμένει στο θερμοκήπιο και το θερμαίνει. Σ' αυτήν την περίπτωση το σύστημα λειτουργεί όπως το παθητικό σύστημα του «άμεσου κέρδους». Η πλεονάζουσα θερμότητα αποταμιεύεται στα διάφορα στοιχεία του κυρίως χώρου που έχουν θερμική μάζα. Το πλεονέκτημα σε σχέση με το σύστημα του άμεσου κέρδους είναι ότι οι θερμικές απώλειες από το υαλοστάσιο του θερμαινόμενου χώρου είναι μειωμένες, επειδή μεσολαβεί το θερμοκήπιο, στο οποίο αναπτύσσεται υψηλότερη θερμοκρασία σε σχέση με το εξωτερικό περιβάλλον. Το αν θα χρησιμοποιηθεί μόνο ή διπλό υαλοστάσιο στο ενδιάμεσο άνοιγμα, εξαρτάται από τη διακύμανση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.

Η μεταφορά της θερμότητας από τον ηλιακό χώρο στο κτήριο μπορεί να γίνει και μέσω των ανοιγμάτων στον κοινό διαχωριστικό τοίχο θερμοκηπίου - κτηρίου, που ανοίγουν αυτόματα ή χειροκίνητα. Όσο πιο ψηλά είναι τοποθετημένα τα ανοίγματα στο διαχωριστικό τοίχο και όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία στο θερμοκήπιο, τόσο ο θερμοσιφωνισμός που δημιουργείται είναι εντονότερος και η ροή της θερμότητας μεγαλύτερη από τον ηλιακό χώρο στον κυρίως χώρο. Η θερμότητα που αποδίδεται στον εσωτερικό χώρο μπορεί κατόπιν να αποταμιευθεί έμμεσα στα δομικά στοιχεία, όπως και στην περίπτωση του άμεσου κέρδους.

Αν χρησιμοποιηθούν ανεμιστήρες, με χειροκίνητη ή αυτόματη λειτουργία, η θερμότητα μπορεί να διοχετευθεί και στους βόρειους χώρους που δεν δέχονται ηλιακή ακτινοβολία και να αποταμιευθεί σε ειδικά στοιχεία αποθήκευσης ή στα δομικά τους στοιχεία.

Η μετάδοση της θερμότητας με αγωγιμότητα μέσα από τους κοινούς τοίχους ηλιακού χώρου - κτηρίου είναι ο πιο συνηθισμένος και αποτελεσματικός τρόπος για τη θερμική σύνδεση του κτηρίου με το θερμοκήπιο. Σ' αυτήν την περίπτωση ο διαχωριστικός τοίχος δεν έχει θερμική μόνωση και ουσιαστικά λειτουργεί όπως το παθητικό σύστημα του τοίχου θερμικής αποθήκευσης από υλικά τοιχοποιίας ή από νερό.

Η αποτελεσματικότητα του συστήματος εξαρτάται από τους ίδιους παράγοντες όπως και στο σύστημα του τοίχου θερμικής αποθήκευσης: από την επιφάνεια του τοίχου, το πάχος, το υλικό κατασκευής και το χρώμα της επιφάνειας.

Όταν υπάρχει υδάτινος τοίχος μεταξύ του ηλιακού χώρου και του κτηρίου, ο όγκος του νερού προσδιορίζει τη διακύμανση της θερμοκρασίας στον ηλιακό χώρο και στους παρακείμενους

κατοικήσιμους χώρους. Όσο μεγαλύτερος είναι ο όγκος του νερού, τόσο μικρότερες είναι οι θερμοκρασιακές διακυμάνσεις. Όσο μεγαλύτερη είναι η επιφάνεια του υδάτινου τοίχου που μεσολαβεί ανάμεσα στο θερμοκήπιο και στο χώρο, τόσο πιο αποτελεσματική είναι η αποθήκευση και η μετάδοση της θερμότητας.

Η χρήση απλών ενεργητικών συστημάτων για την αποθήκευση της θερμότητας σε χώρο με θραυστό υλικό (rock bed, lit de pierres), μέθοδος που δεν έχει ακόμη ευρεία εφαρμογή, χρησιμοποιεί κυρίως ανεμιστήρες για να παραλάβουν το θερμό αέρα από το θερμοκήπιο και εν συνεχεία να τον μεταφέρουν με σωληνώσεις σε χώρους, στους οποίους η θερμότητα θα αποθηκευτεί σε θραυστό υλικό, συνήθως στο δάπεδο. Αυτή η θερμότητα αποδίδεται στο κτήριο ή στο θερμοκήπιο - ηλιακό χώρο συνήθως χωρίς τη χρήση μηχανικών μέσων με ακτινοβολία και με μεταφορά από τη θερμή επιφάνεια αποθήκευσης. Η μέθοδος χρησιμοποιείται κυρίως σε εύκρατα κλίματα (17 - 7°C), οπότε την ημέρα συλλέγεται πολύ περισσότερη θερμότητα από όση είναι αναγκαία για τη θέρμανση του χώρου.

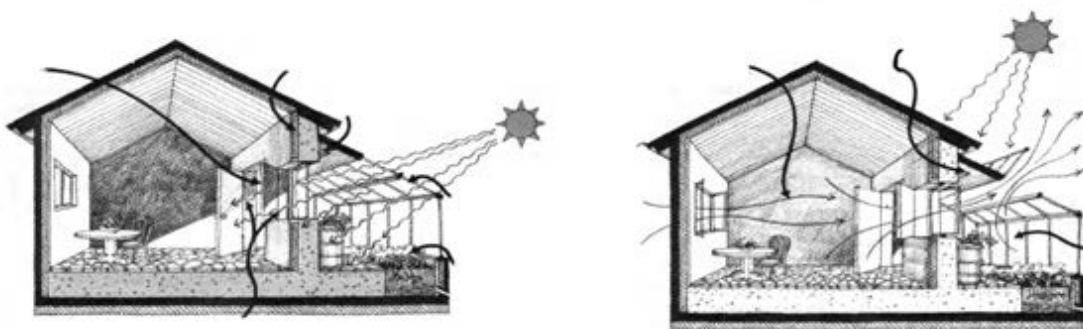
Οι παράγοντες που καθορίζουν την αποδοτική λειτουργία του συστήματος θερμοκηπίου - ηλιακού χώρου ομαδοποιούνται ως εξής:

- **Το γεωμετρικό σχήμα και ο τρόπος σύνδεσης του ηλιακού χώρου με το κτήριο:** Από μελέτες που έχουν γίνει έχει αποδειχθεί ότι η απόδοση του θερμοκηπίου είναι συγκρίσιμη και πολλές φορές καλύτερη από την απόδοση ενός τοίχου θερμικής συσσώρευσης, που έχει την ίδια επιφάνεια υαλοστασίου. Οι επί πλέον θερμικές απώλειες μέσω της οροφής και των τοίχων που περιβάλλουν έναν ηλιακό χώρο αντισταθμίζονται από το γεγονός ότι το υαλοστάσιο έχει τη βέλτιστη κλίση και υπάρχει μεγαλύτερη επιφάνεια θερμικής αποθήκευσης, εφόσον χρησιμοποιείται και το δάπεδο του ηλιακού χώρου για αποθήκευση. Η συνολική θερμική απόδοση ενός θερμοκηπίου υπολογίζεται σε 60% - 75% κάλυψη των θερμαντικών αναγκών του θερμοκηπίου στους χειμερινούς μήνες, ενώ στους παρακείμενους κατοικήσιμους χώρους του κτηρίου φθάνει στο 10% - 30% από την ενέργεια που έπεσε στην επιφάνεια του θερμοκηπίου. Σύμφωνα με τον ελληνικό Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων, για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης του κτηρίου, στο οποίο είναι προσαρτημένος ένας ηλιακός χώρος - θερμοκήπιο λαμβάνεται υπόψη η συνεισφορά του ηλιακού χώρου, ο οποίος αποτελεί μια ξεχωριστή μη θερμαινόμενη ζώνη με αυξημένα ηλιακά κέρδη και μεγάλη θερμοχωρητικότητα.
- **Η δυνατότητα θερμικής απομόνωσης του ηλιακού χώρου από το κτήριο:** Ο ηλιακός χώρος αποτελεί επέκταση του κατοικήσιμου χώρου και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως χώρος διαβίωσης όταν οι συνθήκες είναι κατάλληλες. Συχνά στον ηλιακό χώρο, ιδίως όταν οι περισσότερες πλευρές του είναι με υαλοστάσια, σημειώνονται στη διάρκεια του 24-ώρου μεγάλες θερμοκρασιακές διακυμάνσεις, όταν αναπτύσσονται ακραίες συνθήκες στο περιβάλλον. Σ' αυτήν την περίπτωση ο ηλιακός χώρος πρέπει να απομονώνεται, όπως για παράδειγμα μια κρύα νύχτα του χειμώνα. Η θερμική απομόνωση μπορεί να γίνει με το κλείσιμο των εσωτερικών ανοιγμάτων, με την εφαρμογή κινητής νυχτερινής μόνωσης ή και με την πρόβλεψη θερμομόνωσης στον ενδιάμεσο τοίχο. Η κάτοψη του κτηρίου θα πρέπει να έχει μελετηθεί έτσι, ώστε η απομόνωση του ηλιακού χώρου να μην επηρεάζει την ομαλή λειτουργία του.
- **Μέγεθος ηλιακού χώρου και θερμοφυσικά χαρακτηριστικά των υλικών:** Γενικά, το μέγεθος του ηλιακού χώρου, η κλίση και το μέγεθος του υαλοστασίου, ο προσανατολισμός του, τα υλικά κατασκευής και τα θερμοφυσικά χαρακτηριστικά του περιβλήματος του ηλιακού χώρου και της ενδιάμεσης τοιχοποιίας μεταξύ του ηλιακού χώρου και του κυρίως χώρου είναι στοιχεία που επηρεάζουν την απόδοσή του. Μονός υαλοπίνακας προτιμάται για τα κλίματα

στα οποία η θερμοκρασία σπάνια πέφτει κάτω από 0°C και υπάρχει πραγματική ηλιοφάνεια κατά 50%. Η θερμοκρασία στον ηλιακό χώρο διατηρείται υψηλότερα από 0°C, χωρίς βοηθητική θέρμανση όλο το χειμώνα και συγχρόνως αποδίδεται θερμότητα και στο κτήριο. Για πιο ψυχρά κλίματα είναι απαραίτητη η χρήση διπλού υαλοπίνακα, προκειμένου να διατηρηθεί η θερμοκρασία στο θερμοκήπιο υψηλότερα από τους 0°C χωρίς την παροχή θέρμανσης.

- **Ηλιοπροστασία:** είναι απαραίτητη για να αποφευχθεί η υπερθέρμανση, κυρίως το καλοκαίρι και πραγματοποιείται με κινητά πετάσματα ή ρολά ή ψάθα. Μπορεί επίσης να συνδυαστεί με τις λύσεις της κινητής νυκτερινής μόνωσης.

Αερισμός: λειτουργεί ως μέσο ελέγχου της υπερθέρμανσης και της υγρασίας, καθώς και για την απομάκρυνση του CO₂, εφόσον καλλιεργούνται φυτά. Ο φυσικός αερισμός είναι προτιμότερος για τη λειτουργία του ηλιακού χώρου. Για να δημιουργηθεί ρεύμα ανοίγονται είτε αντιδιαμετρικά ανοίγματα είτε ανοίγματα σε χαμηλό και υψηλό σημείο, ώστε να δημιουργηθεί θερμοσιφωνισμός. Σε περίπτωση τεχνητού αερισμού και εφόσον υπάρχουν φυτά, απαιτούνται 6 εναλλαγές αέρα την ώρα.



Σχήμα 5.4.2.: Χειμερινή και θερινή λειτουργία προσαρτημένου στο κτήριο θερμοκηπίου

6. ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΡΟΣΙΣΜΟΥ

Ο φυσικός ή παθητικός δροσισμός βασίζεται στην εκμετάλλευση ή και στον έλεγχο των φυσικών φαινομένων που λαμβάνουν χώρα στο κτήριο και το περιβάλλον του με σκοπό τη μείωση της θερμοκρασίας στους εσωτερικούς χώρους ή τη βελτίωση των λοιπών περιβαλλοντικών παραμέτρων, ώστε σε συνδυασμό με την εσωτερική θερμοκρασία να δημιουργήσουν αίσθημα θερμικής άνεσης.

Γενικά, το καλοκαίρι για να επιτευχθεί η θερμική άνεση απαιτείται μια πλήρης αντιστροφή της χειμερινής θερμικής λειτουργίας του κελύφους του κτηρίου ώστε οι επιφάνειες και ο εσωτερικός χώρος να παραμένουν δροσερές.

Το πρώτο βήμα της στρατηγικής του φυσικού δροσισμού είναι η αποτροπή της υπερθέρμανσης του κτηρίου με τον περιορισμό των θερμικών προσόδων σε αυτό. Το επόμενο βήμα είναι η διοχέτευση της πλεονάζουσας θερμότητας από τον εσωτερικό χώρο στο περιβάλλον.

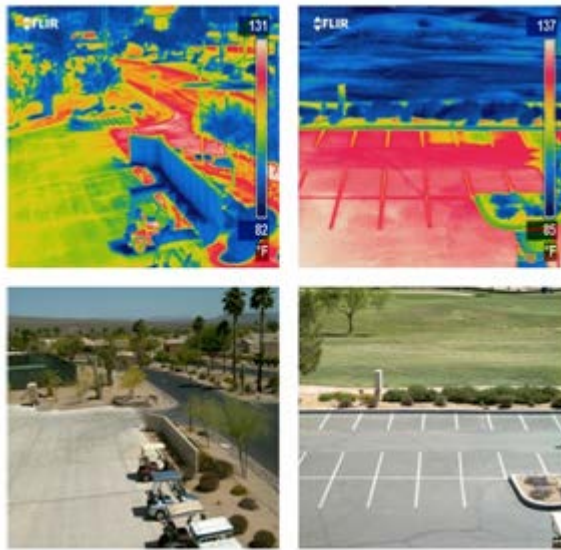
Ο μελετητής έχει ελευθερία σχεδιαστικών επιλογών για να δημιουργήσει συνθήκες φυσικού δροσισμού. Μερικοί σχεδιαστικοί χειρισμοί, τόσο σε επίπεδο αστικού και κτιριακού σχεδιασμού όσο και σε επίπεδο επιλογής συστημάτων ελέγχου της υπερθέρμανσης του κτηρίου αναλύονται παρακάτω.

- Κατάλληλη διαμόρφωση του άμεσου περιβάλλοντα χώρου, με στόχο τη βελτίωση του μικροκλίματος, την προστασία από την ηλιακή ακτινοβολία και τη χειραγώγηση του ανέμου.
- Μείωση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στη θερινή περίοδο με τη πρόβλεψη της κατάλληλης ηλιοπροστασίας για την ελαχιστοποίηση των θερμικών κερδών από την ηλιακή ακτινοβολία.
- Κατάλληλα ανοιγόμενα τμήματα με στόχο την αύξηση του φυσικού αερισμού-δροσισμού, με την σωστή τοποθέτηση και διαμόρφωση των ανοιγμάτων.
- Πρόβλεψη ειδικών διατάξεων για την απόρριψη της πλεονάζουσας θερμότητας του κτηρίου με φυσικό τρόπο σε περιβαλλοντικούς απαγωγείς θερμότητας.

6.1. Η ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑΤΟΣ

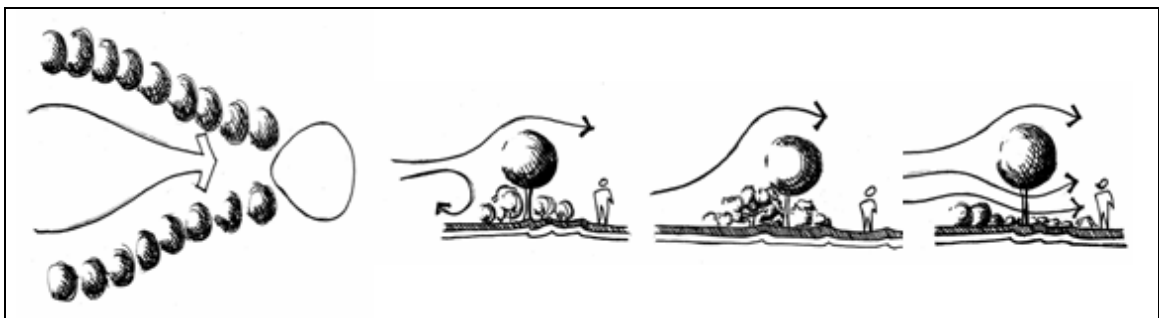
Στη θερινή περίοδο, υψηλές θερμοκρασίες στην άμεση περιοχή του κτηρίου σε συνδυασμό με την απουσία ανέμου επιβαρύνουν επιπλέον θερμικά το κτήριο. Για την επίτευξη της άνεσης μέσα στα κτήρια και την εξοικονόμηση ενέργειας για την ψύξη των κτηρίων είναι απαραίτητος ο έλεγχος της θερμοκρασίας του αέρα και των περιβαλλουσών επιφανειών και έξω από αυτά.

Η μορφολογία του αστικού ιστού και τα υλικά που συνθέτουν τις αστικές επιφάνειες αποτελούν σημαντικούς παράγοντες που επηρεάζουν και διαμορφώνουν το μικρόκlima και κατ' επέκταση τις συνθήκες άνεσης στους υπαίθριους χώρους της πόλης, καθώς και την ενεργειακή κατανάλωση των κτηρίων. Οι ιδιότητες των υλικών που χρησιμοποιούνται στους υπαίθριους χώρους μέσω της απορρόφησης και ανάκλασης της ηλιακής ακτινοβολίας, της αποθήκευσης θερμότητας, της εκπομπής της θερμότητας, της δυνατότητας εξάτμισης της υγρασίας κ.τ.λ. επηρεάζουν τις μικροκλιματικές συνθήκες και τη χρονική διαφοροποίηση του μικροκλίματος. Για παράδειγμα, σκουρόχρωμες συμπαγείς επιφάνειες μπορεί να υπερθερμανθούν, όταν εκτεθούν στην ηλιακή ακτινοβολία. Αντίθετα, επικάλυψη επιφανειών με βλάστηση όχι μόνον εμποδίζει τις ανακλάσεις, αλλά και συνεισφέρει στο δροσισμό του αέρα μέσω εξατμισοδιαπνοής (σχήμα 6.1.1.). Τα δένδρα οι θάμνοι και το γρασίδι έχουν την ικανότητα να βελτιώνουν τη θερμοκρασία του αέρα στο αστικό περιβάλλον. Η αποτελεσματικότητα της βλάστησης είναι προφανές ότι εξαρτάται από το είδος που χρησιμοποιείται και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που έχει κάθε δένδρο ή θάμνος, όπως είναι το σχήμα της κόμης, η πυκνότητα του φυλλώματος η μορφή των φύλλων και το σύστημα διακλάδωσης (σχήμα 6.1.2.).



Σχήμα 6.1.1 Διαφορετική επιφανειακή θερμοκρασία ανάλογα με το υλικό επίστρωσης των ανοικτών χώρων. Αποτελέσματα θερμοφωτογράφισης

Επίσης η σκίαση είναι καθοριστικός παράγοντας για τον έλεγχο της θερμοκρασίας στους υπαίθριους χώρους και σημαντική παράμετρος οπτικής άνεσης. Γι' αυτό το λόγο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ποικιλία σκιάστρων ή τύπων βλάστησης, ανάλογα με την επιθυμητή μορφή σκιάς. Επιπλέον η χρήση υδατοπερατών υλικών επίστρωσης, σε συνδυασμό με επιφάνειες νερού, όπως καταρράκτες, λίμνες ή σιντριβάνια, μπορούν να συνεισφέρουν στο δροσισμό του αέρα.



Σχήμα 6.1.2. Διαμορφώσεις με φύτευση για την αλλαγή της πορείας του ανέμου

6.2. Ο ΑΥΤΟΣΚΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΚΤΗΡΙΑΚΟΥ ΚΕΛΥΦΟΥΣ

Πέρα από τη βλάστηση του περιβάλλοντος χώρου, στα κτήρια δημιουργείται συχνά σκιά από γειτονικές κατασκευές ή από την τοπογραφική διαμόρφωση της περιοχής. Επίσης η ίδια ογκοπλαστική διαμόρφωσή τους (εσωτερικές αυλές, προεξοχές, σαχνισιά) συντελεί στη δημιουργία σκιαζόμενων και ηλιαζόμενων τμημάτων στις όψεις.

Αυτή η δυνατότητα είναι γνωστή από παλιά στα θερμά και ξηρά κλίματα, στα οποία κάποιες πόλεις σχεδιάστηκαν και χτίστηκαν με πολύ συμπαγή μορφή, και στενούς δρόμους, έτσι ώστε όλα τα κτήρια να σκιάζονται σε κάποιο ποσοστό. Γι' αυτό, όταν επιλέγεται η θέση ενός κτηρίου σε περιοχές στις

οποίες είναι πιθανή η υπερθέρμανση, είναι λογικό να καταβάλλεται προσπάθεια να κατασκευάζεται το κτήριο σε τέτοια θέση, ώστε να επωφελείται από τη σκιά. Σ' αυτές τις περιπτώσεις, ωστόσο, είναι σημαντικό να μη δημιουργούνται εμπόδια προς τη διεύθυνση των επικρατούντων δροσερών ανέμων της θερινής περιόδου και τα κτήρια να μην χωροθετούνται πολύ κοντά μεταξύ τους για να μην εμποδίζεται ο αερισμός τους.

6.3. ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΕΞΩΤΕΡΙΚΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ

Η επιλογή υλικών που έχουν υψηλή ανακλαστικότητα ή χαμηλή δυνατότητα θερμικής εκπομπής στο κέλυφος του κτηρίου συμβάλλει στο να περιοριστεί η θερμοκρασία του κελύφους. Είναι μια γραμμή άμυνας για να μειωθεί το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που απορροφάται από το κέλυφος του κτηρίου.

Στα αδιαφανή τμήματα του κελύφους η ανάκλαση επιτυγχάνεται με την επιλογή υλικών με λεία επιφάνεια και ανοιχτό χρώμα. Τα παραδοσιακά κυκλαδίτικα σπίτια, για παράδειγμα, οφείλουν τη μειωμένη μετάδοση των ηλιακών προσόδων σε σημαντικό βαθμό στο λευκό ανακλαστικό χρώμα του εξωτερικού κελύφους (σχήμα 6.3.1.). Στη σύγχρονη δόμηση, η τοποθέτηση στο δώμα στεγανοποιητικών μεμβρανών με επικάλυψη αλουμινίου, ή η εφαρμογή ψυχρών υλικών συμβάλλει στον περιορισμό της ανόδου της θερμοκρασίας του κελύφους.

Η επίδραση της ανακλαστικής επικάλυψης στη θερμική κατάσταση της διατομής πραγματοποιείται αφενός με την αποφυγή της υπερθέρμανσης στη διάρκεια της ημέρας και αφετέρου με την αποβολή θερμότητας στη διάρκεια της νύχτας. Ένα μεγάλο μέρος της θερμότητας που αποθηκεύτηκε στη διατομή κατά τις ώρες της ηλιοφάνειας ανακλάται ως θερμική ακτινοβολία προς τον ψυχρό νυχτερινό ουρανό, ο οποίος θεωρείται πως αποτελεί μια δεξαμενή με μεγάλη απορροφητικότητα στη θερμική ακτινοβολία.



Σχήμα 6.3.1. Τα παραδοσιακά κυκλαδίτικα σπίτια είναι βαμμένα άσπρα για να αποφεύγεται η επιπλέον υπερθέρμανση

6.4. Η ΣΚΙΑΣΗ ΤΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ

Η επιλογή του προσανατολισμού, από το πρώτο στάδιο του σχεδιασμού, είναι καθοριστικής σημασίας για την ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται το άνοιγμα. Τα πλεονεκτήματα του νότιου προσανατολισμού είναι γνωστά, εφόσον η νότια προσανατολισμένη όψη δέχεται τη μέγιστη μέση τιμή ηλιακής ακτινοβολίας, διανεμημένη με τον πιο ευνοϊκό τρόπο στις διάφορες εποχές του έτους.

Η ηλιοπροστασία των ανοιγμάτων των κτηρίων αποτελεί ένα ουσιαστικό μέσο ελέγχου της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας και κατά συνέπεια της αναπτυσσόμενης θερμοκρασίας και συνεπώς σημαντικό τρόπο εξοικονόμησης ενέργειας. Σε περίπτωση απουσίας της μπορούν οι χώροι να υπερθερμανθούν, παρά την ύπαρξη εξαερισμού, σε ελάχιστο χρόνο.

Οι τεχνικές που εφαρμόζονται για σκίαση είναι εξωτερική, ενδιάμεση ή εσωτερική, σταθερή ή κινητή ή συνδυασμός αυτών.

Ο βαθμός ηλιοπροστασίας ενός κτηρίου και το χρονικό διάστημα που παρέχεται ηλιοπροστασία εξαρτώνται βασικά από τον προσανατολισμό της όψης σε συνδυασμό με το είδος και τη μορφή της ηλιοπροστατευτικής διάταξης. Για τα ελληνικά δεδομένα μπορεί να λεχθεί γενικώς ότι η σκίαση είναι επιθυμητό να είναι πλήρης για την περίοδο Ιουνίου - Ιουλίου - Αυγούστου, ενώ στους μήνες Μάιο και Σεπτέμβριο - Οκτώβριο είναι επιθυμητός κατά κανόνα τις μεσημβρινές ώρες. Αντίθετα, τους υπόλοιπους μήνες, από Νοέμβριο μέχρι και Απρίλιο, η ηλιακή ακτινοβολία είναι επιθυμητή ως θερμική ενέργεια.

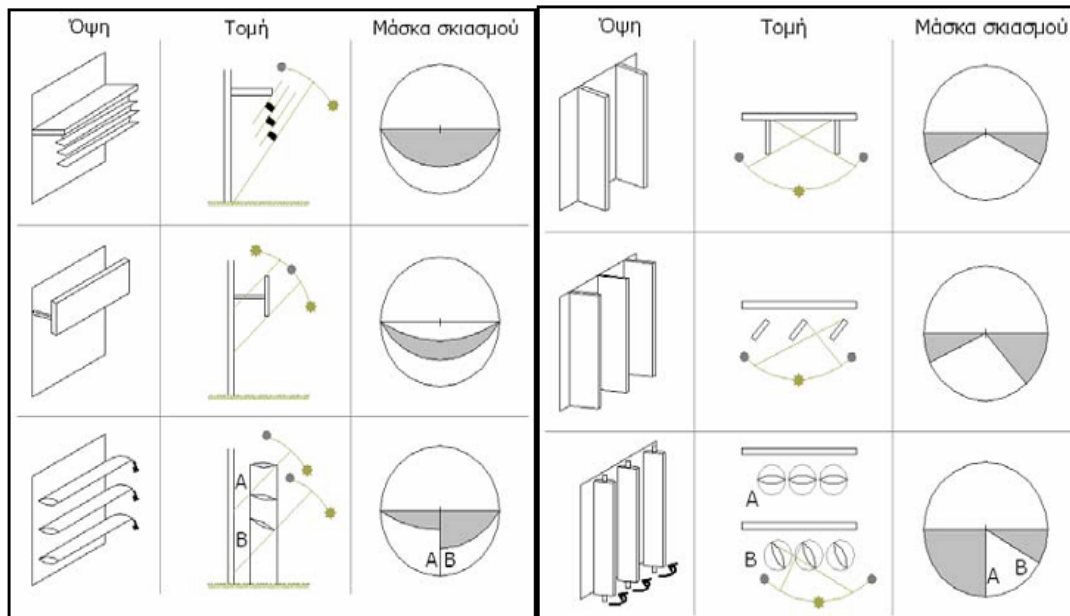
Η κινητή ηλιοπροστασία παρέχει αυτή τη δυνατότητα με ημερήσια και εποχιακή προσαρμογή στις απαιτήσεις ηλιασμού του χώρου.

Τα εξωτερικά σκίαστρα είναι πιο αποτελεσματικά από τα εσωτερικά, καθώς σταματούν την προσπίπτουσα ακτινοβολία πριν να φτάσει στο άνοιγμα και διεισδύσει στο εσωτερικό του. Επίσης νέα υλικά υαλοστασίων με χαμηλή εκπνεμτικότητα (low-e) δεν επιτρέπουν την είσοδο της θερμικής ακτινοβολίας στο κτήριο.

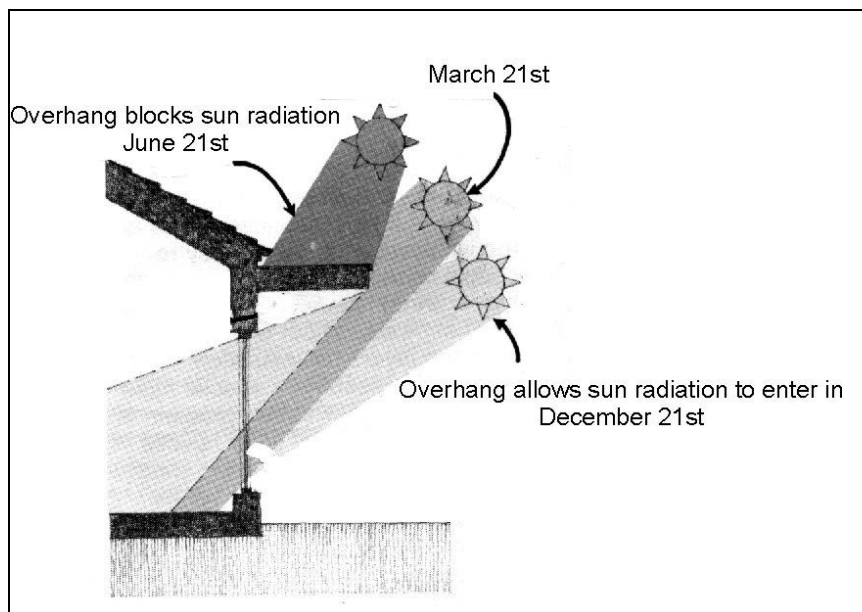
Νότια ανοίγματα ηλιοπροστατεύονται εύκολα με οριζόντια σκίαστρα (σχήμα 6.4.1.), ενώ ανατολικά και δυτικά προστατεύονται με κατακόρυφα. Για την καλύτερη απόδοση πρέπει να εξασφαλιστεί ότι τα σκίαστρα δεν θα παγιδεύουν θερμότητα. Προστεγάσματα από οπλισμένο σκυρόδεμα –υλικό με μεγάλη θερμοχωρητικότητα– μεταδίδουν με αγωγή και μεταφορά τη θερμότητα που έχουν αποθηκεύσει στη μάζα τους από την ηλιακή ακτινοβολία που δέχονται στη διάρκεια της ημέρας, στο κέλυφος του κτηρίου και πρέπει να αποφεύγονται. Επίσης τέντες με κλειστά σχήματα παγιδεύουν ποσότητες θερμού αέρα και πρόβολοι με διάφορα υλικά, συμπαγείς στη μορφή, εμποδίζουν τη διαφυγή του θερμού αέρα από το κτήριο. (σχήμα 6.4.2.).

Λύσεις, που ευνοούν την ανεμπόδιστη απομάκρυνση του θερμού αέρα από το κτήριο ή ευνοούν τη θερμική αποσύνδεση των εξωτερικών στοιχείων σκίασης με το κέλυφος, πλεονεκτούν και μεγιστοποιούν την απόδοση της σκίασης (σχήμα 6.4.3. και 6.4.4.).

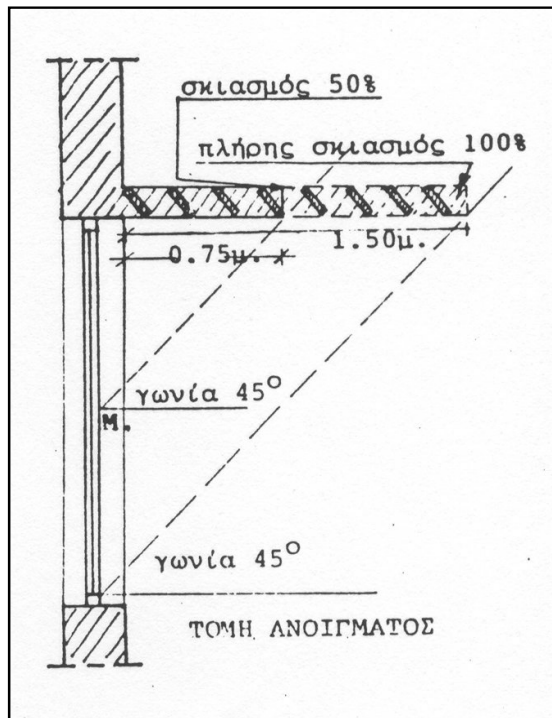
Σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ., οι κινητές διατάξεις ηλιοπροστασίας, πλην της τέντας, δεν λαμβάνονται υπόψη στην ενεργειακή μελέτη.



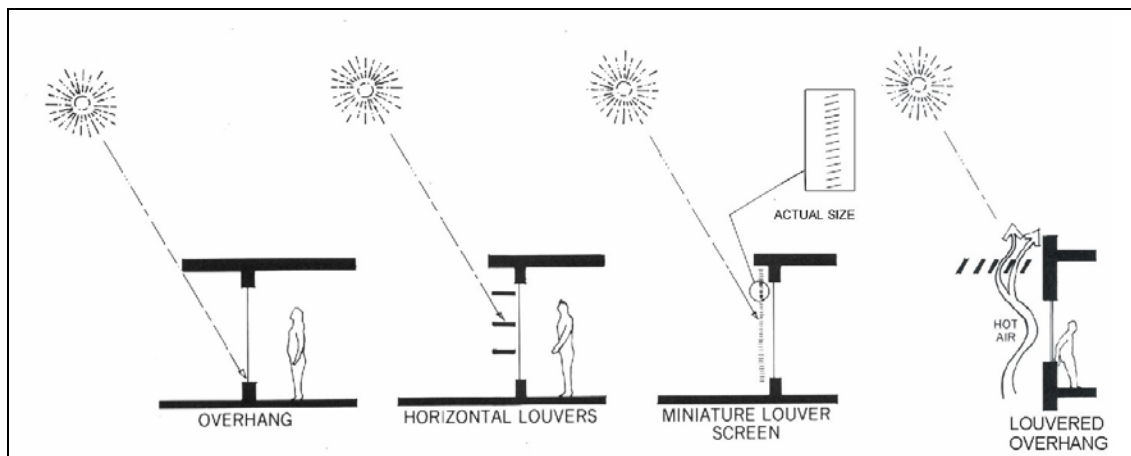
Σχήμα 6.4.1. Νότια ανοίγματα ηλιοπροστατεύονται εύκολα με οριζόντια σκίαστρα, ενώ ανατολικά και δυτικά προστατεύονται με κατακόρυφα.



Σχήμα 6.4.2. Τα νότια ανοίγματα ηλιοπροστατεύονται εύκολα με οριζόντια προστεγάσματα



Σχήμα 6.4.3. Λύσεις που ευνοούν την ανεμπόδιστη απομάκρυνση του θερμού αέρα από το κτήριο



Σχήμα 6.4.4. Διάφορες διατάξεις για την ηλιοπροστασία των νότιων ανοιγμάτων

Απαιτείται επίσης ο προσδιορισμός της γωνίας σκίασης του ανοίγματος από την εφαρμογή συστήματος ηλιοπροστασίας, ώστε στον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης του κτηρίου να μειωθούν τα ηλιακά κέρδη. Η σχετική μεθοδολογία περιγράφεται στην τεχνική οδηγία του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας, Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010 «Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτηρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης». Υπάρχει δυνατότητα να υπολογιστεί η επίδραση του προβόλου, του συστήματος εξωτερικών οριζόντιων περσίδων και της τέντας. Επιπλέον στοιχεία παρατίθενται στην επόμενη ενότητα 6.5. «ηλιοπροστασία κτηρίου»

Η τοποθέτηση αναρριχώμενων φυτών σε πέργκολες ή καφασωτά δημιουργεί την αποδοτικότερη διάταξη σκίασης. Η διαπνοή των φύλλων και το πορώδες του φυλλώματος που εξασφαλίζει την κυκλοφορία του αέρα συμβάλλουν ακόμη περισσότερο στη διατήρηση χαμηλότερης θερμοκρασίας.

Εάν μάλιστα επιλεγούν φυλλοβόλα φυτά, τότε προσφέρεται η κατάλληλη εποχιακή σκίαση, μια που η ανάπτυξη του φυλλώματος συμπίπτει με το χρόνο που είναι επιθυμητή η προστασία από την ηλιακή ακτινοβολία.

Η ηλιοπροστασία με τη φύτευση συμβάλλει ουσιαστικά στον έλεγχο της υπερθέρμανσης των κτηρίων. Με την κατάλληλη σκίαση των ανοιγμάτων μπορεί να επιτευχθεί μέχρι και 50% εξοικονόμηση στο ψυκτικό φορτίο. Τα φυτά που σκιάζουν ένα άνοιγμα είναι πιο αποτελεσματικά από τη τεχνητή ηλιοπροστασία (π.χ. τα στόρια ή τις κουρτίνες), αφενός επειδή σταματούν την ηλιακή ακτινοβολία αρκετά μακριά, πριν να φτάσει στο κτήριο και αφετέρου επειδή δεν θερμαίνονται τα ίδια για να επιβαρύνουν το περιβάλλον με θερμότητα με ακτινοβολία, απομακρύνοντας έτσι οποιαδήποτε περίπτωση υπερθέρμανσης.

Δεν πρέπει να παραβλέπουμε το γεγονός ότι τα συστήματα σκίασης, ενώ πρέπει να παρέχουν καλή ηλιακή προστασία το θέρος, δεν θα πρέπει να περιορίζουν τα ηλιακά κέρδη το χειμώνα, να εμποδίζουν το φυσικό φωτισμό ή να παρακωλύουν το φυσικό αερισμό. Όμως βασικό κριτήριο αξιολόγησής τους παραμένει η αποτροπή της υπερθέρμανσης του χώρου κατά τη θερινή περίοδο.

Τα μέσα ηλιοπροστασίας περιορίζουν επίσης τη θάμβωση των χρηστών, ειδικά το καλοκαίρι, επειδή διαθλούν και διαχέουν το φως με έναν πιο ομοιογενή καταμερισμό στο εσωτερικό των κτηρίων. Γενικώς, τα συστήματα σκίασης εμποδίζουν την άμεση ηλιακή ακτινοβολία, αλλά δεν είναι αποτελεσματικά στον περιορισμό της διάχυτης ή ανακλώμενης ακτινοβολίας και γι' αυτό πρέπει να σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο, ώστε να κατανέμουν ομοιόμορφα την ηλιακή ακτινοβολία στον εσωτερικό χώρο.

6.5. ΗΛΙΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΚΤΗΡΙΟΥ

Η ηλιοπροστασία του κτηρίου συμμετέχει στη διαμόρφωση της τελικής ποσότητας της πρωτογενούς ενέργειας του κτηρίου που καταναλώνεται τόσο για τη θέρμανση, όσο και για την ψύξη του, καθώς επηρεάζει τα θερμικά φορτία που προέρχονται από την ηλιακή ακτινοβολία. Η ηλιοπροστασία επιδρά θετικά στη μείωση των ψυκτικών φορτίων κατά τη θερινή περίοδο, ενώ αντίθετα ενδέχεται να περιορίζει την ηλιακή πρόσοδο κατά τη χειμερινή.

Κατά την ενεργειακή επιθεώρηση ενός κτηρίου είναι απαραίτητη η εύρεση των συντελεστών σκίασης των διαφανών και αδιαφανών κατακόρυφων δομικών στοιχείων του κτηρίου, οι οποίοι προκύπτουν ως αποτέλεσμα της ύπαρξης μακρινών εμποδίων, προβόλων, πλευρικών προεξοχών, τεντών ή εξωτερικών περσίδων. Ο συντελεστής σκίασης της κατακόρυφης επιφάνειας προκύπτει ως το γινόμενο των επί μέρους συντελεστών σκίασης.

Στην περίπτωση που τα συμπαγή δομικά στοιχεία του κτηρίου είναι καλά μονωμένα ($U \leq 0,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$), σύμφωνα με την ενότητα 3.3. της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1, η επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας στη διαμόρφωση των ηλιακών θερμικών φορτίων είναι περιορισμένη, και επομένως ο επιθεωρητής μπορεί να θεωρήσει ότι ο μέσος συντελεστής σκίασης από προστεγάσματα και πλευρικές προεξοχές είναι ίσος με 0,9. Στην αντίθετη περίπτωση, ο επιθεωρητής πρέπει να υπολογίσει τους συντελεστές σκίασης για κάθε μία από τις κατακόρυφες επιφάνειες του κτηρίου.

Ομοίως, σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να υπολογιστούν οι επί μέρους συντελεστές σκίασης για τα διαφανή στοιχεία του κελύφους.

Ο επιθεωρητής μπορεί να προτείνει πρόσθετα μέτρα ηλιοπροστασίας στο εξεταζόμενο κτήριο, όταν κατά την επιθεώρηση διαπιστώσει ότι:

- τα ψυκτικά φορτία είναι υψηλά σε σχέση με του κτηρίου αναφοράς,

- οι συντελεστές σκίασης του εξεταζόμενου κτηρίου είναι υψηλότεροι από τους συντελεστές σκίασης του κτηρίου αναφοράς κατά τη θερινή περίοδο.

Σημειώνεται ότι ο συντελεστής σκίασης του κτηρίου αναφοράς, ο οποίος προκύπτει από σταθερά εξωτερικά οριζόντια ή πλευρικά σκίαστρα, είναι ίσος με:

- 0,70 για δομικά στοιχεία με νότιο προσανατολισμό,
- 0,75 για δομικά στοιχεία με ανατολικό ή δυτικό προσανατολισμό,
- 0,80 για δομικά στοιχεία με βορειοανατολικό προσανατολισμό,
- 0,73 για δομικά στοιχεία με νοτιοανατολικό ή νοτιοδυτικό προσανατολισμό και
- 1,00 για δομικά στοιχεία με βόρειο προσανατολισμό.

Οι ηλιοπροστατευτικές διατάξεις που μπορεί να προτείνει είναι γενικώς οι εξής:

- Οριζόντια προστεγάσματα που στερεώνονται στο κέλυφος του κτηρίου και λαμβάνονται υπόψη ως πρόβολοι για την εκτίμηση του συντελεστή σκίασης για τη θερινή και τη χειμερινή περίοδο με βάση τα γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά και τη θέση τους ως προς το εξεταζόμενο δομικό στοιχείο (πίνακας 3.19. της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-1).
- Πλευρικά πτερύγια που στερεώνονται στο κέλυφος του κτηρίου και λαμβάνονται υπόψη ως πλευρικές προεξοχές για την εκτίμηση του συντελεστή σκίασης για τη θερινή και τη χειμερινή περίοδο με βάση τα γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά και τη θέση τους ως προς το εξεταζόμενο δομικό στοιχείο (πίνακες 3.20. α και β της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-1).
- Τέντες, η λειτουργία των οποίων λαμβάνεται υπόψη μόνο κατά τη θερινή περίοδο, κάνοντας την παραδοχή ότι λειτουργούν ως πρόβολοι (πίνακας 3.19. της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-1).
- Εξωτερικές περσίδες με σταθερά οριζόντια ή κατακόρυφα πτερύγια, οι οποίες λαμβάνονται υπόψη κατά τη θερινή και χειμερινή περίοδο (πίνακας 3.21. της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-1).

Τα εσωτερικά σκίαστρα και τα εξωτερικά προστατευτικά φύλλα των ανοιγμάτων δεν λαμβάνονται υπόψη κατά τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων.

6.6. Η ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΔΡΑΝΕΙΑ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ Ο ΝΥΧΤΕΡΙΝΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΣ

Με την κατασκευή του περιβλήματος με χοντρές τοιχοποιίες και τη χρήση υλικών με μεγάλη θερμοχωρητικότητα στα δομικά στοιχεία του κτηρίου, αποφεύγεται η υπερθέρμανση κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου. Η διαθέσιμη θερμότητα από τα αυξημένα ηλιακά κέρδη στη διάρκεια της ημέρας αποθηκεύεται και απελευθερώνεται σταδιακά στο εσωτερικό του κτηρίου κατά τη διάρκεια της νύχτας, όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι χαμηλή. Με την εκμετάλλευση της θερμικής αδράνειας της κατασκευής το κτήριο προστατεύεται από το άμεσο και το έμμεσο ηλιακό κέρδος. Σε συνδυασμό με το άνοιγμα των παραθύρων κατά τη διάρκεια της νύχτας και τη δημιουργία **νυχτερινού αερισμού**, η θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό του κτηρίου δεν εμφανίζει μεγάλες διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια του 24-ώρου. Επιπλέον, η θερμική αποφόρτιση των δομικών στοιχείων με τη βοήθεια του δροσερού νυχτερινού ρεύματος αέρα, συμβάλλει ώστε αυτά να είναι διαθέσιμα την επόμενη μέρα για νέα αποθήκευση της πλεονάζουσας θερμότητας, (σχήμα 6.6.1.).



Σχήμα 6.6.1. Νυχτερινός αερισμός για την αποφόρτιση της κατασκευής

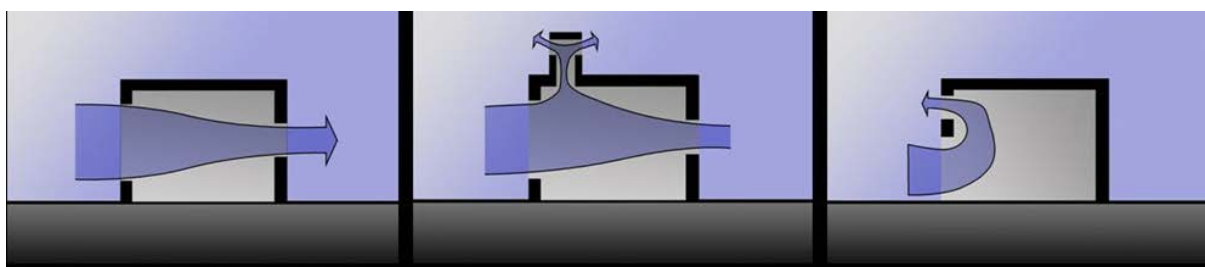
6.7. Ο ΦΥΣΙΚΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΣ

Η κίνηση του αέρα μέσα σε ένα κτήριο αφενός απάγει τη θερμότητα και αφετέρου βελτιώνει την αίσθηση της υψηλής εσωτερικής θερμοκρασίας.

Σε περιοχές στις οποίες το κλίμα είναι ήπιο, όπως αυτό της μεσογείου, και υπάρχει ανάγκη για φυσικό αερισμό και δροσισμό των κτηρίων, αλλά χωρίς ιδιαίτερα αυξημένες απαιτήσεις, ο σχεδιασμός εκμεταλλεύεται τα τοπικά κλιματικά χαρακτηριστικά, όπως τις θαλάσσιες αύρες και τα δροσερά ρεύματα αέρα που δημιουργούνται από τη βλάστηση. Παράλληλα, οργανώνεται και διαμορφώνεται κατάλληλα το κέλυφος με κενά και πλήρη, έτσι ώστε να αξιοποιείται ο φυσικός αερισμός και να ρυθμίζεται η ένταση και η ροή του αέρα, ανάλογα με τις ανάγκες.

Στη βιοκλιματική αρχιτεκτονική, η κίνηση του αέρα πρέπει να ελέγχεται, για να μεγιστοποιείται η θετική επίδρασή της στη θερμική άνεση το καλοκαίρι, αυξάνοντας τόσο την ταχύτητα ψύξης του σώματος μέσω της εξάτμισης του ιδρώτα, όσο και την ανταλλαγή θερμότητας του ανθρώπινου σώματος με το περιβάλλον του.

Είναι γνωστό ότι φυσικός αερισμός προκαλείται είτε λόγω διαφοράς θερμοκρασίας στα στρώματα του αέρα –φαινόμενο της καμινάδας–, είτε λόγω ανεμοπίεσης στις θέσεις στις οποίες υπάρχουν ανοίγματα στο κτήριο (σχήμα 6.7.1.).



Σχήμα 6.7.1. Αερισμός- κίνηση αέρα λόγω διαφοράς θερμοκρασίας και λόγω ανεμοπίεσης

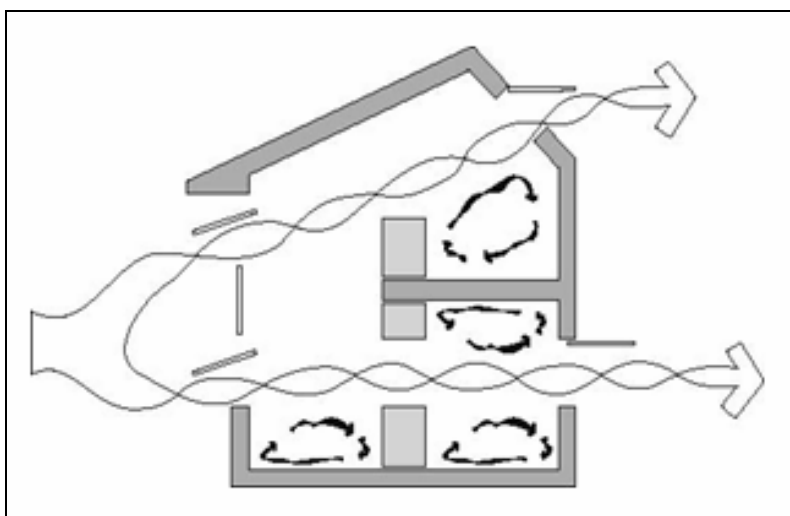
Η πρόσπτωση του ανέμου στο κτήριο, δημιουργεί στην προσήνεμη πλευρά μεγαλύτερη πίεση απ' όση στην υπήνεμη, με αποτέλεσμα όταν υπάρχουν ανοίγματα σ' αυτές τις δύο πλευρές να προκαλείται αερισμός λόγω διαφοράς πίεσης.

Ο μελετητής, για να επιτύχει τον αερισμό λόγω ανεμοπίεσης, οφείλει να δημιουργήσει τις κατάλληλες συνθήκες στον περιβάλλοντα χώρο, ώστε να οδηγηθεί ο άνεμος προς το κτήριο. Με τη σωστή χωροθέτηση του κτηρίου, λαμβάνοντας υπόψη και τη διεύθυνση των ανέμων που επικρατούν στην περιοχή, καθώς και με τα στοιχεία διαμόρφωσης του περιβάλλοντος χώρου, όπως οι φράχτες και η φύτευση, προσφέρεται η δυνατότητα να αυξηθεί η ταχύτητα του ανέμου ή να αλλάξει η κατεύθυνσή του πριν προσπέσει στο κτήριο.



Σχήμα 6.7.2. Βελτιστοποίηση της επιρροής του καλοκαιρινού αερισμού-δροσισμού

Ο ρόλος των φυτών στην αύξηση του φυσικού αερισμού και στη βελτίωση του δροσισμού το καλοκαίρι είναι σημαντικός. Τα φυτά βοηθούν στην αλλαγή της κατεύθυνσης του ανέμου και πολλές φορές στην αύξηση της ταχύτητάς του και συμμετέχουν με την εξατμισοδιαπνοή και στη θερμική άνεση του εσωτερικού χώρου το καλοκαίρι. Συστάδες δένδρων, δημιουργώντας ένα χωνί, κατευθύνουν τον άνεμο στο κτήριο ή, εάν τοποθετηθούν κάθετα στην όψη, βοηθούν, ώστε να μη διασκορπιστεί ο αέρας, αλλά ένα τμήμα του να φτάσει ως το κτήριο. Αυτές οι λύσεις δεν επηρεάζουν τον ηλιασμό της νότιας όψης το χειμώνα. Αντίστοιχα, δένδρα με υψηλό κορμό και κώμη, που προτείνονται για τη σκίαση της νότιας όψης, δεν εμποδίζουν τον καλοκαιρινό αερισμό (σχήμα 6.7.2.)

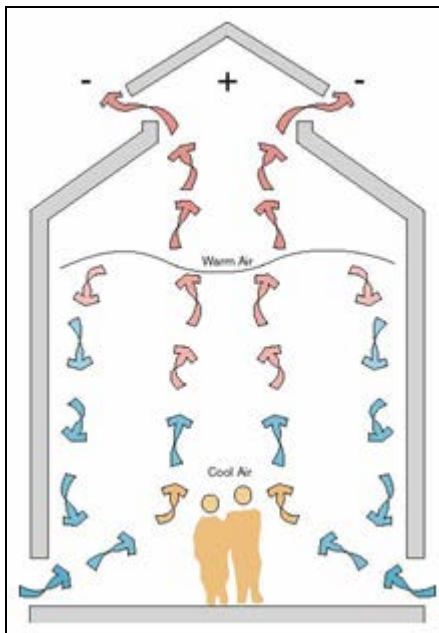


Σχήμα 6.7.3. Διαμπερής αερισμός λόγω ανέμου

Η κίνηση του αέρα στο εσωτερικό των κτηρίων και κατά συνέπεια ο αερισμός και ο φυσικός δροσισμός των χώρων εξαρτώνται από τη γωνία, με την οποία προσπίπτει ο άνεμος στις εξωτερικές επιφάνειες του κτηρίου και από τη θέση των ανοιγμάτων σε αυτές. Έχει διαπιστωθεί ότι ένας χώρος αερίζεται αποτελεσματικά, όταν η κίνηση του αέρα είναι διαμπερής, ανάμεσα σε δύο ανοίγματα, τοποθετημένα αντιδιαμετρικά και σε διαφορετική υψομετρική στάθμη (σχήμα 6.7.3.).

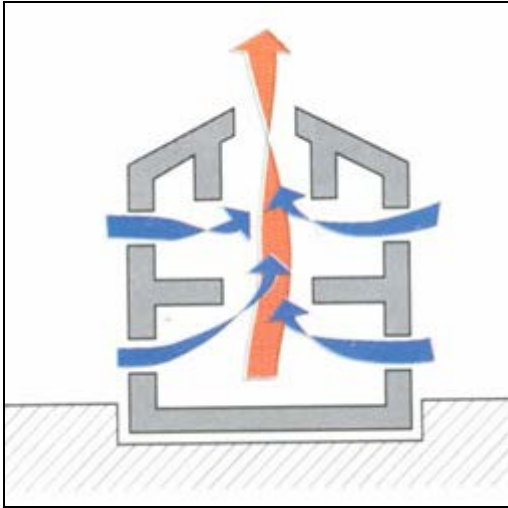
Με το φαινόμενο της καμινάδας δημιουργείται επίσης κίνηση του αέρα στα κτήρια. Η κίνηση είναι κατακόρυφη: Όταν ο αέρας θερμανθεί, διαστέλλεται, μειώνεται η πυκνότητά του και επομένως κινείται ανοδικά. Εάν προσφερθεί διέξοδος στο ανερχόμενο ρεύμα, εισέρχεται αέρας από το εξωτερικό περιβάλλον για να αναπληρώσει αυτόν που διέφυγε. Για να δημιουργηθεί δροσισμός πρέπει ο εισερχόμενος αέρας που αντικαθιστά τη θερμή μάζα του χρησιμοποιημένου αέρα που οδηγήθηκε έξω από το κτήριο να είναι χαμηλότερης θερμοκρασίας. Η διαμόρφωση του κελύφους με φεγγίτες ή ανοίγματα οροφής και ανοίγματα στο κάτω τμήμα της πρόσοψης διευκολύνει την κίνηση του αέρα λόγω διαφοράς θερμοκρασίας. Όσο μεγαλύτερη είναι η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ των ανοιγμάτων ή όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εισερχόμενου και εξερχόμενου αέρα, τόσο αυξάνεται η ταχύτητα του αέρα που κινείται μέσα στο κτήριο και κατά συνέπεια και ο δροσισμός και η αίσθηση της θερμικής άνεσης, (σχήμα 6.7.4.).

Πολλές μέθοδοι φυσικού αερισμού που εφαρμόζονται στη σύγχρονη δόμηση διατηρούν τις αρχές λειτουργίας της παραδοσιακής αρχιτεκτονικής με εξελιγμένες τεχνικές και νέα υλικά. Εφαρμογές, όπως οι πύργοι ανέμου –όμοιοι των αραβικών χωρών– και οι ηλιακές καμινάδες χρησιμοποιούνται σε πολυώροφα κτήρια ως μέθοδοι παθητικού δροσισμού και φυσικού αερισμού. Οι ηλιακές καμινάδες σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο, ώστε τα τοιχώματά τους να θερμαίνονται από την πρόπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας για να προκαλούν μεγαλύτερο ελκυσμό.



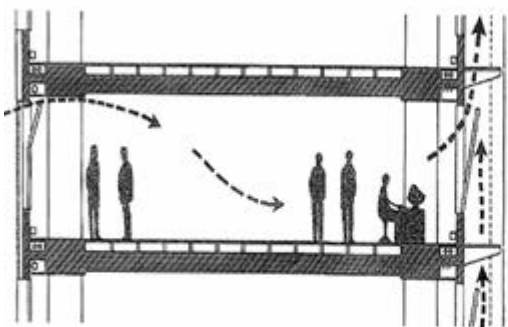
Σχήμα 6.7.4. Αερισμός λόγω διαφοράς θερμοκρασίας-φαινόμενο καμινάδας

Τα εσωτερικά αίθρια επίσης σκεπάζονται με ανοιγόμενα υαλοστάσια και προσαρμόζονται σε λύσεις της σύγχρονης αρχιτεκτονικής για την απομάκρυνση του θερμικού φορτίου από το εσωτερικό των κτηρίων με την εκμετάλλευση του φυσικού ελκυσμού (σχήμα 6.7.5.).



Σχήμα 6.7.5. Αίθρια με ανοιγόμενα υαλοστάσια για την απομάκρυνση της θερμότητας

Μια τάση του νέου τρόπου δόμησης σχετικά με το φυσικό αερισμό των κτηρίων, η οποία έρχεται να δώσει μια απάντηση στο σύγχρονο σφραγισμένο κτήριο, είναι τα **δικέλυφα κτήρια** (σχήμα 6.7.6.). Αυτή η μέθοδος αποτελεί μια από τις αποτελεσματικές στρατηγικές φυσικού αερισμού - δροσισμού των κατασκευών: Ένα δεύτερο γυάλινο κέλυφος, σε μικρή απόσταση από το εξωτερικό δημιουργεί ένα κενό κυκλοφορίας αέρα μεταξύ των κατακόρυφων επιφανειών του κτηρίου. Στο ψηλότερο σημείο του κελύφους τοποθετούνται ανοίγματα για την απομάκρυνση του θερμού ανοδικού αέρα που έχει θερμανθεί από τον ήλιο, ενώ αυτή η κίνηση δημιουργεί και ενισχύει τα ρεύματα του αέρα που διανέμονται στο εσωτερικό του κτηρίου, ελαχιστοποιώντας την ανάγκη για ψύξη.



Σχήμα 6.7.6. Δικέλυφα κτήρια. Δημιουργία αεριζόμενης πρόσοψης

7. ΦΥΤΕΜΕΝΑ ΔΩΜΑΤΑ

7.1. ΤΥΠΟΙ ΦΥΤΕΜΕΝΩΝ ΔΩΜΑΤΩΝ - ΣΤΡΩΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

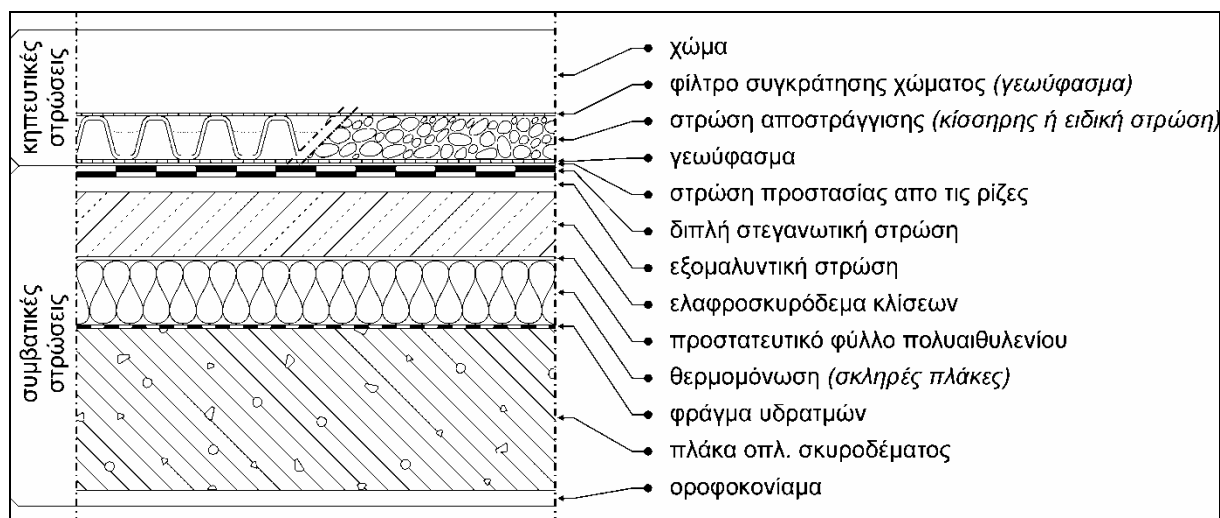
Σε μια διατομή φυτεμένου δώματος διακρίνονται δύο τμήματα: το συμπαγές τμήμα και το κηπευτικό. Το πρώτο αναφέρεται συνήθως στη διατομή του συμβατικού δώματος και το δεύτερο στις κηπευτικές στρώσεις με τις στεγανοποιητικές στρώσεις να αποτελούν τη διαχωριστική στρώση μεταξύ των δύο.

Ο ρόλος των στεγανοποιητικών στρώσεων είναι καθοριστικός για τη διασφάλιση της διάρκειας ζωής της κατασκευής. Παρόλο που οι στεγανοποιητικές στρώσεις σε ένα φυτεμένο δώμα προστατεύονται από τη θερμοκρασιακή διακύμανση και την υπεριώδη ακτινοβολία, αντιμετωπίζουν τον κίνδυνο διάτρησής τους από τη διαβρωτική δράση των ριζών, έναντι της οποίας πρέπει να προστατεύονται με ειδικές στρώσεις προστασίας από τις ρίζες.

Το κηπευτικό τμήμα συγκροτείται συνήθως από τις εξής στρώσεις (σχήμα 7.1):

- Το χώμα, το οποίο αποτελείται από ειδικά μείγματα με μικρό ειδικό βάρος για μείωση των στατικών φορτίων.
- Το φίλτρο διαχωρισμού του χώματος από την αποστραγγιστική στρώση. Αποτελείται συνηθέστερα από γεωύφασμα και έχει το ρόλο της συγκράτησης των μικρής διαμέτρου υλικών του χώματος.
- Τη στρώση αποστράγγισης. Στην περίπτωση ορισμένων φυτεμένων δωμάτων εκτατικού τύπου, στα οποία επιλέγεται αραιή, ανθεκτική βλάστηση χωρίς ιδιαίτερες ανάγκες υγρασίας, ενδέχεται να απουσιάζει. Ο ρόλος της στρώσης είναι διπλός: Συγκρατεί τμήμα του νερού για τη κάλυψη της ανάγκης των φυτών σε υγρασία και επιτρέπει την απομάκρυνση του πλεονάζοντος νερού. Η στρώση αποστράγγισης αποτελείται από ελαφρό αδρανές υλικό όπως για παράδειγμα είναι η κίσηρη ή από ειδικές στρώσεις συνθετικού υλικού που έχουν τη μορφή κοιλοτήτων.
- Το γεωύφασμα. Ο ρόλος του γεωυφάσματος είναι να προστατέψει τις υποκάτω στρώσεις από μηχανικές καταπονήσεις.
- Τη στρώση προστασίας από τις ρίζες. Ο ρόλος της είναι να προστατέψει τις στεγανοποιητικές στρώσεις από τη διαβρωτική δράση των ριζών που ενδέχεται να φτάσουν μέχρι τη στεγανοποιητική στρώση. Συνήθως είναι ένα ειδικό φύλλο πολυαιθυλενίου ή κάποιο υλικό που απωθεί τις ρίζες. Ενδέχεται αυτή η στρώση να αποτελεί και την τελική επικάλυψη της στεγανοποιητικής στρώσης στην περίπτωση που επιλεγεί ειδικό ασφαλτόπανο με πιστοποιημένη προστασία κατά των ριζών. Η απαίτηση για παρουσία αυτής της στρώσης παραμένει ακόμη και στην περίπτωση επιλογής φυτών με ασθενές ριζικό σύστημα, δεδομένου ότι είναι πάντα πιθανή η ανάπτυξη παρασιτικών φυτών ή τοπικής βλάστησης με ισχυρό ριζικό σύστημα.
- Το συμβατικό τμήμα της κατασκευής ενός φυτεμένου δώματος δεν διαφοροποιείται ουσιαστικά από αυτό ενός συμβατικού δώματος. Η βασική διαφοροποίηση προκύπτει από τις αυξημένες απαιτήσεις σε στεγανότητα. Γι' αυτό το λόγο μετά την πολύ προσεκτική εφαρμογή και της στεγανοποιητικής στρώσης απαιτείται έλεγχος της στεγανότητας του δώματος. Ο έλεγχος γίνεται με πλήρωση του δώματος με νερό, σε ύψος τουλάχιστον ίσο με το τελικό ύψος της στρώσης αποστράγγισης. Το νερό πρέπει να παραμείνει τουλάχιστον για τρεις ημέρες, ώστε να διαπιστωθεί εάν υπάρχουν διαρροές νερού προς την πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος. Σε αντίθετη περίπτωση, ενδεχόμενη διαρροή θα απαιτήσει, πέρα από το αποξήλωση και την επανατοποθέτηση νέας στεγανοποιητικής στρώσης, και την απομάκρυνση του συνόλου των κηπευτικών στρώσεων, γεγονός που συνοδεύεται από πολύ

υψηλό κόστος και δυσκολία στην κατασκευή λόγω της θέσης των εργασιών (στο υψηλότερο σημείο του κτηρίου).



Σχήμα 7.1. Τυπική διαστρωμάτωση ενός φυτεμένου δώματος. Ωστόσο, κάποιες από αυτές –εξαρτάται από τον τύπο του φυτεμένου δώματος– ενδέχεται να περιπεύουν (π.χ. στρώση των κλίσεων).

Τα πάχη των κηπευτικών στρώσεων εξαρτώνται από την επιλογή των φυτών που θα αναπτυχθούν στο φυτεμένο δώμα. Για φυτά με μικρό βάθος ανάπτυξης ριζών, τα οποία δεν έχουν απαίτηση για παρουσία μόνιμης υγρασίας ή νερού στο χώμα, οι κηπευτικές στρώσεις μπορεί να έχουν σχετικά μικρά πάχη, ακόμη και μικρότερα των 10 cm. Το μέγιστο πάχος των κηπευτικών στρώσεων περιορίζεται μόνον από τα στατικά φορτία που μπορεί να δεχθεί η κατασκευή.

Η βασική κατάταξη των φυτεμένων δωμάτων αφορά στα χαρακτηριστικά των κηπευτικών στρώσεων και τις απαιτήσεις της βλάστησης που έχει επιλεγεί. Έτσι, διακρίνονται τρεις τύποι φυτεμένου δώματος:

- Εκτατικού τύπου ή χαμηλών απαιτήσεων φύτευσης.
- Ημιεντατικού τύπου ή μέσων απαιτήσεων φύτευσης.
- Εντατικού τύπου ή αυξημένων απαιτήσεων φύτευσης.

Τα **εκτατικού τύπου φυτεμένα δώματα** αποτελούν την απλούστερη μορφή φυτεμένου δώματος. Βασικό τους χαρακτηριστικό είναι το μικρό πάχος των κηπευτικών στρώσεων, το οποίο είναι κατά κανόνα το ελάχιστο που απαιτείται, ώστε να είναι δυνατή η ανάπτυξη χαμηλής βλάστησης. Χαρακτηρίζονται από σχετικά μικρό βάρος, από απουσία αρδευτικού συστήματος στις περισσότερες περιπτώσεις και από μικρά πάχη. Λόγω αυτών των χαρακτηριστικών τους, τέτοιου είδους κήποι μπορούν να αναπτυχθούν ακόμη και σε κεκλιμένες στέγες με την προσθήκη ενός στοιχείου συγκράτησης των κηπευτικών στρώσεων, το οποίο μπορεί να είναι ένα συνθετικό πλέγμα εντός του μείγματος φύτευσης. Στο σύνολό τους, τα φυτεμένα δώματα αυτού του τύπου είναι μη επισκέψιμα, δεδομένου ότι τα μικρά πάχη στρώσεων φύτευσης και το ασθενές ριζικό σύστημα που αναπτύσσεται σε αυτά είναι ευαίσθητα στα φορτία. Τα αντιπροσωπευτικά βάρη των κηπευτικών στρώσεων για πάχη 10 - 15 cm κυμαίνονται μεταξύ 90 - 120 kg/m² σε κατάσταση κορεσμού με πλήρη αποθήκευση νερού στη στρώση αποστράγγισης.

Σε ό,τι αφορά στην επίδρασή τους στην ενεργειακή συμπεριφορά του δώματος, τα εκτατικού τύπου φυτεμένα δώματα έχουν αρκετά μικρή έως και αμελητέα επίδραση στη μεταβολή των θερμοφυσικών χαρακτηριστικών της διατομής. Οι κύριοι λόγοι γι' αυτό είναι:

- Η απουσία πυκνής βλάστησης, επαρκούς ύψους ζώνης βλάστησης και μικρού δείκτη πυκνότητας φυλλώματος, που έχουν ως αποτέλεσμα την εξασθένηση της επίδρασης των φυτών στις υποκάτω στρώσεις. Ειδικά στην περίπτωση απουσίας συστήματος ύδρευσης, τα φυτά έχουν μικρές ανάγκες σε νερό και πρακτικά δεν εμφανίζονται εξατμιστικά φαινόμενα.
- Τα μικρά πάχη των κηπευτικών στρώσεων, που μειώνουν σημαντικά τη θερμοχωρητικότητα της διατομής.

Τα **ημιεντατικού τύπου φυτεμένα δώματα** αποτελούν μια ενδιάμεση κατηγορία φυτεμένου δώματος, η οποία δεν προσδιορίζεται με σαφή τρόπο. Παρ' όλα αυτά, χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη ελευθερία στην επιλογή του πάχους των στρώσεων (περίπου 10 - 25 cm) και των φυτών. Στην επιφάνειά τους μπορεί να αναπτυχθούν από πλάτα έως και μικροί θάμνοι, ενώ μπορούν να είναι είτε αρδευόμενα είτε όχι. Κατά κανόνα συνοδεύονται από αποστραγγιστική στρώση. Τα αντιπροσωπευτικά βάρη των κηπευτικών στρώσεων για πάχη 10 - 25 cm κυμαίνονται μεταξύ 100 - 150 kg/m² σε κατάσταση κορεσμού με πλήρη αποθήκευση νερού στη στρώση αποστράγγισης.

Τα **εντατικού τύπου φυτεμένα δώματα** χαρακτηρίζονται από σχετικά μεγάλα πάχη κηπευτικών στρώσεων (κατά κανόνα 25 - 35 cm αλλά και μεγαλύτερα) και από μεγάλη ελευθερία στην επιλογή των φυτών· μπορούν να επιλεγούν ακόμη και μικρά δέντρα. Χαρακτηρίζονται από παρουσία αποστραγγιστικής στρώσης και κατά κανόνα από ένα μόνιμο σύστημα αυτόματης άρδευσης. Μπορούν να εφαρμοστούν σε κτήρια και κατασκευές στις οποίες η στατική μελέτη έχει προβλέψει τα ισχυρά φορτία της κατασκευής. Τα αντιπροσωπευτικά βάρη των κηπευτικών στρώσεων για πάχη 25 - 35 cm κυμαίνονται μεταξύ 150 - 350 kg/m² σε κατάσταση κορεσμού με πλήρη αποθήκευση νερού στη στρώση αποστράγγισης.

Οι τελευταίοι δυο τύποι φυτεμένου δώματος, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά σχεδιασμού και το είδος της βλάστησης, μπορεί να έχουν αξιόλογη επίδραση στην ενεργειακή συμπεριφορά ενός φυτεμένου δώματος.

7.2. Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ

Η βλάστηση στο φυτεμένο δώμα έχει σημαντική επίδραση στο σύνολο των χαρακτηριστικών του, τόσο σε ό,τι αφορά στην ενεργειακή απόδοση του κτηρίου, όσο και στο σύνολο των ιδιοτήτων του, οι οποίες υπερβαίνουν το πλαίσιο της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων. Αυτή η επίδραση δεν περιορίζεται απλά στη μεταβολή των ιδιοτήτων επάνω από τις κηπευτικές στρώσεις, αλλά αντίθετα εκτείνεται στο λειτουργικά ενιαίο σύστημα κηπευτικών στρώσεων - βλάστησης που προσεγγίζει σε μεγάλο βαθμό και ανάλογα με τον τύπο του φυτεμένου δώματος τη λειτουργία της βλάστησης στο έδαφος.

Η παρουσία του συστήματος βλάστησης - κηπευτικών στρώσεων μεταβάλλει το χαρακτήρα του δώματος από μια τεχνητή επιφάνεια με παθητική συμπεριφορά σε μια φυσική επιφάνεια που βρίσκεται σε συνεχή αλληλεπίδραση με τις περιβαλλοντικές συνθήκες της περιοχής. Η ένταση αυτής της αλληλεπίδρασης είναι ανάλογη με το μέγεθος της κάτοψης του φυτεμένου δώματος αλλά και με τις διαστάσεις των κηπευτικών στρώσεων και της βλάστησης. Για παράδειγμα, η κατασκευή φυτεμένων δωματίων σε ολόκληρους οικισμούς έχει εμφανή αποτελέσματα στη ρύθμιση των μικροκλιματικών συνθηκών της περιοχής, ενώ σε μια μεμονωμένη κατασκευή η επίδραση περιορίζεται κυρίως σε

επίπεδο κτηρίου. Επίσης, ένα φυτεμένο δώμα εκτατικού τύπου έχει συγκριτικά αμελητέα επίδραση σε σχέση με αυτή που ασκεί ένα φυτεμένο δώμα εντατικού ή ημιεντατικού τύπου.

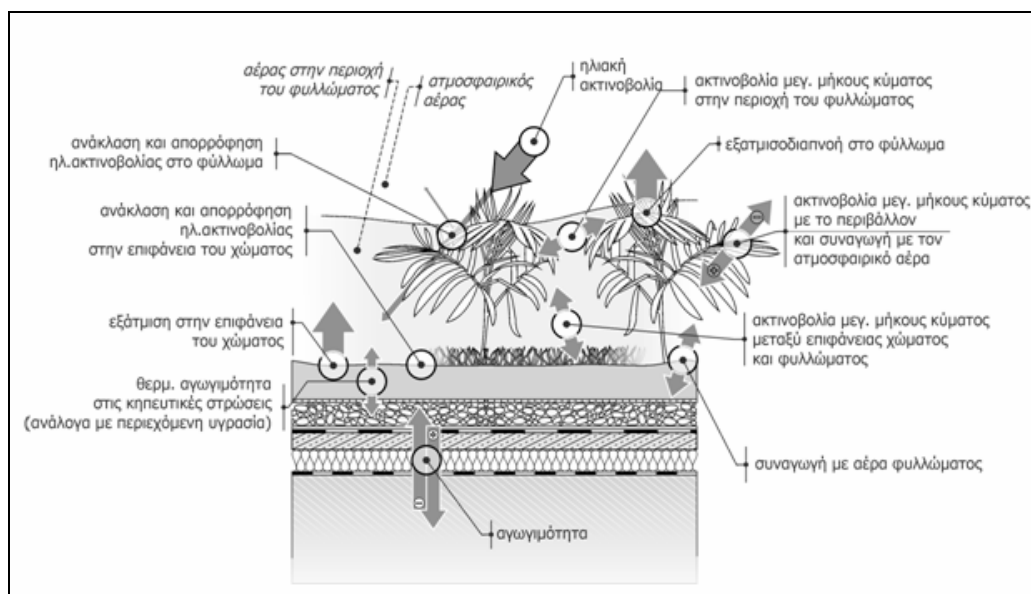
Οι σημαντικότερες ιδιότητες ενός φυτεμένου δώματος συνοψίζονται στα παρακάτω:

- Εξοικονόμηση ενέργειας κυρίως για ψύξη και λιγότερο για θέρμανση του κτηρίου.
- Μείωση των δυσμενών φαινομένων που επιφέρει η δόμηση στο αστικό περιβάλλον.
- Απορρόφηση ρύπων και σκόνης από τον ατμοσφαιρικό αέρα.
- Εξομάλυνση της απορροής των όμβριων υδάτων στο δομημένο περιβάλλον.
- Σημαντική αύξηση της διάρκειας ζωής των στεγανοποιητικών στρώσεων της διατομής.
- Μείωση του αστικού θορύβου και βελτίωση της ηχομονωτικής προστασίας του δώματος.
- Ενίσχυση του οικοσυστήματος της περιοχής.

Σε σχέση με ένα συμβατικό δώμα, η βλάστηση και οι κηπευτικές στρώσεις δεν λειτουργούν απλά ως πρόσθετες στρώσεις που θα μετέβαλλαν το συντελεστή θερμοπερατότητας της διατομής, αλλά αντίθετα εμφανίζουν ένα σχετικά σύνθετο ενεργειακό σύστημα με πολύπλοκες και αλληλοεξαρτώμενες ενεργειακές ροές, (σχήμα 7.2.). Όπως έχει αποδειχθεί, η προσπάθεια υπεραπλούστευσης της ενεργειακής τους συμπεριφοράς είναι επιστημονικά λανθασμένη για δύο λόγους:

Ο πρώτος είναι επειδή τα θερμοφυσικά χαρακτηριστικά των κηπευτικών στρώσεων και της ζώνης βλάστησης έχουν έντονα μεταβαλλόμενο χαρακτήρα, εξαρτώμενο από τις κλιματικές συνθήκες, τον τρόπο άρδευσης και την εποχή του έτους.

Ο δεύτερος και κυριότερος λόγος είναι επειδή οι φυσικές και βιολογικές διεργασίες που πραγματοποιούνται, μεταβάλλουν σημαντικά το χαρακτήρα των θερμικών ροών που εμφανίζονται στη διατομή, οι οποίες διαφέρουν σημαντικά από την απλή μετάδοση θερμότητας με αγωγιμότητα και συναγωγή που εφαρμόζεται στα συνήθη δομικά στοιχεία.



Σχήμα 7.2. Ενεργειακές ροές σε ένα φυτεμένο δώμα

Η ενεργειακή συμπεριφορά ενός φυτεμένου δώματος διαφοροποιείται σε σχέση με ενός συμβατικού, κυρίως λόγω της παρουσίας των παρακάτω ενεργειακών φαινομένων:

- Εξατμισοδιαπνοής στο φύλλωμα και εξάτμισης στην επιφάνεια του χώματος.
- Απορρόφησης ακτινοβολίας στο φύλλωμα.
- Παρεμβολής της ζώνης των φυτών μεταξύ συμπαγών στρώσεων και ατμοσφαιρικού αέρα.

- Θερμικής αδράνειας των κηπευτικών στρώσεων.
- Δυναμικής μεταβολής της αγωγιμότητας των κηπευτικών στρώσεων ανάλογα με την περιεχόμενη υγρασία.

Τα τρία πρώτα φαινόμενα σχετίζονται άμεσα με τα χαρακτηριστικά της βλάστησης. Στο σύνολό τους αυτά τα χαρακτηριστικά διαμορφώνουν ένα ενεργειακό ισοζύγιο στο σύστημα φυτών και κηπευτικών στρώσεων. Το κυρίαρχο μέγεθος σε αυτό το ισοζύγιο είναι η βιολογική διαδικασία της εξατμισοδιαπνοής.

Η εξατμισοδιαπνοή είναι μια βιολογική διαδικασία που πραγματοποιείται στο φύλλωμα των φυτών και στοχεύει στην προστασία του φυτού από την υπερθέρμανση και τη συνεπαγόμενη καταστροφή των ιστών του. Με ενεργειακά κριτήρια, είναι μια διαδικασία εξαναγκασμένης εξάτμισης νερού από τους πόρους του φυλλώματος. Η εξάτμιση ως διαδικασία συνοδεύεται από δέσμευση σχετικά μεγάλης ποσότητας θερμότητας, η οποία ειδαίλλως θα αύξανε τη θερμοκρασία του φυλλώματος και του αέρα στη ζώνη του φυλλώματος. Η ένταση του φαινομένου είναι ανάλογη με τη θερμική καταπόνηση που δέχεται το φυτό και με τη διαθεσιμότητα νερού στις κηπευτικές στρώσεις. Χαρακτηριστικό της σημαντικότητας της διαδικασίας είναι το γεγονός ότι –όπως εκτιμάται– ένα φυτό καταναλώνει σχεδόν το 95% του παρεχόμενου νερού κατά τη διαδικασία της εξατμισοδιαπνοής και μόνο το 5% χρησιμοποιείται για τις άλλες βιολογικές διαδικασίες.

Τη θερμή περίοδο του έτους και ειδικά κατά τις ώρες που αυξάνεται η θερμική καταπόνηση από την ηλιακή ακτινοβολία και τη θερμοκρασία του αέρα, η διαδικασία της εξατμισοδιαπνοής μεγιστοποιείται, οδηγώντας στην παραγωγή ψύξης στη ζώνη των φυτών, ενώ το φαινόμενο ελαττώνεται ή αναστέλλεται κατά τις ώρες και τις εποχές που δεν εμφανίζεται θερμική καταπόνηση (τη νύχτα ή τις μεταβατικές περιόδους και το χειμώνα). Όταν το φυτεμένο δώμα αρδεύεται και έχει αξιόλογη θερμική μάζα, τότε οι κηπευτικές στρώσεις, οι οποίες σκιάζονται από τη βλάστηση, ψύχονται κατά τις ώρες εμφάνισης της εξατμισοδιαπνοής και διατηρούν τις σχετικά χαμηλές (σε σχέση με την ατμόσφαιρα) θερμοκρασίες τους και στο διάστημα της νύχτας.

Το φύλλωμα της βλάστησης εμφανίζει μεγάλη απορροφητικότητα στην ηλιακή ακτινοβολία. Ειδικά στην περίπτωση πυκνού φυλλώματος, δημιουργείται ένα σύστημα από αλληπάλληλες επιφάνειες στις οποίες απορροφάται η ηλιακή ακτινοβολία με αποτέλεσμα ένα πολύ μικρό μέρος της ηλιακής πρόσπτωσης να καταφέρνει να φτάσει στην επιφάνεια των κηπευτικών στρώσεων και μάλιστα με τη μορφή της διάχυτης και ανακλώμενης ακτινοβολίας. Αντίθετα με ότι συμβαίνει σε μια τεχνητή επιφάνεια, η απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας στο φύλλωμα δεν συνοδεύεται από υπερθέρμανσή αλλά αντίθετα, λόγω της εξατμισοδιαπνοής, η θερμοκρασία του φυλλώματος διατηρείται σε επίπεδα πλησίον της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας ή και χαμηλότερα.

Τέλος, όσο πυκνότερο είναι το φύλλωμα στη ζώνη της βλάστησης, τόσο λιγότερο ο αέρας που βρίσκεται στη ζώνη του φυλλώματος συνδέεται θερμικά με τον ατμοσφαιρικό αέρα.

Η λειτουργία της βλάστησης, όπως συνοπτικά αναφέρθηκε παραπάνω, δημιουργεί ένα εξαιρετικά πολύπλοκο ενεργειακό σύστημα με έντονα δυναμικό χαρακτήρα. Ο υπολογισμός της ενεργειακής συμπεριφοράς ενός φυτεμένου δώματος προς το παρόν γίνεται μόνο με τη χρήση πολύπλοκων μαθηματικών αλγορίθμων.

7.3. ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΣΤΗΝ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΚΑΙ ΣΤΟ ΔΡΟΣΙΣΜΟ

Συνδέοντας τα ενεργειακά φαινόμενα που εμφανίζονται σε ένα φυτεμένο δώμα, μπορεί κανείς να αντιληφθεί το ιδιαίτερο θερμικό περιβάλλον που αναπτύσσεται στη ζώνη της βλάστησης σε σχέση με ένα συμβατικό δώμα.

Τη θερμή περίοδο του έτους, κατά την οποία κατά κανόνα η βλάστηση παρουσιάζει και πυκνότερο φύλλωμα, η ενεργειακή συμπεριφορά του φυτεμένου δώματος παρουσιάζει σημαντικές διαφοροποιήσεις από αυτήν ενός συμβατικού δώματος:

Η βλάστηση προκαλεί έντονη σκίαση των συμπαγών στρώσεων της διατομής, προστατεύοντάς τες από την έντονη ηλιακή ακτινοβολία. Χάρη στο φαινόμενο της εξατμισοδιαπνοής, η θερμοκρασία στη ζώνη που αναπτύσσεται το φύλλωμα και μέχρι την επιφάνεια του χώματος παραμένει σε επίπεδα ακόμη και χαμηλότερα της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας. Η μερική θερμική απομόνωση του αέρα μέσα στη ζώνη του φυλλώματος, έχει ως αποτέλεσμα η επιφάνεια του χώματος να έρχεται σε επαφή με αέρα που βρίσκεται σε θερμοκρασίες χαμηλότερες του αέρα την ημέρα και επομένως παραμένει σχετικά δροσερή. Η αυξημένη θερμική αγωγιμότητα των κηπευτικών στρώσεων, όταν υπάρχει παρουσία νερού στη στρώση αποστράγγισης ή όταν εκτελείται συχνή άρδευση του κήπου, έχει ως αποτέλεσμα οι κηπευτικές στρώσεις να εμφανίζουν σε όλη τη μάζα τους σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες. Η υψηλή θερμοχωρητικότητά τους διασφαλίζει ότι οι χαμηλές θερμοκρασίες των κηπευτικών στρώσεων παρουσιάζουν σταθερότητα και μικρή διακύμανση.

Ως αποτέλεσμα αυτών των διεργασιών, οι συμπαγείς στρώσεις κάτω από τις κηπευτικές έρχονται σε συνεχή επαφή με υλικό σχετικά σταθερής θερμοκρασίας και μάλιστα ψυχρότερο της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας αέρα. Στην περίπτωση απουσίας θερμομονωτικής στρώσης ή μη επαρκούς θερμομονωτικής στρώσης, η θερμότητα από το χώρο υποκάτω του δώματος διαφεύγει προς τις δροσερές κηπευτικές στρώσεις παρέχοντας φυσική ψύξη στο χώρο κάτω από το φυτεμένο δώμα. Στην περίπτωση επαρκούς και ισχυρής θερμομονωτικής προστασίας, οι ροές θερμότητας από τον εσωτερικό χώρο προς τις δροσερές κηπευτικές στρώσεις μειώνονται ανάλογα με το μέγεθος της θερμομονωτικής προστασίας, αλλά διατηρούν πάντα τη μορφή των θερμικών απωλειών (ψύξη του χώρου).

Στην περίπτωση του συμβατικού δώματος, η εξωτερική εκτεθειμένη επιφάνεια δέχεται ισχυρότατη καταπόνηση από την ηλιακή ακτινοβολία το καλοκαίρι και εμφανίζει θερμοκρασίες σημαντικά υψηλότερες της ατμοσφαιρικής. Ανεξαρτήτως της θερμομονωτικής προστασίας, η ροή θερμότητας θα έχει πάντα τη μορφή του θερμικού κέρδους προς το χώρο.

Η ικανότητα του φυτεμένου δώματος να λειτουργεί ως τεχνική φυσικού δροσισμού έχει αποδειχθεί αναλυτικά με τη βοήθεια πολύπλοκων δυναμικών μοντέλων ενεργειακής προσομοίωσης αλλά και πειραματικά σε διάφορες επιστημονικές μελέτες που έχουν διεξαχθεί στην Ελλάδα και στο εξωτερικό.

Κατά τη χειμερινή περίοδο, η ηλιακή ακτινοβολία στις οριζόντιες επιφάνειες των κτηρίων είναι μειωμένη λόγω κυρίως της μεγάλης γωνίας, υπό την οποία προσπίπτει στις οριζόντιες επιφάνειες. Παράλληλα, λόγω χαμηλών θερμοκρασιών περιβάλλοντος η λειτουργία της εξατμισοδιαπνοής πρακτικά αναστέλλεται. Η σκίαση που επιφέρει το φύλλωμα στις συμπαγείς επιφάνειες παρόλο που είναι μειωμένη λόγω μικρότερης πυκνότητας φυλλώματος, μειώνει και την ηλιακή πρόσπτωση στην επιφάνεια του χώματος. Λόγω της μειωμένης πυκνότητας βλάστησης μειώνεται και η θερμική απομόνωση της στρώσης του φυλλώματος με τον αέρα. Επομένως, κατά την ψυχρή περίοδο του έτους η παρουσία της βλάστησης δεν μεταβάλλει αξιόλογα τις ενεργειακές ροές υπεράνω των κηπευτικών στρώσεων. Σ' αυτήν την περίοδο η κύρια διαφοροποίηση ενός συμβατικού και ενός φυτεμένου δώματος προκύπτει από την παρουσία της θερμικής μάζας των κηπευτικών στρώσεων, οι οποίες όμως εμφανίζουν αυξημένη θερμική αγωγιμότητα και δεν μπορούν να θεωρηθούν ως θερμομονωτική στρώση. Έχει αποδειχθεί και πειραματικά ότι ειδικά για τις ελληνικές κλιματικές

συνθήκες η ύπαρξη ακόμη και ασθενούς θερμομονωτικής προστασίας ενός φυτεμένου δώματος οδηγεί σε θερμικές απώλειες πρακτικά ίδιες με αυτές ενός συμβατικού. Σ' αυτήν την περίπτωση το φυτεμένο δώμα δεν συμβάλλει στη μείωση των θερμικών απωλειών από την οροφή του κτηρίου. Η μόνη αξιολογή διαφοροποίηση, αφορά στη διακύμανση της θερμοκρασίας κάτω από τις κηπευτικές στρώσεις. Συγκρίνοντας τη εξωτερική επιφανειακή θερμοκρασία ενός συμβατικού δώματος με τη θερμοκρασία στην ίδια θέση, αλλά με την παρουσία των κηπευτικών στρώσεων άνωθεν αυτής, προκύπτουν σχεδόν ίδιες τιμές μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας και στους δυο περιπτώσεις, με τη διαφορά ότι στο φυτεμένο δώμα η ημερήσια θερμοκρασιακή διακύμανση είναι αμελητέα, ενώ στην περίπτωση του συμβατικού δώματος η διακύμανση παρακολουθεί αυτήν της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας.

Αντίθετα, στην περίπτωση ενός μη θερμομονωμένου δώματος η παρουσία των κηπευτικών στρώσεων και της βλάστησης μπορεί να οδηγήσει σε μια ελαφρά μείωση των θερμικών απωλειών. Αυτή η μείωση οφείλεται κυρίως στην παρουσία των κηπευτικών στρώσεων, ακόμη και αν εμφανίζουν αυξημένη θερμική αγωγιμότητα. Σε καμία περίπτωση όμως αυτό το όφελος δεν μπορεί να συγκριθεί με το όφελος που θα προέκυπτε με την αναδρομική θερμομόνωση της διατομής του δώματος.

Συνοψίζοντας τα παραπάνω, θα μπορούσε κανείς να καταλήξει στις εξής διαπιστώσεις σχετικά με τη συνεισφορά του φυτεμένου δώματος στην ενεργειακή συμπεριφορά του κτηρίου και ειδικά για τις ελληνικές κλιματικές συνθήκες:

- Το φυτεμένο δώμα είναι μια κατασκευή με σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι του συμβατικού δώματος. Σε ό,τι αφορά όμως στην ενεργειακή απόδοση του κτηρίου, η παρουσία και ο βαθμός της θερμομονωτικής προστασίας καθορίζουν κάθε φορά την ικανότητά του να συμμετέχει στη βελτίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτηρίου.
- Σε μία επαρκώς θερμομονωμένη διατομή δώματος, η εγκατάσταση ενός φυτεμένου δώματος θα έχει μικρή έως αμελητέα συμβολή στην ενεργειακή απόδοση του κτηρίου. Η συμβολή περιορίζεται κυρίως στην ελαφρά θερμική αποφόρτιση του χώρου υπό το φυτεμένο δώμα, η οποία όμως μειώνεται όσο αυξάνεται η θερμομονωτική προστασία της διατομής. Κατά τη χειμερινή περίοδο, η συμβολή είναι ακόμη μικρότερη.
- Σε μία ανεπαρκώς θερμομονωμένη διατομή δώματος ή σε ένα μη θερμομονωμένο δώμα, η συμβολή του φυτεμένου δώματος είναι εντονότερη. Τη χειμερινή περίοδο, το σύστημα κηπευτικών στρώσεων - βλάστησης λειτουργεί ως πρόσθετη, ασθενής θερμομονωτική στρώση. Την καλοκαιρινή περίοδο, και ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του φυτεμένου δώματος και τη συχνότητα άρδευσης, μπορεί να συμβάλει στο φυσικό δροσισμό του υποκάτω χώρου.
- Σύμφωνα με αυτές τις διαπιστώσεις, στην περίπτωση των κτηρίων που μελετώνται σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ., η ύπαρξη του φυτεμένου δώματος αγνοείται στο πλαίσιο των υπολογισμών της ενεργειακής απόδοσης. Αντίθετα, στην περίπτωση της ενεργειακής επιθεώρησης κτηρίων με μη θερμομονωμένο ή με ανεπαρκώς θερμομονωμένο δώμα, η θετική επίδραση του φυτεμένου δώματος λαμβάνεται υπόψη με τη χρήση συντελεστών θερμοπερατότητας 1,20 W/(m²·K) και 0,70 W/(m²·K) αντίστοιχα (πίνακας 3.4β. στην Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ανδρεαδάκη - Χρονάκη, Ε., «Βιοκλιματικός σχεδιασμός - Περιβάλλον και βιωσιμότητα», University Studio Press, Θεσσαλονίκη, 2006.
2. Αξαρή Κ., «Φυσικός δροσισμός: ο ενεργειακός σχεδιασμός των κτηρίων το καλοκαίρι», περιοδικό «Κτίριο», Νο 129, Αύγουστος 2009, - αφιέρωμα «Αρχιτεκτονική και ενέργεια», σελ. 41-48.
3. Αραβαντινός Δ, Ευμορφοπούλου Α., Θεοδοσίου Θ., Ψωμάς Φ., Τσακίρης Ν., Ερευνητικό πρόγραμμα Π.Εν.Ε.Δ.: «Μελέτη της συμβολής των φυτεμένων δωματίων στην ενεργειακή συμπεριφορά των κτηρίων και στη βελτίωση της ποιότητας ζωής στα μεγάλα αστικά κέντρα», Εργαστήριο Οικοδομικής και Φυσικής των Κτιρίων, Α.Π.Θ., 2001.
4. Anderson B., Bankston C. (ed), «Solar Building Architecture», MIT Press, 1990.
5. Anink David, Boonstra Chiel and Mak John, "Handbook of sustainable building", James and James, 1996.
6. Aravantinos D., Theodosiou T, Tourtoura D, «The Influence of a planted roof on the passive cooling of buildings», Proc. of ISES Solar World Congress, Jerusalem, 1999, pp. 490-498.
7. ASHRAE, Handbook «Fundamentals», chapter 27 - Fenestration, the American Society of Heating, Refrigerating and Air- Conditioning Engineers, Atlanta, Georgia, 1997.
8. ASHRAE Standard 55-2004. «Thermal environmental conditions for human occupancy», American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), Atlanta, Georgia, 2004.
9. Auliciems A., Szokolay S., «Thermal Comfort», PLEA note 3- Design tools and techniques: Passive and Low Energy Architecture International in Association with Department of Architecture, The University of Queensland, 2nd revised edition 2007.
10. Axarli K., Demetriou M., «The impact of shading on the thermal performance of a passive solar heating system: Experimental evaluation and simulation analysis», Int. conference proceedings - PLEA 2005 "Environmental sustainability: The Challenge of Awareness in Developing Societies", Beirut, Lebanon, 13-16 November, 2005, pp. 57-63.
11. Boutet, T.S., «Controlling air movement: A manual for architects and builders», McGraw Hill Book Co, 1987.
12. Colombo R., Landabaso A., Sevilla A., «Passive solar architecture for Mediterranean Area», Joint Research Centre, Commission of the European Communities, 1994.
13. «Ενεργειακός σχεδιασμός - Εισαγωγή για αρχιτέκτονες» [μετάφραση από τον Ε. Τσίγκα, του πρωτότυπου «Energy conscious design - A primer for architects,» Lewis J. O., Steemers T. C.,(eds)], Μαλλιάρης - Παιδεία για την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1994.
14. «Ενέργεια στην αρχιτεκτονική: Το ευρωπαϊκό εγχειρίδιο για τα παθητικά ηλιακά κτήρια», [μετάφραση από τον Ε. Τσίγκα, του πρωτότυπου «Energy in architecture – The european passive solar handbook», Μαλλιάρης - Παιδεία για την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1996.
15. ΕΛΟΤ EN 15251: 2008. Παράμετροι εσωτερικών περιβαλλοντικών εισροών για το σχεδιασμό και την αποτίμηση των ενεργειακών επιδόσεων κτηρίων σχετικά με την εσωτερική ποιότητα του αέρα, το θερμικό περιβάλλον, το φωτισμό και την ακουστική.
16. Eumorphopoulou E., Aravantinos D., "The contribution of a planted roof to the thermal protection of buildings in Greece», Energy and Buildings, Vol. 27, Issue 1, 1998, pp. 29–36.
17. Eumorphopoulou E., Tsakiris N., Psomas F., «Comparative assessment of the thermal behaviour of a planted roof vs a bare roof in Thessaloniki», Proc. of ISES Solar World Congress, Jerusalem, 1999, pp. 490-498.

18. Fanger P.O., «Thermal comfort; Analysis and applications in environmental engineering», McGraw-Hill Book Co, New York, 1972.
19. Givoni B., «Climate considerations in building and urban design», Van Nostrand Reinhold, 1998.
20. Θεοδοσίου Θ., «Πειραματική και αναλυτική διερεύνηση της συμβολής του φυτεμένου δώματος στο φυσικό δροσισμό των κτηρίων», διδακτορική διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ., 2000.
21. Θεοδοσίου Θ.Γ., «Συγκριτική αξιολόγηση του φυτεμένου δώματος ως τεχνική φυσικού δροσισμού των κτηρίων», περιοδικό «Κτίριο» - Επιστημονική έκδοση, Α-Β/2003, σελ. 43-50.
22. Θεοδοσίου Θ., Αμηνάς Π., Οικονομίδης Γ., «Η συμβολή ενός φυτεμένου δώματος στον κλιματισμό ενός κτηρίου», Πρακτικά 6ου Εθνικού Συνεδρίου του Ι.Η.Τ., Βόλος, 1999, σελ.137-144.
23. Hestnes Anne-Grete (ed), «Solar Energy Houses», James and James, 1995.
24. ISO 7730. «Moderate thermal environment, determination of PMV and PPD indices and specification of the condition for thermal comfort», International Organization for Standardization, Geneva, 1994.
25. Koënisberger O.,H., Ingersoll T.C, Mayhew A., Szokolay S.V., «Manual of tropical housing and building», part 1, section 2, "Comfort: the desirable conditions", Longman Group Ltd, 1974.
26. Lewis J.O., Olley J.A., O'Cofaigh E.O., «The climatic dwelling: an introduction to climate responsive residential architecture», James and James, 1996.
27. Mazria E., «The passive solar energy book», Rodale Press, Emmaus, Pa, 1979.
28. Olgyay V., «Design with climate», Princeton Uni. Press, Princeton, NJ, 1963.
29. Παπαδόπουλος Α. Μ., Αξαρχή Ν. Κ., «Ενεργειακός σχεδιασμός και παθητικά ηλιακά συστήματα κτηρίων - Δομική φυσική II», Α.Π.Θ., 1982.
30. Roaf Sue, «Eco- house design guide», Butterworth, 2000.
31. Santamouris M., (Ed). «Advances in passive cooling», Earthscan, London, 2007.
32. Sayigh A.M.M., Sala M., Gallo C., «Architecture comfort and energy», Elsevier Science, 1999.
33. Theodosiou T.G., «Summer period analysis of the performance of a planted roof as a passive cooling technique», Energy and Buildings, vol.35, Issue 9, 2003, pp. 909-917.
34. Theodosiou T.G., «Green roofs in buildings: Thermal and environmental behaviour» Advances in Building Energy Research (ABER), Vol 3, Earthscan, 2009, pp. 271-288.
35. Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010 «Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτηρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης», Τεχνική Οδηγία Τ.Ε.Ε., Ιούλιος 2010.
36. Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2/2010 «Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτηρίων», Τεχνική Οδηγία Τ.Ε.Ε., Ιούλιος 2010.
37. Watson Donald, Labs Kenneth, «Climatic design», McGraw-Hill Co, New York, 1983.
38. Yannis S., et al «Roof cooling techniques, a design handbook», Earthscan, Sterling, 2006.