



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΗΝ

ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ

ΤΣΙΜΠΙΑΝΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

ΤΖΙΒΑΝΙΔΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ

ΑΘΗΝΑ 2008

Περίληψη

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία έχει στόχο την ανάλυση των συνθηκών θερμικής άνεσης ενός χώρου, και τη συσχέτιση των συνθηκών αυτών με τα ποσά ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται ο συγκεκριμένος χώρος. Μετά από μια συνοπτική περιγραφή των γενικών συνθηκών άνεσης, γίνεται ανάλυση όλων των συνιστωσών που επηρεάζουν τη θερμική άνεση, και του πώς γίνεται αυτή αντιληπτή από τον άνθρωπο. Στη συνέχεια αναλύεται το πώς η ηλιακή ακτινοβολία, μέσω των δομικών στοιχείων και των ανοιγμάτων ενός κλειστού χώρου, επιδρά στις εσωτερικές συνθήκες αυτού, καθώς και τη ζώνη επιρροής που προκαλεί, και την επίδραση που δέχεται ένας άνθρωπος ανάλογα με τη θέση ως προς αυτή.

Στο **Κεφάλαιο 1** γίνεται μια συνοπτική παρουσίαση των κλιματικών στοιχείων της Ευρώπης γενικότερα, και της Ελλάδας πιο συγκεκριμένα, και παρουσίαση του όρου εσώκλιμα, δηλαδή του κλίματος ενός κλειστού χώρου.

Στο **Κεφάλαιο 2** δίνονται μερικά βασικά στοιχεία του ανθρώπινου σώματος και των διεργασιών, οι οποίες επιδρούν στη συναλλαγή θερμότητας μεταξύ σώματος και περιβάλλοντος. Κατόπιν τούτου αναλύονται οι παράμετροι της θερμικής άνεσης, και στο τέλος υπάρχει μια συνοπτική παρουσίαση των υπολοίπων συνθηκών άνεσης.

Στο **Κεφάλαιο 3** αναλύεται η θερμική άνεση μέσα από τις εξισώσεις που αφορούν συναλλαγή θερμότητας, αλλά και του υπολογισμού της θέσεως του ατόμου στο χώρο.

Στο **Κεφάλαιο 4** παρουσιάζονται γενικά στοιχεία για τον ήλιο, και οι βασικές γνώσεις σχετικά με την ηλιακή ακτινοβολία και τη πρόσπτωσή της σε μια επιφάνεια.

Στο **Κεφάλαιο 5** αναλύεται η είσοδος της ηλιακής ακτινοβολίας σε ένα κλειστό χώρο, η ζώνη επιρροής που προκαλεί και οι απορρόφησή της στα δομικά στοιχεία και αντικείμενα, καθώς και οι επιδράσεις της σε άνθρωπο εντός του χώρου.

Στο **κεφάλαιο 6** περιγράφεται η μετάδοση της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω υαλοπινάκων και ανοιγμάτων, και η επίδραση που προκαλούν στη θερμική άνεση ενός χώρου.

Στο **Κεφάλαιο 7** αναφέρεται η επιρροή των λοιπών δομικών στοιχείων (τοιχών – οροφών) στην επίδραση της θερμικής άνεσης λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας.

Στο **κεφάλαιο 8** παρουσιάζονται συνοπτικά τρόπου κατασκευής κτιρίων με σκοπό τη καλύτερη δυνατή εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας (βιοκλιματικός σχεδιασμός)

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1: Το Κλίμα

1.1	Γενικά	6
1.2	Ηλιακή Ακτινοβολία	7
1.3	Θερμοκρασία	10
1.4	Άνεμος	11
1.5	Υγρασία	11
1.6	Το Κλίμα της Ελλάδας	12
1.7	Εσώκλιμα	17

Κεφάλαιο 2: Συνθήκες Άνεσης

2.1	Γενικά	18
2.2	Ο Άνθρωπος	19
	Η αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών συνθηκών από το ανθρώπινο	
2.2.1	σώμα	19
2.2.2	Θερμοκρασία ανθρώπινου σώματος	20
2.2.3	Ανθρώπινη συμπεριφορά σε ακραίες θερμοκρασίες περιβάλλοντος	25
2.2.4	Η εφίδρωση	26
2.2.5	Ο μεταβολισμός	28
2.2.6	Επιφάνεια σώματος	32
2.3	Η ένδυση	33
2.4	Επίτευξη Συνθηκών Άνεσης	39
2.5	Θερμική Άνεση	41
2.5.1	Η θερμοκρασία	42
2.5.2	Η υγρασία	49
2.5.3	Η ταχύτητα του αέρα	52
2.5.4	Οι δείκτες PMV - PPD	54
2.5.5	Ο δείκτης DR	58
2.5.6	Τοπική έλλειψη θερμικής άνεσης	59
2.6	Λοιπές παράμετροι άνεσης	62
2.6.1	Ο θόρυβος	62
2.6.2	Οπτική άνεση - Φωτισμός	64
2.6.3	Αερισμός - Καθαρότητα αέρα	65

Κεφάλαιο 3: Οι Εξισώσεις της Θερμικής Άνεσης

3.1	Θερμικό Ισοζύγιο	69
3.2	Απώλειες Θερμότητας από το Δέρμα	70
3.3	Απώλειες Θερμότητας Αναπνοής	72
3.4	Απώλειες Λόγω Ακτινοβολίας - Μέση Θερμοκρασία Ακτινοβολίας	75
	Η εκτιθέμενη επιφάνεια και οι γωνίες μεταξύ ατόμου και γύρω	
3.4.1	επιφανειών	78
3.4.2	Ο υπολογισμός του f_p	80
3.4.3	Υπολογισμός του συντελεστή όρασης	83
3.5	Υπολογισμός της θερμομόνωσης των ενδυμάτων	84
3.6	Η Επίδραση των Αντικειμένων στη Θερμοκρασία του Χώρου	85
3.7	Η Τρέχουσα Μέση Εξωτερική Θερμοκρασία	86

Κεφάλαιο 4: Ηλιακή Ακτινοβολία

4.1	Γενικά Στοιχεία για τον Ήλιο	87
4.2	Η Ηλιακή Ακτινοβολία	90
4.3	Ακτινοβολία σε Κεκλιμένο Επίπεδο	94
	4.3.1 Άμεση ακτινοβολία σε κάθετη προς αυτή επιφάνεια	97
	4.3.2 Ο ρόλος της κλίσης της επιφάνειας	99

Κεφάλαιο 5: Η Ακτινοβολία Σε Κλειστό Χώρο

5.1	Ανάκλαση της Ακτινοβολίας	100
5.2	Απορρόφηση Υαλοκατασκευής	101
5.3	Απορρόφηση Χώρων Δωματίων	102
5.4	Ζώνη επιρροής ακτινοβολίας σε κλειστό χώρο	103
5.4	Συναλλαγή ακτινοβολίας ανθρώπινου σώματος σε κλειστό χώρο	104

Κεφάλαιο 6: Η Μετάδοση Μέσω Υαλοπινάκων

6.1	Οι Υαλοπίνακες	107
6.2	Η Επίδραση των Υαλοπινάκων στη Θερμική Άνεση	109
6.3	Ζώνες Έλλειψης Άνεσης Λόγω Παραθύρων	112
6.4	Χαρακτηριστικές Οπτικές Ιδιότητες για Χειμώνα - Καλοκαίρι	114
6.5	Η Σχέση της Θερμοκρασίας Εσωτερικού με τη Θερμοκρασία της Επιφάνειας του Παραθύρου	116
6.6	Ο Ρόλος των Πλαισίων των Παραθύρων	117
6.7	Θερμικό Κέρδος Χώρου Λόγω της Ηλιακής Ενέργειας Προσπίπτουσας σε Υαλοπίνακα	118
6.8	Η Ηλιακή Ακτινοβολία δια Μέσω του Υαλοπίνακα	122
6.9	Η Επίδραση της Διάχυτης Ακτινοβολίας Μέσω Υαλοπινάκων στο Ανθρώπινο Σώμα	
6.10	Αύξηση Μέσης Θερμοκρασίας Ακτινοβολίας Λόγω Ηλιακής Ακτινοβολίας	129
6.11	Η Τοπική Έλλειψη Άνεσης Λόγω Ασύμμετρου Πεδίου Ακτινοβολίας	133
6.12	Ο Προσανατολισμός και η Κλίση των Υαλοπινάκων	134
6.13	Η Σκίαση	135

Κεφάλαιο 7: Η Επίδραση της Ηλιακής Ακτινοβολίας Μέσω των Τοίχων

7.1	Ο Τρόπος Επίδρασης της Ηλιακής Ακτινοβολίας	139
7.2	Θερμική Ροή δια Μέσω Τοίχων	140
7.3	Θερμική Ροή δια Μέσω Βρεγμένης Επιφάνειας	144

Κεφάλαιο 8: Δόμηση Κατάλληλη για Εκμετάλλευση της Ηλιακής Ακτινοβολίας

8.1	Βιοκλιματικός Σχεδιασμός	147
8.2	Η Τοποθέτηση του Κτιρίου και οι Εσωτερικοί Χώροι	147
8.3	Συστήματα Άμεσου Ηλιακού Κέρδους	149
8.4	Συστήματα Έμμεσου Ηλιακού Κέρδους	149
8.4.1	Ο τοίχος Trombe	150
8.4.2	Ο τοίχος νερού	152
8.4.3	Η οροφή νερού	154

Βιβλιογραφία - Αναφορές	155
--------------------------------	------------

1. Το Κλίμα

1.1 Γενικά

Το κλίμα αποτελεί πρωταρχικό παράγοντα στην οικιστική ανάπτυξη μιας περιοχής. Παράγοντες όπως η ηλιακή ακτινοβολία, η θερμοκρασία εδάφους και αέρα, η κατεύθυνση και η ταχύτητα του ανέμου, η υγρασία, καθώς και το πώς μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια του έτους, καθορίζουν την πολεοδομική οργάνωση και την αρχιτεκτονική του κτιρίου. Κύριος στόχος του σχεδιασμού είναι η δημιουργία συνθηκών άνεσης στο εσωτερικό των κτιρίων σε συνδυασμό με μια ορθή περιβαλλοντικά αντίληψη.

Το κλίμα της Ευρώπης θα μπορούσε να χαρακτηριστεί πολύ γενικά σαν εύκρατο, με ένα μόνο μικρό τμήμα στον πολικό κύκλο που χαρακτηρίζεται από πολύ χαμηλές θερμοκρασίες το χειμώνα. Με μια πιο λεπτομερειακή προσέγγιση θα μπορούσε να γίνει ο διαχωρισμός σε τέσσερις περιοχές.

Βόρεια Ευρωπαϊκή Παράκτια Ζώνη	Μέση Ευρωπαϊκή Παράκτια Ζώνη	Ηπειρωτική Ζώνη	Νότια και Μεσογειακή Ζώνη
Ψυχροί Χειμώνες (με χαμηλή ηλιακή ακτινοβολία) Ήπια Καλοκαίρια Μικρές Ημέρες	Ψυχροί Χειμώνες (με χαμηλή ηλιακή ακτινοβολία) Ήπια Καλοκαίρια	Ψυχροί Χειμώνες (με υψηλή ηλιακή ακτινοβολία) Θερμά Καλοκαίρια Μεγάλες Ημέρες	Ήπιοι Χειμώνες (με ισχυρή ηλιακή ακτινοβολία) Θερμά καλοκαίρια Μεγάλες ημέρες

Οι παράγοντες που δημιουργούν τον καθορισμό των περιοχών αυτών δεν είναι άλλοι από τη θέση της Ευρωπαϊκής Ηπείρου, τη μορφολογία της και τα φυσικά χαρακτηριστικά της: ο Ατλαντικός Ωκεανός, η Μεσόγειος Θάλασσα και η ύπαρξη των ερήμων της νοτίου Αφρικής, η μεγάλη ηπειρωτική περιοχή Ανατολικά και η Αρκτική Θάλασσα στα Βόρεια, οι Άλπεις. Η κατεύθυνση των ανέμων είναι καθοριστικός παράγοντας αφού ανάλογα με την προέλευσή τους παρατηρούνται διαφοροποιήσεις όσον αφορά την υγρασία και τη θερμοκρασία καθώς και τη μεταφορά σκόνης από την Αφρική (η υγρασία και η σκόνη μεταβάλουν τα ποσοστά άμεσης και διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας).



Σχήμα 1.1 Οι τέσσερις κλιματικές ζώνες της Ευρωπαϊκής Ηπείρου.

Στη συνέχεια γίνεται μια σύντομη αναφορά σε κάθε παράγοντα που διαμορφώνει τις κλιματικές συνθήκες ενός τόπου.

1.2 Ηλιακή Ακτινοβολία

Με τον όρο ηλιακή ακτινοβολία ορίζουμε το σύνολο της ενέργειας που ακτινοβολείται από τον ήλιο και πέφτει σε ένα τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας. Η ολική ακτινοβολία αποτελεί το άθροισμα της άμεσης και διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας, ονομάζοντας διάχυτη την ακτινοβολία που έρχεται αφού πρώτα ανακλαστεί από τα σύννεφα, προσθέτοντας και την ακτινοβολία που ανακλάται στο έδαφος, στα κτίρια κλπ.

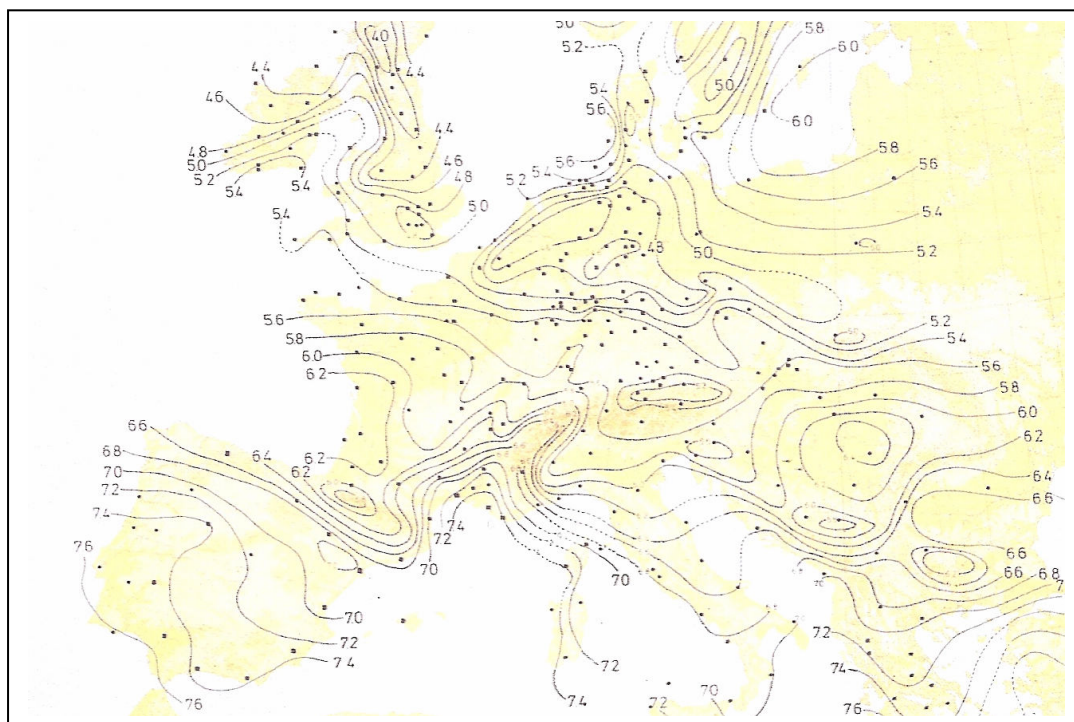
Η κατάσταση της ατμόσφαιρας καθορίζει το ποσό ολικής ακτινοβολίας καθώς και το ποσοστό άμεσης και διάχυτης. Τα μόρια του αέρα τα σταγονίδια νερού και η σκόνη προκαλούν διάχυση, ενώ υδρατμοί – νέφωση, όζον και αέριοι ρυπαντές προκαλούν εκτός από διάχυση και απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Το ποσοστό της διάχυτης ακτινοβολίας είναι αρκετά μεγαλύτερο στις περιοχές της Βόρειας Ευρώπης από ότι στη Νότια. Γενικότερα το σύνολο της ακτινοβολίας εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος, τις μετεωρολογικές συνθήκες, την ώρα της ημέρας, και μεταβάλλεται όπως είναι φυσικό συνεχώς. Οι τιμές μεταβάλλονται από

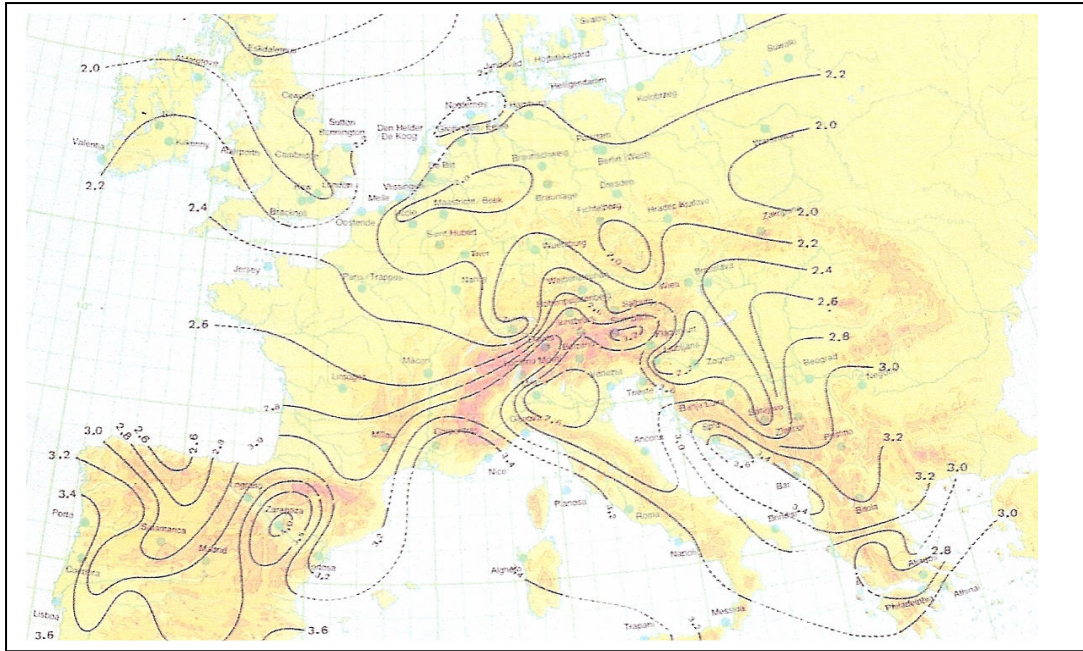
2,25 KWh/m² στη Βόρεια Ευρώπη μέχρι 6 KWh/m² στη Νότια (τιμές ετήσιας μέσης ημερήσιας ακτινοβολίας).

Η ύπαρξη σκόνης και υδρατμών είναι μεγαλύτερη τους καλοκαιρινούς μήνες, ενώ μεταβολές στα ποσά ακτινοβολίας παρουσιάζονται όσο πλησιάζουμε σε μεγάλα αστικά κέντρα, όπου παρουσιάζεται μεγάλη συγκέντρωση αέριων ρυπαντών και καπνού. Καθοριστικό ρόλο παίζει η βλάστηση μιας περιοχής, η οποία λόγω της ιδιότητας των φύλλων να φιλτράρουν τον αέρα (μέσω της προσκόλλησης σωματιδίων στην επιφάνεια τους) μεταβάλλει το ποσό διάχυτης ακτινοβολίας, δημιουργώντας ταυτόχρονα συνθήκες σκίασης, άλλοτε επιθυμητής και άλλοτε ανεπιθύμητης. Η ικανότητα σκίασης από τα δέντρα μπορεί να ελεγχθεί με την σωστή επιλογή δέντρων (για παράδειγμα η χρήση φυλλοβόλων δέντρων δημιουργεί επιλεκτική σκίαση ανάλογα με την εποχή) και της μελετημένης τοποθέτησης τους, εκτός αν πρόκειται για ήδη υπάρχουσα βλάστηση. Ακόμα σκίαση δημιουργείται από τα κτίρια κάτι που πρέπει να μελετάται κατά τον πολεοδομικό σχεδιασμό.

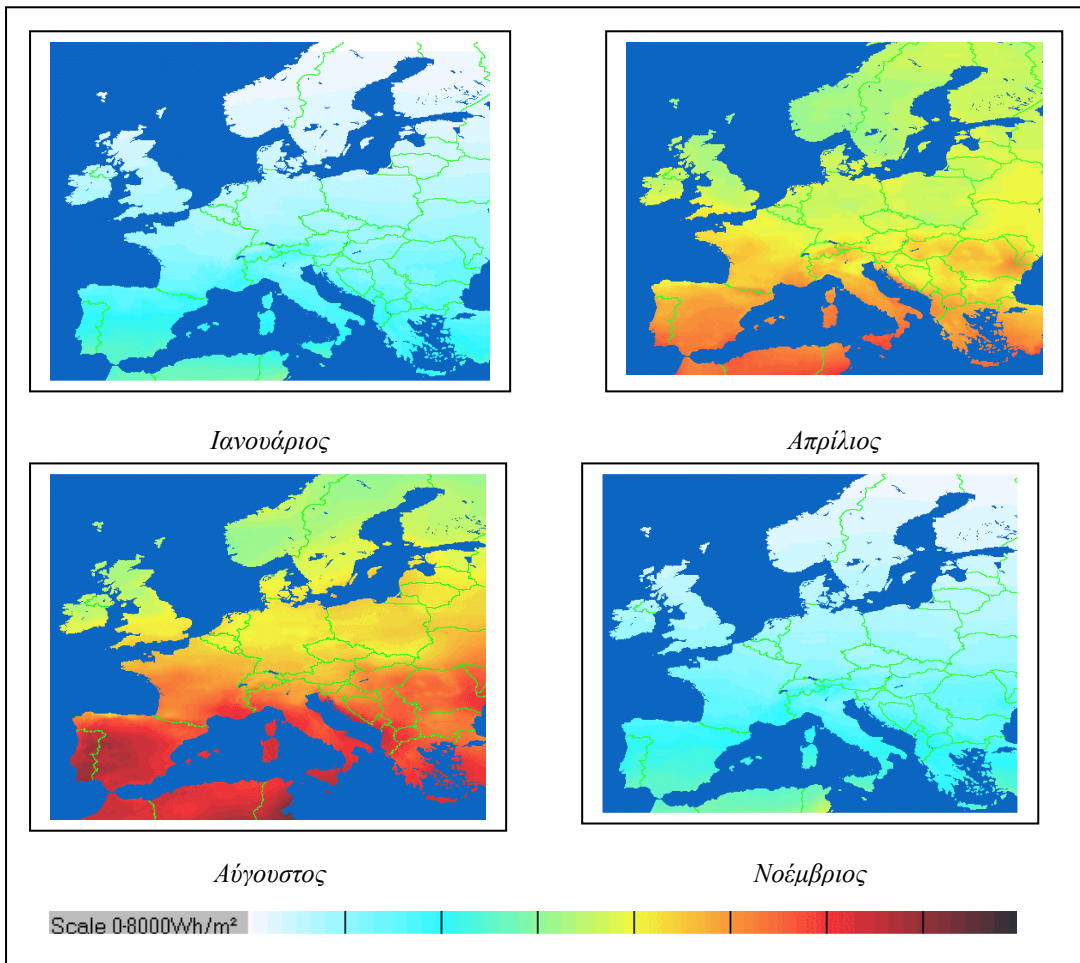
Περισσότερα όσον αφορά την Ηλιακή Ακτινοβολία θα αναπτυχθούν στο αντίστοιχο κεφάλαιο.



Σχήμα 1.2.1 Μέσες μηνιαίες τιμές ημερήσιας ολικής ακτινοβολίας (KWh/m²) για το μήνα Ιούλιο 1966 – 1975



Σχήμα 1.2.2 Μέσες ετήσιες τιμές ημερήσιας ολικής ακτινοβολίας (KWh/m^2) σε νότια κατακόρυφη επιφάνεια για τα έτη 1966 - 1975



Σχήμα 1.2.3 Μέσες μηνιαίες τιμές μέσης ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο (ESRA screen – European Solar Radiation Atlas).

1.3 Θερμοκρασία

Με τον γενικό όρο θερμοκρασία αναφερόμαστε πρακτικά στην θερμοκρασία του αέρα και την θερμοκρασία του εδάφους. Η θερμοκρασία του αέρα παρουσιάζει έντονες μεταβολές ανάλογα με τα αέρια ρεύματα σε μια τοποθεσία, την προέλευσή τους, και την ταχύτητα του ανέμου. Όταν οι ταχύτητες είναι μεγάλες η θερμοκρασία του αέρα επηρεάζεται λιγότερο από τοπικούς παράγοντες όπως η θέρμανση του εδάφους από την ηλιακή ακτινοβολία, η ψύξη λόγω ακτινοβολίας από τη γη τις νυχτερινές ώρες κλπ. Διαφοροποίηση υπάρχει και στη θερμοκρασία του αέρα κοντά στο έδαφος και σε διάφορα ύψη. Πολύ κοντά στο έδαφος προσεγγίζει τη θερμοκρασία του εδάφους και μεταβάλλεται με το υψόμετρο, καθώς μειώνονται και οι επιδράσεις των ημερήσιων μεταβολών θερμοκρασίας εδάφους. Κατά κανόνα η μέση ημερήσια θερμοκρασία εμφανίζεται μειωμένη όσο πιο ψηλά από το έδαφος γίνει η μέτρηση.

Η ηλιακή ακτινοβολία έχει άμεση επίδραση στην θερμοκρασία του εδάφους, ενώ η ψύξη γίνεται μέσω ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος και μέσω της εξάτμισης του νερού. Καθοριστικό ρόλο παίζει η διαμόρφωση του εδάφους, η έκθεση κάθε επιφάνειας στον ήλιο, η ταχύτητα του αέρα και η βλάστηση, η οποία εμποδίζει ένα ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας να φθάσει στο έδαφος, ελέγχει την εξάτμιση του νερού, ενώ το βράδυ εμποδίζει την ακτινοβολία να διαφύγει από το έδαφος προς το περιβάλλον περιορίζοντας τη πτώση της θερμοκρασίας.

Η θερμοκρασία του εδάφους καθορίζει τις θερμοκρασίες του αέρα στα κτίρια. Λόγω της ακτινοβολίας τη νύχτα η θερμοκρασία του εδάφους μπορεί να είναι μικρότερη από αυτή του αέρα στο ύψος των τελευταίων ορόφων ενός κτιρίου. Σε περίπτωση πολύ μεγάλης θερμοκρασίας εδάφους δημιουργείται ανοδικό ρεύμα θερμού αέρα ο οποίος αν είναι υγρός, λόγω της ψύξης, δημιουργεί νέφη.

Σε μια συγκεκριμένη περιοχή η θερμοκρασία εξαρτάται από την κλίση του εδάφους, τον προσανατολισμό, την έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία και στον άνεμο. Οι θερμοκρασιακές μεταβολές είναι μικρότερες σε επιφάνειες εκτεθειμένες στον ήλιο και οι μέγιστες θερμοκρασίες μεταβάλλονται ανάλογα με την κλίση και τον προσανατολισμό. Ο άνεμος αποκρίνει τη θερμότητα με εξαναγκασμένη μεταφορά..

Στα αστικά κέντρα παρουσιάζεται η επιρροή από τις επιφάνειες των κτιρίων, το χρωματισμό τους, τα υλικά κατασκευής κτιρίων δρόμων και υποδομών, την

ύπαρξη βλάστησης (άλση, κήποι, παρτέρια), την κίνηση του αέρα ανάμεσα στα κτίρια, την συγκέντρωση υδάτων, την εκπομπή ρύπων συνήθως σε υψηλή θερμοκρασία. Κατά κανόνα η θερμοκρασία εμφανίζεται υψηλότερη σε μια μεγάλη πόλη σε σχέση με την ύπαιθρο σε κοντινή απόσταση, και εξαρτάται από το μέγεθος και τη διαμόρφωση της.

1.4 Άνεμος

Οι άνεμοι προκαλούνται από διαφορές πίεσης και επιδρούν στην βροχόπτωση, στη συναλλαγή θερμότητας και κατά συνέπεια στις συνθήκες άνεσης μιας περιοχής. Η ροή τους επηρεάζεται από τη διαμόρφωση και τις θερμοκρασίες του εδάφους, και την παρουσία υδάτων. Αέρας που έρχεται σε επαφή με θερμές επιφάνειες έχει την τάση να ανέβει προς τα πάνω, ενώ οι διαφορές θερμοκρασίας μεταξύ εδάφους και μιας υδάτινη επιφάνειας προκαλεί κίνηση του αέρα. Η τοπογραφική διαμόρφωση μπορεί να δημιουργεί ρεύματα αέρα και σε άλλες περιπτώσεις φυσική προστασία από αυτά, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις παρουσιάζονται κυκλικές κινήσεις.

Όπως προαναφέρθηκε η θερμοκρασία σε μια μεγάλη πόλη είναι υψηλότερη από τη γειτνιάζουσα ύπαιθρο με συνέπεια τη δημιουργία ρευμάτων αέρα. Καθοριστικό ρόλο παίζει ο πολεοδομικός σχεδιασμός, ενώ παρόμοια ρεύματα εμφανίζονται και εντός του αστικού περιβάλλοντος αν υπάρχουν περιοχές χωρίς δόμηση και με πυκνή βλάστηση όπως άλση και πάρκα.

1.5 Υγρασία

Η υγρασία είναι ένας από τους παράγοντες που καθορίζουν τις συνθήκες άνεσης. Στην Ευρώπη γενικά η υγρασία βρίσκεται κοντά στις συνθήκες άνεσης για το μεγαλύτερο μέρος του έτους. Εξαίρεση αποτελούν οι εμφανίσεις υψηλών πιέσεων υδρατμών σε συνδυασμό με υψηλές θερμοκρασίες και η χαμηλή υγρασία σε συνδυασμό με υψηλές θερμοκρασίες. Στην πρώτη περίπτωση το περιβάλλον είναι πολύ θερμό και υγρό, ενώ στη δεύτερη πολύ ξηρό. Αυτές οι συνθήκες είναι πιο συχνές στην περιοχή της Μεσογείου.

Η σχετική υγρασία παίρνει τις υψηλότερες τιμές τις τα πρωινά, όπου η θερμοκρασία του αέρα έχει τις μικρότερες τιμές, και μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια

της ημέρας ανάλογα με τη θερμοκρασία. Με την αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνεται η πίεση των υδρατμών η οποία σχετίζεται με τη μέση υγρασία. Οι τιμές της μέσης υγρασίας μεταβάλλονται επίσης από το είδος των ανέμων (υγροί η ξηροί ανάλογα με την προέλευσή τους).

Η στάθμη της υγρασίας σχετίζεται με το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στο έδαφος, καθώς η υψηλή υγρασία εμποδίζει τη μετάδοση ακτινοβολίας η οποία απορροφάται και διασκορπίζεται από τους υδρατμούς και τα σύννεφα.

Η ύπαρξη λιμνών, ποταμών και της θάλασσας σε μια περιοχή καθορίζουν τη στάθμη υγρασίας. Ακόμα και η παρουσία υπόγειων υδάτων διαφοροποιεί τοπικά τη περιοχή σε σχέση με γειτνιάζουσα στεγνή περιοχή, λόγω της διαφορετικής θερμοκρασίας που παρουσιάζουν. Σε αστικό περιβάλλον η ύπαρξη σιντριβανιών, δεξαμενών, ρεμάτων κλπ, ρυθμίζει τα επίπεδα υγρασίας τοπικά.

Τέλος καθοριστική για τα επίπεδα υγρασίας είναι η ύπαρξη βλάστησης λόγω της διαδικασίας εξάτμισης – διαπνοής.

1.6 Το κλίμα της Ελλάδας

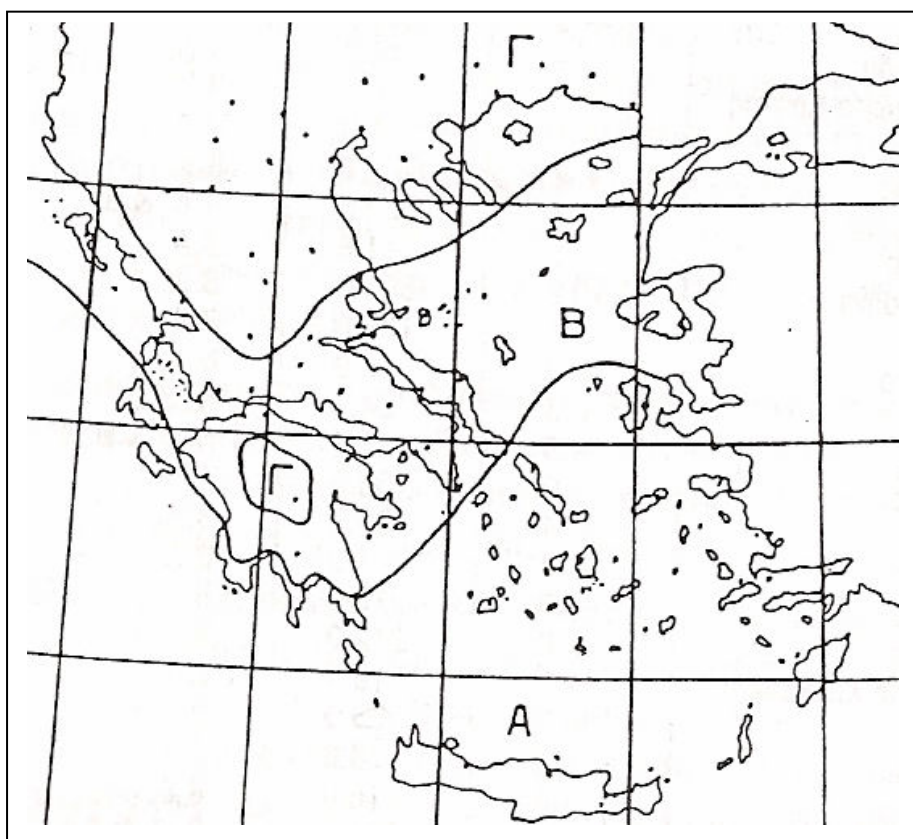
Η Ελλάδα έχει ένα τυπικό μεσογειακό κλίμα με ήπιους, υγρούς χειμώνες με αρκετή βροχόπτωση, και θερμά, ξηρά καλοκαίρια. Μπορεί να χαρακτηριστεί σαν εύκρατο, ενώ χαρακτηριστικές είναι οι μεγάλες περίοδοι ηλιοφάνειας σε όλη τη διάρκεια του έτους. Οι κλιματικές ακρότητες είναι περιορισμένες σε σχέση με Βορειότερες και Νοτιότερες περιοχές.

Λόγω της τοπογραφικής διαμόρφωσης (μεγάλες διαφορές υψομέτρου, εναλλαγή ξηράς θάλασσας) υπάρχει ποικιλία κλιματικών τύπων ακόμα και σε περιοχές κοντινές μεταξύ τους. Το κλίμα της Ανατολικής Ελλάδας θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ξηρό, ενώ της Βόρειας και Δυτικής υγρό. Το έτος χωρίζεται σε δυο εποχές, την χειμερινή από τον Οκτώβρη μέχρι το τέλος Μαρτίου και τη θερινή από τον Απρίλιο μέχρι τον Οκτώβρη. Η χειμερινή περίοδος είναι ψυχρή και βροχερή, ενώ η θερινή θερμή και άνομβρη. Οι βροχές δεν διαρκούν πολλές ημέρες, και τα διαστήματα συννεφιάς είναι συνήθως μικρά, κάτι που σχετίζεται άμεσα με τα ποσά ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνουν στο έδαφος. Το καλοκαίρι ο αίθριος καιρός διακόπτεται σπάνια από βροχές οι οποίες είναι συνήθως έντονες. Σημαντικό ρόλο

παίζει η θαλάσσια αύρα που μειώνει τις υψηλές θερμοκρασίες της καλοκαιρινής περιόδου, και οι βόρειοι άνεμοι στο Αιγαίο πέλαγος. Η Άνοιξη έχει μικρή διάρκεια ενώ το φθινόπωρο είναι μακρύ και θερμό.

Ο Ιανουάριος είναι ο ψυχρότερος μήνας του χρόνου, ενώ ο θερμότερος μήνας είναι ο Αύγουστος, ο οποίος είναι και ο πιο αντιπροσωπευτικός μήνας του καλοκαιριού γιατί οι τιμές ηλιακής ακτινοβολίας είναι περίπου στο μέσο των ακραίων τιμών της θερινής περιόδου. Για τον υπολογισμό των φορτίων κλιματισμού η πιο χαρακτηριστική ημέρα είναι η 21^η Ιουλίου για την Αθήνα.

Σύμφωνα με τον Κανονισμό Θερμομόνωσης Κτιρίων (ΚΘΚ) η Ελλάδα μπορεί να χωριστεί σε τρεις κλιματικές ζώνες.



Σχήμα 1.6.1 Κλιματικές ζώνες στην Ελλάδα (σύμφωνα με τον ΚΘΚ)

Πίνακας 1.6.1 Χαρακτηριστικά Ελληνικών Πόλεων (σύμφωνα με ΚΘΚ)

* Για τους μήνες Ιανουάριο - Φεβρουάριο

** Ελάχιστη θερμοκρασία που εμφανίζεται μια φορά το χρόνο για δυο τουλάχιστον συνεχόμενες ημέρες

Πόλη	Μέση Ελάχιστη Εξωτερική Θερμοκρασία (°C) **	Υψόμετρο Σταθμού (m)	Κατεύθυνση Ανέμων *	Κλιματική Ζώνη
Αργίριο	-3	45,8	A	B
Αθήνα	1	107	A + N	B
Αίγιο	0	64	BΔ	B
Αλεξανρούπολη	-7	2,5	BA	Γ
Αλίαρτος	-2	110	BΔ	B
Ανάβρυτα	-2	290	B + NΔ	B
Αργοστόλι	1	1,7	BA + NΔ	A
Άρτα	-2	42	BA + N	B
Βόλος	-3	2,7	B	B
Δράμα	-8	74	NΔ	Γ
Εδεσσα	-7	237	B	Γ
Ελευσίνα	0	29,5	B	B
Ελληνικό	2	10,2	B	B
Ζάκυνθος	2	6,6	BA	A
Ηράκλειο	3	38,5	NΔ	A
Θάσος	-6	2	BA	Γ
Θεσσαλονίκη	-5	2,8	BΔ	Γ
Θήρα	3	208	B	A
Ιεράπετρα	4	13	B	A
Ιωάννινα	-6	483	NA	Γ
Καβάλα	-8	62,8	NA	Γ
Καλάβρυτα	-6	731	B + N	Γ
Καλαμάτα	1	4,6	B	A
Καλαμπάκα	-6	226,5	Δ	Γ
Κάρπαθος	5	9	Δ	A
Κάρυστος	1	10	B	B
Κατερίνη	-5	31,5	B	Γ
Κέρκυρα	0	1	NA	B
Κοζάνη	-10	625	B	Γ
Κομοτηνή	-7	30	BA	Γ
Κόνιτσα	-6	542	B	Γ
Κόρινθος	1	14,4	N	B
Κύθηρα	4	166	BA	A
Κύμη	0	221,1	B	B
Κώς	3	10	N	A

Πόλη	Μέση Ελάχιστη Εξωτερική Θερμοκρασία (°C) **	Υψόμετρο Σταθμού (m)	Κατεύθυνση Ανέμων *	Κλιματική Ζώνη
Λαμία	-4	143	Δ	B
Λάρισα	-7	72,7	B + A	Γ
Λευκάδα	0	2,4	NA	A
Λήμνος	0	12,3	BA	B
Μέγαρο	0	36	BΔ	B
Μεθώνη	1	33	BA + Δ	A
Μεσολόγγι	-2	1	Δ + BΔ	B
Μήλος	3	182	NΔ	A
Μυτιλήνη	2	3,2	N	B
Νάξος	4	9	B	A
Ναύπλιο	0	1,5	B	B
N. Φιλαδέλφια	0	136	BA	B
Ξάνθη	-8	82	B	Γ
Ορεστιάδα	-9	43	BΔ	Γ
Παλαιοχώρα Κρήτης	5	8	B	A
Πάτρα	-1	1	NΔ	B
Πειραιάς	2	2	BA	B
Πολύγυρος	-8	550	BA + B	Γ
Πρέβεζα	0	11,8	BA	B
Πτολεμαίδα	-12	601	BΔ	Γ
Πύργος	-1	132	BΔ	B
Ρέθυμνο	3	16	N + B	A
Ρόδος	3	34,7	N + Δ	A
Σάμος	3	48,4	NA + BΔ	A
Σέρρες	-9	32,5	A	Γ
Σητεία	4	25,2	BΔ	A
Σκύρος	2	4	BA	A
Σουφλί	-10	15	B	Γ
Σπάρτη	0	212	B	B
Σταυρός Χαλκιδικής	-7	10	Δ	Γ
Σύρος	3	25	B	A
Τανάγρα	-2	138,8	Δ	B
Τρίκαλα	-6	116	BΔ	Γ
Τρίπολη	-5	661,4	B + NΔ	Γ
Φλώρινα	-11	661	Δ	Γ
Χαλκίδα	2	4	B	B
Χανιά	3	62,5	NΔ	A
Χίος	3	60	B	A

Από τον πίνακα 1.6.1 που έχει συντάξει ο ΚΘΚ βρίσκονται τα κλιματικά χαρακτηριστικά των Ελληνικών πόλεων. Στις υπόλοιπες περιοχές επιλέγονται τα χαρακτηριστικά της πλησιέστερης περιοχής που υπάρχει στον πίνακα με τις εξής διορθώσεις:

- Αύξηση 0,7 °C στη μέση ελάχιστη εξωτερική θερμοκρασία για κάθε 100 μέτρα μείωσης στο υψόμετρο
- Μείωση 0,7 °C στη μέση ελάχιστη εξωτερική θερμοκρασία για κάθε 100 μέτρα αύξησης στο υψόμετρο
- Στην κατεύθυνση ανέμων συσχετίζεται η τοπική διαμόρφωση με την κατεύθυνση στην πλησιέστερη περιοχή του πίνακα.
- Περιοχές με υψόμετρο άνω των 600 m εντάσσονται στην αμέσως υψηλότερη ζώνη από αυτή που ανήκουν γεωγραφικά, εκτός από περιοχές της ζώνης Γ όπου πρέπει να λαμβάνονται περιθώρια ασφαλείας.

Η ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο και κατακόρυφο επίπεδο είναι ιδιαίτερα σημαντική στην θερμική συμπεριφορά των κτιρίων λόγω των θερμικών κερδών από τους τοίχους και την οροφή.

	Μέση Ηλιακή ακτινοβολία W/m ²			Μέση Θερμοκρασία °C		Σχετική Υγρασία %	
	Βόρειο Επίπεδο	Νότιο Επίπεδο	Οριζόντιο Επίπεδο	Μέγιστη	Ελάχιστη	Μέγιστη	Ελάχιστη
ΙΑΝ	85	716	675	19	0	90	39
ΦΕΒ	95	606	786	20	-1	89	38
ΜΑΡ	107	432	868	22	1	86	37
ΑΠΡ	117	237	893	25	3	78	32
ΜΑΪ	136	145	890	31	8	69	28
ΙΟΥΝ	174	136	880	35	13	62	26
ΙΟΥΛ	142	145	877	37	15	58	25
ΑΥΓ	120	227	874	38	18	58	26
ΣΕΠ	110	423	839	36	16	63	28
ΟΚΤ	98	590	770	33	12	72	32
ΝΟΕ	85	707	672	27	7	80	37
ΔΕΚ	82	748	628	23	4	88	40

1.7 Το Εσώκλιμα

Με τον όρο εσώκλιμα ονομάζουμε το κλίμα κλειστών, συνήθως προστατευμένων, χώρων. Έχει δε άμεση εξάρτηση από το εξώκλιμα, δηλαδή το κλίμα του εξωτερικού περιβάλλοντος (της περιοχής γύρω από το κτίριο).

Ο βαθμός της εξάρτησης αυτής διαμορφώνεται από τα χαρακτηριστικά των κτιρίων. Η θέση και ο προσανατολισμός, η έκθεση σε ανέμους και τον ήλιο, η κάλυψη από γειτονικά κτίρια ή ψηλά δέντρα, είναι κάποιοι από τους παράγοντες που επηρεάζουν τη σχέση των εσωτερικών συνθηκών με το εξωτερικό περιβάλλον. Σημαντική επίδραση έχουν και κατασκευαστικά στοιχεία, όπως η τοιχοποιία, το είδος της μόνωσης, ο αρχιτεκτονικός σχεδιασμός, η ύπαρξη ανοιγμάτων, το χρώμα των τοίχων, η οροφή (ταράτσα ή κεραμοσκεπή), τα υλικά κατασκευής, κλπ.

Κάθε σύγχρονο κτίριο πρέπει να σχεδιάζεται έτσι ώστε να υπάρχει σωστή σχέση εξάρτησης του εσωτερικού από το εξωτερικό, και η σύντομη επίτευξη συνθηκών άνεσης σε κάθε μεταβολή των εξωτερικών συνθηκών. Κατά το σχεδιασμό χρησιμοποιούνται στατιστικά κλιματικά στοιχεία της περιοχής που πρόκειται να κατασκευασθεί το κτίριο, συνυπολογίζοντας το ενδεχόμενο εμφάνισης ακραίων συνθηκών.

Σπουδαίο ρόλο παίζουν και οι εσωτερικοί παράγοντες ενός χώρου, για παράδειγμα ο αριθμός των ατόμων και οι δραστηριότητες που εκτελούν, η ύπαρξη μηχανημάτων και εστιών θερμότητας, ο φωτισμός.

Πρωταρχικής σημασίας είναι να καθοριστεί το κατά πόσο θέλουμε να απομονώσουμε έναν κλειστό χώρο από το εξωτερικό περιβάλλον. Η επιλεκτική επιρροή του εσωτερικού ενός κτιρίου από τις εξωτερικές συνθήκες μπορεί να οδηγήσει στην επίτευξη συνθηκών άνεσης με φυσικό τρόπο, όπως θα αναπτυχθεί στα επόμενα κεφάλαια.

2. Συνθήκες Άνεσης

2.1 Γενικά

Η ανάγκη του ανθρώπου να προστατευτεί από τις δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες τον οδήγησε στην αναζήτηση καταλυμάτων που θα του εξασφάλιζε ασφαλή και άνετη διαβίωση. Από τους πρωτόγονους ανθρώπους που κατοικούσαν σε σπηλιές, ανάβοντας φωτιά για να προστατευθούν από το κρύο, έχουμε φτάσει στις σύγχρονες κατοικίες, στις οποίες είτε με φυσικούς, είτε με τεχνητούς τρόπους εξασφαλίζονται οι ιδανικές (ή σχεδόν ιδανικές) συνθήκες στους εσωτερικούς χώρους.

Η άνεση σε ένα χώρο δημιουργεί στα άτομα εντός αυτού, την αίσθηση φυσικής και πνευματικής ευημερίας. Ο άνθρωπος πρέπει να αισθάνεται όσο το δυνατόν πιο ευχάριστα, να εξασφαλίζονται όλες οι συνθήκες υγιεινής διαβίωσης και να διακατέχεται από το αίσθημα της ασφάλειας.

Ένα πλήθος παραγόντων είναι αυτό που καθορίζει την εξασφάλιση συνθηκών άνεσης. Στην εργασία αυτή επικεντρωνόμαστε στη θερμική άνεση ενός χώρου, και σαν φυσικό επακόλουθο αντιμετωπίζουμε την υγρασία. Εκτός αυτών όμως στην άνεση συμπεριλαμβάνονται η οπτική άνεση, η ποιότητα της εσωτερικής ατμόσφαιρας, η καθαρότητα του αέρα και η ένταση θορύβων. Υπό την ευρεία έννοια της κατάστασης ανέσεως θα πρέπει να συμπεριλάβουμε και όλους τους άλλους παράγοντες που κάνουν τη διαμονή στο χώρο ευχάριστη. Η λειτουργικότητα και η σωστή εργονομία για παράδειγμα παίζουν σημαντικό ρόλο, καθώς και οι διάφορες παροχές όπως η ύπαρξη ζεστού νερού, οι δυνατότητες επικοινωνίας και ψυχαγωγίας.

Προσοχή δίνεται σε εγκαταστάσεις εξυπηρέτησης όπως οι ανελκυστήρες και η διευκόλυνση ατόμων με ειδικές ανάγκες ή υπερήλικες. Ακόμα και λεπτομέρειες που επιδρούν στον ψυχολογικό τομέα είναι σημαντικές. Ο χρωματισμός των τοίχων για παράδειγμα πέρα της συμβολής που έχει στο φωτισμό του χώρου και την αποθήκευση θερμότητας, επηρεάζει τη ψυχική κατάσταση των ενοίκων. Κάτι παρόμοιο ισχύει και με τη διακόσμηση του χώρου, τη διάταξη των επίπλων και των συσκευών και την σωστή οργάνωση.

Απαραίτητη προϋπόθεση όλων των ανωτέρω είναι η ασφάλεια που παρέχουν, η εξασφάλιση των συνθηκών υγιεινής ενώ δε θα πρέπει να παραλείπεται ο συνυπολογισμός του κόστους.

Το ερώτημα που προκύπτει είναι γιατί οδηγήθηκε ο άνθρωπος να δημιουργεί από μόνος του συνθήκες άνεσης. Είναι γεγονός ότι μέχρι κάποιον ορίων είναι δυνατόν να αντιμετωπιστούν οι δυσμενείς συνθήκες μέσω της σωματικής και βιολογικής κατασκευής. Ακόμα και στις κλιματικές αλλαγές στο πέρασμα των χρόνων ο άνθρωπος είχε τη δυνατότητα προσαρμογής λόγω της βιολογικής του εξέλιξης. Χαρακτηριστικό είναι ότι, όπως θα αναφερθεί και παρακάτω, υπάρχουν διαφορές στη προσαρμογή στο περιβάλλον ανθρώπων που ζουν σε περιοχές με διαφορετικές κλιματικές συνθήκες, με πιο έντονη τη διαφορά αντιμετώπισης της θερμοκρασίας των ανθρώπων που ζουν κοντά στον ισημερινό με τους ανθρώπους των πόλων. Σε όλα αυτά όμως υπάρχουν κάποια όρια όσον αφορά την προσαρμοστικότητα από φυσική ανθρώπινη κατασκευή και την βιολογική εξέλιξη. Όταν οι περιβαλλοντικές συνθήκες είναι τέτοιες που ξεπερνούν αυτά τα όρια ο άνθρωπος αναγκάζεται, αφού δεν μπορεί να προσαρμοστεί στο περιβάλλον, να προσαρμόσει το περιβάλλον όπου κατοικεί ή δραστηριοποιείται στα δικά του μέτρα.

Μεγάλη προσοχή πρέπει να δοθεί ώστε η δημιουργία συνθηκών άνεσης να γίνεται με τρόπο που να μη προκαλούνται βλάβες στο περιβάλλον. Σε αυτό βοηθά η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών φιλικών προς το περιβάλλον, και ο σωστός σχεδιασμός των κτιρίων (βιοκλιματικός σχεδιασμός).

2.2 Ο Άνθρωπος

2.2.1 Η αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών συνθηκών από το ανθρώπινο σώμα.

Η σωματική και βιολογική κατασκευή του ανθρώπου είναι τέτοια που να του επιτρέπει να αντιμετωπίζει τις δυσμενείς συνθήκες του περιβάλλοντος, μέσα σε λογικά πλαίσια.

Όταν οι θερμοκρασίες είναι αρκετά χαμηλές, η ανθρώπινη επιδερμίδα συρρικνώνεται μειώνοντας έτσι την επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας με το περιβάλλον. Στις υψηλές θερμοκρασίες η επιδερμίδα διαστέλλεται, αυξάνοντας έτσι την επιφάνεια, με σκοπό την αποβολή θερμότητας προς το περιβάλλον, ενώ

ταυτόχρονα διαστέλλονται και οι πόροι ώστε να διευκολύνουν την διαδικασία της εφίδρωσης, δηλαδή την αποβολή θερμότητας μέσω της εξάτμισης σωματικών υγρών.

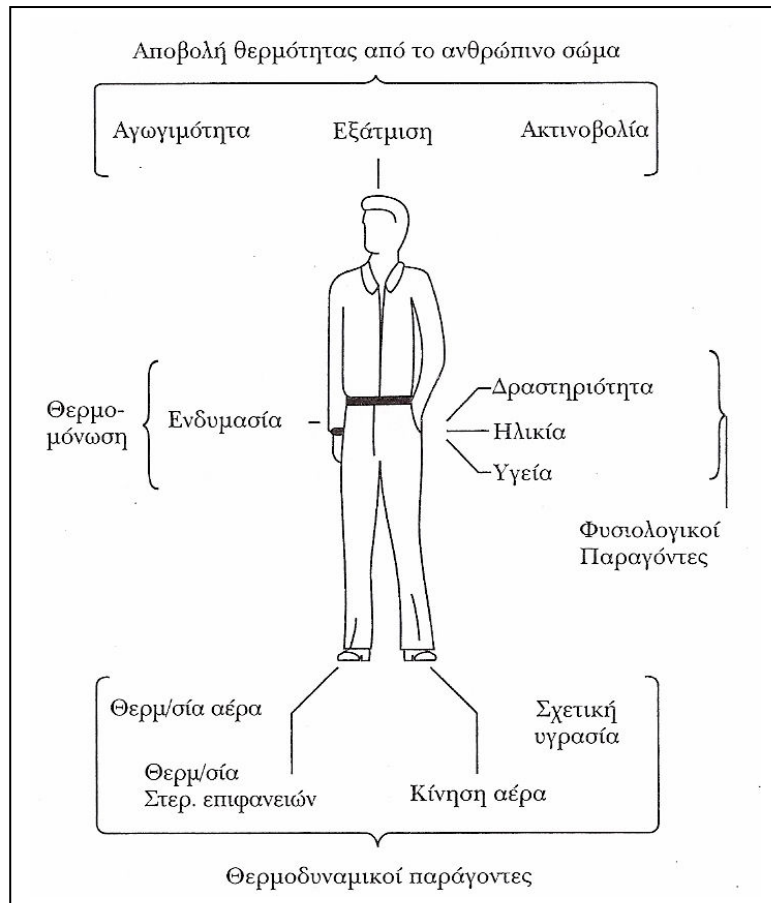
Η ανθρώπινη επιδερμίδα είναι ικανή να αντιμετωπίσει την ηλιακή ακτινοβολία, και οποιαδήποτε άλλη ακτινοβολία, παρέχει κάποια κάλυψη από τους ρύπους που υπάρχουν στον αέρα, μπορεί να αντιμετωπίσει τοξικές και διαβρωτικές ουσίες. Όλα αυτά φυσικά εντός ορίων που εξαρτώνται από τη κάθε περίπτωση. Σε περιπτώσεις εκτός ορίων είναι αναγκαίες οι ανθρώπινες παρεμβάσεις, ώστε οι συνθήκες στις οποίες βρίσκεται ένα άτομο να έλθουν στα μέτρα που μπορεί να αντιμετωπίσει ο ανθρώπινος οργανισμός.

2.2.2 Θερμοκρασία ανθρωπίνου σώματος

Ένας μεγάλος αριθμός φυσικών και χημικών διεργασιών, γίνονται συνεχώς εντός του ανθρωπίνου σώματος. Πρόκειται για την επεξεργασία των τροφών, μέσω της καύσης, με σκοπό τη παραγωγή ενέργειας. Αποτέλεσμα αυτών των διαδικασιών είναι η διατήρηση της ζωής, η ανάπτυξη του σώματος, αλλά και η παραγωγή μηχανικού έργου. Παρόλα αυτά η θερμοκρασία του σώματος πρέπει να διατηρείται σταθερή περίπου στους 37 °C (στην πραγματικότητα κυμαίνεται μεταξύ 36,6 – 37 °C).

Η εσωτερική θερμότητα, που εκλύεται λόγω των διεργασιών, πρέπει να διοχετευτεί προς το περιβάλλον, ώστε να επιτευχθεί η απαραίτητη σταθερή θερμοκρασία σώματος. Συνήθως η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι αρκετά χαμηλότερη από τους 37 °C, με αποτέλεσμα την ύπαρξη θερμοκρασιακής διαφοράς, η οποία για τα εύκρατα κλίματα κυμαίνεται μεταξύ 10 - 25 °C (αν σκεφτεί κανείς ότι στην Ελλάδα οι πιο συνήθεις θερμοκρασίες είναι 12 – 27 °C).

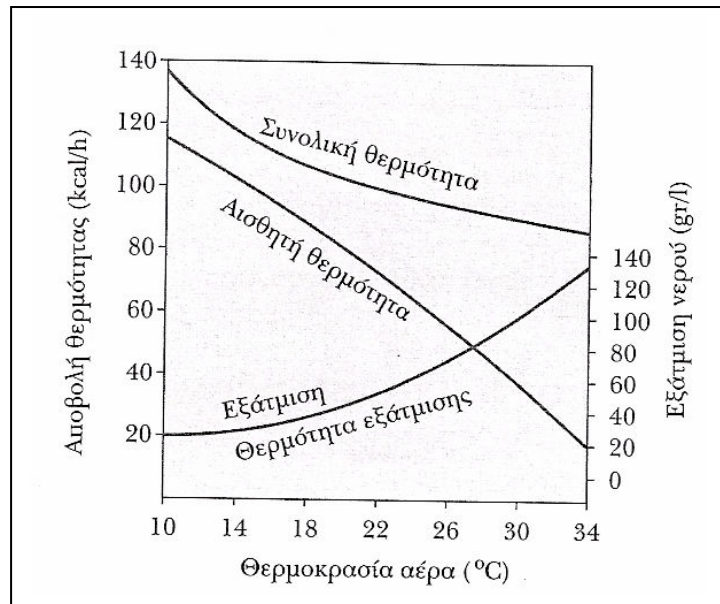
Υπάρχει δηλαδή μια συνεχή μετάδοση θερμότητας από το σώμα προς το περιβάλλον. Η θερμοκρασία παράγεται από την οξυγόνωση θρεπτικών συστατικών στα κύτταρα και μεταδίδεται μέσω του κυκλοφοριακού συστήματος σε ολόκληρο το σώμα. Η απόρριψη θερμότητας στο περιβάλλον γίνεται με αγωγιμότητα, εξάτμιση και ακτινοβολία, από το δέρμα και τις διάφορες εκκρίσεις.



Σχήμα 2.2.2.1 : Μετάδοση θερμότητας από το ανθρώπινο σώμα στο περιβάλλον.

Έχει παρατηρηθεί ότι το ποσοστό θερμότητας (από το συνολικό) που απάγεται με αγωγή, εξάτμιση ή ακτινοβολία, εξαρτάται από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Αυξανόμενης της θερμοκρασίας, αυξάνεται το ποσό θερμότητας που αποβάλλεται με εξάτμιση, ενώ μειώνεται η θερμότητα αγωγής και ακτινοβολίας. Σημαντική εξάρτηση στα ποσά αυτά επιφέρει και το είδος της εργασίας που εκτελεί ο άνθρωπος.

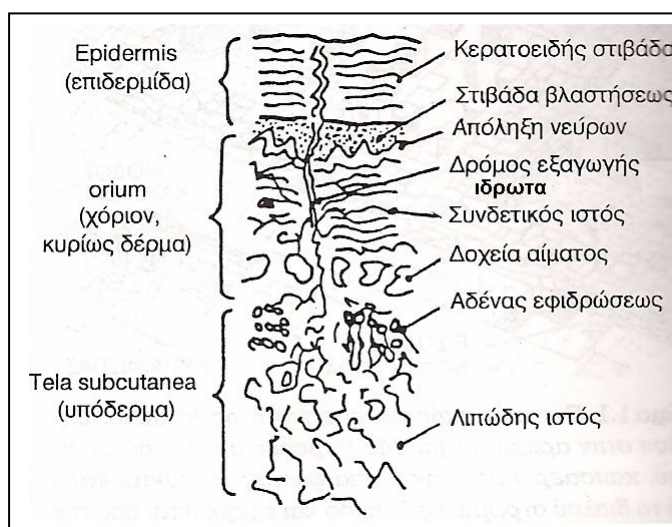
Όταν ο ρυθμός μετάδοσης θερμότητας είναι μικρότερος από αυτόν που θα απαιτούνταν για την διατήρηση της επιθυμητής θερμοκρασίας σώματος, παρατηρείται υπερθερμία, δηλαδή η εσωτερική θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη από τα φυσιολογικά όρια. Αντίστροφα όταν ο ρυθμός μετάδοσης θερμότητας είναι μεγαλύτερος, τότε παρατηρείται υποθερμία. Σε θερμοκρασίες δέρματος μεγαλύτερες από 45 °C ή μικρότερες από 18 °C, παρουσιάζονται έντονοι πόνοι.



Σχήμα 2.2.2.: Διάγραμμα αποβολής θερμότητας από σώμα ανθρώπου που αναπαύεται

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η θερμότητα διαχέεται στο σώμα μέσω του κυκλοφοριακού συστήματος. Το δέρμα αποτελείται από δοχεία αίματος, ιστούς, νεύρα και διάφορες στρώσεις όπως φαίνεται στο σχήμα 2.2.2.3. Έχει διαπιστωθεί ότι υπάρχουν τεσσάρων ειδών απολήξεις νευρών, τα οποία μεταδίδουν πληροφορίες για την θερμοκρασία στον εγκέφαλο. Το κάθε ένα από τα στοιχεία το δέρματος καθώς και το μέγεθός του, επιδρά κατά διαφορετικό βαθμό στη μετάδοση της θερμότητας. Ουσιαστικά πρόκειται για μονωτικά στοιχεία που μεταβάλλουν το ρυθμό μετάδοσης της θερμότητας από το εσωτερικό προς την επιδερμίδα. Η επιδερμίδα είναι το εξωτερικό μέρος (περίβλημα) του δέρματος και έχει πάχος περίπου 0,075 – 0,15 mm, εκτός από τις παλάμες και τις πατούσες όπου το πάχος είναι μεγαλύτερο.

Κυρίως η θερμοκρασία της επιδερμίδας εξαρτάται από την αιμάτωση του δέρματος. Σημαντικό ρόλο παίζει η ταχύτητα ροής του αίματος και το μέγεθος των τοιχωμάτων των δοχείων αίματος, το οποίο μπορεί να μεταβάλλεται ανάλογα με τις συνθήκες. Μεγάλης σημασίας είναι και η ύπαρξη τριχοφυΐας καθώς και η υγρασία της επιδερμίδας από την εφίδρωση.



Σχήμα 2.2.2.3.: Ανθρώπινο δέρμα σε τομή

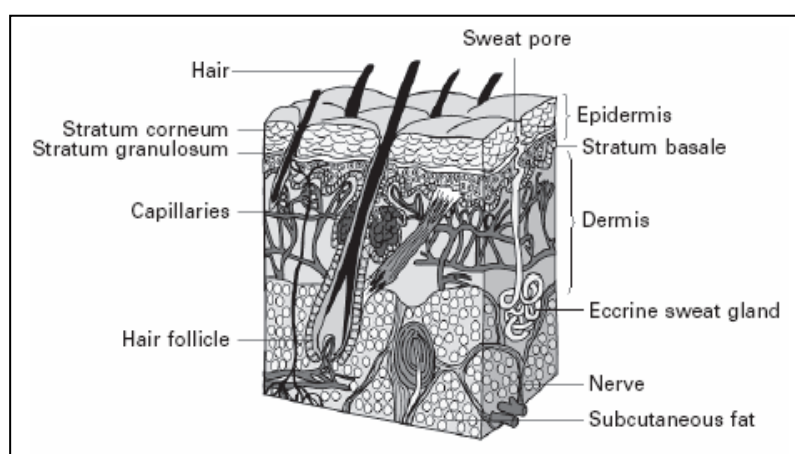
Σε περιπτώσεις καθιστικής εργασίας η θερμοκρασία του δέρματος είναι περίπου 33 – 34 °C και μειώνεται αυξανόμενης της δραστηριότητας, σε αντίθεση με την εσωτερική θερμοκρασία που αυξάνεται όσο πιο έντονη είναι η δραστηριότητα. Αν η εσωτερική θερμοκρασία υπερβεί τους 46 °C παρουσιάζονται εγκεφαλικές βλάβες, ενώ αν πέσει κάτω από τους 28 °C εμφανίζονται καρδιακές αρρυθμίες. Στο κέντρο ρύθμισης της θερμοκρασίας, στον εγκέφαλο, σε περίπτωση μη δραστηριότητας η θερμοκρασία είναι στους 36,8 °C. Το κέντρο ρύθμισης είναι αυτό που θέτει σε λειτουργία το μηχανισμό ψύξης του σώματος όταν η θερμοκρασία υπερβεί τους 37 °C. Η επιδερμίδα από την άλλη είναι αυτή που βρίσκεται σε άμεση επαφή με το περιβάλλον, αντιλαμβάνεται τις μεταβολές θερμοκρασίας μέσω αισθητηρίων οργάνων και δίνει συνεχώς σήματα στον εγκέφαλο. Μόλις η θερμοκρασία της επιδερμίδας πέσει κάτω από τους 33 - 34 °C ενεργοποιείται ο αμυντικός μηχανισμός.

Αποβολή θερμότητας, η οποία όμως δεν γίνεται αντιληπτή από τον άνθρωπο, γίνεται και με εξάτμιση υγρασίας από την επιφάνεια του δέρματος. Σε συνήθεις θερμοκρασίες, 10 – 20 °C, εξατμίζονται περίπου 40 gH₂O/h, ποσό που αυξάνεται καθώς αυξάνεται καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία.

Πίνακας 2.2.2.1.: Μέσες τιμές θερμοδυναμικών στοιχείων ανθρώπινου σώματος

Μάζα	m	65 – 75 Kg
Όγκος	V	60 – 70 lt
Επιφάνεια	A	1.7 – 1.9 m ²
Αποβολή θερμότητας	Q	116 – 260 W (100 – 225 (kcal/h)
Θερμοκρασία		36.6 – 37 °C
Θερμοκρασία επιδερμίδας (μέση τιμή)		33 °C
Σφυγμοί		70 – 80 /min
Αναπνοές		16 – 17 /min
Αποβολή υδρατμών	Y	35 – 260 g/h
Κατανάλωση ενέργειας	E	80 – 700 W (70 – 600 Kcal/h)
Διάρκεια ζωής χωρίς αέρα	T _A	3 min
Διάρκεια ζωής χωρίς νερό	T _N	3 days
Διάρκεια ζωής χωρίς τροφή	T _T	40 days
Απαιτούμενη ποσότητα αέρα	V _A	0.4 – 6 m ³ /h

Τελικά διαπιστώνεται ότι το ανθρώπινο σώμα λειτουργεί σαν ένας πομπός θερμότητας, σε συνεχή συναλλαγή με το περιβάλλον, το οποίο επηρεάζει θερμοκρασιακά.



Σχήμα 2.2.2.4: Στοιχεία ανθρώπινου δέρματος

2.2.3 Ανθρώπινη συμπεριφορά σε ακραίες θερμοκρασίες περιβάλλοντος

Η ικανότητα του ανθρώπου για εργασία, η πνευματική του διαύγεια, η ψυχολογική του κατάσταση, αλλά και η καλή υγεία επηρεάζεται από το περιβάλλον που βρίσκεται ένα άτομο, και κατά ένα μεγάλο βαθμό από τις θερμοκρασίες και τις θερμοκρασιακές μεταβολές που καλείται να αντιμετωπίσει. Ακραίες θερμοκρασίες μπορούν να προκαλέσουν σοβαρά προβλήματα υγείας, ακόμα και το θάνατο, αν δεν υπάρξει έγκαιρη αντιμετώπιση.

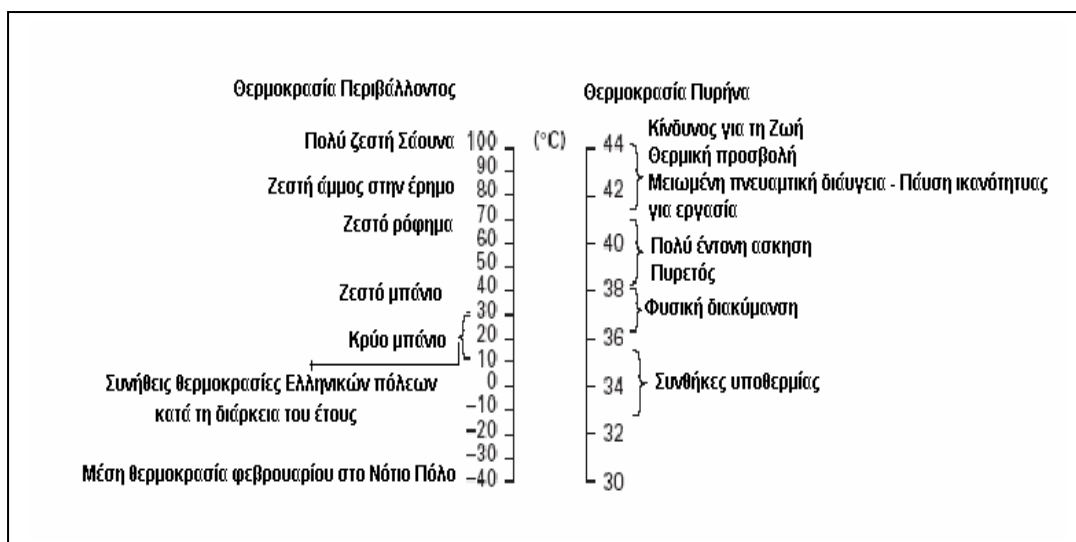
Σε περιπτώσεις ψύχους, με κατάλληλη ένδυση και έντονη δραστηριότητα (χαρακτηριστικό παράδειγμα ότι σε χαμηλές θερμοκρασίες ο άνθρωπος πρέπει να κινείται συνεχώς και να μην είναι στάσιμος), ο άνθρωπος μπορεί να αντιμετωπίσει και θερμοκρασίες αρκετά κάτω από τους 0 °C.

Σε περιπτώσεις υψηλών θερμοκρασιών, στην τιμή των περίπου 40 °C, η ανθρώπινη δραστηριότητα γίνεται εξαιρετικά δύσκολη, και όσο η θερμοκρασία ανεβαίνει το εκτεθειμένο άτομο έχει να αντιμετωπίσει μια σειρά επικινδύνων καταστάσεων. Κατά σειρά παρατηρούνται έντονη εφίδρωση, θερμική αποβολή, σπασμοί και θερμική προσβολή. Φυσικά τέτοιες καταστάσεις είναι σπάνιες στις συνήθεις θερμοκρασίες περιβάλλοντος, καθώς ακόμα και σε περιόδους καύσωνα οι θερμοκρασίες δεν φτάνουν σε τόσο ακραίες τιμές.

Στη θερμική αποβολή εμφανίζονται τάσεις λιποθυμίας, σημάδια κόπωσης, ταχυπαλμίες, αύξηση της ταχύτητας αναπνοής. Η κατάσταση αυτή οφείλεται στη μειωμένη ποσότητα αίματος που επιστρέφει στην καρδιά. Μεγαλύτερο κίνδυνο διατρέχουν όσοι αντιμετωπίζουν καρδιακά προβλήματα.

Στο επόμενο στάδιο εμφανίζονται σπασμοί των μυών, αποτέλεσμα της έλλειψης αλάτων τα οποία απέβαλλε ο οργανισμός με την έντονη εφίδρωση.

Το τελικό στάδιο, αυτό της θερμικής προσβολής, που εμφανίζεται με περεταιίρω άνοδο της θερμοκρασίας είναι και το πιο επικίνδυνο καθώς μπορεί να οδηγήσει σε κώμα, ακόμα και σε θάνατο. Στο στάδιο αυτό η θερμοκρασία του σώματος προσεγγίζει τους 41 °C, και σχεδόν ταυτόχρονα με το κώμα σταματά η εφίδρωση.



Σχήμα 2.2.3.1: Διακύμανση θερμοκρασιών περιβάλλοντος και Ανθρώπου

2.2.4 Η Εφίδρωση

Η εφίδρωση αποτελεί βασικό μηχανισμό ψύξης του δέρματος. Καθώς με την εξάτμιση του ιδρώτα, ψύχεται η επιφάνεια του δέρματος, αυξάνεται η μεταφορά θερμότητας από το εσωτερικό του σώματος προς το περιβάλλον. Χαρακτηριστικό είναι ότι με την εφίδρωση μπορεί μέχρι και να τετραπλασιαστεί αυτή η μεταφορά θερμότητας.

Αύξηση κατά 1 °C της θερμοκρασίας του πυρήνα είναι ικανή να εκκινήσει τη λειτουργία της εφίδρωσης. Ο ιδρώτας μεταφέρεται από το εσωτερικό του σώματος προς την επιδερμίδα μέσω αδένων, που διακρίνονται στο σχήμα 2.2.2.3. Από την επιφάνεια του δέρματος γίνεται η εξάτμιση με ρυθμό που εξαρτάται από την επιφάνεια εξάτμισης, την σχετική υγρασία του αέρα, τη ταχύτητα του αέρα και τη θερμοκρασία. Όταν η σχετική υγρασία του αέρα βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα η εξάτμιση ξεκινά άμεσα και με ικανοποιητικό ρυθμό. Αν όμως ο ρυθμός εξάτμισης δεν είναι ο απαιτούμενος τότε αυξάνεται η επιφάνεια εξάτμισης.

Υγρασία δέρματος ονομάζεται το κλάσμα της επιφάνειας της επιδερμίδας που είναι καλυμμένη με νερό προς τη συνολική επιφάνεια, και επηρεάζει σημαντικά τη θερμική άνεση. Όταν το δέρμα είναι έντονα βρεγμένο, σε συνδυασμό με υψηλή

θερμοκρασία, υψηλή σχετική υγρασία περιβάλλοντος και αυξημένη δραστηριότητα, δημιουργεί αίσθημα δυσαρέσκειας, και σε αρκετές περιπτώσεις δυσφορία. Σε περίπτωση ελαφριάς δραστηριότητας ή καθιστικής εργασίας, ποσοστό υγρασίας δέρματος μεγαλύτερο του 25 % προκαλεί ενόχληση, ενώ πρέπει να αναφερθεί και η ενοχλητική αίσθηση που δημιουργείται στην επαφή του σώματος με τα ρούχα. Ο Gagge το 1937 όρισε την έννοια της διαβροχής σαν τη διαφορά μεταξύ πραγματικής απώλειας θερμότητας λόγω εξάτμισης του ιδρώτα, προς τη μέγιστη που μπορεί να επιτευχθεί στις ίδιες περιβαλλοντικές συνθήκες, και αποτελεί έναν δείκτη δυσαρέσκειας αφού χαρακτηρίζει την ένταση που επιβάλλεται στο θερμορρυθμιστικό σύστημα.

Μετά από συνεχείς εφιδρώσεις η περιεκτικότητα του ιδρώτα σε αλάτι μειώνεται, καθώς απαιτείται από τον οργανισμό εξοικονόμηση της απαραίτητης ποσότητας αλάτων. Μετά την εξάτμιση του νερού του ιδρώτα, το αλάτι παραμένει στο δέρμα με επακόλουθο την αύξηση της περιεκτικότητας του ιδρώτα που συνεχίζει να εκλύεται, την μείωση της μερικής πίεσης και κατά συνέπεια τη δυσκολία εξάτμισης. Τότε παρατηρείται αύξηση της υγρασίας του δέρματος και ενόχληση του ανθρώπου, εκτός αν υπάρξει αλλαγή στις συνθήκες που επικρατούν στο χώρο που βρίσκεται ο άνθρωπος, όπως αύξηση της ταχύτητας του αέρα ή μείωση της σχετικής υγρασίας.

Καθώς ο άνθρωπος έχει τη δυνατότητα προσαρμογής στο περιβάλλον, η μακροχρόνια έκθεση σε θερμότερο περιβάλλον ανεβάζει το θερμοκρασιακό όριο ενεργοποίησης του μηχανισμού αποβολής θερμότητας και συνεπώς της εκκίνησης της εφίδρωσης. Η μικρού χρόνου όμως επαναλαμβανόμενη έκθεση, ευαισθητοποιεί τον οργανισμό, και η εφίδρωση ξεκινά σε πιο χαμηλές θερμοκρασίες.

Η εξάτμιση της υγρασίας των πνευμόνων και της επιδερμίδας οδηγεί σε αύξηση της απόλυτης υγρασίας του αέρα, κατά συνέπεια σε αύξηση της θερμοκρασίας υγρού θερμομέτρου.

2.2.5 Ο μεταβολισμός

Ο μεταβολισμός μπορεί να ορισθεί σαν η διεργασία μετατροπής της τροφής στην απαιτούμενη ενέργεια για την ανάπτυξη του σώματος, την επιβίωση, και την παραγωγή μηχανικού έργου, ενώ ταυτόχρονα εκλύεται και κάποιο ποσό θερμότητας.

Το ανθρώπινο σώμα θα μπορούσε να χαρακτηριστεί σαν μια θερμοπαραγωγική μηχανή, της οποίας ο βαθμός απόδοσης είναι πολύ χαμηλός σε κατάσταση χαλάρωσης, περίπου 1%, σε κατάσταση όμως πολύ έντονης δραστηριότητας μπορεί να προσεγγίσει και το 20%. Η θερμότητα που παράγεται αποβάλλεται προς το περιβάλλον μέσω του δέρματος. Έτσι έχει επικρατήσει να εκφράζουμε τη θερμότητα αυτή ανά μονάδα επιφανείας δέρματος, δηλαδή σε μονάδες met (W/m^2). Το 1 met αντιστοιχεί στην θερμότητα που παράγεται από κάποιο ενήλικο άτομο σε κατάσταση χαλάρωσης. Η θερμότητα αυτή υπολογίζεται περίπου 100 W, και αν δεχθούμε ότι ένας ενήλικος άνδρας έχει επιφάνεια περίπου $1,8 m^2$, ή μια γυναίκα $1,6 m^2$, 1 met αντιστοιχεί σε $58,1 W/m^2$.

Ο μεταβολικός ρυθμός παραγωγής ενέργειας ή θερμότητας μεταβάλλεται αναλογικά με την ένταση της δραστηριότητας, ενώ εξαρτάται και από τις συνθήκες κάτω από τις οποίες εκτελείται η δραστηριότητα. Εξαρτάται ακόμα και από τον άνθρωπο, το φύλλο και την ηλικία του. Ένας νέος υγιής άνθρωπος (περίπου 20 ετών) έχει μέγιστη ικανότητα παραγωγής 12 met, ενώ στην ηλικία των 35 ετών έχει ικανότητα 10 met. Σε έναν ηλικιωμένο άνθρωπο περίπου 70 ετών η μέγιστη ικανότητα πέφτει στα 7 met, ενώ για τις γυναίκες τα αντίστοιχα μεγέθη είναι μειωμένα κατά περίπου 30%. Σημαντική επίδραση έχει επίσης και το κατά πόσο γυμνάζεται ένα άτομο. Ένας αθλητής που γυμνάζεται έντονα μπορεί να φτάσει και τα 20 met, ενώ σε κάποιους ανθρώπους δραστηριότητες που παράγουν πάνω από 5 met μπορούν να προκαλέσουν κόπωση.

Τιμές μεταβολικών ρυθμών παραγωγής θερμότητας, για διάφορες παρουσιάζονται από διάφορα ινστιτούτα και οργανισμούς σε πίνακες. Τέτοιοι πίνακες είναι της μορφής του πίνακα 2.3.4.1, που παρουσιάζεται παρακάτω.

Πίνακας 2.2.5.1.: Μεταβολικός ρυθμός παραγωγής θερμότητας για συνήθειες δραστηριότητες

Δραστηριότητα		W/m ²	met
Ανάπαυση	Υπνος	40	0,7
	Χαλάρωση σε καθιστή στάση	60	1,0
	Χαλάρωση σε όρθια στάση	70	1,2
Περπάτημα (Σε οριζόντιο επίπεδο)	Αργό περπάτημα	115	2
	Μέσο Περπάτημα	150	2,6
	Εντονο - Γρήγορο Περπάτημα	220	3,8
Εργασία γραφείου καταστήματος	Ανάγνωση	55	1,0
	Δακτυλογράφηση	65	1,1
	Πακετάρισμα	120	2,1
	Υπάλληλος καταστήματος, πωλητής	104 - 128	1,8 - 2,2
Εργασία εργοστασίου, εργοταξίου κλπ	Ελαφρά εργασία	93	1,6
	Μέση εργασία	115 - 140	2,0 - 2,4
	Εντονη Εργασία	175 - 235	3,0 - 4,0
	Σκάψιμο	250 - 280	4,3 - 4,8
Οδήγηση	Ελαφρύ όχημα, δίκυκλο, επιβατικό όχημα	100 - 115	1,7 - 2,0
	Βαρύ όχημα	175 - 200	3,0 - 3,4
Οικιακές Εργασίες	Καθαριότητα	110 - 200	1,9 - 3,4
	Μαγείρεμα	95 - 115	1,6 - 2,0
	Σήκωμα βαρών - Μετακίνηση αντικειμένων	163 - 235	2,8 - 4,0
Διασκέδαση, Άθληση	Χορός	140 - 255	2,4 - 4,4
	Ψώνια	93	1,6
	Κοινωνικές εκδηλώσεις	81 - 250	1,4 - 4,3
	Ελαφρά γυμναστική	170 - 270	2,9 - 4,7
	Πολύ έντονη γυμναστική	380 - 500	6,5 - 8,6
	Ομαδικά αθλήματα (μπάσκετ, ποδόσφαιρο)	300 - 450	5,2 - 7,7

Παρατηρώντας διάφορους πίνακες που υπάρχουν σε διάφορα βιβλία, εγχειρίδια, μελέτες ή κανονισμούς, θα εντοπίσει κανείς διαφορές στις τιμές που αναγράφονται για παρόμοιες δραστηριότητες, κάτι που συνήθως οφείλεται στο πώς προσδιορίζεται μια δραστηριότητα, και στο πώς αυτή εκτελείται. Αυτό φαίνεται και στο ότι σε αρκετές περιπτώσεις, στους πίνακες για μια δραστηριότητα, όχι ακριβώς καθορισμένη, δίνεται ένα εύρος τιμών. Επίσης έχει διαπιστωθεί ότι οι μεγαλύτερες αποκλίσεις υπάρχουν στις πιο έντονες δραστηριότητες, οι οποίες είναι και οι πιο δύσκολες να καθοριστούν. Ακόμα πρέπει να επισημανθεί ότι οι τιμές του πίνακα αφορούν συνεχόμενη δραστηριότητα και αν στη διάρκεια του χρόνου μελέτης υπάρχουν αλλαγές, ο μέσος μεταβολικός ρυθμός παραγωγής θερμότητας θα προκύπτει από το άθροισμα των γινομένων των τιμών της κάθε δραστηριότητας επί το ποσοστό του χρόνου που της αναλογεί.

Εκτός από τη χρήση πινάκων ο μεταβολικός ρυθμός παραγωγής θερμότητας μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας το οξυγόνο που εισπνέεται και το διοξείδιο του άνθρακα που αποβάλλεται κατά την αναπνοή του ατόμου που εκτελεί τη δραστηριότητα. Χρησιμοποιείται η εμπειρική σχέση:

$$M = \frac{21 \cdot (0.23 \cdot RQ + 0.77) Q_{O_2}}{A_D}, \text{ όπου}$$

M ο μεταβολικός ρυθμός παραγωγής ενέργειας σε W/m^2

RQ ο λόγος γραμμομορίων (mol) CO_2 που προς τα mol O_2

Q_{O_2} η παροχή όγκου σε mL/s του εισπνεόμενου O_2 σε συνθήκες $0^\circ C$ και 101,325 KPa.

A_D : Η επιφάνεια σώματος (αναλύεται σε αντίστοιχη παράγραφο)

Η τιμή του RQ εξαρτάται από τη δραστηριότητα και από άτομο που την εκτελεί. Ο πιο ακριβής τρόπος προσδιορισμού είναι με μέτρηση των ποσοτήτων O₂ και CO₂ , αλλά μπορούν να χρησιμοποιηθούν και εμπειρικές τιμές χωρίς μεγάλο σφάλμα, όταν δεν απαιτείται απόλυτα ακριβής υπολογισμός. Οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ:

RQ = 0.83 , για ελαφρά δραστηριότητα (M<1.5 met)

RQ = 1 , για βαριά δραστηριότητα.

Η ποσότητα του O₂ που εισπνέεται είναι δυνατόν να υπολογιστεί και συναρτήσει των παλμών της καρδιάς, αλλά με ακόμα μικρότερη ακρίβεια, διότι οι παράγοντες που επηρεάζουν τον αριθμό των παλμών είναι πάρα πολλοί.

Πίνακας 2.2.5.2: Ποσότητα εισπνεόμενου O₂ συναρτήσει καρδιακών παλμών

Δραστηριότητα	Παλμοί ανά λεπτό	O ₂ (mL/s)
Ελαφρά Δραστηριότητα	<90	<8
Μέση Δραστηριότητα	90 -- 110	8 -- 16
Βαριά Δραστηριότητα	110 -- 130	16 -- 24
Πολύ Βαριά Δραστηριότητα	130 -- 150	24 -- 32
Εξαιρετικά Έντονη Δραστηριότητα	150 -- 170	>32

2.2.6 Επιφάνεια σώματος

Καθώς η συναλλαγή θερμότητας του ανθρώπου με το περιβάλλον γίνεται μέσω του δέρματος, είναι πολύ απαραίτητο να υπολογιστεί η επιφάνεια του σώματος, δηλαδή η επιφάνεια της επιδερμίδας. Άλλωστε και πολλές ποσότητες που χρησιμοποιούνται στις εξισώσεις είναι ανοιγμένες ανά μονάδα επιφανείας.

Πολύ γενικά χρησιμοποιούνται οι μέσες τιμές επιφανείας $1,8 \text{ m}^2$ για τον άνδρα και 1.6 m^2 για τη γυναίκα. Με βάση αυτές τις τιμές έγινε και ο προσδιορισμός της μονάδας met. Αν απαιτείται όμως μεγαλύτερη ακρίβεια στους υπολογισμούς πρέπει η επιφάνεια να υπολογιστεί επακριβώς. Άλλωστε οι σωματικές διαστάσεις μπορεί να έχουν μικρές ή μεγάλες διαφορές από άνθρωπο σε άνθρωπο. Διαφορές παρατηρούνται μεταξύ διαφόρων φυλών, ενώ έχει παρατηρηθεί ότι με το πέρασμα των χρόνων οι σωματικές διαστάσεις του μέσου πληθυσμού τείνουν να αυξηθούν.

Ο πιο συνηθισμένος τρόπος υπολογισμού της επιφανείας σώματος είναι με χρήση της εξίσωσης DuBois:

$$A_D = 0.202 \cdot m^{0.425} \cdot l^{0.725}, \text{ όπου}$$

A_D η επιφάνεια σώματος κατά DuBois σε m^2

M η μάζα σώματος σε Kg

l το ύψος σώματος σε m

Προκειμένου να υπολογισθεί το ποσό θερμότητας που αποβάλλεται από το σώμα, πολλές φορές είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε την επιφάνεια που είναι ελεύθερη (δεν καλύπτεται από ρούχα). Τότε χρησιμοποιείται ο διορθωτικός συντελεστής f_{cl} , ο οποίος εξαρτάται από το είδος της ένδυσης, και θα αναλυθεί στην αντίστοιχη παράγραφο.

2.3 Η ένδυση

Η ένδυση εκτός από την προστασία που προσφέρει στο ανθρώπινο δέρμα, από τη βροχή, τον αέρα, τις σκόνες και τους ρύπους, αποτελεί θερμική αντίσταση μεταξύ της επιδερμίδας και του περιβάλλοντος. Η θερμότητα μεταφέρεται με αγωγή από το δέρμα στα ρούχα, και από εκεί αποβάλλεται στο περιβάλλον με συναγωγή και ακτινοβολία. Η επιλογή της θερμικής αντίστασης των ρούχων εξαρτάται από τη θερμοκρασιακή διαφορά με το περιβάλλον. Σε ζεστό περιβάλλον χρησιμοποιούνται 'ελαφριά' ρούχα, με μικρή θερμομονωτική δράση, η οποία αυξάνεται ανάλογα με τη θερμοκρασιακή διαφορά (το χειμώνα χρησιμοποιούνται ρούχα με μεγάλη θερμομονωτική δράση). Σημαντικό ρόλο παίζει και το χρώμα των ρούχων, κυρίως όταν ο άνθρωπος που τα φορά βρίσκεται σε εξωτερικό περιβάλλον, και είναι εκτεθειμένος στην ηλιακή ακτινοβολία. Ακόμα προσοχή πρέπει να δίνεται και στο υλικό κατασκευής και στη δυνατότητα να επιτρέπουν την εξάτμιση της υγρασίας της επιδερμίδας δια μέσω τους. Κυρίως σε περιπτώσεις έντονης δραστηριότητας, όπου παράγεται μεγάλη ποσότητα ιδρώτα, εκτός από τη θερμική αντίσταση των ρούχων, πρέπει να εξετάζεται και η αντίσταση τους στην εξάτμιση. Γενικά ισχύει:

- *Ζεστό ξηρό περιβάλλον:* λεπτά, φαρδιά, ανοιχτόχρωμα ρούχα, προσφέρουν χαμηλή απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας, μικρή μετάδοση θερμότητας από το ζεστό περιβάλλον προς το δέρμα, και ικανοποιητικό αερισμό του δέρματος μέσα από τα ρούχα.
- *Ζεστό και υγρό περιβάλλον:* φαρδιά, ανοιχτόχρωμα και πορώδη ρούχα, για εύκολη μετάδοση θερμότητας μέσω των πόρων.
- *Κρύο περιβάλλον:* σκούρα, χοντρά και στενά ρούχα, προσφέρουν υψηλή απορροφητικότητα ηλιακής ακτινοβολίας, και προσφέρουν καλή θερμομόνωση.

Η θερμική αντίσταση των ρούχων εκφράζεται σε μονάδες clo. Το 1 clo ορίστηκε σαν η μόνωση που παρέχει η ένδυση ενός μέσου άνδρα, ο οποίος βρίσκεται σε ανάπαυση καθιστός, σε ένα φυσικά αεριζόμενο χώρο (ταχύτητα αέρα 0,1m/sec), με θερμοκρασία αέρα 21 °C και σχετική υγρασία μικρότερη από 50% . Κατά προσέγγιση το 1 clo αντιστοιχεί στη θερμική αντίσταση ενός χειμερινού

κουστουμιού. Η θερμική αντίσταση μπορεί να εκφραστεί σε m^2K/W και 1 clo αντιστοιχεί σε $0,155 m^2K/W$.

Η συνολική θερμική αντίσταση υπολογίζεται:

$$R_t = \frac{A \cdot (T_s - T_a)}{H} \quad (m^2 \text{ } ^\circ C/W), \quad \text{όπου}$$

A το εμβαδό της επιφάνειας (m^2)

T_s η θερμοκρασία της επιδερμίδας ($^\circ C$)

T_a η θερμοκρασία του αέρα περιμετρικά των ρούχων ($^\circ C$)

H η θερμική ενέργεια (W)

Η πραγματική θερμική αντίσταση των ρούχων προκύπτει από τη διαφορά της ολικής θερμικής αντίστασης και της θερμικής αντίστασης της επιφανείας χωρίς ρούχα R_a ($m^2 \text{ } ^\circ C/W$), διαιρεμένο με το συντελεστή f_{cl} .

$$R_{cl} = R_t - \frac{R_a}{f_{cl}} \quad (m^2 \text{ } ^\circ C/W)$$

Ο συντελεστής f_{cl} εφαρμόζεται σε όλους τους όρους μεταφοράς θερμότητας από το δέρμα όταν απαιτείται η πραγματική επιφάνεια συναλλαγής λόγω ρουχισμού, και υπολογίζεται:

$$f_{cl} = \frac{A_{cl}}{A_D}, \quad \text{όπου}$$

A_{cl} η επιφάνεια συναλλαγής λόγω ρουχισμού σε m^2

A_D η επιφάνεια κατά DuBois σε m^2 (παράγραφος 2.2.5)

Ο συντελεστής f_{cl} παίρνει τιμές από 1,01 για ελαφριά ρούχα μέχρι 1,5 για τα πιο βαριά ρούχα. Τιμές ανάλογα με την ένδυση δίνονται σε πίνακες.

Η συνολική μόνωση υπολογίζεται από τη θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας άνεσης της επιδερμίδας και της θερμοκρασίας του αέρα, προς τη θερμότητα που μεταδίδεται με αγωγή, συναγωγή και ακτινοβολία:

$$I_t = \frac{T_{sk} - T_a}{Q}$$

Ο δείκτης διαπερατότητας είναι η ένδειξη της εξατμιστικής διαπερατότητας ενός ρούχου:

$$i_m = \frac{R_t}{LR \cdot R_{cl}}$$

Το γινόμενο LR είναι αναλογία του συντελεστή μάζας που εξατμίζεται και του συντελεστή συναγωγιμότητας.

Ο λόγος $\frac{R_t}{R_{cl}}$ αποτελεί μέτρο της μετάδοσης θερμότητας με εξάτμιση.

Ο δείκτης διαπερατότητας i_m μπορεί να πάρει θεωρητικές τιμές από 0 μέχρι 1 για πλήρη εξατμιστική διαπερατότητα. Στην πράξη τιμές μεγαλύτερες του 0,5 είναι σπάνιες.

Πίνακας 2.3.1: Θερμοκρασία άνεσης αέρα ανάλογα με τη μεταβολική δραστηριότητα και την ενδυμασία.
Ταχύτητα αέρα 0,1 m/s

Δραστηριότητα	Μεταβολική Δραστηριότητα (W)	Ρουχισμός (clo)	Θερμοκρασία άνεσης αέρα (°C)
Ανάπαυση	0	0,5	31
	0	1	29
Καθιστική Εργασία	43	0,5	27
	43	1	23
Ελαφριά Εργασία	100	0,5	22
	100	1	16
Έντονη Εργασία	20	0,5	12

Πίνακας 2.3.2: Αντίσταση θερμικής αγωγιμότητας ενδυμάτων

	Αντίσταση R	
	m ² K/W	clo
Ενδυμασία		
Χωρίς ρούχα	0	0
Εσώρουχα	0,02	0,1
Ελαφρά Θερινή ενδυμασία	0,08	0,5
Μέτρια ανοιξιάτικη ενδυμασία ή χειμερινή για θερμαινόμενους χώρους	0,16	1
Χειμερινή ενδυμασία	0,24	1,5

Πίνακας 2.3.3: Θερμική μόνωση διαφόρων χαρακτηριστικών συνδυασμών ρουχων

Ένδυση	m ² K/W	clo
Κοντό παντελόνι (σορτζ)	0,015	0,1
Εσώρουχο, κοντό παντελόνι, πουκάμισο κοντομάνικο, ανοιχτά παπούτσια	0,045	0,3
Καλοκαιρινή ενδυμασία: Εσώρουχο, πουκάμισο κοντομάνικο, μακρύ ελαφρύ παντελόνι, ελαφριές κάλτσες, παπούτσια	0,08	0,5
Ενδυμασία για ελαφριά εργασία: Εσώρουχο, πουκάμισο βαμβακερό με μακρύ μανίκι, παντελόνι εργασίας, μάλλινες κάλτσες, παπούτσια	0,11	0,7
Χειμερινή εσωτερική εργασία: Εσώρουχα, πουκάμισο με μακρύ μανίκι ή πουλόβερ, χοντρές κάλτσες, παπούτσια	0,16	1,0
Χειμωνιάτικο επαγγελματικό κουστούμι: βαμβακερά μακριά εσώρουχα, παντελόνι, σακάκι, πουκάμισο, γιλέκο ή πουλόβερ, μάλλινες κάλτσες, παπούτσια	0,23	1,5

Πίνακας 2.3.4: Συντελεστές και τιμές μόνωσης για τυπικά παραδείγματα ένδυσης

Ένδυση	I_{cl} (clo)	I_t (clo)	F_{cl}	i_{cl}	i_m
Κοντό παντελόνι (σορτς), κοντομάνικο πουκάμισο	0,36	1,02	1,1	0,34	0,42
Μακρύ παντελόνι, κοντομάνικο πουκάμισο	0,57	1,2	1,15	0,36	0,43
Μακρύ παντελόνι, μακρυμάνικο πουκάμισο	0,61	1,21	1,2	0,41	0,45
Μακρύ παντελόνι, μακρυμάνικο πουκάμισο, γιλέκο, T-shirt, πανοφώρι	1,14	1,69	1,32	0,32	0,37
Ζεστό εσώρουχο, ζεστή φούστα	0,74	1,35	1,19	0,41	0,45
Χειμερινές πιτζάμες, ρόμπα, παντόφλες	0,96	1,5	1,32	0,37	0,41
Φούστα, καλσόν, εσώρουχο, κοντομάνικο πουκάμισο	0,54	1,1	1,26		
Φούστα, καλσόν, εσώρουχο, μακρυμάνικο πουκάμισο	0,67	1,22	1,46		
Μακρυνά φούστα, μακρυμάνικο πουκάμισο, πανοφώρι, καλσόν	1,1	1,59	1,46		
Παλτό, μακρυμάνικο πουκάμισο, T-shirt	0,89	1,46	1,27	0,35	0,4

Στην περίπτωση που απαιτούνται πιο ακριβείς υπολογισμοί, και κανένας από τους συνδυασμούς ενδυμάτων των παραπάνω πινάκων δεν προσεγγίζει την ένδυση του ατόμου που μελετάται, τότε πρέπει να υπολογισθεί το άθροισμα των τιμών μόνωσης για κάθε ένα από τα ρούχα. Τέτοιες τιμές δίνονται στον πίνακα 2.3.4.

Πίνακας 2.3.4: Τιμές μόνωσης σε clo για κάθε είδος ενδύματος χωριστά

Ένδυμα		I (clo)	Ένδυμα		I (clo)
Εσώρουχα	Στηθόδεσμος	0,01	Παντελόνια - Φορέματα	Λεπτό παντελόνι	0,15
	Κιλότα	0,03		Χονδρό παντελόνι	0,24
	Full slip	0,16		Λεπτή φούστα	0,14
	Half slip	0,14		Χονδρή φούστα	0,23
	Ανδρικό Εσώρουχο	0,04		Αμάνικο λεπτό φόρεμα	0,23
	Σοσόνια	0,02		Κοντομάνικο λεπτό φόρεμα	0,29
	Κάλτσες	0,03		Μακρυμάνικο λεπτό φόρεμα	0,33
	Καλσόν	0,02		Μακρυμάνικο χονδρό φόρεμα	0,47
	T-shirt λεπτό	0,08			
Υποδήματα	Παπούτσια	0,02	Πανωφόρια	Λεπτό Jacket	0,36
	Μπότες	0,1		Χονδρό Jacket	0,42
	Σανδάλια	0,02		Λεπτό Jacket με επένδυση	0,44
		Χονδρό Jacket με επένδυση		0,48	
		Λεπτό παλτό		0,3	
Μπλούζες - Πουκάμισα	Αμάνικη μπλούζα	0,13	Αθλητικά	Κοντό παντελόνι (shorts)	0,06
	Κοντομάνικη μπλούζα	0,19		Κοντό παντελόνι περιπάτου ή βερμούδα	0,08
	Κοντομάνικο πλεκτό	0,17		Φόρμα προθέρμανσης αθλητή ή κολάν	0,28
	Κοντομάνικο Πουκάμισο	0,08			
	Μακρυμάνικο πουκάμισο	0,25			
	Μακρυμάνικο φανελένιο πουκάμισο	0,34			
	Λεπτό γιλέκο	0,1			
	Χονδρό γιλέκο	0,17			
	Αμάνικο πουλόβερ	0,25			
	Χονδρό αμάνικο πουλόβερ	0,36			
	Μακρυμάνικο T-shirt	0,2			

2.4 Επίτευξη συνθηκών άνεσης

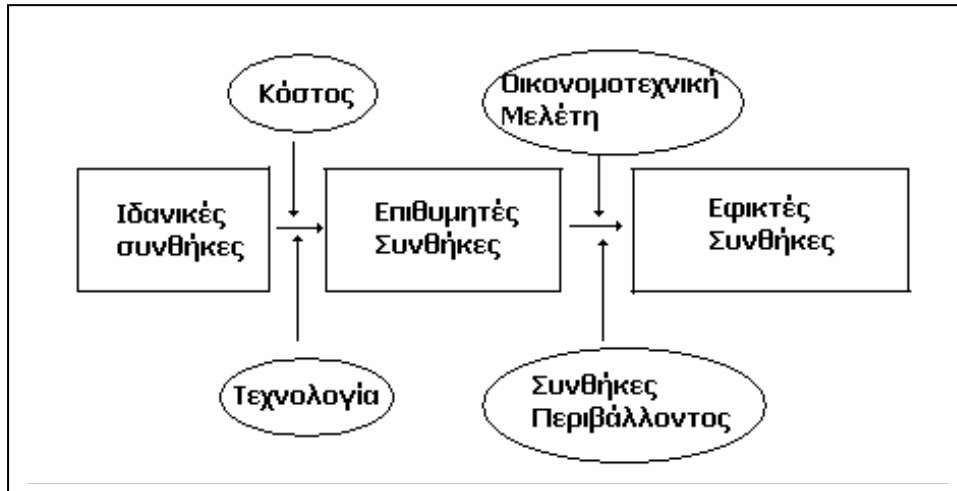
Η υπόθεση προσδιορισμού των συνθηκών άνεσης είναι αρκετά πολύπλοκη, αφού οι απόψεις των χρηστών ενός χώρου διαφοροποιούνται αρκετά στο ποιες είναι οι πλέον κατάλληλες συνθήκες που πρέπει να επικρατούν εντός αυτού. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των ανθρώπων εντός του χώρου τόσο περιπλέκεται η επιλογή των παραμέτρων άνεσης καθώς είναι πολύ δύσκολο να ικανοποιηθούν όλοι απόλυτα. Αν συνυπολογίσει κανείς την υπάρχουσα τεχνολογία και το κόστος, τόσο απομακρύνεται από τις θεωρούμενες ιδανικές συνθήκες.

Οι **ιδανικές** συνθήκες άνεσης ικανοποιούν απόλυτα το σύνολο των απαιτήσεων ενός χώρου και προσαρμόζονται συνεχώς κατά άριστο τρόπο στις επιθυμίες των χρηστών του.

Οι **επιθυμητές** συνθήκες προσεγγίζουν σε ικανοποιητικό βαθμό τις ιδανικές συνθήκες ενός χώρου, έχοντας όμως συμπεριλάβει και τους παράγοντες κόστους και τεχνολογικών δυνατοτήτων.

Οι **εφικτές** είναι οι τελικές συνθήκες που επιτυγχάνονται από μια συγκεκριμένη εγκατάσταση, που λειτουργεί με αποδεκτά τεχνοοικονομικά δεδομένα σε συγκεκριμένες συνθήκες εξωτερικού περιβάλλοντος.

Αρχικά δηλαδή προσδιορίζονται οι ιδανικές συνθήκες οι οποίες με ρεαλιστικά δεδομένα προσαρμόζονται στις επιθυμητές, και έπειτα από τεχνικούς υπολογισμούς και λήψη τιμών όλων των παραγόντων, διαμορφώνουν τις εφικτές συνθήκες άνεσης σε κάθε στιγμή λειτουργίας του χώρου. Οι επιθυμητές συνθήκες θα έλεγε κανείς ότι αποτελούν σημείο αναφοράς για την οικονομοτεχνική μελέτη μιας εγκατάστασης.



Σχήμα 2.4.1: Επίτευξη συνθηκών άνεσης

Για να γίνει η μετάβαση από τις ιδανικές συνθήκες στις επιθυμητές πρέπει να προσδιοριστούν όρια τιμών για κάθε έναν από τους παράγοντες που επηρεάζουν τις συνθήκες άνεσης, και να έχουν μελετηθεί οι επιπτώσεις που θα προκληθούν αν ξεπεραστούν αυτά τα όρια, καθώς επίσης τις επιπτώσεις από διακυμάνσεις των τιμών.

Για να γίνει η μελέτη των συνθηκών άνεση, είναι απαραίτητες πληροφορίες που προέρχονται από την εμπειρία, έρευνες και στατιστικά δεδομένα. Οι απόψεις χαρακτηριστικού δείγματος ατόμων είναι χρήσιμες και κυρίως ανθρώπων που πρόκειται να χρησιμοποιήσουν τον συγκεκριμένο χώρο. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι μελέτης των συνθηκών άνεσης που κυρίως βασίζονται στη στατιστική, όπως οι δείκτες PMV και PPD που θα αναλυθούν σε αυτή την εργασία

2.5 Θερμική Άνεση

Σύμφωνα με την ASHRAE ως θερμική άνεση ορίζεται η κατάσταση του μυαλού κατά την οποία ένα άτομο δεν επιθυμεί καμιά θερμική αλλαγή του εσωτερικού περιβάλλοντος και εκφράζει ικανοποίηση με τις επικρατούσες συνθήκες. Γενικότερα θα μπορούσε να χαρακτηριστεί σαν η κατάσταση ικανοποίησης του ανθρώπινου παράγοντα, βρισκόμενος σε θερμική ισορροπία με το περιβάλλον του.

Αναγκαία συνθήκη για θερμική άνεση είναι η θερμική ουδετερότητα, δηλαδή κανένας από τους ευρισκόμενους εντός του χώρου να μην επιθυμεί ζεστότερο ή ψυχρότερο περιβάλλον, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι αν επιτευχθεί η θερμική ουδετερότητα έχουν εξασφαλιστεί συνθήκες άνεσης.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμική άνεση είναι

A. Περιβαλλοντικοί παράγοντες:

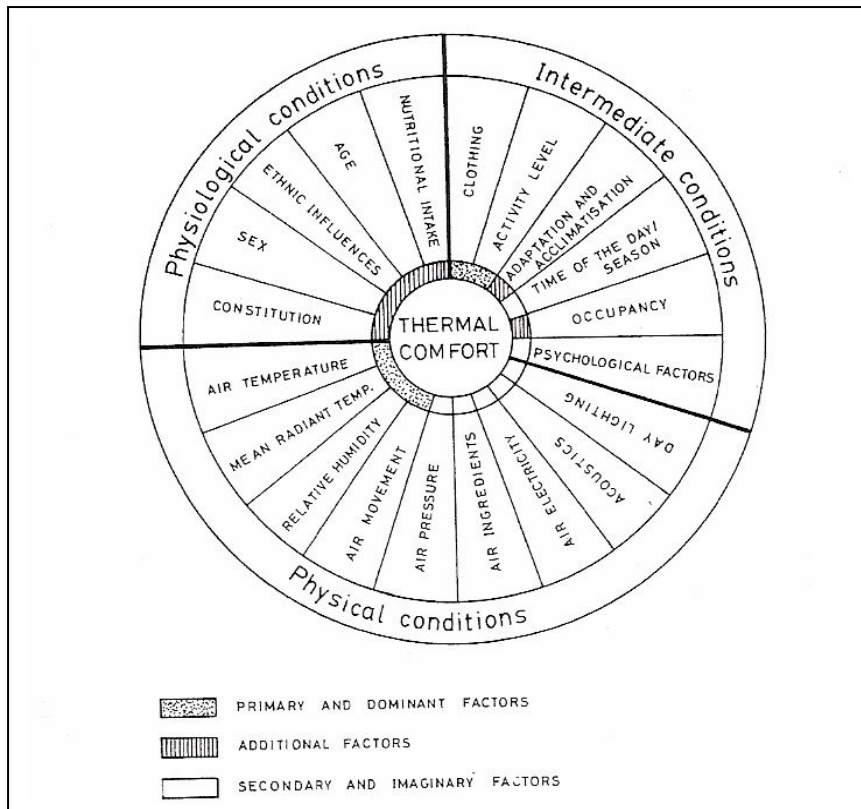
- Θερμοκρασία αέρα
- Ταχύτητα αέρα
- Καθαρότητα αέρα
- Υγρασία

B. Ανθρώπινοι παράγοντες

- Αριθμός χρηστών χώρου
- Ηλικία
- Φύλλο
- Συνήθειες και προτιμήσεις χρηστών
- Δραστηριότητες εντός του χώρου
- Ένδυση

Γ. Κατασκευαστικές παράμετροι κτιρίου

- Σχεδιασμός
- Ύπαρξη συστημάτων θέρμανσης, κλιματισμού, αερισμού κλπ.
- Βιοκλιματικός σχεδιασμός



Σχήμα 2.3.1: Χάρτης θερμικής άνεσης

2.5.1 Η θερμοκρασία

Η επίτευξη της άνεσης εξαρτάται κυρίως από τη θερμοκρασία και την υγρασία, δύο παράγοντες που βρίσκονται σε σχέση αλληλεξάρτησης, αφού ανάλογα με το ποσοστό υγρασίας αλλάζει και η θερμοκρασία υπό την οποία επιτυγχάνεται η θερμική άνεση. Περισσότερα για τον παράγοντα υγρασία υπάρχουν σε επόμενη παράγραφο.

Για την επιλογή της επιθυμητής θερμοκρασίας θερμικής άνεσης γίνεται χρήση της στατιστικής, με χρήση δείγματος που αφορά τις διαπιστωμένες προτιμήσεις μεγάλου αριθμού ανθρώπων. Μετά από τέτοιου είδους έρευνες διάφοροι οργανισμοί ή ινστιτούτα συντάσσουν πίνακες με προτεινόμενες τιμές για χώρους διάφορων χρήσεων. Σε αρκετές περιπτώσεις παρουσιάζονται αποκλίσεις μεταξύ των τιμών των

πινάκων διαφορετικών οργανισμών, αφού εξαρτώνται άμεσα από τις ιδιαιτερότητες του ανθρώπινου δείγματος πάνω στο οποίο βασίστηκε η μελέτη (προέλευση, συνήθειες, ηλικία κλπ). Η ASHRAE μετά από έρευνα σε μεγάλο αριθμό ατόμων διαφόρων ηλικιών, και των δύο φύλλων, που ανήκουν σε όλες τις κοινωνικές ομάδες από διάφορες γεωγραφικές περιοχές, συνέταξε τον πίνακα 2.5.1.1.

Πίνακας 2.5.1.1.: Ιδανικές συνθήκες άνεσης για χειμώνα καλοκαίρι (ASHRAE)

Χώρος	Χειμώνας			Καλοκαίρι			
	Κλιματισμός		Θέρμανση χωρίς υγρανση	Κλιματισμός		Κλιματισμός υψηλών απαιτήσεων	
	Θερμοκρασία D.B. (°C)	Σχετική Υγρασία (%)	Θερμοκρασία D.B. (°C)	Θερμοκρασία D.B. (°C)	Σχετική Υγρασία (%)	Θερμοκρασία D.B. (°C)	Σχετική Υγρασία (%)
Κατοικίες, γραφεία, σχολεία, ξενοδοχεία, νοσοκομεία	20 - 22	30 - 35	21 - 23	25 - 26	45 - 50	25 - 26	45 - 50
Τράπεζες (χώρος επισκεπτών), καταστήματα	19 - 21	30 - 35	20 - 22	26 - 27	45 - 50	25 - 26	45 - 50
Θέατρα, κινηματογράφοι, εκκλησίες, κλειστά γήπεδα, εστιατόρια	20 - 22	35 - 40	120 - 22	26 - 27	50 - 60	25 - 26	50 - 55
Βιομηχανικοί χώροι	19 - 21	30 - 35	19 - 21	27 - 30	45 - 55	25 - 26	45 - 55

Η έρευνα της ASHRAE δεν έλαβε καθόλου υπόψη της οικονομικά κριτήρια. Απόκλιση της τάξης των 2 – 3 °C από τις τιμές του πίνακα μπορούν να θεωρηθούν αποδεκτές χωρίς να χαθεί η αίσθηση της άνεσης.

Επόμενη έρευνα της ASHRAE κατέγραψε τις επιθυμητές θερμοκρασίες ατόμων και των δύο φύλλων, διαφόρων ηλικιών στις βόρειες και νότιες πολιτείες των ΗΠΑ. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 2.5.1.2.

Πίνακας 2.5.1.2.: Επιθυμητές θερμοκρασίες άνεσης για άτομα διαφόρων ηλικιών και φύλου

Εποχή	Φύλλο	Ηλικία (έτη)	Επιθυμητή θερμοκρασία (°C)		
Χειμώνας	Άνδρες + Γυναίκες	40	20	20,5	21
		<40	19,5	20	20,5
	Άνδρες	>40	20	20,5	21
		<40	20	20,5	21
			>40	20,5	21
		Γυναίκες	<40	20	20,5
>40	20,5		21	21,5	
Καλοκαίρι	Άνδρες + Γυναίκες	40	21	21,5	22
		<40	20,5	21	21,5
	Άνδρες	>40	21	21,5	22
		<40	21	21,5	22
			>40	21,5	22
		Γυναίκες	<40	21	21,5
>40	21,5		22	23	

Όπως διαπιστώθηκε οι γυναίκες προτιμούν λίγο υψηλότερες θερμοκρασίες από τους άντρες, περίπου κατά 0,5 °C, καθώς υπάρχουν διαφορές στον μεταβολικό ρυθμό μεταξύ των δυο φύλων. Αυξανόμενη της ηλικίας επίσης υπάρχει μια προτίμηση σε λίγο υψηλότερη θερμοκρασία. Αυτό μπορεί να οφείλεται στη μείωση του μεταβολικού ρυθμού σε μεγαλύτερες ηλικίες, στη μείωση της δραστηριότητας, στην αλλαγή διατροφικών συνηθειών, σε πιθανά προβλήματα υγείας, στη φυσική κατάσταση κλπ. Για παράδειγμα σε έναν άντρα παρατηρείται μια διαφορά περίπου 28% στην λαμβανόμενη ποσότητα οξυγόνου, από την ηλικία των 16 στην ηλικία των 57 ετών. Για τις γυναίκες η αντίστοιχη διαφορά κυμαίνεται περίπου στο 35%. Μόνο στην ηλικία των 40 ετών άντρες και γυναίκες φαίνεται να προτιμούν τις ίδιες θερμοκρασίες.

Οι κάτοικοι των ψυχρότερων περιοχών προτιμούν χαμηλότερες θερμοκρασίες, σε σχέση με αυτούς των πιο θερμών περιοχών, κάτι αναμενόμενο αφού ο άνθρωπος έχει τη δυνατότητα προσαρμογής στο περιβάλλον που ζει. Η διαφορά αυτή είναι περίπου 1 °C. Οι διαφορές ήταν πιο έντονες τα παλαιότερα χρόνια όπου το μεγαλύτερο ποσοστό των ανθρώπων κατοικούσαν σε ένα συγκεκριμένο γεωγραφικό τόπο, με την ανάπτυξη όμως των μέσων μεταφοράς και τη δυνατότητα

μετακινήσεων οι διαφορές έχουν μειωθεί για μεγάλο μέρος του πληθυσμού της γης, συνεχίζουν παρόλα αυτά να υφίσταται. Οι διαφορές θα ήταν πιθανών μεγαλύτερες σε μια έρευνα που θα σύγκρινε διαφορετικούς λαούς, σε τελείως διαφορετικά γεωγραφικά σημεία.

Οι τιμές πινάκων παρόμοιων με του παραπάνω είναι ενδεικτικές και πρέπει να αντιμετωπίζονται προσεκτικά, γιατί ανάλογα με την έρευνα στην οποία βασίστηκαν αφορούν κάποιον ή κάποιους συγκεκριμένους λαούς, κάποιες τοποθεσίες, έχουν διεξαχθεί σε συγκεκριμένη χρονική περίοδο, ενώ αρκετές φορές αγνοείται ο παράγοντας της υγρασίας.

Έχει αναφερθεί ότι πολλές φορές το καλοκαίρι, σε πολύ ζεστό περιβάλλον, προτιμάται πιο δροσερό περιβάλλον από αυτό που θα θεωρούταν φυσιολογικό. Αντίστοιχα το χειμώνα ή σε πολύ κρύο περιβάλλον, προτιμάται πιο θερμό κλίμα από το κανονικό. Αυτό πιθανών οφείλεται σε ψυχολογικούς παράγοντες αφού ένας άνθρωπος εκτεθειμένος στη ζέστη αισθάνεται πολύ ελκυστική την ιδέα να αισθανθεί δροσιά, και πολύ ελκυστική την ιδέα ενός ζεστού περιβάλλοντος όταν βρίσκεται στο κρύο.

Η ενδεικτική θερμοκρασία που χαρακτηρίζει τη συνδυασμένη επίδραση θερμοκρασίας και υγρασίας ενός χώρου στο αίσθημα της άνεσης, ονομάζεται *αισθητή ή ενεργός ή αποτελεσματική θερμοκρασία*.

Μελετώντας τη θερμική άνεση, όπως και στη περίπτωση μελέτης κλιματισμού χρησιμοποιούνται δύο θερμοκρασίες, η **υγρού βολβού** και η **ξηρού βολβού**. Η θερμοκρασία υγρού βολβού (WB) είναι εκείνη η θερμοκρασία στην οποία η τάση ατμών είναι ίση με τη θερμοκρασία κεκορεσμένου ατμού. Η θερμοκρασία ξηρού βολβού είναι η θερμοκρασία του αέρα σε ατμοσφαιρική πίεση και μετριέται με ένα συνηθισμένο θερμόμετρο. Η θερμοκρασία ξηρού βολβού είναι πάντα υψηλότερη από του υγρού.

Έχει επικρατήσει όταν μελετάται ένα σύστημα θέρμανσης να καθορίζεται μόνο η επιθυμητή θερμοκρασία. Έχουν συνταχθεί λοιπόν στον Κανονισμό Θερμομόνωσης Κτιρίων, καθώς και στις Τεχνικές Οδηγίες του ΤΕΕ, αντίστοιχοι πίνακες για τις πιο χαρακτηριστικές κατηγορίες χώρων.

Πίνακας 2.5.1.3: Επιθυμητή θερμοκρασία χώρων για το χειμώνα - ΚΘΚ

Χώροι		°C
Κατοικίες	Καθημερινά, υπνοδωμάτια, κουζίνες	20
	Προθάλαμοι, Διάδρομοι, WC	15
	Κλιμακοστάσια	10
	Λουτρά	22
Καταστήματα Γραφεία	Καταστήματα, γραφεία, εστιατόρια, δωμάτια ξενοδοχείων	20
	Κλιμακοστάσια, WC	15
Εκπαιδευτικά κτίρια κ.α.	Αίθουσες διδασκαλίας	20
	Χώροι εργαστηρίων	15 έως 18
	Αμφιθέατρα	18
	Κλειστά γυμναστήρια	15
	Αίθουσες λουτρών, αποδυτήρια	22
	Διάδρομοι, κλιμακοστάσια, κλειστές αίθουσες διαλειμμάτων, WC	5 έως 10
	Διάδρομοι, κλιμακοστάσια και WC νηπιαγωγίων	15
	Ιατρεία	24
	Χώροι φύλαξης οργάνων και βεστιάρια	15

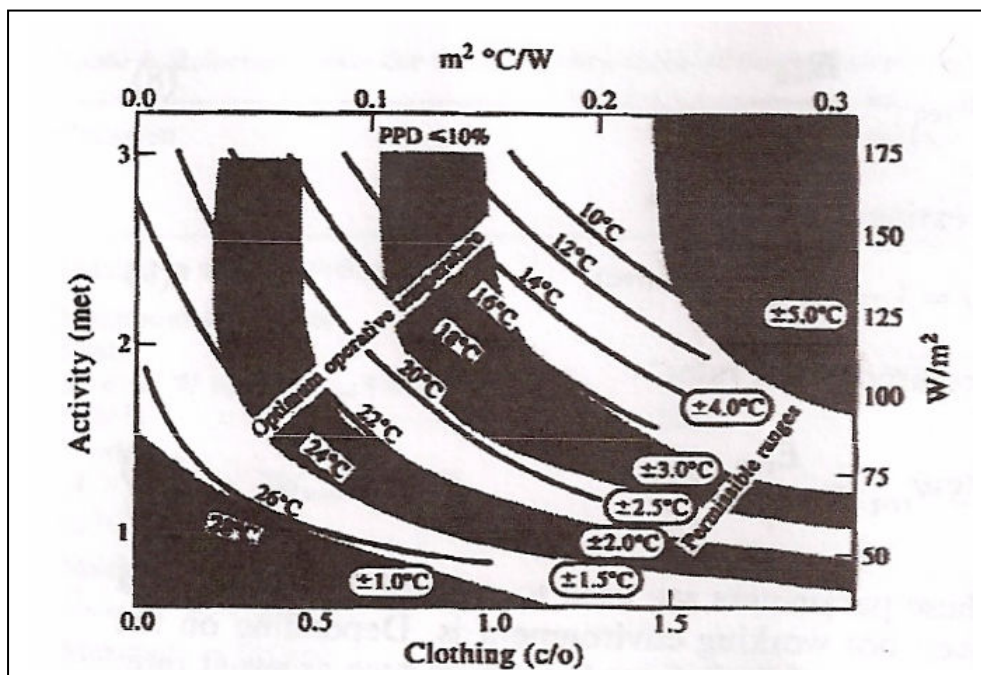
Εκτός από τους πίνακες του ΤΕΕ και του ΚΘΚ πίνακες έχουν συντάξει και οι μεγάλες εταιρείες κλιματισμού, ενώ αρκετοί συναντιόνται σε τεχνικά εγχειρίδια και στη διεθνή βιβλιογραφία. Σε περιπτώσεις που εξετάζεται η θερμική άνεση σε χώρους που έχουν ιδιαιτερότητες, ειδικές απαιτήσεις, ή ο μελετητής πιστεύει από δεν καλύπτεται από πίνακες επιθυμητών θερμοκρασιών, τότε πρέπει να γίνεται ειδική μελέτη κατά περίπτωση.

Πίνακας 2.5.1.4.: Συνιστώμενες θερμοκρασίες σύμφωνα με Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 2425 συγκρινόμενες με
Τις θερμοκρασίες του Κ.Θ.Κ.

Χώρος	Θερμοκρασία °C		Χώρος	Θερμοκρασία °C	
	Κ.Θ.Κ.	Τ.Ο.		Κ.Θ.Κ.	Τ.Ο.
Κατοικίες			Δικαστήρια		20
Καθημερινά	20	20	Ξενοδοχεία		
Υποδομάτια	20	20	Υποδομάτια	20	20
Προθάλαμοι	15	15	Υποδομάτια Πολυτελείας	15	22
Διάδρομοι ,WC	15	15	Διάδρομοι		18
Λουτρά	22	22 έως 24	Νοσοκομεία		
Γραφεία			Γραφεία		20
Δημ. Υπηρεσίες		20	Αίθουσες ασθενών		20
Ιδιωτικά		20	Αίθουσες αναμονής		18
Βοηθ. Χώροι		15	Αίθουσες εξετάσεων		18 έως 21
Καταστήματα	20		Χειρουργεία		18 έως 21
Μικρά		18	Διάδρομοι		16
Πολυκαταστήματα		18	Βοηθητικοί Χώροι		15
Δοκιμαστήρια		21	Εργοστάσια		
Βοηθ. Χώροι		15	Εργασία Καθιστική		19
Εκπαιδευτικά Κτίρια			Εργασία ελαφρά		17
Αίθουσες διδασκαλίας	20	20	Εργασία βαρεία		15
Αίθουσες σεμιναρίων	18	18	Λοιπά Κτίρια		
Αμφιθέατρα	18	18	Μουσεία		20
Κλειστά γυμναστήρια	15	16	Αιθ. Εκθέσεων		18
Εργαστήρια	15 έως 18	20	Τράπεζες		20
Βιβλιοθήκες		20	Αιθ. Διαλέξεων		18
Αναγνωστήρια		20	Εκκλησίες		18
Αποθήκες		15			

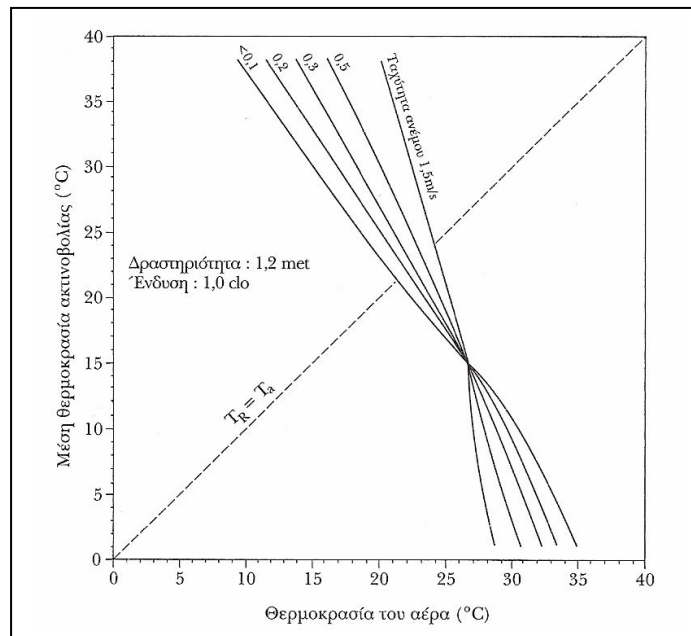
Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας είναι η γεωμετρική μέση τιμή της θερμοκρασίας των επιφανειών που περιβάλλουν το χώρο. Θα μπορούσε ακόμα να περιγραφεί σαν τη θερμοκρασία μιας υποθετική επιφάνεια που θα περιέβαλε το ανθρώπινο σώμα, στην οποία η μεταφορά θερμότητας λόγω ακτινοβολίας προς τον άνθρωπο θα ήταν ισοδύναμη με αυτή της πραγματικής κατάστασης.

Η θερμοκρασία ακτινοβολίας έχει σημαντικό ρόλο στην επίτευξη της θερμικής άνεσης, και μπορεί να προκληθεί ακόμα και το αίσθημα δυσφορίας λόγω ασύμμετρης ακτινοβολίας. Οι εξωτερικοί τοίχοι ενός κτιρίου έχουν χαμηλότερη θερμοκρασία από τους εσωτερικούς, ενώ οι επιφάνειες των παραθύρων δέχονται μεγάλες διακυμάνσεις θερμοκρασίας, που πρακτικά σημαίνει διαφορά θερμοκρασίας κοντά στις επιφάνειες αυτές, σε σχέση με τον υπόλοιπο χώρο. Ένα άτομο που εκτίθεται άμεσα στην ακτινοβολία (όπως κάποιος που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία καθήμενος κοντά σε ένα μεγάλο παράθυρο), αντιμετωπίζει θερμοκρασία ακτινοβολίας που μπορεί να είναι και αρκετά υψηλότερη από τη θερμοκρασία του αέρα.



Σχήμα 2.5.1.1.: Βέλτιστη θερμοκρασία εφαρμογής σε συνάρτηση της δραστηριότητας και της ένδυσης. (Σχετική υγρασία 50%)

Στο σχήμα 2.5.1.1 εμφανίζονται ζώνες άνεσης ($\pm \Delta T$) γύρω από τη βέλτιστη θερμοκρασία. Στις περιοχές αυτές το 80% των χρηστών του χώρου θεωρούν τις συνθήκες παραδεχτές.



Σχήμα 2.5.1.2: Θερμοκρασία αέρα ως προς θερμοκρασία ακτινοβολίας σε Σχέση με τη ταχύτητα αέρα (0,1clo, 1.2met, σχ. Υγρασία 50%)

2.5.2 Η υγρασία

Η επίτευξη θερμικής άνεσης εξαρτάται κυρίως από το συνδυασμό θερμοκρασίας και υγρασίας στο χώρο. Η υγρασία περιέχεται με τη μορφή υδρατμών στον αέρα του χώρου, πρέπει να κυμαίνεται σε καθορισμένα όρια για συγκεκριμένες θερμοκρασίες εξωτερικού και εσωτερικού περιβάλλοντος, και ο έλεγχός της είναι αρκετά δύσκολος.

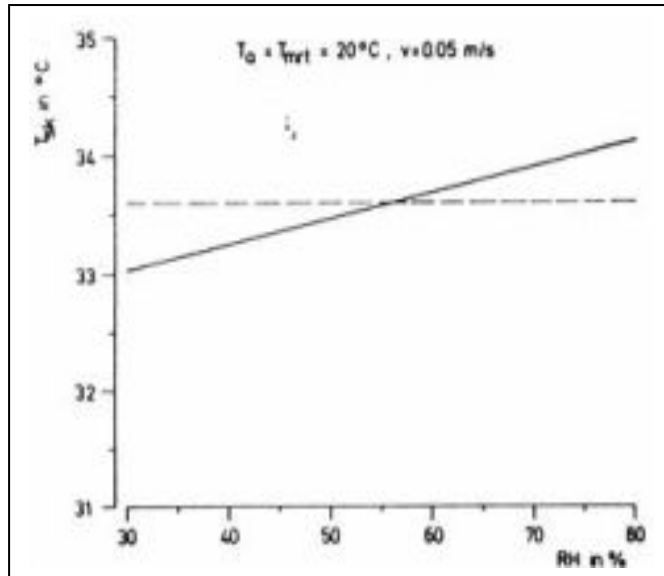
Σχετική υγρασία ονομάζεται ο λόγος της υγρασίας στον αέρα προς την υγρασία που θα περιείχε αν ήταν κορεσμένος σε ίδιες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας, και εκφράζεται συνήθως σε ποσοστό επί τοις εκατό.

Σε μέσες θερμοκρασίες αέρα η επίδραση της υγρασίας είναι σχετικά μικρή. Αύξηση της σχετικής υγρασίας κατά 10% κατά εκτίμηση ισοδυναμεί με αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα κατά 0,3 °C. Σε πολύ θερμό περιβάλλον η αύξηση της υγρασίας έχει σημαντικές επιπτώσεις στη θερμική άνεση. Επίσης μεγάλη σημασία έχει ο χρόνος παραμονής ενός ατόμου σε κάποιο συγκεκριμένο χώρο. Οι επίδραση σε ένα άτομο που μετακινείται σε χώρους με διαφορετική υγρασία είναι αρκετά πιο μεγάλη από ένα άτομο που μένει συνεχώς σε κάποιο συγκεκριμένο χώρο.

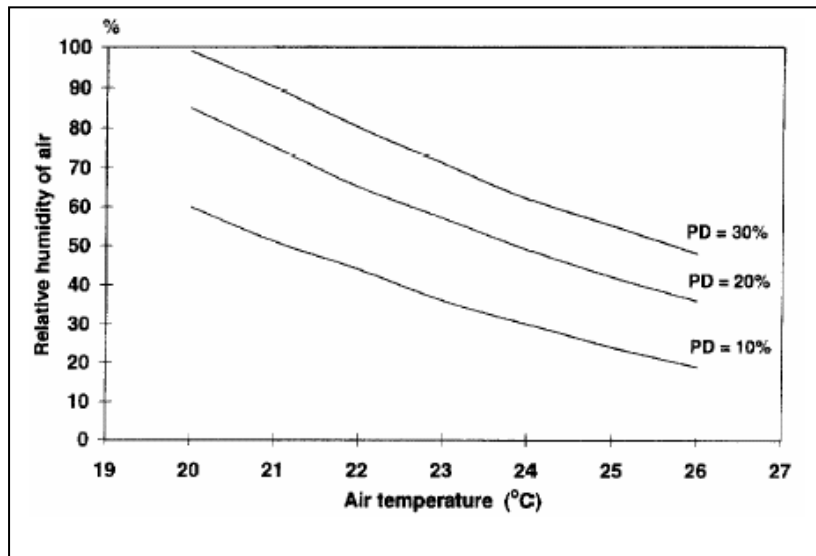
Η σχετική υγρασία ενός χώρου δε πρέπει να είναι χαμηλότερη από 30%. Οι επιθυμητές τιμές κυμαίνονται μεταξύ 40% - 50% με ακραία όρια 30% - 70%. Ποσοστό μικρότερο του 20% προκαλεί αποξήρανση των βλεννογόνων αδένων του αναπνευστικού συστήματος ενώ ο σχηματισμός μούχλας είναι εμφανής σε ποσοστά πάνω από 80%.

Η υγρασία του αέρα επηρεάζει το μηχανισμό εξάτμισης του ιδρώτα, δηλαδή την εξάτμιση του νερού από την επιδερμίδα, μεταβάλλοντας έτσι το θερμικό ισοζύγιο του σώματος. Αν η σχετική υγρασία και η θερμοκρασία του αέρα είναι πολύ υψηλές, ενεργοποιείται ο μηχανισμός της εφίδρωσης. Όμως ο ιδρώτας παραμένει στην επιδερμίδα, αφού η εξάτμιση του είναι αδύνατη, δημιουργώντας την εντύπωση υψηλότερης θερμοκρασίας και αίσθημα δυσaréσκειας. Πολύ μικρή σχετική υγρασία προκαλεί μεγάλη εξάτμιση ιδρώτα, που δημιουργεί την αίσθηση του ψύχους. Σε συνθήκες όπου το δέρμα δεν υγραίνεται επαρκώς προκαλείται μείωση της ανοσοποιητικής ικανότητάς του.

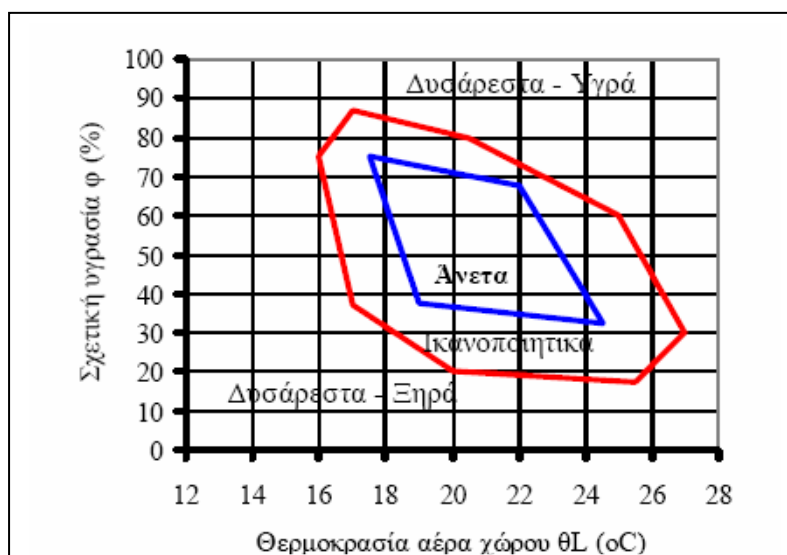
Υψηλές τιμές θερμοκρασίας και υγρασίας μειώνουν την ικανότητα για ψύξη του εισπνεόμενου αέρα και δημιουργούν την εντύπωση του θερμότερου και αποπνικτικού αέρα. Χαμηλές τιμές υγρασίας προκαλούν ξήρανση των βλεννογόνων μεμβρανών, και μείωση της ικανότητας καθαρισμού και ρύθμισης της θερμοκρασίας του αέρα.



Σχήμα 2.5.2.1: Μεταβολή σχετικής υγρασίας και μέσης θερμοκρασίας δέρματος (για άντρα 35 ετών, ένδυση 1 clo)



Σχήμα 2.5.2.2: Σχέση θερμοκρασίας αέρα, σχετικής υγρασίας και ποσοστό δυσαρεστημένων χρηστών



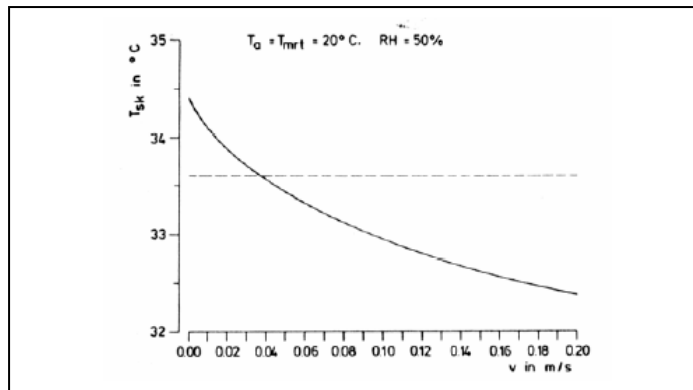
Σχήμα 2.5.2.3: Θερμική άνεση σε σχέση με θερμοκρασία και σχετική υγρασία

Σημαντικές προσοχή πρέπει να δίνεται και στις επιπτώσεις που μπορεί να έχει η υγρασία στα δομικά στοιχεία μιας κατασκευής, και στα αντικείμενα που υπάρχουν εντός ενός χώρου. Χαρακτηριστικά παραδείγματα όπου απαιτείται αυστηρός έλεγχος της υγρασίας χώροι όπου φυλάσσονται ευπαθή αντικείμενα όπως μουσεία βιβλιοθήκες, αποθηκευτικοί χώροι, χώροι διατήρησης τροφίμων κλπ.

2.5.3 Η ταχύτητα του αέρα

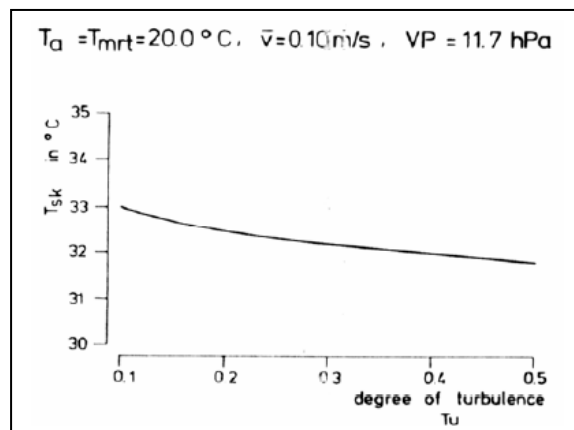
Οι απώλειες θερμότητας από το ανθρώπινο σώμα επηρεάζονται από την ταχύτητα του αέρα.. Όταν η θερμοκρασία και η υγρασία είναι υψηλές η μεγάλη ταχύτητα αέρα βοηθά στην αύξηση της αποβολής θερμότητας, ενώ σε χαμηλές θερμοκρασίες η ταχύτητα πρέπει να είναι χαμηλή. Επίσης οι υψηλές ταχύτητες αέρα δίνουν την εντύπωση χαμηλότερης θερμοκρασίας. Οι ταχύτητες αέρα υπό συνθήκες φυσικού αερισμού κυμαίνονται κοντά στο 0,1 m/s, ενώ είναι αρκετά υψηλότερες σε περιπτώσεις αερισμού με τεχνητά μέσα.

Τα ρεύματα αέρα που μπορεί να δημιουργηθούν σε ένα κλειστό χώρο προκαλούν ενοχλήσεις, ενώ άτομα εκτεθειμένα σε τέτοια ρεύματα μπορεί να αντιμετωπίσουν και προβλήματα υγείας.



Σχέδιο 2.5.3.1: Επίδραση της ταχύτητας αέρα στη θερμοκρασία δέρματος

Σημαντική παράμετρο αποτελεί και ο τύπος ροής του αέρα. Η ροή που μεταβάλλεται περιοδικά προκαλεί ενοχλήσεις σε σχέση με τη στρωτή ροή. Γενικά προτιμάται η ροή με χαμηλές τιμές τύρβης, κάτι που είναι σε αντίθεση με την απαίτηση για ανάμιξη του εσωτερικού αέρα με του εξωτερικού για την αραίωση ρύπων και ομοιογενή εξωτερική ατμόσφαιρα, που επιτυγχάνεται με τη τυρβώδη ροή.



Σχήμα 2.5.3.2: Επίδραση βαθμού τύρβης στη θερμοκρασία του δέρματος




Τιμές επιθυμητών τιμών ταχύτητας αέρα συναντούμε σε πίνακες όπως ο παρακάτω:

Πίνακας 2.5.3.1 Προτεινόμενες τιμές ταχύτητας αέρα (ASHRAE 55-92)

	Ταχύτητα αέρα (m/s)	Θερμοκρασία αέρα °C
Χειμώνας	<0,15	-
Καλοκαίρι	<0,25	-
	<0,275 ανά 10 °C	>26
	<0,8	28

2.5.4 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. Η κλίμακα αυτή προτείνεται από την ASHRAE, και το σημείο μηδέν δείχνει ότι οι άνθρωποι απλώς αισθάνονται άνετα, και δε νιώθουν ζέστη ή ψύχρα. Θετικές τιμές δείχνουν υψηλότερη θερμοκρασία από την ιδανική, ενώ αρνητικές τιμές δείχνουν χαμηλότερες θερμοκρασίες από την ιδανική.

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

Πίνακας 2.5.4.1: Κλίμακα 7 σημείων θερμικής άνεσης (ASHRAE)

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

Μια διαπίστωση που έχει γίνει είναι ότι ένας αριθμός ανθρώπων που βρίσκεται στον ίδιο χώρο, με τις ίδιες συνθήκες, εκτελώντας την ίδια δραστηριότητα και ακόμα 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 ακόμα 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 ότι αφορά τις τοπικές συνθήκες άνεσης.

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

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

M: ο μεταβολικός ρυθμός σε W/m^2

W: το ωφέλιμο μηχανικό έργο σε W/m^2

H: οι απώλειες θερμότητας από την επιφάνεια του σώματος με αγωγή, συναγωγή και ακτινοβολία σε W/m^2

E_C : το ποσό θερμότητας που απάγεται λόγω εξάτμισης σε κατάσταση θερμικής ισορροπίας σε W/m^2

C_{res} : το ποσό θερμότητας που απάγεται με αγωγή κατά την αναπνοή σε W/m^2

E_{res} : το ποσό θερμότητας που απάγεται λόγω εξάτμισης κατά την αναπνοή σε W/m^2 .

Ο δείκτης PMV θα πρέπει 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

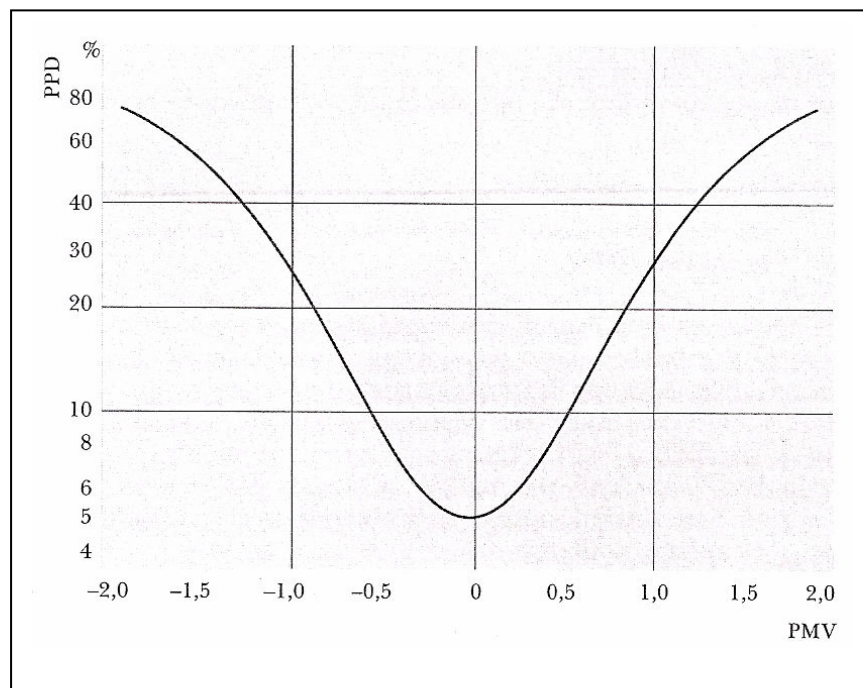
Επειδή είναι αδύνατο όλοι οι ευρισκόμενοι στο ίδιο περιβάλλον να αισθάνονται άνετα κάτω από τις υπάρχουσες συνθήκες, είναι σημαντικό να γνωρίζουμε το ποσοστό των ατόμων που αισθάνονται το χώρο ψυχρό, ή θερμότερο από ότι θα επιθυμούσαν. Για αυτό ο δείκτης PMV χρησιμοποιείται ταυτόχρονα με το δείκτη **προβλεπόμενου εκατοστιαίου ποσοστού δυσαρεστημένων** ή δείκτη δυσαρέσκειας **PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied)**.

Ο δείκτης PPD δηλώνει το ποσοστό των ατόμων από τον συνολικό αριθμό ευρισκόμενων 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

$$PPD = 100 - 95 \cdot e^{-0.03353 PMV^4 + 0.2179 PMV^2}$$

Πιο εύκολα μπορεί να προσδιορισθεί με χρήση διαγράμματος που δείχνει τη σχέση των δυο δεικτών.



Σχήμα 2.5.4.1: Δείκτης PPD συναρτήσεως δείκτη PMV

Από το διάγραμμα διαπιστώνεται ότι ακόμα και σε κατάσταση θερμικής άνεσης, δηλαδή για $PMV=0$, υπάρχει ένα ποσοστό ατόμων, περίπου 5%, που δηλώνει δυσαρέσκεια, ενώ στις ακραίες συνθήκες $PMV=+3$ ή $PMV=-3$ υπάρχει ένα πολύ μικρό ποσοστό που δηλώνει ικανοποιημένο με τις συνθήκες άνεσης (PPD περίπου 99%). Από το ISO 7730 να θεωρείται ότι η κατάσταση σε ένα χώρο είναι ικανοποιητική όταν το ποσοστό δυσαρεστημένων ή αλλιώς ο δείκτης PPD να είναι μικρότερος του 10%. Για να ισχύει αυτό πρέπει η τιμή του PMV να είναι μεταξύ των τιμών $-0,5$ και $+0,5$.

Πίνακας 2.5.4.2: Επίδραση του μεταβολικού ρυθμού
Και της ένδυσης στους δείκτες
PMV και PPD

M W/m ²	clo	PMV	PPD %
50	0,130	-1,0	27,7
58	0,155	0,0	5,0
66	0,180	0,4	8,8
85	0,130	0,5	10,5
100	0,155	0,9	22,6
115	0,180	1,2	36,4

Συνθήκες: $t_a=t_r=24^{\circ}C$, $P_a = 1000Pa$, $v=0.15m/s$

Σύμφωνα με τη θεωρία των δεικτών υπάρχει γραμμική συσχέτιση μεταξύ της ψηφοφορίας και της θερμοκρασίας περιβάλλοντος και είναι πολύ σημαντικό να τηρείται μια σταθερότητα στη σχέση εύρους μεταβολών και αίσθησης που προκαλούν. Έτσι αν μια συγκεκριμένη αύξηση θερμοκρασίας από τη θέση άνεσης δημιουργεί την αίσθηση ζεστό, αντίστοιχη τάξης μείωση πρέπει να προκαλεί την αίσθηση κρύο, και όχι λίγο κρύο. Οι μεταβολές από τη κάθε τάξη της επταβάθμιας κλίμακας στην αμέσως ανώτερη ή κατώτερη πρέπει να γίνονται με το ίδιο εύρος διακύμανσης της θερμοκρασίας, είτε πρόκειται για το θερμό, είτε για το ψυχρό. Εδώ ο παράγοντας που μπορεί να παίζει σπουδαίο ρόλο είναι ο διαφορετικό τρόπος αντίληψης της ζέστης από το κρύο, και των αντιστοίχων μεταβολών τους από τον άνθρωπο.

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 κλπ). Προσοχή χρειάζεται στο ότι τα ποσοστά για αυτά για τη κάθε παράμετρο που προκαλεί ενοχλήσεις σε ένα χώρο δεν αθροίζονται για να δώσουν το γενικό ποσοστό δυσαρεστημένων του χώρου.

2.5.5 Ο δείκτης DR

Η μελέτη της επίδρασης του ρεύματος αέρα που υφίσταται σε ένα χώρο έγινε τόσο σε καθημένους ανθρώπους, οι οποίοι αντιλαμβάνονται πιο έντονα τέτοια ρεύματα, όσο και σε ανθρώπους με αυξημένη δραστηριότητα, που όμως δε βρίσκονται στην συνθήκες ιδανικής θερμοκρασίας.

Το ποσοστό δυσαρεστημένων λόγω τού ρεύματος αέρα υπολογίζεται:

$$DR = \left[(34 - t_a)(v - 0.05)^{0.62} \right] \cdot \left[0.37 \cdot v \cdot (T_u + 3.14) \right], \text{ όπου}$$

t_a : η τοπική θερμοκρασία του αέρα σε °C

v : η τοπική μέση ταχύτητα του αέρα

T_u : ο βαθμός στροβιλότητας (%)

Η μελέτη έγινε για θερμοκρασίες αέρα 20 – 26 °C, ταχύτητες αέρα 0,05 – 0,4 m/s και στροβιλότητες 0 – 70 %. Το μοντέλο προσομοίαζε καθημένους ανθρώπους, ενώ για ανθρώπους με μεγαλύτερη δραστηριότητα η ενόχληση είναι μικρότερη όπως επίσης και για ανθρώπους που αισθάνονται το περιβάλλον πιο ζεστό.

Μια παραλλαγή της σχέσης που χρησιμοποιείται είναι η:

$$DR = (34 - t_a) \cdot (v - 0.05)^{0.6223} \cdot (3.143 + 0.3696 \cdot SDv_a), \text{ όπου}$$

SDv_a η δεδομένη απόκλιση της ταχύτητας αέρα σε m/s

Για ταχύτητες αέρα μικρότερες από 0,05 m/s χρησιμοποιείται αυτή η τιμή. Αν η τιμή DR προκύψει μεγαλύτερη από 100% τότε εκλαμβάνεται η τιμή 100 %.

2.5.6 Τοπική έλλειψη θερμικής άνεσης

Εκτός από το να βρίσκεται ένα άτομο μέσα σε συνθήκες θερμικής άνεσης, πολύ σημαντικό είναι να αισθάνεται αυτή την άνεση σε όλα τα σημεία του σώματός του. Συχνά παρατηρούνται διαφορές θερμοκρασίας μεταξύ των ποδιών και του κεφαλιού, που οφείλονται στο πολύ θερμό ή ψυχρό δάπεδο, σε σχέση με τον αέρα του χώρου. Άλλωστε το πάτωμα, σαν δομικό στοιχείο του κτιρίου, χρησιμοποιείται για θερμική αποθήκευση (ειδικά σε βιοκλιματικές κατασκευές), με αποτέλεσμα να υπάρχουν διακυμάνσεις στη θερμοκρασία του. Κάτι παρόμοιο μπορεί να θεωρηθεί ότι συμβαίνει και με τους τοίχους, οι οποίοι μεταδίδουν θερμότητα με ακτινοβολία. Είναι φανερές οι διαφορές θερμοκρασίας που υπάρχουν στους εξωτερικούς και εσωτερικούς τοίχους ενός κτιρίου.

Ένα άτομο μπορεί να βρεθεί σε ασύμμετρο θερμικό περιβάλλον, όταν βρίσκεται κοντά σε παράθυρο (ασύμμετρη ακτινοβολία, και σαφής διαφορά θερμικής αποθήκευσης στα τζάμια σε σχέση με τους τοίχους), ενώ σημαντικό πρόβλημα μπορεί να υπάρξει από άμεση έκθεση σε ηλιακή ακτινοβολία. Η έκθεση σε ασύμμετρη ακτινοβολία πρέπει να αποφεύγεται για μεγάλο χρονικό διάστημα.

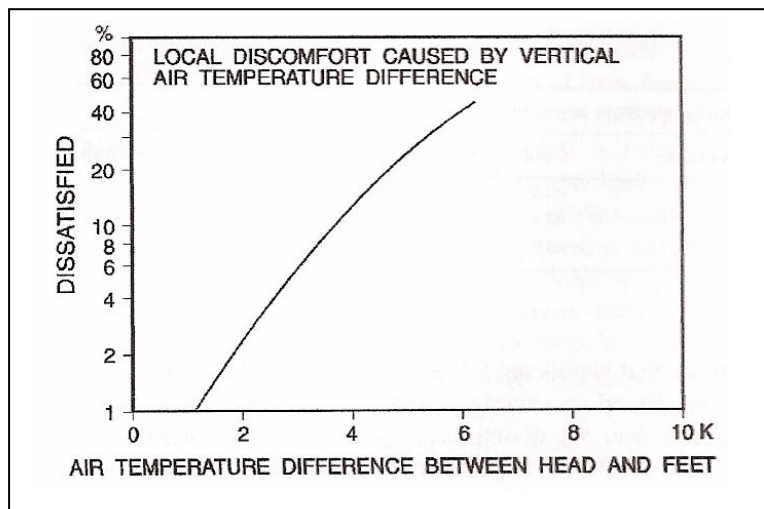
Μια συνηθισμένη αιτία έλλειψης άνεσης είναι η παρουσία ρευμάτων αέρα, που υπάρχουν στο χώρο, λόγω του αερισμού, ή πολλές φορές δημιουργούνται λόγω της μεγάλης διαφοράς θερμοκρασίας των επιφανειών. Ρεύματα αέρα παρατηρούνται πολύ συχνά σε χώρους με μεγάλα παράθυρα, κυρίως κατά τις νυχτερινές ώρες.

Στους διάφορους κανονισμούς συνίσταται η διαφορά θερμοκρασίας, μεταξύ ποδιών και κεφαλής, να μην ξεπερνά τους 3 °C. Παρόλα αυτά έρευνες έχουν δείξει ότι αν η μέση θερμοκρασία του χώρου είναι αυτή που ορίζεται σαν κατάλληλη για θερμική άνεση, μια διαφορά της τάξης των 7 °C είναι ανεκτή. Η διαφορά αυτή μειώνεται όμως, όσο απομακρύνεται η μέση θερμοκρασία από την ιδανική θερμοκρασία άνεσης.

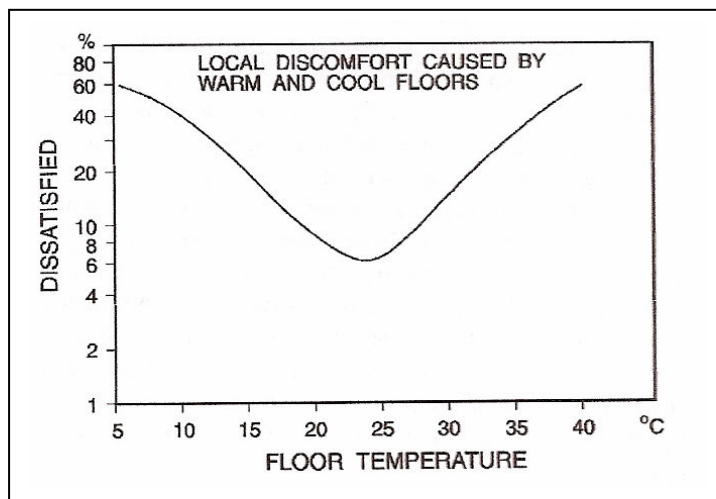
Η ύπαρξη μηχανημάτων, θερμών αντικειμένων ή εστιών θερμότητας σε ένα χώρο επηρεάζουν τη θερμική ουδετερότητα. Πιο ευαίσθητα στην τοπική έλλειψη θερμικής άνεσης είναι άτομα τα οποία είναι καθιστά και εκτελούν μηδαμινή δραστηριότητα. Όσο η δραστηριότητα γίνεται πιο έντονη τόσο λιγότερο ενοχλητικό γίνεται ένα ασύμμετρο περιβάλλον.

Πίνακας 2.5.6.1: Κατηγορίες τοπικής έλλειψης θερμικής άνεσης

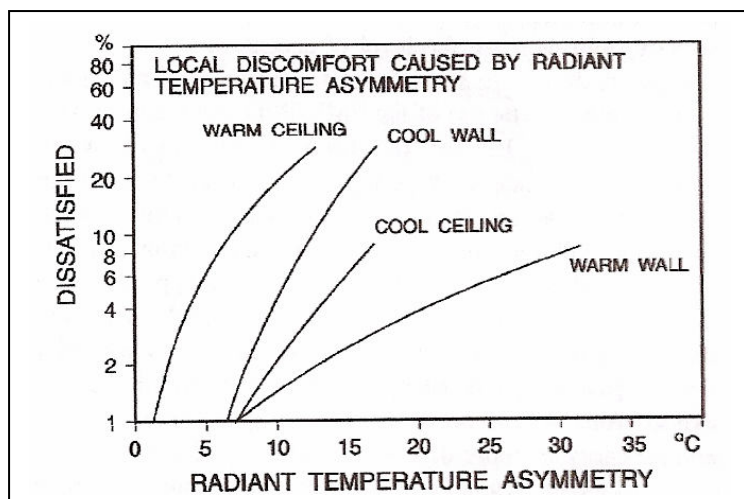
Κατηγορία	Οριζόντια θερμοκρασιακή διαφορά (°C)	Θερμοκρασία Δαπέδου (°C)	Ασυμμετρία θερμοκρασίας ακτινοβολίας (°C)			
			Θερμή οροφή	Ψυχρή οροφή	Ψυχρός τοίχος	Θερμός τοίχος
A	<2	19 - 22	<5	<14	<10	<23
B	<3	19 - 29	<5	<14	<10	<23
C	<4	17 - 31	<7	<18	<13	<35



Σχήμα 2.5.6.1: Ποσοστό δυσαρεστημένων από θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ ποδιών και κεφαλής



Σχήμα 2.5.6.2: Ποσοστό δυσαρεστημένων από θερμοκρασία δαπέδου



Σχήμα 2.5.6.3: Ποσοστό δυσαρεστημένων από ασυμμετρία θερμοκρασίας ακτινοβολίας

Η έλλειψη θερμικής άνεσης είναι πιο πιθανή σε παθητικά ηλιακά κτίρια, όπου οι διακυμάνσεις στη θερμοκρασία είναι αρκετά έντονες κατά τη διάρκεια της ημέρας. Διαφορές θερμοκρασίας συνήθως υπάρχουν και από δωμάτιο σε δωμάτιο, με σημαντική επίδραση του προσανατολισμού του χώρου, ενώ σε τέτοιου είδους κτίρια συνήθως υπάρχουν πολύ μεγάλα παράθυρα.. Οι διαφορές γίνονται αντιληπτές από άτομα που κινούνται από τον ένα χώρο στον άλλο. Μεταβολές της θερμοκρασίας μέχρι 5°C, αντιμετωπίζονται από τον άνθρωπο σαν να υπήρχαν σταθερές συνθήκες, ενώ πιο άμεσα αντιληπτές γίνονται οι μεταβολές προς ψυχρότερο περιβάλλον.

Τέλος δυσκολία στην επίτευξη θερμικής άνεσης παρατηρείται σε κτίρια τα οποία χρησιμοποιούνται περιοδικά (κτίρια γραφείων και σχολεία όπου χρησιμοποιούνται συγκεκριμένες ώρες, εξοχικές κατοικίες για κάποιους μήνες του χρόνου κλπ). Σε αυτές τις περιπτώσεις, λόγω του ότι υπάρχουν μεγάλα διαστήματα χωρίς θέρμανση, απαιτείται μεγάλος χρόνος ώστε να επιτευχθούν οι συνθήκες άνεσης. Τα δομικά στοιχεία για παράδειγμα ενός κτιρίου γραφείων, κατά τη διάρκεια της νύχτας αποκτούν πολύ χαμηλή θερμοκρασία και είναι απαραίτητη η υψηλότερη θερμοκρασία αέρα ώστε να αντιμετωπιστεί η έλλειψη θερμικής ακτινοβολίας από τους τοίχους. Οι απώλειες ενέργειας είναι μεγαλύτερες, ενώ σε αρκετές περιπτώσεις προτείνεται η έναρξη λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης ή κλιματισμού αρκετή ώρα πριν την έναρξη του ωραρίου εργασίας.

2.6 Λοιπές παράμετροι άνεσης

Όπως αναφέρθηκε στην αρχή του κεφαλαίου ένα πλήθος παραγόντων είναι αυτό που συμβάλει στην επίτευξη των ιδανικών συνθηκών άνεσης. Στη παρούσα εργασία αναπτύσσονται οι παράμετροι που σχετίζονται με την θερμική άνεση, ενώ για τους υπόλοιπους παράγοντες άνεσης ακολουθεί μια συνοπτική παρουσίαση των πιο σημαντικών.

2.6.1 Ο θόρυβος

Ένας σημαντικός παράγοντας για την εξασφάλιση άνετων συνθηκών παραμονής σε ένα χώρο, είναι η διατήρηση χαμηλής στάθμης θορύβου. Ο θόρυβος επηρεάζει σημαντικά όλες τις δραστηριότητες του ανθρώπου, μειώνει την ικανότητα σκέψης, προκαλεί ψυχολογικές διαταραχές έπειτα από μακροχρόνια έκθεση, ενώ στάθμη θορύβου άνω των 85dB, μπορεί να προκαλέσει βλάβες στην ακοή. Πολλές φορές και θόρυβοι χαμηλής στάθμης, οι οποίοι ίσως να μην γίνονται άμεσα αντιληπτοί, προκαλούν ενόχληση ανάλογα με τη διάρκεια και το είδος τους.

Πίνακας 2.6.1.1: Ενδεικτικές τιμές ακουστικότητα

Είδος Θορύβου	dB	Είδος Θορύβου	dB
Θρόισμα φύλλων, Εκκλησία	15 - 20	Λεωφόρος	70 - 80
Αναγνώστηριο	25 - 30	Δυνατή φωνή	80 - 85
Ήσυχος δρόμος	40 - 50	Μηχανουργείο, φορτηγό	85 - 90
Ήσυχο γραφείο, σιγανή ομιλία	40 - 50	Σιδηρόδρομος	90 - 100
Κοινωνική ομιλία	50 - 60	Λεβητοποιείο	100 - 110
Γραφείο, κατάσταση	60 - 65	Ελικοφόρο αεροπλάνο	110 - 120
Κουδούνι τηλεφώνου (σε απόσταση 1m), γραφομηχανή	65 - 70	Όριο πόνου	120
		Αεριοθούμενο αεροπλάνο	130 - 150

Οι θόρυβοι παράγονται από διάφορες πηγές σε ένα χώρο, όπως το σύστημα θέρμανσης ή κλιματισμού, το σύστημα αερισμού του χώρου, τα μηχανήματα και συσκευές που βρίσκονται σε λειτουργία, ομιλίες των παρευρισκομένων εντός του χώρου. Επιβάρυνση επιφέρουν και πηγές θορύβου που βρίσκονται εκτός του χώρου, κάτι που μπορεί να αντιμετωπισθεί μέχρι ενός σημείου κατά το σχεδιασμό του κτιρίου, με χρήση των κατάλληλων δομικών υλικών και μονωτικών υλικών. Τα δομικά στοιχεία έχουν την ικανότητα ανάκλασης ενός μέρους του θορύβου, απορρόφησης αλλά ταυτόχρονα μετάδοσης και εκπομπής στο εσωτερικό του χώρου. Μεγάλη σημασία πρέπει να δίνεται στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του κάθε θορύβου που αναμένεται να αντιμετωπιστεί κατά τη χρήση του χώρου.

Θόρυβος θεωρείται κάθε ανεπιθύμητος ήχος. Δημιουργείται όταν κάποια κινούμενη μάζα προκαλεί τοπική μεταβολή της πίεσης του αέρα ή ταλάντωση κάποιων επιφανειών. Για την αξιολόγηση του θορύβου χρησιμοποιείται το μέγεθος στάθμης ηχητικής ισχύος ως προς μια δεδομένη στάθμη αναφοράς, και εκφράζεται σε dB. Για τον καθορισμό ανεκτών σταθμών θορύβου χρησιμοποιούνται οι φασματικές καμπύλες NR. Η σχέση που συνδέει τα δυο μεγέθη μεταξύ τους είναι:

$$NR = dB - (5 \text{ έως } 7)$$

Οι τιμές στάθμης θορύβου που προέρχεται από κάθε είδους ηχητική πηγή, τα όρια στάθμης θορύβου για κάθε είδους χώρο και χρήση αυτού, η ικανότητα ηχοαπορροφητικότητας κάθε είδους μονωτικού υλικού, οι τιμές NR, βρίσκονται από πίνακες και διαγράμματα που υπάρχουν σε τεχνικές προδιαγραφές, βιβλία κλπ.

Πίνακας 2.6.1.2: Ανεκτή στάθμη θορύβου για διάφορους χώρους

Χώρος	dB
Γραφεία	35
Οικία ημέρα	30 - 35
Οικία νύχτα	20 - 25
Θέατρα	30
Νοσοκομεία	20 - 25

Πίνακας 2.6.1.3: Ημερήσια ανεκτή διάρκεια έκθεσης σε θόρυβο

dB	Διάρκεια παραμονής (ώρες)
85	8
88	4
94	1
97	0,5

2.6.2 Οπτική άνεση – Φωτισμός

Η οπτική άνεση εξαρτάται από το βαθμό, τη διανομή και την ποιότητα του φωτός. Η διανομή του φωτός πρέπει εξασφαλίζει συνθήκες επαρκούς όρασης στους ενοίκους. Η διαφορά μεταξύ σκιάς και φωτός να είναι μικρή, αλλά ταυτόχρονα η αντίθεση αρκετά μεγάλη ώστε να γίνονται αντιληπτά τα αντικείμενα, και να αποφεύγεται η θάμβωση. Η αντίθεση εκφράζεται με βάση τη λαμπρότητα, την ένταση του φωτισμού και την ανακλαστικότητα των επιφανειών.

Ο άνθρωπος μπορεί να δραστηριοποιηθεί μέσα ένα καθορισμό όριο έντασης φωτισμού. Η εισαγωγή μιας πολύ φωτεινής πηγής στο οπτικό πεδίο, δημιουργεί θάμβωση, γρήγορη κόπωση και δυσφορία. Η θάμβωση μπορεί να είναι άμεση αλλά και έμμεση, λόγω ανακλάσεως σε κάποια επιφάνεια.

Όταν χρησιμοποιείται τεχνητός φωτισμός, παρατηρείται το φαινόμενο αλλοίωσης των χρωμάτων, ανάλογα με το είδος της πηγής που χρησιμοποιείται. Η επιδίωξη των μελετητών είναι η δημιουργία ουδέτερου φωτισμού, δηλαδή αυτού που η αναπαραγωγή των χρωμάτων να πλησιάζει αυτή του φυσικού φωτισμού της ημέρας. Ανάλογα με τη δραστηριότητα που εκτελείται, επιλέγονται και οι κατάλληλες πηγές φωτισμού. Ακόμα σημαντική είναι η σημαντική είναι η σωστή κατανομή των αντικειμένων στο χώρο.

Ο οφθαλμός έχει την ικανότητα να προσαρμόζεται στις αλλαγές έντασης και χαρακτηριστικών φωτισμού σε σχετικά μικρό χρονικό διάστημα. Αυτό το φαινόμενο γίνεται εύκολα αντιληπτό κατά τη μετάβαση από το φυσικό φως της υπαίθρου στο εσωτερικό ενός κτιρίου.

Ενδείκνυται η χρήση φυσικού φωτισμού, με χρήση της ηλιακής ακτινοβολίας, με τον κατάλληλο όμως τρόπο ώστε ο ένοικος να μην εκτίθεται άμεσα σε αυτή. Μεγάλο ρόλο παίζει και ο σχεδιασμός του κτιρίου, με κατάλληλα παράθυρα, και διαφανείς επιφάνειες που να δημιουργούν ομοιόμορφο φωτισμό στο κτίριο, ή στο περιβάλλον που εκτελείται κάποια δραστηριότητα. Σε περιβάλλον γραφείου για παράδειγμα απαιτείται συγκεκριμένη ένταση φωτισμού, ουδέτερου χρώματος και ομοιόμορφα κατανεμημένου στο χώρο εργασίας. Για τη σωστή κατανομή του φυσικού φωτισμού μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατάλληλα σκίαστρα, συαθερά ή κινούμενα, και ειδικές επιφάνειες με ικανότητες ανάκλασης του φωτός.

Η ύπαρξη παραθύρων εκτός από την δυνατότητα φυσικού φωτισμού και φυσικού αερισμού (όπως θα αναλυθεί παρακάτω), έχει επιπτώσεις και στη γενικότερη υγεία του ανθρώπου καθώς περιορίζουν την δημιουργία πανικού και κλειστοφοβικών τάσεων, δημιουργούν ευχάριστο περιβάλλον, μειώνουν συμπτώματα ανίας ατονίας και άγχους.

Η χρήση τεχνητού φωτισμού πολύ μεγάλης έντασης, και κυρίως όταν χρησιμοποιούνται λαμπτήρες πυρακτώσεως, επηρεάζει τη θερμική άνεση, αφού προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας του χώρου.

Πίνακας 2.6.2.1: Προτεινόμενες τιμές στάθμης φωτισμού για χώρο και δραστηριότητα

Χώροι εργασίας		Κατοικίες	
Αποθηκευτικού χώροι	150 lux	Είσοδοι, διάδρομοι	50 - 100 lux
Γραφεία	500 lux	Τραπεζαρίες	100 lux
Σχεδιαστήρια	750 lux	Καθηστικό, κουζίνες	200 lux
Χώροι συναρμολόγησης	1000 lux	Γραφείο, βιβλιοθήκες, χώροι μελέτης	300 - 500 lux
Λεπτές εργασίες	1500 lux		

2.6.3 Αερισμός – Καθαρότητα αέρα

Για την εξασφάλιση των ιδανικών συνθηκών, πρέπει να εξετάζεται η ποιότητα του αέρα σε ένα χώρο. Η συγκέντρωση ρυπαντών στο εσωτερικό ενός κτιρίου προκαλεί μια κατάσταση επικίνδυνη για την υγεία των χρηστών, ενώ μη σωστός αερισμός προκαλεί προβλήματα στην εκτέλεση της δραστηριότητας, μείωση της πνευματικής διαύγειας και φαινόμενα υπνηλίας. Όταν οι προσμίξεις του αέρα αυξάνουν, μειώνεται η ποσότητα οξυγόνου, που είναι απαραίτητο για την υγεία του ανθρώπου.

Η ρύπανση του αέρα μπορεί να οφείλεται στην ύπαρξη άλλων αερίων, σκονών, μικροοργανισμών, μικροβίων, οσμών κλπ. Ακόμα και η παρουσία του ανθρώπου σε

ένα χώρο προκαλεί ρύπανση, και αν δεν υπάρχει επαρκής αερισμός δημιουργείται αίσθημα δυσαρέσκειας. Ο ποσοτικός προσδιορισμός της καθαρότητας του εισπνεόμενου αέρα γίνεται με τις μονάδες olf και decipol.

Προτιμάται ο φυσικός αερισμός των χώρων, όσο αυτό είναι δυνατόν, με χρήση κατάλληλων ανοιγμάτων και παραθύρων. Όταν δεν επαρκεί ο φυσικός αερισμός είναι αναγκαία η χρήση τεχνητού. Προσοχή πρέπει να δίνεται στις εξωτερικές συνθήκες περιβάλλοντος του χώρου ώστε να μην εισάγονται ρυπαντές στο εσωτερικό, και απαιτείται χρήση διατάξεων καθαρισμού του αέρα.

Στον τεχνητό αερισμό πρέπει να μελετάται η αποφυγή ενοχλητικού ρεύματος αέρα, και ελέγχου της θερμοκρασίας ώστε να διατηρούνται οι συνθήκες θερμικής άνεσης.

Ο αριθμός ατόμων που βρίσκονται σε έναν χώρο, η δραστηριότητα, η εφίδρωση, ο αριθμός των καπνιζόντων, η ύπαρξη μηχανημάτων ή εστιών που εκπέμπουν καπνό, πρέπει να αντιμετωπιστούν από το μελετητή. Εκτός αυτού ο σωστός αερισμός είναι σημαντικός για τη μη μετάδοση, ιών, μικροβίων και την εξάπλωση μολυσματικών ασθενειών.

Η ποσοτικοποίηση του αερισμού εκφράζεται συνήθως με ωριαίες εναλλαγές αέρα, δηλαδή πόσες φορές αντικαθίσταται ολόκληρος ο όγκος αέρα ενός χώρου στη διάρκεια μιας ώρας.

Πίνακας 2.6.3.1: Ελάχιστες ανανεώσεις αέρα σε αίθουσες παραμονής ανθρώπων κατά DIN 1946 A8

Θερμοκρασία εξωτερικού αέρα (°C)	Κάπνισμα	
	Επιτρέπεται	Απαγορεύεται
-20	8	12
-15	10	15
-10	13	20
-5	16	24
0 - 26	20	30
> 26	15	23

Πίνακας 2.6.3.2: Προτεινόμενες ωριαίες εναλλαγές αέρα
(Τ.Ο. Τ.Ε.Ε. 24 25)

Χώρος	Ωριαία Εναλλαγή Αέρα
Λουτρά	5 έως 8
Βιβλιοθήκες	4 έως 5
Γραφεία	4 έως 8
Χώροι επισκεπτών	5 έως 10
Αμφιθέατρα	8 έως 10
Καταστήματα, Θέατρα, Κινηματογράφοι	4 έως 6
Χειρουργεία	15 έως 20
Κολυμβητήρια	3 έως 4
Αίθουσες συνεδρίων	6 έως 8
Αποδυτήρια	8 έως 10
Χώροι πωλήσεων	4 έως 8

Πίνακας 2.6.3.3: Ποσότητες αέρα για αερισμό χώρων (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 24 23)

Χώρος	Καπνίζοντες	Ποσότητα αέρα (m ³ /h ανά άτομο)
Διαμερίσματα	Μερικοί	8,5
Διαμερίσματα πολυτελή	Μερικοί	8,5
Κουρέια	Σημαντικός αριθμός	17
Μπαρ	Πολλοί	25,5
Καταστήματα	Κανένας	8,5
Γραφεία διευθυντών	Αρκετοί (περιοδικά)	25,5
Εργοστάσια	Κανένας	8,5
Θάλαμοι νοσοκομείων	Κανένας	25,5
Χειρουργεία	Κανένας	Ειδικός Κλιματισμός
Χώροι προσωπικού νοσοκομείων	Κανένας	17
Γραφεία συλλογικά	Μερικοί	8,5
Γραφεία προσωπικά	Κανένας	8,5
Γραφεία προσωπικά	Αρκετοί	25,5
Καφέ	Αρκετοί	17
Εστιατόρεια	Αρκετοί	17
Αίθουσες διδασκαλίας	Κανένας	17
Θέατρα	Κανένας	8,5
Τουαλέτες (εξαερισμός)	-	26

Πίνακας 2.6.3.4: Ελάχιστη ποσότητα νοπού αέρα κατά άτομο (DIN 1946 Teil 2)

Χώρος	Ποσότητα αέρα (m ³ /h ανά άτομο)	
	Κάπνισμα επιτρέπεται	Κάπνισμα απαγορεύεται
Γραφεία ενός ατόμου	30	50
Γραφεία πολλών ατόμων	50	70
Θέατρα, Κινηματογράφοι	20	40
Αίθουσες συμβουλίου	30	50
Αίθουσες τελετών	20	40
Χώροι ανάπαυσης	30	50
Χώροι διαλειμμάτων	30	50
Χώροι διδασκαλίας	30	50
Αναγνωστήρια	20	40
Χώροι πωλήσεων	20	40
Εστιατόρια	40	60
Γυμναστήρια	20	40

Πίνακας 2.6.3.5: Τιμές olf για διάφορους ρυπαντές

	met	olf
Άνθρωπος καθήμενος	1	1
Μέτρια δραστηριότητα	4	5
Έντονη Δραστηριότητα	6	11
Άνθρωπος που καπνίζει		25
Καπνιστής όταν δεν καπνίζει		6
Αντικείμενα Γραφείου	0 - 0,5 olf/m ² δαπέδου	

3. Οι εξισώσεις τις θερμικής άνεσης

3.1 Θερμικό ισοζύγιο

Για την επίτευξη της θερμικής άνεσης απαραίτητη είναι η εξασφάλιση θερμικής ισορροπίας του ανθρωπίνου σώματος. Το θερμικό ισοζύγιο του ανθρωπίνου σώματος με το περιβάλλον εκφράζεται από σχέση της μορφής:

$$M - W = q_{sk} + q_{res} + S, \text{ όπου:}$$

M : ο μεταβολικός ρυθμός παραγωγής θερμότητας (W/m^2)

W : Το μηχανικό έργο που παράγει ο άνθρωπος (W/m^2)

S : η θερμότητα που αποθηκεύεται στο ανθρώπινο σώμα (W/m^2)

q_{sk} : απώλειες θερμότητας από το δέρμα (W/m^2)

q_{res} : απώλειες θερμότητας από την αναπνοή (W/m^2)

Με περαιτέρω ανάλυση της μεταφοράς θερμότητας από το δέρμα ή την αναπνοή καταλήγουμε στην εξίσωση:

$$M - W = (C + R + E_{sk}) + (C_{res} + E_{res}) + (S_{sk} + S_{cr}), \text{ όπου:}$$

C : απώλειες θερμότητας από το δέρμα λόγω συναγωγής (W/m^2)

R : απώλειες θερμότητας από το δέρμα λόγω ακτινοβολίας (W/m^2)

E_{sk} : απώλειες θερμότητας από το δέρμα λόγω εξάτμισης (W/m^2)

C_{res} : απώλειες θερμότητας αναπνοής με συναγωγή (W/m^2)

E_{res} : απώλειες θερμότητας αναπνοής με εξάτμιση (W/m^2)

S_{sk} : αποθήκευση θερμότητας στο δέρμα (W/m^2)

S_{cr} : αποθήκευση θερμότητας στο εσωτερικό του σώματος (W/m^2)

Οι δυο τελευταίοι όροι της εξίσωσης υπολογίζονται από τις σχέσεις :

$$S_{cr} = \frac{(1 - \alpha_{sk}) \cdot m \cdot C_{p,d}}{A_D} \cdot \frac{dt_{cr}}{d\theta}, \quad , \quad S_{sk} = \frac{\alpha_{sk} \cdot m \cdot C_{p,d}}{A_D} \cdot \frac{dt_{sk}}{d\theta}, \text{ όπου:}$$

A_{sk} : Ποσοστό μάζας σώματος που βρίσκεται στη περιοχή του δέρματος

m : μάζα σώματος

$C_{p,d}$: Ειδική θερμοχωρητικότητα σώματος

A_D : Επιφάνεια σώματος κατά DuBois

t_{cr} : θερμοκρασία πυρήνα σώματος ($^{\circ}\text{C}$)

t_{sk} : θερμοκρασία δέρματος ($^{\circ}\text{C}$)

θ : χρόνος (sec)

3.2 Απώλειες θερμότητας από το δέρμα

Απώλειες θερμότητας με συναγωγή από την εξωτερική πλευρά του ρουχισμού:

$$C = f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a), \text{ όπου:}$$

f_{cl} : συντελεστής ένδυσης (παράγραφος 2.3)

h_c : συντελεστής μετάδοσης θερμότητας με συναγωγή ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)

t_{cl} : μέση θερμοκρασία ρούχων ($^{\circ}\text{C}$)

t_a : θερμοκρασία περιβάλλοντος ($^{\circ}\text{C}$)

Οι απώλειες θερμότητας με ακτινοβολία από την εξωτερική πλευρά του ρουχισμού:

$$R = f_{cl} \cdot h_r \cdot (t_{cl} - t_r), \text{ όπου}$$

t_r : η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας

Κάνοντας χρήση ενός ισοδύναμου συντελεστή h που προκύπτει από συνδυασμό των h_c και h_r , και αντικαθιστώντας την δύσκολη στον υπολογισμό θερμοκρασία ρούχων με την ισοδύναμη θερμοκρασία t_o προκύπτει η σχέση:

$$C + R = \frac{t_{sk} - t_o}{R_{cl} + \frac{1}{f_{cl} \cdot h}}, \text{ όπου:}$$

R_{cl} : η θερμική αντίσταση ρουχισμού

$$t_o = \frac{h_r \cdot t_r + h_c \cdot t_a}{h}, \text{ η ισοδύναμη θερμοκρασία με } h = h_r + h_c.$$

Οι απώλειες θερμότητας λόγω εξάτμισης από το δέρμα υπολογίζονται από τη σχέση:

$$E_{sk} = \frac{w \cdot (p_{sk,s} - p_a)}{R_{e,cl} + \frac{1}{f_{cl} \cdot h_e}}, \text{ όπου:}$$

w : συντελεστής υγρασίας δέρματος

$p_{sk,s}$: τάση ατμών υγρασίας στο δέρμα (kPa)

p_a : μερική πίεση υδρατμού στον ατμοσφαιρικό αέρα (kPa)

$R_{e,cl}$: θερμική αντίσταση εξάτμισης υδρατμών στο ρουχισμό (m^2kPa/W)

h_e : συντελεστής μετάδοσης θερμότητας λόγω εξάτμισης (W/m^2kPa)

Η τάση ατμών $p_{sk,s}$ θεωρείται ίση με την πίεση εξάτμισης κορεσμένου νερού σε θερμοκρασία t_{sk} .

Οι απώλειες θερμότητας λόγω εξάτμισης από το δέρμα αναλύονται σε δύο όρους:

$$E_{sk} = E_{rsw} + E_{dif}, \text{ όπου:}$$

E_{rsw} : οι απώλειες λόγω εξάτμισης ιδρώτα στο δέρμα

E_{dif} : οι απώλειες λόγω διάχυσης υγρασίας διαμέσου του δέρματος

Για εφίδρωση όλης της επιφάνειας δέρματος ισχύει $w = 1$. Όταν η θερμοκρασία του σώματος είναι τόσο χαμηλή ώστε δε ξεκινά η εφίδρωση $w = 0.06$, ενώ με διαρκή έκθεση σε περιβάλλον πολύ χαμηλής υγρασίας $w = 0.02$. Ο συντελεστής w συνδέεται με το αίσθημα δυσφορίας που αισθάνεται ο άνθρωπος λόγω της εφίδρωσης. Συνίσταται να είναι χαμηλότερος από 0,5. Σε περίπτωση που υπολογισθεί πάνω από τη μονάδα (στην πραγματικότητα είναι μικρότερος από 0,8), στους υπολογισμούς λαμβάνεται $w = 1$, και τότε $E_{sk} = E_{max}$.

Αν η μέγιστη δυνατότητα εξάτμισης για συγκεκριμένες συνθήκες είναι E_{max} , τότε ισχύει:

$$E_{sk} = w \cdot E_{max}.$$

Γνωρίζοντας τη θερμότητα ατμοποίησης του νερού στους 30°C, $h_{fg} = 2,43 \cdot 10^6 \text{ J/kg}$, τότε οι απώλειες λόγω εξάτμισης κατά την εφίδρωση είναι :

$$E_{rsw} = \dot{m}_{rsw} \cdot h_{fg} \text{ , όπου}$$

\dot{m}_{rsw} : ο ρυθμός παραγωγής ιδρώτα από τους αδένες (kg/ m²s)

Ο ρυθμός διάχυσης υγρασίας από το δέρμα είναι: $E_{dif} = (1 - w_{rsw}) \cdot 0.06 \cdot E_{max}$, εφαρμόζεται στην επιφάνεια δέρματος που δεν έχει υποστεί εφίδρωση, και

$$w_{rsw} = \frac{E_{rsw}}{E_{max}}$$

$$\text{Τελικά προκύπτει: } w = 0.06 + 0.94 \frac{E_{rsw}}{E_{max}}$$

3.3 Απώλειες θερμότητας αναπνοής

Οι συνολικές απώλειες θερμότητας από την αναπνοή αποτελούν το άθροισμα των απωλειών από συναγωγή και εξάτμιση λόγω της αναπνοής $q_{res} = C_{res} + E_{res}$, ενώ αν αναλύσουμε τους όρους καταλήγουμε στην σχέση:

$$q_{res} = \frac{m_{res} \cdot (h_{ex} - h_a)}{A_D} \text{ , όπου:}$$

h_{ex} και h_a οι ενθαλπίες του αέρα εκπνοής και εισπνοής σε J/kg ξηρού αέρα

A_D η επιφάνεια σώματος DuBois (m²)

m_{res} ο πνευμονικός ρυθμός αναπνοής (kg/s) , οποίος είναι ανάλογος του μεταβολικού ρυθμού παραγωγής θερμότητας $m_{res} = K_{res} \cdot A_D \cdot M$. Η σταθερά K_{res} είναι ίση με $1.43 \cdot 10^{-6} \text{ kg/J}$.

Ο πνευμονικός ρυθμός απώλειας υγρασίας σε kg/s δίνεται από τη σχέση:

$$m_{w,res} = \frac{m_{res} \cdot (W_{ex} - W_a)}{A_D} \text{ , όπου:}$$

W_{ex} : ο λόγος υγρασίας αέρα εκπνοής (kg_{υδρατμού}/kg_{ξ.α.})

W_a : ο λόγος υγρασίας αέρα εισπνοής (kg_{υδρατμού}/kg_{ξ.α.})

Ο αέρας εκπνοής έχει θερμοκρασία περίπου ίση με αυτή του εσωτερικού του σώματος και είναι σχεδόν πάντα κορεσμένος. Σε σχέση με τις συνθήκες περιβάλλοντος ισχύει:

$$T_{ex} = 32.6 + 0.066 \cdot t_a + 32 \cdot W_a \quad \text{και} \quad W_{ex} = 0.0277 + 0.000065 \cdot t_a + 0.2 \cdot W_a$$

Όπου ο λόγος υγρασίας αέρα περιβάλλοντος : $W_a = \frac{0.622 \cdot p_a}{p_t - p_a}$, p_a η μερική πίεση υδρατμού στο μίγμα και p_t η ολική πίεση αέρα σε kPa.

Οι όροι απωλειών από συναγωγή και εξάτμιση, συναρτήσει του μεταβολικού ρυθμού γράφονται:

$$C_{res} = 0,0014 \cdot M \cdot (34 - t_a) \quad \text{και} \quad E_{res} = 0,0173 \cdot M \cdot (5.87 - p_a)$$

Τα άθροισμα των απωλειών θερμότητας από εξάτμιση από την αναπνοή E_{res} και των απωλειών θερμότητας εξάτμισης από το δέρμα δίνουν το συνολικό ποσό θερμότητας που αποβάλλεται με εξάτμιση από το ανθρώπινο σώμα, και μπορούν να εκφραστούν συναρτήσει της θερμότητας ατμοποίησης h_{fg} μέσω της σχέσης:

$$E_{sk} + E_{res} = \frac{h_{fg}}{A_D} \cdot \frac{dm}{d\theta}, \quad \text{όπου}$$

m : η μάζα σώματος (kg)

θ : ο χρόνος σε (s)

3.4 Απώλειες λόγω ακτινοβολίας – Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας

Η ακτινοβολία από την εξωτερική πλευρά της ένδυσης του ανθρώπινου σώματος υπολογίζεται μέσω του νόμου Stefan – Boltzmann :

$$R = A_{eff} \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_{cl}^4 - T_{mrt}^4), \quad \text{όπου}$$

A_{eff} : η ενεργός επιφάνεια του ντυμένου σώματος

ε : η εκπομπή της εξωτερικής επιφάνειας των ρούχων

σ : η σταθερά Stefan – Boltzmann ($5.67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$)

T_{cl} : η μέση θερμοκρασία της εξωτερικής πλευράς των ρούχων

T_{mrt} : η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας

Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας εξαρτάται από τις θερμοκρασίες των επιφανειών που περιβάλλουν το ανθρώπινο σώμα, και τη σχετική θέση του σώματος ως προς τις επιφάνειες που χαρακτηρίζεται συντελεστής όρασης F.

Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας μπορεί να υπολογισθεί μέσω της εξίσωσης:

$$T_{mrt}^4 = \frac{1}{\sigma} \cdot (B_1 \cdot F_{p-1} + B_2 \cdot F_{p-2} + \dots + B_N \cdot F_{p-N})$$

η οποία αφορά γκρίζες επιφάνειες στις οποίες η ακτινοβολία απορροφάτε και ανακλάται. Οι παράμετροι B αντιπροσωπεύουν τις επιφάνειες και αποτελούν άθροισμα της ακτινοβολίας που εκπέμπεται και ανακλάται:

$$B = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 + \rho \cdot I_{\sigma} ,$$

όπου I_{σ} είναι η ακτινοβολία που φθάνει στην επιφάνεια, ενώ ρ χαρακτηρίζεται η ανακλασιμότητα της επιφάνειας και ισχύει $\rho = 1 - \varepsilon$ για τις γκρίζες επιφάνειες. Πολλά δομικά υλικά θεωρούνται σαν μαύρες επιφάνειες, οπότε ο παράγοντας της ανακλασιμότητας μπορεί να αμεληθεί. Αυτό ισχύει και σε εσωτερικό περιβάλλον χωρίς πηγές υψηλής ακτινοβολίας. Τότε για τον υπολογισμό της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας ισχύει η σχέση:

$$T_{mrt}^4 = T_1^4 \cdot F_{p-1} + T_2^4 \cdot F_{p-2} + \dots + T_N^4 \cdot F_{p-N} , \text{ όπου}$$

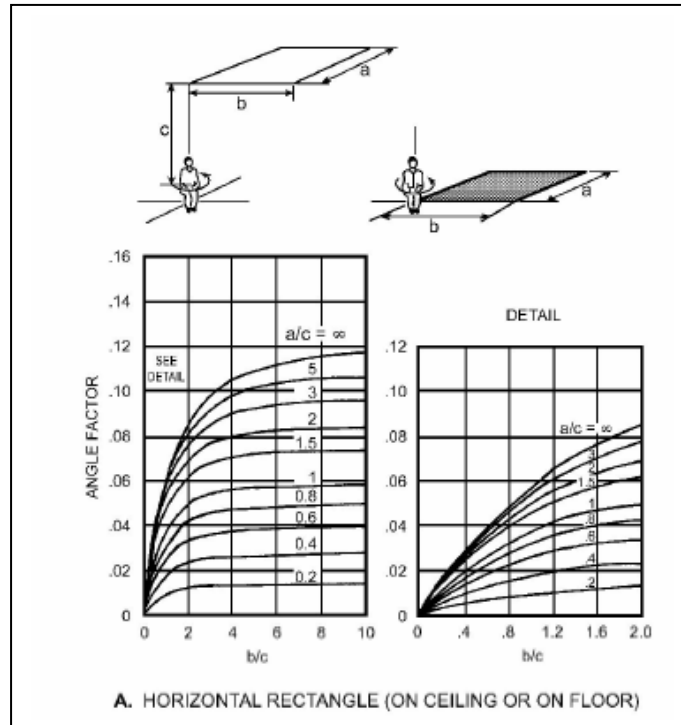
T_N : η θερμοκρασία της επιφάνειας N ($^{\circ}\text{C}$)

F : ο συντελεστής όρασης

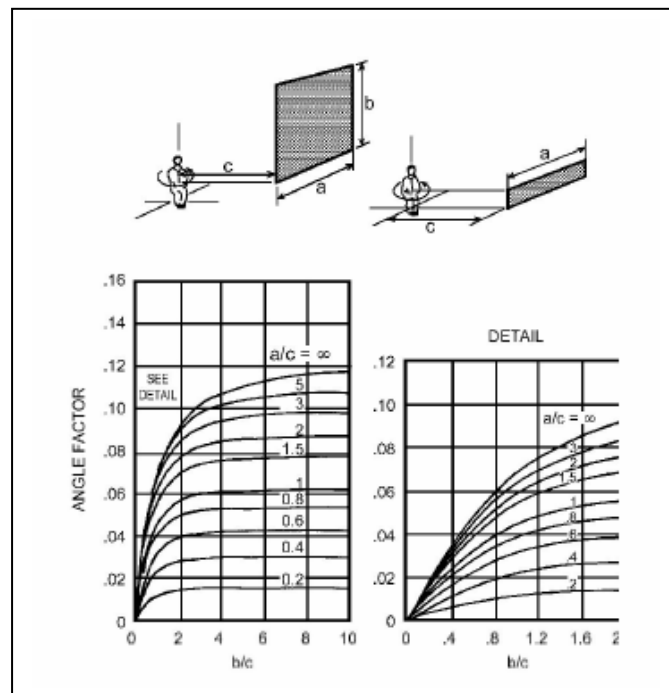
Το άθροισμα όλων των συντελεστών όρασης είναι ίσο με τη μονάδα. Αν οι επιφάνειες έχουν μικρές διαφορές θερμοκρασίας, μπορούμε να θεωρήσουμε, με μικρές μόνο διαφορές στο αποτέλεσμα, την σχέση:

$$T_{mrt} = T_1 \cdot F_{p-1} + T_2 \cdot F_{p-2} + \dots + T_N \cdot F_{p-N}$$

Επειδή ο υπολογισμός των συντελεστών όρασης είναι δύσκολος, για ορθογωνικές επιφάνειες μπορούν να χρησιμοποιηθούν χωρίς μεγάλες αποκλίσεις τα διαγράμματα που απεικονίζονται στα σχήματα 3.4.1 και 3.4.2.



Σχήμα 3.4.1: Μέση τιμή συντελεστή όρασης μεταξύ καθήμενου ανθρώπου και οριζόντιων επιφανειών.



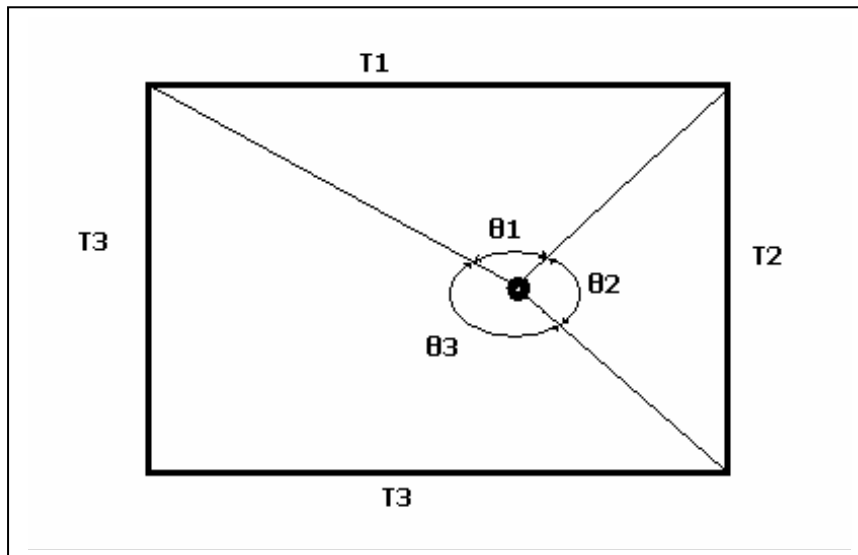
Σχήμα 3.4.2: Μέση τιμή συντελεστή όρασης μεταξύ καθήμενου ανθρώπου και καθέτων επιφανειών.

Ένας γρήγορος τρόπος υπολογισμού της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας είναι με χρήση της σχέσης:

$$T_{mrt} = \frac{\sum t\theta}{360} = \frac{T_1 \cdot \theta_1 + T_2 \cdot \theta_2 + \dots + T_n \cdot \theta_n}{360}, \text{ όπου}$$

T : η μέση θερμοκρασία της κάθε επιφάνειας

θ : η σχετική με τον άνθρωπο γωνία έκθεσης της επιφάνειας σε μοίρες



Σχήμα 3.4.3: Σχετικές γωνίες έκθεσης μεταξύ ανθρώπου και επιφανειών

Για παράδειγμα, για τον υπολογισμό της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας μεταξύ του ανθρώπου και των επιφανειών με μέσες θερμοκρασίες T_1 , T_2 και T_3 , του σχήματος 3.4.3, υπολογίζεται :

$$T_{mrt} = \frac{T_1 \cdot \theta_1 + T_2 \cdot \theta_2 + T_3 \cdot \theta_3}{360}$$

Για τους υπολογισμούς απαιτείται ο προσδιορισμός της ενεργού επιφάνειας ντυμένου σώματος:

$$A_{eff} = f_{eff} \cdot f_{cl} \cdot A_{DU} = \frac{A_{eff}}{A_{cl}} \cdot \frac{A_{cl}}{A_{DU}} \cdot A_{DU}$$

Η τιμή του συντελεστή ενεργής επιφάνειας ακτινοβολίας f_{eff} μπορεί να προσδιοριστεί στις τιμές 0,696 για καθήμενο άνθρωπο, και 0,725 για όρθιο.

Για τον συντελεστή ρουχισμού f_{cl} ισχύουν όσα αναγράφονται στη παράγραφο 2.3. Εκτός από τους πίνακες η τιμή του f_{cl} μπορεί να υπολογισθεί συναρτήσει της θερμικής μόνωσης του ρουχισμού I_{cl} από τις σχέσεις:

$$f_{cl} = 1,00 + 1,290 \cdot I_{cl} \text{ για } I_{cl} < 0,078 \text{ (m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W)}$$

$$f_{cl} = 1,05 + 0,645 \cdot I_{cl} \text{ για } I_{cl} > 0,078 \text{ (m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W)}$$

Όταν σε ένα περιβάλλον υπάρχει μια πηγή ακτινοβολίας μεγάλης έντασης, ή το άτομο δέχεται ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος από φωτεινές πηγές, εστίες θερμότητας ή ψύξης, ή ηλιακή ακτινοβολία, ισχύει η σχέση:

$$\varepsilon_\rho \cdot \sigma \cdot A_{eff} \cdot (T_{cl}^4 - T_{mrt}^4) = \varepsilon_\rho \cdot \sigma \cdot A_{eff} \cdot (T_{cl}^4 - T_{emrt}^4) - A_\rho \cdot a_r \cdot q_r, \text{ όπου}$$

T_{emrt} : η μέση θερμοκρασία μη ακτινοβολουμένου περιβάλλοντος ($^\circ\text{C}$)

A_ρ : η εκτιθέμενη επιφάνεια (m^2)

q_r : η ένταση της ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος που δέχεται κάποιο αντικείμενο

a_r : η μέση ημισφαιρική απορροφητικότητα του ανθρωπίνου σώματος.

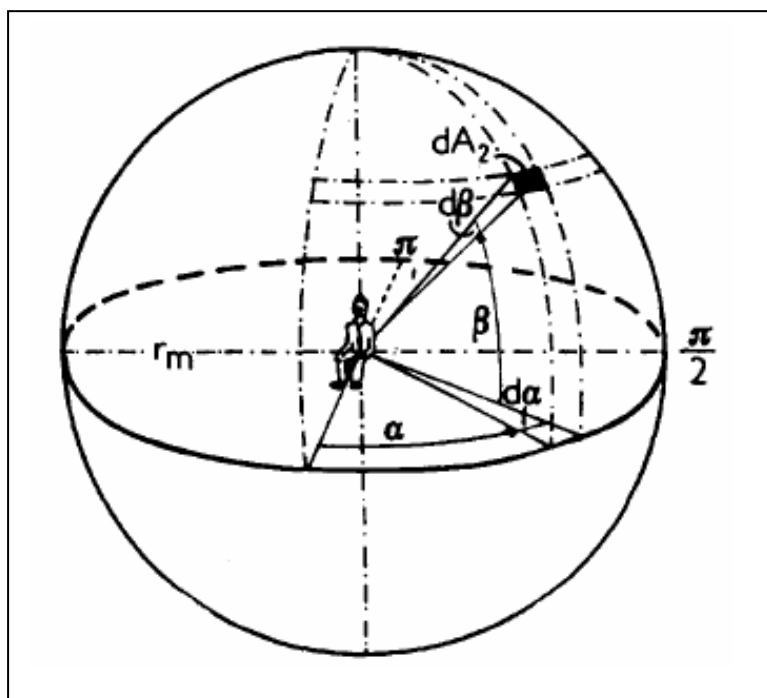
Η απορροφητικότητα από τις επιφάνειες ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος είναι μικρότερη από αυτή της μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας. Μετά από πειράματα με πηγές υπέρυθρης ακτινοβολίας, προέκυψε ότι για πηγές θερμότητας της τάξης των 2500 K η τιμή της απορροφητικότητας a_r είναι περίπου 0,8 για ντυμένο σώμα και 0,65 για γυμνό. Για πηγές της τάξης των 1200 K οι αντίστοιχες τιμές είναι περίπου 0,9 και 0,95.

Με την εισαγωγή του συντελεστή εκτιθέμενης επιφάνειας $f_\rho = \frac{A_\rho}{A_{eff}}$,

προκύπτει η σχέση:
$$T_{mrt} = \left[T_{umrt}^4 + f_\rho \cdot \frac{(a_r \cdot q_r)}{(\varepsilon_\rho \cdot \sigma)} \right]^{0,25}$$

3.4.1 Η εκτιθέμενη επιφάνεια και οι γωνίες μεταξύ ατόμου και γύρω επιφανειών

Θεωρείται ότι ο άνθρωπος βρίσκεται καθήμενος σε σφαιρικό περιβάλλον, όπως εικονίζεται στο σχήμα 3.4.1.1



Σχήμα 3.4.1.1: Προσδιορισμός θέσεως ατόμου σε σφαιρικό περιβάλλον

Η επιφάνεια που εκτίθεται σε ακτινοβολία εκφράζεται συναρτήσει της γωνίας αζιμούθιου α , και της γωνίας ύψους β .

$$A_{eff} = \frac{4}{\pi} \cdot \int_{\alpha=0}^{\alpha=\pi} \int_{\beta=0}^{\beta=\frac{\pi}{2}} (A_p \cdot \cos \beta) d\alpha d\beta$$

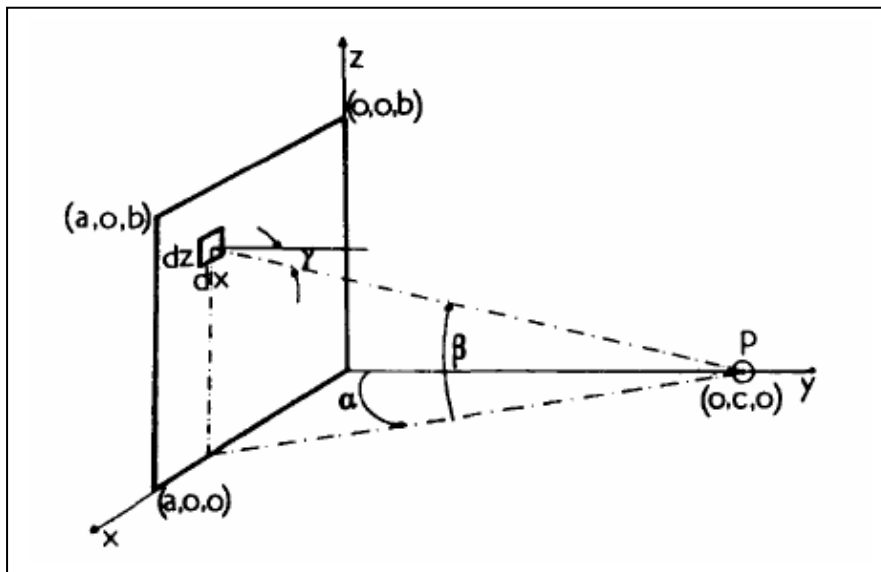
Αν στη σφαίρα του σχήματος 3.4.1.1 θεωρηθεί μια στοιχειώδης επιφάνεια dA , τότε μεταξύ αυτής της επιφάνειας και του ανθρώπου ισχύει:

$$F_{dA-P} = \frac{A_p}{\pi \cdot r_m^2}$$

Ο παράγοντας γωνία για ολόκληρη στη σφαίρα επιφάνειας $A=4 \cdot \pi \cdot r^2$ θα είναι:

$$F_{A-P} = \frac{1}{A} \cdot \int_A \frac{A_p}{\pi \cdot r_m^2} dA = \frac{1}{4 \cdot \pi^2 \cdot r_m^2} \cdot \int_{a=0}^{a=2\pi} \int_{\beta=-\pi/2}^{\beta=\pi/2} (A_p \cdot \cos \beta) da d\beta$$

Επειδή συνήθως το περιβάλλον μέσα στο οποίο βρίσκεται ο άνθρωπος αποτελείται από ορθογώνιες, κάθετες και οριζόντιες επιφάνειες, χρησιμοποιείται το μοντέλο που απεικονίζεται στο σχήμα 3.4.1.2



Σχήμα 3.4.1.2: Ανάλυση συντεταγμένων μεταξύ ανθρώπου και ορθογώνιων επιφανειών

Σε αυτή τη περίπτωση ισχύει:

$$F_{A-P} = \frac{1}{\pi} \cdot \int_{x/y=0}^{x/y=a/c} \int_{x/y=0}^{x/y=b/c} \frac{f_p}{\left[1 + \left(\frac{x}{y}\right)^2 + \left(\frac{z}{y}\right)^2\right]^{3/2}} d \frac{x}{y} d \frac{z}{y}$$

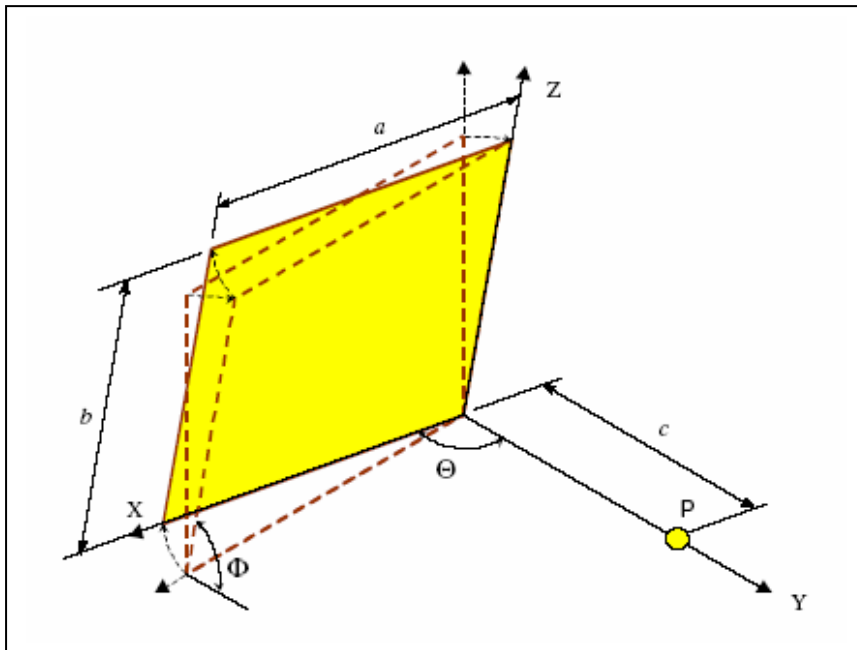
Για τυχαίο προσανατολισμό του ανθρώπου ο συντελεστής γωνίας μπορεί να υπολογιστεί σαν η μέση τιμή μεταξύ των γωνιών αζιμούθιου 0 και 2π.

$$F_{A-P} = \frac{1}{2 \cdot \pi^2} \cdot \int_{x/y=0}^{x/y=a/c} \int_{x/y=0}^{x/y=b/c} \int_{a=0}^{a=2\pi} \frac{f_p}{\left[1 + \left(\frac{x}{y}\right)^2 + \left(\frac{z}{y}\right)^2\right]^{3/2}} d \frac{x}{y} d \frac{z}{y} da$$

Οι παραπάνω εξισώσεις πρέπει να επιλυθούν για κάθε μια από τις έξι επιφάνειες που περικλείουν έναν κλειστό χώρο.

Μια άλλη έκφραση των παραπάνω, σε συνάρτηση με τη γωνία κλίσης Φ της επιφάνειας σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο, και τη γωνία Θ περιστροφής της επιφάνειας γύρω από τον κάθετο άξονα είναι η:

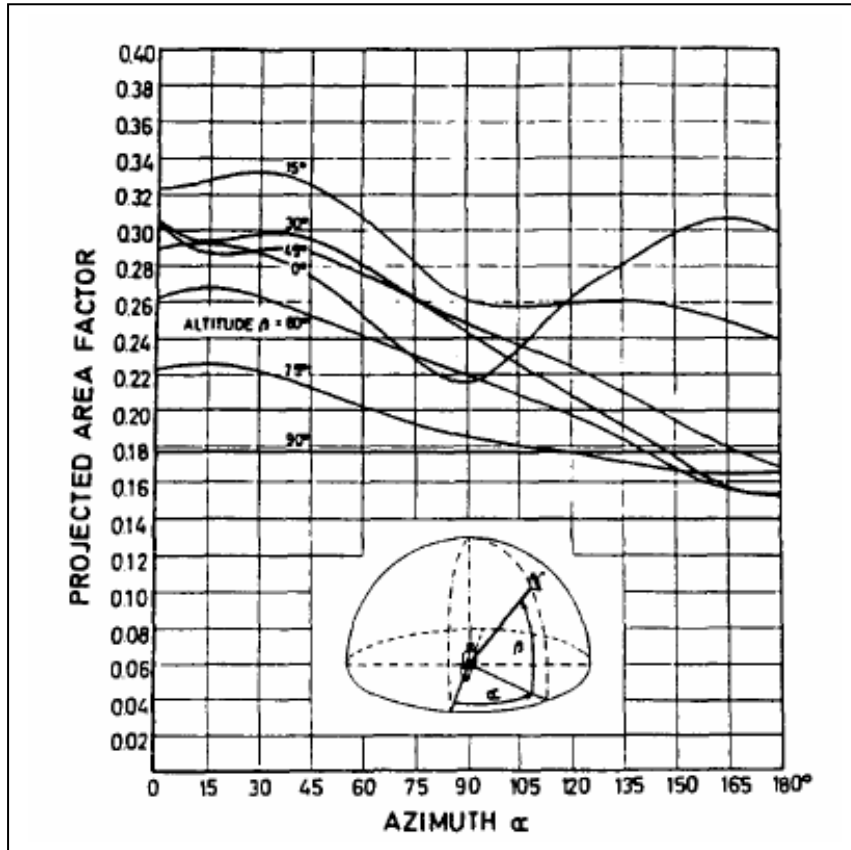
$$F_{A-P} = \frac{1}{\pi} \cdot \int_{\frac{x}{y}=0}^{\frac{x}{y}=a/c} \int_{\frac{z}{y}=0}^{\frac{z}{y}=b/c} \frac{f_p \cdot \sin \Theta \cdot \sin \Phi}{\sqrt{\left[\left(\frac{x}{y} \cdot \cos \Theta - \frac{z}{y} \cdot \cos \Theta \cdot \cos \Phi \right)^2 + \left(1 - \frac{x}{y} \cdot \cos \Theta - \frac{z}{y} \cdot \cos \Theta \cdot \sin \Phi \right)^2 + \left(\frac{z}{y} \sin \Phi \right)^2 \right]^{3/2}} d \frac{x}{y} d \frac{z}{y}}$$



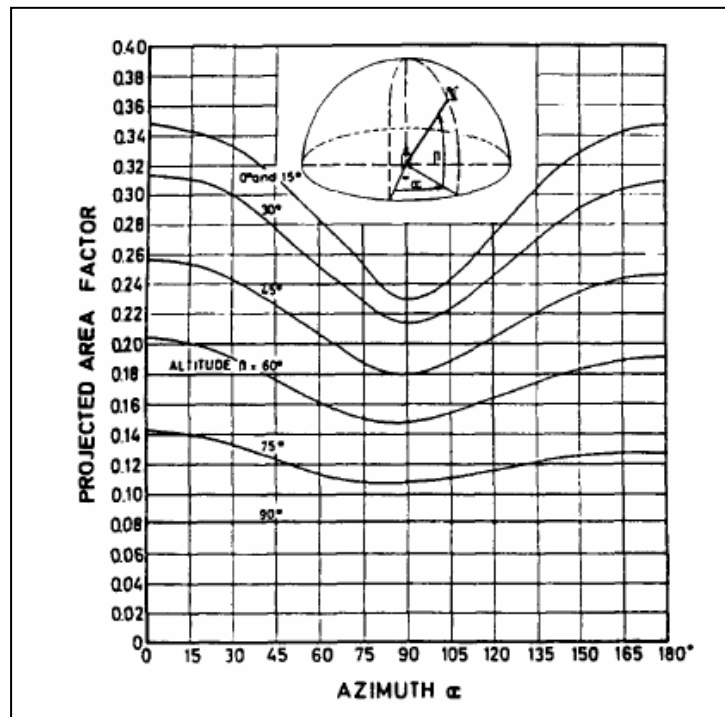
Σχήμα 3.4.1.3: Συντεταγμένες μεταξύ ανθρώπου και επιφάνειας υπό γωνιά και κλίση

3.4.2 Ο υπολογισμός του f_p

Ο συντελεστής εκτιθέμενης επιφάνειας f_p μπορεί να προσδιορισθεί για οποιοδήποτε συνδυασμό ένδυσης ή φύλλου, από διαγράμματα τα οποία έφτιαξε ο Fanger, για καθήμενους και όρθιους ανθρώπους. Τα διαγράμματα αυτά δεν βοηθούν πολύ όταν γίνεται υπολογισμός στοιχείων της θερμικής άνεσης μέσω μεθόδων σε υπολογιστή.



Σχήμα 3.4.1.3 Συντελεστής εκτιθέμενης επιφανείας για καθήμενους ανθρώπους σε σχέση με τις γωνίες αζιμούθιου α και ύψους β



Σχήμα 3.4.1.3 Συντελεστής εκτιθέμενης επιφανείας για όρθιους ανθρώπους σε σχέση με τις γωνίες αζιμούθιου α και ύψους β

Μέσω υπολογιστή και με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων έχουν υπολογισθεί οι πραγματικές τιμές του f_p .

Πίνακας 3.4.2.1: Τιμές f_p για γωνίες α και β με την μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων σε υπολογιστή

Azimuth angle α	$\beta = 0^\circ$		$\beta = 15^\circ$		$\beta = 30^\circ$		$\beta = 45^\circ$		$\beta = 60^\circ$		$\beta = 75^\circ$		$\beta = 90^\circ$	
	Seated	Standing	Seated	Standing	Seated	Standing	Seated	Standing	Seated	Standing	Seated	Standing	Seated	Standing
	0	0.289	0.349	0.323	0.349	0.303	0.314	0.303	0.257	0.262	0.205	0.222	0.143	0.177
15	0.291	0.343	0.328	0.343	0.293	0.311	0.286	0.254	0.267	0.201	0.225	0.139	0.177	0.082
30	0.287	0.333	0.333	0.333	0.297	0.300	0.289	0.244	0.262	0.191	0.222	0.133	0.177	0.082
45	0.274	0.312	0.325	0.312	0.294	0.278	0.287	0.226	0.252	0.176	0.212	0.123	0.177	0.082
60	0.252	0.284	0.306	0.284	0.281	0.253	0.275	0.208	0.241	0.161	0.202	0.113	0.177	0.082
75	0.228	0.254	0.282	0.254	0.262	0.230	0.262	0.188	0.230	0.150	0.192	0.108	0.177	0.082
90	0.215	0.230	0.261	0.230	0.243	0.214	0.248	0.180	0.220	0.147	0.185	0.108	0.177	0.082
105	0.234	0.244	0.258	0.244	0.225	0.223	0.237	0.188	0.209	0.153	0.181	0.110	0.177	0.082
120	0.262	0.273	0.259	0.273	0.208	0.244	0.224	0.203	0.198	0.161	0.176	0.115	0.177	0.082
135	0.280	0.305	0.261	0.305	0.191	0.269	0.210	0.220	0.185	0.173	0.171	0.121	0.177	0.082
150	0.298	0.329	0.257	0.329	0.174	0.290	0.195	0.234	0.168	0.182	0.167	0.125	0.177	0.082
165	0.306	0.343	0.249	0.343	0.157	0.303	0.180	0.243	0.156	0.189	0.165	0.127	0.177	0.082
180	0.299	0.347	0.239	0.347	0.154	0.309	0.168	0.246	0.154	0.191	0.165	0.127	0.176	0.082

Επιπλέον έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι προσδιορισμού συναρτήσεων των γωνιών α και β μέσω πολυωνυμικής εξίσωσης. Ο σκοπός είναι η ύπαρξη μιας μόνο εξίσωσης, που να εκφράζει τον συντελεστή για καθήμενους και όρθιους ανθρώπους. Οι εξισώσεις που εκφράζουν καλύτερα το συντελεστή f_p , τετάρτου βαθμού ως προς τη γωνία α και τρίτου βαθμού ως προς τη γωνία β , είναι :

$$f_p(a, \beta) = \sum_{i=0}^4 A_i(\beta) \cdot a^i \text{ για καθήμενους ανθρώπους, όπου } A_i(\beta) = \sum_{j=0}^3 A_{ij} \cdot \beta^j$$

Και

$$f_p(a, \beta) = \sum_{i=0}^4 B_i(\beta) \cdot a^i \text{ για όρθιους, όπου } B_i(\beta) = \sum_{j=0}^3 B_{ij} \cdot \beta^j$$

Πίνακας 3.4.2.2: Τιμές A_{ij} και B_{ij}

j	i				
	0	1	2	3	4
Coefficients for seated person A_{ij}					
0	+2.884 E-01	+2.225 E-03	-9.292 E-05	+9.027 E-07	-2.517 E-09
1	+2.225 E-03	-7.653 E-05	+4.021 E-06	-4.632 E-08	+1.380 E-10
2	-5.472 E-05	+7.286 E-07	-6.215 E-08	+7.690 E-10	-2.341 E-12
3	+1.802 E-07	-1.457 E-09	+3.152 E-10	-4.015 E-12	+1.231 E-14
Coefficients for standing person B_{ij}					
0	+3.453 E-01	+1.945 E-03	-1.023 E-04	+1.003 E-06	-2.747 E-09
1	+6.930 E-04	+1.122 E-05	-1.502 E-07	+4.040 E-10	+8.461 E-13
2	-7.319 E-05	-1.288 E-06	+3.676 E-08	-3.036 E-10	+7.489 E-13
3	+3.675 E-07	+1.030 E-08	-2.517 E-10	+1.969 E-12	-4.715 E-15

Ο βαθμός του πολυωνύμου που θα επιλεγεί εξαρτάται από το συντελεστή συσχέτισης μεταξύ των πραγματικών και των υπολογισθέντων τιμών.

3.4.3 Υπολογισμός του συντελεστή όρασης

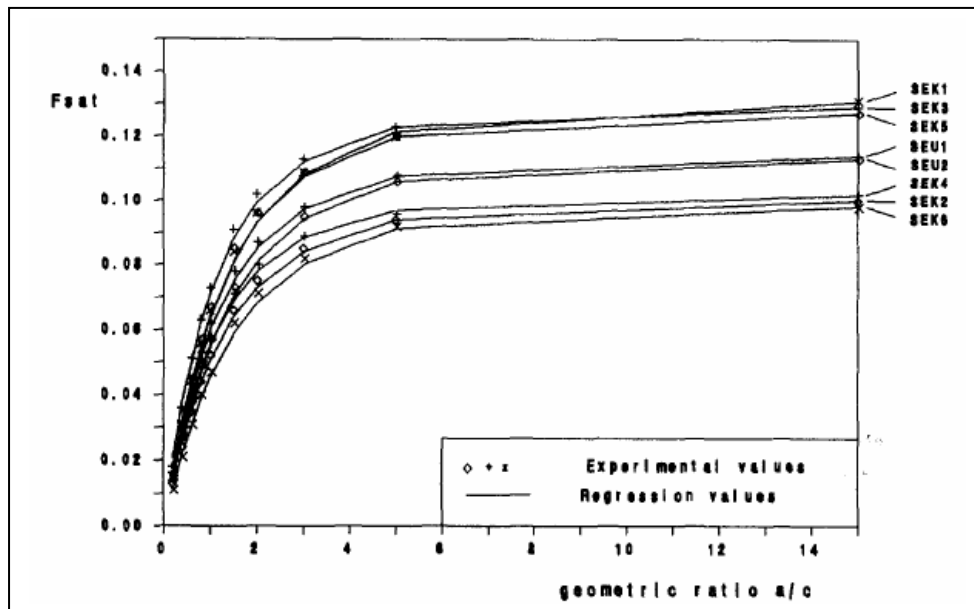
Ο προσδιορισμός των συντελεστών όρασης εκτός από τη χρήση των διαγραμμάτων μπορεί να γίνει με χρήση της εξίσωσης:

$$F_{P-A} = F_{sat,i} \leq \left(1 - \exp \frac{-b/c}{\gamma} \right)_{a/c=ki} \quad \text{με τις προϋποθέσεις}$$

$$\lim_{|-b/c| \rightarrow 0} F_{P-A} = 0 \quad \text{και} \quad \lim_{|-b/c| \rightarrow \infty} F_{P-A} = F_{sat,i}$$

(α,β,γ από σχήμα 3.4.1.2)

Η ανώτατη τιμή $F_{sat,i}$ μεταβάλλεται με τον λόγο a/c .



Σχήμα 3.4.3.1: Ανώτατη τιμή $F_{sat,i}$ συναρτήσει του λόγου a/c για διάφορες θέσεις

Πίνακας 3.4.3.1 περιγραφή των θέσεων (για τους υπολογισμούς των $F_{sat,i}$)

SEK1	Seated	Known	Vertical rectangle in front of the person and above his centre, or behind him and below his centre
SEK2	Seated	Known	Vertical rectangle in front of the person and below his centre, or behind him and above his centre
SEK3	Seated	Known	Vertical rectangle on the side wall above and forward of his centre, or below and behind his centre
SEK4	Seated	Known	Vertical rectangle on the side wall below and forward of his centre, or above and behind his centre
SEK5	Seated	Known	Horizontal rectangle in the ceiling and forward of his centre, or on the floor and behind his centre
SEK6	Seated	Known	Horizontal rectangle in the ceiling and behind his centre, or on the floor and forward of his centre
SEU1	Seated	Unknown	Vertical rectangle above or below the centre of the person
SEU2	Seated	Unknown	Horizontal rectangle on the ceiling or on the floor
STK1	Standing	Known	Vertical rectangle in front or behind the person, above or below his centre
STK2	Standing	Known	Rectangle on the side wall, forward or behind, above or below the centre of the person
STK3	Standing	Known	Rectangle on the ceiling or on the floor, forward or behind, above or below the centre of the person
STU1	Standing	Unknown	Vertical rectangle above or below the centre of the person
STU2	Standing	Unknown	Horizontal rectangle on the ceiling or on the floor

3.5 Υπολογισμός της θερμομόνωσης των ενδυμάτων

Σε ψυχρό περιβάλλον ο τύπος της ένδυσης ανάλογα με τη κατάσταση, αποτελεί τον πιο καθοριστικό παράγοντα ώστε ο άνθρωπος να αισθάνεται άνετα. Η επιλογή των κατάλληλων ρούχων, που θα προσφέρουν την κατάλληλη θερμομόνωση, εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του ατόμου (ηλικία, φύλλο κλπ), αλλά σημαντικό ρόλο παίζουν η δραστηριότητα που ασκεί, και χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος στο οποίο βρίσκεται (θερμοκρασία αέρα, υγρασία, μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας κλπ). Η θερμομόνωση των ενδυμάτων που απαιτείται για να ικανοποιείται η θερμική ισορροπία μεταξύ ανθρώπου και περιβάλλοντος υπολογίζεται από τη σχέση:

$$I = \frac{t_{sk} - t_{cl}}{M - W - E_{sk} - C_{res} - E_{res}}, \quad \text{όπου}$$

M : ο μεταβολικός ρυθμός παραγωγής θερμότητας (W/m^2)

W : Το μηχανικό έργο που παράγει ο άνθρωπος (W/m^2)

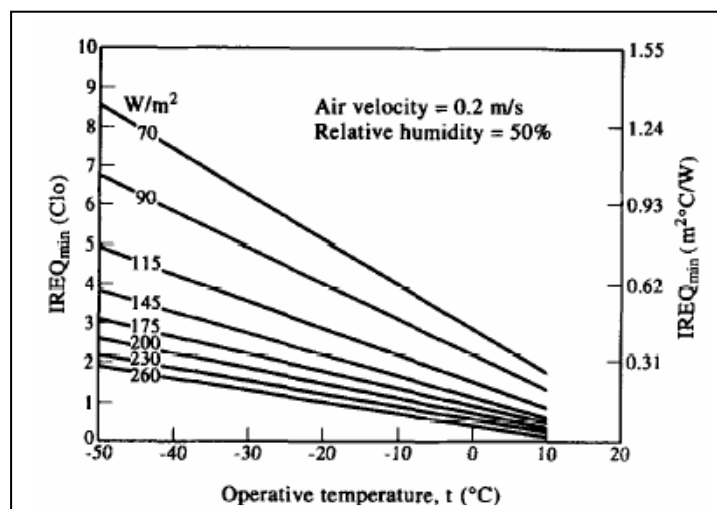
E_{sk} : απώλειες θερμότητας από το δέρμα λόγω εξάτμισης (W/m^2)

C_{res} : απώλειες θερμότητας αναπνοής με συναγωγή (W/m^2)

E_{res} : απώλειες θερμότητας αναπνοής με εξάτμιση (W/m^2)

t_{sk} : η θερμοκρασία του δέρματος (°C)

t_{cl} : η θερμοκρασία των ρούχων (°C).



Σχήμα 3.5.1: Θερμομόνωση ενδυμάτων σε σχέση με την θερμοκρασία

3.6 Η επίδραση των αντικειμένων στη θερμοκρασία του χώρου

Τα αντικείμενα που υπάρχουν στον εσωτερικό χώρο ενός δωματίου, όπως ακριβώς και τα δομικά στοιχεία, αποθηκεύουν θερμότητα την οποία ακτινοβολούν, επηρεάζοντας έτσι τη θερμοκρασία του χώρου που απαιτείται για την επίτευξη θερμικής άνεσης. Για την έκφραση του μέτρου της θερμικής άνεσης χρησιμοποιείται η θερμοκρασία ευαισθησίας T_{ε} :

$$T_{\varepsilon} = 0,44 \cdot T_{\alpha} + 0,56 \cdot T_{mrt} , \text{ όπου:}$$

T_{mrt} : η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας από τα δομικά στοιχεία του χώρου (°C)

T_{α} : η θερμοκρασία του αέρα (°C), σε απόσταση 1,6 – 1,8 m από το έδαφος

Η επίδραση των δομικών στοιχείων και των στερεών στην αίσθηση άνεσης είναι αρκετά ισχυρή , γεγονός που δικαιολογείται από το ότι σε ένα χώρο με χαμηλή θερμοκρασία τοιχωμάτων αλλά ικανοποιητικά υψηλή θερμοκρασία αέρα, ο άνθρωπος αισθάνεται ψυχρό περιβάλλον.

3.7 Η τρέχουσα μέση εξωτερική θερμοκρασία

Έχει γίνει σαφής η σχέση μεταξύ της κατάλληλης για την άνεση θερμοκρασίας στο εσωτερικό ενός χώρου και της θερμοκρασίας του εξωτερικού περιβάλλοντος. Η θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος εκφράζεται συνήθως με μέσες μηνιαίες τιμές, αλλά αρκετές φορές παρατηρούνται μεγάλες μεταβολές σε μικρό χρονικό διάστημα. Χρήσιμη θα ήταν μια θερμοκρασία που να προσαρμόζεται στις εκάστοτε συνθήκες. Μία τέτοια είναι η τρέχουσα μέση ημερήσια θερμοκρασία εξωτερικού περιβάλλοντος T_{rm} η οποία υπολογίζεται ως εξής (χρησιμοποιώντας τις μέσες θερμοκρασίες των προηγούμενων ημερών):

$$T_{rm} = (1-a) \cdot \{T_{od-1} + a \cdot T_{od-2} + a^2 \cdot T_{od-3} + \dots\}, \text{ όπου}$$

a : μια σταθερά με τιμές μεταξύ 0 και 1 που εκφράζει την ταχύτητα απόκρισης της τρέχουσας μέσης θερμοκρασίας με την θερμοκρασία εξωτερικού περιβάλλοντος

T_{od-1} : η μέση ημερήσια θερμοκρασία της προηγούμενης ημέρας

T_{od-2} : η μέση ημερήσια θερμοκρασία δυο ημερών πριν

T_{od-3} : η μέση ημερήσια θερμοκρασία τριών ημερών πριν κ.ο.κ.

Μια πιο πρακτικά εφαρμόσιμη μορφή υπολογισμού είναι η:

$$T_{rm}^n = (1-a) \cdot T_{od-1} + a \cdot T_{rm}^{n-1}, \text{ όπου}$$

T_{rm}^n : η τρέχουσα μέση θερμοκρασία της n ημέρας

T_{rm}^{n-1} : η τρέχουσα μέση θερμοκρασία της προηγούμενης ($n-1$) ημέρας.

Η χρησιμότητα της τελευταίας σχέσης έγκειται στο ότι αν υπολογιστεί η T_{rm} μια φορά, είναι πολύ εύκολο καθημερινά να υπολογίζεται η αντίστοιχη θερμοκρασία.

Η θερμοκρασία άνεσης συνδέεται με τη τρέχουσα μέση ημερήσια θερμοκρασία εξωτερικού περιβάλλοντος μέσω της σχέσης (με $a=0,8$) :

$$T_{a,comf} = 0,33 \cdot T_{rm} + 18,8$$

ή για θερμαινόμενους ή κλιματιζόμενους χώρους :

$$T_{a,comf} = 0,09 \cdot T_{rm} + 22,6$$

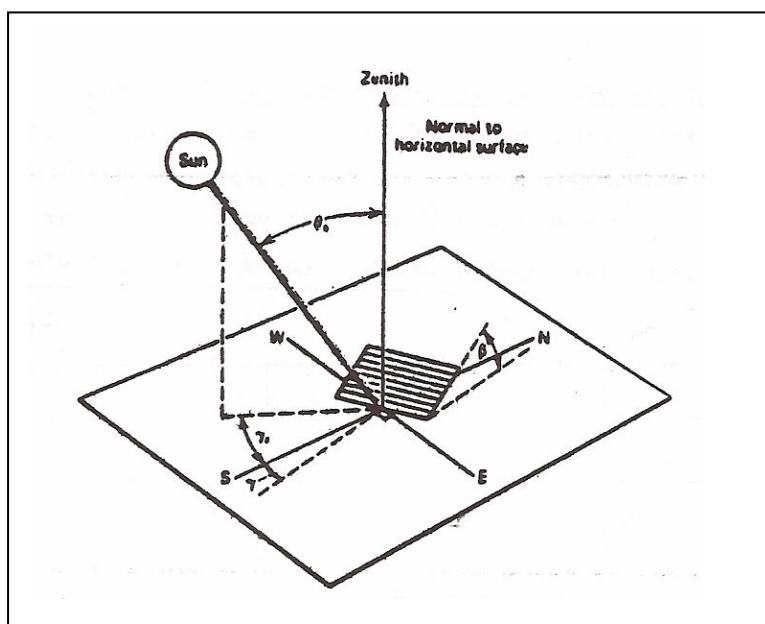
4. Ηλιακή ακτινοβολία

4.1 Γενικά στοιχεία για τον ήλιο

Η γη ακολουθεί ελλειπτική τροχιά γύρω από τον ήλιο, την κύρια πηγή ενέργειας. Έτσι η απόσταση συνεχώς μεταβάλλεται γύρω από μια μέση απόσταση $1.495 \cdot 10^{11}$ m με εύρος μεταβολής $\pm 1,7\%$. Η διάμετρος του ήλιου είναι περίπου 1392000 km², η επιφάνεια του $6,078 \cdot 10^{12}$ km², ο όγκος του $1,412 \cdot 10^{18}$ km³, η μάζα του $1,99 \cdot 10^{30}$ kg, και η μέση πυκνότητά του αντιστοιχεί στο 0,253 της μέσης πυκνότητας της γης και 1,41 της πυκνότητας του νερού. Η κλίση του άξονα του ήλιου ως προς την κάθετο στην επιφάνεια της γης είναι $7^{\circ}15'$, ενώ η ταχύτητα περιστροφής της γης γύρω από τον ήλιο 30km/s. Το εξωτερικό στρώμα του αποτελείται από 75% υδρογόνο, 23% ήλιον και 2% άλλα αέρια. Η διαδρομή του φωτός από τον ήλιο στη γη έχει υπολογιστεί σε 8min 18s.

Η ηλιακή σταθερά G_{sc} είναι η ενέργεια ανά μονάδα χρόνου που δέχεται εκτός ατμόσφαιρας από τον ήλιο η μονάδα επιφανείας κάθετη στη διεύθυνση διάδοσης της ακτινοβολίας, όταν η απόσταση μεταξύ ήλιου και γης έχει τη μέση τιμή. Η τιμή της είναι $G_{sc} = 1353$ W/m².

Η θέση του ήλιου καθορίζεται από το ηλιακό ύψος και το αζιμούθιο ηλίου.



Σχήμα 4.1.1 Η θέση του ήλιου (αζιμούθιο, ηλιακό ύψος, γωνία ζενίθ)

Η γωνία ζενίθ θ_Z είναι η γωνία που σχηματίζεται από την κατακόρυφο και την ευθεία όρασης του ήλιου, και στην πράξη δείχνει πόσο ψηλά είναι ο ήλιος.

Το ηλιακό ύψος $\alpha = 90^\circ - \theta_Z$ είναι η γωνία μεταξύ της ευθείας όρασης του ήλιου και της προβολής της στο οριζόντιο επίπεδο.

Το αζιμούθιο επιφανείας γ είναι η γωνία που σχηματίζεται από την προβολή της καθέτου στην επιφάνεια πάνω στο οριζόντιο επίπεδο και τη νότια κατεύθυνση, παίρνει δε τιμές $-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$, με τιμές $\gamma=0^\circ$ στο νότο $\gamma=90^\circ$ στη δύση, $\gamma=180^\circ$ στο βορρά και $\gamma=-90^\circ$ στην ανατολή.

Το αζιμούθιο ηλίου γ_S είναι η γωνία μεταξύ της προβολής της ευθείας όρασης του ήλιου στο οριζόντιο επίπεδο και της νότιας κατεύθυνσης.

Η κλίση επιπέδου β είναι η γωνία που σχηματίζει μια επίπεδη επιφάνεια με το οριζόντιο επίπεδο, με τιμές $0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$. Όταν το επίπεδο είναι οριζόντιο $\beta = 0^\circ$, όταν είναι κάθετο $\beta = 90^\circ$, ενώ όταν $\beta > 90^\circ$ το επίπεδο βλέπει προς τα κάτω.

Οι γωνίες ύψους και αζιμούθιου μεταβάλλονται ανάλογα με την ώρα και την περιοχή.

Η ωριαία γωνία ω είναι η γωνιακή μετατόπιση του ήλιου σε σχέση με τον τοπικό μεσημβρινό (ανατολικά ή δυτικά) λόγω της περιστροφής της γης περί τον άξονά της. Ο ρυθμός περιστροφής είναι $15^\circ/\text{h}$ ή $0,25^\circ/\text{min}$. Η σχέση υπολογισμού της ωριαίας γωνιάς είναι

$$\omega = 0,25 \cdot (\text{min από ηλιακό μεσημέρι})$$

και παίρνει θετικές τιμές για τις απογευματινές ώρες και αρνητικές για τις πρωινές. Ηλιακός μεσημέρι ορίζεται η χρονική στιγμή που ο ήλιος τέμνει το μεσημβρινό του παρατηρητή.

Η ηλιακή απόκλιση δ είναι η γωνιακή θέση του ήλιου κατά το ηλιακό μεσημέρι ως προς το επίπεδο του ισημερινού:

$$\delta = 23,45 \sin \frac{360 \cdot (284 + n)}{365}, \text{ όπου}$$

n: η μέρα του έτους.

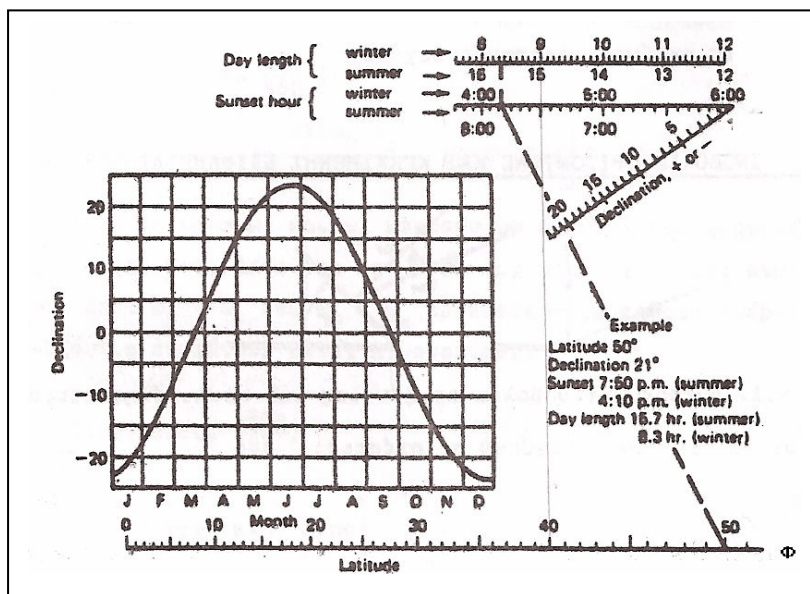
Η ηλιακή απόκλιση δ παίρνει θετικές τιμές προς το βορρά, και κυμαίνεται μεταξύ των τιμών $-23,45 \leq \delta \leq 23,45$.

Πίνακας 4.1.1: Ημέρα έτους, και δ για τη μέση ημέρα του μήνα

Μήνας	n	Μέση ημέρα μήνα		
		Ημερομηνία	n	δ
Ιαν	i	17	17	-20,9
Φεβ	31+i	16	47	-13
Μαρ	59+i	16	75	-2,4
Απρ	90+i	15	105	9,4
Μαϊ	120+i	15	135	18,8
Ιουν	151+i	11	162	23,1
Ιουλ	181+i	17	198	21,2
Αυγ	212+i	16	228	13,5
Σεπ	243+i	15	258	2,2
Οκτ	273+i	15	288	-9,6
Νοε	304+i	14	318	-18,9
Δεκ	334+i	10	344	-23

Μέση ημέρα μήνα θεωρείται εκείνη η ημέρα του μήνα που η ημερησία ηλιακή ακτινοβολία εκτός ατμόσφαιρας είναι ίση με την μέση ημερήσια του συγκεκριμένου μήνα.

Ο υπολογισμός του χρόνου δύσης του ηλίου, γίνεται συναρτήσει του γεωγραφικού πλάτους Φ , και για αυτό το σκοπό χρησιμοποιείται ειδικό νομόγραμμα, από το οποίο μπορεί να υπολογιστεί και ηλιακή απόκλιση, καθώς και η διάρκεια της ημέρας.



Σχήμα 4.1.2: Νομόγραμμα χρόνου δύσης ηλίου, διάρκειας ημέρας και απόκλισης δ

Γεωγραφικό πλάτος ονομάζεται η γωνιώδης απόσταση ενός τόπου από τον ισημερινό της γης. Ανάλογα με το ημισφαίριο χαρακτηρίζεται σαν βόρειο και νότιο γεωγραφικό πλάτος. Η **Αθήνα** έχει Βόρειο γεωγραφικό πλάτος $\Phi=37,97^\circ$.

4.2 Η ηλιακή ακτινοβολία

Η ηλιακή ακτινοβολία είναι το σύνολο της ενέργειας που ακτινοβολείται από τον ήλιο και φτάνει σε μια οριζόντια επιφάνεια εμβαδού 1m^2 μια τυχαία χρονική στιγμή. Συνήθως εκφράζεται σε w/m^2

Η ακτινοβολία που δέχεται επίπεδο κάθετα στις ακτίνες του ηλίου, εκτός ατμόσφαιρας είναι

$$G_{on} = G_{sc} \cdot \left(1 + 0.033 \cdot \cos \frac{360 \cdot n}{365} \right) , \text{ όπου}$$

G_{sc} : η ηλιακή σταθερά

n: η ημέρα του έτους

Πίνακας 4.2.1: Φασματική κατανομή ακτινοβολίας εκτός ατμόσφαιρας

Περιοχή	Μήκος κύματος λ	Ποσοστό Ενέργειας	Ενέργεια (W/m^2)
Υπεριώδης (μη ορατή)	$<0,38$	7%	95
Ορατή	$0,38 < \lambda < 0,78$	47,30%	640
Υπέρυθρος (μη ορατή)	$>0,78$	45,70%	618

Το άθροισμα της ενέργειας που κατανέμεται σε κάθε περιοχή ακτινοβολίας (πίνακας 4.2.1) ισούται με τη τιμή της ηλιακής σταθεράς G_{sc} .

Η ηλιακή ενέργεια που φτάνει στη γη είναι αρκετά μειωμένη και εξαρτάται από την σύνθεση της ατμόσφαιρας και από το μήκος της τροχιάς της ηλιακής δέσμης. Τα διάφορα σωματίδια, σκόνες και σταγονίδια νερού που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα προκαλούν διάχυση της ακτινοβολίας, ενώ οι υδρατμοί, το όζον και το CO_2 , προκαλούν επιλεκτική απορρόφηση κατά ζώνες φάσματος

Το μήκος της τροχιάς της ηλιακής δέσμης εκφράζεται συναρτήσει της ‘αέριας μάζας’ m , της απόστασης δηλαδή, προς την απόσταση μέχρι το επίπεδο της θάλασσας όταν ο ήλιος βρίσκεται στο ζενίθ. $m = \frac{1}{\cos \theta_z}$

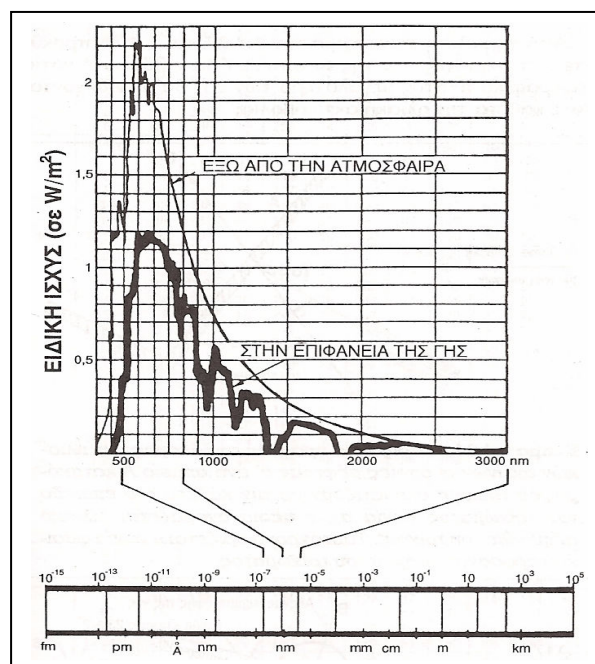
Στο επίπεδο της θάλασσας όταν ο ήλιος βρίσκεται στο ζενίθ ισχύει $m=1$, όταν η γωνία ζενίθ είναι $\theta_z=60^\circ$ $m=2$, και εκτός ατμόσφαιρας $m=0$.

Η ολική ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί τη συνολικά διαθέσιμη ενέργεια, και είναι το άθροισμα της διάχυτης και της άμεσης ακτινοβολίας. Στη διάχυτη ακτινοβολία θα πρέπει να προστίθεται και η ανακλώμενη ακτινοβολία από το έδαφος και παρακείμενες επιφάνειες.

Η άμεση ακτινοβολία είναι αυτή που φτάνει στη γη χωρίς να μεσολαβήσει διασκορπισμός της μέσα στην ατμόσφαιρα.

Η διάχυτη ακτινοβολία είναι αυτή που φτάνει στη γη ύστερα από διασκορπισμό και αλλαγή κατεύθυνσης στην ατμόσφαιρα.

Η άμεση ακτινοβολία φτάνει στη γη με ακτινική μορφή, ενώ η διάχυτη δεν έχει κατεύθυνση. Τις πολύ πρωινές ώρες και κατά τη δύση του ηλίου, το ποσοστό της διάχυτης φτάνει το 100% της ολικής ακτινοβολίας. Η ελάχιστη διάχυτη ακτινοβολία δεν πέφτει κάτω από περίπου 30%, ακόμα και το μεσημέρι με πολύ καθαρή ατμόσφαιρα..



Σχήμα 4.2.1: Κατανομή ενέργειας ηλιακής ακτινοβολίας

Η γωνία των προσπιπτουσών ηλιακών ακτινών με την κάθετο της επιφάνειας, ονομάζεται γωνία πρόσπτωσης θ , και υπολογίζεται:

$$\cos \theta = \sin \delta \cdot \sin \Phi \cdot \cos \beta - \sin \delta \cdot \cos \Phi \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma + \cos \delta \cdot \cos \Phi \cdot \cos \beta \cdot \cos \omega + \cos \delta \cdot \sin \Phi \cdot \sin \beta \cdot \cos \omega + \cos \delta \cdot \sin \beta \cdot \sin \gamma \cdot \sin \omega$$

από την οποία για $\beta = 90^\circ$ (κατακόρυφη επιφάνεια):

$$\cos \theta = -\sin \delta \cdot \cos \Phi \cdot \cos \gamma + \cos \delta \cdot \sin \Phi \cdot \cos \gamma \cdot \cos \omega + \cos \delta \cdot \sin \gamma \cdot \sin \omega$$

και για $\beta=0^\circ$ (οριζόντια επιφάνεια):

$$\cos \theta = \sin \delta \cdot \sin \Phi + \cos \delta \cdot \cos \Phi \cdot \cos \omega$$

Στην περίπτωση οριζόντιας επιφάνειας η γωνία πρόσπτωσης συμπίπτει με τη γωνία ζενίθ: $\theta = \theta_z$.

Η ωριαία γωνία δύσης του ηλίου ω_s υπολογίζεται από τη σχέση :

$$\cos \omega_s = -\frac{\sin \Phi \cdot \sin \delta}{\cos \Phi \cdot \cos \delta} = -\tan \Phi \cdot \tan \delta$$

και προκύπτει σε ηλιακό χρόνο, δηλαδή σε χρόνο με βάση τη φαινόμενη κίνηση του ηλίου.

Η ωριαία γωνία της h ώρας υπολογίζεται από τη σχέση: $\omega = 180 - 15 \cdot h$.

Η διάρκεια της ημέρας μπορεί να υπολογισθεί από τη σχέση:

$$N = \frac{2}{15} \cdot \arccos(-\tan \Phi \cdot \tan \delta)$$

Τα δύο τελευταία μεγέθη μπορούν εύκολα να προσδιοριστούν με χρήση του νομογραφήματος του σχήματος 4.2.1.

Η ακτινοβολία οριζόντιας επιφάνειας εκτός ατμόσφαιρας είναι:

$$G_o = G_{sc} \cdot \left(1 + 0.033 \cdot \cos \frac{360 \cdot n}{365}\right) \cdot (\sin \delta \cdot \sin \Phi + \cos \delta \cdot \cos \Phi \cdot \cos \omega)$$

Η ημερήσια ενέργεια που δέχεται μια οριζόντια επιφάνεια εκτός ατμόσφαιρας υπολογίζεται από τη σχέση:

$$H_o = \frac{24 \cdot 3600}{\pi} \cdot G_{sc} \cdot \left(1 + 0.033 \cdot \cos \frac{360 \cdot n}{365}\right) \cdot \left(\cos \Phi \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega_s + \frac{2 \cdot \pi \cdot \omega_s}{360} \cdot \sin \Phi \cdot \sin \delta\right)$$

αντίστοιχα η ωριαία ενέργεια εκτός ατμόσφαιρας για τη διάρκεια μιας ώρας, που καθορίζεται από τις ωριαίες γωνίες, ω_1 για την έναρξη του χρονικού διαστήματος και ω_2 για τη λήξη του, υπολογίζεται:

$$I_o = \frac{12 \cdot 3600}{\pi} \cdot G_{sc} \cdot \left(1 + 0.033 \cdot \cos \frac{360 \cdot n}{365}\right) \cdot \left[\cos \Phi \cdot \cos \delta \cdot (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) + \frac{2 \cdot \pi \cdot \omega_s}{360} \cdot \sin \Phi \cdot \sin \delta\right]$$

Ο λόγος άμεσου ακτινοβολίας κεκλιμένης επιφάνειας προς οριζόντιας επιφάνειας είναι: $R_b = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z}$

Εντός της ατμόσφαιρας το ποσό της ακτινοβολίας που θα φθάσει σε μια επιφάνεια, καθώς και το πώς θα είναι κατανομημένο σε άμεση και διάχυτη, εξαρτάται από τη ποιότητα της ατμόσφαιρας. Για να εκφραστεί αυτή η ποιότητα ατμόσφαιρας, χρησιμοποιούνται οι δείκτες αιθριότητας, που χαρακτηρίζουν την διαύγεια της ατμόσφαιρας, επί ωριαίας, ημερήσιας ή μηνιαίας βάσης:

Ο ωριαίος δείκτης αιθριότητας: $K_T = \frac{I}{I_o}$, όπου I η ωριαία ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου, και I_o η αντίστοιχη εκτός ατμόσφαιρας.

Ο ημερήσιος δείκτης αιθριότητας: $K_T = \frac{H}{H_o}$, όπου H η ημερήσια ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου, και H_o η αντίστοιχη εκτός ατμόσφαιρας.

Ο μέσος μηνιαίος δείκτης αιθριότητας: $\bar{K}_T = \frac{\bar{H}}{\bar{H}_o}$, όπου \bar{H} η μηνιαία μέση ολική ακτινοβολία ημέρας οριζοντίου επιπέδου, και \bar{H}_o η αντίστοιχη εκτός ατμόσφαιρας.

Ο μέσος μηνιαίος δείκτης αιθριότητας αναφέρεται στη μέση ημέρα, και είναι καθοριστικός για το μήνα. Όσο πιο μεγάλος είναι (τείνει στο 1) τόσο πιο κοντά στις συνθήκες της τυπική αίθριας ημέρα βρισκόμαστε. Ο ωριαίος δείκτης αιθριότητας φυσικά αντιστοιχεί σε συγκεκριμένη ώρα.

4.3 Ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο

Το ποσό της άμεσης ακτινοβολίας που δέχεται ένα κεκλιμένο επίπεδο εξαρτάται από τη γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτίνων, ενώ η διάχυτη ακτινοβολία θα προέρχεται από το τμήμα του ουρανού που βλέπει το επίπεδο. Για τον υπολογισμό της ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου ορίζονται οι λόγοι:

Λόγος ολικής ακτινοβολίας: $R = \frac{I_T}{I}$, όπου I_T η ωριαία ολική ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου και I η ωριαία ολική ακτινοβολία οριζόντιας επιφάνειας.

Λόγος άμεσης ακτινοβολίας: $R_b = \frac{I_{b,T}}{I_b}$, όπου $I_{b,T}$ η ωριαία άμεση ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου και I_b η ωριαία άμεση ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου.

Λόγος διάχυτης ακτινοβολίας: $R_d = \frac{I_{d,T}}{I_d}$, όπου $I_{d,T}$ η ωριαία διάχυτη ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου και I_d η ωριαία διάχυτη ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου.

Από τους παραπάνω λόγους ύστερα από ανάλυση σε συνιστώσες προκύπτουν τα εξής:

$$R_b = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} = \frac{\cos \theta}{\cos \Phi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \sin \Phi \cdot \sin \delta} \quad \text{και} \quad R_d = \frac{1 + \cos \beta}{2}$$

Αν συμπεριλάβουμε και την ακτινοβολία εξ ανακλάσεως για την οποία ισχύει:

$$R_r = \frac{I_{r,T}}{I \cdot \rho} = \frac{1 - \cos \beta}{2}$$

και ότι το άθροισμα άμεσης, διάχυτης και διάχυτης εξ εδάφους ακτινοβολίας, αποτελούν την ολική ακτινοβολία που προσπίπτει σε κεκλιμένη επιφάνεια:

$$I_T = I_b \cdot R_b + I_d \cdot R_d + I \cdot \rho \cdot R_r ,$$

τότε προκύπτει η σχέση:

$$I_T = I_b \cdot \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} + I_d \cdot \frac{1 + \cos \beta}{2} + (I_b + I_d) \cdot \rho \cdot \frac{1 - \cos \beta}{2}, \text{ όπου}$$

ο όρος $\frac{1 + \cos \beta}{2}$ ονομάζεται συντελεστής όρασης ουρανού, και ο όρος $\frac{1 - \cos \beta}{2}$ ονομάζεται συντελεστής όρασης εδάφους. Για τις γωνίες θ και θ_z λαμβάνονται οι τιμές στη μέση της ώρας που μελετάται.

Ο συντελεστής ανάκλασης ρ εξαρτάται από το είδος του εδάφους και των επιφανειών, που ανακλούν την ακτινοβολία, καθώς και από το χρωματισμό τους. Τυπικές τιμές του ρ δίνονται στον πίνακα 4.3.1.

Πίνακας 4.3.1: Τυπικές τιμές συντελεστή ανάκλασης ρ

Επιφάνεια	ρ
Άμμος υγρή	0,09
Άμμος ξηρή	0,18
Τσιμέντο παλιό	0,23
Τσιμέντο νέο	0,33
Χιόνι	0,87

Η έκφραση της ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου συναρτήσει ωριαίου δείκτη αιθριότητας γίνεται με την σχέση που προκύπτει ύστερα από διαίρεση με την ωριαία ακτινοβολία οριζόντιας επιφάνειας I :

$$\frac{I_T}{I} = \left(1 - \frac{I_d}{I}\right) \cdot R_b + \frac{I_d}{I} \cdot \left(\frac{1 + \cos \beta}{2}\right) + \rho \cdot \frac{1 - \cos \beta}{2}, \text{ όπου}$$

Ο λόγος $\frac{I_d}{I}$ υπολογίζεται: $\frac{I_d}{I} = 1 - 0,09 \cdot K_T$, για $K_T \leq 0,22$,

$$\frac{I_d}{I} = 0,9511 - 0,1604 \cdot K_T + 4,388 \cdot K_T^2 - 16,638 \cdot K_T^3 + 12,336 \cdot K_T^4, \text{ για } 0,22 < K_T < 0,8,$$

$$\frac{I_d}{I} = 0,165 \text{ για } K_T \geq 0,8, \quad \text{με } K_T = \frac{I}{I_o}$$

Ενώ προτείνονται και άλλοι τρόποι υπολογισμού από άλλους ερευνητές.

Οι παραπάνω λόγοι μπορούν να εκφραστούν και για ημερήσια ποσά ακτινοβολίας. Ο μηνιαίος λόγος άμεσης ακτινοβολίας υπολογίζεται:

$$\bar{R}_b = \frac{\bar{H}_{b,T}}{\bar{H}_b} = \frac{\cos(\Phi - \beta) \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega'_s + \left(\frac{\pi}{180}\right) \cdot \omega'_s \cdot \sin(\Phi - \beta) \cdot \sin \delta}{\cos \Phi \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega_s + \left(\frac{\pi}{180}\right) \cdot \omega_s \cdot \sin \Phi \cdot \sin \delta}, \text{ όπου}$$

ω'_s η ωριαία γωνία δύσης του ηλίου για κεκλιμένη επιφάνεια, και ισχύει:

$$\omega'_s = \min [\arccos(-\tan \Phi \cdot \tan \delta), \arccos(-\tan(\Phi - \beta) \cdot \tan \delta)]$$

Η τελική σχέση που προκύπτει για την ολική ημερήσια μέση ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου είναι:

$$\frac{\bar{H}_T}{\bar{H}} = \left(1 - \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}}\right) \cdot \bar{R}_b + \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} \cdot \left(\frac{1 + \cos \beta}{2}\right) + \rho \cdot \left(\frac{1 - \cos \beta}{2}\right)$$

Για το λόγο $\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}}$, ή το λόγο $\frac{H_d}{H}$ γενικότερα υπάρχουν διάφοροι τρόποι υπολογισμού, που προτείνονται από διάφορους ερευνητές. Ένας από αυτούς είναι των Liu and Jordan:

$$\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} = 1.390 - 4.027 \cdot \bar{K}_T + 5.531 \cdot \bar{K}_T^2 - 3.108 \cdot \bar{K}_T^3, \text{ ενώ για την Ελλάδα έχει}$$

$$\text{προταθεί από τον Λάλα: } \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} = 1.446 - 2.965 \cdot \bar{K}_T + 1.727 \cdot \bar{K}_T^2, \text{ με } \bar{K}_T = \frac{\bar{H}}{\bar{H}_o}.$$

Από πολλούς ερευνητές για τους λόγους $\frac{H_d}{H}$ και $\frac{I_d}{I}$ έχουν προταθεί μαζί με τις εξισώσεις ή τα συστήματα υπολογισμού, και τα αντίστοιχα διαγράμματα που τις αντιπροσωπεύουν, που προσφέρουν έναν πιο γρήγορο και πρακτικό τρόπο υπολογισμού, με κάποια όμως μικρά όμως σφάλματα, τα οποία είναι συνήθη σε κάθε υπολογισμό μέσω γραφήματος.

Συνοψίζοντας λοιπόν, διαπιστώνεται ότι η ακτινοβολία που δέχεται η κεκλιμένη επιφάνεια, γωνίας κλίσεως β , προκύπτει από την αντίστοιχη του οριζοντίου επιπέδου, πολλαπλασιασμένη με τους διορθωτικούς συντελεστές, οπότε προκύπτουν:

$$\text{Άμεση ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου: } I_{b,T} = I_b \cdot \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z}$$

$$\text{Διάχυτη ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου: } I_{d,T} = I_d \cdot \frac{1 + \cos \beta}{2}$$

Διάχυτη λόγω ανακλάσεως εδάφους ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου:

$$I_{r,T} = (I_b + I_d) \cdot \rho \cdot \frac{1 - \cos \beta}{2}.$$

4.3.1 Άμεση ακτινοβολία σε κάθετη προς αυτή επιφάνεια

Η άμεση ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε μια επιφάνεια κάθετη στις διεύθυνση των ακτίνων της υπολογίζεται από σχέση της μορφής:

$$I_{bn} = \frac{\pi}{24} \cdot \frac{\bar{H} - \bar{H}_d}{\int_0^{\omega_s} \sin \hat{a} \cdot e^{-B/\sin \hat{a}} \cdot d\omega}, \quad \text{όπου}$$

\bar{H} : η μέση ημερήσια ολική ακτινοβολία

\bar{H}_d : η μέση ημερήσια διάχυτη ακτινοβολία

ω_s : η ωριαία γωνία δύσης του ηλίου

B: ο συντελεστής απόσβεσης

\hat{a} : το ηλιακό ύψος για το οποίο ισχύει

$$\hat{a} = \arcsin(\cos \Phi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \sin \Phi \cdot \sin \delta)$$

Ένα άλλο μοντέλο, εκτός από αυτά της προηγούμενης παραγράφου για τον υπολογισμό της μέσης ημερήσιας διάχυτης ακτινοβολίας είναι το : $\bar{H}_d = \bar{K}_d \cdot H_o$

Οπού για τον υπολογισμό του \bar{K}_d , για το κλίμα των χωρών της μεσογείου προτείνεται η σχέση:

$$\bar{K}_d = 0.124 + 0.677 \cdot \bar{K}_T - 3.256 \cdot \bar{K}_T^2 + 6.881 \cdot \bar{K}_T^3 - 4.917 \cdot \bar{K}_T^4 - 0.427 \cdot \bar{K}_T^5$$

$$\text{με } \bar{K}_T = \frac{\bar{H}}{H_o}$$

Η άμεση ωριαία ηλιακή ακτινοβολία σε επιφάνεια κάθετη στις ακτίνες προσεγγίζεται και από τη σχέση (υπό συνθήκες διαυγούς ατμόσφαιρας):

$$I_{bn} = \frac{A}{\exp\left(\frac{B}{\sin \beta}\right)}, \text{ όπου}$$

A : η φαινόμενη ηλιακή ακτινοβολία για $m = 0$

B: ο συντελεστής ατμοσφαιρικής απόσβεσης

Η μεταβολή των ποσοτήτων A και B είναι διαρκής λόγω της αλλαγής της περιεκτικότητας σε σωματίδια και υδρατμό της ατμόσφαιρας, και της συνεχώς μεταβαλλόμενης απόστασης μεταξύ ήλιου και γης. Για τον υπολογισμό τους προτείνονται διάφορα μοντέλα, ενώ αυτό που προτείνεται για την Ελλάδα και πιο συγκεκριμένα για την περιοχή της Αθήνας είναι το παρακάτω:

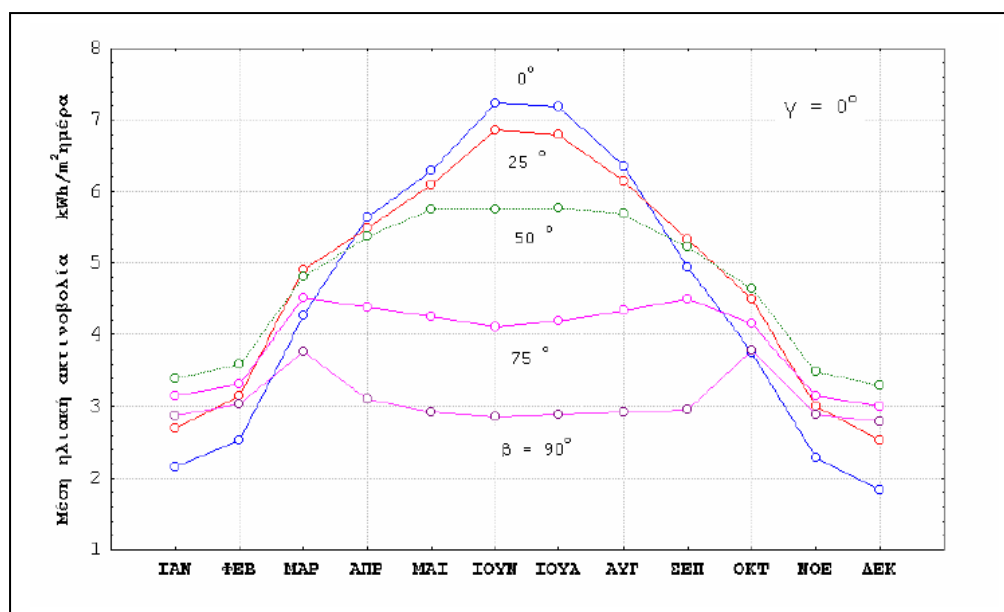
$$A = \sum_{i=0}^4 a_i \cdot n^i \quad \text{και} \quad B = \sum_{i=0}^4 b_i \cdot n^i, \quad \text{όπου}$$

n η μέρα του έτους (πίνακας 4.1.1), και a_i , b_i συντελεστές που δίνονται στον πίνακα 4.3.1.1

i	a_i	b_i
0	$0.11048968 \cdot 10^1$	0.12321833
1	$0.62310300 \cdot 10^{-3}$	$-0.24593090 \cdot 10^{-3}$
2	$-0.21655676 \cdot 10^{-4}$	$0.13219840 \cdot 10^{-4}$
3	$0.10841363 \cdot 10^{-6}$	$-0.67643523 \cdot 10^{-7}$
4	$-0.14720401 \cdot 10^{-9}$	$0.90926050 \cdot 10^{-10}$

4.3.2 Ο ρόλος της κλίσης της επιφάνειας

Οι δύο παράμετροι που παίζουν καθοριστικό ρόλο στο ποσό ακτινοβολίας που δέχεται μια επιφάνεια, είναι η κλίση και ο προσανατολισμός αυτής. Ο προσανατολισμός θα αναλυθεί σε ιδιαίτερο κεφάλαιο, ενώ όσον αφορά τη κλίση, δηλαδή τη γωνία β που σχηματίζει η επιφάνεια με το οριζόντιο επίπεδο, ο γενικό κανόνας που ισχύει για τη μέγιστη ετήσια ενέργεια είναι η κλίση να είναι ίση με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής. Για τη μέγιστη ενέργεια τους θερινούς μήνες ένας εμπειρικός κανόνας ορίζει γωνία κλίσης μειωμένη κατά 15° περίπου από το γεωγραφικό πλάτος, ενώ τους χειμερινούς 15° αυξημένη σε σχέση με το γεωγραφικό πλάτος. Στη περίπτωση βέβαια κτιριακών εφαρμογών οι επιφάνειες είναι ως επί το πλείστον κάθετες και οριζόντιες, και μερικές κεκλιμένες σε περιπτώσεις κτιρίων με κεραμοσκεπές. Σε περιπτώσεις μόνο κτιρίων που κατασκευάζονται σύμφωνα με τις αρχές της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής, υπάρχει κάποια μελέτη για τη γωνία κλίσης των οροφών ή κάποιων στοιχείων της οικοδομής, για την όσο το δυνατόν καλύτερη εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας.

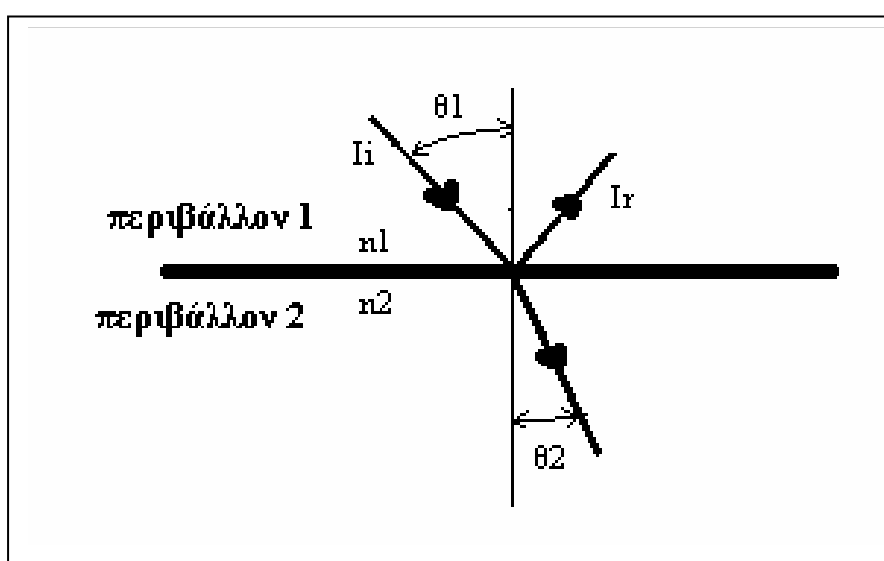


Σχήμα 4.3.2.1: Μέση ηλιακή ακτινοβολία για τους μήνες του έτους, που δέχονται επιφάνειες διαφόρων κλίσεων β . Οι επιφάνειες είναι νότιου προσανατολισμού ($\gamma=0$) σε γεωγραφικό πλάτος $\Phi = 38^\circ$ και συντελεστή ανάκλασης $\rho = 0,2$.

5. Η ακτινοβολία σε κλειστό χώρο.

5.1 Ανάκλαση της ακτινοβολίας

Στην περίπτωση που η ακτινοβολία μεταδίδεται από το περιβάλλον 1 στο περιβάλλον 2, διαμέσου μιας γυαλιστερής επιφάνειας, όπως ένα τζάμι, παρατηρείται ανάκλαση όπως απεικονίζεται στο σχήμα 5.1.1.



Σχήμα 5.1.1: Ανάκλαση ακτινοβολίας διαμέσου μιας γυαλιστερής επιφάνειας

Η κάθετη συνιστώσα της ακτινοβολίας είναι: $r_{καθ} = \frac{\sin^2(\theta_2 - \theta_1)}{\sin^2(\theta_2 + \theta_1)}$

ενώ η παράλληλη συνιστώσα είναι: $r_{παρ} = \frac{\tan^2(\theta_2 - \theta_1)}{\tan^2(\theta_2 + \theta_1)}$, όπου:

θ_1 : η γωνία πρόσπτωσης στην επιφάνεια σύμφωνα με το σχήμα 5.1.1

θ_2 : η γωνία διάθλασης.

Η ανάκλαση περιγράφεται από τη σχέση: $r = \frac{I_r}{I_i} = \frac{1}{2} \cdot (r_{καθ} + r_{παρ})$

Αν n_1 και n_2 είναι οι δείκτες διάθλασης του κάθε περιβάλλοντος τότε η σχέση τους με τις γωνίες πρόσπτωσης και διάθλασης περιγράφονται από την αναλογία:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1}$$

Για περιπτώσεις που θ_1 και θ_2 μαζί είναι 0 τότε $r_{(0)} = \frac{I_r}{I_i} = \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right)^2$

και σε περίπτωση που το ένα περιβάλλον είναι αέρας τότε προκύπτει η σχέση:

$$r_{(0)} = \frac{I_r}{I_i} = \left(\frac{n-1}{n+1} \right)^2$$

5.2 Απορρόφηση υαλοκατασκευής

Μετά την πρόσπτωση της ακτινοβολίας σε μια επιφάνεια όπως ένα τζάμι, ένα μέρος της ακτινοβολίας απορροφάτε από την επιφάνεια, σε ποσοστό που εξαρτάται από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του υλικού (κύριο χαρακτηριστικό το πόσο διαυγές είναι το τζάμι). Η απορρόφηση της ακτινοβολίας ακολουθεί το νόμο του Bouguer:

$$dI = -I \cdot K \cdot dx \quad , \quad \text{όπου}$$

I : η ένταση της ακτινοβολίας

x : η απόσταση που διανύει η ακτινοβολία στο συγκεκριμένο περιβάλλον

K : συντελεστής που εξαρτάται από το υλικό της επιφάνειας απορρόφησης.

Η τελική εξίσωση που προκύπτει είναι η :

$$\tau_a = \frac{I_{trans}}{I_{inc}} = \exp\left(-\frac{K \cdot L}{\cos \theta_2}\right) \quad , \quad \text{όπου:}$$

I_{trans} : η ακτινοβολία που μεταδίδεται μέσα από την επιφάνεια

I_{inc} : η ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια

L : το πάχος της επιφάνειας

θ_2 : η γωνία διάθλασης

Ο δείκτης α υποδεικνύει ότι έχουν συμπεριληφθεί μόνο οι απώλειες απορρόφησης.

Πρέπει να επισημανθεί ότι η απορροφητικότητα και η ανάκλαση της ακτινοβολίας που δημιουργείται σε μια επιφάνεια είτε πρόκειται για κάποιον υαλοπίνακα, είτε για έναν απλό τοίχο του κτιρίου, εξαρτάται από αρκετούς παράγοντες εκτός από το υλικό. Ο χρωματισμός της επιφάνειας έχει καθοριστικό ρόλο για παράδειγμα, καθώς είναι γνωστό ότι τα σκούρα χρώματα βοηθούν στην απορρόφηση μεγαλύτερου ποσού ακτινοβολίας, ενώ τα ανοιχτά χρώματα επιτυγχάνουν μεγαλύτερα ποσοστά ανάκλασης. Ακόμα και παροδικοί παράγοντες όπως το πόσο καθαρή είναι μια επιφάνεια σε μία συγκεκριμένη στιγμή (π.χ. ύπαρξη σκόνης σε ένα τζάμι) επηρεάζουν σε κάποιο βαθμό, ενώ τέλος όπως αναφέρθηκε ήδη και θα αναλυθεί και παρακάτω, πολύ σημαντική είναι η κλίση και ο προσανατολισμός της επιφάνειας.

5.3 Απορρόφηση χώρων δωματίων

Όταν η ακτινοβολία εισέρχεται σε ένα κλειστό χώρο, όπως ένα δωμάτιο, του οποίου κάποιες επιφάνειες καλύπτονται από παράθυρα, τότε ένα μέρος της ακτινοβολίας απορροφάται από το χώρο αυτό (εκεί βασίζονται και τα παθητικά συστήματα θέρμανσης άμεσου κέρδους). Η εξίσωση που περιγράφει την απορρόφηση αυτή είναι:

$$\tau_c a_{eff} = \tau_c \cdot \frac{a_i}{a_i + (1 - a_i) \cdot \tau_d \cdot \frac{A_a}{A_i}}, \text{ όπου:}$$

τ_c : η μεταδοτικότητα μιας γυαλιστερής επιφάνειας στην προσπίπτουσα ακτινοβολία

τ_d : η μεταδοτικότητα της διάχυτης ακτινοβολίας (που προέρχεται από ανάκλαση στις εσωτερικές επιφάνειες ενός χώρου)

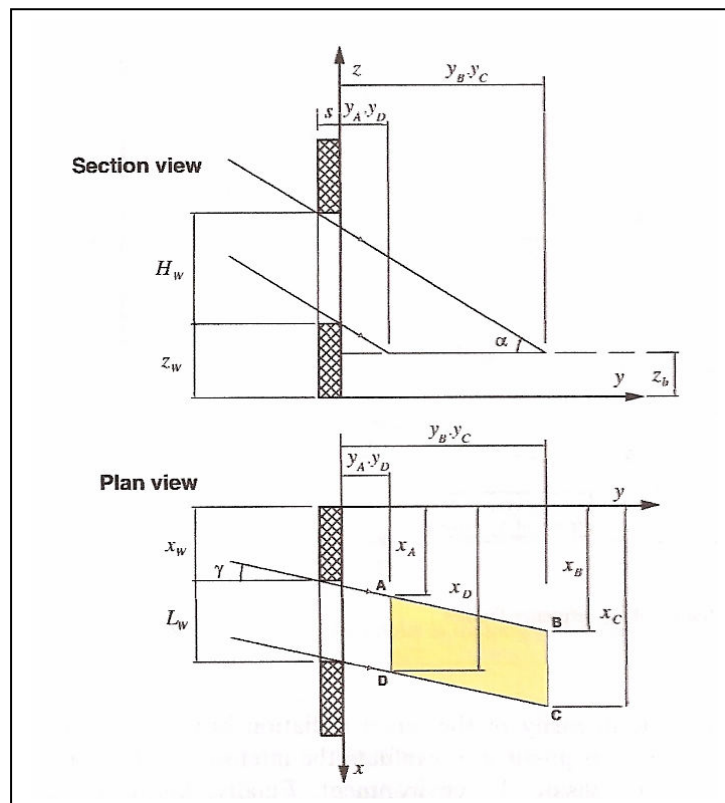
A_a : το εμβαδό της επιφάνειας των παραθύρων

A_i : το εμβαδό της εσωτερικής επιφάνειας

a_i : η απορροφητικότητα της εσωτερικής επιφάνειας του χώρου. Επειδή συνήθως ένας χώρος αποτελείται από επιφάνειες με διαφορετικές τιμές απορροφητικότητας, χρησιμοποιείται ένα μέσο a_i .

5.4 Ζώνη επιρροής ακτινοβολίας σε κλειστό χώρο.

Μεγάλη σημασία όσον αφορά τη θερμική άνεση ενός κλειστού χώρου έχουν οι περιοχές που βρίσκονται υπό την επίρεια ακτινοβολίας. Άλλωστε όπως έχει αποσαφηνιστεί είναι καθοριστικής σημασίας η θέση ενός ατόμου στο χώρο, και η έκθεση του σε ακτινοβολία. Έτσι πρέπει να καθοριστεί η εκτιθέμενη ζώνη από την ηλιακή ακτινοβολία που εισέρχεται από ένα παράθυρο όπως αυτό του σχήματος 5.4.1.



Σχήμα 5.4.1: Εκτιθέμενη στην ηλιακή ακτινοβολία ζώνη κλειστού χώρου

Ο παράγοντας z_b αντιπροσωπεύει το ύψος ενός ακτινοβολουμένου αντικειμένου, ή ενός ανθρώπου εκτιθέμενου σε ακτινοβολία, και οι συνήθεις τιμές του είναι 0,6 m για κάποιο καθήμενο άτομο, ή 1,1 m για όρθιο άτομο. Οι εξισώσεις υπολογισμού των συντεταγμένων της ζώνης έκθεσης σε ακτινοβολία είναι:

$$x_A = x_W + \left(\frac{z_W - z_b}{\tan a} \cdot \cos \gamma + \frac{s}{2} \right) \cdot \tan \gamma + \left| \frac{s}{2} \cdot \tan \gamma \right|$$

$$y_A = \frac{z_W - z_b}{\tan a} \cdot \cos \gamma$$

$$x_B = x_W + \left(\frac{H_W + z_W - z_b}{\tan a} - \frac{s}{2} \right) \cdot \tan \gamma + \left| \frac{s}{2} \cdot \tan \gamma \right|$$

$$y_B = \frac{H_W + z_W - z_b}{\tan a} \cdot \cos \gamma - s$$

$$x_C = x_W + L_W + \left(\frac{H_W + z_W - z_b}{\tan a} \cdot \cos \gamma - \frac{s}{2} \right) \cdot \tan \gamma - \left| \frac{s}{2} \cdot \tan \gamma \right|$$

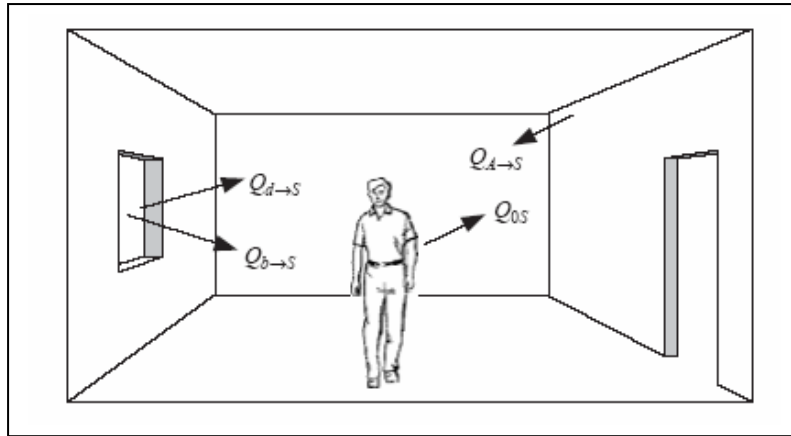
$$y_C = \frac{H_W + z_W - z_b}{\tan a} \cdot \cos \gamma - s$$

$$x_D = x_W + L_W + \left(\frac{z_W - z_b}{\tan a} \cdot \cos \gamma + \frac{s}{2} \right) \cdot \tan \gamma - \left| \frac{s}{2} \cdot \tan \gamma \right|$$

$$y_D = \frac{z_W - z_b}{\tan a} \cdot \cos \gamma$$

5.5 Συναλλαγή ακτινοβολίας ανθρώπινου σώματος σε κλειστό χώρο.

Θεωρείται ένας άνθρωπος που βρίσκεται σε ένα κλειστό χώρο (αντίστοιχη θεώρηση θα μπορούσε να γίνει όταν αντί για ένα ανθρώπινο σώμα βρισκόταν κάποιο αντικείμενο), ο οποίος εκτίθεται σε άμεση ηλιακή ακτινοβολία, ενώ από το παράθυρο εισέρχεται και διάχυτη ακτινοβολία. Από τους γύρω τοίχους ο άνθρωπος δέχεται επίσης θερμική ακτινοβολία όπως περιγράφεται στο σχήμα 5.5.1.



Σχήμα 5.5.1: Συναλλαγή ακτινοβολίας σε κλειστό χώρο

Αν η απορροφητικότητα του ανθρωπίνου σώματος (ή του αντικειμένου) είναι a_s , τότε η εξίσωση που περιγράφει την καθαρή ενέργεια που αποβάλλεται από αυτό είναι:

$$Q_s = Q_{os} - a_s \cdot (Q_{A \to s} + Q_{d \to s} + Q_{b \to s}) \quad , \quad \text{όπου:}$$

Q_{os} : η ακτινοβολούμενη ροή θερμότητας από το ανθρώπινο σώμα (ή το αντικείμενο)

$Q_{A \to s}$: η ακτινοβολία που δέχεται από τις επιφάνειες του χώρου (τοιχούς, οροφή, δάπεδο)

$Q_{b \to s}$: η άμεση ηλιακή ακτινοβολία που εισέρχεται στο χώρο από τα παράθυρα

$Q_{d \to s}$: η διάχυτη ακτινοβολία που εισέρχεται από τα παράθυρα

Σύμφωνα και με τα όσα αναλύθηκαν στο κεφάλαιο 3 (μεταξύ ανθρωπίνου σώματος και περιβάλλοντος), είναι δυνατή ανάλυση των όρων της παραπάνω εξίσωσης.

$$Q_{os} = \sigma \cdot e_s \cdot A_r \cdot T_{cl}^4 \quad , \quad \text{όπου}$$

e_s : ο συντελεστής εκπομπής του ανθρωπίνου σώματος

A_r : η δραστική επιφάνεια του ανθρωπίνου σώματος

T_{cl} : η μέση θερμοκρασία των ρούχων.

$$Q_{A \rightarrow S} = \sum_{i=1}^N F_{i \rightarrow S} \cdot A_i \cdot (\sigma \cdot \varepsilon_i \cdot T_i^4 + \rho_i \cdot G_i) , \text{ όπου}$$

$F_{i \rightarrow S}$: ο συντελεστής γωνίας μεταξύ ανθρώπου ή αντικειμένου και της επιφάνειας

G_i : η ακτινοβολία που προσπίπτει στην κάθε μια επιφάνεια.

Ο δείκτης i συμβολίζει κάθε μια από τις N επιφάνειες του χώρου.

Με τη θεώρηση ότι ο συντελεστής όρασης επιφάνειας – ανθρώπου $F_{i \rightarrow S}$ ταυτίζεται με τον συντελεστή όρασης ανθρώπου επιφάνειας $F_{S \rightarrow i}$ τότε

$$Q_{A \rightarrow S} = \sigma \cdot A_r \cdot \sum_{i=1}^N F_{S \rightarrow i} \cdot T_i^4$$

Με όμοια ανάλυση προκύπτει: $Q_{d \rightarrow S} = A_r \cdot \sum_{j=1}^M F_{S \rightarrow j} \cdot I_{dj}$, όπου

$F_{S \rightarrow j}$: ο συντελεστής γωνίας μεταξύ αντικειμένου ή ανθρώπου και υαλοπίνακα

I_{dj} : η διάχυτη ακτινοβολία που εισέρχεται από το κάθε παράθυρο

Ο δείκτης j συμβολίζει κάθε ένα από τα M παράθυρα του χώρου.

$$Q_{b \rightarrow S} = A_p \cdot I_b \text{ όπου}$$

A_p : η προσβαλλομένη επιφάνεια από άμεση ακτινοβολία I_b .

Αντικαθιστώντας τις παραπάνω αναλύσεις προκύπτει η τελική σχέση:

$$Q_S = \sigma \cdot \varepsilon_S \cdot A_r \cdot T_{cl}^4 - a_S \cdot \left[\sigma \cdot A_r \cdot \sum_{i=1}^N F_{S \rightarrow i} \cdot T_i^4 + A_r \cdot \sum_{j=1}^M F_{S \rightarrow j} \cdot I_{dj} + A_p \cdot I_b \right]$$

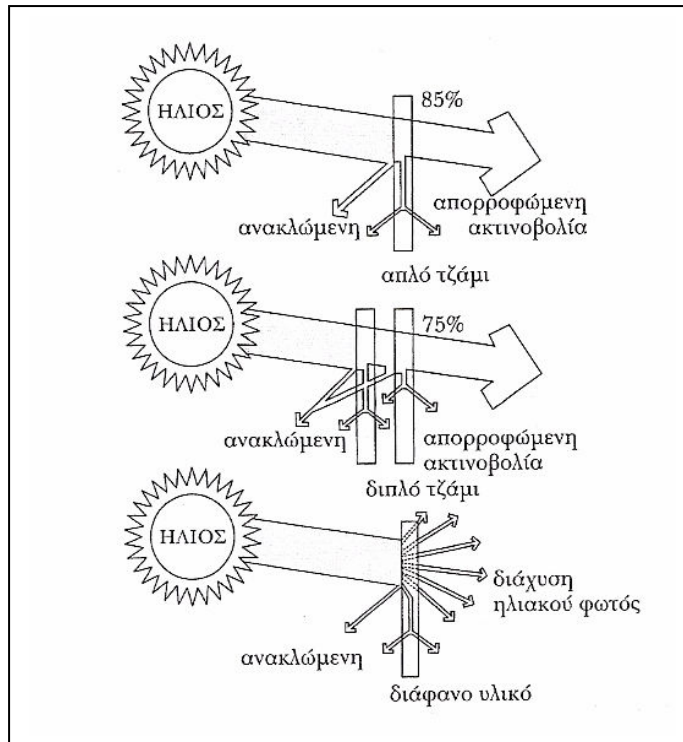
6. Η μετάδοση μέσω των υαλοπινάκων

6.1 Οι υαλοπίνακες

Η θερμική άνεση ενός χώρου επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την ύπαρξη επιφανειών από διάφανα υλικά, όπως είναι τα παράθυρα. Οι υαλοπίνακες χαρακτηρίζονται από την ιδιότητά τους να επιτρέπουν στην ηλιακή ακτινοβολία να περνά μέσα από τη μάζα τους, σε βαθμό που εξαρτάται από τη γωνία πρόσπτωσης, το μήκος κύματος της ακτινοβολίας, και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, όπως το υλικό κατασκευής (η χημική σύσταση), το πάχος, η ύπαρξη επιφανειακής επίστρωσης κλπ.

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε μια γυάλινη επιφάνεια διασπάται σε τρία μέρη, εκ των οποίων το ένα ανακλάται πίσω στο εξωτερικό περιβάλλον, ένα μέρος αποθηκεύεται υπό μορφή θερμότητας στο εσωτερικό του υαλοπίνακα, και το τρίτο μέρος διαπερνά τη μάζα του υλικού και αποτελεί την ακτινοβολία που τελικά εισέρχεται στο εσωτερικό του δωματίου. Η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει πάνω στην επιφάνεια του υαλοπίνακα είναι αποτέλεσμα της άμεσης ακτινοβολίας, της διάχυτης, και της διάχυτης που προέρχεται από ανάκλαση στο έδαφος ή στις γύρω επιφάνειες. Η επίδραση στην θερμική άνεση της διάχυτης ακτινοβολίας είναι σημαντική, αλλά σαφώς μικρότερη από την άμεση ακτινοβολία.

Σημαντική ιδιότητα των υαλοπινάκων είναι το ότι δεν επιτρέπουν να διαπεράσει από τη μάζα τους η ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος, όπως αυτή που εκπέμπεται από σώματα θερμοκρασίας μικρότερης των 120°C που συνήθως υπάρχουν σε έναν χώρο. Η ηλιακή ακτινοβολία που εισέρχεται στο χώρο προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας των επιφανειών και αντικειμένων που εκτίθενται σε αυτή, τα οποία μόλις η θερμοκρασία τους αποκτήσει τιμή μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του χώρου, εκπέμπουν ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος, εκ της οποίας ένα ποσοστό ανακλάται από τον υαλοπίνακα πίσω στον εσωτερικό χώρο, και το υπόλοιπο απορροφάτε από αυτόν με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του. Το αποτέλεσμα είναι η αύξηση της εσωτερικής θερμοκρασίας, κάτι στο οποίο βασίζεται το φαινόμενο του θερμοκηπίου.



Σχήμα 6.1.1: Ηλιακή ακτινοβολία δια μέσου υαλοπινάκων και διαφανών επιφανειών.

Τα στοιχεία που χαρακτηρίζουν έναν υαλοπίνακα είναι η διαπερατότητα τ , η η απορροφητικότητα α και η ανακλαστικότητα ρ . Αυξανόμενη της γωνίας πρόσπτωσης της ακτινοβολίας, μειώνεται η διαπερατότητα και αυξάνεται η ανακλαστικότητα. Η απορροφητικότητα αρχικά αυξάνεται (λόγω αύξησης της διαδρομής της ακτινοβολίας μέσα στη μάζα του υαλοπίνακα), αλλά στη συνέχεια μειώνεται αφού λόγω της μεγαλύτερης ανάκλασης μειώνεται η ποσότητα που εισέρχεται στην εσωτερική μάζα του υαλοπίνακα.

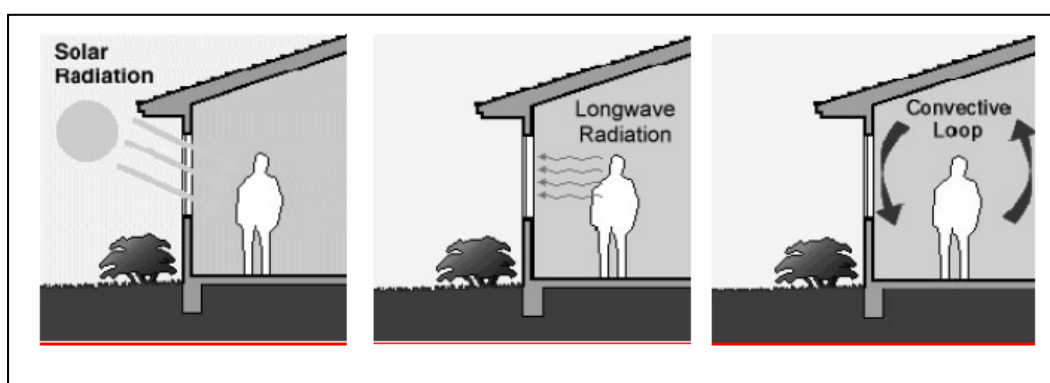
Γενικά το συνολικό άθροισμα των παραπάνω τριών οπτικών ιδιοτήτων ισούται με τη μονάδα, ενώ για τη διάχυτη ακτινοβολία οι τιμές τους ορίζονται κατά προσέγγιση ίσες με αυτές της άμεσης υπό γωνία πρόσπτωσης 60° .

6.2 Η επίδραση των υαλοπινάκων στη θερμική άνεση

Είναι εύκολα αντιληπτό ότι όσο πιο κοντά σε ένα παράθυρο βρίσκεται κάποιος άτομο, τόσο μεγαλύτερο είναι το αίσθημα της έλλειψης θερμικής άνεσης που αισθάνεται. Την ίδια δυσφορία προκαλεί συνήθως και η αύξηση της επιφάνειας του υαλοπίνακα. Σε αντίθεση με αυτή την κατάσταση όμως η ύπαρξη μεγάλων παραθύρων έχει σημαντικά οφέλη στην οπτική και ψυχολογική άνεση των παρευρισκομένων εντός του χώρου.

Ένα παράθυρο επηρεάζει τη θερμική άνεση κατά τρεις κυρίως τρόπους:

- Λόγω της μετάδοσης ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό
- Λόγω εκπομπών θερμικής ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος προς το εσωτερικό, ύστερα από αύξηση της θερμοκρασίας της εσωτερικής επιφάνειας του υαλοπίνακα.
- Λόγω της δημιουργίας ρεύματος αέρα που δημιουργείται από τη διαφορά θερμοκρασίας στην επιφάνεια του υαλοπίνακα, και μεταξύ επιφανείας και εσωτερικού χώρου.



Σχήμα 6.2.1: Ο τρόπος επίδρασης των παραθύρων στην εσωτερική θερμική άνεση

Η ακτινοβολία που διαπερνά τον υαλοπίνακα στο εσωτερικό του δωματίου προκαλεί ενόχληση όταν κάποιο άτομο είναι εκτεθειμένο άμεσα σε αυτή. Στη περίπτωση μιας κρύας χειμωνιάτικης ημέρας η έκθεση στην άμεση ακτινοβολία ενός ατόμου, μπορεί να προσφέρει την αίσθηση της ευχαρίστησης για κάποιο χρονικό διάστημα. Το καλοκαίρι όμως η ενόχληση που δημιουργείται είναι άμεση. Οι Hausler και Berger υπέδειξαν ότι η έκθεση σε άμεση ηλιακή ακτινοβολία σε θερμοκρασία μεγαλύτερη των 22°C προκαλεί έλλειψη άνεσης.

Η επίδραση της άμεσης ακτινοβολίας υφίσταται αφ' ενός από την απορρόφηση της από το ανθρώπινο σώμα και αφ' ετέρου από την αύξηση της θερμοκρασίας του εσωτερικού αέρα και των εσωτερικών επιφανειών του χώρου. Ο βαθμός που προκαλεί ενόχληση πάνω στο σώμα, εξαρτάται από την απορροφητικότητα των ρούχων, το χρωματισμό τους και το υλικό κατασκευής τους. Ακόμα εξαρτάται από το χρώμα της ανθρώπινης επιδερμίδας. Γενικά η λευκή επιδερμίδα έχει χαμηλότερη απορροφητικότητα από τη σκούρα, ανάλογα με το μήκος κύματος της ακτινοβολίας στην οποία εκτίθενται. Σε μήκη κύματος για παράδειγμα 0,4 – 0,7 μm η απορροφητικότητα του λευκού δέρματος είναι 0,5 ενώ του σκούρου 0,74. Σε μήκη κύματος μικρότερα από 0,4μm ή μεγαλύτερα από 2 μm οι διαφορές είναι αμελητέες. Η ευαισθησία του δέρματος σε ακτινοβολία είναι μεγαλύτερη στα μήκη κύματος 0,3 – 0,8 μm και 1,7 – 2,3 μm, και μικρότερη στα μήκη κύματος 0,8 – 1,35 μm.

Πολύ σημαντική είναι η θέση του ατόμου μέσα το χώρο, ώστε να βρίσκεται σε σημείο που να μην εκτίθεται την άμεση ηλιακή ακτινοβολία. Ένας άνθρωπος που κάθεται κοντά σε κάποιο παράθυρο και δέχεται την ακτινοβολία μπορεί να αντιληφθεί το θερμικό κέρδος με τη μορφή μιας αύξησης της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας κατά περίπου 11°C. Όπου είναι δυνατόν ο άνθρωπος πρέπει να μετακινείται ώστε να βγαίνει εκτός του πεδίου έκθεσης το οποίο μεταβάλλεται με το πέρασμα της ώρας καθώς αλλάζει η γωνία πρόσπτωσης της ακτινοβολίας στο τζάμι (παράγραφος 5.4). όμως όπως είναι λογικό υπάρχουν περιπτώσεις όπου ο άνθρωπος δεν μπορεί να αλλάζει συνεχώς το σημείο εργασίας του, ή οι επιφάνειες των παραθύρων είναι τόσο μεγάλες που τα σημεία του δωματίου που βρίσκονται εκτός της ζώνης επιρροής είναι ελάχιστα. Σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνικές εμπόδισης της ακτινοβολίας, με διάφορους τρόπους σκίασης ή με ειδικές επιστρώσεις στις επιφάνειες των υαλοπινάκων.

Η θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας ενός υαλοπίνακα έχει άμεση σχέση με το εξωτερικό περιβάλλον του χώρου, και επηρεάζει τη συναλλαγή θερμότητας ακτινοβολίας του ανθρώπου με το περιβάλλον του. Η άνοδος της θερμοκρασίας προκαλείται από την απορρόφηση ενός ποσοστού της ακτινοβολίας που προσπίπτει στην εξωτερική επιφάνεια του υαλοπίνακα, και στην απορρόφηση ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος που δέχεται από το εσωτερικό. Οι παράγοντες που καθορίζουν τη θερμοκρασία αυτή είναι τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του υαλοπίνακα, η εξωτερική θερμοκρασία, ο άνεμος, η εσωτερική θερμοκρασία του αέρα και των επιφανειών, η εσωτερική και εξωτερική υγρασία. Φυσικά το ποσό της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας, τα ποσοστά αυτής σε διάχυτη, άμεση και εξ' ανακλάσεως, και οι γωνίες πρόσπτωσης καθώς και ο προσανατολισμός της επιφάνειας.

Σύμφωνα με έρευνα (Schutrum et al.) αύξηση της θερμοκρασίας του υαλοπίνακα από τους 3°C στους 48°C (που αντιστοιχεί σε αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα του εσωτερικού από 23,7°C σε 24,3 °C) σε μια ημέρα με νέφωση, προκαλεί μεταβολή κατά 1.1 μονάδα στην επταβάθμια κλίμακα της ASHRAE (παράγραφος 2.5.4), από τη διαβάθμιση ψυχρό στο ουδέτερο περιβάλλον. Σε μια ημέρα με ηλιοφάνεια μια αύξηση της θερμοκρασίας του υαλοπίνακα στους 31,7°C προκαλεί μεταβολή κατά 2,5 μονάδες στην κλίμακα. Το καλοκαίρι η εσωτερική επιφάνεια μπορεί να φτάσει και θερμοκρασίες πάνω από τους 50 °C προκαλώντας αύξηση της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας στο χώρο κατά περίπου 8°C. Σε μια αρκετά κρύα ημέρα η θερμοκρασία μπορεί να πέσει σε πολύ χαμηλά επίπεδα, ακόμα και σε θερμοκρασίες -9°C για μονό τζάμι ή 4°C για διπλό, προκαλώντας μέσες θερμοκρασίες ακτινοβολίας 13°C και 17°C αντίστοιχα.

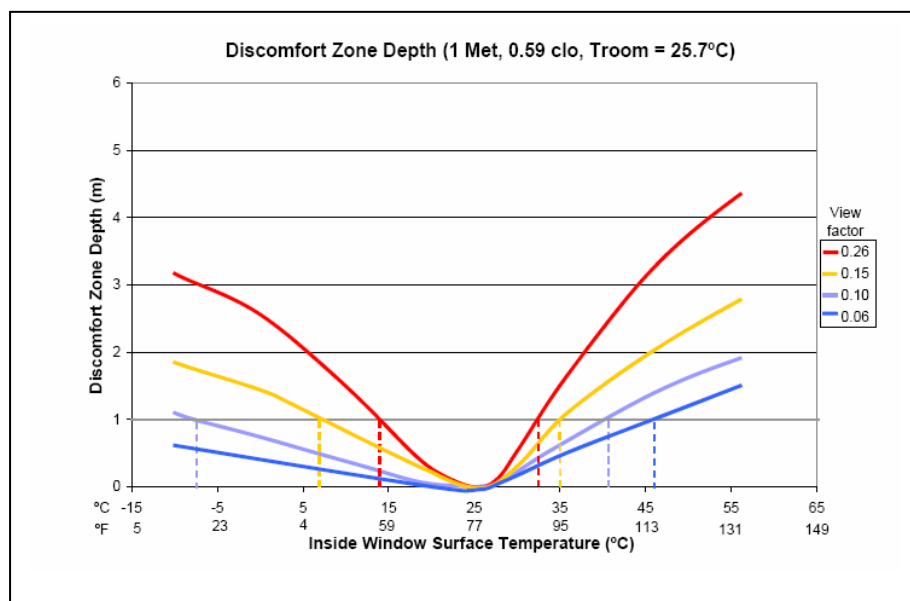
Η διαφορά θερμοκρασίας στην επιφάνεια του υαλοπίνακα, και μεταξύ αυτής και του εσωτερικού περιβάλλοντος προκαλούν ρεύματα αέρα τα οποία αν προστεθούν και στην ήδη υπάρχουσα ροή αέρα σε ένα χώρο (λόγω αερισμού), μπορούν να προκαλέσουν συνθήκες έλλειψης άνεσης. Η έλλειψη άνεσης είναι συνήθως αντιληπτή στα άνω σημεία του σώματος, όπως το κεφάλι, οι ώμοι και ο λαιμός.

Η ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος από ένα παράθυρο, επιδρά στη συναλλαγή θερμότητας μεταξύ του σώματος και του περιβάλλοντος χώρου, ενώ ακόμα και σε συνθήκες θερμικής ουδετερότητας, τα ασύμμετρα πεδία ακτινοβολίας που δημιουργούνται προκαλούν έλλειψη άνεσης σε κάποια σημεία του σώματος.

6.3 Ζώνες έλλειψης άνεσης λόγω παραθύρων

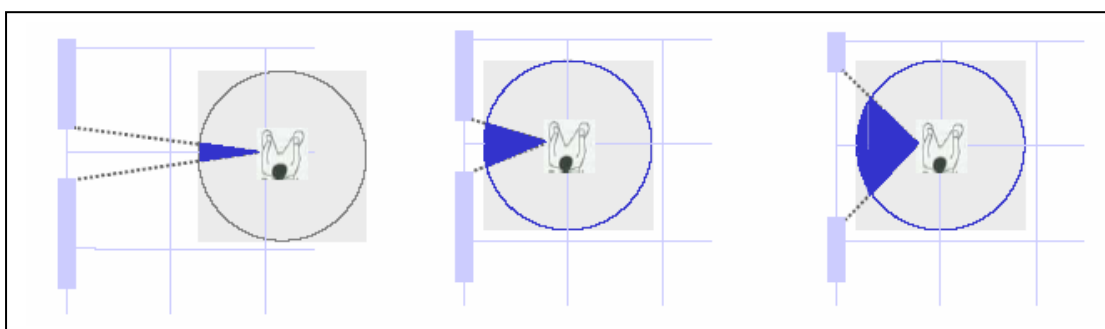
Στη περίπτωση που κάποιο άτομο είναι προστατευμένο από την έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία, ο κύριος παράγοντας έλλειψης άνεσης είναι η μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία που δέχεται από ένα παράθυρο. Έτσι είναι σημαντική η επιλογή του κατάλληλου τζαμιού, με την κατάλληλη απορροφητικότητα, από την οποία εξαρτάται η θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας.

Καθοριστική είναι η θέση του ατόμου ως προς την επιφάνεια του παραθύρου. Όσο πλησιάζει προς αυτήν τόσο μεγαλύτερη είναι η επίδραση που αισθάνεται. Η απόσταση από την εσωτερική επιφάνεια του υαλοπίνακα που κρίνεται αναγκαία για την εξασφάλιση άνεσης ορίζει το βάθος της ζώνης έλλειψης άνεσης. Όταν η θερμοκρασία του παραθύρου είναι σταθερή η ζώνη έλλειψης άνεσης αυξάνει όσο αυξάνει η επιφάνεια του υαλοπίνακα, ενώ όταν η επιφάνεια είναι σταθερή η έλλειψη άνεσης εξαρτάται από τη θερμοκρασία .



Σχήμα 6.3.1: Ζώνη έλλειψης άνεσης (για διάφορους συντελεστές όρασης)

Ο τρόπος έκφρασης της επίδρασης της θέσης του ατόμου μέσα στο χώρο είναι με το συντελεστή όρασης, που βοηθάει στην ποσοτικοποίηση της ακτινοβολίας που συναλλάσσεται μεταξύ του ανθρώπου και του παραθύρου. Όσο μεγαλύτερη τιμή έχει αυτός ο συντελεστής τόσο μεγαλύτερη επιρροή έχει η επιφάνεια στην έλλειψη άνεσης του ατόμου. Ο συντελεστής όρασης αυξάνεται είτε με μετακίνηση πιο κοντά στο παράθυρο, είτε με αύξηση της επιφανείας αυτού.



Σχήμα 6.3.2: Ο συντελεστής όρασης εκφράζει τη θέση στο χώρο. Όσο πιο κοντά στο παράθυρο ή όσο αυξάνει η επιφάνεια αυτού, τόσο μεγαλώνει η τιμή του συντελεστή.

Έχει παρατηρηθεί ότι τετράγωνα ή φαρδιά παράθυρα προκαλούν συνθήκες έλλειψης άνεσης σε μεγαλύτερο βαθμό σε σχέση με τις πιο στενές επιφάνειες υαλοπινάκων, ενώ είναι προτιμότερο η ίδιας έκτασης επιφάνεια υαλοπίνακα να αποτελείται μικρότερα και περισσότερα παράθυρα, παρά από ένα μεγάλης επιφάνειας, διότι επιτυγχάνονται καλύτερα αποτελέσματα άνεσης.

Τοπική έλλειψη άνεσης εκτός από τα παράθυρα μπορεί να προκαλείται και λόγω του ασύμμετρου πεδίου ακτινοβολίας από τους τοίχους την οροφή και τα πατώματα. Η τοπική έλλειψη άνεσης έχει αναλυθεί στο κεφάλαιο της άνεσης και αναλύεται συγκεκριμένα λόγω της επίδρασης του ασύμμετρου πεδίου στη παράγραφο 6.10.

6.4 Χαρακτηριστικές οπτικές ιδιότητες για χειμώνα - καλοκαίρι

Όπως αναφέρθηκε στις προηγούμενες παραγράφους τους κρύους χειμερινούς μήνες την μεγαλύτερη επίδραση στην θερμική άνεση λόγω των υαλοπινάκων την προκαλεί η εξωτερική θερμοκρασία. Η θερμοκρασία αυτή συνδέεται με τη θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας και με την ολική θερμική διαπερατότητα U του υαλοπίνακα. Συνεπώς ένας τρόπος αξιολόγησης και κατάταξης των υαλοπινάκων είναι η ελάχιστη εξωτερική θερμοκρασία υπό την οποία ένα άτομο αισθάνεται άνετα καθήμενο κοντά στην εσωτερική επιφάνεια του παραθύρου.

Τους ζεστούς καλοκαιρινούς μήνες ο κύριος παράγοντας είναι η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στο παράθυρο, ενώ η εξωτερική θερμοκρασία έχει σημαντικά μειωμένη επίδραση. Οι δυο παράγοντες που χαρακτηρίζουν έναν υαλοπίνακα είναι η εκπομπή άμεσης ακτινοβολίας T_{sol} και ο δείκτης $SHGC_{indirect}$. Ο T_{sol} εκφράζει το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που εκπέμπεται άμεσα δια μέσω του παραθύρου και προσπίπτει στο ανθρώπινο σώμα. Ο $SHGC_{indirect}$ εκφράζει την ηλιακή ενέργεια που απορροφάτε από τον υαλοπίνακα και στη συνέχεια εκπέμπεται στο εσωτερικό με ακτινοβολία και συναγωγή. Η σχέση που συνδέει τα παραπάνω μεγέθη με τον συντελεστή θερμικού ηλιακού κέρδους $SHGC$ (Solar Heat Gain Coefficient) είναι:

$$SHGC_{indirect} = SHGC - T_{sol} = N \cdot A, \text{ όπου}$$

A: απορροφητικότητα ηλιακής ακτινοβολίας

N: κλάσμα εσωτερικής διαχεομένης ηλιακής ακτινοβολίας

Γενικά ισχύει, για τους καλοκαιρινούς μήνες, για την επίτευξη συνθηκών άνεσης :

$$SHGC_{comfort} = T_{sol} + k \cdot SHGC_{indirect}, \text{ όπου}$$

k: συντελεστής του έμμεσου ηλιακού κέρδους, που εξαρτάται από την έκταση όπου ο άνθρωπος εκτίθεται σε άμεση ή σε διάχυτη ακτινοβολία, ή σε συνδυασμό τους.

Ο συντελεστής k έχει άμεση εξάρτηση από το συντελεστή όρασης μεταξύ ανθρώπου και επιφάνειας παραθύρου. Παίρνει μικρότερες τιμές όταν ο άνθρωπος είναι εκτεθειμένος σε άμεση ηλιακή ακτινοβολία, και ακόμα μικρότερες τιμές όσο μειώνεται η τιμή του συντελεστή όρασης.

Στη περίπτωση που ο άνθρωπος εκτίθεται μόνο στη διάχυτη ακτινοβολία με την θεώρηση ότι αποφεύγεται η άμεση ακτινοβολία είτε με τεχνικές εμπόδισης της (σκίαση), είτε με συνεχή μεταβολή της θέσης του ατόμου εκτός πεδίου έκθεσης, τότε ο συντελεστής k παίρνει τη τιμή 4,4 και η παραπάνω σχέση γράφεται:

$$SHGC_{\text{comfort}} = T_{\text{sol}} + 4,4 \cdot SHGC_{\text{indirect}}$$

Στη περίπτωση που ο άνθρωπος εκτίθεται σε άμεση ηλιακή ακτινοβολία, η τιμή του $SHGC_{\text{indirect}}$ χαρακτηρίζει την αύξηση της θερμοκρασίας της εσωτερικής επιφάνειας του παραθύρου λόγω ηλιακής ακτινοβολίας, η τιμή του k γίνεται 2,4 και η σχέση γράφεται:

$$SHGC_{\text{comfort}} = T_{\text{sol}} + 2,4 \cdot SHGC_{\text{indirect}}$$

Στην πρώτη περίπτωση έχει θεωρηθεί ότι ο άνθρωπος κάθεται σε απόσταση ενός μέτρου από υαλοπίνακα μεγάλης επιφάνειας. Στην ίδια θέση κάθεται και στη δεύτερη περίπτωση, με τη διαφορά ότι δέχεται την άμεση ηλιακή ακτινοβολία. Και οι δυο περιπτώσεις περιλαμβάνουν και την επίδραση της ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας της επιφάνειας.

Οι τιμές του $SHGC$ συνήθως δίνονται σε πίνακες ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής, και το προσανατολισμό, που προτείνεται σε σχέση με τη μέθοδο υπολογισμού μέσω εξισώσεων.

6.5 Η σχέση της θερμοκρασίας εσωτερικού με τη θερμοκρασία της επιφάνειας του παραθύρου

Η θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας υαλοπινάκων (αντίστοιχα ισχύουν και για τους τοίχους) επιδρούν με ψυκτικά ή θερμικά φορτία τα οποία ανεβάζουν ή ρίχνουν τη θερμοκρασία του χώρου. Η θερμοκρασιακή επίδραση του παραθύρου μπορεί να εκφραστεί μέσω της διαφοράς μεταξύ της πραγματικής θερμοκρασίας της εσωτερικής επιφάνειας του παραθύρου και ουδέτερης θερμοκρασίας. Η ουδέτερη θερμοκρασία παραθύρου είναι εκείνη η θερμοκρασία της επιφάνειας που είναι ίση με τη θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα, και εξασφαλίζεται ουδέτερη θερμική επίδραση στην άνεση του χώρου.

Η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ της ουδέτερης θερμοκρασίας και της πραγματικής, μπορεί να εκφραστεί με μια αλλαγή στη θερμοκρασία του αέρα του χώρου, που έχει την ίδια επίδραση στην θερμική άνεση με αυτή που προκαλείται από την ύπαρξη του παραθύρου. Η θερμοκρασία της επιφάνειας του υαλοπίνακα δίνεται από τη σχέση που ισχύει και για τις επιφάνειες των τοίχων :

$$\frac{(T_a - T_i)}{R_{th}} + h_i \cdot (T_{air} - T_i) + \left\{ a_i \cdot \int_{n \cdot \Omega < 0} |n \cdot \Omega| \cdot I(\Omega) \cdot d\Omega' - \varepsilon_i \cdot \sigma \cdot T_i^4 \right\} = \frac{\partial E_i}{\partial t}, \text{ όπου}$$

T_i : η θερμοκρασία της επιφάνειας

T_a : η θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος

R_{th} : η θερμική αντίσταση

Οι τιμές n και Ω εκφράζουν την διεύθυνση και η $I(\Omega)$ η αντίστοιχη ακτινοβολία σε αυτή τη διεύθυνση.

Ο πρώτος όρος του πρώτου μέλους εκφράζει την αγωγιμότητα εντός του υαλοπίνακα (ή του τοίχου) ο δεύτερος όρος εκφράζει τη συναγωγή μεταξύ επιφάνειας και εσωτερικού αέρα, και ο τρίτος όρος μέσα στην αγκύλη εκφράζει τη ροή θερμότητας λόγω ακτινοβολίας (προσπίπτουσα και εκπεμπόμενη). Το δεύτερο μέλος της εξίσωσης εκφράζει τη μεταβολή της ενέργειας, και για συνθήκες ουδετερότητας ισούται με μηδέν.

6.6 Ο ρόλος των πλαισίων των παραθύρων

Ένα παράθυρο εκτός από τον υαλοπίνακα αποτελείται και από τα πλαίσια ή κουφώματα. Η συμπεριφορά αυτών των μερών είναι διαφορετική από αυτή των υαλοπινάκων, αλλά και από αυτή των τοίχων, αφού κατασκευάζονται από υλικά με διαφορετικές ιδιότητες ενώ έχουν διαφορετικό πάχος σε σχέση με τους γύρω τοίχους.

Η απορροφητικότητα και η μετάδοση του ηλιακού θερμικού κέρδους δια μέσω των στοιχείων αυτών είναι αρκετά πιο σύντομη σε σχέση με οποιοδήποτε άλλο δομικό στοιχείο του χώρου. Η μετάβαση της ακτινοβολίας δια μέσω τους παρουσιάζει διαφορές με τους υαλοπίνακες, όπως και η αγωγή σε σχέση με τους τοίχους. Ακόμα αποτελούν αδιαφανή στοιχεία για την ηλιακή ακτινοβολία.

Εκτός από τα παραπάνω σημαντική είναι η συμβολή των πλαισίων στην ποσότητα του αέρα που εισάγεται στο εσωτερικό, και στις θερμικές απώλειες καθώς ανάλογα με τη κατασκευή παρατηρείται το φαινόμενο εισαγωγής αέρα από σημεία μη στεγανοποιημένα επαρκώς (χαραμάδες κλπ.).

Πίνακας 6.5.1: Τιμές θερμοπερατότητας για χαρακτηριστικά είδη πλαισίων

Τύπος πλαισίου	Ποσοστό επί του ανοίγματος	Μονό Τζάμι	Διπλό Τζάμι
		Θερμοπερατότητα U (W/Km ²)	Θερμοπερατότητα U (W/Km ²)
Ξύλινο	10%	4,7 - 6,3	2,8 - 3,2
	20%	4,5 - 5,9	2,7 - 3,2
	30%	4,2 - 5,5	2,7 - 3,1
Αλουμίνιο χωρίς θερμομόνωση	10%	5,3 - 7,1	3,3 - 4,1
	20%	5,6 - 7,5	3,9 - 4,8
	30%	5,9 - 7,9	4,4 - 5,6
Αλουμίνιο με θερμομόνωση	10%	5,1 - 6,7	3,1 - 3,7
	20%	5,2 - 6,8	3,4 - 4,0
	30%	5,2 - 6,8	3,7 - 4,4

6.7 Θερμικό κέρδος χώρου λόγω της ηλιακής ενέργειας προσπίπτουσας σε υαλοπίνακα

Σε έναν υαλοπίνακα που χωρίζει το εσωτερικό περιβάλλον ενός χώρου από το εξωτερικό, προσπίπτει ηλιακή ακτινοβολία. Ο θερμικός ισολογισμός του υαλοπίνακα εκφράζεται από τη σχέση:

$$I + U \cdot (t_o - t_i) = \dot{q}_R + \dot{q}_S + \dot{q}_T + \dot{q}_{RCo} + \dot{q}_{RCi} \text{ , όπου}$$

I : η ολική ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στην εξωτερική επιφάνεια του υαλοπίνακα

U : η θερμική διαπερατότητα του υαλοπίνακα

t_o : η θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος

t_i : η θερμοκρασία του εσωτερικού περιβάλλοντος

\dot{q}_R : η θερμική ισχύς της ακτινοβολίας που ανακλάται στον υαλοπίνακα

\dot{q}_S : η θερμική ισχύς που αποθηκεύεται στον υαλοπίνακα

\dot{q}_T : η θερμική ισχύς που τελικά διέρχεται μέσω του υαλοπίνακα στο εσωτερικό περιβάλλον

\dot{q}_{RCo} : η θερμική ισχύς που αποδίδει ο υαλοπίνακας στο εξωτερικό περιβάλλον

\dot{q}_{RCi} : η θερμική ισχύς που αποδίδει ο υαλοπίνακας στο εσωτερικό περιβάλλον

Οι τελευταίες δυο παράμετροι αφορούν την θερμική ισχύ που προέρχεται από την αποθηκευμένη θερμότητα του υαλοπίνακα, την οποία αποδίδει με ακτινοβολία και συναγωγή. Ακόμα ισχύει ότι η θερμική ισχύς που αποθηκεύεται στον υαλοπίνακα είναι πολύ μικρότερη από ανακλάται και αυτή που μεταδίδεται στο εσωτερικό.

Ο όρος $U \cdot (t_o - t_i)$ εκφράζει τη ροή θερμότητας δια μέσο του υαλοπίνακα λόγω της διαφοράς εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας. Αν η διαπερατότητα του υαλοπίνακα είναι τ η ακτινοβολία που τελικά περνά στο εσωτερικό είναι το ποσό $\tau \cdot I$ της ολικής προσπίπτουσας ακτινοβολίας, ενώ αν η απορροφητικότητα είναι α το ποσό ακτινοβολίας που απορροφάται είναι $\alpha \cdot I$, εκ του οποίου ένα μέρος

αποθηκεύεται σε αυτόν και προκαλεί την άνοδο της θερμοκρασίας του, και το υπόλοιπο N_i αποδίδεται στο εσωτερικό περιβάλλον.

Το κλάσμα $N_i = U/h_o$ είναι ο λόγος της θερμικής διαπερατότητας προς τον ολικό συντελεστή μεταφοράς θερμότητας (με συναγωγή και ακτινοβολία).

Το θερμικό κέρδος του εσωτερικού χώρου προκύπτει από τη σχέση:

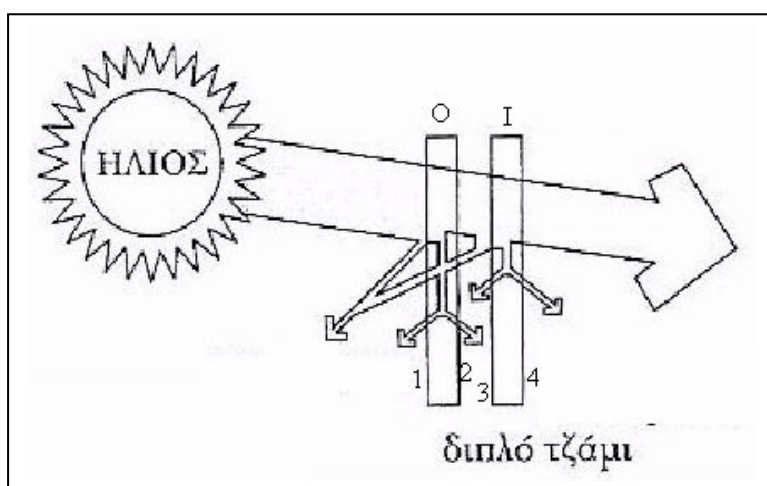
$$\dot{q}_A = \tau \cdot I + N_i \cdot a \cdot I + U \cdot (t_o - t_i) = F \cdot I + U \cdot (t_o - t_i)$$

Αντί της παραπάνω σχέσης είναι πιο πρακτικό να χρησιμοποιείται ο παράγοντας ηλιακού θερμικού κέρδους SHGF, ειδικά όταν πρόκειται για συστήματα υαλοπινάκων.

Το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας, η οποία προσπίπτει στην εξωτερική επιφάνεια του υαλοπίνακα, που τελικά μετατρέπεται σε θερμικό κέρδος του χώρου, εκφράζεται από το συντελεστή θερμικού ηλιακού κέρδους F, ο οποίος εξαρτάται από τη γωνία πρόσπτωσης της ακτινοβολίας και τον τύπο του υαλοπίνακα. Ισχύει η

σχέση:
$$F = \tau + \frac{U \cdot a}{h_o}$$

Σε περίπτωση υαλοπινάκων με διπλά τριπλά τζάμια ο υπολογισμός είναι λίγο πιο πολύπλοκος, καθώς η ακτινοβολία που διαπερνά το πρώτο τζάμι προσπίπτει στο δεύτερο και ένα μέρος της ανακλάται πίσω στο πρώτο.



Σχήμα 6.6.1: Πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας σε διπλό υαλοπίνακα

Και στους δυο υαλοπίνακες υπάρχει απορρόφηση ενός ποσοστού ακτινοβολίας, ενώ το τελικό ποσό της ακτινοβολίας που εισέρχεται στο χώρο είναι μειωμένο. Η περιγραφή είναι αρκετά σύνθετη, αφού και ο αέρας που υπάρχει στο διάκενο μεταξύ των υαλοπινάκων επηρεάζει τη ροή θερμότητας, αλλά εν συντομία μπορεί να εκφραστεί με τον συντελεστή ηλιακού κέρδους για διπλό υαλοπίνακα:

$$F = \bar{\tau} + \frac{U \cdot a_o}{h_o} + \left(\frac{U}{h_o} + \frac{U}{h_s} \right) \cdot a_i \quad \text{όπου:}$$

$$\bar{\tau} = \frac{\tau_o \cdot \tau_i}{1 - \rho_2 \cdot \rho_3} \quad , \quad \alpha_o = \alpha_1 + \alpha_2 \cdot \frac{\tau_o \cdot \rho_3}{1 - \rho_2 \cdot \rho_3} \quad , \quad \alpha_i = \alpha_3 \cdot \frac{\tau_o}{1 - \rho_2 \cdot \rho_3}$$

$\bar{\tau}$: η διαπερατότητα του διπλού υαλοπίνακα

τ_o : η διαπερατότητα του εξωτερικού υαλοπίνακα

τ_i : η διαπερατότητα του εσωτερικού υαλοπίνακα

ρ_2 : η ανακλαστικότητα της εσωτερικής επιφάνειας του εξωτερικού υαλοπίνακα (σχήμα 6.6.1)

ρ_3 : η ανακλαστικότητα της εξωτερικής επιφάνειας του εσωτερικού υαλοπίνακα (προς το διάκενο)

α_o , α_i : συνολική απορροφητικότητα εξωτερικού και εσωτερικού υαλοπίνακα αντίστοιχα

α_1 , α_2 : απορροφητικότητα του εξωτερικού υαλοπίνακα για την ακτινοβολία που προσπίπτει στη εξωτερική και εσωτερική επιφάνεια αντίστοιχα

α_3 : η απορροφητικότητα του εσωτερικού υαλοπίνακα για την ακτινοβολία που προσπίπτει στην εξωτερική του επιφάνεια (προς το διάκενο).

h_s : ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας αέρα στο διάκενο μεταξύ των δυο υαλοπινάκων.

Προκειμένου για σύστημα υαλοπινάκων με παραπάνω επιφάνειες (τριπλή η και παραπάνω υαλοπίνακες) η μελέτη είναι ακόμα πιο σύνθετη αλλά προκύπτουν σχέσεις ανάλογες με τις παραπάνω.

Ανάλογα με τη θερμοκρασία του εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος η ροή θερμότητας με αγωγή μέσα από τους υαλοπίνακες μπορεί να πάρει θετικές ή αρνητικές τιμές και αποτελεί θερμικό κέρδος ή απώλειες θερμότητας για τον εσωτερικό χώρο αντίστοιχα. Η ροή θερμότητας που οφείλεται στην ακτινοβολία εξαρτάται από την ηλιοφάνεια του εξωτερικού περιβάλλοντος.

Η ροή θερμότητας προς τον εσωτερικό χώρο εξαρτάται από το είδος του υαλοπίνακα, τη κλίση του τον προσανατολισμό, το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής που βρίσκεται το κτίριο, την ύπαρξη σκίασης ή άλλων τρόπων εμπόδισης της ηλιακής ακτινοβολίας (τζάμι με επιστρώσεις).

Όταν γίνεται χρήση του παράγοντα ηλιακού θερμικού κέρδους SHGC (το οποίο βρίσκεται εύκολα από πίνακες), το ολικό θερμικό κέρδος του εσωτερικού χώρου υπολογίζεται από τη σχέση:

$$q_A = (SC) \cdot (SHGC) + U \cdot (t_o - t_i)$$

Ο συντελεστής σκίασης SC εκφράζει το λόγο του ηλιακού θερμικού κέρδους για δεδομένο σύστημα υαλοπινάκων και συγκεκριμένες συνθήκες, προς το ηλιακό θερμικό κέρδος του υαλοπίνακα αναφοράς DSA της ASHRAE για τις ίδιες συνθήκες. Συναρτήσει του συντελεστή ηλιακού κέρδους F και του αντίστοιχου για τον υαλοπίνακα αναφοράς γράφεται:

$$SC = \frac{F}{F_r} = \frac{F}{0.87} = 1.15F \quad , \quad \text{όπου η τιμή για τον υαλοπίνακα}$$

αναφοράς είναι $F_r = 0,87$.

Ο υαλοπίνακας αναφοράς DSA της ASHRAE έχει ανακλαστικότητα 0,08 και απορροφητικότητα στην κάθετη πρόσπτωση ακτινοβολίας 0,06.

Το γινόμενο (SC)·(SHGC) εκφράζει το ολικό θερμικό κέρδος SHG για δεδομένο σύστημα υαλοπινάκων . Οπότε το ολικό θερμικό κέρδος είναι:

$$q_A = SHG + U \cdot (t_o - t_i).$$

Τιμές του συντελεστή σκίασης δίνονται σε πίνακες στη βιβλιογραφία και τα τεχνικά χαρακτηριστικά των υαλοπινάκων.

6.8 Η ηλιακή ακτινοβολία δια μέσω του υαλοπίνακα

Για τη μελέτη της ακτινοβολίας που περνά στον εσωτερικό χώρο ενός κτιρίου δεν υπολογίζουμε τη περίπτωση που η ακτινοβολία χτυπά μόνο στις κάθετες εσωτερικές επιφάνειες του χώρου, χωρίς να προσβάλλει καθόλου το πάτωμα. Τέτοιες περιπτώσεις είναι σπάνιες και αναφέρονται σε περιπτώσεις που ο ήλιος βρίσκεται πολύ χαμηλά για μεγάλο χρονικό διάστημα. Κάτι τέτοιο μπορεί να συμβεί σε περιοχές μεγάλου γεωγραφικού πλάτους.

Η διάχυτη ακτινοβολία που προσπίπτει σε έναν υαλοπίνακα μπορεί να θεωρηθεί ισοδύναμη με την άμεση ηλιακή ακτινοβολία που έχει την ίδια ένταση και προσπίπτει στην επιφάνεια υπό γωνία 60° και με μηδενική γωνία αζιμουθίου.

Γενικά για την ακτινοβολία που προσπίπτει στον υαλοπίνακα ισχύουν:

$$I_b^{out} = I_{bn} \quad , \quad \text{όπου } I_{bn} \text{ η άμεση ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε}$$

επιφάνεια κάθετη στις ηλιακές ακτίνες.

$$I_d^{out} = I_{d\beta=60^\circ} + I_{r\beta=60^\circ} = I_{dh} \cdot \frac{1 + \cos 60^\circ}{2} + \rho \cdot (I_{bh} + I_{dh}) \cdot \frac{1 - \cos 60^\circ}{2} = \frac{3}{4} \cdot I_{dh} + \frac{\rho}{4} \cdot (I_{bh} + I_{dh})$$

I_{dh} : ένταση διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο

I_{bh} : ένταση άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο

ρ : ο συντελεστής ανάκλασης

Η άμεση ακτινοβολία που διέρχεται στο εσωτερικό υπολογίζεται από τη σχέση:

$$I_b^{in} = C_s^{out} \cdot \tau_b \cdot I_b^{out} \quad , \quad \text{όπου}$$

C_s^{out} : ο συντελεστής σκίασης του εξωτερικού χώρου, ο οποίος αναφέρεται σε εξωτερικά εμπόδια της άμεσης ακτινοβολίας, όπως σκίαση από δέντρα, γειτονικά κτίρια κλπ

τ_b : η οπτική διαπερατότητα του υαλοπίνακα ως προς την άμεση ακτινοβολία

Η αντίστοιχη διάχυτη ακτινοβολία υπολογίζεται από τη σχέση:

$$I_d^{in} = \tau_d \cdot I_d^{out} \quad , \quad \text{όπου}$$

τ_d : η οπτική διαπερατότητα του υαλοπίνακα ως προς τη διάχυτη ακτινοβολία.

Οι τιμές των δυο συντελεστών οπτικής διαπερατότητας υπολογίζονται σύμφωνα με την ASHRAE από τις σχέσεις :

$$\tau_b = \frac{\tau_{br}}{0.86} \cdot \tau_n \quad \text{και} \quad \tau_d = \frac{\tau_{br} |_{\theta=60^\circ}}{0.86} \cdot \tau_n$$

τ_n : είναι η διαπερατότητα της επιφάνειας πραγματικού υαλοπίνακα για κάθετη πρόσπτωση

τ_{br} : η οπτική διαπερατότητα του υαλοπίνακα αναφοράς DSA κατά ASHRAE με $\tau_n = 0,86$. Για τον υπολογισμό της ισχύει:

$$\tau_{br} = \sum_{j=0}^5 \tau_j \cdot \cos^j \theta \quad , \quad \text{όπου}$$

τ_j : συντελεστές που δίνονται στον πίνακα 6.7.1

θ : η γωνία μεταξύ των ηλιακών ακτίνων και την κάθετη του υαλοπίνακα

για τον υπολογισμό της γωνίας θ ισχύει:

$$\theta = \arccos(\cos a \cdot \cos \gamma) \quad , \quad \text{όπου}$$

α : η γωνία ηλιακού ύψους

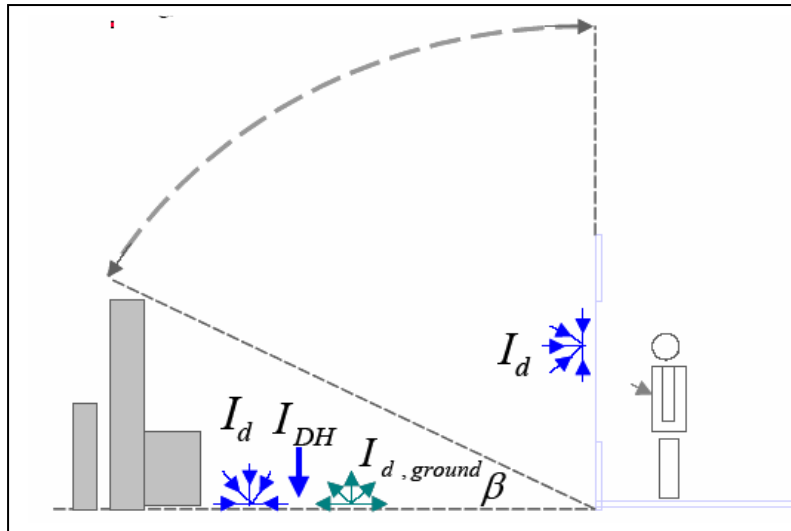
γ : η γωνία μεταξύ των ηλιακών ακτίνων και της κάθετης στον υαλοπίνακα στο οριζόντιο επίπεδο.

Πίνακας 6.8.1 Συντελεστές τ_j για τον υπολογισμό της οπτικής διαπερατότητας (ASHRAE)

j	τ_j
0	-0,0089
1	2,71235
2	-0,6206
3	-7,0733
4	9,75995
5	-3,8992

6.9 Η επίδραση της διάχυτης ακτινοβολίας μέσω υαλοπινάκων στο ανθρώπινο σώμα

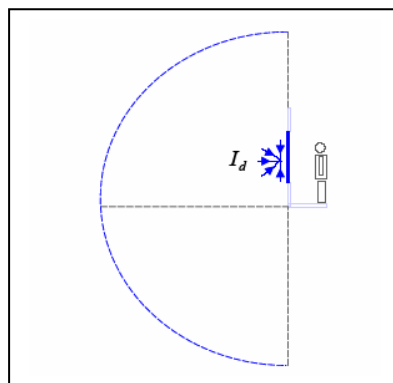
Για τη μελέτη της διάχυτης ακτινοβολίας θεωρείται ότι ο άνθρωπος δεν είναι εκτεθειμένος σε άμεση ηλιακή ακτινοβολία., λαμβάνοντας τα κατάλληλα μέτρα, είτε με τεχνικές σκίασης, είτε βρισκόμενος στην κατάλληλη θέση εκτός πεδίου επιρροής από τη άμεση ακτινοβολία. Η άμεση ηλιακή ακτινοβολία προκαλεί σχεδόν πάντα αίσθημα έλλειψης άνεσης όταν προσβάλει άμεσα ένα άτομο, με εξαιρέσεις σε περιπτώσεις πολύ χαμηλής θερμοκρασίας αέρα, ή προσβολής μιας πολύ μικρής επιφάνειας του σώματος, ή υαλοπίνακα πολύ χαμηλής διαπερατότητας. Η επίδραση της άμεσης ακτινοβολίας συμπεριλαμβάνεται στην αύξηση της θερμοκρασίας του υαλοπίνακα.



Σχήμα 6.9.1 Διάχυτη ακτινοβολία και διάχυτη λόγω ανακλάσεως από το έδαφος

Η διάχυτη ακτινοβολία κατά προσέγγιση μπορεί να εκφραστεί με μια ισοδύναμη αύξηση της θερμοκρασίας του υαλοπίνακα. Θεωρείται ότι η αύξηση της εσωτερικής επιφάνειας του υαλοπίνακα έχει την ίδια θερμική ροή προς το ανθρώπινο σώμα με την διάχυτη ακτινοβολία (λόγω εκπομπής ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος). Στη διάχυτο ακτινοβολία συνυπολογίζεται τόσο αυτή που έρχεται από τον ουρανό, όσο και αυτή που προέρχεται από ανακλάσεις στο έδαφος και στις επιφάνειες.

Αν υποθεθεί η ύπαρξη της διάχυτης ακτινοβολίας μόνο από τον ουρανό, και η ανάλογη αύξηση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια του παραθύρου, υπολογίζεται το ποσό που απορροφάτε από το ανθρώπινο σώμα. Σαν ουρανό θεωρούμε το πεδίο όρασης από το εσωτερικό και την ακτινοβολία από αυτή την επιφάνεια (ημισφαιρική).



Σχήμα 6.9.2 Ακτινοβολία από τον ουρανό

Η ακτινοβολία που απορροφάται από το ανθρώπινο σώμα υπολογίζεται από το γινόμενο : $I_d \cdot A_g \cdot F_{g-p} \cdot \tau_{sol} \cdot a_{clo}$, όπου

I_d : η διάχυτη ακτινοβολία από τον ουρανό

A_g : Η επιφάνεια του υαλοπίνακα

F_{g-p} ; Ο συντελεστής γωνίας μεταξύ υαλοπίνακα και ανθρώπου

τ_{sol} : η οπτική διαπερατότητα του υαλοπίνακα στην ηλιακή ακτινοβολία

a_{clo} : η απορροφητικότητα των ρούχων.

Από το παραπάνω γινόμενο το κομμάτι $I_d \cdot \tau_{sol} \cdot A_g$ αποτελεί το μέρος της ακτινοβολίας που διαπερνά τον υαλοπίνακα.

Θεωρείται ότι η ηλιακή ακτινοβολία που απορροφάτε από το ανθρώπινο σώμα είναι ίση με την αυξημένη μετάδοση θερμότητας ακτινοβολίας μεταξύ ανθρώπου και υαλοπίνακα.

Η ακτινοβολία μεταξύ ανθρώπου και υαλοπίνακα είναι ίση με $\sigma \cdot \varepsilon_g \cdot |T_g^4 - T_p^4| \cdot A_g \cdot F_{g-p}$ όπου σ η σταθερά Boltzman, και ε ο συντελεστής εκπομπής του υαλοπίνακα.

Η ακτινοβολία μεταξύ ανθρώπου και υαλοπίνακα αφού ο τελευταίος έχει απορροφήσει την διάχυτη ακτινοβολία από τον ουρανό ισούται με $\sigma \cdot \varepsilon_g \cdot A_g \cdot F_{g-p} \cdot \left| (T_g + \delta T_{g-sky})^4 - T_p^4 \right|$, όπου δT_{g-sky} η αύξηση της θερμοκρασίας του υαλοπίνακα λόγω της διάχυτης ακτινοβολίας από τον ουρανό.

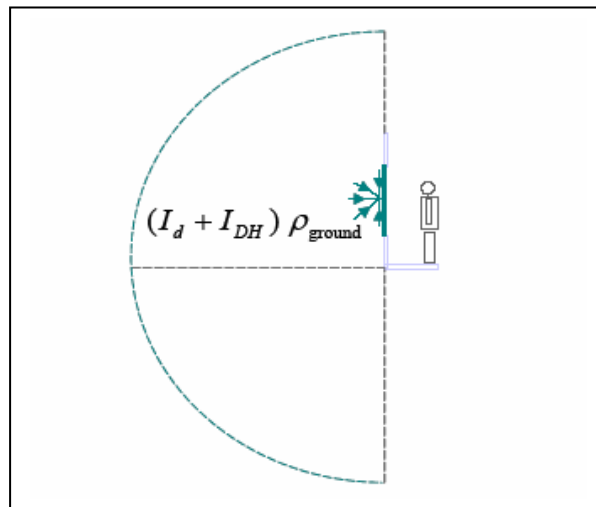
Από τη διαφορά των δυο παραπάνω δίνεται η αύξηση της ακτινοβολίας μετά την απορρόφηση από τον υαλοπίνακα : $\sigma \cdot \varepsilon_g \cdot A_g \cdot F_{g-p} \cdot \left| (T_g + \delta T_{g-sky})^4 - T_g^4 \right|$, οπότε:

$$I_d \cdot A_g \cdot F_{g-p} \cdot \tau_{sol} \cdot a_{clo} = \sigma \cdot \varepsilon_g \cdot A_g \cdot F_{g-p} \cdot \left| (T_g + \delta T_{g-sky})^4 - T_g^4 \right|$$

και η αύξηση της θερμοκρασίας λόγω της διάχυτης ακτινοβολίας από τον ουρανό από την παραπάνω ισότητα υπολογίζεται:

$$(T_g - \delta T_{g-sky})^4 - T_g^4 = \frac{I_d \cdot \tau_{sol} \cdot a_{clo}}{\sigma \cdot \varepsilon_g}$$

Η διάχυτη ακτινοβολία λόγω ανάκλασης στο έδαφος αποτελείται από την διάχυτη από τον ουρανό που προσπίπτει στο έδαφος και ανακλάται, καθώς και από την άμεση η οποία μετά την πρόσπτωση στο έδαφος (οριζόντιο επίπεδο) ανακλάται ένα μέρος της σαν διάχυτη.



Σχήμα 6.9.3: Η διάχυτη ακτινοβολία που ανακλάται από το έδαφος

Η διάχυτη ακτινοβολία που προέρχεται από ανάκλαση του εδάφους είναι ίση με :

$$(I_d + I_{DH}) \cdot \rho_{ground} \quad , \quad \text{όπου}$$

I_{DH} : η άμεση ηλιακή ακτινοβολία που μετά την ανάκλαση της στο έδαφος γίνεται διάχυτη

ρ_{ground} : ο συντελεστής ανάκλασης του εδάφους.

Θεωρείται ότι η απορροφημένη από το ανθρώπινο σώμα, προερχόμενη από ανάκλαση στο έδαφος, διάχυτη ακτινοβολία είναι ίση με την αυξημένη μετάδοση θερμότητας ακτινοβολίας μεταξύ ανθρώπου και υαλοπίνακα.

Το ποσοστό που μεταδίδεται μέσω του υαλοπίνακα είναι ίσο με το γινόμενο:

$$A_g \cdot \tau_{sol} \cdot (I_d + I_{DH}) \cdot \rho_{ground}$$

και το ποσοστό που απορροφάται από τον άνθρωπο είναι

$$A_g \cdot \tau_{sol} \cdot (I_d + I_{DH}) \cdot \rho_{ground} \cdot F_{g-p} \cdot a_{clo}$$

Αντίστοιχα με την περίπτωση της διάχυτης εξ ουρανού η αύξηση ακτινοβολίας μετά την απορρόφηση στον υαλοπίνακα είναι ίση με:

$$\sigma \cdot \varepsilon_g \cdot A_g \cdot F_{g-p} \cdot \left| (T_g + \delta T_{g-ground})^4 - T_g^4 \right|$$

και τελικά προκύπτει

$$A_g \cdot \tau_{sol} \cdot (I_d + I_{DH}) \cdot \rho_{ground} \cdot F_{g-p} \cdot a_{clo} = \sigma \cdot \varepsilon_g \cdot A_g \cdot F_{g-p} \cdot \left| (T_g + \delta T_{g-ground})^4 - T_g^4 \right|$$

Όπου $\delta T_{g-ground}$ η αύξηση της θερμοκρασίας του υαλοπίνακα λόγω της διάχυτης ακτινοβολίας από τον ουρανό.

Η αύξηση της θερμοκρασίας που προκύπτει από την διάχυτη εξ ανακλάσεως εδάφους ακτινοβολία υπολογίζεται:

$$(T_g - \delta T_{g-ground})^4 - T_g^4 = \frac{\tau_{sol} \cdot (I_d + I_{DH}) \cdot \rho_{ground} \cdot a_{clo}}{\sigma \cdot \varepsilon_g}$$

Για την επίδραση ταυτόχρονα της διάχυτης εξ ουρανού και της διάχυτης λόγω ανάκλασης στο έδαφος πρέπει να δοθεί το ειδικό βάρος της επίδρασης που έχει η κάθε μια. Για αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται δυο συντελεστές βαρύτητας ο f_{sky} για την διάχυτη ακτινοβολία από τον ουρανό και ο f_{ground} για την διάχυτη λόγω ανάκλασης στο έδαφος οι οποίοι συνδέονται με τη σχέση $f_{ground} = 1 - f_{sky}$. Η αύξηση της θερμοκρασίας του υαλοπίνακα τελικά υπολογίζεται:

$$\delta T_g = \delta T_{g-sky} \cdot f_{sky} + \delta T_{g-ground} \cdot f_{ground}$$

όπου δT_{g-sky} και $\delta T_{g-ground}$ υπολογίζονται από τις παραπάνω σχέσεις.

6.10 Αύξηση μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας λόγω ηλιακής ακτινοβολίας

Ο υπολογισμός της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας σε ένα σημείο εκτεθειμένο σε αυτήν υπολογίζεται από την εξίσωση

$$T_{mrt,irr}^4 = T_{mrt,ur}^4 + \Delta T_{mrt,b}^4 + \Delta T_{mrt,d}^4, \text{ όπου}$$

Ο όρος $T_{mrt,ur}$ εκφράζει την μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας ενός μη ακτινοβολούμενου ατόμου ή αντικειμένου και υπολογίζεται όπως έχει αναλυθεί στα προηγούμενα κεφάλαια από την εξίσωση της μορφής $T_{mrt,ur}^4 = \sum_{i=1}^N F_{S \rightarrow i} \cdot T_i^4$.

$\Delta T_{mrt,b}^4$: η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας εξαιτίας της άμεσης ηλιακής ενέργειας

$\Delta T_{mrt,d}^4$: η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας εξαιτίας της διάχυτης ηλιακής ενέργειας.

Πρέπει λοιπόν να υπολογιστεί η αύξηση που προκαλεί η άμεση ακτινοβολία και η διάχυτη ακτινοβολία.

Η ώρα ανατολής ηλίου υπολογίζεται από τη σχέση:

$$h_a = 12 + \frac{\arccos(-\tan \Phi \cdot \tan \delta) - 180}{15}$$

Η ώρα δύσης του ηλίου υπολογίζεται από τη σχέση:

$$h_t = 12 - \frac{\arccos(-\tan \Phi \cdot \tan \delta) - 180}{15}$$

Για τη παρουσία του ήλιου ορίζουμε τον συντελεστή ημέρας – νύχτας C_{dn} για τον οποίο ισχύουν:

$$C_{dn} = 1 \text{ για } h_a < h < h_t$$

$$C_{dn} = 0 \text{ για } h \leq h_a \text{ και } h \geq h_t$$

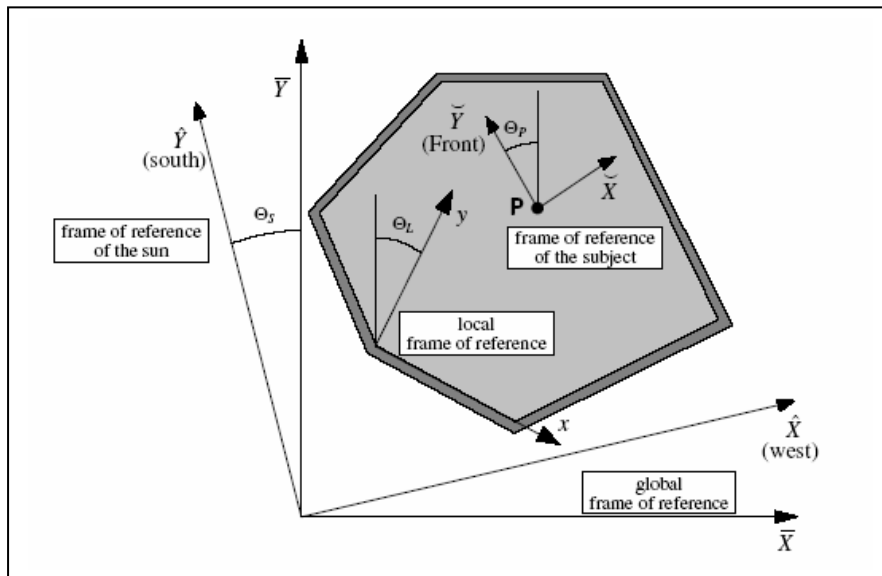
Η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας λόγω της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας είναι:

$$T_{mrt,d}^4 = C_{dn} \cdot \frac{a_d}{\varepsilon \cdot \sigma} \cdot \sum_{j=1}^M F_{s \rightarrow j} \cdot I_{d,j}^{in} \quad , \quad \text{όπου}$$

a_d : ο συντελεστής απορρόφησης για διάχυτη ακτινοβολία

I_d^{in} : η διάχυτη ακτινοβολία που διαπερνά τον υαλοπίνακα προς το εσωτερικό του χώρου (παράγραφος 6.7)

Όσον αφορά την άμεση ακτινοβολία για να έχει άμεση επίδραση πρέπει ο άνθρωπος να βρίσκεται εντός της ζώνης επιρροής, όπως αυτή οριοθετήθηκε στη παράγραφο 5.4. Για τον υπολογισμό της άμεσης ακτινοβολίας στον εσωτερικό χώρο είναι απαραίτητη η γνώση των οπτικών χαρακτηριστικών του υαλοπίνακα, καθώς και ο προσδιορισμός του συντελεστή εκτιθέμενης επιφάνειας f_p , ο οποίος υπολογίζεται συναρτήσει της γωνίας αζιμούθιου και της γωνίας ύψους, όπως περιγράφεται στη παράγραφο 3.4.2. (οι γωνίες α και β που χρησιμοποιήθηκαν σε εκείνους του υπολογισμούς αντιστοιχούν στις γωνίες αζιμούθιου γ και α αντίστοιχα).



Σχήμα 6.10.1 Γεωμετρική σχέση μεταξύ των εμπλεκόμενων συστημάτων αναφοράς

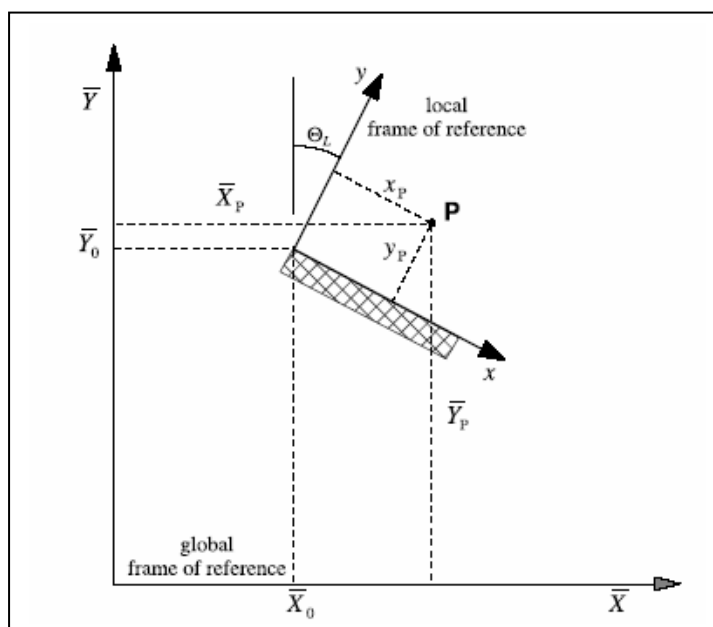
Αν χρησιμοποιήσουμε για το σύστημα αναφοράς του ήλιου το δείκτη s (γωνία αζιμούθιου γ_s και ύψους α_s) μπορούμε να ορίσουμε τις αντίστοιχες γωνίες για το τοπικό σύστημα αναφοράς, σε συνάρτηση με τις γωνίες περιστροφής του ηλιακού συστήματος Θ_s και του τοπικού Θ_L ως προς το γενικό σύστημα αναφοράς (θετικές γωνίες σύμφωνα με τη φορά του ρολογιού).

$$\alpha = \alpha_s$$

$$\gamma = \gamma_s + \Theta_s - \Theta_L$$

$$\alpha_s = \arcsin(\cos \Phi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \sin \Phi \cdot \sin \delta)$$

$$\gamma_s = \arcsin\left(\frac{\cos \delta \cdot \sin \Phi}{\cos \alpha_s}\right)$$



Σχήμα 6.10.2 Προσδιορισμός συντεταγμένων σημείου αντικειμένου στο τοπικό και γενικό σύστημα αναφοράς

Για το προσδιορισμό των συντεταγμένων του σημείου όπου βρίσκεται ο άνθρωπος ή το αντικείμενο, υπολογίζεται ο πίνακας μεταφοράς, αφού πρώτα οριστούν για το αρχικό σύστημα αναφοράς των τοίχων οι συντεταγμένες \bar{X}_0, \bar{Y}_0 , και είναι γνωστή η περιστροφή το τοπικού συστήματος Θ_L .

Οι συντεταγμένες του σημείου υπολογίζονται ως εξής:

$$[x_p, y_p, 1] = [\bar{X}_p, \bar{Y}_p, 1] \times [T]^{-1}, \quad \text{όπου}$$

\bar{X}_p και \bar{Y}_p οι συντεταγμένες του σημείου στο γενικό σύστημα αναφοράς

$[T]$: ο πίνακας μεταφοράς

$$[T] = \begin{bmatrix} \cos \Theta_L & \sin \Theta_L & 0 \\ -\sin \Theta_L & \cos \Theta_L & 0 \\ \bar{X}_0 & \bar{Y}_0 & 1 \end{bmatrix}$$

Η ένταση της άμεσης ακτινοβολίας στο εσωτερικό υπολογίζεται από τη σχέση της παραγράφου 6.7:

$$I_b^{in} = C_s^{out} \cdot \tau_b \cdot I_b^{out}$$

Όπου ο συντελεστής σκίασης εξωτερικού χώρου $C_s^{out} = 1$ όταν:

$$\frac{x_B - x_A}{y_B - y_A} \cdot (y_p - y_A) + x_A < x < \frac{x_B - x_A}{y_B - y_A} \cdot (y_p - y_A) + x_D$$

(συντεταγμένες από παράγραφο 5.4)

Οι γωνίες ύψους και αζιμουθίου στο σημείο του ατόμου είναι

$$\bar{\alpha} = \alpha_s \quad \text{και} \quad \bar{\gamma} = \gamma_s + \Theta_s - \Theta_p, \quad \text{όπου}$$

Θ_p : η γωνία περιστροφής του συστήματος αναφοράς του αντικειμένου.

Οι παραπάνω γωνίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό του συντελεστή εκτιθέμενης επιφάνειας f_p .

Η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας λόγω της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας είναι

$$\Delta T_{mrt,b}^4 = C_{dn} \cdot C_s^{in} \cdot \frac{a_b}{\varepsilon \cdot \sigma} \cdot f_p \cdot I_{bn}$$

όπου a_b ο συντελεστής απορρόφησης για άμεση ακτινοβολία.

Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας αν συμπεριληφθούν και οι αυξήσεις που προκαλούν η άμεση και διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία τελικά προκύπτει:

$$T_{mrt,irr}^4 = T_{mrt,ur}^4 + \Delta T_{mrt,b}^4 + \Delta T_{mrt,d}^4$$

Και αν αντικατασταθούν στη σχέση οι παραπάνω αυξήσεις:

$$T_{mrt,irr}^4 = \sum_{i=1}^N F_{s \rightarrow i} \cdot T_i^4 + C_{dn} \cdot C_s^{in} \cdot \frac{a_b}{\varepsilon \cdot \sigma} \cdot f_p \cdot I_{bn}^{in} + C_{dn} \cdot \frac{a_d}{\varepsilon \cdot \sigma} \cdot \sum_{j=1}^M F_{s \rightarrow j} \cdot I_{d,j}^{in}$$

6.11 Η τοπική έλλειψη άνεσης λόγω ασύμμετρου πεδίου ακτινοβολίας

Οι άνθρωποι που εκτίθενται σε ηλιακή ακτινοβολία αισθάνονται τοπική έλλειψη άνεσης λόγω του ασύμμετρου πεδίου ακτινοβολίας. Η ηλιακή ακτινοβολία έχει αυστηρά καθορισμένη κατεύθυνση, και το άτομο που βρίσκεται εκτεθειμένο σε αυτή δέχεται ένα μεγάλο ποσό θερμικής ακτινοβολίας από τη πλευρά όμως που είναι στραμμένη προς τη πλευρά της ακτινοβολίας (προς τον ήλιο). Η άλλη πλευρά (η πίσω) που ουσιαστικά δεν εκτίθεται στη ηλιακή ακτινοβολία δέχεται ένα μικρότερο ποσό θερμικής ακτινοβολίας. Η ασυμμετρία της ακτινοβολίας που υπάρχει μεταξύ της μπροστινής όψης και της πίσω εκφράζεται με τη σχέση:

$$\Delta T_{pr}^4 = T_{pr1,irr}^4 - T_{pr2,irr}^4, \text{ όπου}$$

$T_{pr1,irr}$: η θερμοκρασία ακτινοβολίας στην κατεύθυνση που είναι στραμμένη στον ήλιο

$T_{pr2,irr}$: η θερμοκρασία ακτινοβολίας στην πίσω πλευρά (που δεν δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία)

Η ουσιαστική διαφορά μεταξύ της ακτινοβολίας των δυο πλευρών είναι η έλλειψη της παραμέτρου της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας, αφού και οι δυο πλευρές δέχονται την επίδραση της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας, και φυσικά της ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος που εκπέμπεται από τις επιφάνειες τοίχων και παραθύρων. Τα ποσά αυτά είναι διαφορετικά αφού η κάθε όψη δέχεται την επίδραση τοίχων, παραθύρων και το ποσό της διάχυτης ηλιακής που αναλογούν στο συντελεστή όρασής της. Οι σχέσεις που αποδίδουν τις θερμοκρασίες ακτινοβολίας $T_{pr1,irr}$ και $T_{pr2,irr}$, είναι ανάλογες με τις σχέσεις που αναλύθηκαν για τις μέσες τιμές ακτινοβολίας στην παράγραφο 6.9. Δηλαδή ισχύουν οι σχέσεις:

$$T_{irr}^4 = \sum_{i=1}^{N^+} F_{s \rightarrow i} \cdot T_i^4 + C_{dn} \cdot C_s^{in} \cdot \frac{a_b}{\varepsilon \cdot \sigma} \cdot f_p \cdot I_{bn}^{in} + C_{dn} \cdot \frac{a_d}{\varepsilon \cdot \sigma} \cdot \sum_{j=1}^{M^+} F_{s \rightarrow j} \cdot I_{d,j}^{in}$$

$$T_d^4 = C_{dn} \cdot \frac{a_d}{\varepsilon \cdot \sigma} \cdot \sum_{j=1}^{M^-} F_{s \rightarrow j} \cdot I_{d,j}^{in} + \sum_{i=1}^{N^-} F_{s \rightarrow i} \cdot T_i^4$$

όπου με (+) συμβολίζονται οι επιφάνειες τοίχων και παραθύρων που βρίσκονται στο πεδίο της όψης που εκτίθεται στην ηλιακή ακτινοβολία, ενώ με (-) οι αντίστοιχες επιφάνειες της πίσω όψης.

6.12 Ο προσανατολισμός και η κλίση των υαλοπινάκων

Τα στοιχεία που επηρεάζουν άμεσα την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει είναι η κλίση του υαλοπίνακα, ο προσανατολισμός του, και το γεωγραφικό πλάτος του σημείου που βρίσκεται, καθώς κάθε αλλαγή των παραμέτρων αυτών (όλων ή κάθε μίας χωριστά) προκαλεί αλλαγή στη γωνία πρόσπτωσης, με συνέπεια την αλλαγή στα ποσοστά της ακτινοβολίας που διέρχεται του υαλοπίνακα στο εσωτερικό

του κτιρίου, της ακτινοβολίας που ανακλάται, και της ακτινοβολίας που απορροφά ο υαλοπίνακας.

Η νότια τοποθέτηση των παραθύρων ενδείκνυται διότι προσφέρουν τη μέγιστη εκμετάλλευση θερμότητας λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας το χειμώνα, και μείωση της το καλοκαίρι. Για την εύκρατη ζώνη ο Νότιος προσανατολισμός προσφέρει προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σχεδόν τριπλάσια από τους άλλους προσανατολισμούς το χειμώνα. Η γυάλινη επιφάνεια θεωρείται ο πιο οικονομικός ηλιακός συλλέκτης αρκεί να έχει νότιο προσανατολισμό με μία ανοχή της τάξης των 30° ανατολικά ή δυτικά. Αν προτείνονται μεγάλα παράθυρα για τις νότιες προσανατολισμένες επιφάνειες, ταυτόχρονα προτείνονται μικρά μόνο παράθυρα για τις βόρειες, ώστε να γίνουν όσο το δυνατόν μικρότερες οι θερμικές απώλειες.

Όσον αφορά τη κλίση των υαλοπινάκων, ενδείκνυται η κατακόρυφη τοποθέτηση, διότι τους χειμερινούς μήνες δέχεται τη μεγαλύτερη ηλιακή ακτινοβολία. Τους θερινούς μήνες που ο ήλιος είναι ψηλά στον ουρανό, η κατακόρυφη τοποθέτηση προσφέρει το μικρότερο δυνατόν κέρδος από ηλιακή ακτινοβολία, καθώς η τελευταία έχει υψηλή γωνία πρόσπτωσης.

6.13 Η σκίαση

Εκτός από τις περιπτώσεις που είναι επιθυμητή η όσο το δυνατόν περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία, υπάρχουν και περιπτώσεις όπου είναι επιθυμητός ο περιορισμός αυτής. Σε αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιούνται διάφορα συστήματα σκίασης, τα οποία θα πρέπει να μειώνουν την ηλιακή ακτινοβολία που προσβάλλει μια επιφάνεια ή ένα χώρο, και ταυτόχρονα να εξασφαλίζουν κατά τον καλύτερο τρόπο συνθήκες επαρκούς αερισμού και καλού φωτισμού.

Ένας πρώτος τρόπος μείωσης της ηλιακής ακτινοβολίας είναι η επιλογή κατάλληλων υαλοπινάκων ειδικής σύστασης και χρωματισμού. Εκτός αυτού υπάρχουν ειδικές επιστρώσεις που τοποθετούνται στις επιφάνειες υαλοπινάκων, οι οποίες δεν προσφέρουν πάντοτε την απαιτούμενη κάλυψη, ενώ δημιουργούν και

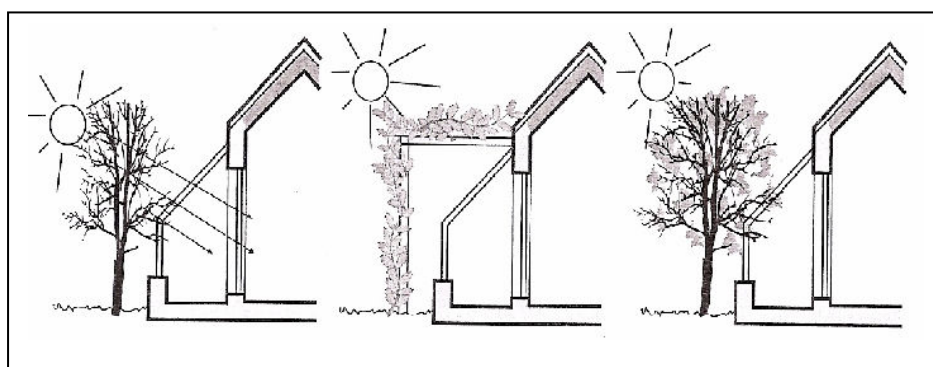
δυσκολίες στον καθαρισμό των επιφανειών. Ακόμα υπάρχουν περιπτώσεις όπου είναι επιθυμητός ο επιλεκτικός περιορισμός της ακτινοβολίας, για συγκεκριμένους μήνες, ή ώρες.

Κριτήρια για την επιλογή του κατάλληλου συστήματος σκίασης αποτελούν:

- Το σχήμα του χώρου
- Η χρήση του χώρου
- Τα ανοίγματα
- Ο προσανατολισμός
- Παράγοντες αισθητικής

Ο πρώτος διαχωρισμός που γίνεται είναι ανάμεσα στα εσωτερικά συστήματα σκίασης και τα εξωτερικά. Τα εσωτερικά συστήματα τοποθετούνται στην εσωτερική επιφάνεια υαλοπινάκων, με σκοπό την ανάκλαση της ακτινοβολίας πίσω στον υαλοπίνακα, και από εκεί αποβολή της στο εξωτερικό περιβάλλον. Σε αυτή τη διαδικασία όμως ο υαλοπίνακας απορροφά ένα επιπλέον ποσό ακτινοβολίας που ανακλάται από το σκίαστρο, με συνέπεια μια επιπλέον αύξηση της θερμοκρασίας του. Παρόλα αυτά δεν υπάρχει μετατροπή της ακτινοβολίας σε θερμότητα στο εσωτερικό του χώρου.

Η εξωτερική σκίαση περιορίζει την ηλιακή ακτινοβολία πριν αυτή φτάσει στην επιφάνεια του υαλοπίνακα. Εξωτερική σκίαση μπορεί να προσφέρουν και γειτονικές οικοδομές, η δέντρα σε κοντινές αποστάσεις. Σε αρκετές περιπτώσεις γίνεται επιλεκτική τοποθέτηση φυτών που προσφέρουν σκίαση, τα οποία ταυτόχρονα επιτυγχάνουν μείωση της εξωτερικής θερμοκρασίας.



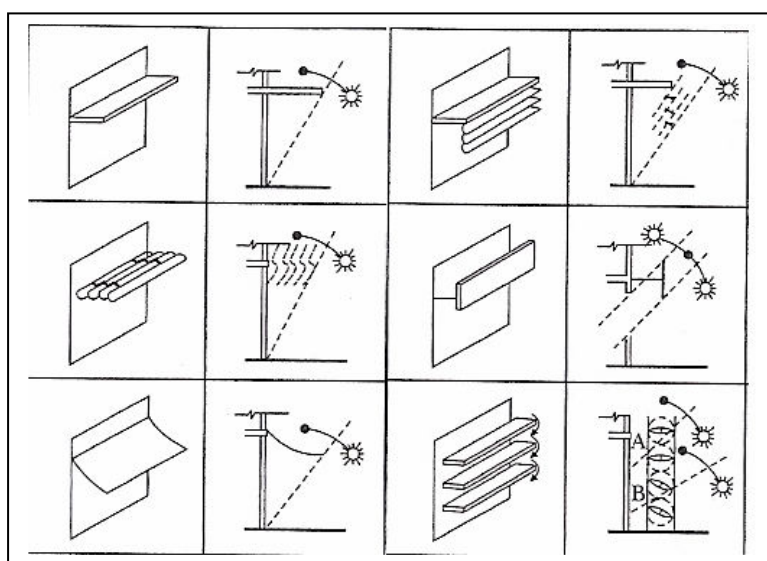
Σχήμα 6.13.1 Σκίαση με τοποθέτηση φυτών και δέντρων

Η τοποθέτηση εξωτερικών συστημάτων σκίασης εμποδίζει την άμεση ακτινοβολία να εισέλθει στον εσωτερικό χώρο, ανακλώντας τη πίσω στο περιβάλλον. Στο εσωτερικό μεταβιβάζεται μόνο η διάχυτη ακτινοβολία. Άλλοι τρόποι εξωτερικής σκίασης είναι τέντες, προεκτάσεις στεγών, γείσων κλπ.

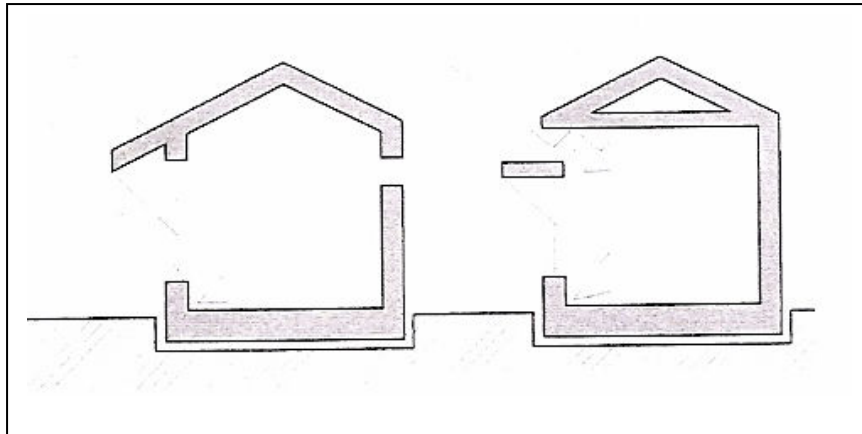
Ο άλλος διαχωρισμός στα συστήματα σκίασης είναι σε σταθερά και κινητά. Τα σταθερά συστήματα σκίασης είναι συνήθως δομικά στοιχεία που εκτείνονται από την οικοδομή. Χρειάζονται προσεκτική μελέτη ανάλογα με τον προσανατολισμό του κτιρίου, τις περιόδους που είναι επιθυμητή η σκίαση, τη θέση του ήλιου κλπ. Επειδή απορροφούν ένα μέρος της ακτινοβολίας και αυξάνουν τη θερμοκρασία τους χρησιμοποιούνται συνήθως εξωτερικά.

Τα κινητά συστήματα τοποθετούνται εσωτερικά ή εξωτερικά, και παρέχουν τη δυνατότητα να ανοίγουν λίγο ή τελείως όταν είναι επιθυμητή η ηλιακή ακτινοβολία, ή να μεταβάλλουν τη γωνία τους ώστε να παρέχουν την κατάλληλη προστασία.

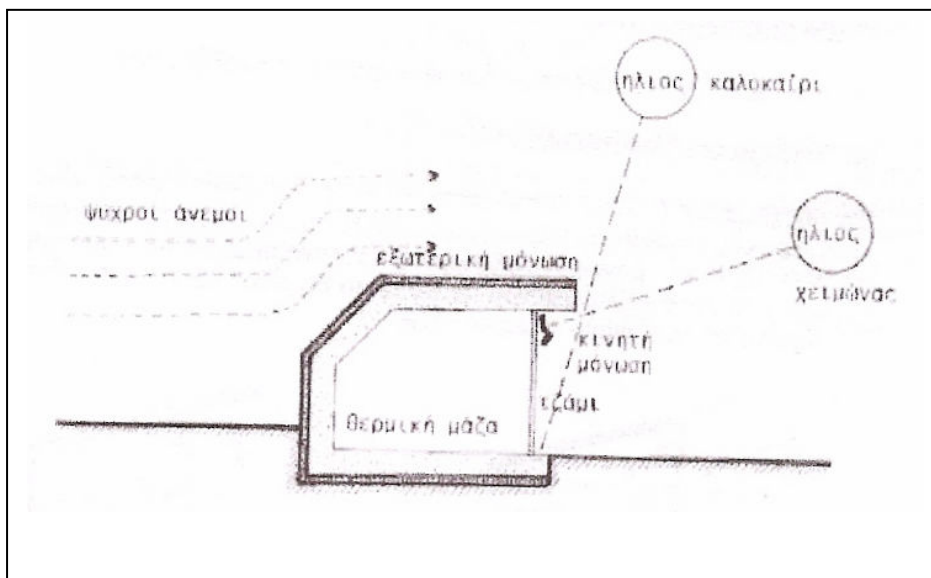
Ανάλογα με τον προσανατολισμό του υαλοπίνακα πρέπει να χρησιμοποιείται ο κατάλληλος τρόπος σκίασης ώστε να επιτυγχάνονται οι επιθυμητές ανάγκες θερμικού κέρδους λόγω ακτινοβολίας για όλες τις εποχές του έτους, καθώς και ο κατάλληλος φωτισμός των χώρων. Σε νότιο προσανατολισμό που είναι ίσως ο πιο σημαντικός, αφού εκεί τοποθετούνται τα μεγαλύτερα ανοίγματα, πιο κατάλληλα θεωρούνται τα οριζόντια τοποθετημένα ηλιοπροστατευτικά, τα οποία προσφέρουν σκιά το καλοκαίρι που ο ήλιος είναι ψηλά στον ουρανό, και αφήνουν μεγάλο ποσοστό ακτινοβολίας να περνά το χειμώνα που ο ήλιος είναι χαμηλά



Σχήμα 6.13.2 Συστήματα σκίασης



Σχήμα 6.13.3 Συστήματα εξωτερικής σκίασης

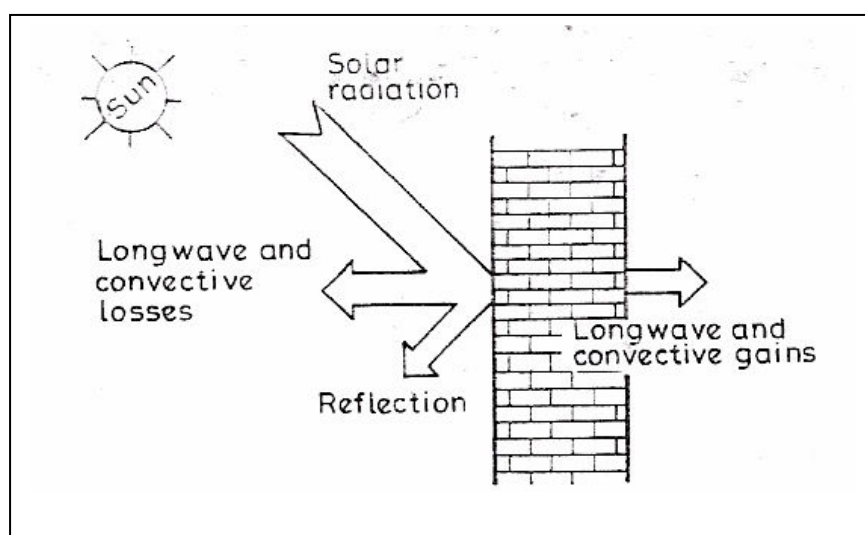


Σχήμα 6.13.4 Λειτουργία σκίασης για χειμώνα καλοκαίρι

7. Η επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω των τοίχων

7.1 Ο τρόπος επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας

Η διαφορά ενός τοίχου με έναν υαλοπίνακα έγκειται στο γεγονός ότι λόγω του ότι ο τοίχος είναι αδιαφανής, δεν επιτρέπει στην ακτινοβολία να διαπεράσει από μέσα του στο εσωτερικό του κτιρίου. Η επίδραση λοιπόν τόσο της διάχυτης, όσο και της άμεσης ακτινοβολίας υφίσταται λόγω της απορρόφησης της από τον τοίχο και άνοδο της θερμοκρασίας του. Όπως είναι γνωστό από τη μεταφορά θερμότητας, η αύξηση αυτή στην εξωτερική επιφάνεια, μεταφέρεται (σε ποσοστό που εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του τοίχου) στην εσωτερική επιφάνεια, προκαλώντας μια ανάλογη αύξηση της θερμοκρασίας. Λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας της επιφάνειας αυτής με την θερμοκρασία του εσωτερικού, εκπέμπεται ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος, η οποία προκαλεί αύξηση της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας, με τις συνέπειες που αυτή επιφέρει στην θερμοκρασία του χώρου και στη θερμική άνεση, κάτι που αναπτύχθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια.

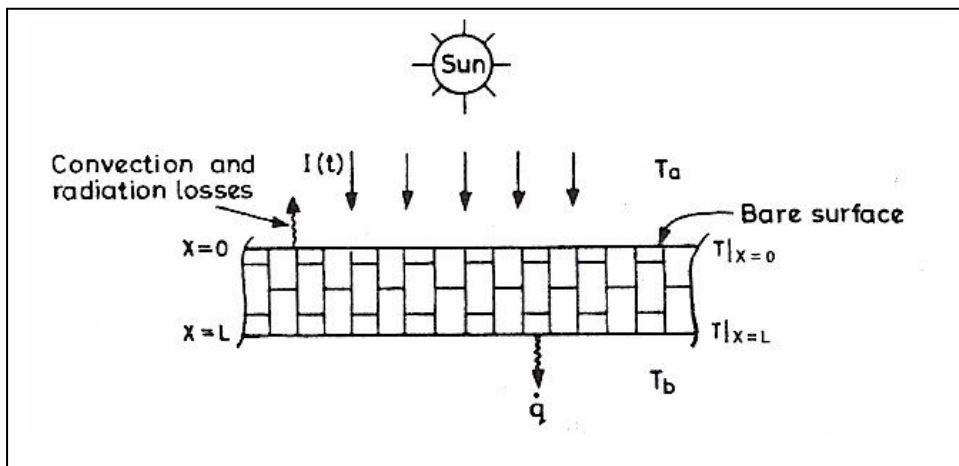


Σχήμα 7.1.1 Η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτουσα σε τοίχο

Η ακτινοβολία που δεν απορροφάται από τον τοίχο ανακλάται στο εξωτερικό περιβάλλον, όπως φαίνεται και στο σχήμα 7.1.1.

7.2 Θερμική ροή δια μέσω τοίχων

Ένας τοίχος πάχους L από ομογενές υλικό εκτίθεται σε ηλιακή ακτινοβολία.



Σχήμα 7.2.1 Τοίχος πάχους L από ομοιογενές υλικό εκτιθέμενος σε ηλιακή ακτινοβολία

Από τη μετάδοση θερμότητας γνωρίζουμε το ισοζύγιο στη εξωτερική επιφάνεια του τοίχου:

$$a \cdot I(t) = -K \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=0} + h_{ra} \cdot (T|_{x=0} - T_a) + \varepsilon \cdot \Delta R + h_{ca} \cdot (T|_{x=0} - T_a) , \text{ όπου}$$

ε : ο συντελεστής εκπομπής για τον τοίχο

ΔR : η διαφορά μεταξύ της προσπίπτουσας στην επιφάνεια , από τον ουρανό και το περιβάλλον ακτινοβολίας, και της ακτινοβολίας που εκπέμπει μέλαν σώμα στη

θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα. $\Delta R = \sigma \cdot \left[(T_a + 273)^4 - (T_{sky} + 273)^4 \right]$

Η ισοδύναμη θερμοκρασία T_{sky} σε σχέση με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, εκφράζεται με διάφορους τρόπους από διάφορους ερευνητές. Μία έκφρασή της είναι η $T_{sky} = 0.0552 \cdot T_a^{1.5}$ (εκφρασμένες σε Κ).

h_{ra} , h_{ca} : συντελεστές μετάδοσης θερμότητας (για συναγωγή και ακτινοβολία στην εξωτερική επιφάνεια)

K : ειδική αγωγιμότητα τοίχου

$T|_{x=0}$: θερμοκρασία τοίχου στο σημείο $x = 0$ (εξωτερική επιφάνεια)

T_a : θερμοκρασία εξωτερικού αέρα

α : η απορροφητικότητα της επιφάνειας

Αν $h_1 = h_{ra} + h_{ca}$ τότε το ισοζύγιο γράφεται:

$$-K \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=0} = a \cdot I(t) - \varepsilon \cdot \Delta R - h_1 \cdot (T|_{x=0} - T_a) \quad \text{ή}$$

$$\dot{q} = -K \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=0} = h_1 \cdot \left[\frac{a}{h_1} \cdot I(t) + T_a - \frac{\varepsilon \cdot \Delta R}{h_1} - T|_{x=0} \right] = h_1 \cdot [T_{sa} - T|_{x=0}]$$

Ενώ ισχύουν :

$$h_{ra} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot \left[\frac{T^4 - T_a^4}{T - T_a} \right], \quad \text{όπου}$$

T : η θερμοκρασία της εξωτερικής επιφάνειας

$h_{ca} = 2.8 + 3 \cdot v$, όπου v η ταχύτητα του αέρα.

Η θερμοκρασία ηλίου αέρα υπολογίζεται από τη σχέση:

$$T_{sa} = \frac{a}{h_1} \cdot I(t) + T_a - \frac{\varepsilon \cdot \Delta R}{h_1}$$

Πίνακας 7.2.1 Θερμοκρασίες ήλιου αέρα για την 21^η Ιουλίου για βόρειο γεωγραφικό πλάτος $\Phi=40^\circ$ για ανοιχτόχρωμες και σκουρόχρωμες επιφάνειες, για τοίχους διαφόρων προσανατολισμών

Time	Air Temp, °C	$a/h_0 = 0.026$								
		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	HOR
0100	24.4	24.4	24.4	24.4	24.4	24.4	24.4	24.4	24.4	20.5
0200	24.4	24.4	24.4	24.4	24.4	24.4	24.4	24.4	24.4	20.5
0300	23.8	23.8	23.8	23.8	23.8	23.8	23.8	23.8	23.8	20.0
0400	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	17.4
0500	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	19.4
0600	23.3	27.7	35.0	36.1	30.0	23.8	23.8	23.8	23.8	23.3
0700	23.8	27.7	39.4	42.7	36.1	25.5	25.5	25.5	25.5	29.4
0800	25.0	27.7	39.4	45.5	40.5	28.3	27.2	27.2	27.2	35.5
0900	26.6	29.4	38.3	45.5	43.3	33.3	29.4	29.4	29.4	41.1
1000	28.3	31.6	35.5	43.3	44.4	37.7	31.6	31.6	31.6	46.1
1100	30.5	33.8	34.4	40.0	43.8	42.2	35.5	33.8	33.8	50.5
1200	32.2	35.5	35.5	36.1	41.6	44.4	41.6	36.1	35.5	52.7
1300	33.8	37.2	37.2	37.2	38.8	45.5	47.2	43.3	37.7	53.8
1400	34.4	37.7	37.7	37.7	37.7	43.8	50.5	49.4	41.6	52.2
1500	35.0	37.7	37.7	37.7	37.7	41.6	51.6	53.8	46.6	49.4
1600	34.4	37.2	36.6	36.6	36.6	37.7	50.0	55.0	48.8	45.0
1700	33.8	37.7	35.5	35.5	35.5	35.5	46.1	52.7	49.4	39.4
1800	32.7	37.2	33.3	33.3	33.3	33.3	39.4	45.5	44.4	32.7
1900	30.5	30.5	30.5	30.5	30.5	30.5	30.5	30.5	30.5	26.6
2000	29.4	29.4	29.4	29.4	29.4	29.4	29.4	29.4	29.4	25.5
2100	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	24.4
2200	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	23.3
2300	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	22.2
2400	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	21.1
Avg.	28.3	30.0	31.6	32.7	32.2	31.6	32.2	32.7	31.6	32.7
Time	Air Temp, °C	$a/h_0 = 0.052$								
		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	HOR
0100	24.4	24.4	24.4	24.4	24.4	24.4	24.4	24.4	24.4	20.5
0200	24.4	24.4	24.4	24.4	24.4	24.4	24.4	24.4	24.4	20.5
0300	23.8	23.8	23.8	23.8	23.8	23.8	23.8	23.8	23.8	20.0
0400	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	19.4
0500	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	19.4
0600	23.3	32.2	47.2	49.4	37.2	25.0	25.0	25.0	25.0	27.2
0700	23.8	32.2	55.0	62.2	48.8	27.7	27.7	27.7	27.7	38.8
0800	25.0	30.5	54.4	66.1	56.6	31.6	30.0	30.0	30.0	50.0
0900	26.6	32.7	50.0	64.4	60.5	40.5	32.7	32.7	32.7	60.0
1000	28.3	35.0	42.7	58.3	60.5	47.7	35.5	35.0	35.0	68.3
1100	30.5	37.7	38.3	50.0	57.7	53.8	40.5	37.7	37.7	74.4
1200	32.2	39.4	39.4	40.0	51.6	56.6	51.6	40.0	39.4	77.7
1300	33.8	41.1	41.1	41.1	43.8	57.2	61.1	53.3	41.6	77.7
1400	34.4	41.1	41.1	41.1	41.6	53.8	66.6	64.4	48.8	74.4
1500	35.0	41.1	41.1	41.1	41.1	48.8	68.8	72.7	58.3	68.3
1600	34.4	40.0	39.4	39.4	39.4	41.1	66.1	75.5	63.8	59.4
1700	33.8	42.2	37.7	37.7	37.7	37.7	58.8	72.2	65.0	48.8
1800	32.7	41.6	34.4	34.4	34.4	34.4	46.6	58.8	56.6	36.6
1900	30.5	30.5	30.5	30.5	30.5	30.5	30.5	30.5	30.5	26.6
2000	29.4	29.4	29.4	29.4	29.4	29.4	29.4	29.4	29.4	25.5
2100	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	24.4
2200	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	23.3
2300	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	22.2
2400	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	21.1
Avg.	28.3	31.6	35.0	37.7	37.2	35.0	37.2	37.7	35.0	41.6

Κατά μήκος L του πάχους του τοίχου

$$\frac{\dot{q}}{h_1} = [T_{sa} - T|_{x=0}]$$

$$\frac{\dot{q}}{K/L} = T|_{x=0} - T|_{x=L}$$

$$\frac{\dot{q}}{h_{si}} = [T|_{x=L} - T_b]$$

Όπου h_{si} η ειδική συναγωγιμότητα της εσωτερικής επιφάνειας

$$\text{Οπότε για όλο το πάχος του τοίχου: } \dot{q} = U \cdot (T_{sa} - T_b)$$

Όπου U η ειδική θερμική διαπερατότητα σύμφωνα με τη μετάδοση θερμότητας:

$$U = \left[\frac{1}{h_1} + \frac{L}{K} + \frac{1}{h_{si}} \right]^{-1}$$

ενώ αν ο τοίχος αποτελείται από παραπάνω από ένα στρώματα :

$$U = \left[\frac{1}{h_1} + \sum_i^N \frac{L_i}{K_i} + \frac{1}{h_{si}} \right]^{-1}$$

Η καθαρή συνολική θερμότητα ανά m^2 επιφάνειας για ένα 24ωρο υπολογίζεται:

$$Q_T = Q_{ud} + Q_{un} , \text{ όπου:}$$

Q_{ud} : η θερμότητα ανά m^2 τις ώρες ηλιοφάνειας

Q_{un} : η θερμότητα ανά m^2 τις ώρες χωρίς ηλιοφάνεια (και βράδυ)

Αν οι ώρες ηλιοφάνειας είναι t_T και οι ώρες μη ηλιοφάνειας t'_T τότε το άθροισμά τους είναι $t = t_T + t'_T = 24h$

Οπότε υπολογίζονται:

$$Q_{ud} = U \cdot (T_{sa} - T_b) \cdot t_T \cdot 3600$$

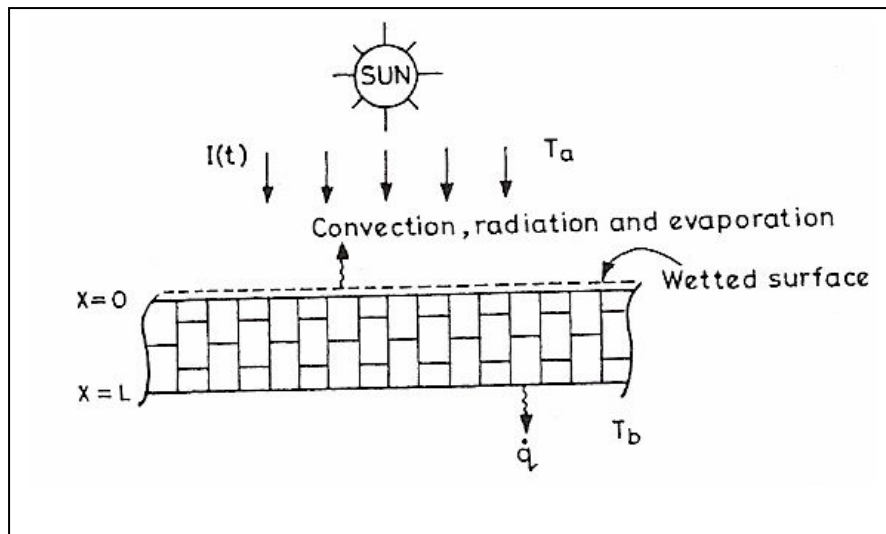
$$Q_{un} = U \cdot (T_{sa} - T_b) \cdot t'_T \cdot 3600$$

Ένας παράγοντας που επηρεάζει τη ροή θερμότητας που προκαλείται από την ηλιακή ακτινοβολία είναι ο χρωματισμός της επιφάνειας, η οποία επηρεάζει την απορροφητικότητα της επιφάνειας του τοίχου. Οι υπολογισμοί μπορούν να γίνουν για κάθετους τοίχους όλων των προσανατολισμών, και για οριζόντιους τοίχους (ταράτσες), καθώς επίσης και για στέγες υπό γωνία, με χρήση της ανάλογης ηλιακής ακτινοβολίας (υπολογισμός της ανάλογα με τη γωνία πρόσπτωσης).

Ανάλογοι υπολογισμοί μπορούν να γίνουν, πιο σύντομα με τη βοήθεια πινάκων σύμφωνα με τη μέθοδο θερμοκρασιακής διαφοράς ψυκτικού φορτίου CLTD της ASHRAE , που περιγράφεται στα βιβλία κλιματισμού.

7.3 Θερμική ροή διά μέσω βρεγμένης επιφάνειας

Όταν η επιφάνεια του τοίχου καλύπτεται από στρώμα νερού στους υπολογισμούς που αναλύθηκαν για τοίχους στην προηγούμενη παράγραφο, πρέπει να συνυπολογιστεί και ένα ακόμα φαινόμενο. Ένα μέρος της ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια από νερό απορροφάται από αυτήν, προκαλώντας λόγω αύξησης της θερμοκρασίας την εξάτμισή του. Το ποσό ολικής ακτινοβολίας θα διαφέρει από αυτό της στεγνής επιφάνειας , αν το στρώμα νερού προκαλεί διαφορετική ανάκλαση ακτινοβολίας.



Σχήμα 7.3.1 Ηλιακή ακτινοβολία σε βρεγμένη επιφάνεια

Το ισοζύγιο θερμότητας γράφεται:

$$a \cdot I(t) = -K \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=0} + h_{ra} \cdot (T|_{x=0} - T_a) + \varepsilon \cdot \Delta R + h_{ca} \cdot (T|_{x=0} - T_a) + h_{ea} \cdot (T|_{x=0} - T_a)$$

όπου h_{ea} : ο συντελεστής μετάδοσης θερμότητας λόγω εξάτμισης, ο, οποίος

υπολογίζεται:
$$h_{ea} = h_{ew} = \frac{16.276 \cdot 10^{-3} \cdot h_{cw} \cdot |\bar{P}_w - \gamma \cdot \bar{P}_a|}{\bar{T}_w - \bar{T}_a}$$

Τελικά προκύπτει:
$$\dot{q} = h_1 \cdot [T_{sa} - T|_{x=0}]$$

Ισχύουν και πάλι οι σχέσεις:

$$U = \left[\frac{1}{h_1} + \sum_i^N \frac{L_i}{K_i} + \frac{1}{h_{si}} \right]^{-1}$$

$$Q_T = Q_{ud} + Q_{un}$$

$$Q_{ud} = U \cdot (T_{sa} - T_b) \cdot t_T \cdot 3600$$

$$Q_{un} = U \cdot (T_{sa} - T_b) \cdot t'_T \cdot 3600$$

$$t = t_T + t'_T = 24h$$

Δηλαδή ισχύουν οι ίδιες σχέσεις για τη στεγνή επιφάνεια αλλά αλλάζει ο συντελεστής h_1 για βρεγμένη επιφάνεια.

Η ύπαρξη στρώματος νερού στην οροφή του κτιρίου βοηθά στην επίτευξη συνθηκών άνεσης, καθώς λόγω της εξάτμισης, ένα ποσό θερμότητας που θα αύξανε τη θερμοκρασία της οροφής, φεύγει στο περιβάλλον λόγω της εξάτμισης

8. Δόμηση κατάλληλη για εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας

8.1 Βιοκλιματικός σχεδιασμός

Η βιοκλιματική αρχιτεκτονική αφορά το σχεδιασμό κτιρίων με βάση το κλίμα της περιοχής, έχοντας στόχο την επίτευξη συνθηκών άνεσης, με όσο το δυνατόν καλύτερη εκμετάλλευση, των φυσικών χαρακτηριστικών του κλίματος, μειώνοντας στο ελάχιστο τη χρήση τεχνικών μέσων για θέρμανση, δροσισμό, αερισμό, φωτισμό κλπ. Ακόμα και αν δεν είναι εφικτή η επίτευξη συνθηκών άνεσης με καθαρά φυσικούς τρόπους, είναι δυνατή η αρκετά μικρότερη παρέμβαση με τεχνητά μέσα, προσφέροντας σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας με επιπτώσεις τόσο στον οικονομικό τομέα για τον χρήστη, αλλά κυρίως σε περιβαλλοντικούς τομείς.

Κατά το βιοκλιματικό σχεδιασμό λαμβάνονται υπόψη παράγοντες όπως, χρήση κατάλληλων ανοιγμάτων και υαλοπινάκων, ο σωστός προσανατολισμός, το μέγεθος και η μορφή του κτιρίου, η θερμομόνωση, ο γενικότερος πολεοδομικός σχεδιασμός (γειτνίαση με άλλα κτίρια ή εμπόδια για την ηλιακή ακτινοβολία και τον αέρα), η ύπαρξη δέντρων κλπ.

8.2 Η τοποθέτηση του κτιρίου και οι εσωτερικοί χώροι

Η τοποθέτηση του κτιρίου συνήθως γίνεται στη πίσω βορινή πλευρά του οικοπέδου, με υπολογισμό όσο το δυνατόν περισσότερου ελεύθερου χώρου στη μπροστινή νότια πλευρά, για καλύτερη εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας. Οι ελεύθεροι χώροι στις νότιες πλευρές προστατεύουν επίσης και από την ανεμόπτωση. Προσοχή χρειάζεται η τοποθέτηση ανάμεσα στα γειτονικά κτίρια, ώστε να αποφευχθεί ο σκιασμός από αυτά, κυρίως στη σημαντική νότια πλευρά.

Όπως έχει αναπτυχθεί στα προηγούμενα κεφάλαια, ο προσανατολισμός που παρέχει την καλύτερη εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας, είναι ο νότιος. Κατά συνέπεια ο άξονας του κτιρίου, ή η κύρια όψη του θα πρέπει να είναι στραμμένη προς τον νότο. Η μέγιστη δυνατή αποκλίση ανατολικά ή δυτικά είναι περίπου 25° , επειδή δεν είναι δυνατό πάντα να κατασκευαστεί ένα κτίριο με τον απόλυτα νότιο προσανατολισμό. Το πρόβλημα που προκύπτει, είναι ότι συνήθως η δόμηση στις ήδη αναπτυγμένες περιοχές γίνεται παράπλευρα οδικών αξόνων με κατεύθυνση Βορά - Νότου ή Ανατολής - Δύσης, οπότε μόνο ένα μικρό ποσοστό των κτιρίων μπορεί να κατασκευασθεί με νότιο προσανατολισμό.

Οι εσωτερικού χώροι πρέπει να σχεδιαστούν κατά τρόπο που ανάλογα με τη χρήση να επιτυγχάνονται οι κατάλληλες συνθήκες. Οι χώροι όπου οι κάτοικοι περνούν αρκετές ώρες της ημέρας πρέπει να βρίσκονται στη νότια πλευρά του κτιρίου (σαλόνια, τραπεζαρίες, καθιστικά). Ακόμα οι χώροι εργασίας ή τα αναγνωστήρια - γραφεία ενδείκνυται να βρίσκονται στη νότια πλευρά, διότι λόγω των μεγάλων ανοιγμάτων που υπάρχουν για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, παρέχεται περισσότερος φυσικός φωτισμός.

Τα δωμάτια που χρησιμοποιούνται λιγότερες ώρες της ημέρας, η οι απαιτήσεις σε θερμοκρασία είναι μικρότερες, τοποθετούνται στην ενδιάμεση ζώνη του κτιρίου (υπνοδωμάτια, μπάνια, αποχωρητήρια κλπ). Τέλος στη πιο κρύα βορινή πλευρά, τοποθετούνται βοηθητικοί χώροι όπως αποθήκες και γκαράζ, καθώς εκεί οι απαιτήσεις για θερμική άνεση είναι περιορισμένες, και οι χώροι αυτοί λειτουργούν σαν ζώνες εξομάλυνσης της θερμοκρασίας (θα μπορούσε να χαρακτηριστεί σαν κάποια μόνωση), μειώνοντας τις θερμικές απώλειες.

Σημαντικό ρόλο παίζει και το σχήμα του κτιρίου. Το αρκετά συνηθισμένο σχήμα κύβου δεν είναι η καλύτερη επιλογή. Πιο σωστή θεωρείται η επιμήκης μορφή κατά τον άξονα ανατολής - δύσης, με τη μεγαλύτερη πλευρά, με τα περισσότερα ανοίγματα προς το νότο. Τα λιγότερο αποτελεσματικά είναι τα επιμήκη κτίρια κατά άξονα ανατολής - δύσης.

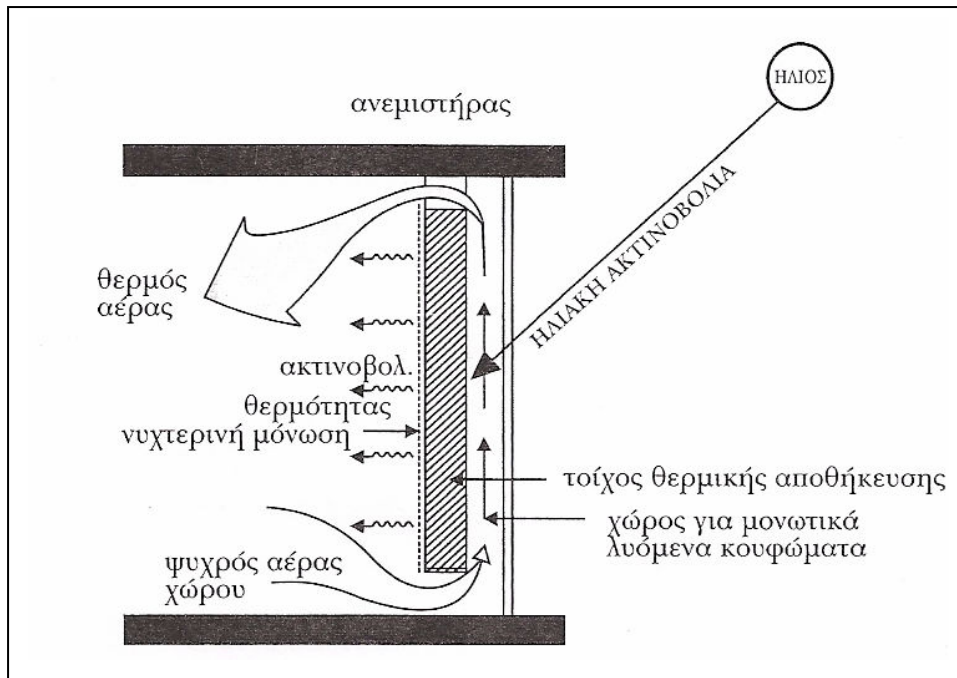
8.3 Συστήματα άμεσου ηλιακού κέρδους

Στα συστήματα άμεσου ηλιακού κέρδους η ηλιακή ακτινοβολία εισέρχεται μέσω υαλοπινάκων στους εσωτερικούς χώρους, και προσπίπτει σε τοίχους και αντικείμενα ανεβάζοντας την θερμοκρασία τους, καθώς και στους κατοίκους επηρεάζοντας την θερμική άνεση. Απαιτούνται μεγάλες επιφάνειες υαλοπινάκων στη νότια πλευρά για να εισέρχεται το μεγαλύτερο δυνατόν ποσό ακτινοβολίας, ισχυρές θερμομονώσεις, ενώ οι εσωτερικές επιφάνειες (τοίχοι, δάπεδο) χρησιμοποιούνται για θερμική αποθήκευση, και ρύθμιση της θερμοκρασίας. Σημαντική είναι και η χρήση σκιάστρων για τη ρύθμιση του ποσού της ακτινοβολίας. Όμως για τα συστήματα άμεσου κέρδους έχουν αναλυθεί τα απαραίτητα στοιχεία στα προηγούμενα κεφάλαια.

8.4 Συστήματα έμμεσου ηλιακού κέρδους

Στα συστήματα έμμεσου ηλιακού κέρδους, η ηλιακή ακτινοβολία η ηλιακή ακτινοβολία δεν εισέρχεται κατευθείαν στον εσωτερικό χώρο, αλλά προσπίπτει σε μια θερμική μάζα που είναι τοποθετημένη ανάμεσα στο χώρο και το εξωτερικό περιβάλλον. Η μάζα απορροφά ένα ποσοστό ακτινοβολίας και η θερμοκρασία της αυξάνεται. Στη συνέχεια αποδίδει θερμότητα προς το εσωτερικό και ανεβάζει τη θερμοκρασία του χώρου. Οι μάζες σχεδιάζονται έτσι ώστε να έχουν μια χρονική καθυστέρηση, και να μπορεί να αποδώσει θερμότητα και τις ώρες που δεν υπάρχει ηλιοφάνεια. Συνήθως ο τοίχος αυτός τοποθετείται μερικά εκατοστά πίσω από ένα τζάμι, και είναι σκούρου χρώματος ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή απορρόφηση ακτινοβολίας.

Ο μηχανισμός μετάδοσης θερμότητας από την εσωτερική επιφάνεια στον χώρο είναι με ακτινοβολία και συναγωγή. Για την μεγαλύτερη απόδοση υπάρχουν ανοίγματα στο πάνω και κάτω άκρο του τοίχου για να επιτυγχάνεται η κυκλοφορία αέρα, ενώ συνήθως υπάρχουν κλαπέτα που δίνουν την δυνατότητα να κλείνουν τα ανοίγματα αυτά, και κάποιες φορές ανεμιστήρες για την αύξηση της ροής αέρα.

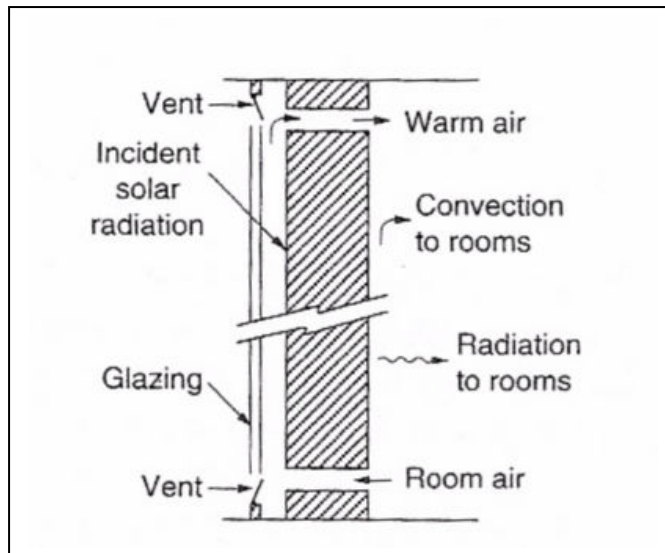


Σχήμα 8.4.1 Τοίχος θερμικής αποθήκευσης

Τα πιο γνωστά συστήματα έμμεσου ηλιακού κέρδους είναι ο τοίχος Trombe, ο τοίχος νερού και η οροφή νερού. Χρησιμοποιούνται ακόμα και σε συνδυασμό θερμοκήπιο.

8.4.1 Ο τοίχος Trombe

Πρόκειται για ένα συμπαγή παχύ τοίχο, σκούρου χρωματισμού, σε απόσταση λίγων μόλις εκατοστών από έναν υαλοπίνακα. Στο πάνω και κάτω μέρος υπάρχουν ανοίγματα, όπως και στο πάνω μέρος του υαλοπίνακα. Η λειτουργία του βασίζεται κυρίως στη κυκλοφορία αέρα ανάμεσα στον υαλοπίνακα και τον τοίχο που εξασφαλίζεται λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας. .



Σχήμα 8.4.1.1 Λειτουργία τοίχου Trombe

Ο ήλιος προσπίπτει στον υαλοπίνακα και θερμαίνει τον αέρα ανάμεσα σε αυτόν και τον τοίχο. Η ροή αέρα που δημιουργείται εξασφαλίζει τη παροχή θερμού αέρα από το πάνω άνοιγμα στο δωμάτιο, τον οποίο αναπληρώνει ψυχρός αέρας από το κάτω άνοιγμα. Εκτός αυτού, ένα μέρος της ακτινοβολίας προσπίπτει επάνω στον τοίχο, ανεβάζοντας του τη θερμοκρασία με αποτέλεσμα την ακτινοβολία υψηλού μήκους κύματος προς το εσωτερικό.

Το καλοκαίρι κλείνει το επάνω άνοιγμα του τοίχου και ανοίγει αυτό του υαλοπίνακα, ώστε ο θερμός αέρας να φεύγει στο εξωτερικό περιβάλλον, ενώ με συστήματα σκίασης αποφεύγεται η άμεση ηλιακή ακτινοβολία.

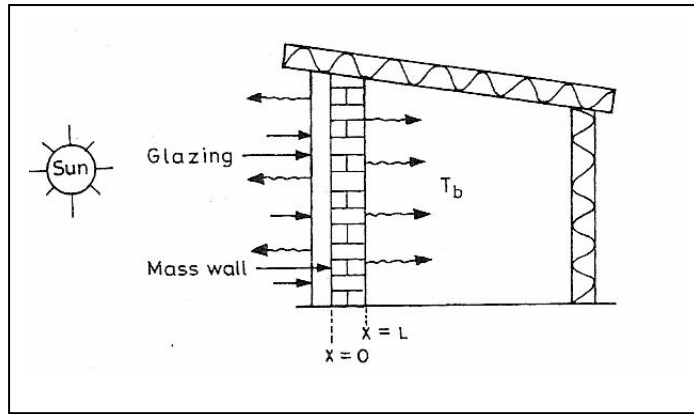
Για έναν τοίχο πάχους L και αγωγιμότητας K , η ροή θερμότητας που εισέρχεται στο δωμάτιο είναι :

$$\dot{q} = a \cdot \tau \cdot I(t) - U_t \cdot (T|_{x=0} - T_a)$$

Όπου U_t ο συνολικός συντελεστής θερμικών απωλειών από την εξωτερική επιφάνεια του τοίχου στο περιβάλλον μέσω του υαλοπίνακα. .

Η ροή θερμότητας που μεταφέρεται με αγωγή και στη συνέχεια μεταδίδεται με ακτινοβολία και συναγωγή στο χώρο είναι:

$$\dot{q} = \frac{K}{L} \cdot (T|_{x=0} - T|_{x=L}) = h_{si} \cdot (T|_{x=L} - T_b)$$



Σχήμα 8.4.1.2 Ροή θερμότητας μέσω τοίχου Trombe

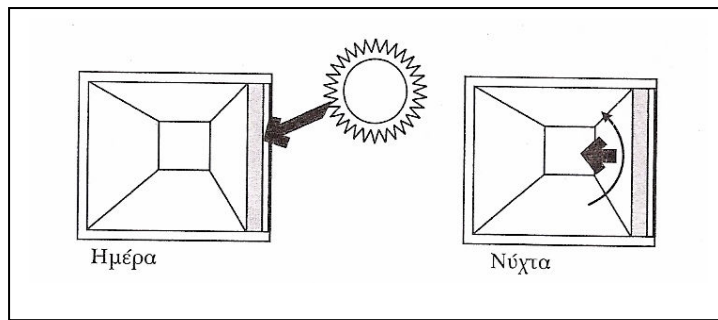
Τελικά προκύπτουν :

$$\dot{q} = U_L \cdot \left[\frac{a \cdot \tau \cdot I(t)}{U_t} + T_a - T_b \right] = U_L \cdot (T_{sa} - T_b)$$

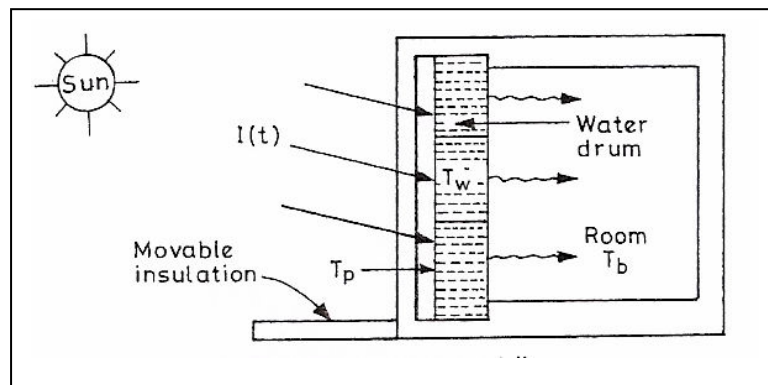
$$\text{Όπου: } U_L = \left[\frac{1}{U_t} + \frac{L}{K} + \frac{1}{h_{si}} \right]^{-1}$$

8.4.2 Ο τοίχος νερού

Ο τοίχος νερού μοιάζει με τον τοίχο Trombe μόνο που χρησιμοποιεί νερό για την αποθήκευση θερμότητας, εκμεταλλευόμενος τη μεγάλη θερμοχωρητικότητα του νερού. Σε αυτή την περίπτωση απαιτούνται πολύ μικρότερες επιφάνειες τοίχου σε σχέση με άλλα υλικά. Το μειονέκτημα είναι η ομοιόμορφη θέρμανση του τοίχου, στην εσωτερική και εξωτερική επιφάνεια, με αποτέλεσμα την ακτινοβολία θερμότητας και προς τις δυο κατευθύνσεις το βράδυ. Για αυτό το λόγω χρησιμοποιείται θερμομόνωση στην εξωτερική πλευρά.



Σχήμα 8.4.2.1 Λειτουργία τοίχου νερού μέρα - νύχτα



Σχήμα 8.4.2.2 Ροή θερμότητας σε τοίχο νερού.

Οι εξισώσεις ροής θερμότητας είναι:

$$\dot{q} = a \cdot \tau \cdot I(t) - U_t \cdot (T_p - T_a) , \text{ όπου}$$

T_p η θερμοκρασία της μεταλλικής επιφάνειας του καλύμματος του νερού.

Αν h'_1 και h'_2 οι συντελεστές μετάδοσης θερμότητας από τον απορροφητή στο νερό και από το νερό στην εσωτερική μεταλλική επιφάνεια αντίστοιχα, τότε:

$$\dot{q} = h'_1 \cdot (T_p - T_w)$$

$$\dot{q} = h'_2 \cdot (T_w - T_{si})$$

$$\dot{q} = h'_{si} \cdot (T_{si} - T_b)$$

Αν $\frac{1}{U_L} = \left(\frac{1}{U_t} + \frac{1}{h'_1} + \frac{1}{h'_2} + \frac{1}{h'_{si}} \right)$ τότε από τις παραπάνω εξισώσεις

προκύπτει:

$$\dot{q} = U_L \cdot (T_{sa} - T_b)$$

ενώ $T_{sa} = \frac{a \cdot \tau}{U_L} \cdot I(t) + T_a$

8.4.3 Η οροφή νερού

Στην περίπτωση της οροφής νερού, πλαστικά δοχεία με νερό (σάκοι) τοποθετούνται στην ταράτσα του κτιρίου. Λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στους σάκους, αποθηκεύεται θερμότητα στο νερό, το οποίο αποδίδεται προς τα κάτω, στο εσωτερικό, το βράδυ, αρκεί να τοποθετείται θερμομόνωση εξωτερικά. Η οροφή νερού χρησιμοποιείται τόσο το χειμώνα για θέρμανση, όσο και το καλοκαίρι για ψύξη.

Συνήθως χρησιμοποιείται σε κτίρια που έχουν εξ αρχής σχεδιαστεί για να χρησιμοποιήσουν ένα τέτοιο σύστημα και έχει γίνει υπολογισμός για τη στατική αντοχή, λόγω του αυξημένου βάρους.

Βιβλιογραφία - Αναφορές

- Θερμικά – Ηλιακά Συστήματα , Κ. Αντωνόπουλου, Εκδόσεις ΕΜΠ
- Κλιματισμός, Κ. Αντωνόπουλου, Εκδόσεις ΕΜΠ
- Σημειώσεις μαθήματος Θερμική Συμπεριφορά Κτιρίων, 9^ο Εξάμηνο, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ
- Ηλιακή Ενέργεια, Συνιστώσες της ηλιακής θερμικής διαδικασίας, Α. Μοσχάτος, Εκδόσεις Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος
- Θέρμανση – Κλιματισμός, Μελέτη, Κατασκευή, Εγκαταστάσεις, Υλικά, Εξοπλισμός, Β.Η. Σελλούντος, Εκδόσεις Δορυφόρος
- Ενεργειακός Σχεδιασμός, Εισαγωγή για αρχιτέκτονες, Ερωτόκριτου Τσίγκα, από το Αγγλικό κείμενο Energy Conscious – A Primer for Architects, J. Goulding , J. Owen Lewis, Theo C. Steemers, Ευρωπαϊκή Επιτροπή
- Αναλυτική Προσέγγιση Κεντρικών Θερμάνσεων, Μ. Βραχόπουλος, Εκδόσεις Α. Σταμούλης
- Σημειώσεις ΑΠΕ Ι, Κεφ. 3, Π. Αξαόπουλος, Τμήμα Ενεργειακής Τεχνολογίας, ΤΕΙ Αθήνας
- Παραμετρική Μελέτη Της Επίδρασης Του Προσανατολισμού Στη Θερμική Συμπεριφορά Κτιρίων Στην Αθήνα, Διπλωματική Εργασία Μπινίκου Ι. , Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ, Οκτώβριος 2002, Επιβλέπων Καθηγητής Κ. Αντωνόπουλος
- Θερμική Άνεση Στα Κτίρια, Νέα Πρότυπα και Βελτίωση Θερμικής Άνεσης στα Κτίρια, Η Οδηγία 2002/91/EC, Α. Παπαδόπουλος, ΑΠΘ
- Συνθήκες Άνεσης στον Εσωτερικό Χώρο, Ε. Τσίγκα Τεχνικό Περιοδικό Κτίριο, Τεύχος 114
- Concepts in Thermal Comfort, M. David Egan. Practice Hall, Inc, Englewood Cliffs New Jersey
- Solar Engineering of Thermal Processes, J. A. Duffie, William A. Beckman, John Wiley & Sons, INC

- Standards for Thermal Comfort, Indoor Air temperature Standards for the 21st Century, With an Introduction by Ken Parsons, Edited by: Michael Humphreys, Fergus Nicol, Oliver Sykes, Susan Roaf, Taylor and Francis
- Ηλιοτεχνική, Εφαρμογές της Ηλιακής Ενέργειας, Hans Rau, Μετάφραση Ν. Παπαδόπουλος, Εκδόσεις Gutenberg
- Solar Energy Fundamentals, Design, Modeling and Applications, G.W Tiwari, Alpha Science International Ltd
- A Model for Managing and Evaluating Solar Radiation for Indoor Thermal Comfort, Maria La Gennusa, Antonino Nucara, Matilde Pietrafesa, Gianfranco Rizzo, Elsevier Ltd
- The Calculation of the Mean Radiant Temperature of a Subject Exposed to the Solar Radiation – A Generalised Algorithm, Maria La Gennusa, Antonino Nucara, Gianfranco Rizzo, Gianluca Scaccianoce, Elsevier Ltd
- Introduction to Thermal Comfort Standards and to the Proposed New Version of En ISO 7730, B.W. Olesen, K.C. Parsons
- The Interrelationship and Characteristic Distribution of Direct, Diffuse and Total Solar Radiation, Benjamin Y. H. Liu, Richard C. Jordan
- Thermal Parameters for Assessing Thermal Properties of Clothing, Jianhua Huang, School of Textile and Material, Wuhan University of Science and Engineering, China
- Clothing: An Essential Individual Adjustment Factor For Obtaining General Thermal Comfort, G. Alfano, F.R. d' Ambrosio, Dipartimento di Energetica Termofuidodinamica Applicata e Condizionamenti, Università di Napoli
- Window Performance For Human Thermal Comfort, Final report to the fenestration rating council, February 2006, Charlie Huizenga, Hui Zhang, Pieter Mattelaer, Tiefeng Yu, Edward Arens, University of California, Berkeley
- Window Performance For Human Thermal Comfort, Prepared for ASHPAE, Kirby S. Chapman, Jeet Sengupta, National Gas Machinery Laboratory, Kansas State University
- International Standards Standards And The Ergonomics Of The Thermal Environment, Bjarne W. Olesen

- The Estimation Of Daily, Clear Sky, Solar Radiation Intercepted By a Tilted Surface, Thomas A Weiss, George O.G. Lof
- Algorithms For The Calculation Of The Mean Projected Area Factors Of Seated And Standing Persons, G. rizzo, G. Franzitta, G. Cannistrato
- Algorithms For The Calculation Of The View Factors Between Human Body And Rectangular Surfaces In Parallelepiped Environments, G. Cannistraro, G. Granzitta, G. Giaconia, G. Rizzo
- Introduction In Thermal Comfort Standards, K.C. Parsons, Loughbotough University, UK
- An Experimental Technique For Thermal Comfort Comparison In a Transient Pull Down, Manohar R. Kulkarni, Feng Hong, Mechanical Engineering and Energy Department, Southern Illinois University
- Χωροθέτηση κτιρίου στο οικόπεδο – προσανατολισμός, Οδηγίες TEE
- Calculation Of Obstructed View Factors By Adaptive Integration, George Walton, Department of Commerce, USA
- The Skin's Role In Human Thermoregulation And Comfort, Edward A. Arens, H Zhang, Center For The Build Environment, University Of California, Berkeley
- Modelling Thermal Comfort In Stratified Environments, H Zhang, C. Huizenga, E. Arens, T Yu, Center For Environment Design Research, University Of California, Berkeley
- Sustainable Summer Comfort: Comfort Models, Keep Cool, Austrian Energy Agency
- Weather, Clothing and Thermal Adaptation to Indoor Climate, Craig Morgan, Richard de Dear, Division Of Environmental and Life Sciences, Macquarie University, Sydney, Australia
- European Solar Radiation Atlas (ESRA), <http://www.helioclim.net>
- A Model of Human Physiology and Comfort for Assessing Complex Thermal Environments, Charlie Huizenga, Zhang Hui, Edward Arens, Center For Environment Design Research, University Of California, Berkeley
- A Qualitative Response Model of Thermal Comfort, Patrick Taffe, Elsevier Science Ltd