

ΑΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Μελέτη και παράμετροι που επηρεάζουν  
τους δείκτες θερμικής άνεσης κτιρίου»

Σπουδαστής: Κουτσούκος Νικόλαος

Εισηγητής: Κωνσταντίνος – Στέφανος Νίκας

ΙΟΥΝΙΟΣ 2012

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	
1.1 Πρόλογος .....	8
1.2 Η αναγκαιότητα μελέτης της θερμικής άνεσης κτιρίων .....	10
1.2.1 Το φαινόμενο του θερμοκηπίου .....	11
1.2.2 Το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας .....	13
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΤΟ ΚΛΙΜΑ ΚΑΙ Η ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ ΜΕ ΤΟ ΖΗΤΗΜΑ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ</b>	
2.1 Παράγοντες που συνιστούν το κλιματικό σύνολο .....	15
2.1.1 Θερμοκρασία .....	16
2.1.2 Ηλιακή ακτινοβολία .....	17
2.1.3 Άνεμος .....	19
2.1.4 Υγρασία .....	19
2.2. Εσώκλιμα .....	20
2.3 Οι ελληνικές κλιματικές συνθήκες .....	22
2.4 Βιοκλιματικός σχεδιασμός και θερμική άνεση .....	24

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΑΝΕΣΗΣ</b>	
3.1 Περιγραφή της κατάστασης της θερμικής άνεσης .....	26
3.2 Άλλες παράμετροι άνεσης .....	28
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ</b>	
4.1 Περιβαλλοντικές συνθήκες .....	31
4.2 Προσωπικές μεταβλητές .....	32
4.2.1 Ένδυση .....	32
4.2.2 Δραστηριότητα –Μεταβολισμός .....	33
4.2.3 Εφίδρωση .....	34
4.3 Παράμετροι κτιριακής κατασκευής .....	34
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΝΘΡΩΠΟΥ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΣΤΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΤΗΣ ΑΝΤΑΛΛΑΓΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ</b>	
5.1 Μηχανισμός ανταλλαγής θερμότητας του ανθρώπινου σώματος με το περιβάλλον .....	35

5.1.1 Θερμογένεση .....	36
5.1.2 Θερμοαποβολή .....	37
5.2 Θερμορυθμιστικό σύστημα του ανθρώπου .....	38
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ</b>	
6.1 Θερμικό ισοζύγιο .....	41
6.1.1 Θερμικό ισοζύγιο κτιρίου .....	41
6.1.2 Θερμικό ισοζύγιο ανθρώπινου σώματος .....	43
6.2 Μοντελοποίηση θερμικής άνεσης .....	43
6.2.1 Θεωρητικά μοντέλα – Δείκτες .....	43
6.2.2 Εμπειρικά μοντέλα και προσομοιώσεις .....	44
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: Ο ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗΣ ΜΕΣΗΣ ΑΠΟΔΟΧΗΣ (P.M.V)</b>	
7.1 Έννοια και μαθηματική έκφραση του δείκτη .....	48
7.2 Συσχετισμός με άλλες παραμέτρους .....	49
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: Ο ΔΕΙΚΤΗΣ ΔΥΣΑΡΕΣΚΕΙΑΣ (P.P.D)</b>	
	54



<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: Ο ΔΕΙΚΤΗΣ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΗΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ (P.E.T)</b>	56
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: ΜΟΝΤΕΛΟ RAYMAN</b>	58
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ</b>	65
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	67

### Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Ζητούμενο εύρεσης σημείου ισορροπίας ανάμεσα σε επίτευξη θερμικής άνεσης και εξοικονόμησης ενέργειας [H5] .....	11
Εικόνα 2: Το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας [B5].....	14
Εικόνα 3: Το μέγεθος της επιφάνειας ενός ατόμου που εκτίθεται σε άμεση ηλιακή ακτινοβολία σε συνάρτηση με το θέση του ήλιου [B18] .....	18
Εικόνα 4: Κλιματικές ζώνες διαίρεσης της ελληνικής επικράτειας σύμφωνα με τον ΚΕΝΑΚ [H2].....	24
Εικόνα 5: Θερμική άνεση σε βιοκλιματική κατοικία [B23].....	25
Εικόνα 6: Μηχανισμοί ανταλλαγής θερμότητας του ανθρώπινου σώματος με το περιβάλλον [H1] .....	38
Εικόνα 7: Κλίμακα προσδιορισμού δείκτη P.M.V .....	48
Εικόνα 8: Παράθυρο εισαγωγής δεδομένων μοντέλου Rayman [B8] .....	61
Εικόνα 9: Παράθυρο σχεδιασμού μοντέλου Rayman για αστική περιοχή [B8] .....	62
Εικόνα 10: Παράμετροι σχεδιασμού κτιρίου στο μοντέλο Rayman [B8].....	62
Εικόνα 11: Παράμετροι σχεδιασμού δέντρου στο μοντέλο Rayman [B8].....	63

## Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Η μέση διακύμανση της θερμοκρασίας της επιφάνειας της γης σε παγκόσμια κλίμακα [B4] .....	12
Διάγραμμα 2: Ενδείξεις θερμικής άνεσης σε συνθήκες εσωτερικού χώρου [H3] .....	22
Διάγραμμα 3: Κατηγοριοποίηση μηχανισμών αποκατάστασης θερμοκρασιακής ισορροπίας .....	36
Διάγραμμα 4: Μηχανικό ανάλογο μηχανισμού θερμορύθμισης του ανθρώπινου σώματος [B18].....	40
Διάγραμμα 5: Τρισδιάστατο μοντέλο θερμικής άνεσης [H7] .....	47
Διάγραμμα 6: Σχέση ποσοστού δυσαρέσκειας με τη θερμοκρασία και την υγρασία [B15].....	54
Διάγραμμα 7: Συσχετισμός δεικτών αναμενόμενης μέσης αποδοχής και δυσαρέσκειας [B6].....	55
Διάγραμμα 8: Διαδικασία λειτουργίας μοντέλου Rayman.....	58
Διάγραμμα 9: Ημερήσια διακύμανση δείκτη PET για διαφορετικές ημέρες της ίδιας εποχής [B15].....	63
Διάγραμμα 10: Μέση τιμή ημερήσιας διακύμανσης δείκτη PET για συγκεκριμένη χρονική περίοδο [B15] .....	64

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Κατηγορίες θερμικής άνεσης κατά ΕΛΟΤ EN 15251 [H5] .....	27
Πίνακας 2: Κλίμακα χαρακτηρισμού μιας κατάστασης ανάλογα με τη θερμική άνεση [H5].....	27
Πίνακας 3: Επιθυμητές θερμοκρασίες άνεσης σύμφωνα με σχετική μελέτη της ASHRAE [B19].....	31
Πίνακας 4: Συσχετισμός δεικτών κανονικής ενεργού θερμοκρασίας και αναμενόμενης μέσης αποδοχής σε σχέση με την ανθρώπινη φυσιολογία [B8].....	48
Πίνακας 5: Παραμετρική θεώρηση του δείκτη αναμενόμενης μέσης αποδοχής [B14,B26] .....	52
Πίνακας 6: Συσχετισμός δείκτη PET και θερμικής αίσθησης [H8] .....	56
Πίνακας 7: Τιμές του δείκτη PET σε διάφορες μετεωρολογικές συνθήκες [B15].....	57

## Περίληψη

Το ζήτημα της θερμικής άνεσης είναι ιδιαίτερα σημαντικό στις μέρες μας, εξαιτίας του σύγχρονου τρόπου ζωής αλλά και του σημείου στο οποίο βρίσκεται η ρύπανση του περιβάλλοντος και το διαθέσιμο των ενεργειακών πόρων. Είναι απαραίτητος λοιπόν, ο αρχικός σχεδιασμός αλλά και η συνεχής μέτρηση αυτού του μεγέθους έτσι ώστε να διασφαλίζεται η ποιότητα της ανθρώπινης ζωής. Η μέτρηση αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω συγκεκριμένων δεικτών πρόβλεψης - εκτίμησης που παρουσιάζουν τις επικρατούσες κάθε φορά συνθήκες εντός μιας δεδομένης κλίμακας. Στα πλαίσια αυτής της πρόβλεψης εξετάζεται κάθε φορά συνδυασμός δεικτών, οι οποίοι χρησιμοποιούμενοι ως έξοδοι στη μοντελοποίηση της θερμικής συμπεριφοράς ενός κτιρίου μαζί με ένα πλήθος άλλων παραμέτρων που σχετίζονται με τον προσανατολισμό και τα υλικά κατασκευής, το περιβάλλον γύρω από το κτίριο και τις κλιματικές συνθήκες, μπορούν να δώσουν μια ικανοποιητική προσέγγιση της πραγματικής κατάστασης, οδηγώντας έτσι στις απαραίτητες κάθε φορά διορθωτικές επεμβάσεις.

**Λέξεις - Κλειδιά:** Θερμική Άνεση, Εξοικονόμηση Ενέργειας, Μέση Αποδοχή, Δυσανεμία, Πρόβλεψη

## Abstract

Thermal comfort is a very important issue because of several reasons, such as the modern way of life and the point at which environmental pollution and availability of energy resources exist. Therefore, a detailed initial design and continuous measurements are essential for ensuring the quality of human life. This measurement can be done with specific indicators for prediction or estimation which present the existing conditions within a corresponding scale. For this prediction, every time a combination of indicators is used. To create a model that describes the thermal behavior of a building, a large total of parameters have to be inserted, like climate condition, orientation of the building, materials of construction etc. The output of the model will be the results of the selected indicators, giving an adequate approach of the real conditions and guiding to the appropriate corrective actions.

**Key – Words:** Thermal Comfort, Energy Saving, Mean Vote, Dissatisfaction, Prediction

# 1

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 Πρόλογος

Το αντικείμενο της παρούσας εργασίας που είναι η θερμική άνεση κτιρίου και οι δείκτες που την «εκφράζουν», είναι τόσο σημαντικό όσο και πολυσύνθετο. Η σημασία του έγκειται στην άμεση σχέση του με την ανθρώπινη δραστηριότητα και κατ' επέκταση με την ανθρώπινη ζωή, ενώ η πολυπλοκότητά του αφορά στο ότι η τελική διαμόρφωση της συγκεκριμένης κατάστασης αποτελεί τη συνισταμένη πολλών και διαφορετικών συνιστωσών.

Η επιτυχημένη εφαρμογή της συγκεκριμένης τεχνολογίας συνίσταται από ένα πλήθος παραμέτρων και κριτηρίων που έχουν να κάνουν αφενός με τις ιδιαιτερότητες που παρουσιάζει η δόμηση και η κτιριακή κατασκευή και αφετέρου με την ενσωμάτωση και την αποδοχή καινοτόμων τεχνολογικών λύσεων. Σε κάθε περίπτωση όμως, η δημιουργία ενός ουδέτερου θερμικά περιβάλλοντος, μέσα στο οποίο ο καθένας μπορεί να αισθάνεται άνετα και να είναι δημιουργικός αποτελεί μια μελετητική πρόκληση. Αν αυτή μάλιστα η επιθυμία – αναγκαιότητα συνδυαστεί με το καθολικά διαπιστωμένο ζήτημα του ενεργειακού προβλήματος, της ρύπανσης του περιβάλλοντος και της κλιματικής αλλαγής (με τον κτιριακό τομέα να συμβάλλει σημαντικά στο συγκεκριμένο φαινόμενο), τότε γίνεται εύκολα αντιληπτό πως η «στροφή» προς του συγκεκριμένου τύπου κατασκευές αποτελεί επιτακτική ανάγκη, με ζητούμενο την εύρεση του σημείου ισορροπίας ανάμεσα στην επίτευξη της θερμικής και γενικότερης άνεσης του ανθρώπου σε ένα κλειστό χώρο και στη χρησιμοποίηση μη ενεργοβόρων συστημάτων (κλιματισμού, θέρμανσης, αερισμού και άλλων Η/Μ διατάξεων) και τεχνικών που θα την εξασφαλίζουν.

Στα προαναφερόμενα, θα πρέπει να συνυπολογιστούν οι αλλαγές που έχει επιφέρει ο σύγχρονος τρόπος ζωής και θέλουν τους ανθρώπους να περνάνε το μεγαλύτερο μέρος της ζωής τους μέσα σε «κλειστούς χώρους» με φυσικό

επακόλουθο το αυξανόμενο ενδιαφέρον για την μελέτη των παραγόντων εκείνων που δημιουργούν συνθήκες γενικότερης άνεσης μέσα στους κλειστούς αυτούς χώρους. Άλλωστε, οι επιπτώσεις του ακατάλληλου εσωτερικού περιβάλλοντος (είτε αυτές εμφανίζονται με κακή ποιότητα αέρα, είτε με ξηρή ατμόσφαιρα, είτε με θερμοκρασίες έξω από τα όρια της θερμικής άνεσης), μπορούν να δημιουργήσουν πολλά προβλήματα στους χρήστες των κτιρίων, επηρεάζοντας τη ψυχολογική τους διάθεση αλλά ακόμα και τη σωματική τους υγεία. Προφανής λοιπόν η σημασία της δυνατότητας επίτευξης των απαραίτητων συνθηκών μέσα στα κτίρια, με σεβασμό όμως στο περιβάλλον και στο πεπερασμένο των ενεργειακών αποθεμάτων.

Η διάρθρωση της παρούσας εργασίας συνοψίζεται στις εξής ενότητες: Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή σχετικά με το σκοπό, το αντικείμενο και τη δομή της. Ταυτόχρονα επισημαίνεται η αναγκαιότητα μελέτης της θερμικής άνεσης κτιρίων, όσον αφορά στη σύνδεσή της με την ανθρώπινη ζωή και την καθημερινή δράση, υπό το πρίσμα φαινομένων όπως αυτά του θερμοκηπίου και της αστικής θερμικής νησίδας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, αναλύεται το σύνολο των παραγόντων που συνιστούν την επικρατούσα κάθε φορά κλιματική κατάσταση, αποδίδοντας ιδιαίτερη στο εσώκλιμα, στις συνθήκες δηλαδή που επικρατούν σε κλειστούς χώρους, καταγράφοντας τις ειδικές παραμέτρους της ελληνικής πραγματικότητας.

Στο τρίτο και στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύονται γενικότερα οι συνθήκες άνεσης και ειδικότερα η έννοια της αντίστοιχης θερμικής, με καταγραφή – περιγραφή όλων εκείνων των παραγόντων και παραμέτρων που την καθορίζουν στο σύνολό της. Στο πέμπτο κεφάλαιο καταγράφεται η αλληλεπίδραση ανθρώπου και περιβάλλοντος όσον αφορά στο πλαίσιο ανταλλαγής θερμότητας, ένας μηχανισμός που είναι θεμελιώδης για την κατάσταση της θερμικής άνεσης, η μαθηματική περιγραφή της οποίας γίνεται στο έκτο κεφάλαιο, καταγράφοντας παράλληλα με τις εξισώσεις που την περιγράφουν όλα εκείνα τα μοντέλα – δείκτες που χρησιμοποιούνται για τον αναλυτικό προσδιορισμό της.

Στα κεφάλαια εφτά έως δέκα, αναλύονται αντίστοιχα οι δείκτες αναμενόμενης μέσης αποδοχής, δυσαρέσκειας και φυσιολογικής ισοδύναμης θερμοκρασίας τόσο όσον αφορά στην έννοια όσο και στη διαδικασία υπολογισμού τους, εμμένοντας στην ανάλυση του μοντέλου RayMan, δίνοντας σχετικά παραδείγματα.

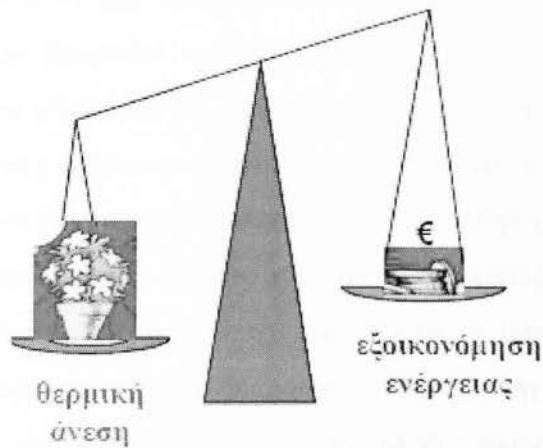
Στο ενδέκατο κεφάλαιο αναγνωρίζονται οι προβληματισμοί σχετικά με το συγκεκριμένο ζήτημα και ταυτόχρονα καταγράφονται συγκεκριμένα συμπεράσματα και προτάσεις με βάση όλα όσα έχουν παρατεθεί στις προηγούμενες ενότητες της εργασίας, ανιχνεύοντας τις προοπτικές του κλάδου όσον αφορά στην μελλοντική του ανάπτυξη. Η εργασία ολοκληρώνεται με την καταγραφή όλων εκείνων των βιβλίων – άρθρων που χρησιμοποιήθηκαν και αποτέλεσαν τη βάση για την εκπόνηση της παρούσας μελέτης.

## **1.2 Η αναγκαιότητα μελέτης της θερμικής άνεσης κτιρίων**

Σύμφωνα με σχετικές εκτιμήσεις, οι άνθρωποι περνούν περίπου το 90% του χρόνου ζωής τους σε διάφορα τεχνητά περιβάλλοντα όπως κατοικίες, γραφεία και μέσα μεταφοράς (αυτοκίνητα, τρένα, κλπ.). Είναι λογικό επομένως, να υπάρχει τα τελευταία χρόνια ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον για την μελέτη των παραγόντων εκείνων που δημιουργούν συνθήκες θερμικής, οπτικής, ακουστικής άνεσης. Παράλληλα έχει εμφανιστεί και η ανάγκη να αναπτυχθούν τα κατάλληλα μέσα και συστήματα τα οποία θα μπορούν να εξασφαλίσουν τις αποδεκτές συνθήκες τόσο σε χώρους κατοικίας, όσο και σε χώρους εργασίας, μεταφοράς κλπ. Οι εσωτερικοί χώροι θα πρέπει να πληρούν τις απαιτούμενες συνθήκες θερμοκρασίας, υγρασίας, αερισμού αλλά και τα κατάλληλα επίπεδα φωτισμού, χρωμάτων, θορύβων, καθώς και ποιότητας αέρα [H6].

Δεν πρέπει να παραβλεφθεί το γεγονός ότι η κακή ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος ενός κλειστού χώρου συνεπάγεται δυσάρεστες καταστάσεις, όπως μείωση της αποδοτικότητας, αλλαγή στην διάθεση, καθώς και άλλες σοβαρότερες συνέπειες όπως πονοκέφαλοι και ασθένειες που παρουσιάζονται, μεταδίδονται ή υποτροπιάζουν λόγω του εσωτερικού μολυσμένου αέρα. Ο στόχος λοιπόν είναι η εύρεση ενός σημείου ευσταθούς ισορροπίας ανάμεσα σε δύο ζητούμενα, αφενός αυτό της πλήρωσης όλων εκείνων των συνθηκών που συνεπάγονται τη θερμική άνεση μέσα σε ένα κτίριο και αφετέρου αυτό της κατανάλωσης μικρών ενεργειακών ποσών, αντιμετωπίζοντας έτσι ορθολογικά και με σεβασμό στο περιβάλλον το σημαντικό ενεργειακό πρόβλημα της σημερινής εποχής.





*Εικόνα 1: Ζητούμενο εύρεσης σημείου ισορροπίας ανάμεσα σε επίτευξη θερμικής άνεσης και εξοικονόμησης ενέργειας [H5]*

### 1.2.1 Το φαινόμενο του θερμοκηπίου

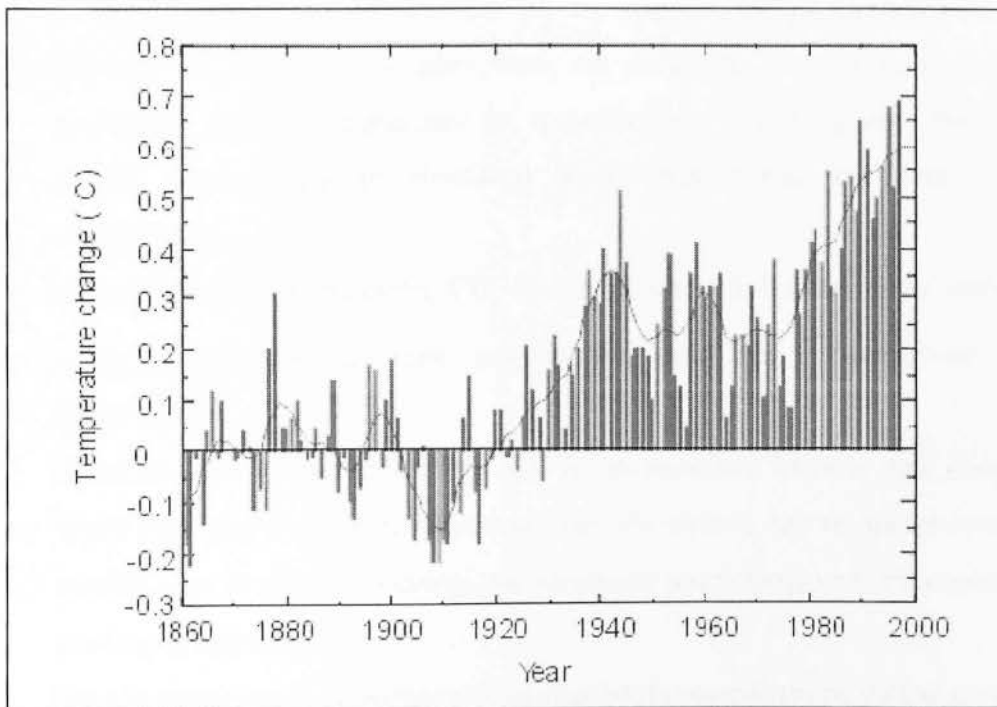
Η σύγχρονη καθημερινότητα αποτελεί μια εξέλιξη της πραγματικότητας η οποία προήλθε μέσα από πολλές αλλαγές στον εργασιακό τομέα αλλά και στον τομέα της καθημερινής διαβίωσης, οι οποίοι άλλαξαν άρδην μετά τη βιομηχανική επανάσταση, μια διαδικασία η οποία επέφερε μεταβολές όχι μόνο στις ίδιες τις ανθρώπινες ζωές αλλά και στο περιβάλλον, επιβαρύνοντάς το κατά πολύ. Η επιβάρυνση αυτή έχει άμεση σχέση με τους αέριους ρύπους που συνοδεύουν κάθε παραγωγική δραστηριότητα και οι οποίοι συνεπάγονται επικίνδυνα φαινόμενα όπως η «τρύπα» του όζοντος (επικίνδυνη μείωση του προστατευτικού αυτού στρώματος της ατμόσφαιρας) και η όξινη βροχή. Αναλυτικότερα, τα αέρια αυτά, τα οποία στην πλειοψηφία τους προέρχονται από την ανθρώπινη δράση και κατά ένα μικρό ποσοστό από φυσικούς παράγοντες, είναι:

- το διοξείδιο του άνθρακα (carbon dioxide -  $\text{CO}_2$ ),
- το μεθάνιο (methane -  $\text{CH}_4$ ),
- το υποξείδιο του αζώτου (nitrous oxide -  $\text{N}_2\text{O}$ ),
- οι χλωροφθοράνθρακες (chlorofluorocarbons - CFCs),
- οι υδρατμοί, άλλοι αλογονάνθρακες, το όζον κ.α [B1].

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου, στο οποίο έχουν γίνει πολλές αναφορές τα τελευταία χρόνια, αν θεωρηθεί υπό το πρίσμα του φυσικού του ρόλου, δρα ευεργετικά αφού είναι υπεύθυνο για τη διατήρηση της θερμοκρασίας στα αναγκαία για την εξασφάλιση της ανθρώπινης ζωής επίπεδα. Οι υψηλές όμως συγκεντρώσεις των προαναφερόμενων αερίων, πυκνώνουν τα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας μη αφήνοντας την εκπεμπόμενη από τη γη υπέρυθρη ακτινοβολία να διαχυθεί έξω από αυτή, με το άθροισμα της με την εκπεμπόμενη από τον ήλιο υπεριώδη ακτινοβολία να αυξάνει κατά πολύ τη θερμοκρασία του πλανήτη,

Το φαινόμενο μάλιστα έχει πάρει τέτοια έκταση, ώστε η τελευταία δεκαετία να είναι αποδεδειγμένα αυτή με την υψηλότερη θερμοκρασία από τότε που υπάρχουν επίσημες καταγραφές της θερμοκρασίας. Επίσης, οι κλιματικές αυτές αλλαγές εκφράζονται με ακραία καιρικά φαινόμενα, όπως καταιγίδες, τυφώνες και πλημμύρες που εμφανίζονται με αυξημένη συχνότητα σε σύγκριση με το παρελθόν [B2,B3].

Το ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζει τη μεταβολή που παρουσίασε η θερμοκρασία του πλανήτη στην επιφάνειά του κατά μέσο όρο. Είναι χαρακτηριστική η αύξηση που παρατηρείται μετά το 1920, γεγονός κάθε άλλο παρά τυχαίο αφού σχετίζεται με τη βιομηχανική επανάσταση που «σημάδεψε» τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο.



*Διάγραμμα 1: Η μέση διακύμανση της θερμοκρασίας της επιφάνειας της γης σε παγκόσμια κλίμακα [B4]*



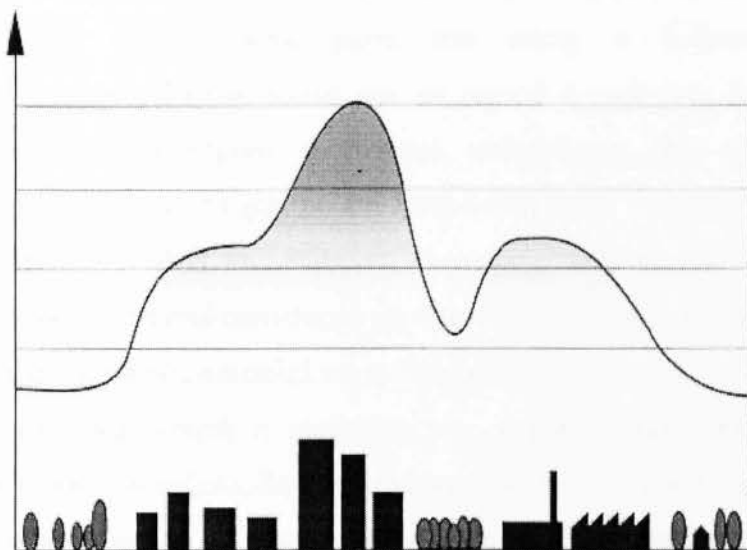
### 1.2.2 Το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας

Το συγκεκριμένο φαινόμενο περιγράφει την κατάσταση κατά την οποία η θερμοκρασία σε μια πόλη είναι υψηλότερη από τις γύρω περιοχές, με τη διαφορά να παρατηρείται ακόμα και μέσα στα όρια της ίδιας της πόλης σχετικά με το κέντρο και τις περιαστικές περιοχές. Η διαφορά αυτή μπορεί να φτάσει στους 10°C στην πρώτη περίπτωση και στους 4°C στη δεύτερη, γεγονός που εξηγεί κατά πολύ τη δυσφορία που κυριαρχεί στις συνθήκες διαβίωσης μέσα σε μια πόλη σε σχέση με την επαρχία. Βέβαια σε αυτό θα πρέπει να συνυπολογιστούν και οι ρύποι από την αυξημένη κίνηση αλλά και τις αυξημένες ενεργειακές δαπάνες, επιτείνοντας ακόμα περισσότερο τις συνέπειες του συγκεκριμένου φαινομένου, ειδικότερα κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού.

Το φαινόμενο της θερμικής νησίδας δεν οφείλεται κατά κύριο λόγο στο γεγονός ότι έχουμε υψηλές μέγιστες θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια της ημέρας αλλά, κυρίως, στο ότι έχουμε άνοδο στις ελάχιστες θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια της νύχτας. Αυτό οφείλεται κυρίως στα κτίρια που κατά τη διάρκεια της νύχτας εκπέμπουν τεράστια ποσά θερμότητας. Συνοπτικά, παράγοντες που συμβάλλουν στο συγκεκριμένο φαινόμενο είναι:

- Η πυκνή δόμηση σε συνδυασμό με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της (αποστάσεις μεταξύ των κτιρίων, ύψος και γεωμετρία των κτιρίων) αλλά και η ύπαρξη πολλών επιφανειών με ανακλαστικές ιδιότητες που αυξάνουν ακόμα περισσότερο το συνολικό ποσό θερμότητας και ενεργειακής επιβάρυνσης.
- Οι αυξημένες συγκεντρώσεις CO<sub>2</sub> (διοξειδίου του άνθρακα) πάνω από μία πόλη, δημιουργώντας έτσι μια μικρογραφία του φαινομένου του θερμοκηπίου.
- Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για τις κατασκευές κτιρίων και δρόμων, υλικά τα οποία στερούνται βιοκλιματικών ιδιοτήτων, που θα μπορούσαν να συμβάλλουν στη θερμική άνεση των κατοίκων μιας πόλης κατ' επέκταση της ευρύτερης περιοχής.
- Μεγάλο μέρος της θερμότητας που αναπτύσσεται οφείλεται σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες και παράγεται κυρίως από καύσεις.

- Η μειωμένη εξατμισοδιαπνοή και εξάτμιση που θα μπορούσαν εν μέρει να αντισταθμίσουν το θερμικό ισοζύγιο. Οφείλονται ασφαλώς στην έλλειψη πρασίνου και μεγάλων επιφανειών νερού στις πόλεις.
- Η μείωση της ροής του αέρα μέσα στην πόλη λόγω του τρόπου δόμησης των πόλεων. Η εναλλαγή ψηλών και χαμηλών κτιρίων μειώνουν την ταχύτητα του ανέμου μέσα στις πόλεις δυσχεραίνοντας την διαδικασία ψύξης του αέρα αλλά και των επιφανειών των κτιρίων.



*Εικόνα 2: Το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας [B5]*

# 2

## Το κλίμα και η σχέση του με το ζήτημα της θερμικής άνεσης

Το κλίμα επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την ανθρώπινη ζωή αφού η ατμόσφαιρα είναι τμήμα του περιβάλλοντος μέσα στο οποίο ο άνθρωπος ζει και δραστηριοποιείται, οποιοδήποτε τομέα και αν αφορά η εκάστοτε δραστηριότητα, κοινωνικό, πολιτικό, πολιτισμικό, οικονομικό, καθιστώντας έτσι αλληλένδετα τα χαρακτηριστικά κλιματικά στοιχεία με την ανθρώπινη φύση και υγεία. Ο άνθρωπος από την πλευρά του, αντιδρά στις διάφορες κλιματικές συνθήκες, προσαρμοζόμενος στις όποιες μεταβολές, με απώτερο σκοπό να εξασφαλίσει την εν γένει άνεσή του, μια ειδική κατηγορία της οποίας αποτελεί και η θερμική άνεση.

Για να γίνει κατανοητή η επίδραση των ατμοσφαιρικών συνθηκών στην ανθρώπινη υγεία και την ευζωία, θα πρέπει να «μεταφραστεί» η βασική - πρωτογενής μετεωρολογική πληροφορία σε έννοιες σχετιζόμενες με τη βιολογία του ανθρώπου. Για να γίνει εφικτό το παραπάνω, η επίδραση της ατμόσφαιρας στον άνθρωπο διαχωρίστηκε σε τρεις βασικούς τομείς.

- Στον τομέα του θερμικού περιβάλλοντος δηλαδή των συνθηκών που επιδρούν στην ανταλλαγή θερμότητας στο σύστημα άνθρωπος – περιβάλλον,
- Στον τομέα της άμεσης βιολογικής επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας και τέλος,
- Στον τομέα της επίδρασης της αέριας ρύπανσης συμπεριλαμβανομένης και των αλλεργιογόνων ουσιών [B16].

### 2.1 Παράγοντες που συνιστούν το κλιματικό σύνολο

Το κλίμα αποτελεί ένα πολυσύνθετο σύνολο, με πολλά και διαφορετικά στοιχεία που το συνιστούν. Ειδικότερα, πρέπει να γίνει αντιληπτός ο δυναμικός του χαρακτήρας, αφού οι κλιματικές συνθήκες είναι συνεχώς μεταβαλλόμενες, με αποτέλεσμα να απαιτείται η συνεχής παρακολούθησή τους έτσι ώστε η πρόβλεψη και

η προσαρμογή να εξασφαλίζουν κάθε φορά την άνεση της ανθρώπινης διαβίωσης σε κάθε περιοχή, με τις κλιματικές ιδιαιτερότητες να διαφοροποιούν κάθε φορά την προσέγγιση της διαδικασίας, διατηρώντας όμως ένα κοινό στόχο, την εξασφάλιση της άνεσης των κατοίκων της εξεταζόμενης περιοχής.

Η δυσκολία στην κλιματική ανάλυση έγκειται στο γεγονός της συμμετοχής πολλών παραγόντων σε αυτό που καλείται κλίμα μιας περιοχής. Αναλυτικότερα, οι παράγοντες αυτοί θα προσεγγιστούν στις ακόλουθες υποενότητες.

### 2.1.1 Θερμοκρασία

Η ένδειξη της θερμοκρασίας αποτελεί χαρακτηριστική κλιματολογική συνθήκη, με τη μέτρησή της να είναι προαπαιτούμενο κάθε διαδικασίας εκτίμησης και προσαρμογής οποιονδήποτε κλιματικών συνθηκών.

Με τον γενικό όρο θερμοκρασία, η αναφορά γίνεται πρακτικά στη θερμοκρασία του αέρα και τη 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 [B19].

Η σχέση της παραμέτρου της θερμοκρασίας ως μέρος των κλιματολογικών συνθηκών με τη θερμική άνεση έγκειται στο κατά πόσο επηρεάζει την επικρατούσα στα κτίρια θερμοκρασία, με την επίρεια αυτή να είναι δίχως άλλο σημαντική. Έτσι, η θερμοκρασία που βιώνουν όσοι βρίσκονται σε ένα κτίριο επηρεάζεται από

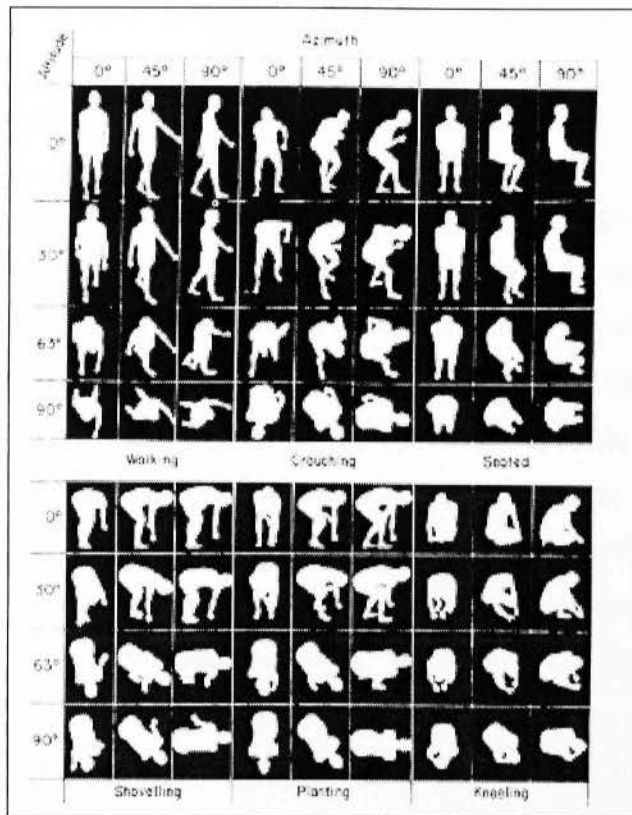
- τη θερμοκρασία του εδάφους,
- τη διαφορά ύψους ανάμεσα στον όροφο του κτιρίου και στο έδαφος,
- τις θερμοκρασιακές μεταβολές (οι οποίες με τη σειρά τους εξαρτώνται από άλλους παράγοντες),

- τα χαρακτηριστικά της κτιριακής κατασκευής (επιφάνεια εκτεθειμένη σε ηλιακή ακτινοβολία, χρωματισμό, υλικά κατασκευής, ύπαρξη βλάστησης (άλση, κήποι, παρτέρια), γειτονικά κτίρια κτλ.).

### 2.1.2 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. Γενικότερα το σύνολο της ακτινοβολίας εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος, τις μετεωρολογικές συνθήκες και την ώρα της ημέρας [B19].

Είναι επομένως απολύτως φυσικό, το μέγεθος της ηλιακής ακτινοβολίας να μεταβάλλεται συνεχώς, με τις εκτιμήσεις του κατά τη διάρκεια ενός χρονικού διαστήματος να βασίζονται σε συγκεκριμένα μοντέλα, τα οποία με τη σειρά τους έχουν δομηθεί με την πρότερη εμπειρία ανά περιοχή και εξεταζόμενο χρονικό διάστημα. Η άμεση όμως δράση της όσον αφορά στη θερμική άνεση του ανθρώπου που εκτίθεται σε αυτή καθιστά αυτήν ακριβώς την εκτίμηση ιδιαίτερα σημαντική, αφού η λήψη των αναγκαίων μέτρων είναι μείζονος σημασίας.



*Εικόνα 3: Το μέγεθος της επιφάνειας ενός ατόμου που εκτίθεται σε άμεση ηλιακή ακτινοβολία σε συνάρτηση με το θέση του ήλιου [B18]*

Η ηλιακή ακτινοβολία έχει αποδειχθεί ότι μειώνει τη θερμική άνεση του ανθρώπου και διαμορφώνει δυσχερείς βιομετεωρολογικές συνθήκες, ειδικότερα όταν οι συνθήκες είναι θερμές. Μπορεί επίσης να προκαλέσει δυσφορία σε άτομα που βρίσκονται εντός κτιρίων (κοντά σε παράθυρα ή άλλα ανοίγματα) αλλά και σε υπαίθριους χώρους [B17].

Για να γίνει απολύτως κατανοητή η επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας (άμεσης και έμμεσης) έχουν γίνει σχετικές μελέτες οι οποίες έχουν κινηθεί σε δύο πεδία, αυτό των μετρήσεων της απόκρισης ενός φυσιολογικού ανθρώπου σε διαφορετικά ερεθίσματα (πραγματική κατάσταση) και αυτό των μετρήσεων σε ανθρώπινα μοντέλα (προσομοίωση ανθρώπινης ανταπόκρισης). Στο σύνολό τους όμως και οι δύο τεχνικές, παρόλο που ακολούθησαν διαφορετικό «μονοπάτι» κατέληξαν στο ίδιο συμπέρασμα, ότι δηλαδή η θερμική αίσθηση του ανθρώπου επηρεάζεται σημαντικά από την ηλιακή ακτινοβολία.

### 2.1.3 Άνεμος

Αιτία των ανέμων είναι οι διαφορές πίεσης από ένα σημείο της ατμόσφαιρας σε ένα άλλο. Η συμμετοχή του ανέμου στο κλιματικό σύνολο είναι σημαντική, αφού ακόμα και αν η ένταση του φαινομένου δεν είναι υψηλή για το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα του έτους, όταν συμβαίνει αυτό, το κλίμα μεταβάλλεται κατά πολύ. Ειδικότερα, το ζήτημα του ανέμου υπό το πρίσμα της θερμικής άνεσης, είναι καθοριστικό γιατί μέσω της εξαναγκασμένης μεταφοράς θερμικής ενέργειας που περικλείεται σε μια αέρια μάζα, μπορεί να επηρεάσει τη θερμική αίσθηση του ανθρώπου. Εφόσον πρόκειται για διαμονή εντός κτιρίου, έχει σημασία η θέση του κτιρίου ως προς τα επερχόμενα ρεύματα αέρα, τα οποία μπορούν όχι μόνο να ενοχλήσουν αλλά αντίθετα να είναι ιδιαίτερα ευεργετικά σχετικά με την κίνηση του αέρα και το φυσικό αερισμό του κτιρίου. Αποτελεί άλλωστε μια βασική παράμετρο σχεδιασμού της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής.

### 2.1.4 Υγρασία

Ακόμα και αυτή η παράμετρος διακρίνεται από τα χαρακτηριστικά των προηγούμενων, δηλαδή είναι βασικό στοιχείο του κλιματικού συνόλου, επηρεάζει κατά πολύ τη θερμική αίσθηση, είναι δυναμικό κατά τη διάρκεια της ημέρας και τα επίπεδα στα οποία κυμαίνεται κάθε φορά εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες (ύπαρξη επίγειων ή υπόγειων υδάτων, βλάστηση, υδάτινες κατασκευές κτλ).

Στην Ευρώπη γενικά η υγρασία βρίσκεται κοντά στις συνθήκες άνεσης για το μεγαλύτερο μέρος του έτους. Εξαιρέση 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 της 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 [B19].

Η υγρασία όμως μπορεί να αποβεί αρνητικός παράγοντας για τη θερμική άνεση ακόμα και με έμμεσο τρόπο, επιβαρύνοντας τις κτιριακές κατασκευές. Η ύπαρξη υγρασίας στα δομικά υλικά μπορεί να επιδεινώσει έως και 50% την απόδοση της υπάρχουσας θερμομόνωσης. Το νερό είναι καλός αγωγός της θερμότητας και κατ' ουσία διευκολύνει το καλοκαίρι την εισβολή της θερμότητας στα κτίρια, ενώ τον χειμώνα διευκολύνει την απώλεια της εσωτερικής θερμότητας προς το περιβάλλον. Αυτό έχει ως συνέπεια να αυξάνεται το κόστος ψύξης και θέρμανσης, ενώ συγχρόνως η ψύξη και η θέρμανση των εσωτερικών χώρων καθίσταται ανεπαρκής. Ο χώρος γίνεται ανθυγιεινός (μούχλα, βαριές μυρωδιές), επηρεάζοντας αρνητικά τη θερμική άνεση των ενοίκων.

## 2.2. Εσώκλιμα

Με το συγκεκριμένο όρο γίνεται αναφορά στο μικροκλίμα ενός κλειστού χώρου, το οποίο σαφώς επηρεάζεται από τα ιδιαίτερα δομικά (εσωτερικά και εξωτερικά) χαρακτηριστικά του χώρου αλλά και το κλίμα του εξωτερικού περιβάλλοντος στο οποίο βρίσκεται αυτός ο κλειστός χώρος. Διατηρεί ωστόσο όλες εκείνες τις παραμέτρους που το καθιστούν ένα άρτιο κλιματικό σύνολο, σε μικρότερη βέβαια κλίμακα.

Ο ρόλος του εσωκλίματος στην εξασφάλιση της θερμικής άνεσης είναι ιδιαίτερα σημαντικός εξαιτίας αυτής ακριβώς της ιδιότητάς του, της μικρής του δηλαδή κλίμακας, με αποτέλεσμα τη δυνατότητα ευκολότερης προσαρμογής στις ιδιαιτερότητες των κατοίκων του εκάστοτε εξεταζόμενου χώρου.

Επίσης, πρέπει να τονιστεί πως το εσώκλιμα δεν αναφέρεται μόνο σε κατοικίες αλλά και σε χώρους εργασίας, διασκέδασης και κάθε κλειστού χώρου γενικότερα που μπορεί να «φιλοξενήσει» μια ανθρώπινη δραστηριότητα. Είναι λοιπόν απόλυτα συνυφασμένο με το ζητούμενο της θερμικής άνεσης, αφού αυτό δεν περιορίζεται σε

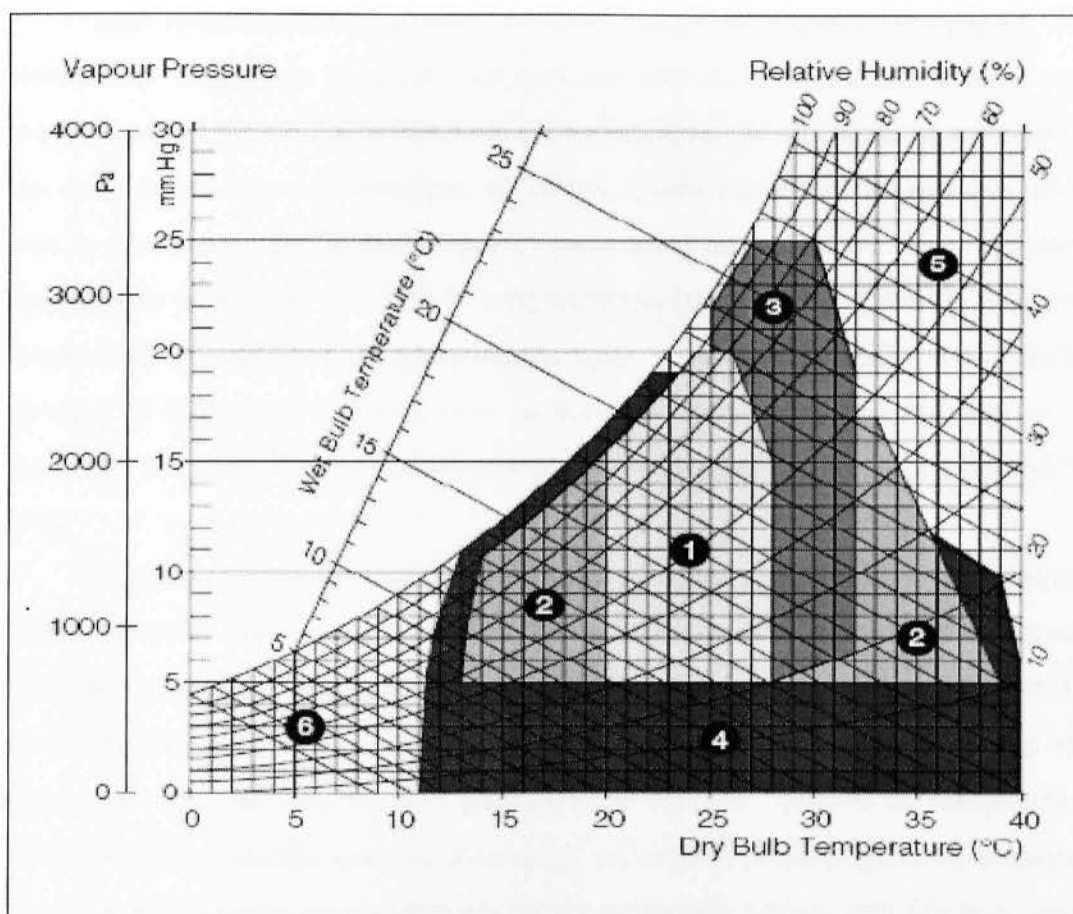


μια συγκεκριμένη δράση αλλά σε κάθε χώρο που ένας άνθρωπος επιζητά να αισθάνεται άνετα.

Έτσι, 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 θα πρέπει να χρησιμοποιούνται στατιστικά κλιματικά στοιχεία της περιοχής που πρόκειται να κατασκευασθεί το κτίριο, συνυπολογίζοντας το ενδεχόμενο εμφάνισης ακραίων συνθηκών, αλλά και μεγέθη που περιγράφουν την εσωτερική του κατανομή όπως ο αριθμός των ατόμων και οι δραστηριότητες που εκτελούν, η ύπαρξη μηχανημάτων και εστιών θερμότητας, ο φωτισμός κτλ. [B19].

Η δημιουργία λοιπόν ενός επιθυμητού κατά περίπτωση εσωκλίματος αποτελεί συνισταμένη πολλών παραγόντων, όπως φαίνεται χαρακτηριστικά από το ακόλουθο διάγραμμα, στο οποίο καταγράφονται οι αναγκαίες κάθε φορά διορθωτικές κινήσεις ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες. Οι ζώνες που συμπεριλαμβάνονται στο διάγραμμα έχουν ως εξής:

1. Ζώνη Θερμικής Άνεσης
2. Ζώνη εφαρμογής παθητικών συστημάτων θέρμανσης
3. Ζώνη Ανάγκης Αερισμού
4. Ζώνη επίδρασης στους χρήστες
5. Ζώνη ανάγκης μηχανικής ψύξης
6. Ζώνη Ανάγκης Θέρμανσης



*Διάγραμμα 2: Ενδείξεις θερμικής άνεσης σε συνθήκες εσωτερικού χώρου [H3]*

### 2.3 Οι ελληνικές κλιματικές συνθήκες

Η Ελλάδα βρίσκεται μεταξύ των παραλλήλων 340 και 420 του Βορείου ημισφαιρίου και βρέχεται από την Ανατολική Μεσόγειο. Το κλίμα της έχει σε γενικές γραμμές τα χαρακτηριστικά του Μεσογειακού κλίματος, δηλαδή ήπιους και βροχερούς χειμώνες, σχετικώς θερμά και ξηρά καλοκαίρια και μεγάλη ηλιοφάνεια όλο σχεδόν το χρόνο. Λεπτομερέστερα, στις διάφορες περιοχές της Ελλάδας παρουσιάζεται μια μεγάλη ποικιλία κλιματικών τύπων, πάντα βέβαια μέσα στα πλαίσια του Μεσογειακού κλίματος. Αυτό οφείλεται στην τοπογραφική διαμόρφωση της χώρας που έχει μεγάλες διαφορές υψομέτρου ( υπάρχουν μεγάλες οροσειρές κατά μήκος της κεντρικής χώρας και άλλοι ορεινοί όγκοι) και εναλλαγή ξηράς και θάλασσας.

Από κλιματολογικής πλευράς το έτος μπορεί να χωριστεί κυρίως σε δύο εποχές: Την ψυχρή και βροχερή χειμερινή περίοδο που διαρκεί από τα μέσα του Οκτωβρίου και μέχρι το τέλος Μαρτίου και τη θερμή και άνομβρη εποχή που διαρκεί από τον Απρίλιο έως τον Οκτώβριο. Κατά την πρώτη περίοδο οι ψυχρότεροι μήνες είναι ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος, όπου κατά μέσον όρο η μέση ελάχιστη θερμοκρασία κυμαίνεται από 5-10 °C στις παραθαλάσσιες περιοχές, από 0 - 5 °C στις ηπειρωτικές περιοχές και με χαμηλότερες τιμές κάτω από το μηδέν στις βόρειες περιοχές. Η θερμότερη περίοδος είναι το τελευταίο δεκαήμερο του Ιουλίου και το πρώτο του Αυγούστου οπότε η μέση μέγιστη θερμοκρασία κυμαίνεται από 29 - 35 °C [H4].

Σύμφωνα λοιπόν με τα προαναφερόμενα στοιχεία, η εξασφάλιση της θερμικής άνεσης αποτελεί μια συμβατή διαδικασία με τις ελληνικές κλιματικές συνθήκες, ιδιαίτερα εξαιτίας της ηπιότητας που τις διακρίνει ως γενικότερο χαρακτηριστικό. Οι όποιες επεμβάσεις επομένως, έχουν να αντιμετωπίσουν λιγότερες δυσκολίες από την περίπτωση που θα έπρεπε να προβλεφθούν και να γίνουν οι απαραίτητες προσαρμογές για ακραία καιρικά φαινόμενα, με μεγάλη μάλιστα χρονική διάρκεια. Όπως μπορεί άλλωστε να παρατηρηθεί στην ακόλουθη εικόνα, στη ζώνη Δ, όπου παρατηρούνται ιδιαίτερα χαμηλές θερμοκρασίες, βρίσκεται μικρός αριθμός νομών, με αποτέλεσμα το ψύχος να πρέπει να αντιμετωπιστεί σε μικρό εύρος σε σχέση με το σύνολο της γεωγραφικής έκτασης της χώρας. Περισσότερο πρέπει να ληφθεί μέριμνα για την αντιμετώπιση των υψηλών θερμοκρασιών, ενώ η πλειονότητα των νομών ανήκουν σε ουδέτερες ζώνες.

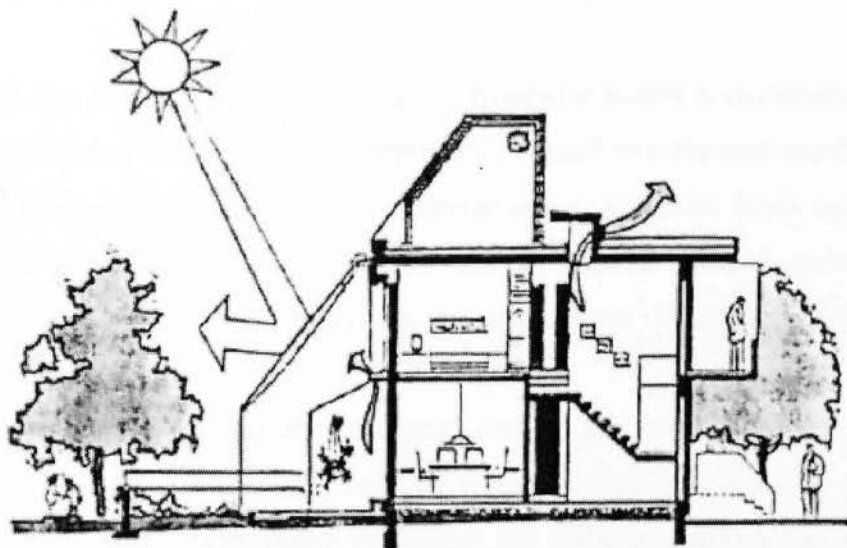


*Εικόνα 4: Κλιματικές ζώνες διαίρεσης της ελληνικής επικράτειας σύμφωνα με τον ΚΕΝΑΚ [H2]*

## 2.4 Βιοκλιματικός σχεδιασμός και θερμική άνεση

Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός των σύγχρονων κατοικιών έχει σαφή προσανατολισμό προς το ζητούμενο που διατυπώθηκε στην πρώτη ενότητα της παρούσας εργασίας, δηλαδή την ισορροπία ανάμεσα στη θερμική άνεση και στην εξοικονόμηση ενέργειας. Στις βιοκλιματικές κατοικίες, σε όποια κλιματική ζώνη και αν βρίσκονται δεν υπάρχει εγκατάσταση συστήματος κλιματισμού, αφού εφαρμόζονται συστήματα και τεχνικές φυσικού δροσισμού (σκίαση και φυσικός αερισμός). Σε ορισμένα κτίρια υπάρχουν ανεμιστήρες οροφής, οι οποίοι χρησιμοποιούνται σπάνια ως καθόλου. Όταν τα συστήματα σκίασης και αερισμού λειτουργούν σωστά και συνεπώς, αποδοτικά, δεν παρουσιάζονται προβλήματα υπερθέρμανσης, ακόμα και όταν οι εξωτερικές θερμοκρασίες είναι υψηλές (έχουν παρατηρηθεί διαφορές εξωτερικής - εσωτερικής θερμοκρασίας ως και 10°C το καλοκαίρι, δείγμα της αποδοτικής λειτουργίας των τεχνικών που ενσωματώνει ο βιοκλιματικός σχεδιασμός). Έτσι, το καλοκαίρι επιτυγχάνεται θερμική άνεση σε

αρκετά υψηλές θερμοκρασίες, εφόσον βέβαια ισχύει η προϋπόθεση του κατάλληλου αερισμού. Οι θερμοκρασίες άνεσης στα βιοκλιματικά κτίρια, όταν υπάρχει φυσικός αερισμός και ειδικά κατακόρυφος, φθάνει ως και τους 31,5°C. Σε κτίρια όμως με μη αποδοτικό αερισμό και σκίαση, τα όρια άνεσης είναι πολύ χαμηλότερα (κάτω των 29°C), με αποτέλεσμα τη θερμική δυσφορία των ενοίκων [B22].



*Εικόνα 5: Θερμική άνεση σε βιοκλιματική κατοικία [B23]*

### 3.1 Περιγραφή της κατάστασης της θερμικής άνεσης

Με την όρο της θερμικής άνεσης περιγράφεται εκείνη η κατάσταση κατά την οποία ο εγκέφαλος εκφράζει ικανοποίηση όσον αφορά στο θερμικό περιβάλλον στο οποίο ζει και δραστηριοποιείται το ανθρώπινο σώμα. Με άλλα λόγια πρόκειται για εκείνη την κατάσταση κατά την οποία τα υφιστάμενα ποσά θερμότητας στον περιβάλλοντα χώρο είναι τα επιθυμητά, με αποτέλεσμα να μην επιδιώκεται καμία αλλαγή σχετικά με αυτά.

Σύμφωνα με ορισμό της θερμικής άνεσης από την ASHARE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning), πρόκειται για εκείνες τις συνθήκες στις οποίες ευρισκόμενο ένα άτομο δεν επιθυμεί καμία αλλαγή, ήτοι ούτε πιο κρύο ούτε πιο ζεστό περιβάλλον [B12].

Η εσωτερική θερμοκρασία του ανθρώπινου σώματος είναι σταθερή και κάθε θερμότητα που δημιουργείται από αυτό πρέπει να αποβάλλεται. Για το λόγο αυτό, συνθήκες βέλτιστης θερμικής άνεσης συνεπάγεται ότι η παραγωγή εσωτερικής θερμοκρασίας εξισώνεται με τις θερμικές απώλειες του σώματος. Η ισορροπία μεταξύ αυτών των παραμέτρων καθορίζει τις συνθήκες θερμικής άνεσης η οποία εξαρτάται από ένα συνδυασμό φυσικών, οργανικών και περιβαλλοντικών παραμέτρων [B6,7].

Ασφαλώς, η κατάσταση της θερμικής άνεσης εμπεριέχει το στοιχείο της υποκειμενικότητας, αφού κάθε άνθρωπος αντιδρά διαφορετικά στα θερμικά ερεθίσματα του περιβάλλοντος, με αποτέλεσμα, η έννοια της θερμικής άνεσης να ενδέχεται να είναι διαφορετικά για τον καθένα. Εντούτοις, η ποσοτικοποίηση των σχετικών μετρήσεων και η αναγωγή τους στον ευρύτερο πληθυσμό, οδήγησε σε συγκεκριμένους δείκτες και διαγράμματα όπως θα αναλυθούν στην συνέχεια τα οποία καλύπτουν ένα σημαντικό ποσοστό του.

Στα πλαίσια τυποποίησης της διαδικασίας υπολογισμού της θερμικής άνεσης και κυρίως της κατηγοριοποίησης των αποτελεσμάτων έτσι ώστε να εκτιμηθεί η

λήψη διορθωτικών μέτρων, ο Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης (ΕΛΟΤ) εξέδωσε την οδηγία EN 15251, σύμφωνα με την οποία η κλίμακα και οι κατηγορίες της θερμικής άνεσης έχουν ως εξής:

<i>Κατηγορία</i>	<i>Περιγραφή Κατάστασης</i>
I	Υψηλά Επίπεδα Θερμικής Άνεσης. Συνίσταται για χώρους με ιδιαίτερα ευαίσθητα άτομα (ασθενείς, βρέφη, άτομα τρίτης ηλικίας), Δείκτης αναμενόμενης μέσης αποδοχής: $\pm 0.2$ PMV, Θερμοκρασία: 21-25°C
II	Κανονικά Επίπεδα Θερμικής Άνεσης. Συνίσταται για νέα κτίρια και προσφάτως ανακαινισμένα. Δείκτης αναμενόμενης μέσης αποδοχής: $\pm 0.5$ PMV, Θερμοκρασία: 20-26°C
III	Αποδεκτά Επίπεδα Θερμικής Άνεσης. Συνίσταται για τα ήδη υπάρχοντα κτίρια. Δείκτης αναμενόμενης μέσης αποδοχής: 0.7 PMV, Θερμοκρασία: 19-27°C
IV	Μη αποδεκτά επίπεδα θερμικής άνεσης. Ενδεχομένως ορισμένα κτίρια να ανήκουν στη συγκεκριμένη κατηγορία μόνο για ορισμένα χρονικά διαστήματα.

**Πίνακας 1:** Κατηγορίες θερμικής άνεσης κατά ΕΛΟΤ EN 15251 [H5]

<i>Κλίμακα</i>	<i>Περιγραφή Κατάστασης</i>
+3	Εξαιρετικά θερμό
+2	Ενοχλητικά θερμό
+1	Ανεκτά θερμό
0	Ουδέτερο
-1	Ανεκτά δροσερό
-2	Ενοχλητικά ψυχρό
-3	Εξαιρετικά ψυχρό

**Πίνακας 2:** Κλίμακα χαρακτηρισμού μιας κατάστασης ανάλογα με τη θερμική άνεση [H5]



## 3.2 Άλλες παράμετροι άνεσης

### *Οπτική άνεση*

Η οπτική άνεση σχετίζεται με την κατανομή του φωτός μέσα στο περιβάλλοντα χώρο, μια παράμετρος ιδιαίτερα σημαντική αν αναλογιστεί κανείς τη σημασία της αίσθησης της όρασης για την ανθρώπινη ζωή. Βέβαια ως φως μπορεί να λογιστεί τόσο το τεχνητό όσο και το φυσικό, αρκεί αυτό να είναι επαρκές και ποιοτικό ώστε να διευκολύνει και όχι να ενοχλεί.

Ασφαλώς η έννοια του όρου άνεση σχετίζεται με διάφορα στοιχεία που συνιστούν το περιβάλλον στο σύνολό του όπως η θέα, η βλάστηση, αλλά και η αισθητική του χώρου και των κτιρίων. Το ζητούμενο κάθε φορά είναι η κατανομή να γίνεται με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να αποφεύγονται φαινόμενα οπτικής όχλησης αλλά και δυσκολίας στις καθημερινές δραστηριότητες.

Βέβαια, οι απαιτήσεις της οπτικής άνεσης πηγάζουν από τις ανάγκες των ανθρώπων, οι οποίες μπορεί να διαφέρουν υποκειμενικά αλλά έχουν μια κοινή βάση αναφοράς. Οι ανάγκες αυτές μπορούν να ικανοποιηθούν αν ο φωτισμός παρέχει τα ακόλουθα:

- Καθοδήγηση ως προς την κίνηση και τον προσανατολισμό και οπτική σύνδεση με τον περιβάλλοντα χώρο.
- Σύνδεση με τους βιολογικούς ρυθμούς.
- Ικανότητα αναγνώρισης των αντικειμένων στο χώρο.
- Ικανότητα κατεύθυνσης της προσοχής και καθορισμού της σημασίας της οπτικής πληροφορίας.
- Αίσθηση διακριτότητας μεταξύ των περισσότερο και λιγότερο φωτισμένων μερών μιας σκηνής.
- Αίσθηση ασφάλειας σε λιγότερο φωτεινές περιοχές [B9].

### *Ακουστική Άνεση*

Η εξασφάλιση της ακουστικής άνεσης αποτελεί ακόμα μια σημαντική παράμετρο άνεσης στη σύγχρονη ζωή, με το πρόβλημα της ηχορύπανσης να κερδίζει ολοένα και περισσότερο έδαφος όσον αφορά στο μελετητικό ενδιαφέρον που παρουσιάζει για τον περιορισμό της. Άλλωστε, ένα βασικό πλεονέκτημα των



περιαστικών και των επαρχιακών περιοχών είναι ότι διαθέτουν «ησυχία», με την έννοια της εξασφάλισης της ακουστικής άνεσης των κατοίκων των συγκεκριμένων περιοχών. Για να είναι δυνατή όμως η αποφυγή κάθε ακουστικής όχλησης και επομένως η εξασφάλιση της ακουστικής άνεσης θα πρέπει να γίνεται προσεκτικός σχεδιασμός (ακουστικός σχεδιασμός) ως αρχικό στάδιο της μελέτης του γενικότερου αστικού σχεδιασμού, χωρίς αυτό να σημαίνει πως μεταγενέστερα μέτρα προς τη συγκεκριμένη κατεύθυνση δεν είναι επιθυμητά και αποτελεσματικά.

Η προσέγγιση του ζητήματος δεν πρέπει να είναι οριζόντια, δηλαδή απαλοιφή όλων των ήχων και εξασφάλιση της απόλυτης ησυχίας, αλλά η επιλεκτική τους εξάλειψη, ανάλογα με την όχληση που προκαλούν.

Με τον τρόπο αυτό, ο ήχος θεωρείται περισσότερο ως πόρος, και όχι ως πηγή υποβάθμισης που πρέπει να αντιμετωπιστεί. Επίσης, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι δεν είναι όλοι οι ήχοι θόρυβος. Οι ηχητικές πηγές ποικίλουν, από πηγές θορύβου (π.χ. βιομηχανία, κυκλοφορία αυτοκινήτων), μέχρι επιθυμητούς ήχους, που συνήθως περιλαμβάνουν φυσικές πηγές (π.χ. σε αστικά πάρκα). Κάποιοι ήχοι είναι υπό συνθήκες κατάλληλοι, και θα πρέπει να επιδιώκεται η διατήρηση ή ακόμα και η ενίσχυσή τους, παρά η εξάλειψή τους. Ένα κατάλληλο αστικό ηχητικό πεδίο ενδυναμώνει και προάγει την εικόνα μιας περιοχής, τονώνει τον τουρισμό, δημιουργεί υγιεινές συνθήκες για τους κατοίκους (μείωση άγχους) και βελτιώνει την κοινωνική συνοχή. Αντίθετα, για περιβάλλοντα στα οποία τα επίπεδα θορύβου είναι μη αποδεκτά, ο έλεγχος του θορύβου θα πρέπει να είναι η πρώτη και πλέον σημαντική ενέργεια [B10].

### *Ανεμοπροστασία*

Ο άνεμος αποτελεί μια κοινή συνιστώσα της θερμικής άνεσης που εξετάζεται στην παρούσα εργασία αλλά και της προστασίας από την εκδήλωσή του, αποτελώντας στη δεύτερη περίπτωση μια ξεχωριστή αυτοδύναμη κατηγορία, που σχετίζεται με το αν δημιουργεί υποφερτές συνθήκες στις καθημερινές δραστηριότητες. Η άνεση λόγω ανέμου ορίζεται ως το στάδιο εκείνο κατά το οποίο οι μηχανικές επιδράσεις του ανέμου είναι τόσο έντονες και συμβαίνουν με τέτοια συχνότητα, ώστε οι άνθρωποι να μην ενοχλούνται από αυτές και να μην έχουν την ανάγκη να τις αποφύγουν. Οι μηχανικές επιδράσεις του ανέμου, αν είναι έντονες,

μπορούν να προκαλέσουν και κίνδυνο. Στην περίπτωση αυτή δε γίνεται αναφορά σε άνεση λόγω ανέμου αλλά σε επικείμενο κίνδυνο (ανεμοπροστασία) [B11].

### *Ποιότητα αέρα*

Στην προαναφερόμενη ενότητα σχετικά με το φαινόμενο του θερμοκηπίου καταγράφηκε πως υπεύθυνα για το συγκεκριμένο φαινόμενο είναι επιβλαβή αέρια σε υψηλές συγκεντρώσεις προερχόμενα από τις κάθε είδους παραγωγικές δραστηριότητες. Είναι επομένως φυσικό, οι υψηλές αυτές συγκεντρώσεις να μειώνουν κατά πολύ την ποιότητα του αέρα, αφού στην πλειοψηφία τους, τα αέρια είναι επιβλαβή για την ανθρώπινη υγεία. Η αναγνώριση της ανάγκης για υψηλής ποιότητας αέρα έχει αναγνωριστεί από τις ευρωπαϊκές αρχές, με αποτέλεσμα τη σχετική οδηγία 2008/50/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και για την εξασφάλιση καθαρότερου αέρα στην Ευρώπη.

Η μείωση της ρύπανσης του ατμοσφαιρικού αέρα δεν είναι εύκολο να επιτευχθεί τοπικά, καθώς θα πρέπει να αντιμετωπιστεί συνολικά για μια ευρύτερη περιοχή. Παρόλα αυτά, υπάρχουν τεχνικές που συμβάλλουν στη βελτίωση της ποιότητας του αέρα. Οι τεχνικές αυτές εστιάζουν τόσο στον περιορισμό των πηγών ρύπων, όσο και στην αύξηση της απορρόφησης των εκπεμπόμενων ρύπων, ώστε να παρατηρούνται χαμηλές συγκεντρώσεις τους στην περιοχή παρέμβασης. Πηγές εκπομπής ρύπων αποτελούν κυρίως τα οχήματα και σε κάποιες περιπτώσεις τα γειτονικά κτίρια [B8].

Σε κάθε περίπτωση πάντως η μείωση των αέριων ρύπων αποτελεί θέμα μείζονος σημασίας όχι μόνο για την εξασφάλιση της άνεσης σχετικά με την ποιότητα του αέρα και της διαβίωσης των κατοίκων μιας αστικής ή επαρχιακής περιοχής αλλά για τη γενικότερη προστασία του περιβάλλοντος.

# 4

## Παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμική άνεση

### 4.1 Περιβαλλοντικές συνθήκες

#### Θερμοκρασία – Υγρασία

Πρόκειται για δύο παραμέτρους αλληλένδετες, αφού η μεταβολή της μιας «παρασύρει» την άλλη. Τα επίπεδα της θερμοκρασίας που σχετίζονται με μια κατάσταση άνεσης καθορίζονται με βάση διαπιστωμένες προτιμήσεις που έχουν επεξεργαστεί στατιστικά και έχουν οδηγήσει σε πρότυπες τιμές αναφοράς. Τέτοιες τιμές σύμφωνα με σχετική μελέτη της ASHRAE παρατίθενται στον ακόλουθο πίνακα.

Εποχή	Φύλο	Ηλικία	Επιθυμητή θερμοκρασία (°C)		
Χειμώνας	Άνδρες	<40	19.5	20	20.5
		>40	20	20.5	21
	Γυναίκες	<40	20	20.5	21
		>40	20.5	21	21.5
Καλοκαίρι	Άνδρες	<40	20.5	21	21.5
		>40	21	21.5	22
	Γυναίκες	<40	21	21.5	22
		>40	21.5	22	23

**Πίνακας 3:** Επιθυμητές θερμοκρασίες άνεσης σύμφωνα με σχετική μελέτη της ASHRAE [B19]

Στο ίδιο «πνεύμα», τόσο το Τεχνικό Επαγγελματικό Επιμελητήριο όσο και ο Κανονισμός Θερμομόνωσης Κτιρίων έχουν συντάξει ανάλογους πίνακες για την επιθυμητή θερμοκρασία ανά κτίριο καθώς και ανά χώρο.

Σχετικά με τη υγρασία, αυτή αφορά στην ύπαρξη υδρατμών στον αέρα του χώρου, με την επίδρασή της να είναι μικρή εφόσον πρόκειται για μέσα επίπεδα θερμοκρασίας. Μέγεθος μέτρησης της παραμέτρου είναι η σχετική υγρασία η οποία δίνεται από το λόγο 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. Αύξηση της σχετικής υγρασίας κατά 10% κατά εκτίμηση ισοδυναμεί με αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα κατά 0,3 °C. Γενικότερα, η σχετική υγρασία ενός χώρου δε πρέπει να είναι χαμηλότερη από 30%, με τις επιθυμητές τιμές να κυμαίνονται μεταξύ 40% - 50%, με ακραία όρια 30% - 70%.

Συνδυασμός υψηλής θερμοκρασίας και υγρασίας μειώνει την ικανότητα για ψύξη του εισπνεόμενου αέρα και δημιουργεί την αίσθηση της αποπνικτικής ατμόσφαιρας.

#### *Ταχύτητα αέρα*

Η επιρροή της ταχύτητας του αέρα στο ζήτημα της θερμικής άνεσης σχετίζεται με το μηχανισμό απωλειών θερμότητας από το ανθρώπινο σώμα, επιταχύνοντάς την σε περίπτωση υψηλών τιμών της, ειδικότερα αν συνοδεύεται από υψηλά επίπεδα θερμοκρασίας και υγρασίας. Σε περιπτώσεις φυσικού αερισμού η ταχύτητα αέρα είναι 0,1 m/s, ενώ πρέπει να αποδίδεται σημασία και στην εξασφάλιση ομαλής ροής.

## **4.2 Προσωπικές μεταβλητές**

### **4.2.1 Ένδυση**

Η ένδυση αποτελεί το διαχωριστικό «στρώμα» ανάμεσα στο ανθρώπινο σώμα και στο περιβάλλον. Η μεταφορά θερμότητας επηρεάζεται από την ένδυση μέσω των μηχανισμών της μεταγωγής (εγκλωβίζοντας τον αέρα), της ακτινοβολίας (η θερμότητα του σώματος ακτινοβολείται στα ρούχα αντί να φεύγει ανεκμετάλλευτη προς τις εξωτερικές επιφάνειες) και της εξάτμισης (η κίνηση του αέρα κατά μήκος

του δέρματος μειώνεται και σε συνάρτηση με το ύφασμα ο ιδρώτας μπορεί να εγκλωβιστεί στο δέρμα ή να απομακρυνθεί).

Η μέτρηση της επίδρασης της ένδυσης στο ζήτημα της θερμικής άνεσης γίνεται μέσω της μονάδας Clo, η οποία εκφράζει τη συνολική θερμική αντίσταση από το δέρμα προς την εξωτερική επιφάνεια του ντυμένου σώματος, όπου 1 Clo είναι περίπου η θερμική αντίσταση ενός χειμερινού ενδύματος (δηλ.  $0.155 \text{ m}^2 \times \text{°C/W}$ ). Η τιμή 0 Clo αναφέρεται στο τελείως γυμνό άτομο, ενώ 4,0 Clo είναι πρακτικά η μεγαλύτερη τιμή η οποία επιτρέπει στο σώμα να εκτελεί τις βασικές κινήσεις. Καθώς τα επίπεδα του Clo αυξάνονται, η ζώνη άνεσης επεκτείνεται σε χαμηλότερες αποτελεσματικές θερμοκρασίες, σε συνδυασμό βέβαια με τους άλλους παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμική άνεση [B25].

#### 4.2.2 Δραστηριότητα - Μεταβολισμός

Η δραστηριότητα και ο μεταβολισμός είναι δύο πεδία που αλληλεπιδρούν όσον αφορά στο ζήτημα της θερμικής άνεσης. Η τιμή του μεταβολισμού, η οποία ορίζεται ως το ποσό της ενέργειας που παράγεται στη μονάδα του χρόνου κατά τη μετατροπή της τροφής, επηρεάζεται από το βαθμό δραστηριότητας, καθώς όσο η δραστηριότητα αυξάνεται, αυξάνει και η θερμότητα που απελευθερώνεται από το μεταβολισμό. Ο ρυθμός μεταβολισμού μετράται σε μονάδες met ( $1 \text{ met} = 18.4 \text{ Btu/h} \times \text{ft}^2 = 58 \text{ W/m}^2$ ) και είναι η συνολική ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας ενός μέσου ενήλικα που ξεκουράζεται. Η συνολική θερμότητα που παράγεται κατά το μεταβολισμό για έναν μέσο ενήλικα είναι περίπου 400 Btu/h ή 100 kcal/h (η μέση επιφάνεια του σώματός του είναι περίπου  $1.8 \text{ m}^2$ ), με τη φυσιολογική δραστηριότητα να αυξάνει τα συγκεκριμένα επίπεδα μέχρι και σε 2000 Btu/h ή 500 kcal/h για δραστηριότητα μέσα σε φυσιολογικά όρια [B25].

Για την επίτευξη της θερμικής άνεσης που είναι και το τελικό ζητούμενο θα πρέπει η πλεονάζουσα θερμότητα να αποβληθεί στο περιβάλλον σε συνδυασμό με χαμηλότερη θερμοκρασία περιβάλλοντος ή επιφανειών, λιγότερη υγρασία, μεγαλύτερη ταχύτητα του αέρα και λιγότερη ένδυση, αποσβένοντας έτσι την επιβαρυντική δράση της επίπονης δραστηριότητας στον ανθρώπινο οργανισμό.

### 4.2.3 Εφίδρωση

Η διαδικασία της εφίδρωσης περιλαμβάνει την ψύξη του δέρματος μέσω της εξάτμισης του ιδρώτα, διευκολύνοντας έτσι τη μεταφορά θερμότητας από το εσωτερικό του σώματος προς το περιβάλλον μέσω των αντίστοιχων αδένων. Ο ρυθμός της εξάτμισης εξαρτάται από την επιφάνεια εξάτμισης, τη σχετική υγρασία και την ταχύτητα του αέρα, καθώς και τη θερμοκρασία.

Εκείνος ο συνδυασμός που δημιουργεί αίσθημα δυσαρέσκειας περιλαμβάνει υψηλή θερμοκρασία, υψηλή σχετική υγρασία περιβάλλοντος και αυξημένη δραστηριότητα. Στην περίπτωση βέβαια που η έκθεση του ατόμου σε υψηλή θερμοκρασία είναι συνεχής, εξαιτίας του μηχανισμού προσαρμογής του ανθρώπινου σώματος, το όριο εκκίνησης της συγκεκριμένης διαδικασίας αυξάνεται, ενισχύοντας έτσι την αντοχή του οργανισμού στη θερμική του επιβάρυνση.

### 4.3 Παράμετροι κτιριακής κατασκευής

Το ζήτημα της θερμικής άνεσης σε κλειστό χώρο ενός κτιρίου δε μπορεί παρά να επηρεαστεί από τις παραμέτρους της κτιριακής κατασκευής, τόσο εξωτερικά όσο και εσωτερικά. Αυτές οι παράμετροι εντοπίζονται στα εξής σημεία:

- το προσανατολισμό και τη χωροθέτηση του κτιρίου
- τα δομικά του στοιχεία που σχετίζονται με την απορρόφηση αλλά και την ανάκλαση της ηλιακής ακτινοβολίας
- την ύπαρξη διατάξεων και συστημάτων θέρμανσης και ψύξης
- τα αντικείμενα που υπάρχουν στο χώρο και τα οποία συμμετέχουν με τη σειρά τους στην απορρόφηση και στην απόδοση θερμότητας
- το χρωματισμό των επιφανειών
- την ύπαρξη παθητικών και ενεργητικών ηλιακών συστημάτων καθώς και τις διατάξεις άμεσου και έμμεσου κέρδους ως μέρος ενός ευρύτερου βιοκλιματικού σχεδιασμού.

Έχει παρατηρηθεί πως η έλλειψη θερμικής άνεσης είναι πιο πιθανή σε παθητικά ηλιακά κτίρια, όπου οι διακυμάνσεις στη θερμοκρασία είναι αρκετά έντονες κατά τη διάρκεια της ημέρας, όπως επίσης και σε κτίρια τα οποία χρησιμοποιούνται περιοδικά (κτίρια γραφείων και σχολεία όπου χρησιμοποιούνται συγκεκριμένες ώρες, εξοχικές κατοικίες για κάποιους μήνες του χρόνου κλπ) [B19].



# 5

---

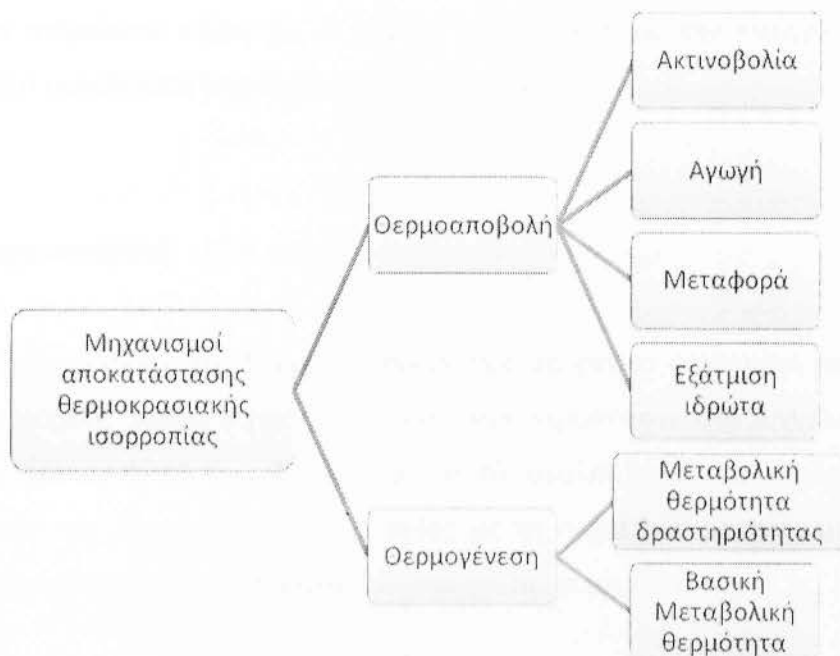
## Αλληλεπίδραση ανθρώπου και περιβάλλοντος στα πλαίσια της ανταλλαγής θερμότητας

---

### 5.1 Μηχανισμός ανταλλαγής θερμότητας του ανθρώπινου σώματος με το περιβάλλον

Ο άνθρωπος ως ομοιόθερμος οργανισμός, διατηρεί σταθερή τη θερμοκρασία του σώματος (ακόμα και όταν οι κλιματολογικές συνθήκες του εξωτερικού περιβάλλοντος δεν το ευνοούν) και ιδιαίτερα εκείνη του λεγόμενου εσωτερικού πυρήνα, δηλαδή οργάνων όπως ο εγκέφαλος, η καρδιά και τα σπλάχνα, που δεν επιδέχονται θερμικές μεταβολές για τη φυσιολογική λειτουργία τους. Σε φυσιολογικές συνθήκες η εσωτερική θερμοκρασία του σώματος ορίζεται στους 36,6 °C, με διακυμάνσεις που κυμαίνονται μεταξύ των 36,1 °C και των 37,3 °C [H1].

Το ζητούμενο λειτουργίας του μηχανισμού ανταλλαγής της θερμότητας του περιβάλλοντος με το ανθρώπινο σώμα είναι κάθε φορά η θερμοκρασιακή ισορροπία του σώματος. Οι υπεύθυνοι μηχανισμοί για την αποκατάσταση της συγκεκριμένης ισορροπίας καταγράφονται στο ακόλουθο διάγραμμα. Μπορεί λοιπόν να παρατηρηθεί από το παραπάνω διάγραμμα πως υφίστανται δύο κύριοι μηχανισμοί, αυτοί της θερμογένεσης και της θερμοαποβολής.



*Διάγραμμα 3: Κατηγοριοποίηση μηχανισμών αποκατάστασης θερμοκρασιακής ισορροπίας*

### 5.1.1 Θερμογένεση

Η θερμογένεση χρησιμοποιεί για την παραγωγή θερμότητας διάφορους βιοχημικούς μηχανισμούς και αντιδράσεις που συντελούνται σε επίπεδο ήπατος, ενδοκρινολογικού και μυϊκού συστήματος. Όλη η δραστηριότητα των κυττάρων ενός ζωντανού οργανισμού συνίσταται στη συνεχή διακίνηση της ύλης, δηλαδή στην παραγωγή έργου. Για την παραγωγή αυτού του έργου, το ποσό της ενέργειας που καταναλώνεται προέρχεται από τις διαδικασίες καταβολισμού των τροφών.

Η διεργασία αυτή συνεπάγεται τη δημιουργία της μεταβολικής ενέργειας, η οποία έχει διττή σημασία, αφού αφενός χρησιμεύει για τη διατήρηση στη ζωή και αφετέρου καταναλώνεται σε περιπτώσεις μυϊκής καταπόνησης και μηχανικών κινήσεων. Ειδικότερα, κατά το χρονικό διάστημα της ανάπαυσης του ανθρώπινου σώματος, ολόκληρη η δαπάνη ενέργειας (εφόσον βέβαια πρόκειται για ένα περιβάλλον σε θερμικά ουδέτερη κατάσταση) μετατρέπεται σε θερμότητα, η οποία αποτελεί τη βασική μεταβολική θερμότητα. Θερμότητα όμως παράγεται και κατά την εκτέλεση μιας σωματικής εργασίας (με τη μεταβολική ενέργεια να επιστρέφει κατά



80% στο ανθρώπινο σώμα με τη μορφή θερμότητας), με την κατηγορία αυτή να ονομάζεται μεταβολική θερμότητα δραστηριότητας.

### **5.1.2 Θερμοαποβολή**

Η εξασφάλιση της θερμικής ισορροπίας μπορεί να επιτευχθεί μόνο όταν τα προαναφερόμενα ποσά θερμότητας που συγκεντρώνονται στο ανθρώπινο σώμα μπορούν να αποβληθούν. Το «ρόλο» αυτό αναλαμβάνει να διαδραματίσει ο μηχανισμός της θερμοαποβολής, ο οποίος με τη σειρά του μπορεί να υλοποιηθεί μέσω άλλων μηχανισμών – διαδικασιών όπως είναι οι ακόλουθοι:

#### *Ακτινοβολία*

Με αυτή γίνεται ανταλλαγή θερμικής ενέργειας ανάμεσα στην εξωτερική επιφάνεια του σώματος (δέρμα, ρούχα) και τις διάφορες επιφάνειες ή σώματα που το περιβάλλουν (τοιχούς, εργαλεία, μηχανές κ.λπ.). Η φορά της ανταλλαγής είναι αμφίδρομη, δηλαδή ποσά θερμότητας ακτινοβολούνται από την εξωτερική επιφάνεια προς το περιβάλλον αλλά και από το περιβάλλον προς τα διάφορα σημεία που είναι εκτεθειμένα σε αυτό.

#### *Αγωγή*

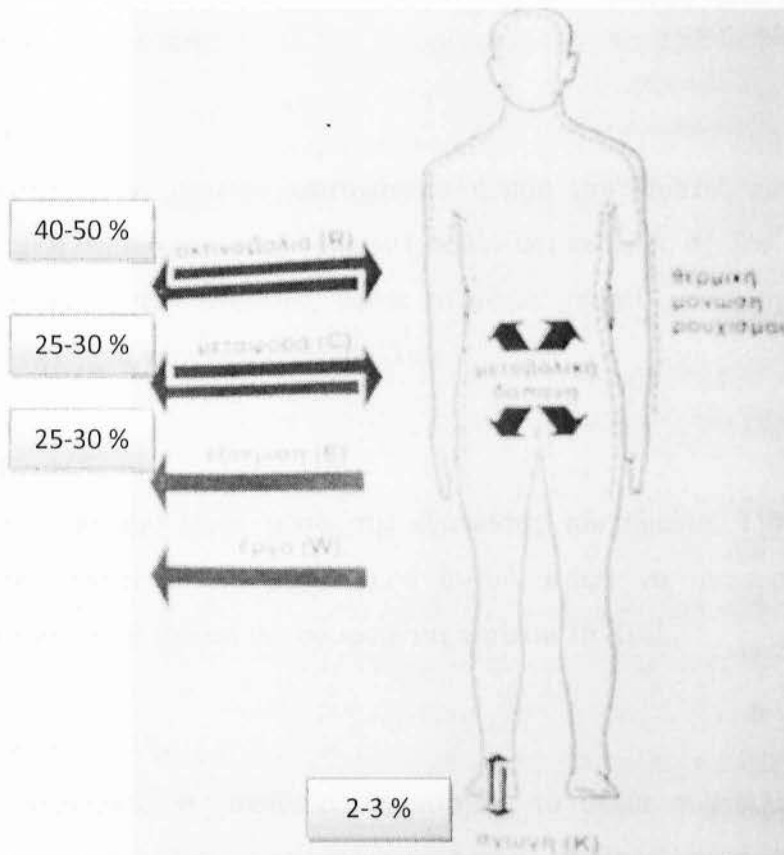
Αναγκαία προϋπόθεση για την ενεργοποίηση του συγκεκριμένου μηχανισμού είναι η ύπαρξη επαφής ανάμεσα στην εξωτερική επιφάνεια του ανθρώπου (είτε πρόκειται για ένδυμα είτε πρόκειται για γυμνό δέρμα) και στην επιφάνεια ενός υλικού, με αποτέλεσμα τη μεταφορά θερμότητας από τη μια επιφάνεια στην άλλη, ακριβώς διαμέσου της επιφάνειας επαφής τους.

#### *Μεταφορά*

Το μέσο δια του οποίου υλοποιείται ο συγκεκριμένος μηχανισμός είναι ο αέρας, που μεταφέροντας θερμική ενέργεια, αποτελεί ουσιαστικά μια «ενδιάμεση επιφάνεια» λειτουργώντας με το συνδυασμό των δύο παραπάνω διαδικασιών. Βέβαια, εξαιτίας της κινητικότητας και της δυναμικής μεταβολής του, η μεταφερόμενη κάθε φορά θερμική ενέργεια εξαρτάται από την ταχύτητα του αέρα, τη θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ του ανθρώπινου σώματος και του αέρα και από την ένδυση.

## Εξάτμιση του ιδρώτα

Πρόκειται για το μόνο μηχανισμό θερμοαποβολής ο οποίος πραγματοποιείται μονόδρομα, από το ανθρώπινο σώμα προς το περιβάλλον. Ένας υγιής οργανισμός παράγει μέχρι και ένα λίτρο ιδρώτα την ώρα, που αντιστοιχεί στην αποβολή περίπου 675W θερμικής ενέργειας, γεγονός που καθιστά εύκολα αντιληπτή τη μεγάλη σημασία του συγκεκριμένου μηχανισμού για την αποκατάσταση της θερμοκρασιακής ισορροπίας.



**Εικόνα 6:** Μηχανισμοί ανταλλαγής θερμότητας του ανθρώπινου σώματος με το περιβάλλον [H1]

## 5.2 Θερμορυθμιστικό σύστημα του ανθρώπου

Είναι γεγονός πως το ανθρώπινο σώμα διαθέτει σωρεία μηχανισμών των οποίων η λειτουργία είναι θαυμαστή, τόσο από πλευράς σημασίας, όσο και από πλευράς ακρίβειας και πολυπλοκότητας. Ένας από αυτούς τους μηχανισμούς είναι και το θερμορυθμιστικό σύστημα του ανθρώπου, το οποίο είναι υπεύθυνο για να

διατηρεί τη θερμοκρασιακή ισορροπία του ανθρώπινου σώματος και κατ' επέκταση να εξασφαλίζει την κατάσταση θερμικής άνεσης.

Ουσιαστικά, πρόκειται για έναν αμυντικό μηχανισμό, ένα μηχανισμό ασφαλείας, ο οποίος ενεργοποιείται και δρα όταν η θερμοκρασία του ανθρώπινου σώματος δεν είναι η επιθυμητή. Έτσι, αν υπάρχει πλεόνασμα θερμότητας αυτή αποβάλλεται μέσω της εφίδρωσης (ψύξη), ενώ αν υπάρχει ανάγκη πρόσληψης θερμότητας από το περιβάλλον τότε είτε εμποδίζεται η ροή θερμότητας προς το δέρμα, είτε ενεργοποιείται το ερέθισμα του ρίγους που συνοδεύει την αύξηση του μεταβολισμού και επομένως της μεταβολικής θερμότητας. Αναλυτικότερα, η διαδικασία έχει ως εξής:

#### *Ψύξη (Α' στάδιο)*

Με διαστολή των αγγείων επιταχύνεται η ροή του αίματος προς το δέρμα και αυξάνεται η θερμοκρασία των άκρων (χεριών και ποδιών), σχεδόν στη θερμοκρασία του εσωτερικού του σώματος, οπότε το σώμα μπορεί με επιτυχία να αποβάλλει θερμότητα σ' ένα ψυχρότερο περιβάλλον.

#### *Ψύξη (Β' στάδιο)*

Πρόκειται για την ψύξη μέσω της εξάτμισης του ιδρώτα. Για να εκτιμηθεί η αποτελεσματικότητα του μηχανισμού αυτού, αρκεί να αναφερθεί πως για να εξατμιστούν 30 gr ιδρώτα απορροφούνται περίπου 16 Kcal.

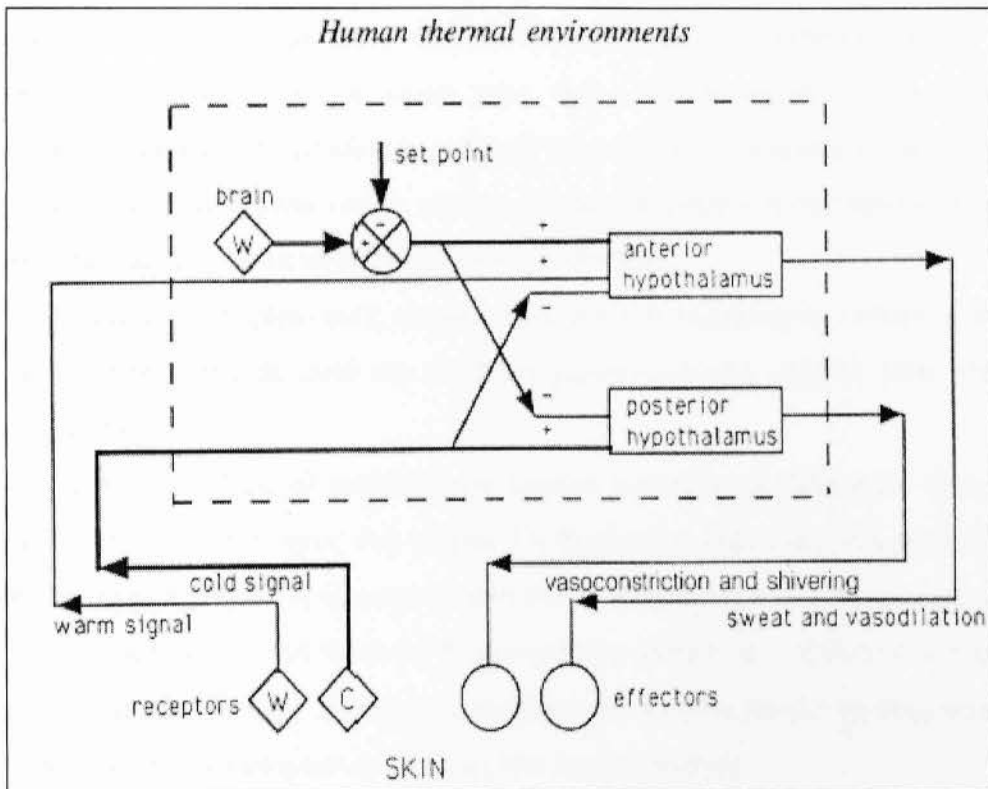
#### *Θέρμανση (Α' στάδιο)*

Για να περιορίσει τις απώλειες θερμότητας το σώμα συστέλλει τα αγγεία και ελαττώνει τη ροή θερμότητας προς το δέρμα, με αποτέλεσμα την ελάττωση της θερμοκρασίας αρχικά των άκρων και κατόπιν γενικά της εξωτερικής επιφάνειας του σώματος.

#### *Θέρμανση (Β' στάδιο)*

Ενεργοποιούνται ιστοί σε βάθος και αρχίζει να λειτουργεί ο μηχανισμός του ρίγους (τρεμούλιασμα) που είναι μια ακούσια φυσική δραστηριότητα που αυξάνει το μεταβολισμό και την εσωτερική παραγωγή θερμότητας [B14].

Ενδιαφέρον παρουσιάζει και η λειτουργία του θερμορυθμιστικού συστήματος σε κατάσταση έκτακτης ανάγκης, σε ιδιαίτερα ψυχρό περιβάλλον, όπου ο οργανισμός, προκειμένου να εξοικονομήσει ζεστό αίμα για ζωτικά μέρη του σώματος, εγκαταλείπει τα άκρα (αρχή κρυοπαγήματος), περνώντας πια από το στάδιο της θερμικής άνεσης σε αυτό της επιβίωσης. Το ακόλουθο διάγραμμα περιλαμβάνει ένα μηχανικό ανάλογο του ανθρώπινου θερμορυθμιστικού συστήματος, στο οποίο είναι εμφανής η «έξυπνη» λειτουργία του συστήματος υπό την έννοια της αυτοδιόρθωσής του με τη βοήθεια του εγκεφάλου (που εκτελεί την ισοδύναμη λειτουργία ενός συγκριτή σε ένα σύστημα αυτόματου ελέγχου) και ενός σήματος αναφοράς (επιθυμητή θερμοκρασία του ανθρώπινου σώματος).



*Διάγραμμα 4: Μηχανικό ανάλογο μηχανισμού θερμορύθμισης του ανθρώπινου σώματος [B18]*

# 6

## ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ

### 6.1 Θερμικό ισοζύγιο

#### 6.1.1 Θερμικό ισοζύγιο κτιρίου

Η προσοχή του θερμικού ισοζυγίου όσον αφορά στην επίτευξη της θερμικής άνεσης δεν αφορά μόνο στην περίπτωση του ανθρώπου και του πως αντιδρά στα θερμοκρασιακά ερεθίσματα αλλά και στο μέγεθος και την ποιότητα αυτών των ερεθισμάτων, τα οποία με τη σειρά τους έχουν άμεση σχέση με τη θερμική συμπεριφορά του κτιρίου. Σε κάθε περίπτωση το ισοζύγιο αναφέρεται σε σχέση με το περιβάλλον, αφού αυτό είναι εκείνο από ή στο οποίο προέρχονται ή αποβάλλονται τα απαραίτητα ή πλεονάζοντα ποσά θερμότητας αντίστοιχα.

Το θερμικό ισοζύγιο ενός κτιρίου είναι βασική παράμετρος καθορισμού της θερμικής άνεσης μέσα σε αυτό και αποτελεί χαρακτηριστικό μέγεθος κάθε τέτοιου είδους μελέτης.

Με τον όρο θερμικό ισοζύγιο του κτιρίου εννοείται το άθροισμα όλων των θερμικών ροών από και προς ένα κτίριο. Οι θερμικές αυτές ροές αναφέρονται σε κέρδη (θερμικές πρόσδοδοι ή θερμικά κέρδη) και σε απώλειες (θερμικές απώλειες) του κτιρίου που οφείλονται στη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του εξωτερικού και του εσωτερικού περιβάλλοντος. Το θερμικό ισοζύγιο του κτιρίου μπορεί να εκφραστεί με τη μορφή μιας απλής μαθηματικής σχέσης που έχει τη μορφή:

$$Q_I + Q_S \pm Q_C \pm Q_V \pm Q_M - Q_E = 0, \text{ όπου,}$$

- $Q_I$ : η θερμότητα που αποδίδεται από τους ενοίκους, τις διάφορες συσκευές και τον φωτισμό
- $Q_S$ : η θερμική πρόσδοδος από την ηλιακή ακτινοβολία που εισέρχεται στο κτίριο

- QC: οι θερμικές απώλειες ή τα κέρδη με αγωγιμότητα από το κέλυφος του κτιρίου
- QV: οι θερμικές απώλειες ή τα κέρδη από τον αερισμό
- QM: οι θερμαντικές ή ψυκτικές ανάγκες του χώρου
- QE: οι θερμικές απώλειες από την εξάτμιση [B21].

### 6.1.2 Θερμικό ισοζύγιο ανθρώπινου σώματος

Το θερμικό ισοζύγιο του ανθρώπινου σώματος ολοκληρώνει την εξίσωση της ζητούμενης ισορροπίας, αφού συμπληρώνει την επιθυμητή συμπεριφορά ενός κτιρίου με την επιθυμητή λειτουργία του ανθρώπινου οργανισμού σε ένα ολοκληρωμένο μοντέλο ισορροπίας. Η εξίσωση που εκφράζει το συγκεκριμένο θερμικό ισοζύγιο είναι

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

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

W: Το μηχανικό έργο που παράγει ο άνθρωπος (W/m<sup>2</sup>)

S: η θερμότητα που αποθηκεύεται στο ανθρώπινο σώμα (W/m<sup>2</sup>)

q<sub>sk</sub>: απώλειες θερμότητας από το δέρμα (W/m<sup>2</sup>)

q<sub>res</sub>: απώλειες θερμότητας από την αναπνοή (W/m<sup>2</sup>)

Με περαιτέρω ανάλυση της μεταφοράς θερμότητας από το δέρμα ή την αναπνοή προκύπτει η 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)

R: απώλειες θερμότητας από το δέρμα λόγω ακτινοβολίας (W/m<sup>2</sup>)

E<sub>sk</sub>: απώλειες θερμότητας από το δέρμα λόγω εξάτμισης (W/m<sup>2</sup>)

C<sub>res</sub>: απώλειες θερμότητας αναπνοής με συναγωγή (W/m<sup>2</sup>)

E<sub>res</sub>: απώλειες θερμότητας αναπνοής με εξάτμιση (W/m<sup>2</sup>)

S<sub>sk</sub>: αποθήκευση θερμότητας στο δέρμα (W/m<sup>2</sup>)

S<sub>cr</sub>: αποθήκευση θερμότητας στο εσωτερικό του σώματος (W/m<sup>2</sup>) [B19].

## 6.2 Μοντελοποίηση θερμικής άνεσης

### 6.2.1 Θεωρητικά μοντέλα – Δείκτες

#### *ET\*DISC*

Το ET\*DISC χρησιμοποιεί κι αυτό ένα μοντέλο θερμικού ισοζυγίου για τον υπολογισμό της θερμικής άνεσης, με την ιδιαιτερότητά του να αφορά στο ότι λαμβάνει υπόψη του το χρόνο, με αποτέλεσμα να είναι δυναμικά μεταβαλλόμενο. Προσδιορίζει τη θερμική ροή ανάμεσα στο περιβάλλον, την επιφάνεια του δέρματος και τις εσωτερικές περιοχές του σώματος ανά λεπτό. Ξεκινώντας από μια αρχική υπόθεση της χρονικής στιγμής μηδέν, ( $t=0$ ) το μοντέλο μεταβάλλεται μέχρι να επιτευχθεί η ισορροπία (60 λεπτά είναι ένας καλός μέσος χρόνος). Η τελική Μέση Θερμοκρασία του δέρματος και της υγρασίας του, τότε σχετίζονται με την ‘Θερμοκρασία Επίδρασης’ ή Αποτελεσματική Θερμοκρασία. Ο δείκτης DISC προβλέπει τη θερμική δυσφορία χρησιμοποιώντας έτσι τη θερμοκρασία του δέρματος και την υγρασία του.

Το μοντέλο αυτό αναπαριστά το ανθρώπινο σώμα ως δύο ομόκεντρους κύλινδρους, έναν κύλινδρο που αναπαριστά το εσωτερικό του σώματος και έναν άλλο εξωτερικό που αναπαριστά την επιφάνεια του δέρματος και τον περιβάλλει. Τα ρούχα και ο ιδρώτας υποτίθεται ότι κατανέμονται εξίσου στην επιφάνεια του σώματος. Τη χρονική στιγμή «μηδέν» ο κύλινδρος εκτίθεται σ’ ένα φυσιολογικά ομοιόμορφο περιβάλλον και το μοντέλο προσομοιώνει ανά λεπτό το θερμορυθμιστικό σύστημα του ανθρώπου. Αφού περάσει το προσδιορισμένο χρονικό διάστημα, η τελική θερμοκρασία της επιφάνειας και η υγρασία της επιφάνειας του δέρματος, χρησιμοποιούνται για να υπολογιστούν οι απαιτούμενοι για τη λειτουργία του μοντέλου δείκτες.

Η βασική ιδέα στην οποία στηρίχθηκε το συγκεκριμένο μοντέλο είναι ότι η θερμοκρασία του δέρματος μπορεί να αποτελέσει ένα αξιόπιστο μέτρο προσδιορισμού της θερμικής άνεσης.



## SET\*

Ο δείκτης SET\* (Standard Effective Temperature – Κανονικής Ενεργού Θερμοκρασίας) αριθμητικά αναπαριστά το θερμικό φορτίο με το ίδιο μοντέλο με αυτό του προηγούμενου δείκτη που είναι γνωστό ως μοντέλο δύο μεταβλητών, και στη συνέχεια το αποτέλεσμα συγκρίνεται με ένα «πρότυπο» άτομο που ζει σε ένα «πρότυπο» περιβάλλον. Ο δείκτης SET\* έχει το πλεονέκτημα ότι επιτρέπει τις συγκρίσεις θερμότητας ανάμεσα σε διαφορετικά περιβάλλοντα με οποιοδήποτε συνδυασμό φυσικών μεταβλητών, αλλά έχει το μειονέκτημα ότι απαιτεί την ύπαρξη «πρότυπων» ατόμων, με ότι συνεπάγεται η τυχόν απόκλιση του προτύπου από επιθυμητές συμπεριφορές.

Ο συγκεκριμένος δείκτης βασίζεται σε συναρτήσεις συσχετισμού ανάμεσα σε δύο δείκτες άνεσης, τη θερμοκρασία του δέρματος και την υγρασία του, συγκρίνοντας ουσιαστικά τη φυσιολογική κατάσταση του ατόμου με ένα περιβάλλον αναφοράς.

## TSENS, DISC

Ο δείκτης TSENS, που είναι και ο πρώτος δείκτης υπολογίζει το ποσοστό του πληθυσμού σε μια επταβάθμια κλίμακα θερμικής άνεσης. Το DISC, ο δεύτερος δείκτης υπολογίζει το ποσοστό σε κλίμακα θερμικής δυσφορίας με φθίνουσα κλίμακα που μεταβάλλεται ως εξής: Ανυπόφορο, Πολύ δυσάρεστο, Δυσάρεστο, Ελαφρώς δυσάρεστο, Άνετο.

## 6.2.2 Εμπειρικά μοντέλα και προσομοιώσεις

### *PD (Predicted percent dissatisfied due to draft)*

Πρόκειται για το «% ποσοστό δυσαρεστημένων που οφείλονται στα ρεύματα αέρος», μια προσαρμογή σε δεδομένα από άτομα τα οποία εκφράζουν τη θερμική δυσφορία που οφείλεται στα αέρια ρεύματα. Οι μεταβλητές στο PD είναι η θερμοκρασία του αέρα, η ταχύτητά του και η έντασή του. Η εξίσωση PD προέκυψε από δύο μελέτες στις οποίες 100 άνθρωποι εκτέθηκαν σε ποικίλους συνδυασμούς θερμοκρασίας αέρα, ταχύτητάς του και περιβαλλοντικής τύρβης. Για κάθε έναν συνδυασμό συνθηκών, τα άτομα ρωτήθηκαν αν αισθάνονταν το ρεύμα αέρα. Το PD

αναπαριστά το % ποσοστό των ατόμων που αισθάνθηκαν το αέρινο ρεύμα για τις συγκεκριμένες συνθήκες στις οποίες δοκιμάστηκαν. Η εξίσωση PD είναι η εξής:

$$PD = 3.413(34 - T_a)(v - 0.05)^{0.622} + 0.369vT_a(34 - T_a)(v - 0.05)^{0.622}$$

όπου

- $T_u$  είναι η περιβαλλοντική τύρβη σε ποσοστό %. Η τιμή μηδέν (0%) αναπαριστά τη στρωτή ροή και η τιμή 100% σημαίνει ότι η τυπική απόκλιση της ταχύτητας του αέρα, μετά από ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα είναι ίδια με τη μέση ταχύτητα του αέρα.
- $v$  είναι η ταχύτητα του αέρα (σε m/s) και
- $T_a$  είναι η θερμοκρασία του αέρα (σε °C).

*PS*

Το συγκεκριμένο μοντέλο υπολογίζει την ταχύτητα του αέρα η οποία θα επιλεγεί από ένα άτομο που εκτίθεται σε συγκεκριμένη θερμοκρασία όταν αυτό το άτομο έχει τη δυνατότητα επιλογής της ταχύτητας του αέρα. Το μοντέλο PS προέκυψε από μια μελέτη στην οποία ζητήθηκε από 50 άτομα να προσδιορίσουν την ταχύτητα του αέρα ώστε να αισθάνονται άνετα όταν εκτεθούν σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία. Η εξίσωση PS είναι:

$$PS = 1.13\sqrt{T_{op}} - 0.24T_{op} + 2.7\sqrt{v} - 0.99v$$

όπου

- $T_{op}$  είναι η ενεργή θερμοκρασία (σε °C) και
- $v$  είναι η ταχύτητα του αέρα (σε m/s).

*TS*

Η εξίσωση TS, υπολογίζει το ποσοστό της θερμικής άνεσης χρησιμοποιώντας γραμμική συνάρτηση της θερμοκρασίας του αέρα και της μερικής πίεσης των ατμών.

Η εξίσωση TS είναι η εξής:

$$TS = 0.245T_a + 0.248p - 6.475$$

όπου:

- $T_a$  είναι η θερμοκρασία του αέρα (σε °C) και
- $p$  η μερική πίεση των ατμών (σε KPa) [B14].

### *Auliciems*

Είναι ένα μοντέλο προσομοίωσης που αναπτύχθηκε από τον Auliciems και προσαρμόζει τα δεδομένα αισθήσεων που βασίζονται σε έρευνες για τη θερμική άνεση που έγιναν στην Αυστραλία και πραγματοποιήθηκαν σε διάφορα κλίματα. Η εξίσωση Auliciems είναι η εξής [B13]:

$$T_n = 9.22 + 0.48T_a + 0.14T_{mimo}$$

### *Humphreys*

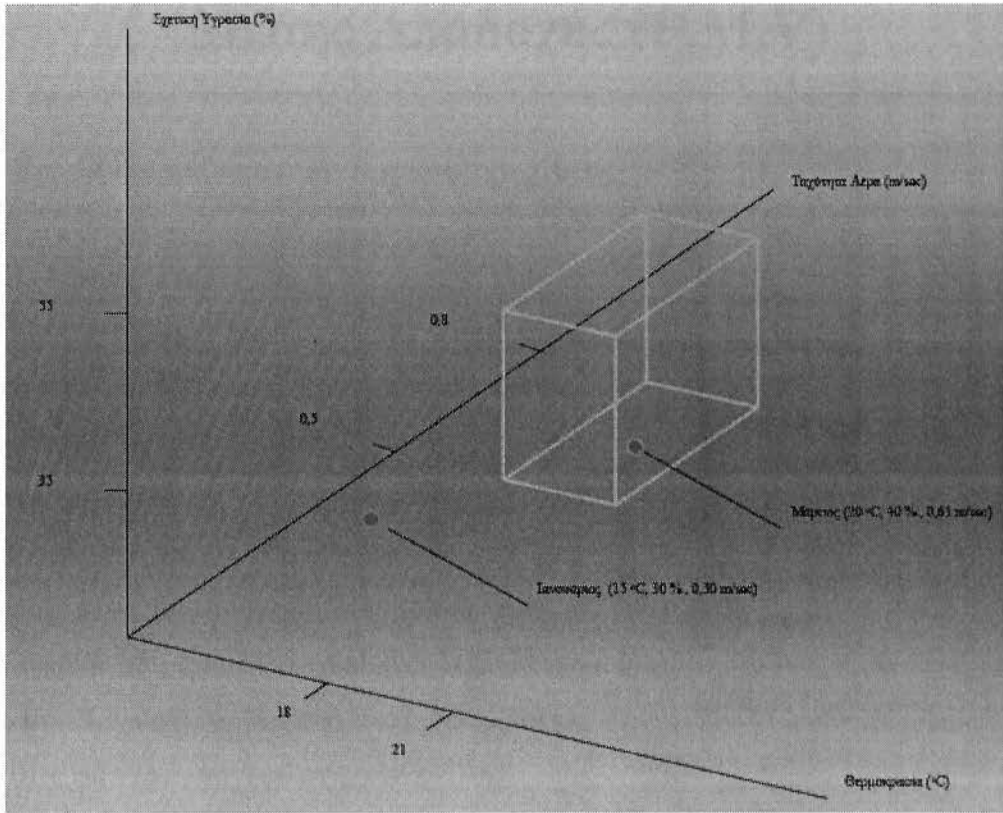
Η εξίσωση Humphreys χρησιμοποιείται για να προσαρμόσει δεδομένα ελεγχόμενων και μη συνθηκών δόμησης. Τόσο για το μοντέλο του Auliciems όσο και γι' αυτό του Humphreys ισχύουν:

- $T_n$  είναι η ουδέτερη θερμοκρασία (°C),
- $T_a$  είναι η θερμοκρασία του αέρα (°C) και
- $T_{mimo}$  είναι η μέση μηνιαία θερμοκρασία εξωτερικού χώρου (°C).

### *Τρισδιάστατο μοντέλο θερμικής άνεσης*

Το τρισδιάστατο μοντέλο θερμικής άνεσης αναπτύχθηκε από τους Κοσμόπουλο Π. και Γαλανό Δ. στο Εργαστήριο Περιβαλλοντικού και Ανθρωπογνωστικού Σχεδιασμού του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος στο Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης και πρόκειται ουσιαστικά για ένα εργαλείο που βοηθάει τους μελετητές να καθορίσουν οι ίδιοι τα όρια τριών παραμέτρων (θερμοκρασία, υγρασία, ταχύτητα αέρα) ανάλογα με τις επιμέρους συνθήκες που επικρατούν σε κάθε κτίριο ξεχωριστά, λαμβάνοντας υπ' όψιν τους όλες τις παραμέτρους που δεν υπεισέρχονται στην μέθοδο υπολογισμού ISO 7630. Τα πλεονεκτήματα του συγκεκριμένου μοντέλου εντοπίζονται στα εξής σημεία: Ορισμός ορίων των παραμέτρων από τον μελετητή, μεταβαλλόμενοι και πλήρως προσαρμοζόμενοι σε οποιαδήποτε κλίμακα άξονες τιμών, εύκολη και άμεση απόδοση

της κατάστασης που επικρατεί, ιδιαίτερα ανθρωποκεντρικός χαρακτήρας και ελαστικότητα στους υπολογισμούς [H7].



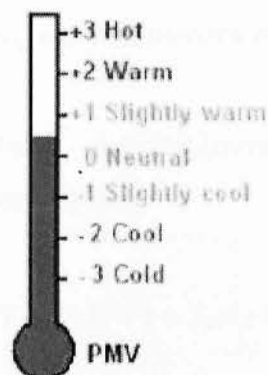
*Διάγραμμα 5: Τρισδιάστατο μοντέλο θερμικής άνεσης [H7]*

# 7

## Δείκτης Αναμενόμενης Μέσης Αποδοχής (P.M.V)

### 7.1 Έννοια και μαθηματική έκφραση του δείκτη

Ο δείκτης PMV (Predicted Mean Vote – Δείκτης Αναμενόμενης Μέσης Αποδοχής), είναι μια μαθηματική σχέση που συνδέει τα επίπεδα δραστηριότητας, ρουχισμού και περιβαλλοντικών παραμέτρων. Ο προσδιορισμός του έγινε μετά από ανάλυση ενός μεγάλου αριθμού δεδομένων, ενώ η κλίμακα που έχει συνταχθεί έχει διαβάθμιση από -3 (αίσθηση κρύου) έως +3 (ζέστη), όπως φαίνεται στη διπλανή εικόνα [B6].



*Εικόνα 7: Κλίμακα προσδιορισμού δείκτη P.M.V*

Ο συσχετισμός των δεικτών κανονικής ενεργού θερμοκρασίας και αναμενόμενης μέσης αποδοχής παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα, στον οποίο ιδιαίτερο ενδιαφέρον εμφανίζει η αντιστοιχία των τιμών των δεικτών και της φυσιολογίας του ανθρώπινου οργανισμού.

<i>SET*</i>	<i>PMV</i>	<i>Θερμική Αίσθηση</i>	<i>Φυσιολογία</i>
>37.5	>3	Πολύ ζέστη	Αδυναμία ρύθμισης εξάτμισης
34.5-37.5	2-3	Ζέστη	Έντονη εφίδρωση
30-34.5	1-2	Ζέστη, δυσφορία	Εφίδρωση
25.6-30	0.5-1	Λίγο ζεστά	Μικρή εφίδρωση, αγγειοδιαστολή
22.2-25.6	-0.5 έως 0.5	Άνετα	Φυσιολογική θερμική ουδετερότητα
17.5-22.2	-1 έως -0.5	Λίγο δροσερά	Αρχική αγγειοσυστολή
14.5-17.5	-2 έως -1	Δροσερά	Αργή ψύξη σώματος
10-14.5	-3 έως -2	Κρύο	Τρέμουλο

*Πίνακας 4: Συσχετισμός δεικτών κανονικής ενεργού θερμοκρασίας και αναμενόμενης μέσης αποδοχής σε σχέση με την ανθρώπινη φυσιολογία [B8]*

Μειονέκτημα του συγκεκριμένου δείκτη είναι ότι αγνοεί συγκεκριμένες συνθήκες που μπορεί να επιφέρουν δυσφορία, όπως πολύ υψηλές θερμοκρασίες εδάφους, σημαντική ασυμμετρία στην ακτινοβολία ή μεγάλες κατακόρυφες μεταβολές της θερμοκρασίας.

Μαθηματικά, ο δείκτης αναμενόμενης μέσης αποδοχής μπορεί να εκφρασθεί με την παρακάτω εξίσωση:

$$PMV = (0.303^{-0.036M} + 0.028)L$$

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

Αναλυτικότερα, η σχέση μεταβολικού ρυθμού, περιβαλλοντικών και προσωπικών παραμέτρων εκφράζεται μέσω της ακόλουθης σχέσης

$$M - W = 3,96 \cdot [10]^{(-8)} f_{1cl} [(t_{1cl} + 273)^{1,4} - ((t_{1r}) + 273)^{1,4}] + f_{1cl} \cdot h_{1c} (t_{1cl} - t_{1a}) + 3.05[5]$$

όπου,

W: Ωφέλιμη μηχανική ισχύς (θεωρώντας το ανθρώπινο σώμα σαν μια θερμική μηχανή, συνήθως  $W=0,2 \text{ W/m}^2$ , απόδοση δηλαδή της τάξης του 20%)

$f_{cl}$ : Συντελεστής επιφάνειας ρουχισμού (ο λόγος των επιφανειών ντυμένου προς γυμνού σώματος, για 1 clo παίρνει την τιμή 1,15 )

$t_{cl}$ : Θερμοκρασία επιφάνειας ρουχισμού (σε °C)

$p_a$ : Υγρασία (Μερική πίεση υδρατμών στον αέρα, σε mmHg).

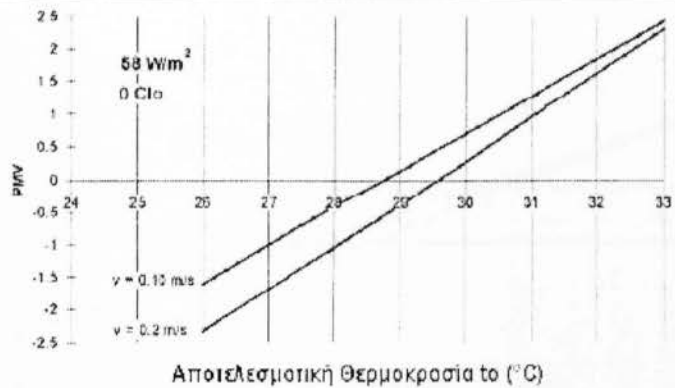
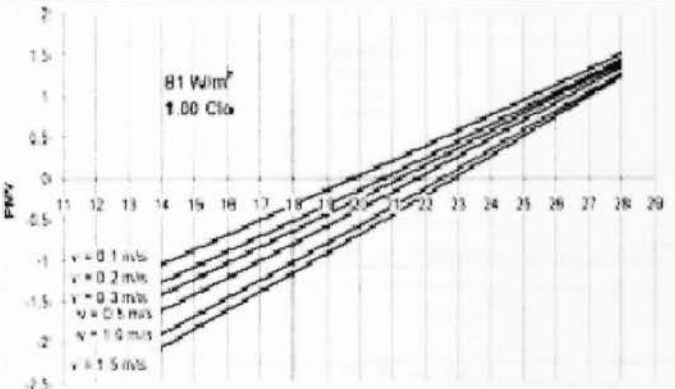
$h_c$ : Συντελεστής μεταφοράς της θερμότητας ( $\text{kcal/ m}^2 \times \text{h} \times \text{°C}$ )

$t_a$ : Θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

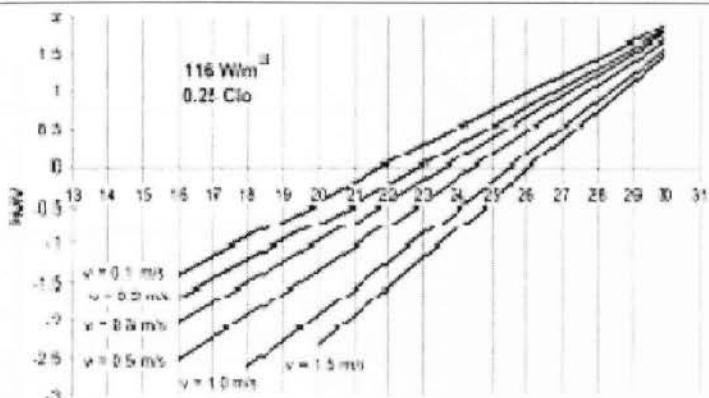
## 7.2 Συσχετισμός με άλλες παραμέτρους

Η θεώρηση ενός δείκτη έχει ευρύτερο νόημα σχετικά με την κατανόηση μιας κατάστασης όσον αφορά στην επικρατούσα θερμική άνεση για τους κατοίκους ή τους εργαζόμενους ενός κτιρίου, όταν γίνεται με ταυτόχρονη θεώρηση άλλων δεικτών και μεταβλητών αφού η εξίσωση που δίνει την τελική τιμή του δείκτη περιλαμβάνει ένα πλήθος παραμέτρων, με τη μεταβολή του ενός δείκτη σε σχέση με έναν άλλο να γίνεται παραμετρικά, κρατώντας δηλαδή κάποιες μεταβλητές σταθερές και μεταβάλλοντας ελεγχόμενα κάποιες άλλες.

Για το δείκτη PMV μια τέτοια παραμετρική θεώρηση παρουσιάζεται στα διαγράμματα του ακόλουθου πίνακα, με ταυτόχρονη καταγραφή των σταθερών παραμέτρων. Τα διαγράμματα αυτά είναι βασικά για τον υπολογισμό του δείκτη, ανάλογα με τα δεδομένα που διατίθενται κάθε φορά και την επιλογή του κατάλληλου διαγράμματος. Ένας διαφορετικός τρόπος υπολογισμού του δείκτη είναι μέσω συγκεκριμένου οργάνου θερμικής άνεσης το οποίο συμπεριλαμβάνει ανάμεσα στις ληφθείσες κάθε φορά μετρήσεις και τη συγκεκριμένη.

Διαγράμματα μεταβολής δείκτη PMV	Παράμετροι
 <p data-bbox="267 1001 644 1032">Αποτελεσματική Θερμοκρασία <math>t_{ra}</math> (°C)</p> <p data-bbox="68 1052 802 1083">Μεταβολή δείκτη PMV σε συνάρτηση με την αποτελεσματική θερμοκρασία</p>	<p data-bbox="980 725 1179 766">Επίπεδο ρουχισμού: 0 Clo</p> <p data-bbox="864 776 1166 817">Δραστηριότητα: <math>58 \text{ W/m}^2</math></p> <p data-bbox="864 827 1214 930">Ταχύτητα του αέρα: 0.10m/s και 0.20m/s.</p> <p data-bbox="864 940 1193 981">(Σχετική υγρασία σταθερή)</p>
 <p data-bbox="226 1502 686 1533">Αποτελεσματική Θερμοκρασία <math>t_{ra}</math> (°C)</p> <p data-bbox="68 1543 802 1573">Μεταβολή δείκτη PMV σε συνάρτηση με την αποτελεσματική θερμοκρασία</p>	<p data-bbox="980 1185 1179 1226">Επίπεδο ρουχισμού: 1 Clo</p> <p data-bbox="864 1236 1166 1277">Δραστηριότητα: <math>81 \text{ W/m}^2</math></p> <p data-bbox="864 1287 1214 1430">Ταχύτητα του αέρα: 0.1m/s, 0.2m/s, 0.3m/s, 0.5m/s, 1m/s και 1.5m/s.</p> <p data-bbox="864 1441 1193 1481">(Σχετική υγρασία σταθερή)</p>

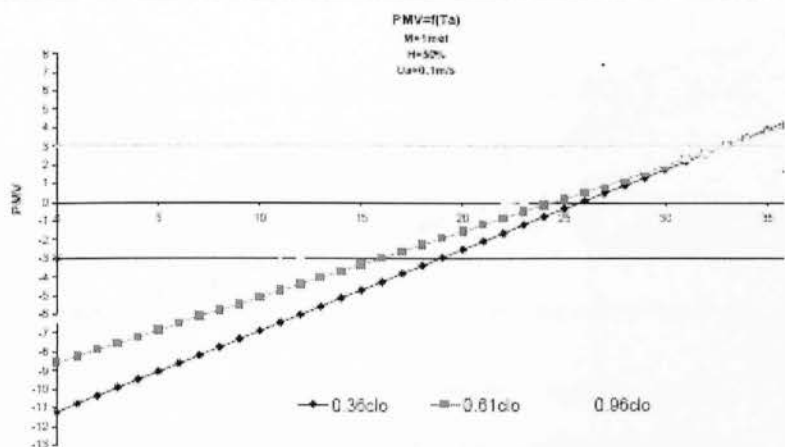




### Αποτελεσματική Θερμοκρασία $t_e$ (°C)

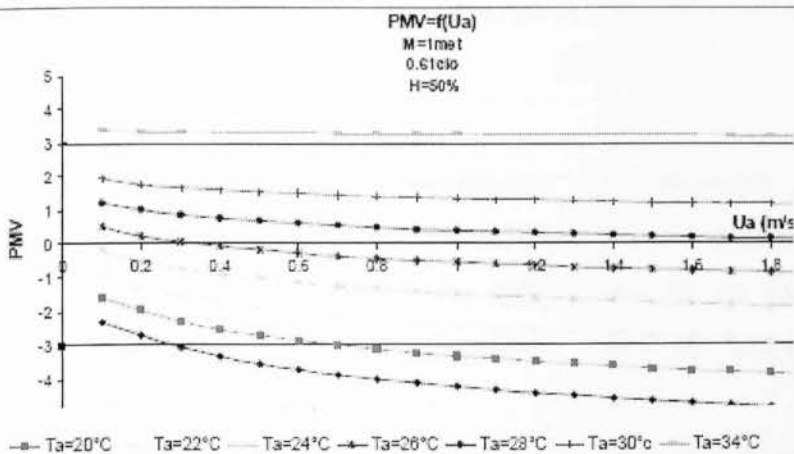
Μεταβολή δείκτη PMV σε συνάρτηση με την αποτελεσματική θερμοκρασία

Επίπεδο ρουχισμού: 0.25 Clo  
 Δραστηριότητα  $116 \text{ W/m}^2$   
 Ταχύτητα του αέρα: 0.1m/s,  
 0.2m/s, 0.3m/s, 0.5m/s, 1m/s  
 και 1.5m/s.  
 (Σχετική υγρασία σταθερή)



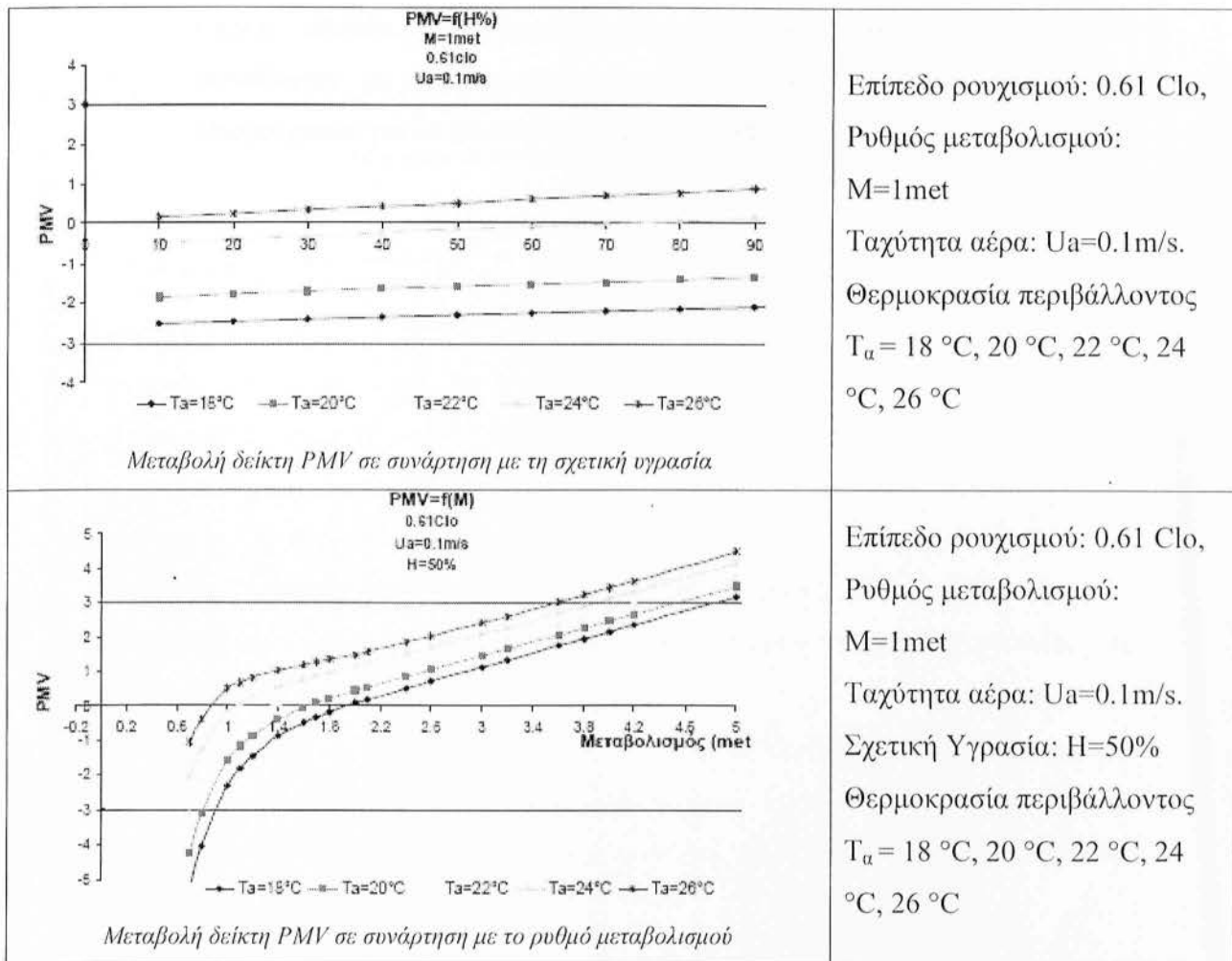
Μεταβολή δείκτη PMV σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος

Επίπεδο ρουχισμού: 0.36 Clo,  
 0.61 Clo, 0.96 Clo  
 Ρυθμός μεταβολισμού:  
 $M=1 \text{ met}$   
 Σχετική Υγρασία:  $H=50\%$   
 Ταχύτητα αέρα:  $U_a=0.1 \text{ m/s}$ .



Μεταβολή δείκτη PMV σε συνάρτηση με την ταχύτητα του αέρα

Επίπεδο ρουχισμού: 0.61 Clo,  
 Ρυθμός μεταβολισμού:  
 $M=1 \text{ met}$   
 Σχετική Υγρασία:  $H=50\%$   
 Ταχύτητα αέρα:  $U_a=0.1 \text{ m/s}$ .  
 Θερμοκρασία περιβάλλοντος  
 $T_a = 20 \text{ }^\circ\text{C}, 22 \text{ }^\circ\text{C}, 24 \text{ }^\circ\text{C},$   
 $26 \text{ }^\circ\text{C}, 28 \text{ }^\circ\text{C}, 30 \text{ }^\circ\text{C}, 34 \text{ }^\circ\text{C}$



**Πίνακας 5:** Παραμετρική θεώρηση του δείκτη αναμενομένης μέσης αποδοχής  
[B14,B26]

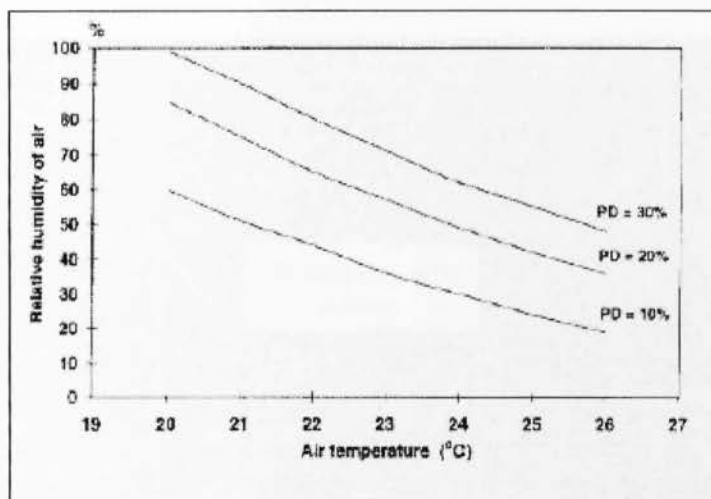
Τα παραπάνω διαγράμματα είναι ιδιαίτερα χρήσιμα όχι μόνο για τον υπολογισμό του δείκτη PMV αλλά και για την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων σχετικά με τη μεταβολή του δείκτη ανάλογα με την αντίστοιχη μεταβολή των παραμέτρων που τον επηρεάζουν. Από το σύνολο λοιπόν των παραπάνω διαγραμμάτων προκύπτει ότι:

- ο δείκτης μεταβάλλεται γραμμικά με τη μεταβολή της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος και της σχετικής υγρασίας
- θερμική άνεση σε χαμηλή θερμοκρασία συνεπάγεται αύξηση της ενδυμασίας
- συνδυασμός χαμηλής θερμοκρασίας και αυξημένης ταχύτητας αέρα συνεπάγεται μειωμένη τιμή του δείκτη

- υψηλά επίπεδα μεταβολισμού (επομένως και έντονη δραστηριότητα) συνδέονται με υψηλές τιμές του δείκτη και απαιτείται χαμηλότερη θερμοκρασία για να επιτευχθεί θερμική άνεση.

Ο συγκεκριμένος δείκτης (PPD - Predicted Percentage of Dissatisfied) εκφράζει το κατεξοχήν συναίσθημα σχετικά με μια μη ικανοποιητική επικρατούσα θερμική κατάσταση, αυτό της δυσαρέσκειας που προκαλείται από ξαφνικές, μη-αναμενόμενες αλλαγές στην θερμοκρασία και στις άλλες περιβαλλοντικές συνθήκες και προσωπικές παραμέτρους που συνιστούν τη συνολική εξίσωση η οποία περιγράφει τη θερμική άνεση. Το ζητούμενο λοιπόν είναι η δυσαρέσκεια αυτή να εκφραστεί και μάλιστα να προβλεφθεί, έτσι ώστε να εκτιμηθεί το ποσοστό δυσαρέσκειας του συνόλου ενός ατόμων που βρίσκονται σε ένα δεδομένο θερμικό περιβάλλον.

Η σχέση του με τις παραμέτρους της θερμοκρασίας και της υγρασίας καταδεικνύεται στο ακόλουθο διάγραμμα, από το οποίο είναι εμφανές πως το ποσοστό δυσαρέσκειας αυξάνεται με την ταυτόχρονη αύξηση των επιπέδων υγρασίας και θερμοκρασίας.



Διάγραμμα 6: Σχέση ποσοστού δυσαρέσκειας με τη θερμοκρασία και την υγρασία

[B15]

Βασική λεπτομέρεια όσον αφορά στον υπολογισμό του συγκεκριμένου δείκτη είναι ότι η θεώρησή του γίνεται με βάση την αντίστοιχη τιμή του δείκτη PMV, με την τιμή του PPD να αυξάνει όσο ο δείκτης PMV απομακρύνεται από την ουδέτερη μηδενική τιμή. Η αύξηση αυτή συνεπάγεται και την ύπαρξη δυσαρέσκειας σχετικά με το θερμικό περιβάλλον. Πρέπει βέβαια να ληφθεί υπόψη ότι σε κάθε περίπτωση στόχος της διαδικασίας είναι η ικανοποίηση της πλειοψηφίας των ατόμων μέσα σ' ένα χώρο.

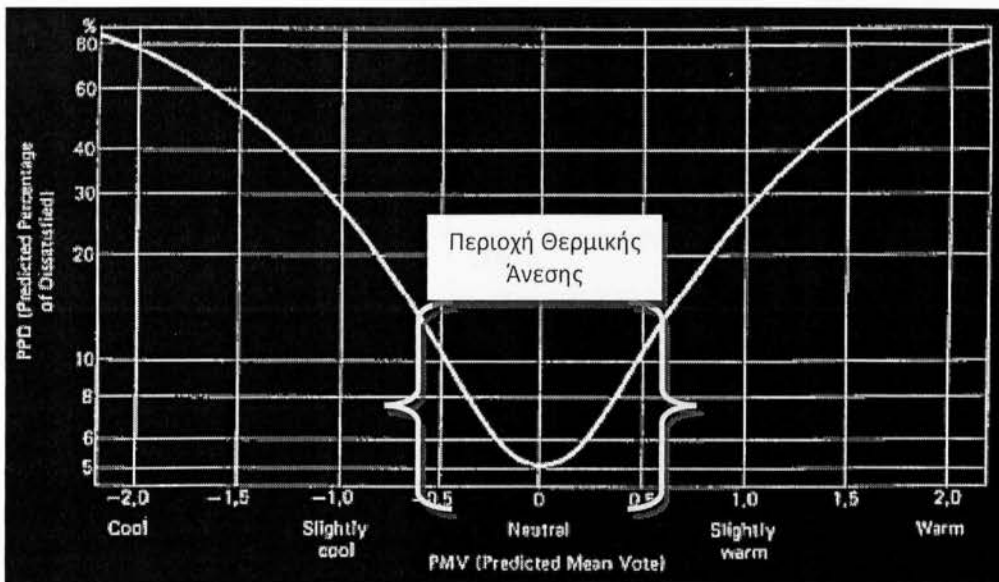
Η εξίσωση με την οποία υπολογίζεται κάθε φορά ο δείκτης δυσαρέσκειας είναι:

$$PPD = 100 - 95 e^{-(-0.3353PMV^4 + 0.2179PMV^2)}$$

Από τη συγκεκριμένη εξίσωση προκύπτουν και οι συνθήκες που πρέπει να ισχύουν για θερμική άνεση. Θα πρέπει λοιπόν οι δείκτες PMV και PPD, να κυμαίνονται μεταξύ των ακόλουθων ορίων:

- PPD < 10%
- $-0.5 < PMV < 0.5$ .

Ο συσχετισμός των δύο αυτών δεικτών παρουσιάζεται στο ακόλουθο διάγραμμα, από το οποίο προκύπτει πως υφίσταται ελαχιστοποίηση της δυσαρέσκειας όταν παρατηρείται εύρος τιμών ουδετερότητας όσον αφορά στην αναμενόμενη μέση αποδοχή.



Διάγραμμα 7: Συσχετισμός δεικτών αναμενόμενης μέσης αποδοχής και δυσαρέσκειας

[B6]

## 9

## Δείκτης Φυσιολογικής Ισοδύναμης Θερμοκρασίας (P.E.T)

Ένας άλλος δείκτης θερμικής άνεσης είναι ο PET (Physiological Equivalent Temperature), που δείχνει τη θερμική αίσθηση ενός ατόμου σε ένα χώρο (εξωτερικό ή εσωτερικό) και μετρείται σε °C, με τη διαβάθμιση που καταγράφεται στον ακόλουθο πίνακα (οι τιμές του πίνακα αναφέρονται σε συγκεκριμένες τυπικές συνθήκες, δηλαδή αντίσταση ενδυμασίας 0,9 clo και εσωτερική παραγωγή θερμότητας 80W) [B6].

Το γεγονός της μέτρησης του δείκτη στη μονάδα °C είναι σημαντικό γιατί καθιστά το συγκεκριμένο δείκτη ιδιαίτερα προσφιλή και εύχρηστο σε πλήθος βιοκλιματικών εφαρμογών και μελετών.

PET (°C)	Θερμική Αίσθηση
< 4	Πολύ κρύο
4-8	Κρύο
8-13	Δροσιά
13-18	Ελαφριά δροσιά
18-23	Θερμική άνεση
23-29	Ελαφριά ζέστη
29-35	Ζέστη
35-41	Αρκετή ζέστη
>41	Πολύ ζέστη

**Πίνακας 6:** Συσχετισμός δείκτη PET και θερμικής αίσθησης [H8]

Ουσιαστικά ο δείκτης PET εκφράζει το πώς αισθάνεται από θερμικής άποψης ένας άνθρωπος που βρίσκεται σε εξωτερικό χώρο και δέχεται την επίδραση των θερμοϋγρομετρικών συνθηκών, των ακτινοβολιών και της πνοής του ανέμου στη

θερμοκρασία εσωτερικού χώρου ελλείπει ακτινοβολιών ( $T_a=T_{mrt}$ ) με ταχύτητα ανέμου  $WS=0.1$  m/s και σταθερή τάση ατμών  $VP=12$  hPa. Ορίζεται ως η «θερμοκρασία αέρος στην οποία η ανθρώπινη ενεργειακή ισορροπία για τις υποτιθέμενες συνθήκες εσωτερικού χώρου είναι ισορροπημένη από την ίδια θερμοκρασία δέρματος και ρυθμό εφίδρωσης όπως στις υπολογισμένες εξωτερικές συνθήκες [B15].

Ανάλογα με τις επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες οι τιμές του συγκεκριμένου δείκτη παρατίθενται στον ακόλουθο πίνακα.

	$T_a$ ( $^{\circ}C$ )	$T_{mrt}$ ( $^{\circ}C$ )	$WS$ (m/s)	$VP$ (hPa)	$PET$ ( $^{\circ}C$ )
Κλειστός χώρος	21	21	0.1	12	21
Χειμώνας - Ηλιοφάνεια	-5	40	0.5	2	10
Χειμώνας - Νέφωση	-5	-5	5.0	2	-13
Καλοκαίρι - Ηλιοφάνεια	30	60	1.0	21	43
Καλοκαίρι - Νέφωση	30	30	1.0	21	29

**Πίνακας 7:** Τιμές του δείκτη PET σε διάφορες μετεωρολογικές συνθήκες [B15]

Οι παράγοντες που επηρεάζουν το δείκτη είναι:

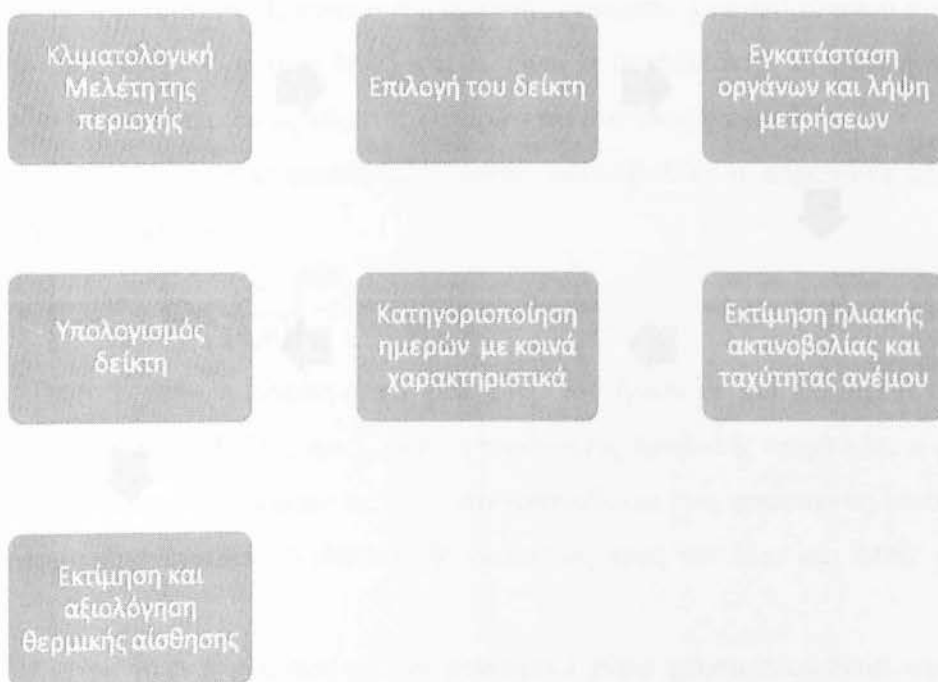
- Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας
- Η θερμοκρασία του αέρα
- Η ταχύτητα του ανέμου
- Η σχετική υγρασία [B8]

Όπως παρατηρείται από τον παραπάνω πίνακα, το αποδεκτό εύρος τιμών για το συγκεκριμένο δείκτη είναι από 18-23. Βέβαια, πρέπει να σημειωθεί ότι κατά τον υπολογισμό του δείκτη έχει γίνει η υπόθεση ότι το ισοζύγιο θερμότητας είναι πανομοιότυπο με αυτό ενός εσωτερικού χώρου.



Το μοντέλο RayMan ανήκει σε ένα ευρύτερο σύνολο μοντέλων τα οποία χρησιμοποιούν την υπολογιστική ρευστομηχανική (CFD: Computational Fluid Dynamics) για να προσομοιώσουν τη ροή του αέρα. Με το συγκεκριμένο όρο, περιγράφονται αναλυτικότερα συστήματα που περιέχουν ροές ρευστών, μεταφορά θερμότητας και φαινόμενα που σχετίζονται με αυτά (π.χ. χημικές αντιδράσεις), χαρακτηριστικό που τα καθιστά ιδιαίτερα προσιτά για εφαρμογές διερεύνησης του ζητήματος της θερμικής άνεσης, κυρίως για αστικές περιοχές. Δημιουργήθηκε στο Μετεωρολογικό Ινστιτούτο του Πανεπιστημίου του Freiburg, της Γερμανίας, από τους F.Rutz, A. Matzarakis και H.Mayer και μπορεί να λειτουργήσει σε περιβάλλον Windows, επιδεικνύοντας έτσι ιδιαίτερη φιλικότητα προς το χρήστη, ενώ το μαθηματικό του υπόβαθρο ακολουθεί το μοντέλο MEMI.

Η διαδικασία λειτουργίας του μοντέλου και εξαγωγής συμπερασμάτων αποτελεί μια διακριτή ακολουθία βημάτων, όπως φαίνεται στο ακόλουθο διάγραμμα, ξεκινώντας από την συγκέντρωση των δεδομένων εισόδου και φτάνοντας στην εκτίμηση και την αξιολόγηση της θερμικής αίσθησης ανάλογα με τον επιλεγμένο κάθε φορά δείκτη.



*Διάγραμμα 8: Διαδικασία λειτουργίας μοντέλου Rayman*

Το σχετικό λογισμικό προσδιορίζει τη ροή τόσο της ηλιακής όσο και της θερμικής ακτινοβολίας στο ανθρώπινο σώμα, μέσω μεγεθών όπως είναι η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας ( $T_{mrt}$  - mean radiant temperature) και οι προαναφερόμενοι δείκτες, οι οποίοι επηρεάζονται άμεσα από το συγκεκριμένο μέγεθος, το οποίο ορίζεται ως η ομοιόμορφη θερμοκρασία μιας επιφάνειας που ακτινοβολείται με συντελεστή εκπομπής  $e = 1$  (emission coefficient) [H9].

Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας ορίζεται για έναν άνθρωπο με καθορισμένη στάση σώματος και ενδυμασία, ως η αντίστοιχη μέση θερμοκρασία εκπομπής μέλανος σώματος στο οποίο θα είχαμε τις ίδιες απώλειες και οφέλη ακτινοβολίας κάτω από όμοιες συνθήκες περιβάλλοντος [B15].

Αρχικά, υπολογίζεται αυτή η θερμοκρασία μέσω της εξίσωσης

$$T_{mrt} = \left[ \frac{1}{\sigma} \sum_{i=1}^n \left[ \left( E_i + a_k \frac{D_i}{\varepsilon_p} \right) F_i \right] \right]^{0.25}$$

Ο περιβάλλοντας χώρος του ανθρώπινου σώματος διαιρείται σε  $n$  θερμικές επιφάνειες με αντίστοιχες θερμοκρασίες  $T_i$  ( $i = 1, \dots, n$ ), συντελεστές εκπομπής  $e_i$  και γωνιακής συμμετρίας  $F_i$ . Η ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος  $E_i$  υπολογίζεται με βάση τον τύπο  $E_i = e_i \cdot s \cdot T_{Si}^4$ , με  $s$  τη σταθερά Stefan-Boltzmann ( $5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ ) και  $T_{Si}$  τη θερμοκρασία της  $i^{\text{στης}}$  επιφάνειας. Τέλος, με  $D_i$  συμβολίζεται η διάχυση της ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος η οποία εκπέμπεται με από κάθε μια από τις  $n$  επιφάνειες,  $f_p$  είναι ο συντελεστής εκπομπής του ανθρώπινου σώματος (λαμβάνεται συνήθως η τιμή 0.97) και  $a_k$  είναι ο συντελεστής απορρόφησης της ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος (λαμβάνεται συνήθως η τιμή 0.7).

Στην περίπτωση ύπαρξης απευθείας ηλιακής ακτινοβολίας η παραπάνω εξίσωση αντικαθίσταται από την

$$T_{mrt}^* = \left[ T_{mrt}^4 + f_p a_k \frac{I^*}{(\varepsilon_p \sigma)} \right]^{0.25}$$

Όπου  $I^*$  είναι η ένταση ακτινοβολήσης του ήλιου σε μια επιφάνεια κάθετη στη διεύθυνση ακτινοβολίας και  $f_p$  είναι ο παράγοντας προβολής επιφάνειας ο οποίος εκφράζει τη θέση του σώματος ως προς την ακτινοβολία (για πρακτικούς λόγους, το εύρος του κυμαίνεται από 0.308 στις  $0^\circ$  γωνίας ως προς τον ήλιο και 0.082 για τις  $90^\circ$ ).

Για να γίνει η μέτρηση σε ένα εσωτερικό χώρο χρησιμοποιούνται συνήθως ένα πυρανόμετρο (μέτρηση ροής ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος) και ένα

πυργεόμετρο (μέτρηση φάσματος ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος). Ο συνδυασμός αυτών των δύο μετρητικών διατάξεων δημιουργούν ένα ενιαίο σύστημα μέτρησης που μπορεί να περιστρέφεται τόσο κατά τον κάθετο όσο και κατά τον οριζόντιο άξονα. Το ύψος της μέτρησης ορίζεται στα 1,1m, επίπεδο στο οποίο τοποθετείται το κέντρο βαρύτητας ενός μέσου ατόμου στην Κεντρική Ευρώπη σε όρθια στάση.

Σημαντικό μέγεθος αποτελεί και η μέση πυκνότητα ροής ακτινοβολίας του ανθρώπινου σώματος, η οποία μπορεί να υπολογιστεί από την ακόλουθη σχέση:

$$S_{str} = a_k \sum_{i=1}^6 K_i F_i + a_l \sum_{i=1}^6 L_i F_i$$

όπου  $K_i$  είναι η ροή ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος και  $L_i$  η αντίστοιχη μεγάλη μήκους κύματος με  $a_k$  και  $a_l$  τους συντελεστές απορρόφησης [H9,H10].

Προκύπτει λοιπόν από την παραπάνω μαθηματική ανάλυση πως για να είναι δυνατός ο υπολογισμός της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας απαιτείται η γνώση:

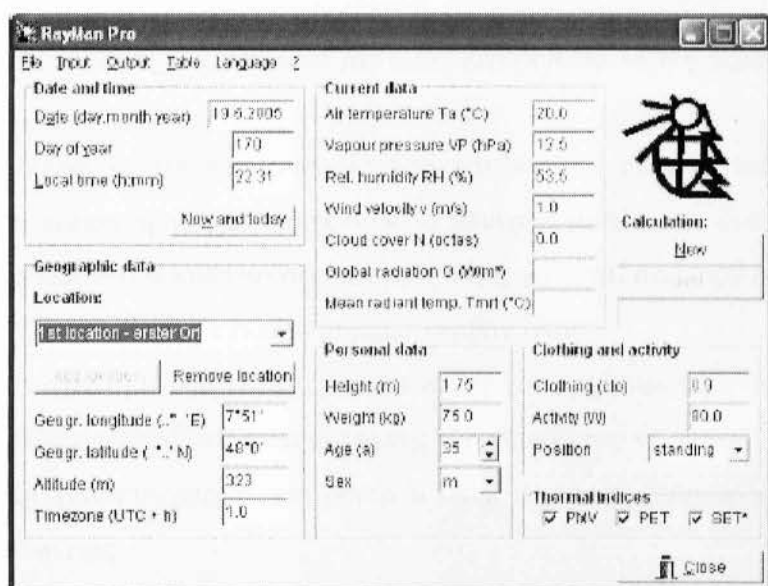
- των χαρακτηριστικών και των διαστάσεων των επιφανειών που ακτινοβολούν γύρω από το προς μελέτη άτομο
- των παραγόντων του ορατού μέρους του ουράνιου θόλου
- του προσανατολισμού του ανθρώπου σε σχέση με τις πηγές ακτινοβολίας
- της τυχόν άμεσης πρόσπτωσης ηλιακής ακτινοβολίας
- προσωπικών χαρακτηριστικών, όπως το χρώμα του δέρματος
- του πάχους της ενδυμασίας
- των τιμών λευκαύγειας (albedo) των υλικών του περιβάλλοντος [B15].

Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται το κύριο παράθυρο εισαγωγής δεδομένων του μοντέλου. Στα δεδομένα εισόδου περιλαμβάνονται:

- Χρονολογικά δεδομένα: ημερομηνία, ημέρα και ώρα.
- Γεωγραφικά δεδομένα: τοποθεσία (γεωγραφικό μήκος και πλάτος), υψόμετρο.
- Μετεωρολογικά δεδομένα: θερμοκρασία και υγρασία αέρα, πίεση υδρατμών, νεφοκάλυψη.
- Προσωπικά δεδομένα: παράμετροι του ανθρώπινου σώματος.
- Δεδομένα δραστηριότητας και ρουχισμού.

- Τοπογραφικά δεδομένα: δεδομένα τοπογραφίας μπορούν να εισαχθούν ή να δημιουργηθούν, ώστε να ληφθεί υπόψη η επίδραση του περιορισμού του ορίζοντα στα πεδία και τις ροές ακτινοβολίας.
- Μορφολογία περιβάλλοντος: κτήρια και δέντρα (αιθαλή και φυλλοβόλα) μπορούν να σχεδιαστούν και να εισαχθούν.
- Χρήση ημισφαιρικής εικόνας (fish-eye), είτε με σχεδιασμό εμποδίων στον ορίζοντα, είτε με εισαγωγή φωτογραφικών δεδομένων, για τον υπολογισμό του συντελεστή θέασης του ουρανού [B8].

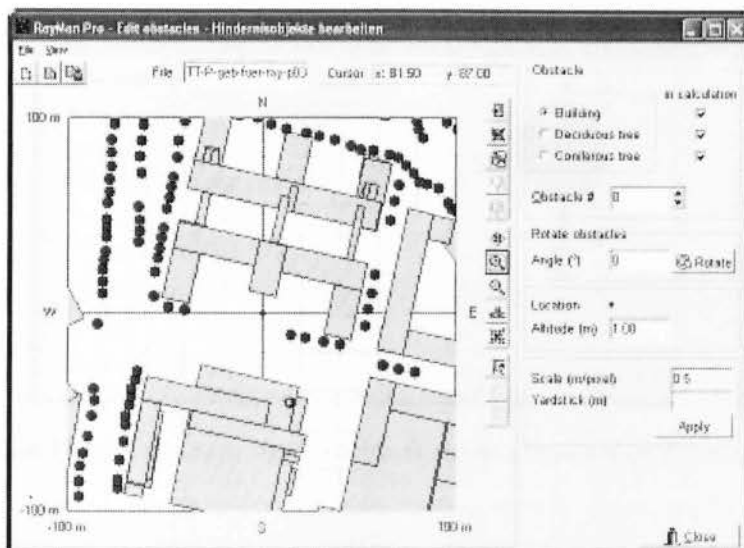
Ανάλογα με το είδος του επιθυμητού υπολογισμού εισάγονται κάθε φορά τα κατάλληλα δεδομένα εισόδου.



**Εικόνα 8:** Παράθυρο εισαγωγής δεδομένων μοντέλου Rayman [B8]

Η εφαρμογή του μοντέλου για μια αστική περιοχή φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα, με τις τιμές να αφορούν το κέντρο της περιοχής (κόκκινη τελεία). Μπορεί λοιπόν να παρατηρηθεί ότι δίνεται στο χρήστη του προγράμματος η δυνατότητα να καθοριστούν:

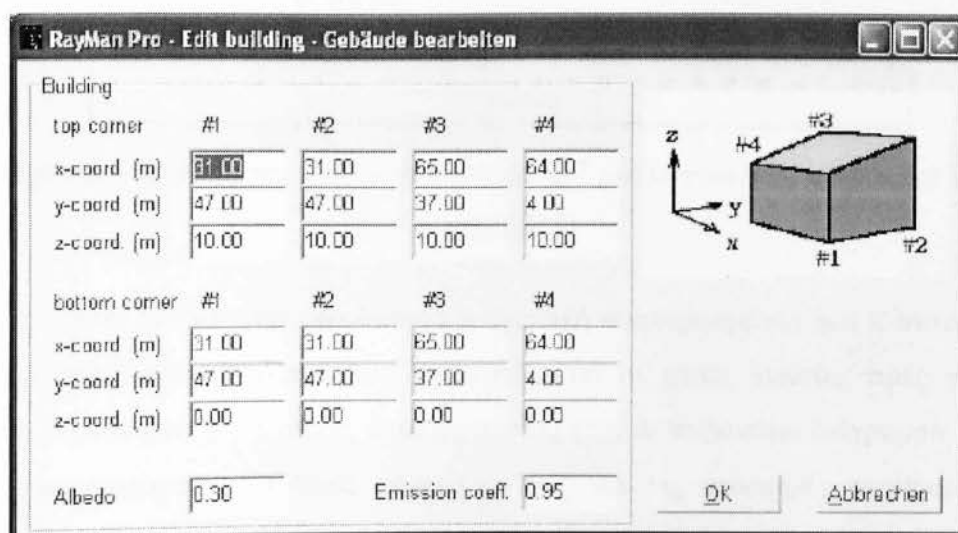
- τα εμπόδια που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τους υπολογισμούς (κτίρια και δέντρα)
- τυχόν περιστροφή της εικόνας γύρω από το κέντρο της περιοχής
- το ύψος (σε μέτρα) στο οποίο αναφέρεται ο υπολογισμός
- η κλίμακα της εικόνας (μέτρα/pixel).



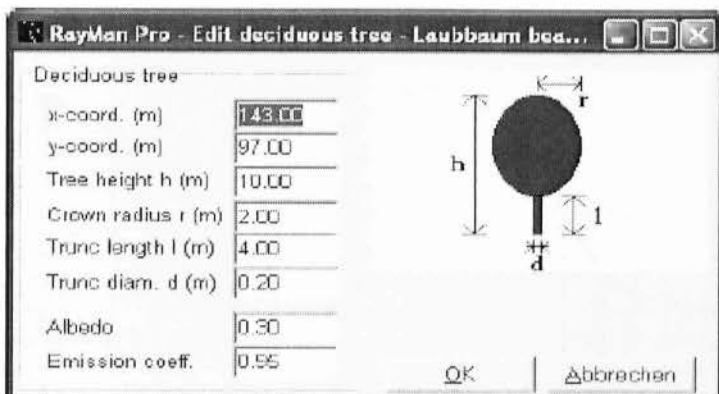
Εικόνα 9: Παράθυρο σχεδιασμού μοντέλου Rayman για αστική περιοχή [B8]

Ειδικότερα, για την περίπτωση κτιρίων και δέντρων, εξαιτίας των πολλών και διαφορετικών παραμέτρων που συνιστούν τα στοιχεία αυτών των δύο κατηγοριών, υφίστανται αντίστοιχα παράθυρα σχεδιασμού, όπως φαίνεται στις ακόλουθες εικόνες. Ανάμεσα στις παραμέτρους εισόδου συμπεριλαμβάνονται:

- συντεταγμένες θέσεις (x, y, z, σε μέτρα από την αρχή των αξόνων)
- συντελεστές ανάκλασης και εκπομπής του υλικού του κτιρίου,
- φυσικά χαρακτηριστικά του δέντρου όπως ύψος και διάμετρος κορμού και φυλλώματος.

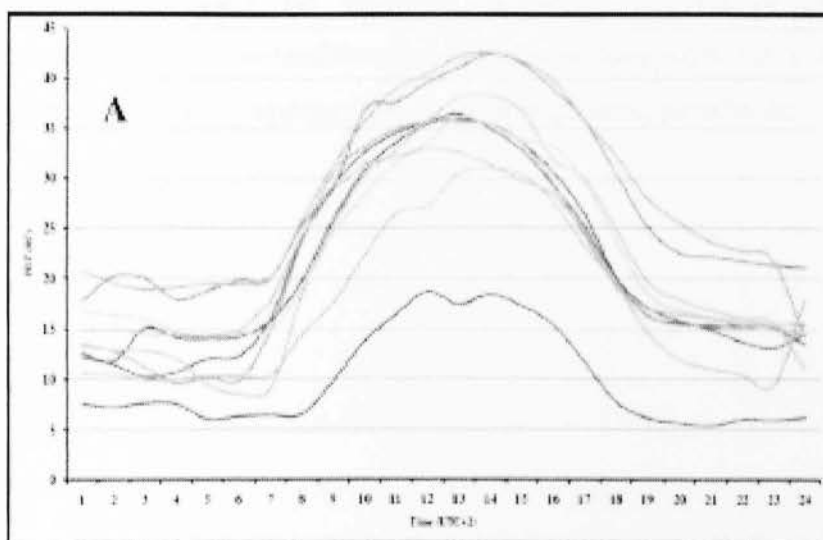


Εικόνα 10: Παράμετροι σχεδιασμού κτιρίου στο μοντέλο Rayman [B8]



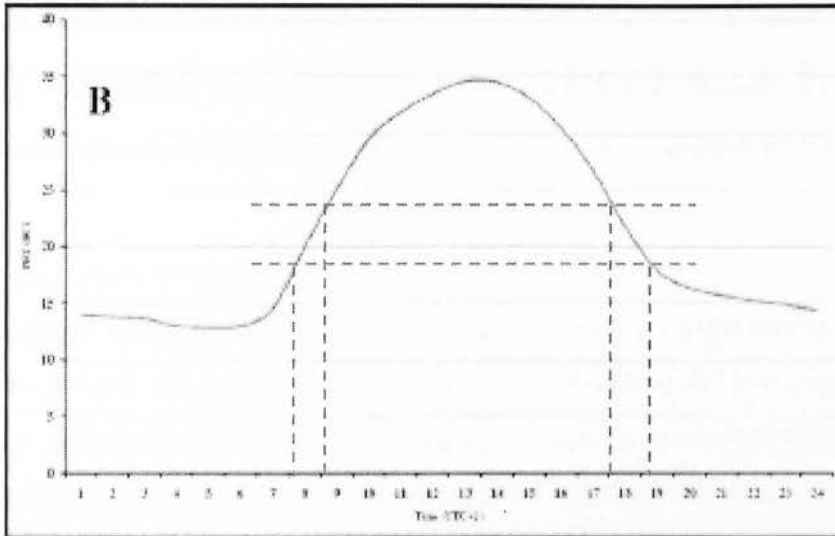
*Εικόνα 11: Παράμετροι σχεδιασμού δέντρου στο μοντέλο Rayman [B8]*

Εφαρμόζοντας όλα τα παραπάνω, θα προκύψει τελικά ένα διάγραμμα της ακόλουθης μορφής, στο οποίο φαίνεται η ημερήσια 24ωρή διακύμανση του δείκτη για διάφορες ημέρες μιας εποχής.



*Διάγραμμα 9: Ημερήσια διακύμανση δείκτη PET για διαφορετικές ημέρες της ίδιας εποχής [B15]*

Στη συνέχεια, για να γίνει ευκολότερη η εξαγωγή συμπερασμάτων και η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων, απεικονίζονται οι μέσες ωριαίες τιμές για τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο, δημιουργώντας έτσι το παρακάτω διάγραμμα. Από τις γραμμοσκιασμένες ευθείες προκύπτει πως για τις δεδομένες συνθήκες της εξεταζόμενης περίπτωσης του παραδείγματος, θερμική άνεση επιτυγχάνεται για τις ώρες 07:30-08:30 και 17:30-18:30.



*Διάγραμμα 10: Μέση τιμή ημερήσιας διακύμανσης δείκτη PET για συγκεκριμένη χρονική περίοδο [B15]*

Επομένως για τη βελτίωση της θερμικής αίσθησης, γίνονται οι απαραίτητες παρεμβάσεις κάθε φορά, επαναλαμβάνεται η διαδικασία εφαρμογής του μοντέλου και μέσω του νέου διαγράμματος προσεγγίζονται οι επιφερόμενες μεταβολές.



*Πολυπαραμετρικότητα του ζητήματος*

Το ζήτημα της θερμικής άνεσης και η ανάγκη μελέτης του συνίσταται από ένα πλήθος παραμέτρων και φαινομένων, όπως το πεπερασμένο των ενεργειακών αποθεμάτων, η συντελούμενη κλιματική αλλαγή με τα φαινόμενα του θερμοκηπίου και της θερμικής αστικής νησίδας να εκφράζουν την αρνητική της πλευρά, η προστασία του περιβάλλοντος από τη ρύπανση και η καθημερινή ανθρώπινη δραστηριότητα στα πλαίσια μιας ποιοτικότερης ζωής σχηματίζουν ένα δυναμικό μίγμα που αν μη τι άλλο επιβάλλει την ενασχόληση με το συγκεκριμένο ζήτημα, με τελικό ζητούμενο την εξισορρόπηση ανάμεσα στη θερμική άνεση και την εξοικονόμηση ενέργειας.

*Συνυφασμένη η ανθρώπινη ζωή και δράση με τεχνητά περιβάλλοντα*

Ο σύγχρονος τρόπος ζωής συνδέει καθολικά τα τεχνητά περιβάλλοντα με την ανθρώπινη καθημερινότητα. Επομένως, η εξασφάλιση της άνεσης σε ένα τέτοιο περιβάλλον είναι εκ των ουκ άνευ, καθορίζοντας εν πολλοίς την απόδοση κάθε σχετικής δραστηριότητας.

*Το εξεταζόμενο σύνολο σε μια μελέτη θερμικής άνεσης*

Το σύνολο το οποίο πρέπει να εξεταστεί σε μια μελέτη θερμικής άνεσης αποτελείται από τις εξωτερικές κλιματικές συνθήκες και το εσώκλιμα, το οποίο με τη σειρά του εξαρτάται όχι μόνο από το εξωτερικό κλιματικό σύνολο (θερμοκρασία, υγρασία, ηλιακή ακτινοβολία, άνεμος) αλλά και από τις παραμέτρους δόμησης και κατασκευής του κτιρίου.

### *Υποκειμενικότητα και δείκτες θερμικής άνεσης*

Η κατάσταση της θερμικής άνεσης εμπεριέχει το στοιχείο της υποκειμενικότητας, αφού κάθε άνθρωπος αντιδρά διαφορετικά στα θερμικά ερεθίσματα του περιβάλλοντος. Για την αντιμετώπιση αυτού του χαρακτηριστικού που μπορεί να αποβεί χαστικό εφόσον δεν είναι δυνατό να προβλεφθεί κάθε περίπτωση χωριστά, μέσω ποσοτικοποίησης σχετικών μετρήσεων και αναγωγής τους στον ευρύτερο πληθυσμό, σχηματίστηκαν συγκεκριμένοι δείκτες και κλίμακες αυτών, ώστε να είναι ευκολότερη η κατηγοριοποίηση.

### *Παραμετρική και παράλληλη θεώρηση των δεικτών*

Η θεώρηση ενός δείκτη έχει ευρύτερο νόημα σχετικά με την κατανόηση μιας κατάστασης όσον αφορά στην επικρατούσα θερμική άνεση για τους κατοίκους ή τους εργαζόμενους ενός κτιρίου, όταν γίνεται με ταυτόχρονη θεώρηση άλλων δεικτών και μεταβλητών. Αυτή η παράλληλη θεώρηση γίνεται εύκολα αντιληπτή από την παρατήρηση των εξισώσεων των δεικτών, οι οποίες περιλαμβάνουν ένα πλήθος παραμέτρων. Αυτό ακριβώς το πλήθος των παραμέτρων επιβάλλει την παραμετρική θεώρηση των δεικτών, με τη μεταβολή του ενός δείκτη σε σχέση με έναν άλλο να γίνεται παραμετρικά, κρατώντας δηλαδή κάποιες μεταβλητές σταθερές και μεταβάλλοντας ελεγχόμενα κάποιες άλλες.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

*Βιβλία – Άρθρα - Σημειώσεις*

[B1] Freund, P., «Abatement and Mitigation of Carbon Dioxide from Power Generation», IEA Green house Gas R&D Programme, presented at the Power-gen 98 conference, Milan, June 1998

[B2] Cole, J. «Interannual-decadal variability in the tropical ocean atmosphere and the extra-tropical response», presentation at the International Conference on Paleoceanography, Lisbon, Aug 24-28, 1998

[B3] Simons, P. «Weird Weather», Little, Brown and Company, London, UK, 1996

[B4] IEA Greenhouse Gas R&D programme «Greenhouse Gases and Climate Change», 2001

[B5] Σταυρινού Μ., Ενεργειακή Μελέτη Ανοικτών Χώρων, Δράση 2.2.2, Πλατεία 25<sup>ης</sup> Μαρτίου, 2010

[B6] Αργυράκη Μ., Διπλωματική εργασία με τίτλο «Βιοκλιματικός Σχεδιασμός, Ηλιακά Παθητικά Συστήματα και άλλες τεχνικές εξοικονόμησης στο ενέργειας στον κτηριακό τομέα», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Αθήνα, Ιούλιος 2008

[B7] Τσιπήρας Κ. και Θ. «Οικολογική Αρχιτεκτονική, Βιοκλιματική αρχιτεκτονική, Οικολογική δόμηση, Γεωβιολογία, Εσωτέρα αρχιτεκτονική, Εκδόσεις Κέδρος, 2005

[B8] Οδηγός Μελετών Πρόγραμμα Βιοκλιματικών Αναβαθμίσεων Δημόσιων Ανοικτών Χώρων, Ιούλιος 2011

[B9] Santamouris M.: Environmental Design of Urban Buildings: An Integrated Approach.

[B10] Kang, J.: From understanding to designing soundscapes, *Front. Archit. Civ. Eng. China* 2010, 4(4): 403–417

[B11] Bottema, M.: A Method for Optimisation of Wind Discomfort Criteria, *Building and Environment*, 2010, 35: 1–18.

[B12] R.J. de Dear, H.K. and P.O. Fanger ASHARE, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning, Engineers, Vol. Part 2. Impact of air humidity on thermal comfort during step-changes, 1989

[B13] Auliciems A, Towards a psychophysiological model of thermal perception. *Int J. Biometeorology* 25: 109-122, 1981

[B14] Ζαφειρόπουλος Χ., Πτυχιακή εργασία με τίτλο «Εφαρμογές της Ηλιακής Ενέργειας για την επίτευξη συνθηκών θερμικής άνεσης και εξοικονόμησης ενέργειας σε υφιστάμενα κτίρια», ΑΤΕΙ Πάτρας, Τμήμα Μηχανολογίας, 2001

[B15] Χαραλαμπίδης Ν.Ι Διδακτορική Διατριβή με τίτλο «Ανάπτυξη μεθοδολογίας και εφαρμογές για την αξιολόγηση των βιοκλιματικών συνθηκών υπαίθριων χώρων με διαφορετική διαμόρφωση» Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Εργαστήριο Γενικής και Γεωργικής Μετεωρολογίας, 2009

[B16] Allaby M. E., *Encyclopedia of weather and climate*, Facts on File, 2007

[B17] Hodder S., Parsons K., The effects of solar radiation on thermal comfort. *International Journal of Biometeorology* 51 (3); 233-250, 2007

[B18] Parsons K., *Human Thermal Environments*, London Taylor & Francis, 1993

[B19] Τσιμπάνος Π., Διπλωματική εργασία με τίτλο «Επίδραση ηλιακής ακτινοβολίας στην εσωτερική θερμική άνεση κτιρίων», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Αθήνα, 2008

[B20] Kirby S. Chapman, Jeet Sengupta, Window Performance For Human Thermal Comfort, Prepared for ASHRAE, National Gas Machinery Laboratory, Kansas State University

[B21] Αξαρχλή Κ. «Γενικές αρχές του Βιοκλιματικού Σχεδιασμού», Σεμινάριο του Τμήματος Κεντρικής Μακεδονίας του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας, με γενικό τίτλο «Ενεργειακός σχεδιασμός νέων και υφιστάμενων κτιρίων», Θεσσαλονίκη, Μάρτιος 2009

[B22] ΚΑΠΕ, «Βιοκλιματικός Σχεδιασμός στην Ελλάδα, Ενεργειακή απόδοση και κατευθύνσεις εφαρμογής», Πρόγραμμα ALTENER, Πικέρμι, Σεπτέμβριος 2002

[B23] Πετσάβα Ε., Πτυχιακή Εργασία με τίτλο «Εξοικονόμηση Ενέργειας μέσω της βιοκλιματικής δόμησης στην Αττική», Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Οικιακής Οικονομίας και Οικολογίας, Αθήνα, 2006

[B24] Humphreys M, Nicol, Effects of measurement and formulation error on thermal comfort indices in the ASHRAE database of field studies. ASHRAE Trans 106: 493-502, 2000

[B25] Physiological principles and thermal comfort. 1993 Fundamentals Handbook S.I.

[B26] Fanger, P.O. 1967. Calculation of thermal comfort: Introduction of basic comfort equation. ASHRAE Transactions 73(2):III.4.1.

### *Ηλεκτρονικές Διευθύνσεις*

[H1] Παρουσίαση με τίτλο «Θερμικό Εργασιακό Περιβάλλον – Μικροκλίμα», διαθέσιμη στην ηλεκτρονική διεύθυνση  
[http://www.mlsi.gov.cy/mlsi/dli/dli.nsf/All/248B0AD129F4F64CC2257168003765BC/\\$file/thermiko\\_periballon.pdf](http://www.mlsi.gov.cy/mlsi/dli/dli.nsf/All/248B0AD129F4F64CC2257168003765BC/$file/thermiko_periballon.pdf)

[H2] Τεχνικό Έντυπο Bioclima, διαθέσιμο στην ηλεκτρονική διεύθυνση

[http://www.bioclima.com.gr/media/pdf/bioclima\\_technical.pdf](http://www.bioclima.com.gr/media/pdf/bioclima_technical.pdf)

[H3] Bioclimatic Architecture, The Demonstration Component of the Joule Thermie Programme, European Commission, Energy Research Group University College Dublin, Ireland, Published by: LIOR E.E.I.G., 1997, available at [http://erg.ucd.ie/mb\\_bioclimatic\\_architecture.pdf](http://erg.ucd.ie/mb_bioclimatic_architecture.pdf)

[H4] Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία  
[http://www.hnms.gr/hnms/greek/meteorology/full\\_story\\_html?dr\\_url=%2Fhnms%2Fdocrep%2Fdocs%2Fmisc%2FClimateOfGreece](http://www.hnms.gr/hnms/greek/meteorology/full_story_html?dr_url=%2Fhnms%2Fdocrep%2Fdocs%2Fmisc%2FClimateOfGreece)

[H5] Σφακιανάκη Κ., Ομάδα Μελετών Κτηριακού Περιβάλλοντος, Παρουσίαση με τίτλο «Θερμική άνεση και εξοικονόμηση ενέργειας, Οι Νεότερες εξελίξεις», διαθέσιμη στην ηλεκτρονική διεύθυνση  
[http://commoncense.greenlux.org/docs/greece\\_3.pdf](http://commoncense.greenlux.org/docs/greece_3.pdf)

[H6] Παπαδοπούλου Σ., Άρθρο με τίτλο Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΑ ΚΤΙΡΙΑ, , διαθέσιμο στην ηλεκτρονική διεύθυνση  
[http://5kenterprises.gr/page.php?page\\_val=thermal-comfort-and-energy-saving-in-buildings](http://5kenterprises.gr/page.php?page_val=thermal-comfort-and-energy-saving-in-buildings)

[H7] Κοσμόπουλος Π. Πρόταση για τρισδιάστατο μοντέλο θερμικής άνεσης, διαθέσιμη στην ηλεκτρονική διεύθυνση  
[http://library.tee.gr/digital/m2045/m2045\\_kosmopoulos1.pdf](http://library.tee.gr/digital/m2045/m2045_kosmopoulos1.pdf)

[H8] SELECTED EXAMPLES OF BIOCLIMATIC ANALYSIS APPLYING THE PHYSIOLOGICALLY EQUIVALENT TEMPERATURE IN HUNGARY,  
<http://www.sci.u-szeged.hu/eghajlattan/akta07/037-046.pdf>

[H9] Μετεωρολογικό Ινστιτούτο, Πανεπιστήμιο Freiburg <http://www.mif.uni-freiburg.de/rayman/>

[H10] <http://www.urbanclimate.net/rayman/index.htm>