



# ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών

Τομέας Θερμότητας

Διπλωματική Εργασία

**Θερμική άνεση σε κτίρια γραφείων**

**ΚΑΜΠΙΤΣΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ**

Επιβλέπων:  
ΤΖΙΒΑΝΙΔΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ  
Λέκτορας ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ 2010

## Περίληψη

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία έχει στόχο την ανάλυση των συνθηκών θερμικής άνεσης, και τη συσχέτιση των συνθηκών αυτών με τις συνθήκες που επικρατούν σε κτίρια γραφείων. Μετά από την περιγραφή των γενικών συνθηκών άνεσης, γίνεται ανάλυση όλων των συνιστωσών που επηρεάζουν τη θερμική άνεση, και του πώς γίνεται αυτή αντιληπτή από τον άνθρωπο. Παρουσιάζονται οι δείκτες της θερμικής άνεσης και τα μοντέλα και τα πρότυπα που την αφορούν. Επίσης παρουσιάζονται σύγχρονα κτίρια γραφείων στην Βόρειο Αμερική, στην Βόρεια Ευρώπη και στην Ελλάδα που πληρούν τις προδιαγραφές της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής και της επίτευξης θερμικής άνεσης και παρουσιάζονται τρία παραδείγματα υπολογισμού με την χρήση προγραμμάτων υπολογιστή. Αναλυτικότερα ανά κεφάλαιο:

Στο κεφάλαιο 1 γίνεται μία σύντομη ιστορική αναδρομή των θερμικών περιβαλλόντων και γίνεται μια συνοπτική παρουσίαση των κλιματικών στοιχείων της Ευρώπης γενικότερα και της Ελλάδας πιο συγκεκριμένα.

Στο κεφάλαιο 2 δίνονται μερικά βασικά στοιχεία του ανθρωπίνου σώματος και των διεργασιών οι οποίες επιδρούν στη συναλλαγή θερμότητας μεταξύ σώματος και περιβάλλοντος. Αναλύεται το θερμικό ισοζύγιο του ανθρώπου και η επιρροή που ασκούν στην θερμική άνεση οι δύο πιο σημαντικοί υποκειμενικοί παράγοντες ,ο μεταβολικός ρυθμός σε συνδυασμό με την δραστηριότητα του ανθρώπου καθώς και η ένδυση.

Στο κεφάλαιο 3 γίνεται μια πλήρη ανασκόπηση της βιβλιογραφίας που αφορά την θερμική άνεση και περιλαμβάνει τους τρόπους πραγματοποίησης έρευνας στην θερμική άνεση, τους παράγοντες που την επηρεάζουν καθώς και του παράγοντες που προκαλούν θερμική δυσφορία, παρουσιάζονται οι δείκτες μέτρησης της θερμικής άνεσης και τέλος αναλύονται τα μοντέλα και τα πρότυπα που την αφορούν.

Στο κεφάλαιο 4 δίνεται η εξέλιξη των κτιρίων γραφείων έως σήμερα και παρουσιάζονται σύγχρονα κτίρια γραφείων στην Βόρεια Αμερική, Ευρώπη και Ελλάδα.

Στο κεφάλαιο 5 χρησιμοποιείται το πρόγραμμα matlab για των υπολογισμό δεικτών θερμικής άνεσης, για τον ίδιο σκοπό χρησιμοποιείται μια εφαρμογή σε visual basic και πραγματοποιείται μία μελέτη περίπτωσης με την χρήση του προγράμματος βιοκλιματικά και αναλύονται τα αποτελέσματα.

## Περιεχόμενα

<b>Σχήματα και Εικόνες</b>	6
<b>Διαγράμματα</b>	7
<b>Πίνακες</b>	9

### **Κεφάλαιο 1ο : Εισαγωγή**

1.0 Γενικά	10
1.1 Γεωγραφικό(εξωτερικό) και εσωτερικό περιβάλλον	10
1.1.1 Οι θεωρίες στην αρχαία Ελλάδα και στον Μεσαίωνα	10
1.2 Το κλίμα της Ευρώπης και της Ελλάδος	13
1.3 Εσωτερικό κλίμα (εσώκλιμα)	17

### **Κεφάλαιο 2ο : Θερμική άνεση και άνθρωπος.**

2.1. Εισαγωγή	19
2.2 Ορισμός της θερμικής άνεσης.	19
2.3. Το ανθρώπινο σώμα	20
2.3.1 Ο μεταβολικός ρυθμός και η δραστηριότητα του ανθρώπου.	25
2.3.2 Η σημασία της ένδυσης	28
2.3.4 Το θερμικό ισοζύγιο	32

### **Κεφάλαιο 3ο : Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας στην Επίτευξη Θερμικής άνεσης**

3.1 Οι δύο τρόποι πραγματοποίησης έρευνας της θερμικής άνεσης	34
3.1.1 Εργαστηριακές μελέτες.	34
3.1.2 Ερευνητικές εργασίες	36
3.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την θερμική άνεση	38
3.2.1 Περιβαλλοντικοί παράγοντες	38
3.2.1.1 Η θερμοκρασία του αέρα	38
3.2.1.2 Η ταχύτητα του αέρα	40
3.1.1.3 Υγρασία του αέρα	43
3.1.1.4 Μέση ακτινοβολούμενη θερμοκρασία	46
3.3 Παράγοντες που προκαλούν έλλειψη θερμικής άνεσης.	49
3.3.1 Ρεύμα αέρα.	49

3.3.2	Ασυμμετρία στην θερμική ακτινοβολία	51
3.3.3	Κάθετη διαφορά θερμοκρασίας αέρα	52
3.3.4	Θερμοκρασία πατώματος	53
3.3.5	Προτεινόμενες συνθήκες άνεσης	54
3.4	Δείκτες θερμικής άνεσης	58
3.4.1	PMV Predicted Mean Vote ( Προβλεπόμενη Μέση Ψήφος)	59
3.4.2	PPD Predicted Percentage of Dissatisfied	62
3.4.3	Δείκτης θερμικής επιβάρυνσης ITS	63
3.4.4	ET αποτελεσματική θερμοκρασία(Teff)	64
3.4.5	Λειτουργική θερμοκρασία To	64
3.4.6	Ισοδύναμη θερμοκρασία	65
3.4.7	Προκύπτουσα θερμοκρασία (RT)	66
3.4.8	Δείκτης θερμικής επιβάρυνσης ITS	67
3.4.9	Διορθωμένη αισθητή θερμοκρασία CET	67
3.4.10	Τυπική αισθητή θερμοκρασία SET	67
3.4.11	Tsens	68
3.4.12	SET* (Νέα αισθητή θερμότητα)	69
3.4.13	DISC	71
3.4.14	Βιοκλιματικά διαγράμματα	72
3.4.15	Οι πίνακες Mahoney	75
3.4.16	Διάφοροι άλλοι δείκτες.	76
3.4.17	Αξιολόγηση δεικτών	77
3.5	Προσαρμόσιμη θερμική άνεση	78
3.6	Η εγκυρότητα των μοντέλων	81
3.7	Πρότυπα θερμικής άνεσης	85
3.7.1	Ευρωπαϊκό πρότυπο ISO 7730	85
3.7.2	Το πρότυπο ASHRAE 55	86
3.7.1.1	Περιορισμοί και όροι	88
3.7.2	CIBSE Guide A (κανονισμός Ηνωμένου Βασιλείου)	89
3.7.3	Πρότυπο θερμικής άνεσης για γραφεία	90
3.8.	Θερμική άνεση και ικανοποίηση	91
3.8.1	Ο έλεγχος της θερμικής άνεσης	91
3.9	Θερμικό περιβάλλον και παραγωγικότητα	92

## **Κεφάλαιο 4ο :Κτίρια γραφείων**

4.1.1	Αρχαία Ελλάδα και Ρώμη	95
-------	------------------------	----

4.1.2 Βιομηχανική εποχή έως σήμερα. Ο δυτικός τύπος κτιρίων γραφείων	98
4.2 Κτίρια γραφείων της Βόρειας Αμερικής	99
4.3 Κτίρια γραφείων της Βόρειας Ευρώπης	103
4.4 Καινοτομία στον περιβαλλοντικό σχεδιασμό	105
4.5 Βιοκλιματικός σχεδιασμός κτιρίων	107
4.6 Βιοκλιματικά κτίρια γραφείων στην Ελλάδα	113
4.7 Διάταξη εργασίας στα κτίρια γραφείων	122

## **Κεφάλαιο 5ο Υπολογιστικό μέρος**

5.1 Εισαγωγή	124
5.2 Επισκόπηση χρηστών με ερωτηματολόγια.	124
5.3 Υπολογισμός δεικτών με την χρήση υπολογιστή	126
5.3.1 Υπολογισμός PMV και PPD με το λογισμικό Matlab.	126
5.3.2 Υπολογισμός PMV και PPD με την χρήση excel και visual basic	130
5.4. Το πρόγραμμα Βιοκλιματικά	131
5.4.1 Μελέτη θερμικής άνεσης με την χρήση του προγράμματος Βιοκλιματικά.	131

<b>Αναφορές</b>	146
-----------------	-----

## **Παραρτήματα**

<b>A.</b> Ερωτηματολόγια	155
<b>B.</b> Κώδικας υπολογισμού σε matlab	157
B1. Υπολογισμός PMV-PPD και χάραξη καμπύλης PPD-RH	157
B2 Υπολογισμός PMV-PPD και χάραξη καμπύλης PPD- ta (Θερμοκρασία αέρα)	159
B3 Υπολογισμός PMV-PPD και χάραξη καμπύλης PPD- tr (Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας) με μεταβλητή ta	161
B4 Υπολογισμός PMV-PPD και χάραξη καμπύλης PPD- var (Ταχύτητα αέρα)	163
<b>Γ.</b> Κώδικας υπολογισμού κουμπιού PMV σε visual basic	165

## Σχήματα και Εικόνες.

Εικόνα 1.1 Οι κλιματικές ζώνες του κόσμου	13
Εικόνα 1.2 Οι κλιματικές ζώνες της Ευρώπης	14
Εικόνα 1.3 Οι κλιματικές ζώνες της Ελλάδος	15
Σχήμα 2.1 Απώλειες θερμότητας από το ανθρώπινο σώμα	22
Εικόνα 2.1 Τομή ανθρώπινου δέρματος	23
Εικόνα 2.2 Μοντέλο θερμικού ισοζυγίου για εσωτερικούς χώρους	33
Σχήμα 3.1 Η έννοια της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας	47
Εικόνα 4.1 Το βουλευτήριο στην αρχαία αγορά των Αθηνών σε τρισδιάστατη αναπαράσταση	96
Εικόνα 4.2 Η στοά του Αττάλου στην αρχαία αγορά των Αθηνών.	97
Εικόνα 4.3 Εξωτερική άποψη του κτιρίου γραφείων Larkin.	100
Εικόνα 4.4 Εσωτερική άποψη του κτιρίου γραφείων Larkin	101
Εικόνα 4.5 Κατόψεις ορόφων του κτιρίου γραφείων Larkin	101
Εικόνα 4.6 Εξωτερική άποψη του ουρανοξύστη γραφείων Empire State Building.	102
Εικόνα 4.7 Εξωτερική άποψη του ουρανοξύστη γραφείων Seagram.	103
Εικόνα 4.8 Εξωτερική άποψη του κτιρίου γραφείων Francisco Canvas στην Murcia Ισπανίας	104
Εικόνα 4.9: Εσωτερική άποψη του κτιρίου γραφείων Francisco Canvas στην Murcia Ισπανίας	105
Εικόνα 4.10: Εξωτερική άποψη του ουρανοξύστη γραφείων της Commerzbank	107
Εικόνα 4.11 Εξωτερική όψη κτιρίου R.C Tech.	114
Εικόνα 4.12 Κατόψεις ορόφων	115
Εικόνα 4.13 Εσωτερική άποψη	116
Εικόνα 4.14 Εσωτερικές απόψεις	116
Εικόνα 4.15 Εξωτερική δυτική όψη	117
Εικόνα 4.16 Εξωτερική όψη κτιρίου της Bobotis Architects	118
Εικόνα 4.17 Κατόψεις ορόφων	119
Εικόνα 4.18 Αίθουσα συνεδριάσεων	120
Εικόνα 4.19 Όψη και τομή	120
Εικόνα 4.20 Εσωτερικοί χώροι.	121
Εικόνα 4.21 Χώροι εργασίας.	121
Εικόνες 5.1-Υπολογισμός σε PMV visual basic	130
Εικόνες 5.2- 5.21. Εικόνες προγράμματος Βιοκλιματικά	131

## Διαγράμματα

Διάγραμμα 2.1 Αποβολή θερμότητας από άνθρωπο που αναπαύεται	21
Διάγραμμα 3.1 Διάγραμμα συσχετισμού θερμοκρασίας αέρα χώρου με τη θερμοκρασία των εσωτερικών τοιχωμάτων	40
Διάγραμμα 3.2 Απαιτούμενη ταχύτητα αέρα για να αντισταθμιστεί η άνοδος της θερμοκρασίας	42
Διάγραμμα 3.3 Περιοχή άνεσης ανάλογα με την ταχύτητα του αέρα στο χώρο	43
Διάγραμμα 3.4 Σχέση που συνδέει τη θερμοκρασία του αέρα, τη σχετική του υγρασία και το ποσοστό των δυσαρεστημένων χρηστών που συνδέεται με την αίσθηση του αέρα στην αναπνευστική οδό	44
Διάγραμμα 3.5 Σύγκριση των αποτελεσμάτων εργαστηριακών ερευνών σε μεγάλο αριθμό υποκειμένων	45
Διάγραμμα 3.6 Περιοχή άνεσης ανάλογα με την αναπτυσσόμενη σχετική υγρασία του χώρου	46
Διάγραμμα 3.7 Προκαλούμενη ενόχληση από ρεύματα αέρα	50
Διάγραμμα 3.8 Τοπική θερμική δυσφορία προκαλούμενη από την ασυμμετρία της ακτινοβολούμενης θερμοκρασίας	51
Διάγραμμα 3.9 Περιοχή άνεσης ανάλογα με την θερμοκρασία οροφής	52
Διάγραμμα 3.10 Περιοχή άνεσης ανάλογα με την μέση θερμοκρασία περιμετρικής επιφάνειας	52
Διάγραμμα 3.11 Τοπική δυσφορία προκαλούμενη από την κάθετη διαφορά θερμοκρασίας. Ισχύει όταν η θερμοκρασία αυξάνεται προς τα πάνω	53
Διάγραμμα 3.12 Περιοχή άνεσης ανάλογα με την μέση θερμοκρασία περιμετρικής επιφάνειας	54
Διάγραμμα 3.13 Η βέλτιστη θερμοκρασία εφαρμογής ως συνάρτηση της δραστηριότητας και της ένδυσης. Οι σκιασμένες ή ασκίαστες ζώνες δείχνουν τις περιοχές άνεσης ( $\pm \Delta T$ ) γύρω από τη βέλτιστη θερμοκρασία, στις οποίες το 80% και παραπάνω των ενοίκων αναμένεται να βρει τις θερμικές συνθήκες παραδεκτές (η σχετική υγρασία είναι 50%)	55
Διάγραμμα 3.14 Διάγραμμα άνεσης (θερμοκρασία του αέρα προς μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας με τη σχετική ταχύτητα του αέρα ως παραμέτρου) για άτομα που έχουν ένδυση 1,0 clo σε δραστηριότητα 1,2 met (η σχετική υγρασία είναι 50%)	56
Διάγραμμα 3.15 Αποδεκτά πεδία τιμών λειτουργικής θερμοκρασίας, υγρασίας, θερμοκρασίας δρόσου και λόγου υγρασίας για χειμώνα και καλοκαίρι	56
Διάγραμμα 3.16 Μεταβολή τιμών PMV σαν συνάρτηση της σχετικής υγρασίας όταν η ισοδύναμη θερμοκρασία είναι 25 ( $M=1\text{met}, I_{cl}=0,67\text{clo}$ )	62

Διάγραμμα 3.17 Προβλεπόμενο ποσοστό δυσαρεστημένων σε σχέση με την προβλεπόμενη μέση ψήφο	63
Διάγραμμα 3.18: Ψυχομετρικός χάρτης με την νέα εμπειρική θερμοκρασία και τη ζώνη θερμικής άνεσης	68
Διάγραμμα 3.19 Μεταβολή τιμών SET* σαν συνάρτηση της σχετικής υγρασίας όταν η ισοδύναμη θερμοκρασία είναι 25 (M=1met, Icl=0,67clo)	71
Διάγραμμα 3.20 Βιοκλιματικό διάγραμμα Olgyay	73
Διάγραμμα 3.21 Βιοκλιματικός κτιριακός χάρτης Givoni	74
Διάγραμμα 3.22 Επίδραση φυσικού αερισμού στον βιοκλιματικό κτιριακό χάρτη	75
Διάγραμμα 3.23 Αποδεκτά πεδία τιμών για την Λειτουργική θερμοκρασία σε φυσικά αεριζόμενους χώρους	80
Διάγραμμα 3.24 Κριτήρια σχεδιασμού για εσωτερική θερμική άνεση σε κτίρια χωρίς μηχανικό τρόπο ψύξης (Olesen et al. 2006)	81
Διάγραμμα 3.25 Σύγκριση των μοντέλων του Gagge και Fanger	82
Διάγραμμα 3.26 Ευαισθησία των μοντέλων Fanger και Tramond σε αυξανόμενη ταχύτητα αέρα	83
Διάγραμμα 3.27 Θερμική αίσθηση σε μη κλιματιζόμενα κτίρια	85
Διάγραμμα 3.28 Μοντέλο βασισμένο στην επίδραση της θερμοκρασίας δωματίου στην μείωση της παραγωγικότητας	93
Διάγραμμα 3.29 Σύγκριση απόδοσης και θερμοκρασίας	94
Διάγραμμα 5.1 Αποτελέσματα υπολογισμών για την περίπτωση 1. Σχεδίαση PPD σε σχέση την σχετική υγρασία.	127
Διάγραμμα 5.2 Αποτελέσματα υπολογισμών για την περίπτωση 2. Σχεδίαση PPD σε σχέση την θερμοκρασία του αέρα.	128
Διάγραμμα 5.3 Αποτελέσματα υπολογισμών για την περίπτωση 3. Σχεδίαση PPD σε σχέση την μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας.	128
Διάγραμμα 5.4 Αποτελέσματα υπολογισμών για την περίπτωση 4. Σχεδίαση PPD σε σχέση την ταχύτητα του αέρα.	129



## Πίνακες

Πίνακας 1.1 Κλίμα και εποχές στην Ευρώπη	13
Πίνακας 1.2 Χαρακτηριστικά Ελληνικών Πόλεων	16
Πίνακας 2.1 Ρυθμοί μεταβολισμού (ISO84)	26
Πίνακας 2.2 Μεταβολικός ρυθμός για ανθρώπινες δραστηριότητες	27
Πίνακας 2.3 Θερμική αντίσταση ένδυσης	29
Πίνακας 2.4 Τιμές τυπικών συνόλων ενδυμασίας	30
Πίνακας 3.1 Σύνοψη παλινδρομικών εξισώσεων από μελέτες σε ζεστά και υγρά κλίματα. MSV(mean sensation vote) μέση τιμή αίσθησης, $T_o$ θερμοκρασία λειτουργίας, $T_n$ βέλτιστη (ουδέτερη) θερμοκρασία.	37
Πίνακας 3.2 Παράμετροι που επηρεάζουν τη θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό ενός κτιρίου	39
Πίνακας 3.3 Βέλτιστες θερμοκρασίες επιδερμίδας και το ποσό θερμότητας για κάθε μέρος του σώματος	41
Πίνακας 3.4 Ενδεικνύμενες ταχύτητες αέρα σε κλειστούς χώρους	42
Πίνακας 3.5 Συνιστώμενες συνθήκες σχεδιασμού για κλιματιζόμενους χώρους	46
Πίνακας 3.6 Ιδανικές συνθήκες θερμοκρασιακής άνεσης για χειμώνα και θέρος.	57
Πίνακας 3.8 Επταβάθμια κλίμακα θερμικής αίσθησης (ISO 7730 2005)	59
Πίνακας 3.9 Προσεγγιστικός Υπολογισμός του συντελεστή $Y$ για διάφορες περιπτώσεις	60
Πίνακας 3.10 Τιμές της θερμοκρασίας SET και του θερμικού αισθήματος	68
Πίνακας 3.11 Αξιοπιστία θερμικών δεικτών, κατά Sodha, 1986	77
Πίνακας 3.12 Πλεονεκτήματα και περιορισμοί δεικτών θερμικής άνεσης, κατά Ogunsoye	77
Πίνακας 3.13 Παράγοντες προσδοκίας για μη κλιματιζόμενα κτίρια σε θερμά κλίματα	83
Πίνακας 3.14 Μη κλιματιζόμενα κτίρια σε θερμά κλίματα	84
Πίνακας 3.15 Κατηγορίες θερμικών περιβάλλοντων βασισμένες στο πρότυπο ISO7730	86
Πίνακας 3.16 Αποδεκτό θερμικό περιβάλλον για γενική άνεση σύμφωνα με ASHRAE 55	87
Πίνακας 3.17 Προϋποθέσεις παραγόντων τοπικής δυσφορίας	88
Πίνακας 3.18 Περιορισμοί στις θερμοκρασιακές συσσωρεύσεις (drifts) και απότομες αλλαγές	88
Πίνακας 3.19 Κριτήρια θερμικής άνεσης για γραφεία.	90
Πίνακας 4.1 Σύγκριση σχεδιασμού κτιρίων γραφείων Ευρωπαϊκών χωρών.	123

## Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup> Εισαγωγή

### 1. Γενικά

Σε παλιότερες εποχές, η προσπάθεια αποφυγής των δύσκολων περιβαλλοντικών συνθηκών κρύου και ζέστης ήταν μια φυσιολογική κατάσταση για τους περισσότερους ανθρώπους στις περισσότερες περιοχές του κόσμου. Έχει αποδειχτεί ότι η εξέλιξη και η κατανομή του ανθρώπινου πληθυσμού πραγματοποιήθηκε σε μεγάλο βαθμό, από την συμπεριφορά και την αντίδραση στα θερμικά περιβάλλοντα. Το κεφάλαιο αυτό ερευνά την ιστορία της θερμικής άνεσης, της έρευνας της θερμικής άνεσης, της συνθήκης που επικρατούν τώρα στην Ευρώπη και στην Ελλάδα ειδικότερα. Επίσης συμπληρωματικά παρουσιάζονται οι ιστορικές συνθήκες και θεωρίες που επεξηγούν την ανθρώπινη ανάπτυξη σε σχέση με τα ελεγχόμενα εσωτερικά περιβάλλοντα που οδηγούν στην θερμική άνεση.

#### 1.1 Γεωγραφικό (εξωτερικό) και εσωτερικό περιβάλλον

##### 1.1.1 Οι θεωρίες στην αρχαία Ελλάδα και στον Μεσαίωνα

Το περιβάλλον, κυρίως το εξωτερικό, θεωρούταν πάντοτε ένας βασικός λόγος για μία σειρά ενεργειών του ανθρώπου. Η άποψη ότι το κρύο ή το ζεστό περιβάλλον έχει βαθιά επίδραση στο πόσο καλά οι άνθρωποι ζουν, δεν είναι καινούρια και οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την θερμική άνεση ήταν γνωστοί στους αρχαίους λαούς. Μία από τις βασικές αποφάσεις που έπρεπε να λάβουν, η εκτίμηση των θερμικών συνθηκών και η αναζήτηση κατάλληλου περιβάλλοντος, είναι τόσο παλιά όσο η ίδια η ανθρωπότητα. Ο McPherson (1962) ανέφερε ότι 'η αρχαιότητά της, της έχει απονέμει σημαντική υπόληψη'.

Στο έργο του *Έργα και ημέρες* (II,414-417,μετ. Κάκτος) ο Ησίοδος (700π.Χ) περιγράφει την επίδραση του εξωτερικού περιβάλλοντος:

*‘...Όταν τελειώνει η ορμή του κοφτερού ηλίου το κάμα του ιδρώτα ,μετ’ απ’ το κάρπισμα, όταν βρέξει ο πολυδύναμος Δίας και γίνεται το σώμα των θνητών πολύ πιο ελαφρό...’*

Στο ίδιο έργο ο Ησίοδος δίνει συμβουλές ανακούφισης ίσως για το πιο αδύναμο ανθρώπινο δεινό, αυτό το να είναι κάποιος περικυκλωμένος από ζεστό ,κολλώδη αέρα (II,587-589,μετ. Κάκτος):

*‘...γιατί το κεφάλι και τα γόνατα ξεραίνει ο Σείριος και ζερό είναι ο σώμα από το κάμα· τότε να έχεις στη σκιά του βράχου βίβλινο κρασί...στη σκιά καθισμένος...’*

Η αίσθηση της έλλειψης άνεσης που προκαλείτε από την ζέστη και το κρύο αποτελεί από την σκοπιά της γεωγραφίας, βασικό ερέθισμα της ανθρώπινης ανάπτυξης (Auliciems 1989). Από τα πιο παλιά χρόνια, πολλοί συγγραφείς και θεωρητικοί έχουν δώσει έμφαση στην άποψη ότι οι κλιματικές συνθήκες μπορούν να αποτελέσουν πλεονέκτημα ή να αποτελούν μειονέκτημα για το πόσο καλά ζουν οι άνθρωποι.

Ο Ιπποκράτης (400 π.Χ) συσχέτισε φυλετικές και κοινωνικές διαφορές, με διαφορές στο φυσικό περιβάλλον και έγραψε για την επίδραση του κλίματος στην σωματική διάπλαση, ευφυΐα και στο χαρακτήρα των ανθρώπων. Ο Ιπποκράτης περιέγραψε το περιβάλλον με όρους θερμοκρασίας, υγρασίας ,ανέμου και ακτινοβολίας το οποίο ακόμα και σήμερα ποιοτικά ισχύει (Webb 1959). Η επίδραση του κλίματος στο χαρακτήρα σκιαγραφήθηκε στην ιατρική του πραγματεία ‘Περί Αέρων ,Υδάτων και Τόπων (Βιβλίο 2<sup>ο</sup> ,παρ. 1<sup>η</sup> ,Μέρος 23) (σε ελεύθερη μετάφραση από το αρχαίο κείμενο):

*‘Θεωρώ τους κατοίκους της Ευρώπης πιο γενναίους από αυτούς της Ασίας· γιατί ένα κλίμα που είναι πάντοτε το ίδιο προκαλεί οκνηρία, αλλά ένα εναλλασσόμενο κλίμα προκαλεί επίπονη προσπάθεια, τόσο του σώματος όσο και του πνεύματος· και από την ξεκούραση και την οκνηρία δειλία εκτρέφεται, από την επίπονη προσπάθεια και τις κακουχίες ,θάρρος.’*

Ο Αριστοτέλης (350 π.Χ) χρησιμοποιώντας τις γενικεύσεις του Ιπποκράτη, πίστευε ότι το κλίμα και ο εθνικός χαρακτήρας έχουν μεγάλη σχέση. Στα Πολιτικά (βιβλίο 7<sup>ο</sup> ,μέρος 7<sup>ο</sup> ), εκθείασε την ανωτερότητα των Ελλήνων σε σχέση με τους Ασιάτες και ανέφερε:

*‘ Όσοι ζουν σε ψυχρό περιβάλλον στην Ευρώπη είναι γεμάτοι πνεύμα αλλά ανεπαρκείς σε ευφυΐα και δεξιότητες· τουτέστιν απολαμβάνουν σχετική ελευθερία...Όπου οι ιθαγενείς της Ασίας είναι ευφρείς και εφευρετικοί ,αλλά υστερούν σε πνεύμα και για αυτό είναι πάντοτε σε ένα καθεστώς καταπίεσης και σκλαβιάς’ .*

Οι Ρωμαίοι θεωρητικοί, υιοθετώντας την Ελληνική φιλοσοφία, πήραν αυτές τις ιδέες και αντικατέστησαν τους εαυτούς τους σαν την ιδανική φυλή. Ο Ρωμαίος Αρχιτέκτονας Marcus Vitruvius Pollio (90-20π.Χ) πραγματεύτηκε την κλιματική του θεωρία στο έργο του Τα Δέκα Βιβλία της Αρχιτεκτονικής (βιβλίο 6<sup>ο</sup>) και ισχυρίστηκε ότι ο ιδανικός πολιτισμός θα πρέπει να τοποθετείτε μεταξύ των πολύ Βόρειων περιοχών και τον πολύ Νότιων περιοχών, επιλέγοντας με αυτό τον τρόπο την περιφέρεια του Ρωμαϊκού πολιτισμού:

*‘...και όλα αυτά τα έθνη κατανεμημένα σε κλίματα που τους λείπει το ήπιο κλίμα, η πραγματική τέλεια περιοχή...έχοντας σε κάθε πλευρά το συνολικό εύρος του κόσμου και τις χώρες του, αυτές που κατέχουν οι Ρωμαίοι (βιβλίο 6<sup>ο</sup>,παρ 1<sup>η</sup>).’(Morgan,1914)*

Αντίστοιχες Βυζαντινές και μεσαιωνικές θεωρίες αναπτύχθηκαν αργότερα και οι οποίες κυρίως αντέγραφαν τις Ελληνικές και Ρωμαϊκές γνώμες στην επιρροή του εξωτερικού περιβάλλοντος (Thomas,1295). Ο Thomas Aquinas (1225-1274), ένας Ιταλός θεολόγος και γιατρός της Καθολικής εκκλησίας, υποστήριζε ότι ένα ήπιο και άνετο κλίμα είναι επαρκής συνθήκη για υγιείς και ευχαριστημένους ανθρώπους. Στην πραγματεία του, De Regno, Ad Reem Cypri (Βασιλεύοντας, στον Βασιλιά της Κύπρου) οι συμβουλές του περί επιλογής της ιδανικής τοποθεσίας για μια πόλη ή ένα βασίλειο, ομοιάζουν με αυτά που υποστήριζε η θεωρία του Αριστοτέλη:

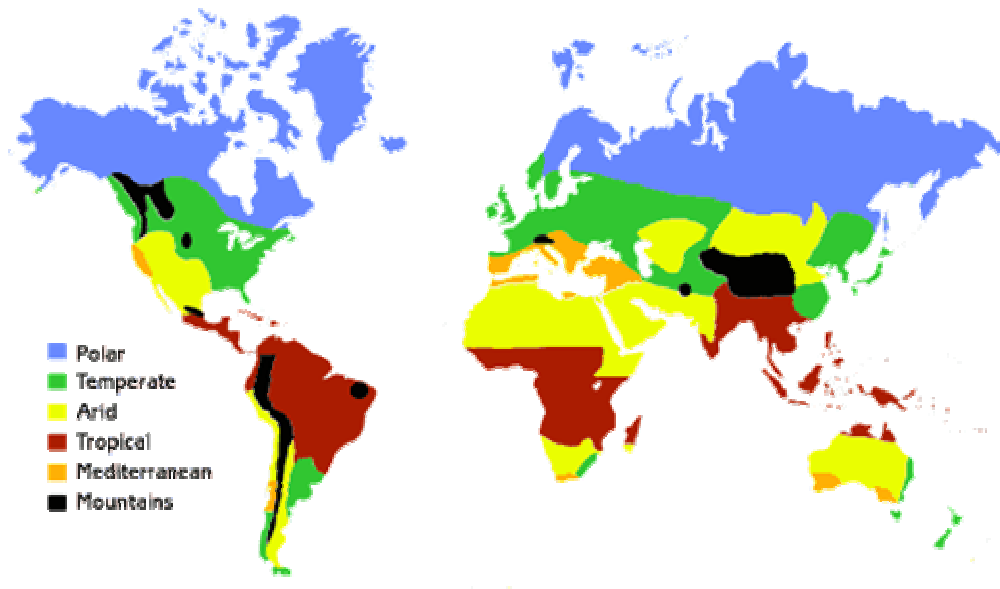
*‘Μία ήπια περιοχή πρέπει να επιλεγεί, γιατί οι κάτοικοι αντλούν πολλά πλεονεκτήματα από ένα ήπιο κλίμα...η υγεία θα διατηρηθεί καλύτερα σε ένα ήπιο περιβάλλον...’(Phelan & Eschmann1949).*

Επιπλέον πρότεινε ότι

*‘...πρόνοια για το κατάλληλο ποσοστό κρύου και ζέστης ,πρέπει να ληφθεί...’ (Phelan & Eschmann1949).*

Ο Άραβας ιστορικός και γεωγράφος Καλντούν (1332-1406) επίσης ισχυρίστηκε ως ιδανική φυλή αυτή που κατοικεί σε ήπια κλίματα, προωθώντας την ανωτερότητα των δικών του ανθρώπων (Visher,1951).

Η ουσία του σκεπτικού του κλιματικού ντετερμινισμού απεικονίζεται σε αυτές τις αρχαίες και μεσαιωνικές θεωρίες. Αυτοί οι πρόδρομοι στην σύγχρονη ανθρωπογεωγραφία, αντιλαμβάνονταν τα συνολικά χαρακτηριστικά των ομάδων των ανθρώπων πάντοτε καθορισμένα από το πόσο κρύο ή ζεστό είναι το περιβάλλον στο οποίο οι άνθρωποι ζουν και από την γεωγραφία.



Εικόνα 1.1 Οι κλιματικές ζώνες του κόσμου

### 1.2 Το κλίμα της Ευρώπης και της Ελλάδος

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

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

Πίνακας 1.1 Κλίμα και εποχές στην Ευρώπη

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



Εικόνα 1.2 Οι κλιματικές ζώνες της Ευρώπης

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

Λόγω της τοπογραφικής διαμόρφωσης (μεγάλες διαφορές υψομέτρου, εναλλαγή ξηράς -θάλασσας) υπάρχει ποικιλία κλιματικών τύπων ακόμα και σε περιοχές κοντινές μεταξύ τους. Το κλίμα της Ανατολικής Ελλάδας θα μπορούσε να

χαρακτηριστεί ξηρό, ενώ της Βόρειας και Δυτικής υγρό. Το έτος χωρίζεται σε δυο εποχές, την χειμερινή από τον Οκτώβρη μέχρι το τέλος Μαρτίου και τη θερινή από τον Απρίλιο μέχρι τον Οκτώβρη. Η χειμερινή περίοδος είναι ψυχρή και βροχερή, ενώ η θερινή θερμή και άνομβρη. Οι βροχές δεν διαρκούν πολλές ημέρες, και τα διαστήματα συννεφιάς είναι συνήθως μικρά, κάτι που σχετίζεται άμεσα με τα ποσά ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνουν στο έδαφος. Το καλοκαίρι ο αίθριος καιρός διακόπτεται σπάνια από βροχές οι οποίες είναι συνήθως έντονες.



Εικόνα 1.3 Οι κλιματικές ζώνες της Ελλάδος

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

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

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

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

**Πίνακας 1.2 Χαρακτηριστικά Ελληνικών Πόλεων (σύμφωνα με ΚΘΚ)**

**\*Για τους μήνες Ιανουάριο –Φεβρουάριο. \*\*Ελάχιστη θερμοκρασία που εμφανίζεται μια φορά τον χρόνο για δύο τουλάχιστον συνεχόμενες μέρες.**



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

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

### 1.3 Εσωτερικό κλίμα (εσώκλιμα).

Με τον όρο εσωτερικό κλίμα ή εσώκλιμα ονομάζουμε το κλίμα κλειστών, συνήθως προστατευμένων, χώρων (Τσιμπάνος 2008). Έχει δε άμεση εξάρτηση από το εξώκλιμα, δηλαδή το κλίμα του εξωτερικού περιβάλλοντος (της περιοχής γύρω από το κτίριο).

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

Κάθε σύγχρονο κτίριο πρέπει να σχεδιάζεται έτσι ώστε να υπάρχει σωστή σχέση εξάρτησης του εσωτερικού από το εξωτερικό, και η σύντομη επίτευξη συνθηκών άνεσης σε κάθε μεταβολή των εξωτερικών συνθηκών. Κατά το σχεδιασμό χρησιμοποιούνται στατιστικά κλιματικά στοιχεία της περιοχής που πρόκειται να κατασκευασθεί το κτίριο, συνυπολογίζοντας το ενδεχόμενο εμφάνισης ακραίων συνθηκών. Σπουδαίο ρόλο παίζουν και οι εσωτερικοί παράγοντες ενός χώρου, για παράδειγμα ο αριθμός των ατόμων και οι

δραστηριότητες που εκτελούν, η ύπαρξη μηχανημάτων και εστιών θερμότητας, ο φωτισμός.

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

## Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup> : Θερμική άνεση και άνθρωπος.

### 2.1. Εισαγωγή.

Διάφορες μελέτες που πραγματοποιήθηκαν με σκοπό να μετρήσουν την ικανοποίηση που δείχνουν οι εργαζόμενοι σε ένα περιβάλλον γραφείου, έδειξαν ότι ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες που επηρεάζει την ικανοποίηση των εργαζομένων είναι η θερμοκρασία, η οποία αποτελεί επίσης και έναν σημαντικό παράγοντα δημιουργίας παραπόνων (Brill et al. 1985 και Harris 1991).

*‘ Η Θερμική άνεση αποτελεί ένα πολύ πολύπλοκο ζήτημα στο περιβάλλον γραφείου, στο οποίο οι τάσεις στο αρχιτεκτονικό σχεδιασμό γραφείων και των συστημάτων ελέγχου του περιβάλλοντος γραφείων, πολλές φορές έρχονται σε αντίθεση με τις ανάγκες των εργαζομένων σε αυτά’* (Schiller et al. 1988). Αλλά τι ακριβώς είναι η θερμική άνεση;

### 2.2 Ορισμός της θερμικής άνεσης.

Για τον ορισμό της έννοιας της θερμικής άνεσης υπάρχουν τρεις διαφορετικές προσεγγίσεις μία φυσιολογική, μία Θέρμο-φυσιολογική και μία βασισμένη στο ενεργειακό ισοζύγιο του ανθρώπινου σώματος (Γαϊτάνη 2003).

Σύμφωνα με την πρώτη προσέγγιση και όπως καθορίζεται από τα πρότυπα ISO 7730 και ASHRAE 55-2004, θερμική άνεση για ένα άτομο ορίζεται *«αυτή η κατάσταση του εγκεφάλου που εκδηλώνει ικανοποίηση σε σχέση με το θερμικό περιβάλλον»*.

Ο προφανής υποκειμενισμός αυτού του ορισμού αντανακλά μια ευρύτερη διακύμανση της ατομικής θερμικής αίσθησης.

Η Θέρμο-φυσιολογική προσέγγιση της άνεσης βασίζεται στην ενεργοποίηση των θερμικών αισθητήρων στο δέρμα και τον υποθάλαμο και ορίζεται ως ο ελάχιστος ρυθμός των νευρικών σημάτων από αυτούς.

Τέλος σύμφωνα με τον ενεργειακό ορισμό η κατάσταση της θερμικής άνεσης επιτυγχάνεται όταν η θερμότητα που ρέει από και προς το ανθρώπινο σώμα είναι ισοσταθμισμένη και η θερμοκρασία του δέρματος και ο ρυθμός εφίδρωσης κυμαίνονται μέσα σε μια κλίμακα άνεσης που εξαρτάται από τον μεταβολισμό.

Η μέση θερμοκρασία του δέρματος παίζει καθοριστικό ρόλο και στους δύο τελευταίους ορισμούς. Οι τιμές για την θερμοκρασία του δέρματος μπορούν να προκύψουν από μοντέλα ενεργειακού ισοζυγίου και μοντέλα εμπειρικών σχέσεων.

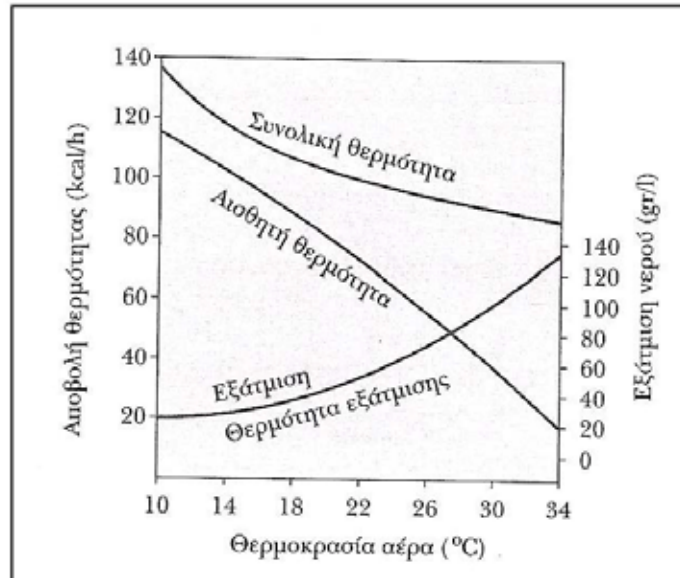
Τα μοντέλα που στηρίζονται σε εμπειρικές σχέσεις, έχουν το μειονέκτημα ότι καθορίζονται για συγκεκριμένες κλιματικές μεταβολές, ενώ αυτά ενεργειακού ισοζυγίου εφαρμόζονται καθολικά σε οποιοδήποτε σενάριο.

### 2.3. Το ανθρώπινο σώμα

Ο άνθρωπος έχει ένα πολύ αποτελεσματικό θερμορυθμιστικό σύστημα, το οποίο εξασφαλίζει ότι η εσωτερική (core) θερμοκρασία του σώματος παραμένει κατά προσέγγιση 37 °C. Η εσωτερική θερμότητα, που εκλύεται λόγω των διεργασιών, όπως η καύση των τροφών, που πραγματοποιούνται κατά την λειτουργία του ανθρώπινου οργανισμού, πρέπει να διοχετευτεί προς το περιβάλλον, ώστε να επιτευχθεί η απαραίτητη σταθερή θερμοκρασία σώματος. Συνήθως η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι αρκετά χαμηλότερη από τους 37 °C, με αποτέλεσμα την ύπαρξη θερμοκρασιακής διαφοράς, η οποία για τα εύκρατα κλίματα κυμαίνεται μεταξύ 10-25 °C (αν σκεφτεί κανείς ότι στην Ελλάδα οι πιο συνήθεις θερμοκρασίες είναι 12–27 °C).

Όταν η θερμοκρασία του σώματος που εκλύεται εσωτερικά δεν απάγεται προς το περιβάλλον με επαρκείς ρυθμούς τότε έχουμε άνοδο της εσωτερικής θερμοκρασίας δηλαδή *υπερθερμία*. Στην περίπτωση που οι θερμικές απώλειες είναι μεγαλύτερες από τις προβλεπόμενες τότε έχουμε *υποθερμία* δηλαδή εσωτερική θερμοκρασία μικρότερη από την κανονική. Θερμοκρασίες δέρματος μεγαλύτερες από 45°C ή μικρότερες από 18°C προκαλούν οξείς πόνους. Η θερμοκρασία του δέρματος για την επίτευξη θερμικής άνεσης σε περιπτώσεις καθιστικής εργασίας είναι 33 με 34°C με τιμές που ελαττώνονται όσο αυξάνεται η δραστηριότητα. Σε αντίθεση με την επιδερμική θερμοκρασία η εσωτερική αυξάνει, αυξανόμενης της δραστηριότητας. Το κέντρο ρύθμισης της θερμοκρασίας που βρίσκεται στον εγκέφαλο είναι στους 36.8°C απουσία κάθε είδους δραστηριότητας, αυξάνει στους 37.4°C για ελαφρύ περπάτημα και αγγίζει τους 37.9°C για τρέξιμο. Εσωτερική θερμοκρασία κάτω από 28°C μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρές καρδιακές αρρυθμίες, ενώ πάνω από 46°C προκαλεί μη αναστρέψιμες εγκεφαλικές βλάβες. Από τα παραπάνω μπορούμε εύκολα να

καταλάβουμε πόσο σημαντική είναι για την υγεία αλλά και για την εύρυθμη λειτουργία του ανθρώπινου σώματος η ρύθμιση της θερμοκρασίας του.



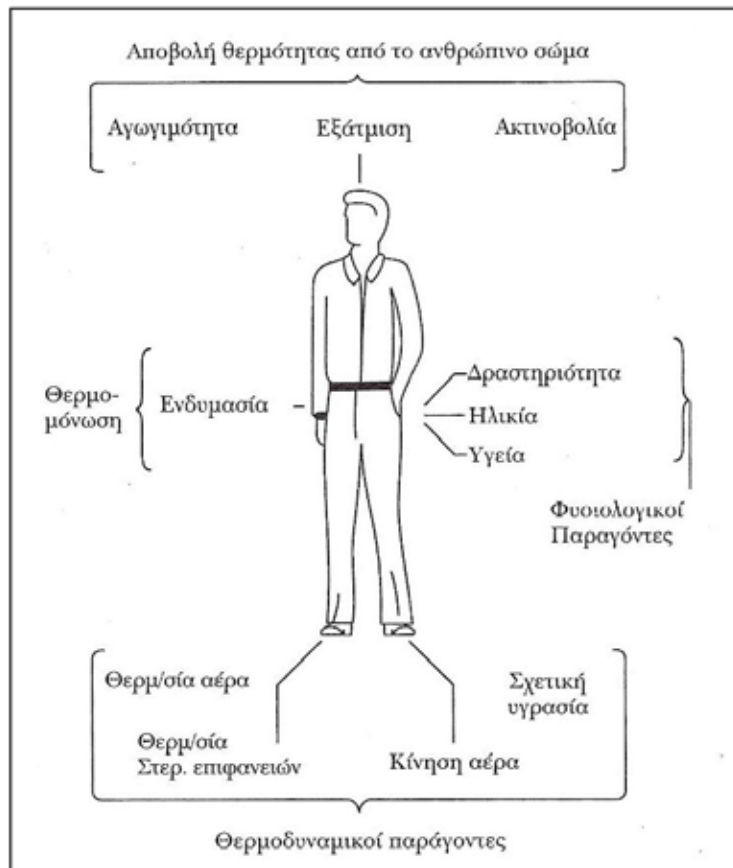
Διάγραμμα 2.1. Αποβολή θερμότητας από άνθρωπο που αναπαύεται (Βραχόπουλος 2004)

Το σύστημα ελέγχου που ρυθμίζει την θερμοκρασία του σώματος είναι σύνθετο και δεν έχει ακόμη κατανοηθεί πλήρως. Ωστόσο είναι γνωστές οι δυο πιο γνωστές σειρές αισθητήρων του συστήματος ελέγχου. Οι αισθητήρες θερμού και ψυχρού εδράζονται στο δέρμα και συνεργάζονται με τον υποθάλαμο.

Η λειτουργία δροσισμού ξεκινά όταν η εσωτερική θερμοκρασία του σώματος υπερβεί τους 37°C και η άμυνα κατά της υποθερμίας ξεκινά όταν η θερμοκρασία του δέρματος κατέβει στους 34°C.

Ο υποθάλαμος στον εγκέφαλο είναι το κέντρο το οποίο ελέγχει την εσωτερική θερμοκρασία του σώματος. Αυτό γίνεται μέσω των σημάτων που καταφθάνουν από τους αισθητήρες θερμού, ψυχρού από το δέρμα. Αναφέρεται ότι « όπως αποδείχθηκε από τους νευροφυσιολόγους, η απόκριση των θερμικών υποδοχέων προκαλείται από ηλεκτρικούς παλμούς» καθώς επίσης ότι η φύση των αισθητήρων είναι, ευαίσθητα στην θερμότητα νευρικά κύτταρα (Bansal 1994).

Εάν οι αισθητές θερμού, ψυχρού, αποστείλουν ταυτόχρονα σήματα, ο εγκέφαλος θα παρεμποδίσει μία από τις δύο ή και τις δύο διαδικασίες των μηχανισμών αντίδρασης στην μεταβολή της θερμοκρασίας.



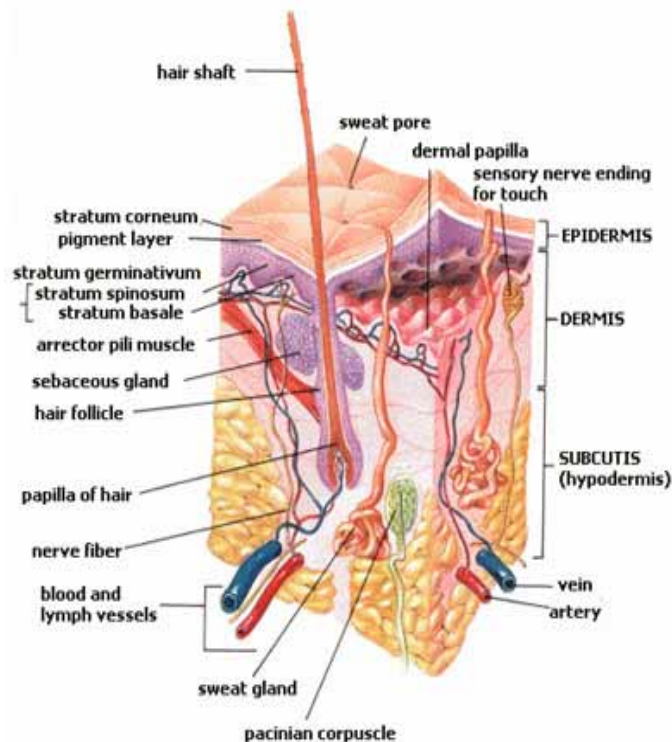
Σχήμα 2.1: Απώλειες θερμότητας από το ανθρώπινο σώμα (Βραχόπουλος, 2004).

Ο υποθάλαμος έχει αισθητήρες θερμοκρασίας και βρίσκεται εμβαπτισμένος σε αρτηριακό αίμα. Το τελευταίο, λόγω της συνεχούς κυκλοφορίας του μπορεί να δώσει με ικανοποιητική ακρίβεια μια ενδεικτική τιμή της μέσης εσωτερικής θερμοκρασίας του σώματος. Εκτός από την θερμοκρασία του αίματος ο υποθάλαμος έχει αισθητήρια που μετράνε την θερμοκρασία και σε άλλα μέρη του σώματος όπως ο νωτιαίος μυελός, το έντερο κλπ. Στην περίπτωση που η υπολογισμένη θερμοκρασία δεν είναι μέσα στα επιτρεπτά όρια τότε ξεκινάει η ρύθμιση της με βάση συγκεκριμένες διαδικασίες. Ο πιο σημαντικός και παράλληλα ο περισσότερο χρησιμοποιούμενος τρόπος είναι η ρύθμιση της παροχής αίματος προς τα επιδερμικά αγγεία. Όταν λοιπόν η εσωτερική θερμοκρασία περάσει το επιτρεπτό άνω όριο αυξάνεται η παροχή αίματος προς τα επιδερμικά αγγεία με παράλληλη διαστολή αυτών (*vasodilation*). Η παροχή αίματος μπορεί να αυξηθεί μέχρι και 15 φορές -σε ακραίες περιπτώσεις- σε σχέση με την αρχική, από  $1.7 \text{ mL/s/m}^2$  σε κατάσταση ακινησίας στα  $25 \text{ mL/s/m}^2$  μεταφέροντας με αυτό το τρόπο το εσωτερικό θερμικό

φορτίο προς το δέρμα και από εκεί προς το περιβάλλον. Αντίθετα όταν η εσωτερική θερμοκρασία ελαττωθεί κάτω από το προβλεπόμενο όριο έχουμε συστολή των επιδερμικών αγγείων (*vasoconstriction*) και ελάττωση της παροχής αίματος προς αυτά με σκοπό την εξοικονόμηση της εσωτερικής θερμότητας. Σύμφωνα με μελέτες που έχουν γίνει η επίδραση αυτής της συστολής των επιδερμικών αγγείων μπορεί να συγκριθεί με τη μονωτική δράση ενός μάλλινου πουλόβερ (Τζιβανίδης,2005).

Αν η θερμοκρασία συνεχίσει να πέφτει αυξάνεται η εσωτερική παραγωγή θερμότητας με την διέγερση των μυών. Αυτή η αύξηση φθάνει την μέγιστη τιμή της, όταν το σώμα εμφανίζει ρίγη. Η διαδικασία αυτή είναι επίσης πολύ αποτελεσματική γιατί αυξάνει δραματικά την παραγωγή θερμότητας από το σώμα, ωστόσο, το ρίγος είναι ένας σπάταλος τρόπος για να κρατηθεί ζεστός ο οργανισμός σε ψυχρό περιβάλλον, γιατί μειώνει την εσωτερική και εξωτερική αντίσταση του ανθρώπινου σώματος στην διαφυγή θερμότητας.

Το ανθρώπινο δέρμα αποτελείται από δοχεία αίματος, ιστούς, νεύρα και διάφορες στρώσεις όπως φαίνεται στην εικόνα 2.1. Έχει διαπιστωθεί ότι υπάρχουν τεσσάρων ειδών απολήξεις νευρών, τα οποία μεταδίδουν πληροφορίες για την θερμοκρασία στον εγκέφαλο. Το κάθε ένα από τα στοιχεία το δέρματος καθώς και το μέγεθος του, επιδρά κατά διαφορετικό βαθμό στη μετάδοση της θερμότητας.



Εικόνα 2.1: Τομή ανθρώπινου δέρματος

Ουσιαστικά πρόκειται για μονωτικά στοιχεία που μεταβάλλουν το ρυθμό μετάδοσης της θερμότητας από το εσωτερικό προς την επιδερμίδα. Η επιδερμίδα είναι το εξωτερικό μέρος (περίβλημα) του δέρματος και έχει πάχος περίπου 0,075 – 0,15 mm, εκτός από τις παλάμες και τις πατούσες όπου το πάχος είναι μεγαλύτερο.

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

Η εφίδρωση είναι ένα αποτελεσματικό εργαλείο δροσισμού, γιατί η ενέργεια που απαιτείται για την εξάτμιση του ιδρώτα παραλαμβάνεται από το δέρμα. Μερικά μόνο δέκατα του βαθμού, αύξηση της εσωτερικής θερμοκρασίας του σώματος, μπορεί να διεγείρει μια παραγωγή ιδρώτα που τετραπλασιάζει τις απώλειες θερμότητας αυτού.

Η διαδικασία αυτή είναι εξαιρετικά εξελιγμένη στους ανθρώπους σε αντίθεση με τα ζώα και αποτελεί ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για την διατήρηση της θερμικής άνεσης σε περιπτώσεις υψηλού μεταβολικού ρυθμού. Αυτός ο μηχανισμός άμυνας του οργανισμού απέναντι στις υψηλές θερμοκρασίες έχει σαν σκοπό να ψύξει την επιφάνεια του δέρματος -λόγω εξάτμισης του ιδρώτα- και κατά συνέπεια να αυξήσει την μεταφορά θερμότητας από το εσωτερικό του σώματος προς το περιβάλλον. Αυτό γίνεται με την βοήθεια ειδικών αδένων που μεταφέρουν τον ιδρώτα στην επιφάνεια του δέρματος και τον εναποθέτουν για εξάτμιση. Αν η σχετική υγρασία του αέρα δεν είναι σε υψηλά επίπεδα τότε η εξάτμιση θα γίνει άμεσα. Σε περίπτωση που ο ρυθμός εξάτμισης δεν είναι ο ενδεικνυόμενος τότε θα πρέπει να αυξηθεί η επιφάνεια εξάτμισης καλύπτοντας μεγαλύτερο ποσοστό του σώματος. Το κλάσμα της επιδερμικής επιφάνειας που είναι καλυμμένο με νερό προς το συνολικό ονομάζεται υγρασία δέρματος (*skin wettedness*) και παίζει σημαντικό ρόλο στην θερμική άνεση. Η αίσθηση της υγρασίας στην επιφάνεια του δέρματος που προέρχεται από την εφίδρωση είναι άμεσα συνδεδεμένη με το αίσθημα της δυσφορίας ή καλύτερα με τη μη επίτευξη θερμικής άνεσης.

Πειραματικά αποτελέσματα έχουν δείξει ότι η αίσθηση της άνεσης ελαττώνεται σημαντικά φτάνοντας στα επίπεδα της "ενόχλησης" όταν το ποσοστό εφίδρωσης αυξηθεί πέραν του 25% της επιφάνειας του σώματος (υγρασία δέρματος) για περιπτώσεις ανάπαυσης ή καθιστικής εργασίας. Επιπροσθέτως ο ιδρώτας αυξάνει την



τριβή μεταξύ δέρματος και ρούχων κάνοντας την επιφάνεια των τελευταίων περισσότερο τραχιά στην αίσθηση.

Επαναλαμβανόμενη έκθεση σε υψηλές θερμοκρασίες ελαττώνει την θερμοκρασία έναρξης της διαδικασίας της εφίδρωσης δηλαδή αυξάνει την ευαισθησία αυτού του θερμορυθμιστικού μηχανισμού. Η μεγάλης όμως διάρκειας, έκθεση σε ζεστό περιβάλλον οδηγεί σε αντίθετα αποτελέσματα, όπως η βαθμιαία αύξηση του θερμοκρασιακού ορίου πέραν του οποίου έχουμε το ξεκίνημα της διαδικασίας της εφίδρωσης. Σε τέτοιες περιπτώσεις έχουμε σταδιακή προσαρμογή του οργανισμού στο νέο θερμοκρασιακό περιβάλλον και βαθμιαία αύξηση της θερμοκρασίας εκκίνησης των φυσιολογικών διαδικασιών διατήρησης της θερμοκρασίας του σώματος μέσα στα επιτρεπτά όρια (Τζιβανίδης, 2005).

### 2.3.1 Ο μεταβολικός ρυθμός και η δραστηριότητα του ανθρώπου.

Ο μεταβολικός ρυθμός είναι η τιμή της ενέργειας που παράγεται από το ανθρώπινο σώμα και υπάρχουν διαφορετικοί ρυθμοί μεταβολισμού για διαφορετικές δραστηριότητες του ανθρώπου. Ο μεταβολικός ρυθμός εξαρτάται κυρίως από την δραστηριότητα (CIBSE Guide A 2006). Για να διατηρήσει την εσωτερική θερμοκρασία των  $37^{\circ}\text{C}$ , το ανθρώπινο σώμα παράγει ενέργεια. Όσο πιο μεγάλη δραστηριότητα, τόσο περισσότερη θερμότητα παράγεται. Το σώμα θα ιδρώσει όταν παραχθεί πολύ μεγάλη ποσότητα θερμότητας με αποτέλεσμα το δυσάρεστο αίσθημα της έλλειψης θερμικής άνεσης. Ο μεταβολικός ρυθμός ορίζεται σε μονάδες 'met' και ένα met είναι ίσο με  $58.2 \text{ W/m}^2$  η οποία είναι επίσης και η ενέργεια που παράγεται ανά μονάδα επιφανείας για ένα καθισμένο άτομο που ξεκουράζεται (ASHRAE Standard 55). Ο καθορισμός του μεταβολικού ρυθμού από το εργονομικό πρότυπο ISO 8996 το οποίο παρέχει μεθόδους και πληροφορίες για την εκτίμηση του μεταβολικού ρυθμού από την παραγωγή θερμότητας, υποστηρίζει καθοριστικά τα ISO πρότυπα θερμικής άνεσης, καθώς και άλλα πρότυπα (Parsons 2001).

Έχει προταθεί ότι ο μεταβολικός ρυθμός του ανθρώπινου σώματος επηρεάζει τις απαιτήσεις θερμικής άνεσης ως προς την κατάσταση του περιβάλλοντος χώρου και της ένδυσης (Parsons 2001). Σε μεγάλη δραστηριότητα η έννοια της θερμικής άνεσης θα πρέπει να θεωρείτε διαφορετική αν συγκριθεί με έναν καθισμένο υπάλληλο γραφείου που πληκτρολογεί σε έναν υπολογιστή (Parsons 2001). Για τους

ανθρώπους που ντύνονται φυσιολογικά (0.5-1.0 clo) μία αύξηση της δραστηριότητας κατά 0.1 met, ισοδυναμεί με μία πιθανή μείωση 0.6 K στον σχεδιασμό των θερμοκρασιών λειτουργίας ( CIBSE Guide A 2006).

Ένας κανονικός υγιής άνθρωπος έχει μέγιστη ικανότητα 12 met στην ηλικία των 20, η οποία και πέφτει στα 7 met στην ηλικία των 70. Οι μέγιστες τιμές για τις γυναίκες είναι κατά 30% μικρότερες. Οι μεγάλοι αθλητές και πιο συγκεκριμένα αυτοί των μεγάλων αποστάσεων μπορούν να φτάσουν και τα 20 met. Ένας μέσος 35άρης ο οποίος δεν γυμνάζεται έχει μέγιστο ρυθμό τα 10 met και είναι πολύ πιθανό δραστηριότητες με μεγαλύτερες των 5 met να είναι εξαντλητικές για αυτόν (Τζιβανίδης 2005).

Όταν υπολογίζεται ο μεταβολικός ρυθμός ενός ατόμου, είναι σημαντικό να χρησιμοποιείται μια μέση τιμή για τις δραστηριότητες του την τελευταία ώρα. Ο λόγος είναι ότι η θερμοχωρητικότητα του σώματος επηρεάζει την ροή θερμότητας με βάση το επίπεδο δραστηριότητας της τελευταίας μίας ώρας. Σε κάθε περίπτωση οι δραστηριότητες των τελευταίων 15 min. έχουν μεγαλύτερη βαρύτητα. (Innova 2002).

Δραστηριότητα	Ρυθμός μεταβολισμού	
	W/m <sup>2</sup>	met
Ξαπλωμένος	46	0,8
Καθήμενος, χαλαρωμένος	58	1,0
Όρθιος, χαλαρωμένος	70	1,2
Καθιστική δραστηριότητα (γραφείο, κατοικία, σχολείο)	70	1,2
Δραστηριότητα όρθιου (ψώνια, εργαστήριο)	93	1,6
Δραστηριότητα όρθιου (εμποροϋπάλληλος)	116	2,0
Μεσαία δραστηριότητα (επίμονη μηχανική εργασία)	165	2,8

**Πίνακας 2.1: Ρυθμοί μεταβολισμού (ISO84)**

Μελέτες έδειξαν ότι εάν πραγματοποιηθεί κάποιο λάθος στην εκτίμηση του μεταβολικού ρυθμού και του επιπέδου δραστηριότητας, τότε θα δημιουργηθεί ανακολουθία μεταξύ της πραγματικής Μέσης Προβλεπόμενης Ψήφου και του δείκτη PMV (θα αναλυθούν στο επόμενο κεφάλαιο). Ο Rowe (2001), μελέτησε εργαζόμενους σε δύο τυπικούς ορόφους σε ένα κτίριο γραφείων, από τον Ιούλιο του 1996 έως τον Ιούνιο του 1998 με μηνιαίες μετρήσεις. Κάθε εργαζόμενος εξετάστηκε δύο φορές (πρωί και βράδυ) σε κάθε ημέρα που γινόντουσαν οι μετρήσεις.

Ταυτόχρονα αναλύοντουσαν οι αναφορές για τα επίπεδα δραστηριότητας και ένδυσης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η εκτιμώμενη δραστηριότητα ήταν 1.2 met με μία τυπική απόκλιση 0.22 και μπορούσε να συγκριθεί και με άλλες μελέτες. Επιπλέον η έρευνα έδειξε ότι δεν υπάρχει καμιά συσχέτιση μεταξύ του εξωτερικού περιβάλλοντος και της επιπέδου δραστηριότητας. Από την άλλη μεριά προέκυψε μια διαφορά μεταξύ της πραγματικής μέσης προβλεπόμενης ψήφου του +0.17 και του PMV -0,13 και αυτό το αποτέλεσμα ίσως οδηγήσει σε σφάλμα στην εκτίμηση του βαθμού δραστηριότητας και του βαθμού ένδυσης. Επίσης το πρότυπο ISO 7730 υποδεικνύει ότι μια διαφορά 0.1 met μπορεί να προκαλέσει 1<sup>0</sup>C διαφορά στην αίσθηση θερμικής άνεσης και μία ανακολουθία 0.4 met ,μπορεί να προκαλέσει 2.5-3 <sup>0</sup>C διαφορά στην αίσθηση της θερμικής άνεσης.

Στον παρακάτω πίνακα που εμπεριέχεται στο 2001 ASHRAE Handbook Fundamentals δίνεται ο μεταβολικός ρυθμός για πλήθος ανθρώπινων δραστηριοτήτων:

<b>ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ</b>	<b>W/m<sup>2</sup></b>	<b>met</b>
<b>Ανάπαυση</b>		
Ύπνος	40	0,7
Πλάγιασμα	45	0,8
Κάθισμα, ήσυχα	60	1,0
Στάση, ξεκούραστη	70	1,2
<b>Περπάτημα (σε επίπεδη επιφάνεια)</b>		
3,2 km/h (0,9 m/sec)	115	2,0
4,3 km/h (1,2 m/sec)	150	2,6
6,4 km/h (1,8 m/sec)	220	3,8
<b>Δραστηριότητες Γραφείου</b>		
Διάβασμα, σε κάθισμα	55	1,0
Γράψιμο	60	1,0
Πληκτρολόγηση	65	1,1
Αρχειοθέτηση, σε κάθισμα	70	1,2
Αρχειοθέτηση, σε όρθια στάση	80	1,4
Περπάτημα	100	1,7
Άρση/πακετάρισμα	120	2,1
<b>Οδήγηση/Πτήση</b>		
Αυτοκίνητο	60-115	1,0-2,0
Αεροπλάνο, κανονική πτήση	70	1,2
Αεροπλάνο, χειρισμοί προσγείωσης	105	1,8
Αεροπλάνο, πολεμικό	140	2,4
Βαρύ όχημα	185	3,2
<b>Διάφορες Δραστηριότητες</b>		
Μαγείρεμα	95-115	1,6-2,0
Καθάρισμα κατοικίας	115-200	2,0-3,4
Κάθισμα, κίνηση των μελών	130	2,2
Δουλειά με μηχανή:		

πριόνισμα (σε πάγκο)	105	1,8
Ελαφριά (σε ηλεκτρική βιομηχανία)	115-140	2,0-2,4
Βαριά	235	4
Μεταφορά σάκων βάρους 50kg	235	4
Σκάψιμο και φτυάρισμα	235-280	4,0-4,8
<b>Διάφορες Δραστηριότητες Αναψυχής</b>		
Χορός, κοινωνικός	140-255	2,4-4,4
Αεροβική/άσκηση	175-235	3,0-4,0
Τένις, (έναντι ενός)	210-270	3,6-4,0
Μπάσκετ	290-440	5,0-7,6
Αγώνες πάλης	410-505	7,0-8,7

**Πίνακας 2.2: Μεταβολικός ρυθμός για ανθρώπινες δραστηριότητες (ASHRAE Handbook Fundamentals 2001)**

### 2.3.2 Η σημασία της ένδυσης.

Η αντίσταση στην μετάδοση θερμότητας που παρέχεται από ένα σύνολο ρουχισμού (δηλαδή πάνω από ένα ένδυμα), εκφράζεται σε μονάδες clo (ASHRAE Standard 55,1995). Υπάρχουν πολλά πρότυπα για την μέτρηση ή την εκτίμηση της αντίστασης στην μετάδοση θερμότητας που παράγεται, από τα ρούχα· ASTM F 1291, ENV 342, ISO 9920 και το πρόχειρο ISO/CD 1583. Το ISO 9920 είναι το μόνο πρότυπο που πραγματεύεται την εξατμιστική αντίσταση της ένδυσης. Τα πρότυπα θερμικής άνεσης ASHRAE 55-1992 και ISO 7730 απαιτούν από τους χρήστες να προσδιορίσουν τις τιμές μόνωσης του ρουχισμού, με αντιστοίχιση των επιμέρους ρούχων με παρόμοια που δίνονται σε πίνακες και να υποθέσουν ότι η εξατμιστική αντίσταση του καθημερινού ρουχισμού είναι μικρή (McCullough 1994).

Στον παρακάτω πίνακα, που εμπεριέχεται στο 2001 ASHRAE Handbook

Fundamentals, δίνεται αναλυτικά για κάθε ρούχο, η θερμική αντίσταση σε clo:

Περιγραφή ενδύματος	$L_{clu,1}$ (clo)
<b>Εσώρουχα:</b>	
Αντρικό σλιπ	0,04
Γυναικεία κιλότα	0,03
Στηθόδεσμος	0,01
Μπλουζάκι μακρό	0,08
Κομπινεζόν μακρύ	0,16
Κομπινεζόν κοντό	0,14
Γυναικείο κορμάκι με μακρύ μανίκι	0,2
γυναικείο κολάν	0,15
<b>Είδη Υποδήσεως:</b>	
Αθλητικές κάλτσες	0,02
κάλτσες ως τη γάμπα	0,03
κάλτσες ως το γόνατο (βαριές)	0,06
Καλσόν	0,02
σανδάλια/δερμάτινα σανδάλια	0,02
παντόφλες	0,03

Μπότες	0,1
<b>Πουκάμισα και μπλούζες:</b>	
αμάνικη, ανοικτή στο λαιμό μπλούζα	0,12
κοντομάνικο επίσημο πουκάμισο	0,19
μακρυμάνικο επίσημο πουκάμισο	0,25
μακρυμάνικο πουκάμισο από φανέλα	0,34
κοντομάνικο πλεκτό σπορ πουκάμισο	0,17
μακρυμάνικη μπλούζα βαμβακερή	0,34
<b>Παντελόνια:</b>	
κοντό παντελονάκι	0,06
παντελόνι βερμούδα	0,08
εφαρμοστό παντελόνι (λεπτό)	0,15
εφαρμοστό παντελόνι (χονδρό)	0,24
παντελόνι προθέρμανσης αθλητή	0,28
φόρμα δουλειάς	0,3
φόρμα η οποία καλύπτει όλο το σώμα	0,49
<b>Σακάκια και γιλέκα:</b>	
με μια σειρά κουμπιών (λεπτό)	0,36
με μια σειρά κουμπιών (χονδρό)	0,44
με δύο σειρές κουμπιών (λεπτό)	0,42
με δύο σειρές κουμπιών (χονδρό)	0,48
αμάνικο γιλέκο (λεπτό)	0,1
αμάνικο γιλέκο (χονδρό)	0,17
<b>Πουλόβερ:</b>	
αμάνικο γιλέκο (λεπτό)	0,13
αμάνικο γιλέκο (χονδρό)	0,22
μακρυμάνικο (λεπτό)	0,25
μακρυμάνικο (χονδρό)	0,36
<b>Φορέματα και φούστες:</b>	
φούστα (λεπτή)	0,14
φούστα (χονδρή)	0,23
μακρυμάνικο φόρεμα (λεπτό)	0,33
μακρυμάνικο φόρεμα (χονδρό)	0,47
κοντομάνικο φόρεμα (λεπτό)	0,29
αμάνικο ανοικτό στο λαιμό (λεπτό)	0,23
αμάνικο ανοικτό στο λαιμό (χονδρό)	0,27
<b>Ρούχα που φοριούνται για ύπνο, ρόμπες:</b>	
αμάνικο κοντό νυχτικό (λεπτό)	0,18
αμάνικο μακρύ νυχτικό (λεπτό)	0,2
κοντομάνικο νυχτικό νοσοκομείου	0,31
μακρυμάνικο μακρύ νυχτικό (χονδρό)	0,46
μακρυμάνικες πιτζάμες (χονδρές)	0,57
κοντομάνικες πιτζάμες (λεπτές)	0,42
μακρυμάνικη μακριά ρόμπα με ζώνη στη μέση (χονδρή)	0,69
μακρυμάνικη κοντή ρόμπα με ζώνη στη μέση (χονδρή)	0,48
κοντομάνικη κοντή ρόμπα (λεπτή)	0,34

Πίνακας 2.3: Θερμική αντίσταση ένδυσης (2001 ASHRAE Handbook Fundamentals)

και από το πρότυπο **ISO84** έχουμε τις τιμές τυπικών συνόλων ενδυμασίας:

Ντύσιμο	I <sub>cl</sub>	
	m <sup>2</sup> °C/W	clo
Shorts	0,015	0,1
Τυπικό τροπικό ντύσιμο	0,045	0,3
Ελαφρύ καλοκαιρινό ντύσιμο	0,08	0,5
Ελαφριά ενδυμασία εργασίας	0,11	0,7
Χειμερινό ντύσιμο	0,16	1,0
Βαρύ παραδοσιακό ευρωπαϊκό κοστούμι	0,23	1,5

**Πίνακας 2.4: Τιμές τυπικών συνόλων ενδυμασίας (ISO84)**

Η συνολική θερμική αντίσταση υπολογίζεται:

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

A το εμβαδόν της επιφάνειας (m )

T<sub>s</sub> η θερμοκρασία της επιδερμίδας (°C)

T<sub>a</sub> η θερμοκρασία του αέρα περιμετρικά των ρούχων (°C)

H ,η θερμική ενέργεια (W)

Η πραγματική θερμική αντίσταση των ρούχων προκύπτει από τη διαφορά της ολικής θερμικής αντίστασης και της θερμικής αντίστασης της επιφάνειας χωρίς ρούχα R<sub>a</sub> (m<sup>2</sup> °C/W), διαιρεμένο με το συντελεστή f<sub>cl</sub>.

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

Ο συντελεστής f<sub>cl</sub> εφαρμόζεται σε όλους τους όρους μεταφοράς θερμότητας από το δέρμα όταν απαιτείται η πραγματική επιφάνεια συναλλαγής λόγω ρουχισμού, και υπολογίζεται:

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

A<sub>cl</sub> η επιφάνεια συναλλαγής λόγω ρουχισμού σε m και

το εμβαδόν της επιφάνειας του σώματος μπορεί να εκτιμηθεί από τον τύπο:

$$A_D = 0.202 \text{ m}^{0.425} \text{ I}^{0.725} \quad \text{όπου}$$

$A_D$  η επιφάνεια σώματος κατά DuBois σε  $m^2$  (DuBois area).

$M$  η μάζα σώματος σε Kg

$l$  το ύψος σώματος σε m

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

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

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

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

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

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

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

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

Ο Newsham (1997) παρατήρησε τα αποτελέσματα της μεταβαλλόμενης ένδυσης στην θερμική άνεση και στην ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων γραφείων. Οι στόχοι της μελέτης του ήταν: η ανάπτυξη ενός συγκεκριμένου υπολογιστικού μοντέλου το οποίο θα ήταν σε θέση να ερευνήσει την επίδραση των επιπέδων ρουχισμού των εργαζομένων στην θερμική άνεση, στην ενεργειακή κατανάλωση κτιρίων γραφείου και επιπλέον να δώσει απάντηση στο ερώτημα εάν η μόνωση που παρέχεται από την προσαρμογή της ένδυσης έχει σημαντική επίδραση στην πρόβλεψη της θερμικής άνεσης και της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων γραφείων. Κατά την διάρκεια της έρευνας κατηγοριοποίησε την ευελιξία της ένδυσης σε έξι κατηγορίες: προσαρμογή, μικρή προσαρμογή, πολύ μικρή προσαρμογή, εδραιωμένη, εδραιωμένη (άνεση), εδραιωμένη (ενέργεια). Υπέδειξε ότι ο δείκτης PPD(ποσοστό των δυσαρεστημένων ανθρώπων-ο δείκτης θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο-) στην

κατηγορία προσαρμογή, είναι μικρότερος από τις άλλες κατηγορίες και οι ενεργειακή κατανάλωση στις κατηγορίες μικρή προσαρμογή και πολύ μικρή προσαρμογή είναι μικρότερη. Με αυτό τον τρόπο συμπεράνε ότι η προσαρμογή του ρουχισμού έχει σημαντική επιρροή στην πρόβλεψη της θερμικής άνεσης σε ένα μη ευνοϊκό εσωτερικό περιβάλλον και ότι η ευελιξία στην ένδυση δίνει μεγαλύτερη αίσθηση θερμικής άνεσης από την μη ευελιξία. Επιπλέον πρότεινε, στα κτίρια με συστήματα HVAC, η προσαρμοζόμενη ένδυση μπορεί να προκαλέσει μείωση στην ενεργειακή κατανάλωση και να διατηρήσει την θερμική άνεση στο εσωτερικό περιβάλλον.

### 2.3.3 Το θερμικό ισοζύγιο

Η ανταλλαγή θερμότητας ανάμεσα στο ανθρώπινο σώμα και το περιβάλλον του γίνεται όπως αναφέρθηκε ήδη, με πολλούς τρόπους:

- α) Με μεταφορά ή συναγωγή από το ανθρώπινο σώμα στον αέρα, με τον οποίο βρίσκεται σε επαφή το δέρμα.
- β) Με ακτινοβολία από το ανθρώπινο σώμα προς τις επιφάνειες που το περιβάλλουν και αντίστροφα και είναι συνάρτηση της επιφανειακής θερμοκρασίας του σώματος και των γύρω επιφανειών.
- γ) Με αγωγή, όπου θερμότητα χάνεται από τα ρούχα, όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντα αέρα είναι χαμηλότερη από τη θερμοκρασία του σώματος.
- δ) Με εξάτμιση, η οποία πραγματοποιείται μέσω της αναπνοής ή από την επιδερμίδα μέσω της άδηλης διαπνοής και του ιδρώτα.

Στη βάση της αρχής της διατήρησης της ενέργειας, το συνολικό θερμικό ισοζύγιο μεταξύ του σώματος και του περιβάλλοντος μπορεί (Ντούνης, 1993) να γραφεί:

$$H_M - W = H_r + H_c + H_e + (H_{lr} + H_{id}) \quad \text{όπου:}$$

$H_M$  : Ρυθμός παραγωγής θερμότητας από μεταβολισμό, (W)

$W$  : Εξωτερικό μηχανικό έργο, (W)

$H_e$  : Απώλεια θερμότητας εξαιτίας της εξάτμισης του ιδρώτα από την επιφάνεια του δέρματος, (W)

$H_{id}$  : Απώλεια αισθητής θερμότητας δια μέσου της αναπνοής (οφειλόμενη στη θερμοκρασιακή διαφορά του εισερχόμενου και εξερχόμενου αέρα), (W)



$H_{lr}$  : Απώλεια λανθάνουσας θερμότητας δια μέσου της αναπνοής (οφειλόμενη στην εξάτμιση του νερού), (W)

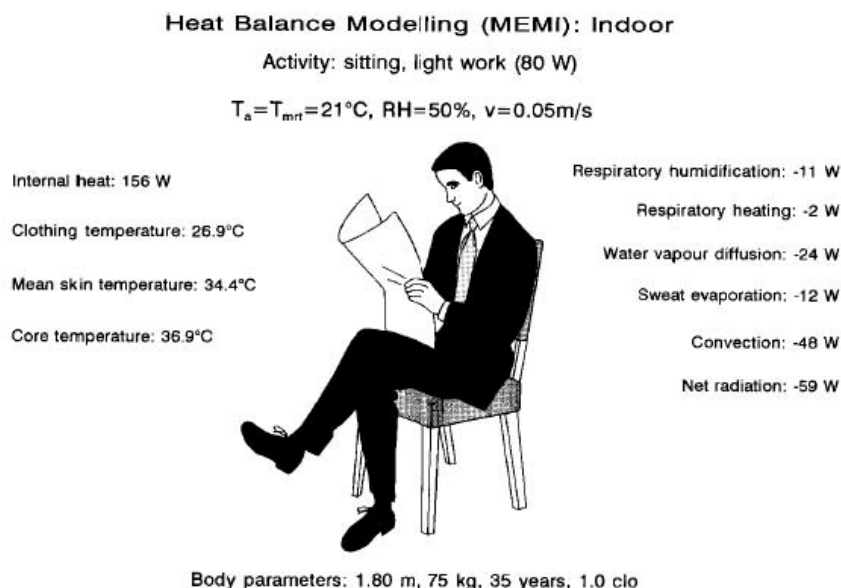
$H_r$  : Ανταλλαγή θερμότητας με ακτινοβολία, (W)

$H_c$  : Μεταφορά θερμότητας με συναγωγή, (W)

Ο ρυθμός παραγωγής θερμότητας και απώλειας αλλάζει από άνθρωπο σε άνθρωπο. Αυτή η μεταβλητότητα μπορεί να προσδιοριστεί εκφράζοντας τις μεταβλητές ανά μονάδα εμβαδού επιφάνειας.

Το κλάσμα του ρυθμού του μεταβολισμού που μετατρέπεται σε έργο (μηχανική ενέργεια) ονομάζεται ικανότητα έργου (work efficiency). Για φυσιολογικές δραστηριότητες σε κατοικίες και γραφεία η ικανότητα έργου είναι μικρή.

Στην εικόνα 2.2 φαίνεται καθαρά ότι η μεγαλύτερη ροή θερμότητας από το σώμα σε τυπικές κλιματικές συνθήκες (χωρίς κλιματισμό του αέρα) οφείλεται στην ακτινοβολία.



Εικόνα 2.2: Μοντέλο θερμικού ισοζυγίου για εσωτερικούς χώρους (Höppe P. et al 1997)

## Κεφάλαιο 3 : Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας στην Επίτευξη Θερμικής άνεσης

### 3.1 Οι δύο τρόποι πραγματοποίησης έρευνας της θερμικής άνεσης

Μεγάλο μέρος της έρευνας πάνω στην θερμική άνεση όπως αυτή του ASHRAE Standard 55 (2004) πραγματοποιήθηκε σε εσωτερικά ελεγχόμενα περιβάλλοντα. Αυτές οι έρευνες βασίστηκαν σε εργαστηριακά πειράματα στα οποία όλα τα φυσικά χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος ήταν ελεγχόμενα. Αυτά τα εργαστηριακά πειράματα χρησιμοποιήθηκαν για να αναπτυχθούν δείκτες της θερμικής άνεσης όπως ο PMV (predicted mean vote- προβλεπόμενη μέση ψήφος) που ανέπτυξε ο Fanger το 1970.

Δύο διαφορετικά μοντέλα θερμικής άνεσης αναπτύχθηκαν, το πρώτο μοντέλο βασισμένο σε εργαστηριακά πειράματα και σε ελεγχόμενους θαλάμους από τον Fanger (1970) και το δεύτερο βασισμένο σε πραγματικές συνθήκες (κτίρια γραφείων, κατοικίες κλπ.) από διάφορους ερευνητές (Auliciem 1981, de Dear and Brager 1998, Humphreys and Nicol 1998). Και στις δύο προσεγγίσεις το επίπεδο της θερμικής άνεσης ή δυσφορίας, συχνά εκφράζεται σαν το ποσοστό των ανθρώπων που είναι ευχαριστημένοι ή δυσαρεστημένοι με τις υπάρχουσες συνθήκες.

#### 3.1.1 Εργαστηριακές μελέτες.

Οι εργαστηριακές μελέτες βασίστηκαν σε πειράματα που πραγματοποιήθηκαν σε ανθρώπους που βρισκόντουσαν σε ελεγχόμενα περιβάλλοντα ή αίθουσες. Βασίζονται στην θεωρία του θερμικού ισοζυγίου του ανθρώπινου σώματος. Αυτά τα μοντέλα θερμικού ισοζυγίου χρησιμοποιήθηκαν σαν βάση για την ανάπτυξη τεχνικών προτύπων που ορίζουν την θερμική άνεση (Fanger 1970, Nevins and Gagge 1972) . Ο Fanger παίρνοντας την εξίσωση του προηγούμενου κεφαλαίου έφτασε στις παρακάτω εξισώσεις:

$$H_M/A_D (1 - \eta) - 0,32 \{35,7 - 0,0275 H_M/A_D (1 - \eta) - 84,2 - P_a\} - 0,42 \{H_M/A_D (1 - \eta) - 58\} - 1,410^{-3} H_M/A_D (34 - T_a) - 0,0017 H_M/A_D (44 - P_a) =$$

$$0,71 \sigma \cdot F_{cl} \{ (T_{cl} + 273)^4 - (T_{mrt} + 273)^4 \} + F_{cl} \cdot h_c (T_{cl} - T_a) \quad (1)$$

και

$$T_{cl} = 35,7 - 0,0275 H_M/A_D (1 - \eta) - 0,155 I_{cl}, [0,71 \sigma \cdot F_{cl} \\ \times [(T_{cl} + 273)^4 - (T_{mrt} + 273)^4] + F_{cl} \cdot h_c (T_{cl} - T_a)] \quad (2)$$

Οι μεταβλητές που εμφανίζονται στις εξισώσεις (1) και (2) είναι οι  $I_{cl}$ ,  $F_{cl}$ ,  $H_M/A_D$ ,  $\eta$ ,  $v$ ,  $T_a$ ,  $P_a$ ,  $T_{mrt}$ . Αυτές εξαρτώνται από το ντύσιμο, τη δραστηριότητα και από τις συνθήκες του περιβάλλοντος.

Όπου:

$I_{cl}$  = η θερμική αντίσταση κάθε επιμέρους ρουχισμού

$F_{cl}$  = ο λόγος του εμβαδού της επιφάνειας ντυμένου σώματος προς το εμβαδόν επιφάνειας γυμνού σώματος

$v$  = η ταχύτητα του αέρα (m/s)

$T_a$  = η θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C)

$P_a$  = η μερική πίεση ατμών του αέρα (mb)

$T_{mrt}$  = η Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας (°C)

$\sigma$  = η σταθερά Stefan - Boltzman ( $5,78 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ )

$T_{cl}$  = η θερμοκρασία εξωτερικής επιφάνειας ενδεδυμένου σώματος

$h_c$  = συντελεστής μεταφοράς θερμότητας με συναγωγή ( $\text{W/m}^2 \cdot \text{°C}$ )

Με λίγα λόγια η εξίσωση του Fanger περιγράφει σε ένα συνδυασμό τεσσάρων φυσικών μεταβλητών (θερμοκρασία αέρα, μέση ακτινοβολούμενη θερμοκρασία, σχετική υγρασία και ταχύτητα του αέρα) και δύο προσωπικών μεταβλητών (ενδυματολογική μόνωση και επίπεδο δραστηριότητας).

Αυτό το μοντέλο ορίζει την συνδυασμένη συνθήκη με την οποία οι περισσότεροι άνθρωποι θα ένιωθαν άνετα για οποιοδήποτε επίπεδο δραστηριότητας και ένδυσης. Ο Fanger ήταν αυτός που ανέπτυξε την μέση προβλεπόμενη ψήφο ως μέθοδο μέτρησης του επιπέδου θερμικής ουδετερότητας και επίσης του βαθμού δυσφορίας του υποκειμένου σαν προβλεπόμενο ποσοστό δυσαρεστημένων ανθρώπων (PPD)(Fanger 1970).

### 3.1.2 Ερευνητικές εργασίες

Αυτό το μοντέλο της θερμικής άνεσης βασίστηκε σε ένα μεγάλο εύρος επιτόπιων ερευνητικών εργασιών που πραγματοποιήθηκαν σε ολόκληρο τον κόσμο. Αυτές οι μελέτες έδειξαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των τιμών θερμικής άνεσης που βασίζονται στην εξίσωση του Fanger PMV και την πραγματική αντίληψη της θερμικής άνεσης σε κατοικίες και κτίρια γραφείων (Humphreys 1994, Stoop 2002).

Διάφοροι ερευνητές, μέσω των επιτόπιων ερευνητικών εργασιών, έδειξαν οι άνθρωποι με διαφορετική κουλτούρα θεωρούν των εαυτό τους άνετο μέσα σε ένα διαφορετικό εύρος θερμοκρασιών. Υπάλληλοι γραφείου στην Ταϊλάνδη ένιωθαν άνετα σε εσωτερικές θερμοκρασίες μεγαλύτερες από αυτούς που δουλεύουν σε πιο εύκρατα κλίματα (Busch 1992). Πακιστανοί υπάλληλοι γραφείου αισθανόντουσαν θερμική άνεση σε θερμοκρασίες μεταξύ 17 και 31 °C και η προτίμηση στην εσωτερική θερμοκρασία ποίκιλλε με το κλίμα και την εποχή (Nicol and Roaf 1996, Nicol et al 1999). Υπήρξαν επίσης διαφορές στην θερμική αντίληψη και στις πρακτικές μεταξύ των εργαζομένων σε φυσικά και τεχνητά κλιματιζόμενα κτίρια οι οποίες υποδείχτηκαν από αυτές τις ερευνητικές εργασίες και συνδέθηκαν με την κουλτούρα και τις κλιματικές συνθήκες (de Dear and Auliciems 1988). Οι de Dear and Auliciems βρήκαν σημαντική διαφορά στην αντίληψη της θερμικής άνεσης μεταξύ των ανθρώπων που βρίσκονταν σε κλιματιζόμενα και φυσικά κλιματιζόμενα κτίρια.

Άλλοι ερευνητές παρουσίασαν στοιχεία και εξισώσεις που υποδεικνύουν σημαντικές διαφορές στην αντίληψη της θερμικής άνεσης σε φυσικά κλιματιζόμενα κτίρια, μεταξύ ανθρώπων που ζουν σε ζεστό και υγρό περιβάλλον σε σχέση με άλλες περιοχές του κόσμου ( π.χ de Dear and Fountain 1994, Kwok 1998, Heidari and Sharples 2001, Wong and Khoo 2003, Feriadi and Wong 2004, Cheng and Ng 2006, Rangsiraksa 2006, Corgnati et al. 2007, Han et al. 2007, Zhang et al. 2007, Hwang et al 2009). Στον πίνακα 3.1 παρουσιάζεται μια μικρή σύνοψη των αποτελεσμάτων.

Αναφορά	Πόλη, Χώρα	Εξίσωση παλινδρόμησης και βέλτιστη θερμοκρασία	Τιμή R <sup>2</sup>	Εύρος θερμοκρασιών που ερευνήθηκε
Zhang et al (2007)	Changsha, Κίνα	MSV =0.05 T <sub>o</sub> -0.96 T <sub>n</sub> =20.9°C	0.37	17–29°C (καλοκαίρι)
Rangsikarsa (2006)	Μπανγκόγκ, Ταϊλάνδη	MSV=0.16 T <sub>o</sub> -4.01 T <sub>n</sub> =25.2°C MSV=0.45T <sub>o</sub> -12.71 T <sub>n</sub> =28.0°C	0.13 0.46	20–30°C (χειμώνας) 22–34°C (καλοκαίρι)
Wong and Khoo (2003)	Σιγκαπούρη	MSV=0.53T <sub>o</sub> -15.43 T <sub>n</sub> =29.1°C	0.64	27–32°C (καλοκαίρι)
Feriadi and Wong (2004)	Τζακάρτα, Ινδονησία	MSV=0.59T <sub>o</sub> -17.21 T <sub>n</sub> =29.2°C	0.18	26–33°C (καλοκαίρι)
Han et al (2007)	Νότια Κίνα	MSV=0.41T <sub>o</sub> -11.71 T <sub>n</sub> =28.6°C		25–36°C (καλοκαίρι)
Hwang et al (2009)	Taichung ,Ταιβάν	MSV=0.17 T <sub>o</sub> -3.94 MSV=0.01 T <sub>o</sub> -0.30 MSV=0.35T <sub>o</sub> 10.27 T <sub>n</sub> =22.7–29.1°C	0.93 0.04 0.89	15–34°C (καλοκαίρι χειμώνας)

**Πίνακας 3.1** Σύνοψη παλινδρομικών εξισώσεων από μελέτες σε ζεστά και υγρά κλίματα. MSV(mean sensation vote) μέση τιμή αίσθησης, T<sub>o</sub> θερμοκρασία λειτουργίας, T<sub>n</sub> βέλτιστη (ουδέτερη) θερμοκρασία.

Υπήρξαν επίσης εργασίες οι οποίες έδειξαν ότι η θερμική άνεση μπορεί να καθοριστεί μερικώς από την συμπεριφορά των υποκειμένων (Nicol and Humphreys 2007). Αντίθετα με την μέθοδο του δείκτη PMV , η θερμική άνεση δεν βασίζεται μόνο στις έξι γνωστές παραμέτρους, αλλά επίσης από το γεγονός ότι η άνθρωποι τείνουν να κάνουν τους εαυτούς τους θερμικά άνετους αλλάζοντας τα ρούχα τους, την δραστηριότητά τους και την θέση τους.

Άλλες ερευνητικές εργασίες έδειξαν ότι σε φυσικά αεριζόμενα κτίρια (free running) οι άνθρωποι μπορούν να προσαρμοστούν σε υψηλότερες εσωτερικές θερμοκρασίες από αυτές που προβλέπει το μοντέλο PMV αλλά υπάρχει η αβεβαιότητα ότι ‘χρειάζεται περεταίρω εξέταση, εάν οι άνθρωποι θα έχουν πάλι το ίδιο επίπεδο απόδοσης σε υψηλότερες θερμοκρασίες’ (Olesen, B 2004). Επίσης έχει γραφτεί ότι σε κτίρια γραφείων χωρίς κλιματισμό ‘μεταξύ 25 και 28<sup>o</sup>C, όλο και αυξανόμενος αριθμός ανθρώπων θα αισθάνεται ζεστή, δυσφορία και θα παρουσιάζει μικρότερη παραγωγικότητα’ (CIBSE Guide A 2006).

## 3.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την θερμική άνεση

### 3.2.1 Περιβαλλοντικοί παράγοντες

Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω ο Fanger (1970) πρότεινε ότι οι πιο σημαντικές παράμετροι που επηρεάζουν την κατάσταση της θερμικής άνεσης είναι : η δραστηριότητα του ανθρώπου (παραγωγή θερμότητας από το σώμα), η θερμική αντίσταση του ρουχισμού (η τιμή clo), η θερμοκρασία του αέρα, η μέση ακτινοβολούμενη θερμοκρασία, η σχετική ταχύτητα αέρα και η υγρασία. Ο Jones, P (1999) επίσης στο Μετρητικό εγχειρίδιο ορίζει την επίτευξη θερμικής άνεσης σαν μία ισορροπία μεταξύ του μεταβολικού ρυθμού παραγωγής θερμότητας και της απώλειας θερμότητας και επισημαίνει ότι εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την θερμική περιβαλλοντική κατάσταση , την δραστηριότητα και την μόνωση του ρουχισμού. Συνεπώς η θερμική άνεση εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό σε αυτούς τους δύο προσωπικούς παράγοντες (δραστηριότητα και ρυθμό μεταβολισμού που αναπτύχθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο) και σε τέσσερις περιβαλλοντικούς παράγοντες (θερμοκρασία αέρα, μέση ακτινοβολούμενη θερμοκρασία, ταχύτητα αέρα και υγρασία που θα αναπτυχθούν στην συνέχεια). Η θερμική άνεση μπορεί να επιτευχθεί με πολλούς διαφορετικούς συνδυασμούς των παραπάνω μεταβλητών και επομένως από την χρήση τεχνικών συστημάτων με θεμελιώδης διαφορές.

#### 3.2.1.1 Η θερμοκρασία του αέρα

Η θερμοκρασία αέρα είναι «η θερμοκρασία ξηρού βολβού του αέρα που περιβάλλει τους χρήστες ενός χώρου » (ASHRAE Standard 55-2004). *‘Η θερμοκρασία είναι κυρίως αυτή που καθορίζει την γενική αίσθηση κρύου ή ζεστού κάποιου ανθρώπου. Η εξάτμιση του ιδρώτα στην επιφάνεια του δέρματος είναι ο κυρίως τρόπος δροσισμού του σώματος’* (Aronoff 1995). Η θερμοκρασία του αέρα στο χώρο είναι συνήθως ο πιο σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την θερμική άνεση (CIBSE Guide A 2006). Η θερμοκρασία του αέρα μπορεί να μετρηθεί με ένα απλό θερμόμετρο ξηρού βολβού το οποίο δεν πρέπει να επηρεάζεται από καμία ακτινοβολούμενη θερμότητα (CIBSE Knowledge series-comfort 2006) και αποτελεί μια από τις πιο σημαντικές παραμέτρους της θερμικής άνεσης, δημιουργώντας την αίσθηση της «ζέστης» ή του «κρύου» σε ένα συγκεκριμένο εσωτερικό χώρο. Άλλωστε, το μεγαλύτερο ποσοστό της θερμότητας που αποβάλλεται από το ανθρώπινο σώμα, μεταφέρεται στο περιβάλλον, ανάλογα με τη θερμοκρασία που επικρατεί σε αυτό. Η θερμοκρασία

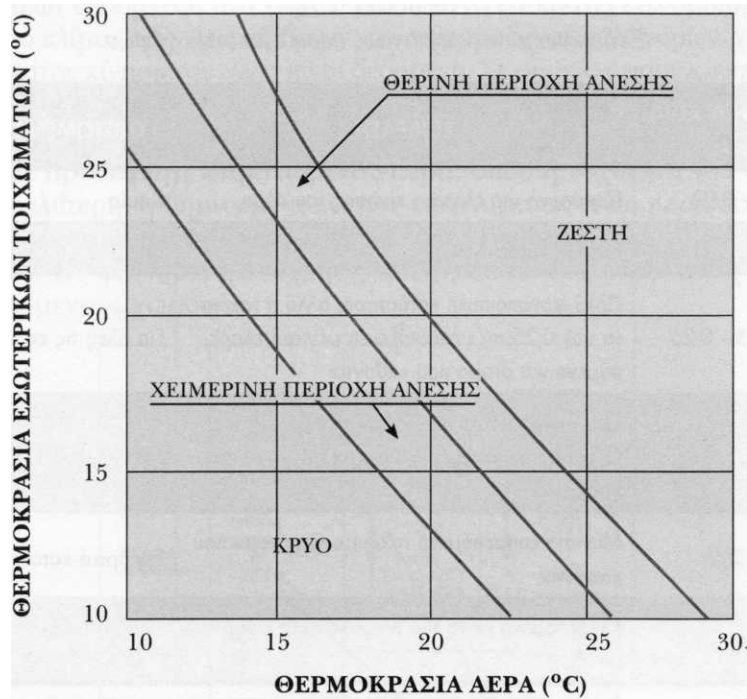
ξηρού βολβού είναι σημαντική για την ρύθμιση της άνεσης, ειδικά σε κρύες συνθήκες και σχετική υγρασία μεταξύ 40-60%.

Οι παράμετροι που επηρεάζουν τη θερμοκρασία στο εσωτερικό των κτιρίων (Πίνακας 3.2) μπορούν να ενταχθούν σε τρεις κατηγορίες: το εξωτερικό περιβάλλον, το σχεδιασμό του κτιρίου και το σύστημα θέρμανσης, ψύξης και αερισμού.

1	Το εξωτερικό περιβάλλον
2	Ο προσανατολισμός του κτιρίου
3	Τα υλικά κατασκευής και τα υλικά θερμομόνωσης του κτιρίου
4	Ο τρόπος αερισμού του κτιρίου (μηχανικός ή φυσικός)
5	Ο τρόπος σχεδιασμού, κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης ενός μηχανικά αεριζόμενου κτιρίου
6	Ο τρόπος σχεδιασμού ενός φυσικά αεριζόμενου κτιρίου
7	Ο τρόπος σχεδιασμού, κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης του συστήματος θέρμανσης και του συστήματος ψύξης του κτιρίου
8	Ο τύπος και ο αριθμός των ηλεκτρικών συσκευών, μηχανημάτων ή εξοπλισμού γραφείων που υπάρχουν στο κτίριο και παράγουν θερμότητα (π.χ. οθόνες Η/Υ)
9	Ο τρόπος λειτουργίας του κτιρίου και των συστημάτων αερισμού, θέρμανσης και ψύξης από τους χρήστες του κτιρίου

**Πίνακας 3.2** Παράμετροι που επηρεάζουν τη θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό ενός κτιρίου

Ο Βραχόπουλος (2004) δίνει ένα διάγραμμα που συσχετίζει την θερμοκρασία του αέρα σε εσωτερικό χώρο σε απόσταση 1,60-1,80 m από το δάπεδο και τον μέσο όρο ακτινοβολίας των τοιχωμάτων του χώρου και συνεπώς με την θερμοκρασία των εσωτερικών τοιχωμάτων :



Διάγραμμα 3.1: Διάγραμμα συσχετισμού θερμοκρασίας αέρα χώρου με τη θερμοκρασία των εσωτερικών τοιχωμάτων (Βραχόπουλος 2004).

### 3.2.1.2 Η ταχύτητα του αέρα

Είναι ' μια μέση τιμή της στιγμιαίας ταχύτητας του αέρα σε μια χρονική περίοδο '(ASHRAE Standard 55 2004).

Η κίνηση του αέρα γύρω από το ανθρώπινο σώμα μπορεί να επηρεάσει το αίσθημα της θερμικής άνεσης καθορίζοντας, αφενός την ανταλλαγή της θερμότητας, με μεταφορά (συναγωγή), ανάμεσα στο ανθρώπινο σώμα και το περιβάλλον, και αφετέρου την περιεκτικότητα του αέρα σε υδρατμούς. Έτσι, η απώλεια θερμότητας με συναγωγή από το ανθρώπινο σώμα, εξαρτάται από την ένταση του αέρα και τη θερμοκρασιακή διαφορά ανάμεσα στο δέρμα και το περιβάλλον.

Όταν, λοιπόν, η θερμοκρασία του αέρα είναι χαμηλότερη από τη θερμοκρασία του σώματος, η δημιουργία ρεύματος προκαλεί την αίσθηση του ψύχους και δημιουργεί δυσφορία στους ενοίκους. Αντίθετα, όταν η θερμοκρασία του αέρα είναι υψηλότερη από τη θερμοκρασία του σώματος, οι υψηλές ταχύτητες αέρα αυξάνουν τους ρυθμούς εφίδρωσης, και κατά συνέπεια, βελτιώνουν την αίσθηση του δροσισμού, εξουδετερώνοντας, ως ένα βαθμό, την αρνητική επίδραση της τυχούσας υψηλής υγρασίας.

Ο βαθμός, πάντως, στον οποίο αισθάνεται κάποιος την κίνηση του αέρα εξαρτάται, επιπλέον, από το είδος της ενδυμασίας, το είδος της απασχόλησης, ακόμη και από το μέρος του σώματος στο οποίο δέχεται το ρεύμα αέρα. Για παράδειγμα, όταν ένας



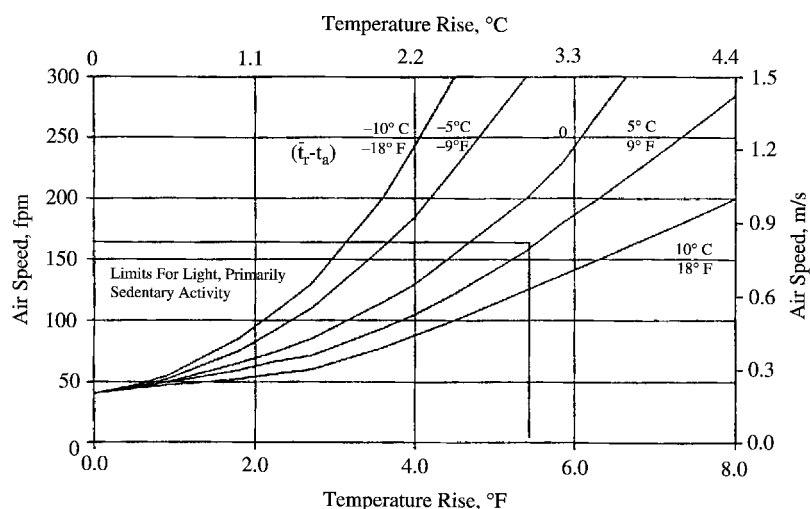
άνθρωπος δέχεται ρεύμα αέρα στην πλάτη, αισθάνεται συνήθως δυσφορία, διότι στο πίσω μέρος του σώματος η αίσθηση της μεταβολής της θερμοκρασίας είναι εντονότερη.

Σύμφωνα με τους Berensen και Benzingen (Ντούνης 1992), δίνονται στον παρακάτω πίνακα 3.3, για κάθε μέρος του σώματος, οι βέλτιστες θερμοκρασίες επιδερμίδας και το ποσό θερμότητας που αποβάλλεται όταν ο άνθρωπος αισθάνεται θερμικά άνετα:

Περιοχή του σώματος	Επιφάνεια σε m <sup>2</sup>	Βέλτιστες θερμοκρασίες επιδερμίδας σε °C	Αποβολή θερμότητας σε kcal/h
Κεφάλι και λαιμός	0,20	34,7	4,0
Στήθος	0,17	34,7	7,9
Κοιλιά	0,12	34,7	4,5
Πλάτη	0,23	34,7	12,4
Επάνω μηρός	0,33	34,7	12,0
Κάτω μηρός	0,20	31,0	14,5
Πόδια	0,12	28,6	9,9
Επάνω βραχίονας	0,10	33,0	7,9
Κάτω βραχίονας	0,08	30,9	8,6
Χέρια	0,07	28,6	15,9
Συνολικά	1,80	34,0	105,8

Πίνακας 3.3 Βέλτιστες θερμοκρασίες επιδερμίδας και το ποσό θερμότητας για κάθε μέρος του σώματος

Κατά τη διάρκεια της θερινής, ειδικά, περιόδου ο φυσικός αερισμός μπορεί να αυξήσει την ταχύτητα του αέρα έτσι ώστε να είναι δυνατή η επίτευξη του αισθήματος της θερμικής άνεσης σε υψηλότερες θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Τα πρότυπα ASHRAE και ISO7730 δέχονται μία αυξημένη ταχύτητα αέρα έως 0.8 m/s για καθιστική δραστηριότητα, η οποία όμως πρέπει να είναι κάτω από προσωπικό έλεγχο (Olesen 2004). Εξάλλου πάνω από το όριο αυτό είναι δυνατό να παρασυρθούν ελεύθερα φύλλα χαρτιού. Επίσης χρησιμοποιώντας ανεμιστήρες στην προσπάθεια προσαρμογής σε θερμότερο περιβάλλον η ταχύτητα του αέρα αυξάνεται (ISO 7730 2005). Στο διάγραμμα 3.2 φαίνεται καθαρά η απαιτούμενη ταχύτητα του αέρα το καλοκαίρι με επίπεδο ένδυσης 0.5 clo και καθιστική δραστηριότητα (1.2 met) για την επίτευξη θερμικής άνεσης. Το σημείο αναφοράς για την θερμοκρασία είναι 26 °C και 0.20 m/s σε αυτό το σχήμα.



**Διάγραμμα 3.2. Απαιτούμενη ταχύτητα αέρα για να αντισταθμιστεί η άνοδος της θερμοκρασίας (Olesen et al. 2006)**

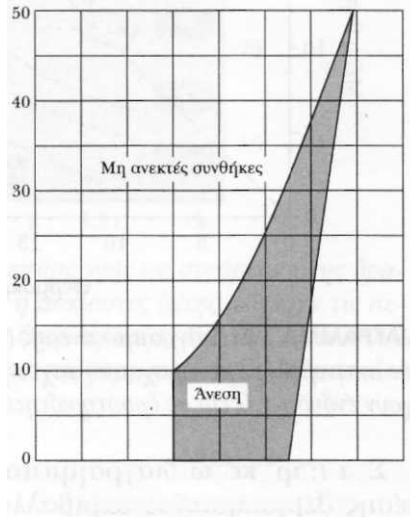
Με μια υψηλή ταχύτητα αέρα, λοιπόν, είναι δυνατό να διατηρούμε τη θερμοκρασία ενός χώρου κατά 2°C υψηλότερη, σε μια υγρασία γύρω στο 60%, επιτυγχάνοντας ταυτόχρονα τη βέλτιστη θερμική άνεση. Αυτό σημαίνει ότι οι ένοικοι μπορούν να αισθάνονται εξίσου άνετα σε υψηλότερες θερμοκρασίες αέρα. Συνεπώς, όσον αφορά τους κλιματιζόμενους χώρους, μας δίνεται η δυνατότητα να θέσουμε την ένδειξη του θερμοστάτη σε υψηλότερα επίπεδα, γεγονός που μεταφράζεται τελικά σε μικρότερη κατανάλωση ενέργειας.

ΕΝΔΕΙΚΝΥΟΜΕΝΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΑΕΡΑ ΣΕ ΚΛΕΙΣΤΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ* (TOTEE 2423/86)	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΕΡΑ (m/s)	ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΥΝΙΣΤΩΜΕΝΗ ΧΡΗΣΗ
0-0,08	Παράπονα για έλλειψη κίνησης του αέρα
0,125	Ιδανική κατάσταση
0,125÷0,25	Πολύ ικανοποιητική κατάσταση αλλά η ταχύτητα των 0,25 m/s πλησιάζει τη μέγιστη
0,325	Όχι ικανοποιητική για χώρους γραφείων. Ο αέρας παρασύρει ελαφριά χαρτιά από τα γραφεία
0,375	Μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα για άτομα που κινούνται Εμπορικά καταστήματα
0,375÷1,5	Επιτρεπόμενη μόνο για βιομηχανικές εφαρμογές

- Οι παραπάνω ταχύτητες αναφέρονται στη ζώνη διαμονής ατόμων κάθε χώρου (από το δάπεδο μέχρι 2 m ύψος περίπου)

Πίνακας 3.4: Ενδεικνυόμενες ταχύτητες αέρα σε κλειστούς χώρους(TOTEE 2423/86)

Ο Βραχόπουλος (2004) δίνει και το παρακάτω διάγραμμα:



Διάγραμμα 3.3 Περιοχή άνεσης ανάλογα με την ταχύτητα του αέρα στο χώρο.

### 3.1.1.3 Υγρασία του αέρα

Η υγρασία μπορεί να οριστεί ως σχετική και απόλυτη υγρασία (ISO 7730 2005). Ορίζεται σαν 'ο λόγος της μερικής πίεσης (ή πυκνότητας) του ατμού στον αέρα ως προς την μερική πίεση (ή πυκνότητας) του κορεσμένου ατμού, στην ίδια θερμοκρασία και ολική πίεση' (ASHRAE Standard 55 2004). Η υγρασία επηρεάζει την γενική θερμική άνεση του σώματος που απαιτείται στο θερμικό ισοζύγιο του μοντέλου θερμικής άνεσης. Κάθε 10% στην αύξηση της σχετικής υγρασίας θεωρείται ότι είναι ισοδύναμο με μία αύξηση της τάξης 0.3°C στην θερμοκρασία λειτουργίας (ISO 7730 2005). Η επιρροή αυτή μειώνεται στις μεσαίες θερμοκρασίες (<26°C ) και μέτριο επίπεδο δραστηριότητας (<2 met), όμως σε υψηλότερες θερμοκρασίες και δραστηριότητες η επιρροή είναι μεγαλύτερη (ISO 7730 2005). 'Η μικρή σχετική υγρασία αυξάνει την διαδικασία δροσισμού με εξάτμιση, για αυτό το λόγο ένα ζεστό περιβάλλον με χαμηλά επίπεδα υγρασίας είναι πιο άνετο από κάποιο με την ίδια θερμοκρασία αλλά με μεγαλύτερη υγρασία' (Aronoff 1995). Στο αναθεωρημένο πρότυπο ASHRAE 55(2004) δεν υπάρχει κατώτερο επίπεδο υγρασίας και το πάνω όριο ορίζεται σαν ο λόγος υγρασίας 12g/kg.

Η υγρασία, γενικά, καθορίζει την ικανότητα αποθήκευσης υδρατμών από τον αέρα. Η χαμηλή σχετική υγρασία του αέρα ενισχύει την αποβολή νερού από το ανθρώπινο σώμα (υπό τη μορφή ιδρώτα που εξατμίζεται), προκαλώντας έτσι μια αίσθηση δροσισμού. Το αντίθετο αποτέλεσμα έχει η υψηλή υγρασία, η οποία παρεμποδίζει την

εξάτμιση του ιδρώτα, δηλαδή την αποβολή θερμότητας που είναι και ο μόνος τρόπος διατήρησης του θερμικού ισοζυγίου σε υψηλές θερμοκρασίες. Γενικά η σχετική υγρασία δεν έχει νόημα σαν χωριστός περιβαλλοντικός δείκτης χωρίς την γνώση της θερμοκρασίας ξηρού βολβού.

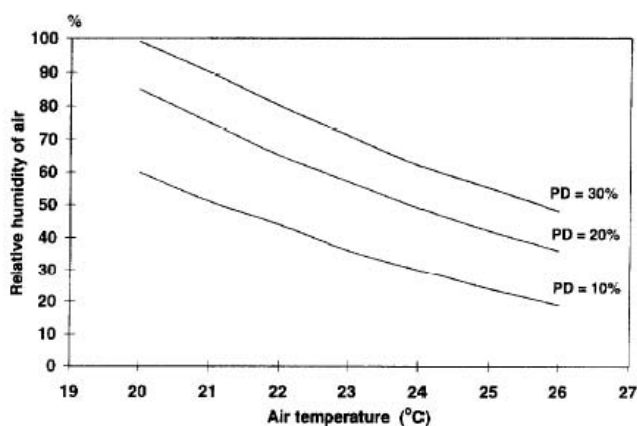
Πειραματικές μελέτες που έγιναν σε πανεπιστήμιο της Δανίας, (Santamouris 1996) έδειξαν ότι σε μεταβατικές συνθήκες (δηλαδή, όταν ένας άνθρωπος βγαίνει έξω από το κτίριο ή μετακινείται από ένα χώρο σε κάποιον άλλο με διαφορετική υγρασία), η θερμική επίδραση της υγρασίας στο αίσθημα της άνεσης είναι 2-3 φορές μεγαλύτερη σε σχέση με την επίδραση της σε συνθήκες παρατεταμένης παραμονής σε ένα χώρο στον οποίο η υγρασία διατηρείται σταθερή.

Γενικά, η σχετική υγρασία σε ένα εσωτερικό χώρο πρέπει να κυμαίνεται ανάμεσα στο 30-70%. Σχετική υγρασία κάτω του 30%, προκαλεί ξηρότητα των βλεννογόνων, του λαιμού, ακόμη και προβλήματα στην όραση, ενώ σχετική υγρασία άνω του 70% μπορεί να προκαλέσει το σχηματισμό μούχλας στο χώρο. Στους συνήθεις υπολογισμούς, πάντως, η σχετική υγρασία λαμβάνεται γύρω στο 50%.

Για τον υπολογισμό της μπορούν να χρησιμοποιηθούν η Θερμοκρασία σημείου δρόσου,  $T_{dp}$ , η μερική πίεση υδρατμών,  $P_a$  και η Θερμοκρασία υγρού βολβού,  $T_{wb}$ .

Η θερμοκρασία σημείου δρόσου είναι η μετρούμενη όταν ο αέρας είναι κορεσμένος με υδρατμούς. Η μετρούμενη πίεση σε  $T_{dp}$ , είναι η ατμοσφαιρική πίεση υδρατμών  $P_a$ .

Η θερμοκρασία υγρού βολβού είναι η θερμοκρασία για κάθε κατάσταση αέρα όσον αφορά την περιεκτικότητα σε υδρατμούς, στην οποία το νερό μπορεί να εξατμισθεί και να κορέσει τον αέρα, ακριβώς στην ίδια πίεση και θερμοκρασία. Είναι ένας δείκτης για την έντονη θερμική καταπόνηση, με ανώτερο όριο ανοχής τους 30°C για ακίνητο αέρα.

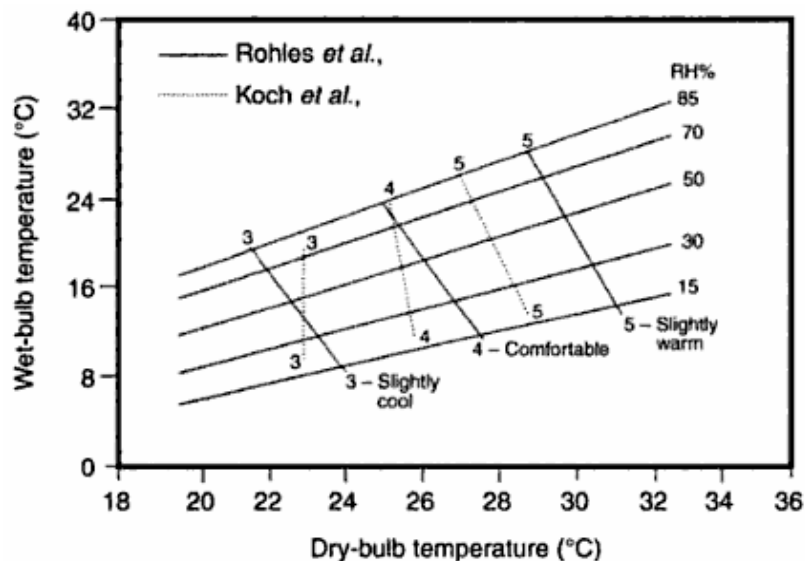


**Διάγραμμα 3.4** Σχέση που συνδέει τη θερμοκρασία του αέρα, τη σχετική του υγρασία και το ποσοστό των δυσαρεστημένων χρηστών που συνδέεται με την αίσθηση του αέρα στην αναπνευστική οδό (Toftum et al 1997).

Στο διάγραμμα 3.4 παρουσιάζεται η σχέση μεταξύ υγρασίας και θερμοκρασίας αέρα σε σχέση με το 10, 20, 30% των δυσαρεστημένων χρηστών. Η δυσαρέσκεια αφορά σ' αυτή την περίπτωση μόνο την αίσθηση που προκαλεί ο αέρας στην αναπνευστική οδό. Το διάγραμμα 3.4 επιβεβαιώνει πλήρως τη σχέση μεταξύ υγρασίας, θερμοκρασίας και της θερμικής αίσθησης του αέρα κατά την αναπνοή.

Οι Nevins et al.(1966) πραγματοποίησαν μια σειρά πειραμάτων με συγκεκριμένες συνθήκες (72 διαφορετικές παραλλαγές) στο πανεπιστήμιο του Kansas χρησιμοποιώντας τις υποκειμενικές απαντήσεις 360 ανδρών και 360 γυναικών φοιτητών, για να επανεκτιμήσουν τις συνθήκες της θερμικής άνεσης που επηρεάζονται από την αλλαγή της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας.

Για τον ίδιο λόγο οι Rohles και Nevins (1971) πραγματοποίησαν μια παρόμοια έρευνα αρκετά πιο εκτεταμένη χρησιμοποιώντας 800 άνδρες και 800 γυναίκες φοιτητές. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η συγκριτικά, η σύνοψη των αποτελεσμάτων τους.



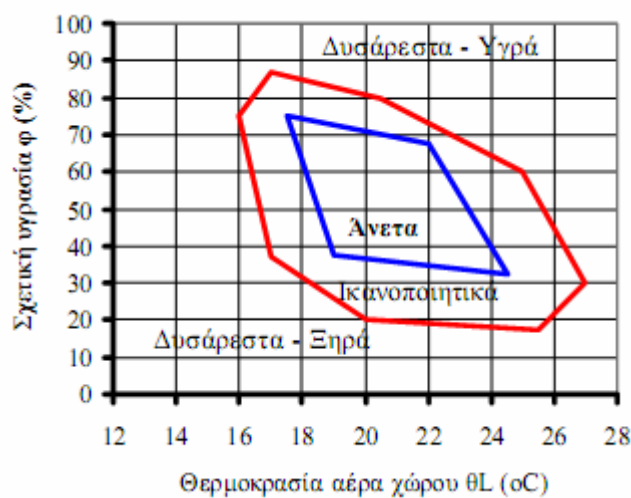
**Διάγραμμα 3.5 Σύγκριση των αποτελεσμάτων εργαστηριακών ερευνών σε μεγάλο αριθμό υποκειμένων (Rohles and Nevins 1971)**

Με βάση τη θεωρία της θερμικής άνεσης πολλοί οργανισμοί έχουν εκδώσει οδηγίες και κανονισμούς για τα επιτρεπτά επίπεδα των τιμών θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας. Στη χώρα μας το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας (ΤΕΕ) με την τεχνική οδηγία 2425/86 προτείνει ως συνιστώμενες συνθήκες σχεδιασμού για κλιματιζόμενους χώρους, τις τιμές που παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.5

σύμφωνα με την τεχνική οδηγία 2425/86 του ΤΕΕ

ΣΥΝΙΣΤΩΜΕΝΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ ΚΛΙΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ ΤΟ ΧΕΙΜΩΝΑ (ΤΟΤΕΕ 2425/86)			
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΧΩΡΟΥ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	ΥΓΡΑΣΙΑ	
Κατοικίες	22	30-50	
Κτίρια γραφείων	21-23	30-35	
Βιβλιοθήκες - Μουσεία	20-22	40-50	
Νοσοκομεία	24	30	
Εστιατόρια και Κέντρα διασκέδασης	21-23	30-40	
ΣΥΝΙΣΤΩΜΕΝΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ ΚΛΙΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ ΤΟ ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ (ΤΟΤΕΕ 2425/86)			
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΧΩΡΟΥ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	ΥΓΡΑΣΙΑ	
Κατοικίες	25-26	40-50	
Κτίρια γραφείων	25-26	40-50	
Βιβλιοθήκες - Μουσεία	22	40-55	
Εστιατόρια και Κέντρα διασκέδασης	23-26	50-60	
Εκπαιδευτικά κτίρια	26	45-50	
Νοσοκομεία	Αίθουσες	24	45-50
	Χειρουργεία	20-24	50-60
	Αναρρωτήρια	24	50-60

Πίνακας 3.5 Συνιστώμενες συνθήκες σχεδιασμού για κλιματιζόμενους χώρους



Διάγραμμα 3.6 Περιοχή άνεσης ανάλογα με την αναπτυσσόμενη σχετική υγρασία του χώρου

### 3.1.1.4 Μέση ακτινοβολούμενη θερμοκρασία (ή μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας).

Η μέση ακτινοβολούμενη θερμοκρασία, σε σχέση με κάποιον άνθρωπο που βρίσκεται σε ένα συγκεκριμένο σημείο ενός δωματίου και έχει μια δεδομένη στάση σώματος αλλά και ένα συγκεκριμένο τρόπο ένδυσης, «ορίζεται ως η ομοιόμορφη επιφανειακή θερμοκρασία ενός φανταστικού μαύρου κελύφους, που θα προκαλέσει την ίδια ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ ατόμου και αυτού, με αυτή που λαμβάνει χώρα στις εξεταζόμενες συνθήκες» (ASHRAE 55 2004).

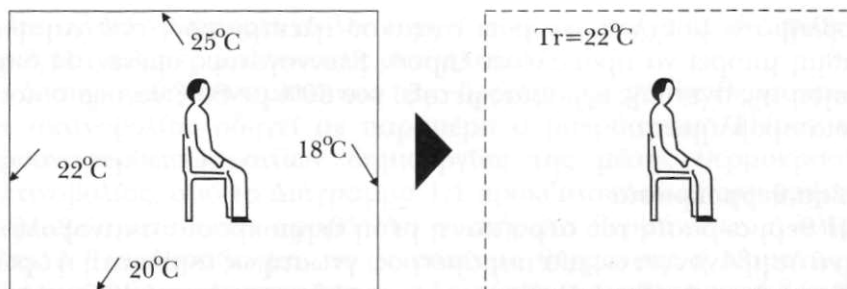
Η μέση ακτινοβολούμενη θερμοκρασία ή αλλιώς μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας είναι η γεωμετρική μέση τιμή της θερμοκρασίας των επιφανειών που περιβάλλουν το χώρο (Σχήμα 3.1). Περιλαμβάνει το φαινόμενο της θερμικής ακτινοβολίας, που παρατηρείται και έχει σημαντική επίπτωση στην ανθρώπινη άνεση (ως θερμοκρασία του αέρα).

Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας συνήθως προσδιορίζεται με τη χρήση σφαιρικού θερμομέτρου, δηλαδή ενός μαύρου σφαιρικού κελύφους με θερμικό αισθητήρα στο κέντρο της σφαίρας. Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας υπολογίζεται από τη θερμοκρασία της σφαίρας, τη θερμοκρασία και την ταχύτητα του αέρα.

Καθώς οι εσωτερικές επιφάνειες των εξωτερικών τοίχων ενός άσχημα μονωμένου κτιρίου είναι συνήθως ψυχρότερες κατά το χειμώνα από αυτές ενός όμοιου καλά μονωμένου κτιρίου, μπορεί να διατηρηθούν χαμηλότερα από αυτές του άσχημα μονωμένου κτιρίου, για το ίδιο επίπεδο άνεσης.

Οι επιφάνειες των παράθυρων δέχονται μεγάλες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, με αποτέλεσμα η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας κοντά σε αυτές να είναι χαμηλότερη ή ψηλότερη από ότι στον υπόλοιπο χώρο. Ψυχρές επιφάνειες (όπως το τζάμι μεγάλου παράθυρου το χειμώνα) μπορούν επίσης να προκαλέσουν δυσφορία εξαιτίας ασύμμετρης ακτινοβολίας.

Ένα άτομο που είναι κατευθείαν εκτεθειμένο στην ακτινοβολία μπορεί να αντιμετωπίσει μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας πολύ ψηλότερη από τη θερμοκρασία του αέρα. Για παράδειγμα, η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας μπορεί να είναι ακόμα και κατά 25K μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του αέρα για ένα καθισμένο άτομο του οποίου το σώμα είναι πλήρως εκτεθειμένο στη μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία. Γι' αυτό, η έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία σε κλειστό χώρο μπορεί εύκολα να προκαλέσει δυσφορία. Αυτή μπορεί να γίνει εντονότερη με την ασυμμετρία μεταξύ της εκτεθειμένης πλευράς και της πλευράς που είναι στη σκιά.



Σχήμα 3.1: Η έννοια της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας

Ο υπολογισμός της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας είναι ιδιαίτερα επίπονος (απαιτείται ο πλήρης υπολογισμός του συντελεστή γωνίας μεταξύ του ατόμου και της εξεταζόμενης επιφάνειας) και προσφυγή στην χρήση H/Y και πινάκων των προτύπων ASHRAE 55 (2004) και ISO 7730 για τους συντελεστές γωνίας.

Η INNOVA (2002) προτείνει και τον εξής τύπο:

$$T_{mrt} = \sqrt[4]{\sum_i^n F_{p-i} \cdot (T_i + 273)^4} - 273 \text{ όπου } T_i \text{ είναι η θερμοκρασία δαπέδου}$$

ή από την εργασία του Ντούνη (1992):

$$T_{mrt} = T_1 F_{p-1} + T_2 F_{p-2} + \dots + T_n F_{p-n}$$

όπου

$T_1, T_2, \dots, T_n$  είναι η επιφάνειες που περικλείουν το χώρο (δάπεδο, τοίχοι, οροφή)  
 $F_{p-1}, F_{p-2}, \dots, F_{p-n}$  είναι η συντελεστές (angle factors) οι οποίοι ποικίλουν ανάλογα με την θέση του ατόμου στο χώρο και τη γωνία που σχηματίζει με τις επιμέρους επιφάνειες.

Ωστόσο, ο παραπάνω τύπος θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί με προσοχή, καθώς μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένες εκτιμήσεις. Εάν, για παράδειγμα, θεωρήσουμε ένα δωμάτιο με θερμαινόμενο δάπεδο και ενιαία, μικρότερη θερμοκρασία τοίχων και οροφής, ο παραπάνω τύπος θα υπερεκτιμήσει την  $T_{mrt}$  σε θέση με μεγάλο ύψος, εάν αυξηθεί αρκετά το ύψος του δωματίου.

Η εργασία μέτρησης των θερμοκρασιών των επιφανειών ενός δωματίου είναι χρονοβόρα και ακόμη περισσότερο ο υπολογισμός των παραγόντων των γωνιών που σχηματίζονται. Γι' αυτό και ο υπολογισμός της  $T_{mrt}$  αποφεύγεται αν είναι επιτρεπτό.

Για τον προσδιορισμό της χρησιμοποιούνται η Θερμοκρασία μαύρης σφαίρας ( $T_g$ ), η θερμοκρασία αέρα,  $T_{air}$  και η ταχύτητα αέρα. Η εξίσωση για τον υπολογισμό της είναι:

$$T_{mrt} = \sqrt[4]{(T_g + 273 + \frac{h_g}{h_f} \cdot (T_g - T_{air})) - 273}$$

όπου: ο συντελεστής ροής θερμότητας:  $h_r = \epsilon \times \sigma = 0,95 \times 5,67 \cdot 10^{-8} = 5,38 \cdot 10^{-8}$   
 και για την σφαίρα  $h_g = 6,3 \times v^{0.6} / D^{0.4}$  (ISO7726 1998).



### 3.3 Παράγοντες που προκαλούν έλλειψη θερμικής άνεσης.

#### 3.3.1 Ρεύμα αέρα.

Το πρότυπο ISO7730(2005) ορίζει το ρεύμα αέρα ως *‘μία ανεπιθύμητη τοπική ψύξη του σώματος που προκλήθηκε από την κίνηση του αέρα’*. Η κλίμακα μεγέθους του ρεύματος μετριέται σαν συνάρτηση που περιλαμβάνει την θερμοκρασία του αέρα, την ταχύτητα του αέρα και την ένταση του στροβιλισμού του αέρα. *‘Τα ρεύματα αέρα έχουν αναγνωριστεί σαν ένας από τους πιο ενοχλητικούς παράγοντες στα γραφεία. Όταν οι άνθρωποι αισθάνονται ρεύμα αέρα, ζητούν συχνά μεγαλύτερη θερμοκρασία στο δωμάτιο ή να σταματήσουν τα συστήματα εξαερισμού’* (ASHRAE Fundamental Handbook 2005). Το ποσοστό των ανθρώπων που προβλέπεται να είναι δυσαρεστημένο από ρεύμα αέρα μπορεί να υπολογιστεί με την χρήση της ακόλουθης εξίσωσης (ASHRAE Standard 55 2004):

$$DR = ([34 - t_a] \cdot [v - 0.05]^{0.62}) \cdot (0,37 \cdot v \cdot T_u + 3.14)$$

Όπου

DR= προβλεπόμενο ποσοστό δυσαρεστημένων ανθρώπων.

$t_a$  = τοπική θερμοκρασία αέρα ( $^{\circ}\text{C}$ )

$v$  = τοπικός μέσος όρος ταχύτητας αέρα (m/s)

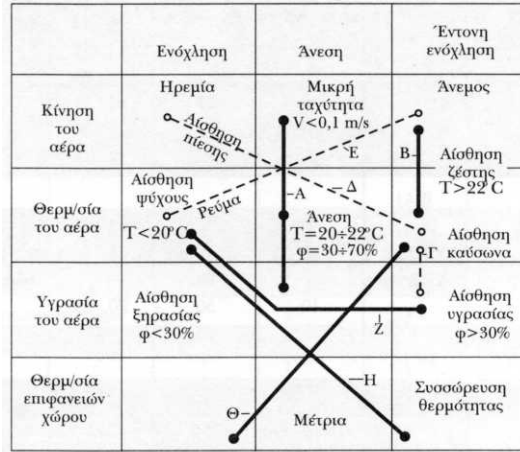
$T_u$  = βαθμός στροβιλισμού του αέρα %

Οι άνθρωποι είναι πιο ευαίσθητοι στα ρεύματα στα δίχως ρούχα μέρη του σώματος τους. Έτσι τα ρεύματα γίνονται συνήθως αντιληπτά στο πρόσωπο, το λαιμό και τα άκρα. Το ποσό της θερμότητας που χάνεται από το δέρμα εξ αιτίας των ρευμάτων εξαρτάται από τη μέση ταχύτητα του αέρα, καθώς επίσης και από την ένταση στροβιλισμού του αέρα και την θερμοκρασία του. Μια υψηλού στροβιλισμού ροή του αέρα είναι πιο ενοχλητική από μια χαμηλού, ακόμα και αποφέρει την ίδια απώλεια θερμότητας.

Οφειλόμενο στο τρόπο που λειτουργούν οι αισθητές κρύου στο δέρμα, ο βαθμός δυσφορίας δεν εξαρτάται μόνο από την τοπική απώλεια θερμότητας: η διακύμανση της θερμοκρασίας του δέρματος έχει επίσης επίδραση, η οποία προκαλεί την έναρξη αποστολής υπερβολικών σημάτων δυσφορίας στον υποθάλαμο. Μάλιστα

διακυμάνσεις με συχνότητα κοντά στα 0,5 Hz είναι οι πλέον δυσάρεστες, ενώ περί τα 2 Hz δεν γίνονται αντιληπτές.

Στο διάγραμμα 3.7 φαίνεται η ενόχληση που προκαλούν ρεύματα αέρα σε κλιματιζόμενους χώρους.



Διάγραμμα 3.7: Προκαλούμενη ενόχληση από ρεύματα αέρα (Βραχόπουλος 2004)

Όπου:

•-----• Ευνοϊκός Συνδυασμός

ο-----ο Δυσμενής Συνδυασμός

A. Συνθήκες άνεσης, με θερμοκρασία τον αέρα 20-22 °c υγρασία 30-70% και ελαφρά κίνηση του αέρα.

B. Σημαντική κίνηση του αέρα και σχετικά υψηλή θερμοκρασία. όταν συνυπάρχουν, μπορούν να δώσουν αίσθημα άνεσης.

Γ. Υψηλή θερμοκρασία και υψηλό ποσοστό υγρασίας δίνουν αίσθημα ενόχλησης (δυσάρεστος καύσωνας ή πνιγηρή ατμόσφαιρα) τόσο μεμονωμένα όσο και σε συνδυασμό.

Δ. Ο στάσιμος ζεστός αέρας προκαλεί ενοχλητική αίσθηση «πίεσης».

E. Ο κρύος και γρήγορα κινούμενος αέρας δίνει ενοχλητικό αίσθημα «ρευστότητας».

Z. Ο αέρας με σχετικά υψηλή σχετική υγρασία γίνεται λιγότερο ενοχλητικός σε κάπως χαμηλότερες θερμοκρασίες.

H. Χαμηλότερη θερμοκρασία του αέρα δεν ενοχλεί, όταν το στερεό περιβάλλον (έπιπλα, τοιχώματα) διαθέτει απόθεμα συσσωρευμένης θερμότητας.

Θ. Υψηλότερη θερμοκρασία του αέρα μπορεί να αντισταθμιστεί από «δροσερότερα-στερεά στο περιβάλλον, όπως και η υψηλότερη θερμοκρασία των στέρεων μπορεί να αντισταθμιστεί με μείωση της θερμοκρασίας του αέρα.

### 3.3.2 Ασυμμετρία στην θερμική ακτινοβολία

Για να περιγραφεί αυτή η ανομοιομορφία στο πεδίο της θερμικής ακτινοβολίας, χρησιμοποιείται η παράμετρος της Ασυμμετρίας θερμοκρασίας ακτινοβολίας,  $\Delta T_{pr}$ .

Η παράμετρος αυτή καθορίζεται ως η διαφορά της θερμοκρασίας ακτινοβολίας επιπέδου, μεταξύ δύο αντίθετων πλευρών ενός μικρού στοιχείου επιπέδων (δωματίου). Πειράματα που εκθέτουν ανθρώπους σε μεταβαλλόμενο βαθμό  $\Delta T_{pr}$ , έχουν αποδείξει ότι θερμά ταβάνια και κρύα παράθυρα προκαλούν την μεγαλύτερη δυσφορία και κρύα ταβάνια και ζεστοί τοίχοι την μικρότερη.

Η θερμοκρασία ακτινοβολίας επιπέδου υπολογίζεται από την εξίσωση:

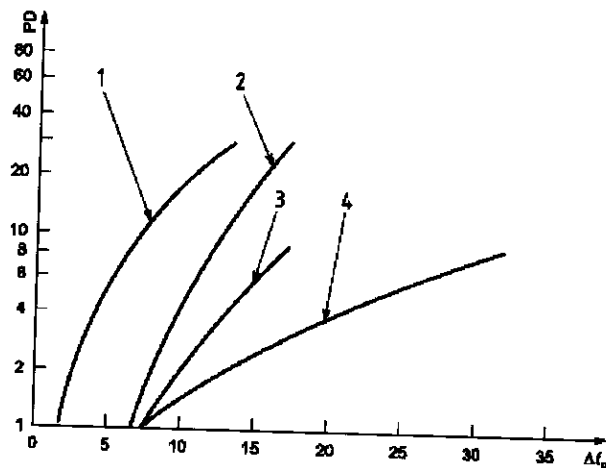
$$T_{pr} = \sqrt[4]{\sum_1^{\mu} f_{pl-i} \cdot (T_i + 273)^4} - 273$$

όπου:

$T_{pr}$  είναι η θερμοκρασία επιπέδου  $i$ .

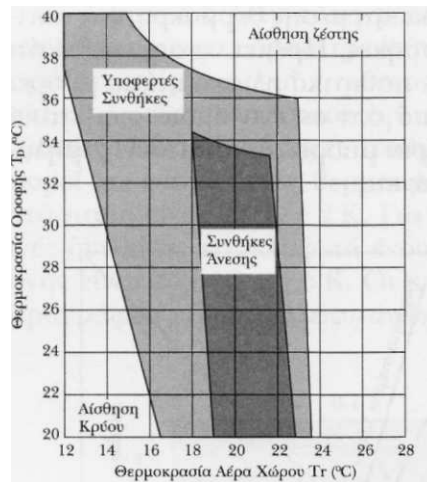
και  $F_{pl-i}$  είναι ο συντελεστής γωνίας μεταξύ επιπέδου και της επιφάνειας  $i$ .

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η ασυμμετρία της ακτινοβολούμενης θερμότητας η οποία προκλήθηκε από ένα ζεστό ταβάνι, ένα κρύο τοίχο και αντιστρόφως υπολογισμένα από το ποσοστό ικανοποίησης (ISO 7730 2005). Οι καμπύλες δείχνουν μία συντηρητική εκτίμηση της δυσφορίας.

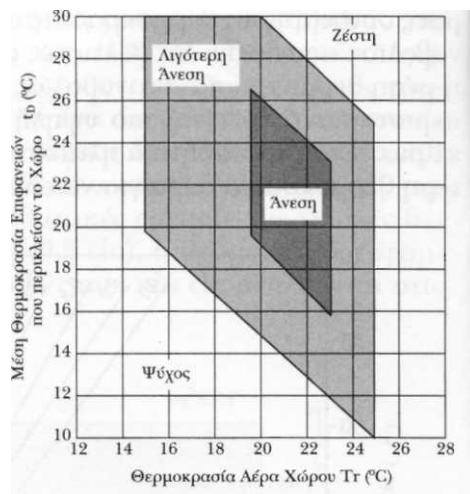


**Διάγραμμα 3.8 :** Τοπική θερμική δυσφορία προκαλούμενη από την ασυμμετρία της ακτινοβολούμενης θερμοκρασίας (ASHRAE 1989).

Στον Βραχόπουλο (2004) συναντάμε και τα παρακάτω γενικά διαγράμματα:



Διάγραμμα 3.9: Περιοχή άνεσης ανάλογα με την θερμοκρασία οροφής (Βραχόπουλος 2004).



Διάγραμμα 3.10: Περιοχή άνεσης ανάλογα με την μέση θερμοκρασία περιμετρικής επιφάνειας (Βραχόπουλος 2004).

### 3.3.3 Κάθετη διαφορά θερμοκρασίας αέρα

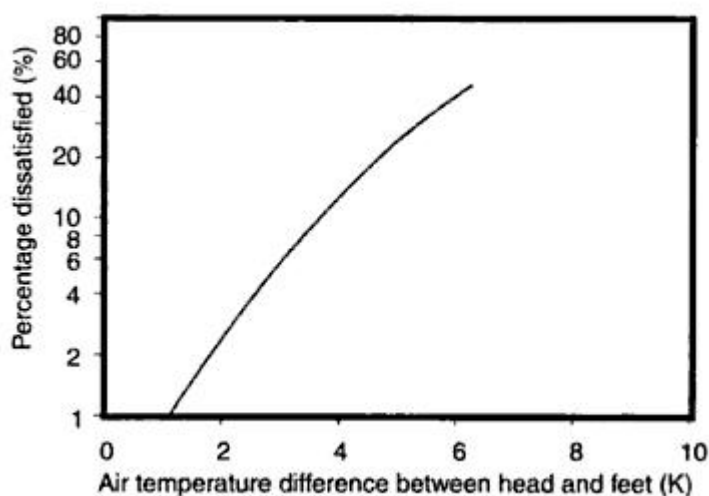
Γενικά είναι δυσάρεστο να είναι κανείς ζεστός στο ύψος του κεφαλιού και την ίδια ώρα να είναι κρύος γύρω από τα πόδια, αδιάφορο αν αυτό οφείλεται σε ακτινοβολία ή μεταφορά.

Πειράματα που έχουν πραγματοποιηθεί με ανθρώπους σε κατάσταση θερμικής ουδετερότητας, δείχνουν ότι μια διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ κεφαλής και ποδιών 3°C έδωσε ένα επίπεδο δυσφορίας του 5%.

Αυτή η διαφορά των 3 βαθμών έχει επιλεγεί σαν το ISO 7730 ανεκτό επίπεδο για ένα άτομο με καθιστική δραστηριότητα.

Η κάθετη διαφορά θερμοκρασίας εκφράζεται ως η διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας αέρα στο επίπεδο των αστραγάλων, από το επίπεδο του λαιμού.

Οι Olesen et al. (1979) εξέθεσαν καθισμένους ανθρώπους, με συνολική θερμική ουδετερότητα, σε διαφορετική κάθετη θερμοκρασία μεταξύ κεφαλιού και αστραγάλου.

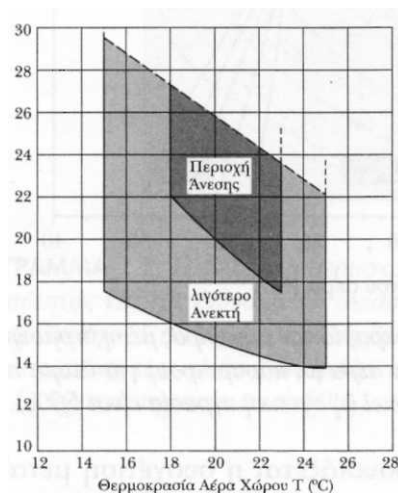


**Διάγραμμα 3.11. Τοπική δυσφορία προκαλούμενη από την κάθετη διαφορά θερμοκρασίας. Ισχύει όταν η θερμοκρασία αυξάνεται προς τα πάνω (Olesen et al. 1979)**

### 3.3.4 Θερμοκρασία πατώματος

Στην απευθείας επαφή μεταξύ ποδιών και πατώματος, μπορεί συχνά να προκληθεί τοπική δυσφορία, οφειλόμενη στην πολύ υψηλή ή πολύ χαμηλή θερμοκρασία του πατώματος. Η πραγματική αιτία εν προκειμένω είναι παράμετροι διαφορετικοί από την θερμοκρασία του πατώματος και η απώλεια θερμότητας εξαρτάται από την αγωγιμότητα και την θερμοχωρητικότητα του υλικού του πατώματος και τον τύπο των υποδημάτων των ποδιών. Έτσι ο φελλός φαίνεται ζεστός και το μάρμαρο κρύο.

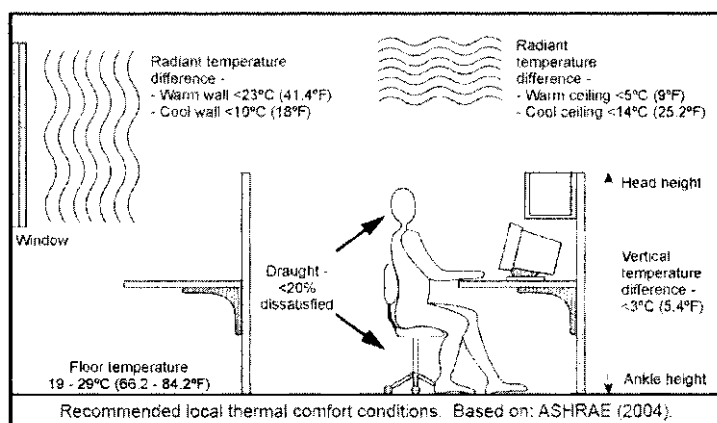
Το πρότυπο ISO7730 θέτει επίπεδα άνεσης για καθιστική δραστηριότητα που οδηγούν σε ένα αποδεκτό πλαίσιο για την θερμοκρασία πατώματος που κυμαίνεται από 19°C σε 29°C . Σε ένα λουτρό η ιδανική θερμοκρασία είναι 29°C για το μάρμαρο και 26°C για πλαστικό τάπητα πάνω σε ξύλο.



**Διάγραμμα 3.12: Περιοχή άνεσης ανάλογα με την μέση θερμοκρασία περιμετρικής επιφάνειας (Βραχόπουλος 2004).**

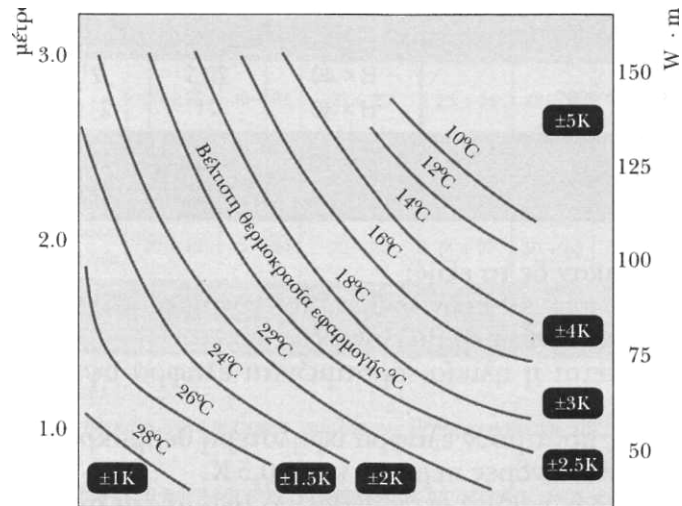
### 3.3.5 Προτεινόμενες συνθήκες άνεσης

Το παρακάτω σχήμα δείχνει προτεινόμενες συνθήκες θερμικής άνεσης βασισμένο στο πρότυπο ASHRAE 55 (2004) όπως παρουσιάστηκαν από τους Charles et al (2004).



**Σχήμα 3.2 Προτεινόμενες συνθήκες θερμικής άνεσης βασισμένες στο πρότυπο ASHRAE (2004).**

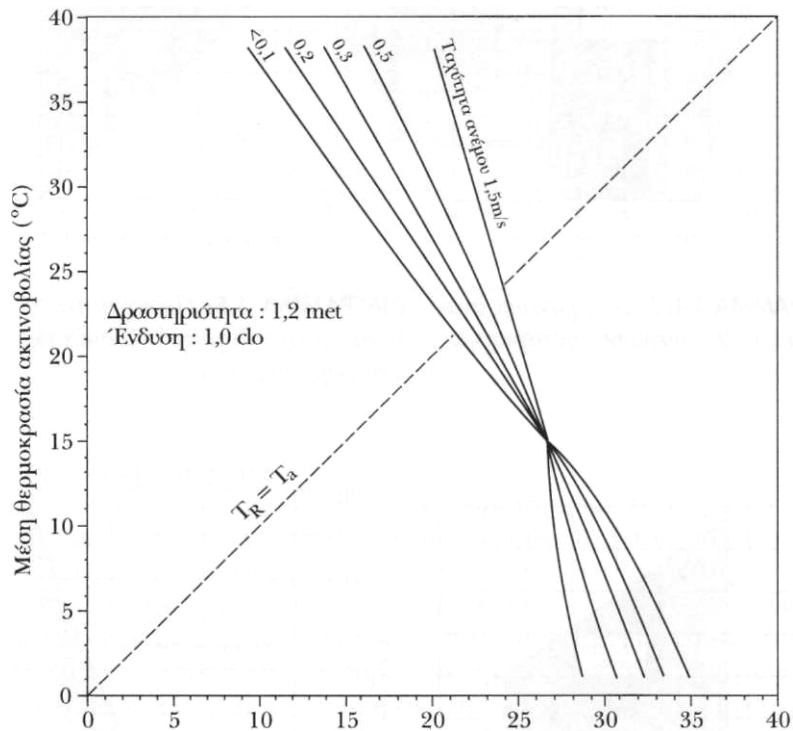
Ο Fanger (1970) πρότεινε τα ακόλουθα γενικά διαγράμματα συνθηκών θερμικής άνεσης:



**Διάγραμμα 3.13.** Η βέλτιστη θερμοκρασία εφαρμογής ως συνάρτηση της δραστηριότητας και της ένδυσης. Οι σκιασμένες ή ασκίαστες ζώνες δείχνουν τις περιοχές άνεσης ( $\pm \Delta T$ ) γύρω από τη βέλτιστη θερμοκρασία, στις οποίες το 80% και παραπάνω των ενοίκων αναμένεται να βρει τις θερμικές συνθήκες παραδεκτές (η σχετική υγρασία είναι 50%)(Fanger 1970)

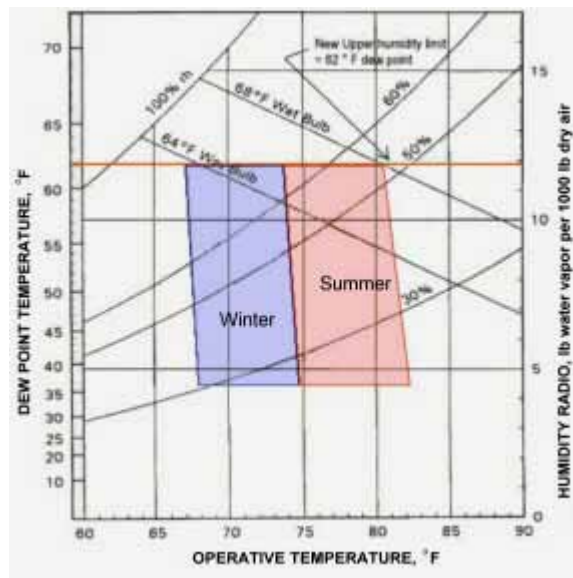
Το Διάγραμμα 3.14 δείχνει τη βέλτιστη θερμοκρασία εφαρμογής για διάφορους τύπους δραστηριότητας και ένδυσης. Το χειμώνα, για παράδειγμα, μια κοινή κατάσταση που συναντάτε σε κτίρια, γραφεία κ.τ.λ., είναι αυτή κατά την οποία ένα άτομο εκτελεί καθιστικές εργασίες (1.2met) και έχει στάθμη ένδυσης 1 clo. Από το Διάγραμμα. 3.10 μπορεί να φανεί ότι η θερμοκρασία που απαιτείται για αυτή την κατάσταση είναι  $22^{\circ}\text{C} \pm 2 \text{ K}$ . Για καθιστικές εργασίες με τυπικές θερινές συνθήκες και ελαφριά ένδυση (0,5 clo), η θερμοκρασία εφαρμογής είναι  $24,5^{\circ}\text{C} \pm 1,5 \text{ K}$ .

Το διάγραμμα άνεσης που φαίνεται στο Διάγραμμα 3.11 παρέχει διάφορους συνδυασμούς θερμοκρασίας αέρα και μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας που δίνουν τις βέλτιστες συνθήκες.



**Διάγραμμα 3.14:** Διάγραμμα άνεσης (θερμοκρασία του αέρα προς μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας με τη σχετική ταχύτητα τον αέρα ως παραμέτρου) για άτομα που έχουν ένδυση 1,0 clo σε δραστηριότητα 1,2 met (η σχετική υγρασία είναι 50%) (Fanger, 1970).

Ο κανονισμός 55-85 της ASHRAE δίνει έναν ψυχομετρικό χάρτη, όπου καταγράφονται οι ζώνες άνεσης, δηλαδή οι περιοχές διακύμανσης της θερμοκρασίας, της σχετικής υγρασίας, της θερμοκρασίας δρόσου και του λόγου υγρασίας (Humidity ratio) για χειμώνα και καλοκαίρι, σε αποδεκτά όρια.



**Διάγραμμα 3.15** Αποδεκτά πεδία τιμών λειτουργικής θερμοκρασίας, υγρασίας, θερμοκρασίας δρόσου και λόγου υγρασίας για χειμώνα και καλοκαίρι (ISO7730 2005)



Ο παρακάτω πίνακας 3.6 στηρίζεται σε έρευνα που ασχολήθηκε μόνο με τις τιμές θερμοκρασίας και υγρασίας, για να επιτευχθούν υποκειμενικές ιδανικές συνθήκες άνεσης χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οικονομικά στοιχεία.

ΧΕΙΜΩΝΑΣ				ΘΕΡΟΣ				
ΕΙΔΟΣ ΧΩΡΟΥ	ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ		ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΧΩΡΙΣ ΥΓΡΑΝΣΗ	ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ		ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ ΥΨΗΛΩΝ ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ		
	ΘΕΡΜ/ΣΙΑ D.B. (°C)	ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	ΘΕΡΜ/ΣΙΑ D.B. (°C)	ΘΕΡΜ/ΣΙΑ D.B. (°C)	ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	ΘΕΡΜ/ΣΙΑ D.B. (°C)	ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	
Κατοικίες; Γραφεία, Σχολεία, Ξενοδοχεία, Νοσοκομεία	20 + 22	30 + 35	21 + 23	25 + 26	45 + 50	25 + 26	45 + 50	
Τράπεζες (χώρος επισκεπτών), Καταστήματα :	19 + 21	30 + 35	20 + 22	26 + 27	45 + 50	25 + 26	45 + 50	
Θέατρα, Κινηματογράφοι, Εκκλησίες, Κλειστά γήπεδα, Εστιατόρια	20 + 22	35 + 40	20 + 22	26 + 27	50 + 60	25 + 26	50 + 55	
Βιομηχανικοί χώροι	19 + 21	30 + 35	19 + 21	27 + 30	45 + 55	25 + 26	45 + 55	

**Πίνακας 3.6 Ιδανικές συνθήκες θερμοκρασιακής άνεσης για χειμώνα και θέρος.**

Ενώ οι παρακάτω πίνακες δίνουν τις συνιστώμενες συνθήκες άνεσης για εσωτερικούς χώρους:

Α. Θέρος	«ΙΔΑΝΙΚΕΣ» ΣΥΝΘΗΚΕΣ			ΣΥΝΗΘΙΣΜΕΝΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ			ΕΠΙΤΡΕΠΤΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ	
	ΘΕΡΜ/ΣΙΑ ΒΟΛΒΟΥ	ΞΗΡΟΥ	ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ	ΘΕΡΜ/ΣΙΑ ΒΟΛΒΟΥ	ΞΗΡΟΥ	ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ	°F	K
ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	°F	°C	%	°F	°C	%	°F	K
Γραφεία, κατοικίες, ξενοδοχεία, Νοσοκομεία,	74-76	23-24,5	50-45	77-79	25-26	50-45	2-4	1-2
Τράπεζες, Πολυκαταστήματα, Κομμωτήρια	76-78	24,5-25,5	50-45	78-80	25,5-26,5	50-45	2-4	1-2
Κινηματογράφοι, Θέατρα, Κινηματογράφοι, Μπαρ, Εκκλησίες, Εστιατόρια	76-78	24,5-25,5	55-50	78-80	25,5-26,5	60-50	1-2	0,5-1
Μηχανοστάσια, Χώροι βιομηχανικής εργασίας	77-80	25-26,5	55-45	80-85	26,5-29,5	60-50	τ:	1,5-3

B. ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΜΕ ΥΓΡΑΝΣΗ			ΕΠΙΤΡΕΠΤΗ		ΧΩΡΙΣ ΥΓΡΑΣΙΑ		ΕΠΙΤΡΕΠΤΗ	
	ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	ΘΕΡΜ/ΣΙΑ ΒΟΛΒΟΥ	ΞΗΡΟΥ ΥΓΡΑΣΙΑ	ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ	•κ	ΘΕΡΜ/ΣΙΑ ΒΟΛΒΟΥ	ΞΗΡΟΥ	ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ	κ
	°F	°C	%	°F	•κ	°F	"C	°F	κ
Κατοικίες, <b>Γραφεία</b> , Ξενοδοχεία, Νοσοκομεία, Σχολεία	74-70	23-24,5	35-30	-3 + 4	-1,5 + 2	73-77	24-25	-4	-2
Τράπεζες, Πολυκαταστήματα, Κουρεία, Κομμωτήρια	72-74	22-23	35-30	-3 + 4	-1,5 + 2	73-75	23-24	-4	-2
Θέατρα, Κινηματογράφοι, Μπαρ, Εκκλησίες, Εστιατόρια, Κουζίνες	72-74	22-23	40-35	-2 + 3	-1 + 1,5	74-76	23,5-24,5	-4	-2
Μηχανοστάσια, Χώροι βιομηχανικής εργασίας	68-72	20-22	35-30	-4 + 6	-2 + 3	70-74	21-23,5	-6	-3

**Πίνακας 3.7** Ιδανικές συνθήκες θερμοκρασιακής άνεσης για χειμώνα και θέρος σύμφωνα με τον Κανονισμό Θερμομόνωσης Κτιρίων.

### 3.4 Δείκτες θερμικής άνεσης

Η γνώση του τρόπου που οι διάφορες μεταβλητές επηρεάζουν την θερμική άνεση έχει χρησιμοποιηθεί για να μορφοποιηθούν θερμοκοί δείκτες και θερμικές κλίμακες που υποδεικνύουν τις επιδράσεις των συνδυασμών των διαφόρων μεταβλητών στην θερμική άνεση.

Πολλές προσπάθειες έχουν γίνει, για να συνδυασθούν όλοι αυτοί οι παράγοντες σε ένα μόνο δείκτη, ούτως ώστε να ορισθεί το επίπεδο της θερμικής άνεσης και να είναι αυτό μια μέτρηση γύρω από την ποιότητα του περιβάλλοντος.

Διάφοροι δείκτες έχουν αναπτυχθεί, οι οποίοι διαφέρουν μεταξύ τους ως προς την προσέγγιση του προβλήματος, στην περιοχή των συνθηκών εφαρμογής, στο ενδιαφέρον που αποδίδεται σε καθέναν από τους παράγοντες και στις προσεγγιστικές εκφράσεις που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των ανταλλαγών θερμότητας.

Υπάρχουν δύο τουλάχιστον εφαρμογές των θερμικών δεικτών. Η μία αφορά τον καθορισμό των απαιτήσεων θερμικής άνεσης στη φάση του σχεδιασμού των κτιρίων.







Η άλλη εφαρμογή αφορά την διαχείριση και την λειτουργία στη φάση του κλιματισμού.

Οι δείκτες που έχουν προταθεί είναι συνήθως εφαρμόσιμοι μόνο σε ορισμένες συνθήκες και συνήθως καθορίζονται από το περιβάλλον (όπου αναπτύχθηκαν). Το εύρος της εφαρμοσιμότητας είναι ωστόσο καθορισμένο μόνο για μερικούς δείκτες και περαιτέρω ανάλυση τους συχνά δείχνει ακόμα πιο περιορισμένο εύρος από ότι αρχικά υποστηρίχθηκε (Ogunsote, 2002).

Έτσι άλλοι (οι περισσότεροι) είναι κατάλληλοι για συνθήκες μόνιμης κατάστασης, όπως είναι οι κλιματιζόμενοι εσωτερικοί χώροι, άλλοι κατάλληλοι και για μεταβατικές συνθήκες, όπως προθάλαμοι, διάδρομοι ή αποθήκες κ.λπ. σε εσωτερικούς χώρους και άλλοι έχουν προταθεί ως κατάλληλοι και για εξωτερικούς χώρους.

#### 3.4.1 PMV Predicted Mean Vote ( Προβλεπόμενη Μέση Ψήφος).

Το μοντέλο PMV προβλέπει την θερμική αίσθηση σαν λειτουργία της δραστηριότητας, ένδυσης και των τεσσάρων κλασικών περιβαλλοντικών παραμέτρων (Fanger 2001). Η προβλεπόμενη μέση ψήφος, ο δείκτης PMV εφαρμόζεται για να προβλεφθεί η μέση τιμή της εξίσωσης θερμικής άνεσης που βασίζεται σε σταθερή κατάσταση μεταφοράς θερμότητας μεταξύ του σώματος και του περιβάλλοντος. Ο δείκτης PMV βασίζεται στην κλίμακα αίσθησης του προτύπου ASHRAE (ASHRAE Standard 55 2004) για την πρόβλεψη της μέσης ψήφου μιας μεγάλης ομάδας ανθρώπων και ορίζεται όπως στον παρακάτω πίνακα :

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

**Πίνακας 3.8 Επταβάθμια κλίμακα θερμικής αίσθησης (ISO 7730 2005)**

Ο δείκτης PMV μπορεί να εφαρμοστεί για να ελεγχθεί η συμμόρφωση ενός καθορισμένου θερμικού περιβάλλοντος με τα κριτήρια άνεσης και για την εγκαθίδρυση διαφορετικών επιπέδων απαιτήσεων αποδοχής (ISO 7730 2005). Ο δείκτης μπορεί να υπολογιστεί όταν χρησιμοποιηθεί μία εκτίμηση του μεταβολικού ρυθμού και της μόνωσης από την ένδυση και με την μέτρηση των τεσσάρων περιβαλλοντικών παραμέτρων. Το μοντέλο του δείκτη PMV για την θερμική άνεση αποτελεί ένα μοντέλο σταθερής κατάστασης. Προτείνεται επίσης η χρησιμοποίηση του δείκτη να πραγματοποιείται για τιμές της επταβάθμιας κλίμακας μεταξύ του -2 και +2 (ISO 7730 2005).

Την ούτως μεταβαλλόμενη θερμική αίσθηση την ορίζουμε ως κάποια άγνωστη συνάρτηση  $Y$  του θερμικού ισοζυγίου  $L$  και του Μεταβολικού ρυθμού:

$$Y = F(L, M)$$

Ο Fanger (1970), κάνοντας εργαστηριακές μετρήσεις σε κλιματικό θάλαμο κρατώντας όλες τις μεταβλητές σταθερές εκτός του μεταβολικού ρυθμού και της  $T_{air}$ , χρησιμοποίησε τις μέσες ψήφους και έγραψε την  $Y$  σαν μια εμπειρική συνάρτηση για διάφορα επίπεδα δραστηριότητας:

$$Y = [0,35 \exp (-0,042 HM/AN) + 0,032] L$$

Exposure Period, h	Subjects	$t = \text{dry-bulb temperature, } ^\circ\text{C}$
		$\rho = \text{vapor pressure, kPa}$
1.0	Men	$Y = 0.220 t + 0.233 \rho - 5.673$
	Women	$Y = 0.272 t + 0.248 \rho - 7.245$
	Both	$Y = 0,245 t + 0.248 \rho - 6.475$
2.0	Men	$Y = 0.221 t + 0.270 \rho - 6.024$
	Women	$Y = 0.283 t + 0,210 \rho - 7.694$
	Both	$Y = 0.252 t + 0.240 \rho - 6.859$
3.0	Men	$Y = 0.212 t + 0.293 \rho - 5.949$
	Women	$Y = 0.275 t + 0.255 \rho - 8.622$
	Both	$Y = 0.243 t + 0.278 \rho - 6.802$

**Πίνακας 3.9 Προσεγγιστικός Υπολογισμός του συντελεστή  $Y$  για διάφορες περιπτώσεις (Τζιβανίδης 2005)**

Ορίζοντας  $Y = PMV$ , την προβλεπόμενη μέση ψήφο εκφρασμένη σε ορισμένη θερμική κλίμακα και αντικαθιστώντας προκύπτει ο δείκτης θερμικής άνεσης PMV.

Η εξίσωση του δείκτη PMV η οποία δίνεται στο ISO 7730 (2005) είναι:

$$PMV = (0.303 \exp(0.036 \cdot M) + 0.028) \cdot \{(M - W) - 3.05 \cdot 10^{-3} \cdot [5733 - 6.99(M - W) - P_a] - 0.42 \cdot [(M - W) - 58.15] - 1.7 \cdot 10^{-5} M(5867 - P_a) - 0.0014M(34 - t_a) - 3.96 \cdot 10^{-8} f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a)\}$$

Όπου

$$t_{cl} = 35.7 - 0.028(M - W) - I_{cl} \{3.96 \cdot 10^{-8} f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] + f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a)\}$$

$$h_c = \begin{cases} 2.38(t_{cl} - t_a)^{0.25} & \text{για } 2.38 |t_{cl} - t_a|^{0.25} > 12.1\sqrt{v_{ar}} \\ 12.1\sqrt{v_{ar}} & \text{για } 2.38 |t_{cl} - t_a|^{0.25} < 12.1\sqrt{v_{ar}} \end{cases}$$

$$f_{cl} = 1.00 + 1.290I_{cl} \quad \text{για } I_{cl} \leq 0.078m^2K/W$$

$$f_{cl} = 1.05 + 0.645I_{cl} \quad \text{για } I_{cl} \geq 0.078m^2K/W$$

Όπου PMV είναι η μέση προβλεπόμενη ψήφος:

M: μεταβολικός ρυθμός, (W/m<sup>2</sup>)

W: μηχανική ισχύς (W/m<sup>2</sup>)

I<sub>cl</sub>: μόνωση από την ένδυση (m<sup>2</sup>K/W)<sup>2</sup>

f<sub>cl</sub>: παράγοντας επιφάνειας ένδυσης

t<sub>a</sub>: θερμοκρασία αέρα (°C)

t<sub>r</sub>: μέση ακτινοβολούμενη θερμοκρασία (°C)

v<sub>ar</sub>: είναι η σχετική ταχύτητα αέρα, (m/s)

p<sub>a</sub>: σχετική πίεση ατμών (Pa)

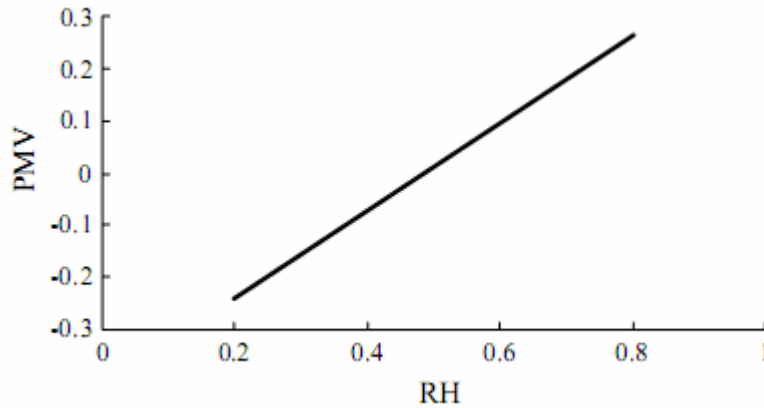
h<sub>c</sub>: συντελεστής μετάδοσης θερμότητας (W /m<sup>2</sup>K)

t<sub>cl</sub>: θερμοκρασία επιφάνειας ένδυσης (°C)

Ο δείκτης PMV μπορεί να καθοριστεί με τους παρακάτω τρόπους (ISO 7730 2005):

- Από την εξίσωση PMV που αναφέρθηκε παραπάνω με την χρήση υπολογιστή. Αποτελεί μη γραμμική εξίσωση και λύνεται αριθμητικά με την μέθοδο Newton-Raphson.
- Απ'ευθείας από το παράρτημα ANNEX E του προτύπου ISO7730(2005), όπου δίνονται πίνακες PMV με διαφορετικούς συνδυασμούς δραστηριότητας, ένδυσης, ρουχισμού, θερμοκρασία λειτουργίας και σχετικής ταχύτητας αέρα.
- Με άμεση μέτρηση χρησιμοποιώντας έναν ολοκληρωμένο αισθητήρα (ισοδύναμη θερμοκρασία και θερμοκρασία λειτουργίας).

Ο Guodong (2003) δείχνει την σχέση που συνδέει τον δείκτη PMV με την σχετική υγρασία για συγκεκριμένες συνθήκες:



**Διάγραμμα 3.16 . Μεταβολή τιμών PMV σαν συνάρτηση της σχετικής υγρασίας όταν η ισοδύναμη θερμοκρασία είναι 25 (M=1met, I<sub>cl</sub>=0,67clo) (Guodong, 2003).**

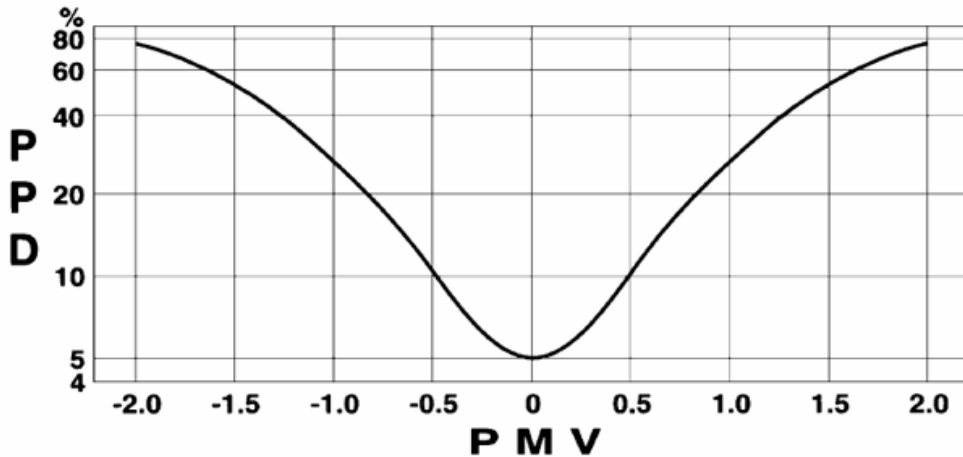
3.4.2 PPD- Predicted Percentage of Dissatisfied (προβλεπόμενο ποσοστό δυσαρεστημένων)

Ο δείκτης PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied-προβλεπόμενο ποσοστό δυσαρεστημένων) προβλέπει την μέση τιμή των θερμικά δυσαρεστημένων ανθρώπων οι οποίοι είναι πιθανόν να αισθανθούν πολύ ζεστά ή πολύ κρύα μέσα σε μία μεγάλη ομάδα ανθρώπων. Ο δείκτης PPD μπορεί εύκολα να βρεθεί αν έχει προηγηθεί η μέτρηση του PMV από το διάγραμμα 3.17 που δίνεται στο πρότυπο ISO7730 (2005). Οι άνθρωποι που αισθάνονται θερμική δυσφορία είναι αυτοί που ψηφίζουν ότι αισθάνονται πολύ ζεστό, ζεστό, κρύο ή πολύ κρύο στην επταβάθμια κλίμακα του προτύπου. Η εξίσωση του PPD βασισμένη στον δείκτη PMV έχει ως εξής:

$$PPD = 100 - 95 \exp(-0,0335 PMV^4 - 0,2179 PMV^2)$$

Το ποσοστό αυτό αποκτά ιδιαίτερη σημασία εάν αναλογισθούμε τις διαφορετικές αντιδράσεις που μπορεί να έχουν κάποιοι άνθρωποι στο ίδιο ερέθισμα. Είναι απόλυτα φυσικό να παρουσιάζεται διακύμανση στο αίσθημα θερμικής άνεσης σε ένα σύνολο ανθρώπων που εκτίθενται στις ίδιες συνθήκες περιβάλλοντος. Αυτό συμβαίνει διότι οι άνθρωποι έχουν διαφορετικές συνήθειες ένδυσης, διαφορετικό μεταβολισμό και επίπεδα δραστηριότητας, ακόμη και διαφορετική ψυχοσύνθεση, που επηρεάζουν τελικά, το πόσο άνετα αισθάνονται σε ένα χώρο.

Μεγαλύτερη σημασία έχει, το ποσοστό του συνόλου που δεν θα αισθάνεται θερμικά άνετα, δηλαδή το ποσοστό που θα ψηφίσει -3, -2, +2, +3, (INNOVA 2002, Olesen 2002), καθώς αυτοί τελικά θα παραπονεθούν απαιτώντας κάποια αλλαγή στις συνθήκες περιβάλλοντος.



Διάγραμμα 3.17 Προβλεπόμενο ποσοστό δυσαρεστημένων σε σχέση με την προβλεπόμενη μέση ψήφο (ISO7730 2005)

Παρατηρούμε πως η καμπύλη αυτή είναι συμμετρική, ενώ για  $PMV=0$ , παρουσιάζεται το ελάχιστο ποσοστό δυσαρέσκειας που είναι το  $PPD=5\%$ . Διαπιστώνουμε, δηλαδή, πως είναι αδύνατο να ικανοποιήσουμε όλους τους ανθρώπους που βρίσκονται σε ένα χώρο. Ακόμη και αν χρησιμοποιήσουμε το τελειότερο κλιματιστικό σύστημα το οποίο θα εξασφαλίζει απόλυτα ομοιόμορφες θερμικές συνθήκες στο χώρο, είναι πρακτικά αδύνατο να επιτύχουμε ποσοστό δυσαρεστημένων μικρότερο του 5%. Μπορεί, λοιπόν, να μην είμαστε σε θέση να εξαλείψουμε τα παράπονα για ένα κλιματιζόμενο χώρο, μπορούμε όμως να τα περιορίσουμε στο ελάχιστο δυνατά ποσοστό.

Το ISO7730 2005 επίσης, χρησιμοποιεί όρια στον PMV για ένα ρητό καθορισμό της ζώνης άνεσης.

### 3.4.3 Δείκτης θερμικής επιβάρυνσης ITS

Ο δείκτης θερμικής επιβάρυνσης είναι ένα βιοφυσικό μέγεθος, το οποίο περιγράφει τις ροές εναλλαγής της θερμότητας του σώματος και του περιβάλλοντος και υπολογίζει τη θερμική επιβάρυνση του ανθρώπινου σώματος (Givoni 1963, 1974).

Ο προσδιορισμός του TSI βασίζεται στον υπολογισμό του παραγόμενου ιδρώτα, στο μεταβολισμό, στο παραγόμενο έργο, στην εναλλαγή θερμότητας μέσω των

μηχανισμών σύγκλισης, στην εναλλαγή ακτινοβολίας και σε ένα συντελεστή απόψυξης μέσω του ιδρώτα για τον ανθρώπινο οργανισμό.

Ο δείκτης αυτός προσφέρει ικανοποιητικές τιμές στην κλίμακα θερμικής άνεσης και σε ορισμένες κλίμακες, οι οποίες βρίσκονται κοντά στη θερμική άνεση. Είναι έγκυρος για συνθήκες μόνιμης κατάστασης ακόμη και αν ανέρχονται η θερμοκρασία και οι παλμοί του σώματος (Ogunsote, 2002).

#### 3.4.4 ET αποτελεσματική θερμοκρασία(Teff).

Ορίζεται ως η θερμοκρασία μιας ακίνητης, κεκορεσμένης υδρατμών ατμόσφαιρας που απουσία ακτινοβολίας θα έδινε την ίδια επίδραση όπως η ατμόσφαιρα που διερευνάται.

Ο συντελεστής αυτός συνδυάζει τις επιδράσεις των θερμοκρασιών υγρού και ξηρού βολβού και ταχύτητας του αέρα και έχει ως αποτέλεσμα αντίστοιχα συναισθήματα ζέστης ή δροσιάς.

Ο δείκτης αυτός αναπτύχθηκε για την ASHRAE από τους Houghten, Yaglou το 1923, αρχικά για άτομα που φορούν ρουχισμό με 1 clo. Αυτή η κλίμακα θερμοκρασίας υπερτιμά τον ρόλο της υγρασίας σε δροσερές και ουδέτερες συνθήκες και υποτιμά την επίδραση που έχει σε ζεστές συνθήκες και δεν συμπεριλαμβάνει πλήρως τις επιδράσεις που προξενεί η ταχύτητα του αέρα σε συνθήκες ζέστης και υγρασίας (Givoni 1963).

Οι δείκτες αποτελεσματικής θερμοκρασίας  $T_{eff}$  εφαρμόστηκαν ως θερμοκοί δείκτες και αναπτύχθηκαν περίπου πριν από 70 χρόνια και είναι έγκυροι για συνθήκες ανάπαυσης (Ogunsote, 2002).

Διακρίνονται σε δύο κατηγορίες στις «κανονικές αποτελεσματικές θερμοκρασίες», οι οποίες είναι προσαρμοσμένες σε άτομα με κανονική ενδυμασία και στις «βασικές αποτελεσματικές θερμοκρασίες» για άτομα με γυμνό το πάνω μέρος του σώματος τους.

Ο υπολογισμός της αποτελεσματικής θερμοκρασίας δίνεται από τη σχέση Wenzel, Piekarski (1980):

$$T_{eff} = T_a - 0,4 \chi (T_a - 10) \chi (1 - RH/100)$$

όπου το  $T_{eff}$  δηλώνει την αποτελεσματική θερμοκρασία σε °C, το  $T_a$  τη θερμοκρασία του αέρα σε °C και το RH τη σχετική υγρασία. Για ευκολότερο υπολογισμό έχουν κατασκευασθεί σχετικά νομογραφήματα.



Η τιμή δυσφορίας για την αποτελεσματική θερμοκρασία βρίσκεται στους 30°C για άτομα τα οποία ασκούν ελαφρά εργασία, για χρονική περίοδο μικρότερη των 6 ωρών. Η τιμή αυτή ισχύει για υγιή άτομα με ελαφριά ενδυμασία, τα οποία είναι εγκλιματισμένα σε υψηλές θερμικές συνθήκες και των οποίων η απώλεια ύδατος επαναφέρεται συνεχώς σε φυσιολογικά επίπεδα.

#### 3.4.5 Λειτουργική θερμοκρασία $T_o$

Πρόκειται για ένα δείκτη που συνδυάζει την θερμοκρασία του αέρα, τη μέση ακτινοβολούμενη θερμοκρασία και την κίνηση του αέρα. Ορίζεται ως η ενιαία θερμοκρασία ενός φανταστικού χώρου, στον οποίο το άτομο θα ανταλλάσσει το ίδιο ποσό θερμότητας, με ακτινοβολία και μεταφορά, όπως στο πραγματικό περιβάλλον.

Ο δείκτης αυτός μπορεί να θεωρηθεί και σαν μια συνδυασμένη παράμετρος, έχει δε χρησιμοποιηθεί στην περιγραφή περιβαλλόντων εσωτερικών χώρων (Guodong 2003). Ο υπολογισμός της γίνεται από την παρακάτω απλή εξίσωση που δίνει μια λογική βεβαιότητα:

$$T_o = a \cdot T_{air} + (1 - a) t_r \quad (14)$$

όπου ο συντελεστής  $a$  εξαρτάται από την ταχύτητα του αέρα  $V$  σε m/sec.

V	<0,2	0,2-0,6	0,6-1,0
a	0,5	0,6	0,7

#### 3.4.6 Ισοδύναμη θερμοκρασία ( $T_{eq}$ ).

Η ιδέα της Ισοδύναμης Θερμοκρασίας εισήχθη από τον Dufton το 1932, όταν εργαζόμενος πάνω στην θέρμανση των κτιρίων, ανέπτυξε ένα συνδυαστικό θερμοστάτη που θα συντηρούσε ένα δωμάτιο σε θερμοκρασία άνεσης ενάντια στις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας αέρα, της θερμικής ακτινοβολίας και της ταχύτητας του αέρα (Guodong 2003).

Ονόμασε τον θερμοστάτη Eupatheostat. Ήταν κατασκευασμένος από ένα κάθετο κύλινδρο που θερμαινόταν εσωτερικά με μέγεθος επιλεγμένο έτσι, ώστε να διαχωρίζει τις απώλειες από ακτινοβολία και μεταφορά, προσομοιάζοντας τις απώλειες θερμότητας ενός ανθρώπου.

Ο Masden (1984), καθόρισε την Ισοδύναμη Θερμοκρασία ως την ομοιόμορφη θερμοκρασία ενός φανταστικού θαλάμου με ταχύτητα αέρα ίση με μηδέν στον οποίο

ένα άτομο θα αντάλλαζε την ίδια ποσότητα θερμότητας με ακτινοβολία και μεταφορά, όπως σε ένα πραγματικό περιβάλλον. Για τον υπολογισμό της κατασκεύασε ένα ελλειψοειδή αισθητήρα.

Ο Mayer(1993) που κατασκεύασε μια συσκευή ονομαζόμενη «τεχνητό δέρμα» για την μέτρηση της  $T_{eq}$ , την καθόρισε ως την θερμοκρασία επιφανείας ενός φανταστικού δωματίου, στο οποίο η θερμοκρασία επιφανείας ενός σώματος - θερμαινόμενου με καθορισμένη ένταση ροής θερμότητας - είναι η ίδια με ένα πραγματικό δωμάτιο (με πιθανά διαφορετική επιφάνεια, θερμοκρασία και ταχύτητα αέρα).

Ο Guotong (2003) εκτιμά, πως επειδή η Ισοδύναμη Θερμοκρασία, είναι ο θερμοκρασιακός δείκτης που ο άνθρωπος προσλαμβάνει, ο ορισμός του Masden είναι πλέον ταιριαστός.

Η σύγκριση με την λειτουργική Θερμοκρασία - λόγω ομοιότητας- είναι επιβεβλημένη και ο Mayer (1993) την περιγράφει ως εξής: *‘Η Ισοδύναμη θερμοκρασία λογαριάζει επίσης την επίδραση της ταχύτητας του αέρα πάνω στο ισοζύγιο θερμότητας του θερμαινόμενου σώματος. Αυτό άλλωστε τονίζουν και οι τρεις συσκευές που μνημονεύτηκαν, για την απευθείας μέτρηση της Ισοδύναμης θερμότητας: η πιο σημαντική αρχή του αισθητήρα της Ισοδύναμης θερμότητας, είναι η προσομοίωση με την απώλεια θερμότητας του ανθρώπινου σώματος’.*

#### 3.4.7 Προκύπτουσα θερμοκρασία (RT).

Η προκύπτουσα θερμοκρασία αναπτύχθηκε το 1948 από τον Missenard (Givoni 1974) στη Γαλλία και αποσκοπεί στη δημιουργία ενός δείκτη που να στηρίζεται σε πειραματικά δεδομένα, όταν επέλθει θερμική ισορροπία (μετά από χρόνο 30 min περίπου) μεταξύ του οργανισμού και του περιβάλλοντος του, ώστε να μπορέσουν να εκτιμηθούν οι επιδράσεις της υγρασίας του αέρα και της ταχύτητας του ανέμου.

Έχει βρεθεί ότι τιμές της προκύπτουσας θερμοκρασίας μεγαλύτερες των 30 °C παρουσιάζουν καλή συσχέτιση μεταξύ αυτής και της θερμοκρασίας του αέρα καθώς και της σχετικής υγρασίας, γεγονός που επιβεβαιώνεται και από τα αποτελέσματα των θερμο-φυσιολογικών πειραμάτων.

Θεωρείται δείκτης για συνθήκες ανάπαυσης (Ogunsote 2003).

Μειονέκτημα του δείκτη αυτού υπήρξε το γεγονός ότι για τιμές προκύπτουσας θερμοκρασίας <30°C σημειωνόταν υπερεκτίμηση της υγρασίας. Σχετικά με την

ταχύτητα του ανέμου έχει βρεθεί ότι σε μεγάλες (ή μικρές) τιμές της RT, ο δείκτης υποεκτιμά (ή υπερεκτιμά) την ψυκτική ικανότητα του ανέμου.

#### 3.4.8 Δείκτης θερμικής επιβάρυνσης ITS

Ο δείκτης θερμικής επιβάρυνσης είναι ένα βιοφυσικό μέγεθος, το οποίο περιγράφει τις ροές εναλλαγής της θερμότητας του σώματος και του περιβάλλοντος και υπολογίζει τη θερμική επιβάρυνση του ανθρώπινου σώματος (Givoni, 1963,1974).

Ο προσδιορισμός του TSI βασίζεται στον υπολογισμό του παραγόμενου ιδρώτα, στο μεταβολισμό, στο παραγόμενο έργο, στην εναλλαγή θερμότητας μέσω των μηχανισμών σύγκλισης, στην εναλλαγή ακτινοβολίας και σε ένα συντελεστή απόψυξης μέσω του ιδρώτα για τον ανθρώπινο οργανισμό.

Ο δείκτης αυτός προσφέρει ικανοποιητικές τιμές στην κλίμακα θερμικής άνεσης και σε ορισμένες κλίμακες, οι οποίες βρίσκονται κοντά στη θερμική άνεση. Είναι έγκυρος για συνθήκες μόνιμης κατάστασης ακόμη και αν ανέρχονται η θερμοκρασία και οι παλμοί του σώματος (Ogunsote, 2002).

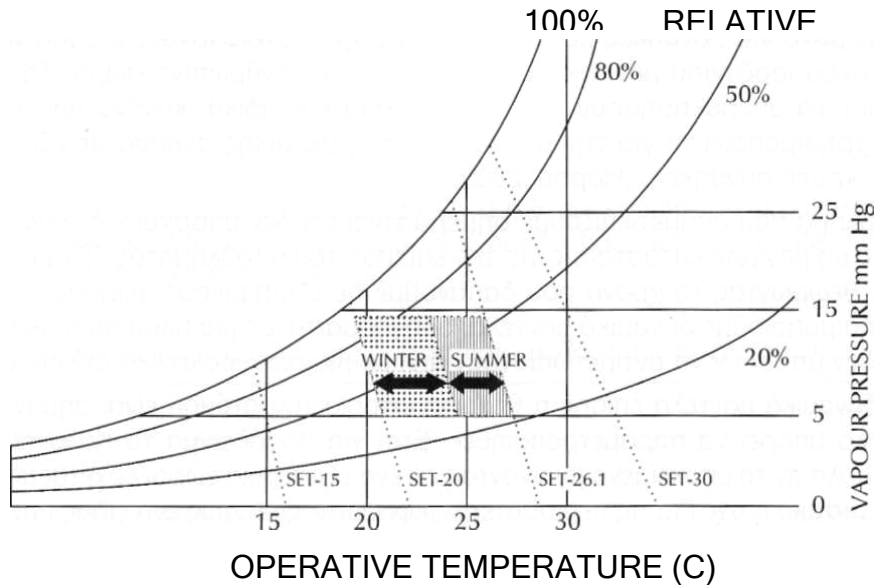
#### 3.4.9 Διορθωμένη αισθητή θερμοκρασία CET

Ο δείκτης αυτός αποτελεί μια βελτίωση της ET και ενσωματώνει την επίδραση της ακτινοβολίας. Αυτό επιτεύχθηκε με την χρήση της θερμοκρασίας μαύρης σφαίρας αντί της θερμοκρασίας ξηρού βολβού. (Ogunsote, 2002).

#### 3.4.10 Τυπική αισθητή θερμοκρασία SET

Αυτή η θερμοκρασιακή κλίμακα ορίζεται ως η θερμοκρασία ξηρού βολβού σε ένα περιβάλλον με ομοιόμορφες συνθήκες και σχετική υγρασία 50% μέσα στο οποίο οι άνθρωποι θα παρουσίαζαν τα ίδια ποσοστά ανταλλαγής θερμότητας με ακτινοβολία, μεταφορά και εξάτμιση, όπως και αν ήταν σε ένα περιβάλλον όπου μεταβάλλεται η υγρασία. Τα επίπεδα ένδυσης προσδιορίζονται σε 0,6 clo για κανονική ελαφρά ενδυμασία εσωτερικού χώρου, συνθήκες ακίνητου αέρα ή ταχύτητας 0,2m/sec, διάρκεια έκθεσης του ατόμου σε αυτές τις συνθήκες για 1 ώρα και επίπεδα καθιστικής δραστηριότητας ανάλογα με 1 met. (Gagge 1973).

Οι τιμές της SET υπολογίζονται από το παρακάτω σχήμα:



**Διάγραμμα 3.18: Ψυχομετρικός χάρτης με την νέα εμπειρική θερμοκρασία και τη ζώνη θερμοικής άνεσης (Gagge, 1973).**

Η σκιασμένη περιοχή αντιπροσωπεύει τη ζώνη θερμικής άνεσης. Η αντιστοιχία μεταξύ διαφόρων τιμών της θερμοκρασίας SET σε °C και του θερμικού αισθήματος δίνεται στον πίνακα που ακολουθεί.

Τιμές SET	Συναίσθημα
40	Περιορισμένη αντοχή (πολύ ζεστά)
35	Ζεστά (ελαφρά δυσαρέσκεια)
30	Λίγο ζεστά
25	Ουδέτερα (θερμική άνεση)
20	Ελαφρά δροσερά
20	Δροσερά (ελαφρά δυσαρέσκεια)
15	Κρύο
10	Πολύ κρύο (δυσαρέσκεια)

**Πίνακας 3.10: Τιμές της θερμοκρασίας SET και του θερμικού αισθήματος**

Ο Ogunsote (2002) αναφέρει και τους εξής δείκτες:

#### 3.4.11 Tsens

Είναι ένας δείκτης πρόβλεψης ψήφου σε μια ενδεκαβάθμια κλίμακα, όπως στο παρακάτω πίνακα

Αφόρητα θερμό	Πολύ θερμό	Θερμό	Ζεστό	Ελαφρά δροσερό	Ουδέτερο κρύο	Ελαφρά κρύο	Δροσερό	Κρύο	Πολύ κρύο	Αφόρητα κρύο
+5	+4	+3	+2	+1	0	-1	-2	-3	-4	-5

Η τιμή του υπολογίζεται (ASHRAE Fundamentals handbook, 1989, κεφάλαιο.8.) από την παρακάτω εξίσωση:

$$TSENS = 0,46859 (T_b - T_{b,c}) \text{ εάν } T_b < T_{b,c}$$

$$= 4,7 n_e(T_b - T_{b,c}) / (T_{b,h} - T_{b,c}) \text{ εάν } T_{b,c} < T_b < T_{b,h}$$

$$= 4,7 n_e(T_b - T_{b,h}) \text{ εάν } T_{b,h} \leq T_b \text{ όπου:}$$

$n_e$  = η εξαμιστική ικανότητα,

$T_b$  = η θερμοκρασία σώματος

$T_c$  = κρύο

$T_h$  = ζεστό

Η εξίσωση είναι έγκυρη μόνο για τις τυπικές συνθήκες στις οποίες βασίζεται ο SET, (Ogunsote 2002).

#### 3.4.12 SET\* (Νέα αισθητή θερμότητα).

Το μοντέλο αναπτύχθηκε στη βάση του δυναμικού δι-κομβικού (two-node) μοντέλου (2NM) ρύθμισης της θερμοκρασίας του ανθρώπου (Gagge 1971, ASHRAE 1997) που διαφέρει από το μόνιμης κατάστασης μοντέλο του Fanger.

Ένα μεταβατικό ενεργειακό ισοζύγιο δηλώνει ότι ο ρυθμός αποθήκευσης θερμότητας είναι ίσος με το καθαρό κέρδος θερμότητας μείον τις απώλειες θερμότητας. Το θερμικό μοντέλο περιγράφεται από δύο διπλές γραμμικές εξισώσεις θερμικού ισοζυγίου, καθεμιά για κάθε τμήμα του σώματος:

$$S_{cr} = M - W - (C_{res} + E_{res}) - (T_{cr} - T_{sk}) \times (5,28 + 1,163 \times skbf) ,$$

$$S_{sk} = (T_{cr} - T_{sk}) \times (5,28 + 1,163 \times skbf) - (C + R + E_{sk})$$

όπου:

$S_{cr}$ , ο ρυθμός αποθήκευσης θερμότητας στην εσωτερικό του σώματος

$S_{sk}$ , ο ρυθμός αποθήκευσης θερμότητας στο δέρμα

$C_{res}$ , οι απώλειες θερμότητας λόγω μεταφοράς από την αναπνοή

$E_{res}$ , οι απώλειες θερμότητας λόγω εξάτμισης από την αναπνοή

$T_{cr}$ , η θερμοκρασία της εσωτερικής στιβάδας

$T_{sk}$ , η θερμοκρασία του δέρματος

$skbf$ , η περιφερειακή - στο δέρμα-ροή αίματος C, η αισθητή απώλεια θερμότητας από το δέρμα με μεταφορά R, η αισθητή απώλεια θερμότητας από το δέρμα με ακτινοβολία

$E_{sk}$ , η ολική απώλεια θερμότητας με εξάτμιση από το δέρμα.

Ο ρυθμός της αποθήκευσης θερμότητας από το σώμα, ισοδυναμεί με τον ρυθμό αύξησης της εσωτερικής ενέργειας. Ο ρυθμός αποθήκευσης μπορεί να γραφτεί ξεχωριστά για κάθε μέρος του σώματος σαν θερμική χωρητικότητα και ρυθμός αλλαγής της θερμοκρασίας σε κάθε μέρος του σώματος:

$$S_{cr} = (1 - \alpha)mc_{p,b}(dt_{cr}/d\theta)/A_D, \text{ και}$$

$$S_{sk} = \alpha mc_{p,b}(dt_{cr}/d\theta)/A_D$$

όπου

$\alpha$ , είναι το μέρος της μάζας σώματος στο μέρος του δέρματος

$m$ , είναι η μάζα του σώματος (kg)

$mc_{p,b}$ , η συγκεκριμένη χωρητικότητα θερμότητας του σώματος (kJ/kg)

$\theta$ , η φορές (s)

$A_D$ , η επιφάνεια σώματος κατά Dubois ( $m^2$ )

Ο δείκτης  $SET^*$  του ASHRAE ορίζεται σαν η ισοδύναμη θερμοκρασία ενός ισοθερμικού περιβάλλοντος κατά 50% RH στο οποίο ένα υποκείμενο, καθώς φοράει ρούχα τυποποιημένα για την συγκεκριμένη δραστηριότητα, θα έχει την ίδια θερμική τάση (θερμοκρασία δέρματος,  $t_{sk}$ ) και θερμορυθμιστική τάση (διάβρεξη δέρματος,  $w$ ), όπως στο πραγματικό περιβάλλον που δοκιμάζεται (Gagge 1986). Το ισοθερμικό περιβάλλον αναφέρεται στο περιβάλλον στο επίπεδο της θάλασσας, στο οποίο η θερμοκρασία του αέρα είναι ίση με την μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας και η ταχύτητα του αέρα είναι μηδέν. Εάν οριστεί σαν  $H_{sk}$  η απώλεια θερμότητας από το δέρμα, αυτό είναι το θερμικό φορτίο από το δέρμα, τότε μπορεί να εκφραστεί από την παρακάτω εξίσωση:

$$H_{sk} = h_s(t_{sk} - SET^*) + w_{hs, e}(p_{s,sk} - 0.5p_{SET^*})$$

όπου

$h_s$  ο σταθερός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )

$h_{s,e}$  ο σταθερός συντελεστής εξάτμισης μεταφοράς θερμότητας ( $W/m^2 \cdot kPa$ )

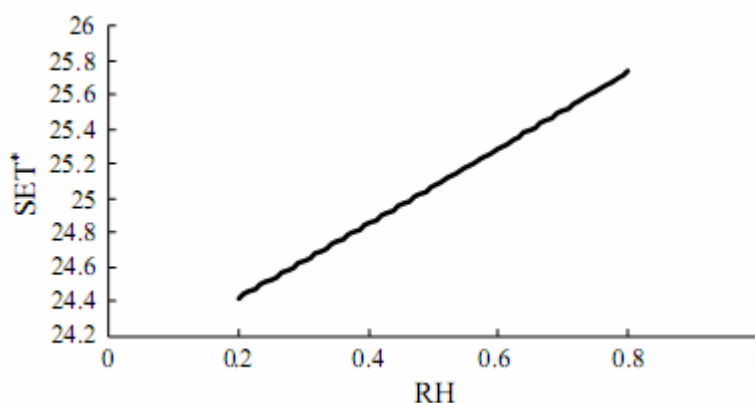
$w$ , το μέρος του δέρματος που έχει διαβραχεί

$p_{s,sk}$  η τάση ατμών στο δέρμα, συνήθως αυτό του κορεσμένου ατμού  $t_{sk}$  (kPa)

$p_{SET}^*$  η πίεση του κορεσμένου ατμού στην  $SET^*$  (kPa).

Ο υπολογισμός του δείκτη  $SET^*$  είναι πιο σύνθετος και δύσκολος από τον PMV, γιατί πριν τον υπολογισμό του  $SET^*$  προηγουμένως πρέπει επεξεργαστούν οι φυσιολογικές παράμετροι του ανθρώπινου σώματος χρησιμοποιώντας το δι-κομβικό (two-node) μοντέλο (2NM), ενώ δεν είναι απαραίτητο για τον υπολογισμό του PMV. Παρόλα αυτά η μετάδοση θερμότητας μεταξύ του ανθρώπινου σώματος και του περιβάλλοντος στον υπολογισμό του  $SET^*$  γίνεται με τον ίδιο τρόπο όπως στο PMV, που χρησιμοποιούνται στο μοντέλο.

Ο Guodong (2003) στο παρακάτω διάγραμμα έδωσε και την συσχέτιση του δείκτη  $SET^*$  με την σχετική υγρασία για συγκεκριμένες συνθήκες.



**Διάγραμμα 3.19 . Μεταβολή τιμών  $SET^*$  σαν συνάρτηση της σχετικής υγρασίας όταν η ισοδύναμη θερμοκρασία είναι 25 ( $M=1met, I_{cl}=0,67clo$ ) (Guodong 2003).**

### 3.4.13 DISC

Είναι ένας δείκτης πρόβλεψης ψήφου σε μια εξαβάθμια κλίμακα θερμικής αίσθησης. Προβλέπει συγκεκριμένα την δυσφορία χρησιμοποιώντας την εφίδρωση και την θερμοκρασία του δέρματος. Η τιμή του υπολογίζεται (ASHRAE Fundamentals handbook 1989, κεφ.8.) από την παρακάτω εξίσωση :

$$DISC = 0,4685 (T_b - T_{b,C}) \text{ εάν } T_b < T_{b,C}$$

Η εξίσωση ισχύει στην περίπτωση που οι συνθήκες δεν προκαλούν εφίδρωση, διαφορετικά (Zmeureanu 1992) :

$$DISC = 4,7(Q_{e,rsw} - Q_{e,rsw,req}) / (Q_{e,max} - Q_{e,rsw,req} - Q_{e,dif}) \text{ εάν } T_{bc} < T_B \text{ (24)}$$

όπου:

$Q$ , είναι η ροή θερμότητας

$Q_e$ , η εξάτμιση

$Q_{rsw}$ , η εφίδρωση

$Q_{req}$  η απαιτούμενη και

$Q_{da}$ , είναι η διάχυση.

Η κλίμακα της θερμικής αίσθησης για τον δείκτη έχει (Zmeureanu1992):

±5	±4	±3	±2	±1	0
ανυπόφορα	οριακά ανεκτά	πολύ δυσάρεστα	δυσάρεστα	μέτρια δυσάρεστα	άνετα

#### 3.4.14. Βιοκλιματικά διαγράμματα.

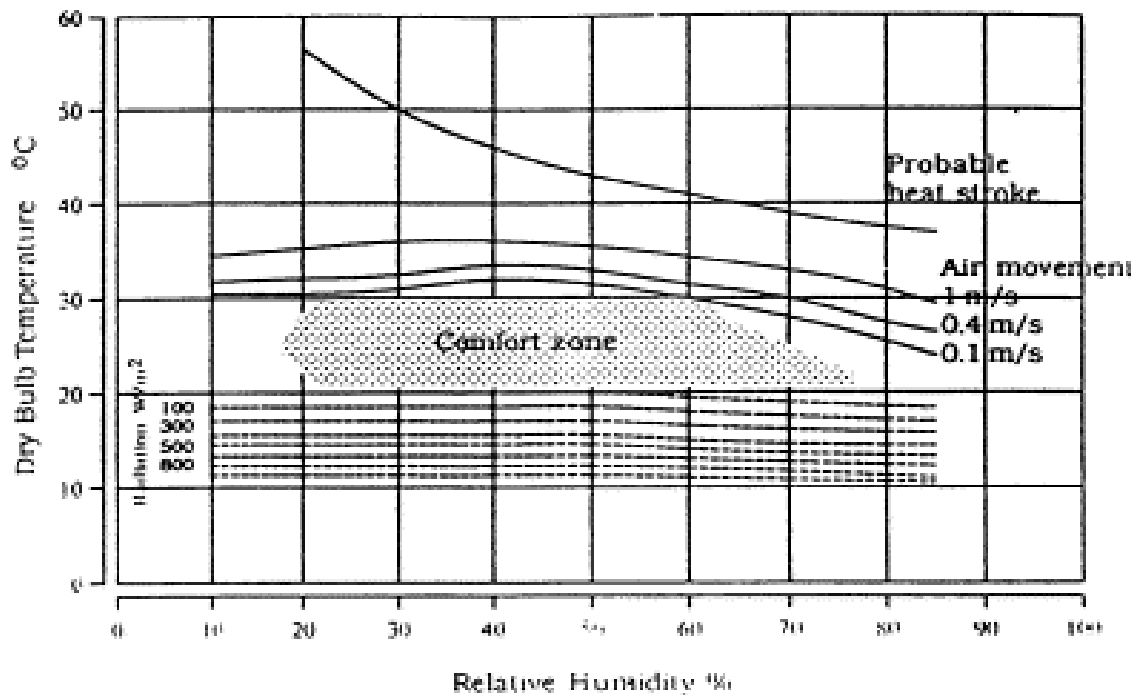
Τα βιοκλιματικά διαγράμματα συμβάλλουν στην ανάλυση των χαρακτηριστικών μίας καθορισμένης τοποθεσίας από την σκοπιά της θερμικής άνεσης, διότι παρουσιάζουν, πάνω σε ένα ψυχομετρικό χάρτη, το συγκλίνων συνδυασμό της θερμοκρασίας και της υγρασίας ,σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή. Μπορούν επίσης να δώσουν κατευθυντήριες γραμμές στο σχεδιασμό κτιρίων για να μεγιστοποιηθούν οι εσωτερικές συνθήκες άνεσης, όταν το εσωτερικό του κτιρίου δεν κλιματίζεται με μηχανικά μέσα. Όλα αυτά τα διαγράμματα έχουν δομηθεί γύρω, και αναφέρονται στην ζώνη άνεσης.

Το διάγραμμα 3.20 είναι το βιοκλιματικό διάγραμμα του Olgyay (1963), το οποίο αποτελούσε μία από τις πρώτες προσπάθειες προς την κατεύθυνση του σχεδιασμού κτιρίων με περιβαλλοντικά κριτήρια. Αναπτύχθηκε το 1950 για να συγχωνεύσει το εξωτερικό κλίμα στο σχεδιασμό κτιρίων. Το διάγραμμα δείχνει της ζώνες στις οποίες ένας άνθρωπος αισθάνεται θερμικά άνετα σε συνδυασμό με την θερμοκρασία περιβάλλοντος, την υγρασία, την μέση ακτινοβολούμενη θερμοκρασία, την ταχύτητα του ανέμου, την ακτινοβολία του ήλιου και την εξατμιστική ψύξη. Στο διάγραμμα η



θερμοκρασία ξηρού βολβού είναι η τεταγμένη και η σχετική υγρασία είναι η τετημημένη. Η ζώνη άνεσης είναι στο κέντρο, με το εύρος του χειμώνα και του καλοκαιριού να εμφανίζονται χωριστά (παίρνοντας υπόψη την εποχική προσαρμογή). Το κάτω άκρο της ζώνης είναι επίσης το όριο επάνω στο οποίο η σκίαση είναι απαραίτητη. Σε θερμοκρασίες πάνω από το όριο άνεσης, η ταχύτητα του ανέμου που απαιτείται για την επαναφορά της άνεσης, δείχνεται σε σχέση με την υγρασία. Όπου η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι υψηλή και στεγνή, υποδεικνύεται η απαραίτητη εξατμιστική εξάτμιση για να υπάρξει άνεση. Παρουσιάζεται επίσης η μεταβολή της ζώνης άνεσης με την μέση ακτινοβολούμενη θερμοκρασία.

Υπάρχουν όμως περιορισμοί και δυσκολίες στην χρήση του συγκεκριμένου διαγράμματος. Το σκεπτικό του διαγράμματος Olgay βασίζεται στις εξωτερικές κλιματικές συνθήκες. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να έχει μερικούς περιορισμούς στην ανάλυση των φυσιολογικών απαιτήσεων του εσωτερικού περιβάλλοντος. Συνεπώς το διάγραμμα μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα ζεστό περιβάλλον με μέση υγρασία ,επειδή δεν υπάρχει υψηλή διακύμανση μεταξύ εσωτερικών και εξωτερικών συνθηκών.



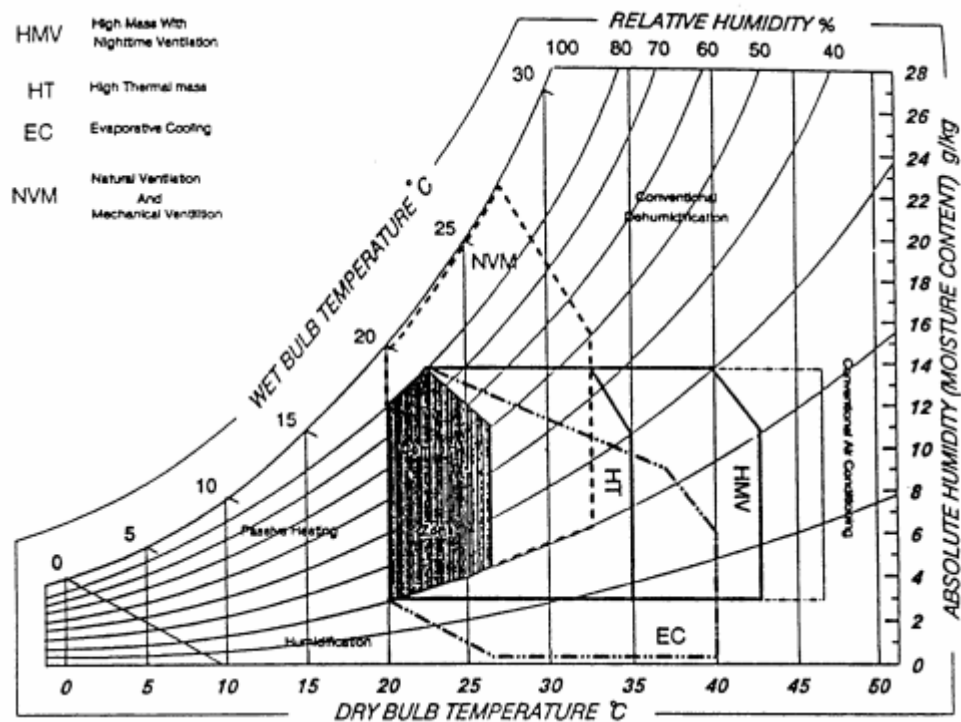
Διάγραμμα 3.20: Βιοκλιματικό διάγραμμα Olgay (1963)

Το βιοκλιματικό διάγραμμα Ginoni (1967), στόχευε στην πρόβλεψη των εσωτερικών συνθηκών σύμφωνα με τις εξωτερικές επικρατούσες συνθήκες. Βάσισε την μελέτη του στην γραμμική σχέση μεταξύ του εύρους θερμοκρασίας και της πίεσης ατμών του

εξωτερικού αέρα σε πολλές περιοχές. Σε αυτό το διάγραμμα και σύμφωνα με την σχέση μεταξύ της μηνιαίας πίεσης ατμών και του θερμοκρασιακού εύρους του εξωτερικού αέρα, ορίζονται οι κατάλληλες στρατηγικές παθητικής ψύξης σύμφωνα με τις κλιματικές συνθήκες που περιβάλλουν το κτίριο. Το διάγραμμα συνδυάζει διαφορετικά θερμοκρασιακά εύρη και πίεσης ατμών του περιβάλλοντος αέρα που σχεδιάζονται στον ψυχομετρικό χάρτη και συσχετίζονται με ειδικά όρια τεχνικών παθητικής ψύξης που επικαλύπτονται στον χάρτη.

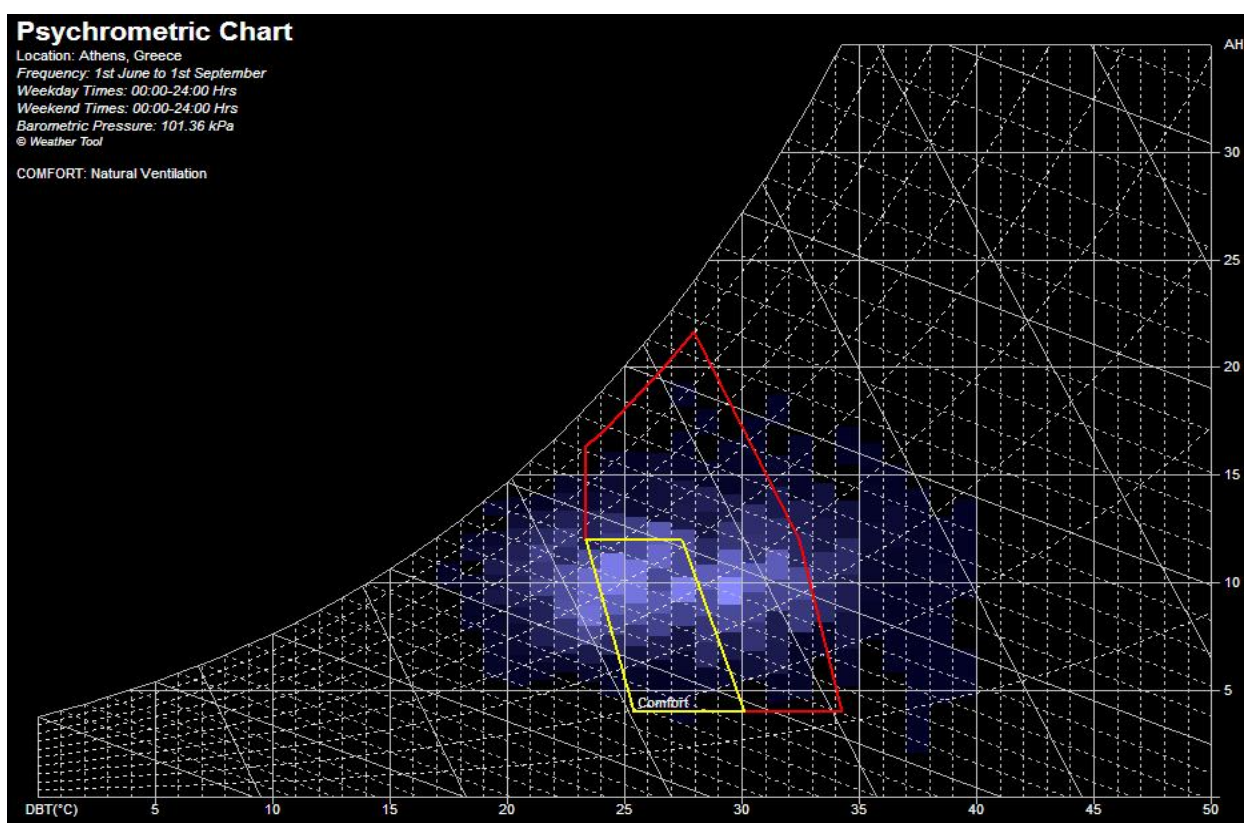
Το 1981 ο Watson έδειξε τους περιορισμούς της ανάλυσης του βιοκλιματικού χάρτη Givoni ως εξής:

- α) Μπορεί να εφαρμοστεί κυρίως σε κτίρια κλίμακας κατοικιών, τα οποία είναι ελεύθερα από εσωτερικά θερμικά κέρδη
- β) Η πάνω οριακή ζώνη εξαερισμού βασίζεται στην υπόθεση ότι η εσωτερική μέση ακτινοβολούμενη ακτινοβολία και η πίεση ατμών είναι σχεδόν οι ίδιες με τις αντίστοιχες του εξωτερικού περιβάλλοντος. Αυτό αναφέρεται σε κτίρια μικρής μάζας και με εξωτερική δομή με μέση ή υψηλή θερμική αντίσταση, η οποία παρέχεται από λευκή εξωτερική βαφή
- γ) Η αποτελεσματικότητα της θερμικής μάζας, βασίζεται στην υπόθεση ότι όλα τα παράθυρα είναι κλειστά κατά την διάρκεια της ημέρας, έναν ακίνητο εσωτερικό αέρα και ότι η πίεση ατμών είναι 2 mm υψηλότερη από ότι εξωτερικά.



Διάγραμμα 3.21: Βιοκλιματικός κτιριακός χάρτης Givoni (1963)

Η εταιρεία λογισμικού Autodesk δημιούργησε το λογισμικό Ecotect στο οποίο με την χρησιμοποίηση του ψυχομετρικού χάρτη καθορίζονται οι ζώνες άνεσης για διάφορες παραμέτρους κτιρίων όπως η παθητική ηλιακή θέρμανση, η επίδραση της θερμικής μάζας κτιρίου, η θερμική μάζα σε συνδυασμό με νυχτερινό εξαερισμό, ο φυσικός εξαερισμός, εξατμιστική ψύξη και άμεση εξατμιστική ψύξη και οι συνδυασμοί των τεχνικών αυτών. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η επίδραση του φυσικού αερισμού στην επέκταση της ζώνης άνεσης για την Αθήνα, περίοδο καλοκαιριού, για καθιστική εργασία γραφείου και με ταχύτητα ανέμου 0-2 m/s.



**Διάγραμμα 3.22: Επίδραση φυσικού αερισμού στον βιοκλιματικό κτιριακό χάρτη (Autodesk Ecotect/Weather Tool).**

### 3.4.15 Οι πίνακες Mahoney.

Το τμήμα Ανάπτυξης και Τροπικών σπουδών της Αρχιτεκτονικής Ένωσης του Λονδίνου ανέπτυξε μια μεθοδολογία για σχεδιασμό κτιρίων σύμφωνα με το κλίμα. Η προτεινόμενη μεθοδολογία βασίζεται σε τρία στάδια σχεδίασης, την σχεδίαση σκαριφήματος, την ανάπτυξη σχεδίων και το σχεδιασμό των στοιχείων. Για τον σκοπό της συστηματικής ανάλυσης μεταξύ των τριών σταδίων, εισήγαγαν του πίνακες Mahoney. Οι πίνακες χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση των κλιματικών χαρακτηριστικών, από τους οποίους βρίσκονται δείκτες σχεδίασης. Από αυτούς τους

δείκτες σχεδίασης αποκτιέται μια πρωταρχική εικόνα για τον κλιματικό σχεδιασμό του κτιρίου. Ο πίνακες αυτοί χρησιμοποιούν τέσσερις παραμέτρους για τον καθορισμό της άνεσης: την ετήσια μέση θερμοκρασία, την ομάδα παραμέτρων μέτρησης της υγρασίας, την περίοδο (είτε ημέρα, είτε νύκτα) και την θερμοκρασία αέρα.

#### 3.4.16 Διάφοροι άλλοι δείκτες.

Ο Ogunsote (2002) μας αναφέρει και τους εξής δείκτες:

##### α) Δείκτης θερμικής δυσφορίας, HSI

Ο δείκτης αυτός αναπτύχθηκε από τους Belding και Hatch το 1955 (Ogunsote 2002) στο Πανεπιστήμιο του Πίτσμπουργκ. Βασίζεται σε μερικές φυσιολογικές παραδοχές και χρησιμοποιεί θεωρητικούς υπολογισμούς, της εξωτερικής απώλειας θερμότητας, της παραγωγής θερμότητας από τον μεταβολισμό και της εξατμιστικής ικανότητας του περιβάλλοντος. Λαμβάνει υπόψη όλες τις έξι παραμέτρους πλην του ρουχισμού.

##### β) Προβλεπόμενος τετράωρος ρυθμός εφίδρωσης, P4SR

Ο δείκτης αυτός αναπτύχθηκε από το 1947 στη Αγγλία, (Ogunsote 2002) και βασίζεται στο ρυθμό εφίδρωσης από τετράωρη έκθεση σε δοσμένες συνθήκες. Ο δείκτης είναι με την μορφή ενός νομογραφήματος και αυτό υπολογίζει για διάφορες κατηγορίες ενδυμασίας, ταχύτητας αέρα και μεταβολικού ρυθμού, θεωρείται μη βολικός δείκτης για θερμοκρασίες κάτω των 28 °C και ότι υποτιμά την ψυκτική δράση της κίνησης του αέρα σε υψηλές υγρασίες.

##### γ) Ισοδύναμη θερμότητα, EW

Προτάθηκε από τον Bedford το 1961 στην Αγγλία. Θεωρείται αναξιόπιστος σε υψηλές θερμοκρασίες και ότι υποτιμά την ψυκτική δράση της κίνησης του αέρα σε υψηλές υγρασίες, (Ogunsote 2002).

##### δ) PS

Η εξίσωση προβλέπει την ταχύτητα του αέρα που θα επιλέγονταν από ένα άτομο εκτεθειμένο σε ορισμένη θερμοκρασία αέρα, όταν αυτό έχει τον έλεγχο της πηγής της ταχύτητας του αέρα. Εάν PS το είναι κάτω ενός ορισμένου ποσοστού, έστω 50%, τότε οι μισοί των χρηστών θα προτιμούσαν περισσότερη κίνηση του αέρα.

$$PS = 1,13 T_{op} - 0,24 T_{op}^{0,5} + 2,7 V^{0,5} - 0,99 V$$

όπου  $T_{op}$  = Λειτουργική θερμοκρασία °C

##### ε) TS

Η εξίσωση προβλέπει την ψήφο θερμικής αίσθησης, χρησιμοποιώντας μία γραμμική συνάρτηση της θερμοκρασίας του αέρα και της μερικής πίεσης υδρατμών:

$$TS = 0,245 T_a + 0,248 P_a - 6,475$$

### 3.4.16 Αξιολόγηση δεικτών.

Μετά από πειραματικά αποτελέσματα, τα συμπεράσματα που προέκυψαν για ορισμένους δείκτες παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα, ο οποίος δείχνει τις συνθήκες στις οποίες ο κάθε δείκτης λειτουργεί, καθώς επίσης και την αξιοπιστία τους, (Sodha 1986).

Συνθήκες Δείκτες	Απλότητα	Ανάπαυση	Δραστηριότητα	Θερμική δυσφορία
E.T.	απλός	μη ικανός	μη ικανός	μη ικανός
R.T.	απλός	ικανός	μη ικανός	μη ικανός
W.B.G.T	απλός	ικανός	ικανός	μη ικανός
E.C.I	απλός	μη ικανός	μη ικανός	ικανός
H.S.I	σύνθετος	μη ικανός	ικανός	μη ικανός
I.T.S	σύνθετος	ικανός	ικανός	ικανός
P4.S.R	απλός	ικανός	μη ικανός	ικανός
T.S.I	απλός	ικανός	μη ικανός	ικανός
P.M.V	σύνθετος	ικανός	ικανός	ικανός
W.C.I	απλός	ικανός	μη ικανός	μη εφαρμόσιμος
Humidex	απλός	ικανός	μη ικανός	μη εφαρμόσιμος

**Πίνακας 3.11: Αξιοπιστία θερμικών δεικτών, κατά Sodha (1986)**

Επίσης στον παρακάτω πίνακα, παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και οι περιορισμοί διαφόρων δεικτών, που επιδρούν στην δυνατότητα εφαρμογής τους στην κλιματική ζώνη της Νιγηρίας, (Ogunsote 2002).

Δείκτης	Πλεονεκτήματα	Περιορισμοί
Βιοκλιματικός χάρτης	Απλή γραφική μέθοδος	Δεν μπορεί να προβλέψει το βαθμό της δυσαρέσκειας και έχει περιορισμένη χρήση για σχετική υγρασία κάτω από 15% και πάνω από 75%.

Μέθοδος BRS	Υποστήριξη από το BRS	Δεν είναι αξιόπιστος πάνω από 26°C, αφού δεν επιτρέπει την διακύμανση στο δροσισμό μέσω της εφίδρωσης για διάφορες υγρασίες, πάνω από αυτήν την θερμοκρασία.
Αισθητή θερμοκρασία, ET	Το νομογράφημα είναι απλό και εύκολο στη χρήση. Δείχνει την επίδραση στην άνεση των κύριων παραμέτρων εκτός της ακτινοβολίας και της δραστηριότητας.	Οι αναλύσεις δείχνουν ότι υπερεκτιμά τις επιδράσεις της Υγρασίας κάτω από δροσερές και άνετες συνθήκες και τις υποτιμά σε υψηλές θερμοκρασίες.
Κλίμακα Evans	Απλή κλίμακα από άμεσα διαθέσιμα δεδομένα. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους.	Δεν εκφράζει τον βαθμό της δυσφορίας. Γενικεύει κατηγοριοποιώντας την σχετική υγρασία σε 4 κατηγορίες και την μέση ετήσια θερμοκρασία σε 3.
Δείκτης δυσφορίας από θερμότητα, HIS	Αναλύει την σχετική διασπορά των διαφόρων παραγόντων που επιδρούν στη θερμική καταπόνηση.	Ο Koenigswberger ισχυρίζεται ότι είναι αξιόπιστος μόνο μεταξύ 27° και 35 °C και 30% με 80% σχετική υγρασία.
Δείκτης θερμικής καταπόνησης, ITS	Έχει στερεή ακαδημαϊκή και πειραματική βάση.	Έγκυρος για μόνιμη κατάσταση, ακόμα και αν ανεβαίνουν η T και οι παλμοί του σώματος.
Προβλεπόμενος 4ωρος ρυθμός Εφίδρωσης P4SR	Διάφορες μελέτες διαβεβαιώνουν την εγκυρότητα του δείκτη σε υψηλές θερμοκρασίες.	Δεν θεωρείται βολικός για θερμοκρασίες κάτω από 28°C και υποτιμά την ψυκτική επίδραση αέρα σε υψηλές υγρασίες.
Αποτελεσματική θερμοκρασία	Ο Givoni ισχυρίζεται ότι είναι πιο αποτελεσματικός από τον ET	Θεωρείται ότι υποτιμά την επίδραση του αέρα πάνω από 35° και σχετική υγρασία 80%
TSENS		Η εξίσωση καθορίζει τον δείκτη μόνο για ένα σταθερό σετ συνθηκών.

Πίνακας 3.12: Πλεονεκτήματα και περιορισμοί δεικτών θερμικής άνεσης, κατά Ogunsote (2002)

### 3.5 Προσαρμόσιμη θερμική άνεση

Ο Nicol ορίζει το προσαρμόσιμο μοντέλο σαν *‘μια προσέγγιση στην μελέτη της θερμικής άνεσης, η οποία ξεκινά από την παρατήρηση ότι υπάρχει ένα εύρος ενεργειών τις οποίες κάποιος μπορεί να πραγματοποιήσει για να επιτύχει θερμική άνεση, και η δυσφορία προκαλείται από τους περιορισμούς που επιβάλλονται στο εύρος των ενεργειών από κοινωνικούς, φυσικούς ή άλλους παράγοντες’* (Nicol 1993). Ο Humphrey (2001), ανέφερε ότι *‘Αυτό που ψάχνουμε σε ένα προσαρμόσιμο μοντέλο, είναι μία αναδυόμενη ιδιότητα η οποία έχει χαρακτηριστικά που δεν μπορούν να προβλεπτούν από μαθηματικά που κρύβονται από πίσω’*. Οι Nicol and Humphrey

(2001) δήλωσαν ότι η θεμελιώδης θεώρηση του προσαρμόσιμου μοντέλου ορίζεται από την προσαρμόσιμη αρχή: *‘εάν πραγματοποιηθεί μια αλλαγή ώστε να προκαλέσει δυσφορία, τότε οι άνθρωποι τείνουν να αντιδράσουν με τρόπους που αποκαταστούν την άνεσή τους’*.

Οι Nicol and Humphrey (2002), πραγματοποίησαν μία μελέτη με στόχο την προσέγγιση ενός προσαρμόσιμου μοντέλου θερμικής άνεσης. Πρότειναν να εφαρμοστούν τα αποτελέσματα της προσαρμόσιμης θερμικής άνεσης σε υφιστάμενα πρότυπα του εσωτερικού κλίματος των κτιρίων. Έτσι θεώρησαν ότι υπάρχει μία ανακολουθία μεταξύ των λογικών δεικτών και των ερευνητικών εργασιών. Ερευνητές έδειξαν ότι, η αντίδραση των ανθρώπων στο περιβάλλον θερμικής άνεσης, η συμπεριφορά τους και η κλιματική προσαρμογή μπορεί να προκαλούν αυτή την ασυμφωνία. Με αυτόν τον τρόπο, υπάρχουν τρεις αποτελεσματικοί παράγοντες στην προσαρμόσιμη θερμική άνεση: το κλίμα είναι ο κύριος παράγοντας (μπορεί να επηρεάσει την κουλτούρα, την αίσθηση θερμικής άνεσης και τον σχεδιασμό των κτιρίων), τα κτίρια και η συντήρησή τους είναι ο δεύτερος παράγοντας και ο χρόνος ο τρίτος. Οι Nicol and Humphrey (2002), στην έρευνά τους κατέδειξαν μια ξεκάθαρη ασυμφωνία μεταξύ των ενοίκων σε κτίρια ελεύθερης ροής και σε αυτά που είναι θερμαινόμενα και ψυχόμενα. Υπέδειξαν ότι το γράφημα των κτιρίων ελεύθερης ροής είναι σε γραμμική μορφή, ενώ για τα υπόλοιπα κτίρια πολύ πιο πολύπλοκο. Καθόρισαν και έναν αλγόριθμο ο οποίος βασίστηκε στην άμεση σχέση μεταξύ των εσωτερικών ορισμένων σημείων και την υπάρχουσα μέση εξωτερική θερμοκρασία.

Κατέληξαν ότι η προσαρμόσιμη προσέγγιση θα μπορούσε να βοηθήσει τους σχεδιαστές κτιρίων να εκτιμήσουν την εσωτερική θερμική άνεση για ενοίκους κυρίως για κτίρια ελεύθερης ροής. Οι ένοικοι ενός κτιρίου θα πρέπει να μπορούν να τροποποιήσουν και να ελέγχουν την εσωτερική θερμοκρασία με  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  απόκλιση για να επιτύχουν θερμική άνεση. Ο προσαρμόσιμος αλγόριθμος θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σαν εξίσωση για τον υπολογισμό των εσωτερικών ορισμένων σημείων τα οποία συσχετίζονται με την εξωτερική θερμοκρασία.

Δείχτηκε επίσης μέσω των προσαρμόσιμων μοντέλων, ότι είναι δυνατή σε αποδεκτό βαθμό, η άνεση σε ένα εύρος θερμοκρασία αέρα που κυμαίνεται από  $17^{\circ}\text{C}$  -  $31^{\circ}\text{C}$  (Humphreys and Nicol 1998). Τα προσαρμόσιμα μοντέλα είναι κατάλληλα για αρχικό σχεδιασμό και ενεργειακές αποφάσεις. Μπορούν επίσης να είναι χρήσιμα στο καθορισμό των ορισμένων σημείων θερμοκρασίας κτιρίων κατά την διάρκεια του έτους (ASHRAE Fundamentals Handbook 2005). *‘Για πιο ζεστά περιβάλλοντα όμως,*

θα ήταν αποδεκτό σύμφωνα με το μοντέλο να υπάρχει εσωτερική θερμοκρασία η οποία θα είναι υψηλότερη κατά κάποιους βαθμούς. Και η ερώτηση είναι: Εάν έχεις κλιματισμό στο σπίτι σου, θα μπορείς να προσαρμοστείς σε υψηλότερες θερμοκρασίες στο γραφείο σου;’ (Olesen 2004).

Τα προσαρμόσιμα μοντέλα προβλέπουν τις συνθήκες στις οποίες οι άνθρωποι είναι πιθανόν να είναι άνετοι μέσα σε κτίρια και αντίθετα με τον δείκτη PMV δεν προβλέπουν αντιδράσεις άνεσης (ASHRAE Fundamentals Handbook 2005). Η σημαντική μεταβλητή στα προσαρμόσιμα μοντέλα είναι η κατάσταση του καιρού. Το προσαρμόσιμο μοντέλο των Humphreys και Nicol (1998) βασίζεται σε ένα μεγάλο εύρος δεδομένων από κτίρια σε διαφορετικά κλίματα και κουλτούρες και παρουσιάζεται σαν την παρακάτω εξίσωση:

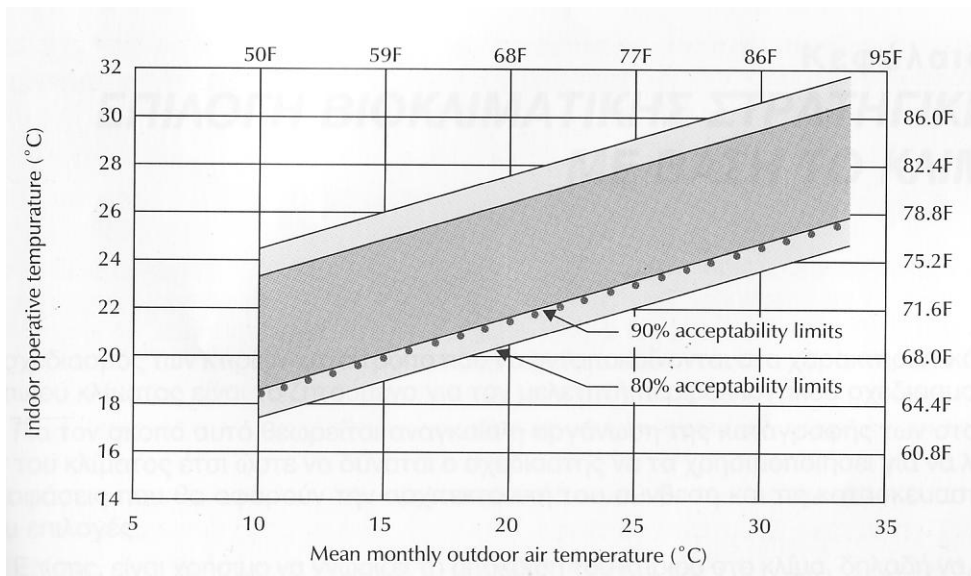
$$t_c = 24.2 + 0.43(t_{out} - 22) \exp\left(-\left(\frac{t_{out} - 22}{24\sqrt{2}}\right)^2\right)$$

όπου

$t_c$  = θερμοκρασίες άνεσης

$t_{out}$  = μέση μηνιαία εξωτερική θερμοκρασία

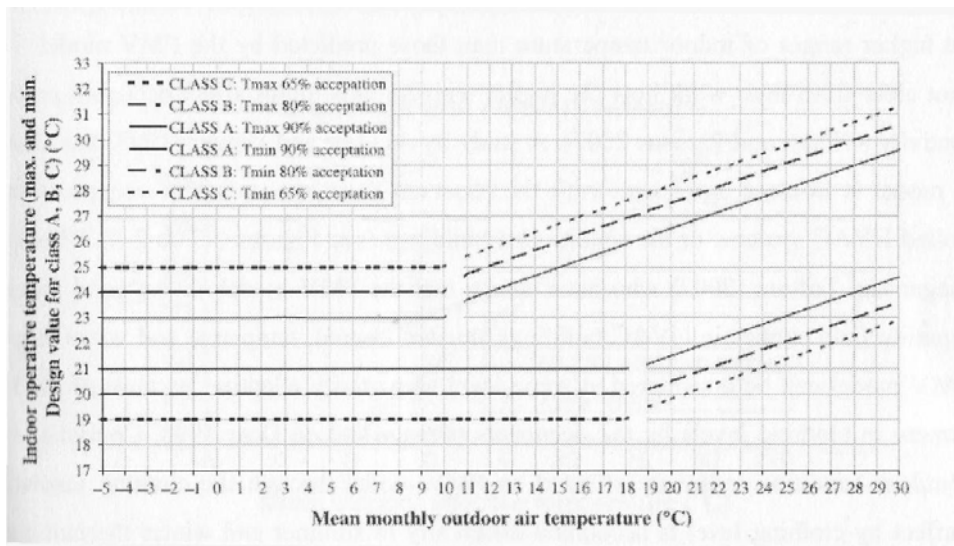
Στο διάγραμμα 3.23 το εύρος των εσωτερικών λειτουργικών θερμοκρασιών στο προσαρμόσιμο μοντέλο βασίζεται στην εξωτερική θερμοκρασία. Αυτό το μοντέλο εκδόθηκε από πληροφορίες σε παγκόσμιο επίπεδο από 21000 μετρήσεις σε κτίρια γραφείων από διαφορετικές χώρες (Olesen and Brager 2004) και αναπτύχθηκε για το πρότυπο ASHRAE 55 (2004).



**Διάγραμμα 3.23** Αποδεκτά πεδία τιμών για την λειτουργική θερμοκρασία σε φυσικά αεριζόμενους χώρους



Οι πιο σύγχρονες μελέτες πάνω στην προσαρμόσιμη θερμική άνεση φαίνονται με μεγαλύτερη λεπτομέρεια στο σχήμα 3.24, το οποίο δείχνει τα καθορισμένα σημεία της μηνιαίας εσωτερικής θερμοκρασίας για διαφορετικά επίπεδα ικανοποίησης άνεσης, σε κτίρια χωρίς μηχανικό κλιματισμό (φυσικά κλιματιζόμενα κτίρια). Τα επίπεδα ικανοποίησης κατηγοριοποιήθηκαν σε διαφορετικές κλάσεις A, B, C και σε ελάχιστη και μέγιστη θερμοκρασία. Το διάγραμμα όπως επισημαίνουν και οι Olesen et al (2006) είναι έγκυρο, μόνο για φυσικά κλιματιζόμενα κτίρια γραφείων με παράθυρα τα οποία τα χειρίζονται οι ένοικοι.

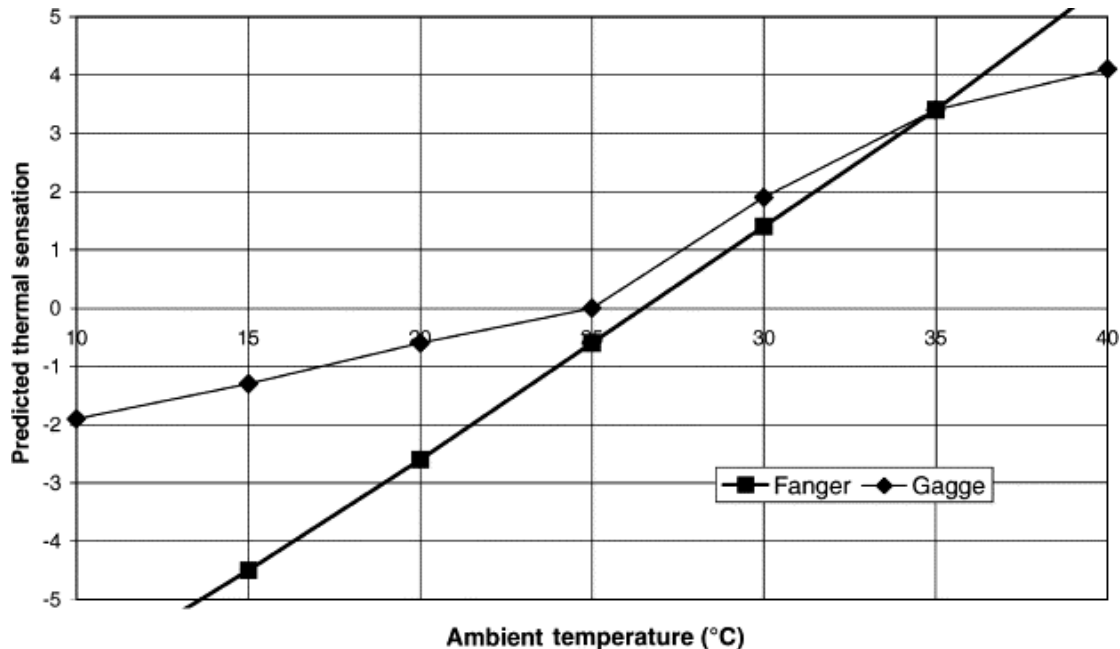


**Διάγραμμα 3.24 Κριτήρια σχεδιασμού για εσωτερική θερμική άνεση σε κτίρια χωρίς μηχανικό τρόπο ψύξης (Olesen et al. 2006)**

### 3.6 Η εγκυρότητα των μοντέλων

Όλα τα μοντέλα είναι στην καλύτερη περίπτωση μία προσέγγιση της πραγματικότητας, με κάποια να είναι καλύτερα από τα άλλα. Υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους και στην περίπτωση της θερμικής άνεσης αυτό δεν είναι πολύ δύσκολο να καταδειχτεί. Ο Jones (2002) στο διάγραμμα 3.25 σύγκρινε τις διαφορές στις προβλέψεις που προέκυψαν μεταξύ του 2NM (two node model) του Gagge και του μοντέλου του Fanger (θερμοκρασία αέρα = ακτινοβολούμενη θερμοκρασία, σχετική υγρασία 50%, ταχύτητα αέρα = 0.15m/s, μεταβολικός ρυθμός = 58 W/m<sup>2</sup>, μόνωση ένδυσης = 0.69clo). Ακόμα και για συνηθισμένες συνθήκες, ιδίως όσον αφορά τη δροσερή πλευρά της άνεσης, τα μοντέλα δίνουν πολύ διαφορετικά αποτελέσματα. Για παράδειγμα, αν το αποδεκτό εύρος άνεσης έχει επιλεγεί να

κυμαίνεται από λίγο κρύο έως ελαφρώς ζεστό, το οποίο αντιστοιχεί σε μια προβλεπόμενη θερμική αίσθηση που κυμαίνεται από -1 έως 1. Στο διάγραμμα 3.25, το αντίστοιχο εύρος θερμοκρασίας είναι περίπου 17-27,5 ° C για το μοντέλο Gagge δύο κόμβων και περίπου 24-28,5 ° C για το μοντέλο Fanger. Υπάρχει σοβαρή έλλειψη συμφωνίας, ιδίως για τα κατώτατα όρια θερμοκρασίας.

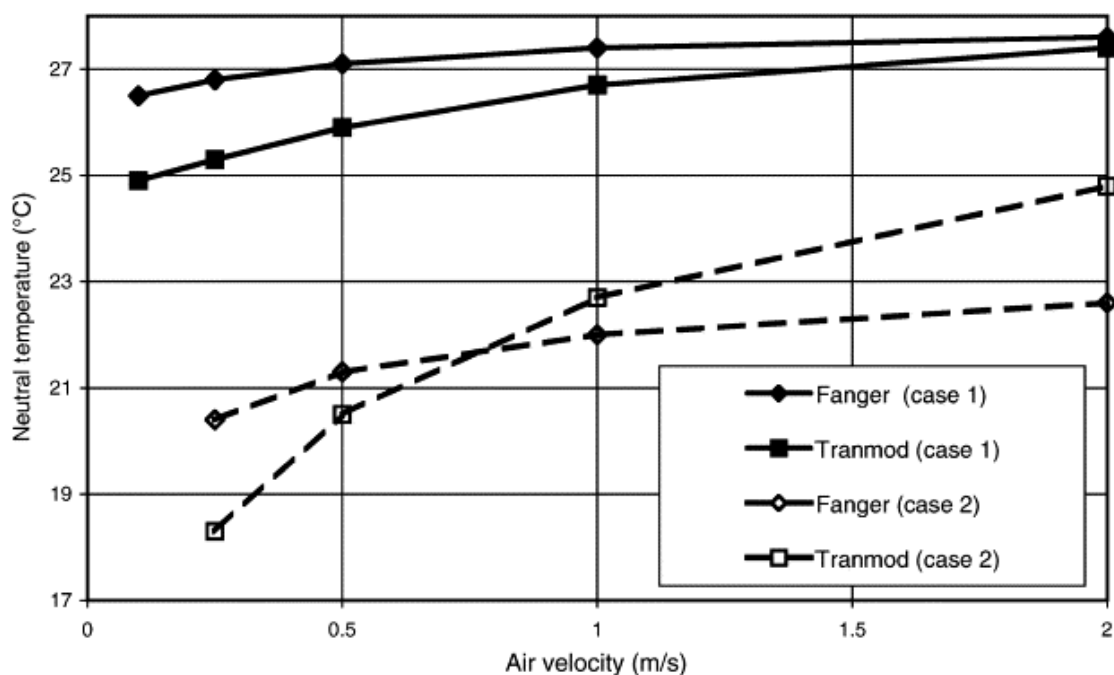


Διάγραμμα 3.25: Σύγκριση των μοντέλων του Gagge και Fanger (Jones 2002)

Μεγάλο μέρος της διαφοράς στο προηγούμενο παράδειγμα μπορεί να αποδοθεί σε διαφορές στους αλγόριθμους άνεσης παρά στις διαφορές στο φυσικό ανθρώπινο μοντέλο άνεσης. Ωστόσο, είναι επίσης δυνατό να αποδειχθεί ότι υπάρχουν βασικές διαφορές στα φυσικά μοντέλα. Για το σκοπό αυτό, το μοντέλο Fanger ο Jones (2002) το σύγκρινε με το μοντέλο Tranmod. Το μοντέλο Fanger, εφόσον είναι ένα μονοδιάστατο μοντέλο, αντιμετωπίζει τα είδη ένδυσης ως ενιαία σε ολόκληρο το σώμα.

Η πραγματική μέση μόνωση του μη ενιαίου ρουχισμού καθορίζεται από μετρήσεις σε ανδρείκελα ή άλλα μέσα και τότε εφαρμόζεται ενιαία σε όλο το σώμα. Το μοντέλο Tranmod είναι ένα σχεδόν τρισδιάστατο μοντέλο που χωρίζει την επιφάνεια του σώματος σε τμήματα, έτσι ώστε κάθε τμήμα να καλύπτεται ομοιόμορφα με ρούχα με βάση το πραγματικό σύνολο ένδυσης. Η επίδραση της αυξημένης ταχύτητας του αέρα, όπως καθορίζεται από τα δύο μοντέλα φαίνεται στο διάγραμμα 3.26 για δύο διαφορετικές περιπτώσεις (περίπτωση 1: η θερμοκρασία του αέρα = ακτινοβολούμενη θερμοκρασία, σχετική υγρασία = 50%, μεταβολική δραστηριότητα = 58 W/m<sup>2</sup>, η ένδυση είναι ένα σύνολο με μόνωση = 0,69 clo, Περίπτωση 2:

μεταβολική δραστηριότητα = 174 W/m<sup>2</sup>, η ένδυση είναι ένα μπλουζάκι και σορτς σύνολο με μόνωση = 0,21 clo, αλλιώς το ίδιο).



**Διάγραμμα 3.26:** Ευαισθησία των μοντέλων Fanger και Tramond σε αυξανόμενη ταχύτητα αέρα (Jones 2002)

Απόρροια όλης αυτής της συζήτησης είναι η πρόταση μιας επέκτασης του PMV μοντέλου από τον ίδιο τον Fanger (2002), για μη κλιματιζόμενα κτίρια σε θερμά κλίματα, με την προσθήκη ενός διορθωτικού παράγοντα, παράγοντα προσδοκίας όπως τον ονομάζει, (πίνακας 3.13).

Προσδοκία	Κατάταξη μη κλιματιζόμενων κτιρίων		Παράγων e Προσδοκίας
	Τοποθεσία	Ζεστή περίοδος	
Υψηλή	Σε περιοχές όπου τα Κλιματιζόμενα κτίρια είναι συνήθη	Σύντομη την εποχή του καλοκαιριού	0,9-1,0
Μέτρια	Σε περιοχές με μερικά κλιματιζόμενα κτίρια	Την εποχή του καλοκαιριού	0,7-0,9
Χαμηλή	Σε περιοχές με λίγα κλιματιζόμενα κτίρια	Όλες τις εποχές	0,5-0,7

**Πίνακας 3.13:** Παράγοντες προσδοκίας για μη κλιματιζόμενα κτίρια σε θερμά κλίματα (Fanger and Toftum 2002)

Ερμηνεύοντας ο ίδιος τα δεδομένα, αμφιβάλλει για την αποτελεσματικότητα του δροσισμού των κτιρίων με χρήση νυκτερινού αερισμού. Θεωρεί επίσης ότι ο φυσιολογικός εγκλιματισμός των χρηστών δεν παίζει ρόλο και υιοθετεί μια άκομψη κρίση για τους χρήστες σε θερμές χώρες: «ίσως αυτοί πιστεύουν ότι είναι η «μοίρα» τους να ζουν σε περιβάλλοντα όπου αισθάνονται θερμότερα παρά ουδέτερα».

Υποστηρίζει ωστόσο ότι χρήστες προσαρμόζονται στα θερμά περιβάλλοντα μειώνοντας το ρυθμό μεταβολισμού τους και θεωρεί επιβεβλημένο να εισάγεται ένας μειωμένος ρυθμός μεταβολισμού όταν υπολογίζεται το PMV σε τέτοια περιβάλλοντα. Η μείωση του μεταβολικού ρυθμού που προτείνει προσδιορίζεται από το γινόμενο του με τον παράγοντα προσδοκίας, (πίνακας 3.14).

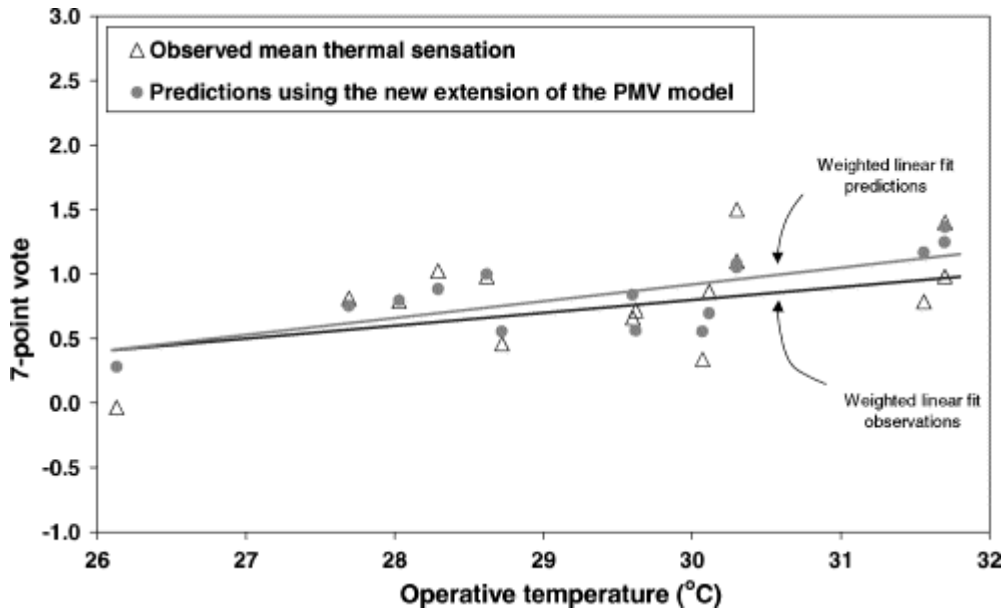
Μαθηματικά αυτή η σχέση μπορεί να γραφεί:  $met_e = met^* \cdot e$

όπου:  $met_e$  είναι ο μειωμένος μεταβολικός ρυθμός, με την εισαγωγή του οποίου υπολογίζεται ο  $PMV_e$ , δηλαδή ο PMV ρυθμισμένος με τον παράγοντα προσδοκίας.

Πόλη	Παράγοντας Προσδοκίας, e	PMV ρυθμισμένος στην κατάλληλη δραστηριότητα	PMV <sub>e</sub> ρυθμισμένος για την προσδοκία	Παρατηρούμενη Μέση ψήφος
Μπανγκόγκ	0,6	2,0	1,2	1,3
Σιγκαπούρη	0,7	1,2	0,8	0,7
Αθήνα	0,7	1,0	0,7	0,7
Μπρίσμπεϊν	0,9	0,9	0,8	0,8

**Πίνακας 3.14: Μη κλιματιζόμενα κτίρια σε θερμά κλίματα (Fanger and Toftum 2002)**

Με αυτά τα επιπλέον στοιχεία και την προτεινόμενη επέκταση του PMV ,ο Fanger (2002) έδωσε και το παρακάτω διάγραμμα 3.27 το οποίο δείχνει την Θερμική αίσθηση σε μη κλιματιζόμενα κτίρια σε τέσσερις πόλεις με θερμά κλίματα. Συγκρίνει την παρατηρούμενη μέση θερμική αίσθηση με τις προβλέψεις που έγιναν με τη νέα επέκταση του μοντέλου PMV για μη κλιματιζόμενα κτίρια σε θερμά κλίματα. Οι γραμμές βασίζονται σε ανάλυση γραμμικής παλινδρόμησης σταθμισμένη ανάλογα με τον αριθμό των απαντήσεων που λήφθηκαν σε κάθε κτίριο (Fanger and Toftum 2002).



Διάγραμμα 3.27: Θερμική αίσθηση σε μη κλιματιζόμενα κτίρια (Fanger and Toftum 2002)

### 3.7 Πρότυπα θερμικής άνεσης

Τα δύο βασικά πρότυπα που αναφέρονται στην θερμική άνεση είναι το ISO 7730 Standard (International Standards Organization) και το ASHRAE Standard 55 (American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers) καθώς και μερικά άλλα μικρότερης σημασίας και εφαρμογής. Τα δύο αυτά πρότυπα είναι πολύ καλά εγκαθιδρυμένα και σε συμφωνία το ένα με το άλλο (Olesen 2004). Παραδοσιακά, οι προτάσεις τους βασίστηκαν σχεδόν εξολοκλήρου σε εργαστηριακές έρευνες (Aronoff 1995), αλλά τα τελευταία χρόνια προστέθηκαν αλλαγές που επιτρέπουν μερική προσαρμογή στην ανάπτυξη καιρού και στην προσέγγιση των προσαρμόσιμων μοντέλων.

#### 3.7.1 Ευρωπαϊκό πρότυπο ISO 7730

Το Ευρωπαϊκό πρότυπο ISO 7730 εγκαθιδρύθηκε για να εκτιμήσει την θερμική άνεση σε εσωτερικά περιβάλλοντα. Αποτελεί ένα διεθνές πρότυπο που παρέχει μεθόδους πρόβλεψης της γενικής θερμικής άνεσης και του βαθμού δυσφορίας ή θερμικής δυσφορίας ανθρώπων σε ήπια θερμικά περιβάλλοντα. Χρησιμοποιώντας τον υπολογισμό του PMV, του PPD και της τοπικής θερμικής άνεσης επιτρέπει τον καθορισμό της θερμικής άνεσης για τους ένοικους στο σχεδιασμό καινούριων κτιρίων ή στα υπάρχοντα κτίρια. Επίσης το πρότυπο έχει εφαρμογή σε υγιείς άνδρες και γυναίκες. Η πιο πρόσφατη έκδοση του προτύπου (ISO 7730 2005) είναι αρκετά κοντά

στο πρότυπο ASHRAE 55 (2004) στο καθορισμό αποδεκτών δεικτών PMV και PPD για τα κριτήρια θερμικής άνεσης. Επίσης παρέχει μεθόδους για την εκτίμηση της τοπικής δυσφορίας που προκαλείται από τα ρεύματα αέρα, την ασύμμετρη ακτινοβολία και τις θερμοκρασιακές μεταβολές (Parsons 2001). Τα κριτήρια για θερμικά αποδεκτή θερμική άνεση στο πρότυπο φαίνονται στον πίνακα 3.15 Σύμφωνα με αυτόν τον πίνακα, το αποδεκτό εύρος του θερμικού περιβάλλοντος σε ένα χώρο χωρίζεται στις κατηγορίες A,B,C οι οποίες επιβεβαιώνουν ένα μέγιστο ποσοστό δυσαρεστημένων για το σώμα συνολικά (PPD) και ποσοστό δυσαρεστημένων για τοπική δυσφορία (PD).

Κατηγορία	Θερμική κατάσταση του σώματος συνολικά			Τοπική θερμική Δυσφορία		
				PD%		
	PPD%	PMV	DR%	Κάθετη διαφορά θερμοκρασίας αέρα	Θερμό ή ψυχρό πάτωμα	Ασύμμετρία θερμοκρασίας ακτινοβολίας
A	<6	-0,2<PMV<+0,2	<15	<3	<10	<5
B	<10	0,5<PMV<+0,5	<20	<5	<10	<5
C	<15	-0,7<PMV<+0,7	<25	<10	<15	<10

**Πίνακας 3.15: Κατηγορίες θερμικών περιβάλλοντων βασισμένες στο πρότυπο ISO7730 (2005).**

Επειδή το επίπεδο της θερμικής άνεσης μπορεί να επηρεαστεί από ότι είναι τεχνικά εφικτό, την εξοικονόμηση ενέργειας, την μόλυνση του περιβάλλοντος και την απόδοση, το πρότυπο όρισε διαφορετικά επίπεδα αποδοχής θερμικής άνεσης (Olesen 2004). Αυτό εξαρτάται από την κάθε χώρα ή μία σύμβαση μεταξύ των χρηστών και του σχεδιαστή για να αποφασιστεί ποιο επίπεδο θα χρησιμοποιηθεί (Olesen 2004).

### 3.7.2 Το πρότυπο ASHRAE 55.

Το πρότυπο της αμερικανικής ένωση μηχανικών της θέρμανσης, ψύξης και κλιματισμού (ASHRAE) αναπτύχθηκε για συνθήκες θερμικών περιβάλλοντων για ανθρώπους. Ο σκοπός του συγκεκριμένου προτύπου είναι 'να ορίσει τους συνδυασμούς των παραγόντων του εσωτερικού θερμικού περιβάλλοντος και τους προσωπικούς παράγοντες οι οποίοι θα παράγουν συνθήκες θερμικών περιβάλλοντων αποδεκτές στην πλειοψηφία των ενοίκων μέσα σε ένα χώρο' (ASHRAE Standard

2004). Η αναθεωρημένη έκδοση του προτύπου του 2004 έρχεται σε συμφωνία με το πρότυπο ISO7730 2005 και τον υπολογισμό των δεικτών PMV/PPD και επίσης αναπτύχθηκαν προσαρμόσιμα κριτήρια για το πρότυπο. Δημιουργήθηκε με σκοπό την χρήση του για την ανάλυση του θερμικού περιβάλλοντος στον σχεδιασμό κτιρίων, στην παραγγελία κτιρίων και στα υπάρχοντα κτίρια με συστήματα HVAC.

Το πρότυπο ορίζει συγκεκριμένες συνθήκες ή ζώνες άνεσης στις οποίες το 80% των καθήμενων ή με χαμηλή δραστηριότητα ανθρώπων ,θα βρει το περιβάλλον θερμικά άνετο (ASHRAE Fundamentals Hand book 2001 & 2005). Στο πρότυπο ASHRAE 55, η αίσθηση της θερμικής άνεσης βασίζεται σε τέσσερις περιβαλλοντικούς παράγοντες (θερμοκρασία αέρα, σχετική υγρασία, ακτινοβολούμενη θερμοκρασία και ταχύτητα αέρα) και δύο προσωπικούς παράγοντες (μεταβολικός ρυθμός και μόνωση ένδυσης). Αναφέρεται στην θερμική άνεση σε σταθερή κατάσταση. Μπορεί να προβλέψει την θερμική άνεση είτε με γραφική μέθοδο είτε με την χρήση υπολογιστών. Το εύρος των αποδεκτών λειτουργικών θερμοκρασιών με την γραφική μέθοδο φαίνεται σε ένα ψυχομετρικό χάρτη (διάγραμμα 3.15). Αυτά τα διαγράμματα βασίζονται σε δύο διαφορετικά επίπεδα ένδυσης 0.5 clo για καλοκαίρι και 1.0 clo για χειμώνα ή θέρμανση τα οποία ανταποκρίνονται σε PPD γύρω στα 10% (Olesen and Brager 2004). Παρόλο που η γραφική μέθοδος είναι εύκολη στην χρήση της , είναι περιορισμένη σε συγκεκριμένους μεταβολικούς ρυθμούς μεταξύ 1.0 και 1.3 met και σε ταχύτητα αέρα μικρότερη από 0.20m/s (Olesen and Brager 2004). Η μέθοδος με την χρήση υπολογιστών μπορεί να εφαρμοστεί σε μεγαλύτερο εύρος συνθηκών συγκριτικά με την γραφική μέθοδο. Αυτή η μέθοδος βασίζεται σε PMV και PPD που εφαρμόζονται σε συνθήκες που το επίπεδο ένδυσης είναι μικρότερο του 1.5clo ,ο μεταβολικός ρυθμός είναι μεταξύ 1.0 και 2.0 met και τη ταχύτητα του αέρα είναι μέχρι 1m/s (Olesen and Brager 2004). Ο παρακάτω πίνακας 3.16 δείχνει της αποδεκτές θερμοκρασίες λειτουργίας που συμμορφώνονται με PMV μέσα στο εύρος  $-0.5 < PMV < 0.5$  το οποίο ανταποκρίνεται σε ένα PPD του 10% στην μέθοδο με υπολογιστή.

PPD%	Εύρος PMV
<10	$-0.5 < PMV < 0.5$

**Πίνακας 3.16: Αποδεκτό θερμικό περιβάλλον για γενική άνεση σύμφωνα με ASHRAE 55(2004).**

### 3.7.1.1 Περιορισμοί και όροι

Το πρότυπο ASHRAE 55(2004) αναφέρεται στην καμπύλη PPD=f(PMV) και την υπόθεση ότι οι άνθρωποι που στην κλίμακα θερμικής αίσθησης της ASHRAE ψηφίζουν +3, +2, -2, -3, αισθάνονται δυσφορία.

Η υγρασία πρέπει να συντηρείται σε επίπεδα που αντιστοιχούν σε πίεση υδρατμών κάτω από 1,910 kPa ή θερμοκρασίας δρόσου 16,8°C, δεν ορίζει όμως ελάχιστα επίπεδα υγρασίας.

Το πρότυπο αναφέρει ότι δεν έχει εγκαθιδρυθεί σχέση ανάμεσα στην αύξηση της ταχύτητας του αέρα και της προώθησης της άνεσης. Επιτρέπει ωστόσο, η άνοδος της ταχύτητας του αέρα (έως 0,8 m/s) να χρησιμοποιηθεί ώστε να αυξηθεί η μέγιστη αποδεκτή θερμοκρασία (όχι πλέον των 3°C), εάν οι αποδέκτες χρήστες μπορούν οι ίδιοι να την ελέγξουν και με βήμα όχι μεγαλύτερο του 0,15 m/s. Τα οφέλη που μπορούν να προκύψουν εξαρτώνται από τον ρουχισμό και την δραστηριότητα. Η επίδραση της αύξησης της ταχύτητας είναι μεγαλύτερη με την ένταση της δραστηριότητας λόγω της αυξημένης εφίδρωσης και ο ελαφρύτερος ρουχισμός αυξάνει την επιφάνεια του δέρματος που εκτίθεται.

Καθορίζει προϋποθέσεις για τους παράγοντες τοπικής δυσφορίας:

Ποσοστό δυσαρεστημένων (PD) λόγω ρεύματος (DR) και άλλων πηγών (PD)			
DR από ρεύμα	PD από κάθετη διαφορά θερμοκρασίας αέρα	PD από θερμό ή κρύο πάτωμα	PD από ασύμμετρη ακτινοβολία
<20%	5%	<10%	<5%

Επιτρεπόμενη Ασύμμετρία Θερμοκρασίας ακτινοβολίας °C			
Θερμό ταβάνι	Κρύος τοίχος	Κρύο ταβάνι	Θερμός τοίχος
<5	<10	<14	<23

**Πίνακας 3.17: Προϋποθέσεις παραγόντων τοπικής δυσφορίας .**

Οι παραπάνω απαιτήσεις εφαρμόζονται σε άτομα με ελαφριά ενδυμασία και καθιστική δραστηριότητα.

Οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας που συμβαίνουν, χωρίς να είναι κάτω από τον έλεγχο των χρηστών (π.χ. η ανακύκλωση αέρα από τον θερμοστατικό έλεγχο), μπορούν να επιδρούν αρνητικά στην αίσθηση άνεσης και υπόκεινται σε περιορισμούς:



Χρονική περίοδος	0,25	0,5	1	2	4
Μέγιστη επιτρεπόμενη αλλαγή στην $T_o$	1,1°	1,7°	2,2°	2,8°	3,3°

Πίνακας 3.10 Περιορισμοί στις θερμοκρασιακές συσσωρεύσεις (drifts) και απότομες αλλαγές

Όσο αναφορά τα κριτήρια των μετρήσεων το πρότυπο αναφέρει ότι η θέση των μετρήσεων πρέπει να επιλέγεται στο κέντρο του δωματίου ή της ζώνης και σε απόσταση τουλάχιστον 1 μ. από τους τοίχους και το μεγαλύτερο παράθυρο, ότι οι μετρήσεις για την λειτουργική θερμοκρασία ή το PMV/PPD, θα πρέπει να είναι σε ένα επίπεδο με ύψος από το πάτωμα 0,6 μ. για καθιστική δραστηριότητα και 1,1 μ. για όρθια, η περίοδος μέτρησης για τον καθορισμό της μέσης ταχύτητας αέρα σε οποιαδήποτε θέση είναι 3 λεπτά της ώρας και ότι ο ρουχισμός και η δραστηριότητα θα πρέπει να υπολογίζονται ως μέσες τιμές για μια περίοδο μισής με μίας ώρας αμέσως πριν την μέτρηση των περιβαλλοντικών παραμέτρων.

Το πρότυπο ASHRAE 55 (2004) ενσωματώνει ένα μεγάλο μέρος των προτάσεων των υποστηρικτών του προσαρμόσιμου μοντέλου. Αναφέρει ότι η θερμική απόκριση των χρηστών τέτοιων χώρων, εξαρτάται κατά μέρος από το εξωτερικό κλίμα και μπορεί να διαφέρει από την θερμική απόκριση σε κτίρια με κεντρικό σύστημα κλιματισμού. Για την εφαρμογή της προαιρετικής μεθόδου εισαγάγει ορισμένους όρους:

Το κτίριο πρέπει να είναι εφοδιασμένο με ανοιγόμενα παράθυρα, να μπορεί να χρησιμοποιηθεί μηχανικός αερισμός (με ανεμιστήρες), ο χώρος να μπορεί να εφοδιασθεί με σύστημα θέρμανσης αλλά η μέθοδος δεν μπορεί να εφαρμοσθεί όταν βρίσκεται σε λειτουργία. Προδιαγράφει την εφαρμογή της μεθόδου για χώρους όπου οι χρήστες ασκούν καθιστική δραστηριότητα με μεταβολικό ρυθμό περί το 1 met.

Οι χρήστες εννοείται ότι μπορούν ελεύθερα να προσαρμόζουν τον ρουχισμό τους.

Η επιτρεπόμενη Λειτουργική θερμοκρασία καθορίζεται από το διάγραμμα 3.25.

Το διάγραμμα βασίζεται στο μοντέλο προσαρμόσιμης άνεσης που παράχθηκε από μια παγκόσμια βάση δεδομένων από 21.000 μετρήσεις, κυρίως σε κτίρια γραφείων.

Εάν η μέση μηνιαία εξωτερική θερμοκρασία είναι μικρότερη των 10°C και μεγαλύτερη των 33,5°C αυτή εκδοχή δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί.

Το διάγραμμα λογαριάζει τις τοπικές συνθήκες δυσφορίας και επίσης δεν χρειάζεται να υπολογισθούν τιμές για τον ρουχισμό. Τέλος δεν χρειάζονται όρια για την υγρασία και την ταχύτητα του αέρα όταν χρησιμοποιείται αυτή η εκδοχή.

### 3.7.2 CIBSE Guide A (κανονισμός Ηνωμένου Βασιλείου).

Το CIBSE (Chartered Institution of Building Services Engineers) ιδρύθηκε το 1985 και ο σκοπός αυτών των προτύπων είναι η προώθηση της τέχνης, επιστήμης και της εφαρμογής των υπηρεσιών μηχανικής κτιρίων για το κοινό καλό, και η ανάπτυξη της εκπαίδευσης και της έρευνας για το σκοπό αυτό (Ιστοσελίδα CIBSE). Το CIBSE ανέπτυξε διάφορα πρότυπα και οδηγίες στην προσπάθεια καθορισμού κυβερνητικών κανονισμών και νομοθεσίας στο Ηνωμένο Βασίλειο. Το CIBSE Guide A αναπτύχθηκε για τον περιβαλλοντικό σχεδιασμό κτιρίων και παρέχει προτάσεις για κριτήρια άνεσης στα κτίρια. Αποτελεί πηγή αναφοράς για σχεδιαστές κτιρίων χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας. Η πιο πρόσφατη έκδοση του 2006 είναι σε συμφωνία με τα πρότυπα ASHRAE 55(2004) και ISO 7730(2005) στον καθορισμό αποδεκτών κριτηρίων θερμικής άνεσης. Και τα δύο μοντέλα θερμικής άνεσης, το μοντέλο θερμικού ισοζυγίου και το προσαρμόσιμο μοντέλο καλύπτονται σε αυτό το πρότυπο.

### 3.7.3 Πρότυπο θερμικής άνεσης για γραφεία

Όπως επισημάνθηκε και παραπάνω, τα πρότυπα θερμικής άνεσης αναθεωρούνται σε τακτά χρονικά διαστήματα από τον ASHRAE και τον οργανισμό του ISO. Στο πρότυπο ASHRAE 55(2004), υπάρχουν γενικές προτάσεις για θερμική άνεση εσωτερικών χώρων, αλλά στο πρότυπο ISO 7730(2005) ορίζονται οι απαιτούμενες συνθήκες θερμικής άνεσης για γραφεία. Παρόλα αυτά, έρευνες οι οποίες πραγματοποιήθηκαν κάτω από πραγματικές θερμικές συνθήκες σε κτίρια γραφείων, έδειξαν ότι η πραγματική βέλτιστη θερμική αποδοχή είναι αρκετά μικρότερη από αυτή που προτείνεται στο πρότυπο ASHRAE 55 και ότι οι ένοικοι των γραφείων προτιμούσαν θερμικές συνθήκες κάπως πιο ψυχρές από αυτές που υποδεικνύονται στα θερμικά πρότυπα (Schiller et al. 1988). Τα προτεινόμενα κριτήρια εσωτερικής θερμικής άνεσης για γραφεία συγκρίνονται στον πίνακα 3.10. Επισημαίνεται πάλι ότι το συγκεκριμένο εύρος που δίνεται από το πρότυπο ASHRAE 55 και το προσαρμόσιμο πρότυπο αποτελεί προτάσεις γενικής θερμικής άνεσης.

Πρότυπα θερμικής άνεσης	Αποδεκτό θερμικό περιβάλλον		
	Κατηγορία κτιρίου	Χειμώνας	Καλοκαίρι
ISO 7730	A	22 ± 1 °C	24.5 ± 1 °C
	B	22 ± 2 °C	24.5 ± 1.5 °C

	C	$22 \pm 3$ °C	$24.5 \pm 2.5$ °C
ASHRAE Standard 55	-0.5 < PMV < 0.5		
Προσαρμόσιμο μοντέλο	17 έως 31 °C ανάλογα το κλίμα		
CIBSE Guide A	21-23 °C το χειμώνα και 22-24 °C το καλοκαίρι		

Πίνακας 3.18: Κριτήρια θερμικής άνεσης για γραφεία.

### 3.8. Θερμική άνεση και ικανοποίηση.

Η υπάρχουσα βιβλιογραφία αναφέρει ότι υπάρχει μια απευθείας σχέση μεταξύ του θερμικού περιβάλλοντος και την ικανοποίηση των ενοίκων. Ο Ruck (1989) αναφέρει ότι η θερμική άνεση αποτελεί μία πολύπλοκη ψυχό-φυσιολογική κατάσταση ικανοποίησης, η οποία συμβαίνει μέσα σε ένα λεπτό εύρος ανθρώπινων αντιδράσεων. Αν και η άνεση δεν περιορίζεται στην θερμική άνεση, για την θερμική άνεση είναι τα περισσότερα παράπονα των εργαζομένων γραφείων στις περισσότερες έρευνες που αφορούν τα κτίρια γραφείων. *‘Μόνο οι μισοί από τους εργαζόμενους γραφείων στην Βόρεια Αμερική αναφέρουν ότι νιώθουν άνετα με την θέρμανση και τον κλιματισμό στο χώρο εργασίας τους ,αλλά επίσης το 80% βαθμολογεί την θερμική άνεση πολύ σημαντική για αυτούς’* (Argonoff 1995 το οποίο αναφέρθηκε από τους Harris 1991 και Sundstorm et al. 1994). Υπάρχει μία μικρή αύξηση ικανοποίησης με το θερμικό περιβάλλον όταν ο βαθμός του ατομικού ελέγχου αυξάνεται και υπάρχει μία μικρή αύξηση της ικανοποίησης στην εργασία όταν αυξάνεται η ικανοποίηση με το θερμικό περιβάλλον (Schiller et al. 1988). Οι de Dear και Cena (1998), σε μία επιτόπια μελέτη με θέμα την άνεση των ενοίκων και τα θερμικά περιβάλλοντα γραφείων, η οποία πραγματοποιήθηκε στην Kalgoorlie-Boulder στην Αυστραλία σε ζεστό και ξηρό περιβάλλον, βρήκε ότι οι ένοικοι οι οποίοι απήντησαν ότι είναι ικανοποιημένοι από την εργασία τους κάτω από το μέσο όρο, ήταν 50% πιο πιθανοί να δηλώσουν δυσφορία με το θερμικό τους περιβάλλον ,σε σχέση με αυτούς που βαθμολόγησαν την ικανοποίηση της εργασίας τους πάνω από το μέσο όρο. Αυτό το αποτέλεσμα δείχνει μία σύνδεση μεταξύ της μη ικανοποίησης της εργασίας και της θερμικής δυσφορίας. Επίσης συμπέραναν ότι η θερμική ουδετερότητα ήταν 20.3 °C τον χειμώνα και 23.3 °C το καλοκαίρι στην επταβάθμια κλίμακα αίσθησης του ASHRAE.

### 3.8.1 Ο έλεγχος της θερμικής άνεσης

Έρευνες έδειξαν ότι ο προσωπικός χειρισμός και ο έλεγχος μέσα σε ένα θερμικό περιβάλλον μπορεί να αυξήσει την ικανοποίηση των ενοίκων, ακόμα και αν δεν χρησιμοποιούν τα χειριστήρια (Schiller et al. 1988). Επίσης ο ατομικός έλεγχος ή η προσωπική προσαρμογή (ένδυση και δραστηριότητα) μέσα στο θερμικό περιβάλλον θα αυξήσει το επίπεδο της θερμικής αποδοχής (Olesen 2004).

Οι Raja et al. (2001) έδειξαν ότι η θερμική αίσθηση και η εφαρμογή διάφορων τρόπων ελέγχου από τους ένοικους παίζουν ένα σπουδαίο ρόλο στην βελτίωση του εσωτερικού θερμικού περιβάλλοντος. Η χρήση ανοιγόμενων παραθύρων και σκιάστρων ή κουρτινών είναι οι μέθοδοι που προτιμούνται περισσότερο στην τροποποίηση των θερμικών συνθηκών μέσα στο κτίριο και ότι η χρήση ανεμιστήρων έλαβε την ίδια βαθμολογία όπως το άνοιγμα των παραθύρων και οι κουρτίνες. Το αποτέλεσμα έδειξε ότι η χρήση των παραθύρων και η χρησιμοποίηση ανεμιστήρων είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την θερμική δυσφορία. Με αυτόν τον τρόπο, η αίσθηση δυσφορίας ή άνεσης από τους ενοίκους, σχετίζεται με την προσβασιμότητα στον τρόπο ελέγχου του θερμικού περιβάλλοντος, δηλαδή στην προκειμένη περίπτωση στο πόσο κοντά είναι κάποιος σε παράθυρα και ανεμιστήρες. Η μελέτη των Ring και Brager (2000) έδειξε ότι η πρόσβαση σε παράθυρα που ανοίγουν, επηρεάζει θετικά την αντίληψη με την κίνηση του αέρα, τον εξερισμό και την ποιότητα του αέρα.

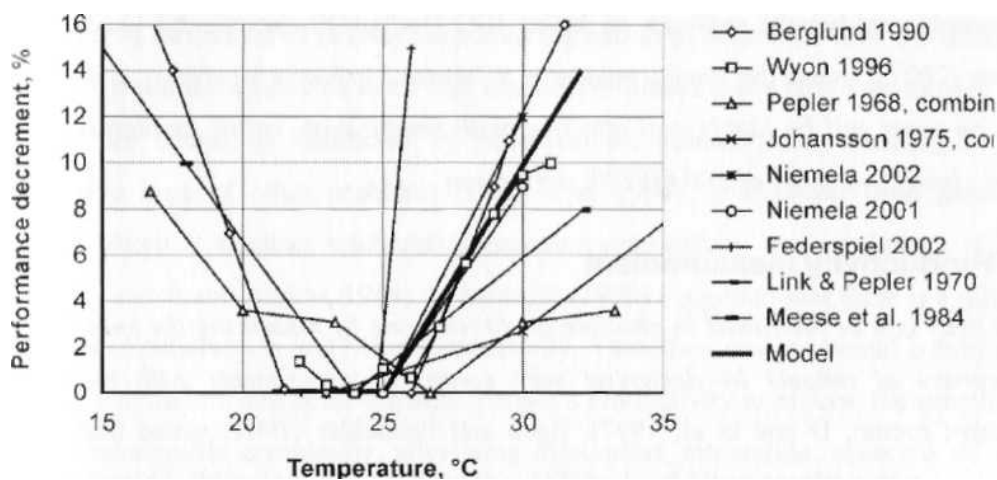
Σε μια πιο πρόσφατη έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε κτίρια γραφείων στην Γερμανία οι Wagner et al.(2007), έδειξαν ότι ο έλεγχος του εσωτερικού κλίματος από τους ενοίκους ή ακόμη η αντίληψη του αποτελέσματος του ελέγχου που μπορεί να επιτευχθεί με την ανάμειξη των εργαζομένων επηρέασε πολύ θετικά την ικανοποίησή τους στις θερμικές συνθήκες.

### 3.9 Θερμικό περιβάλλον και παραγωγικότητα.

Είναι προφανές ότι όταν ένα θερμικό περιβάλλον είναι λίγο πιο θερμό ή λίγο πιο κρύο, οι εργαζόμενοι δεν μπορούν να αποδώσουν καλά στα γραφεία τους. Το εσωτερικό περιβάλλον όχι μόνο επηρεάζει την θερμική άνεση αλλά και την αίσθηση της ποιότητας του αέρα, το σύνδρομο ασθενούς κτιρίου και την παραγωγικότητα στην εργασία (Seppanen,Fisk and Faulkner 2004). Οι Seppanen et al. (2004) ανέφεραν ότι στην μελέτη των Federspiel et al (2002) φαίνεται ότι μεταβολές της

θερμοκρασίας μεταξύ 21.5<sup>0</sup>C και 24.75<sup>0</sup>C δεν είχαν σημαντική επιρροή στην ταχύτητα της εργασίας, αλλά η ταχύτητα εργασίας μειώνονταν στους 26<sup>0</sup>C. Η αποφυγή παραπόνων από τους εργαζομένους μπορεί να εμποδίσει την μείωση της παραγωγικότητας. Υπάρχει μία σύνδεση μεταξύ της μείωσης της παραγωγικότητας και της θερμικής προτίμησης, η οποία έδειξε εάν οι εργαζόμενοι θα ήθελαν να είναι λίγο πιο κρύοι ή πιο ζεστοί (Seppanen, Fisk and Faulkner 2004).

Μελέτες έδειξαν ότι μικρές διαφορές στην θερμοκρασία μπορεί να επηρεάσουν την ταχύτητα ή την ακρίβεια των εργαζομένων κατά 2% έως 20% σε εργασίες που πραγματοποιούνται σε γραφεία όπως η πληκτρολόγηση, η ταχύτητα ανάγνωσης, η απόδοση μάθησης, η ταχύτητας γραφής, η ικανότητα πολλαπλασιασμού και η μνήμη λέξεων (Fisk 2002). Οι Seppanen et al. (2004) μέσω ευρημάτων από τις μελέτες της σχέσεως μεταξύ θερμοκρασίας και απόδοσης, βρήκαν ότι η παραγωγικότητα δεν επηρεάζεται από το εύρος θερμοκρασίας μεταξύ 21<sup>0</sup>C και 25<sup>0</sup>C. Πρότειναν ένα μοντέλο για την εκτίμηση της επίδρασης της θερμοκρασίας πάνω στην παραγωγικότητα, με μία γραμμική μείωση του 2% για κάθε βαθμό εκατοστού όταν η θερμοκρασία αυξάνεται πάνω από 25% (διάγραμμα 3.28).



**Διάγραμμα 3.28: Μοντέλο βασισμένο στην επίδραση της θερμοκρασίας δωματίου στην μείωση της παραγωγικότητας (Seppanen et al. 2004)**

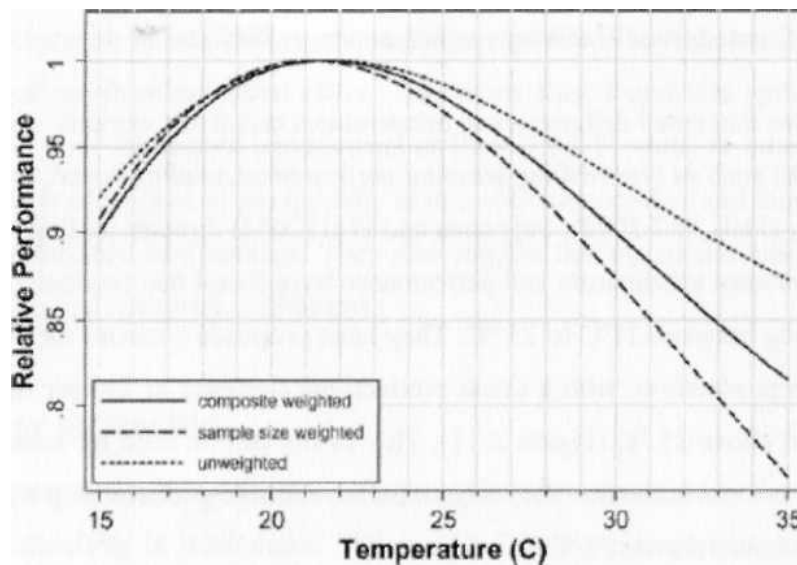
Αυτό το μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της αξίας του βελτιωμένου θερμικού περιβάλλοντος. Πρότειναν την ακόλουθη σχέση μεταξύ της παραγωγικότητας και της μείωσης (P %) και της θερμοκρασίας (T<sup>0</sup> C):

$25 < T^{\circ}C < 33$	$P(\%) = [2 \cdot (T - 25)] - 50$
$21 < T^{\circ}C < 25$	$P(\%) = 0$

Επίσης σε μία μελέτη η οποία πραγματοποιήθηκε από τους Seppanen και Fisk (2006), βρέθηκε μία σύνδεση μεταξύ χαμηλών θερμοκρασιών και απόδοσης νοητικών ενεργειών μέσω της επιδεξιότητας των χεριών. Δήλωσαν ότι η επιδεξιότητα των χεριών έχει ήδη χειροτερεύσει με θερμοκρασίες εσωτερικού χώρου μεταξύ 20 °C - 22°C.

Σε μία πιο πρόσφατη μελέτη που πραγματοποιήθηκε από τον Olesen (2007), ο Olesen υποστήριξε ότι τα πρότυπα που αναφέρονται στα θερμικά περιβάλλοντα δεν παίρνουν υπόψη τους την πρόταση για τα μεγαλύτερα δυνατά επίπεδα θερμοκρασίας στην απόδοση των εργαζομένων και ότι η αλληλεπίδραση μεταξύ της αυξημένης θερμοκρασίας , της άνεση και της ενεργειακή απόδοσης των εργαζομένων και της παραγωγικότητας , θα πρέπει να συμπεριληφθεί στα πρότυπα.

Ακόμα μια ανάλυση βασισμένη στην βιβλιογραφία από τους Seppanen και Fisk (2006b) (διάγραμμα 3.29) δείχνει μια σχέση μεταξύ απόδοση εργαζομένων και εσωτερικής θερμοκρασίας με τις δραστηριότητες που γίνονται από καθημένους εργαζομένους με το φυσιολογικό επίπεδο ένδυσης. Δείχνει ξεκάθαρα ότι η απόδοση των εργαζομένων πέφτει σε θερμοκρασίες υψηλότερες από τους 20-23°C.



**Διάγραμμα 3.29 Σύγκριση απόδοσης και θερμοκρασίας (Seppanen and Fisk 2006b)**

Οι Seppanen και Fisk πραγματοποίησαν και μία έρευνα πάνω στην εξοικονόμηση χρημάτων με καλύτερη ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος (Indoor Environmental Quality-IEQ) στην οποία αναφέρουν ότι *‘πολλά μέτρα για την βελτίωση του ελέγχου της εσωτερικής θερμοκρασίας και της αύξησης του ρυθμού εξαερισμού θα είναι πολύ συμφέροντα από οικονομικής άποψης, με την εξοικονόμηση χρημάτων να φτάνει το 80% και της ετήσιας εξοικονόμησης έως 500 ευρώ για κάθε εργαζόμενο’*.

## Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup> .Κτίρια γραφείων

### 4.1 Από την αρχαία εποχή έως τον 20<sup>ο</sup> αιώνα.

Η ιστορία των κτιρίων γραφείων δεν είναι ούτε σταθερή ούτε συνεχόμενη. Τα διαφορετικά είδη κτιρίων διοίκησης στην εποχή μας –γραφεία με μορφή κυψελών τακτοποιημένα κατά μήκος διαδρόμων, γραφεία ανοικτών χώρων συνδεδεμένα με ανοικτούς χώρους ,γραφεία με διαφοροποιημένη δομή δωματίων με καθιστικά και καφέ μπαρ ,γραφεία κεντρικά διοίκησης, γραφεία βοηθητικά ή χώροι εργασίας στην κατοικία με κεντρικά σημεία συναντήσεων- δεν είναι επινοήσεις του 20<sup>ο</sup> αιώνα. Κάθε μία μορφή αυτών των γραφείων έχει ήδη υπάρξει σε παρόμοια μορφή στην πορεία της ιστορίας. Έτσι οι κουζίνες και τα λουτρά που ένωναν τα γραφεία στην παλιά Μεσοποταμία και τα δωμάτια διοικήσεως των Ελλήνων τα οποία χρησιμοποιούνταν και σαν δωμάτια εστίασης συγκρίνονται με τα σημερινά καφέ μπαρ και καθιστικά που υπάρχουν σε κτίρια γραφείων

Οι Αιγύπτιοι γραφιάδες και αντιγραφείς που μετακινιόντουσαν μεταξύ των σύνεργων γραφής τους και συναντιόντουσαν σε δωμάτια γραφής, δεν διαφέρουν από τους σημερινούς ‘νομάδες γραφείων’. Τα αναρίθμητα και ευρέως διασκορπισμένα παραρτήματα γραφείων των εμπορικών αυτοκρατοριών του 16<sup>ου</sup> και 17<sup>ου</sup> αιώνα συγκρίνονται με τα σημερινά παραρτήματα-γραφεία των σύγχρονων πολυεθνικών. Ο πρόδρομος του ανοικτού τύπου γραφείων βρίσκεται στα αντιγραφεία όπου δούλευαν οι γραφιάδες-αντιγραφείς της αρχαίας Αιγύπτου και του Μεσαίωνα.

#### 4.1.1 Αρχαία Ελλάδα και Ρώμη

Αντίθετα με τους αρχαίους Αιγύπτιους οι οποίοι είχαν τεράστιο διοικητικό σύστημα οργανωμένο με αυστηρή ιεραρχία, στις Ελληνικές πόλεις δημιουργήθηκαν μικρότερες διοικητικές μονάδες στο 5<sup>ο</sup> π.Χ αιώνα. Με την συγκρότηση της πρώτης δημοκρατίας, νέοι θεσμοί (συμβούλια, συναθροίσεις πολιτών, επιβλέπων επιτροπές, δικαστήρια) δημιουργήθηκαν στην Αθήνα και στις αποικίες της. Οι διοίκησή τους στεγαζόταν σε πολυχρηστικές αίθουσες στηριζόμενες σε κολόνες ή σε πιο καινούρια είδη κτιρίων. Το βουλευτήριο (εικόνα 4.1), το πρυτανείο, το στρατηγείο και ο θόλος για να αναφέρουμε λίγα από τα είδη κτιρίων, ήταν τοποθετημένα κυρίως στην αρχαία αγορά ,το πολιτικό και κοινωνικό κέντρο των αρχαίων ελληνικών πόλεων.



**Εικόνα 4.1: Το βουλευτήριο στην αρχαία αγορά των Αθηνών σε τρισδιάστατη αναπαράσταση (IME 2009).**

Τα κτίρια που αποτελούσαν το κέντρο διοίκησης των υψηλά ιστάμενων εκλεγμένων αξιωματούχων αποτελούνταν κυρίως από μία μεγάλη κεντρική σάλα. Αυτά χρησιμοποιήθηκαν για πραγματοποίηση συναντήσεων και για εστίαση, καθώς και για συζητήσεις και ακροάσεις και είχαν μικρά δωμάτια σαν παραρτήματά τους, όπως κουζίνες, η αρχειοθήκη και τα τοπικά γραφεία διοίκησης. Οι μεγάλες αίθουσες με κολόνες, οι στοές, οι οποίες χρησιμοποιούνταν επίσης μερικώς και για διοικητικές χρήσεις, οδηγούσαν είτε σε μία μεγάλη αίθουσα, είτε σε μικρότερα δωμάτια χωροθετημένα σε γραμμές. Εδώ συνεδρίαζαν οι επιτροπές και εργαζόντουσαν μικρότερα διοικητικά σώματα, όπως η διοίκηση της νότιας στοάς των Αθηνών. Επίσης κτίρια για χρήση από της λιμενικές αρχές και τα τελωνεία ανεγέρθηκαν δίπλα στα λιμάνια.

Την αμέσως επόμενη περίοδο η πόλης-κράτος της Ρώμης αναδείχτηκε στην παγκόσμια σκηνή με τον αναπτυσσόμενο δημόσιο τομέα της και το καλά αναπτυσσόμενο σύστημα διοίκησης του κράτους. Μέχρι τον πρώτο πριν Χριστό αιώνα, ο δημόσιος τομέας της Ρώμης αποτελούνταν από πατρικούς στους οποίους αναθέτονταν μικρότερης σημασίας λειτουργίες του κράτους, καθώς και από γραφείς, αγγελιοφόρους και κήρυκες. Σε αντίθεση με την σημερινή αντίληψη του δημοσίου τομέα, σαν συνώνυμο της αδράνειας και της εξάρτησης, οι υψηλότερες δημόσιες



θέσεις λεγόντουσαν ‘operate liberales’, η δουλειά των ελεύθερων ανθρώπων και να κατέχει κάποιος τέτοιο γραφείο, ήταν σύμβολο απόλυτης ελευθερίας. Όπως και στην Ελλάδα, οι δημόσιοι υπάλληλοι εκτελούσαν τα καθήκοντά τους σε δημόσια κτίρια, τα φόρουμ. Τότε αναπτύχθηκαν τυπικοί όροφοι, βασισμένοι στα ελληνικά μοντέλα, για το δημαρχείο, καθεδρικών ναών κ.α. σαν γραφεία υψηλά ιστάμενων δημοσίων υπαλλήλων. Σε αντίθεση με αυτά όμως δεν υπήρχε κάποιο τυποποιημένο είδος κτιρίων γραφείων για την εξυπηρέτηση των καθημερινών αναγκών. Σε κάποιες πόλεις οι δημόσιοι υπάλληλοι εργαζόντουσαν σε βίλες με αίθρια, τα οποία συνδέονταν με οικιστικά κτίρια, τα οποία ήταν ομαδοποιημένα γύρω από το φόρουμ. Σε άλλες υπήρχαν αυτόνομα δωμάτια γραφείων τα οποία άνοιγαν προς το φόρουμ. Το φόρουμ του Τραϊανού, περιστοιχιζόταν από ανοικτές αίθουσες με κολόνες και την εγκάρσια τοποθετημένη Ulpia Basilica, ένα εντυπωσιακό δύο και μισών ορόφων κτίριο-αίθουσα με βοηθητικά δωμάτια βιβλιοθηκών, το οποίο χρησιμοποιούταν αποκλειστικά για διοικητικούς σκοπούς. Επιπρόσθετα με τον δημόσιο τομέα, ο ιδιωτικός τομέας της Αρχαίας Ρώμης (πάνω από 1 εκατομμύριο κατοίκους) άνθισε, με αποτέλεσμα να σχηματιστούν τράπεζες και μεγάλες χρηματοοικονομικές εταιρίες. Τα γραφεία τους ήταν τοποθετημένα κυρίως στην Basilica Aemillia και την Basilica Julia στο Ρωμαϊκό φόρουμ.



**Εικόνα 4.2: Η στοά του Αττάλου στην αρχαία αγορά των Αθηνών.**

#### 4.1.2 Βιομηχανική εποχή έως σήμερα. Ο δυτικός τύπος κτιρίων γραφείων.

Μετά την κατάρρευση της αρχαίας Ρώμης στον δυτικό κόσμο, με την εξαίρεση του Βυζαντίου και των διοικητικών αρχών στην Κωνσταντινούπολη, δεν πραγματοποιήθηκε καμία σημαντική εξέλιξη στον σχεδιασμό των κτιρίων γραφείων.

Τον 18<sup>ο</sup> αιώνα όμως αναπτύχθηκε η αρχιτεκτονική βάση των σημερινών κτιρίων γραφείων. Με την ίδρυση των ιδιωτικών τραπεζών και των ασφαλιστικών εταιρειών, δημιουργήθηκαν γκρουπ επαγγελματιών των οποίων οι δραστηριότητες ήταν συνδεδεμένες με την δουλειά γραφείου. Σιγά σιγά πραγματοποιήθηκε ο διαχωρισμός του χώρου εργασίας από τον χώρο στον οποίο κάποιος ζει (ο οποίος αργότερα επιταχύνθηκε με την δημιουργία των σιδηρόδρομων), ο οποίος συνόδευσε την ανάπτυξη των εμπορικών επιχειρήσεων στο ξεκίνημα του 19<sup>ου</sup> αιώνα. Οι νέοι τύποι κτιρίων για τράπεζες, ασφαλιστικές εταιρείες και γραφεία ενοικίασης ήταν ίδια στην εξωτερική τους εμφάνιση όπως και στον σχεδιασμό των κατοψεών τους. Τα διάροφα-τριώροφα κλασικά κτίρια αναπτύχθηκαν ουσιαστικά σαν τρεις τύποι κατοψεων: κτίρια γραφείων με την τοποθέτηση δωματίων κατά μήκος ενός κεντρικού διαδρόμου, ακόμα ένα παρόμοιο σχέδιο ομαδοποιημένο γύρω από ένα αίθριο ή γραφεία τοποθετημένα γύρω από ένα κεντρικό δωμάτιο. Την ίδια εποχή αναπτύχθηκε και η δομή της ιεραρχίας με αποτέλεσμα να είναι διακριτή η θέση εργασίας. Κάθε τμήμα είχε την δικιά του περιοχή υπευθυνότητας και κατείχε ένα μεγάλο χώρο στον οποίο όλοι οι εργαζόμενοι σε αυτό το τμήμα δούλευαν μαζί. Με αυτό τον τρόπο δημιουργήθηκαν διαφορετικά μεγέθη χώρων γραφείων. Σύμφωνα με την ιεραρχία, το να έχει κάποιος το δικό του χώρο γραφείου έγινε ένα σύμβολο κοινωνικής θέσης και η αντανάκλαση της θέσης του στον οργανισμό.

Εξάλλου με την οικονομική ανάπτυξη του δυτικού κόσμου αναπτύχθηκε και ο τεχνολογικός τομέας ο οποίος έπαιξε σημαντικό ρόλο στην κατασκευή γραφείων. Το 1880 η κατασκευή ατσάλινων δοκών και υδραυλικών ανελκυστήρων οδήγησε στην κατασκευή πλαισίων σχεδόν απείρου ύψους. Το τηλέφωνο, το ηλεκτρικό φως και η σειριακή παραγωγή τυπογραφικών μηχανών διευκόλυνε την δουλειά γραφείου και αύξησε την παραγωγικότητα. Στα επόμενα χρόνια ,διαφορετικές λύσεις κατοψεων αναπτύχθηκαν και από τις δύο πλευρές του Ατλαντικού. Αυτές οι διαφορές μπορούν να εξηγηθούν με την διαφορετική νομοθεσία κτιρίων, την κτηνοτομεσιτική κατάσταση και κοινωνικές διαφορές.

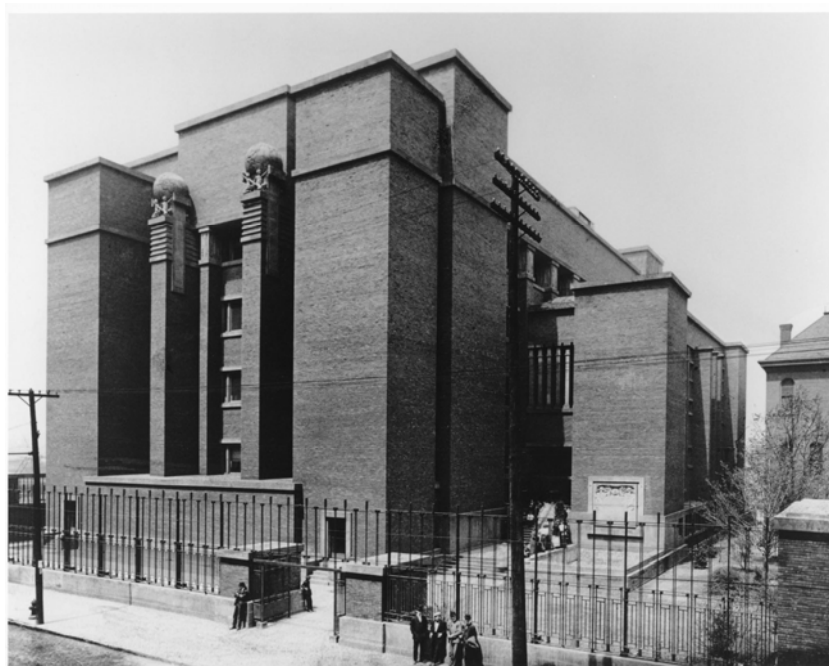
#### 4.2 Κτίρια γραφείων της Βόρειας Αμερικής.

Στο Σικάγο το 1880 η μεγάλη ζήτηση για γραφεία πυροδότησε ένα κύμα οικοδομικής κερδοσκοπίας. Επειδή δεν υπήρχαν περιορισμοί στο ύψος, ούτε νομοθεσία για το βάθος των δωματίων, οι οικονομικοί λόγοι και η επιθυμία της επίτευξης μέγιστου κέρδους καθόρισαν την μορφή των κατοψεων των κτιρίων γραφείων. Στα αρχικά στάδια της κατασκευής μπλοκ πύργων, η εκμετάλλευση του φυσικού και τεχνητού φωτισμού δεν αρκούσε για δουλειές γραφείου όπως η δακτυλογράφηση, θέτοντας με αυτόν τον τρόπο φυσικούς περιορισμούς στην απληστία των κερδοσκόπων. Παρόλο αυτά, τα οκτώ με δέκα μέτρα βάθος δωματίων ήταν αρκετά μεγαλύτερα από αυτά στην Ευρώπη. Όσο για την Ευρώπη αναπτύχθηκαν παρόμοιες κατόψεις με δύο γραμμές γραφείων σε κάθε πλευρά οι οποίες λόγω του μεγάλου βάθους γραφείων, επέτρεψε άλλες χωροταξικές διευθετήσεις. Οι όροφοι των κτιρίων γραφείων ήταν συχνά υποδιαιρεμένοι σε ένα πολλαπλάσιο πρότυπο γραφείων, το οποίο αποτελούνταν από δύο μικρά γραφεία πίσω από ένα γραφείο μιας κοινής γραμματέας. Αυτή το τυπικό αμερικανικό πρότυπο κάτοψης μπορούσε να νοικιαστεί σαν ξεχωριστή μονάδα ή σε ένα γκρουπ μονάδων. Οι μεγαλύτερες επιχειρήσεις οι οποίες νοίκιαζαν έναν ή και περισσότερους ορόφους, εκμεταλλεύτηκαν την δυνατότητα που τους παρείχε το ατσάλινο πλαίσιο κατασκευής και ένωναν τις μικρές μονάδες γραφείων. Αυτή ήταν η αρχή για την συχνά αναφερόμενο αμερικάνικο τύπο του ανοικτού τύπου γραφείων (open plan offices).

Όπως αναφέρει και ο Sundstrom (1986) τα κτίρια γραφείων είχαν βρει το δικό τους στυλ. *‘Τα κτίρια γραφείων, με την κυρίαρχη μορφή τους του 20<sup>ου</sup> αιώνα, δημιουργήθηκαν στο περιβάλλον της τρομακτικής έκρηξης της οικονομικής δραστηριότητας στην Βόρεια Αμερική, συγκεκριμένα στο Σικάγο και την Νέα Υόρκη, τις τελευταίες δύο δεκαετίες του 19<sup>ου</sup> αιώνα (Duffy 1997).* Μετά την μεγάλη πυρκαγιά στο Σικάγο το 1871, η πόλη εκμεταλλεύτηκε στο έπακρο την τεχνολογική εξέλιξη και ανέπτυξε τον τύπο του εμπορικού κτιρίου γραφείων (Duffy 2005). Το 1880 ο χαλύβδινος σκελετός αντικατέστησε το σίδηρο, με αποτέλεσμα το ύψος των κτιρίων να μην έχει πλέον περιορισμούς και τα κτίρια κυρίως στην Νέα Υόρκη άρχισαν να ανεβαίνουν σε ύψος με τρομακτικούς ρυθμούς. Ακολουθώντας την έλευση της κατασκευής από χάλυβα, στα κτίρια γραφείων εφαρμόστηκαν μόνο μικρότερης σημασίας αλλαγές. Το 1930, τα κεντρικά συστήματα αερισμού-κλιματισμού απελευθέρωσαν τα κτίρια από τους περιορισμούς στο βάθος και τα ηλεκτρικά φώτα έκαναν τα παράθυρα μια δευτερεύοντα πηγή φωτός και αέρα μέσα στα γραφεία

(Sundstrom 1986). Επίσης η ανάπτυξη του ανελκυστήρα και των χαλύβδινων πλαισίων επέτρεψε την εμφάνιση ουρανοξυστών στην Νέα Υόρκη, το Σικάγο και άλλες πόλεις.

Ο Frank Lloyd Wright το 1904 σχεδίασε από τα πρώτα ανοικτού τύπου γραφεία το οποίο ονομάζονταν Larking Building στο Buffalo των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής (εικόνα 4.3 -4.4) για να στεγάσει μεγάλο υπαλληλικό προσωπικό. Η εταιρεία Larkin ήταν μία ταχυδρομική εταιρεία με προσωπικό 1800 ατόμων οι οποίοι έπαιρναν οδηγίες, απαντούσαν σε ερωτήματα και έκαναν δουλειά γραφείου.



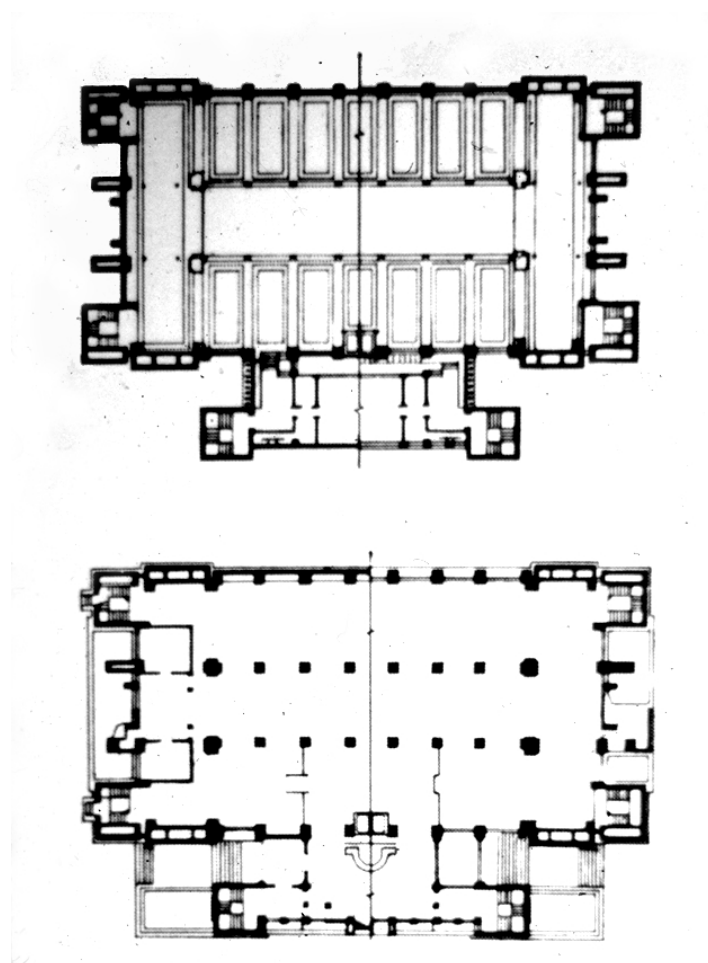
**Εικόνα 4.3: Εξωτερική άποψη του κτιρίου γραφείων Larkin.**

Οι εργαζόμενοι εκεί δούλευαν σε ένα δωμάτιο το οποίο είχε μεγάλους ανοικτούς χώρους και το οποίο φωτιζόταν από ένα κεντρικό εξαώροφο αίθριο. (Hascher et al 2002).



**Εικόνα 4.4: Εσωτερική άποψη του κτιρίου γραφείων Larkin**

Ο Duffy περιέγραψε το κτίριο Larkin σαν το πιο τεχνολογικά εξελιγμένο κτίριο γραφείων της εποχής του με την πιο τέλεια σχέση αρχιτεκτονικής ανακάλυψης και οργανωτικής καινοτομίας η οποία μέχρι τότε δεν είχε επιτευχθεί .



**Εικόνα 4.5: Κατόψεις ορόφων του κτιρίου γραφείων Larkin**

Αποτελούσε το τέλειο μοντέλο της ιδέας του Taylorισμού το οποίο βασιζόταν στην μέγιστη επίβλεψη των εργαζομένων γραφείου ώστε να επιτευχθεί αποτελεσματικότητα στην διαδικασία της εργασίας. Οι κύριοι στόχοι που προωθήθηκαν από το μοντέλο του ανοικτού τύπου γραφείων ήταν η επικοινωνία, η συμμετοχή και η ισότητα.

Το Empire State Building (1931) και το Chrysler Building (1930) περιλάμβαναν εξελίξεις στον περιβαλλοντικό έλεγχο και στην πειθαρχία της κατασκευής (Duffy 1997). Σχεδιάστηκαν βασισμένα στην τυποποίηση και στην λειτουργικότητα.



**Εικόνα 4.6: Εξωτερική άποψη του ουρανοξύστη γραφείων Empire State Building.**

Υψηλή τεχνολογία και καταπληκτική αρχιτεκτονική εμφανίστηκαν στα κτίρια που σχεδίασε ο Mies Van der Rohe και ο Philip Johnson (Seagram Building) στην Νέα Υόρκη το 1958 , το Union Carbide Building στην Νέα Υόρκη το 1960, το Ford Foundation Building και αυτό στην Νέα Υόρκη το 1967 και άλλα γνωστά κτίρια.

Το κτίριο γραφείο Seagram είναι ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα κτιρίου γραφείων στο κέντρο της πόλης με πολύ μεγάλο ύψος το οποίο σχεδιάστηκε από τον Mies Van der Rohe (εικόνα 4.6). Τα κτίριο αυτό δείχνει την εξέλιξη του Βόρειο-Αμερικάνικου

σχεδιασμού κτιρίων γραφείων όπου η δομή, οι όροφοι και οι υπηρεσίες έχουν τυποποιηθεί, συνεπώς η μόνη αρχιτεκτονική πρωτοβουλία που μπορεί να παρθεί αφορά στον σχεδιασμό της εξωτερικής μορφής και μόνο (Duffy 1997). Η ιδέα του κτιρίου σαν ‘γυάλινου κουτιού’ εισήχθη από τον Mies Van der Rohe για μία εικόνα του κτιρίου συνεχής και φωτεινή. Η ιδέα αυτή του γυάλινου κουτιού αποδείχθηκε επιτυχημένη και η επιτυχία της αποδεικνύεται από το γεγονός ότι παρόμοιοι ουρανοξύστες με παρόμοια σχέδια εμφανίστηκαν στους ουρανούς των περισσότερων μεγάλων πόλεων του κόσμου, κάνοντάς το πιο αναγνωρίσιμο σύμβολο του Ύστερου Μοντερνισμού (Late Modernism).



**Εικόνα 4.7: Εξωτερική άποψη του ουρανοξύστη γραφείων Seagram.**

#### 4.3 Κτίρια γραφείων της Βόρειας Ευρώπης.

Στην Βόρεια Ευρώπη η παράδοση των γραφείων είναι διαφορετική σχεδόν από κάθε άποψη από αυτή της Βόρειας Αμερικής *‘τείνουν να είναι χαμηλά αντί για ψηλά, προαστιακά παρά στο κέντρο της πόλης, στενά αντί για βαθιά, με φυσικό εξαερισμό αντί για κλιματιζόμενα και επηρεασμένα από τις ανάγκες των συνηθισμένων εργαζομένων γραφείων αντί από το στυλ της εταιρείας’* (Duffy 1997). Ο σχεδιασμός των γραφείων στην Βόρεια Ευρώπη αντανακλά τις προτιμήσεις και τις απαιτήσεις των εργαζομένων σε αυτά με διαφορετικούς τρόπους όπως το ότι συχνά είναι πολύ στενά για να παρέχουν άμεση πρόσβαση σε εξωτερική θέα, με διάταξη κυψέλης λόγω της απαίτησης για περικλειόμενα γραφεία και περιβαλλοντικά προσεγμένα, λόγω της προσοχής που δίνεται στην υγεία και στην ασφάλεια των εργαζομένων (Duffy 1997).



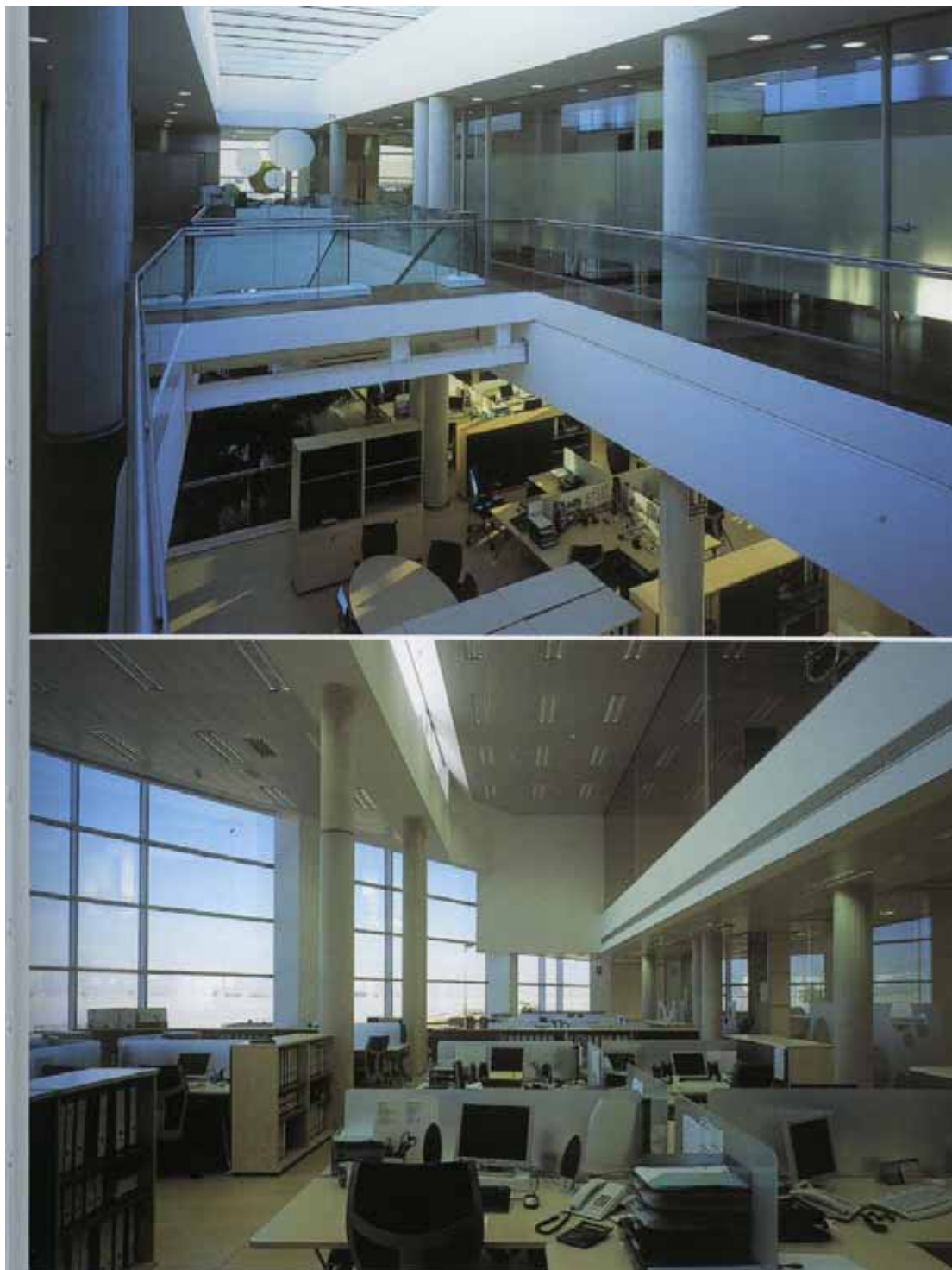


**Εικόνα 4.8: Εξωτερική άποψη του κτιρίου γραφείων Francisco Canvas στην Murcia Ισπανίας**

Σε αντίθεση με την Βόρεια Αμερική στην οποία η ανάπτυξη των γραφείων ξεκίνησε με τα υψηλά κτίρια, στην Ευρώπη ήταν περίπλοκο το κτίσιμο των πόλεων μετά τον δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο. Οι Ευρωπαίοι άρχισαν να κτίζουν ψηλά κτίρια γύρω στο 1950 και αυτό σαν αντιγραφή των φανταχτερών πύργων της Αμερικής, αλλά παρόλα αυτά ήταν μικρότερα σε μέγεθος από ότι το Αμερικανικό πρωτότυπο. Ο λόγος είναι ότι το αστικό περιβάλλον στην Ευρώπη είναι τελείως διαφορετικό από την Αμερική, πολύ πιο παλιό και πολύ πιο πολύπλοκο (Meel 2000). Άλλος ένας λόγος είναι ότι οι κανονισμοί σε σχέση με το ύψος δημιουργήθηκαν παίρνοντας υπόψη την διατήρηση του ιστορικού χαρακτήρα των Ευρωπαϊκών πόλεων, στον οποίο έπρεπε αναγκαστικά να προσαρμοστούν οι αρχιτέκτονες (Polisano 1995). *‘Αν και η Φρανκφούρτη, το Λονδίνο και το Ρότερνταμ έχουν ουράνια γραμμή υψηλών κτιρίων διότι η ιστορική δομή καθεμίας από αυτές τις πόλεις καταστράφηκε με τους βομβαρδισμούς του δευτέρου παγκοσμίου πολέμου’* (Meel 2000). Παρόλο αυτά δεν υπάρχουν πολλά



υψηλά κτίρια ακόμα και σε αυτές τις πόλεις με μεγάλα μπλοκ κτιρίων να προτιμώνται από τους ουρανοξύστες.



**Εικόνα 4.9:** Εσωτερική άποψη του κτιρίου γραφείων Francisco Canvas στην Murcia Ισπανίας

#### 4.4 Καινοτομία στον περιβαλλοντικό σχεδιασμό.

Οικονομικοί λόγοι, η εξοικονόμηση ενέργειας και πηγών καθώς και οικολογικοί λόγοι, επηρέασαν τους σχεδιαστές των κτιρίων γραφείων προς την κατεύθυνση της

δράσης για καινοτομία στο περιβαλλοντικό σχεδιασμό των κτιρίων γραφείων. Τα συμβατικά κτίρια γραφείων κυρίως στην Βόρεια Αμερική είναι σχεδιασμένα να είναι σφραγισμένα και τα εξωτερικά παράθυρα δεν ανοίγουν (Duffy 2005). Ο λόγος που έγινε αυτό είναι ότι η ενέργεια ήταν φθηνή και η κύρια μέριμνα των αρχιτεκτόνων και των σχεδιαστών ήταν να δημιουργήσουν το τέλειο εσωτερικό κλίμα, το οποίο θα ικανοποιούσε τον καθένα. Όμως πλέον οι αρχιτέκτονες και οι σχεδιαστές προσπαθούν να δουλεύουν μάλλον μαζί και όχι ενάντια στην φύση οπότε και η εξωτερική εικόνα των κτιρίων γραφείων τείνει να είναι ενδιαφέρουσα από περιβαλλοντική και σχεδιαστική άποψη (Duffy 1997). Άλλο ένα σημαντικό ζήτημα που επηρέασε τον σχεδιασμό των κτιρίων γραφείων είναι η εμφάνιση σοβαρών αμφιβολιών για την περιβαλλοντική επάρκεια κτιρίων που καταναλώνουν υπερβολικές ποσότητες ενέργειας (Duffy 2005). Η ανάπτυξη του 'μεικτού' μοντέλου περιβαλλοντικού συστήματος επέτρεψε τις προσεγγίσεις φυσικού περιβαλλοντικού συστήματος και του τεχνητού περιβαλλοντικού συστήματος να κάνουν τα γραφεία ποιο κατοικήσιμα. Η χρήση της θερμικής μάζας και της μεταφοράς θερμότητας επέτρεψαν στα γραφεία να είναι περισσότερο αποτελεσματικά στην ενέργεια που χρησιμοποιούν. Η παθητική σχεδιαστική στρατηγική για τον εξαιρεισμό γραφείων είναι φυσιολογικό να δημιουργήσει νέα εξωτερικά αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά. Για να επιτευχθεί η άνεση, κρύος αέρας εισάγεται κατά μήκος του κτιρίου με μετάδοση θερμότητας χωρίς την χρήση ανεμιστήρων, αντλιών ή άλλων μηχανημάτων (Duffy 1997). Ο νυχτερινός εξαιρεισμός χρησιμοποιείται με τέτοιο τρόπο ώστε οι εργαζόμενοι να απολαμβάνουν ψύξη κατά την διάρκεια της ημέρας.

Όλα τα παραπάνω είχαν σαν αποτέλεσμα ο σχεδιασμός των κτιρίων γραφείων σήμερα να μην κυριαρχεί από την πρακτική της Βόρειας Αμερικής. Υπάρχει ένας αυξανόμενος αριθμός κτιρίων γραφείων στην Βόρεια Ευρώπη τα οποία σχεδιάστηκαν με βάση τον επαρκή περιβαλλοντικό σχεδιασμό. Η τράπεζα Commerzbank στην Φρανκφούρτη η οποία σχεδιάστηκε από τους Foster and partners (1997) αποτελεί ένα παράδειγμα πράσινων ουρανοξυστών.

Είναι οι πρώτοι ουρανοξύστες που αποκαλούνται πράσινοι ουρανοξύστες. Η χρήση κήπων και τεχνολογιών φιλικών προς το περιβάλλον επέτρεψε την μείωση της ενέργειας που απαιτείται για την θέρμανση και την ψύξη του κτιρίου. Το τριγωνικό αίθριο στο κέντρο του κτιρίου επιτρέπει στο φως της ημέρας να περάσει στο εσωτερικό του κτιρίου, να υπάρξει φυσικός εξαιρεισμός και μία ευχάριστη θέα του εσωτερικού του κτιρίου από τους εργαζομένους εκεί. Το κτίριο έχει κήπους με ύψος

τέσσερις ορόφους και ισομερώς διανεμημένοι στο ύψος του. Το κτίριο έχει διπλή πρόσοψη ώστε να ελέγχεται το εσωτερικό περιβάλλον από τις ανεπιθύμητες εξωτερικές συνθήκες ανάλογα με την περίσταση. Κάθε γραφείο στον ουρανοξύστη έχει φυσικό φωτισμό και έχει παράθυρα που μπορεί να ανοιχτούν, επιτρέποντας στους εργαζομένους να ελέγχουν το δικό τους περιβάλλον, με αποτέλεσμα την μείωση στην κατανάλωση ενέργειας ίση με την μισή κατανάλωση ενέργειας από τους συμβατικούς ουρανοξύστες (Foster 2004).



**Εικόνα 4.10: Εξωτερική άποψη του ουρανοξύστη γραφείων της Commerzbank**

#### 4.5 Βιοκλιματικός σχεδιασμός κτιρίων

Βιοκλιματική Αρχιτεκτονική ορίζουμε τη διαδικασία σχεδιασμού κτιρίων κατά την οποία ο μελετητής λαμβάνει υπόψη μια σειρά παραμέτρων, που ως στόχο έχουν την ορθολογική χρήση της ενέργειας με σκοπό την εξοικονόμησή της.

Οι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη είναι το τοπικό κλίμα ώστε να εξασφαλιστεί η οπτική και η θερμική άνεση χρησιμοποιώντας την ηλιακή ενέργεια, τα διάφορα φυσικά φαινόμενα του κλίματος καθώς και άλλες περιβαλλοντικές παραμέτρους όπως η ηλιοφάνεια, η βλάστηση, ο άνεμος, η σχετική υγρασία, η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα αλλά και η σκίαση από άλλα κτίρια.

Τα κύρια στοιχεία του βιοκλιματικού σχεδιασμού είναι τα παθητικά συστήματα που ενσωματώνονται στα κτίρια και στοχεύουν στην αξιοποίηση των διαθέσιμων περιβαλλοντικών πηγών ώστε να εξασφαλίσουν ψύξη, θέρμανση και φυσικό φωτισμό για κτίρια.

Εφαρμόζοντας τις αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού επιτυγχάνεται η εξοικονόμηση ενέργειας λόγω της βελτιωμένης προστασίας του κελύφους και της συμπεριφοράς των δομικών στοιχείων που οδηγεί στη μείωση των απωλειών, δημιουργούνται συνθήκες θερμικής άνεσης και ελαττώνονται οι απαιτήσεις σε θέρμανση, παράγεται θερμότητα μέσω ηλιακών συστημάτων άμεσου και έμμεσου κέρδους κάτι που προκαλεί τη μείωση των αναγκών του κτιρίου σε θέρμανση καταφέροντας έτσι να καλύπτει τις ανάγκες του κτιρίου οικονομικότερα και χωρίς μεγάλες ενεργειακές απαιτήσεις. Επιπλέον επιτυγχάνεται η μερική διατήρηση της θερμοκρασίας του αέρα στο εσωτερικό στα ιδανικά επίπεδα, ανάλογα την εποχή, υψηλά το χειμώνα και χαμηλά το καλοκαίρι έτσι δεν υπάρχει ανάγκη για προσάρτηση επιπλέον συστημάτων που θα βοηθήσουν στη διατήρηση των ιδανικών επιπέδων (Τσίππρας 1996).

Τα οφέλη που προκύπτουν από τη χρήση της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής χωρίζονται σε: ενεργειακά (μέσω της εξοικονόμησης ενέργειας και της εξασφάλισης θερμικής και οπτικής άνεσης), οικονομικά (καθώς μειώνονται οι ανάγκες αλλά και το κόστος από την εγκατάσταση H/M), περιβαλλοντικά (καθώς μειώνονται οι ρύποι, οι εκπομπές CO<sub>2</sub>) αλλά και κοινωνικά καθώς βελτιώνεται η ποιότητα της ζωής.

Όλα αυτά επιτυγχάνονται με τεχνικές πάνω στην κατασκευή του κτιρίου, το σχεδιασμό, τον προσανατολισμό και τη διαρρύθμιση του κτιρίου γραφείων συμβάλλοντας στον περιορισμό των αναγκών τους σε μηχανολογικό εξοπλισμό για τη θέρμανση ή την ψύξη του.

Για την εφαρμογή του βιοκλιματικού σχεδιασμού πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κάποια κριτήρια, όπως η χρήση τεχνικοοικονομικά αποδοτικών ενεργειακών τεχνολογιών, τη χρήση ήδη εφαρμοσμένων συστημάτων, η αποφυγή της χρήσης περίπλοκων τεχνικών και παθητικών συστημάτων αλλά και η μικρή συμβολή του χρήστη στη λειτουργία των συστημάτων αυτών.

Η ενεργειακή συμπεριφορά των κτιρίων μέσω της αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας για θέρμανση, συμβάλλει αποτελεσματικά στην εξοικονόμηση ενέργειας. Παράλληλα όμως θα πρέπει να λαμβάνονται μέτρα σκίασης και ηλιοπροστασίας ώστε να

μειώνονται τα ηλιακά κέρδη το καλοκαίρι και να ικανοποιούνται οι ανάγκες του κτιρίου για φυσικό δροσισμό.

Η εξοικονόμηση ενέργειας που προκύπτει από συγκρίσεις μεταξύ βιοκλιματικών και συμβατικών κατοικιών ανέρχεται σε ποσοστό της τάξης του 80%. Υψηλά κέρδη έχουμε και στα κτίρια γραφείων. Γενικότερα αυτά τα θερμικά οφέλη προκύπτουν από τη χρήση συστημάτων άμεσου και έμμεσου κέρδους.

Όσον αφορά την ενεργειακή απόδοση από πλευράς παθητικών συστημάτων ή συστημάτων έμμεσου ηλιακού κέρδους έχουμε το παράδειγμα του θερμοκηπίου, του οποίου η απόδοση εξαρτάται από τον τρόπο χρήσης αλλά και από το μέγεθός του. Η αποδοτικότερη λειτουργία του είναι αυτή κατά την οποία το θερμοκήπιο προσδίδει τα ηλιακά κέρδη του άμεσα τη μέρα ενώ τη νύχτα είναι απομονωμένα διατηρώντας κλειστά τα ενδιάμεσα ανοίγματα (Lewis et al 1997). Είναι σημαντικό επίσης σε αυτούς τους χώρους να υπάρχουν κατάλληλα και επαρκή συστήματα σκίασης και υαλοστάσια με ανοίγματα ώστε να συμβάλλουν στον αερισμό κατά το καλοκαίρι κάτι που οδηγεί στην μικρή επιβάρυνση του κτιρίου από τα θερμοκήπια (Stefanou et al 2004).

Οι ηλιακοί τοίχοι κι αυτοί, την αποδοτικότητά τους την οφείλουν στη χρήση του κτιρίου αλλά και στο μέγεθός τους. Ένα όμως πρόβλημα που εμφανίζουν είναι ότι η λειτουργία τους μπορεί να επιβαρύνει το κτίριο κατά το καλοκαίρι εφόσον σε αυτό δεν υπάρχουν συστήματα σκίασης και φυσικού δροσισμού. Παρόλα αυτά η εξοικονόμηση ενέργειας που προκύπτει είναι περίπου 40% για τα κτίρια κατοικίας στην κλιματική ζώνη ΑΑ και ΒΑ, 12% στα κτίρια της κλιματικής ζώνης ΓΑ αφού οι ανάγκες που προκύπτουν από το κλίμα της περιοχής είναι μεγαλύτερες.

Όσον αφορά τα βιοκλιματικά κτίρια που δε διαθέτουν συστήματα έμμεσου κέρδους, θερμοκήπια, ηλιακούς τοίχους, χρησιμοποιούν συστήματα άμεσου κέρδους τα οποία αποτελούνται από τα ανοίγματα που βρίσκονται στο νότιο μέρος της κατοικίας, τα οποία είναι κατάλληλα για το κλίμα της Ελλάδας και εφαρμόζοντάς τα, επιτυγχάνεται η μειωμένη ανάγκη σε θέρμανση το χειμώνα, όμως αυτό μπορεί να οδηγήσει και σε αυξημένες ανάγκες σε ψύξη το καλοκαίρι κάτι που μπορεί να μειωθεί μέσω του σωστού φυσικού αερισμού που προκύπτει από τα ανοίγματα (παράθυρα, φεγγίτες, ανοίγματα οροφής). Βέβαια το ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας λόγω των συστημάτων άμεσου ηλιακού κέρδους εξαρτάται από το μέγεθος των ανοιγμάτων, τη θερμομόνωση, το κλίμα της περιοχής κ.α. Για παράδειγμα, πολύ μεγάλα ανοίγματα μπορεί να οδηγήσουν σε υψηλές ανάγκες σε θέρμανση το χειμώνα καθώς χάνονται

μεγάλα ποσά θερμότητας κατά τη διάρκεια της νύχτας από τις αυξημένες γυάλινες επιφάνειες, ενώ παράλληλα να αυξηθούν οι ανάγκες της σε ψύξη κατά τη διάρκεια του θέρους λόγω των μεγάλων γυάλινων επιφανειών που αυξάνουν το ποσό ηλιακής ακτινοβολίας και θερμότητας που εισέρχεται στο κτήριο κατά τη διάρκεια της μέρας το καλοκαίρι. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι για την κλιματική ζώνη ΑΑ παρά το γεγονός ότι τα μονά τζάμια είναι βολικά κυρίως το χειμώνα σε μικρό βαθμό βέβαια, προτιμώνται τα διπλά τζάμια στα νότια ανοίγματα, ώστε να εξοικονομείται περισσότερη ενέργεια για θέρμανση αλλά και ψύξη. Όλα αυτά βέβαια προκύπτουν σε συνδυασμό με τον κατάλληλο αερισμό. Στις κλιματικές ζώνες ΒΑ και ΓΑ συνιστώνται διπλοί υαλοπίνακες ώστε να προκύπτουν οι καλύτερες το δυνατό αποδόσεις.

Στις περιπτώσεις που δεν εφαρμόζεται ο φυσικός δροσισμός παρατηρούνται φαινόμενα υπερθέρμανσης και η θερμική άνεση μειώνεται σημαντικά. Ο φυσικός αερισμός εφαρμόζεται κατά τη διάρκεια της νύχτας μέσω διαμπερών ανοιγμάτων ή ανοιγμάτων καθ' ύψος (κατ' αυτή τη διαδικασία παρατηρείται το φαινόμενο φυσικού εκλυσμού που προκαλεί την εναλλαγή του αέρα ανά μια ώρα). Τα ποσοστά μείωσης των αναγκών σε ψύξη λόγω φυσικού αερισμού ανέρχονται στο 75% ενώ αν πρόκειται για βόρειες περιοχές το ποσοστό φθάνει το 100% (γνωστές τιμές για κατοικίες, για γραφεία δεν υπάρχουν στοιχεία), έτσι το κτίριο δεν έχει ανάγκη συστήματα ψύξης για τη διατήρηση της θερμικής του άνεσης.

Στην Ευρώπη ο κτιριακός τομέας παράγει το 55% των συνολικών εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα, ένα από τα βασικότερα αέρια που προκαλεί κλιματικές αλλαγές και μολύνει το περιβάλλον. Η χρησιμοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων συμβάλλει τόσο στην εξοικονόμηση ενέργειας όσο και στην ενίσχυση της υιοθέτησης της τάσης του βιοκλιματικού σχεδιασμού των κτιρίων. Καθώς όπως είναι γνωστό ο βιοκλιματικός σχεδιασμός ανταποκρίνεται στις μεταβολές των καιρικών συνθηκών και μπορεί να βελτιώσει τον τρόπο που γίνεται η διαχείριση της ενέργειας.

Οι κύριοι στόχοι του βιοκλιματικού σχεδιασμού είναι η απεξάρτηση από το πετρέλαιο, η εξοικονόμηση χρήματος και η προστασία του περιβάλλοντος. Όσον αφορά στην απεξάρτηση από το πετρέλαιο, ειδικά μετά την ενεργειακή κρίση του 1973 και του 2007 έγινε αντιληπτή η εξάρτηση της καθημερινότητας των ανθρώπων από το πετρέλαιο και η στροφή των ανθρώπων προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και την εξοικονόμηση αυτής.

Η εξοικονόμηση χρήματος, προκύπτει με τη χρησιμοποίηση αδάπανης ηλιακής ενέργειας για τη θέρμανση των κτιρίων και ανέμων για τον δροσισμό καθώς η εξοικονόμηση των χρημάτων που προκύπτει είναι μεγαλύτερη από 50% λόγω της μειωμένης κατανάλωσης σε πετρέλαιο και ηλεκτρικό ρεύμα. Αν αναλογιστούμε και την συνεχόμενη αύξηση της τιμής του πετρελαίου, ο βιοκλιματικός σχεδιασμός είναι μια οικονομικά συμφέρουσα λύση.

Η προστασία του περιβάλλοντος που προκύπτει μέσω του βιοκλιματικού σχεδιασμού είναι σημαντική καθώς κατά την κατασκευή ενός οικολογικού κτιρίου αξιοποιούνται άμεσα οι θετικές παράμετροι του κλίματος όπως η ηλιακή ενέργεια για τη θέρμανση και οι άνεμοι για τον φυσικό δροσισμό, όπως έχει ήδη αναφερθεί παραπάνω κι από τη χρήση αυτών προκύπτει μειωμένη εκπομπή ρύπων και συνάμα μειωμένη ρύπανση του περιβάλλοντος.

Στην βιοκλιματική αρχιτεκτονική είναι σημαντικό κατά το σχεδιασμό του κτιρίου να προσαρμόζεται το κτίριο στο κλίμα της περιοχής, το φυσικό περιβάλλον, να στοχεύει στην χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας και τη διατήρηση της θερμικής άνεσης (Τσίππρας 2005). Βασική προϋπόθεση για να συμβούν αυτά είναι η χρήση της εγχώριας ενέργειας η οποία πρέπει να είναι ανανεώσιμη.

Οι βασικές αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού που πρέπει να ακολουθούνται κατά την κατασκευή μιας παθητικής κατοικίας έχουν ως εξής: το κτίριο να λειτουργεί ως αποθήκη θερμότητας, το κτίριο να λειτουργεί ως παγίδα θερμότητας, να λειτουργεί ως φυσικός ηλιακός συλλέκτης κατά τη διάρκεια του χειμώνα και το κτίριο να μπορεί να αποθηκεύει κατά το καλοκαίρι φυσική ψύξη (Wright 1978).

Για να μπορεί να λειτουργεί το κτίριο ως φυσικός ηλιακός συλλέκτης θα πρέπει να βασίζεται σε κάποιες προϋποθέσεις οι οποίες σχετίζονται με το κατάλληλο σχήμα του κτιρίου, με τον κατάλληλο προσανατολισμό και τη χωροθέτηση του κτιρίου στο οικοπέδο, τη λειτουργική διάρθρωση των εσωτερικών χώρων και το μέγεθος των ανοιγμάτων σε σχέση με τον προσανατολισμό.

Το σχήμα του κτιρίου επηρεάζει τις ανάγκες του σε ψύξη, θέρμανση και φωτισμό. Το σχήμα επηρεάζεται από τα κλιματικά δεδομένα. Ένα επίμηκες κτίριο κατά τον άξονα ανατολής-δύσης προσφέρει μεγαλύτερη επιφάνεια προς το νότο ώστε να συλλέγεται μεγαλύτερη ποσότητα ηλιακής ενέργειας το χειμώνα. Όσον αφορά στη σκίαση που είναι απαραίτητη το καλοκαίρι, αυτή επιτυγχάνεται εύκολα στη νότια πλευρά. Οι προσανατολισμοί προς ανατολή και δύση έχουν μικρή επιβάρυνση από τον ήλιο το καλοκαίρι. Σε έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί σχετικά με το καταλληλότερο

σχήμα του κτιρίου ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος και τις κλιματικές συνθήκες προκύπτουν τα εξής: όλα τα σχήματα του κτιρίου που έχουν επίμηκες σχήμα κατά άξονα βορρά-νότου, δεν είναι τόσο αποτελεσματικά σε σχέση με το κτίριο κύβος με αρνητικά αποτελέσματα τόσο το χειμώνα όσο και το καλοκαίρι. Το κυβικό σχήμα του κτιρίου δεν αποτελεί το καλύτερο σχήμα για κτίρια αν και το χειμώνα υπάρχουν μικρότερες θερμικές απώλειες το χειμώνα. Όμως αυτού του τύπου το σχήμα με τις κατάλληλες επεμβάσεις στο γεωμετρικό του σχήμα μπορεί να έχει θετικά αποτελέσματα καθώς προκύπτουν προς το νότιο προσανατολισμό. Η καλύτερη μορφή κτιρίου για οποιοδήποτε κλίμα είναι η επιμήκης στον άξονα ανατολή-δύση με διαφορετικές αναλογίες (Colombo 1994).

Ο προσανατολισμός του κτιρίου αποτελεί ένα σύνθετο ζήτημα καθώς εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως το φυσικό τοπίο, οι κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή, η τοπογραφία της περιοχής και το ανάγλυφο του εδάφους αλλά και ο κυκλοφοριακός θόρυβος (Lebens 1980). Για τα κλιματικά δεδομένα που αφορούν στην Ελλάδα, ως καταλληλότερος προσανατολισμός θεωρείται ο νότιος καθώς η διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία είναι τρεις φορές μεγαλύτερη από αυτή που δέχεται ο δυτικός και ο ανατολικός προσανατολισμός. Έτσι επιλέγοντας νότιο προσανατολισμό εξασφαλίζεται μεγαλύτερη ποσότητα ηλιασμού το χειμώνα και ηλιοπροστασία το καλοκαίρι καθώς μειώνονται οι πιθανότητες υπερθέρμανσης. Για γεωγραφικά πλάτη μικρότερα από 40°, οι νότιες όψεις έχουν μεγαλύτερα ηλιακά οφέλη το χειμώνα ενώ οι ανατολικές και οι δυτικές όψεις είναι ιδιαίτερος επιβαρημένες το καλοκαίρι.

Η διαμόρφωση του περιβάλλοντος χώρου του κτιρίου βελτιώνει σημαντικά το μικροκλίμα. Η βλάστηση συνεισφέρει προσφέροντας ηλιοπροστασία και φυσικό δροσισμό μέσω της εξάτμισης, εξάτμιση όμως προκαλούν και οι δεξαμενές, οι τεχνητές λίμνες, τα σιντριβάνια κ. α.

Όσον αφορά στον προσανατολισμό των υαλοστασίων είναι προτιμότερος ο νότιος, καθώς διευκολύνει το σκιασμό, σε αντίθεση με τον δυτικό ο οποίος επιβαρύνει το φορτίο του δροσισμού των κτιρίων κατά τις θερινές απογευματινές ώρες. Τα οφέλη που προκύπτουν από τα νότια κατακόρυφα υαλοστάσια είναι ότι κατά τη θερινή περίοδο δέχονται λιγότερη ηλιακή ακτινοβολία σε σχέση με το χειμώνα όπου δέχονται περισσότερη (Τσιπής 2005). Ο βορινός προσανατολισμός είναι ο μόνος κατά τον οποίο τα θερινά ηλιακά κέρδη είναι περισσότερα σε σχέση με τους υπόλοιπους προσανατολισμούς.



Όπως προαναφέρθηκε ο νότιος προσανατολισμός είναι ο προτιμότερος όμως οι αρχιτέκτονες συχνά αντιμετωπίζουν προβλήματα στον τρόπο που θα χωροθετήσουν τα κτίρια στο οικόπεδο, τον προσανατολισμό που θα έχουν αλλά και το σκιασμό που θα δέχονται από τα γειτονικά κτίρια. Αυτό αποτελεί σύνηθες φαινόμενο των αστικών αλλά και γενικότερα των πυκνοκατοικημένων περιοχών. Μόνο ένα 25% των κτιρίων έχουν νότιο προσανατολισμό καθώς ο πολεοδομικός σχεδιασμός και η χάραξη των κεντρικών δρόμων κατά τον άξονα ανατολής-δύσης ή βορρά-νότου προκαθορίζει τον προσανατολισμό των όψεων των κτιρίων (Stefanou 2004). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι μελετητές να μην καταφέρνουν να αξιοποιούν τα διαθέσιμα θερμικά οφέλη και να πετυχαίνουν να κατασκευάζουν κτίρια με πολλά προβλήματα, όπως υπερθέρμανση των εσωτερικών χώρων (σε κτίρια με ανατολικό ή δυτικό προσανατολισμό) αλλά και αναγκαστική απομόνωση των κτιρίων με βόρειο προσανατολισμό από τον ήλιο. Όμως παρά το γεγονός ότι ένα κτίριο μπορεί να έχει νότιο προσανατολισμό, συχνά οι κάτοικοι δεν απολαμβάνουν τα πλεονεκτήματα λόγω άλλων καταστάσεων όπως ο σκιασμός τους από τα απέναντι κτίρια όπου εδώ λαμβάνεται υπόψη η σχέση ύψους των κτιρίων και πλάτους των δρόμων.

#### 4.6 Βιοκλιματικά κτίρια γραφείων στην Ελλάδα

Προσπάθεια για κατασκευή βιοκλιματικών κτιρίων γραφείων πραγματοποιείται και στην Ελλάδα. Ένα τέτοιο κτίριο γραφείων είναι το κτίριο γραφείων της τεχνικής εταιρείας R.C.TECH ,συνολικού εμβαδού 609m<sup>2</sup> που κατασκευάστηκε το 2006 (Γραφεία και επαγγελματικοί χώροι 2007).

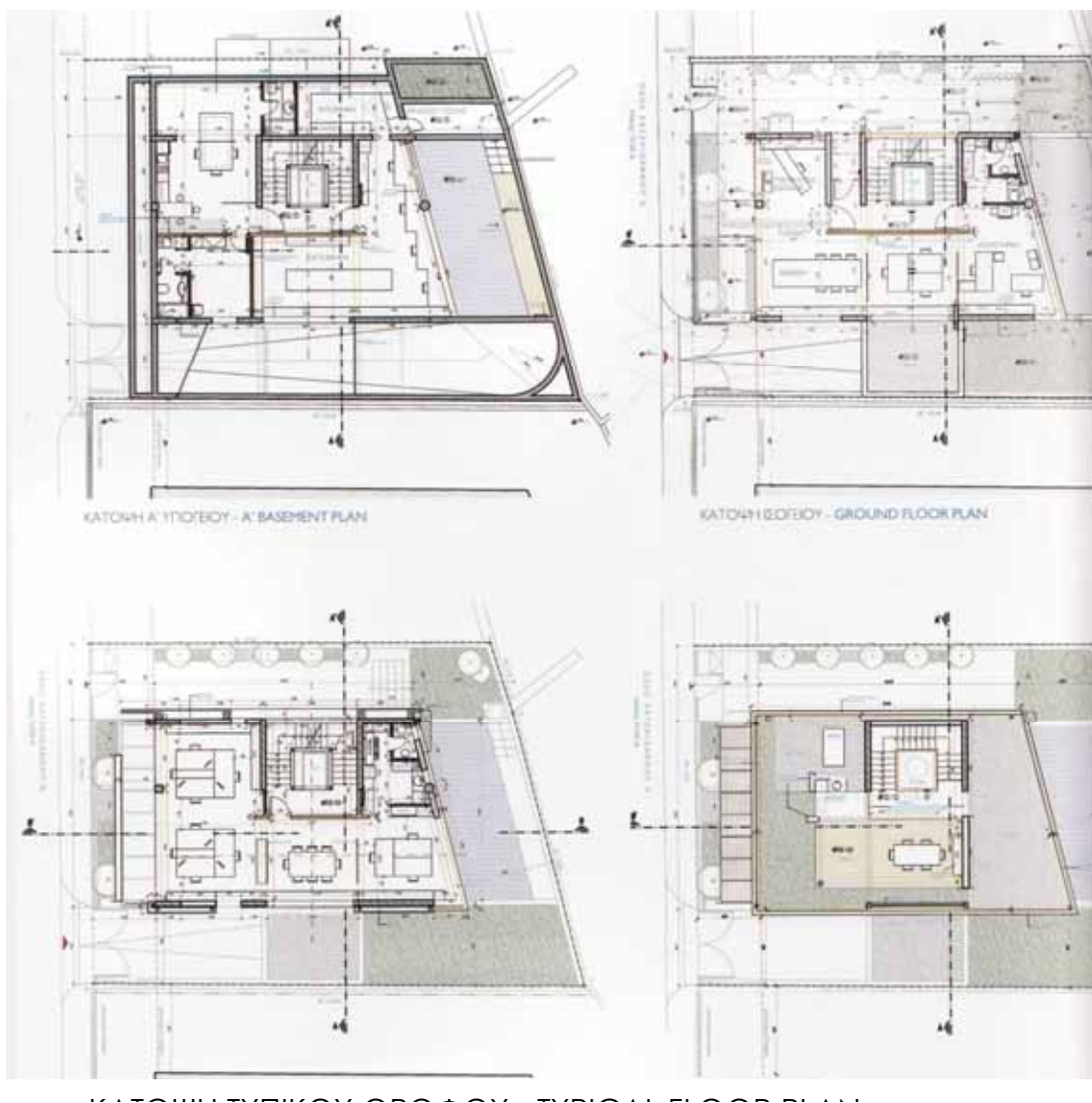
Βασική αρχή σχεδιασμού του κτιρίου της τεχνικής εταιρείας R.C.TECH ορίστηκε η συνέπεια του ως προς το ύψος της εταιρείας και το αρχιτεκτονικό της έργο. Αναλυτικότερα, οι στόχοι της επέμβασης ήταν η εξοικονόμηση ενέργειας, η χρήση καινοτόμων υλικών σε συνδυασμό με πρωτοποριακές τεχνικές κατασκευής, η εξασφάλιση άνετων συνθηκών εργασίας, η ενσωμάτωση των νέων τεχνολογιών μηχανοργάνωσης, επικοινωνίας, λειτουργίας, προβολής κτλ. και η σύγχρονη ματιά σχεδιασμού.



**Εικόνα 4.11 Εξωτερική όψη κτιρίου R.C Tech.**

Το κτίριο αναπτύσσεται σε πέντε ορόφους και δύο υπόγεια. Στο ισόγειο βρίσκονται οι χώροι υποδοχής με τον εκθεσιακό χώρο των έργων της εταιρείας. Στους ορόφους διαμορφώνονται τα γραφεία του αρχιτεκτονικού και κατασκευαστικού τμήματος, με σύστημα ανοικτής διάταξης (open plan). Οι κύριοι χώροι λειτουργίας αναπτύσσονται κατά μήκος του άξονα ανατολής - δύσης, επιτρέποντας στο φυσικό ελεγχόμενο φωτισμό να δημιουργεί το βέλτιστο αίσθημα άνεσης στους χρήστες του. Τη σύνθεση

χαρακτηρίζει η γεωμετρικότητα του όγκου, η λιτότητα των χώρων, η οργάνωση των λειτουργιών, η φιλική συμπεριφορά στο περιβάλλον.



**Εικόνα 4.12 Κατόψεις ορόφων**

Τα βιοκλιματικό στοιχεία του κτιρίου είναι ευδιάκριτα, χαρακτηρίζουν τη μορφολογία του και βοηθούν στην εξοικονόμηση ενέργειας και στη βελτιστοποίηση του αισθήματος άνεσης. Η δυτική όψη διαθέτει κατασκευή ελεγχόμενης ηλιοπροστασίας με σύστημα περιστρεφόμενων περσίδων αλουμινίου. Η βόρεια όψη καλύπτεται από "κλειστή" επένδυση -φλοιό αλουμινίου, που λειτουργεί ως ανεμοθραύστης (wind break). Η νότια όψη διαθέτει "ανοικτή" επένδυση - φλοιό αλουμινίου και λειτουργεί ως αεριζόμενη όψη.

Το κλιμακοστάσιο, που περιβάλλει γυάλινο ανελκυστήρα, κατά τους θερινούς μήνες λειτουργεί ως "αιολική καμινάδα" απαγωγής του θερμού αέρα. Οι ανοιγόμενοι φεγγίτες στην απόληξη του κλιμακοστασίου και άλλοι κοντά στη δεξαμενή νερού συμβάλλουν στην κυκλοφορία του δροσερού νυκτερινού αέρα. Το δώμα έχει διαμορφωθεί σε χώρο πρασίνου, χαμηλής βλάστησης.



**Εικόνα 4.13** Εσωτερική άποψη

Η ψύξη και η θέρμανση εξασφαλίζονται με σύστημα τριχοειδών σωληνώσεων (capillary system), που ενσωματώνεται στα επιχρίσματα των οροφών, μετατρέποντας τις οροφές σε επιφάνειες ακτινοβολίας δροσισμού-θέρμανσης, ανάλογα με την εποχή.



**Εικόνα 4.14** Εσωτερικές απόψεις

Η μελέτη του ενεργειακού σχεδιασμού του κτιρίου ανατέθηκε στο Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.), που επιβεβαίωσε τις βιοκλιματικές επιλογές της εταιρείας.



Εικόνα 4.15 Εξωτερική δυτική όψη

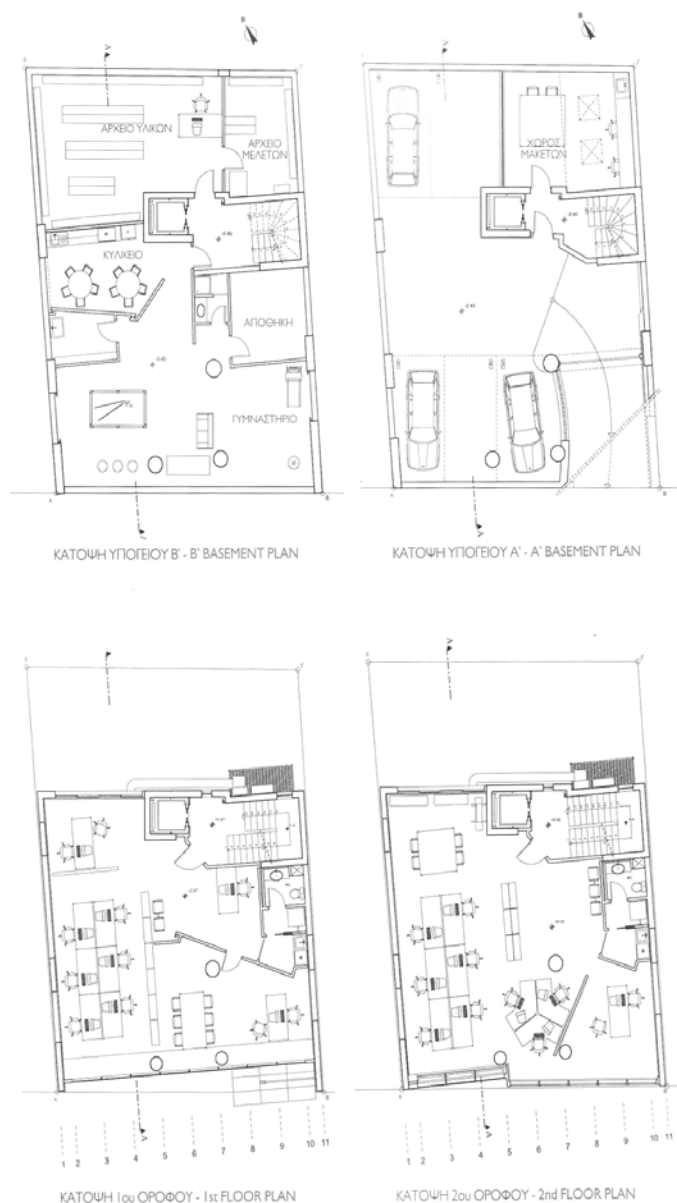
Το παρακάτω κτίριο αποτελεί την έδρα της εταιρείας αρχιτεκτονικών μελετών Bobotis architects. Κτίστηκε το 2002 με συνολικό εμβαδόν 1160 m<sup>2</sup> ( Γραφεία και επαγγελματικοί χώροι 2008).





**Εικόνα 4.16** Εξωτερική όψη κτιρίου της **Bobotis Architects**.

Περιλαμβάνει πέντε υπέργειους ορόφους με χώρους γραφείων, χώρους συναντήσεων και προβολών και χώρους υποστήριξης και δύο υπόγειους ορόφους. Στο α' υπόγειο βρίσκεται ο χώρος κατασκευής μακετών (με φυσικό φωτισμό), καθώς και ο χώρος στάθμευσης, ο οποίος συμπληρώνει το χώρο στάθμευσης της πιλοτής. Το β' υπόγειο περιλαμβάνει χώρο κεντρικού server και ηλεκτρονικού αρχείου μελετών, αρχείο υλικών και μελετών (hard copy), χώρο εστίασης, αναψυχής και γυμναστηρίου. Ο σχεδιασμός του κτιρίου έγινε έτσι ώστε να μπορεί να αναπροσαρμόζεται στις μελλοντικές ανάγκες της εταιρείας.



**Εικόνα 4.17 Κατόψεις ορόφων**

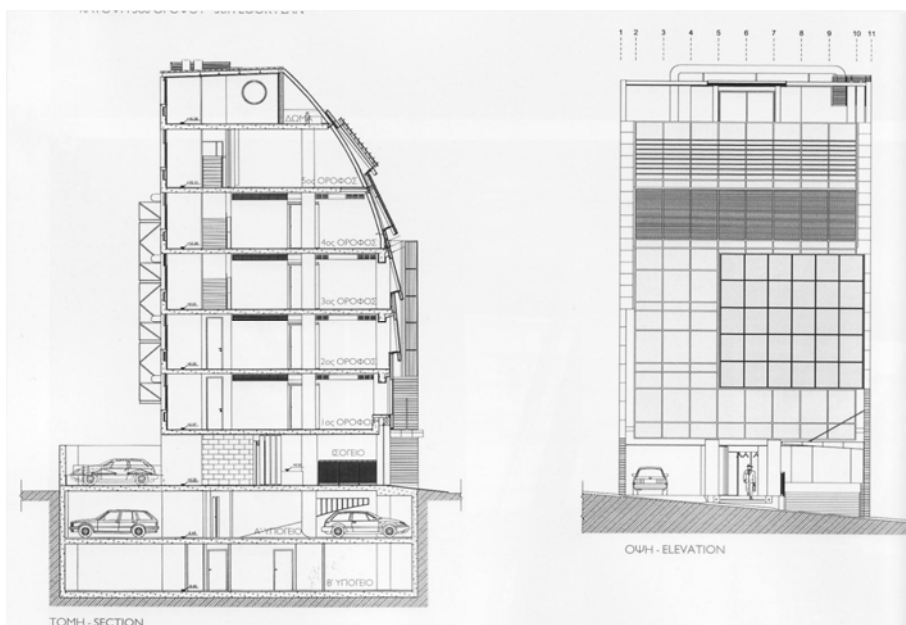
Στο κτίριο εφαρμόστηκε σύγχρονη τεχνολογία ψηφιακής επικοινωνίας των τερματικών όλων των ορόφων, καθώς επίσης και σύστημα που ελέγχει τον τεχνητό φωτισμό, την εξωτερική σκίαση και την ασφάλεια του κτιρίου στο σύνολο τους. Με την κύρια όψη προσανατολισμένη νοτιοδυτικά, το κτίριο αντιμετωπίστηκε βιοκλιματικά και με την προοπτική ενσωμάτωσης στοιχείων εναλλακτικών μορφών ενέργειας. Τα κεκλιμένα υαλοπετάσματα περιλαμβάνουν διαφανή καθώς και "τυφλά" τμήματα που συλλέγουν ηλιακή θερμότητα, την οποία διοχετεύουν εντός ή εκτός του κτιρίου, ανάλογα με τις εξωτερικές κλιματικές συνθήκες. Η σύνθεση των ανά όροφο κεκλιμένων υαλοπετασμάτων εξασφαλίζει τη δυνατότητα εισαγωγής νωπού αέρα για

το φυσικό δροσισμό και εξαερισμό των χώρων. Επίσης επιτρέπει τον καθαρισμό των υαλοπετασμάτων μέσα από το κτίριο.



**Εικόνα 4.18 Αίθουσα συνεδριάσεων**

Η αισθητική του κτιρίου προκύπτει από το συνδυασμό τεχνολογίας, λειτουργικότητας και υφής των υλικών που συνθέτουν τις επικαλύψεις.



**Εικόνα 4.19 Όψη και τομή**





**Εικόνα 4.20** Εσωτερικοί χώροι.

Εσωτερικά, οι χώροι αναπτύσσονται, ως επί το πλείστον με το σύστημα ανοικτής διάταξης. Οι επιφάνειες που οριοθετούν τις δύο μεσοτοιχίες επικαλύπτονται με ειδικές πλάκες γύψου πάχους 20 mm, που συμβάλλουν στη ρύθμιση της υγρασίας των χώρων. Ηχοαπορροφητικές επιφάνειες σε επιλεγμένα σημεία των χώρων συμβάλλουν στην εξασφάλιση κατάλληλων συνθηκών εργασίας.



**Εικόνα 4.21** Χώροι εργασίας.

#### 4.7 Διάταξη εργασίας στα κτίρια γραφείων.

Η διάταξη του χώρου εργασίας διαφέρει στις διάφορες χώρες της Ευρώπης. Οι μεγαλύτερες διαφορές υπάρχουν με τα γραφεία του Ηνωμένου Βασιλείου τα οποία τείνουν να είναι ανοικτά και με πυκνή διάταξη, ενώ στην ηπειρωτική Ευρώπη τείνουν να έχουν κυψελωτή διάταξη και με μεγαλύτερους χώρους ανάμεσά τους (Meel 2000). Στην Σουηδία συνηθίζεται μία μείξη κυψελών ενώ στην Ιταλία προτιμάται η ομαδοποιημένη διάταξη. Η χρήση χώρου κατά άτομο ποικίλη από 14.7 m<sup>2</sup> στο Λονδίνο έως 27m<sup>2</sup> στο Άμστερνταμ και στην Φρανκφούρτη. Ο Meel (2000) δικαιολόγησε αυτές τις διαφορές σε σχέση με της εργατικές ισορροπίες, τις συνθήκες τις αγοράς και την κουλτούρα των εργαζομένων.

Σύμφωνα με τον Meel (2000) αυτές οι διαφορές ξεκίνησαν την δεκαετία του 1960, όταν τα ανοικτά κτίρια γραφείων στην Γερμανία έγιναν διαδεδομένα, αλλά απορρίφθηκαν δέκα χρόνια αργότερα από τους εργαζομένους λόγω των σπουδαίων προβλημάτων που παρουσίαζαν όπως η έλλειψη ιδιωτικότητας και πολύ λίγου προσωπικού ελέγχου. Έτσι οι οργανισμοί ξεκίνησαν να κτίζουν γραφεία με διάταξη κυψέλης αντί για ανοικτού τύπου (Meel 2000). Μία σύγκριση του σχεδιασμού γραφείων στο Ηνωμένο Βασίλειο και την Ευρώπη μας δίνει ο Meel (2000) στον πίνακα 4.1. Τα κτίρια γραφείων στην Βόρεια Ευρώπη τείνουν να είναι χαμηλά έως μέσα σε ύψος με στενό σχέδιο και γραμμικό σχήμα ώστε να παρέχουν καλή πρόσβαση στο φως του ηλίου, το φρέσκο αέρα και την εξωτερική θέα. Οι αυστηροί κανονισμοί εργασίας επηρέασαν την ανάπτυξη των κανονισμών και νόμων για την υγεία και την άνεση στα κτίρια γραφείων. Οι διαφορές στις οδηγίες στα κτίρια γραφείων της δυτικής Ευρώπης όσον αναφορά την διάταξη εργασίας, την απόσταση των θέσεων εργασίας από τα παράθυρα, το μέγεθος του χώρου εργασίας και το άνοιγμα των εξωτερικών παραθύρων, δημιουργήθηκαν από τις διαφορές στην κουλτούρα της εργασίας και των ανθρώπων (Meel 2000). Αν και δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές στο κλίμα, στην κουλτούρα και στα οικονομικά μεταξύ Βόρειας Ευρώπης και Αμερικής η νομοθεσία που αφορά τα γραφεία είναι διαφορετική.

<b>Χώρα</b>	<b>Ύψος κτιρίων</b>	<b>Επίπεδο κατόψεων</b>	<b>Διάταξη εργασίας</b>	<b>Κανονισμοί</b>
<b>Ηνωμένο Βασίλειο</b>	Χαμηλού και μετρίου ύψους. Εκτός του Canary Wharf με περιστασιακό μεγάλο ύψος	Με μεγάλο βάθος, συμπαγή σχήματα με κεντρικούς πυρήνες ή αίθρια.	Ανοικτή διάταξη με κυψελωτά γραφεία για την διοίκηση. Χαμηλή άνεση χώρου για εργαζομένους	Χωρίς συγκεκριμένο μέγεθος χώρου εργασίας, χωρίς απαιτήσεις για φυσικό φωτισμό ή εξωτερική θέα.
<b>Γερμανία</b>	Χαμηλού και μετρίου ύψους. Εκτός της Φρανκφούρτης	Στενές κατόψεις, γραμμικά σχήματα, φυσικό κλιματισμός και μεικτά συστήματα	Κυψελωτή διάταξη, μεγάλοι χώροι εργασίας για κάθε εργαζόμενο.	Ελάχιστος χώρος εργασίας 8 m <sup>2</sup> . Ορίζεται πρόσβαση σε φυσικό φωτισμό και εξωτερική θέα
<b>Σουηδία</b>	Χαμηλού και μετρίου ύψους. Μεγάλα μπλοκ γραφείων	Στενές κατόψεις με μέσο βάθος, διπλοί διάδρομοι, συνδυασμένα γραφεία, γραμμικά σχήματα.	Υψηλή κυψελωτή διάταξη, μεγάλη προσοχή στους χώρους διαλείμματος, μεγάλοι χώροι εργασίας για κάθε εργαζόμενο	Χωρίς συγκεκριμένο μέγεθος χώρου εργασίας. Ορίζεται πρόσβαση σε φυσικό φωτισμό και εξωτερική θέα.
<b>Ιταλία</b>	Χαμηλού και μετρίου ύψους. Επιπλέον προσοχή στο αστικό περιβάλλον και στην ανάπλαση	Στενές κατόψεις με μέσο βάθος, διπλοί διάδρομοι, γραμμικά και συμπαγής σχήματα	Μείξη κυψελωτών και ομαδοποιημένων διατάξεων, μεγάλοι χώροι εργασίας για κάθε εργαζόμενο	Χωρίς συγκεκριμένο μέγεθος χώρου εργασίας. Ορίζεται πρόσβαση σε φυσικό φωτισμό και εξωτερική θέα.
<b>Ολλανδία</b>	Χαμηλού και μετρίου ύψους. Εκτός Ρότερνταμ και τα περίχωρα του Άμστερνταμ.	Στενές κατόψεις, γραμμικά σχήματα Έμφαση στον φυσικό φωτισμό, ανοιγόμενα παράθυρα και εξωτερική θέα.	Κυψελωτή διάταξη, μεγάλοι χώροι εργασίας για κάθε εργαζόμενο	Ελάχιστος χώρος εργασίας 7 m <sup>2</sup> . Ορίζεται πρόσβαση σε φυσικό φωτισμό και εξωτερική θέα

**Πίνακας 4.1 Σύγκριση σχεδιασμού κτιρίων γραφείων Ευρωπαϊκών χωρών.**

## Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup>. Υπολογιστικό μέρος

### 5.1 Εισαγωγή

Η έρευνα στην θερμική άνεση έδειξε ότι υπάρχουν δύο τρόποι προσέγγισης ώστε ο ερευνητής να μπορέσει να ανακαλύψει τις συνθήκες εκείνες τις οποίες οδηγούν στην θερμική άνεση μέσα σε ένα κτίριο γραφείων. Η πρώτη είναι η μέθοδος μέσω των ερωτηματολογίων, στην οποία σε ένα πραγματικό κτίριο μοιράζονται ερωτηματολόγια τα οποία συμπληρώνουν οι εργαζόμενοι στο χώρο αυτό και η δεύτερη μέθοδος η πραγματοποίηση μετρήσεων με την χρήση κατάλληλου εξοπλισμού και η μετέπειτα επεξεργασία τους σε ηλεκτρονικό υπολογιστή με το κατάλληλο λογισμικό. Μια τρίτη προσέγγιση η οποία χρησιμοποιείται για εκπαιδευτικούς σκοπούς είναι με την χρήση εικονικών προσεγγιστικών στοιχείων, η εξαγωγή συμπερασμάτων με την χρήση του ανάλογου λογισμικού. Κάθε μέθοδος έχει τα θετικά και τα αρνητικά της στοιχεία.

### 5.2 Επισκόπηση χρηστών με ερωτηματολόγια.

Τα ερωτηματολόγια χρησιμοποιούνται από πολλούς ερευνητές διότι προσφέρουν συγκεκριμένα πλεονεκτήματα. Με την χρήση τους είναι δυνατή η συλλογή πληροφοριών από μεγάλο αριθμό ατόμων εύκολα και με οικονομικό τρόπο, οι απαντήσεις μπορούν να ποσοτικοποιηθούν και η ανάλυση των πληροφοριών που συλλέγονται είναι σχετικά εύκολη. Υπάρχουν όμως και μειονεκτήματα που αφορούν στην αβεβαιότητα στην απάντηση των ερωτημάτων ή στην απάντηση του συνόλου των ερωτημάτων, στην μεροληψία των αποτελεσμάτων και στις παρανοήσεις-παρερμηνείες που είναι δύσκολο να διορθωθούν. Για αυτούς τους λόγους τα ερωτηματολόγια πρέπει να παρέχουν τα κατάλληλα δεδομένα που επιτρέπουν να απαντηθεί η ερευνητική ερώτηση, να ελαχιστοποιεί τις πιθανότητες συστηματικού σφάλματος αυξάνοντας την εγκυρότητά του και να είναι ελκυστικό ώστε να είναι πιθανότερο να συμπληρωθεί αυξάνοντας το ποσοστό απόκρισης της μελέτης.

Ένα τέτοιο ερωτηματολόγιο που χρησιμοποιήθηκε στην μελέτη του Κότσιαρη (2004) φαίνεται στο παράρτημα Α. Χωρίζεται σε δύο μέρη.

Το πρώτο μέρος που συνόδευε τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν, περιείχε πέντε ερωτήσεις, για την εκτίμηση προσωπικών παραμέτρων. Η πρώτη ζητούσε την ψήφο του χρήστη, για την καταγραφή της πραγματικής θερμικής αίσθησης περιβάλλοντος

του, πάνω στην επταβάθμια κλίμακα θερμικής αίσθησης της ASHRAE-55, χωρίς καμία παρέμβαση του μελετητή.

Η δεύτερη και η τρίτη ερώτηση αφορούσαν την καταγραφή της δραστηριότητας του χρήστη για την όσο το δυνατόν καλύτερη εκτίμηση του μεταβολικού ρυθμού του. Με βάση τις απαντήσεις στην 2η και 3η ερώτηση, υπολογίστηκε ο μέσος όρος των μετ που αντιστοιχούσαν στην δραστηριότητα του χρήστη την στιγμή της ερώτησης και της δραστηριότητας του στα προηγούμενα 15 λεπτά.

Η τέταρτη ερώτηση αφορούσε την καταγραφή της ένδυσης του χρήστη, για την εκτίμηση της θερμικής αντίστασης του ρουχισμού και η πέμπτη, αν ο χρήστης αισθανόταν κάποιο ανεπιθύμητο ρεύμα. Στις ερωτήσεις δύο, τρία και τέσσερα υπήρξε συνεργασία για την όσο το δυνατόν καλύτερη εκτίμηση των προσωπικών παραμέτρων. Η εκτίμηση των οποίων έχει προκαλέσει πολλές συζητήσεις για την επίδραση τους στην ευαισθησία του PMV (Olesen 2002). Στην πέμπτη ερώτηση διερευνήθηκε η περίπτωση τοπικής δυσφορίας οφειλόμενη στην ύπαρξη κάποιου ρεύματος, κυρίως γιατί υπολογίστηκε ο δείκτης PD από λογισμικό ώστε να γίνει κάποια συσχέτιση, αλλά και για να συνδυαστούν πιθανά ευρήματα με την έκφραση γενικής δυσφορίας.

Το δεύτερο (Ερωτηματολόγιο Β) ζητήθηκε από τους χρήστες άπαξ και σκόπευε στην διερεύνηση της σύνδεσης της θερμικής αίσθησης των χρηστών με τυπικούς προσωπικούς παράγοντες όπως π.χ. το φύλο αλλά και κυρίως με «προσαρμόσιμους» παράγοντες, όπως ήδη έχουν συσχετισθεί ή αναφερθεί: συμπεριφορές και συνήθειες, πολιτιστικό υπόστρωμα, «κλιματική μνήμη», προσδοκίες, κ.α. (Humphreys 2002, Auliciems 1983, de Dear and Branger 1998, Darmawan 1999, Fanger 2002, Nicol 2002 κ.α.). Επειδή πρόσθετα, η θερμική αίσθηση αναπτύσσεται μέσω ορισμένων διανοητικών διαδικασιών πριν οδηγήσει στην έκφραση κρίσης ή προτίμησης (Santamouris 1996), κάποιες ερωτήσεις που ετέθησαν αναζητούν συσχετίσεις με υποσυνείδητα εδραιωμένες πεποιθήσεις. Όταν αναφερόμαστε στο υποσυνείδητο, αναφερόμαστε σε εκείνη την εγκεφαλική διανοητική διεργασία που λαμβάνει χώρα στο δεξιό ημισφαίριο του εγκεφάλου και χαρακτηρίζεται από ασαφή απομνημόνευση δεδομένων και ταχύτητες επεξεργασίας πολλαπλάσιες αυτών του αριστερού ημισφαιρίου (Sagan 1980).

### 5.3 Υπολογισμός δεικτών με την χρήση υπολογιστή.

Λόγω των περιορισμών της παρούσης εργασίας (ανεπάρκεια χρόνου, ακριβός εξοπλισμός μετρήσεων, κ.α) δεν είναι εφικτή η πραγματοποίηση επιτόπιων μετρήσεων για την εισαγωγή των στοιχείων στο κατάλληλο λογισμικό. Για αυτό το λόγο γίνεται μία προσομοίωση με την χρήση των κατωτέρω προγραμμάτων:

#### 5.3.1 Υπολογισμός PMV και PPD με το λογισμικό Matlab.

Οι εξισώσεις του Fanger που αναφέρθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια, είναι δυνατόν να επιλυθούν με το μαθηματικό λογισμικό Matlab. Οι δείκτες PMV και PPD που απορρέουν από αυτές τις εξισώσεις υπολογίζονται με την χρήση του κώδικα στο παράρτημα Β. Επιλέγονται τέσσερις διαφορετικές περιπτώσεις με διαφορετικές περιβαλλοντικές και υποκειμενικές συνθήκες, υπολογίζονται οι δείκτες και σχεδιάζονται σε σχέση με κάποιον περιβαλλοντικό παράγοντα.

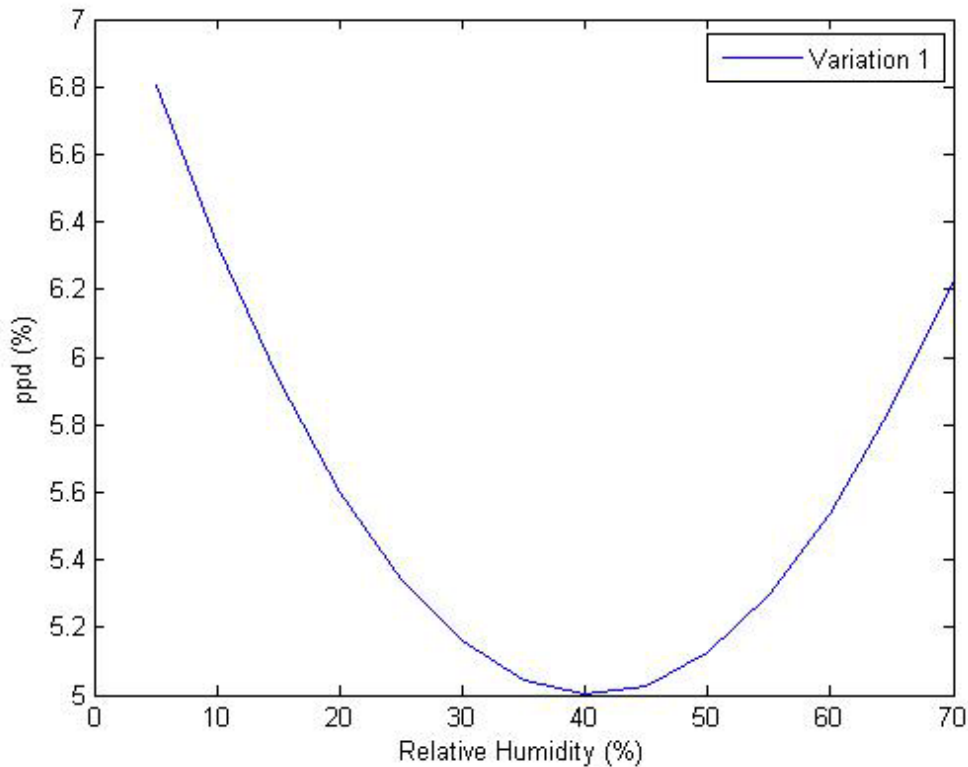
Οι μέσες τιμές των παραγόντων φαίνονται στον πίνακα 5.1

	Περίπτωση 1	Περίπτωση 2	Περίπτωση 3	Περίπτωση 4	Παρατηρήσεις
Μεταβολισμός (W/m <sup>2</sup> )	58.2	58.2	58.2	58.2	1.0 Met: Χαμηλή δραστηριότητα
Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας (°C)	22	22	22..27	25	Μέση τιμή Ashrae
Θερμοκρασία αέρα (°C)	25	25..30	25..30	28	Στο μέσο του δωματίου
Σχετική υγρασία (%)	5..70	55	55	55	
Ένδυση	1	0.8	0.3	1.1	Ελαφριά καλοκαιρινή ένδυση
Ταχύτητα αέρα (m/s)	0.1	0.1	0.1	0.10..0.55	Επαρκής εξαερισμός

**Πίνακας 5.1 Τιμές και παρατηρήσεις.**

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η μεταβολή του δείκτη PPD σε σχέση με την μεταβολή της σχετικής υγρασίας για την περίπτωση 1 του παραπάνω πίνακα.

Στο διάγραμμα φαίνεται ότι η χαμηλή υγρασία προκαλεί δυσφορία ενώ όσο πλησιάζει η καμπύλη στο 40% το ποσοστό των δυσαρεστημένων μειώνεται έως φτάσει στο ιδανικό 5%. Όμως με περαιτέρω αύξηση της σχετικής υγρασίας η δυσφορία αυξάνεται πάλι και μάλιστα με εκθετικό περίπου βαθμό. Ο κώδικας υπολογισμού στο λογισμικό Matlab για τις δεδομένες συνθήκες που φαίνονται στο συνοπτικό πίνακα 5.1 δίνεται στο παράρτημα Β1.



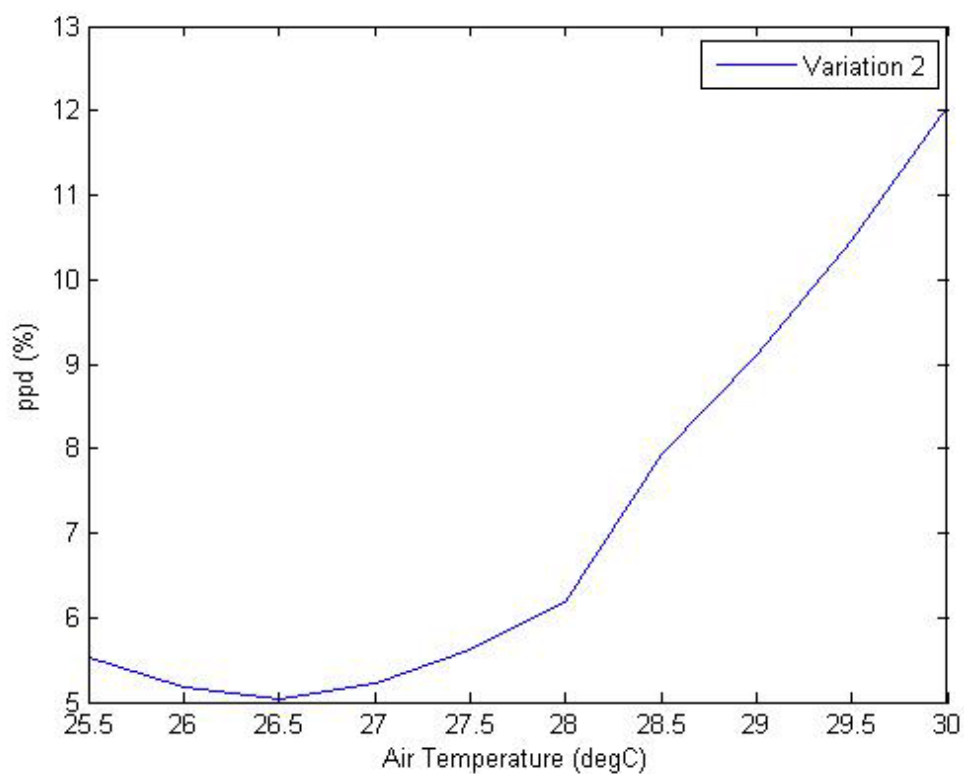
**Διάγραμμα 5.1** Αποτελέσματα υπολογισμών για την περίπτωση 1. Σχεδίαση PPD σε σχέση την σχετική υγρασία.

Στο διάγραμμα 5.2 φαίνεται η μεταβολή της θερμοκρασίας και του δείκτη PPD για τις συνθήκες της περίπτωσης 2. Ο κώδικας υπολογισμού φαίνεται στο παράρτημα Β2.

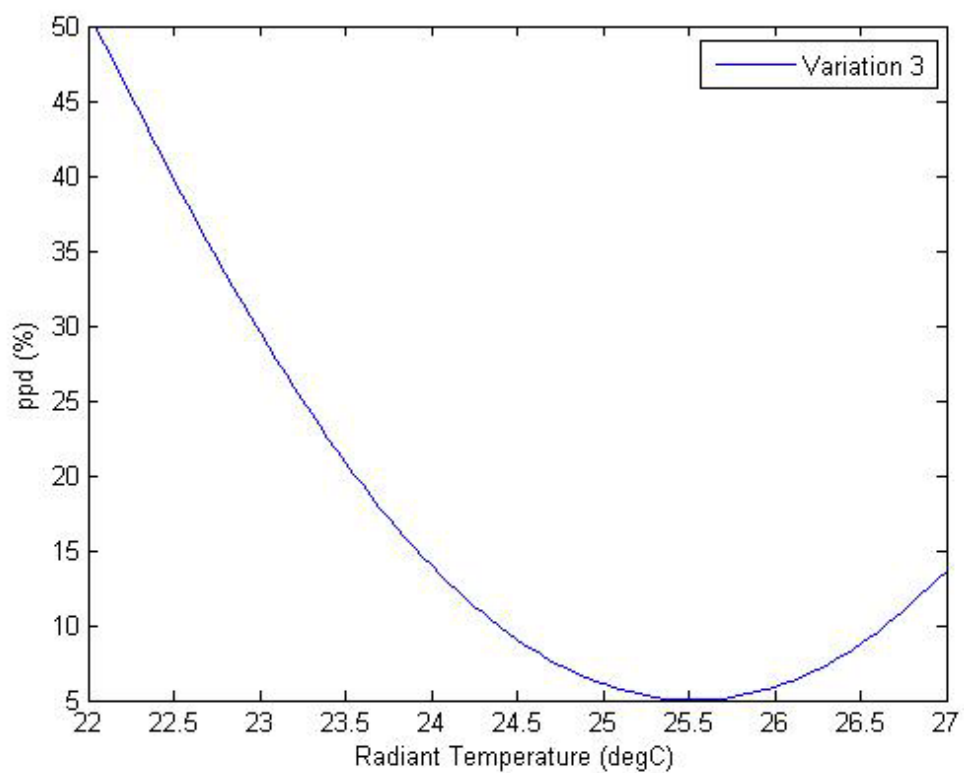
Παρατηρούμε ότι με την αύξηση της θερμοκρασίας αέρα για τις συγκεκριμένες συνθήκες του παραδείγματός μας το ποσοστό των δυσαρεστημένων πέφτει μέχρι την θερμοκρασία 26.5 βαθμών κελσίου και μετά πάλι ανεβαίνει. Αυτή η διακύμανση οφείλεται κυρίως στην ελαφριά ένδυση 0,8 clo που εφαρμόζεται στο παράδειγμα.

Στο διάγραμμα 5.3 σχεδιάζεται ταυτόχρονη αυξητική μεταβολή της θερμοκρασίας ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας με τον δείκτη PPD για τις συνθήκες της περίπτωσης 3. Ο κώδικας υπολογισμού στο παράρτημα Β3.

Παρατηρούμε ότι για τις συνθήκες του παραδείγματός μας η αύξηση της θερμοκρασίας ακτινοβολίας οδηγεί στην μείωση του ποσοστού δυσαρεστημένων. Όταν όμως η θερμοκρασία ακτινοβολίας ξεπεράσει το όριο των 25 βαθμών κελσίου η δυσαρέσκεια αρχίζει και αυξάνεται πάλι με εκθετικό τρόπο.



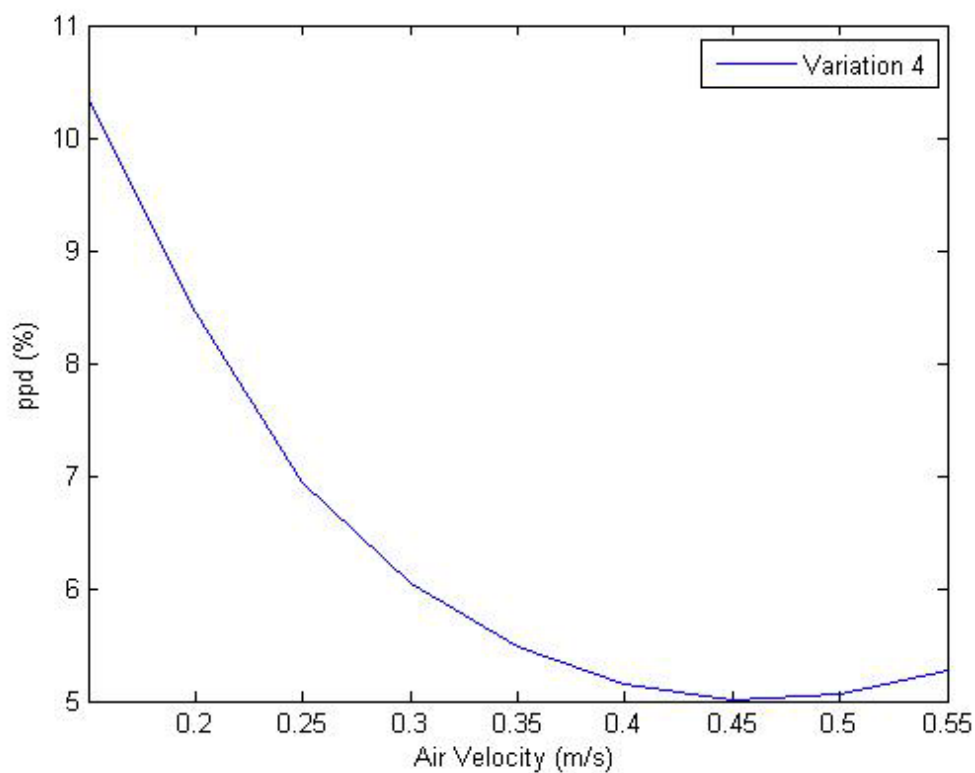
**Διάγραμμα 5.2** Αποτελέσματα υπολογισμών για την περίπτωση 2. Σχεδίαση PPD σε σχέση την θερμοκρασία του αέρα.



**Διάγραμμα 5.3** Αποτελέσματα υπολογισμών για την περίπτωση 3. Σχεδίαση PPD σε σχέση την μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας.



Τέλος για τον άνθρωπο 4 υπολογίζουμε την μεταβολή του δείκτη PPD με την ταχύτητα του αέρα. Ο κώδικας στο παράρτημα B4. Παρατηρούμε ότι για τις συνθήκες της περίπτωσης 4 έως ταχύτητα αέρα 0.45 m/s το ποσοστό των δυσαρεστημένων πέφτει ενώ από εκεί και πάνω το ποσοστό των δυσαρεστημένων αυξάνεται συνεχώς.



**Διάγραμμα 5.4** Αποτελέσματα υπολογισμών για την περίπτωση 4. Σχεδίαση PPD σε σχέση την ταχύτητα του αέρα.

### 5.3.2 Υπολογισμός PMV και PPD με την χρήση excel και visual basic.

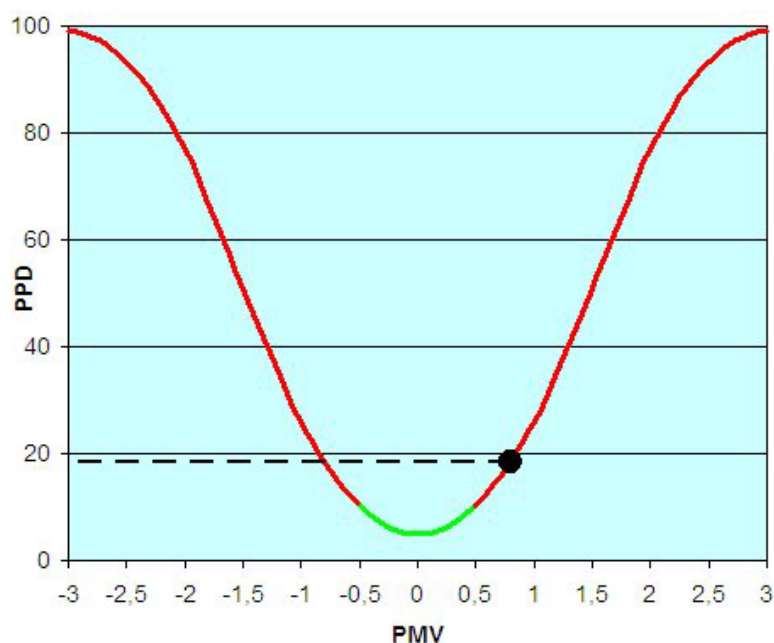
Η εταιρία Innova tech instruments δημιούργησε μια εφαρμογή για γρήγορη εύρεση του δείκτη PMV και PPD με την χρήση του δημοφιλούς προγράμματος excel της Microsoft. Το πρόγραμμα αυτό με την εισαγωγή των περιβαλλοντικών και των υποκειμενικών παραμέτρων είναι σε θέση με το πάτημα ενός κουμπιού να υπολογίσει τον δείκτη PMV, την λειτουργική θερμοκρασία και το PPD, ενώ ταυτόχρονα σχεδιάζει και στο διάγραμμα 3.17 τις τιμές του PPD-PMV. Για τους υπολογισμούς χρησιμοποιεί επτά επαναλήψεις και ο κώδικάς του κουμπιού υπολογισμού φαίνεται στο παράρτημα Γ. Στην εικόνα 5.1 φαίνεται ο τρόπος που εισάγονται τα δεδομένα και ένας απλός υπολογισμός σε συγκεκριμένες συνθήκες.

Παράμετρος	Δεδομένα	
Ένδυση (clo)	1.10	[0 έως 2clo]
Θερμοκρασία Αέρα. (°C)	24.0	[10 έως 30°C]
Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας. (°C)	22.0	[10 έως 40°C]
Δραστηριότητα (met)	1.5	[0.8 έως 4met]
Ταχύτητα αέρα (m/s)	0.15	[0 έως 1m/s]
Σχετική υγρασία (%)	50.0	[30 έως 70%]

#### Υπολογισμός PMV

Παράμετρος	Αποτελέσματα
Θερμοκρασία λειτουργίας (°C)	23
PMV	0.8
PPD	18.5

Αριθμός επαναλήψεων: 7



Εικόνα 5.1 Υπολογισμός στο excel.

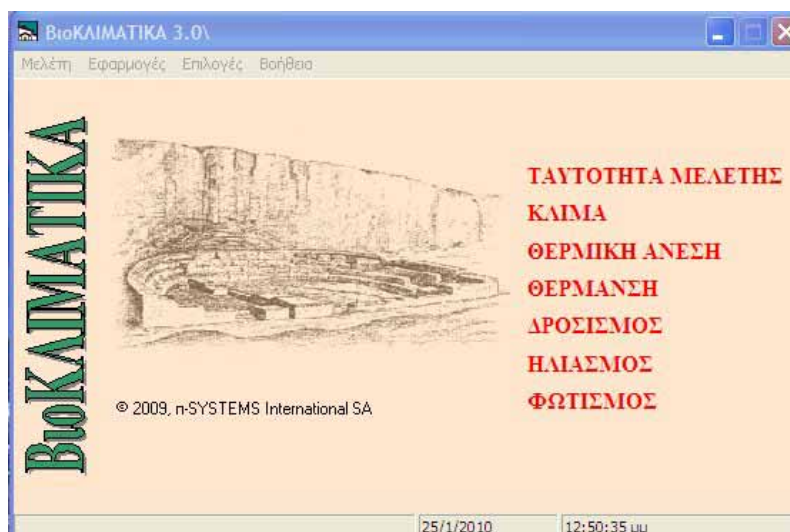
#### 5.4 Το πρόγραμμα Βιοκλιματικά

Οι δύο προηγούμενες προσεγγίσεις που αναπτύχθηκαν για τον υπολογισμό των δεικτών της θερμικής άνεσης δεν αποτελούν ολοκληρωμένη μελέτη των συνθηκών εκείνων που επικρατούν σε ένα περιβάλλον κτιρίου γραφείου. Ενώ είναι σε θέση να υπολογίσουν τους δείκτες PMV και PPD και να τους συσχετίσουν μεταξύ τους όπως η δεύτερη περίπτωση, δεν αντιμετωπίζουν συνολικά το πρόβλημα του βιοκλιματικού σχεδιασμού κτιρίων. Ο σχεδιασμός βιοκλιματικών κτιρίων και κατά επέκταση βιοκλιματικών κτιρίων γραφείων μπορεί να πραγματοποιηθεί με εξειδικευμένα προγράμματα όπως το πρόγραμμα Βιοκλιματικά της εταιρείας π-systems.

Το πρόγραμμα Βιοκλιματικά αποτελείται από συνολικά πέντε μελέτες, μελέτη θερμικής άνεσης, θέρμανσης, δροσισμού, σκιασμού και ηλιασμού. Οι μελέτες αυτές πραγματοποιούνται από τα αντίστοιχα μέρη του προγράμματος βιοθέρμανση, βιοδροσισμός, βιοφωτισμός, βιοσκιασμός, βιοηλιασμός και βιοάνεση και για να πραγματοποιηθούν βασίζονται στα εισαγωγικά δεδομένα του μέρους του προγράμματος βιοκλίμα, στο οποίο εισάγονται τα αρχικά κλιματολογικά δεδομένα της περιοχής που βρίσκεται το υπό μελέτη κτίριο. Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατόν ο συνδυασμός των επιμέρους μελετών και η εξαγωγή μιας πλήρους βιοκλιματικής μελέτης.

##### 5.4.1 Μελέτη θερμικής άνεσης με την χρήση του προγράμματος Βιοκλιματικά.

Μελετάται κτίριο γραφείων στην περιοχή του Ελληνικού στην Αθήνα. Ανοίγοντας το πρόγραμμα εμφανίζεται η εικόνα 5.2 .



Εικόνα 5.2 Αρχική εικόνα προγράμματος

Από το μενού μελέτη επιλέγουμε το νέα για να πραγματοποιήσουμε μια νέα μελέτη. Στην προκειμένη περίπτωση θα μελετηθεί ο τυπικός όροφος του κτιρίου γραφείων της εταιρείας R.C.Tech που παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 4.

Εμφανίζεται η εικόνα 5.3. Στην ταμπέλα σύνοψη συμπληρώνουμε τα γενικά στοιχεία του έργου και τα κλιματολογικά δεδομένα της περιοχής.

Field	Value
Έργο:	Μελέτη Θερμικής άνεσης
Ιδιοκτήτης:	Καμπίτσης Κωνσταντίνος
Υπηρεσία:	ΕΜΠ
Τοποθεσία:	Ελληνικό
Ενεργειακός Ελεγκτής:	Καμπίτσης
Μελέτη Κλίματος:	ellhniko.cli
Αρχιτέκτον/Μηχανικός:	
Ημερομηνία Υποβολής:	25/ 1 /2010
Κωδικός Μελέτης:	
Τίτλος Μελέτης:	ελέτη θερμικής άνεσης κτιρίου γραφείων

Εικόνα 5.3 Συμπλήρωση γενικών στοιχείων

Στην επόμενη ταμπέλα εισάγουμε τα στοιχεία του κτιρίου όπως ο όγκος που μελετάται, η θερμοκρασία του θερμοστάτη, το είδος της χρήσης του κτιρίου, ο εκτιμώμενος μέσος αριθμός ατόμων, η κατηγορία αδράνειας του κτιρίου και ο τύπος του κτιρίου. Ο όγκος στην περίπτωσή μας είναι γύρω στα 220 m<sup>3</sup>, ο τύπος επιχείρησης, ο μέσος αριθμός ατόμων 6, το κτίριο είναι μέσης αδράνειας και έχει σχήμα ορθογωνίου παραλληλεπίπεδου με εμπόδια στο μισό του ύψους του κτιρίου.

Οι επιλογές φαίνονται στην εικόνα 5.4.

Ταυτότητα

Σύνοψη Κτίριο Πληρότητα Ενεργειακό Ισοζύγιο

Όγκος: 220 [m(3)]

Θερμοκρασία Θερμοστάτη: 20 [°C]

Κλιματική Ζώνη: B

Χρήση: Επιχείρηση

Μέσος Αριθμός Ατόμων: 6

Κατηγορία Αδράνειας: Κτίριο μέσης αδράνειας

Τύπος: Τύπος 5

Περιγραφή Τύπου:

1. Ορθογώνιο Παραλληλεπίπεδο
2. Εμπόδια στο μισό του ύψους του κτιρίου

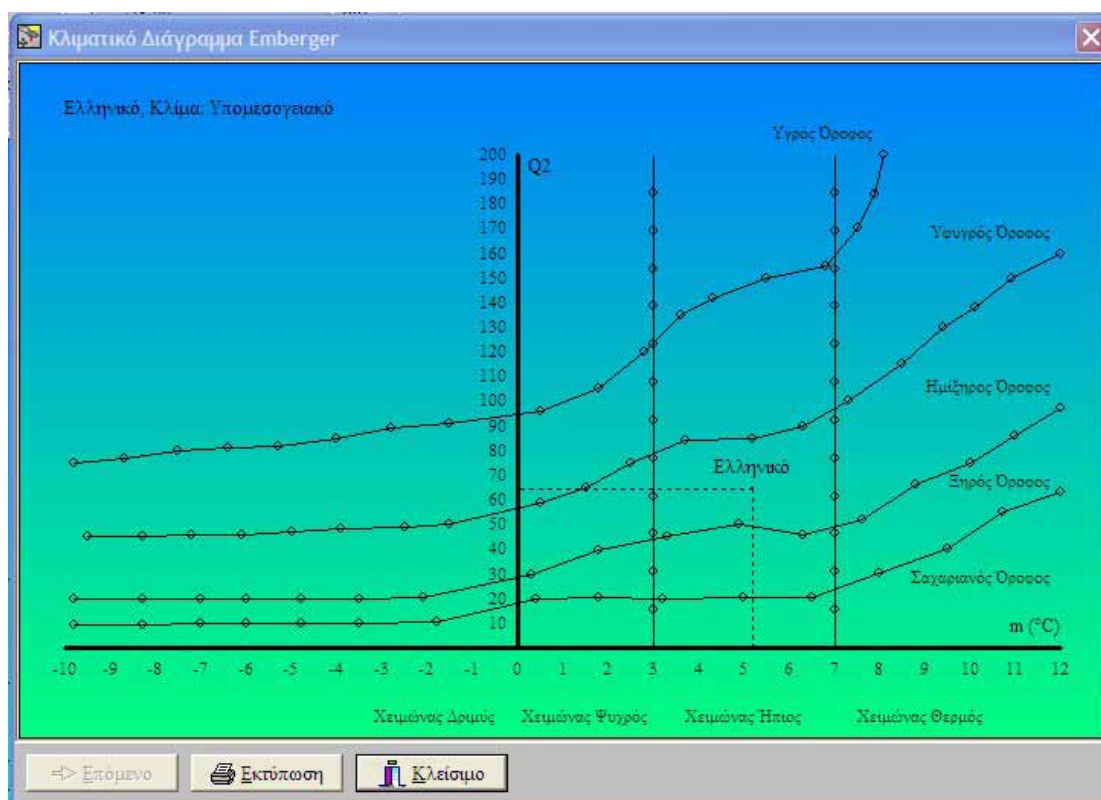
Εφαρμογή Ακύρωση Εκτύπωση

Εικόνα 5.4 Συμπλήρωση στοιχείων του κτιρίου.

Οι καρτέλες πληρότητα και ενεργειακό ισοζύγιο δεν τις εξετάζουμε στην παρούσα φάση. Αφού αποθηκεύσουμε την μελέτη με το όνομα που επιθυμούμε επιλέγουμε από την εικόνα 5.2 το module κλίμα.

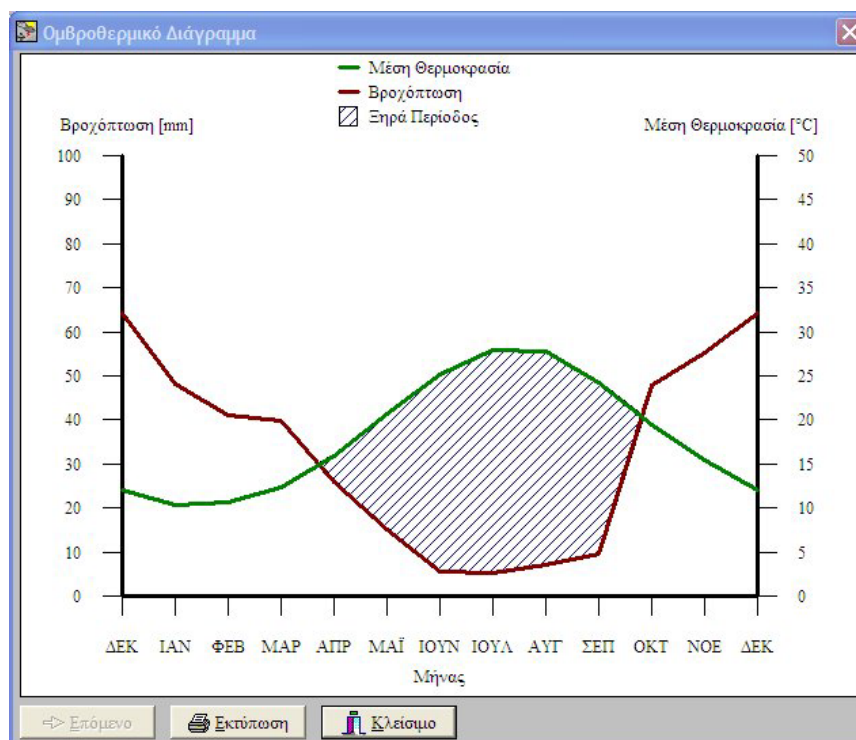
Στην εικόνα που εμφανίζεται βλέπουμε τις απαραίτητες πληροφορίες για την περιοχή της χώρας που έχουμε επιλέξει. Το πρόγραμμα παρέχει τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής του Ελληνικού για το συγκεκριμένο γεωγραφικό μήκος και πλάτος, το υψόμετρο βαρομέτρου και την θερμοκρασία θερμοστάτη. Τα στοιχεία που παίρνει υπόψη του το πρόγραμμα είναι η μέση θερμοκρασία, η απόλυτα μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία, η σχετική υγρασία, η βροχόπτωση και οι ημέρες βροχής, ομίχλης, χιονιού, καταιγίδας, χαλαζιού και παγετού, η μέση συννεφιά, η ταχύτητα ανέμου, η κατεύθυνση ανέμου, η πίεση, η ηλιοφάνεια, η βαθμομέρες θέρμανσης και δροσισμού, η θερμοκρασία εδάφους και η ηλιακή ακτινοβολία. Σε αυτά τα κλιματικά δεδομένα θα βασιστεί και η μελέτη θερμικής άνεσης.

Για την εκτίμηση του κλίματος της περιοχής παίρνουμε το διάγραμμα Emberger από πατώντας στο αντίστοιχο εικονίδιο:



Εικόνα 5.6 Διάγραμμα Emberger.

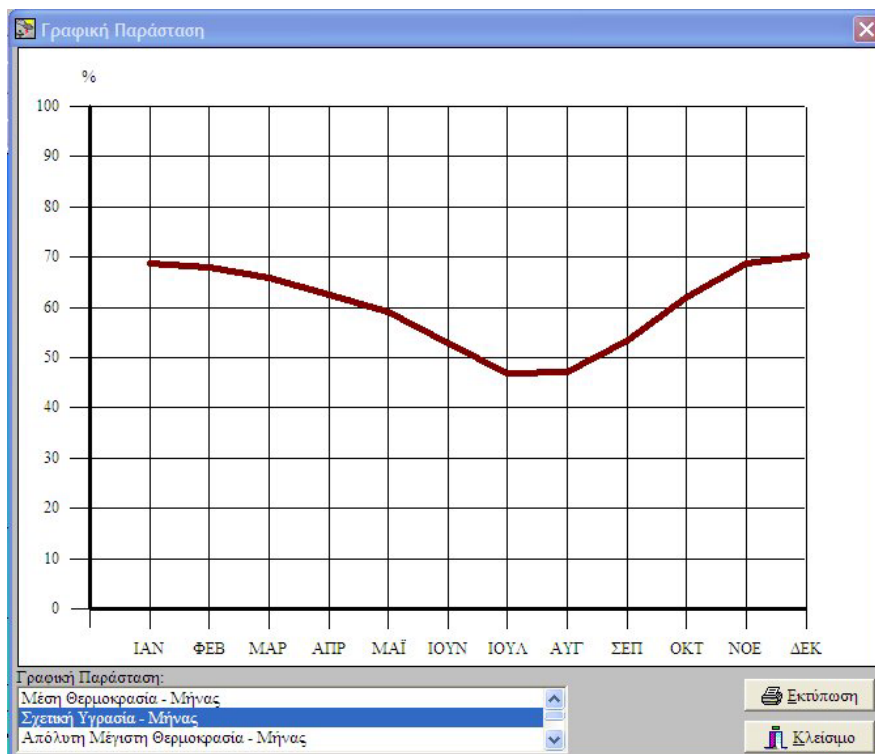
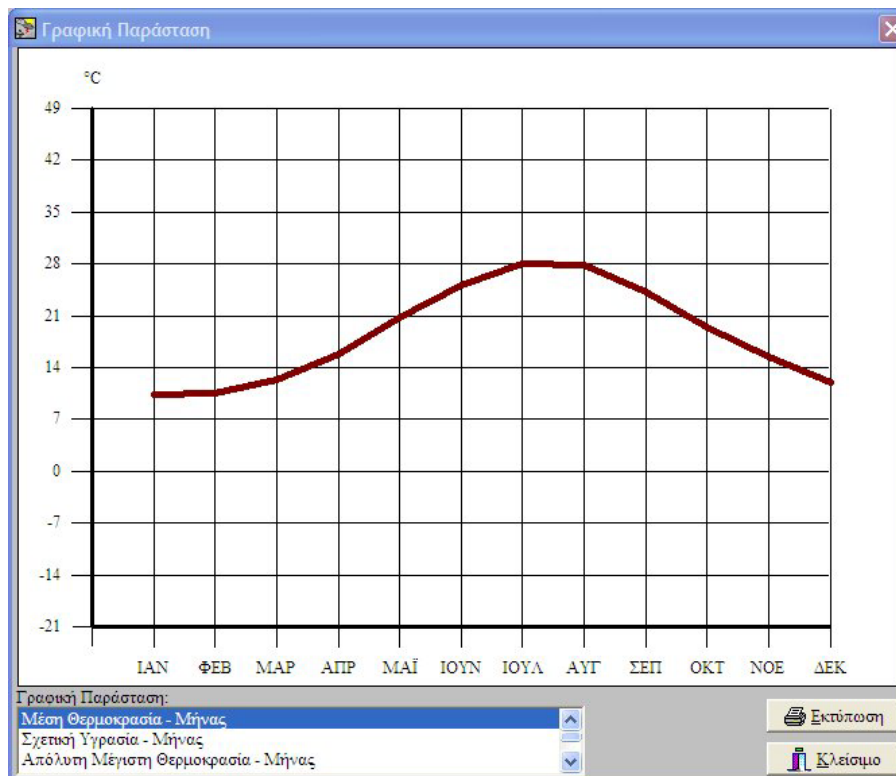
Επίσης το ομβροθερμικό διάγραμμα της εικόνας 5.7 που συντάχθηκε με την μέθοδο Bagnouis Gaussen μας δίνει χρήσιμα συμπεράσματα για την ξηρά περίοδο της περιοχής του Ελληνικού :



Εικόνα 5.7 Ομβροθερμικό διάγραμμα.

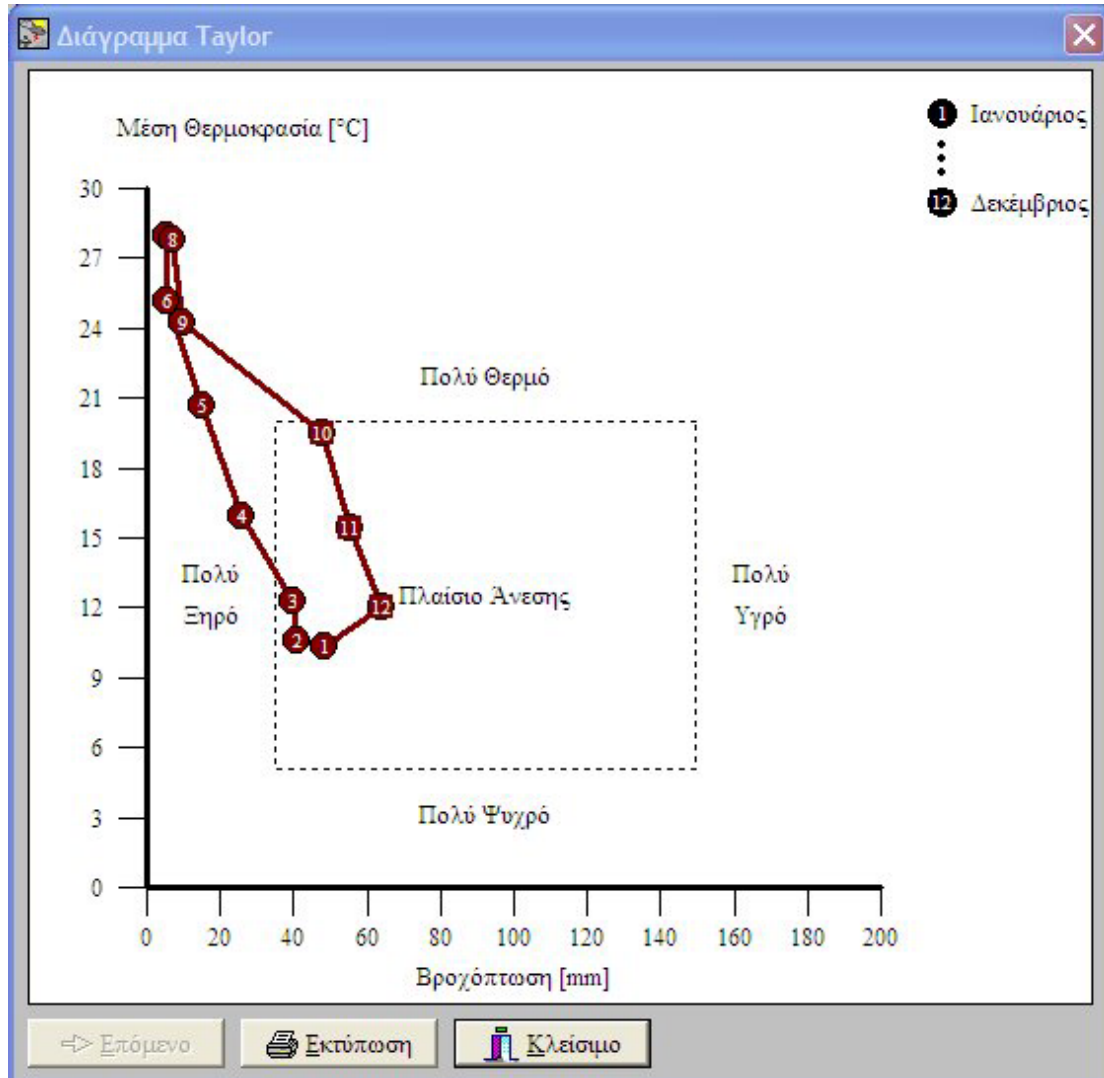


Το πρόγραμμα μας δίνει την δυνατότητα χάραξης πολλών γραφικών παραστάσεων για τα στοιχεία που αναφέρθηκαν και πιο πάνω, στην περίπτωση όμως μελέτης θερμικής άνεσης μας ενδιαφέρουν κυρίως η μέση θερμοκρασία και η σχετική υγρασία της περιοχής του Ελληνικού.



Εικόνα 5.8 Γραφικές παραστάσεις μέσης θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας ανά μήνα.

Μια πρώτη εκτίμηση για την θερμική άνεση που προσφέρει η συγκεκριμένη περιοχή μπορούμε να έχουμε από το διάγραμμα Taylor, που συσχετίζει τις μέσες θερμοκρασίες με την βροχόπτωση.



Εικόνα 5.9 Διάγραμμα Taylor.

Κλείνουμε το module κλίμα και εισερχόμαστε στο module της μελέτης της θερμικής άνεσης. Για να μπορέσουμε να πραγματοποιήσουμε την μελέτη πρέπει να εισάγουμε τους χώρους του ορόφου που θα γίνει η εκτίμηση της θερμικής άνεσης. Έτσι επιλέγονται τέσσερα γραφεία του ορόφου και ομαδοποιούνται σε μία ομάδα επειδή βρίσκονται στον ίδιο όροφο. Το πρόγραμμα μας ζητάει την εισαγωγή διαφόρων στοιχείων όπως η θερμοκρασία περιβαλλουσών επιφανειών, η θερμοκρασία δαπέδου, η υγρασία του αέρα, η ταχύτητα του αέρα μέσα στον χώρο, η θερμοκρασία του αέρα και η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας. Αυτά τα δεδομένα είναι δυνατόν να αποκτηθούν με την χρήση κατάλληλου εξοπλισμού όπως αναφέρθηκε και προτύτερα.



Μας επιτρέπει να διαλέξουμε την δραστηριότητα του ενοίκου του χώρου από ένα αναδυόμενο παράθυρο. Για το Γραφείο 1 επιλέγεται γενική εργασία γραφείου. Το πρόγραμμα τότε υπολογίζει τον ρυθμό μεταβολισμού, την αποδοτικότητα των μηχανών και τον αποτελεσματικό αριθμό μεταβολής. Στην συνέχεια επιλέγουμε το είδος του ρουχισμού των εργαζομένων στο χώρο. Επειδή πρόκειται για εργαζόμενους γραφείου που εκτελούν γενική εργασία επιλέγουμε τυπικό κουστούμι. Το πρόγραμμα υπολογίζει την μόνωση λόγω ρουχισμού, τον παράγοντα ρουχισμού και την θερμοκρασία της επιφάνειας ρουχισμού.

The screenshot shows the BIOCLIMATIKA 3.0 software interface. The window title is 'BιοΚΛΙΜΑΤΙΚΑ 3.0\BιοΑΝΕΣΗ\diplomatiki.tc'. The menu bar includes 'Μελέτη', 'Χώρος', 'Επεξεργασία', 'Επιλογές', and 'Βοήθεια'. The toolbar contains various icons for file operations and calculations.

**Χώρος:**

- Γραφείο 1 (Selected)
- Γραφείο 2
- Γραφείο 3
- Γραφείο 4

Buttons: Προσθήκη Χώρου, Διαγραφή Χώρου

**Όνομα:** Γραφείο 1

**Θερμοκρασία Περιβαλλουσών Επιφ.:** 20.00 [°C]  
**Θερμοκρασία Δαπέδου:** 19.00 [°C]

**Υγρασία του Αέρα:** 60 [%]  
**Πίεση Κορεσμένων Υδρατμών:** 2195.39 [Pa]  
**Πίεση Υδρατμών:** 17.56 [mmHg]  
**Ταχύτητα του Αέρα:** 0.10 [m/sec]  
**Συντ. Μεταφοράς Θερμότητας:** 3.36 [W·m<sup>2</sup>·°C]

**Δραστηριότητα Κατοίκου:** Γενική Εργασία

**Ρυθμός Μεταβολισμού:** 1.60 [met]  
**Αποδοτικότητα Μηχανών:** 0.00  
**Αποτελεσματικός Ρυθμός Μεταβ.:** 1.60 [met]

**Τύπος Ρουχισμού:** Τυπικό Κουστούμι

**Μόνωση λόγω Ρουχισμού:** 1.50 [clo]  
**Παράγοντας Ρουχισμού:** 1.15

**Θερμοκρασία του Αέρα:** 21.00 [°C]  
**Μέση Θερμοκρ. Ακτινοβολίας:** 26.00 [°C]  
**PMV:** 0.72

**Ρυθμός Θερμοκρασίας του Αέρα:** 0.93  
**Θερμ. Επιφάνειας Ρουχισμού:** 28.25 [°C]  
**PPD:** 16.03 [%]

**Εικόνα 5.10 Υπολογισμοί Γραφείου 1.**

Αφού συμπληρώσουμε όλα τα απαραίτητα πεδία υπολογίζεται ο δείκτης PMV και ο δείκτης PPD. Με τον ίδιο τρόπο συμπληρώνουμε τα δεδομένα για τους υπόλοιπους χώρους γραφείων. Για το γραφείο 2 που είναι αίθουσα με ελαφριά γραφική εργασία αλλά πιο ανεπίσημη ενδυμασία ,έχουμε τους αντίστοιχους υπολογισμούς:

Εικόνα 5.11 Υπολογισμοί Γραφείου 2.

Στο γραφείο 3 που η εργασία γίνεται με την χρήση υπολογιστών και ελαφρύ ντύσιμο:

Εικόνα 5.. Υπολογισμοί Γραφείου 3.

Τέλος στο γραφείο 4 για γραφείο με υπολογιστές:

**ΒιοΚΛΙΜΑΤΙΚΑ 3.0\ΒιοΑΝΕΣΗ\diplomatiki.tc**  
Μελέτη Χώρος · Επεξεργασία Επιλογές Βοήθεια

**Χώρος:**  
Γραφείο 1  
Γραφείο 2  
Γραφείο 3  
Γραφείο 4  
Όνομα: Γραφείο 4

Θερμοκρασία Περιβαλλουσών Επισ.: 19 [°C]  
Θερμοκρασία Δαπέδου: 17 [°C]

Υγρασία του Αέρα: 48 [%]  
Πίεση Κορεσμένων Υδρατμών: 2062.19 [Pa]  
Πίεση Υδρατμών: 13.19 [mmHg]  
Ταχύτητα του Αέρα: 0.12 [m/sec]  
Συντ. Μεταφοράς Θερμότητας: 3.40 [W/m² °C]

Θερμοκρασία του Αέρα: 18 [°C]  
Μέση Θερμοκρ. Ακτινοβολίας: 21 [°C]  
PMV: 0.96

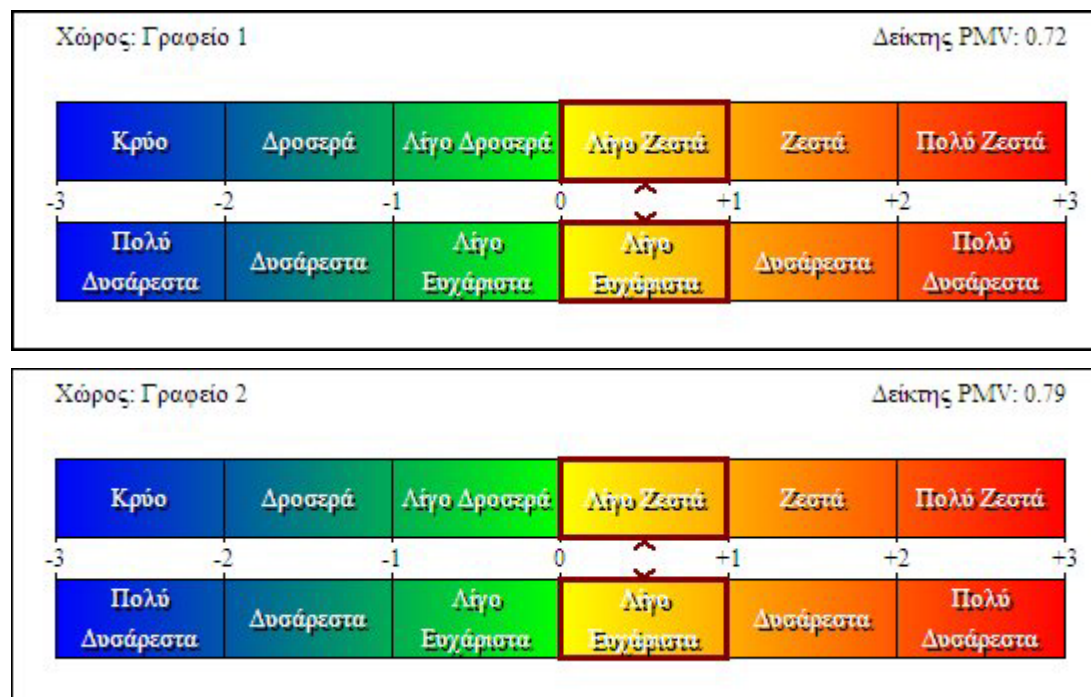
**Δραστηριότητα Κατοίκου:**  
Οικιακή Εργασία  
Ρυθμός Μεταβολισμού: 2.70 [met]  
Αποδοτικότητα Μηχανών: 0.05  
Αποτελεσματικός Ρυθμός Μεταβ.: 2.56 [met]

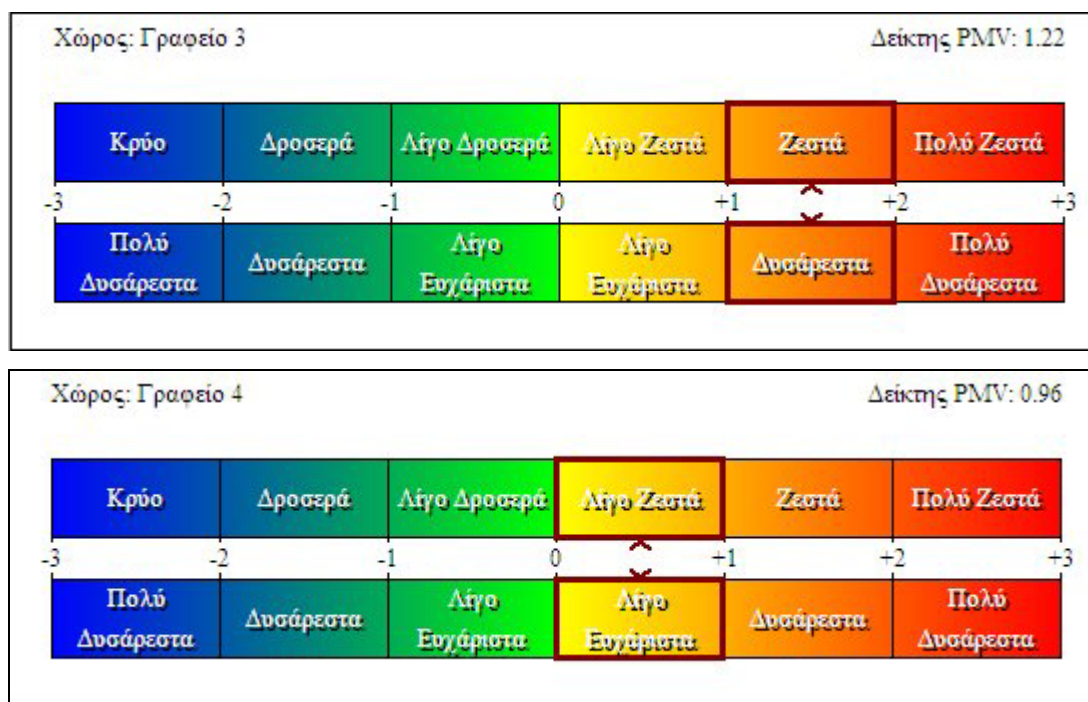
**Τύπος Ρουχισμού:**  
Ελαφρύ Ντύσιμο  
Μόνωση λόγω Ρουχισμού: 0.60 [clo]  
Παράγοντας Ρουχισμού: 1.10

Ρυθμός Θερμοκρασίας του Αέρα: 0.94  
Θερμ. Επιφάνειας Ρουχισμού: 25.57 [°C]  
PPD: 24.66 [%]

Εικόνα 5.12 Υπολογισμοί Γραφείου 4.

Η εκτίμηση λοιπόν της θερμικής αίσθησης που νιώθουν οι εργαζόμενοι με αυτές τις συνθήκες είναι για κάθε χώρο γραφείου:



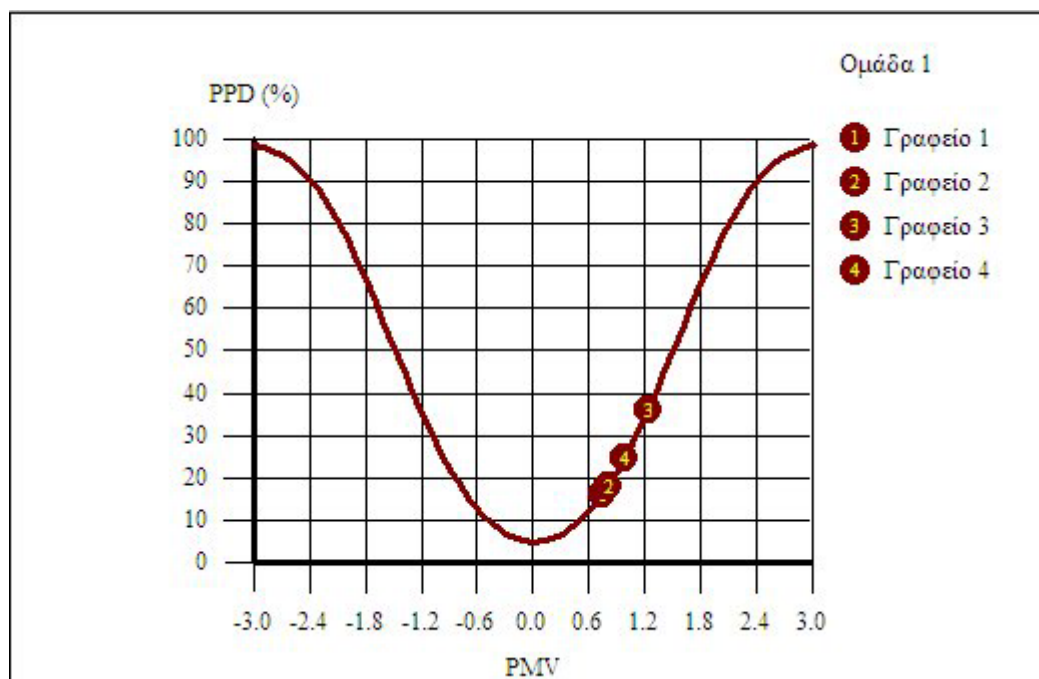


Εικόνα 5.13 Αίσθηση άνεσης στους χώρους γραφείων.

Παρατηρούμε ότι στα γραφεία 1,2,4 οι εργαζόμενοι νιώθουν λίγο πιο ζεστά από ότι θα επιθυμούσαν αλλά σε γενικές γραμμές η αίσθηση θερμικής άνεσης είναι ικανοποιητική για αυτούς. Στο γραφείο 3 όμως φαίνεται ότι οι εργαζόμενοι νιώθουν πιο ζεστά από ότι θα επιθυμούσαν με αποτέλεσμα να αισθάνονται δυσάρεστα στον χώρο εργασίας τους. Για αυτό το λόγο θα πρέπει να υπάρξει βελτίωση των συνθηκών άνεσης στο γραφείο 3.

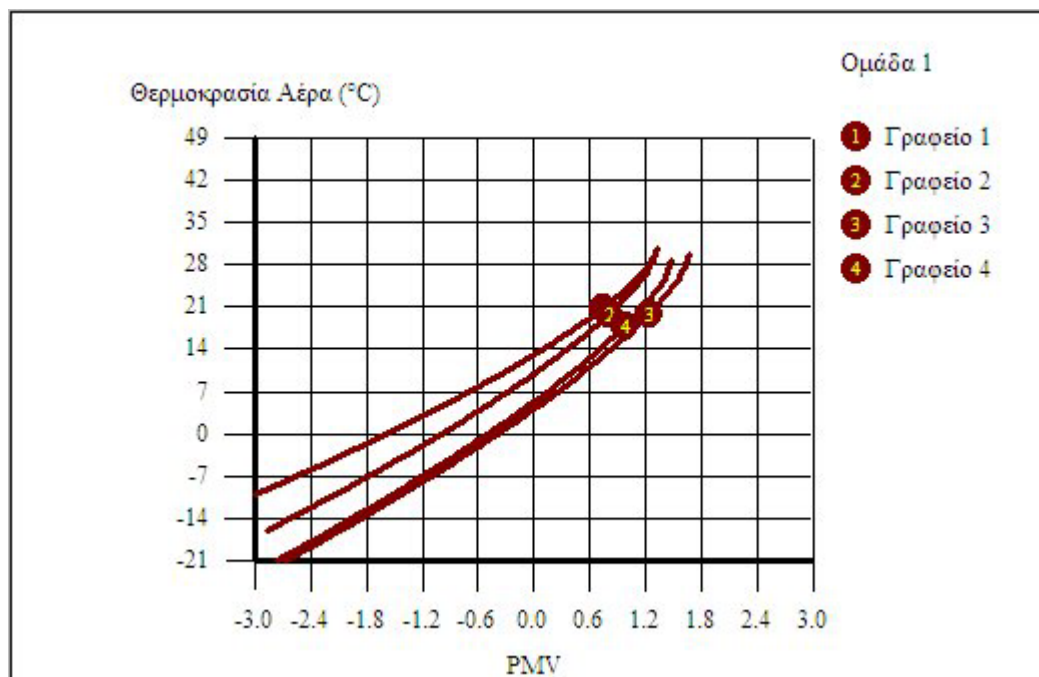
Το πρόγραμμα μας δίνει την δυνατότητα στην χάραξη πολλών γραφικών παραστάσεων. Έτσι έχουμε την καμπύλη PMV-PPD συγκεντρωτικά και για τους τέσσερις χώρους γραφείων που μελετήθηκαν:





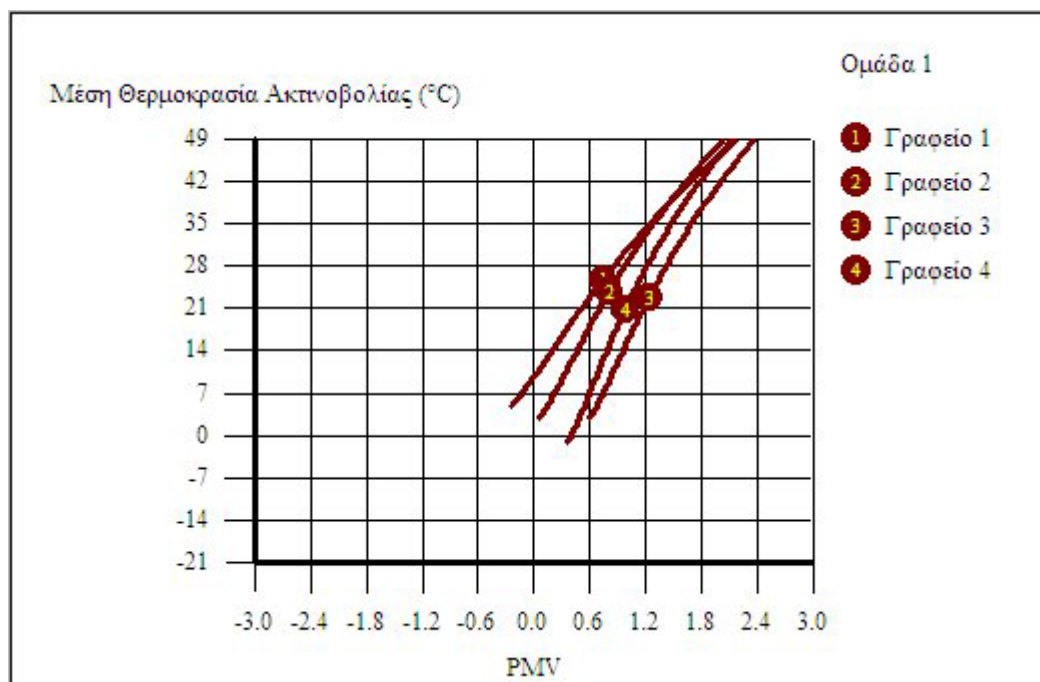
Εικόνα 5.14 Καμπύλη PMV-PPD για τους χώρους γραφείων.

Επίσης για τους ίδιους χώρους έχουμε την καμπύλη PMV- Θερμοκρασία αέρα:

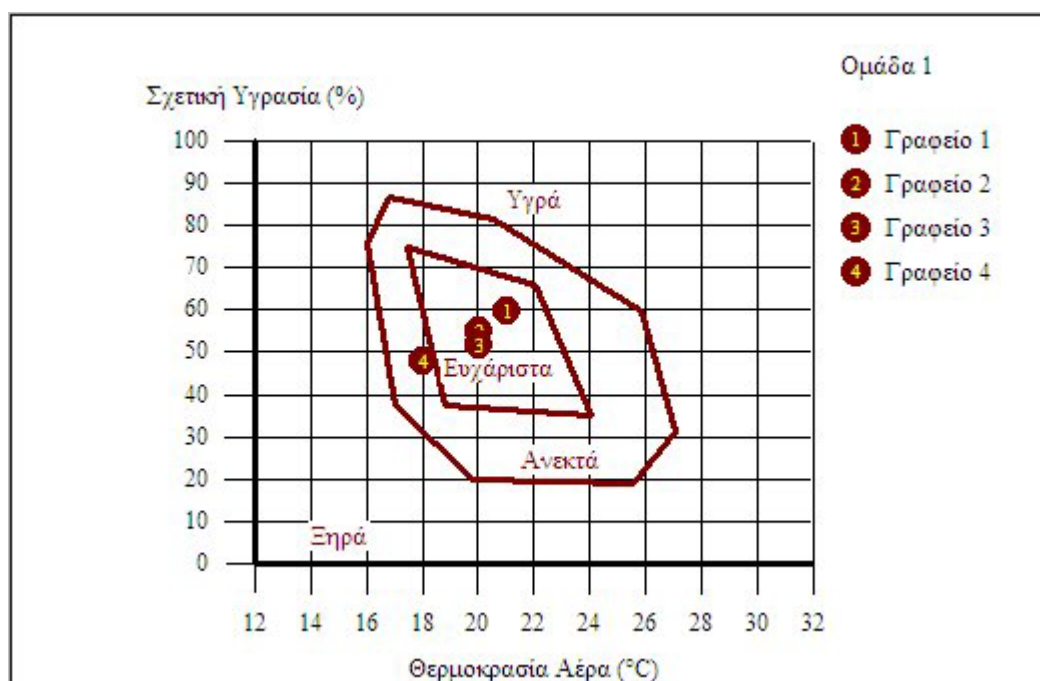


Εικόνα 5.15. Καμπύλη PMV-Θερμοκρασία αέρα για τους χώρους γραφείων.

Δίνεται και η γραφική παράσταση της σχέσης που συνδέει την μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας με τον δείκτη PMV:

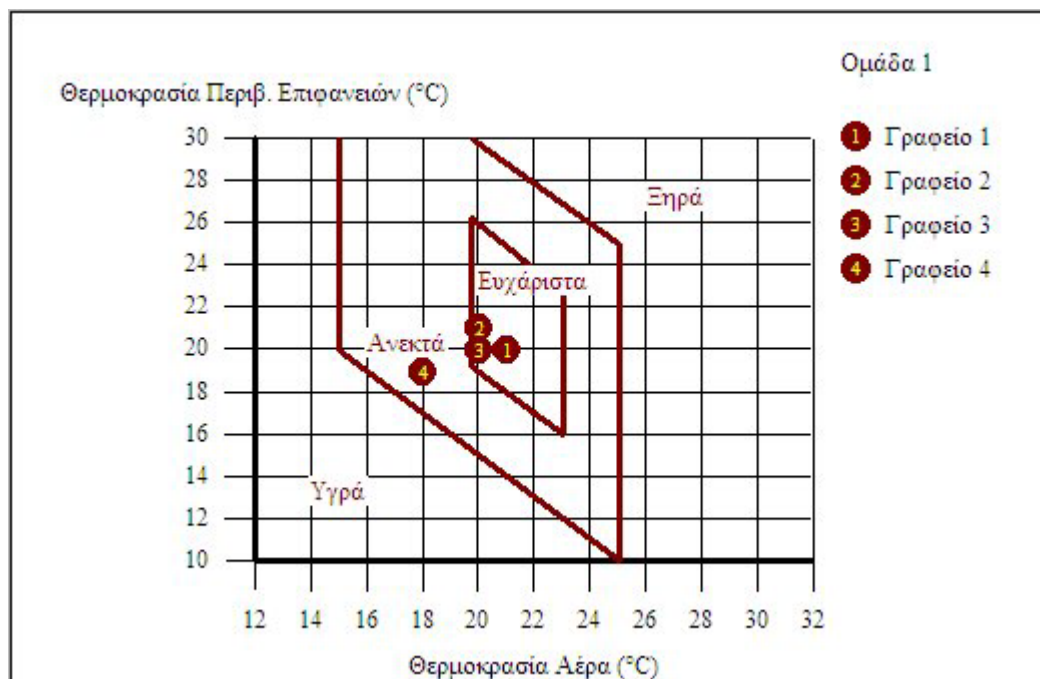


**Εικόνα 5.16 Καμπύλη PMV-Θερμοκρασία ακτινοβολίας για τους χώρους γραφείων**  
 Το πρόγραμμα μας δίνει την δυνατότητα να εκτιμήσουμε την θερμική άνεση των ενοίκων μέσα και από τα διαγράμματα θερμικής άνεσης της ASHRAE όπως παρουσιάστηκαν και στο κεφάλαιο 3.



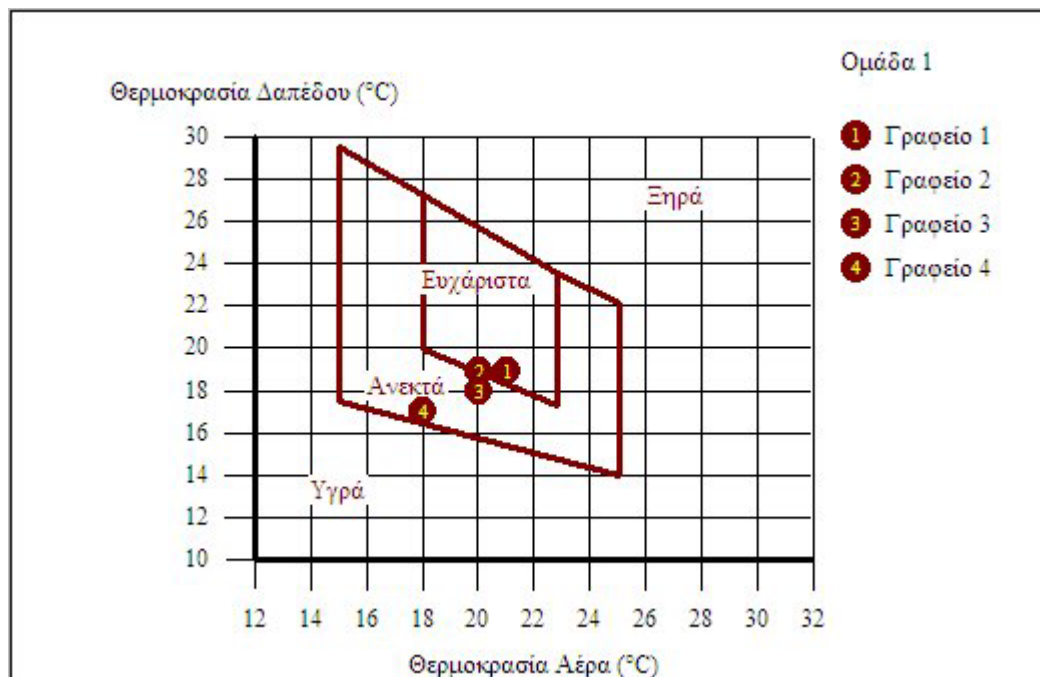
**Εικόνα 5.17 Διάγραμμα θερμοκρασίας αέρα και σχετικής υγρασίας για τους χώρους γραφείων**  
 Πάνω στο διάγραμμα της σχετικής υγρασίας και της θερμοκρασίας του αέρα σημειώνεται η αίσθηση θερμικής άνεσης που νιώθουν οι εργαζόμενοι στα επιμέρους γραφεία. Έτσι παρατηρούμε ότι στα πρώτα 3 γραφεία οι συνθήκες είναι ευχάριστες και αποδεκτές από τους εργαζόμενους, ενώ στο γραφείο 4 ο συνδυασμός χαμηλής

θερμοκρασίας αέρα και της σχετικής υγρασίας του δημιουργεί μία όχι τόσο καλή αλλά ανεκτή κατάσταση.



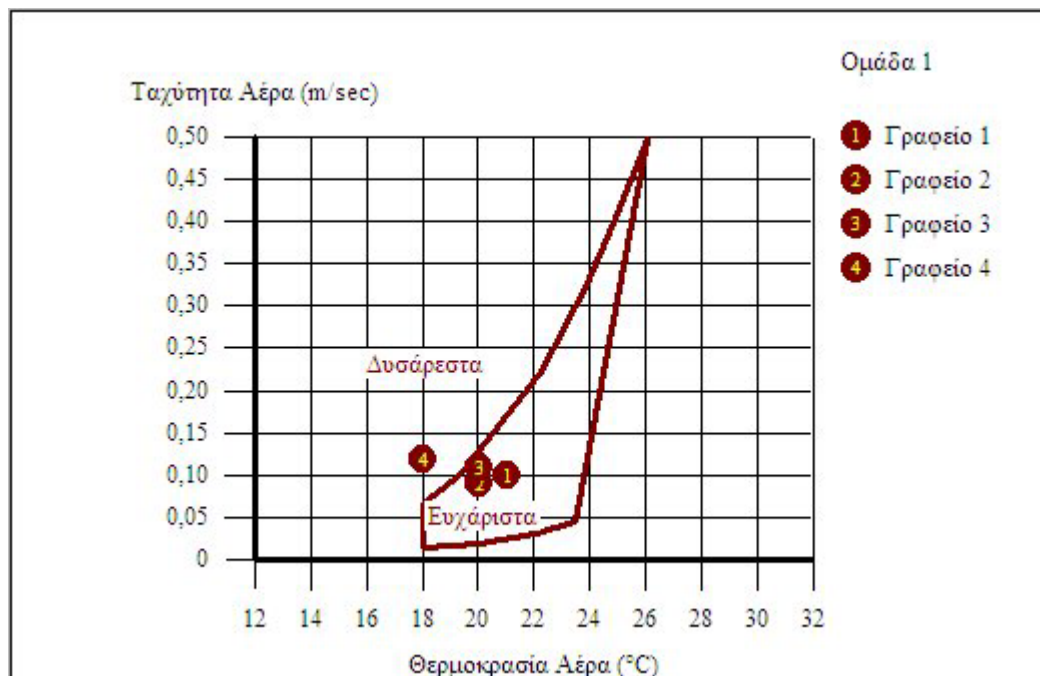
**Εικόνα 5.18** Διάγραμμα θερμοκρασίας αέρα και θερμοκρασίας περιβάλλουσων επιφανειών για τους χώρους γραφείων

Από το διάγραμμα θερμοκρασίας αέρα και θερμοκρασίας περιβάλλουσων επιφανειών παρατηρούμε ότι οι συνθήκες στα τρία πρώτα γραφεία είναι ευχάριστες, ίσως οριακά ευχάριστες για τα γραφεία 2 και 3, αλλά και απλά ανεκτές για το γραφείο 4.



**Εικόνα 5.19** Διάγραμμα θερμοκρασίας αέρα και θερμοκρασίας δαπέδου για τους χώρους γραφείων

Στο διάγραμμα θερμοκρασίας αέρα και θερμοκρασίας δαπέδου βλέπουμε ότι μόνο το γραφείο 1 διατηρεί μια ευχάριστη αίσθηση, ενώ το 2 είναι σε οριακό σημείο μεταξύ της ευχάριστης ζώνης και της ανεκτής ζώνης και το γραφείο 4 παραμένει μέσα στην ανεκτή ζώνη.

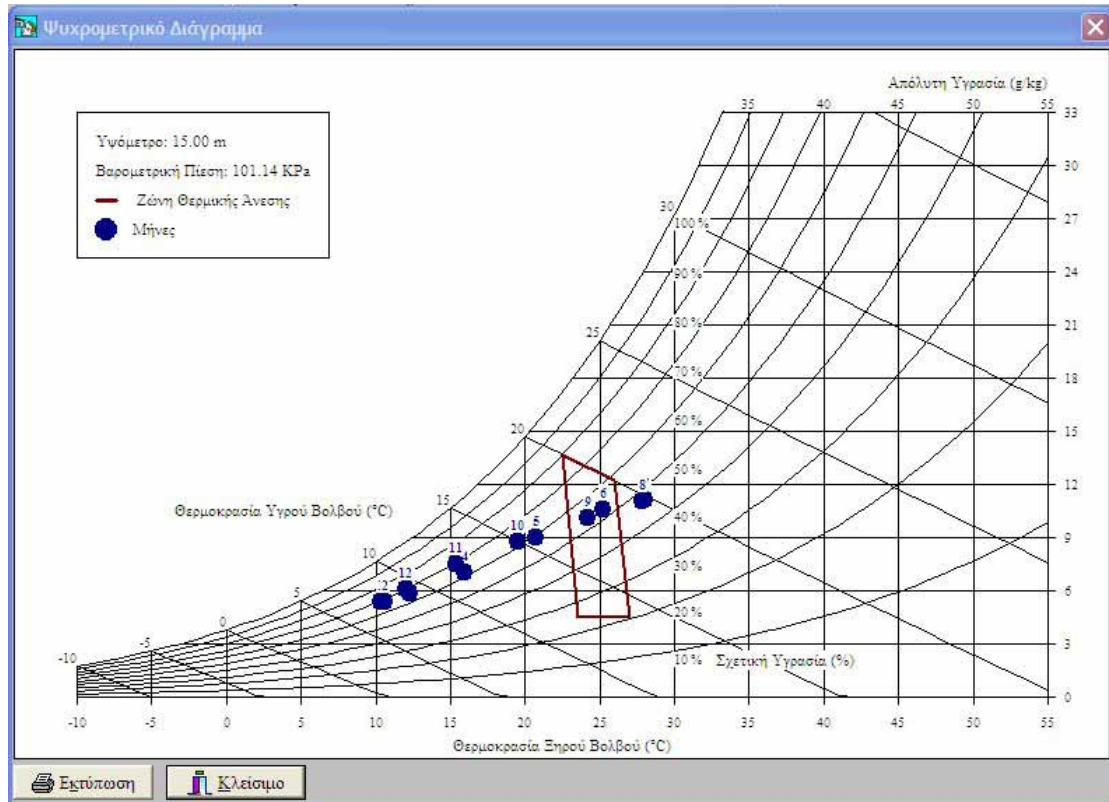


**Εικόνα 5.20** Διάγραμμα θερμοκρασίας αέρα και θερμοκρασίας δαπέδου για τους χώρους γραφείων

Στο τελευταίο διάγραμμα ASHRAE παρατηρούμε ότι η υψηλή ταχύτητα του ανέμου που υπάρχει στο γραφείο 4 προκαλεί δυσφορία στους εργαζόμενους στο χώρο αυτό και για αυτό το λόγο θα πρέπει να γίνουν διορθωτικές ενέργειες για την μείωση της ταχύτητας του αέρα κατά 0,05 m/sec ή την αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα περίπου κατά 2 βαθμούς κελσίου.

Τέλος είναι δυνατόν να εξαχθεί η ζώνη άνεσης από το ψυχομετρικό χάρτη της περιοχής για κτίρια χωρίς μηχανική υποστήριξη ή φυσικό αερισμό.





Εικόνα 5.21 Ψυχομετρικό Διάγραμμα

## Αναφορές

- Αριστοτέλης (350 π.Χ) . Πολιτικά ,βιβλίο 7<sup>ο</sup> ,εκδόσεις Κάκτος 1998.
- Aronoff, S and Kaplan, A (1995), Total workplace performance, Ottawa, WDL, Canada.
- ASHRAE Fundamental Handbook (2001), Chapter 8, Thermal comfort, USA, ASHRAE.
- ASHRAE Fundamental Handbook, (2005), Chapter 17, Energy resources, USA, ASHRAE.
- ASHRAE Standard 55 (2004), Thermal environment conditions for human occupancy, ASHRAE, Atlanta.
- Auliciems, A. (1989). Thermal Comfort. In N C Ruck (Ed.), Building Design and Human.
- Autodesk Ecotect Analysis, Διαθέσιμο :  
<http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/pc/index?id=12602821&siteID=123112>  
[Πρόσβαση 08 Δεκεμβρίου 2009].
- Bansal ,K,N, Gerd, H, Gemot,M., (1994) Passive building design, Elsevier science b.v. Amsterdam. London. New York. Tokyo,
- Brill,M, Margulis,S.T και BOSTI,(1985), Using offices design to increase productivity, vol 2, Buffalo.
- Βραχόπουλος,Μ, (2004), Αναλυτική προσέγγιση κεντρικών θερμάνσεων, εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα.
- Busch, J (1992), A tale of two populations: thermal comfort in air conditioned and naturally ventilated offices in Thailand, Energy and Buildings, 18 (3-4), pp.235-249.
- CIBSE (2006), CIBSE Knowledge Series, London, The Chartered Institution of Building Services Engineers, ISBN-10: 1-903287-67-7, ISBN-13: 978 1-903287-67-5.
- CIBSE Guide A, (2006), Enviromental design, London, The Chartered Institution of Building Services Engineers.
- Colombo R., Passive Solar Architecture for Mediterranean Area, Design Handbook, February 1994, σελ.124

- Γαϊτάνη, Ν, (2003) Βιοκλιματική αξιολόγηση ανοικτών χώρων, διπλωματική μεταπτυχιακή εργασία, Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- de Dear, R and Auliciems, A (1988), Air conditioning in Australia I I: User attitudes, Architectural Science Review, 3, pp. 19-27.
- de Dear, R and Brager, G.S (1998), Developing an adaptive model of thermal comfort and preference, ASHRAE Transactions, 104 (1a), pp 145-167.
- de Dear, R and Cena, K (1998), Field study of occupant thermal comfort and office thermal environments in a hot-arid climate, ASHRAE Transactions, 105 (2), 204-217.
- Duffy, F (1997), The new office, Conran Octopus Limited, London.
- Duffy, F (2005), Bennetts Associates four commentaries, Black Dog, London.
- Empire state building <http://www.top-things-to-do.com/united-states/new-york-city/empire-State-Building.jpg> [Πρόσβαση 07-01-2010]
- Fanger, P.O, (1970), Thermal comfort. Analysis and Applications, Environmental Engineering, Mc Graw Hill, New York.
- Fanger, P.O, Melikov, H, Hanzawa H & Ring J, (1988), Air turbulence and sensation of draught, Energy and Buildings, 12, 21-39.
- Fanger, P, O, Toftum, J, (2002), Extension of the PMV model to non air-conditioned buildings in warm climates, Energy and Buildings, 34, 533-536.
- Federspiel, C, Liu, G, Lahiff, M & et al (2002), Worker performance and ventilation: of individual data for call-centre workers, Proceeding of Indoor Air 2002, pp.796-801.
- Feriadi H, Wong NH, (2004), Thermal comfort for naturally ventilated houses in Indonesia. Energy Build 36(7):614–626.
- Fisk, W.J (2002), How IEQ affects health, productivity, ASHRAE Journal, II (5), pp 56 60
- Fisk, W and Seppanen, O (2007) Providing better indoor environmental quality brings economic benefits, Proceeding of Clima 2007 wellbeing indoors, Helsinki, 10-14 June.
- Gagge, A.P, Stolwijk, J.A, Nishi Y, (1971), An Effective Temperature scale based on a single model of human physiological temperature response, ASHRAE Transactions, 77, 247-262.

- Gagge, A. P, Nishi Y. Gonzales R. R., (1973) Standard Effective temperature-a single index of temperature sensation and thermal discomfort, Proceedings of the CIB Commission W45 Symposium at the building Research station, September 1972, BRE, London.
- Gagge AP, Fobelets AP, Berglund LG. (1986) A standard predictive index of human response to the thermal environment. ASHRAE Transactions 92(2):709–31.
- Givoni, B, Man, (1967), climate and architecture, 2nd ed London: Applied Science Publishers Ltd.
- Givoni, B, (1963) , Estimation of the effect of climate on man: Development a new thermal index, Research report to UNESCO, Building Research Station, Haifa.
- Guodong , Y, Changzhi, Y, Youming, C, Yuguo, L, (2003), a new approach for measuring predicted mean vote and standard effective temperature, Building and Environment, 38, 33-44.
- Han J, Zhang G, Zhang Q, Zhang J, Liu J, Tian L, Zheng C, Hao J, Lin J, Liu Y, Moschandreas DJ ,(2007), Field study on occupants' thermal comfort and residential thermal environment in a hot-humid climate of China. Build Environ 42(12):4043–4050.
- Harris, L (1991), The office environment index 1991: Summary of world wide findings, New York.
- Hascher, R, Jeska, S and Klauck, B (2002), Office Building: A Design Manual, Medialis, Berlin
- Ησίοδος, (700π.Χ.). Έργα και Ημέραι (414-417), εκδόσεις Κάκτος 1997
- Ησίοδος, (700π.Χ.). Έργα και Ημέραι (587-589), εκδόσεις Κάκτος 1997
- Humphreys, M.A, (1994), Field studies and climate chamber experiments in thermal comfort research, Thermal comfort: past, present, future, Watford, Building Research Establishment, pp52-69.
- Humphreys, M.A and Nicol, F (1998), Understanding the adaptive approach to thermal comfort, ASHRAE Technical Data Bulletin, 14 (1), 1-14.
- Humphreys, M. A (2001), Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings, Moving thermal comfort standards into 21st Century, conference Proceeding, Oxford Brooks University.

- Ιπποκράτης, (400π.Χ.) Περί Αέρων ,Υδάτων και Τόπων, Βιβλίο 2<sup>ο</sup> ,εκδόσεις Κάκτος,1998
- ΙΜΕ (Ινστιτούτο Μειζονος Ελληνισμού). Αρχαία αγορά της Αθήνας σύνδεσμος:  
[http://project.athens-agera.gr/index.php?view=ktirio&pid=14&lang\\_id=gr](http://project.athens-agera.gr/index.php?view=ktirio&pid=14&lang_id=gr)  
[Πρόσβαση 29-12-09].
- Innova Air Tech Instruments, Thermal Comfort, Denmark, 2002.
- ISO 7730 Standard (2005), Ergonomics of the thermal environment analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. London, UK.
- Jones, P (1999), Metric handbook planning and design data, Second Edition, Architectural Press.
- Jones, B W, (2002) Capabilities and limitations of thermal models for use in thermal comfort standards, Energy and Buildings 34 653–659
- Jorn Toftum,J, Jorgensen,A, Fanger P.O. (1997), Upper limits of air humidity for preventing warm respiratory discomfort, Energy and buildings,28 (15-23).
- Κοτσίρης,Γ, 2005 ,Εξέταση και Αξιολόγηση μοντέλων και προτύπων για την εκτίμηση της θερμικής άνεσης σε κτίρια, καθώς και λογισμικών εργαλείων εφαρμογής τους. Μελέτη περίπτωσης: Βιοκλιματικό κτίριο του ΚΑΠΕ, Διπλωματική Μεταπτυχιακή Εργασία, ΕΑΠ,, Πάτρα.
- Lebens R., Passive Solar Heating Design, Applied Science Publishers, 1980
- Lewis Owen J., Goulding John, Brophy Vivienne, Solar Bioclimatic Architecture, Brussels 1997, σελ. 59
- Larkin Building <http://z.about.com/d/architecture/1/0/b/t/LarkinBuilding.jpg>  
[Πρόσβαση 07-01-2010]
- Larkin interior  
[http://www.wrightnowinbuffalo.com/whattodo/images/Larkin\\_interior.jpg](http://www.wrightnowinbuffalo.com/whattodo/images/Larkin_interior.jpg)  
[Πρόσβαση 07-01-2010]
- Larking plans:<http://www.columbia.edu/cu/gsap/BT/EEI/INTRO/larkin1.jpg>  
[Πρόσβαση 07-01-2010]
- Macpherson, R K. (1962). The Assessment of the Thermal Environment - A Review. British Journal of Industrial Medicine, 19(3), 151-164.

- Madsen, TL, Olesen, BW, Kristensen, NK (1984), Comparison between operative and equivalent temperature under typical indoor conditions, ASHRAE Transactions ,90(1):1077–90.
- Mayer, E, (1993), Objective criteria for thermal comfort. Building and Environment, 28(4):300–403
- McCullough, E, A, Olesen, B, W and Hong, S, W, (1994) thermal insulation provided by chairs, ASHRAE Transactions 100(1).
- Meel, J. V (2000), The European Office: Office design and national context, 010 Publishers, Rotterdam.
- Morgan, M H. (1914). Vitruvius: The Ten Books on Architecture. Διαθέσιμο: <http://www.perseus.tufts.edu/cgi-bin/ptext?lookup=Vitr.+6.preface+1>  
[Πρόσβαση: 30 Νοεμβρίου 2009].
- Nevins, R.G and Gagge, A.P (1972), The new ASHRAE comfort chart, ASHRAE Journal, 14, pp.41-44.
- Newsham, G, (1997), Clothing as a thermal comfort moderator and the effect on energy consumption, Energy and Buildings, 26, 283-291.
- Nicol, F and Roaf, S (1996), Pioneering new indoor temperature standards: the Pakistan project, Energy and Buildings, 23, pp. 169-174.
- Nicol, J.F, Raja, LA, et al (1999), Climatic variations in comfortable temperatures: the Pakistan project, Energy and Buildings, 30, pp.261-279.
- Nicol F, and Humphreys, M ,(2007), Maximum temperatures in European office buildings to avoid heat discomfort, Solar Energy; 81: 295-304.
- Nicol, J.F and Humphreys, M.A (2001), Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings, Proceeding of Moving thermal comfort standards to 21 century conference, Windsor, UK, pp.45-59.
- Nicol, J.F and Humphreys, M.A (2002), Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings, Energy and Buildings, 34 (6), pp.563-572.
- Ντούνης, Ι, Α, (1992), Έμπειρο σύστημα ασαφούς λογικής για τον έλεγχο της θερμικής και οπτικής άνεσης στα κτίρια, Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα,.
- Olesen, BW, Scholer, M and Fanger, PO, (1979), Vertical air temperature differences and comfort.

- Olesen, B.W and Brager, G.S (2004), A better way to predict comfort, ASHRAE Journal, pp.20-26.
- Olesen,W, Seppanen,O, Boerstra (2006) ,A Criteria for the indoor environment for energy performance of buildings ,Emerald fulltext,διαθέσιμο: <http://www.emeraldinsight.com/Insight/ViewContentServlet?Filename=Publiched/EmeraldFullTextArticle/Articles/0690241106.html>, [πρόσβαση 02-12-09]
- Olesen, B.W (2007) The philosophy behind EN 15251: Indoor environmental criteria for design and calculation of energy performance of buildings, Energy and Buildings, 39(7), pp.740-749.
- Olgyay, V, (1963), Design with climate\ bioclimatic approach and architectural regionalism. Princeton (NJ): Princeton University Press.
- Parsons,K.C, (2001), Introduction to thermal comfort standards, Proceeding of Moving thermal comfort standards to 21 century conference, Windsor, UK.
- Parsons,K, (2001), The estimation of metabolic heat for use in the assessment of thermal comfort, Moving thermal comfort standards into 21<sup>st</sup> Century – Conference proceeding, Oxford Brookes University.
- Phelan, G B, & Eschmann, I T, OP. (1949). St. Thomas Aquinas: De Regno, Ad Regem Cypri (On Kingship to the King of Cyprus)/De Regimine Principum (On the Governance of Rulers) (G B Phelan, Trans.). Toronto: The Pontifical Institute of Mediaeval Studies.
- Polisano, L (1995), Complexity and contrast: American and European High-Rise Building Architectural Design, 65(7/8), pp. 30-35.
- Raja, J. A, Nicol, J. F, McCartney, K. J, Humphreys, M. A, (2001), Thermal comfort: use of controls in naturally ventilated buildings, Energy and Buildings, 33, 235-244.
- Rangiraksa ,P, (2006), Thermal Comfort in Bangkok Residential Buildings, Thailand. In: Proceedings of the 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture (PLEA2006), Geneva, 6–8 September 2006. International Society of Passive and Low Energy Architecture, pp 541–546.
- Ring, E.W and Brager, G.S (2000), Occupant comfort, control, and satisfaction in three California mixed-mode office buildings, Proceeding of the ACEEE summer study on energy efficiency in buildings, pp.3 17-328.

- Rohels,FH, Nevins RG ,(1971), The nature of thermal comfort for sedentary men, ASHRAE Transactions,77(1), 239-246,
- Rowe,M (2001), Activity rates and thermal comfort of office occupants in Sydney, Journal of Thermal Biology, 26,415-418.
- Ruck, N.C (1989), Building design and human performance, New York (USA), Van Nostrand Reinhold.
- Ruey-Lung Hwang & Tzu-Ping Lin et al. (2009), Investigating the adaptive model of thermal comfort for naturally ventilated school buildings in Taiwan, International Journal of Biometeorology.
- Santamouris,M, Asimakopoulos, D, (1996) Editors, PASSIVE COOLING OF BUILDINGS, University of Athens, Greece,.
- Schiller, G, Arens, E, Benton, C, Bauman, F, Fountain, M and Doherry, T (1988), Thermal environments and comfort in office buildings, Berkeley (California), Centre for Environmental Design Research.
- Schiller,G, Arens,E, Benton,C, Bauman,F, Fountain,M, and Doherry,T (1988), Thermal environments and comfort in office buildings, Berkeley (California), Centre for Enviromental Desing Research.
- Seagram exterior <http://lebbeuswoods.files.wordpress.com/2007/11/seag1.jpg> [Πρόσβαση 07-01-2010]
- Seppanen, O, Fisk, W.J and Faulkner, D (2004), Control of temperature for health and productivity in offices, Lawrence Berkeley National Laboratory, Paper LBNL-55448.
- Seppanen, O and Fisk, W (2006) A procedure to estimate the cost-effectiveness of the indoor environment improvements in office work, Chapter 26, In: Creating the productive workplace by Clements-Croome, Oxon, Taylor & Francis.
- Seppanen, O and Fisk, W (2006 b), Some quantitative relations between indoor environmental quality and work performance or health, HVAC & Research, 12(4). pp957-973
- Sodha,M S, Bansal N. K., e.t. (1986).Solar Passive Building: Science and Design, Pergamon Press, Oxford, New York,



- Stefanou, J, Siakavelas M, Mitoula R, Greek bio-climatic design and the sustainable development, proceedings on the conference CORP 2004& Geomultimedia04, Austria, February 2004 σελ. 255
- Stoops, J (2002), An Illustration of Expectation Differences in office Thermal Comfort, ACEEE summer study, Asimolar, California, ACEEE.
- Sundstorm, E, Town, J.P, Rice, R.W, Osborn, D.P, and Brill, M, (1994), Office noise, satisfaction and performance, Environment and Behaviour, 26(2), pp. 195-222.
- Sundstrom, E (1986), Work places: the psychology of the physical environment in offices and factories, Cambridge University Press, Cambridge.
- Τζιβανίδης,Χ, (2005), Σημειώσεις του μαθήματος Θερμική συμπεριφορά κτιρίων ,ΕΜΠ τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών.
- Τσιμπάνος, Π, 2008, Επίδραση ηλιακής ακτινοβολίας στην εσωτερική θερμική άνεση κτιρίων, διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα.
- Τσίπηρας, Κ, (2008)Το Οικολογικό Σπίτι, Α.Α. Λιβάνη, Αθήνα 1996, σελ. 171
- Τσίπηρας Κώστας & Θέμης, Οικολογική Αρχιτεκτονική, Κέδρος 2005,σελ.108
- Visher, S S. (1951). Climatic Influences. In G T Taylor (Ed.), Geography in the Twentieth Century: A Study of Growth, Fields, Techniques, Aims and Trends (pp 196-220). New York:Philosophical Library, Inc.
- Wagner,A, Gossauer, E, Moosmann, C, Gropp,Th και Leonhart,R , (2007) Thermal comfort and workplace occupant satisfaction—Results of field studies in German low energy office buildings, Energy and Buildings Volume 39, Issue 7, July 2007, Pages 758-769
- Watson,D,(1981), Analysis of weather data for determining appropriate climate control strategies in architectural design. In: Proceedings of the International Passive and Hybrid Cooling Conference. Miami Beach. Haisley, R, editor Florida "USA: Solar Energy Association.
- Webb, C G. (1959). An Analysis of Some Observations of Thermal Comfort in an Equatorial Climate. British Journal of Industrial Medicine, 16, 297-310.
- Wenzel,HG, Piekarski,C, (1980), Klima und Arbeit. Parcus, Munchen
- Wong NH, Khoo SS (2003), Thermal comfort in classrooms in the tropics. Energy Build 35(4):337–351.

- Wright, D., van Nostrand, Natural Solar Architecture, Reinhold Company, 1978, σελ. 49
- Zhang G, Zheng C, Yang W, Zhang Q, Moschandreas D (2007), Thermal comfort investigation of naturally ventilated classrooms in a subtropical region. *Indoor Built Environ* 16(2):148–158
- Zmeureanu,R, Doramajlan,A, (1992) Thermally Acceptable Temperature Drifts can Reduce the Energy Consumption for Cooling in Office Buildings *Energy and Buildings*, vol 2,No 4, pp 469-481.

## Παραρτήματα

### Παράρτημα Α- Ερωτηματολόγιο Κοτσίρη (2004)

Α. ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΙΣΘΗΣΗΣ ΧΡΗΣΤΩΝ(επαναλαμβανόμενο)

Α. Ημερομηνία..... ώρα....γραφείο..... θέση.....

**1. Πώς αισθάνεστε αυτή την στιγμή το περιβάλλον του γραφείου;**

Πολύ Θερμό	+3	Θερμό	+2	Λίγο Θερμό	+ 1	Άνετο	0	Ελαφρά Ψυχρό	-1	Ψυχρό	-2	Πολύ Ψυχρό	-3
---------------	----	-------	----	---------------	-----	-------	---	-----------------	----	-------	----	---------------	----

**2. Περιγράψατε την δραστηριότητα σας αυτή την στιγμή:**

Σε ορθοστασία 1,2 met	Καθιστός 1,0 met	Εργασία 1,2 γραφείου met	Ελαφρά 1,4- Εργασία 1,6 met	Ρύθμιση 2,2 μηχανημάτων met
--------------------------	---------------------	--------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------

**3. Περιγράψατε την δραστηριότητα σας τα τελευταία 10-15 λεπτά.**

ίδια	βάδισμα 2,0 met	οδήγηση 1,5 met	τροχάδην 3,8 met
------	--------------------	--------------------	---------------------

**4. Περιγράψατε την ένδυση σας αυτή την στιγμή:**

Κοντομάνικο Πουκάμισο ή t-shirt	0,57 clo	Μακρυμάνικο Πουκάμισο ή Μπλούζα βαμβακερή	0,7 clo	γιλέκο ή ελαφριά ζακέτα	0,95 clo	Πουλόβερ ή χονδρή ζακέτα	1,11 clo	Σακάκι ή ταγέρ	1,30 1,50 clo
---------------------------------------	-------------	--	------------	----------------------------------	-------------	--------------------------------	-------------	----------------------	---------------------

**5. Αισθάνεστε κάποιο ανεπιθύμητο ρεύμα αέρα αυτή την στιγμή;**

ναι		όχι	
-----	--	-----	--

## ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Β: ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΙΜΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΙΣΘΗΣΗΣ ΧΡΗΣΤΩΝ (άπαξ)

Ημερομηνία..... Ονοματεπώνυμο.....

1. Φύλο (συμπληρώστε ένα X στην κενή κυψέλη)

Ανδρας	<input type="checkbox"/>	Γυναίκα	<input type="checkbox"/>
--------	--------------------------	---------	--------------------------

2. Ηλικία

<29	<input type="checkbox"/>	30-39	<input type="checkbox"/>	40-49	<input type="checkbox"/>	>50	<input type="checkbox"/>
-----	--------------------------	-------	--------------------------	-------	--------------------------	-----	--------------------------

3. Εκπαίδευση

ΥΕ	<input type="checkbox"/>	ΔΕ	<input type="checkbox"/>	ΤΕ-ΠΕ	<input type="checkbox"/>
----	--------------------------	----	--------------------------	-------	--------------------------

4. Γεννηθήκατε ή μεγαλώσατε και ζήσατε για αρκετά χρόνια στην επαρχία;  
(ολογράφως)

Σε ποιο μέρος	<input type="checkbox"/>	Πόσα χρόνια	<input type="checkbox"/>
---------------	--------------------------	-------------	--------------------------

5. Γεννηθήκατε ή μεγαλώσατε και ζήσατε για αρκετά χρόνια στο εξωτερικό;

Σε ποιο μέρος	<input type="checkbox"/>	Πόσα χρόνια	<input type="checkbox"/>
---------------	--------------------------	-------------	--------------------------

6. Αθλείστε; (συμπληρώστε ένα X στην κενή κυψέλη)

Συχνά	<input type="checkbox"/>	Περιστασιακά	<input type="checkbox"/>	Καθόλου	<input type="checkbox"/>
-------	--------------------------	--------------	--------------------------	---------	--------------------------

7. Λαμβάνετε τακτικά πλήρες πρωινό;

Ναι	<input type="checkbox"/>	Όχι	<input type="checkbox"/>
-----	--------------------------	-----	--------------------------

8. Πώς αξιολογείτε το σωματικό βάρος σας;

Υπέρβαρος,η	<input type="checkbox"/>	Κανονικός,ή	<input type="checkbox"/>	Ελλειποβαρής	<input type="checkbox"/>
-------------	--------------------------	-------------	--------------------------	--------------	--------------------------

9. Πόσο καφέ πίνετε;

Έναν το πρωί	<input type="checkbox"/>	2-3 στο ωράριο	<input type="checkbox"/>	Περισσότερους	<input type="checkbox"/>
--------------	--------------------------	----------------	--------------------------	---------------	--------------------------

10. Καπνίζετε;

Όχι	<input type="checkbox"/>	Περιστασιακά	<input type="checkbox"/>	Τακτικά	<input type="checkbox"/>
-----	--------------------------	--------------	--------------------------	---------	--------------------------

11. Λαμβάνετε ενδιάμεσα γεύματα κατά την εργασία σας;

Κανένα	<input type="checkbox"/>	Ένα	<input type="checkbox"/>	Συχνά σνάκς	<input type="checkbox"/>
--------	--------------------------	-----	--------------------------	-------------	--------------------------

12. Που ονειρεύεστε διακοπές;

Στις Άλπεις	<input type="checkbox"/>	Στο Παρίσι	<input type="checkbox"/>	Σε μια όαση	<input type="checkbox"/>	Σε τροπικά νησιά	<input type="checkbox"/>	Οπουδήποτε	<input type="checkbox"/>
-------------	--------------------------	------------	--------------------------	-------------	--------------------------	------------------	--------------------------	------------	--------------------------

13. Κάνετε το επάγγελμα που θα θέλατε;

Ναι	<input type="checkbox"/>	Όχι	<input type="checkbox"/>	Περίπου	<input type="checkbox"/>
-----	--------------------------	-----	--------------------------	---------	--------------------------

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

### B1 Υπολογισμός PMV-PPD και χάραξη καμπύλης PPD-RH

```
% m: Metabolikos Rithmos (W/m2)
% w: Mixanikh Isxys (W/m2)
% pa: Sxetikh Piesh Atmon (Pa)
% fcl: Paragontas Epifanias Endishs
% tcl: Thermokrasia Epifanias Endishs (degC)
% tr: Mesh Aktinoboloumenh Thermokrasia (degC)
% ta: Mesh Thermokrais Aera (degC)
% tb: Water Boiling Point (degC)
% hc: Sintelesth Metadoshs Thermothtas (W/m2K)
% clo: Clothing Units
% icl: Monosh Apo Thn Endysh (W/m2K)
% var: Taxithta Aera (m/s)
% rh: Sxetikh Igrasia
% pmv: Predicted Mean Vote
% ppd: Predicted Percentage OF Dissatisfied

ta = 25;
tak = ta + 273;
m = 58.2;
w = 0;
Tb = 100;

for i=1:14
rh(i) = i*5;
% psat = exp(8.07131-(1730.63/(233.426+Tb)));
% pa = rh(i)*133.322*psat/100;
psat = exp(-5800.2206/tak+1.3914993-0.04864023*tak + (4.1764768*(10^-
5))*(tak^2) - (1.4452093*(10^-8))*(tak^3) + 6.5459673*log(tak))
pa(i) = rh(i)*psat/100;

clo = 1;
icl = 0.155*clo;
if icl <= 0.078
    fcl=1+1.29*icl;
else
    fcl=1.05+0.645*icl;
end

var = 0.1;
tr = 22;
tcl = 10;
tcldok = 20;
while (abs(tcl-tcldok)>0.2)
    if (2.38*(abs(tcl-ta)^0.25)) > 12.1*(var^0.5)
        hc=2.38*(abs(tcl-ta)^0.25);
    else
        hc=12.1*(var^0.5);
    end
    tcl = tcl+0.1;
    tcl1 = (3.96*(10^-8))*fcl;
    tcl2 = ((tcl+273)^4)-((tr+273)^4);
    tcl3 = fcl*hc*(tcl-ta);
    tcldok = 35.7 - 0.028*(m-w)-icl*(tcl1*tcl2+tcl3);
end
tcl = tcldok;
```

```
if (2.38*(abs(tc1-ta)^0.25)) > 12.1*(var^0.5)
    hc=2.38*(abs(tc1-ta)^0.25);
else
    hc=12.1*(var^0.5);
end

q1 = (0.303*exp(-0.036*m)+0.028);
q2 = (m-w)-3.05*(10^-3)*(5733-6.99*(m-w)-pa(i));
q3 = -0.42*((m-w)-58.15);
q4 = -1.7*(10^-5)*m*(5867-pa(i));
q5 = -0.0014*m*(34-ta)-3.96*(10^-8)*fcl*(((tc1+273)^4)-((tr+273)^4));
q6 = -fcl*hc*(tc1-ta);
pmv = q1*(q2+q3+q4+q5+q6);

ppd(i) = 100-95*exp(-0.03353*(pmv^4)-0.2179*(pmv^2));
end

plot(rh,ppd)
hold on
xlabel('Relative Humidity (%)')
ylabel('ppd (%)')
legend('Variation 1')
%axis equal
%axis([0 75 35 65])
```

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

### B2 Υπολογισμός PMV-PPD και χάραξη καμπύλης PPD- $t_a$ (Θερμοκρασία αέρα)

```
% m: Metabolikos Rithmos (W/m2)
% w: Mixanikh Isxys (W/m2)
% pa: Sxetikh Piesh Atmon (Pa)
% fcl: Paragontas Epifanias Endishs
% tcl: Thermokrasia Epifanias Endishs (degC)
% tr: Mesh Aktinoboloumenh Thermokrasia (degC)
% ta: Mesh Thermokrais Aera (degC)
% tb: Water Boiling Point (degC)
% hc: Sintelesth Metadoshs Thermothtas (W/m2K)
% clo: Clothing Units
% icl: Monosh Apo Thn Endysh (W/m2K)
% var: Taxithta Aera (m/s)
% rh: Sxetikh Igrasia
% pmv: Predicted Mean Vote
% ppd: Predicted Percentage OF Dissatisfied

rh = 55;
m = 58.2;
w = 0;
Tb = 100;

for i=1:10
ta(i) = 25+i*0.5;
tak = ta(i)+273;
psat = exp(-5800.2206/tak+1.3914993-0.04864023*tak + (4.1764768*(10^-5))*(tak^2) - (1.4452093*(10^-8))*(tak^3) + 6.5459673*log(tak))
pa(i) = rh*psat/100;

clo = 0.8;
icl = 0.155*clo;
if icl <= 0.078
    fcl=1+1.29*icl;
else
    fcl=1.05+0.645*icl;
end

var = 0.1;
tr = 22;
tcl = 10;
tcldok = 20;
while (abs(tcl-tcldok)>0.2)
    if (2.38*(abs(tcl-ta(i))^0.25)) > 12.1*(var^0.5)
        hc=2.38*(abs(tcl-ta(i))^0.25);
    else
        hc=12.1*(var^0.5);
    end
    tcl = tcl+0.1;
    tcl1 = (3.96*(10^-8))*fcl;
    tcl2 = ((tcl+273)^4)-((tr+273)^4);
    tcl3 = fcl*hc*(tcl-ta(i));
    tcldok = 35.7 - 0.028*(m-w)-icl*(tcl1*tcl2+tcl3);
end
tcl = tcldok;

if (2.38*(abs(tcl-ta(i))^0.25)) > 12.1*(var^0.5)
```

```
hc=2.38*(abs(tc1-ta(i))^0.25);
else
hc=12.1*(var^0.5);
end

q1 = (0.303*exp(-0.036*m)+0.028);
q2 = (m-w)-3.05*(10^-3)*(5733-6.99*(m-w)-pa(i));
q3 = -0.42*((m-w)-58.15);
q4 = -1.7*(10^-5)*m*(5867-pa(i));
q5 = -0.0014*m*(34-ta(i))-3.96*(10^-8)*fcl*(((tc1+273)^4)-
((tr+273)^4));
q6 = -fcl*hc*(tc1-ta(i));
pmv = q1*(q2+q3+q4+q5+q6);

ppd(i) = 100-95*exp(-0.03353*(pmv^4)-0.2179*(pmv^2));
end

plot(ta,ppd)
hold on
xlabel('Air Temperature (degC)')
ylabel('ppd (%)')
legend('Variation 2')
%axis([25 30.5 5 52])
```



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

### Β3 Υπολογισμός PMV-PPD και χάραξη καμπύλης PPD- $t_r$ (Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας) με μεταβλητή $t_a$

```
% m: Metabolikos Rithmos (W/m2)
% w: Mixanikh Isxys (W/m2)
% pa: Sxetikh Piesh Atmon (Pa)
% fcl: Paragontas Epifanias Endishs
% tcl: Thermokrasia Epifanias Endishs (degC)
% tr: Mesh Aktinoboloumenh Thermokrasia (degC)
% ta: Mesh Thermokrais Aera (degC)
% tb: Water Boiling Point (degC)
% hc: Sintelesths Metadoshs Thermothtas (W/m2K)
% clo: Clothing Units
% icl: Monosh Apo Thn Endysh (W/m2K)
% var: Taxithta Aera (m/s)
% rh: Sxetikh Igrasia
% pmv: Predicted Mean Vote
% ppd: Predicted Percentage OF Dissatisfied

rh = 55;
m = 58.2;
w = 0;
Tb = 100;

for i=1:100
tr(i) = 22+i*0.05;
ta(i) = 25+i*0.05;
tak = ta(i)+273;
psat = exp(-5800.2206/tak+1.3914993-0.04864023*tak + (4.1764768*(10^-5))*(tak^2) - (1.4452093*(10^-8))*(tak^3) + 6.5459673*log(tak))
pa(i) = rh*psat/100;

clo = 0.3;
icl = 0.155*clo;
if icl <= 0.078
    fcl=1+1.29*icl;
else
    fcl=1.05+0.645*icl;
end

var = 0.1;
tcl = 10;
tcldok = 20;
while (abs(tcl-tcldok)>0.05)
    if (2.38*(abs(tcl-ta(i))^0.25)) > 12.1*(var^0.5)
        hc=2.38*(abs(tcl-ta(i))^0.25);
    else
        hc=12.1*(var^0.5);
    end
    tcl = tcl+0.002;
    tcl1 = (3.96*(10^-8))*fcl;
    tcl2 = ((tcl+273)^4)-((tr(i)+273)^4);
    tcl3 = fcl*hc*(tcl-ta(i));
    tcldok = 35.7 - 0.028*(m-w)-icl*(tcl1*tcl2+tcl3);
end
tcl = tcldok;

if (2.38*(abs(tcl-ta(i))^0.25)) > 12.1*(var^0.5)
```

```
hc=2.38*(abs(tc1-ta(i))^0.25);
else
hc=12.1*(var^0.5);
end

q1 = (0.303*exp(-0.036*m)+0.028);
q2 = (m-w)-3.05*(10^-3)*(5733-6.99*(m-w)-pa(i));
q3 = -0.42*((m-w)-58.15);
q4 = -1.7*(10^-5)*m*(5867-pa(i));
q5 = -0.0014*m*(34-ta(i))-3.96*(10^-8)*fcl*(((tc1+273)^4)-
((tr(i)+273)^4));
q6 = -fcl*hc*(tc1-ta(i));
pmv = q1*(q2+q3+q4+q5+q6);

ppd(i) = 100-95*exp(-0.03353*(pmv^4)-0.2179*(pmv^2));
end

plot(tr,ppd)
hold on
xlabel('Radiant Temperature (degC)')
ylabel('ppd (%)')
legend('Variation 3')
%axis([22.8 30.5 55.5 61])
```

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

### B4 Υπολογισμός PMV-PPD και χάραξη καμπύλης PPD- $v_{ar}$ (Ταχύτητα αέρα)

```
% m: Metabolikos Rithmos (W/m2)
% w: Mixanikh Isxys (W/m2)
% pa: Sxetikh Piesh Atmon (Pa)
% fcl: Paragontas Epifanias Endishs
% tcl: Thermokrasia Epifanias Endishs (degC)
% tr: Mesh Aktinoboloumenh Thermokrasia (degC)
% ta: Mesh Thermokrais Aera (degC)
% tb: Water Boiling Point (degC)
% hc: Sintelesth Metadoshs Thermothtas (W/m2K)
% clo: Clothing Units
% icl: Monosh Apo Thn Endysh (W/m2K)
% var: Taxithta Aera (m/s)
% rh: Sxetikh Igrasia
% pmv: Predicted Mean Vote
% ppd: Predicted Percentage OF Dissatisfied

rh = 55;
m = 58.2;
w = 0;
Tb = 100;

for i=1:9
ta = 25;
tak = ta+273;
psat = exp(-5800.2206/tak+1.3914993-0.04864023*tak + (4.1764768*(10^-
5))*(tak^2) - (1.4452093*(10^-8))*(tak^3) + 6.5459673*log(tak))
pa(i) = rh*psat/100;

clo = 1.1;
icl = 0.155*clo;
if icl <= 0.078
    fcl=1+1.29*icl;
else
    fcl=1.05+0.645*icl;
end

var(i) = 0.1+i*0.05;
tr = 22;
tcl = 10;
tcldok = 20;
while (abs(tcl-tcldok)>0.5)
    if (2.38*(abs(tcl-ta)^0.25)) > 12.1*(var(i)^0.5)
        hc=2.38*(abs(tcl-ta)^0.25);
    else
        hc=12.1*(var(i)^0.01);
    end
    tcl = tcl+0.005;
    tcl1 = (3.96*(10^-8))*fcl;
    tcl2 = ((tcl+273)^4)-((tr+273)^4);
    tcl3 = fcl*hc*(tcl-ta);
    tcldok = 35.7 - 0.028*(m-w)-icl*(tcl1*tcl2+tcl3);
end
tcl = tcldok;
```

```
if (2.38*(abs(tc1-ta)^0.25)) > 12.1*(var(i)^0.5)
    hc=2.38*(abs(tc1-ta)^0.25);
else
    hc=12.1*(var(i)^0.5);
end

q1 = (0.303*exp(-0.036*m)+0.028);
q2 = (m-w)-3.05*(10^-3)*(5733-6.99*(m-w)-pa(i));
q3 = -0.42*((m-w)-58.15);
q4 = -1.7*(10^-5)*m*(5867-pa(i));
q5 = -0.0014*m*(34-ta)-3.96*(10^-8)*fcl*(((tc1+273)^4)-((tr+273)^4));
q6 = -fcl*hc*(tc1-ta);
pmv = q1*(q2+q3+q4+q5+q6);

ppd(i) = 100-95*exp(-0.03353*(pmv^4)-0.2179*(pmv^2));
end

plot(var,ppd)
hold on
xlabel('Air Velocity (m/s)')
ylabel('ppd (%)')
legend('Variation 4')
%axis([0.13 0.57 72 103])
```

## Παράρτημα Γ

**Κώδικας κουμπιού υπολογισμού PMV –PPD σε visual basic της εταιρείας Innova Air Tech Instruments .**

' PMV Macro

,

Sub PMV()

CLO = Worksheets("inp").Range("c4")

TA = Worksheets("inp").Range("c5")

TR = Worksheets("inp").Range("c6")

MET = Worksheets("inp").Range("c7")

VEL = Worksheets("inp").Range("c8")

RH = Worksheets("inp").Range("c9")

FNPS = Exp(16.6536 - 4030.183 / (TA + 235))

PA = RH \* 10 \* FNPS

ICL = 0.155 \* CLO

M = MET \* 58.15

If ICL < 0.078 Then

FCL = 1 + 1.29 \* ICL

Else

FCL = 1.05 + 0.645 \* ICL

End If

HCF = 12.1 \* VEL ^ 0.5

TAA = TA + 273

TRA = TR + 273

TCLA = TAA + (35.5 - TA) / (3.5 \* (6.45 \* ICL + 0.1))

P1 = ICL \* FCL

P2 = P1 \* 3.96

P3 = P1 \* 100

P4 = P1 \* TAA

P5 = 308.7 - 0.028 \* M + P2 \* (TRA / 100) ^ 4

XN = TCLA / 100

XF = TCLA / 50

' XF = XN

N = 0

EPS = 0.0015

While Abs(XN - XF) > EPS

XF = (XF + XN) / 2

HCF = 12.1 \* VEL ^ 0.5

HCN = 2.38 \* Abs(100 \* XF - TAA) ^ 0.25

If HCF > HCN Then

HC = HCF

Else

HC = HCN

```
End If

XN = (P5 + P4 * HC - P2 * (XF ^ 4)) / (100 + P3 * HC)
N = N + 1
Wend

TCL = 100 * XN - 273
'
'
' Skinn diff loss
'
HL1 = 3.05 * 0.001 * (5733 - 6.99 * M - PA)
'
' Sweat loss
'
If M > 58.15 Then
    HL2 = 0.42 * (M - 58.15)
Else
    HL2 = 0
End If
'
' Latent respiration loss
'
HL3 = 1.7 * 0.00001 * M * (5867 - PA)
'
' Dry respiration loss
'
HL4 = 0.0014 * M * (34 - TA)
'
' Radiation loss
'
HL5 = 3.96 * FCL * (XN ^ 4 - (TRA / 100) ^ 4)
'
' Convection loss
'
HL6 = FCL * HC * (TCL - TA)
'
' Thermal sensation to skin tran coef
'
TS = 0.303 * Exp(-0.036 * M) + 0.028

If VEL < 0.2 Then
    TPO = 0.5 * TA + 0.5 * TR
Else
    If VEL < 0.6 Then
        TPO = 0.6 * TA + 0.4 * TR
    Else
        TPO = 0.7 * TA + 0.3 * TR
    End If
End If
```

```
PMVval = TS * (M - HL1 - HL2 - HL3 - HL4 - HL5 - HL6)  
PPDval = 100 - 95 * Exp(-0.03353 * PMVval ^ 4 - 0.2179 * PMVval ^ 2)  
Sheets("inp").Range("C13") = TPO  
Sheets("inp").Range("C14") = PMVval  
Sheets("inp").Range("C18") = N  
End Sub
```