



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Ημερήσια πορεία του σημείου εξωτερικού περιβάλλοντος στον ψυχομετρικό χάρτη και απαιτούμενη ενέργεια για είσοδο στη χειμερινή και θερινή ζώνη θερμικής άνεσης περιοχής Αθηνών»

ΑΛΩΝΙΣΤΙΩΤΗ ΔΕΣΠΟΙΝΑ

ΕΠΙΒΛΕΨΗ:

ΚΙΜΩΝ Α. ΑΝΤΩΝΟΠΟΥΛΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ 2017

Αφιερωμένη στους γονείς μου,

Δημήτρη και Βασιλική

Ευχαριστίες

Η ολοκλήρωση της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας και, παράλληλα, της φοίτησής μου στη Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου είναι γεγονός. Νιώθω μεγάλη ικανοποίηση και την ανάγκη να ευχαριστήσω τους ανθρώπους που συνέβαλαν σε αυτό.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Κίμωνα Α. Αντωνόπουλο που μου ανέθεσε το θέμα της παρούσας διπλωματικής. Η βοήθεια που μου προσέφερε σε όλα τα στάδια της επεξεργασίας της παρούσας εργασίας ήταν καταλυτική για την ολοκλήρωσή της.

Θα ήθελα, επίσης, να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ σε όλους τους φίλους, τις φίλες μου και τα αγαπημένα μου πρόσωπα που με στήριζαν με υπομονή όλα αυτά τα χρόνια της φοιτητικής μου ζωής και μετέτρεπαν την αγωνία και το άγχος μου σε χαρά και ηρεμία.

Τέλος, ένα ιδιαίτερο ευχαριστώ στους γονείς μου για όλα αυτά που έχουν προσφέρει και συνεχίζουν να μου προσφέρουν απλόχερα όλα τα χρόνια της ζωής μου.

Abstract

The present thesis disseminates the topic of thermal comfort, emphasizing the evaluation of the thermal environmental conditions in the area of Athens. The specific project consists of two parts.

The first part is a theoretical approach of the basic aspects related to thermal comfort. Initially, the mechanisms of the human organism that contribute to its adaptation to the environment are mentioned. Additionally, the basic factors of thermal comfort and the indicators used in the process of assessing the thermal conditions in indoor and outdoor environments are analyzed. Finally, a reference of the international standards used in the research on the thermal conditions of an area is presented.

In the second part, the thermal ambient air conditions of Athens are calculated for the 24-hour period of the 21st day of each month and for all months of the year. The ultimate goal is to calculate the energy that must be removed or attributed to convert the environmental conditions of Athens into a thermally comfortable environment. These calculations are made initially for each hour individually and in the end conclusions for the whole period of 24 hours for each month are drawn.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται το θέμα της θερμικής άνεσης, δίνοντας έμφαση στην αξιολόγηση των θερμικών περιβαλλοντικών συνθηκών της περιοχής των Αθηνών. Η εργασία αποτελείται από δύο μέρη.

Στο πρώτο μέρος, γίνεται μια θεωρητική προσέγγιση των βασικότερων πτυχών που σχετίζονται με τη θερμική άνεση. Αρχικά, αναφέρονται οι μηχανισμοί του ανθρώπινου οργανισμού που συντελούν στην προσαρμογή του στο περιβάλλον, με σκοπό της επίτευξης θερμικής ισορροπίας. Στη συνέχεια, αναλύονται οι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η θερμική άνεση και οι αιτίες που μπορεί να οδηγήσουν σε θερμική δυσφορία. Επιπλέον, μελετώνται οι δείκτες που χρησιμοποιούνται στη διαδικασία αξιολόγησης των θερμικών συνθηκών σε εσωτερικούς χώρους και εξωτερικά περιβάλλοντα και τα διεθνή πρότυπα που χρησιμοποιούνται στην έρευνα και την εξαγωγή συμπερασμάτων για τις θερμικές συνθήκες ενός χώρου.

Στο δεύτερο μέρος, γίνεται ο υπολογισμός των θερμικών συνθηκών του αέρα εξωτερικού περιβάλλοντος της Αθήνας για όλο το 24ωρο της 21^{ης} ημέρας κάθε μήνα και για όλους τους μήνες του έτους. Απώτερος σκοπός είναι να υπολογιστεί η ενέργεια που πρέπει να αφαιρεθεί ή να προσδοθεί, ώστε να μετατραπούν οι περιβαλλοντικές συνθήκες της Αθήνας σε ένα θερμικά άνετο περιβάλλον. Οι υπολογισμοί αυτοί γίνονται, αρχικά, για κάθε ώρα χωριστά, ενώ στο τέλος καταλήγουμε σε πιο γενικά συμπεράσματα για όλο το 24ωρο κάθε μήνα.

Πίνακας περιεχομένων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο : Γενική αναφορά στο κλίμα.....	1
1.1 Το κλίμα της Ελλάδας	1
1.1.1 Η θερμοκρασία στην Ελλάδα.....	3
1.1.2 Η υγρασία στην Ελλάδα	3
1.2 Εσώκλιμα και εξώκλιμα	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο : Ανθρώπινο σώμα και περιβάλλον	5
2.1 Το θερμορρυθμιστικό σύστημα του ανθρώπινου οργανισμού.....	5
2.1.1 Το κέντρο ελέγχου θερμοκρασίας και η αντίδραση του σώματος στις περιβαλλοντικές συνθήκες	5
2.1.2 Η θερμοκρασία του πυρήνα και η θερμοκρασία του δέρματος	8
2.2 Η θερμική ισορροπία του σώματος.....	9
2.2.1 Το μοντέλο των "δύο κόμβων" (Two - node model).....	11
2.2.2 Η εξίσωση θερμικής ισορροπίας κατά Fanger /εξίσωση άνεσης.....	16
2.2.3 Παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμική ισορροπία.....	20
2.2.3.1 Μεταβολισμός (M)	20
2.2.3.2 Εξωτερική Εργασία (W).....	21
2.2.3.3 Απώλεια θερμότητας μέσω εξάτμισης.....	22
2.2.3.4 Μετάδοση θερμότητας μέσω του ρουχισμού	22
2.2.3.5 Ανταλλαγή θερμότητας μέσω ακτινοβολίας	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο : Θερμική Άνεση.....	25
3.1 Ορισμός θερμικής άνεσης	25
3.2 Η σημασία της θερμικής άνεσης.....	25
3.3 Παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμική άνεση.....	26
3.3.1 Προσωπικοί παράγοντες.....	26
3.3.1.1 Ρυθμός μεταβολισμού.....	26
3.3.1.2 Μόνωση ένδυσης.....	30
3.3.2 Περιβαλλοντικοί παράγοντες.....	34
3.3.2.1 Θερμοκρασία αέρα.....	34
3.3.2.2 Υγρασία	36
3.3.2.3 Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας	41
3.3.2.4 Ταχύτητα του αέρα.....	42
3.4 Παράγοντες που προκαλούν τοπική θερμική δυσφορία.	45
3.4.1 Ρεύμα αέρα	45

3.4.2	Ασυμμετρία ακτινοβολίας.....	47
3.4.3	Κάθετη διαφορά θερμοκρασίας.....	48
3.4.4	Θερμοκρασία της επιφάνειας πατώματος.....	48
3.5	Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμική άνεση	49
3.5.1	Μεταβλητότητα από μέρα σε μέρα στις συνθήκες θερμικής άνεσης	49
3.5.2	Μεταβλητότητα κατά τη διάρκεια της ημέρας	49
3.5.3	Ηλικία	50
3.5.4	Φύλο	51
3.5.5	Χρώμα και θόρυβος	52
3.5.6	Διαφορές ανάλογα με την περιοχή	52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο	: Τρόποι υπολογισμού και αξιολόγησης της θερμικής άνεσης	54
4.1	Εισαγωγή.....	54
4.2	Φυσικά μεγέθη.....	54
4.2.1	Θερμοκρασία ξηρού βολβού T_{db} (dry-bulb temperature)	54
4.2.2	Θερμοκρασία υγρού βολβού T_{wb} (wet-bulb temperature).....	54
4.2.3	Θερμοκρασία σφαίρας T_g (globe temperature)	55
4.3.	Σύνθετα μεγέθη	56
4.3.1	Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας T_{mr} (mean radiant temperature).....	56
4.3.2	Ξηρή προκύπτουσα θερμοκρασία T_{dr} (dry resultant temperature)	56
4.3.3	Θερμοκρασία περιβάλλοντος T_{env} (environmental temperature).....	57
4.4	Δείκτες για χρήση σε εξωτερικούς χώρους	57
4.4.1	Αισθητή Θερμοκρασία	57
4.4.1.1	Δείκτης ζέστης (Heat Index (HI))	58
4.4.1.2	Δροσιά ανέμου (Wind Chill Index (WCI)).....	60
4.4.2	Δείκτης υγρασίας (Humidity Index (Humidex)).....	62
4.5	Εμπειρικοί Δείκτες.....	63
4.5.1	Αποτελεσματική Θερμοκρασία (Effective Temperature (ET))	63
4.5.2	Διορθωμένη Αποτελεσματική Θερμοκρασία (Corrected Effective Temperature (CET))	63
4.5.3	Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού Σφαίρας (Wet Bulb Globe Temperature (WBGT)) .	65
4.5.4	Λειτουργική Θερμοκρασία (Operative Temperature (T_o)).....	66
4.5.5.	Ισοδύναμη θερμοκρασία (Equivalent Temperature (T_{eq}))	67
4.5.6	Ισοδύναμη Ζεστασιά (Equivalent Warmth (W_{eq})).....	68
4.5.7	Προκύπτουσα Θερμοκρασία (Resultant Temperature (RT)).....	68

4.5.8 Δείκτης Άνεσης του Ισημερινού (Equatorial Comfort Index (ECI))	69
4.5.9 Δείκτης Τροπικού Καλοκαιριού (Tropical Summer Index (Tsi)).....	70
4.6 Αναλυτικοί δείκτες.....	71
4.6.1 Δείκτης Θερμικής Καταπόνησης (Thermal Strain Index (TSI)).....	71
4.6.2 Συντελεστής Θερμικής Αποδοχής (Thermal Acceptance Ratio (TAR)).....	72
4.6.3 Προβλεπόμενος ρυθμός εφίδρωσης 4 ωρών (Predicted 4-hour Sweat Rate (P4SR))	73
4.6.4 Δείκτης Θερμικής Καταπόνησης (Heat Stress Index (HSI))	74
4.6.5 Δείκτης Σχετικής Καταπόνησης (Relative Strain Index (RSI)).....	75
4.6.6 Δείκτης Θερμικής Καταπόνησης (Index of Thermal Stress (ITS))	76
4.6.7 PMV (Predicted Mean Vote).....	78
4.6.7.1 PPD- Predicted Percentage of Dissatisfied.....	80
4.6.8 Νέα Αποτελεσματική Θερμοκρασία (New Effective Temperature (ET*))	81
4.6.9 Τυπική Αποτελεσματική Θερμοκρασία (Standard Effective Temperature (SET))	82
4.6.10 Υποκειμενική Θερμοκρασία (Subjective Temperature (ST))	84
4.6.11 Δείκτης Θερμικής Αίσθησης TS και DISC.....	86
4.7 Η Φυσιολογική Ισοδύναμη Θερμοκρασία (The Physiological Equivalent Temperature (PET))	87
4.8 Προσαρμοστικότητα (Adaptation).....	88
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ^ο : Πρότυπα θερμικής άνεσης.....	90
5.1 Το πρότυπο ASHRAE 55	90
5.1.1 Γραφική μέθοδος για τυπικά εσωτερικά περιβάλλοντα	90
5.1.2 Αυξανόμενη ταχύτητα αέρα.....	91
5.1.3 Υπολογιστικό μοντέλο για γενικές συνθήκες εσωτερικών περιβαλλόντων (PMV)	92
5.1.4 Προϋποθέσεις για τους παράγοντες τοπικής θερμικής δυσφορίας	92
5.1.5 Αλλαγές στη θερμοκρασία μέσα στην ώρα	93
5.1.6 Μοντέλο προσαρμοστικής άνεσης (Adaptive comfort model).....	94
5.1.7 Η μέθοδος την Τυπικής Αποτελεσματικής Θερμοκρασίας SET (Computer Model Method)	95
5.1.8 Προϋποθέσεις διαδικασίας μετρήσεων	96
5.1.9 Σχηματική αναπαράσταση ορίων άνεσης κατά ASHRAE 55	96
5.2 Το πρότυπο ISO 7730.....	97
5.2.1 Τοπική θερμική δυσφορία	97
5.2.2 Κυκλικές εναλλαγές θερμοκρασίας	100

5.2.3 Μοντέλο Αυξανόμενης ταχύτητας αέρα.....	100
5.2.4 Σχηματική αναπαράσταση ορίων άνεσης και πρότυπα σχεδιασμού κτιρίων κατά ISO 7730.....	102
5.3 Το Ευρωπαϊκό πρότυπο EN 15251 (European standard EN 15251).....	103
Κεφάλαιο 6° : Ψυχομετρικός χάρτης ASHRAE	107
6.1 Θερμοκρασία ξηρού βολβού T_{db}	107
6.2 Θερμοκρασία υγρού βολβού T_{wb}	107
6.3 Σχετική υγρασία RH	108
6.4 Ειδικός όγκος v	108
6.5 Ειδική ενθαλπία	109
6.6 Ειδική υγρασία ή λόγος υγρότητας w	109
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7° : ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	112
7.1 Εισαγωγή.....	112
7.2 Υπολογισμός των μεγεθών του ψυχομετρικού χάρτη του εξωτερικού περιβάλλοντος της Αθήνας για όλους τους μήνες του έτους και για όλο το 24ωρο.....	113
7.2.1 Υπολογισμός θερμοκρασίας και υγρασίας	113
7.2.2 Υπολογισμός όλων των μεγεθών του ψυχομετρικού χάρτη.....	120
7.3 Τοποθέτηση των σημείων πάνω στον ψυχομετρικό χάρτη της ASHRAE	142
7.4 Υπολογισμός των μέσων όρων των τιμών θερμοκρασίας και υγρασίας για κάθε μήνα και τοποθέτηση των σημείων στον ψυχομετρικό χάρτη	156
7.5 Υπολογισμός της ενέργειας που χρειάζεται για να “μπουν” τα σημεία στη ζώνη θερμικής άνεσης.....	159
7.5.1 Υπολογισμός της διαφοράς ενθαλπίας κάθε σημείου από το αντίστοιχό του στο όριο της ζώνης θερμικής άνεσης	159
7.5.2 Υπολογισμός της μέσης τιμής της διαφοράς ενθαλπίας δυο συνεχόμενων ωρών	164
7.5.3 Υπολογισμός της μέσης τιμής διαφοράς ενθαλπίας για όλο το 24ωρο για κάθε μήνα.....	177
Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα	179
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	180

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : Γενική αναφορά στο κλίμα

1.1 Το κλίμα της Ελλάδας

Ως κλίμα θεωρείται ο μέσος όρος του συνόλου των μετεωρολογικών παραμέτρων (κυρίως της θερμοκρασίας και του υετού) που προκύπτει από μια παρατήρηση τουλάχιστον 30 ετών.

Το κλίμα της Ελλάδας είναι τυπικά μεσογειακό: ήπιοι και υγροί χειμώνες, σχετικά θερμά και ξηρά καλοκαίρια και γενικά μακρές περιόδους ηλιοφάνειας κατά τη μεγαλύτερη διάρκεια του έτους.

Η Ελλάδα βρίσκεται μεταξύ των παραλλήλων 34° και 42° του Βορείου ημισφαιρίου και βρέχεται από την Ανατολική Μεσόγειο. Λεπτομερέστερα, στις διάφορες περιοχές της Ελλάδας παρουσιάζεται μια μεγάλη ποικιλία κλιματικών τύπων, πάντα βέβαια μέσα στα πλαίσια του Μεσογειακού κλίματος. Αυτό οφείλεται στην τοπογραφική διαμόρφωση της χώρας που έχει μεγάλες διαφορές υψομέτρου (υπάρχουν μεγάλες οροσειρές κατά μήκος της κεντρικής χώρας και άλλοι ορεινοί όγκοι) και εναλλαγή ξηράς και θάλασσας. Τέτοιες κλιματικές διαφορές συναντώνται ακόμη και σε τόπους που βρίσκονται σε μικρή απόσταση μεταξύ τους, πράγμα που παρουσιάζεται σε λίγες μόνο χώρες σε όλο τον κόσμο [1].

Ο Αιγινήτης (1900) είχε πει: «Σε τούτη τη μικρή γεωγραφική γωνιά που λέγεται Ελλάς, έχουν συγκεντρωθεί σχεδόν όλα τα κλίματα της γης» [2].

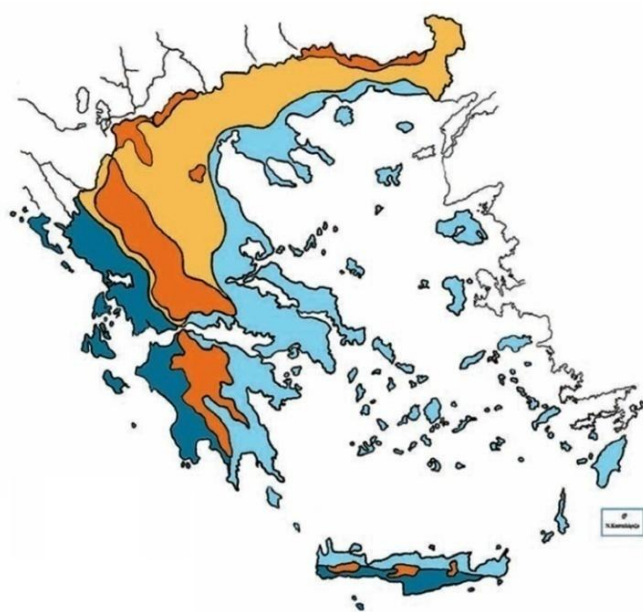
Από κλιματολογικής πλευράς το έτος μπορεί να χωριστεί κυρίως σε δύο εποχές: Την ψυχρή και βροχερή χειμερινή περίοδο που διαρκεί από τα μέσα του Οκτωβρίου και μέχρι το τέλος Μαρτίου και τη θερμή και άνομβρη εποχή που διαρκεί από τον Απρίλιο έως τον Οκτώβριο [1].

Όσον αφορά τη μέση ψυχρή περίοδο, για τα χρονικά διαστήματα από αρχές Οκτωβρίου μέχρι τέλος Νοεμβρίου και για τον Μάρτιο, το βιοκλιματικό περιβάλλον εμφανίζεται από δροσερό έως ελαφρά θερμό από την 8^η πρωινή μέχρι και τη 17^η απογευματινή ώρα. Το διάστημα από τον Δεκέμβριο μέχρι και τον Φεβρουάριο, το περιβάλλον εμφανίζεται από δροσερό έως κρύο κατά την διάρκεια της ημέρας, ενώ ιδιαίτερα οι μεταμεσονύχτιες ώρες χαρακτηρίζονται συνήθως από ισχυρή/ακραία ψυχρή επιβάρυνση [3]. Η μέση ελάχιστη θερμοκρασία κυμαίνεται από 5-10°C στις παραθαλάσσιες περιοχές, από 0-5°C στις ηπειρωτικές περιοχές και με χαμηλότερες τιμές κάτω από το μηδέν στις βόρειες περιοχές [1].





Κατά τη διάρκεια της μέσης θερμής περιόδου το περιβάλλον χαρακτηρίζεται από ισχυρή/ακραία θερμή επιβάρυνση από την 8^η πρωινή μέχρι και τη 17^η απογευματινή ώρα, ενώ στο υπόλοιπο της ημέρας επικρατεί θερμική άνεση έως ελαφρά θερμή επιβάρυνση [3]. Η

θερμότερη περίοδος είναι το τελευταίο δεκαήμερο του Ιουλίου και το πρώτο του Αυγούστου, οπότε η μέση μέγιστη θερμοκρασία κυμαίνεται από 29°C μέχρι 35°C [1].

Οι βροχές στη χώρα μας, ακόμη και τη χειμερινή περίοδο, δεν διαρκούν για πολλές ημέρες και ο ουρανός της Ελλάδας δεν μένει συνεφιασμένος για αρκετές συνεχόμενες ημέρες, όπως συμβαίνει σε άλλες περιοχές της γης. Οι χειμερινές κακοκαιρίες διακόπτονται συχνά κατά τον Ιανουάριο και το πρώτο δεκαπενθήμερο του Φεβρουαρίου από ηλιόλουστες ημέρες, τις γνωστές από την αρχαιότητα ως “Αλκυονίδες ημέρες”. Η χειμερινή εποχή είναι γλυκύτερη στα νησιά του Αιγαίου και του Ιονίου από ότι στη Βόρεια και Ανατολική Ελλάδα. Κατά τη θερμή και άνομβρη εποχή ο καιρός είναι σταθερός, ο ουρανός σχεδόν αίθριος, ο ήλιος λαμπερός και δεν βρέχει, εκτός από σπάνια διαλείμματα με ραγδαίες βροχές ή καταιγίδες μικρής όμως διάρκειας. Κατά τη θερμή εποχή οι υψηλές θερμοκρασίες μετριάζονται από τη δροσερή θαλάσσια αύρα στις παράκτιες περιοχές της χώρας και από τους βόρειους ανέμους (ετήσιες) που φυσούν κυρίως στο Αιγαίο. Η Άνοιξη έχει μικρή διάρκεια, διότι ο μεν χειμώνας είναι όψιμος, το δε καλοκαίρι αρχίζει πρώιμα. Το Φθινόπωρο είναι μακρύ και θερμό και πολλές φορές παρατείνεται στη Νότια Ελλάδα και μέχρι τα μισά του Δεκεμβρίου [1].



ΟΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

- | | |
|--|--|
|  Κλίμα ορεινό με ψυχρούς χειμώνες, δροσερά καλοκαίρια και βροχές όλες τις εποχές. |  Κλίμα υγρό με πολλές βροχές, ήπιους χειμώνες και δροσερά καλοκαίρια. |
|  Κλίμα με χειμώνες πιο ψυχρούς απ' ό,τι στις ακτές και ξηρά καλοκαίρια. |  Κλίμα με μέτριες βροχές, ήπιους χειμώνες και ξηρά καλοκαίρια. |

Εικόνα 1.1.1: Οι τέσσερις κλιματικές περιοχές της Ελλάδας και τα χαρακτηριστικά τους [4]

1.1.1 Η θερμοκρασία στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα υπάρχουν μεγάλες διαφορές στη θερμοκρασία από περιοχή σε περιοχή, και αυτό οφείλεται στη γεωγραφική θέση της, στη διαμόρφωση του εδάφους και στη εναλλαγή ξηράς και θάλασσας. Οι διαφορές από περιοχή σε περιοχή είναι μικρότερες το καλοκαίρι.

Τον χειμώνα από το νότο προς τον βορρά η θερμοκρασία πέφτει πιο αργά στις δυτικές ακτές, με αποτέλεσμα να είναι θερμότερες.

Γενικά στις ακτές και τα νησιά ο χειμώνας είναι πιο μαλακός και το καλοκαίρι πιο δροσερό σε σχέση με τις περιοχές στο εσωτερικό της χώρας.

Το καλοκαίρι στις περιοχές χαμηλού υψομέτρου και τις πεδιάδες κάνει πολλή ζέστη. Ειδικά τις μεσημεριανές ώρες η θερμοκρασία συνήθως κυμαίνεται από 32 έως 36°C, αλλά συχνά φτάνει και τους 40°C. Η άνοδος της θερμοκρασίας αρχίζει να γίνεται αισθητή από το Μάρτιο. Θερμότερος μήνας είναι ο Ιούλιος, με εξαίρεση τις Κυκλάδες, τη Δυτική Ελλάδα και τα νησιά του Ιονίου, όπου θερμότερος μήνας είναι ο Αύγουστος [5].

1.1.2 Η υγρασία στην Ελλάδα

Σε ετήσια βάση, η σχετική υγρασία του αέρα παρουσιάζει το υψηλότερο επίπεδο με μέση τιμή 72,5% στην Βορειοδυτική Ελλάδα – την Ήπειρο και την Κέρκυρα – αλλά και στα νησιά που βρίσκονται κοντά στις ακτές της Μικράς Ασίας. Το χαμηλότερο επίπεδο υγρασίας με 65% σημειώνεται στην Αττική, τις Κυκλάδες, την Ανατολική Πελοπόννησο και τα Κύθηρα και ως ένα βαθμό στα βορειοανατολικές και νότιες ακτές της Κρήτης.

Σε όλες τις περιοχές η μέση σχετική υγρασία φτάνει στο υψηλότερο σημείο τον Δεκέμβριο και στο χαμηλότερο τον Ιούλιο και σε ορισμένες περιοχές τον Αύγουστο. Τους καλοκαιρινούς μήνες στην Ανατολική Ελλάδα η σχετική υγρασία κατεβαίνει στο κατώτερο σημείο της και η ξηρότητα του αέρα φτάνει στο υψηλότερο. Η χαμηλή υγρασία του καλοκαιριού επιδρά ευεργετικά και στο φθινόπωρο, όταν η υγρασία αρχίζει να ανεβαίνει και πάλι. Αυτή η ξηρότητα κάνει διαυγή την ατμόσφαιρα και δίνει το γαλανό χρώμα στον ουρανό [5].

1.2 Εσώκλιμα και εξώκλιμα

Με τον όρο εσωτερικό κλίμα ή εσώκλιμα ονομάζουμε το κλίμα προστατευμένων ή συνθηθέστερα κλειστών χώρων, σε αντιδιαστολή με το κλίμα του ανοικτού (ελεύθερου από τοιχώματα) περιβάλλοντος που ονομάζεται εξώκλιμα ή εξωτερικό κλίμα.

Το κλίμα των εσωτερικών χώρων διαμορφώνεται από τις συνθήκες εξωτερικού περιβάλλοντος, την αποτελεσματικότητα της προστασίας που εξασφαλίζει το κέλυφος του χώρου και την επίδραση των εσωτερικών παραγόντων και δράσεων.

Η εξάρτηση του εσωκλίματος από το εξώκλιμα αρχικά έχει να κάνει με την τοποθεσία στην οποία βρίσκεται το κτίσμα, την ειδική του θέση μέσα στο υπόλοιπο κτίσμα και ακριβέστερα στο βαθμό και την αμεσότητα εκθέσεως του κτιρίου στις περιβαλλοντικές μεταβολές (ο προσανατολισμός καθορίζει το είδος των ανέμων που θα προσβάλλουν τα εξωτερικά τοιχώματα αλλά και την ποσότητα και τη χρονική διάρκεια πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας).

Σημαντική επίδραση έχουν επιπλέον τα δομικά και αρχιτεκτονικά στοιχεία του χώρου, όπως τοιχώματα, ανοίγματα, διάφορες κατασκευές, καθώς οριοθετούν την επιρροή του εξωκλίματος στο εσωκλίμα.

Όσον αφορά την αποτελεσματικότητα της προστασίας του κελύφους, αυτή εξαρτάται από τη θερμομονωτική, θερμοαπορροφητική και θερμοαποθηκευτική ικανότητα των τοιχωμάτων και ανοιγμάτων και από την ικανότητα επικοινωνίας του εσωτερικού περιβάλλοντος με το εξωτερικό μέσω ανοιγμάτων, χαραμάδων κλπ [6].

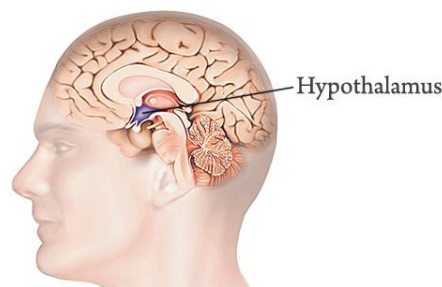
Η επιλογή της τοποθεσίας που θα χτιστεί ένα σπίτι σε συνδυασμό με τα κατάλληλα υλικά κατασκευής και τον τρόπο λειτουργίας του κεντρικού συστήματος θέρμανσης, αερισμού και ψύξης αποτελεί κύριο παράγοντα για την επίτευξη θερμικής άνεσης μέσα στο χώρο, καθώς οι συνθήκες εσωκλίματος είναι άμεσα συνδεδεμένες με όλα τα προαναφερθέντα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: Ανθρώπινο σώμα και περιβάλλον

2.1 Το θερμορυθμιστικό σύστημα του ανθρώπινου οργανισμού

2.1.1 Το κέντρο ελέγχου θερμοκρασίας και η αντίδραση του σώματος στις περιβαλλοντικές συνθήκες

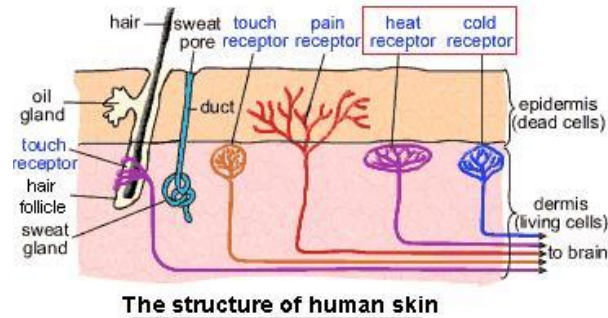
Ο άνθρωπος διαθέτει μια, σχεδόν, σταθερή θερμοκρασία πυρήνα σώματος (core temperature) ίση περίπου με 37°C, η οποία δεν επηρεάζεται σημαντικά ακόμα και από μεγάλες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος [7]. Με τον όρο θερμοκρασία πυρήνα εννοούμε τη θερμοκρασία των δομών βαθιά στο σώμα, σε αντίθεση με την περιφερειακή θερμοκρασία, όπως αυτή της επιδερμίδας [8]. Η θερμοκρασία πυρήνα μπορεί να διατηρηθεί σταθερή, μόνο όταν η θερμότητα που παράγει το σώμα βρίσκεται σε ισορροπία με αυτή που χάνεται στο περιβάλλον. Σε θερμόαιμα θηλαστικά, συμπεριλαμβανομένου και του ανθρώπου, η θερμική ισορροπία ελέγχεται από τον υποθάλαμο. Ο υποθάλαμος αποτελεί τμήμα του ανθρώπινου εγκεφάλου και μία από τις πολλές λειτουργίες του είναι η ρύθμιση της θερμοκρασίας του σώματος, λειτουργία δηλαδή παρόμοια με αυτή ενός θερμοστάτη [7].



Εικόνα 2.1.1.1: Θέση υποθαλάμου στον ανθρώπινο εγκέφαλο [9]

Η θερμική ισορροπία ελέγχεται από τις πληροφορίες που λαμβάνει το κέντρο θερμότητας, οι οποίες σχετίζονται με τις θερμοκρασιακές συνθήκες του σώματος. Θερμοαισθητήρες βρίσκονται στο κέντρο θερμοκρασίας στον εγκέφαλο και σε μεγάλη έκταση στο δέρμα. Θερμοαισθητήρια νεύρα, επίσης, μπορεί να υπάρχουν και σε άλλα μέρη του ανθρώπινου σώματος, όπως στους μύες, στους πνεύμονες και στο νωτιαίο μυελό. Υπάρχουν αισθητήρες κρύου και ζεστού. Όταν οι εναλλαγές της θερμοκρασίας επηρεάζουν τους αισθητήρες, νευρικά ερεθίσματα μεταδίδονται προς το κέντρο θερμοκρασίας του εγκεφάλου και γίνονται οι κατάλληλες ενέργειες για να διατηρηθεί σταθερή η θερμοκρασία του σώματος. Οι αισθητήρες κρύου επηρεάζονται, εάν η θερμοκρασία στην περιοχή του δέρματος

μειωθεί κατά ταχύτερα από $0,004^{\circ}\text{C}/\text{s}$ ($14,4^{\circ}\text{C}/\text{h}$) και του ζεστού αν αυξηθεί κατά $0,001^{\circ}\text{C}/\text{s}$ ($3,6^{\circ}\text{C}/\text{h}$) [7].



Εικόνα 2.1.1.2: Η κατασκευή του ανθρώπινου δέρματος [10]

Η παραγωγή θερμότητας στο σώμα πραγματοποιείται συνεχόμενα, από τη μεταβολική διεργασία, που μετατρέπει τη χημική ενέργεια σε θερμότητα. Αυτή η παραγωγή θερμότητας (βασική λειτουργία μεταβολισμού) είναι της τάξης του $1\text{W}/\text{kg}$ (βάρος σώματος), αν μετράται σε κατάσταση ηρεμίας και κάτω από βασικές πρότυπες καταστάσεις (8 ώρες μετά το τελευταίο γεύμα, χαλαρή κατάσταση σε οριζόντια θέση και συνθήκες ουδέτερης θερμοκρασίας) [7].

Η θερμότητα μεταφέρεται από το ζεστό πυρήνα στο δέρμα κατά ένα μέρος με αγωγή, μέσω των ιστών και κατά ένα άλλο μέρος μέσω της ροής του αίματος στο δέρμα [7].

Σε κρύα περιβάλλοντα, τα νευρικά ερεθίσματα από τους αισθητήρες κρύου, οδηγούν σε συστολή των αιμοφόρων αγγείων, μειώνοντας τη ροή του αίματος και έτσι και τη ροή θερμότητας στο δέρμα. Για να διατηρηθεί υψηλή η θερμοκρασία ($\sim 37^{\circ}\text{C}$) στα ζωτικά μέρη του σώματος, η ροή του αίματος μειώνεται αρχικά στα άκρα (χέρια, πόδια), όπου εμφανίζεται πρώτα η αίσθηση του κρύου [7]. Παρατηρείται επίσης ανέγερση του τριχοειδούς του σώματος, λειτουργώντας ως μόνωση [11]. Όταν όλα τα αιμοφόρα αγγεία στο δέρμα κλείσουν εντελώς, θα εξακολουθήσει να υπάρχει απώλεια θερμότητας δια αγωγής μέσω του δέρματος στο περιβάλλον. Αυτή η απώλεια εξαρτάται από το βαθμό μόνωσης του δέρματος, ανάλογα με το πάχος του στρώματος λίπους. Σε κρύα περιβάλλοντα η απώλεια θερμότητας, ακόμα και με μέγιστη αγγειοσυστολή, είναι μεγαλύτερη από την παραγωγή θερμότητας, με αποτέλεσμα η εσωτερική θερμοκρασία να μειώνεται [7]. Η πρώτη αντίδραση είναι το ρίγος, το οποίο μπορεί να προκαλέσει έως και δέκα φορές αύξηση στην παραγωγή θερμότητας. Όταν αυτές οι φυσιολογικές ρυθμίσεις αποτύχουν στο να αποκαταστήσουν τη θερμική ισορροπία, θα επέλθει υποθερμία, δηλ. αναπόφευκτη ψύξη του σώματος [11]. Το ρίγος θα σταματήσει γύρω στους 33°C και από

εκεί και κάτω θα υπάρξει απώλεια αισθήσεων. Θερμοκρασία σώματος ίση περίπου με 25°C είναι θανατηφόρα [7].

Σε ένα θερμό περιβάλλον, η θερμοκρασία του δέρματος είναι υψηλή. Έτσι, η διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στον πυρήνα και το δέρμα είναι μικρή και ως αποτέλεσμα η ανταλλαγή θερμότητας με αγωγή είναι επίσης μικρή. Ωστόσο, η ροή του αίματος είναι υψηλή, λόγω της διαστολής των αιμοφόρων αγγείων. Για όλο το δέρμα συνολικά, η ροή του αίματος μπορεί να αυξηθεί κατά 10 φορές το ελάχιστο, ενώ στα χέρια και στα πόδια μπορεί να αυξηθεί μέχρι και 30 φορές πάνω από το κανονικό. Η θερμότητα που παράγεται έτσι μεταφέρεται από το αίμα στην επιφάνεια του δέρματος και χάνεται προς το περιβάλλον κυρίως από την εξάτμιση του ιδρώτα. Η ρύθμιση της απώλειας θερμότητας μέσω εξάτμισης επιτυγχάνεται με έκκριση νερού από τους ιδρωτοποιούς αδένες. Οι ιδρωτοποιοί αδένες μπορούν να παράγουν έως και 2-3 λίτρα νερού ανά ώρα (ο βιώσιμος ρυθμός παραγωγής ιδρώτα είναι περίπου 1L/h). Κάθε γραμμάριο ή ml που εξατμίζεται αφαιρεί 2,43kJ από την επιφάνεια του δέρματος. 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 τη συνολική επιφάνεια δέρματος ονομάζεται υγρασία δέρματος και παίζει σημαντικό ρόλο στη θερμική άνεση. Η αίσθηση της υγρασίας στην επιφάνεια του δέρματος που προέρχεται από την εφίδρωση, είναι άμεσα συνδεδεμένη με το αίσθημα της δυσφορίας. Πειραματικά αποτελέσματα έχουν δείξει ότι η αίσθηση της άνεσης ελαττώνεται σημαντικά όταν το ποσοστό της εφίδρωσης αυξηθεί πάνω από το 25% της επιφάνειας του σώματος για περίπτωση ανάπαυσης ή καθιστικής εργασίας [12]. Η παραγωγή του ιδρώτα, όπως και η ροή του αίματος ελέγχεται από το κέντρο της θερμοκρασίας στον υποθάλαμο. Εάν η θερμοκρασία περιβάλλοντος ξεπεράσει το ανώτατο όριο της περιοχής ρύθμισης, θα συσσωρευτεί στο σώμα θερμότητα και η εσωτερική θερμοκρασία θα αυξηθεί [7]. Όταν η θερμοκρασία του πυρήνα φτάσει περίπου στους 40°C, μπορεί να αναπτυχθεί θερμοπληξία. Αυτή είναι μια κυκλοφοριακή ανεπάρκεια (η φλεβική επιστροφή στην καρδιά μειώνεται) η οποία οδηγεί σε λιποθυμία. Τα πρώτα συμπτώματα είναι: κόπωση, πονοκέφαλος, ορθοστατική υπόταση, απώλεια όρεξης, ναυτία, εμετός, δύσπνοια, έξαψη του προσώπου και του αυχένα, αυξημένοι παλμοί (έως 150/λεπτό), μάτια που γυαλίζουν, καθώς και διανοητικές διαταραχές, όπως ασθενής κρίση, απάθεια ή ευερεθιστότητα [11]. Η ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ του πυρήνα (εσωτερικά σημεία σώματος) και του δέρματος θα ενταθεί, λόγω της αυξημένης ροής αίματος. Είναι πιθανό να επιτευχθεί ισορροπία θερμότητας, αλλά σε υψηλότερο επίπεδο θερμοκρασίας πυρήνα. Εάν το περιβάλλον είναι πολύ ζεστό, η θερμοκρασία πυρήνα μπορεί να φτάσει μέχρι και επίπεδο θανάτου των 42°C, 43°C [7].

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται κάποιοι συνδυασμοί θερμοκρασίας δέρματος και πυρήνα σώματος και οι αντίστοιχη ρυθμιστική διαδικασία που συμβαίνει στον ανθρώπινο οργανισμό σε αυτές τις συνθήκες:

Πίνακας 2.1.1.1: Ρυθμιστικές διαδικασίες του ανθρώπινου οργανισμού κάτω από συγκεκριμένες θερμοκρασίες του σώματος [11]

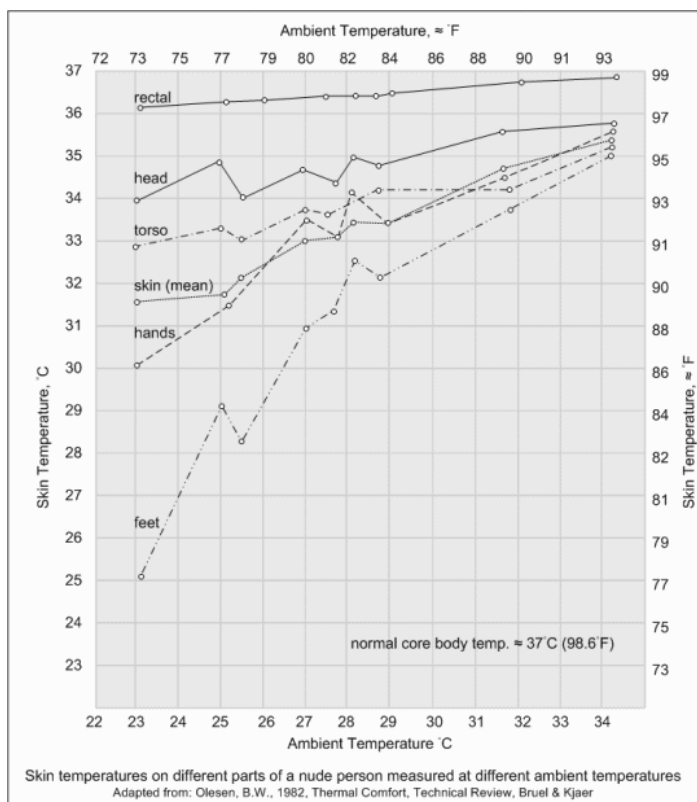
θερμοκρασία δέρματος	θερμοκρασία πυρήνα σώματος	ρυθμιστική ζώνη		
πόνος: 45°C	42°C	θάνατος		
	40°C	υπερθερμία εφίδρωση αγγειοδιαστολή		
31°C - 34°C	37°C	άνεση αγγειοσυστολή θερμογένεση		
		πόνος: 10°C	35°C	υποθερμία
		25°C	θάνατος	

2.1.2 Η θερμοκρασία του πυρήνα και η θερμοκρασία του δέρματος

Οι προαναφερθείσες δυνατότητες θερμορύθμισης έχουν σκοπό τη διατήρηση της θερμοκρασίας του πυρήνα εντός συγκεκριμένων ορίων. Η θερμοκρασία του πυρήνα μπορεί να κυμανθεί από 36°C έως περίπου 40-42°C, υπό ορισμένες περιστάσεις, ενώ η θερμοκρασία του δέρματος παρουσιάζει πολύ μεγαλύτερη διακύμανση, από 17°C έως 40°C. Η φυσιολογική θερμοκρασία πυρήνα μετρημένη το πρωί είναι περίπου 37°C. Ωστόσο, μπορεί να υπάρξουν διαφορές (36°C – 38°C) για κάθε άτομο. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, επίσης, ποικίλλει φυσιολογικά κατά περίπου 1°C. Η θερμοκρασία αυξάνεται κατά τη διάρκεια της ημέρας και φτάνει στη μέγιστη τιμή της αργά το απόγευμα. Στη συνέχεια αρχίζει να πέφτει και φτάνει στην ελάχιστη τιμή της το πρωί.

Κατά τη διάρκεια μυϊκής εργασίας, η θερμοκρασία του σώματος φτάνει σε υψηλά επίπεδα, ανάλογα με την ένταση της εργασίας. Πιστεύεται ότι η αύξηση αυτή γίνεται προς όφελος του ρυθμού της μεταβολικής διεργασίας στους μύες που εργάζονται. Η θερμοκρασία του πυρήνα διατηρείται σταθερή, ανεξάρτητα από τη μεγάλη ποικιλία στις περιβαλλοντικές συνθήκες, αλλά καθώς η ικανότητα του σώματος για παραγωγή θερμότητας και ιδρώτα είναι περιορισμένη, υπάρχουν ανώτατα και κατώτατα όρια για διατήρηση της θερμικής ισορροπίας.

Η θερμοκρασία του δέρματος σε θερμά περιβάλλοντα τείνει να είναι ίση για όλα τα μέρη του σώματος. Σε κρύα περιβάλλοντα, τα χέρια και τα πόδια είναι πιο κρύα από το κεφάλι και τον κορμό [7].



Εικόνα 2.1.2.1: Θερμοκρασία διάφορων μερών του δέρματος ενός γυμνού ανθρώπου, σε διαφορετικές θερμοκρασίες περιβάλλοντος [7]

2.2 Η θερμική ισορροπία του σώματος

Η θερμική ισορροπία του ανθρώπινου σώματος μπορεί να εκφραστεί από την παρακάτω σχέση:

$$M \pm R \pm C_v \pm C_d - E = \Delta S (W) \quad (2.2.1)$$

όπου M = ο μεταβολικός ρυθμός

C_v = η ανταλλαγή θερμότητας δια συναγωγής

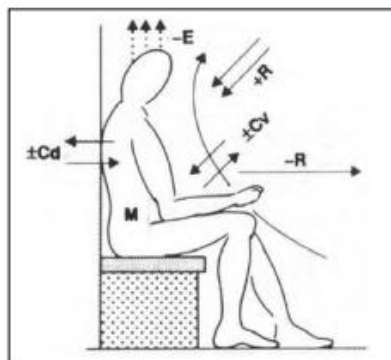
R = η ανταλλαγή θερμότητας δι' ακτινοβολίας

Cd = η ανταλλαγή θερμότητας με αγωγή

E = η απώλεια θερμότητας λόγω εξάτμισης

ΔS = οι αλλαγές στην αποθηκευμένη θερμότητα

Εάν το ΔS είναι θετικό, η θερμοκρασία του σώματος αυξάνεται, εάν είναι αρνητικό, μειώνεται. Ο ρυθμός ανταλλαγής θερμότητας εξαρτάται από περιβαλλοντικούς παράγοντες, αλλά από το σώμα δεν είναι καθαρά παθητικός, έχει αρκετές φυσιολογικές ιδιότητες και ρυθμιστικούς μηχανισμούς [11].



Εικόνα 2.2.1: Ανταλλαγή θερμότητας του ανθρώπινου σώματος με το περιβάλλον [11]

Δύο προϋποθέσεις πρέπει να πληρούνται για τη διατήρηση της θερμικής άνεσης. Το ένα είναι ο πραγματικός συνδυασμός της θερμοκρασίας του δέρματος και της θερμοκρασίας του πυρήνα να παρέχουν την αίσθηση θερμικής ουδετερότητας. Το δεύτερο είναι η εκπλήρωση του θερμικού ισοζυγίου του σώματος: η θερμότητα που παράγεται από το μεταβολισμό πρέπει να είναι ίση με την ποσότητα θερμότητας που χάνεται από το σώμα [7].

Η εξίσωση θερμικής ισορροπίας που αναφέρθηκε παραπάνω, αρχικά προτάθηκε από τον Gagge (1936). Η ανταλλαγή θερμότητας μέσω αγωγής είναι αμελητέα σε σχέση με τις άλλες ποσότητες, έτσι συνήθως παραλείπεται και η εξίσωση γράφεται [11]:

$$M \pm R \pm C - E = \Delta S \quad (2.2.2)$$

Δύο είναι οι τροποποιήσεις που χρησιμοποιούνται σήμερα:

1. Το μοντέλο των "δύο κόμβων" των εργαστηρίων J B Pierce (New Haven)

2. "Εξίσωση άνεσης" του Fanger

2.2.1 Το μοντέλο των "δύο κόμβων" (Two - node model)

Αυτό το μοντέλο μελετά τη μεταφορά θερμότητας από τον πυρήνα του σώματος στο δέρμα και ύστερα από το δέρμα στο περιβάλλον.

Ο ρυθμός μεταβολισμού M είναι σε Watt. Κάποια από αυτή την ποσότητα μετατρέπεται σε εξωτερική εργασία (μηχανική ισχύς).

Η μηχανική απόδοση ορίζεται ως [11]:

$$\eta = \text{εργασία (W) / μεταβολισμός (M)} \quad (2.2.1.1)$$

Το υπόλοιπο ποσό του μεταβολισμού αποτελεί την παραγωγή θερμότητας του σώματος: $M(1-\eta)$. Αυτό μπορεί να εκφραστεί ως προς τη μονάδα επιφάνεια του σώματος:

$$M(1-\eta) / A_D \quad (\text{W} / \text{m}^2) \quad (2.2.1.2)$$

όπου η A_D είναι η επιφάνεια σώματος και δίνεται από την εξίσωση Dubois:

$$A_D = 0,202 \text{ m}^{0,425} I^{0,725} \quad (2.2.1.3)$$

όπου m = η μάζα του σώματος σε kg και

I = το ύψος σε m.

Η απώλεια θερμότητας λόγω εξάτμισης έχει τρεις παράγοντες:

- E_{diff} = λόγω διάχυσης των υδρατμών μέσω του δέρματος
- E_{rsw} = εξαιτίας της εξάτμισης της ρυθμιστικής εφίδρωσης από το δέρμα

- $E_{resp} =$ λανθάνουσα απώλεια θερμότητας από την αναπνοή

Αυτοί οι παράγοντες μπορούν να εκτιμηθούν με τον ακόλουθο τρόπο:

$$E_{resp} = 0,0173 M (5,87 - p_a) \quad (2.2.1.4)$$

όπου η τιμή 5,87kPa είναι η πίεση του κορεσμένου ατμού σε θερμοκρασία πνεύμονα 35°C και p_a είναι η πίεση των υδρατμών του ατμοσφαιρικού αέρα

Η αισθητή απώλεια θερμότητας λόγω αναπνοής είναι:

$$C_{resp} = 0,0014 M (34 - T_a) \quad (2.2.1.5)$$

όπου 34°C είναι η θερμοκρασία του εκπνεόμενου αέρα και T_a είναι η θερμοκρασία αέρα περιβάλλοντος ξηρού βολβού (T_{db}).

Αυτές οι δύο ποσότητες δε φτάνουν στην επιφάνεια του δέρματος, επομένως η θερμότητα που φτάνει στο δέρμα είναι:

$$M_{sk} = M (1-\eta) - 0,0173 M (5,87-p_a) - 0,0014 M (34-T_a) \quad (2.2.1.6)$$

Στην ανάλυση που ακολουθεί χρησιμοποιούνται διάφοροι συντελεστές μεταφοράς θερμότητας (αγωγιμότητας), όλες σε W/m^2K , εκτός από τον τελευταίο που είναι σε W/m^2kPa :

- $h_r =$ αγωγιμότητα ακτινοβολίας (από την επιφάνεια στην μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας T_{mr})
- $h_c =$ αγωγιμότητα συναγωγής (από την επιφάνεια στον αέρα)
- $h = h_r + h_c$

- h_{cl} = αγωγιμότητα ρούχων
- h_e = συντελεστής απώλειας θερμότητας εξάτμισης

Η μέγιστη πιθανή απώλεια θερμότητας λόγω εξάτμισης από την επιφάνεια του σώματος είναι:

$$E_{\max} = 16,7 h_c (p_{sk} - p_a) F_{pcl} \quad (2.2.1.7)$$

όπου p_{sk} = τάση ατμών κορεσμού στη μέση θερμοκρασία του δέρματος

p_a = τάση ατμών του αέρα του περιβάλλοντος (kPa)

16,7 είναι η σχέση Lewis, σε K / kPa, η αναλογία του συντελεστή εξάτμισης προς μεταφοράς θερμότητας (h_e / h_c) στη στάθμη της θάλασσας

$$\left(\frac{W/m^2 kPa}{W/m^2 K} = \frac{K}{kPa} \right)$$

(Η ποσότητα $16,7 h_c F_{pcl}$ είναι ο συντελεστής αποτελεσματικής μεταφοράς θερμότητας μέσω εξάτμισης από την επιφάνεια του δέρματος στο περιβάλλον)

F_{pcl} = αποτελεσματική διαπερατότητα ατμού από το δέρμα μέσω ρούχων
(χωρίς διαστάσεις)

Έπειτα

$$E_{rsw} = w_{rsw} E_{\max} \quad (2.2.1.8)$$

όπου $w_{rsw} = A_{sw} / A_D$ η «διαβροχή του δέρματος», η περιοχή της επιφάνειας του δέρματος που είναι καλυμμένη ιδρώτα (A_{sw}) συναρτήσσει της περιοχής DuBois.

Από την περιοχή που καλύπτεται από ρούχα ο ιδρώτας θα εξατμιστεί με διάχυση:

$$E_{\text{diff}} = (1 - w_{\text{rsw}}) 0,06 E_{\text{max}} \quad (2.2.1.9)$$

αλλά αν δεν υπάρχει ρυθμιστική εφίδρωση, εάν $E_{\text{rsw}} = 0$, τότε:

$$E_{\text{diff}} = 0,06 E_{\text{max}} \quad (2.2.1.10)$$

Γενικά, για άτομα που βρίσκονται σε ηρεμία, εάν $40\% < RH < 60\%$ και $T_{\text{db}} < 20 \text{ }^\circ \text{C}$, η ποσότητα $E_{\text{resp}} + E_{\text{diff}}$ είναι περίπου 20-25% του μεταβολικού ρυθμού.

Εάν προσθέσουμε τα δύο παραπάνω μεγέθη, βρίσκουμε τη συνολική ποσότητα θερμότητας που εξατμίζεται από το σώμα:

$$E_{\text{sk}} = E_{\text{diff}} + E_{\text{rsw}} = (0,06 + 0,94 w_{\text{rsw}}) E_{\text{max}} \quad (2.2.1.11)$$

ή αντικαθιστώντας την έκφραση E_{max} (2.2.1.7):

$$E_{\text{sk}} = 16,7 (0,06 + 0,94 w_{\text{rsw}}) h_c (p_{\text{sk}} - p_a) F_{\text{pcl}} \quad (2.2.1.12)$$

Η αναλογία $E_{\text{sk}} / E_{\text{max}} = w$ είναι η μέση διαβροχή του δέρματος.

Όταν το E_{sk} λαμβάνεται ως απώλεια θερμότητας εξάτμισης απαραίτητα για τη διατήρηση της θερμικής ισορροπίας του σώματος, τότε η αναλογία $(E_{\text{sk}} / E_{\text{max}}) * 100$ έχει χρησιμοποιηθεί ως δείκτης θερμικής καταπόνησης

Η αισθητή απώλεια θερμότητας από την επιφάνεια του σώματος είναι

$$R + C = h (T_{\text{sk}} - T_a) F_{\text{cl}} \quad (2.2.1.13)$$

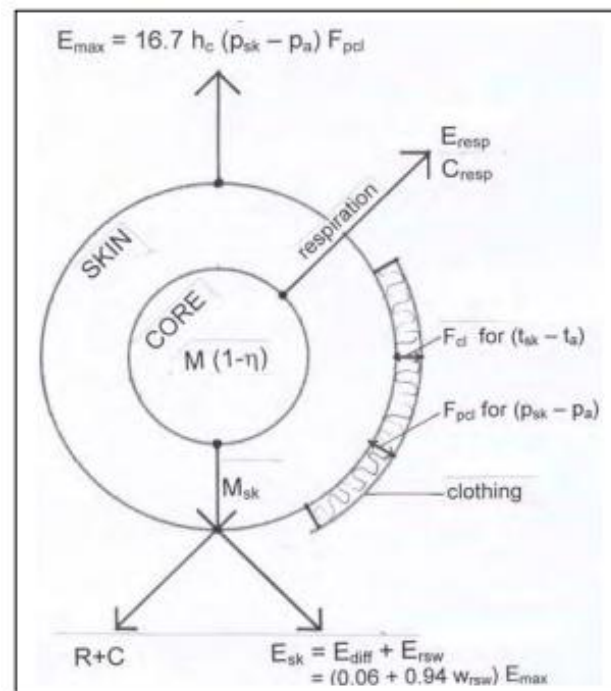
όπου $F_{cl} = \eta$ μόνωση της ένδυσης $= 1 / (1 + 0.155 h I_{cl})$,

I_{cl} σε μονάδες clo

Έτσι αντικαθιστώντας από τις εξισώσεις (2.2.1.6), (2.2.1.12) και (2.2.1.13) τις ποσότητες στην εξίσωση (2.2.2), η πλήρης εξίσωση θερμικής ισορροπίας μπορεί να γραφτεί ως [11]:

$$\Delta S = M [(1-\eta) - 0,0173 (5,87-p_a) - 0,0014 (34-t_a)] - 16,7 (0,06 + 0,94 w_{rsw}) h_c (p_{sk} - p_a) F_{pcl} - h (T_{sk}-T_a) F_{cl} \quad (2.2.1.14)$$

Ακολουθεί μια σύντομη ανάπτυξη του παραπάνω μοντέλου με τη βοήθεια σχήματος [11]:



Εικόνα 2.2.1.1: Περιληπτική απεικόνιση του μοντέλου δύο κόμβων [11]

$$F_{cl} = \frac{1}{1+0,155*h*clo} \quad (2.2.1.15)$$

$$F_{pcl} = \frac{1}{1+0,344*h_c*clo} \quad (2.2.1.16) , \text{ κανονικά } h = 8 \text{ W/m}^2 \text{ K και } h_c = 3,3$$

2.2.2 Η εξίσωση θερμικής ισορροπίας κατά Fanger /εξίσωση άνεσης

Ο Fanger (1982) ανέπτυξε την εξίσωση ισορροπίας θερμότητας, ώστε η ποσότητα αποθηκευμένης ενέργειας στο σώμα να είναι ίση με μηδέν.

Χρησιμοποιεί τον όρο H για την ποσότητα M (1-η), δηλαδή την παραγωγή θερμότητας του σώματος και θεωρεί ως θερμική άνεση, την κατάσταση κατά την οποία η αποθήκευση ενέργειας είναι ίση με μηδέν ($\Delta S=0$) (εκτός από τις βραχυπρόθεσμες μεταβατικές επιδράσεις) και οι απώλειες μέσω αγωγής (Cd) είναι κανονικά ασήμαντες, για την κατάσταση ισορροπίας. Έτσι η εξίσωση ισορροπίας μπορεί να γραφτεί [11]:

$$H - E - C - R = 0 \quad (2.2.2.1)$$

Άλλος τρόπος γραφής (διπλή εξίσωση):

$$H - E_{diff} - E_{rsw} - E_{resp} - L = K = R + C \quad (2.2.2.2)$$

όπου L = απώλεια θερμότητας ξηρής αναπνοής

K = μεταφορά θερμότητας από την επιφάνεια του δέρματος στα ρούχα

R = απώλεια ακτινοβολίας

C = απώλεια θερμότητας δια συναγωγής (όλοι οι όροι σε kcal / h)

Οι διάφορες ποσότητες υπολογίζονται ως εξής:

$$E_{diff} = \lambda m A_D (p_s - p_a) \quad (2.2.2.3)$$

Όπου λ = λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης νερού (575 kcal / kg)

m = διαπερατότητα του δέρματος ($6.1 \cdot 10^{-4}$ kg / h m²mmHg)

p_s = πίεση κορεσμένων ατμών στη θερμοκρασία του δέρματος (mmHg)

p_a = πίεση ατμών του αέρα του περιβάλλοντος (mmHg)

αντικαθιστώντας τις κατάλληλες αριθμητικές τιμές και ως $p_s = 1,92 T_s - 25,3$, παίρνουμε:

$$E_{diff} = 0,35 A_D (1,92 T_s - 25,3 - p_a) \quad (2.2.2.4)$$

Έχει αποδειχθεί ότι η θερμοκρασία του δέρματος για συνθήκες άνεσης είναι

$$T_s = 35,7 - 0,032 H / A_D \quad (2.2.2.5)$$

υποκαθιστώντας:

$$E_{diff} = 0,35 A_D [43 - 0,061 (M / A_D) (1-\eta) - p_a] \quad (2.2.2.6)$$

Για τις συνθήκες άνεσης, το E_{rsw} πρέπει να βρίσκεται εντός πολύ στενών ορίων και έχει αποδειχθεί ότι για συνηθισμένες καταστάσεις είναι:

$$E_{rsw} = 0,42 A_D [(H / A_D) - 50] \quad (50 \text{ kcal} / \text{h} \cdot \text{mm}^2 = 1 \text{ met}) \quad (2.2.2.7)$$

Η λανθάνουσα θερμική απώλεια της αναπνοής υπολογίζεται ως

$$E_{resp} = V (HR_{ex} - HR_{in}) \lambda \quad (2.2.2.8)$$

όπου V = ρυθμός αερισμού των πνευμόνων, που βρέθηκε 0,006 M (kg / h)

HR = λόγος υγρασίας του αέρα ως εκπνέει και εισπνέεται

λ = λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης νερού (575 kcal / kg)

Αντικαθιστώντας τις αναλογίες υγρασίας και τις πιέσεις ατμών, παίρνουμε:

$$E_{resp} = 0,0023 M (44 - p_a) \quad (\text{kcal} / \text{h}) \quad (2.2.2.9)$$

Η απώλεια ξηρής αναπνοής υπολογίζεται ως:

$$L = 0,0014 M (34 - T_a) \quad (\text{kcal} / \text{h}) \quad (2.2.2.10)$$

Όταν οι τρεις αυτοί όροι αφαιρούνται από το H, το υπόλοιπο πρέπει να διαχέεται με αγωγή μέσω των ενδυμάτων (K) και στη συνέχεια με ακτινοβολία και συναγωγή (R + C) από την επιφάνεια του ρουχισμού:

$$K = A_D (T_s - T_{cl}) / 0,18 I_{cl} \quad (2.2.2.11)$$

όπου I_{cl} = μόνωση των ενδυμάτων σε μονάδες clo

T_s = θερμοκρασία δέρματος

T_{cl} = θερμοκρασία επιφάνειας ρούχων

και αντικαθιστώντας την παραπάνω έκφραση με T_s :

$$K = A_D [(35,7 - 0,032 H / A_D) - T_{cl}] / 0,18 I_{cl} \quad (2.2.2.12)$$

Η ποσότητα ακτινοβολίας είναι

$$R = A_{\text{eff}} \varepsilon \sigma [(T_{cl} + 273)^4 - (T_{mr} + 273)^4] \quad (2.2.2.13)$$

όπου ε = εκπομπή εξωτερικής επιφάνειας ρούχων

σ = η σταθερά Stefan-Boltzmann: $5,77 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$

T_{cl} = θερμοκρασία της εξωτερικής επιφάνειας ρουχισμού

T_{mr} = μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας

A_{eff} = είναι η αποτελεσματική επιφάνεια του ντυμένου σώματος που συμβάλλει στην ανταλλαγή θερμότητας μέσω ακτινοβολίας

Μετά την αντικατάσταση των κατάλληλων αριθμητικών τιμών, παίρνουμε:

$$R = 3,4 * 10^{-8} A_D f_{cl} [(T_{cl} + 273)^4 - (T_{mr} + 273)^4] \quad (2.2.2.14)$$

όπου f_{cl} = αναλογία της ντυμένης προς την εκτεθειμένη επιφάνεια του σώματος

Η συνιστώσα συναγωγής είναι

$$C = A_D f_{cl} h_c (T_{cl} - T_a) \quad (2.2.2.15)$$

όπου h_c = αγωγιμότητα συναγωγής (kcal / m²h ° C)

Το μέγεθος του h_c (εδώ σε kcal / m²h.K) εξαρτάται από την ταχύτητα του αέρα (m / s):

$$\begin{array}{l} \text{σε W / m}^2\text{K} \\ \text{το κριτήριο είναι crit} = 2,05 (T_{cl} - T_a)^{0,25} \quad 1,762 (T_{cl} - T_a)^{0,25} \quad (2.2.2.16) \end{array}$$

$$\text{αν crit} > 10,4 \sqrt{v}, \text{ τότε } h_c = \text{crit} \quad (2.2.2.17)$$

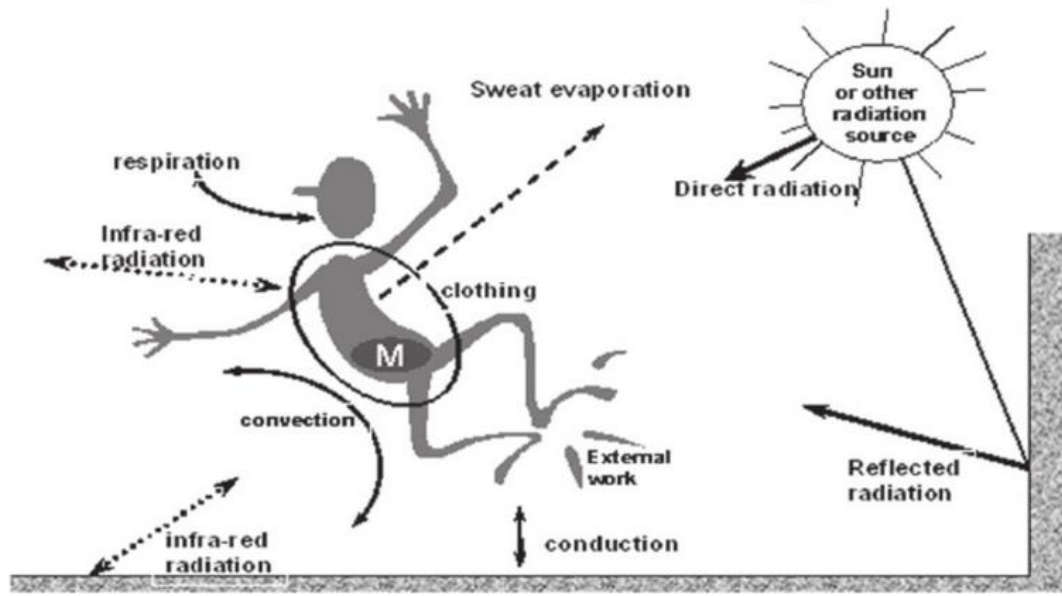
$$\text{αν crit} < 10,4 \sqrt{v}, \text{ τότε } h_c = 10,4 \sqrt{v} \quad 8,9 \sqrt{v} \quad (2.2.2.18)$$

Αντικαθιστώντας τις παραπάνω ισότητες (2.2.2.6), (2.2.2.7), (2.2.2.9), (2.2.2.10) στην "διπλή εξίσωση", καταλήγουμε στην [11]:

$$\begin{aligned} & \frac{M}{A_D} (1-\eta) - 0,35 [43 - 0,061 \frac{M}{A_D} (1-\eta) - p_a] - 0,42 [\frac{M}{A_D} (1-\eta) - 50] - 0,0023 \frac{M}{A_D} (44-p_a) - \\ & 0,0014 \frac{M}{A_D} (34-T_a) = \frac{35,7 - 0,032 \frac{M}{A_D} (1-\eta) - T_{cl}}{0,18 I_{cl}} = 3,4 * 10^{-8} f_{cl} [(T_{cl}+273)^4 - (T_{mr}+273)^4] + f_{cl} h_c \\ & (T_{cl} - T_a) \quad (2.2.2.19) \end{aligned}$$

Αυτή η εξίσωση αποτελεί τη βάση του δείκτη PMV που θα οριστεί παρακάτω.

Avenues of Heat Exchange



Εικόνα 2.2.2.1: Σχηματική αναπαράσταση της ανταλλαγής θερμότητας ανάμεσα στο σώμα και το περιβάλλον κατά τη διάρκεια μιας εργασίας [13]

2.2.3 Παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμική ισορροπία

Παρακάτω γίνεται μια μικρή αναφορά σε μερικές εκ των ποσοτήτων που αναφέρθηκαν στα προηγούμενα μοντέλα προσδιορισμού της θερμικής ισορροπίας του ανθρώπινου οργανισμού. Πολλά από αυτά θα αναλυθούν και στα επόμενα κεφάλαια, αλλά σε αυτό το σημείο είναι χρήσιμο να κατανοήσουμε το ρόλο που παίζει ο κάθε παράγοντας στο ισοζύγιο θερμότητας του ανθρώπινου οργανισμού.

2.2.3.1 Μεταβολισμός (M)

Η ενέργεια απελευθερώνεται στο σώμα μέσω οξείδωσης, με ρυθμό ανάλογο της ποσότητας ενέργειας που χρειάζεται ο οργανισμός για να λειτουργήσει. Η τιμή του μεταβολισμού μπορεί να πάρει τιμές από περίπου $45\text{W}/\text{m}^2$ επιφάνεια δέρματος ($0,8\text{met}$) έως $500\text{W}/\text{m}^2$ ($\sim 9\text{met}$) όταν τρέχουμε. Η επιφάνεια δέρματος ενός μέσου ανθρώπου είναι περίπου $1,8\text{m}^2$. Η ενέργεια που απελευθερώνεται μετατρέπεται μερικές φορές σε εξωτερική μηχανική ισχύ, αλλά μετατρέπεται κυρίως σε εσωτερική θερμότητα του σώματος [7].

Πίνακας 2.2.3.1.1: Παραδείγματα μεταβολικού ρυθμού M για διάφορες πρακτικές δραστηριότητες [7]

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ	Met	W/m ²
Ξάπλωμα, χαλάρωση.....	0,8	47
Ήρεμο κάθισμα.....	1,0	58
Καθιστική εργασία (γραφείο, σπίτι, εργαστήριο, σχολείο).....	1,2	70
Ορθοστασία, χαλαρή.....	1,2	70
Ελαφριά δραστηριότητα, σε ορθή στάση (ψώνια, εργαστήριο, ελαφριά βιομηχανία).....	1,6	93
Μεσαία δραστηριότητα, σε όρθια στάση (υπάλληλος σε μαγαζί, οικιακές δουλειές, εργασία σε μηχανή).....	2,0	117
Υψηλή δραστηριότητα (βαριά εργασία σε μηχανή, δουλειά σε γκαράζ).....	3,0	175

2.2.3.2 Εξωτερική Εργασία (W)

Η εξωτερική εργασία είναι η ενέργεια που παράγει ο ανθρώπινος οργανισμός για την επίτευξη μιας δραστηριότητας. Όταν ένας άνθρωπος ποδηλατεί σε εργομετρικό ποδήλατο με βαρύ φορτίο, πρέπει να χρησιμοποιήσει μεγάλο ποσό ενέργειας για να διατηρήσει μια σταθερή ταχύτητα (r/min). Αυτή η ενέργεια χωρίζεται σε δύο μέρη: το πρώτο (W) είναι το ποσό που χρειάζεται για να ξεπεραστεί η αντίσταση του φορτίου και το δεύτερο μέρος είναι η εσωτερική παραγωγή θερμότητας, η οποία είναι απαραίτητη για το σώμα για να εκτελεί εξωτερική εργασία ίση με W. Αυτό το ποσό ενέργειας χρησιμοποιείται για να αντλήσει περισσότερο αίμα και για να αυξήσει την αναπνοή.

Ο άνθρωπος όμως είναι μια κακή μηχανή. Η απόδοση είναι μικρότερη του 20%, ακόμα και για πολύ καλούς αθλητές. Έτσι για μια αύξηση φορτίου κατά 10 W/m², ο μεταβολισμός θα αυξηθεί κατά 50W/m². Το επιπλέον 40W/m² θα αποβληθεί με τη μορφή ιδρώτα, ώστε αποφευχθεί αύξηση της εσωτερικής θερμοκρασίας [7].

2.2.3.3 Απώλεια θερμότητας μέσω εξάτμισης

Η διάχυση των υδρατμών μέσω του δέρματος συμβαίνει συνεχόμενα και δε ρυθμίζεται από το θερμορρυθμιστικό σύστημα. Μπορεί να προκαλέσει μια απώλεια θερμότητας της τάξης των 10W/m^2 . Σε τυπικές τιμές θερμοκρασίας δέρματος $T_s = 33^\circ\text{C}$ και πίεσης υδρατμών $p_a=1400\text{ Pa}$ σε ατμοσφαιρικό αέρα (50% σχετική υγρασία, 23°C θερμοκρασία) μπορεί να προκληθεί απώλεια θερμότητας ίση με $11,2\text{W/m}^2$.

Η εξάτμιση ιδρώτα από την επιφάνεια του δέρματος αποτελεί έναν από τους πιο αποτελεσματικούς τρόπους για τη διατήρηση της σταθερότητας της εσωτερικής θερμοκρασίας του σώματος, ακόμα και σε συνθήκες σκληρής εργασίας. Το ποσό της θερμότητας που χάνεται μέσω της εξάτμισης ποικίλλει ανάλογα με την εργασία (από 0 W/m^2 σε ανάπαυση έως και στο μέγιστο 400W/m^2 σε βαριά εργασία) σε ζεστά και ξηρά περιβάλλοντα.

Για κάθε ανθρώπινο οργανισμό υπάρχει περιορισμός του ποσού του ιδρώτα που μπορεί να παράγει και οι διαφορές ανάμεσα στους ανθρώπους είναι σημαντικές. Τα άτομα που εργάζονται σε βαριές εργασίες ή σε ζεστά περιβάλλοντα, μπορούν να βελτιώσουν τη λειτουργία των ιδρωτοποιών αδένων και να ελέγχουν καλύτερα τη θερμοκρασία του σώματός τους. Ένας άνθρωπος δεν μπορεί να ιδρώνει πάνω από 1l/h και όχι παραπάνω από ένα συνολικό ποσό της τάξης των $3,5\text{l}$. Αν όλος αυτός ο ιδρώτας εξατμιστεί, θα έχουμε απώλεια θερμότητας ίση με 675 W (375 W/m^2) και συνολικό ποσό 8505 kJ .

Σε θερμά περιβάλλοντα και κάτω από συνθήκες έντονης εργασίας, είναι σημαντικό να πίνουμε νερό (και αλάτι) για να μπορούμε να ιδρώνουμε αρκετά. Ο υπολογισμός της ποσότητας της ενέργειας που χάνεται με τον ιδρώτα είναι αρκετά πολύπλοκος. Σε υπερβολική εφίδρωση, κάποιες σταγόνες ιδρώτα στάζουν αντί να εξατμίζονται. Η ενέργεια που χάνεται αφορά μόνο αυτές που εξατμίζονται και αφαιρούν θερμότητα από το σώμα.

Σε εργασίες μέτριου επιπέδου έντασης (εργασίες γραφείου, κτίρια κατοικίας, ελαφριά βιομηχανία), η εξάτμιση είναι λιγότερο σημαντική και αποτελεί το 25% της συνολικής απώλειας θερμότητας. Για μέτρια έκκριση ιδρώτα και θερμοκρασία αέρα (δηλαδή και μέτρια πίεση ατμών), συνθήκες που ισχύουν για άτομα που βρίσκονται σε κατάσταση θερμικής άνεσης, φαίνεται εύλογο να υποθέσουμε ότι όλος ο παραγόμενος ιδρώτας εξατμίζεται [7].

2.2.3.4 Μετάδοση θερμότητας μέσω του ρουχισμού

Πίνακας 2.2.3.4.1: Παραδείγματα τιμών του μεγέθους I_{cl} για διάφορους τυπικούς συνδυασμούς ρούχων [7]

ΣΥΝΔΙΑΣΜΟΙ ΡΟΥΧΩΝ	clo	m^2K/W
Γυμνός.....	0	0
Σορτς.....	0,1	0,016
Τυπικό τροπικό ένδυμα		
Σλιπ, σορτς, μπλουζάκι ανοιχτό στο λαιμό και με κοντά μανίκια, λεπτές κάλτσες, σανδάλια.....	0,3	0,047
Ενδυμασία για ελαφρύ καλοκαίρι		
Σλιπ, μακρύ λεπτό παντελόνι, μπλουζάκι ανοιχτό στο λαιμό με κοντά μανίκια, λεπτές κάλτσες και παπούτσια.....	0,5	0,078
Ενδυμασία δουλειάς		
Εσώρουχα, βαμβακερό μπλουζάκι εργασίας με μακριά μανίκια, παντελόνι εργασίας, μάλλινες κάλτσες, παπούτσια.....	0,8	0,124
Τυπική εσωτερική ενδυμασία χειμώνα		
Εσώρουχα, μπλούζα με μακριά μανίκια, παντελόνι, πουλόβερ με μακριά μανίκια, χοντρές κάλτσες, παπούτσια.....	1,0	0,155
Βαρύ τυπικό ευρωπαϊκό επαγγελματικό κουστούμι		
Βαμβακερά εσώρουχα με μακριά πόδια και μανίκια, πουκάμισο, κουστούμι που περιλαμβάνει παντελόνι, γιλέκο και σακάκι, μάλλινες κάλτσες, βαριά παπούτσια.....	1,5	0,233

Θεωρείται ότι όλη η εξάτμιση που λαμβάνει χώρα στην επιφάνεια του δέρματος θα μεταφερθεί μέσω των ενδυμάτων με διάχυση. Είναι αποδεκτό στις περισσότερες περιπτώσεις, καθώς η αντίσταση στη διάχυση σε φυσιολογικό ρουχισμό είναι πολύ μικρή και στη ζώνη άνεσης η παραγωγή ιδρώτα είναι επίσης πολύ μικρή. Καθώς η εργασία γίνεται πιο έντονη, η μόνωση της ενδυμασίας συνήθως θα μειωθεί, λόγω του αποτελέσματος της "άντλησης" δηλαδή αυξάνεται η ανταλλαγή αέρα μεταξύ ρούχων και δέρματος [7].

2.2.3.5 Ανταλλαγή θερμότητας μέσω ακτινοβολίας

Μερικά τμήματα της επιφάνειας ρούχων ανταλλάσσουν θερμότητα με ακτινοβολία όχι με το περιβάλλον, αλλά με άλλα μέρη του σώματος, δηλαδή μεταξύ των βραχιόνων και του κορμού και μεταξύ των ποδιών. Η αποτελεσματική ακτινοβολούμενη περιοχή είναι τότε μικρότερη από τη συνολική επιφάνεια. Αυτό το αποτέλεσμα περιλαμβάνεται στον παράγοντα A_{ff} .

Ο παράγοντας εκπομπή της εξωτερικής επιφάνειας των ρούχων είναι ανεξάρτητη από το χρώμα για χαμηλή θερμοκρασία ακτινοβολίας, η οποία κανονικά ισχύει σε εσωτερικούς χώρους. Για ακτινοβολίες μικρού κύματος, όπως το ηλιακό φως, η εκπομπή επηρεάζεται από το χρώμα.

Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας ορίζεται ως η ομοιόμορφη θερμοκρασία των γύρω επιφανειών που θα έχει ως αποτέλεσμα την ίδια ανταλλαγή θερμότητας δια ακτινοβολίας από ένα άτομο όπως στο πραγματικό περιβάλλον. Υπολογίζεται από τη θερμοκρασία των γύρω επιφανειών, οι οποίες σταθμίζονται από την επιρροή τους πάνω σε ένα άτομο από το συντελεστή γωνίας. Ακολουθεί ο τύπος υπολογισμού της:

$$T_{mr} = \sqrt[4]{F_{p-1}(t_1 + 273)^4 + F_{p-2}(t_2 + 273)^4 + F_{p-n}(t_n + 273)^4} - 273 \quad (2.2.3.5.1)$$

Όπου t_n = θερμοκρασία επιφάνειας, °C

F_{p-n} = συντελεστής γωνίας ανάμεσα στον άνθρωπο και την επιφάνεια n

$$\sum F_{p-n} = 1$$

Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας έτσι εξαρτάται και από τη στάση που έχει το άτομο αλλά και από τη θέση του μέσα στο δωμάτιο [7].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: Θερμική Άνεση

3.1 Ορισμός θερμικής άνεσης

Θερμική άνεση είναι εκείνη η κατάσταση κατά την οποία ο ανθρώπινος εγκέφαλος αισθάνεται ικανοποίηση από το θερμικό περιβάλλον (πρότυπο ANSI/ASHRAE 55).

Η επίτευξη αυτής της κατάστασης για τους ενοίκους ενός κτηρίου αποτελεί τον πιο σημαντικό στόχο των μηχανικών που ασχολούνται με τα συστήματα θέρμανσης αερισμού και κλιματισμού (HVAC) [14].

Αυτός ο ορισμός είναι πολύ υποκειμενικός, καθώς από άτομο σε άτομο παρατηρούνται σημαντικές φυσιολογικές και ψυχολογικές αλλαγές. Γι' αυτό το λόγο είναι δύσκολο να ικανοποιηθούν όλα τα άτομα σε ένα χώρο. Οι περιβαλλοντικές συνθήκες που απαιτούνται για θερμική άνεση δεν είναι ίδιες για τον καθένα. Ωστόσο, εργαστηριακά στοιχεία που έχουν συλλεχθεί, έχουν οδηγήσει στη δημιουργία στατιστικών δεδομένων για τον προσδιορισμό των συνθηκών τις οποίες ένα συγκεκριμένο ποσοστό ατόμων σε έναν χώρο θεωρούν θερμικά άνετες [15].

3.2 Η σημασία της θερμικής άνεσης

Με την επίτευξη θερμικής άνεσης είναι δυνατόν να βελτιωθεί το ηθικό και η παραγωγικότητα, καθώς και η υγεία και ασφάλεια. Έχει αποδειχθεί ότι οι υπάλληλοι γραφείου, που είναι ικανοποιημένοι από το θερμικό περιβάλλον τους, είναι πολύ πιο αποδοτικοί. Αντίθετα, οι εργαζόμενοι σε μη άνετα θερμικά περιβάλλοντα, είτε πολύ ψυχρά είτε πολύ ζεστά, είναι πιο πιθανό να συμπεριφερθούν με μεγαλύτερη ανασφάλεια, καθώς επιδεινώνεται η ικανότητά τους να πάρουν αποφάσεις ή και να εκτελέσουν κάποια χειρονακτική εργασία. Για παράδειγμα:

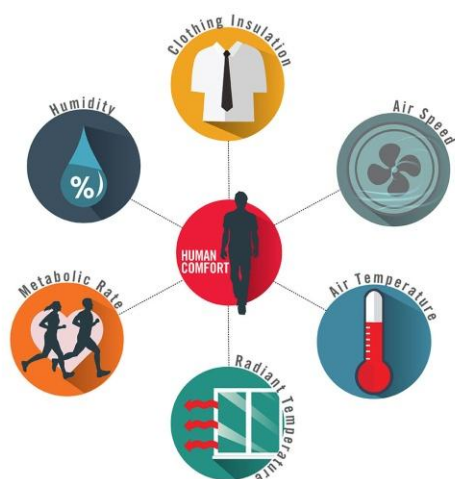
- μπορεί να κάνουν μικρά διαλείμματα για να βγουν από κρύα περιβάλλοντα
- είναι πιθανό να μη φορούν με το σωστό τρόπο σε ένα ζεστό περιβάλλον τον κατάλληλο ρουχισμό που τους προστατεύει στην εργασία, με αποτέλεσμα την αύξηση των κινδύνων
- μπορεί να μειωθεί η ικανότητα συγκέντρωσης ενός εργαζόμενου πάνω σε ένα έργο που του έχει ανατεθεί και να οδηγηθεί σε λάθη

Σύμφωνα με το HSE (Heat and Safety Executive), το 80% των παρευρισκομένων σε ένα χώρο είναι λογικό όριο για τον ελάχιστο αριθμό των ατόμων που θα πρέπει να αισθάνονται άνετα σε αυτόν. Ωστόσο, αυτό σημαίνει ότι το 20% του εργατικού δυναμικού θα ενοχλείται και δε θα αποδίδει στο μέγιστο των δυνατοτήτων του. Οι εργοδότες θα πρέπει να είναι ενημερωμένοι για τους παραπάνω κινδύνους και να λαμβάνουν μέτρα για την πρόληψή τους [16].

3.3 Παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμική άνεση

Ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος δείκτης για τον προσδιορισμό της θερμικής άνεσης είναι η θερμοκρασία του αέρα, επειδή είναι ο πιο εύκολος στη χρήση. Παρόλα αυτά η θερμοκρασία του αέρα από μόνη της δεν αποτελεί ακριβή παράγοντα αξιολόγησης της θερμικής άνεσης, καθώς θα πρέπει πάντα να μελετάται σε σχέση με άλλους περιβαλλοντικούς και προσωπικούς παράγοντες.

Υπάρχουν 6 βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν άμεσα τη θερμική άνεση και μπορούν να χωριστούν σε 2 κατηγορίες: προσωπικοί (χαρακτηριστικά των ενοίκων) και περιβαλλοντικοί παράγοντες (συνθήκες του θερμικού περιβάλλοντος). Στην πρώτη ανήκει ο ρυθμός μεταβολισμού και το επίπεδο ρουχισμού (μόνωση ενδυμάτων). Στη δεύτερη ανήκουν η θερμοκρασία του αέρα, η υγρασία, η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας και η ταχύτητα του αέρα [17].



Εικόνα 3.3.1: οι 6 βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμική άνεση [18]

Όλοι αυτοί οι παράγοντες είναι πιθανό να μεταβάλλονται με το χρόνο. Ωστόσο, ο προσδιορισμός απευθύνεται στη θερμική άνεση σε συνθήκες σταθερής κατάστασης. Ως αποτέλεσμα, άνθρωποι που εισέρχονται σε ένα χώρο που πληροί της προϋποθέσεις θερμικής άνεσης δεν μπορούν να νιώσουν άνετα αμέσως, αν προηγουμένως έχουν βρεθεί σε χώρους με διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες ή/και έχουν διαφορετικά επίπεδα δραστηριότητας. Τα αποτελέσματα της προηγούμενης έκθεσης ή δραστηριότητας μπορούν να επηρεάσουν την αντίληψη άνεσης για περίπου μία ώρα [14],[15].

3.3.1 Προσωπικοί παράγοντες

3.3.1.1 Ρυθμός μεταβολισμού

Έχει προηγηθεί μια αναφορά στο μεταβολισμό στο κεφάλαιο 2.2.3.1, ως παράγοντα του θερμικού ισοζυγίου του ανθρώπινου οργανισμού. Σε αυτό το σημείο, είναι απαραίτητο να γίνει εκτενέστερη αναφορά και περιγραφή αυτού του αντικειμένου, καθώς αποτελεί βασικό παράγοντα που καθορίζει τη θερμική άνεση.

Σύμφωνα με το πρότυπο ASHRAE 55-2010, ο μεταβολικός ρυθμός καθορίζεται ως το επίπεδο μετασχηματισμού της χημικής ενέργειας σε θερμότητα και μηχανικό έργο από τις μεταβολικές δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα στο εσωτερικό ενός οργανισμού.

Η μονάδα μέτρησης του μεγέθους αυτού είναι το $1 \text{ met} = 58,2 \text{ W/m}^2$ ($18,4 \text{ Btu/h}\cdot\text{ft}^2$), η οποία είναι ίση με την ενέργεια που παράγεται ανά μονάδα επιφάνειας δέρματος ενός μέσου ανθρώπου, που κάθεται σε ανάπαυση. Η επιφάνεια δέρματος ενός μέσου ανθρώπου είναι $1,8 \text{ m}^2$ (19 ft^2).

Ο ρυθμός μεταβολισμού εξαρτάται από τη δραστηριότητα, τον άνθρωπο και τις συνθήκες κάτω από τις οποίες γίνεται η δραστηριότητα. Οι συνήθειες φαγητού και ποτού επηρεάζουν, επίσης, το μεταβολικό ρυθμό, ο οποίος επηρεάζει έμμεσα τις θερμικές προτιμήσεις. Το σχήμα του σώματος επηρεάζει και αυτό τη θερμική άνεση, καθώς η απαγωγή της θερμότητας εξαρτάται από την επιφάνεια του σώματος. Έτσι, ένα ψηλό και αδύνατο άτομο έχει μεγαλύτερο τον παράγοντα επιφάνεια δέρματος προς όγκο και μπορεί να απομακρύνει τη θερμότητα πιο εύκολα από ένα άτομο με πιο στρογγυλό σχήμα σώματος και έτσι να ανεχθεί υψηλότερες θερμοκρασίες [14].

Παρακάτω δίνεται ένας πίνακας που περιέχει συγκεντρωμένες τις τιμές του μεταβολικού ρυθμού, ανάλογα με συγκεκριμένες δραστηριότητες, σύμφωνα με το πρότυπο ASHRAE 55-2010:

Πίνακας 3.3.1.1.1 : Τιμές ρυθμού μεταβολισμού κατά τη διάρκεια διαφόρων δραστηριοτήτων [19]

<u>Δραστηριότητα</u>	<u>Μεταβολικός ρυθμός</u>		
	Met	W/m ²	Btu/h ft ²
<u>Ανάπαυση</u>			
Ύπνος	0,7	40	13
Πλάγιασμα	0,8	45	15
Κάθισμα, ήσυχα	1,0	60	18
Στάση, ξεκούραση	1,2	70	22

Περπάτημα (σε επίπεδη επιφάνεια)

0,9 m/s, 3,2 km/h, 2,0 mph	2,0	115	37
1,2 m/s, 4,3 km/h, 2,7 mph	2,6	150	48
1,8 m/s, 6,8 km/h, 4,2 mph	3,8	220	70
<u>Δραστηριότητες γραφείου</u>			
Διάβασμα, καθιστός	1,0	55	18
Γράψιμο	1,0	60	18
Πληκτρολόγηση	1,1	65	20
Αρχειοθέτηση, καθιστός	1,2	70	22
Αρχειοθέτηση, όρθιος	1,4	80	26
Περπάτημα	1,7	100	31
Άρση, πακετάρισμα	2,1	120	39
<u>Οδήγηση, Πτήση</u>			
Αυτοκίνητο	1,0-2,0	60-115	18-37
Αεροπλάνο, κανονική πτήση	1,2	70	22
Αεροπλάνο, χειρισμοί προσγείωσης	1,8	105	33
Μαχητικό αεροσκάφος	2,4	140	44
Βαρύ όχημα	3,2	185	59
<u>Διάφορες επαγγελματικές δραστηριότητες</u>			
Μαγείρεμα	1,6-2,0	95-115	29-37
Καθαρισμός σπιτιού	2,0-3,4	115-200	37-63
Κάθισμα, βαριά κίνηση των άκρων	2,2	130	41
Δουλειά με μηχανή			
Πριόνισμα (σε πάγκο)	1,8	105	33
Ελαφριά (σε ηλεκτρική βιομηχανία)	2,0-2,4	115-140	37-44
Βαριά	4,0	235	74
Κουβάλημα σάκων 50 kg	4,0	235	74
Σκάψιμο και φτυάρισμα	4,0-4,8	235-280	74-88

Διάφορες δραστηριότητες αναψυχής

Χορός, κοινωνικός	2,4-4,4	140-255	44-81
Αεροβική/άσκηση	3,0-4,0	175-235	55-74
Τένις, μονό	3,6-4,0	210-270	66-74
Μπάσκετ	5,0-7,6	290-440	90-140
Πάλη, ανταγωνιστικός	7,0-8,7	410-505	130-160

Σε περίπτωση που κάποια δραστηριότητα δεν περιλαμβάνεται στον πίνακα, τα άτομα θα πρέπει να έχουν την κριτική ικανότητα να αντιστοιχίζουν τη δραστηριότητα που εκτελούν με μια παρόμοια δραστηριότητα των ανωτέρω.

Για πολλές δραστηριότητες, εκτός των καθιστικών, υπάρχει πιθανότητα ύπαρξης ενός σημαντικού εύρους διακύμανσης. Η τιμή εξαρτάται από το άτομο που εκτελεί την εργασία και από τις συνθήκες κάτω από τις οποίες εκτελείται, όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα.

Η εκτίμηση του μεταβολικού ρυθμού είναι αρκετά πολύπλοκη και για τα επίπεδα από 2-3 met και πάνω η ακρίβεια είναι μικρή, ειδικά αν υπάρχουν πολλοί τρόποι εκτέλεσης της δραστηριότητας [14].

Χρονικά σταθμισμένος μέσος όρος

Στην περίπτωση που ένα άτομο εκτελεί περισσότερες από μία δραστηριότητες, αλλά αυτές δεν ξεπερνούν τη μία ώρα, τότε έχουμε τον εξής τρόπο υπολογισμού. Παράδειγμα: Ένας άνθρωπος που μέσα σε μια ώρα ξοδεύει 30 λεπτά για σήκωμα/πακετάρισμα, 15 λεπτά για αρχειοθέτηση/ορθοστασία και 15 λεπτά για περπάτημα, έχει μεταβολικό ρυθμό που θα προκύψει κατά μέσο όρο ως εξής : $0,50 \times 2,1 + 0,25 \times 1,4 + 0,25 \times 1,7 = 1,8 \text{ met}$

Στην περίπτωση που οι δραστηριότητες ξεπερνούν τη μία ώρα, θεωρείται ότι έχουν ξεχωριστούς μεταβολικούς ρυθμούς.

Καθώς ο μεταβολικός ρυθμός αυξάνεται άνω του 1,0 met, η εξάτμιση του ιδρώτα παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στη θερμική άνεση. Το πρότυπο αυτό θα πρέπει να χρησιμοποιείται για δραστηριότητες, που ο μέσος όρος τους δεν ξεπερνά τα 2,0 met. Προγραμματισμένα ή μη διαλείμματα ξεκούρασης γίνονται συνήθως για να ρυθμίσουν το μεταβολικό ρυθμό, ώστε να μην ξεπερνάει τα 2,0 met.

Ο χρονικός μέσος όρος θα πρέπει να υπολογίζεται ξεχωριστά για ένα άτομο. Οι μεταβολικοί ρυθμοί διαφορετικών ανθρώπων σε ένα χώρο μπορεί να μην είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό ενός κοινού μέσου όρου μεταβολικού ρυθμού γι' αυτόν τον χώρο. Θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη το φάσμα των δραστηριοτήτων και οι περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν. Για παράδειγμα, οι πελάτες σε ένα εστιατόριο μπορεί να έχουν μεταβολικό ρυθμό κοντά στο 1,0 met, ενώ οι σερβιτόροι πιο κοντά στα 2,0

met. Κάθε μία ομάδα των παρευρισκομένων θα πρέπει να εξεταστεί χωριστά για τον προσδιορισμό των προϋποθέσεων που απαιτούνται για τη θερμική άνεση. Σε ορισμένες περιπτώσεις δεν είναι δυνατόν να προσφέρουμε ένα αποδεκτό επίπεδο ή το ίδιο επίπεδο άνεσης σε όλους [15] ,[20].

3.3.1.2 Μόνωση ένδυσης

Το ποσό της μόνωσης που παρέχεται σε έναν άνθρωπο από τον ρουχισμό που φοράει, αποτελεί ουσιαστικό παράγοντα της θερμικής άνεσης. Ένας άνθρωπος που φοράει πολλά ρούχα μπορεί να οδηγηθεί σε θερμικό στρες, ακόμα και αν το περιβάλλον δεν μπορεί να θεωρηθεί ζεστό. Επιπλέον, αν ο ρουχισμός δεν παρέχει επαρκή μόνωση σε ψυχρές περιβαλλοντικές συνθήκες, ένας άνθρωπος μπορεί να κινδυνέψει από κρύους τραυματισμούς, όπως κρυοπαγήματα ή υποθερμία [17].

Είναι πολύ σημαντικό για τα άτομα να μπορούν να προσαρμόζονται στο θερμικό περιβάλλον στο οποίο βρίσκονται με το να ελέγχουν το επίπεδο ρουχισμού τους (αφαιρώντας ή προσθέτοντας ρούχα ανάλογα με το αν ζεσταίνονται ή κρυώνουν αντίστοιχα). Εφόσον η ακατάλληλη ενδυμασία αποτελεί πιθανή αιτία θερμικής δυσφορίας, η σωστή επιλογή ρούχων εν ώρα εργασίας αποτελεί σημαντική προϋπόθεση θερμικής άνεσης για τους εργαζόμενους. Ωστόσο, πολλές εταιρίες αναστέλλουν τη δυνατότητα των εργαζομένων να κάνουν λογικές προσαρμογές στα ρούχα τους, καθώς απαιτούν από αυτούς να φορούν μια συγκεκριμένη στολή ή προσωπικό προστατευτικό εξοπλισμό. Είναι σημαντικό λοιπόν να γίνεται συνεχής αξιολόγηση του επιπέδου προστασίας των εξοπλισμών αυτών και νεότερων τύπων, που θα μπορούσαν να παρέχουν καλύτερες συνθήκες θερμικής άνεσης στους εργαζόμενους [17].

Σύμφωνα με το πρότυπο ASHRAE 55-2004, η μόνωση ρουχισμού (I_{cl}) μετράται σε clo, όπου $1\text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ ($0,88 \text{ }^\circ\text{F} \cdot \text{ft}^2 \cdot \text{h}/\text{Btu}$). Σύμφωνα με το ίδιο πρότυπο, υπάρχουν τρεις μέθοδοι υπολογισμού της μόνωσης ρουχισμού (I_{cl}) και θα πρέπει να χρησιμοποιούνται με αυτή της σειράς:

1^η μέθοδος:

Ο πίνακας 3.3.1.2.1 παρέχει μερικά κοινά σύνολα ένδυσης. Αν ο ρουχισμός ενός ατόμου αντιστοιχεί λογικά σε ένα από αυτά τα σύνολα, τότε μπορεί να χρησιμοποιήσει το αντίστοιχο I_{cl} .

2^η μέθοδος:

Ο πίνακας 3.3.1.2.2 περιέχει διαφορετικά και ξεχωριστά ενδύματα, τα οποία μπορούν να προστεθούν στους συνδυασμούς ρουχισμού του πίνακα 3.3.1.2.1. Για παράδειγμα, αν προστεθεί ένα μακρύ κολάν στο συνδυασμό 5, τότε θα έχουμε: $I_{cl} = 1.01 \text{ clo} + 0.15 \text{ clo} = 1.16 \text{ clo}$

3^η μέθοδος

Χρησιμοποιώντας τον πίνακα 3.3.1.2.2, μπορούμε να προσδιορίσουμε έναν συνδυασμό ρούχων, αποτελούμενο από τα ξεχωριστά ενδύματα, που αναγράφονται σε αυτόν. Για παράδειγμα, ένας συνδυασμός, που αποτελείται από παντελόνι εργασίας, μακρυμάνικο πουκάμισο φανελένιο, κοντομάνικη μπλούζα, αντρικό σλιπ, μπότες και κάλτσες ως την κνήμη έχει $I_{cl} = 0,30 + 0,34 + 0,08 + 0,04 + 0,10 + 0,03 = 0,89 \text{ clo}$. [15]

Οι παραπάνω πίνακες αφορούν ανθρώπους που βρίσκονται σε ορθοστασία. Η καθιστή στάση σώματος οδηγεί σε μείωση της θερμικής μόνωσης, λόγω της συμπίεσης των στρωμάτων αέρα μέσα στα ρούχα. Η μείωση αυτή μπορεί να αντισταθμιστεί με μόνωση, που παρέχεται από την καρέκλα. Στον πίνακα 3.3.1.2.3 αναγράφονται τα καθαρά αποτελέσματα, που μπορεί να έχουν κάποια είδη καρέκλας στον υπολογισμό του I_{cl} . Αυτά τα αποτελέσματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την προσαρμογή της μόνωσης των ενδυμάτων, υπολογισμένη με οποιαδήποτε από τις παραπάνω τρεις μεθόδους. Για παράδειγμα, η μόνωση των ρούχων που παρέχεται σε ένα άτομο που φορά το ρουχισμό 3 από τον πίνακα 3.3.1.2.1 και κάθεται σε μια εκτελεστική καρέκλα είναι $0,96 \text{ clo} + 0,15 \text{ clo} = 1,11 \text{ clo}$. Για μερικά είδη καρεκλών, υπάρχει ελάχιστη επίδραση στη μόνωση. Γι' αυτή την περίπτωση, για την περίπτωση που είναι δύσκολος ο προσδιορισμός του τύπου της καρέκλας, καθώς και για την περίπτωση που η δραστηριότητα του ανθρώπου περιέχει τόσο καθιστή στάση όσο και ορθοστασία, προτείνεται να μη γίνονται αλλαγές.

Οι παραπάνω πίνακες αναφέρονται, επίσης, σε ακίνητα άτομα. Η κίνηση μειώνει τη θερμική μόνωση, καθώς αέρας εισχωρεί στο εσωτερικό της ένδυσης από τα ανοίγματα των ρούχων. Αυτό το αποτέλεσμα ποικίλλει σημαντικά ανάλογα με τη φύση της κίνησης (π.χ. περπάτημα ή ανύψωση) και τη φύση του ρούχου (άνετο ρούχο έναντι στενού). Ένας τύπος που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για ένα άτομο που βρίσκεται σε κίνηση είναι :

$$I_{cl, \text{ active}} = I_{cl} \times (0,6 + 0,4/M) \quad 1,2 \text{ met} < M < 2,0 \text{ met} \quad (3.3.1.2.1)$$

όπου I_{cl} είναι η μόνωση ρουχισμού σε ακινησία και M ο ρυθμός μεταβολισμού σε met .

Όταν ένας άνθρωπος κοιμάται ή αναπαύεται σε ανακλινόμενη στάση, το κρεβάτι μπορεί να προσφέρει σημαντικό ποσό θερμικής μόνωσης. Εφόσον, όμως, είναι πολύ δύσκολο να υπολογιστεί αυτό το ποσό και οι επιθυμητές για ύπνο θερμικές συνθήκες περιβάλλοντος διαφέρουν από άτομο σε άτομο, ο κάθε άνθρωπος θα πρέπει να διαλέγει τα υλικά του κρεβατιού του, σύμφωνα με τις δικές του προτιμήσεις.

Για σχεδόν καθιστικές δραστηριότητες που φτάνουν περίπου το $1,2 \text{ clo}$, η επίδραση της αλλαγής της μόνωσης ρουχισμού είναι περίπου 6°C (11°F) ανά clo . Σύμφωνα με τον πίνακα 3.3.1.2.2, η προσθήκη ενός λεπτού μακρυμάνικου πουλόβερ, αυξάνει τη μόνωση κατά $0,25 \text{ clo}$. Η προσθήκη αυτής της μόνωσης θα μειώσει τη θερμοκρασία που μπορούμε να ανεχτούμε ώστε να είμαστε θερμικά άνετα κατά περίπου $6^\circ\text{C}/\text{clo} \times 0,25\text{clo} = 1,5^\circ\text{C}$ ($2,8^\circ\text{F}$). Το αποτέλεσμα είναι μεγαλύτερο για μεγάλους μεταβολικούς ρυθμούς [21].

Πίνακας 3.3.1.2.1: Θερμική μόνωση για διάφορους συνδυασμούς ρούχων [21]

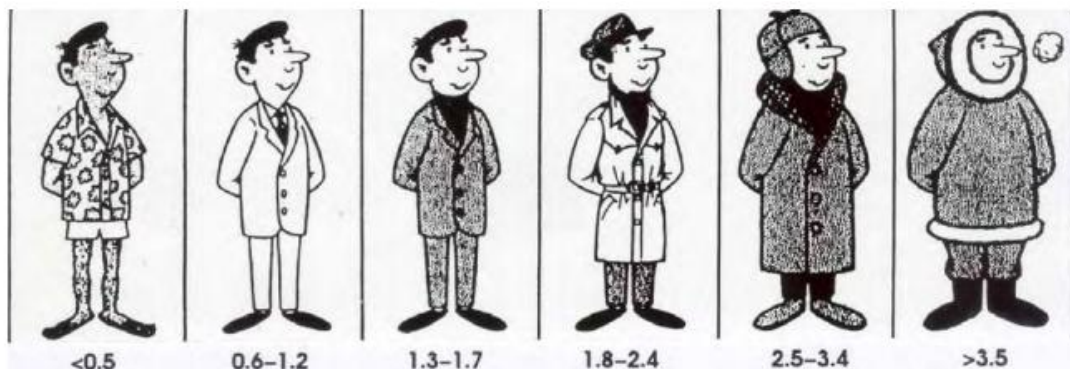
Περιγραφή ρουχισμού	ενδύματα που περιέχονται	I_{cl}
<u>Παντελόνι</u>	1) παντελόνι, κοντομάνικο πουκάμισο	0,57
	2) παντελόνι, μακρυμάνικο πουκάμισο	0,61
	3) # 2) συν σακάκι κουστουμιού	0,96
	4) # 2) συν σακάκι κουστουμιού, γιλέκο, κοντομάνικο μπλουζάκι	1,14
	5) # 2) συν μακρυμάνικο πουλόβερ, κοντομάνικο μπλουζάκι	1,01
	6) # 2) συν σακάκι κουστουμιού, μακρύ κολάν	1,30
<u>Φούστες/ φορέματα</u>	7) φούστα μέχρι το γόνατο, κοντομάνικο πουκάμισο (σανδάλια)	0,54
	8) φούστα μέχρι το γόνατο, μακρυμάνικο πουκάμισο, μακρύ κομπινεζόν	0,67
	9) φούστα μέχρι το γόνατο, μακρυμάνικο πουκάμισο, κοντό κομπινεζόν, μακρυμάνικο πουλόβερ	1,10
	10) φούστα μέχρι το γόνατο, μακρυμάνικο πουκάμισο, κοντό κομπινεζόν, σακάκι κουστουμιού	1,04
	11) φούστα μέχρι τον αστράγαλο, μακρυμάνικο πουκάμισο, σακάκι κουστουμιού	1,10
<u>σορτς</u>	12) βερμούδα, κοντομάνικο πουκάμισο	0,36
<u>φόρμες</u>	13) μακρυμάνικη ολόσωμη φόρμα, κοντομάνικο μπλουζάκι	0,72
<u>(και ολόσωμες)</u>	14) φόρμα, μακρυμάνικη μπλούζα, κοντομάνικο μπλουζάκι	0,89
	15) φόρμες με μόνωση, εσωθερμικά μακρυμάνικα μπλουζάκια και εσώρουχα	1,37
<u>Αθλητικά</u>	16) φόρμα γυμναστικής, μακρυμάνικη αθλητική μπλούζα	0,74
<u>Ρούχα ύπνου</u>	17) μακρυμάνικη μπλούζα πιτζάμας, μακρύ παντελόνι πιτζάμας, ρόμπα μήκους $\frac{3}{4}$ (παντόφλες, όχι κάλτσες)	0,96

Πίνακας 3.3.1.2.2: Θερμική μόνωση για διάφορα είδη ρούχων [21]

Περιγραφή ένδυσης	I _{cl} (clo)	Περιγραφή ένδυσης	I _{cl} (clo)
<u>Εσώρουχα</u>		<u>Φορέματα και φούστες</u>	
Στηθόδεσμος	0,01	Φούστα (λεπτή)	0,14
Γυναικεία κιλότα	0,03	Φούστα (χοντρή)	0,23
Αντρικό σλιπ	0,04	Αμάνικο, ανοιχτό στο λαιμό φόρεμα (λεπτό)	0,23
Κοντομάνικη μπλούζα	0,08	Αμάνικο, ανοιχτό στο λαιμό φόρεμα (χοντρό)	0,27
Κομπινεζόν κοντό	0,14	Κοντομάνικο φόρεμα (λεπτό)	0,29
Κολάν μακρύ	0,15	Μακρυμάνικο φόρεμα (λεπτό)	0,33
Κομπινεζόν μακρύ	0,16	Μακρυμάνικο φόρεμα (χοντρό)	0,47
Γυναικείο μπλουζάκι με μακρύ μανίκι	0,20		
<u>Είδη υπόδησης</u>		<u>Πουλόβερ</u>	
Αθλητικές κάλτσες ως τον αστράγαλο	0,02	Αμάνικο γιλέκο (λεπτό)	0,13
Γυναικεία κάλτσα/καλσόν	0,02	Αμάνικο γιλέκο (χοντρό)	0,22
Σανδάλια/δερμάτινα σανδάλια	0,02	Μακρυμάνικο (λεπτό)	0,25
Παπούτσια	0,02	Μακρυμάνικο (χοντρό)	0,36
Παντόφλες	0,03		
Κάλτσες ως την κνήμη	0,03		
Κάλτσες ως το γόνατο (χοντρές)	0,06		
Μπότες	0,10		
<u>Πουκάμισα και μπλούζες</u>		<u>Σακάκια και γιλέκα</u>	
Αμάνικη, ανοιχτή στο λαιμό μπλούζα	0,13	Αμάνικο γιλέκο (λεπτό)	0,10
Κοντομάνικο, πλεκτό, σπορ πουκάμισο	0,17	Αμάνικο γιλέκο (χοντρό)	0,17
Κοντομάνικο, επίσημο πουκάμισο	0,19	Μονόπετο σακάκι (λεπτό)	0,36
Μακρυμάνικο, επίσημο πουκάμισο	0,25	Μονόπετο σακάκι (χοντρό)	0,42
Μακρυμάνικο πουκάμισο φανελένιο	0,34	Σταυρωτό σακάκι (λεπτό)	0,44
Μακρυμάνικη αθλητική μπλούζα	0,34	Σταυρωτό σακάκι (χοντρό)	0,48
<u>Παντελόνια και ολόσωμες φόρμες</u>		<u>Ενδυμασία για τον ύπνο, ρόμπες</u>	
Κοντό σορτς	0,06	Αμάνικο, κοντό νυχτικό (λεπτό)	0,18
Βερμούδα	0,08	Αμάνικο, κοντό νυχτικό (χοντρό)	0,20
Ίσιο παντελόνι (λεπτό)	0,15	Κοντομάνικο νυχτικό νοσοκομείου	0,31
Ίσιο παντελόνι (χοντρό)	0,24	Κοντομάνικη κοντή ρόμπα (λεπτή)	0,34
Φόρμα γυμναστικής	0,28	Κοντομάνικες πιτζάμες (λεπτές)	0,42
Παντελόνι εργασίας	0,30	Μακρυμάνικο, μακρύ νυχτικό (χοντρό)	0,46
Ολόσωμη φόρμα	0,49	Μακρυμάνικη χοντρή ρόμπα (χοντρή)	0,46
		Μακρυμάνικες πιτζάμες (χοντρές)	0,48
		Μακρυμάνικη, μακριά ρόμπα (χοντρή)	0,57
			0,69

Πίνακας 3.3.1.2.3: Μόνωση για διάφορα είδη καρέκλας [21]

καρέκλα με δίχτυ ή μεταλλική :	0,00 clo
Ξύλινο σκαμνί :	0,01 clo
Τυπική καρέκλα γραφείου :	0,10 clo
Εκτελεστική καρέκλα:	0,15 clo



Εικόνα 3.3.1.2.1: Διαφορετικές τιμές μόνωσης ενδυμάτων [11]

3.3.2 Περιβαλλοντικοί παράγοντες

3.3.2.1 Θερμοκρασία αέρα

Ως θερμοκρασία αέρα ορίζεται η μέση θερμοκρασία του αέρα που περιβάλλει τον ένοικο σε έναν χώρο και σχετίζεται με την ώρα και την τοποθεσία. Σύμφωνα με το πρότυπο ASHRAE 55, η μέση τιμή που αφορά το χώρο λαμβάνει υπόψη τα επίπεδα αστραγάλου, μέσης και κεφαλιού, τα οποία ποικίλλουν για καθιστό ή όρθιο ένοικο. Η χρονική μέση τιμή βασίζεται σε τρίλεπτα διαστήματα με τουλάχιστον 18 ισαπέχοντα χρονικά σημεία. Η θερμοκρασία μετράται με ένα θερμόμετρο ξηρού βολβού, για το λόγο αυτό είναι επίσης

γνωστή και ως θερμοκρασία ξηρού βολβού dry-bulb Temperature (Tdb). Μπορεί να εκφραστεί σε βαθμούς Κελσίου °C, Φαρενάιτ °F ή Κέλβιν °K [14].

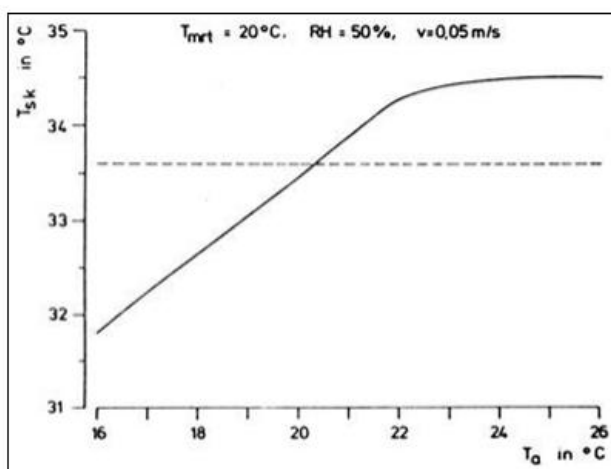
Οι παράμετροι που επηρεάζουν τη θερμοκρασία του αέρα μπορούν ουσιαστικά να ενταχθούν σε τρεις κατηγορίες: το εξωτερικό περιβάλλον, το σχεδιασμό του κτιρίου και το σύστημα θέρμανσης, αερισμού και κλιματισμού και είναι οι ακόλουθοι:

- Το εξωτερικό περιβάλλον
- Ο προσανατολισμός του κτιρίου
- Τα υλικά κατασκευής και θερμομόνωσης του κτιρίου
- Ο τρόπος αερισμού του κτιρίου (φυσικός ή μηχανικός)
- Ο τρόπος σχεδιασμού, κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης ενός μηχανικά αεριζόμενου κτιρίου
- Ο τρόπος σχεδιασμού ενός φυσικά αεριζόμενου κτιρίου
- Ο τρόπος σχεδιασμού, κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης του συστήματος θέρμανσης και ψύξης ενός κτιρίου
- Ο τύπος και ο αριθμός των ηλεκτρικών συσκευών, μηχανημάτων ή εξοπλισμού γραφείων που υπάρχουν στο κτίριο και παράγουν θερμότητα (π.χ. οθόνες Η/Υ)
- Ο τρόπος λειτουργίας του κτιρίου και των συστημάτων αερισμού, θέρμανσης και ψύξης από τους χρήστες του κτιρίου [22]

Το πρόβλημα που εντοπίζεται στη μελέτη της θερμοκρασίας ως παραμέτρου της θερμικής άνεσης έγκειται στο γεγονός ότι δεν υπάρχει μια τιμή της θερμοκρασίας που να αποτελεί τη βέλτιστη λύση, αλλά ένα πεδίο τιμών ως συνάρτηση και άλλων παραγόντων. Το σώμα μας αντιλαμβάνεται τη θερμοκρασία του αέρα (και των άλλων παραμέτρων του θερμικού περιβάλλοντος) από τα αισθητήρια όργανα του δέρματος και του υποθαλάμου, όπως προαναφέραμε, ρυθμίζοντας τη θερμοκρασία του. [23]

Πιο αναλυτικά, η θερμοκρασία επηρεάζει το ανθρώπινο σώμα και τις λειτουργίες ανταλλαγής ενέργειας υπό τη μορφή θερμότητας με το περιβάλλον. Η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα τείνει να μειώσει τις απώλειες θερμότητας με συναγωγή και ακτινοβολία, ενώ αυξάνονται οι απώλειες θερμότητας λόγω εξάτμισης του ιδρώτα. Η θερμοκρασία του αέρα επηρεάζει και τη μέση θερμοκρασία του δέρματος. Το φυσικό αυτό μέγεθος έχει εισαχθεί για την πληρέστερη αξιολόγηση της θερμικής άνεσης. Έρευνες του P. Horpe που πραγματοποιήθηκαν με τη βοήθεια του μαθηματικού μοντέλου M.E.M.I., κατέληξαν στη συσχέτιση της θερμοκρασίας του αέρα και της μέσης θερμοκρασίας του δέρματος. Όπως παρατηρούμε από το σχήμα 3.3.2.1.1, η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα t_a έως και τους 21°C, οδηγεί σε συνεχόμενη αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του δέρματος. Η περαιτέρω αύξηση της t_a ενεργοποιεί το μηχανισμό της εφίδρωσης με άμεση συνέπεια την ψύξη του δέρματος και γι αυτό το λόγο η κλίση της ευθείας του σχήματος 3.3.2.1.1 μειώνεται σημαντικά μετά τους 21°C. Η μέση θερμοκρασία δέρματος που θεωρείται ως φυσιολογική, σε αντιστοιχία με τη θερμοκρασία ισορροπίας του σώματός μας στους 37,6°C, είναι κοντά στους 33,5°C, όπως φαίνεται και από την οριζόντια γραμμή του

σχήματος 3.3.2.1.1. Για τη διατήρηση αυτής της μέσης θερμοκρασίας δέρματος η θερμοκρασία του αέρα θα πρέπει να είναι κοντά στους 20°C. [23]



Συνθήκες μετρήσεων: άνδρας 35 ετών, τύπος ρουχισμού = 1clo, καθιστική εργασία, μεταβολικός ρυθμός = 60W/m², μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας T_{mr} = 20 °C, σχετική υγρασία RH = 50%, ταχύτητα αέρα v = 0,05 m/s.

Σχήμα 3.3.2.1.1: Μέση θερμοκρασία δέρματος συναρτήσει της θερμοκρασίας αέρα [23]

Παρακάτω ακολουθεί και ένας πίνακας που δείχνει πώς επηρεάζεται η θερμοκρασία αέρα που παρέχει άνεση από τις συνθήκες μεταβολισμού και μόνωσης ρουχισμού.

Πίνακας 3.3.2.1.1: Θερμοκρασία άνεσης του αέρα σε σχέση με το ρουχισμό και το μεταβολισμό [23]

Εργασία	Μεταβολική δραστηριότητα [W]	Ρουχισμός [clo]	Θερμοκρασία άνεσης T _a (comf) [°C]	Συνθήκες μετρήσεων:
Ηρεμία	0	0,5	31	Θερμοκρασία αέρα = μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας, πίεση ατμών = 10 hPa, ταχύτητα αέρα = 0,1 m/s.
	0	1,0	29	
Καθιστική εργασία	43	0,5	27	
	43	1,0	23	
Ελαφριά εργασία	100	0,5	22	
	100	1,0	16	
Έντονη εργασία	20	0,5	12	

Ο προσδιορισμός της θερμοκρασίας άνεσης γενικότερα είναι δύσκολος, εξαιτίας κυρίως του μεγάλου αριθμού παραγόντων που επηρεάζουν τη διατήρηση μιας θερμοκρασίας σ' ένα χώρο και των παραγόντων που επηρεάζουν την αξιολόγηση αυτής της θερμοκρασίας ως άνετης ή όχι από το σώμα μας [23].

3.3.2.2 Υγρασία

Η υγρασία αποτελεί το ποσό των υδρατμών που υπάρχουν στον αέρα.

Η σχετική υγρασία (Relative Humidity RH), που, κυρίως χρησιμοποιείται στην αξιολόγηση της θερμικής άνεσης, είναι η αναλογία μεταξύ της πραγματικής ποσότητας των υδρατμών στον αέρα και του μέγιστου ποσού των υδρατμών που ο αέρας μπορεί να κρατήσει σε αυτή τη θερμοκρασία, δηλαδή το ποσό σε υδρατμούς του κορεσμένου αέρα. Μπορεί να εκφραστεί με διάφορους θερμοδυναμικές μεταβλητές, όπως πίεση ατμού, λόγος υγρασίας, θερμοκρασία του σημείου δρόσου. Ο χωρικός και χρονικός μέσος όρος προκύπτει κατά τον ίδιο τρόπο με τη θερμοκρασία του αέρα [14].

Η υγρασία σε εσωτερικά περιβάλλοντα μπορεί να διαφέρει σε μεγάλο βαθμό και μπορεί να εξαρτάται από το αν υπάρχουν διεργασίες ξήρανσης (χαρτοβιομηχανίες, πλυντήρια κλπ), όπου εκπέμπεται ατμός.

Η σχετική υγρασία επενεργεί στην εξάτμιση του νερού από την επιδερμίδα, μεταβάλλοντας τη θερμοκρασία του δέρματος και επηρεάζοντας το θερμικό ισοζύγιο του σώματος [23].

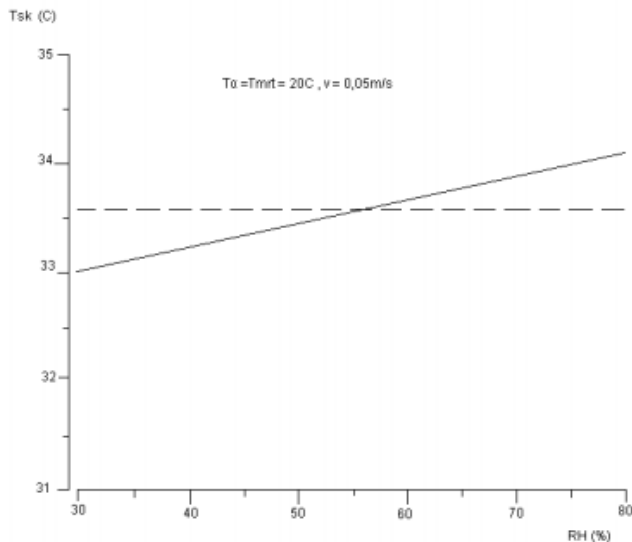
Σε περιβάλλοντα με πολύ υψηλή υγρασία, το μεγάλο ποσοστό ατμού στον αέρα εμποδίζει την εξάτμιση του ιδρώτα από το δέρμα. Σε θερμά περιβάλλοντα, η υγρασία είναι πολύ σημαντική, καθώς όταν η υγρασία είναι υψηλή (80% +), εξατμίζεται λιγότερος ιδρώτας. Σε τέτοιες περιπτώσεις αισθανόμαστε τον αέρα πιο ζεστό από ότι είναι στην πραγματικότητα και η ατμόσφαιρα μοιάζει να είναι κολλώδης. Αντίθετα, το μικρό περιεχόμενο υδρατμών του αέρα (σχετική υγρασία < 30%) καθιστά εφικτή την εξάτμιση μεγάλων ποσοτήτων υγρών, άρα και του ιδρώτα του δέρματος. [24]

Συνοπτικά, η υγρασία του αέρα επηρεάζει τους εξής τρεις μηχανισμούς του σώματός μας:

- το μηχανισμό διάχυσης των υγρών υπό τη μορφή αερίων του σώματός μας μέσω του δέρματος,
- το μηχανισμό εξάτμισης του ιδρώτα από την επιφάνεια του δέρματος και
- το μηχανισμό ύγρανσης του εισπνεόμενου αέρα.

Πέρα από τις παραπάνω επιδράσεις της υγρασίας, περαιτέρω έρευνες έχουν γίνει για τη σχέση των τιμών της σχετικής υγρασίας με το δέρμα και την αναπνευστική οδό.

Το σχήμα 3.3.2.2.1 παρουσιάζει τη μέση θερμοκρασία του δέρματος σε σχέση με τη μεταβολή της σχετικής υγρασίας. Στο διάγραμμα φαίνεται καθαρά η μικρή επίδραση της σχετικής υγρασίας στη μέση θερμοκρασία του δέρματος (50% μεταβολή σχετικής υγρασίας, επιφέρει μεταβολή 1,2 – 1,3°C της μέσης θερμοκρασίας δέρματος). [23]

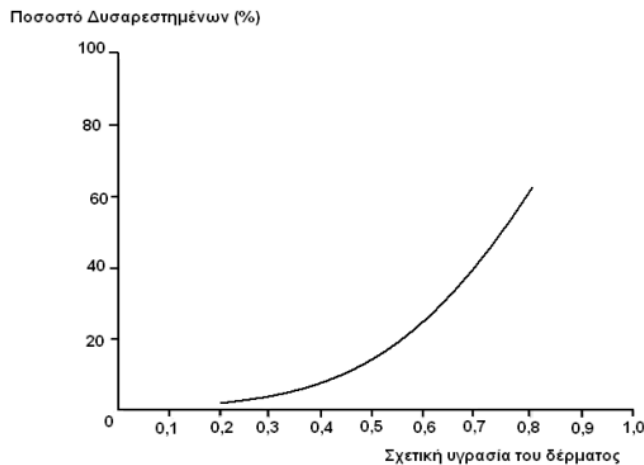


Συνθήκες μετρήσεων: άνδρας 35 ετών, τύπος ρουχισμού=1 clo, καθιστική εργασία, μεταβολικός ρυθμός=60W/m², μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας T_{mrt}=20°C= θερμοκρασία αέρα T_a, ταχύτητα αέρα v=0,05m/s.

Σχήμα 3.3.2.2.1: Μεταβολή της θερμοκρασίας του δέρματος ανάλογα με τη μεταβολή της σχετικής υγρασίας του αέρα [23]

Σε γενικές γραμμές, η ανοσοποιητική ικανότητα του δέρματος μειώνεται όταν το δέρμα δεν υγραίνεται επαρκώς. Από την άλλη μεριά, το αίσθημα της δυσαρέσκειας εμφανίζεται όταν το δέρμα είναι έντονα βρεγμένο, υπό την παρουσία υψηλών θερμοκρασιών, υψηλής σχετικής υγρασίας και δραστηριότητας εντονότερης της καθιστικής. Η έννοια της διαβροχής του δέρματος μελετάται από το 1937, χρονιά όπου ο Gagge έδωσε το παρακάτω ορισμό: 'η διαβροχή του δέρματος είναι η διαφορά μεταξύ της πραγματικής απώλειας θερμότητας λόγω εξάτμισης του ιδρώτα, προς τη μέγιστη που μπορεί να επιτευχθεί υπό τις ίδιες περιβαλλοντικές συνθήκες'. Εναλλακτικά, η διαβροχή του δέρματος μπορεί να οριστεί λαμβάνοντας υπόψη την επιφάνεια του σώματος που είναι καλυμμένο με ιδρώτα λόγω εφίδρωσης. Η διαβροχή του δέρματος δηλώνει την ένταση που επιβάλλεται στο θερμορυθμιστικό σύστημα του σώματος και αποτελεί πολύ καλό δείκτη δυσαρέσκειας.

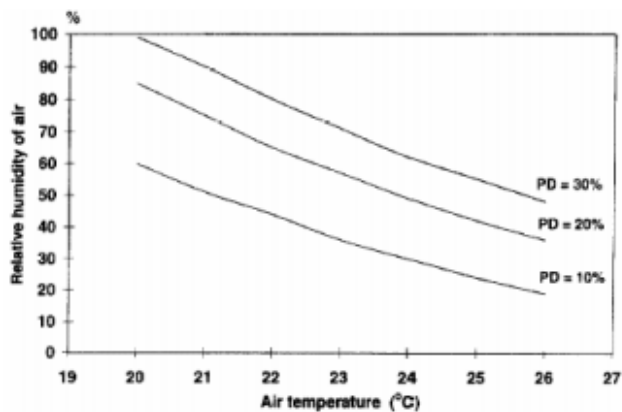
Οι παραπάνω μηχανισμοί μελετήθηκαν από τους Jorn Toftum, Anette S. Jorgensen, P.O. Fanger (1997) με στόχο τον προσδιορισμό του ορίου διαβροχής του δέρματος και των άνω ορίων σχετικής υγρασίας, ώστε να αποφευχθεί το αίσθημα της δυσαρέσκειας. Τα αποτελέσματα της παραπάνω μελέτης απέδειξαν ότι η κατάσταση του δέρματος είναι λιγότερη αποδεκτή καθώς αυξάνεται η σχετική υγρασία του δέρματος. Το σχήμα 3.3.2.2.2 αναπαριστά ακριβώς αυτό το συμπέρασμα [23].



Σχήμα 3.3.2.2.2: Ποσοστό δυσαρεστημένων χρηστών συναρτήσει της υγρασίας του δέρματος [23]

Έντονη είναι η επίδραση της υγρασίας του αέρα και στην αναπνευστική οδό για δύο λόγους: Πρώτον, οι βλεννώδεις μεμβράνες της αναπνευστικής οδού ψύχονται κατά την εισπνοή του αέρα. Η ψύξη αυτή παίζει κυρίαρχο ρόλο στην αντίληψη του θερμικού περιβάλλοντος. Δεύτερον, η αναπνευστική οδός δρα ως ένα σύστημα κλιματισμού που ρυθμίζει την υγρασία και τη θερμοκρασία του εισπνεόμενου αέρα, πριν αυτός φτάσει στους πνεύμονες. Το σημείο της αναπνευστικής οδού στο οποίο γίνεται ο κλιματισμός του αέρα, εξαρτάται από τη θερμοκρασία και το περιεχόμενο σε υδατμούς του εισπνεόμενου αέρα. Σε χαμηλούς ρυθμούς αναπνοής και τυπικές τιμές θερμοκρασίας και υγρασίας, ο κλιματισμός του αέρα γίνεται στο άνω μέρος της αναπνευστικής οδού. Να σημειωθεί ότι ο μηχανισμός της ψύξης μέσω του εισπνεόμενου αέρα είναι ένας πολύπλοκος μηχανισμός, κατά τον οποίο έχουμε ανταλλαγή ενέργειας υπό τη μορφή θερμότητας μέσω εξάτμισης και μεταφοράς. Σε υψηλή θερμοκρασία και υγρασία η ικανότητα της αναπνευστικής οδού για ψύξη του εισπνεόμενου αέρα μειώνεται και ο αέρας μοιάζει να είναι αποπνικτικός και θερμότερος απ' όσο πραγματικά είναι. Στην περίπτωση όπου η υγρασία του αέρα είναι πολύ χαμηλή, ο κίνδυνος να ξηραθούν οι βλεννώδεις μεμβράνες είναι μεγάλος. Η ξηρότητα των μεμβρανών μειώνει την προστατευτική τους ισχύ και ο καθαρισμός του αέρα, μαζί με τον κλιματισμό του ο οποίος γίνεται στην αναπνευστική οδό, πριν αυτός φτάσει στους πνεύμονες, δεν είναι δυνατός.

Στο σχήμα 3.3.2.2.3 παρουσιάζεται η σχέση μεταξύ υγρασίας και θερμοκρασίας αέρα σε σχέση με το ποσοστό 10, 20, 30% των δυσαρεστημένων θαμώνων σε ένα χώρο. Η δυσαρέσκεια αφορά σ' αυτή την περίπτωση μόνο την αίσθηση που προκαλεί ο αέρας στην αναπνευστική οδό. Το σχήμα 3.3.2.2.3 επιβεβαιώνει πλήρως τη σχέση μεταξύ υγρασίας, θερμοκρασίας και της θερμικής αίσθησης του αέρα κατά την αναπνοή [23].



Σχήμα 3.3.2.2.3: Διάγραμμα που συνδέει την αίσθηση που έχουν οι θαμώνες ενός χώρου για τον αέρα που αναπνέουν με τη θερμοκρασία του αέρα και τη σχετική του υγρασία [23]

Τα αποδεκτά όρια σχετικής υγρασίας του αέρα είναι λιγότερο σαφή από αυτά της θερμοκρασίας και το ανώτερο επιτρεπτό επίπεδό της εξακολουθεί ακόμη να βρίσκεται υπό μελέτη. Ωστόσο, όπως και στην περίπτωση της θερμοκρασίας του αέρα, τα αποδεκτά όρια της σχετικής υγρασίας για την επίτευξη θερμικής άνεσης εξαρτώνται από συνδυασμό παραμέτρων. Το ζήτημα της θερμικής άνεσης είναι, λοιπόν, πολυπαραγοντικό, με τη θερμοκρασία του αέρα, ιδιαίτερα, να παίζει κρίσιμο ρόλο στον προσδιορισμό της αποδεκτής σχετικής υγρασίας.

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 3.3.2.2.1 [23].

Πίνακας 3.3.2.2.1: Συνιστώμενες συνθήκες σχεδιασμού για κλιματιζόμενους χώρους σύμφωνα με την τεχνική οδηγία 2425/86 του Τ.Ε.Ε. [23]

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

3.3.2.3 Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας

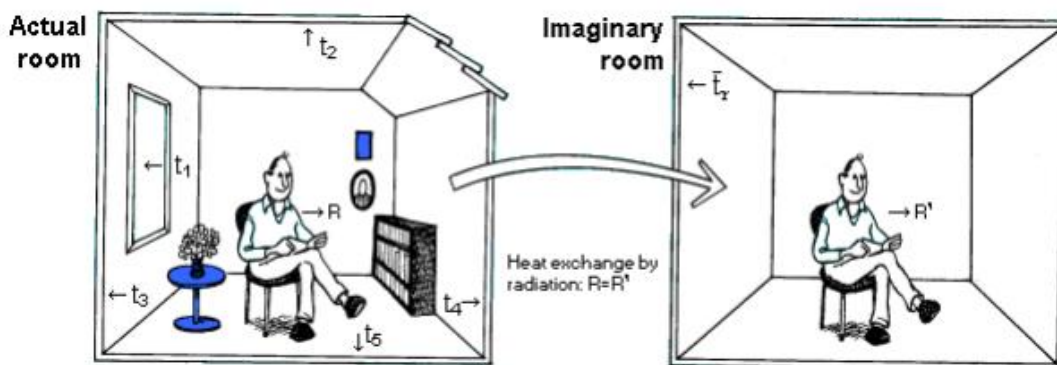
Θερμική ακτινοβολία είναι η θερμότητα που ακτινοβολεί (εκπέμπει) ένα θερμό αντικείμενο. Η θερμοκρασία ακτινοβολίας έχει μεγαλύτερη επιρροή από αυτή του αέρα στο πόσο χάνουμε ή κερδίζουμε ακτινοβολία σε ένα περιβάλλον. Παραδείγματα πηγών θερμοκρασίας ακτινοβολίας είναι: ήλιος, φωτιά, ηλεκτρική φωτιά, φούρνοι, κουζίνες, στεγνωτήρια, θερμές επιφάνειες και μηχανήματα, τηγμένα μέταλλα [17].

Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας γύρω από ένα αντικείμενο εξαρτάται από τις θερμοκρασίες και τις εκπομπές των γύρω επιφανειών, καθώς και από τον παράγοντα θέασης ή από την ποσότητα της επιφάνειας που «βλέπει» το αντικείμενο.

Όλα τα σώματα ανταλλάσσουν θερμική ακτινοβολία με τον περιβάλλοντα χώρο, ως αποτέλεσμα της διαφοράς της επιφανειακής τους θερμοκρασίας και της αποτελεσματικότητας εκπομπής ενέργειας ως θερμική ακτινοβολία. Αυτή η ανταλλαγή αποτελεί σημαντικό παράγοντα της θερμικής άνεσης και μπορεί να επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό το αίσθημα άνεσης ενός ανθρώπου που βρίσκεται σε ένα συγκεκριμένο σημείο με σημαντική διαφορά ακτινοβολίας και θερμοκρασίας αέρα, όπως για παράδειγμα κοντά σε ένα μεγάλο παράθυρο.

Ο υπολογισμός της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας είναι πολύ πολύπλοκη διαδικασία, ιδιαίτερα σε περίτεχνους χώρους, καθώς η γνώση των γεωμετρικών επιφανειών είναι περίπλοκη [25].

Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας ενός περιβάλλοντος ορίζεται ως η ομοιόμορφη θερμοκρασία μιας φανταστικής συμπαγούς μαύρης επιφάνειας (περιβλήματος) που θα είχε την ίδια απώλεια θερμότητας μέσω ανταλλαγής ακτινοβολίας με το άτομο, σε σχέση με την εξεταζόμενη επιφάνεια [26].



Εικόνα 3.3.2.3.1: Απεικόνιση του τρόπου υπολογισμού της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας[26]

Η σχέση προσδιορισμού είναι η σχέση (2.2.3.5.1) που αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Επίσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η σχέση:

$$T_{mr} = T_1 F_{p-1} + T_2 F_{p-2} + \dots + T_n F_p \quad (3.3.2.3.1)$$

όπου: T_1, T_2, \dots, T_n = οι θερμοκρασίες των επιφανειών που περικλείουν το χώρο και

$F_{p-1}, F_{p-2}, \dots, F_p$ = οι συντελεστές οι οποίοι ποικίλλουν ανάλογα με τη θέση του ατόμου στο χώρο και τη γωνία που σχηματίζει με τις επιμέρους επιφάνειες.

Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ο παρακάτω τύπος, ανάλογα με το ποσό ακρίβειας που χρειάζεται:

$$T_{mr} = (T_1 A_1 + T_2 A_2 + \dots + T_n A_n) / (A_1 + A_2 + \dots + A_n) \quad (3.3.2.3.2)$$

όπου T_1, T_2, \dots, T_n είναι οι θερμοκρασίες των επί μέρους επιφανειών και A_1, A_2, \dots, A_n τα εμβαδά τους [26].

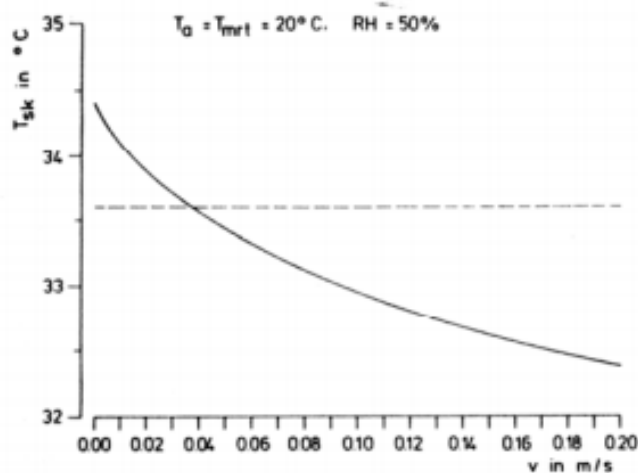
3.3.2.4 Ταχύτητα του αέρα

Σύμφωνα με το πρότυπο ANSI/ASHRAE 55 είναι η μέση ταχύτητα του αέρα, στην οποία το σώμα εκτίθεται και σχετίζεται με την τοποθεσία και την ώρα. Η χρονική μέση τιμή της ταχύτητας του αέρα είναι ίδια όπως και στη θερμοκρασία του αέρα. Το διάστημα όμως που υπολογίζεται ο μέσος όρος εκτείνεται έως και 3 λεπτά. Παραλλαγές που συμβαίνουν σε διάστημα μεγαλύτερο των 3 λεπτών, μπορούν να λογιστούν ως διαφορετικές τιμές ταχύτητας αέρα. Η χωρική μέση τιμή εφαρμόζεται με παραδοχή ότι το σώμα εκτίθεται σε συγκεκριμένη ταχύτητα αέρα. Ωστόσο, ορισμένοι χώροι ενδέχεται να παρέχουν μη ομοιόμορφα πεδία ταχύτητας αέρα και επομένως οι απώλειες θερμότητας από το δέρμα δεν μπορούν να θεωρηθούν ομοιόμορφες. Έτσι ο σχεδιαστής θα πρέπει να αποφασίσει τον κατάλληλο μέσο όρο, ειδικότερα συμπεριλαμβανομένων των επιπέδων ταχύτητας, που προσπίπτουν σε τμήματα του σώματος που δεν είναι καλυμμένα με ρούχα και τα οποία έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα ψύξης και τοπικής δυσφορίας [14].

Ο παράγοντας ταχύτητα του αέρα είναι πολύ σημαντικός γιατί :

- Σε ένα δωμάτιο που θερμαίνεται τεχνητά, οι άνθρωποι μέσα σε αυτό μπορεί να νιώσουν αποπνικτικά, αν ο αέρας στο δωμάτιο είναι ακίνητος ή στάσιμος. Επιπλέον, μπορεί να πραγματοποιηθεί πιο εύκολα συσσώρευση οσμών.
- Κινούμενος αέρας σε θερμές ή υγρές συνθήκες μπορεί να αυξήσει την απώλεια θερμότητας μέσω συναγωγής χωρίς καμία αλλαγή στη θερμοκρασία του αέρα.
- Η σωματική δραστηριότητα αυξάνει επίσης την κίνηση του αέρα, έτσι, η ταχύτητα του αέρα μπορεί να μεταβληθεί, εξαρτώμενη από το επίπεδο της φυσικής δραστηριότητας των ατόμων σε ένα χώρο.
- Μικρές κινήσεις του αέρα σε δροσερά ή κρύα περιβάλλοντα μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά την αίσθηση θερμικής άνεσης των ανθρώπων που είναι πολύ ευαίσθητοι [17]

Το ανθρώπινο σώμα δε διαθέτει ειδικά αισθητήρια όργανα για την ταχύτητα του αέρα. Αυτή προσδιορίζεται έμμεσα από τον ανθρώπινο εγκέφαλο, μέσω των μεταβολών της θερμοκρασίας στο δέρμα. Είναι προφανές ότι η ταχύτητα του αέρα επηρεάζει τις απώλειες θερμότητας του σώματος. Σε συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών και υψηλής σχετικής υγρασίας, η αύξηση της ταχύτητας του αέρα προσφέρει αυξημένες απώλειες θερμότητας με αποτέλεσμα ισορροπημένο θερμικό ισοζύγιο. Σε αντίθετη περίπτωση χαμηλής θερμοκρασίας, η αυξημένη ταχύτητα αέρα επιταχύνει τις απώλειες θερμότητας από το σώμα, έως και σε σημείο που να προκαλείται δυσφορία. Οι μεταβολές στη θερμοκρασία του σώματος από την ταχύτητα του αέρα είναι μάλλον απότομες, καθώς ο συντελεστής μετάδοσης θερμότητας δεν είναι γραμμικός. Στο σχήμα 3.3.2.4.1 φαίνεται η σχέση που συνδέει την ταχύτητα του αέρα και τη μέση θερμοκρασία δέρματος. Στις μικρές ταχύτητες, μικρές μεταβολές της ταχύτητας προκαλούν μεγαλύτερες απώλειες θερμότητας σε σχέση με τις ίδιες μικρές μεταβολές ταχύτητας σε υψηλότερες ταχύτητες αέρα [23].



Συνθήκες μετρήσεων: άνδρας 35 ετών, τύπος ρουχισμού=1 clo, καθιστική εργασία, μεταβολικός ρυθμός = 60W/m², μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας T_{mrt}=200 °C = θερμοκρασία αέρα T_a, σχετική υγρασία RH=50%

Σχήμα 3.3.2.4.1: Σχέση μεταξύ της ταχύτητας του αέρα v και της μέσης θερμοκρασίας του δέρματος T_{sk} [23]

Η ταχύτητα του αέρα σε φυσικά αεριζόμενα κτίρια είναι κοντά στα 0,1 m/s, ενώ στους χώρους όπου διατηρούν μηχανικό αερισμό η ταχύτητα του αέρα εμφανίζεται μεγαλύτερη

από τις ταχύτητες του σχήματος 3.3.2.4.1. Σύμφωνα με το πρότυπο ASHRAE 55 – 92 καθορίζεται η τιμή της ταχύτητας του αέρα για το καλοκαίρι και το χειμώνα (Πίνακας 3.3.2.4.1) [23].

Πίνακας 3.3.2.4.1: Τιμές της ταχύτητας του αέρα σε m/s κατά ASHRAE 55 – 92 [23]

Περίοδος	Τιμή ταχύτητας αέρα	Σχόλια
Χειμώνα	< 0,15	
Καλοκαίρι	< 0,25	
	<0,275 m/s ανά 10°C	Για θερμοκρασία αέρα >26°C
	<0,8	Για θερμοκρασία αέρα 28°C

Σύμφωνα με τις Τεχνικές Οδηγίες του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας, υπάρχουν κάποιες ενδεικνυόμενες τιμές ταχύτητας αέρα σε κλειστούς χώρους, οι οποίες φαίνονται στον παρακάτω πίνακα [23]:

Πίνακας 3.3.2.4.2: Ενδεικνυόμενες ταχύτητες αέρα σε κλειστούς χώρους (ΤΟΤΕΕ 2423/86). Οι ταχύτητες αναφέρονται στη ζώνη διαμονής ατόμων κάθε χώρου από το δάπεδο μέχρι 2m ύψος [23]

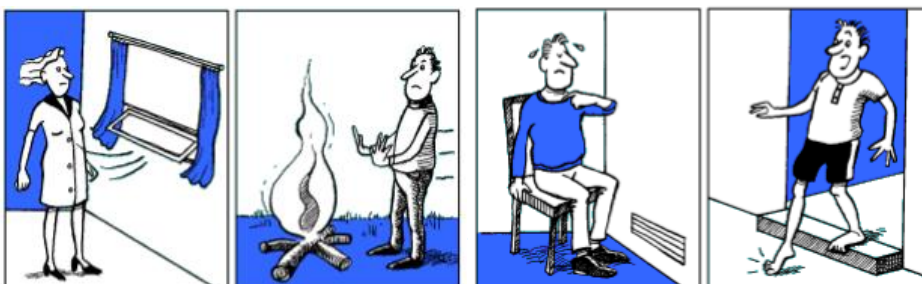
TACHYTHTA AERA (m/s)	ΕΠΙΔΡΑΣΗ	ΣΥΝΙΣΤΩΜΕΝΗ ΧΡΗΣΗ
0 - 0,08	Παράπονα για έλλειψη κίνησης του αέρα	
0,125	Ιδανική κατάσταση	
0,125 – 0,25	Πολύ ικανοποιητική κατάσταση, αλλά η ταχύτητα των 0,25m/s πλησιάζει τη μέγιστη	
0,325	Όχι ικανοποιητική για χώρους γραφείων. Ο αέρας παρασύρει τα ελαφριά χαρτιά	
0,375	Μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα για άτομα που κινούνται	Εμπορικά καταστήματα
0,375-0,5		Επιτρεπόμενη μόνο για βιομηχανικές εφαρμογές

3.4 Παράγοντες που προκαλούν τοπική θερμική δυσφορία.

Ακόμα κι αν ένα άτομο έχει την αίσθηση θερμικής ουδετερότητας, μέρη του σώματός του μπορεί να είναι εκτεθειμένα σε συνθήκες που προκαλούν θερμική δυσφορία. Αυτή η τοπική δυσφορία δεν μπορεί να απαλειφθεί με την αύξηση ή τη μείωση της θερμοκρασίας του χώρου. Είναι απαραίτητο να μετακινηθεί η αιτία της τοπικής υπερθέρμανσης ή ψύξης [26].

Γενικότερα, η τοπική θερμική δυσφορία μπορεί να ανήκει σε μία από τις παρακάτω κατηγορίες:

1. Τοπική ψύξη του σώματος, που δημιουργείται από ρεύμα αέρα
2. Ψύξη ή θέρμανση μέρους του σώματος λόγω ακτινοβολίας. Αυτό είναι γνωστό ως πρόβλημα ασύμμετρης ακτινοβολίας.
3. Ζεστό κεφάλι και κρύα πόδια την ίδια χρονική στιγμή, λόγω της μεγάλης κάθετης διαφοράς της θερμοκρασίας.
4. Ζεστά ή κρύα πόδια, λόγω μη άνετης θερμοκρασίας πατώματος.



Εικόνα 3.4.1: Παραδείγματα θερμικής δυσφορίας [26].

3.4.1 Ρεύμα αέρα

Το ρεύμα αέρα (draft) είναι η ανεπιθύμητη τοπική ψύξη του σώματος που προκαλείται από την κίνηση του αέρα και είναι το πιο συνηθισμένο παράπονο των ανθρώπων που βρίσκονται σε εσωτερικούς χώρους, κλιματιζόμενα κτίρια, οχήματα και αεροπλάνα. Ο άνθρωπος δεν μπορεί να αισθανθεί την ταχύτητα του αέρα, έτσι παραπονιέται στην πραγματικότητα για ανεπιθύμητη ψύξη του σώματος.

Η αίσθηση ρεύματος αέρα εξαρτάται από την ταχύτητα του αέρα, τη θερμοκρασία του αέρα, την ένταση στροβιλισμού, την δραστηριότητα και την ένδυση. Η ευαισθησία στο ρεύμα αέρα είναι μεγαλύτερη όταν το δέρμα δεν καλύπτεται από ρούχα, ειδικά στην περιοχή της κεφαλής (που περιλαμβάνει το κεφάλι, το λαιμό και τους ώμους) και την περιοχή των ποδιών (που περιλαμβάνει τη γάμπα, τους αστραγάλους και την πατούσα)[15].

Λόγω του τρόπου με τον οποίο λειτουργούν οι κρύοι αισθητήρες του σώματος, ο βαθμός δυσφορίας που αισθανόμαστε δεν είναι ανάλογος μόνο με την τοπική απώλεια θερμότητας, αλλά επηρεάζεται και από τη διακύμανση της θερμοκρασίας του δέρματος. Μια ροή αέρα υψηλά παραχώδης είναι περισσότερο ενοχλητική από μία με χαμηλά επίπεδα στροβιλισμού, και ως προκαλούν την ίδια απώλεια θερμότητας. Πιστεύεται ότι τα σήματα υπερβολικής δυσφορίας που στέλνονται από τους κρύους αισθητήρες προκαλούνται από τις απότομες εναλλαγές στη θερμοκρασία του δέρματος, που οφείλονται στις ταραχές της ροής του αέρα.

Γνωρίζουμε λίγο τι είδους διακυμάνσεις προκαλούν τη μεγαλύτερη ενόχληση. Αυτή η γνώση έχει ληφθεί με την υποβολή ομάδων ατόμων σε διάφορες συχνότητες ταχύτητας αέρα. Οι διακυμάνσεις με συχνότητα 0,5 Hz είναι οι πιο δυσάρεστες, ενώ συχνότητες άνω των 2Hz δεν γίνονται αισθητές.

Το ποσοστό των ανθρώπων που προβλέπεται να είναι δυσαρεστημένοι από το ρεύμα αέρα μπορεί να υπολογιστεί από την παρακάτω εξίσωση (Πρότυπο ISO 7730) :

$$DR = ((34-T_a)*(v-0.05)^{0.62})*(0.37*v*T_u+3.14) \quad (3.4.1.1)$$

όπου: DR είναι το ποσοστό των ανικανοποίητων ατόμων λόγω του ρεύματος αέρα

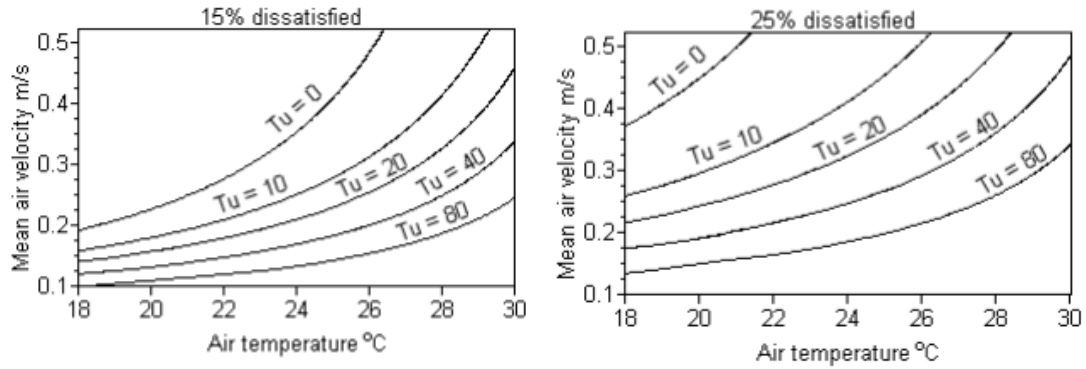
T_a είναι η τοπική θερμοκρασία περιβάλλοντος σε °C

v είναι η τοπική μέση ταχύτητα αέρα σε m/s

T_u είναι η τοπική ένταση διαταραχής σε ποσοστό επί τοις %

Η εξίσωση αυτή χρησιμοποιείται για ανθρώπους που ασχολούνται με μια ελαφριά κυρίως καθιστική δραστηριότητα και μια συνολική θερμική αίσθηση κοντά στην ουδέτερη [15], [26].

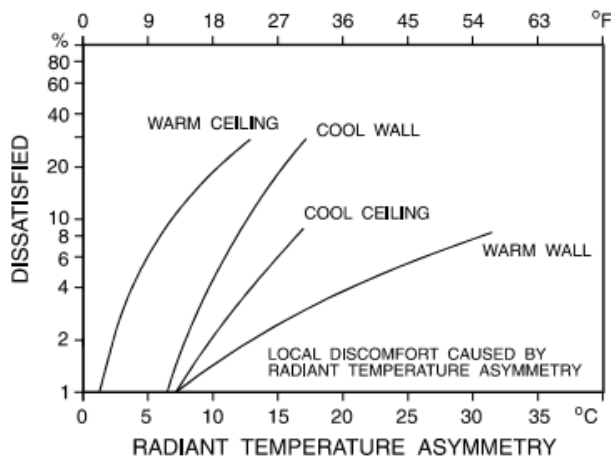
Ακολουθούν δύο διαγράμματα που απεικονίζουν το ποσοστό των δυσαρεστημένων συναρτήσει της μέσης θερμοκρασίας αέρα, της έντασης διαταραχής και της μέσης ταχύτητας αέρα:



Σχήμα 3.4.1.1: Ποσοστό δυσαρεστημένων συναρτήσει της μέσης θερμοκρασίας αέρα, της έντασης στροβιλισμού και της μέσης ταχύτητας αέρα. Τιμές ποσοστού δυσαρεστημένων: 15% και 25% [26]

3.4.2 Ασυμμετρία ακτινοβολίας

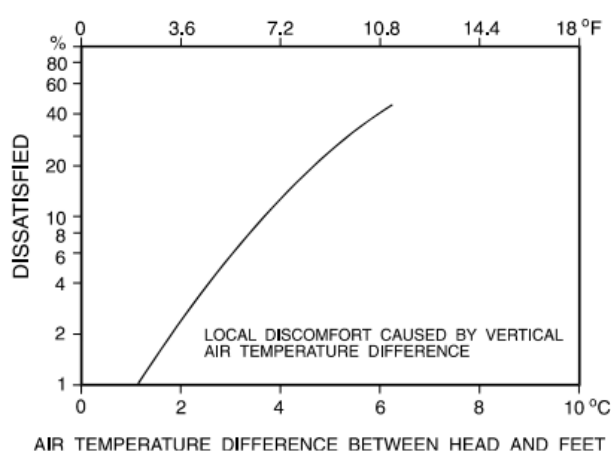
Το πεδίο θερμικής ακτινοβολίας γύρω από το σώμα μπορεί να είναι ανομοιογενές, λόγω θερμών ή κρύων επιφανειών και άμεσου ηλιακού φωτός. Αυτή η ασυμμετρία μπορεί να προκαλέσει τοπική δυσφορία και να κάνει το χώρο θερμικά μη αποδεκτό. Γενικά, οι άνθρωποι είναι περισσότερο ευαίσθητοι στην ασύμμετρη ακτινοβολία που προκαλείται από ένα ζεστό ταβάνι, από αυτή που προκαλείται από θερμές και κρύες κατακόρυφες επιφάνειες. Το παρακάτω σχήμα δείχνει το προβλεπόμενο ποσοστό των δυσαρεστημένων ατόμων σε ένα χώρο ως συνάρτηση της ασυμμετρίας της ακτινοβολουμένης θερμοκρασίας, που προκαλείται από μια θερμή οροφή, έναν κρύο τοίχο, μια κρύα οροφή και έναν θερμό τοίχο (ASHRAE STANDARD 55P) [15],[26].



Σχήμα 3.4.2.1: Ποσοστό ανικανοποίητων ανθρώπων λόγω των διαφορών αιτιών που προκαλούν ασυμμετρία στην ακτινοβολία [15]

3.4.3 Κάθετη διαφορά θερμοκρασίας

Η θερμική διαστρωμάτωση του αέρα, που έχει ως αποτέλεσμα η θερμοκρασία του αέρα στο επίπεδο της κεφαλής να είναι υψηλότερη από αυτή στο επίπεδο του αστραγάλου, μπορεί να προκαλέσει θερμική δυσφορία. Το σχήμα 3.4.3.1 παρουσιάζει το προβλεπόμενο ποσοστό των δυσαρεστημένων ανθρώπων σε ένα χώρο σε συνάρτηση με τη κάθετη διαφορά της θερμοκρασίας του αέρα μεταξύ κεφαλιού και αστραγάλου. Από το σχήμα παρατηρούμε ότι μια διαφορά θερμοκρασίας της τάξης των 3°C, προκαλεί δυσαρέσκεια στους θαμώνες ενός χώρου σε ποσοστό 5%. Η διαφορά των 3°C είναι μια συνήθης διαφορά σύμφωνα με το πρότυπο ISO 7730 για ένα άτομο που βρίσκεται σε καθιστική θέση ή δραστηριότητα [15],[26].



Σχήμα 3.4.3.1: Ποσοστό δυσαρεστημένων λόγω κάθετης διαφοράς θερμοκρασίας [15]

3.4.4 Θερμοκρασία της επιφάνειας πατώματος

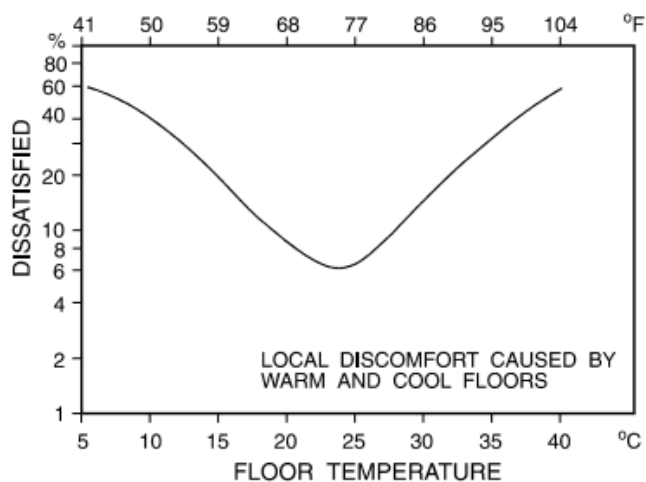
Λόγω της άμεσης επαφής που μπορεί να υπάρξει μεταξύ ποδιών και δαπέδου, πολύ συχνά μπορεί στην περιοχή των ποδιών να αισθανθούμε θερμική δυσφορία.

Το να μιλάμε για τοπική θερμική δυσφορία λόγω της θερμοκρασίας της επιφάνειας πατώματος είναι λάθος, αφού ο λόγος που προκαλεί αυτή τη δυσάρεστη κατάσταση είναι η απώλεια θερμότητας από τα πόδια. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την απώλεια αυτή είναι, εκτός από τη θερμοκρασία του δαπέδου, η αγωγιμότητα και η θερμική ισχύς του υλικού από το οποίο φτιάχνεται το πάτωμα και ο τύπος υποδήματος ή καλύμματος στα πόδια.

Η διαφορά στη θερμοχωρητικότητα και την αγωγιμότητα κάνει τα δάπεδα από φελλό να φαίνονται πιο ζεστά στην επαφή από τα μαρμάρια. Αν τα άτομα φορούν κανονικά υποδήματα εσωτερικού χώρου, το υλικό δαπέδου είναι λιγότερο σημαντικό. Ωστόσο, έχουν προσδιοριστεί κάποια επίπεδα που παρέχουν άνεση σε αυτή τη «φυσιολογική κατάσταση».

Αρκετά διαφορετικές συστάσεις ισχύουν για τα δάπεδα στα οποία ακουμπούν άτομα με γυμνά πόδια. Σε ένα μπάνιο η βέλτιστη θερμοκρασία είναι 29°C για ένα μαρμάρινο δάπεδο και 26°C για ξύλο με στρώση σκληρού λινελαίου. [26]

Το παρακάτω διάγραμμα δείχνει το ποσοστό των δυσαρεστημένων λόγω της θερμοκρασίας δαπέδου συναρτήσει της θερμοκρασίας δαπέδου.



Σχήμα 3.4.4.1: Ποσοστό των δυσαρεστημένων λόγω ψυχρών ή θερμών δαπέδων [15]

3.5 Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμική άνεση

3.5.1 Μεταβλητότητα από μέρα σε μέρα στις συνθήκες θερμικής άνεσης

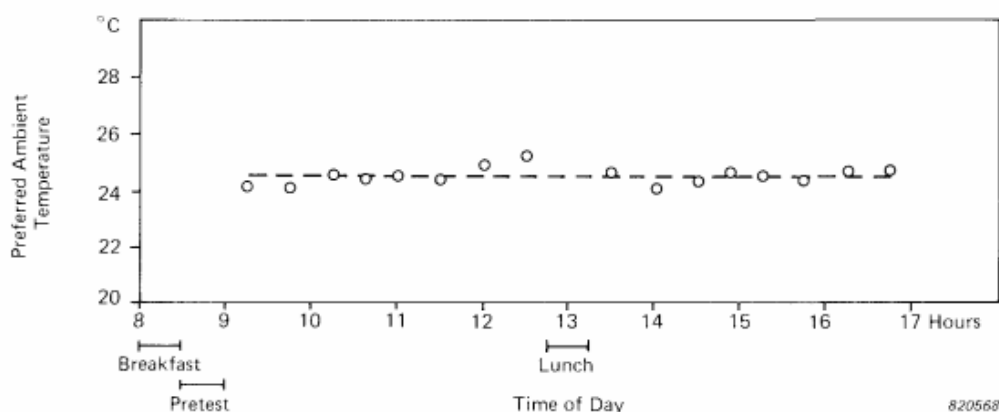
Στο ερώτημα πώς μπορούν να επαναλαμβάνονται οι προτιμώμενες συνθήκες θερμικής άνεσης για κάθε άτομο ήρθε η απάντηση από μια έρευνα που έγινε για τη μέτρηση της προτιμώμενης θερμοκρασίας θερμικής άνεσης κάτω από ταυτόσημες συνθήκες σε διάστημα 4 ημερών και παρατηρήθηκε απόκλιση της τάξης των 0,6°C. Συμπεραίνεται, λοιπόν, ότι οι συνθήκες άνεσης για το ίδιο άτομο διαφέρουν ελάχιστα από μέρα σε μέρα [7].

3.5.2 Μεταβλητότητα κατά τη διάρκεια της ημέρας

Θα ήταν λογικό να περιμέναμε ότι οι προτιμήσεις στις συνθήκες θερμικής άνεσης θα διαφοροποιούνται κατά τη διάρκεια της ημέρας, καθώς η θερμοκρασία του σώματος διαφέρει μέσα στις ώρες της ημέρας και, όπως έχει προαναφερθεί, παίρνει τη μέγιστη τιμή

της αργά το απόγευμα και την ελάχιστη νωρίς το πρωί. Μετά από μελέτη που έγινε σε 16 άτομα φάνηκε ότι οι προτιμώμενες θερμοκρασίες ανάμεσα στο πρωί και το απόγευμα δε διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους.

Επίσης, στο σχήμα 3.5.2.1 βλέπουμε τα αποτελέσματα μιας έρευνας που έγινε για την προτιμώμενη θερμοκρασία κατά τη διάρκεια μιας καθιστικής 8ωρης εργασίας. Μπορεί να φανεί από το διάγραμμα ότι υπάρχουν πολύ μικρές διαφορές κατά τη διάρκεια της ημέρας. Υπάρχει μια μικρή τάση προτίμησης πιο ζεστού περιβάλλοντος πριν από το μεσημεριανό γεύμα, αλλά καμία από τις διακυμάνσεις δεν μπορεί να θεωρηθεί σημαντική [7].



Σχήμα 3.5.2.1: Προτιμώμενη θερμοκρασία περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια 8ωρης εργασίας [7]

3.5.3 Ηλικία

Ενώ ο μεταβολικός ρυθμός πέφτει με το πέρας των χρόνων, αυτό αντισταθμίζεται από τη μείωση της δυνατότητας εφίδρωσης (Fanger 1970). Η απώλεια δια ακτινοβολίας και συναγωγής, που εξαρτώνται από το περιβάλλον παραμένουν σταθερές, οπότε δεν είναι λογικό να περιμένουμε ότι οι ηλικιωμένοι άνθρωποι θα απαιτούν υψηλότερες θερμοκρασίες προκειμένου να αισθανθούν άνετα. Αυτό αποδείχτηκε και πειραματικά και στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των ερευνών που έγιναν στη Δανία και στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής. Σε όλες τις έρευνες η ενδυμασία, η δραστηριότητα και οι υπόλοιπες συνθήκες πειράματος ήταν πανομοιότυπες. Παρατηρούμε πως οι ηλικιωμένοι άνθρωποι έχουν τις ίδιες προτιμήσεις με τους πιο νέους.

Το γεγονός ότι οι νέοι και οι ηλικιωμένοι προτιμούν το ίδιο θερμικό περιβάλλον δεν σημαίνει απαραίτητα ότι είναι εξίσου ευαίσθητοι όταν εκτίθενται σε κρύο (ή θερμότητα). Στην πράξη, το επίπεδο θερμοκρασίας περιβάλλοντος στα σπίτια των ηλικιωμένων είναι συχνά υψηλότερο από ότι των νεότερων ανθρώπων. Αυτό εξηγείται εύκολα από το χαμηλότερο επίπεδο δραστηριότητας των ηλικιωμένων, οι οποίοι συνήθως στέκονται και δεν δραστηριοποιούνται σημαντικά κατά το μεγαλύτερο μέρος της ημέρας [7], [27].

Πίνακας 3.5.3.1: Αποτελέσματα ερευνών για τη προτιμώμενη θερμοκρασία άνεσης συναρτήσει της ηλικίας [7]

Ερευνα	Μέση ηλικία (χρόνια)	Προτιμώμενη θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C)	Μέση θερμοκρασία δέρματος στην άνεση (°C)	Απώλεια βάρους λόγω εξάτμισης κατά την άνεση (g/m ² /hr)	Μέγεθος δείγματος
Nevins et al. [23]	21	25.6			720
Fanger [2]	23	25.6		19.2	128
Fanger [2]	68	25.7		15.3	128
Rohles and Johnson [30]	74	24.5			228
Fanger & Langkilde [5]	23	25.0	33.5	18.0	64
Langekilde [15]	84	25.4	33.2	12.4	16
Comfort equation, Fanger [2]		25.6			

Τα παιδιά έχουν υψηλότερους μεταβολικούς ρυθμούς και έτσι θα μπορούσε να θεωρηθεί πως ζητούν χαμηλότερες θερμοκρασίες για θερμική άνεση. Μια έρευνα που έγινε από τον Humphreys το 1972 δείχνει ότι τα παιδιά της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης που ασχολούνται με τις σχολικές δραστηριότητες απαιτούν μια θερμοκρασία άνεσης κοντά στους 18 ή 19°C. Τα επίπεδα θερμοκρασίας άνεσης των παιδιών της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης δε διαφέρουν σημαντικά από αυτά των ενηλίκων [7].

3.5.4 Φύλο

Πειράματα που έχουν γίνει σε άτομα που φορούν συγκεκριμένα ρούχα, δε δείχνουν καμία διαφορά μεταξύ των δύο φύλων στην προτιμώμενη θερμοκρασία για θερμική άνεση. Η θερμοκρασία του δέρματος των γυναικών και οι απώλειες λόγω εξάτμισης είναι ελαφρώς χαμηλότερες από αυτές των αντρών, όμως αυτό εξισορροπείται από το χαμηλότερο μεταβολικό ρυθμό των γυναικών. Περιστατικά έχουν δείξει ότι οι γυναίκες προτιμούν μια ελάχιστα μεγαλύτερη θερμοκρασία, όμως αυτό μπορεί να οφείλεται και στις συνήθειες ελαφρύτερου ρουχισμού τους. Ακολουθεί ένας πίνακας με τα αποτελέσματα μετά από πειράματα που έγιναν ανάμεσα σε άντρες και γυναίκες για τις συνθήκες θερμικής άνεσης [7], [27].

Πίνακας 3.5.4.1: Αποτελέσματα πειραμάτων για προτιμήσεις στη θερμική άνεση λόγω φύλου [7]

Έρευνα	Φύλο	Πρωτιμώμενη θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C)	Μέση θερμοκρασία δέρματος στην άνεση (°C)	Απώλεια βάρους λόγω εξάτμισης κατά την άνεση (g/m ² /hr)	Μέγεθος δείγματος
Nevins et al. [23] and Fanger [2] (both studies combined)	Άντρες	25.4			488
	Γυναίκες	25.8			488
Fanger & Langkilde [5]	Άντρες	25.0	33.6	19.5	32
	Γυναίκες	25.1	33.4	16.6	32
Comfort equation Fanger [2]		25.6			

3.5.5 Χρώμα και θόρυβος

Κατά τη διάρκεια της ενεργειακής κρίσης υπήρξε η ιδέα ότι η χρήση "ζεστών" χρωμάτων (κόκκινο και κίτρινο) στους τοίχους ή η χρήση πιο κοκκινωπού φωτισμού θα μπορούσε να οδηγήσει τους ανθρώπους στο να αισθάνονται ψυχολογικά πιο άνετα και έτσι η αίσθηση θερμικής άνεσης θα μπορούσε να διατηρηθεί σε χαμηλότερα επίπεδα θερμοκρασίας. Ομοίως, το καλοκαίρι θα ήταν κατάλληλο να χρησιμοποιούνται τα "κρύα" χρώματα ή μπλε φωτισμός. Μερικοί άνθρωποι έχουν μιλήσει ακόμη και για το "χρωματισμό" στα δωμάτια αντί για τον κλιματισμό τους. Δυστυχώς, η εξοικονόμηση ενέργειας φαίνεται να μην εμπλέκεται σε τέτοια μέτρα. Οι Fanger, P.O., Breum, N.O. και Jerking, έκαναν έρευνα σε αίθουσες με μπλε ή κόκκινο χρώμα αλλά δεν βρήκε καμία πρακτική διαφορά στην προτιμώμενη θερμοκρασία. Ούτε το επίπεδο θορύβου έχει ψυχολογική επίδραση στη θερμική άνεση των ανθρώπων. [7]

3.5.6 Διαφορές ανάλογα με την περιοχή

Σε διαφορετικές περιοχές του κόσμου, οι ανάγκες για θερμική άνεση μπορεί να διαφέρουν, ανάλογα με το κλίμα. Για παράδειγμα, στην Κίνα το κλίμα έχει καυτά καλοκαίρια και κρύους χειμώνες, προκαλώντας έτσι την ανάγκη για αποτελεσματική θερμική άνεση.

Στις τροπικές περιοχές της Βραζιλίας εμφανίζεται ένα φαινόμενο που ονομάζεται αστικά θερμικά νησιά (UHI). Αυτές είναι αστικές περιοχές που, λόγω της μεγάλης εισροής ανθρώπων, οι θερμικές τους συνθήκες έχουν αυξηθεί πάνω από τα όρια θερμικής άνεσης και η μόνη περίοδος που βρίσκονται μέσα στα όρια άνεσης είναι η περίοδος των βροχών.

Στην ζεστή υγρή περιοχή της Σαουδικής Αραβίας, η θερμική άνεση αποτελούσε ένα πολύ σημαντικό ζήτημα για τους πιστούς όταν πήγαιναν να προσευχηθούν στα τζαμιά. Τα τζαμιά είναι πολύ μεγάλα ανοικτά κτήρια που χρησιμοποιούνται μόνο περιοδικά καθιστώντας δύσκολο το σωστό αερισμό τους. Το μεγάλο μέγεθος απαιτεί μεγάλη ποσότητα αέρα, αλλά

αυτό απαιτεί επίσης μεγάλη ποσότητα ενέργειας, αφού τα κτήρια χρησιμοποιούνται μόνο για σύντομες χρονικές περιόδους. [14]

Από όλα τα παραπάνω που αναφέρθηκαν σε αυτό το κεφάλαιο, γίνεται εμφανές πως οι παράγοντες που επηρεάζουν την αίσθηση θερμικής άνεσης είναι ένας συνδυασμός προσωπικών παραγόντων, περιβαλλοντικών συνθηκών και ανθρώπινων διαφορών. Αυτός είναι και ο λόγος που καθιστά την αξιολόγηση ενός περιβάλλοντος ως θερμικά άνετο ή μη πολύ δύσκολη υπόθεση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο : Τρόποι υπολογισμού και αξιολόγησης της θερμικής άνεσης

4.1 Εισαγωγή

Η ικανοποίηση της εξίσωσης θερμικής άνεσης, την οποία έχουμε αναλύσει παραπάνω, είναι μια συνθήκη για την επίτευξη θερμικής ευεξίας. Ωστόσο, η εξίσωση αυτή παρέχει πληροφορίες μόνο για το πώς θα πρέπει να συνδυαστούν οι παράμετροι για να επιτευχθεί θερμική ευεξία. Δεν είναι κατάλληλη, όμως, για την εξακρίβωση της αίσθησης των ανθρώπων για ένα τυχαίο θερμικό περιβάλλον μέσα σε ένα κτίριο, όταν οι παράμετροι που επικρατούν σε αυτό δεν ικανοποιούν την εξίσωση της θερμικής άνεσης. Για το λόγο αυτό αναπτύχθηκαν κάποιοι δείκτες που κάνουν εύκολη την εξαγωγή συμπερασμάτων για την αίσθηση του θερμικού περιβάλλοντος που επικρατεί σε ένα χώρο. [12]

4.2 Φυσικά μεγέθη

4.2.1 Θερμοκρασία ξηρού βολβού T_{db} (dry-bulb temperature)

Η θερμοκρασία ξηρού βολβού αποτελεί ένα μέτρο της θερμοκρασίας του αέρα. Αναφέρεται ως θερμοκρασία ξηρού βολβού επειδή ο βολβός του θερμομέτρου είναι ξηρός και έτσι η καταγραφείσα θερμοκρασία δεν ποικίλλει ανάλογα με την περιεκτικότητα σε υγρασία του αέρα.

Η θερμοκρασία του ξηρού βολβού μπορεί να μετρηθεί με ένα θερμομόμετρο που είναι εκτεθειμένο στον αέρα, αλλά προστατεύεται από την ακτινοβολία και την υγρασία. [28]

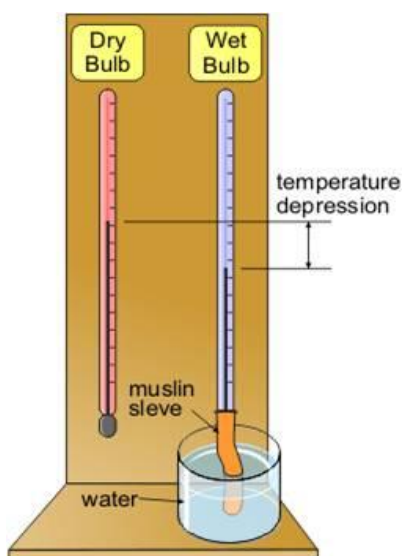
4.2.2 Θερμοκρασία υγρού βολβού T_{wb} (wet-bulb temperature)

Η θερμοκρασία υγρού βολβού είναι η θερμοκρασία που καταγράφεται από ένα θερμομόμετρο που έχει το βολβό του τυλιγμένο σε ύφασμα και υγραμένο με αποσταγμένο νερό. Μπορεί να εκφραστεί σε βαθμούς Celsius ($^{\circ}\text{C}$), Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$) ή Kelvin ($^{\circ}\text{K}$).

Ο ρυθμός εξάτμισης του νερού από τον υγρό βολβό και έτσι η θερμοκρασία που καταγράφει το θερμομόμετρο ποικίλλει, ανάλογα με την υγρασία του αέρα στον οποίο εκτίθεται. Όσο υψηλότερη είναι η υγρασία, τόσο μικρότερη είναι η ταχύτητα εξάτμισης και τόσο υψηλότερη είναι η καταγραφείσα θερμοκρασία. Οι θερμοκρασίες υγρού βολβού είναι οι ίδιες με τις θερμοκρασίες ξηρού βολβού σε σχετική υγρασία 100%, αλλά διαφορετικά θα

είναι χαμηλότερες από τις θερμοκρασίες ξηρού βολβού λόγω της ψύξης της εξάτμισης (που περιγράφεται ως κατάθλιψη υγρού βολβού).

Η θερμοκρασία του υγρού βολβού αποτελεί ένδειξη της θερμοκρασίας που γίνεται αισθητή όταν το υγρό δέρμα εκτίθεται στον αέρα και έτσι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εκφράσει ένα στοιχείο θερμικής άνεσης [29].



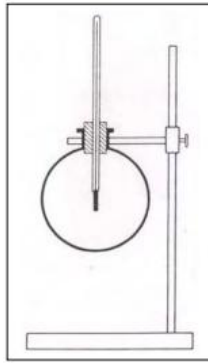
Εικόνα 3.2.2.1: Θερμόμετρα ξηρού και υγρού βολβού [30]

4.2.3 Θερμοκρασία σφαίρας T_g (globe temperature)

Το θερμόμετρο σφαίρας εισήχθη από τον Vernon το 1930 ως μέσο αξιολόγησης των συνδυασμένων αποτελεσμάτων της ακτινοβολίας, της θερμοκρασίας του αέρα και της ταχύτητάς του για τη θερμική άνεση.

Αποτελείται από μια κοίλη σφαίρα χαλκού βαμμένη ματ πίσω, ώστε να απορροφά την ακτινοβολούμενη θερμότητα, με έναν αισθητήρα θερμοκρασίας στο κέντρο της. Όταν φτάσει σε σταθερή κατάσταση (μετά από περίπου 15 λεπτά), οι εναλλαγές θερμότητας μέσω συναγωγής και ακτινοβολίας θα βρίσκονται σε ισορροπία και η θερμοκρασία που θα καταγραφεί από τον αισθητήρα θα είναι μεταξύ της θερμοκρασίας του αέρα και της θερμοκρασίας ακτινοβολίας. Αυτό αναφέρεται ως θερμοκρασία σφαίρας (T_g) ή θερμοκρασία του μαύρου σφαιριδίου και μοιάζει αρκετά με αυτή που αισθάνεται το ανθρώπινο σώμα [31].

Η τυποποιημένη σφαίρα έχει διάμετρο 150 mm. Υπάρχουν και άλλα μεγέθη, αλλά όσο μικρότερη είναι η διάμετρος της σφαίρας, τόσο μεγαλύτερη είναι η επίδραση της αγωγής στην καταγραφείσα θερμοκρασία. [11]



Εικόνα 4.2.3.1: Θερμόμετρο σφαίρας [11]

4.3. Σύνθετα μεγέθη

4.3.1 Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας T_{mr} (mean radiant temperature)

Αυτό το μέγεθος δεν μπορεί να μετρηθεί άμεσα, γνωρίζοντας όμως τα παραπάνω μεγέθη μπορούμε να την υπολογίσουμε. Για ακίνητο αέρα θεωρείται $T_{mr} = T_g$, αλλά είναι πολύ εύκολο να γίνει μια διόρθωση σε αυτή τη σχέση, όταν υπάρχει κίνηση του αέρα (v σε m/s):

$$T_{mr} = T_g * (1 + 2,35\sqrt{v}) - 2,35 * T_{db} \sqrt{v} \quad (4.3.1.1)$$

Οι επόμενες σχέσεις θεωρούνται πιο ακριβείς:

$$(T_{mr} + 273)^4 = (T_g + 273)^4 + 247 * 10^6 \sqrt{v} (T_g - T_{db}) \quad (4.3.1.2)$$

$$T_{mr} + 273 = [(T_g + 273)^4 + \frac{1,1 * 10^8 v^{0,6}}{\epsilon * d^{0,4}} (T_g - T_{db})]^{0,25} \quad (4.3.1.3)$$

όπου ϵ είναι η ικανότητα εκπομπής και d η διάμετρος του θερμομέτρου σφαίρας [11].

4.3.2 Ξηρή προκύπτουσα θερμοκρασία T_{dr} (dry resultant temperature)

Είναι ο μέσος όρος των τιμών της T_{mr} και της T_{db} [11]:

$$T_{dr} = \frac{1}{2} T_{mr} + \frac{1}{2} T_{db} \quad (4.3.2.1)$$

Αν η ταχύτητα αέρα $v > 0,1$ m/s, τότε ισχύει η σχέση:

$$T_{dr} = \frac{T_{mr} + T_{db} \sqrt{10 v}}{1 + \sqrt{10 v}} \quad (4.3.2.2)$$

4.3.3 Θερμοκρασία περιβάλλοντος T_{env} (environmental temperature)

Χρησιμοποιείται για να περιγράψει την ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ του "περιβαλλοντικού σημείου" και των εσωτερικών επιφανειών σε ένα δωμάτιο. Υπολογίζεται από τη σχέση (Danter, 1974, CIBSE, 1978) [11]:

$$T_{env} = \frac{2}{3} T_{mr} + \frac{1}{3} T_{db} \quad (4.3.3.1)$$

4.4 Δείκτες για χρήση σε εξωτερικούς χώρους

Οι παρακάτω δείκτες είναι κατάλληλοι για εφαρμογή σε χώρους εξωτερικού περιβάλλοντος, σε αντίθεση με τους δείκτες που θα δούμε στη συνέχεια (στα κεφάλαια 4.5 και 4.6), οι οποίοι έχουν φτιαχτεί κυρίως για χρήση σε εσωτερικό χώρο.

4.4.1 Αισθητή Θερμοκρασία

Η αίσθηση της θερμοκρασίας ή αισθητή θερμοκρασία είναι ένας δείκτης που λαμβάνει υπόψη τη ψυχολογική αίσθηση της ζέστης ή του ψύχους από το ανθρώπινο σώμα, σύμφωνα με κάποιους παράγοντες όπως η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία και η ταχύτητα του ανέμου [32].

Υπολογίζεται σύμφωνα με τους παρακάτω κανόνες:

1) Όταν η θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη των 27°C και η σχετική υγρασία υπερβαίνει το 40%, τότε υπολογίζεται ο δείκτης θερμότητας (heat index)

2) Όταν η θερμοκρασία είναι μικρότερη των 10°C και η ταχύτητα του ανέμου υπερβαίνει τα 5 km/h, τότε υπολογίζεται ο δείκτης ψυχρότητας (wind chill index).

Σε όλες τις υπόλοιπες περιπτώσεις, δεν υπολογίζεται η αισθητή θερμοκρασία. [33]

4.4.1.1 Δείκτης ζέστης (Heat Index (HI))

Είναι η θερμοκρασία που αισθάνεται το σώμα, όταν η θερμοκρασία του αέρα συνδυάζεται με την υγρασία. Η ποσότητα αυτή εκφράζει τη σημασία της υγρασίας για την εφίδρωση, άρα και για την αίσθηση θερμικής άνεσης. Όπως έχει προαναφερθεί, το ανθρώπινο σώμα αισθάνεται πιο ζεστά, όταν η αυξημένη τιμή της υγρασίας καθιστά δυσμενέστερη τη διαδικασία της εφίδρωσης, άρα της αποβολής θερμότητας από το δέρμα.

Για τον υπολογισμό του δείκτη είναι απαραίτητη η γνώση των τιμών της σχετικής υγρασίας και της θερμοκρασίας ξηρού βολβού.

Ο τύπος που μας δίνει αυτό το δείκτη είναι ο εξής:

$$HI = -42,379 + 2,04901523 T_{db} + 10,14333127 RH - 0,22475541 T_{db} RH - 6,83783 * 10^{-3} T_{db}^2 - 5,481717 * 10^{-2} RH^2 + 1,22874 * 10^{-3} T_{db}^2 RH + 8,5282 * 10^{-4} T_{db} RH^2 - 1,99 * 10^{-6} T_{db}^2 RH^2$$

(4.4.1.1.1)

όπου η θερμοκρασία είναι σε °F και η υγρασία επί τοις εκατό % [22]

Παρακάτω δίνεται ένας πίνακας που περιέχει τις τιμές του δείκτη HI για συγκεκριμένες τιμές σχετικής υγρασίας και θερμοκρασίας.

Ερμηνεία των χρωμάτων του πίνακα 4.4.1.1.1:

Ανοιχτό κίτρινο: προειδοποίηση (Εφικτή κόπωση ύστερα από παρατεταμένη έκθεση και δραστηριότητα. Η συνεχιζόμενη δραστηριότητα μπορεί να οδηγήσει σε κράμπες θερμότητας)

Σκούρο κίτρινο: προσοχή! (Οι θερμικές κράμπες η και εξάντληση λόγω θερμότητας είναι πιθανές. Η συνεχιζόμενη δραστηριότητα μπορεί να προκαλέσει θερμοπληξία.)

Πορτοκαλί: κίνδυνος (Οι θερμικές κράμπες και η εξάντληση της θερμοκρασίας είναι πιθανές. Η θερμοπληξία είναι πιθανή με τη συνέχιση της δραστηριότητας.)

Κόκκινο: μεγάλος κίνδυνος (Επικείμενη θερμοπληξία) [34]

Πίνακας 4.4.1.1.1: Τιμές HI συναρτήσει της σχετικής υγρασίας και της θερμοκρασίας ξηρού βολβού

		Temperature															
		80 °F (27 °C)	82 °F (28 °C)	84 °F (29 °C)	86 °F (30 °C)	88 °F (31 °C)	90 °F (32 °C)	92 °F (33 °C)	94 °F (34 °C)	96 °F (36 °C)	98 °F (37 °C)	100 °F (38 °C)	102 °F (39 °C)	104 °F (40 °C)	106 °F (41 °C)	108 °F (42 °C)	110 °F (43 °C)
R e l a t i v e h u m i d i t y	40%	80 °F (27 °C)	81 °F (27 °C)	83 °F (28 °C)	85 °F (29 °C)	88 °F (31 °C)	91 °F (33 °C)	94 °F (34 °C)	97 °F (36 °C)	101 °F (38 °C)	105 °F (41 °C)	109 °F (43 °C)	114 °F (46 °C)	119 °F (48 °C)	124 °F (51 °C)	130 °F (54 °C)	136 °F (58 °C)
	45%	80 °F (27 °C)	82 °F (28 °C)	84 °F (29 °C)	87 °F (31 °C)	89 °F (32 °C)	93 °F (34 °C)	96 °F (36 °C)	100 °F (38 °C)	104 °F (40 °C)	109 °F (43 °C)	114 °F (46 °C)	119 °F (48 °C)	124 °F (51 °C)	130 °F (54 °C)	137 °F (58 °C)	
	50%	81 °F (27 °C)	83 °F (28 °C)	85 °F (29 °C)	88 °F (31 °C)	91 °F (33 °C)	95 °F (35 °C)	99 °F (37 °C)	103 °F (39 °C)	108 °F (42 °C)	113 °F (45 °C)	118 °F (48 °C)	124 °F (51 °C)	131 °F (55 °C)	137 °F (58 °C)		
	55%	81 °F (27 °C)	84 °F (29 °C)	86 °F (30 °C)	89 °F (32 °C)	93 °F (34 °C)	97 °F (36 °C)	101 °F (38 °C)	106 °F (41 °C)	112 °F (44 °C)	117 °F (47 °C)	124 °F (51 °C)	130 °F (54 °C)	137 °F (58 °C)			
	60%	82 °F (28 °C)	84 °F (29 °C)	88 °F (31 °C)	91 °F (33 °C)	95 °F (35 °C)	100 °F (38 °C)	105 °F (41 °C)	110 °F (43 °C)	116 °F (47 °C)	123 °F (51 °C)	129 °F (54 °C)	137 °F (58 °C)				
	65%	82 °F (28 °C)	85 °F (29 °C)	89 °F (32 °C)	93 °F (34 °C)	98 °F (37 °C)	103 °F (39 °C)	108 °F (42 °C)	114 °F (46 °C)	121 °F (49 °C)	128 °F (53 °C)	136 °F (58 °C)					
	70%	83 °F (28 °C)	86 °F (30 °C)	90 °F (32 °C)	95 °F (35 °C)	100 °F (38 °C)	105 °F (41 °C)	112 °F (44 °C)	119 °F (48 °C)	126 °F (52 °C)	134 °F (57 °C)						
	75%	84 °F (29 °C)	88 °F (31 °C)	92 °F (33 °C)	97 °F (36 °C)	103 °F (39 °C)	109 °F (43 °C)	116 °F (47 °C)	124 °F (51 °C)	132 °F (56 °C)							
	80%	84 °F (29 °C)	89 °F (32 °C)	94 °F (34 °C)	100 °F (38 °C)	106 °F (41 °C)	113 °F (45 °C)	121 °F (49 °C)	129 °F (54 °C)								
	85%	85 °F (29 °C)	90 °F (32 °C)	96 °F (36 °C)	102 °F (39 °C)	110 °F (43 °C)	117 °F (47 °C)	126 °F (52 °C)	135 °F (57 °C)								
	90%	86 °F (30 °C)	91 °F (33 °C)	98 °F (37 °C)	105 °F (41 °C)	113 °F (45 °C)	122 °F (50 °C)	131 °F (55 °C)									
	95%	86 °F (30 °C)	93 °F (34 °C)	100 °F (38 °C)	108 °F (42 °C)	117 °F (47 °C)	127 °F (53 °C)										
100%	87 °F (31 °C)	95 °F (35 °C)	103 °F (39 °C)	112 °F (44 °C)	121 °F (49 °C)	132 °F (56 °C)											

Ακολουθεί ο πίνακας του δείκτη ζέστης, σύμφωνα με το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών-Ινστιτούτο Ερευνών Περιβάλλοντος:

Πίνακας 4.4.1.1.2: Πίνακας τιμών δείκτη HI και ερμηνεία του, σύμφωνα με το Αστεροσκοπείο Αθηνών [35]

ΔΕΙΚΤΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ - HEAT INDEX (C)																
	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
42°	48	50	52	55	57	59	62	64	66	68	71	73	75	77	80	82
41°	46	48	51	53	55	57	59	61	64	66	68	70	72	74	76	79
40°	45	47	49	51	53	55	57	59	61	63	65	67	69	71	73	75
39°	43	45	47	49	51	53	55	57	59	61	63	65	66	68	70	72
38°	42	44	45	47	49	51	53	55	56	58	60	62	64	66	67	69
37°	40	42	44	45	47	49	51	52	54	56	58	59	61	63	65	66
36°	39	40	42	44	45	47	49	50	52	54	55	57	59	60	62	63
35°	37	39	40	42	44	45	47	48	50	51	53	54	56	58	59	61
34°	36	37	39	40	42	43	45	46	48	49	51	52	54	55	57	58
33°	34	36	37	39	40	41	43	44	46	47	48	50	51	53	54	55
32°	33	34	36	37	38	40	41	42	44	45	46	48	49	50	52	53
31°	32	33	34	35	37	38	39	40	42	43	44	45	47	48	49	50
30°	30	32	33	34	35	36	37	39	40	41	42	43	45	46	47	48
29°	29	30	31	32	33	35	36	37	38	39	40	41	42	43	45	46
28°	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
27°	27	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
26°	26	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	39
25°	25	25	26	27	27	28	29	30	31	32	33	34	34	35	36	37
24°	24	24	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	33	34	34	35
23°	23	23	23	24	25	25	26	27	28	29	30	31	31	32	32	33
22°	22	22	22	22	23	24	25	25	26	27	27	28	29	30	30	31

< 29 C°	Καθόλου δυσφορία
30 - 34 C°	Ελαφρά αίσθηση δυσφορίας
35 - 39 C°	Έντονη αίσθηση δυσφορίας : να αποφεύνεται η έντονη κόπωση
40 - 45 C°	Υψηλή αίσθηση δυσφορίας : να αποφεύνεται η κόπωση
46 - 53 C°	Σημαντικός κίνδυνος : να αποφεύγεται κάθε δραστηριότητα
≥ 54 C°	Μεγάλος κίνδυνος για την υγεία: πιθανή καρδιακή προσβολή

4.4.1.2 Δροσιά ανέμου (Wind Chill Index (WCI))

Είναι η αίσθηση μείωσης της θερμοκρασίας του αέρα που έχει ο άνθρωπος, όταν το δέρμα του εκτίθεται σε ροή αέρα.

Καθώς το δέρμα χάνει θερμότητα λόγω συναγωγής, στην επιφάνεια του σχηματίζεται ένα μονωτικό οριακό στρώμα θερμού αέρα. Ο μετακινούμενος αέρας διαταράσσει αυτό το οριακό στρώμα, επιτρέποντας στον ψυχρό αέρα να αντικαταστήσει τον θερμό. Όσο ταχύτερη είναι η ταχύτητα του ανέμου, τόσο πιο εύκολα η επιφάνεια κρυώνει. Με άλλα λόγια, αισθανόμαστε πιο κρύο τον αέρα από ότι είναι στην πραγματικότητα, λόγω του ψυχρού αποτελέσματος του ανέμου πάνω στο δέρμα. [24]

ο τύπος μέσω του οποίου υπολογίζεται ο WCI είναι:

$$WCI = (10\sqrt{v} - v + 10,5) * (33 - T_a) \quad (4.4.1.2.1)$$

όπου v = η ταχύτητα του αέρα (m/s)

T_a = θερμοκρασία αέρα (T_{db}) σε °C

Παρακάτω ακολουθεί ο πίνακας 4.4.1.2.1, που περιλαμβάνει τιμές του δείκτη ψυχρότητας, σύμφωνα με το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών-Ινστιτούτο Ερευνών Περιβάλλοντος. Στην εικόνα 4.4.1.2.1 βλέπουμε την ερμηνεία των τιμών του δείκτη και τις επιπτώσεις στον ανθρώπινο οργανισμό:

Από +4 έως -6 C Κρύο Δυσάρεστη αίσθηση	Από -29 έως -56 C Ακραίο ψύχος Το εκτεθειμένο δέρμα παγώνει σε 1 λεπτό Επικίνδυνη κάθε εξωτερική δραστηριότητα
Από -7 έως -17 C Πολύ κρύο Πολύ δυσάρεστη αίσθηση	Κάτω από -56 C Συνθήκες απόλυτης ψύξης Αδυναμία επιβίωσης Το εκτεθειμένο δέρμα παγώνει σε μισό λεπτό
Από -18 έως -28 C Δριμύ ψύχος Το εκτεθειμένο δέρμα παγώνει σε 5 λεπτά Να αποφεύγεται κάθε εξωτερική δραστηριότητα	

Εικόνα 4.4.1.2.1: Ερμηνεία των τιμών του πίνακα 4.4.1.2.1 [36]

Πίνακας 4.4.1.2.1: Τιμές δείκτη WCI, σύμφωνα με το Αστεροσκοπείο Αθηνών [36]

ΔΕΙΚΤΗΣ ΨΥΧΡΟΤΗΤΑΣ - WIND CHILL (C)

κόμβοι	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
20°	20	20	20	19	19	19	19	19	19	18	18	18	18	18
19°	19	19	18	18	18	18	18	17	17	17	17	17	17	17
18°	18	18	17	17	17	16	16	16	16	16	15	15	15	15
17°	17	16	16	15	15	15	15	15	14	14	14	14	14	14
16°	16	15	15	14	14	14	13	13	13	13	13	12	12	12
15°	15	14	13	13	12	12	12	12	11	11	11	11	11	11
14°	14	13	12	12	11	11	11	10	10	10	10	10	9	9
13°	12	11	11	10	10	9	9	9	9	8	8	8	8	8
12°	11	10	9	9	8	8	8	7	7	7	7	7	6	6
11°	10	9	8	8	7	7	6	6	6	6	5	5	5	5
10°	9	8	7	6	6	5	5	5	4	4	4	4	3	3
9°	8	6	5	5	4	4	4	3	3	3	2	2	2	2
8°	6	5	4	4	3	3	2	2	2	1	1	1	1	0
7°	5	4	3	2	2	1	1	0	0	0	-1	-1	-1	-1
6°	4	3	2	1	0	0	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-3	-3
5°	3	1	0	-1	-1	-2	-2	-3	-3	-3	-3	-4	-4	-4
4°	2	0	-1	-2	-3	-3	-3	-4	-4	-5	-5	-5	-5	-6
3°	1	-1	-2	-3	-4	-4	-5	-5	-6	-6	-6	-7	-7	-7
2°	-1	-3	-4	-5	-5	-6	-6	-7	-7	-7	-8	-8	-8	-9
1°	-2	-4	-5	-6	-7	-7	-8	-8	-9	-9	-9	-10	-10	-10
0°	-3	-5	-6	-7	-8	-9	-9	-10	-10	-10	-11	-11	-11	-12
-1°	-4	-6	-8	-9	-9	-10	-10	-11	-11	-12	-12	-13	-13	-13
-2°	-6	-8	-9	-10	-11	-11	-12	-12	-13	-13	-14	-14	-14	-15
-3°	-7	-9	-10	-11	-12	-13	-13	-14	-14	-15	-15	-15	-16	-16
-4°	-8	-10	-11	-12	-13	-14	-15	-15	-16	-16	-17	-17	-17	-18
-5°	-9	-11	-13	-14	-15	-15	-16	-17	-17	-18	-18	-18	-19	-19
-6°	-10	-13	-14	-15	-16	-17	-17	-18	-19	-19	-19	-20	-20	-21
-7°	-11	-14	-15	-16	-17	-18	-19	-19	-20	-20	-21	-21	-22	-22
-8°	-13	-15	-17	-18	-19	-20	-20	-21	-21	-22	-22	-23	-23	-24
-9°	-14	-16	-18	-19	-20	-21	-22	-22	-23	-23	-24	-24	-25	-25
-10°	-15	-18	-19	-20	-21	-22	-23	-24	-24	-25	-25	-26	-26	-27
-11°	-16	-19	-21	-22	-23	-24	-24	-25	-26	-26	-27	-27	-28	-28
-12°	-17	-20	-22	-23	-24	-25	-26	-26	-27	-28	-28	-29	-29	-29
-13°	-19	-21	-23	-24	-26	-26	-27	-28	-29	-29	-30	-30	-31	-31
-14°	-20	-23	-24	-26	-27	-28	-29	-29	-30	-31	-31	-32	-32	-32
-15°	-21	-24	-26	-27	-28	-29	-30	-31	-31	-32	-33	-33	-33	-34
-16°	-22	-25	-27	-28	-30	-31	-31	-32	-33	-33	-34	-34	-35	-35
-17°	-23	-26	-28	-30	-31	-32	-33	-34	-34	-35	-35	-36	-36	-37
-18°	-25	-28	-30	-31	-32	-33	-34	-35	-36	-36	-37	-37	-38	-38
-19°	-26	-29	-31	-32	-34	-35	-36	-36	-37	-38	-38	-39	-39	-40
-20°	-27	-30	-32	-34	-35	-36	-37	-38	-38	-39	-40	-40	-41	-41
-21°	-28	-31	-33	-35	-36	-37	-38	-39	-40	-41	-41	-42	-42	-43
-22°	-29	-33	-35	-36	-38	-39	-40	-41	-41	-42	-43	-43	-44	-44
-23°	-30	-34	-36	-38	-39	-40	-41	-42	-43	-43	-44	-45	-45	-46
-24°	-32	-35	-37	-39	-40	-42	-43	-43	-44	-45	-46	-46	-47	-47
-25°	-33	-36	-39	-40	-42	-43	-44	-45	-46	-46	-47	-48	-48	-49
-26°	-34	-38	-40	-42	-43	-44	-45	-46	-47	-48	-48	-49	-50	-50
-27°	-35	-39	-41	-43	-44	-46	-47	-48	-48	-49	-50	-51	-51	-52
-28°	-36	-40	-43	-44	-46	-47	-48	-49	-50	-51	-51	-52	-53	-53
-29°	-38	-41	-44	-46	-47	-48	-49	-50	-51	-52	-53	-54	-54	-55
-30°	-39	-43	-45	-47	-49	-50	-51	-52	-53	-54	-54	-55	-56	-56
-31°	-40	-44	-46	-48	-50	-51	-52	-53	-54	-55	-56	-56	-57	-58
-32°	-41	-45	-48	-50	-51	-53	-54	-55	-56	-56	-57	-58	-59	-59
-33°	-42	-46	-49	-51	-53	-54	-55	-56	-57	-58	-59	-59	-60	-61
-34°	-44	-48	-50	-52	-54	-55	-56	-58	-58	-59	-60	-61	-62	-62
-35°	-45	-49	-52	-54	-55	-57	-58	-59	-60	-61	-62	-62	-63	-64

4.4.2 Δείκτης υγρασίας (Humidity Index (Humidex))

Ο humidex είναι ένας δείκτης, ο οποίος χρησιμοποιείται από Καναδούς μετεωρολόγους για την περιγραφή της αίσθησης των θερμικών συνθηκών, συνδυάζοντας την επιρροή της θερμότητας και της υγρασίας. Ο humidex είναι αδιάστατος αριθμός, που βασίζεται στη θερμοκρασία δρόσου, αλλά είναι ισοδύναμος με τη θερμοκρασία ξηρού βολβού σε °C. Για παράδειγμα αν η θερμοκρασία είναι 30°C και ο humidex υπολογίζεται σε 40°C, τότε αυτό υποδεικνύει ότι η θερμοκρασία υγρού βολβού γίνεται αισθητή ως θερμοκρασία ξηρού βολβού 40°C.

Σύμφωνα με τη Μετεωρολογική Υπηρεσία του Καναδά, τιμή του humidex τουλάχιστον 30°C προκαλεί «κάποια ενόχληση», τιμή τουλάχιστον 40°C προκαλεί «μεγάλη ενόχληση» και πάνω από 45°C είναι επικίνδυνη. Όταν ο humidex φτάσει την τιμή των 54°C, η θερμοπληξία είναι σχεδόν σίγουρη. Ο τύπος για τον υπολογισμό του humidex αναπτύχθηκε από τον J.M. Masterton και τον F.A. Richardson της Υπηρεσίας Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος του Καναδά, το 1979 [37].

Ο τύπος υπολογισμού είναι ο εξής:

$$\text{Humidex} = T_a + 0,5555 * (6,11 * e^{5417,7530 * (\frac{1}{273,16} - \frac{1}{T_d})} - 10) \quad (4.4.2.1)$$

όπου T_a = η θερμοκρασία περιβάλλοντος T_{db} σε °K

T_d = η θερμοκρασία δρόσου σε °K

Ακολουθεί ένας πίνακας με τις τιμές του δείκτη, ως αποτέλεσμα κάποιων συγκεκριμένων τιμών της θερμοκρασίας δρόσου και της θερμοκρασίας αέρα περιβάλλοντος.

Πίνακας 4.4.2.1: Χαρακτηριστικές τιμές Humidex [37]

		Humidex															
		Temperature (°C, for range 59–109 °F)															
		15	20	25	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	41	42	43
Dew point (°C)	10	16	21	26	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	42	43	44
	15	19	24	29	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	45	46	47
	20	—	28	33	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	49	50	51
	23	—	—	35	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	51	52	53
	24	—	—	36	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	52	53	54
	25	—	—	—	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	53	54	55
	26	—	—	—	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	54	55	56
	27	—	—	—	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	56	57	58
	28	—	—	—	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	57	58	59

Πίνακας 4.4.2.2: Ερμηνεία τιμών Humidex του πίνακα 4.4.2.1 [38]

20-29	Άνετα
30-39	Μικρή δυσφορία
40-45	Μεγάλη δυσφορία, αποφυγή άσκησης
> 45	Κίνδυνος, πιθανή θερμοπληξία

4.5 Εμπειρικοί Δείκτες

4.5.1 Αποτελεσματική Θερμοκρασία (Effective Temperature (ET))

Αναπτύχθηκε από τους Houghten και Yagloglou στα ερευνητικά εργαστήρια της ASHVE (American Society of Heating and Ventilating Engineers) στο Pittsburgh το 1923. Ορίζεται ως η θερμοκρασία μιας ακίνητης ατμόσφαιρας, κορεσμένων υδρατμών, η οποία, ελλείψει της ακτινοβολίας, θα παράγει το ίδιο αποτέλεσμα με την προς εξέταση ατμόσφαιρα.

Συνδυάζει έτσι το αποτέλεσμα της θερμοκρασίας ξηρού βολβού και της υγρασίας. Ήταν ο πιο διαδεδομένος δείκτης για τα επόμενα 50 χρόνια, όμως τώρα σιγά αντικαθίσταται. Προσδιορίζεται από τον τύπο:

$$ET = T_{db} - 0,4 * (T_{db} - 10) * \left(1 - \frac{RH}{100}\right) \quad (^\circ\text{C}) \quad (4.5.1.1)$$

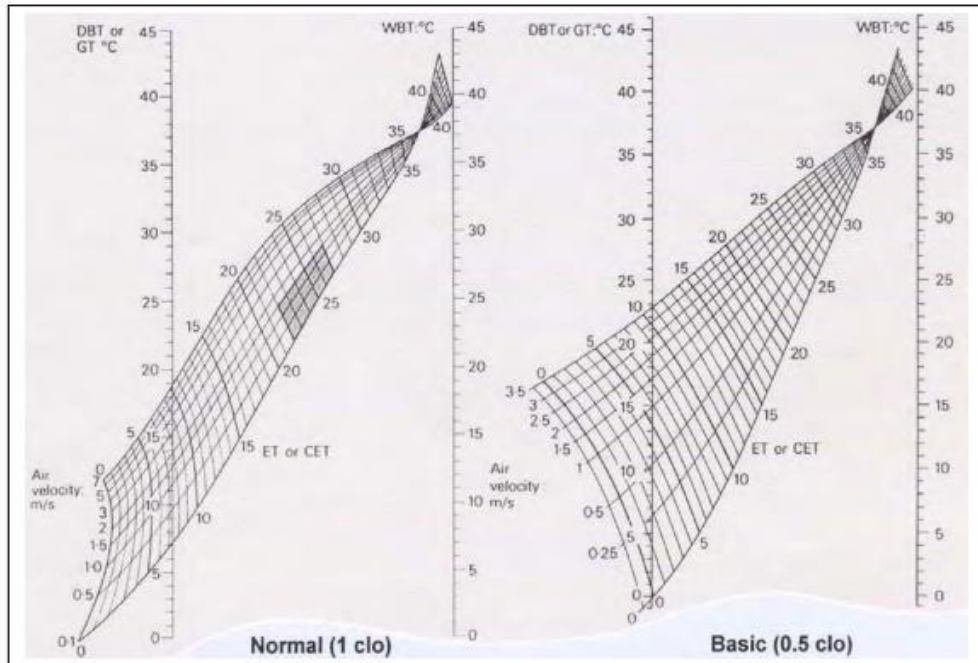
όπου T_{db} = η θερμοκρασία ξηρού βολβού και

RH = η σχετική υγρασία επί %

Ο Yagloglou το 1947 σημείωσε ότι η ET υπερεκτιμά την επίδραση της υγρασίας, ειδικά σε συνθήκες χαμηλότερης θερμοκρασίας. [11]

4.5.2 Διορθωμένη Αποτελεσματική Θερμοκρασία (Corrected Effective Temperature (CET))

Αποτελεί εξέλιξη του δείκτη ET. Ο Vernon το 1932 συμπεριέλαβε την επίδραση της ακτινοβολίας στο δείκτη ET, αντικαθιστώντας τις τιμές της θερμοκρασίας ξηρού βολβού με τη θερμοκρασία μαύρου σφαιριδίου. Αυτό έγινε γνωστό ως το νομόγραμμα CET. Καθώς η μόνωση ρουχισμού παίζει πολύ σημαντικό ρόλο και στην ακτινοβολία και στην ταχύτητα αέρα έχουμε δύο νομογράμματα, ένα για μόνωση 1clo και για άτομα που έχουν απογυμνωθεί από τη μέση και πάνω (0.5clo) [11]:



Σχήμα 4.5.2.1: Νομόγραμμα του δείκτη CET [11]

Οι παρακάτω εκφράσεις μας δίνουν τις τιμές του δείκτη CET και για τις δύο περιπτώσεις:

$$\text{Για } 1,0 \text{ clo:} \quad \text{CET} = (1,21 T_g - 0,21 T_{wb}) / [1+0,029 (T_g - T_{wb})] \quad (4.5.2.1)$$

$$\text{Για } 0,5 \text{ clo:} \quad \text{CET} = (0,944 T_g - 0,056 T_{wb}) / [1+0,022(T_g - T_{wb})] \quad (4.5.2.2)$$

Ο Smith το 1955 βρήκε πως για ζεστά περιβάλλοντα η επίδραση της υγρασίας είναι υποτιμημένη και πως οι δυσμενείς επιπτώσεις για ταχύτητες αέρα από 0,5 m/s έως 1,5m/s σε υψηλές θερμοκρασίες είναι υπερτιμημένες. Ο Givoni το 1963, ωστόσο, καθιέρωσε ότι πάνω από τους 32°C η κίνηση του αέρα προκαλεί αποτέλεσμα θέρμανσης μεγαλύτερο από αυτό που προτείνεται από το δείκτη ET [11].

4.5.3 Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού Σφαίρας (Wet Bulb Globe Temperature (WBGT))

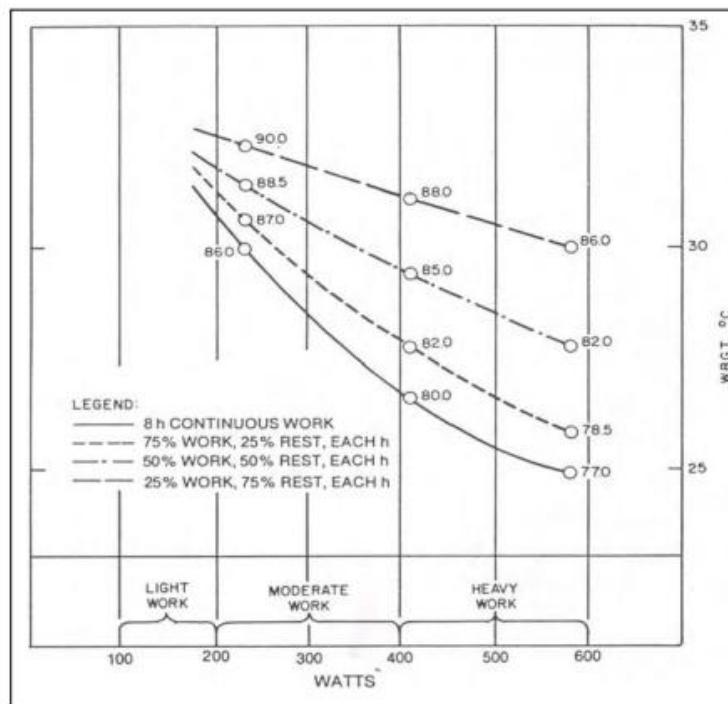
Αναπτύχθηκε από τους Yaglou και Minard (1957) και δείχνει τη συνδυασμένη επίδραση της θερμοκρασίας αέρα, της θερμότητας ακτινοβολίας χαμηλής θερμοκρασίας, της ηλιακής ακτινοβολίας και της κίνησης του αέρα.

Είναι ο σταθμισμένος μέσος όρος της θερμοκρασίας ξηρού βολβού (T_{db}), της θερμοκρασίας υγρού βολβού για φυσικό αερισμό (T_{wb}) και της θερμοκρασία σφαίρας (T_g) για χρήση σε εξωτερικό χώρο (συμπεριλαμβανομένης και της ηλιακής ακτινοβολίας). Για χρήση σε εσωτερικό χώρο δε χρησιμοποιείται η T_{db} . Ακολουθούν οι εξισώσεις που μας δίνουν το δείκτη WBGT [11]:

$$\text{Για εσωτερικό χώρο: } \text{WBGT} = 0.7 * T_{wb} + 0.3 * T_g \quad (4.5.3.1)$$

$$\text{Για εξωτερικό χώρο: } \text{WBGT} = 0.7 * T_{wb} + 0.2 * T_g + 0.1 * T_{db} \quad (4.5.3.2)$$

Η συσχέτιση μεταξύ WBGT και των επιτρεπόμενων ορίων έκθεσης σε θερμότητα παριστάνονται στο παρακάτω σχήμα (οι αριθμοί στις καμπύλες είναι σε °F):



Σχήμα 4.5.3.1: Επιτρεπόμενα όρια έκθεσης σε θερμότητα που προβλέπονται από το δείκτη WBGT [11]

4.5.4 Λειτουργική Θερμοκρασία (Operative Temperature (T_o))

Η λειτουργική θερμοκρασία προσδιορίζεται ως η ομοιόμορφη θερμοκρασία ενός φανταστικού μαύρου περιβλήματος, στο οποίο ένα άτομο θα μπορούσε να ανταλλάξει το ίδιο ποσό θερμότητας μέσω ακτινοβολίας και αγωγής, όπως στο κανονικό μη ομοιόμορφο περιβάλλον. Όταν η σχετική ταχύτητα αέρα είναι μικρή (<0,2 m/sec) και η διαφορά μεταξύ θερμοκρασίας αέρα ξηρού βολβού (T_{db}) και μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας (T_{mr}) είναι μικρότερη από 4°C, η λειτουργική θερμοκρασία μπορεί να υπολογιστεί ως ο μέσος όρος αυτών των δύο τιμών [21]:

$$T_o = (T_{db} + T_{mr}) / 2 \quad (4.5.4.1)$$

Για μεγαλύτερες ταχύτητες αέρα, η T_o υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$T_o = A \cdot T_{db} + (1 - A) \cdot T_{mr} \quad (4.5.4.2)$$

όπου η τιμή του A δίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 4.5.4.1: Τιμές συντελεστή A για την εξίσωση (4.5.4.2) [21]

v_{ar}	<0,2 m/s	0,2-0,6 m/s	0,6-1,0 m/s
A	0,5	0,6	0,7

Και η σχετική ταχύτητα αέρα δίνεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$v_{ar} = v + 0.005 \cdot (M - 58) \quad (4.5.4.3)$$

Οι Winslow, Herrington και Gagge έχουν δώσει τον εξής τύπο προσδιορισμού:

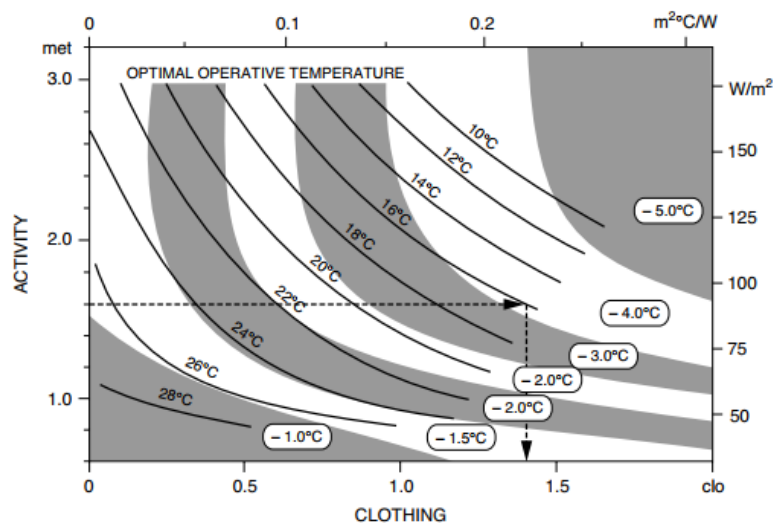
$$T_o = \frac{h_r \cdot T_{mr} + h_c \cdot T_{db}}{h_r + h_c} \quad (4.5.4.4)$$

όπου h_r και h_c είναι οι συντελεστές ακτινοβολίας και συναγωγής αντίστοιχα [11].

Εάν $T_{mr} = T_d$ και η κίνηση του αέρα είναι αμελητέα, τότε $T_o = T_{db}$

Ο δείκτης αυτός ενσωματώνει την επίδραση της θερμοκρασίας αέρα περιβάλλοντος και της ακτινοβολίας, αλλά αγνοεί την κίνηση του αέρα και την υγρασία [11].

Για δεδομένες τιμές υγρασίας, ταχύτητας αέρα μεταβολικού ρυθμού και μόνωσης ρουχισμού μπορεί να προσδιοριστεί μία ζώνη άνεσης. Η ζώνη άνεσης προσδιορίζεται σε ένα εύρος της λειτουργικής θερμοκρασίας (του συνδυασμού δηλαδή της θερμοκρασίας αέρα και της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας) στο οποίο οι άνθρωποι αισθάνονται θερμικά άνετα. [20]



Σχήμα 4.5.4.1: Βέλτιστη τιμή της λειτουργικής θερμοκρασίας για διάφορους συνδυασμούς ρούχων και δραστηριότητας [20]

4.5.5. Ισοδύναμη Θερμοκρασία (Equivalent Temperature (T_{eq}))

Αυτός ο δείκτης εισήχθη το 1932 από τον Dufton και η χρήση του περιγράφηκε από τον Bedford το 1951. Ο ορισμός αυτής της θερμοκρασίας είναι: η θερμοκρασία ενός ομοιόμορφου περιβλήματος με ακίνητο αέρα στο οποίο ένα σημαντικό σε μέγεθος μαύρο σώμα στους 24°C (75°F) θα έχανε θερμότητα με τον ίδιο ρυθμό με αυτόν που εξετάζεται στην πραγματικότητα. Ο Bedford ανέπτυξε την παρακάτω εξίσωση:

$$T_{eq} = 0,522T_{db} + 0,478T_{mr} - 0,0147 * \sqrt{v} * (100 - T_{db}) \quad (4.5.5.1)$$

όπου T_{db} = θερμοκρασία αέρα (°F)
 T_{mr} = μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας (°F)
 v = ταχύτητα αέρα (ft/min)

ή

$$T_{eq} = 0,522T_{db} + 0,478T_g + \sqrt{v} * (0,0808 T_g - 0,0661T_{db} - 1,474) \quad (4.5.5.2)$$

όπου T_g = θερμοκρασία σφαίρας (°F)

ή

$$T_{eq} = 0,522*T_{db} + 0,478*T_{mr} - 0,21 * \sqrt{v} * (37,8 - T_{db}) \quad (SI) \quad (4.5.5.3)$$

Αυτός ο δείκτης δεν λαμβάνει υπόψη την υγρασία, επομένως είναι ακατάλληλος για θερμοκρασίες ανώτερες από 24°C, καθώς σε αυτά τα επίπεδα η επιρροή της υγρασίας γίνεται όλο και πιο σημαντική [11].

4.5.6 Ισοδύναμη Ζεστασιά (Equivalent Warmth (W_{eq}))

Αυτός ο δείκτης βελτιώθηκε από τον Bedford. Ο ορισμός του είναι: η θερμοκρασία ενός ομοιόμορφου περιβάλλοντος με $T_{db}=T_{mr}$, με ακίνητο αέρα και υγρασία 50%, το οποίο παράγει την ίδια αίσθηση ζεστασιάς με το πραγματικό περιβάλλον. Μοιάζει πολύ με το δείκτη ET* που θα δούμε στη συνέχεια.

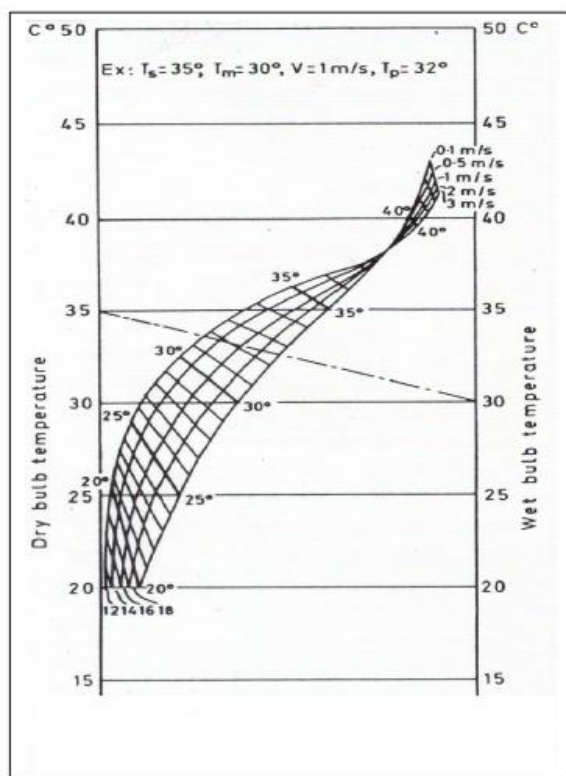
Θεωρείται αξιόπιστος εντός του εύρους άνεσης και έως και τους 35 ° C με χαμηλές τιμές υγρασίας ή έως τους 30 ° C με υψηλές τιμές υγρασίας. Υποτιμά το φαινόμενο ψύξης της κίνησης του αέρα σε υψηλά επίπεδα υγρασίας και δεν μελετά το ρουχισμό και το επίπεδο δραστηριότητας [11].

4.5.7 Προκύπτουσα Θερμοκρασία (Resultant Temperature (RT))

Ο δείκτης αναπτύχθηκε από τον Missénard στη Γαλλία. Βασίζεται στις μετρήσεις και τις ψήφους των ατόμων σε μια αίθουσα δοκιμών μετά από ένα διάστημα προσαρμογής μισής ώρας. Έρχεται σε αντίθεση με την κλίμακα ET, η οποία μετρά στιγμιαίες αντιδράσεις και αποτελεί βελτίωσή της, μόνο όμως για συνθήκες ανάπαυσης ή χαμηλής δραστηριότητας. Το νομόγραμμά του μοιάζει με αυτό του δείκτη ET. Είναι αξιόπιστο για μέτρια κλίματα, αλλά όχι για τροπικά δεδομένου ότι υποτιμά το φαινόμενο ψύξης της κινήσεως του αέρα σε

θερμοκρασίες άνω των 35 ° C και πάνω από 80% RH, ενώ σε χαμηλότερες τιμές της RT, η επίδραση της κίνησης του αέρα υπερεκτιμάται.

Ο Givoni (1969) διαπίστωσε ότι η RT είναι πιο αντιπροσωπευτική όσον αφορά τις φυσιολογικές αποκρίσεις των ανθρώπων στο θερμικό περιβάλλον, σε σύγκριση με την ET, αν και κάτω από τους 30 ° C υπάρχει ελαφρά υπερεκτίμηση των επιπτώσεων της υγρασίας [11].



Σχήμα 4.5.7.1: Νομόγραμμα δείκτη RT [11]

4.5.8 Δείκτης Άνεσης του Ισημερινού (Equatorial Comfort Index (ECI))

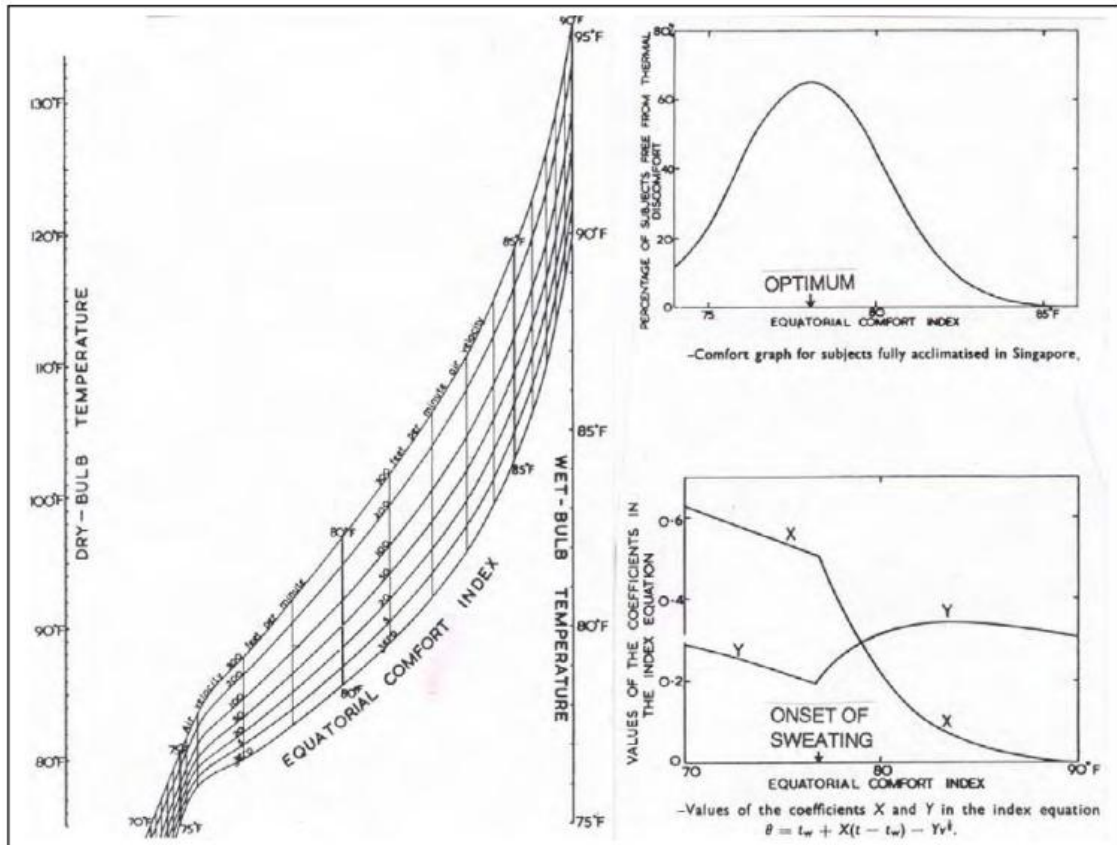
Αναπτύχθηκε από τον Webb, που εργάστηκε στη Μαλαισία και τη Σιγκαπούρη και προέκυψε από την καταγραφή των υποκειμενικών απαντήσεων ατόμων που ασχολούνταν με ελαφριά καθιστική εργασία, σε χώρους όπου μετρήθηκαν η θερμοκρασία του αέρα, η υγρασία και η ταχύτητα του αέρα.

Ο δείκτης ορίζεται ως η θερμοκρασία μίας ατμόσφαιρας κορεσμένης από υγρασία, χωρίς κίνηση αέρα, η οποία είναι φυσιολογικά ισοδύναμη με το κλίμα που εξετάζεται. Ο δείκτης δεν επιτρέπει επίπεδα δραστηριότητας ή ένδυσης διαφορετικά από εκείνα της δοκιμής. Υποστηρίζεται ότι είναι κατάλληλος για κλίματα όπου η T_{wb} είναι μεγαλύτερη από 24 ° C (δηλαδή σε θερμά-υγρά κλίματα) [11].

Ακολουθεί η εξίσωση υπολογισμού του δείκτη:

$$ECI = T_{wb} + X (T_{db} - T_{wb}) - Y (\sqrt{v}) \quad (4.5.8.1)$$

Οι δείκτες X και Y δίνονται γραφικά κάτω δεξιά, συναρτήσει του δείκτη ECI, οπότε απαιτούνται δοκιμές και επαναλήψεις στον υπολογισμό:



Σχήμα 4.5.8.1: Νομόγραμμα του δείκτη ECI και τιμές των δεικτών X και Y [11]

4.5.9 Δείκτης Τροπικού Καλοκαιριού (Tropical Summer Index (Tsi))

Αυτός ο δείκτης βελτιώθηκε στα μέσα της δεκαετίας του 1980 στο Central Building Research Institute, στο Roorkhee (Ινδία) σχετικά με τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν σε αυτή τη χώρα. Ορίζεται ως η θερμοκρασία ακίνητου αέρα με σχετική υγρασία 50%, που προκαλεί την ίδια θερμική αίσθηση με το προς εξέταση θερμικό περιβάλλον. Η μαθηματική έκφραση είναι κάπως παρόμοια με αυτή του δείκτη WBGT, αλλά περιλαμβάνει και την ψυκτική επίδραση της ταχύτητας του αέρα και διαφορετικές σταθερές ποσότητες:

$$T_{si} = 0,308T_{wb} + 0,745T_g - 2,06v + 0,841 \quad (4.5.9.1)$$

όπου T_{wb} = η θερμοκρασία υγρού βολβού (°C)

T_g = η θερμοκρασία σφαίρας (°C)

v = η ταχύτητα του αέρα (m/s)

Για πιο γρήγορο υπολογισμό, η παραπάνω σχέση μπορεί να απλοποιηθεί:

$$T_{si} = \frac{1}{3}T_{wb} + \frac{3}{4}T_g - 2\sqrt{v} \quad (4.5.9.2)$$

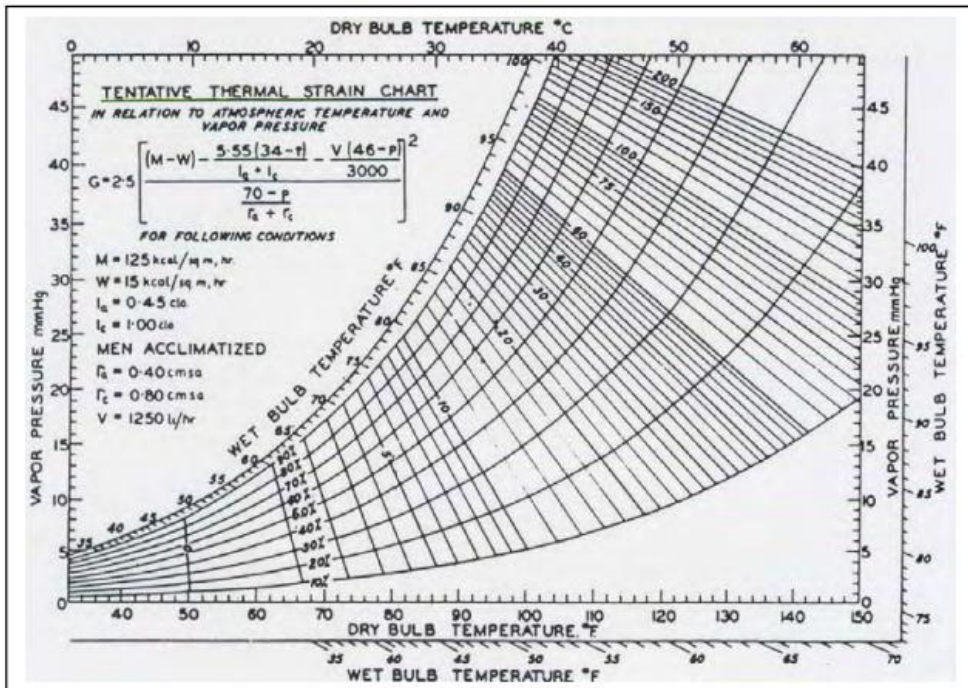
Προτείνεται ότι αν δεν είναι γνωστή η T_g , να παίρνει τη θέση της η T_{db} .

Ο δείκτης έχει τοπικό χαρακτήρα και δεν έχει εφαρμοσθεί σε άλλες χώρες πέρα από την Ινδία [11].

4.6 Αναλυτικοί δείκτες

4.6.1 Δείκτης Θερμικής Καταπόνησης (Thermal Strain Index (TSI))

Ο D H K Lee ανέπτυξε αυτή τη μέθοδο, βασιζόμενος σε ερευνητικά αποτελέσματα και αναλύοντας τους μηχανισμούς μεταφοράς θερμότητας. Σχεδίασε μια σειρά από γραμμές ίσων καταπονήσεων στον ψυχομετρικό χάρτη. Σε υψηλά επίπεδα καταπονήσεων αυτές οι γραμμές είναι σχεδόν παράλληλες με τις γραμμές της θερμοκρασίας υγρού βολβού, ενώ σε χαμηλά επίπεδα είναι κάθετες και συμπίπτουν με τις γραμμές της θερμοκρασίας ξηρού βολβού. Ακολουθεί το σχετικό διάγραμμα:



Σχήμα 4.6.1.1: Θερμική καταπόνηση κατά τον Lee στον ψυχομετρικό χάρτη (Δείκτης TSI) [11]

4.6.2 Συντελεστής Θερμικής Αποδοχής (Thermal Acceptance Ratio (TAR))

Βελτιώθηκε στα γραφεία του US Quartermaster General και έχει ισχύ σε θερμά περιβάλλοντα. Είναι το κλάσμα της δυναμικής αποδοχής θερμότητας (H_a) από το περιβάλλον από ένα γυμνό άτομο προς την παραγωγή θερμότητας μέσω μεταβολισμού αυτού του ατόμου:

$$TAR = H_a / M \quad (4.6.2.1)$$

Η σχέση προσδιορισμού της αποδοχής θερμότητας είναι η εξής:

$$H_a = E_k * (44,8 - p_v) + C_k * (97 - T_{db}) + R_k * (97 - T_{mr}) \quad (4.6.2.2)$$

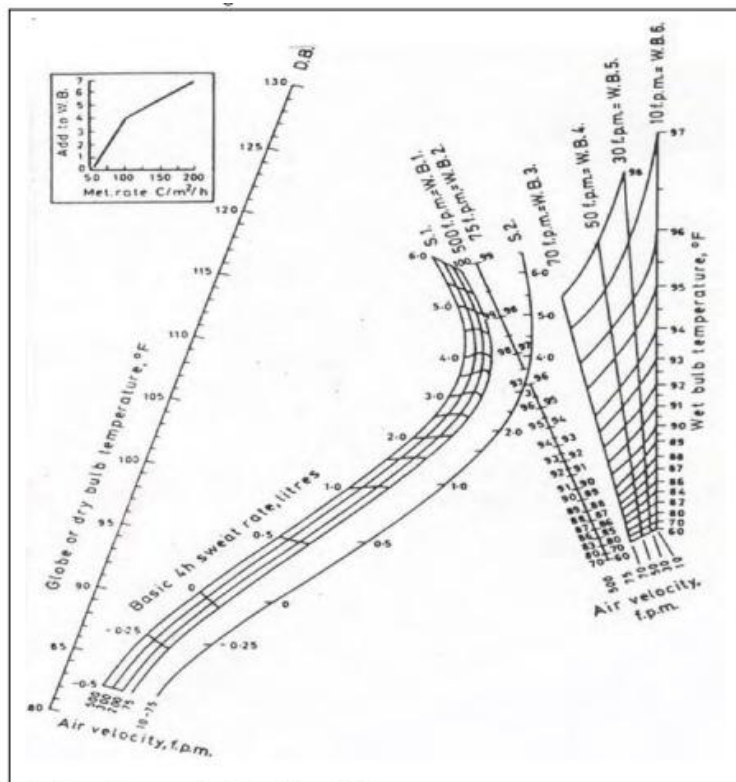
όπου: E_k, C_k και R_k είναι οι σταθερές εξάτμισης, συναγωγής και ακτινοβολίας, η τιμή 97°F η θερμοκρασία του σώματος και p_v η πίεση των ατμών. [11]

4.6.3 Προβλεπόμενος ρυθμός εφίδρωσης 4 ωρών (Predicted 4-hour Sweat Rate (P4SR))

Η αρχή ανάπτυξης αυτού του δείκτη έγινε το 1947 από τον McArdle και τους συνεργάτες του, εξυπηρετώντας το ναυτικό της Αγγλίας. Στόχος ήταν να καθοριστεί η σωματική καταπόνηση, μετρώντας το ρυθμό εφίδρωσης, τους παλμούς ή την εσωτερική θερμοκρασία του σώματος. Η κλίμακα δημιουργήθηκε στη βάση διαφόρων συνδυασμών θερμοκρασίας αέρα, υγρασίας, κίνησης αέρα, μέσης θερμοκρασία ακτινοβολίας, ρυθμού μεταβολισμού και μόνωσης ρουχισμού, που παράγουν τον ίδιο ρυθμό ιδρώτα και κατά πάσα πιθανότητα την ίδια σωματική καταπόνηση. Είναι ο πιο αξιόπιστος δείκτης από όλους για συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας, όχι όμως για θερμοκρασίες κάτω των 28°C.

Ο δείκτης ορίζεται από ένα νομόγραμμα. Από τις τιμές που έχουν μετρηθεί για T_{db} (ή T_g) και T_{wb} υπολογίζεται πρώτα ο βασικός ρυθμός ιδρώτα 4 ωρών (B4SR) και στη συνέχεια οι προσαρμογές που παρέχονται για μεταβολικούς ρυθμούς εκτός από την ανάπαυση (54 kcal / m²h). Για παράδειγμα προστίθενται + 4 ° F για κάθε αύξηση 100 kcal / m²h.

Για T_{mr} διαφορετικό από το T_{db} (ή T_g): για κάθε διαφορά 1 ° F, προστίθεται η ποσότητα +0,4 ($T_{mr}-T_{db}$). Για ρούχα μάζας άνω των 600 g (σορτς): 1 ° F προστίθεται για κάθε αύξηση 300gr [11].



Σχήμα 4.6.3.1: Νομόγραμμα δείκτη P4SR [11]

4.6.4 Δείκτης Θερμικής Καταπόνησης (Heat Stress Index (HSI))

Αναπτύχθηκε από τους Belding και Hatch (1955). Είναι το κλάσμα της ψύξης μέσω εξάτμισης που απαιτείται για να διατηρηθεί η θερμική ισορροπία προς τη μέγιστη δυνατή ψύξη μέσω εξάτμισης κάτω από τις δεδομένες συνθήκες:

$$HSI = (E_{reqd}/E_{max}) * 100 \quad (4.6.4.1)$$

(με ανώτερο όριο του E_{max} στα 700 W, ή λίγο πάνω από εξάτμιση με ρυθμό 1 L/h)

Ένας ακόμα τύπος προσδιορισμού αυτού του δείκτη που λαμβάνει υπόψη το ρυθμό μεταβολισμού, τη θερμοκρασία του αέρα και των τοίχων, την κίνηση του αέρα και την πίεση των ατμών είναι ο εξής:

$$HSI = \frac{M + 22(T_w - 95) + 2 * v^{0,5}(T_{db} - 95)}{10,3 * v^{0,4}(42 - p_a)} \quad (4.6.4.2)$$

όπου M = ο μεταβολικός ρυθμός σε Btu/h

T_w = η θερμοκρασία των τοίχων σε °F

T_{db} = η θερμοκρασία αέρα σε °F

V = η ταχύτητα του αέρα σε ft/min

p_a = η πίεση ατμών σε mmHg (42 mmHg είναι η πίεση ατμών του δέρματος σε θερμοκρασία 95°F (35°C)

Ο δείκτης αυτός θεωρείται αξιόπιστος για συνθήκες ακίνητου αέρα, θερμοκρασίας μεταξύ 27 και 35°C και σχετικής υγρασίας από 30% έως 80%, καθώς και για συνθήκες υψηλότερης θερμοκρασίας και χαμηλότερης υγρασίας. Αντιθέτως, υπερεκτιμά τα αποτελέσματα της κίνησης του αέρα σε χαμηλότερες τιμές υγρασίας και την επίδραση των υψηλών επιπέδων υγρασίας για μεσαίες και υψηλές τιμές θερμοκρασίας. Δεν είναι χρήσιμος για συνθήκες εντός της ζώνης άνεσης ή χαμηλότερα από αυτή. Η ερμηνεία του δείκτη HSI για έκθεση 8 ωρών σε ένα περιβάλλον είναι η εξής [11]:

Πίνακας 4.6.4.1: Ερμηνεία τιμών του δείκτη HSI [11]

Τιμή Δείκτη	Επίπεδο Θερμικής Καταπόνησης
-10 έως -20	ήπια ψυχρή καταπόνηση
0	μηδενική καταπόνηση
10 - 30	ήπια έως μέτρια καταπόνηση
40 - 60	σοβαρή καταπόνηση, απειλή για την υγεία, μειωμένη απόδοση στην εργασία
70 – 90	πολύ σοβαρή καταπόνηση, κατάλληλη μόνο για συνηθισμένους σε τέτοιες καταστάσεις και γυμνασμένους ανθρώπους
100	το μέγιστο ανεκτό όριο μόνο από τους πιο γυμνασμένους και εγκλιματισμένους σε τέτοιες συνθήκες νεαρούς άντρες ` το ανώτερο όριο της θερμικής ισορροπίας, με ρυθμό εφίδρωσης 1L/h, πάνω από την οποία θα προέκυπτε θέρμανση του σώματος, μπορεί να γίνει αποδεκτή για πολύ μικρά διαστήματα

4.6.5 Δείκτης Σχετικής Καταπόνησης (Relative Strain Index (RSI))

Οι Lee και Henschel (1963) βελτίωσαν τη δουλειά που είχαν κάνει οι Belding και Hatch. Όρισαν τον δείκτη σχετικής καταπόνησης ως:

$$RSI = \frac{M(I_{cl}+I_a)+6.45(T_{db}-35)RI_a}{0.0654(5866-p_a)} \quad (4.6.5.1)$$

όπου M = ρυθμός μεταβολισμού (kcal/m²h ή W/m²)

T_{db} = θερμοκρασία αέρα ξηρού βολβού (°C)

R = μέση συχνότητα ενέργειας ακτινοβολίας (kcal/m²h ή W/m²)

I_a = μόνωση αέρα (αντίσταση της επιφάνειας των ρούχων (clo))

I_{cl} = μόνωση ρουχισμού (clo)

p_a = πίεση ατμών του αέρα (mmHg ή Pa)

οι τιμές που μπορεί να πάρει ο δείκτης RSI μπορούν να ερμηνευθούν ως εξής (για ένα σύνολο ατόμων):

Πίνακας 4.6.5.1: Ερμηνεία τιμών του δείκτη RSI [11]

< 0,1	όλοι αισθάνονται άνετα
0,2	το 85% αισθάνεται άνετα και το 25% πολύ ζεστά
0,25	το 50% αισθάνεται άνετα και το 50% πολύ ζεστά
0,30	καθόλου άνετα, το 50% αισθάνεται πολύ ζεστά
0,40	το 75% δείχνει δυσφορία και κάποιοι αποτυχία
0,50	όλοι αισθάνονται πολύ ζεστά και δείχνουν δυσφορία
> 0,50	πολύ ζεστά για να υποφερθεί

Στις τιμές 24 - 27°C η τιμή του δείκτη RSI συμφωνεί κατά μεγάλο βαθμό σε αυτή του ET. Για μεγαλύτερες θερμοκρασίες και σε μεγαλύτερη κλίμακα υγρασίας ο δείκτης ET υποτιμά το θερμικό στρες, σε σύγκριση με το δείκτη RSI [11].

4.6.6 Δείκτης Θερμικής Καταπόνησης (Index of Thermal Stress (ITS))

Ο δείκτης αυτός αναπτύχθηκε από τον Γινονί το 1963. Υπολογίζει το ρυθμό ψύξης μέσω εφίδρωσης, ο οποίος θα διατηρούσε τη θερμική ισορροπία υπό τις δεδομένες συνθήκες. Ο υπολογισμός βασίζεται σε ένα βιοσωματικό μοντέλο του θερμικού συστήματος ανθρώπου-περιβάλλοντος. Χρησιμοποιείται σε άνετες έως και σε συνθήκες υπερθέρμανσης, όσο οι φυσιολογικές προσαρμογές είναι δυνατόν να διατηρήσουν θερμική ισορροπία [11].

Το ενεργειακό ισοζύγιο που διατύπωσε ο Γινονί είναι:

$$E = (M - W) \pm C \pm R \quad (\text{kcal/h}) \quad (4.6.6.1)$$

όπου τα μεγέθη αυτά είναι τα ίδια με αυτά που είδαμε στην εξίσωση θερμικού ισοζυγίου στο 2^ο Κεφάλαιο και ορίζονται παρακάτω με τον τρόπο του Γινονί:

$$S * f = E \quad (4.6.6.2)$$

όπου S = απαιτούμενος ρυθμός ψύξης μέσω της εφίδρωσης σε kcal/h
 f = αποτελεσματικότητα ψύξης του ιδρώτα

$$W = 0,2 * (M-100) \quad (4.6.6.3)$$

όπου $0,2$ = τυπική μηχανική απόδοση
 100 kcal/h = μεταβολικός ρυθμός σε ξεκούραση

$$C = \alpha v^{0.3} (T_a - 35) \quad (4.6.6.4)$$

όπου α = συντελεστής επιφάνειας ρουχισμού
 v = ταχύτητα αέρα (m/s)
 T_a = θερμοκρασία αέρα (°C)

$$R = G_n K_{pe} K_{cl} [1 - a * (v^{0.2} - 0,88)] \quad (4.6.6.5)$$

όπου G_n = κανονική ηλιακή ακτινοβολία (kcal/(h m²))
 K_{pe} = συντελεστής θέσης/περιβάλλοντος
 K_{cl} και a = συντελεστές ρουχισμού

η ικανότητα εξάτμισης είναι:

$$E_{max} = p * v^{0.3} (42 - p_v) \quad (4.6.6.6)$$

όπου p = συντελεστής ένδυσης (διαπερατότητα)
 42 mmHg είναι η πίεση ατμών του δέρματος (35°C)

$\rho_v = \eta$ πίεση ατμών του αέρα

Η αμοιβαία αποτελεσματικότητα είναι:

$$\frac{1}{f} = \exp \left[0.6 \left(\frac{E}{E_{max}} - 0.12 \right) \right] \quad (4.6.6.7)$$

Με τιμές από 1 έως 3,5

Έτσι, η ολοκληρωμένη έκφραση είναι:

$$S = \left\{ M - 0.2 (M - 100) \pm \alpha v^{0.3} (t_a - 35) + G_n K_{pe} K_{cl} [1 - a (v^{0.2} - 0.88)] \right\} * \exp \left[0.6 \left(\frac{E}{E_{max}} - 0.12 \right) \right] \quad (4.6.6.8)$$

Ακολουθεί ο πίνακας με κάποιες τυπικές τιμές αυτών των σταθερών [11]:

Πίνακας 4.6.6.1: τιμές των συντελεστών της εξίσωσης (4.6.6.8) [11]

Συντελεστές ρουχισμού	α	K_{cl}	a	ρ
Ημίγυμνος, ρουχισμός μπάνιου	15,8	1,0	0,35	31,6
Ελαφρύς καλοκαιρινός ρουχισμός	13,0	0,5	0,52	20,5
Φόρμες μακριές	11,6	0,4	0,52	13,0
Συντελεστής θέσης/περιβάλλοντος K_{pe}	Έρημος	Βουνό		
Καθιστή στάση με πλάτη στον ήλιο	0,386	0,379		
Όρθια στάση με πλάτη στον ήλιο	0,306	0,266		

4.6.7 PMV (Predicted Mean Vote)

Ο δείκτης PMV βοηθά στον ποσοτικό προσδιορισμό του βαθμού δυσφορίας. Μας δίνει την προβλεπόμενη μέση ψήφο. Το μοντέλο PMV-PPD βελτιώθηκε από τον P.O.Fanger, 1970 ο

οποίος χρησιμοποίησε τις αρχές της θερμικής ισορροπίας για τη συσχέτιση των έξι παραγόντων της θερμικής άνεσης που προαναφέρθηκαν, καθώς και εμπειρικές μελέτες για την θερμοκρασία του σώματος, με σκοπό να προσδιορίσει την άνεση. Η προβλεπόμενη μέση ψήφος εφαρμόζεται για να προβλεφθεί η μέση τιμή της εξίσωσης θερμικής άνεσης που βασίζεται σε σταθερή κατάσταση μεταφοράς θερμότητας ανάμεσα στο σώμα και το περιβάλλον [14].

το θερμικό φορτίο υπολογίζεται από μια παραλλαγή της εξίσωσης (2.2.2.2) [11]

$$TL = H - E_{diff} - E_{rsw} - E_{resp} - L - R - C \quad (4.6.7.1)$$

Η μέση ψήφος έχει συσχετισθεί με το θερμικό φορτίο TL με την παρακάτω εξίσωση:

$$\frac{\delta Y}{\delta TL} = 0,352 \exp \left(-0,042 \frac{M}{A_D} \right) + 0,032 \quad (4.6.7.2)$$

Έτσι, η μέση ψήφος θα είναι:

$$Y = \left(0,352 \exp \left(-0,042 \frac{M}{A_D} \right) + 0,032 \right) + TL \quad (4.6.7.3)$$

Η αναλυτική έκφραση της PMV θα είναι [11]:

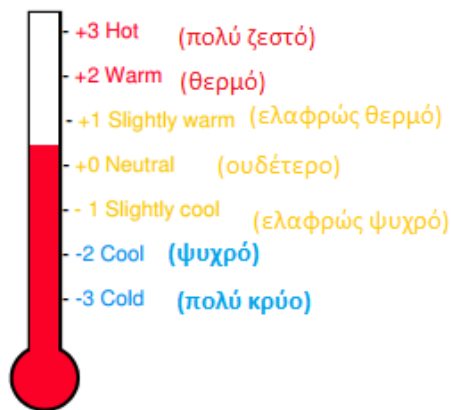
$$\begin{aligned} PMV = & \left[0,352 \exp \left(-0,042 \frac{M}{A_D} \right) + 0,032 \right] * \left\{ \frac{M}{A_D} (1-\eta) - 0,35 \left[43 - 0,061 \frac{M}{A_D} (1-\eta) - p_a \right] - \right. \\ & 0,42 \left[\frac{M}{A_D} (1-\eta) - 50 \right] - 0,0023 \frac{M}{A_D} (44 - p_a) - 0,0014 \frac{M}{A_D} (34 - T_a) - 3,4 * 10^{-8} f_{cl} \left[(T_{cl} + 273)^4 \right. \\ & \left. \left. - (T_{mr} + 273)^4 \right] + f_{cl} h_c (T_{cl} - T_a) \right\} \quad (4.6.7.4) \end{aligned}$$

όπου η τιμή του T_{cl} δίνεται μέσω επαναληπτικών δοκιμών από τη σχέση:

$$35,7 - 0,032 \frac{M}{A_D} (1-\eta) - 0,18 I_{cl} \left\{ 3,4 * 10^{-8} f_{cl} \left[(T_{cl} + 273)^4 - (T_{mr} + 273)^4 \right] + f_{cl} h_c (T_{cl} - T_a) \right\} \quad (4.6.7.5)$$

και το h_c από τις εξισώσεις (2.2.2.15) – (2.2.2.18)

Ο δείκτης PMV βασίζεται στην κλίμακα 7 σημείων θερμικής αίσθησης της ISO 7730 και κάποιων αναθεωρήσεων της ASHRAE 55 (Εικόνα 4.6.7.1)



Εικόνα 4.6.7.1: Η επταβάθμια κλίμακα θερμικής αίσθησης [39]

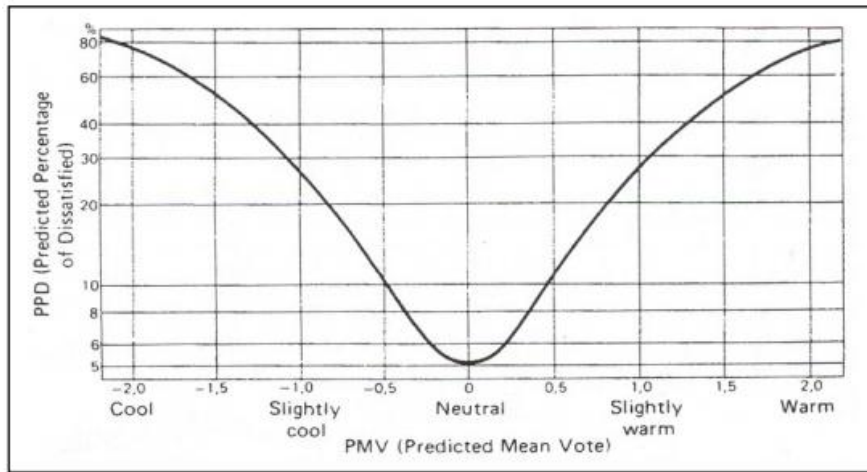
4.6.7.1 PPD- Predicted Percentage of Dissatisfied

Ο δείκτης PMV χρησιμοποιείται ταυτόχρονα με το δείκτη PPD (%), δηλαδή το ποσοστό των ατόμων που βρίσκονται σε ένα χώρο και δηλώνουν ότι δεν αισθάνονται θερμικά άνετα, σε σχέση με το συνολικό αριθμό των ατόμων που βρίσκονται στο χώρο.

Όταν είναι γνωστός ο δείκτης PMV, ο PPD υπολογίζεται από τη σχέση:

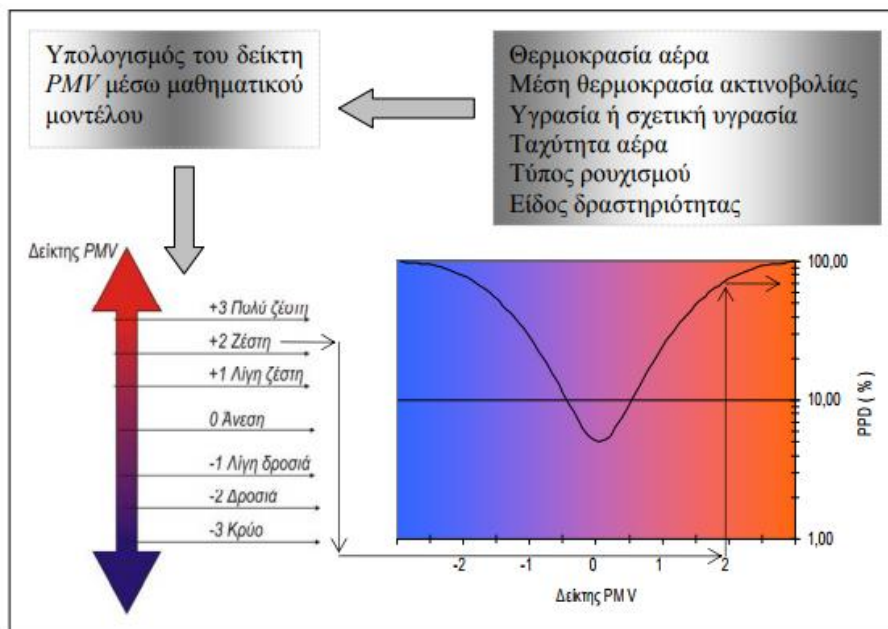
$$PPD = 100 - 95 \exp(-0.03353 PMV^4 - 0.2179 PMV^2) \quad (4.6.7.1.1)$$

Η εξέταση ενός μεγάλου όγκου δεδομένων δείχνει ότι ποσοστό περίπου ίσο με 5% ενός δείγματος πληθυσμού θα ήταν δυσαρεστημένος ακόμη και κάτω από τις "καλύτερες" συνθήκες, δηλ στο επίπεδο $PMV = 0$. Εδώ γίνεται κατανοητή η σημασία των προσωπικών παραγόντων στη θερμική άνεση!! Όσο απομακρυνόμαστε από αυτή την τιμή, το ποσοστό των δυσαρεστημένων αυξάνεται ραγδαία. Η εμπειρική καμπύλη που ακολουθεί δείχνει το PPD (προβλεπόμενο ποσοστό δυσαρεστημένων) ως συνάρτηση του PMV [11].



Σχήμα 4.6.7.1.1: Σχέση μεταξύ PMV-PPD [11]

Ακολουθεί σχηματικά η διαδικασία υπολογισμού των παραπάνω μεγεθών:



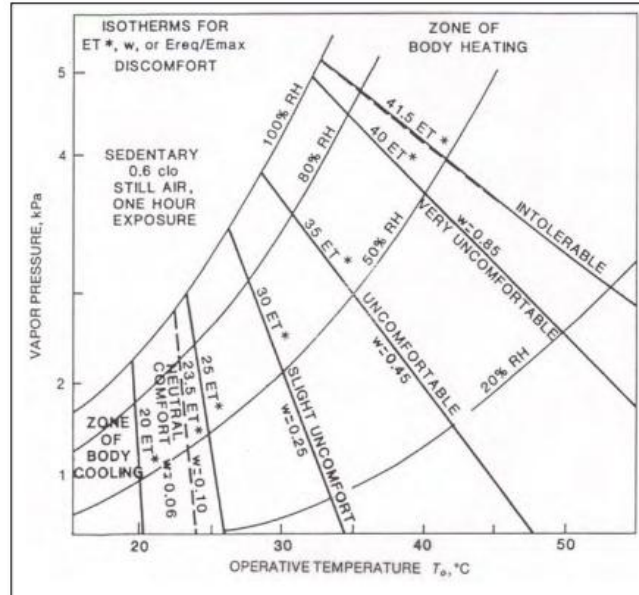
Εικόνα 4.6.7.1.1: Γραφικός αναπαράσταση του τρόπου υπολογισμού των ποσοτήτων PMV-PPD

4.6.8 Νέα Αποτελεσματική Θερμοκρασία (New Effective Temperature (ET*))

Προσδιορίζεται ως η θερμοκρασία ξηρού βολβού T_{db} ενός ενιαίου περιβλήματος με σχετική υγρασία 50% που θα προκαλούσε την ίδια ανταλλαγή θερμότητας δια συναγωγής, ακτινοβολίας και εξάτμισης όπως το προς μελέτη περιβάλλον.

Οι γραμμές της ET^* συμπίπτουν με αυτές της T_{db} πάνω στην καμπύλη σχετικής υγρασίας 50%. Η ακτινοβολία λαμβάνεται υπόψη με τη χρήση της T_o στην οριζόντια κλίμακα αντί της T_{db} . Οι γραμμές της ET^* φαίνονται στο παρακάτω σχήμα για συνθήκες: μόνωση ενδυμάτων 0,6 clo, δραστηριότητα 1,0 met, ταχύτητα αέρα $\leq 0,2\text{m/s}$ και χρόνος έκθεσης 1 ώρα.

Οι παλιές γραμμές ET είναι παράλληλες με τη γραμμή ET* στους 30°C και για υψηλές ταχύτητες αέρα οι γραμμές WBGT είναι παράλληλες με τη γραμμή ET* στους 35 ° C. Το κατώτερο όριο άνεσης για το καλοκαίρι, για άτομα με φορτίο 0,5 clo, ορίζεται ως ET* στους 26 ° C, με κίνηση αέρα 0,2 m / s. Αυτό μπορεί να επεκταθεί κατά 1 μονάδα για κάθε 0,275 m / s αύξηση της ταχύτητας του αέρα και έως 28°C τιμή ET *, με ταχύτητα αέρα 0,8 m / s. [11]



Σχήμα 4.6.8.1: Ψυχομετρικός χάρτης που απεικονίζει τις γραμμές σταθερού ET* [11]

4.6.9 Τυπική Αποτελεσματική Θερμοκρασία (Standard Effective Temperature (SET))

Έχει χαρακτηριστεί από τον Gagge et al.(1986) ως υποσύνολο της ET*, γιατί εφαρμόζεται κάτω από τυποποιημένες συνθήκες: Τυποποιημένα ενδύματα για συγκεκριμένες δραστηριότητες. Παρακάτω φαίνονται κάποια ζεύγη αυτών των μεγεθών που δίνουν την ίδια τιμή SET:

Πίνακας 4.6.9.1: Ζεύγη ποσοτήτων met-clo που δίνουν τον ίδιο αριθμό SET [11]

4met - 0,19clo
1,25 met - 0,57clo
2met - 0,39clo
3met - 0,26clo
4met - 0,19clo

Για τις παραπάνω συνθήκες και στο επίπεδο της θάλασσας ισχύει $ET^*=SET$. Για μεγαλύτερες τιμές του ET^* η διαφορά μεταξύ των δύο δεικτών μεγαλώνει (με μεγαλύτερη διαβροχή στο δέρμα η επίδραση της βαρομετρικής πίεσης αυξάνεται).

Σε θερμική ισορροπία ($\Delta S=0$) μεταξύ 23°C και 41°C , η τιμή SET σχετίζεται γραμμικά με τη μέση θερμοκρασία του σώματος:

$$SET = 34,95 T_b - 1247,6 \quad (4.6.9.1)$$

Κάτω από τους 23°C η σχέση γίνεται:

$$SET = 23 - 6,13 (36,4 - T_b)^{0.7} \quad (4.6.9.2)$$

και πάνω από τους 41°C :

$$SET = 41 + 5,58 (T_b - 36,9)^{0.87} \quad (4.6.9.3)$$

Η διαδικασία μέτρησης έχει ως εξής: προσδιορισμός της T_{db} ή της T_{mr} (ή T_o), στη συνέχεια προσδιορισμός της ταχύτητας αέρα, αξιολόγηση του ρυθμού μεταβολισμού (met) και της μόνωσης ρουχισμού (clo), ύστερα πρόβλεψη της μέσης θερμοκρασίας σώματος (T_b). Η T_b έχει υπολογιστεί για ένα ευρύ φάσμα μεταβολικών ρυθμών, επιπέδων ένδυσης, κίνησης του αέρα και ατμοσφαιρικής πίεσης, καθώς και θερμοκρασίας αέρα, μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας και υγρασίας που καλύπτονται από το δείκτη SET. Για τις τυπικές συνθήκες (1,1 met), η θερμοκρασία σώματος λαμβάνεται ίση με $36,35^{\circ}\text{C}$. Δίνεται παρακάτω ένας πίνακας που δίνει τιμές του δείκτη SET για διάφορες τιμές θερμοκρασίας σώματος:

Πίνακας 4.6.9.2: Τιμές SET για διάφορες τιμές T_b [11]

SET	T_b
10	33.90
14	34.55
18	35.63
22	36.27
26	36.44
30	36.55
34	36.67
38	36.78
42	36.97

Πολύ σημαντικό είναι το γεγονός ότι ο δείκτης SET δίνει μια λογική βάση για τη μέτρηση της ισοδυναμίας οποιουδήποτε συνδυασμού περιβαλλοντικών παραγόντων, ειδών ένδυσης και ρυθμών μεταβολισμού. Ακολουθεί ο πίνακας που μας δίνει την αίσθηση των ανθρώπων σε κάποιες τιμές SET και ανάλογα και με την ψήφο τους σύμφωνα με την 7βάθμια κλίμακα [11]:

Πίνακας 4.6.9.3: Ερμηνεία τιμών SET [11]

SET	Τιμή κλίμακας	Αίσθηση	Κατάσταση σώματος
> 37,5	>3	πολλή ζέστη, πολύ μεγάλη δυσφορία	αποτυχία ρυθμιστικής εφίδρωσης
37,5 – 34,5	+2 έως +3	ζέστη, πολύ αφόρητα	ελαφριά εφίδρωση
34,5 - 30	+1 έως +2	ζέστη, δυσφορία	εφίδρωση
30 – 25,6	+0,5 έως +1	ελαφριά ζέστη, μικρός βαθμός δυσφορίας	ελαφρύς ιδρώτας, διαστολή αγγείων
25,6 – 22,2	-0,5 , +1,5	άνετα, αποδεκτά	ψυχολογική αίσθηση θερμικής ουδετερότητας
22,2 – 17,5	-1 έως -0,5	λίγη ψύχρα, μικρός βαθμός δυσφορίας	αγγειοσυστολή
17,5 – 14,5	-2 έως -1	κρύα, δυσφορία	αργή ψύξη του σώματος
14,5 - 10	-3 έως -2	πολύ κρύα, πολύ αφόρητα	αρχή του ρίγους

4.6.10 Υποκειμενική Θερμοκρασία (Subjective Temperature (ST))

Ο δείκτης αυτός είναι κατάλληλος στο σχεδιασμό επαγγελματών. Ο McIntyre (1976) πρότεινε αυτόν τον δείκτη. Επικεντρώνεται σε δύο ερωτήματα:

- 1) Ποιά θερμοκρασία απαιτείται από τους θαμώνες σε ένα χώρο
- 2) Ποιοί φυσικοί παράγοντες θα παράγουν αυτή τη θερμοκρασία

Ορίζεται ως η θερμοκρασία ενός ομοιόμορφου περιβλήματος, με $T_{db} = T_{mtr}$, $v < 0,1m / s$, 50% RH, το οποίο θα παράγει το ίδιο αίσθημα ζεστασιάς με το περιβάλλον που εξετάζεται, για άτομα που βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο δραστηριότητας και φορούν το ίδιο ρούχο.

1) Η προτιμώμενη θερμοκρασία είναι:

$$ST = 33,5 - 3 * I_{cl} - (0,08 + 0,05 * I_{cl}) * H \quad (4.6.10.1)$$

όπου $H = M (1-\eta)$, δηλαδή η παραγωγή θερμότητας από το σώμα
 I_{cl} =μόνωση ρουχισμού σε clo

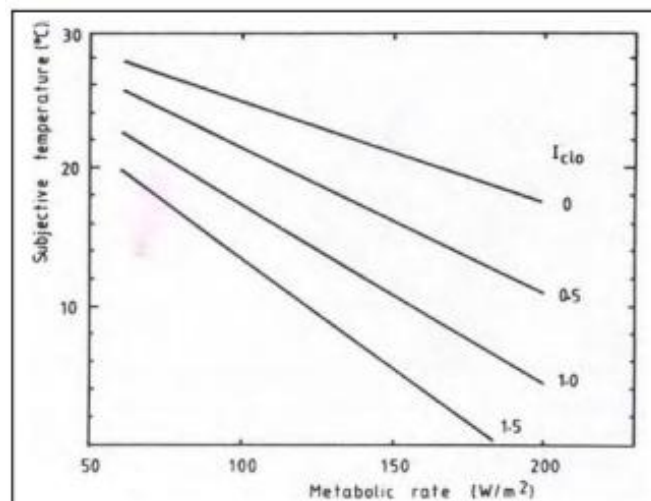
Έως μόνωση ρουχισμού 1,5 clo και $H = 150 \text{ W/m}^2$ η παραπάνω σχέση δίνει μια καλή προσέγγιση της ισότητας θερμικής άνεσης του Fanger.

2)

$$ST = 0.56T_{db} + 0.44T_{mr} \quad \text{για} \quad v < 0.15 \text{ m/s} \quad (4.6.10.2)$$

$$ST = \frac{0.44T_{mr} + 0.56(5 - \sqrt{10v})(5 - T_{db})}{0.44 + 0.56\sqrt{10v}} \quad \text{για} \quad v > 0.15 \text{ m/s} \quad (4.6.10.3)$$

Ακολουθεί ένα σχήμα που δίνει την προτιμώμενη θερμοκρασία, ανάλογα με τη μόνωση ρουχισμού και το μεταβολισμό:



Σχήμα 4.6.10.1: Τιμές δείκτη ST για άνεση [11]

Αν η T_g μετράται με μια μαύρη σφαίρα διαμέτρου 25 ή 40 mm, τότε ο υπολογισμός της ST δίνεται από τη σχέση:

$$ST = \frac{T_g + 2,8*(1 - \sqrt{10v})}{0,44 + 0,56 \sqrt{10v}} \quad (4.6.10.4) \quad [11]$$

4.6.11 Δείκτης Θερμικής Αίσθησης TS και DISC

Ο δείκτης δυσφορίας ή δείκτης DISC του Gagge είναι παρόμοιος με τον δείκτη PMV του Fanger. Μετράται κι αυτός σύμφωνα με την 7βαθμια κλίμακα.

Μπορεί να υπολογιστεί από την παρακάτω εξίσωση, αφού πρώτα έχει υπολογιστεί η τιμή του SET:

$$DISC = 0,00543*(SET-17,5)^{2,12} \quad (4.6.11.1)$$

Αλλά και από την:

$$DISC = 5*(w - 0,06) \quad (4.6.11.2)$$

όπου η αναλογία $E_{sk} / E_{max} = w$ είναι η μέση διαβροχή του δέρματος (βλ. σελ. 14)

Ο δείκτης DISC χρησιμοποιεί την 7βάθμια κλίμακα θερμικής αίσθησης, επεκτείνοντάς την με τρεις ακόμα βαθμίδες: -4 για πάρα πολύ κρύο, +4 για πάρα πολύ ζεστό και +5 για οδυνηρά καυτό. Για όλες τις συνθήκες μπορεί να υπολογιστεί από τον παρακάτω πίνακα, που έχει δημοσιευθεί από το πανεπιστήμιο του Kansas και είναι συναρτησει της T_{db} (°C), της πίεσης ατμών p_v (kPa) και της διάρκειας έκθεσης:

Πίνακας 4.6.11.1: Τιμές δείκτη SET [11]

Χρόνος Έκθεσης	Φύλο	Τιμή SET
1 ώρα	Άντρας	$TS = 0,220 T_{db} + 0,233 p_v - 5,673$
	Γυναίκα	$TS = 0,272 T_{db} + 0,248 p_v - 7,245$
	Δείγμα και των δύο	$TS = 0,245 T_{db} + 0,248 p_v - 6,475$
2 ώρες	Άντρας	$TS = 0,221 T_{db} + 0,270 p_v - 6,024$
	Γυναίκα	$TS = 0,283 T_{db} + 0,210 p_v - 7,694$

	Δείγμα και των δύο	$TS = 0,252 T_{db} + 0,240 p_v - 6,859$
3 ώρες	Άντρας	$TS = 0,212 T_{db} + 0,293 p_v - 5,949$
	Γυναίκα	$TS = 0,275 T_{db} + 0,255 p_v - 8,622$
	Δείγμα και των δύο	$TS = 0,243 T_{db} + 0,278 p_v - 6,802$

Συνθήκες: για νεαρό ενήλικα με καθιστική δραστηριότητα, με ρουχισμό που παρέχει μόνωση 0,5clo και όταν $T_{mr} = T_{db}$ και $v < 0.2$ m/s. [11]

4.7 Η Φυσιολογική Ισοδύναμη Θερμοκρασία (The Physiological Equivalent Temperature (PET))

Ορίζεται ως η φυσιολογική ισοδύναμη θερμοκρασία σε κάθε δεδομένο χώρο (εσωτερικό ή εξωτερικό) και ισοδυναμεί με τη θερμοκρασία του αέρα, στην οποία, σε ένα τυπικό εσωτερικό περιβάλλον, διατηρείται η θερμική ισορροπία του ανθρώπινου οργανισμού (μεταβολισμός: ελαφριά δραστηριότητα 80W, προστιθέμενη στο βασικό μεταβολισμό και μόνωση ρουχισμού: 0,9 clo), με τις θερμοκρασίες του πυρήνα και του δέρματος ίσες με αυτές που ισχύουν πραγματικά στο περιβάλλον που εξετάζεται. Οι συνθήκες του τυπικού εσωτερικού περιβάλλοντος είναι: η θερμοκρασία του αέρα είναι ίση με τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας ($T_a = T_{mr}$), η ταχύτητα του αέρα παραμένει σταθερή στα 0,1m/s και η πίεση των υδρατμών ρυθμίζεται στα 12 hPa (περίπου ισοδύναμη με τη σχετική υγρασία 50% σε $T_a = 20$ ° C).

Ο δείκτης PET συμβάλλει στην αξιολόγηση των θερμικών συνθηκών με έναν σημαντικά φυσιολογικό τρόπο. Σχετικά με αυτό, οι Matzarakis και Mayer (1996) άλλαξαν τις κλίμακες του δείκτη PMV για θερμική αντίληψη και τον βαθμό φυσιολογικής καταπόνησης των ανθρώπων (Fanger 1972) σε αντίστοιχες για το δείκτη PET. Οι τιμές αυτές φαίνονται στον παρακάτω πίνακα [40],[41],[42]:

Πίνακας 4.7.1: Παραδείγματα διάφορων τιμών του δείκτη PET, κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες θερμοκρασίας αέρα, μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας, ταχύτητας αέρα και πίεσης ατμών. [40]

Καιρικές συνθήκες	T_a (°C)	T_{mr} (°C)	v (m/s)	p_p (hPa)	PET(°C)
Τυπικό δωμάτιο	21	21	0,1	12	21
Χειμώνας, ηλιοφάνεια	-5	40	0,5	2	10
Χειμώνας, συννεφιά	-5	-5	5,0	2	-13
Καλοκαίρι, ηλιοφάνεια	30	60	1,0	21	43
Καλοκαίρι, συννεφιά	30	30	1,0	21	29

Πίνακας 4.7.2: Τιμές του PET και ερμηνεία τους[42]

Τιμή PET	Αίσθηση θερμικού περιβάλλοντος	Βαθμός ψυχολογικού στρες
4°C	Πολύ κρύο	Ακραία ψυχρή επιβάρυνση
	Κρύο	Ισχυρή ψυχρή επιβάρυνση
8°C	Δροσερό	Μέτρια ψυχρή επιβάρυνση
13°C	Ελαφρά δροσερό	Ελαφρά ψυχρή επιβάρυνση
18°C	Άνετο (θερμικά ουδέτερο)	Δεν υπάρχει θερμική επιβάρυνση
23°C	Ελαφρά θερμό	Ελαφρά θερμική επιβάρυνση
29°C	Θερμό	Μέτρια θερμική επιβάρυνση
35°C	Πολύ Ζεστό	Ισχυρή θερμική επιβάρυνση
41°C	Πάρα πολύ ζεστό	Ακραία θερμική επιβάρυνση

4.8 Προσαρμοστικότητα (Adaptation)

Σε όλες τις προηγούμενες προσπάθειες προσδιορισμού των δεικτών που περιγράφουν τη θερμική άνεση, έχουν γίνει πειράματα σε ειδικά ελεγχόμενους θαλάμους και κάτω από ορισμένες συνθήκες. Σκοπός είναι να εντοπίσουν μια βέλτιστη τιμή που να μπορεί να έχει ισχύ για όλους τους ανθρώπους. Όμως στην πραγματικότητα, όταν "πραγματικοί" άνθρωποι ασχολούνται με "πραγματικές" ασχολίες σε "πραγματικά" περιβάλλοντα, παρατηρούνται κάποιες ανωμαλίες στις θερμικές προτιμήσεις τους. [11]

Η θερμική προτίμηση δεν εξαρτάται μόνο από φυσιολογικούς, αλλά και από ψυχολογικούς παράγοντες, όπως η προσδοκία κάθε χρήστη σε σχέση με τις εσωτερικές θερμικές συνθήκες του κτιρίου και η δυνατότητα που έχουν οι άνθρωποι να τις επηρεάζουν (ανοίγοντας ή κλείνοντας τα παράθυρα, με εγκατάσταση κάποιου κλιματιστικού εξοπλισμού και με έλεγχο των μηχανισμών σκίασης). Όπως έχουν αναφέρει και οι Humphreys (1975), Auliciems (1981) και De Dear (1998), οι χρήστες δεν είναι παθητικοί παράγοντες σε σχέση με τις θερμικές συνθήκες του κτιρίου που καταλαμβάνουν, δεδομένου ότι προωθούν ενέργειες που στοχεύουν στην επίτευξη της δημιουργίας των κατάλληλων συνθηκών που θεωρούν αυτοί θερμικά άνετες. Προσπαθούν, λοιπόν, να προσαρμοστούν στο θερμικό περιβάλλον [40], [41], [42].

Ο Humphreys (1975) διατύπωσε μια σχέση που συνδέει τη θερμική ουδετερότητα T_n (ή αλλιώς τη θερμοκρασία στην οποία οι άνθρωποι αισθάνονται τη μικρότερη καταπόνηση) με τη μέση θερμοκρασία του αέρα T_i , κατά τη διάρκεια ενός μήνα, με συντελεστή συσχέτισης $r = 0,96$:

$$T_n = 2.56 + 0.83 * T_i \quad (4.8.1)$$

Μια μεταγενέστερη ανάλυση (Humphreys, 1976) προσπάθησε να αντικαταστήσει τη μέση θερμοκρασία του αέρα εσωτερικού χώρου T_i με αυτή του εξωτερικού περιβάλλοντος T_m , εφαρμόζοντας αυτή τη σχέση σε κτίρια που δε διαθέτουν κεντρικό σύστημα θέρμανσης, αερισμού και κλιματισμού ($r=0,97$):

$$T_n = 11.9 + 0.534 * T_m \quad (4.8.2)$$

Τα επόμενα χρόνια οι Auliciems (1981) διατύπωσαν μια πιο γενική σχέση, με μικρότερο συντελεστή συσχέτισης, που περιλαμβάνει όλων των ειδών τα σπίτια (με ή χωρίς κεντρικά συστήματα κλιματισμού) και ισχύει για T_n μεταξύ 18 και 28 ° C:

$$T_n = 17,6 + 0,31 * T_m \quad (4.8.3)$$

Σε μια πιο πρόσφατη έρευνα στο Πακιστάν οι Nicol and Roaf (1996) διατύπωσαν τη σχέση ($r=0,975$):

$$T_n = 17 + 0,38 * T_m \quad (4.8.4)$$

Αυτές είναι οι θερμοκρασίες ουδετερότητας για ανθρώπους που έχουν καθιστική δραστηριότητα, φορώντας ρούχα της επιλογής τους και είναι έγκυρη για θερμοκρασίες μεταξύ 18 και 30°C. Το σφάλμα έγκειται στους $\pm 2^\circ\text{C}$. [11]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο : Πρότυπα θερμικής άνεσης

Τα τρία πρότυπα που σχετίζονται με τη θερμική άνεση είναι το διεθνές πρότυπο ISO 7730, το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 15251 και το ASHRAE 55.

5.1 Το πρότυπο ASHRAE 55

Το πρότυπο αυτό ανήκει στην Αμερικανική Ένωση Μηχανικών Θέρμανσης, Ψύξης και Κλιματισμού (American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers) και έχει σκοπό να καθορίσει τους συνδυασμούς των θερμικών περιβαλλοντικών παραγόντων του εσωτερικού χώρου και των προσωπικών παραγόντων που παράγουν θερμικές περιβαλλοντικές συνθήκες αποδεκτές από την πλειοψηφία των ατόμων που βρίσκονται μέσα σε ένα χώρο.

Η πρώτη δημοσίευσή του έγινε το 1966 και από το 2004 και μετά έχει αναθεωρηθεί αρκετές φορές.

Στο πρότυπο αυτό, η θερμική άνεση βασίζεται στους 6 βασικούς περιβαλλοντικούς και προσωπικούς παράγοντες που αναφέραμε στο 3^ο Κεφάλαιο.

Μία πρώτη μέθοδος ορισμού των ορίων θερμικής άνεσης είναι η παρακάτω [43], [44].

5.1.1 Γραφική μέθοδος για τυπικά εσωτερικά περιβάλλοντα

Η μέθοδος αυτή μπορεί να εφαρμοστεί σε χώρους όπου οι θαμώνες έχουν μεταβολικό ρυθμό από 1,0 met έως 1,3 met και τα ρούχα τους προσφέρουν μόνωση 0,5 - 1,0clo. Επιπλέον, ο λόγος υγρασίας θα πρέπει να είναι κάτω από 0,012 kg H₂O/kg ξ.α. (0,012 lb H₂O/lb ξ.α.). Αυτή η μέθοδος είναι κατάλληλη σχεδόν για όλα τα γραφεία [15],[44].

Η εικόνα 5.1.1.1 δείχνει τη ζώνη άνεσης για τα παραπάνω κριτήρια και για ταχύτητες αέρα που δεν ξεπερνούν τα 0,20 m/s. Δύο ζώνες άνεσης εμφανίζονται, μία για 0,5clo (θερινή εποχή) και μία για 1,0clo (χειμερινή εποχή). Το επιτρεπόμενο εύρος τιμών θερμοκρασίας λειτουργίας για τις ενδιάμεσες τιμές μόνωσης ενδύματος μπορεί να προσδιοριστεί με γραμμική παρεμβολή μεταξύ των ορίων 0,5 και 1,0 clo, χρησιμοποιώντας τις ακόλουθες σχέσεις:

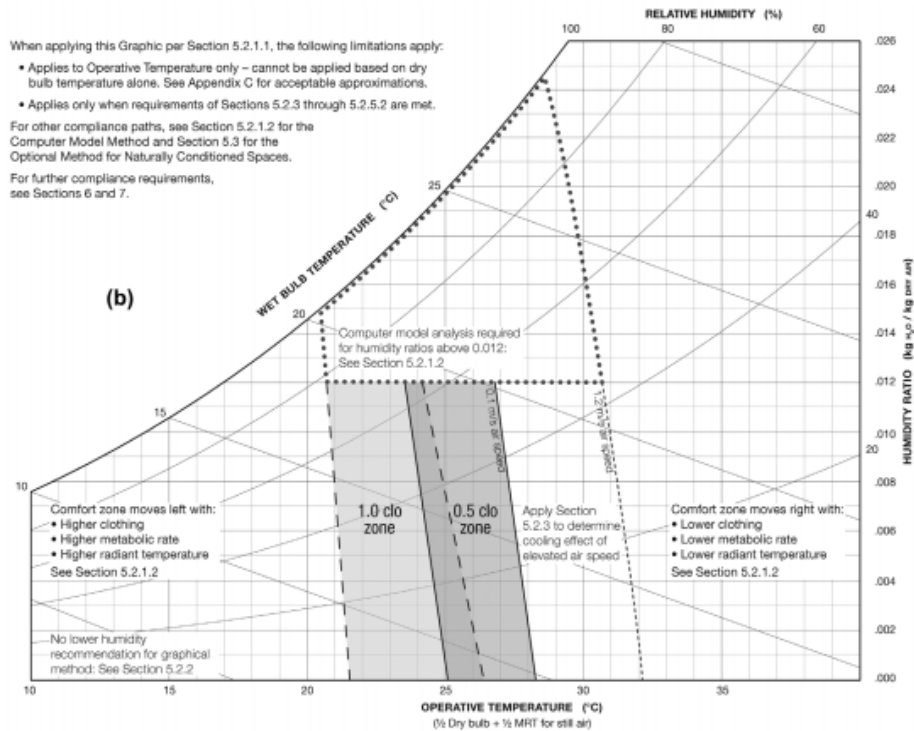
$$T_{\min, I_{cl}} = [(I_{cl} - 0,5 \text{ clo}) T_{\min, 1.0 \text{ clo}} + (1,0 \text{ clo} - I_{cl}) T_{\min, 0.5 \text{ clo}}] / 0,5 \text{ clo} \quad (5.1.1.1)$$

$$T_{\max, I_{cl}} = [(I_{cl} - 0,5 \text{ clo}) T_{\max, 1.0 \text{ clo}} + (1,0 \text{ clo} - I_{cl}) T_{\max, 0.5 \text{ clo}}] / 0,5 \text{ clo} \quad (5.1.1.2)$$

όπου $T_{\max, icl}$ είναι το ανώτερο όριο λειτουργικής θερμοκρασίας για μόνωση ρουχισμού I_{cl} ,

$T_{\min, icl}$ είναι το κατώτερο όριο λειτουργικής θερμοκρασίας για μόνωση ρουχισμού I_{cl}

και I_{cl} είναι ο μόνωση ρουχισμού



Εικόνα 5.1.1.1: Γραφική μέθοδος προσδιορισμού της προτιμώμενης τιμής θερμοκρασίας λειτουργίας και υγρασίας κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες [45].

Το σχήμα αναφέρεται σε 80% αποδοχή. Αυτό οφείλεται στο κριτήριο δυσαρέσκειας 10% του δείκτη PMV-PPD και σε άλλο ένα ποσοστό δυσαρέσκειας 10%, που μπορεί να προκύψει από μερική τοπική θερμική δυσφορία [15].

Σύμφωνα με την αναθεώρηση του προτύπου ASHRAE 55 (2010), είναι αποδεκτή η χρήση της μεθόδου αυξημένης ταχύτητας αέρα, με σκοπό την αύξηση του ανώτερου ορίου της θερμοκρασίας λειτουργίας της ζώνης θερμικής άνεσης, όταν οι συνθήκες το επιβάλλουν.

5.1.2 Αυξανόμενη ταχύτητα αέρα

Η μέθοδος αυτή ορίζει διατάξεις για την αύξηση του ορίου της ταχύτητας του αέρα πάνω από 0,20m/s. Η μεθοδολογία βασίζεται στο μοντέλο SET, το οποίο παρέχει έναν τρόπο υπολογισμού μιας αποτελεσματικής θερμοκρασίας που θα παρέχει θερμική άνεση κάτω από συγκεκριμένες θερμικές συνθήκες και σε πρότυπες τιμές μόνωσης ρούχων και μεταβολικού ρυθμού. Το ανώτερο όριο ταχύτητας αέρα εξαρτάται από το αν οι θαμνώνες σε ένα χώρο έχουν τη δυνατότητα ελέγχου της ροής αέρα ή όχι [44].

Η αναθεώρηση του προτύπου ASHRAE 55-2013 αναφέρεται στη μέθοδο αυτή σε ταχύτητες αέρα >0,2 m/s. Επειδή η ταχύτητα του αέρα μπορεί να προσφέρει άμεση ψύξη στους ανθρώπους, ειδικά όταν φοράνε ελαφρύ ρουχισμό, οι υψηλότερες θερμοκρασίες μπορεί να είναι πιο άνετες από αυτές που προβλέπει το μοντέλο PMV. Επιτρέπονται ταχύτητες αέρα μέχρι 0,8 m/s χωρίς τοπικό έλεγχο και 1,2 m/s με τοπικό έλεγχο. Αυτή η αυξημένη κίνηση αέρα, αυξάνει τη μέγιστη θερμοκρασία για ένα χώρο γραφείου το καλοκαίρι στους 30 ° C από 27,5 ° C [14].

5.1.3 Υπολογιστικό μοντέλο για γενικές συνθήκες εσωτερικών περιβαλλόντων (PMV)

Το μοντέλο αυτό βασίζεται στην επταβάθμια κλίμακα θερμικής αίσθησης:

+3 πολύ ζεστά, +2 ζεστά, +1 ελαφρώς θερμά, 0 ουδέτερα, -1 ελαφρώς δροσερά, -2 κρύα, -3 πολύ κρύα

Αυτό το μοντέλο της προβλεπόμενης μέσης ψήφου συσχετίζει τους 6 βασικούς παράγοντες της θερμικής άνεσης για να αξιολογήσει τις θερμικές συνθήκες ενός χώρου. Ο δείκτης PPD χρησιμοποιείται στη βάση της υπόθεσης ότι οι άνθρωποι που θα ψηφίσουν -3,-2, +2, +3 στη θερμική κλίμακα είναι δυσαρεστημένοι από τις θερμικές συνθήκες που βιώνουν.

Η χρήση αυτής της μεθόδου αφορά ταχύτητα αέρα ίση ή μικρότερη από 0,20m/s, μόνωση ρουχισμού μικρότερη ή ίση από 1,5clo και μεταβολισμό 1,0-2,0met.

Η μέθοδος αυτή δίνει το παρακάτω διάστημα επιτρεπτών τιμών:

Πίνακας 5.1.3.1: Τιμές διαστήματος τιμών των δεικτών PPD,PMV για αποδεκτό θερμικό περιβάλλον [21]

PPD	Εύρος PMV
<10%	-0,5< PMV< +0,5

Η τιμή του λόγου υγρασίας πρέπει να είναι κάτω από 0,012, που αντιστοιχεί σε πίεση υδρατμών 1,910 kPa (0,277 psi) στην πρότυπη πίεση ή θερμοκρασία σημείου δρόσου 16,8 ° C (62,2 ° F) [21].

5.1.4 Προϋποθέσεις για τους παράγοντες τοπικής θερμικής δυσφορίας

Στο κεφάλαιο 3 αναφερθήκαμε σε παράγοντες που προκαλούν το αίσθημα τοπικής θερμικής δυσφορίας σε κάποια μέρη του σώματος. Το πρότυπο αυτό καθορίζει τις αποδεκτές τιμές αυτών των παραγόντων.

Προκειμένου να μειωθεί η τοπική δυσφορία, θα πρέπει η ασυμμετρία θερμοκρασίας μεταξύ οροφής και πατώματος να περιοριστεί. Για να μειωθεί ο κίνδυνος ρεύματος αέρα σε θερμοκρασίες αέρα χαμηλότερες από 22,5°C, ο αέρας του κεντρικού συστήματος θέρμανσης, αερισμού και κλιματισμού θα πρέπει να έχει τιμές από 0,15m/s και κάτω. Η κατακόρυφη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ κεφαλής και αστραγάλου περιορίζεται στους 3°C για καθιστά άτομα και στους 4°C για άτομα σε όρθια στάση. Η θερμοκρασία πατώματος, αν τα πόδια βρίσκονται σε επαφή με αυτό, θα πρέπει να παίρνει τιμές από 19 έως 29°C [44].

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι τιμές των ορίων των ποσοστών των ανικανοποίητων ατόμων σε ένα χώρο, λόγω ρεύματος αέρα (DR) και λόγω των υπόλοιπων παραγόντων που προκαλούν τοπική θερμική δυσφορία (PD), σύμφωνα με το πρότυπο ASHRAE 55-2004 [21].

Πίνακας 5.1.4.1: Ποσοστά δυσαρεστημένων λόγω τοπικής θερμικής δυσφορίας [21]

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%

Στη συνέχεια δίνονται και οι επιτρεπόμενες τιμές διαφοράς θερμοκρασίας λόγω ασυμμετρίας ακτινοβολίας:

Πίνακας 5.1.4.2: Επιτρεπόμενες τιμές ορίων διαφοράς θερμοκρασίας λόγω ασύμμετρης ακτινοβολίας [21]

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

5.1.5 Αλλαγές στη θερμοκρασία μέσα στην ώρα

Όσον αφορά τις εναλλαγές στη θερμοκρασία αέρα που δεν μπορεί να ελέγξει ο άνθρωπος (πχ ανακύκλωση αέρα από το θερμοστατικό έλεγχο), καθορίζονται και εδώ κάποια όρια ανάμεσα στην τιμή της μεγαλύτερης και της μικρότερης τιμής της θερμοκρασίας:

Πίνακας 5.1.5.1: Περιορισμοί στις απότομες εναλλαγές θερμοκρασίας [21]

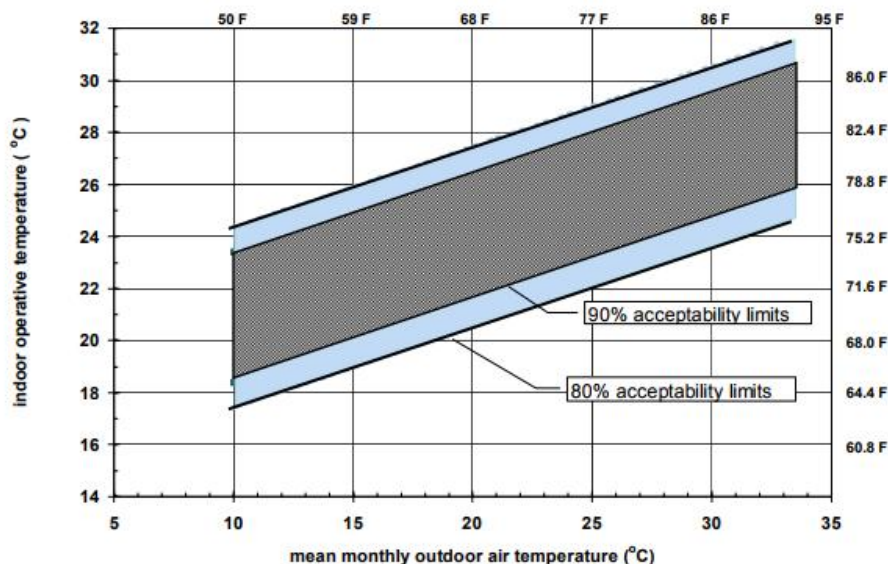
Χρονική περίοδος	Ένα τέταρτο της ώρας	μισή ώρα	1 ώρα	2 ώρες	4 ώρες
Μέγιστη επιτρεπόμενη εναλλαγή της T_o	1,1°C	1,7°C	2,2°C	2,8°C	3,3°C

5.1.6 Μοντέλο προσαρμοστικής άνεσης (Adaptive comfort model)

Αυτή η μέθοδος αφορά χώρους που ο αερισμός τους ελέγχεται από τους θαμώνες κυρίως με το άνοιγμα ή το κλείσιμο των παραθύρων. Πειράματα έχουν δείξει πως σε τέτοιους χώρους οι θερμικές αποκρίσεις των ατόμων εξαρτώνται εν μέρει από το εξωτερικό κλίμα και μπορεί να διαφέρουν από τις αποκρίσεις σε σπίτια με κεντρικά συστήματα κλιματισμού-αερισμού, λόγω των διαφορετικών θερμικών εμπειριών, διαφορών στην ενδυμασία, ικανότητας ελέγχου και διαφοροποιήσεις στις προτιμήσεις των θαμώνων.

Για να μπορέσει να εφαρμοστεί αυτή η μέθοδος θα πρέπει ο χώρος να διαθέτει λειτουργικά παράθυρα που ανοίγουν προς τον εξωτερικό χώρο και είναι εύκολο να ανοιχθούν και να ρυθμιστούν από τα άτομα του χώρου. Δε θα πρέπει να υπάρχει μηχανικό σύστημα ψύξης στο χώρο (ψύξη με κλιματισμό, ψύξη ακτινοβολίας, ψύξη αποξηραντικού, ψυγείο). Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ψύξη με αέρα από μη κλιματιστική συσκευή, αλλά ο κύριος τρόπος ρύθμισης των θερμικών συνθηκών του χώρου θα πρέπει να είναι το άνοιγμα και το κλείσιμο των παραθύρων. Αυτή η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί αν οι θαμώνες έχουν μεταβολικό ρυθμό από 1,0 έως 1,3met και τη δυνατότητα να προσαρμόζουν ελεύθερα τα ρούχα που φορούν, σύμφωνα με τις εσωτερικές ή/και εσωτερικές θερμικές συνθήκες, ανάμεσα στις τιμές 0,5-1,0clo.

Οι επιτρεπόμενες τιμές της λειτουργικής θερμοκρασίας μπορούν να προσδιοριστούν από το σχήμα 5.1.6.1. Αυτό το σχήμα περιλαμβάνει δύο σύνολα ορίων λειτουργικής θερμοκρασίας, ένα για 80% αποδοχή και ένα για 90% αποδοχή. Για τυπικές εφαρμογές χρησιμοποιείται το 80%, ενώ το 90% χρησιμοποιείται αν είναι επιθυμητό υψηλότερο πρότυπο θερμικής άνεσης.



Σχήμα 5.1.6.1: Αποδεκτές τιμές της λειτουργικής θερμοκρασίας για φυσικά κλιματιζόμενους χώρους [15].

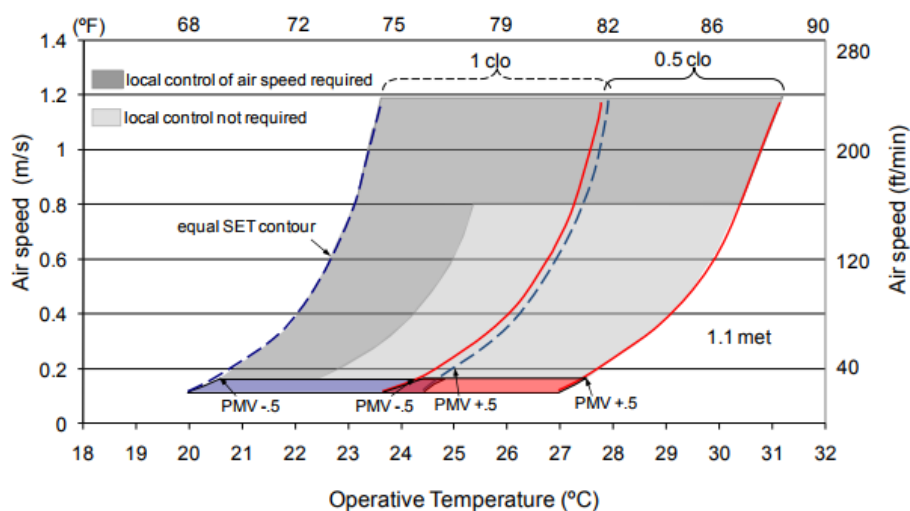
Βλέπουμε από το σχήμα ότι τα όρια της λειτουργικής θερμοκρασίας δεν μπορούν να παρεκκλίνουν προς την εξωτερική θερμοκρασία πάνω ή κάτω από τα οριακά σημεία του σχήματος. Εάν η μέση μηνιαία θερμοκρασία είναι μικρότερη των 10°C (50°F) ή μεγαλύτερη των 33,5°C (92,3°F), αυτή η μέθοδος δεν μπορεί να εφαρμοσθεί και δεν υπάρχουν συγκεκριμένες οδηγίες για χώρους με φυσικό αερισμό κάτω από τα τέτοιες συνθήκες.

Όταν χρησιμοποιείται αυτή η μέθοδος βλέπουμε πως δεν υπάρχουν όρια υγρασίας ή ταχύτητας αέρα [44],[15].

5.1.7 Η μέθοδος την Τυπικής Αποτελεσματικής Θερμοκρασίας SET (Computer Model Method)

Η μέθοδος SET χρησιμοποιεί μια θερμοφυσιολογική προσομοίωση του ανθρώπινου σώματος για να μειώσει κάθε συνδυασμό πραγματικών περιβαλλοντικών και προσωπικών μεταβλητών στη θερμοκρασία ενός φανταστικού τυποποιημένου περιβάλλοντος, του οποίου η τυπική απώλεια θερμότητας του δέρματος του επιβάτη είναι ίση με εκείνη του ατόμου στο πραγματικό περιβάλλον. Αυτό το μοντέλο επιτρέπει η επίδραση της ταχύτητας του αέρα στη θερμική άνεση να συνδέεται με ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασίας αέρα, θερμοκρασίας ακτινοβολίας και υγρασίας.

Το σχήμα 5.1.7.1 χρησιμοποιεί το SET για να επεκτείνει τις ζώνες άνεσης της γραφικής μεθόδου (Σχήμα 5.1.1.1) σε ένα εύρος ταχυτήτων αέρα για λόγο υγρασίας 0,010. Το σχήμα 5.1.7.1 βασίζεται στο δείκτη PMV, που υπολογίζεται για ταχύτητα αέρα 0,1 m / s. Η επέκταση έγινε σε δύο στάδια. Το μοντέλο PMV χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά για τον υπολογισμό του εύρους της θερμοκρασίας λειτουργίας (+/- 0,5 PMV) στα 0,15 m / s, για να οριστεί το ανώτερο όριο του δείκτη PMV για θερμική άνεση. Πάνω από 0,15 m / s, τα όρια άνεσης προσδιορίζονται από σταθερό SET. Οι γραμμές SET υποδεικνύουν συνδυασμούς θερμοκρασίας-αέρα στους οποίους η απώλεια θερμότητας του δέρματος είναι ίδια με εκείνη του ορίου ζώνης άνεσης PMV στα 0,15 m / s [21].



Σχήμα 5.1.7.1: Αποδεκτές ζώνες λειτουργικής θερμοκρασίας και ταχύτητας αέρα για τη ζώνη θερμικής άνεσης, σύμφωνα με το πρότυπο SET (ASHRAE 55)

5.1.8 Προϋποθέσεις διαδικασίας μετρήσεων

Για μηχανικά κλιματιζόμενους χώρους, πρέπει να προσδιοριστεί η ζώνη άνεσης με βάση το PMV, η οποία περιλαμβάνει τη μέτρηση και την καταγραφή της μεταβολικής δραστηριότητας και της μόνωσης των ενδυμάτων. Τα όρια της ζώνης άνεσης πρέπει να προσαρμόζονται στις κινήσεις του αέρα και οι συνθήκες ζώνης πρέπει να ρυθμίζονται ώστε να αποφεύγεται η τοπική θερμική δυσφορία. Για τον ελεγχόμενο από επιβάτη φυσικά αεριζόμενο χώρο, το προσαρμοστικό μοντέλο χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των ορίων θερμικής άνεσης. Για τους χώρους αυτούς, πρέπει να μετράται η θερμοκρασία εσωτερικού και εξωτερικού αέρα, η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας και η ταχύτητα του αέρα.

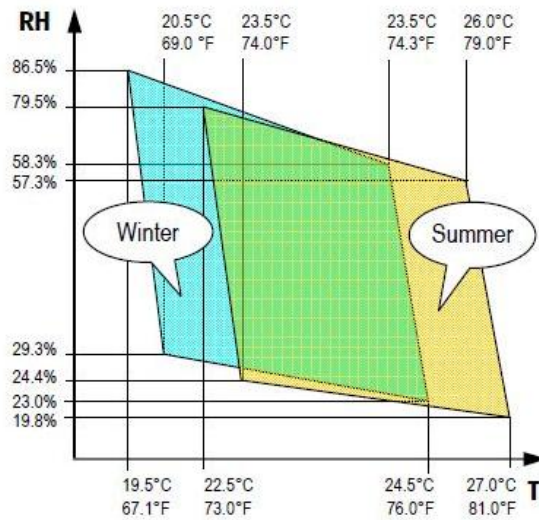
Όσον αφορά στα κτίρια όπου λαμβάνουν χώρα οι μετρήσεις, το πρότυπο αναφέρει πως οι μετρήσεις πρέπει να γίνονται στο κέντρο του δωματίου και σε θέση που να απέχει τουλάχιστον 1 μέτρο από τους τοίχους και το μεγαλύτερο παράθυρο.

Επιπλέον, οι μετρήσεις της λειτουργικής θερμοκρασίας (T_o) ή του PMV θα πρέπει να γίνονται σε ένα επίπεδο που να απέχει από το πάτωμα 0,6m για καθιστική δραστηριότητα και 1,1m για όρθια στάση.

Η περίοδος μέτρησης της μέσης τιμής της ταχύτητας του αέρα θα πρέπει να είναι 3 λεπτά και της δραστηριότητας και της μόνωσης ρουχισμού θα πρέπει να καθορίζονται ως μέσες τιμές για ένα χρονικό διάστημα μισής με μίας ώρας πριν από την έναρξη των μετρήσεων των περιβαλλοντικών παραμέτρων [44].

5.1.9 Σχηματική αναπαράσταση ορίων άνεσης κατά ASHRAE 55

Ακολουθεί ένα σχήμα που περιέχει τις τιμές θερμοκρασίας και υγρασίας της χειμερινής και θερινής ζώνης θερμικής άνεσης. Αυτό το πρότυπο θα χρησιμοποιηθεί στο 7^ο Κεφάλαιο για την υλοποίηση των υπολογισμών.



Σχήμα 5.1.9.1: Γραφική αναπαράσταση των ορίων των τιμών θερμοκρασίας ξηρού βολβού και σχετικής υγρασίας για θερμική άνεση στην καλοκαιρινή και χειμερινή περίοδο κατά το πρότυπο ASHRAE 55 [46]

5.2 Το πρότυπο ISO 7730

Το πρότυπο αυτό είναι το πιο διαδεδομένο πρότυπο θερμικής άνεσης. Κάποιες αναθεωρήσεις του μοντέλου ASHRAE 55 μοιάζουν αρκετά με αυτό το πρότυπο. Χρησιμοποιεί και αυτό τους έξι βασικούς παράγοντες καθορισμού της θερμικής άνεσης και την επταβάθμια κλίμακα για τις τιμές του δείκτη PMV.

5.2.1 Τοπική θερμική δυσφορία

Σε αυτό το σημείο θα δούμε πώς μπορούμε να υπολογίσουμε το ποσοστό των δυσαρεστημένων από αυτές τις συνθήκες με τη βοήθεια του μοντέλου PMV-PPD, σύμφωνα με το πρότυπο ISO 7730.

Οι απαιτήσεις που καθορίζονται παρακάτω αφορούν ένα ελαφρώς ντυμένο άτομο (0,5-0,7clo), που ασχολείται με σχεδόν καθιστική φυσική δραστηριότητα (1,0-1,3met). Άνθρωποι με υψηλότερους μεταβολικούς ρυθμούς ή επίπεδο ρουχισμού είναι λιγότερο θερμικά ευαίσθητοι και ο κίνδυνος τοπικής ενόχλησης είναι χαμηλότερος.

Ο πίνακας 5.2.1.1 που συνδέει το PMV με το PPD προσδιορίζει τρεις κλάσεις θερμικής άνεσης ανάλογα με το ποσοστό PPD. Η κλάση της άνεσης μπορεί να προσδιοριστεί από το

χρήση. Το διάστημα αποδεκτών τιμών του δείκτη PMV που αντιστοιχεί σε κάθε κλάση φαίνεται στον πίνακα παρακάτω [15]:

Πίνακας 4.1.1: Προσδιορισμός εύρους PMV για καθεμία από τις κλάσεις A,B,C

Κλάση	PPD (%)	Εύρος PMV
A	<6	-0,2 < PMV < +2
B	<10	-0,5 < PMV < +0,5
C	<15	-0,7 < PMV < +0,7

Για κάθε κλάση, προσδιορίζεται και το όριο του ποσοστού των ανικανοποίητων PD για τις διάφορες πηγές που προκαλούν τοπική θερμική δυσφορία

Πίνακας 5.2.1.2: Ποσοστό των ανικανοποίητων (PD) λόγω της τοπικής δυσφορίας από διάφορες πηγές και για διαφορετικές κλάσεις του θερμικού περιβάλλοντος [15]

Κλάση	PD (%) λόγω ρεύματος αέρα	PD (%) λόγω κάθετης διαφοράς θερμοκρασίας	PD (%) λόγω θερμών ή κρύων δαπέδων, θερμών ή ψυχρών οροφών	PD (%) λόγω ασυμμετρία ακτινοβολίας
A	<10	<3	<10	<5
B	<20	<5	<10	<5
C	<30	<10	<15	<10

Παρακάτω ακολουθούν οι επιτρεπόμενες τιμές θερμοκρασίας, για τις αιτίες εμφάνισης τοπικής θερμικής δυσφορίας για κάθε κλάση και σύμφωνα με το πρότυπο ISO 7730:

Ασυμμετρία ακτινοβολίας

Ακολουθεί ο πίνακας με τα όρια της διαφοράς θερμοκρασίας λόγω ασυμμετρίας ακτινοβολίας.

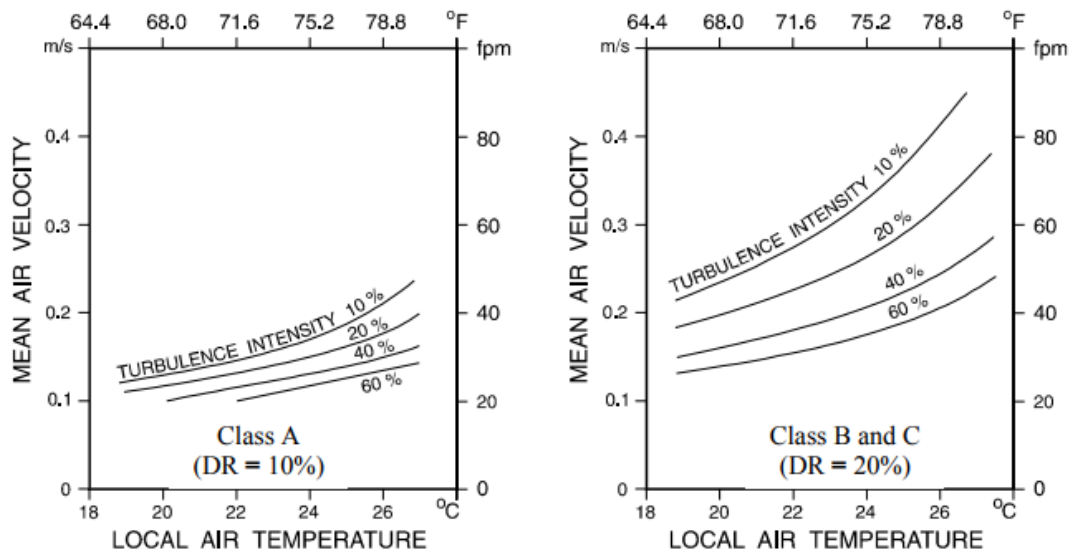
Πίνακας 5.2.1.3: Αποδεκτές τιμές για όλες τους παράγοντες που προκαλούν ασύμμετρη θερμοκρασία [15]

Κλάση	Θερμή οροφή (°C)	Ψυχρός τοίχος (°C)	Ψυχρή οροφή (°C)	Θερμός τοίχος (°C)
A	<5	<10	<14	<23
B	<5	<10	<14	<23
C	<7	<13	<18	<35

Ρεύμα αέρα

Έχοντας δει την εξίσωση υπολογισμού του ποσοστού δυσαρεστημένων από το ρεύμα αέρα στο 3^ο Κεφάλαιο και τα σχήματα που συσχετίζουν όλες τις παραμέτρους δημιουργίας

ρεύματος αέρα, βλέπουμε παρακάτω δυο σχήματα που δίνουν τις επιτρεπόμενες τιμές έντασης στροβιλισμού και μέσης ταχύτητας αέρα για τις κλάσεις A,B,C.



Σχήμα 5.2.1.1: Επιτρεπόμενη μέση ταχύτητα αέρα συναρτήσει της θερμοκρασίας αέρα και της έντασης στροβιλισμού για τις τρεις κλάσεις A,B και C [15]

Κάθετη διαφορά θερμοκρασίας του αέρα.

Οι επιτρεπόμενες διαφορές θερμοκρασίας του αέρα ανάμεσα στο κεφάλι και τον αστραγάλο για διάφορες τιμές του ποσοστού των ανικανοποίητων ατόμων σε ένα χώρο μπορούν να προσδιοριστούν από το σχήμα 3.4.3.1. Στον παρακάτω πίνακα μας δίνονται οι επιτρεπόμενες τιμές διαφοράς θερμοκρασίας για κάθε μία από τις τρεις κλάσεις θερμικής άνεσης, συνδέοντας την τοπική θερμική δυσφορία με το πρότυπο PMV-PPD:

Πίνακας 5.2.1.4: Επιτρεπόμενη κάθετη διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στο κεφάλι και τους αστραγάλους για τις 3 κλάσεις θερμικού περιβάλλοντος, σύμφωνα με το πρότυπο ISO 7730 [15]

Κλάση	Κάθετη διαφορά θερμοκρασίας (°C)
A	<2
B	<3
C	<4

Θερμοκρασία επιφάνειας πατώματος

Τα όρια για τη θερμοκρασία δαπέδου απεικονίζονται στον πίνακα 5.2.1.5.

Πίνακας 5.2.1.5 : Επιτρεπόμενα όρια θερμοκρασίας δαπέδου για κάθε κλάση [15]

Κλάση	Εύρος θερμοκρασίας επιφάνειας δαπέδου °C
A	19-29
B	19-29
C	17-31

5.2.2 Κυκλικές εναλλαγές θερμοκρασίας

Αναφερόμαστε σε καταστάσεις όπου η λειτουργική θερμοκρασία αυξάνεται και μειώνεται επανειλημμένα και το διάστημα αυτών των μεταβολών δεν είναι μεγαλύτερο από 15 λεπτά.

Ο πίνακας 5.2.2.1 ορίζει την διαφορά ανάμεσα στη μεγαλύτερη και τη μικρότερη τιμή της λειτουργικής θερμοκρασίας, που πρέπει να ισχύει για κάθε μία από τις τρεις κλάσεις:

Πίνακας 5.2.2.1: Επιτρεπόμενη κυκλική εναλλαγή θερμοκρασίας [15]

Κλάση	Επιτρεπόμενη εναλλαγή από μέγιστη σε ελάχιστη τιμή στη θερμοκρασία λειτουργίας (°C)
A	0,8
B	1,1
C	1,4

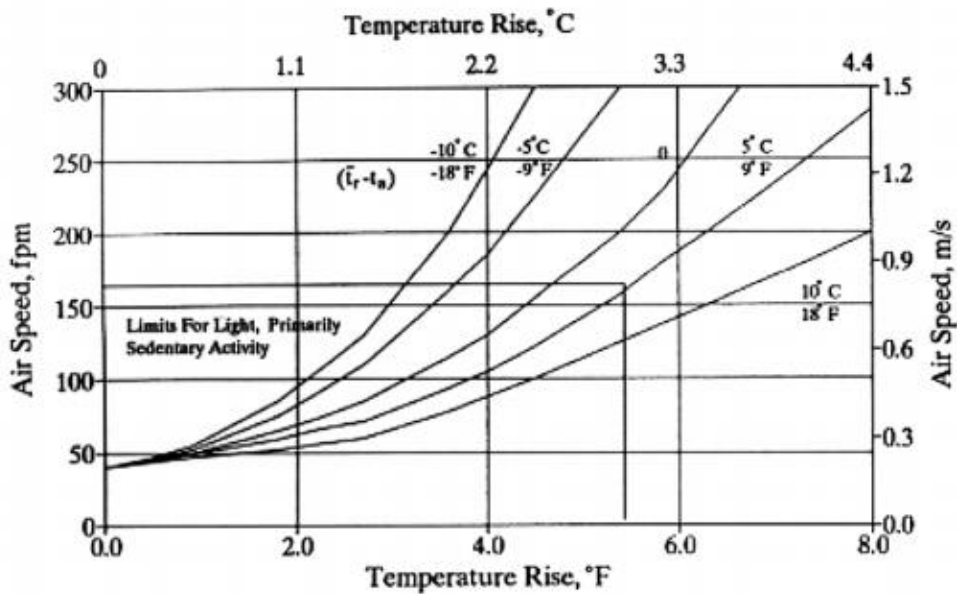
5.2.3 Μοντέλο Αυξανόμενης ταχύτητας αέρα

Δεν έχουν καθοριστεί ακριβείς σχέσεις μεταξύ της θερμικής άνεσης και της αυξημένης ταχύτητας αέρα. Ωστόσο, με την αύξηση της ταχύτητας του αέρα, μπορούμε να αυξήσουμε τη μέγιστη θερμοκρασία που γίνεται αποδεκτή για θερμική άνεση, αν οι θαμώνες μπορούν να ελέγξουν την ταχύτητα του αέρα. Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι τιμές αύξησης της ταχύτητας του αέρα. Οι συνδυασμοί ταχύτητας αέρα και θερμοκρασίας που σχηματίζουν τις γραμμές του σχήματος, αναφέρονται σε ίδια απώλεια θερμότητας από το δέρμα. Σημείο αναφοράς για αυτές τις καμπύλες είναι το ανώτερο όριο θερμοκρασίας της ζώνης θερμικής άνεσης και ταχύτητα ανέμου 0,2m/sec. Το σχήμα αναφέρεται σε άτομο ελαφριά ντυμένο 0,5-0,7clo) με σχεδόν καθιστική σωματική δραστηριότητα (1,0-1,3met).

Η ενδεικνυόμενη αύξηση της θερμοκρασίας, σχετίζεται με τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας και με την θερμοκρασία του αέρα. Αυτό σημαίνει ότι και οι δύο θερμοκρασίες αυξάνονται κατά το ίδιο ποσό σε σχέση με το σημείο εκκίνησης. Όταν η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας είναι χαμηλή και η θερμοκρασία αέρα είναι υψηλή, η αυξανόμενη ταχύτητα του αέρα είναι λιγότερο αποτελεσματική στην αύξηση της απώλειας θερμότητας. Αντίστροφα, η αυξανόμενη ταχύτητα του αέρα είναι περισσότερο αποτελεσματική στην

αύξηση της απώλειας θερμότητας, όταν η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας είναι υψηλή και η θερμοκρασία αέρα είναι χαμηλή.

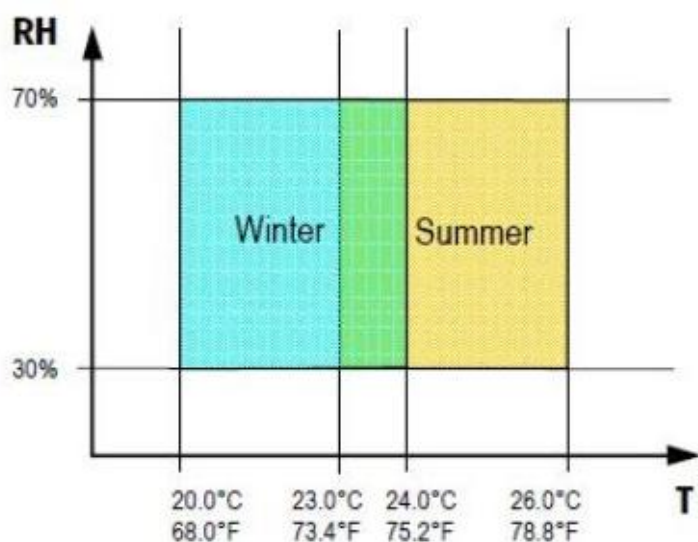
Τα οφέλη που μπορούν να προκύψουν από την αύξηση της ταχύτητας του αέρα εξαρτώνται από την ένδυση και τη δραστηριότητα. Η επίδραση της αύξησης της ταχύτητας του αέρα είναι μεγαλύτερη σε πιο έντονη δραστηριότητα και όχι σε μία καθιστική στάση σώματος. Λόγω της αύξησης της υγρασίας του δέρματος, επίσης, είναι πιο μεγάλη σε ελαφρύ ρουχισμό, λόγω της μεγαλύτερης επιφάνειας εκτεθειμένου δέρματος. Ο πίνακας αυτός δε θα πρέπει να χρησιμοποιείται για ρουχισμό μεγαλύτερο από 0.7 clo, καθώς η επίδραση της αύξησης της ταχύτητας του αέρα είναι μικρή, καθώς ανεβαίνει το επίπεδο ρουχισμού [21].



Σχήμα 5.2.3.1: Προσδιορισμός της ταχύτητας αέρα που είναι απαραίτητη για αύξηση της λειτουργικής θερμοκρασίας [21]

5.2.4 Σχηματική αναπαράσταση ορίων άνεσης και πρότυπα σχεδιασμού κτιρίων κατά ISO 7730

Ακολουθεί ένα σχήμα με τα όρια άνεσης κατά ISO 7730.



Εικόνα 5.2.4.1: Γραφική αναπαράσταση των ορίων των τιμών θερμοκρασίας ξηρού βολβού και σχετικής υγρασίας για θερμική άνεση στην καλοκαιρινή και χειμερινή περίοδο κατά το πρότυπο ISO 7730 [46]

Παρακάτω δίνεται ένας πίνακας με τις τιμές θερμοκρασίας που πρέπει να έχει ο αέρας σε συγκεκριμένους χώρους κατά τη θερινή και χειμερινή περίοδο, κατά ISO 7730.

Πίνακας 5.2.4.1: Παραδείγματα κριτηρίων σχεδιασμού διάφορων τύπων χώρων και κτιρίων [47]

Είδος κτηρίου/ χώρου	Δραστηριότητα (W/m ²)	Κλάση	Λειτουργική Θερμοκρασία (°C)		μέση μέγιστη ταχύτητα αέρα (m/s)	
			Καλοκαίρι	Χειμώνας	Καλοκαίρι	Χειμώνας
Γραφείο για 1 άτομο Χώρος με πολλά γραφεία	70	A	24,5 ± 1,0	22,0 ± 1,0	0,12	0,10
		B	24,5 ± 1,5	22,0 ± 2,0	0,19	0,16
		C	24,5 ± 2,5	22,0 ± 3,0	0,24	0,21
Αίθουσα συνεδριάσεων Αμφιθέατρο Καφετέρια/Εστιατόριο Τάξη	81	A	23,5 ± 1,0	20,0 ± 1,0	0,11	0,10
		B	23,5 ± 2,0	22,0 ± 2,5	0,18	0,15
		C	23,5 ± 2,5	22,0 ± 3,5	0,23	0,19
Παιδότοπος	93	A	23,0 ± 1,0	19,0 ± 1,5	0,16	0,13
		B	23,0 ± 2,0	19,0 ± 3,0	0,20	0,15
		C	23,0 ± 3,0	19,0 ± 4,0	0,23	0,18

5.3 Το Ευρωπαϊκό πρότυπο EN 15251 (European standard EN 15251)

Το πρότυπο EN 15251 εισάγει έναν καινούριο τρόπο αντιμετώπισης των δεδομένων και προσδιορισμού των συνθηκών που παρέχουν θερμική άνεση. Αρχικά προσπαθεί να συγκεντρώσει μαζί όλες τις υπάρχουσες πληροφορίες για τη βελτιστοποίηση της θερμικής άνεσης, της ακουστικής και οπτικής άνεσης και της ποιότητας του αέρα, έτσι ώστε οι σχεδιαστές χώρων να μπορούν να ενσωματώνουν στις μελέτες τους όλες τις πτυχές που μπορούν να επηρεάσουν τη χρήση ενέργειας. Δεύτερον, αναγνωρίζει τις διαφορετικές προσδοκίες από το θερμικό περιβάλλον των ανθρώπων που βρίσκονται σε μηχανικά και φυσικά αεριζόμενα κτίρια. Αυτά που προαναφέρθηκαν καθιστούν το πρότυπο EN 15251 πολύ ισχυρό για το σχεδιασμό νέων κτιρίων και την αξιολόγηση των υφιστάμενων κτιρίων.

Το πρότυπο αυτό ταξινομεί τα κτίρια από άποψη τύπου οικοδόμησης και προσδοκίας των θαμώνων. Οι κατηγορίες φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 5.3.1: Κατηγορίες κτιρίων, σύμφωνα με το πρότυπο EN 15251 [48]

Κατηγορία	Περιγραφή
I	Υψηλό επίπεδο προσδοκίας, χρησιμοποιείται μόνο για χώρους που καταλαμβάνουν πολύ ευαίσθητα άτομα
II	Κανονική προσδοκία για νέα κτίρια και ανακαινίσεις
III	Μέτρια προσδοκία (χρησιμοποιείται για υπάρχοντα κτίρια)
IV	Τιμές εκτός των κριτηρίων για τις παραπάνω κατηγορίες (αποδεκτές μόνο για περιορισμένες περιόδους)

Η κατηγορία II θεωρείται ως κανόνας στο σχεδιασμό κτιρίων, εκτός κι αν ένα κτίριο είναι σαφώς σε μια άλλη κατηγορία. Δίνει υποθέσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό ενέργειας για θέρμανση / ψύξη, ρυθμούς εξαερισμού, φωτισμού και ακουστικής. Προτείνονται επίσης μέθοδοι για τη δοκιμή συμμόρφωσης με το πρότυπο. Αυτή η ταξινόμηση αφορά μόνο εκείνα τα μέρη του προτύπου τα οποία ασχολούνται με τη θερμική και οπτική άνεση και θα επικεντρωθεί σε αυτές τις ανησυχίες [48].

Ακολουθεί και ένας πίνακας συσχέτισης της κατηγορίας αυτού του προτύπου με το δείκτη PMV-PPD:

Πίνακας 5.3.2: Σχέση μεταξύ κατηγορίας κτιρίων και δείκτη PMV [49]

Κατηγορία	PPD (%)	PMV
I	<6	-0.2 < PMV < + 0.2
II	<10	-0.5 < PMV < + 0.5
III	<15	-0.7 < PMV < + 0.7
IV	>15	PMV<-0.7 ή +0,7<PMV

Στην περίπτωση κτιρίων που έχουν υποστεί μηχανική ψύξη, οι κατηγορίες συνδέονται με τα όρια του PMV (PMV \pm 0,2 για την κατηγορία I, \pm 0,5 για τη II και \pm 0,7 για III) σε συμφωνία με τις κατηγορίες A, B και C στο πρότυπο ISO 7730 και ASHRAE 55 2004.

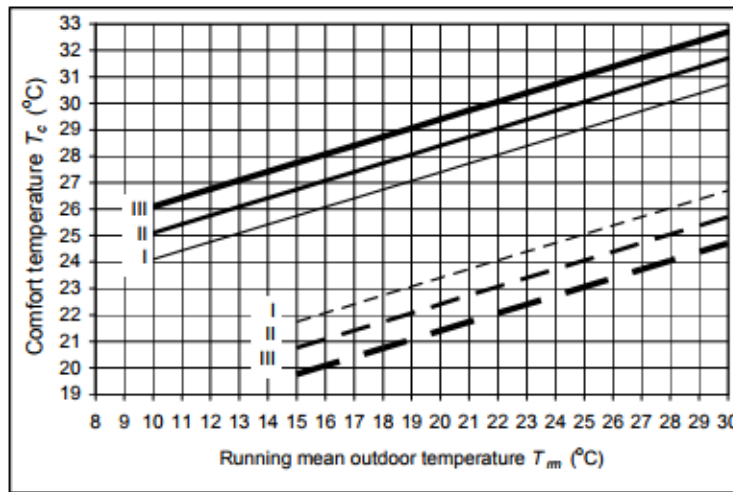
Για κτίρια μη μηχανικής ψύξης με ελεύθερο αερισμό, η θερμοκρασία άνεσης καθορίζεται σύμφωνα με τη μέση θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος (T_{rm}), από τον τύπο:

$$T_{comf} = 0,33 T_{rm} + 18,8 \quad (5.3.1)$$

όπου T_{comf} = η θερμοκρασία άνεσης

T_{rm} = η μέση θερμοκρασία εξωτερικού περιβάλλοντος

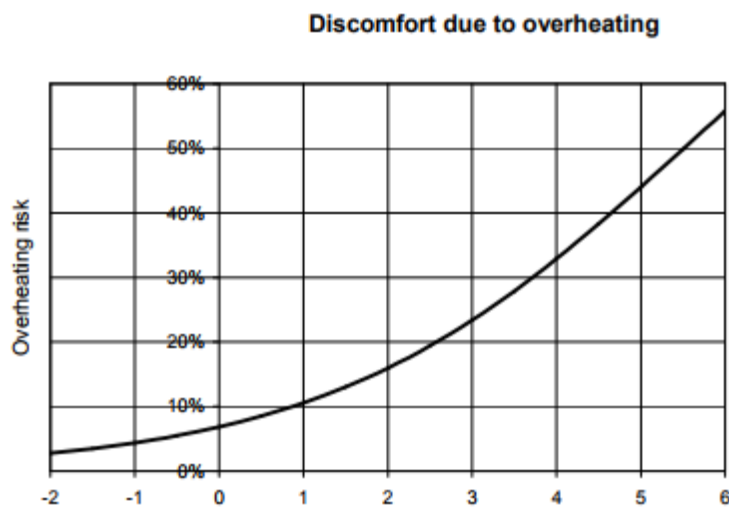
Η επιτρεπόμενη μέγιστη διαφορά μεταξύ αυτής της θερμοκρασίας άνεσης και της πραγματικής εσωτερικής θερμοκρασίας λειτουργίας (T_{diff}) δίνεται με βάση τις κατηγορίες: $T_{diff} \pm 2^\circ\text{K}$ για την κατηγορία I, $\pm 3^\circ\text{K}$ για την II και $\pm 4^\circ\text{K}$ για την III. Αυτό σημαίνει ότι οι οριακές θερμοκρασίες ποικίλλουν ανάλογα με την τιμή της μέσης εξωτερικής θερμοκρασίας (σχήμα 5.3.1) [48].



Σχήμα 5.3.1: Όρια θερμοκρασίας για στίγια που δεν έχουν υποστεί μηχανική ψύξη [48]

Πάνω από αυτές τις ζώνες θερμοκρασίας στα κτίρια, υπάρχει ο κίνδυνος υπερθέρμανσης. Η υπερθέρμανση των κτιρίων αποτελεί κρίσιμη πηγή ανησυχίας, ιδίως με την απειλή της υπερθέρμανσης του πλανήτη.

Παρακάτω ακολουθεί ένας πίνακας που δίνει τη θερμική δυσφορία σε συνάρτηση με την υπερθέρμανση σε ένα χώρο (τη διαφορά μεταξύ πραγματικής λειτουργικής θερμοκρασίας και θερμοκρασίας άνεσης T_{diff}):



Σχήμα 5.3.2: Ποσοστό αύξησης θερμικής δυσφορίας συναρτήσει της διαφοράς μεταξύ θερμοκρασίας λειτουργίας και θερμοκρασίας άνεσης ($^{\circ}K$) [48]

Επιπλέον, στον επόμενο πίνακα παρουσιάζεται η τιμή του δείκτη PPD σε σχέση με την αύξηση της θερμοκρασίας πάνω από τη θερμοκρασία άνεσης, μέσα σε ένα χώρο:

Πίνακας 5.3.3: Τιμές PPD συναρτήσει της αύξησης της λειτουργικής θερμοκρασίας (θερμοκρασία άνεσης)
[48]

Θερμοκρασία (°C)		αύξηση (°C)	PPD
Κρύο	20	3	47
	21	2	31
	22	1	19
Ουδέτερα	23	0	10
	24	0	< 10
	25	0	< 10
	26	0	10
Ζέστη	27	1	19
	28	2	31
	29	3	47

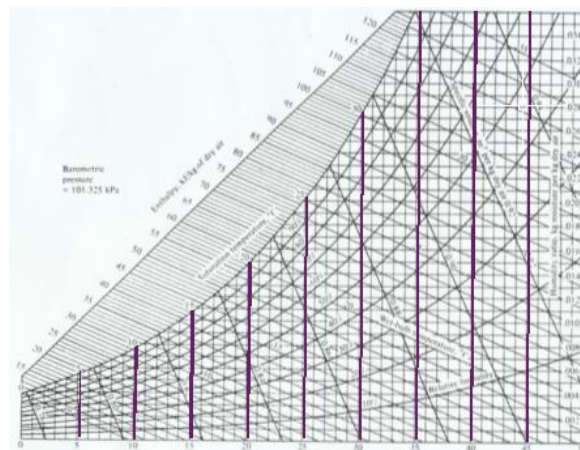
Κεφάλαιο 6° : Ψυχομετρικός χάρτης ASHRAE

Ο ψυχομετρικός χάρτης που θα χρησιμοποιήσουμε για τους υπολογισμούς της διπλωματικής αυτής είναι ο χάρτης της ASHRAE (δίνεται μεγάλη εικόνα του στο τέλος του κεφαλαίου)

Ακολουθεί αναφορά στα κύρια μεγέθη του χάρτη:

6.1 Θερμοκρασία ξηρού βολβού T_{db}

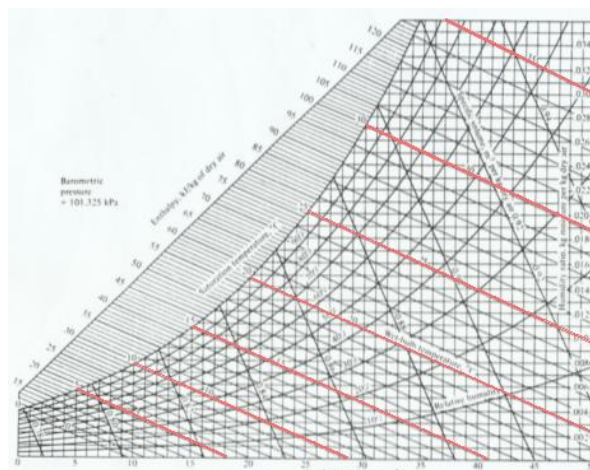
Έχει γίνει ακριβής αναφορά στο μέγεθος αυτό σε προηγούμενο κεφάλαιο. Οι ευθείες σταθερής θερμοκρασίας δεν είναι ακριβώς παράλληλες μεταξύ τους και παρεκκλίνουν ελαφρώς από την κατακόρυφο [50],[51].



Εικόνα 6.1.1: Ευθείες σταθερής T_{db} στον ψυχομετρικό χάρτη

6.2 Θερμοκρασία υγρού βολβού T_{wb}

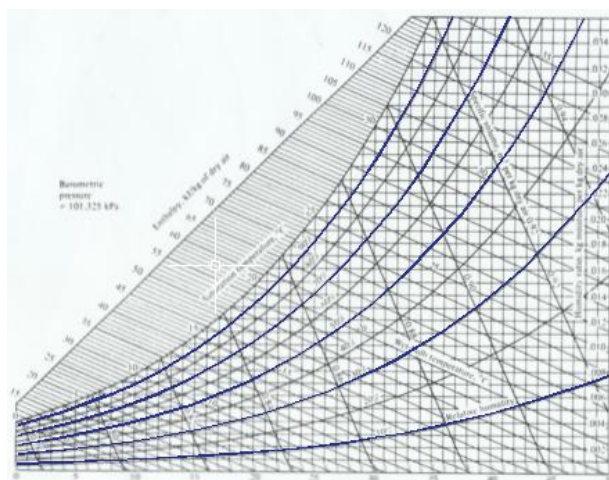
Η τελική θερμοκρασία του υγρού αέρα στην έξοδο από την αδιαβατική ύγρανση ονομάζεται Θερμοκρασία Υγρού Βολβού. Ουσιαστικά, είναι αυτή που αισθανόμαστε όταν εκθέσουμε κάποιο σημείο μουσκεμένου ανθρώπινου σώματος σε διερχόμενο ρεύμα αέρα. οι ευθείες σταθερής θερμοκρασίας δεν είναι ακριβώς παράλληλες μεταξύ τους και παρεκκλίνουν ελαφρά από τη διεύθυνση των ευθειών σταθερής ενθαλπίας [50],[51].



Εικόνα 6.2.1: Ευθείες σταθερής T_{wb} στον ψυχομετρικό χάρτη

6.3 Σχετική υγρασία RH

Οι καμπύλες σταθερής σχετικής υγρασίας αντιστοιχούν σε τιμές από $\phi=0\%$ (ευθεία ταυτιζόμενη με την $W=0$, ξηρός αέρας) μέχρι την καμπύλη κορεσμού $\phi=100\%$. Η καμπύλη αυτή διαχωρίζει την περιοχή του μη κεκορεσμένου υγρού αέρα (μίγμα ξηρού αέρα και υπέρθερμου υδρατμού) από την περιοχή της ομίχλης. Στη διφασική αυτή περιοχή συνυπάρχει σε θερμική ισορροπία κεκορεσμένος υγρός αέρας με υγρή φάση νερού [50],[51].

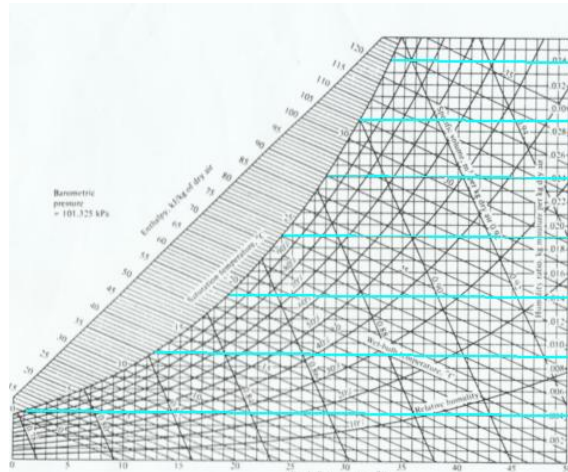


Εικόνα 6.3.1: Καμπύλες σταθερής RH στον ψυχομετρικό χάρτη

6.4 Ειδικός όγκος v

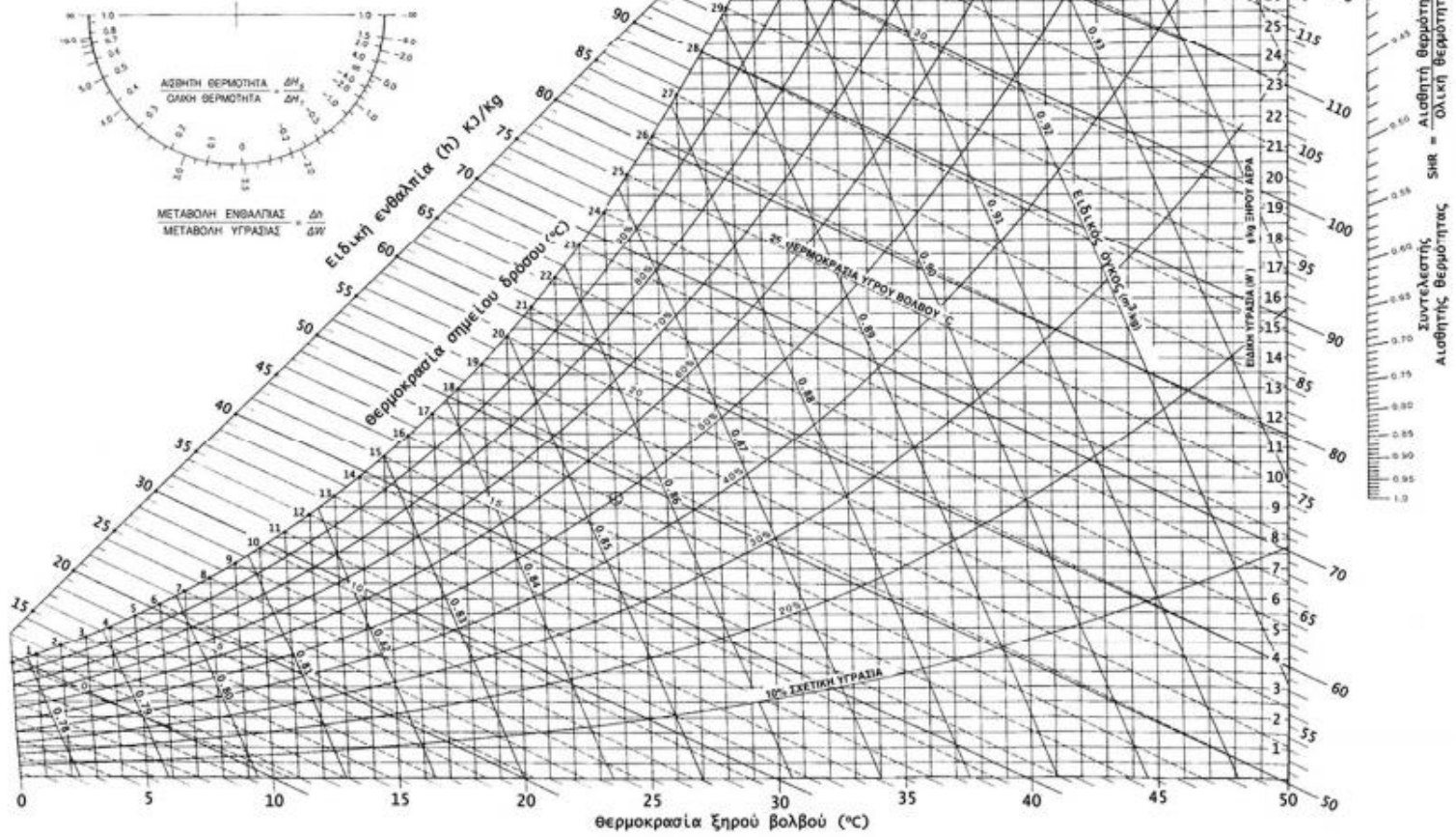
Ονομάζεται ο λόγος του όγκου του υγρού αέρα προς τη μάζα του ξηρού αέρα και μετριέται σε m^3 υγρού αέρα προς kg ξηρού αέρα. Οι ευθείες ίσου ειδικού όγκου ευρίσκονται υπό κλίση προς την οριζόντια διεύθυνση και δεν είναι ακριβώς παράλληλες μεταξύ τους [50],[51].

γραμμές σταθερού λόγου υγρασίας είναι οριζόντιες και παίρνουν τιμές από 0-30 gr υδρατμού/kg ξηρού αέρα [50],[51].



Εικόνα 6.6.1: Ευθείες σταθερού W στον ψυχομετρικό χάρτη

ASHRAE ΨΥΧΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ NO. 1
 ΚΑΝΟΝΙΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ - ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΘΑΛΑΣΣΗΣ
 ΒΑΡΟΜΕΤΡΙΚΗ ΠΙΕΣΗ 101.325 kPa
 COPYRIGHT 1992



Εικόνα 6.1: ψυχομετρικός χάρτης ASHRAE

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο : ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

7.1 Εισαγωγή

Στο δεύτερο μέρος της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα γίνουν κάποιοι υπολογισμοί που αφορούν το εξωτερικό θερμικό περιβάλλον της περιοχής της Αθήνας, με σκοπό να βγουν συμπεράσματα για τη διαφορά των συνθηκών του περιβάλλοντος αυτού από τις αντίστοιχες συνθήκες στις ζώνες θερμικής άνεσης, για όλους τους μήνες του έτους και όλο το 24ωρο.

Έχει καθιερωθεί να αναφερόμαστε στην 21^η ημέρα κάθε μήνα, ως αντιπροσωπευτική, όταν θέλουμε να αναφερθούμε σε όλο το μήνα. Επομένως, οι υπολογισμοί των τιμών που θα ακολουθήσουν θα έχουν γίνει για κάθε 21^η ημέρα των 12 μηνών του χρόνου.

Αρχικά, θα υπολογιστούν οι τιμές της θερμοκρασίας ξηρού βολβού και της σχετικής υγρασίας για τις 24 ώρες της ημέρας κάθε μήνα και με βάση αυτά τα αποτελέσματα θα υπολογιστούν κι τα υπόλοιπα μεγέθη του ψυχομετρικού χάρτη. Στη συνέχεια, τα σημεία για κάθε ώρα της 21^{ης} ημέρας κάθε μήνα θα αναπαρασταθούν στον ψυχομετρικό χάρτη και θα δούμε έτσι γραφικά την «πορεία» των σημείων για όλη την ημέρα και τη σχέση που θα έχουν τα σημεία αυτά με τις αντίστοιχες ζώνες θερμικής άνεσης. Να σημειωθεί εδώ πως ως θερινή περίοδος έχει θεωρηθεί το διάστημα από τον Απρίλιο έως και το Σεπτέμβριο και ως χειμερινή αυτή από τον Οκτώβριο έως και τον Μάρτιο, σύμφωνα και με όσα ειπώθηκαν στο 1^ο Κεφάλαιο για το κλίμα της Ελλάδας.

Έπειτα, θα υπολογιστούν οι διαφορές στην ενθαλπία που έχουν τα σημεία με τα αντίστοιχά τους, σε περίπτωση οριακής εισόδου στη ζώνη άνεσης. Τα μεγέθη αυτά θα μας δώσουν ποσά ενέργειας, τα οποία και θα συνδέσουμε μέσω σχέσεων, ώστε να βγάλουμε συμπεράσματα για την ενέργεια που χρειάζεται να προσδοθεί ή να αφαιρεθεί από τον αέρα εξωτερικού περιβάλλοντος της Αθήνας για να καταστεί άνετος θερμικά. Τα συμπεράσματα αυτά θα προκύψουν για διαστήματα ανάμεσα σε δύο διαδοχικές ώρες και μετέπειτα για όλο το 24ωρο για κάθε μήνα του έτους.

7.2 Υπολογισμός των μεγεθών του ψυχρομετρικού χάρτη του εξωτερικού περιβάλλοντος της Αθήνας για όλους τους μήνες του έτους και για όλο το 24ωρο.

7.2.1 Υπολογισμός θερμοκρασίας και υγρασίας

Έπειτα από στατιστική επεξεργασία σχετικών μετρήσεων της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας, στον τομέα θερμότητας του Ε.Μ.Π, προέκυψαν δύο εξισώσεις που δίνουν την ημερήσια μεταβολή της μέσης θερμοκρασίας ξηρού βολβού t_o (T_{db}) και της μέσης σχετικής υγρασίας ϕ_o (RH) εξωτερικού περιβάλλοντος για την περιοχή της Αθήνας. Οι υπολογισμοί γίνονται για την 21^η κάθε μήνα[50]

Από την εξίσωση:

$$t_o(H) = M + \sum_{i=1}^3 C_i \cos\left[i \frac{360}{24} (H - 0.5)\right] + \sum_{i=1}^3 S_i \sin\left[i \frac{360}{24} (H - 0.5)\right] \quad (7.2.1.1)$$

όπου: $H = \eta$ ώρα της ημέρας 1÷24 (το 1 αναφέρεται στην ώρα 1:00 π.μ. και το 24 στην 00:00 π.μ.)

M, C_i, S_i = συντελεστές που δίνονται στον πίνακα 7.2.1.1

θα υπολογίσουμε τη μεταβολή της θερμοκρασίας [50].

Πίνακας 7.2.1.1: Τιμές Συντελεστών της συνάρτησης (7.2.1.1)

ΗΜΕΡΑ	M	C ₁	C ₂	C ₃	S ₁	S ₂	S ₃
21 ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ	9.384	-1.673	0.711	0.0085	-1.723	0.524	-0.2410
21 ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΥ	10.984	-2.150	0.785	-0.1070	-1.750	0.578	-0.0724
21 ΜΑΡΤΙΟΥ	11.956	-1.898	0.651	-0.0097	-1.084	0.256	-0.0093
21 ΑΠΡΙΛΙΟΥ	15.072	-2.668	0.727	0.2690	-1.763	0.243	0.2120
21 ΜΑΙΟΥ	20.724	-2.796	0.759	0.0926	-1.344	0.119	0.3080
21 ΙΟΥΝΙΟΥ	26.192	-3.393	0.115	0.1560	-2.196	-0.139	0.1570
21 ΙΟΥΛΙΟΥ	28.080	-3.359	0.811	0.2720	-2.077	0.134	0.1400
21 ΑΥΓΟΥΣΤΟΥ	27.880	-3.113	0.884	0.0670	-1.978	0.486	0.3610
21 ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΥ	23.236	-3.310	1.035	-0.0495	-1.696	0.477	0.2210
21 ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ	18.144	-2.630	1.085	-0.1440	-1.427	0.604	0.1380
21 ΝΟΕΜΒΡΙΟΥ	11.968	-1.300	0.616	-0.2520	-0.317	0.629	-0.0490
21 ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΥ	9.264	-1.110	0.521	-0.1520	-0.881	0.333	0.0080

Και από την εξίσωση:

$$\phi_o(H) = m + \sum_{i=1}^2 c_i \cos\left[i \frac{360}{24} (H - 0.5)\right] + \sum_{i=1}^2 s_i \sin\left[i \frac{360}{24} (H - 0.5)\right] \quad (7.2.1.2)$$

όπου: H= η ώρα της ημέρας 1÷24

m, c_i, s_i =συντελεστές που δίνονται στον πίνακα 7.2.1.2

θα υπολογίσουμε τη μεταβολή της υγρασίας [50].

Πίνακας 7.2.1.2: Τιμές Συντελεστών της συνάρτησης (7.2.1.2)

ΗΜΕΡΑ	m	C ₁	C ₂	S ₁	S ₂
21 ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ	70.132	8.102	-2.717	3.824	-4.1640
21 ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΥ	63.116	8.034	-3.018	4.247	-2.6720
21 ΜΑΡΤΙΟΥ	64.560	8.829	-2.375	1.803	0.3890
21 ΑΠΡΙΛΙΟΥ	60.572	11.624	-1.741	3.046	-3.4150
21 ΜΑΙΟΥ	59.576	10.493	-1.737	1.424	-1.2510
21 ΙΟΥΝΙΟΥ	50.512	10.908	-3.479	7.521	0.5880
21 ΙΟΥΛΙΟΥ	47.568	8.463	-2.420	5.654	0.0708
21 ΑΥΓΟΥΣΤΟΥ	41.668	6.595	-1.747	6.228	-0.9690
21 ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΥ	54.064	11.045	-2.802	3.990	-2.2590
21 ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ	67.468	13.095	-5.174	4.751	-1.2490
21 ΝΟΕΜΒΡΙΟΥ	65.916	5.210	-2.653	7.399	-1.1670
21 ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΥ	78.088	4.744	-2.683	2.836	-2.3640

Εφαρμόζοντας τις παραπάνω εξισώσεις, με τις κατάλληλες τιμές των συντελεστών για κάθε μήνα, καταλήξαμε στα αποτελέσματα, που αναγράφονται αναλυτικά στους παρακάτω πίνακες:

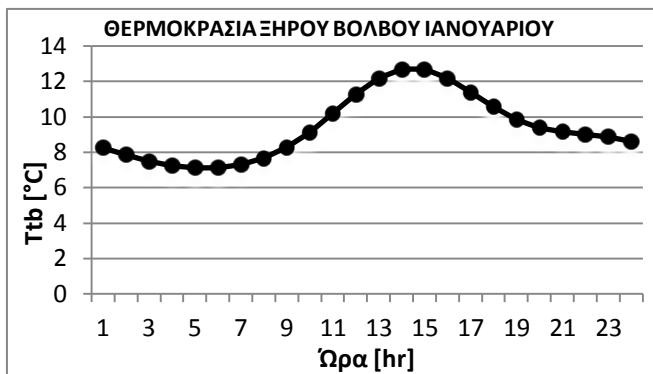
Πίνακας 7.2.1.3: Τιμές της θερμοκρασίας ξηρού βολβού T_{db} [°C] του περιβάλλοντος της Αθήνας για την 21^η ημέρα κάθε μήνα και για όλο το 24ωρο

ΩΡΑ	21 ^η ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ	21 ^η ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΥ	21 ^η ΜΑΡΤΙΟΥ	21 ^η ΑΠΡΙΛΙΟΥ	21 ^η ΜΑΙΟΥ	21 ^η ΙΟΥΝΙΟΥ	21 ^η ΙΟΥΛΙΟΥ	21 ^η ΑΥΓΟΥΣΤΟΥ	21 ^η ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΥ	21 ^η ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ	21 ^η ΝΟΕΜΒΡΙΟΥ	21 ^η ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΥ
1	8,238	9,405	10,615	13,291	18,744	23,787	25,602	25,715	20,895	16,474	11,144	8,500
2	7,833	9,184	10,417	12,917	18,567	23,112	25,084	25,575	20,783	16,435	11,384	8,454
3	7,472	8,948	10,201	12,398	18,248	22,403	24,515	25,212	20,529	16,236	11,562	8,369
4	7,221	8,713	10,025	11,928	17,906	21,877	24,109	24,733	20,199	15,899	11,587	8,220
5	7,104	8,525	9,961	11,750	17,756	21,774	24,092	24,380	19,969	15,559	11,438	8,030
6	7,126	8,468	10,083	12,038	18,004	22,254	24,600	24,425	20,061	15,422	11,194	7,879
7	7,298	8,648	10,439	12,814	18,743	23,331	25,616	25,038	20,640	15,686	11,014	7,880
8	7,659	9,155	11,034	13,946	19,899	24,856	26,976	26,199	21,736	16,452	11,078	8,127
9	8,261	10,016	11,823	15,204	21,252	26,565	28,443	27,708	23,216	17,668	11,489	8,647
10	9,121	11,161	12,711	16,368	22,526	28,175	29,794	29,264	24,822	19,132	12,217	9,371
11	10,177	12,421	13,569	17,297	23,495	29,458	30,892	30,588	26,263	20,550	13,090	10,151
12	11,269	13,567	14,264	17,959	24,055	30,298	31,690	31,513	27,303	21,643	13,862	10,810
13	12,174	14,378	14,687	18,383	24,232	30,679	32,195	32,004	27,823	22,222	14,308	11,206
14	12,682	14,712	14,778	18,599	24,122	30,652	32,413	32,123	27,827	22,242	14,312	11,281
15	12,676	14,542	14,542	18,592	23,823	30,290	32,323	31,944	27,340	21,781	13,908	11,072
16	12,192	13,965	14,045	18,309	23,379	29,661	31,890	31,509	26,659	20,994	13,245	10,682
17	11,399	13,151	13,392	17,709	22,787	28,837	31,110	30,817	25,714	20,048	12,516	10,232
18	10,540	12,283	12,704	16,828	22,039	27,904	30,062	29,878	24,658	19,083	11,878	9,815
19	9,826	11,505	12,083	15,799	21,177	26,971	28,908	28,763	23,585	18,194	11,406	9,469
20	9,362	10,885	11,595	14,827	20,307	26,148	27,848	27,624	22,597	17,447	11,097	9,193
21	9,127	10,429	11,257	14,094	19,573	25,510	27,039	26,656	21,799	16,891	10,913	8,968
22	9,003	10,096	11,044	13,683	19,085	25,055	26,527	26,015	21,264	16,551	10,823	8,784
23	8,856	9,840	10,901	13,531	18,859	24,699	26,225	25,734	20,998	16,418	10,828	8,643
24	8,601	9,618	10,773	13,464	18,797	24,312	25,967	25,704	20,922	16,429	10,939	8,552

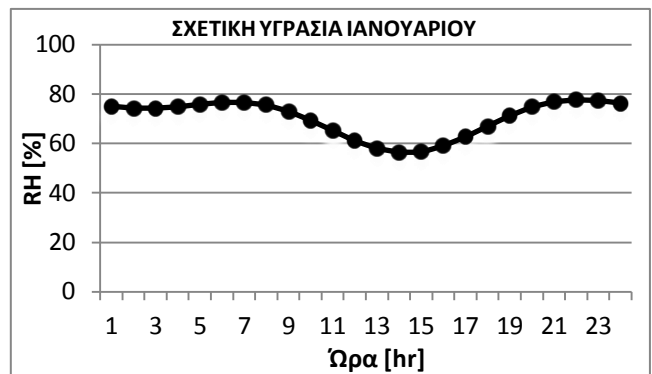
Πίνακας 7.2.1.4: Τιμές της σχετικής υγρασίας RH [%] του περιβάλλοντος της Αθήνας για την 21^η ημέρα κάθε μήνα και για όλο το 24ωρο

ΩΡΑ	21 ^η ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ	21 ^η ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΥ	21 ^η ΜΑΡΤΙΟΥ	21 ^η ΑΠΡΙΛΙΟΥ	21 ^η ΜΑΙΟΥ	21 ^η ΙΟΥΝΙΟΥ	21 ^η ΙΟΥΛΙΟΥ	21 ^η ΑΥΓΟΥΣΤΟΥ	21 ^η ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΥ	21 ^η ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ	21 ^η ΝΟΕΜΒΡΙΟΥ	21 ^η ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΥ
1	74,962	68,029	71,355	69,929	68,164	59,100	54,377	47,081	62,244	75,750	69,183	79,958
2	74,215	68,140	72,003	68,831	67,702	61,424	55,889	48,224	62,216	76,843	70,860	79,987
3	74,162	68,713	72,423	67,899	67,110	63,412	57,166	49,303	62,348	78,204	72,740	80,600
4	74,779	69,576	72,356	67,217	66,335	64,588	57,900	50,140	62,496	79,342	74,517	81,637
5	75,742	70,359	71,559	66,651	65,251	64,511	57,792	50,496	62,361	79,644	75,796	82,749
6	76,528	70,599	69,895	65,907	63,711	62,905	56,634	50,140	61,583	78,562	76,192	83,499
7	76,568	69,885	67,389	64,640	61,620	59,753	54,388	48,920	59,869	75,790	75,436	83,484
8	75,430	67,989	64,251	62,584	58,989	55,330	51,214	46,819	57,102	71,388	73,459	82,461
9	72,959	64,957	60,855	59,662	55,976	50,171	47,460	43,982	53,413	65,811	70,428	80,428
10	69,351	61,127	57,663	56,052	52,877	44,968	43,601	40,711	49,187	59,839	66,727	77,640
11	65,133	57,074	55,139	52,182	50,083	40,437	40,152	37,408	45,003	54,413	62,883	74,565
12	61,052	53,481	53,647	48,647	48,005	37,166	37,560	34,506	41,512	50,431	59,456	71,775
13	57,898	50,990	53,378	46,084	46,985	35,507	36,120	32,378	39,302	48,544	56,920	69,811
14	56,318	50,045	54,309	45,021	47,224	35,512	35,924	31,271	38,754	49,010	55,570	69,051
15	56,651	50,795	56,219	45,747	48,727	36,947	36,854	31,256	39,965	51,641	55,465	69,620
16	58,847	53,056	58,745	48,231	51,230	39,373	38,625	32,228	42,718	55,860	56,434	71,361
17	62,475	56,362	61,470	52,126	54,589	42,265	40,867	33,940	46,535	60,843	58,137	73,878
18	66,830	60,080	64,015	56,833	58,149	45,144	43,214	36,069	50,788	65,723	60,161	76,637
19	71,100	63,561	66,118	61,635	61,535	47,687	45,386	38,292	54,841	69,788	62,125	79,099
20	74,565	66,290	67,677	65,852	64,389	49,782	47,244	40,358	58,183	72,632	63,775	80,852
21	76,756	67,999	68,743	68,981	66,492	51,518	48,792	42,130	60,530	74,216	65,032	81,704
22	77,551	68,704	69,476	70,788	67,793	53,119	50,145	43,593	61,854	74,832	65,986	81,714
23	77,177	68,669	70,073	71,329	68,382	54,836	51,462	44,828	62,357	74,973	66,847	81,160
24	76,119	68,303	70,683	70,901	68,439	56,832	52,865	45,957	62,372	75,156	67,855	80,442

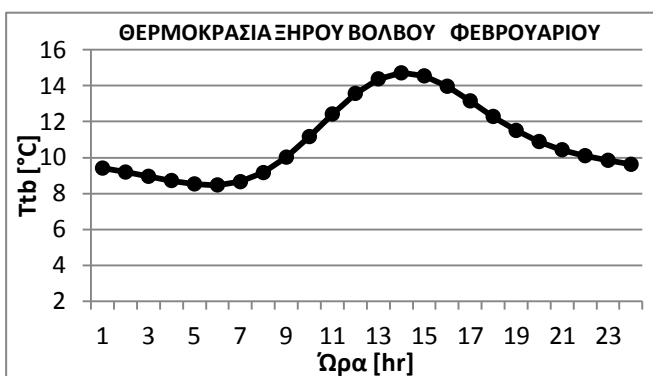
Ακολουθούν τα σχετικά διαγράμματα των παραπάνω υπολογισμένων μεγεθών:



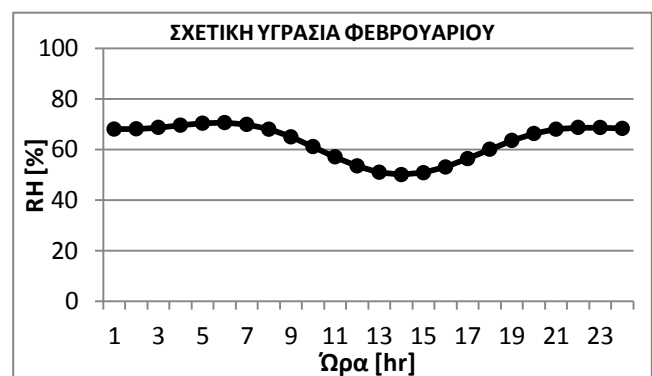
Σχήμα 7.2.1.1: Θερμοκρασία ξηρού βολβού συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Ιανουαρίου



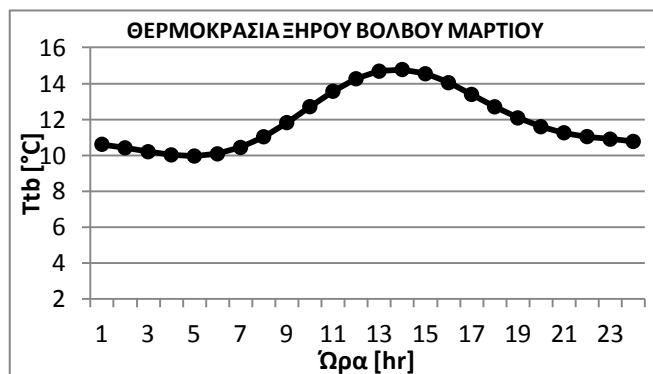
Σχήμα 7.2.1.13: Σχετική υγρασία συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Ιανουαρίου



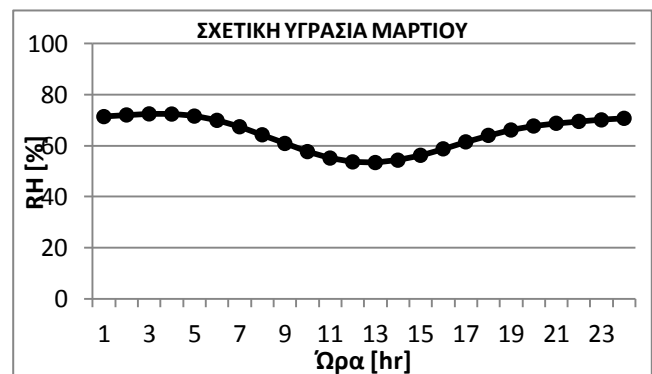
Σχήμα 7.2.1.2: Θερμοκρασία ξηρού βολβού συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Φεβρουαρίου



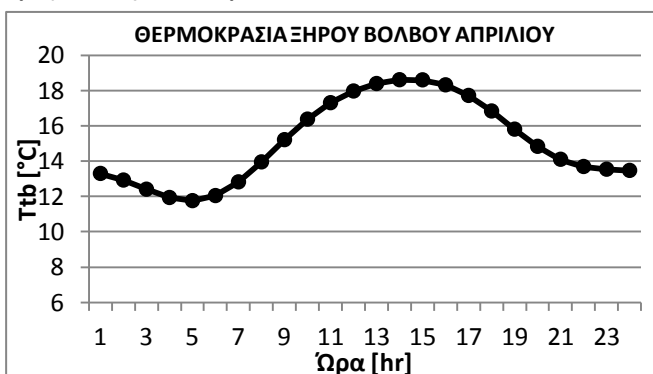
Σχήμα 7.2.1.14: Σχετική υγρασία συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Φεβρουαρίου



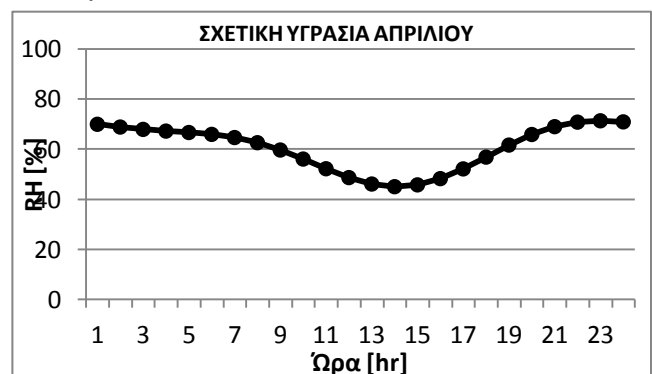
Σχήμα 7.2.1.3: Θερμοκρασία ξηρού βολβού συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Μαρτίου



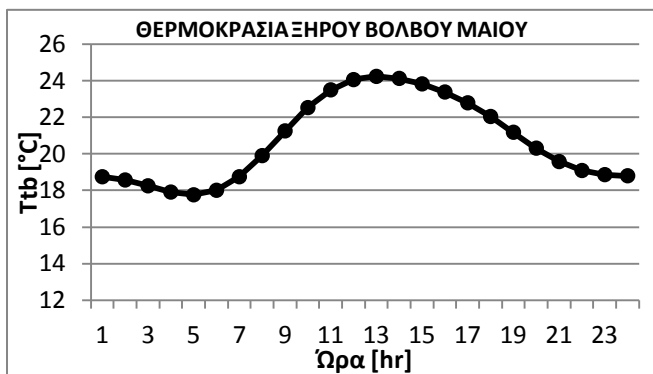
Σχήμα 7.2.1.15: Σχετική υγρασία συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Μαρτίου



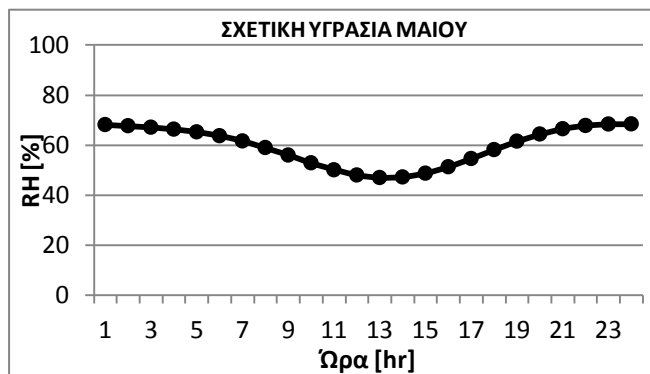
Σχήμα 7.2.1.4: Θερμοκρασία ξηρού βολβού συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Απριλίου



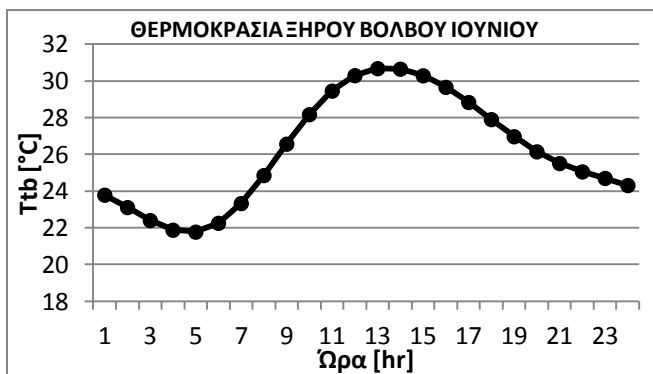
Σχήμα 7.2.1.16: Σχετική υγρασία συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Απριλίου



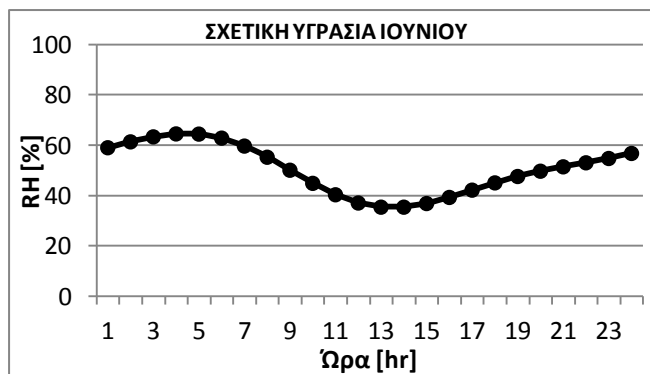
Σχήμα 7.2.1.5: Θερμοκρασία ξηρού βολβού συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Μαΐου



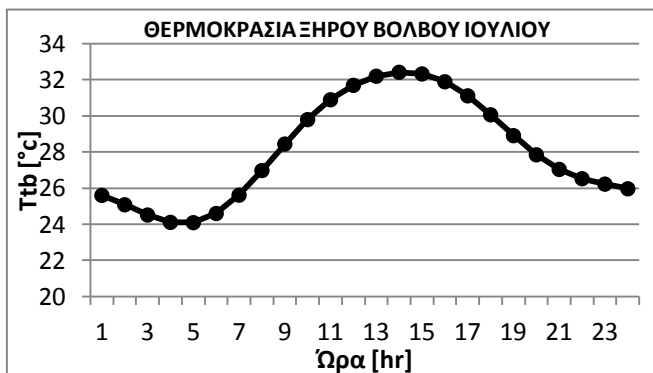
Σχήμα 7.2.1.17: Σχετική υγρασία συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Μαΐου



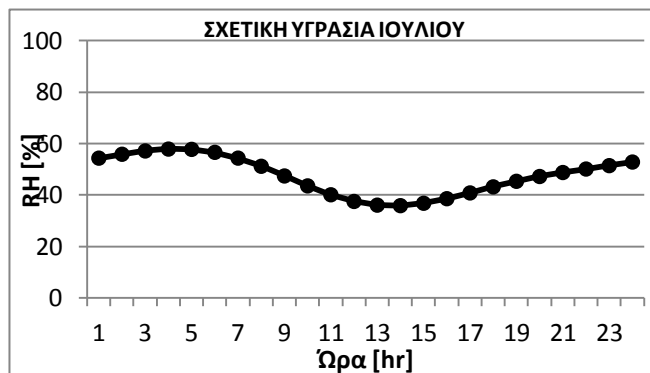
Σχήμα 7.2.1.6: Θερμοκρασία ξηρού βολβού συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Ιουνίου



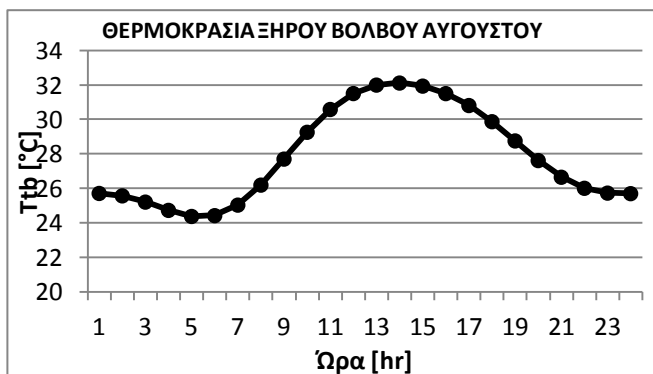
Σχήμα 7.2.1.18: Σχετική υγρασία συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Ιουνίου



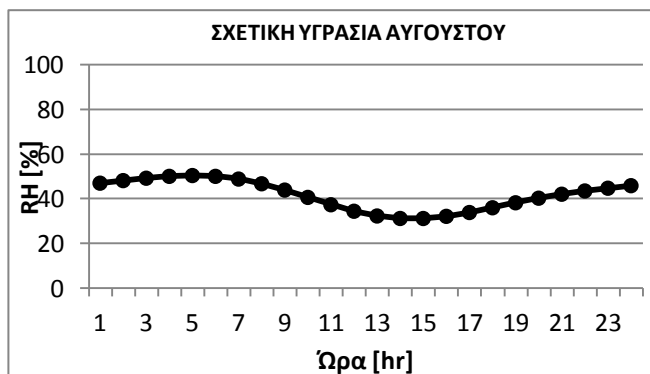
Σχήμα 7.2.1.7: Θερμοκρασία ξηρού βολβού συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Ιουλίου



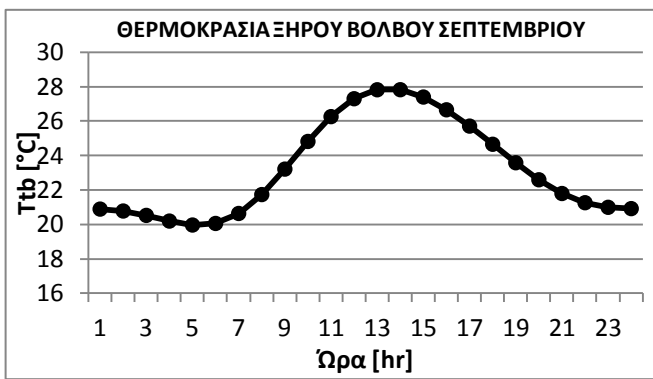
Σχήμα 7.2.1.19: Σχετική υγρασία συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Ιουλίου



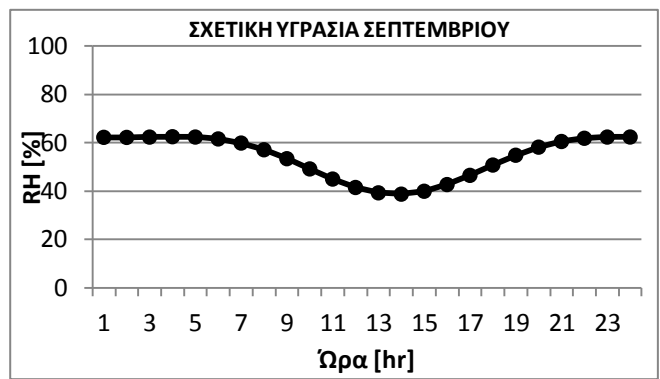
Σχήμα 7.2.1.8: Θερμοκρασία ξηρού βολβού συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Αυγούστου



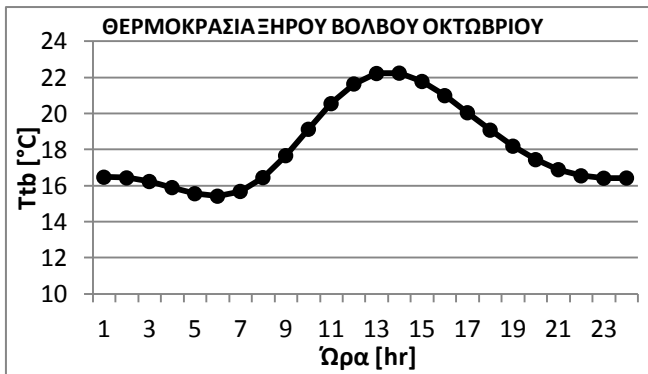
Σχήμα 7.2.1.20: Σχετική υγρασία συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Αυγούστου



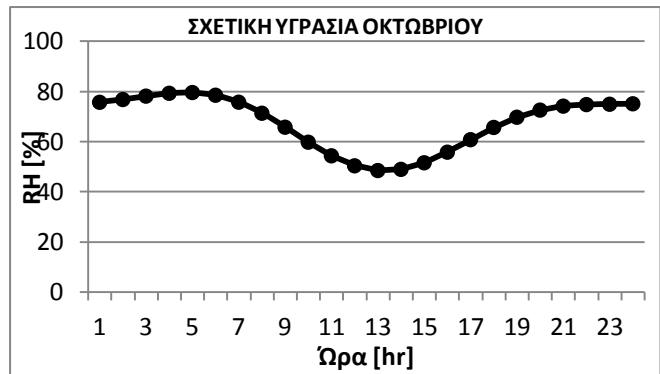
Σχήμα 7.2.1.9: Θερμοκρασία ξηρού βολβού συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Σεπτεμβρίου



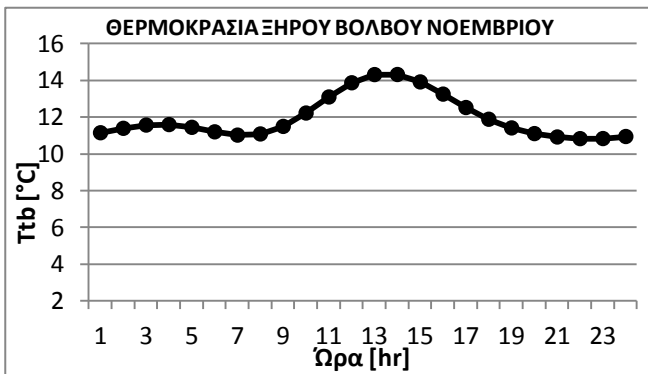
Σχήμα 7.2.1.21: Σχετική υγρασία συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Σεπτεμβρίου



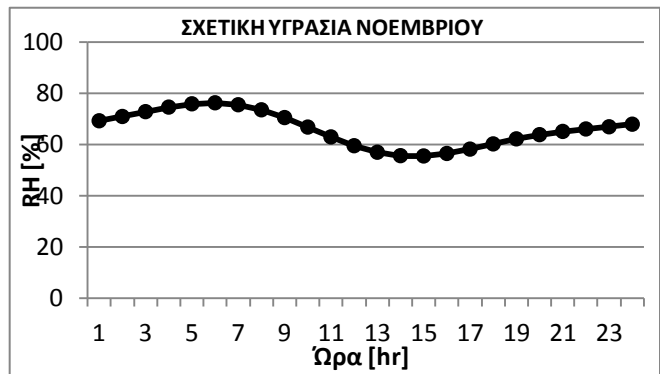
Σχήμα 7.2.1.10: Θερμοκρασία ξηρού βολβού συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Οκτωβρίου



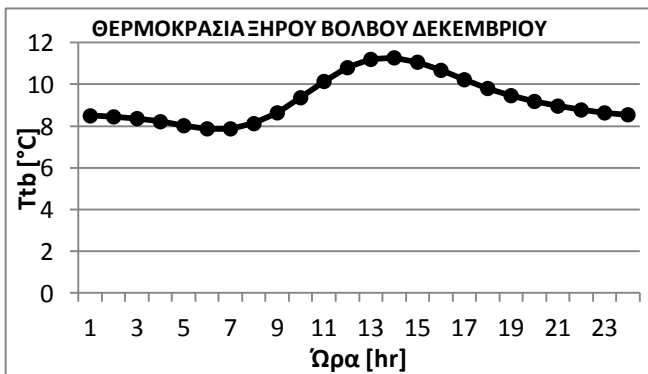
Σχήμα 7.2.1.22: Σχετική υγρασία συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Οκτωβρίου



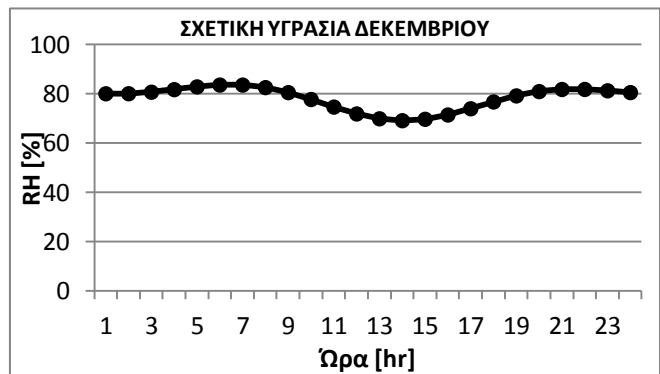
Σχήμα 7.2.1.11: Θερμοκρασία ξηρού βολβού συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Νοεμβρίου



Σχήμα 7.2.1.23: Σχετική υγρασία συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Νοεμβρίου



Σχήμα 7.2.1.12: Θερμοκρασία ξηρού βολβού συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Δεκεμβρίου



Σχήμα 7.2.1.24: Σχετική υγρασία συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Δεκεμβρίου

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Συγκρίνοντας τις καμπύλες μεταξύ τους, παρατηρούμε ότι όλες οι καμπύλες θερμοκρασίας έχουν παρόμοια μορφή για όλους τους μήνες. Για όλους σχεδόν του μήνες, εκτός Μαΐου και Ιουνίου, η μέγιστη τιμή της θερμοκρασίας εμφανίζεται στις 14:00. Το Μάιο και τον Ιούνιο εμφανίζεται στις 13:00.

Παρόμοια μορφή για όλους τους μήνες έχουν και οι καμπύλες σχετικής υγρασίας. Παρατηρούμε ότι οι ελάχιστες τιμές εμφανίζονται στο διάστημα 13:00-15:00 το μεσημέρι και καταλαβαίνουμε πως είναι λογικό, καθώς τότε γίνεται πιο εύκολα η εξάτμιση των υδρατμών από τον ατμοσφαιρικό αέρα.

7.2.2 Υπολογισμός όλων των μεγεθών του ψυχομετρικού χάρτη

Έχοντας βρει τις τιμές της σχετικής υγρασίας και θερμοκρασίας ξηρής σφαίρας για κάθε 21^η ημέρα όλων των μηνών του έτους και για κάθε ώρα της ημέρας, σκοπός μας είναι να τοποθετήσουμε αυτές τις τιμές πάνω στον ψυχομετρικό χάρτη και να μελετήσουμε τον τρόπο που "προχωρούν" κατά τη διάρκεια της ημέρας και πώς σχετίζονται με τη ζώνη άνεσης για κάθε εποχή. Αρχικά, μέσω ενός ηλεκτρονικού εγχειριδίου της ASHRAE [52], βρήκαμε τις τιμές όλων των μεγεθών του ψυχομετρικού χάρτη για τις τιμές που καταχωρήθηκαν ως δεδομένα. Ακολουθούν πίνακες που περιέχουν τα δεδομένα αυτά:

21^η ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ

Πίνακας 7.2.2.1: Τιμές όλων των μεγεθών του ψυχομετρικού χάρτη για την 21^η Ιανουαρίου για όλο το 24ωρο

ΩΡΕΣ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΞΗΡΟΥ ΒΟΛΒΟΥ (Tdb) [°C]	ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (RH) [%]	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΥΓΡΟΥ ΒΟΛΒΟΥ (Twb) [°C]	ΕΝΘΑΛΠΙΑ (h) [kJ/kg ξ.α.]	ΕΙΔΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (W) [gr υδρ./kg ξ.α.]	ΕΙΔΙΚΟΣ ΟΓΚΟΣ ΑΕΡΑ(ν) [m ³ /kg ξ.α.]
1	8,238	74,962	6,206	21,03	5,058	0,803
2	7,833	74,215	5,771	20,147	4,87	0,801
3	7,472	74,162	5,434	19,472	4,747	0,8
4	7,221	74,779	5,3	19,09	4,7	0,8
5	7,104	75,742	5,222	19,05	4,728	0,799
6	7,126	76,528	5,305	19,215	4,784	0,799
7	7,298	76,568	5,468	19,539	4,844	0,8
8	7,659	75,43	5,71	20,025	4,892	0,801
9	8,261	72,959	6,059	20,73	4,93	0,803
10	9,121	69,351	6,53	21,696	4,967	0,805
11	10,177	65,133	7,093	22,87	5,008	0,808
12	11,269	61,052	7,663	24,079	5,049	0,811
13	12,174	57,898	8,128	25,084	5,084	0,814
14	12,682	56,318	8,397	25,673	5,113	0,816
15	12,676	56,651	8,427	25,738	5,142	0,816
16	12,192	58,847	8,24	25,329	5,174	0,814
17	11,399	62,475	7,916	24,624	5,213	0,812
18	10,54	66,83	7,574	23,89	5,267	0,81
19	9,826	71,1	7,378	23,473	5,389	0,808
20	9,362	74,565	7,207	23,11	5,432	0,807
21	9,127	76,756	7,181	23,054	5,505	0,806
22	9,003	77,551	7,134	22,955	5,515	0,806
23	8,856	77,177	6,965	22,601	5,434	0,805
24	8,601	76,119	6,639	21,921	5,266	0,804

21^η ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΥ

Πίνακας 7.2.2.2: Τιμές όλων των μεγεθών του ψυχομετρικού χάρτη για την 21^η Φεβρουαρίου για όλο το 24ωρο

ΩΡΕΣ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΞΗΡΟΥ ΒΟΛΒΟΥ (Tdb) [°C]	ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (RH) [%]	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΥΓΡΟΥ ΒΟΛΒΟΥ (Twb) [°C]	ΕΝΘΑΛΠΙΑ (h) [kJ/kg ξ.α.]	ΕΙΔΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (W) [gr υδρ./kg ξ.α.]	ΕΙΔΙΚΟΣ ΟΓΚΟΣ ΑΕΡΑ (v) [m ³ /kg ξ.α.]
1	9,405	68,029	6,668	21,982	4,967	0,806
2	9,184	68,14	6,48	21,593	4,901	0,805
3	8,948	68,713	6,318	21,26	4,864	0,805
4	8,713	69,576	6,181	20,98	4,835	0,804
5	8,525	70,359	6,079	20,77	4,839	0,803
6	8,468	70,599	6,047	20,707	4,837	0,803
7	8,648	69,885	6,149	20,914	4,847	0,804
8	9,155	67,989	6,441	21,511	4,88	0,805
9	10,016	64,957	6,934	22,537	4,941	0,808
10	11,161	61,127	7,576	23,894	5,019	0,811
11	12,421	57,074	8,254	25,359	5,094	0,815
12	13,567	53,481	8,838	26,65	5,145	0,818
13	14,378	50,99	9,234	27,537	5,171	0,82
14	14,712	50,045	9,4	27,914	5,186	0,821
15	14,542	50,795	9,347	27,793	5,206	0,821
16	13,965	53,056	9,124	27,29	5,239	0,819
17	13,151	56,362	8,8	26,564	5,278	0,817
18	12,283	60,08	8,445	25,778	5,315	0,815
19	11,505	63,561	8,115	25,057	5,342	0,813
20	10,885	66,29	7,83	24,44	5,347	0,811
21	10,429	67,999	7,584	23,911	5,32	0,809
22	10,096	68,704	7,35	23,413	5,257	0,808
23	9,84	68,669	7,117	22,919	5,164	0,808
24	9,618	68,303	6,884	22,432	5,059	0,807

21^η ΜΑΡΤΙΟΥ

Πίνακας 7.2.2.3: Τιμές όλων των μεγεθών του ψυχομετρικού χάρτη για την 21^η Μαρτίου για όλο το 24ωρο

ΩΡΕΣ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΞΗΡΟΥ ΒΟΛΒΟΥ (Tdb) [°C]	ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (RH) [%]	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΥΓΡΟΥ ΒΟΛΒΟΥ (Twb) [°C]	ΕΝΘΑΛΠΙΑ (h) [kJ/kg ξ.α.]	ΕΙΔΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (W) [gr υδρ./kg ξ.α.]	ΕΙΔΙΚΟΣ ΟΓΚΟΣ ΑΕΡΑ (v) [m ³ /kg ξ.α.]
1	10,615	71,355	8,063	24,944	5,656	0,81
2	10,417	72,003	7,943	24,683	5,632	0,81
3	10,201	72,423	7,785	24,341	5,583	0,809
4	10,025	72,356	7,618	23,984	5,512	0,809
5	9,961	71,559	7,488	23,705	5,427	0,808
6	10,083	69,895	7,447	23,619	5,344	0,808
7	10,439	67,389	7,536	23,809	5,276	0,809
8	11,034	64,251	7,767	24,304	5,233	0,811
9	11,823	60,855	8,125	25,077	5,222	0,813
10	12,711	57,663	8,563	26,038	5,246	0,816
11	13,569	55,139	9,022	27,06	5,307	0,818
12	14,264	53,647	9,44	28,006	5,402	0,82
13	14,687	53,378	9,763	28,746	5,525	0,822
14	14,778	54,309	9,946	29,169	5,656	0,822
15	14,542	56,219	9,964	29,211	5,767	0,822
16	14,045	58,745	9,822	28,88	5,836	0,82
17	13,392	61,47	9,552	28,26	5,853	0,819
18	12,704	64,015	9,215	27,496	5,827	0,817
19	12,083	66,118	8,879	26,74	5,777	0,815
20	11,595	67,677	8,597	26,114	5,725	0,813
21	11,257	68,743	8,397	25,673	5,687	0,812
22	11,044	69,476	8,275	25,406	5,666	0,812
23	10,901	70,073	8,203	25,247	5,661	0,811
24	10,773	70,683	8,144	25,12	5,662	0,811

21^η ΑΠΡΙΛΙΟΥ

Πίνακας 7.2.2.4: Τιμές όλων των μεγεθών του ψυχομετρικού χάρτη για την 21^η Απριλίου για όλο το 24ωρο

ΩΡΕΣ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΞΗΡΟΥ ΒΟΛΒΟΥ (Tdb) [°C]	ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (RH) [%]	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΥΓΡΟΥ ΒΟΛΒΟΥ (Twb) [°C]	ΕΝΘΑΛΠΙΑ (h) [kJ/kg ξ.α.]	ΕΙΔΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (W) [gr υδρ./kg ξ.α.]	ΕΙΔΙΚΟΣ ΟΓΚΟΣ ΑΕΡΑ (v) [m ³ /kg ξ.α.]
1	13,291	69,929	10,346	30,101	6,623	0,819
2	12,917	68,831	9,897	29,054	6,359	0,818
3	12,398	67,899	9,337	27,773	6,06	0,816
4	11,928	67,217	8,85	26,675	5,814	0,814
5	11,75	66,651	8,635	26,199	5,696	0,814
6	12,038	65,907	8,818	26,604	5,741	0,815
7	12,814	64,64	9,376	27,861	5,927	0,817
8	13,946	62,584	10,154	29,651	6,181	0,821
9	15,204	59,662	10,921	31,466	6,394	0,824
10	16,368	56,052	11,491	32,847	6,472	0,828
11	17,297	52,182	11,791	33,585	6,391	0,83
12	17,959	48,647	11,878	33,8	6,21	0,832
13	18,383	46,084	11,878	33,8	6,04	0,833
14	18,599	45,021	11,905	33,868	5,981	0,834
15	18,592	45,747	11,999	34,101	6,075	0,834
16	18,309	48,231	12,106	34,37	6,295	0,833
17	17,709	52,126	12,125	34,416	6,554	0,832
18	16,828	56,833	11,976	34,044	6,76	0,83
19	15,799	61,635	11,663	33,268	6,867	0,827
20	14,827	65,852	11,285	32,345	6,893	0,824
21	14,094	68,981	10,969	31,582	6,886	0,822
22	13,683	70,788	10,789	31,15	6,881	0,821
23	13,531	71,329	10,707	30,955	6,865	0,82
24	13,464	70,901	10,602	30,706	6,793	0,82

21^η ΜΑΙΟΥ

Πίνακας 7.2.2.5: Τιμές όλων των μεγεθών του ψυχομετρικού χάρτη για την 21^η Μαΐου για όλο το 24ωρο

ΩΡΕΣ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΞΗΡΟΥ ΒΟΛΒΟΥ (Tdb) [°C]	ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (RH) [%]	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΥΓΡΟΥ ΒΟΛΒΟΥ (Twb) [°C]	ΕΝΘΑΛΠΙΑ (h) [kJ/kg ξ.α.]	ΕΙΔΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (W) [gr υδρ./kg ξ.α.]	ΕΙΔΙΚΟΣ ΟΓΚΟΣ ΑΕΡΑ (v) [m ³ /kg ξ.α.]
1	18,744	68,164	15,044	42,133	9,184	0,838
2	18,567	67,702	14,829	41,534	9,019	0,838
3	18,248	67,11	14,471	40,551	8,759	0,836
4	17,906	66,335	14,072	39,47	8,47	0,835
5	17,756	65,251	13,807	38,761	8,251	0,834
6	18,004	63,711	13,837	38,839	8,182	0,835
7	18,743	61,62	14,219	39,867	8,29	0,837
8	19,899	58,989	14,873	41,658	8,532	0,841
9	21,252	55,976	15,61	43,73	8,804	0,845
10	22,526	52,877	16,226	45,508	8,992	0,849
11	23,495	50,083	16,596	46,599	9,032	0,852
12	24,055	48,005	16,721	46,969	8,953	0,853
13	24,232	46,985	16,698	46,9	8,855	0,853
14	24,122	47,224	16,649	46,753	8,841	0,853
15	23,823	48,727	16,649	46,755	8,962	0,852
16	23,379	51,23	16,68	46,848	9,177	0,851
17	22,787	54,589	16,701	46,908	9,438	0,85
18	22,039	58,149	16,59	46,578	9,609	0,848
19	21,177	61,535	16,323	45,793	9,647	0,846
20	20,307	64,389	15,948	44,7	9,567	0,843
21	19,573	66,492	15,572	43,623	9,438	0,841
22	19,085	67,793	15,303	42,859	9,333	0,839
23	18,859	68,382	15,174	42,497	9,281	0,839
24	18,797	68,439	15,126	42,362	9,253	0,838

21^η ΙΟΥΝΙΟΥ

Πίνακας 7.2.2.6: Τιμές όλων των μεγεθών του ψυχομετρικού χάρτη για την 21^η Ιουνίου για όλο το 24ωρο

ΩΡΕΣ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΞΗΡΟΥ ΒΟΛΒΟΥ (Tdb) [°C]	ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (RH) [%]	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΥΓΡΟΥ ΒΟΛΒΟΥ (Twb) [°C]	ΕΝΘΑΛΠΙΑ (h) [kJ/kg ξ.α.]	ΕΙΔΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (W) [gr υδρ./kg ξ.α.]	ΕΙΔΙΚΟΣ ΟΓΚΟΣ ΑΕΡΑ (v) [m ³ /kg ξ.α.]
1	23,787	59,1	18,229	51,595	10,879	0,855
2	23,112	61,424	17,99	50,843	10,855	0,853
3	22,403	63,412	17,656	49,806	10,733	0,851
4	21,877	64,588	17,358	48,89	10,585	0,849
5	21,774	64,511	17,257	48,581	10,505	0,849
6	22,254	62,905	17,454	49,183	10,548	0,85
7	23,331	59,753	17,934	50,667	10,698	0,853
8	24,856	55,33	18,556	52,637	10,859	0,858
9	26,565	50,171	19,127	54,485	10,897	0,863
10	28,175	44,968	19,497	55,707	10,73	0,867
11	29,458	40,437	19,629	56,147	10,387	0,871
12	30,298	37,166	19,6	56,05	10,013	0,872
13	30,679	35,507	19,533	55,827	9,773	0,873
14	30,652	35,512	19,514	55,764	9,759	0,873
15	30,29	36,947	19,548	55,877	9,948	0,872
16	29,661	39,373	19,571	55,954	10,23	0,871
17	28,837	42,265	19,506	55,737	10,475	0,869
18	27,904	45,144	19,314	55,101	10,6	0,866
19	26,971	47,687	19,025	54,151	10,603	0,864
20	26,148	49,782	18,719	53,158	10,544	0,861
21	25,51	51,518	18,485	52,409	10,506	0,859
22	25,055	53,119	18,369	52,04	10,544	0,858
23	24,699	54,836	18,356	51,966	10,658	0,857
24	24,312	56,832	18,331	51,919	10,795	0,856

21^η ΙΟΥΛΙΟΥ

Πίνακας 7.2.2.7: Τιμές όλων των μεγεθών του ψυχομετρικού χάρτη για την 21^η Ιουλίου για όλο το 24ωρο

ΩΡΕΣ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΞΗΡΟΥ ΒΟΛΒΟΥ (Tdb) [°C]	ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (RH) [%]	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΥΓΡΟΥ ΒΟΛΒΟΥ (Twb) [°C]	ΕΝΘΑΛΠΙΑ (h) [kJ/kg ξ.α.]	ΕΙΔΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (W) [gr υδρ./kg ξ.α.]	ΕΙΔΙΚΟΣ ΟΓΚΟΣ ΑΕΡΑ (v) [m ³ /kg ξ.α.]
1	25,602	54,377	19,031	54,172	11,161	0,861
2	25,084	55,889	18,838	53,544	11,123	0,859
3	24,515	57,166	18,556	52,635	10,995	0,857
4	24,109	57,9	18,323	51,892	10,866	0,856
5	24,092	57,792	18,291	51,793	10,834	0,856
6	24,6	56,634	18,545	52,601	10,947	0,857
7	25,616	54,388	19,045	54,217	11,173	0,861
8	26,976	51,214	19,645	56,201	11,405	0,865
9	28,443	47,46	20,174	57,99	11,516	0,869
10	29,794	43,601	20,518	59,174	11,437	0,873
11	30,892	40,152	20,676	59,724	11,212	0,876
12	31,69	37,56	20,733	59,925	10,971	0,878
13	32,195	36,12	20,796	60,143	10,854	0,879
14	32,413	35,924	20,915	60,561	10,93	0,88
15	32,323	36,854	21,055	61,058	11,16	0,88
16	31,89	38,625	21,116	61,275	11,419	0,88
17	31,11	40,867	20,993	60,839	11,561	0,877
18	30,062	43,214	20,652	59,642	11,513	0,874
19	28,908	45,386	20,159	57,941	11,31	0,87
20	27,848	47,244	19,654	56,23	11,066	0,867
21	27,039	48,792	19,275	54,971	10,897	0,864
22	26,527	50,145	19,091	54,369	10,866	0,863
23	26,225	51,462	19,067	54,289	10,956	0,862
24	25,967	52,865	19,088	54,357	11,087	0,862

21^η ΑΥΓΟΥΣΤΟΥ

Πίνακας 7.2.2.8: Τιμές όλων των μεγεθών του ψυχομετρικού χάρτη για την 21^η Αυγούστου για όλο το 24ωρο

ΩΡΕΣ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΞΗΡΟΥ ΒΟΛΒΟΥ (Tdb) [°C]	ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (RH) [%]	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΥΓΡΟΥ ΒΟΛΒΟΥ (Twb) [°C]	ΕΝΘΑΛΠΙΑ (h) [kJ/kg ξ.α.]	ΕΙΔΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (W) [gr υδρ./kg ξ.α.]	ΕΙΔΙΚΟΣ ΟΓΚΟΣ ΑΕΡΑ (v) [m ³ /kg ξ.α.]
1	25,715	47,081	17,906	50,583	9,706	0,859
2	25,575	48,224	17,988	50,836	9,862	0,859
3	25,212	49,303	17,873	50,479	9,868	0,858
4	24,733	50,14	17,62	49,692	9,751	0,856
5	24,38	50,496	17,388	48,98	9,613	0,855
6	24,425	50,14	17,367	48,917	9,57	0,855
7	25,038	48,92	17,668	49,842	9,687	0,857
8	26,199	46,819	18,251	51,664	9,937	0,861
9	27,708	43,982	18,944	53,889	10,204	0,865
10	29,264	40,711	19,534	55,829	10,34	0,87
11	30,588	37,408	19,869	56,955	10,251	0,874
12	31,513	34,506	19,931	57,164	9,962	0,876
13	32,004	32,378	19,81	56,755	9,606	0,877
14	32,123	31,271	19,64	56,186	9,336	0,877
15	31,944	31,256	19,509	55,747	9,237	0,876
16	31,509	32,228	19,419	55,447	9,293	0,875
17	30,817	33,94	19,296	55,04	9,41	0,873
18	29,878	36,069	19,056	54,254	9,478	0,87
19	28,763	38,292	18,671	53,004	9,435	0,867
20	27,624	40,358	18,201	51,507	9,304	0,864
21	26,656	42,13	17,78	50,189	9,175	0,861
22	26,015	43,593	17,54	49,447	9,14	0,859
23	25,734	44,828	17,534	49,428	9,246	0,858
24	25,704	45,957	17,705	49,956	9,465	0,859

21^η ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΥ

Πίνακας 7.2.2.9: Τιμές όλων των μεγεθών του ψυχομετρικού χάρτη για την 21^η Σεπτεμβρίου για όλο το 24ωρο

ΩΡΕΣ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΞΗΡΟΥ ΒΟΛΒΟΥ (Tdb) [°C]	ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (RH) [%]	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΥΓΡΟΥ ΒΟΛΒΟΥ (Twb) [°C]	ΕΝΘΑΛΠΙΑ (h) [kJ/kg ξ.α.]	ΕΙΔΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (W) [gr υδρ./kg ξ.α.]	ΕΙΔΙΚΟΣ ΟΓΚΟΣ ΑΕΡΑ (v) [m ³ /kg ξ.α.]
1	20,895	62,244	16,175	45,36	9,59	0,845
2	20,783	62,216	16,073	45,064	9,519	0,845
3	20,529	62,348	15,87	44,475	9,389	0,844
4	20,199	62,496	15,602	43,707	9,219	0,842
5	19,969	62,361	15,383	43,086	9,066	0,842
6	20,061	61,583	15,36	43,02	9,004	0,842
7	20,64	59,869	15,63	43,787	9,073	0,844
8	21,736	57,102	16,181	45,377	9,258	0,847
9	23,216	53,413	16,882	47,449	9,479	0,851
10	24,822	49,187	17,536	49,436	9,615	0,856
11	26,263	45,003	17,984	50,825	9,582	0,86
12	27,303	41,512	18,169	51,407	9,393	0,863
13	27,823	39,302	18,153	51,355	9,164	0,864
14	27,827	38,754	18,051	51,034	9,037	0,864
15	27,34	39,965	17,909	50,59	9,058	0,863
16	26,659	42,718	17,889	50,527	9,306	0,861
17	25,714	46,535	17,812	50,289	9,592	0,859
18	24,658	50,788	17,663	49,827	9,834	0,856
19	23,585	54,841	17,409	49,047	9,959	0,853
20	22,597	58,183	17,072	48,021	9,952	0,85
21	21,799	60,53	16,723	46,973	9,861	0,848
22	21,264	61,854	16,443	46,145	9,751	0,846
23	20,998	62,357	16,28	45,667	9,669	0,845
24	20,922	62,372	16,216	45,479	9,626	0,845

21^η ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ

Πίνακας 7.2.2.10: Τιμές όλων των μεγεθών του ψυχομετρικού χάρτη για την 21^η Οκτωβρίου για όλο το 24ωρο

ΩΡΕΣ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΞΗΡΟΥ ΒΟΛΒΟΥ (Tdb) [°C]	ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (RH) [%]	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΥΓΡΟΥ ΒΟΛΒΟΥ (Twb) [°C]	ΕΝΘΑΛΠΙΑ (h) [kJ/kg ξ.α.]	ΕΙΔΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (W) [gr υδρ./kg ξ.α.]	ΕΙΔΙΚΟΣ ΟΓΚΟΣ ΑΕΡΑ (v) [m ³ /kg ξ.α.]
1	16,474	75,75	13,876	38,943	8,839	0,831
2	16,435	76,843	13,962	39,173	8,946	0,831
3	16,236	78,204	13,928	39,082	8,99	0,831
4	15,899	79,342	13,738	38,576	8,926	0,83
5	15,559	79,644	13,452	37,821	8,765	0,829
6	15,422	78,562	13,208	37,182	8,567	0,828
7	15,686	75,79	13,153	37,038	8,404	0,828
8	16,452	71,388	13,362	37,586	8,312	0,831
9	17,668	65,811	13,797	38,734	8,276	0,834
10	19,132	59,839	14,326	40,157	8,248	0,838
11	20,55	54,413	14,799	41,452	8,189	0,842
12	21,643	50,431	15,132	42,38	8,116	0,845
13	22,222	48,544	15,322	42,912	8,093	0,847
14	22,242	49,01	15,409	43,158	8,181	0,847
15	21,781	51,641	15,425	43,203	8,384	0,846
16	20,994	55,86	15,376	43,065	8,646	0,844
17	20,048	60,843	15,25	42,71	8,887	0,842
18	19,083	65,723	15,04	42,121	9,043	0,839
19	18,194	69,788	14,749	41,315	9,083	0,837
20	17,447	72,632	14,411	40,387	9,017	0,834
21	16,891	74,216	14,086	39,506	8,894	0,833
22	16,551	74,832	13,843	38,857	8,774	0,831
23	16,418	74,973	13,737	38,573	8,716	0,831
24	16,429	75,156	13,767	38,655	8,744	0,831

21^η ΝΟΕΜΒΡΙΟΥ

Πίνακας 7.2.2.11: Τιμές όλων των μεγεθών του ψυχομετρικού χάρτη για την 21^η Νοεμβρίου για όλο το 24ωρο

ΩΡΕΣ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΞΗΡΟΥ ΒΟΛΒΟΥ (Tdb) [°C]	ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (RH) [%]	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΥΓΡΟΥ ΒΟΛΒΟΥ (Twb) [°C]	ΕΝΘΑΛΠΙΑ (h) [kJ/kg ξ.α.]	ΕΙΔΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (W) [gr υδρ./kg ξ.α.]	ΕΙΔΙΚΟΣ ΟΓΚΟΣ ΑΕΡΑ (v) [m ³ /kg ξ.α.]
1	11,144	69,183	8,337	25,542	5,68	0,812
2	11,384	70,86	8,714	26,374	5,913	0,813
3	11,562	72,74	9,056	27,137	6,144	0,814
4	11,587	74,517	9,249	27,571	6,307	0,814
5	11,438	75,796	9,233	27,535	6,352	0,814
6	11,194	76,192	9,044	27,111	6,282	0,813
7	11,014	75,436	8,808	26,581	6,145	0,812
8	11,078	73,459	8,682	26,302	6,008	0,812
9	11,489	70,428	8,768	26,493	5,918	0,813
10	12,217	66,727	9,059	27,143	5,883	0,815
11	13,09	62,883	9,437	27,998	5,871	0,818
12	13,862	59,456	9,742	28,697	5,837	0,82
13	14,308	56,92	9,844	28,933	5,751	0,821
14	14,312	55,57	9,697	28,593	5,615	0,821
15	13,908	55,465	9,344	27,787	5,458	0,82
16	13,245	56,434	8,888	26,76	5,318	0,817
17	12,516	58,137	8,445	25,779	5,222	0,815
18	11,878	60,161	8,103	25,029	5,181	0,813
19	11,406	62,125	7,887	24,563	5,186	0,812
20	11,097	63,775	7,777	24,325	5,216	0,811
21	10,913	65,032	7,735	24,236	5,254	0,811
22	10,823	65,986	7,746	24,259	5,3	0,811
23	10,828	66,847	7,833	24,445	5,372	0,811
24	10,939	67,855	8,027	24,866	5,494	0,811

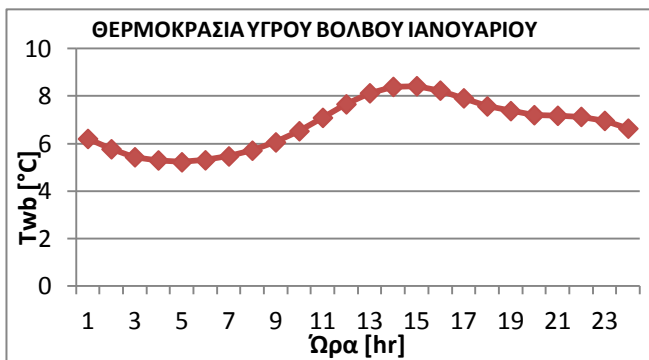
21^η ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΥ

Πίνακας 7.2.2.12: Τιμές όλων των μεγεθών του ψυχομετρικού χάρτη για την 21^η Δεκεμβρίου για όλο το 24ωρο

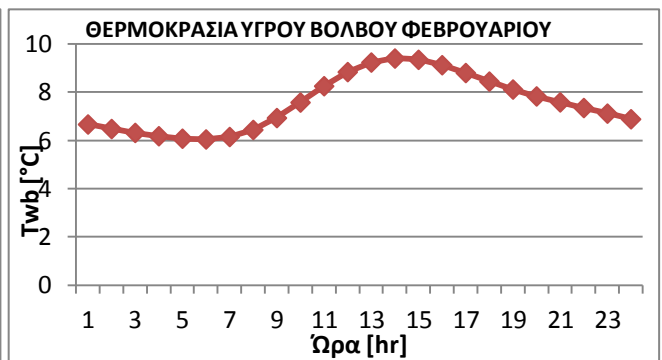
ΩΡΕΣ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΞΗΡΟΥ ΒΟΛΒΟΥ (Tdb) [°C]	ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (RH) [%]	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΥΓΡΟΥ ΒΟΛΒΟΥ (Twb) [°C]	ΕΝΘΑΛΠΙΑ (h) [kJ/kg ξ.α.]	ΕΙΔΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (W) [gr υδρ./kg ξ.α.]	ΕΙΔΙΚΟΣ ΟΓΚΟΣ ΑΕΡΑ (v) [m ³ /kg ξ.α.]
1	8,5	79,958	6,867	22,397	5,496	0,804
2	8,454	79,987	6,827	22,312	5,481	0,804
3	8,369	80,6	6,798	22,251	5,491	0,804
4	8,22	81,637	6,743	22,137	5,506	0,803
5	8,03	82,749	6,654	21,9453	5,509	0,803
6	7,879	83,499	6,572	21,782	5,502	0,802
7	7,88	83,484	6,572	21,782	5,502	0,802
8	8,127	82,461	6,723	22,095	5,527	0,803
9	8,647	80,428	7,045	22,768	5,584	0,805
10	9,371	77,64	7,484	23,697	5,662	0,807
11	10,151	74,565	7,933	24,661	5,73	0,809
12	10,81	71,775	8,28	25,416	5,764	0,811
13	11,206	69,811	8,453	25,797	5,756	0,812
14	11,281	69,051	8,448	25,786	5,721	0,812
15	11,072	69,62	8,314	25,491	5,689	0,812
16	10,682	71,361	8,125	25,076	5,682	0,811
17	10,232	73,878	7,945	24,688	5,708	0,809
18	9,815	76,637	7,808	24,392	5,759	0,808
19	9,469	79,099	7,702	24,164	5,808	0,807
20	9,193	80,852	7,594	23,933	5,827	0,807
21	8,968	81,704	7,455	23,635	5,8	0,806
22	8,784	81,714	7,282	23,268	5,728	0,805
23	8,643	81,16	7,102	22,889	5,634	0,805
24	8,552	80,442	6,957	22,583	5,549	0,804

Τα παραπάνω μεγέθη παρουσιάζονται στα παρακάτω διαγράμματα για κάθε μήνα:

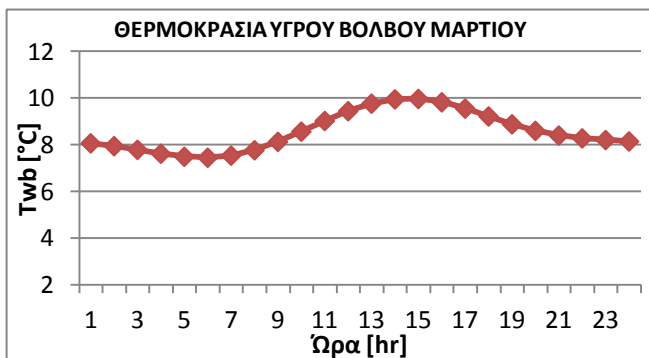
Θερμοκρασία υγρού βολβού T_{wb}



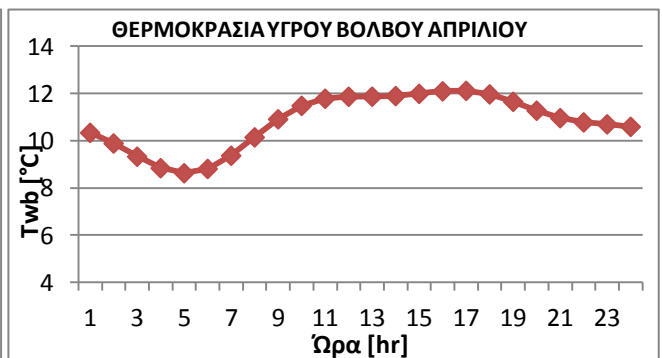
Σχήμα 7.2.2.1: Θερμοκρασία υγρού βολβού συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Ιανουαρίου



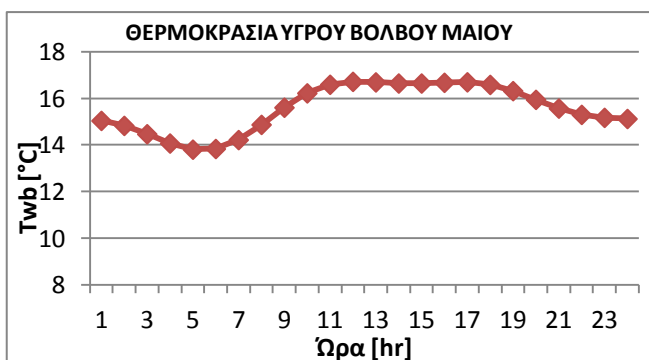
Σχήμα 7.2.2.2: Θερμοκρασία υγρού βολβού συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Φεβρουαρίου



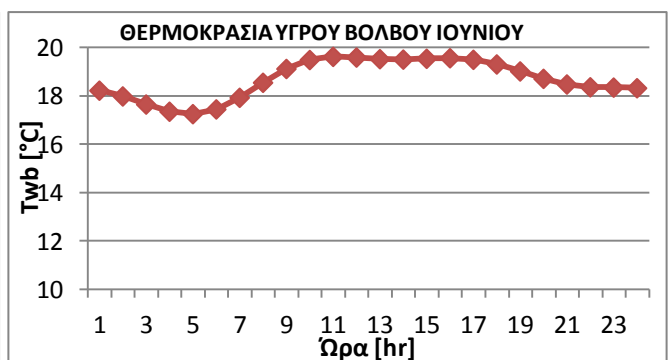
Σχήμα 7.2.2.3: Θερμοκρασία υγρού βολβού συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Μαρτίου



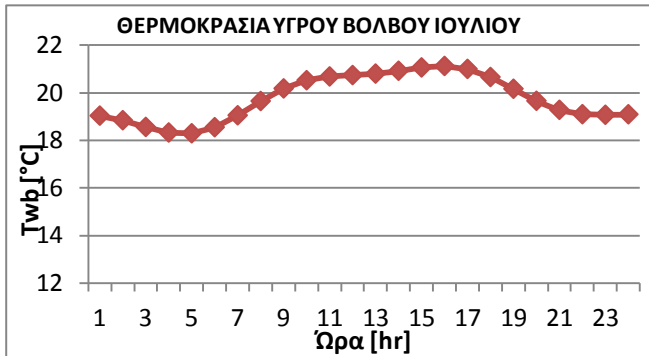
Σχήμα 7.2.2.4: Θερμοκρασία υγρού βολβού συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Απριλίου



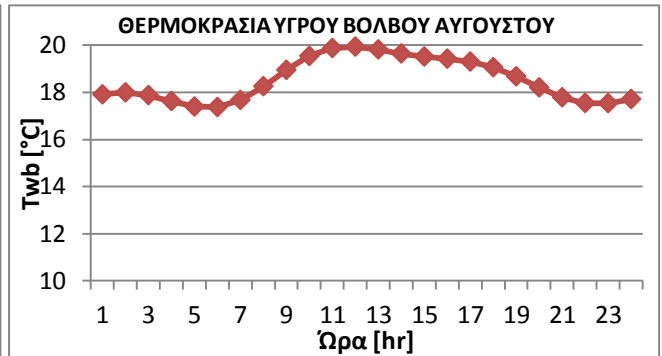
Σχήμα 7.2.2.5: Θερμοκρασία υγρού βολβού συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Μαΐου



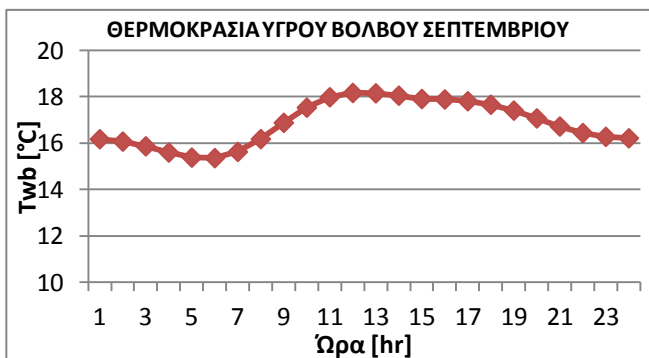
Σχήμα 7.2.2.6: Θερμοκρασία υγρού βολβού συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Ιουνίου



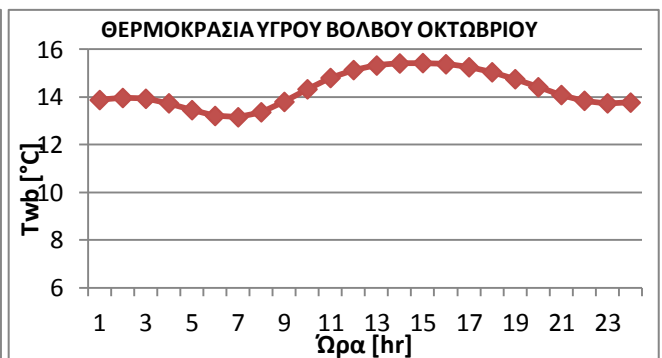
Σχήμα 7.2.2.7: Θερμοκρασία υγρού βολβού συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Ιουλίου



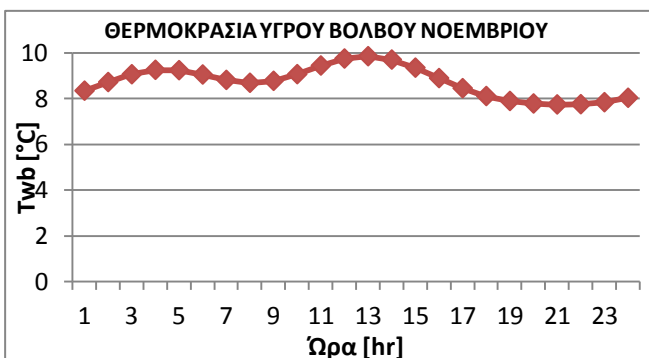
Σχήμα 7.2.2.8: Θερμοκρασία υγρού βολβού συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Αυγούστου



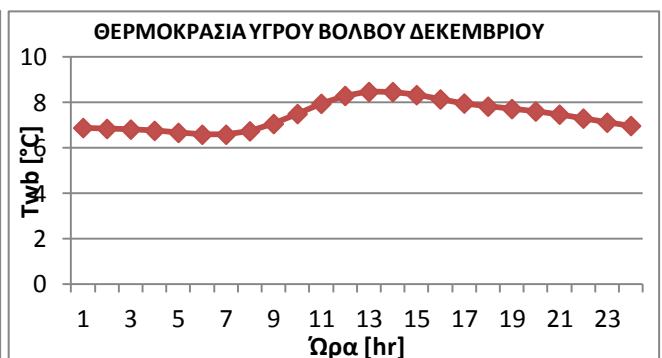
Σχήμα 7.2.2.9: Θερμοκρασία υγρού βολβού συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Σεπτεμβρίου



Σχήμα 7.2.2.10: Θερμοκρασία υγρού βολβού συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Οκτωβρίου

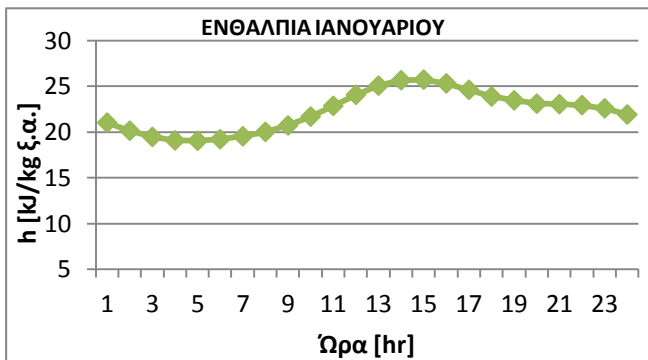


Σχήμα 7.2.2.11: Θερμοκρασία υγρού βολβού συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Νοεμβρίου

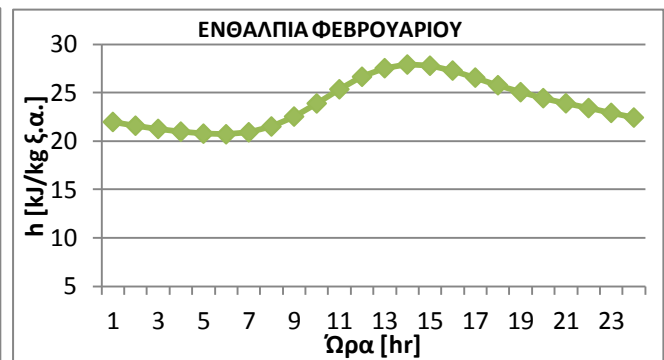


Σχήμα 7.2.2.12: Θερμοκρασία υγρού βολβού συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Δεκεμβρίου

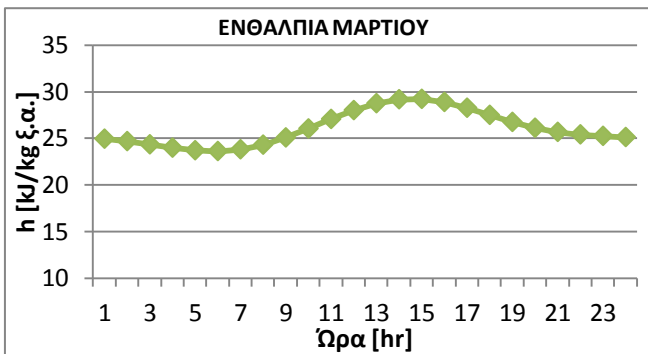
Ενθαλπία h



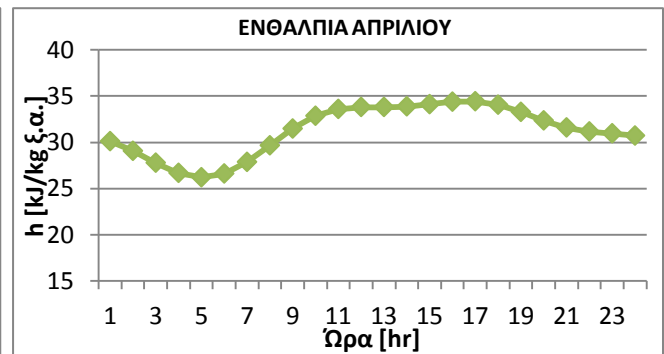
Σχήμα 7.2.2.13: Ενθαλπία συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Ιανουαρίου



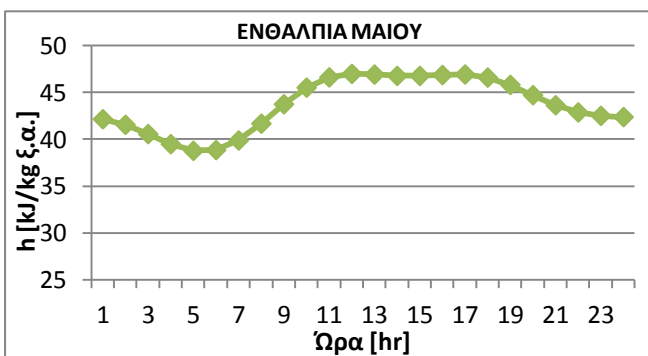
Σχήμα 7.2.2.14: Ενθαλπία συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Φεβρουαρίου



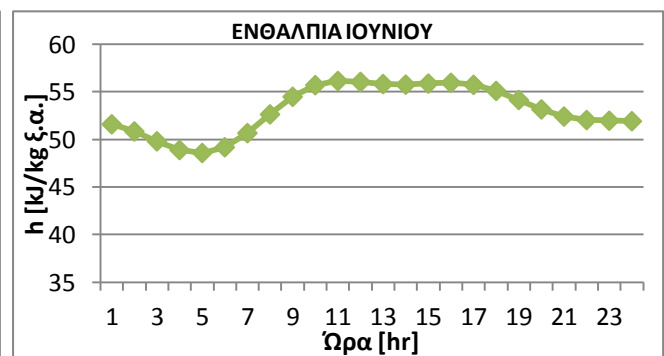
Σχήμα 7.2.2.15: Ενθαλπία συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Μαρτίου



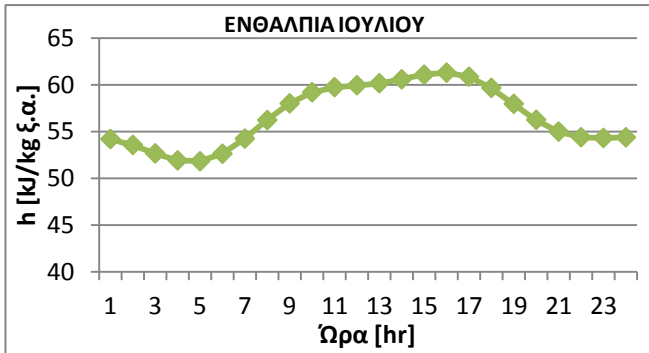
Σχήμα 7.2.2.16: Ενθαλπία συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Απριλίου



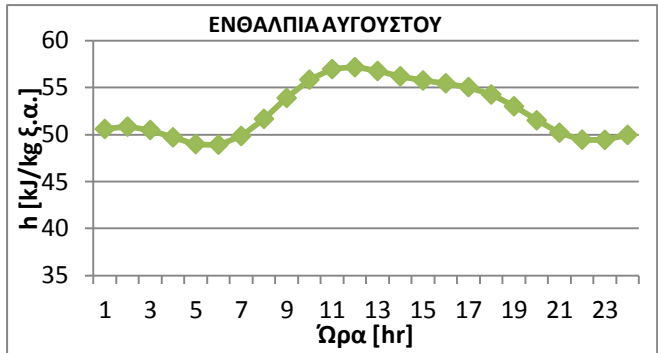
Σχήμα 7.2.2.17: Ενθαλπία συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Μαΐου



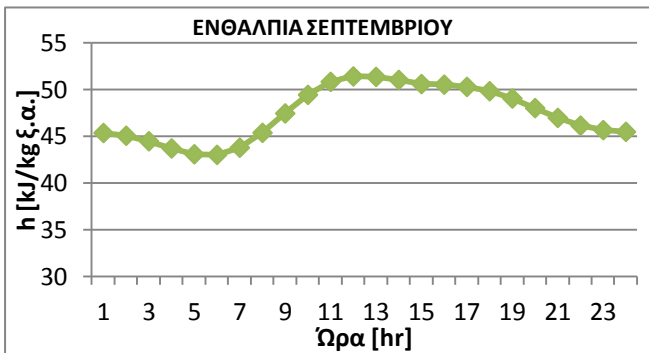
Σχήμα 7.2.2.18: Ενθαλπία συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Ιουνίου



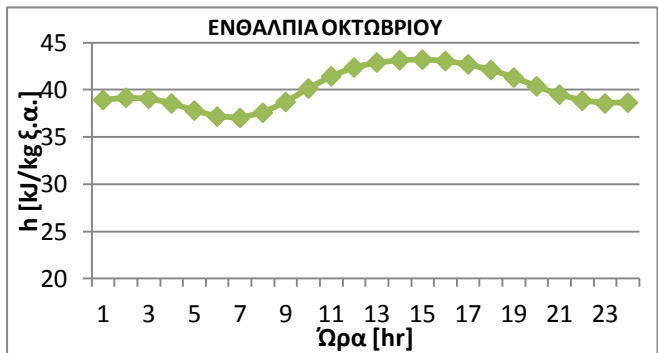
Σχήμα 7.2.2.19: Ενθαλπία συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Ιουλίου



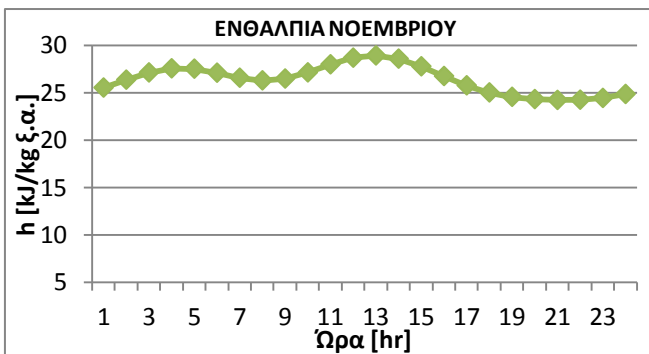
Σχήμα 7.2.2.20: Ενθαλπία συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Αυγούστου



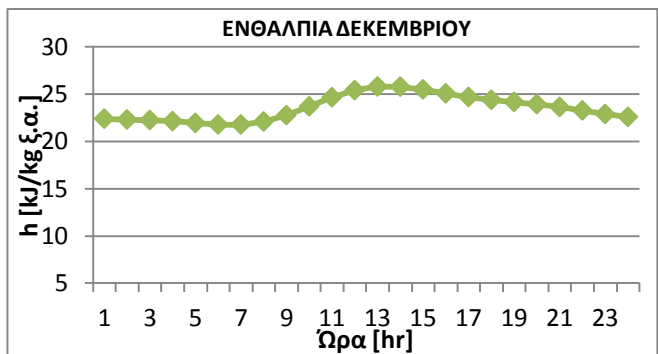
Σχήμα 7.2.2.21: Ενθαλπία συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Σεπτεμβρίου



Σχήμα 7.2.2.22: Ενθαλπία συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Οκτωβρίου

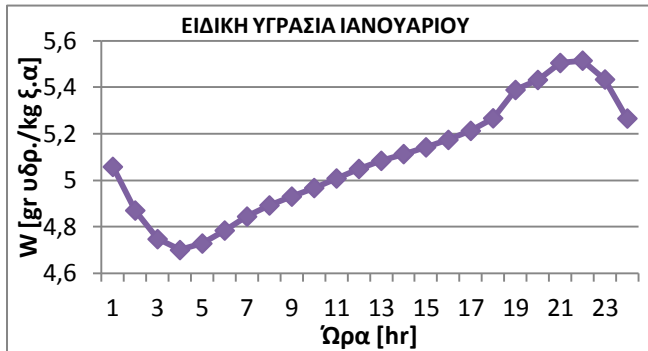


Σχήμα 7.2.2.23: Ενθαλπία συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Νοεμβρίου

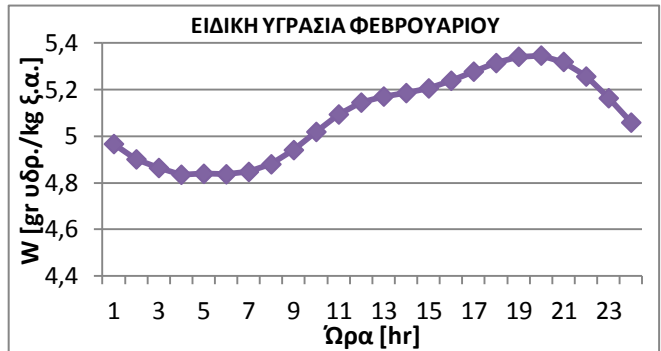


Σχήμα 7.2.2.24: Ενθαλπία συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Δεκεμβρίου

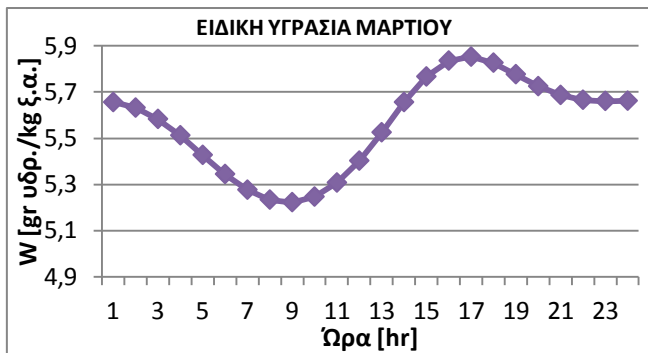
Ειδική υγρασία W



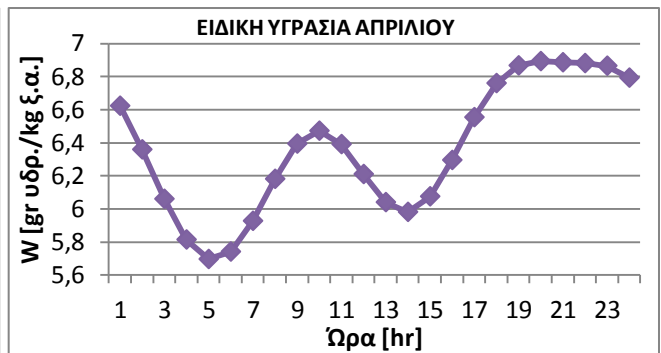
Σχήμα 7.2.2.25: Ειδική υγρασία συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Ιανουαρίου



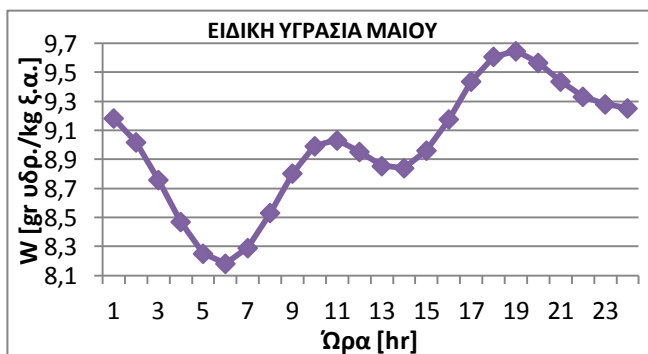
Σχήμα 7.2.2.26: Ειδική υγρασία συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Φεβρουαρίου



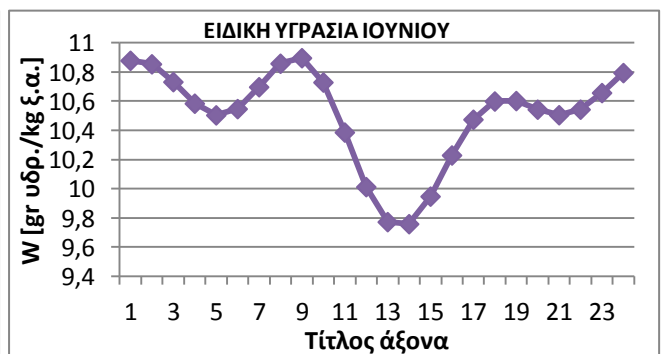
Σχήμα 7.2.2.27: Ειδική υγρασία συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Μαρτίου



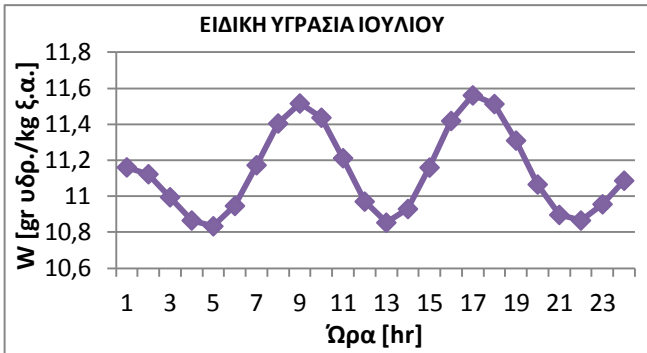
Σχήμα 7.2.2.28: Ειδική υγρασία συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Απριλίου



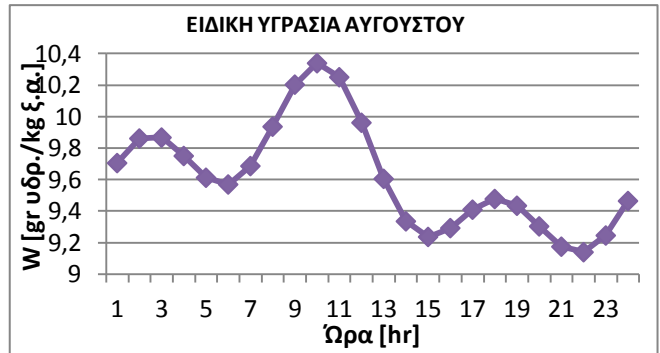
Σχήμα 7.2.2.29: Ειδική υγρασία συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Μαΐου



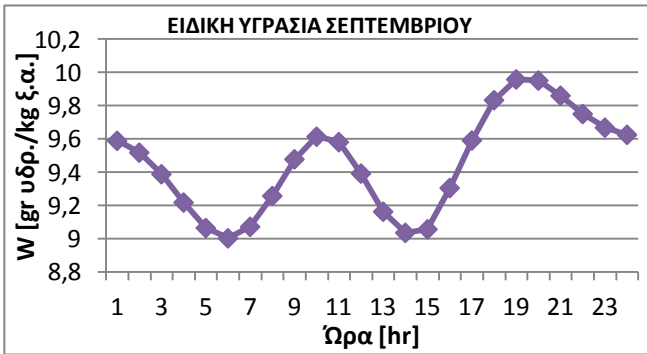
Σχήμα 7.2.2.30: Ειδική υγρασία συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Ιουνίου



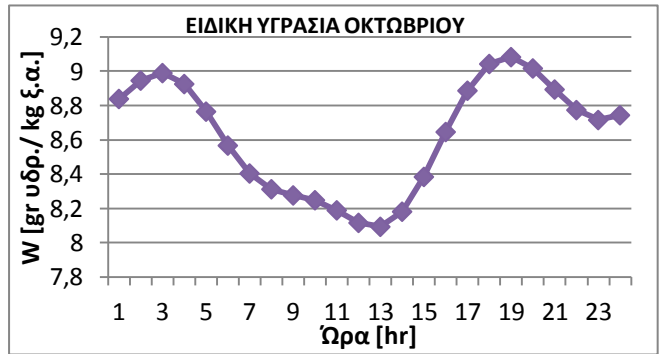
Σχήμα 7.2.2.31: Ειδική υγρασία συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Ιουλίου



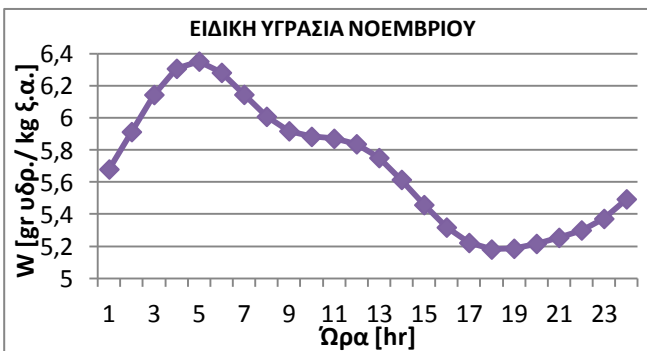
Σχήμα 7.2.2.32: Ειδική υγρασία συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Αυγούστου



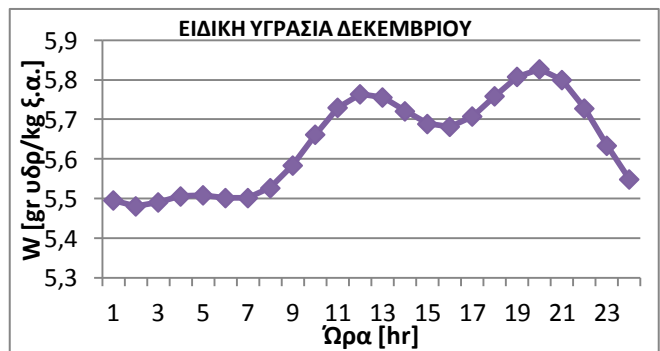
Σχήμα 7.2.2.33: Ειδική υγρασία συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Σεπτεμβρίου



Σχήμα 7.2.2.34: Ειδική υγρασία συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Οκτωβρίου

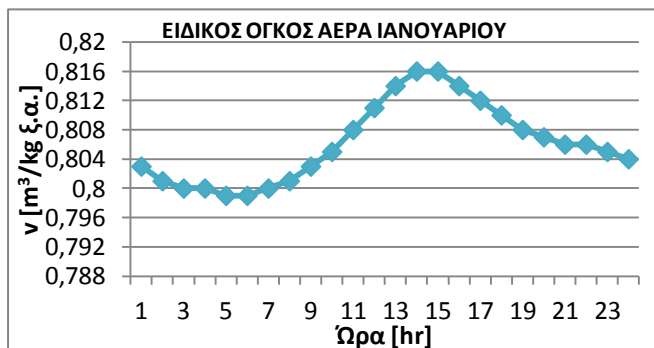


Σχήμα 7.2.2.35: Ειδική υγρασία συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Νοεμβρίου

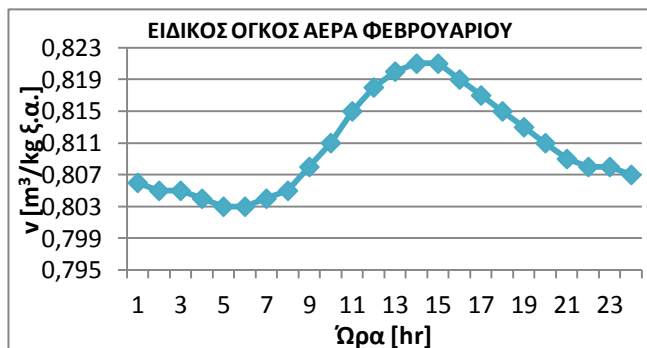


Σχήμα 7.2.2.36: Ειδική υγρασία συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Δεκεμβρίου

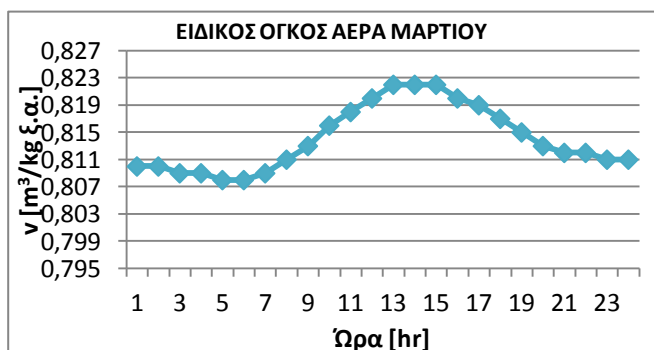
Ειδικός όγκος ν



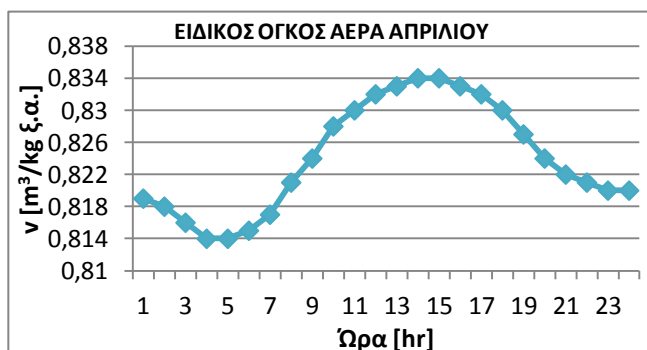
Σχήμα 7.2.2.37: Ειδικός όγκος αέρα συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Ιανουαρίου



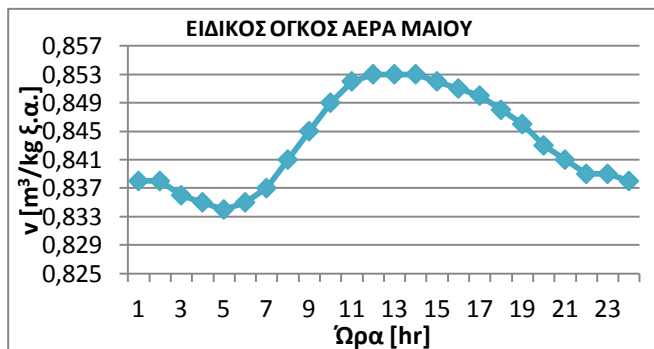
Σχήμα 7.2.2.38: Ειδικός όγκος αέρα συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Φεβρουαρίου



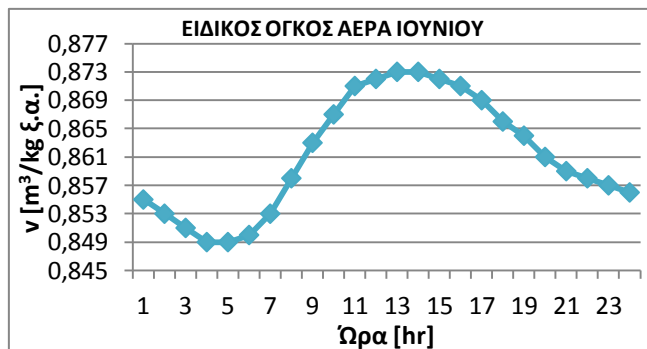
Σχήμα 7.2.2.39: Ειδικός όγκος αέρα συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Μαρτίου



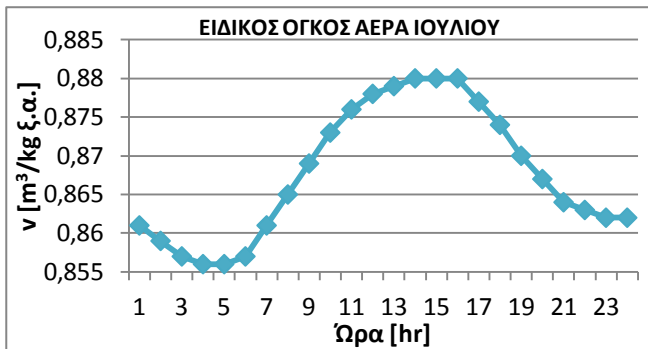
Σχήμα 7.2.2.40: Ειδικός όγκος αέρα συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Απριλίου



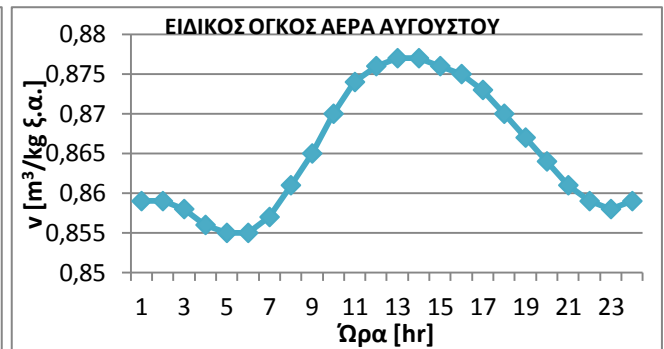
Σχήμα 7.2.2.41: Ειδικός όγκος αέρα συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Μαΐου



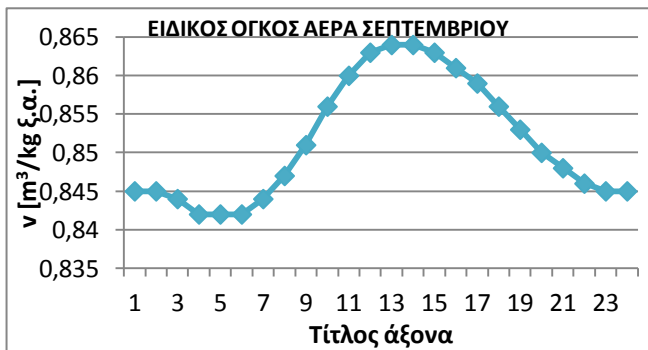
Σχήμα 7.2.2.42: Ειδικός όγκος αέρα συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Ιουνίου



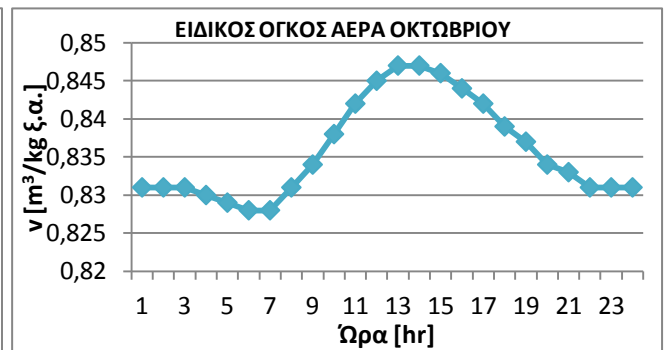
Σχήμα 7.2.2.43: Ειδικός όγκος αέρα συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Ιουλίου



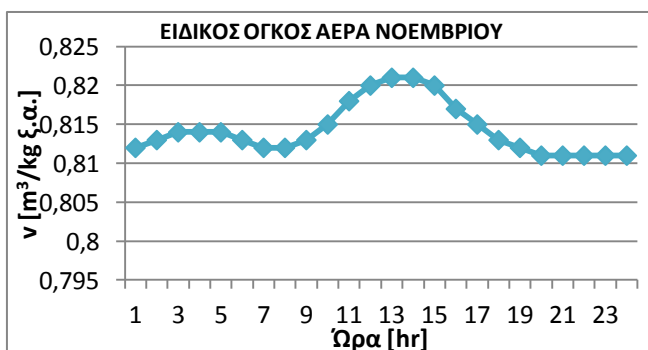
Σχήμα 7.2.2.44: Ειδικός όγκος αέρα συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Αυγούστου



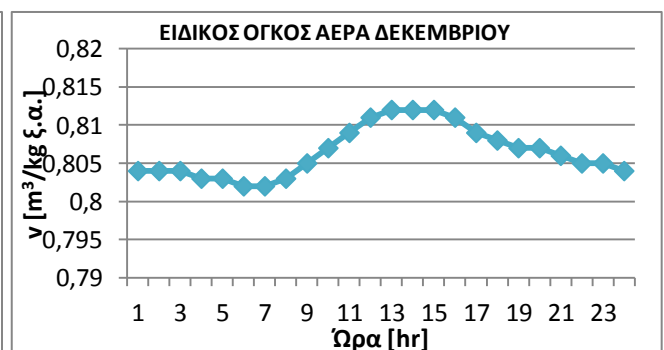
Σχήμα 7.2.2.45: Ειδικός όγκος αέρα συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Σεπτεμβρίου



Σχήμα 7.2.2.46: Ειδικός όγκος αέρα συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Οκτωβρίου



Σχήμα 7.2.2.47: Ειδικός όγκος αέρα συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Νοεμβρίου



Σχήμα 7.2.2.48: Ειδικός όγκος αέρα συναρτήσει της ώρας κατά την 21^η Δεκεμβρίου

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Οι καμπύλες του ειδικού όγκου υγρού αέρα έχουν την ίδια μορφή για όλους τους μήνες. Φτάνουν στη μέγιστη τιμή τους τις μεσημεριανές ώρες και έχουν πιο υψηλές τιμές τους καλοκαιρινούς μήνες, σε σύγκριση με τους χειμερινούς. Ουσιαστικά, μπορούμε και από τον ψυχομετρικό χάρτη να παρατηρήσουμε πως ο λόγος του όγκου υγρού αέρα προς τη μάζα ξηρού "ακολουθεί" τη θερμοκρασία: όσο αυξάνεται η θερμοκρασία, αυξάνεται και ο λόγος αυτός. Για το λόγο αυτό και τα διαγράμματα της T_{db} έχουν παρόμοια μορφή.

Οι καμπύλες θερμοκρασίας υγρού βολβού και ενθαλπίας έχουν την ίδια μορφή η καθεμία για τους 12 μήνες και παίρνουν τις μέγιστες τιμές τους κατά τη διάρκεια του μεσημεριού. Και τα δύο μεγέθη αυξάνονται όσο αυξάνεται η θερμοκρασία ξηρού βολβού.

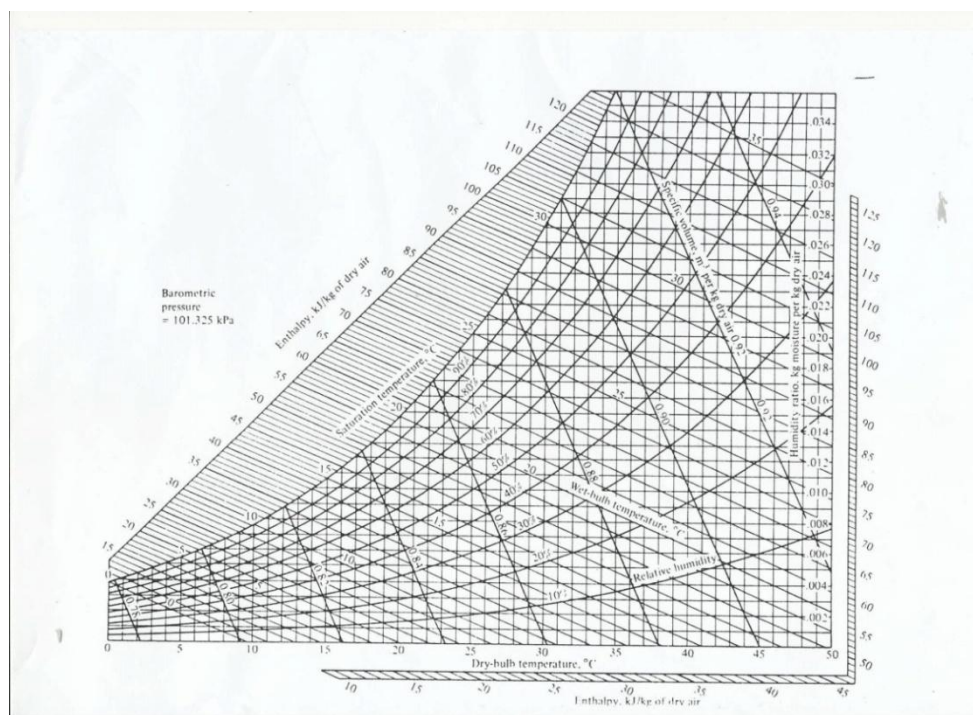
Οι καμπύλες της ειδικής υγρασίας δεν έχουν συγκεκριμένη μορφή και διαφέρουν από μήνα σε μήνα. Έχουν υψηλότερες τιμές τους θερινούς μήνες. Όμως όλο το χρόνο, οι τιμές της ειδικής υγρασίας βρίσκονται ανάμεσα σε σχετικά στενά όρια (από 4,7 έως περίπου 11,5 gr υδρ./kg ξ.α.)

7.3 Τοποθέτηση των σημείων πάνω στον ψυχομετρικό χάρτη της ASHRAE

Αφού βρήκαμε με ακρίβεια τα χαρακτηριστικά μεγέθη του ψυχομετρικού χάρτη για όλα τα σημεία που θέλαμε, θα τα παρουσιάσουμε πάνω σε αυτόν, με χρήση του προγράμματος Autodesk AutoCAD 2018. Σε κάθε εικόνα φαίνεται και διαγραμματισμένη η ζώνη άνεσης για την εποχή στην οποία ανήκει ο κάθε μήνας. Για να είναι τα σημεία πιο εύκολο να διακριθούν, έχει γίνει ζουμ στην περιοχή που μας ενδιαφέρει.

Ακολουθούν οι αντίστοιχες εικόνες. Να σημειωθεί ότι λόγω της έλλειψης χώρου και για να μην υπάρξει σύγχυση με πολλά νούμερα, έχουν αποτυπωθεί μόνο οι μονές ώρες της ημέρας. Οι ζυγές είναι εύκολο να διακριθούν, αν ακολουθήσουμε την μπλε γραμμή που ενώνει τα σημεία με τη σειρά. Επίσης για κάθε μήνα δίνουμε δύο εικόνες, μία που απεικονίζει το σχήμα από πιο μακριά, ώστε να γίνεται εύκολα αντιληπτή η θέση μέσα στον ψυχομετρικό χάρτη, και μία που γίνεται ζουμ στα σημεία και στην αρχή της ζώνης άνεσης. Η ζώνη άνεσης για τη χειμερινή περίοδο έχει σχεδιαστεί με μπλε χρώμα και η αντίστοιχη για τη θερινή περίοδο, με ροζ χρώμα. Να υπενθυμίσουμε εδώ ότι η αρίθμηση 1 αντιστοιχεί στην 1:00 π.μ. και η 24 αντιστοιχεί στην ώρα 00:00 π.μ.

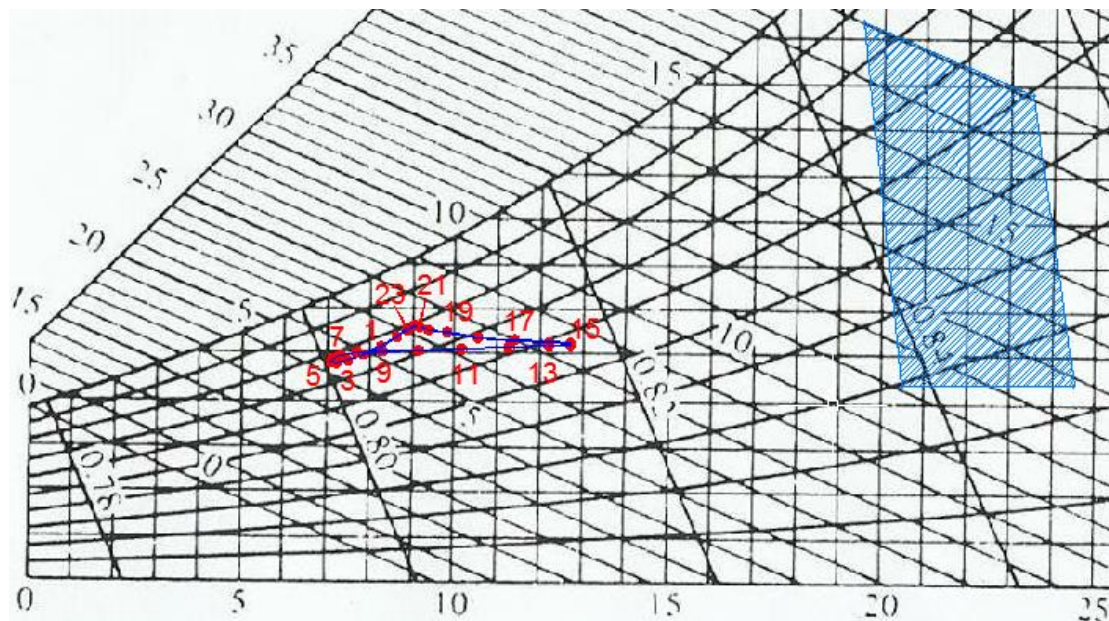
Η εικόνα χάρτη που χρησιμοποιήθηκε είναι η παρακάτω και χρησιμοποιήσαμε αυτή για λόγους καλύτερης ανάλυσης



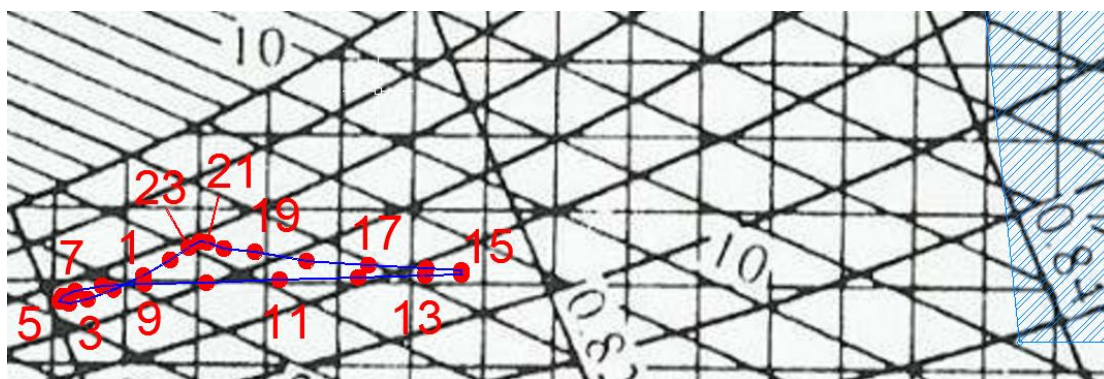
Εικόνα 7.3.1: Ψυχομετρικός χάρτης της ASHRAE που χρησιμοποιήθηκε

Ακολουθούν οι εικόνες για κάθε μήνα:

21^η ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ



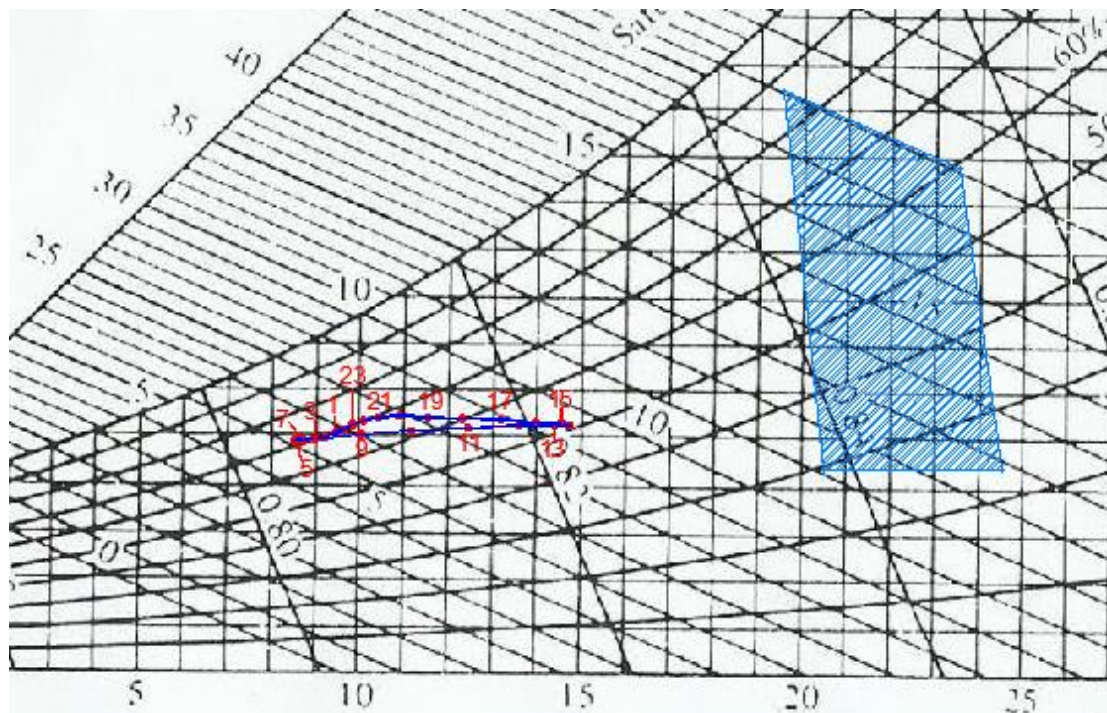
Εικόνα 7.3.2: Αναπαράσταση όλων των ωρών της 21^{ης} Ιανουαρίου πάνω στον ψυχομετρικό χάρτη, σε συνδυασμό με τη ζώνη θερμικής άνεσης



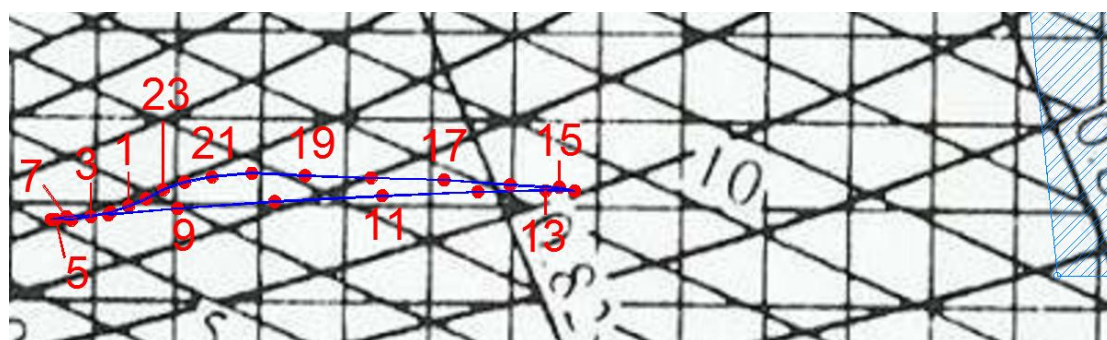
Εικόνα 7.3.3: Αναπαράσταση όλων των ωρών της 21^{ης} Ιανουαρίου πάνω στον ψυχομετρικό χάρτη, σε συνδυασμό με τη ζώνη θερμικής άνεσης (εικόνα σε μεγέθυνση)

Παρατηρούμε ότι ο Ιανουάριος, ως ένας από τους πιο κρύους μήνες του χρόνου, βρίσκεται εξολοκλήρου εκτός της ζώνης άνεσης. Μάλιστα, ακόμα και την ώρα της μεγαλύτερης θερμοκρασίας της ημέρας, στις 14:00 το μεσημέρι, η διαφορά θερμοκρασίας από τη ζώνη άνεσης είναι περίπου 8°C. Επίσης, η διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στην πιο ζεστή (14:00) και κρύα ώρα (5:00) είναι 5,578°C.

21^η ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΥ



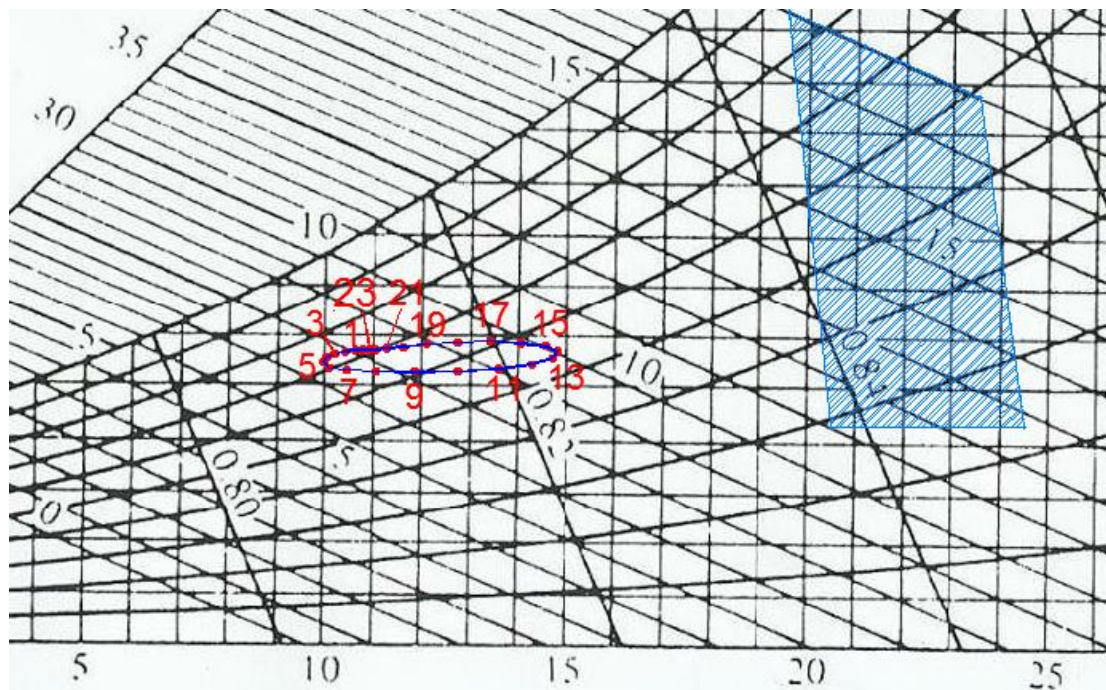
Εικόνα 7.3.4: Αναπαράσταση όλων των ωρών της 21^{ης} Φεβρουαρίου πάνω στον ψυχομετρικό χάρτη, σε συνδυασμό με τη ζώνη θερμικής άνεσης



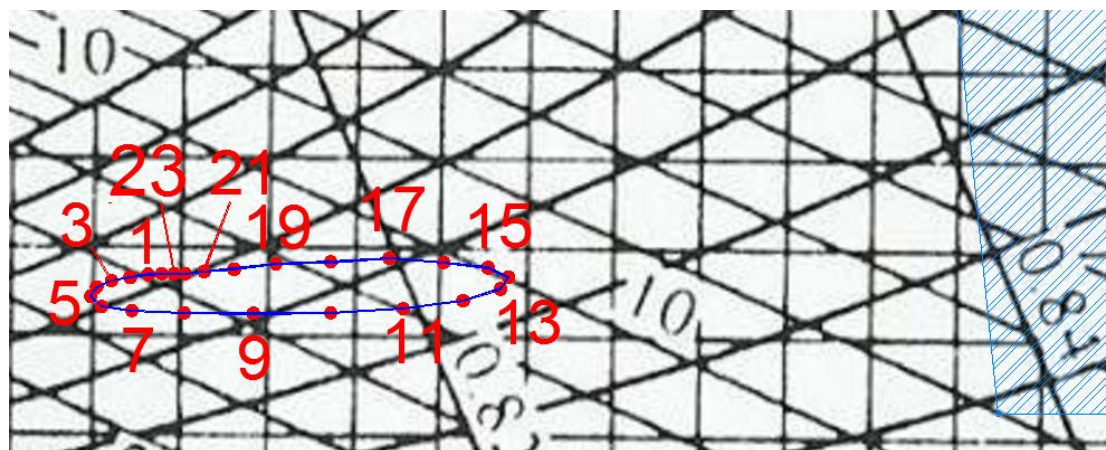
Εικόνα 7.3.5: Αναπαράσταση όλων των ωρών της 21^{ης} Φεβρουαρίου πάνω στον ψυχομετρικό χάρτη, σε συνδυασμό με τη ζώνη θερμικής άνεσης (εικόνα σε μεγέθυνση)

Ο Φεβρουάριος είναι λίγο πιο ζεστός μήνας από τον Ιανουάριο, όμως και πάλι, καθώς ανήκει στο χειμώνα, όλες του οι ώρες βρίσκονται εκτός της ζώνης θερμικής άνεσης. Χαρακτηριστικά, η πιο ζεστή ώρα της ημέρας απέχει κάτι λιγότερο από 6°C από το όριο της ζώνης άνεσης. Η διαφορά μεταξύ της πιο υψηλής θερμοκρασίας στις 14:00 και της πιο χαμηλής στις 6:00 είναι 6,244°C.

21^η ΜΑΡΤΙΟΥ



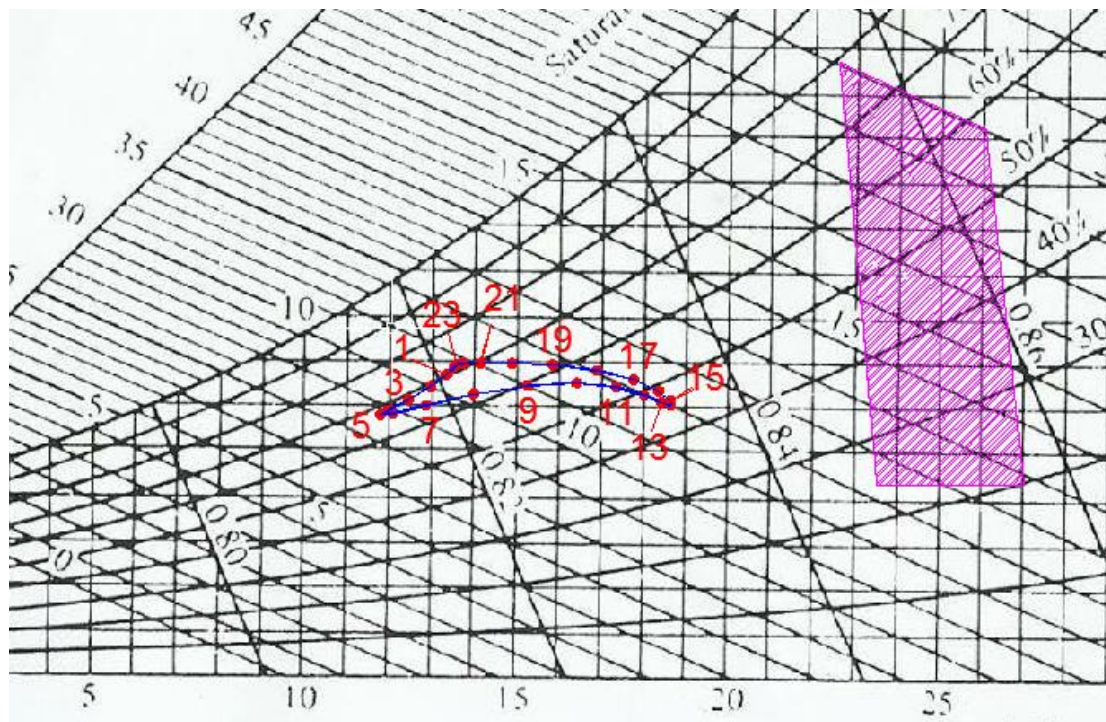
Εικόνα 7.3.6: Αναπαράσταση όλων των ωρών της 21^{ης} Μαρτίου πάνω στον ψυχομετρικό χάρτη, σε συνδυασμό με τη ζώνη θερμικής άνεσης



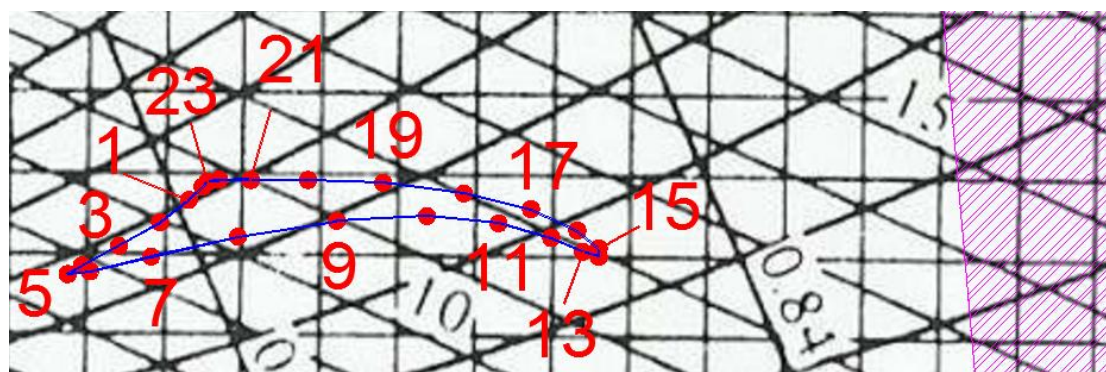
Εικόνα 7.3.7: Αναπαράσταση όλων των ωρών της 21^{ης} Μαρτίου πάνω στον ψυχομετρικό χάρτη, σε συνδυασμό με τη ζώνη θερμικής άνεσης (εικόνα σε μεγέθυνση)

Παρατηρούμε ότι ο Μάρτιος δεν έχει πολύ μεγάλες διαφορές στη θερμοκρασία από το Φεβρουάριο. Ανοίγει και αυτός ουσιαστικά στους χειμερινούς μήνες και παρατηρούμε πως βρίσκεται εξολοκλήρου εκτός ζώνης θερμικής άνεσης. Η μέγιστη τιμή της θερμοκρασίας του είναι σχεδόν ίδια με αυτή του Φεβρουαρίου και η διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στην πιο ζεστή ώρα (14:00) και την πιο κρύα (5:00) είναι μικρότερη από την αντίστοιχη του Φεβρουαρίου και έχει τιμή 4,817°C.

21^η ΑΠΡΙΛΙΟΥ



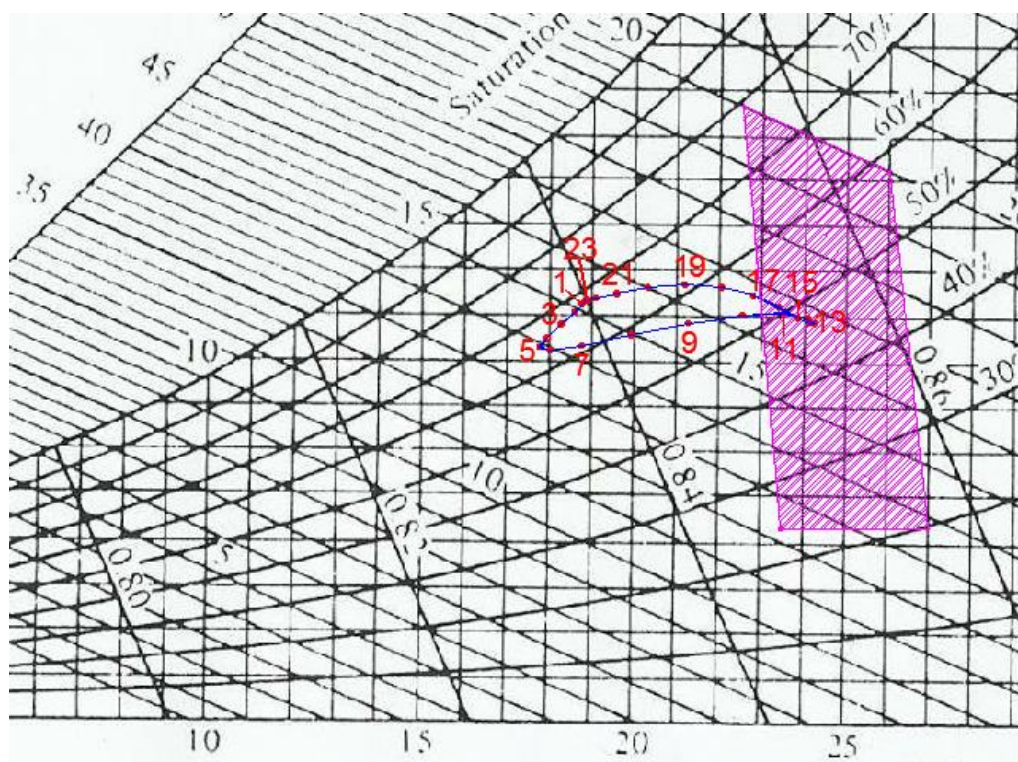
Εικόνα 7.3.8: Αναπαράσταση όλων των ωρών της 21^{ης} Απριλίου πάνω στον ψυχομετρικό χάρτη, σε συνδυασμό με τη ζώνη θερμικής άνεσης



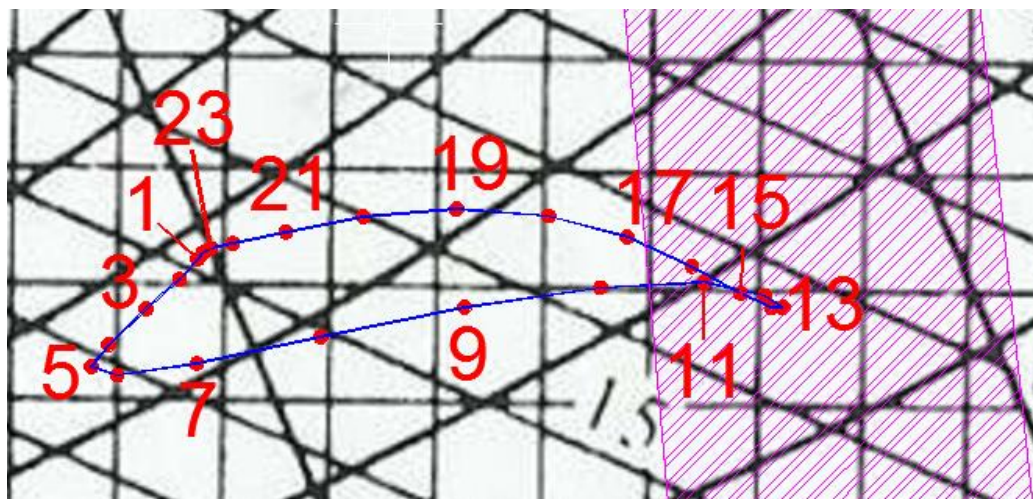
Εικόνα 7.3.9: Αναπαράσταση όλων των ωρών της 21^{ης} Απριλίου πάνω στον ψυχομετρικό χάρτη, σε συνδυασμό με τη ζώνη θερμικής άνεσης (εικόνα σε μεγέθυνση)

Ο Απρίλιος είναι πιο ζεστός από τους προηγούμενους μήνες, και είναι ο πρώτος του έτους που ανήκει στη θερινή εποχή, γι' αυτό και χρησιμοποιούμε τη ζώνη θερμικής άνεσης για το καλοκαίρι. Και πάλι όμως βλέπουμε πως οι θερμοκρασίες όλου του 24ωρου είναι αρκετά χαμηλές για να μπουν στη ζώνη θερμικής άνεσης. Συγκεκριμένα, η πιο ζεστή ώρα της ημέρας, απέχει περίπου 5° από το όριο της ζώνης άνεσης. Η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της πιο ζεστής ώρας (14:00) και της πιο κρύας (5:00) είναι 6,849°C.

21^η ΜΑΙΟΥ



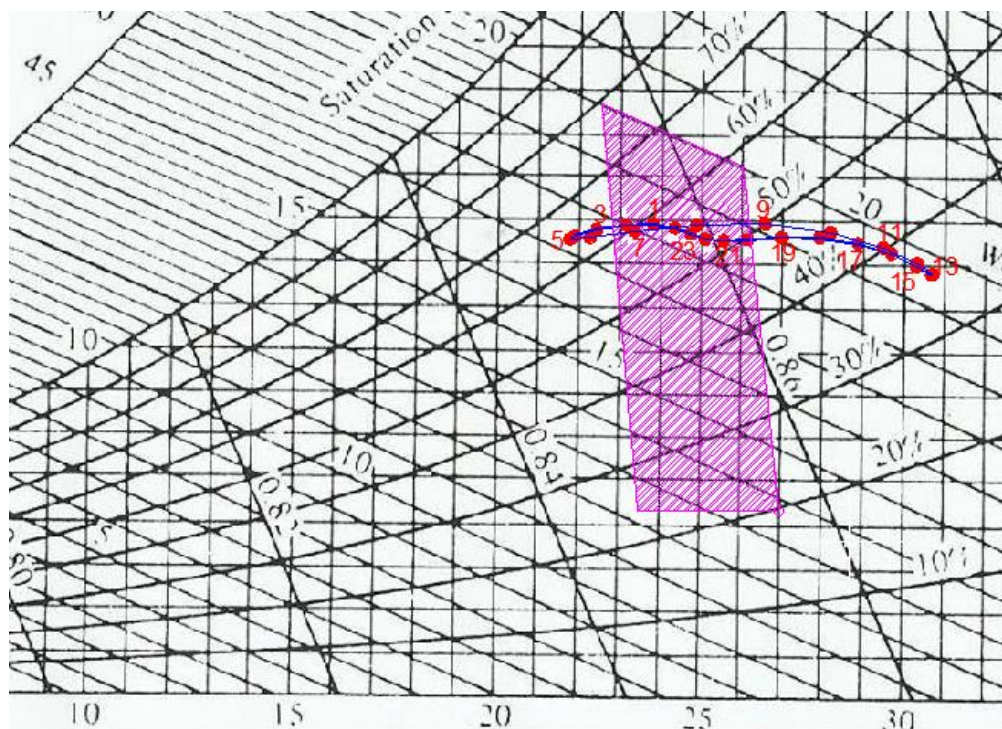
Εικόνα 7.3.10: Αναπαράσταση όλων των ωρών της 21^{ης} Μαΐου πάνω στον ψυχομετρικό χάρτη, σε συνδυασμό με τη ζώνη θερμικής άνεσης



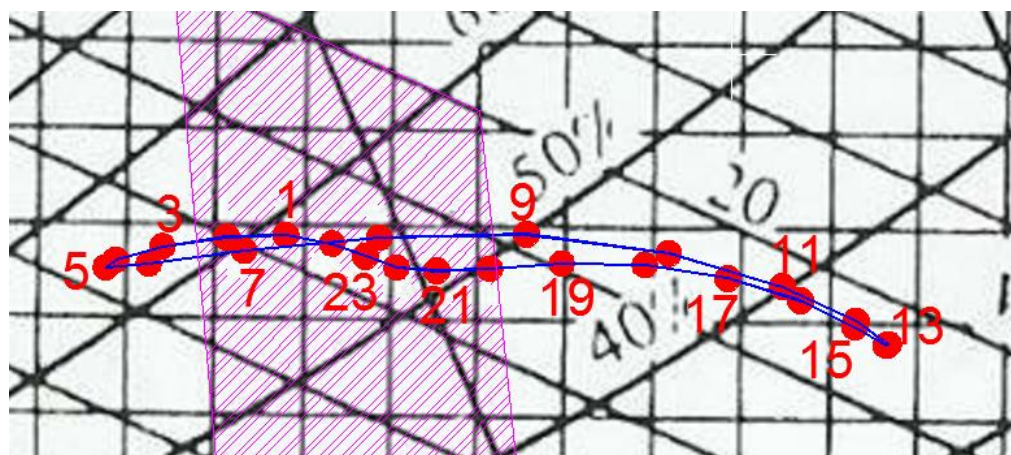
Εικόνα 7.3.11: Αναπαράσταση όλων των ωρών της 21^{ης} Μαΐου πάνω στον ψυχομετρικό χάρτη, σε συνδυασμό με τη ζώνη θερμικής άνεσης (εικόνα σε μεγέθυνση)

Παρατηρούμε πως ο Μάιος είναι ο πρώτος μήνας του οποίου κάποιες ώρες μέσα στην ημέρα βρίσκονται εντός των ορίων της ζώνης θερμικής άνεσης. Συγκεκριμένα, οι ώρες 11:00-16:00 βρίσκονται μέσα στη ζώνη θερμικής άνεσης. Από αυτό καταλαβαίνουμε ότι η θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος, ενώ οδεύουμε προς το καλοκαίρι, είναι ακόμα αρκετά χαμηλή κατά τη μεγαλύτερη διάρκεια του 24ώρου. Η διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στην πιο ζεστή ώρα (13:00) και στην πιο κρύα (5:00) είναι 6,476°C.

21^η ΙΟΥΝΙΟΥ



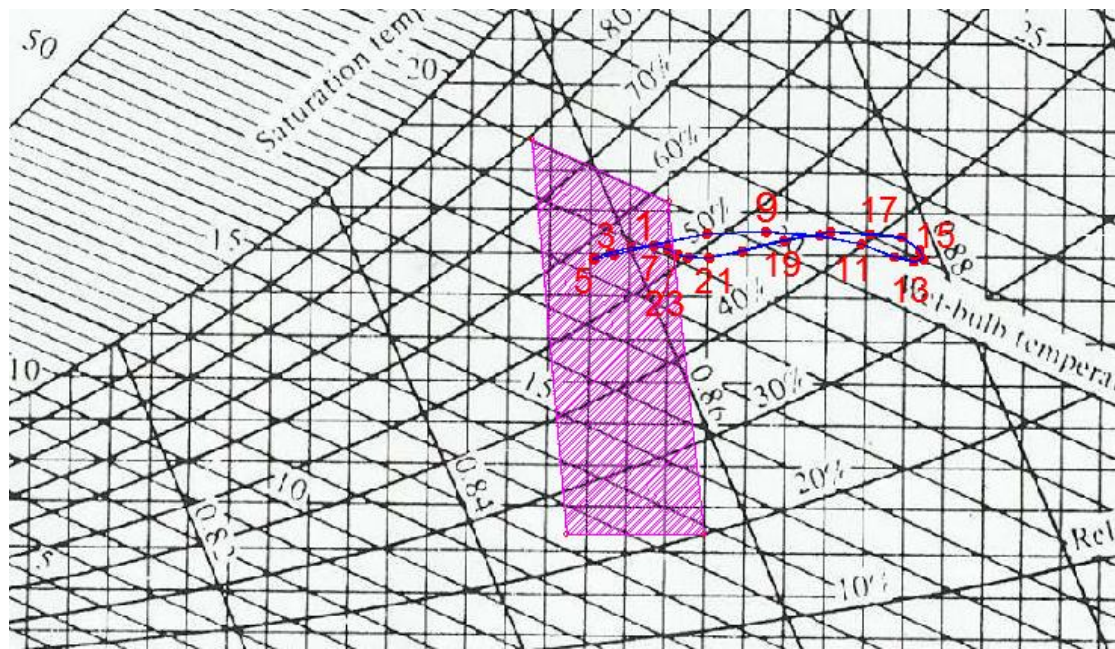
Εικόνα 7.3.12: Αναπαράσταση όλων των ωρών της 21^{ης} Ιουνίου πάνω στον ψυχομετρικό χάρτη, σε συνδυασμό με τη ζώνη θερμικής άνεσης



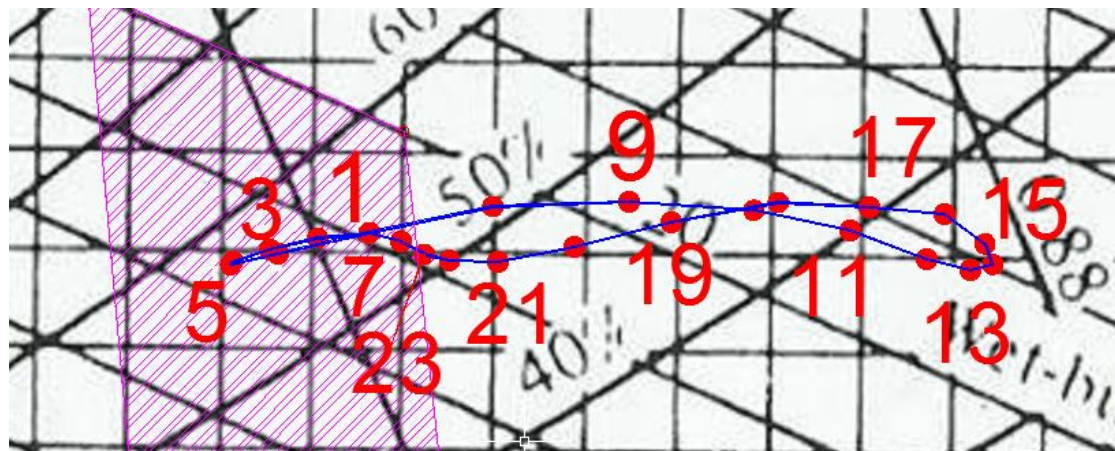
Εικόνα 7.3.13: Αναπαράσταση όλων των ωρών της 21^{ης} Ιουνίου πάνω στον ψυχομετρικό χάρτη, σε συνδυασμό με τη ζώνη θερμικής άνεσης (εικόνα σε μεγέθυνση)

Ο Ιούνιος παρατηρούμε ότι βρίσκεται κατά πολύ μεγάλο τμήμα μέσα στη ζώνη θερμικής άνεσης. Οι συνθήκες περιβάλλοντος των ωρών 7:00 -8:00 και 20:00-2:00 είναι θερμικά άνετες. Οι ώρες 9:00-19:00 βρίσκονται δεξιά της ζώνης άνεσης, έχουν δηλαδή συνθήκες στις οποίες ένας άνθρωπος δεν αισθάνεται άνετα, αλλά ζεστά. Επίσης, οι ώρες 3:00-6:00 είναι αριστερά της ζώνης άνεσης, δηλαδή οι άνθρωποι αυτές τις ώρες αισθάνονται το περιβάλλον ψυχρό. Η διαφορά μεταξύ της μεγαλύτερης θερμοκρασίας (13:00) και της μικρότερης (5:00) είναι 8,905°C.

21^η ΙΟΥΛΙΟΥ



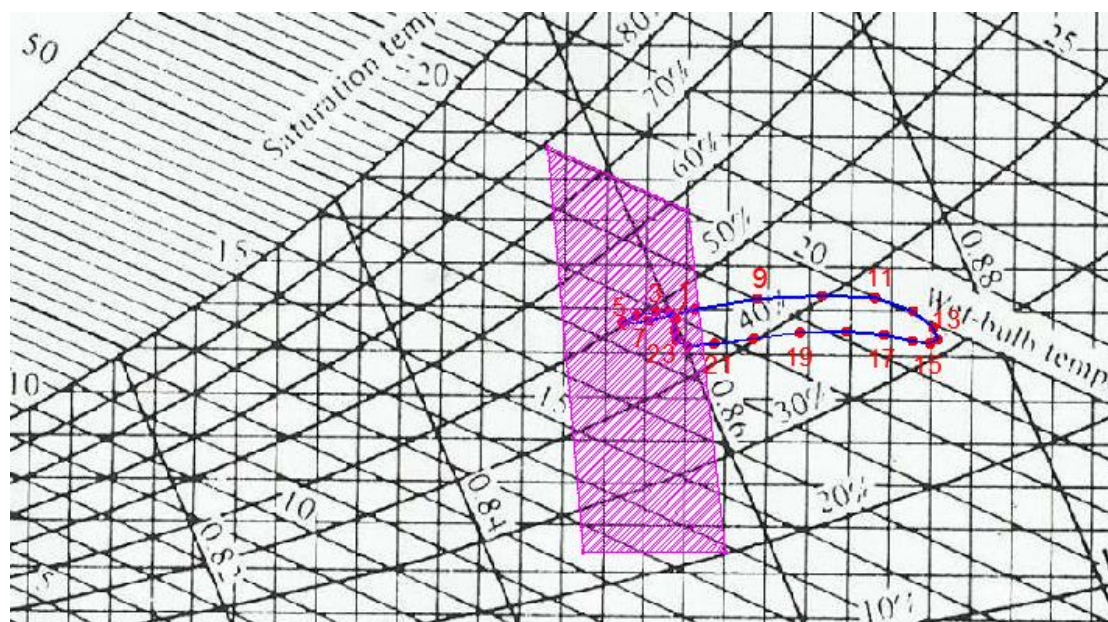
Εικόνα 7.3.14: Αναπαράσταση όλων των ωρών της 21^{ης} Ιουλίου πάνω στον ψυχομετρικό χάρτη, σε συνδυασμό με τη ζώνη θερμικής άνεσης



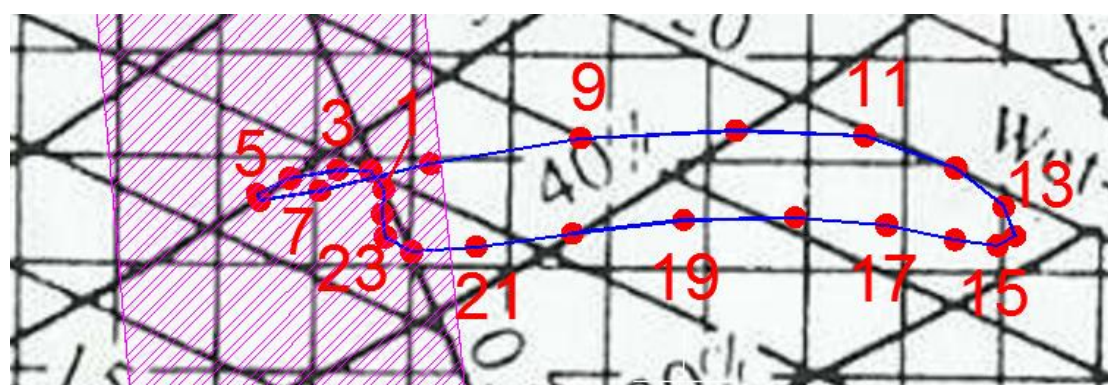
Εικόνα 7.3.15: Αναπαράσταση όλων των ωρών της 21^{ης} Ιουλίου πάνω στον ψυχομετρικό χάρτη, σε συνδυασμό με τη ζώνη θερμικής άνεσης (εικόνα σε μεγέθυνση)

Όσο προχωράει το καλοκαίρι, βλέπουμε πως όλο και λιγότερες ώρες βρίσκονται εντός των ορίων της ζώνης θερμικής άνεσης. Συγκεκριμένα, τον Ιούλιο εντός ζώνης άνεσης βρίσκονται οι περιβαλλοντικές συνθήκες κατά τη διάρκεια των περασμένων βραδινών και πρώτων πρωινών ωρών 24:00-7:00. Τις υπόλοιπες ώρες η θερμοκρασία είναι αρκετά υψηλή και μπορεί να προκαλέσει δυσφορία σε έναν άνθρωπο που βρίσκεται στο εξωτερικό περιβάλλον. Η μεγαλύτερη θερμοκρασία απέχει περίπου 6°C από τη ζώνη άνεσης. Η πιο ζεστή ώρα είναι η 14^η μεσημβρινή και η πιο κρύα η 5^η πρωινή. Η διαφορά τους είναι 8,321°C.

21^η ΑΥΓΟΥΣΤΟΥ



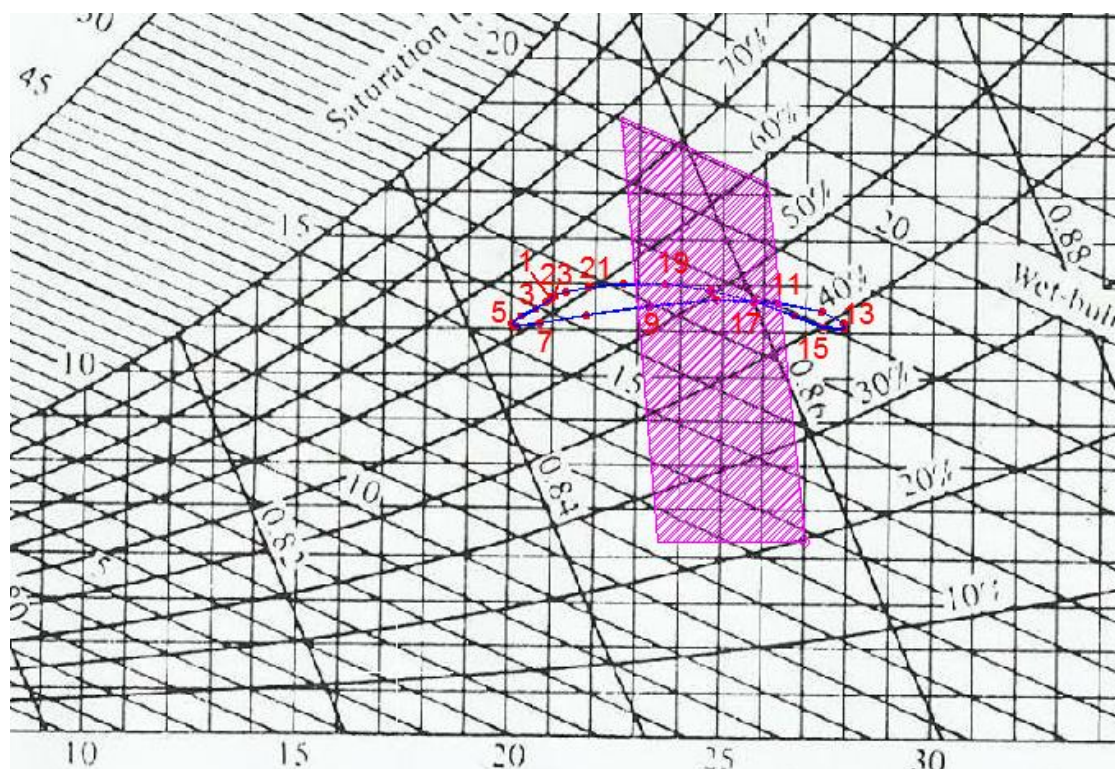
Εικόνα 7.3.16: Αναπαράσταση όλων των ωρών της 21^{ης} Αυγούστου πάνω στον ψυχομετρικό χάρτη, σε συνδυασμό με τη ζώνη θερμικής άνεσης



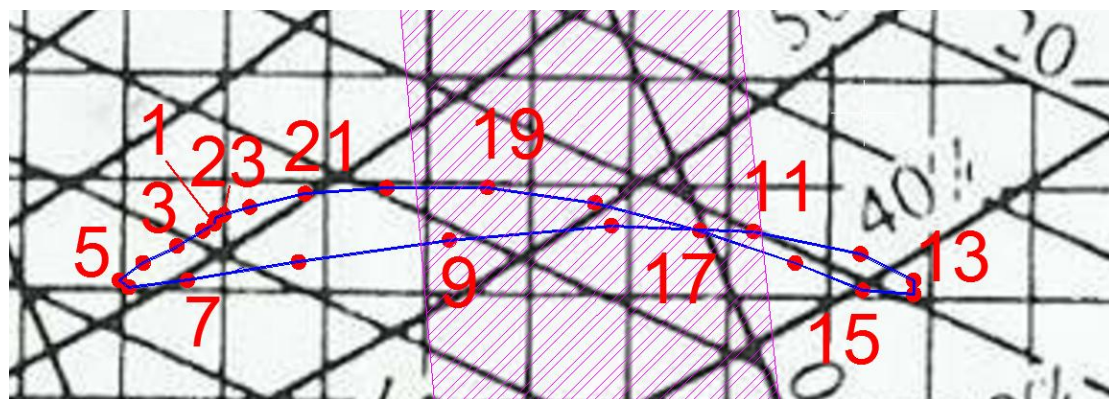
Εικόνα 7.3.17: Αναπαράσταση όλων των ωρών της 21^{ης} Αυγούστου πάνω στον ψυχομετρικό χάρτη, σε συνδυασμό με τη ζώνη θερμικής άνεσης (εικόνα σε μεγέθυνση)

Ο Αύγουστος είναι ο δεύτερος πιο ζεστός μήνας του έτους, μετά τον Ιούλιο και οι θερμοκρασίες του κατά τη μεγαλύτερη διάρκεια της ημέρας είναι πολύ υψηλές. Το μεσημέρι, η θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος απέχει περίπου 6°C από τα όρια θερμικής άνεσης. Παρόλα αυτά υπάρχουν κάποιες ώρες μέσα στην ημέρα, που ο ανθρώπινος οργανισμός μπορεί να αισθανθεί άνετα. Αυτές είναι οι 22:00-8:00. Παρατηρούμε λοιπόν, ότι καθώς οδεύουμε προς το φθινόπωρο, το βράδυ η θερμοκρασία εξωτερικού περιβάλλοντος πέφτει αρκετά και καθιστά άνετη την παραμονή σε εξωτερικούς χώρους. Η μεγαλύτερη διαφορά θερμοκρασίας είναι 7,743°C και σημειώνεται ανάμεσα στις ώρες 14:00 και 5:00.

21^η ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΥ



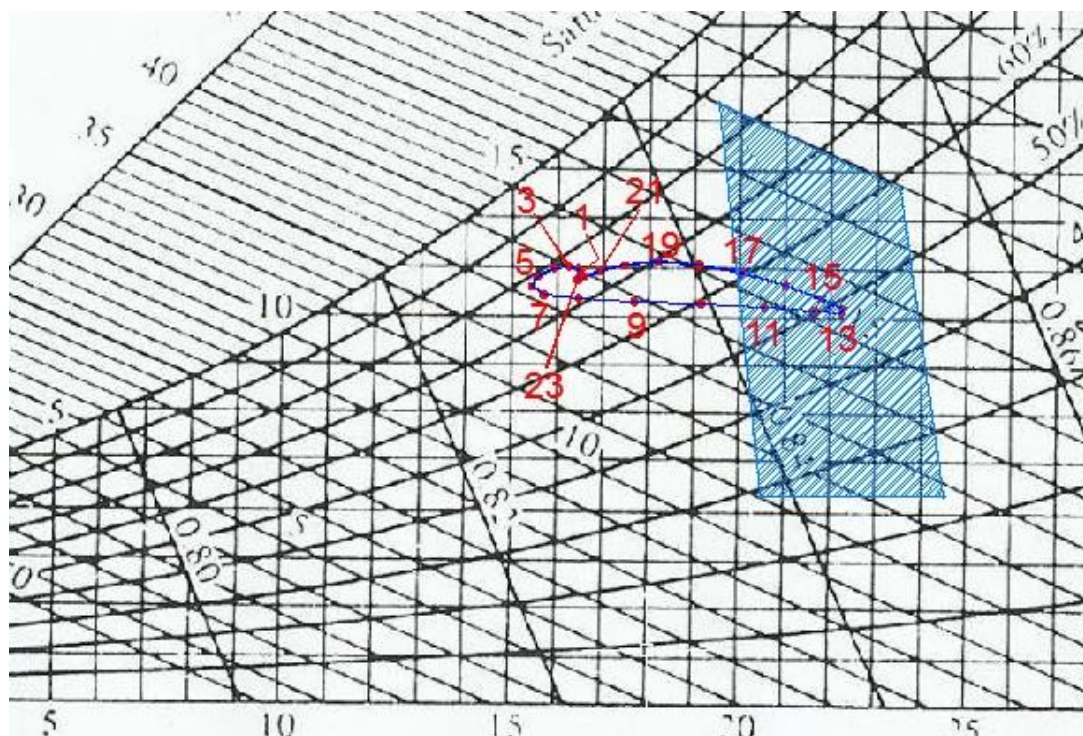
Εικόνα 7.3.18: Αναπαράσταση όλων των ωρών της 21^{ης} Σεπτεμβρίου πάνω στον ψυχομετρικό χάρτη, σε συνδυασμό με τη ζώνη θερμικής άνεσης



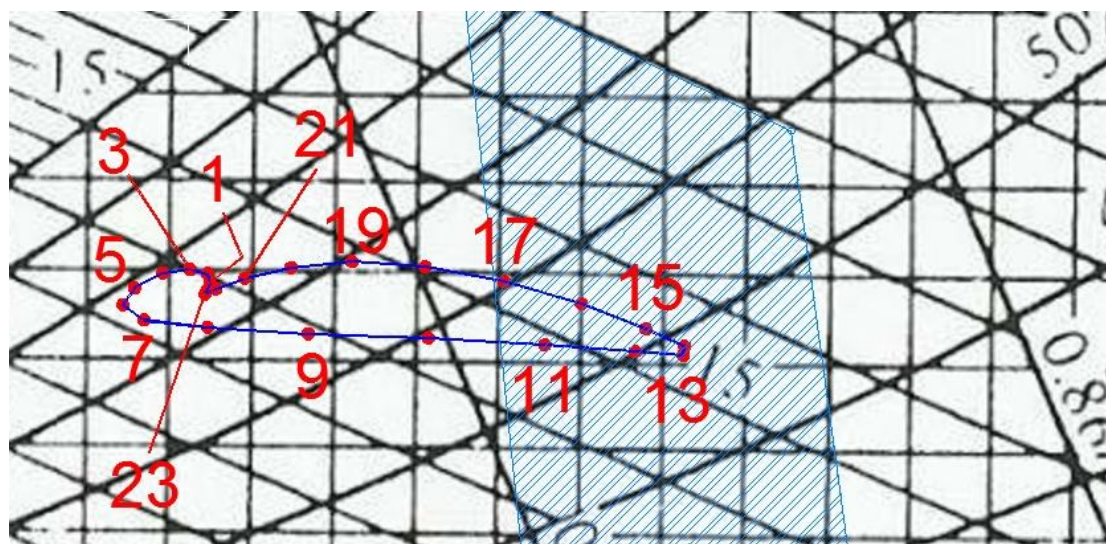
Εικόνα 7.3.19: Αναπαράσταση όλων των ωρών της 21^{ης} Σεπτεμβρίου πάνω στον ψυχομετρικό χάρτη, σε συνδυασμό με τη ζώνη θερμικής άνεσης (εικόνα σε μεγέθυνση)

Ο Σεπτέμβριος είναι και αυτός ζεστός μήνας και ανήκει, όπως είδαμε και στο 1^ο Κεφάλαιο, στη θερινή εποχή. Κάποιες ώρες της ημέρας (9:00-11:00 και 17:00-19:00) βρίσκονται εντός ζώνης θερμικής άνεσης. Οι ώρες 20:00-8:00 βρίσκονται αριστερά και οι ώρες 12:00-16:00 βρίσκονται δεξιά. Η μεγαλύτερη διαφορά θερμοκρασίας είναι 7,858°C (ανάμεσα στις 14:00 και στις 5:00).

21^η ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ



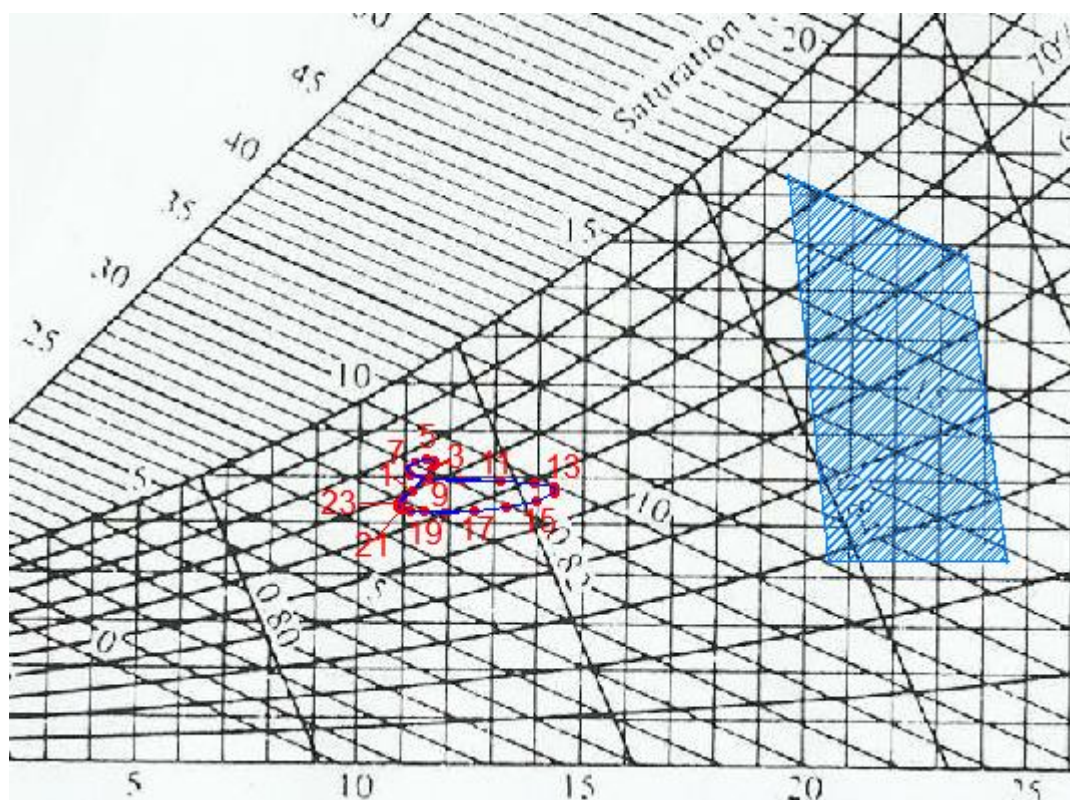
Εικόνα 7.3.20: Αναπαράσταση όλων των ωρών της 21^{ης} Οκτωβρίου πάνω στον ψυχομετρικό χάρτη, σε συνδυασμό με τη ζώνη θερμικής άνεσης



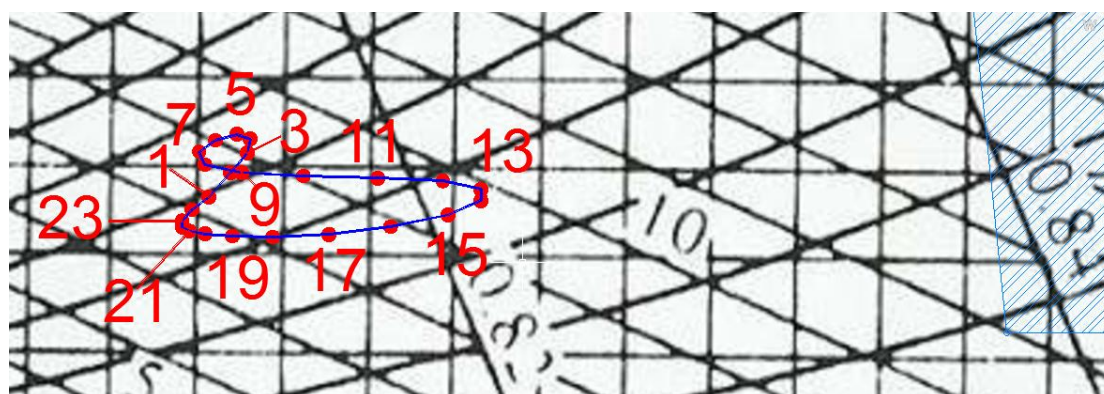
Εικόνα 7.3.21: Αναπαράσταση όλων των ωρών της 21^{ης} Οκτωβρίου πάνω στον ψυχομετρικό χάρτη, σε συνδυασμό με τη ζώνη θερμικής άνεσης (εικόνα σε μεγέθυνση)

Ο Οκτώβριος είναι ο πρώτος μήνας του φθινοπώρου που ανήκει στην χειμερινή εποχή. Παρατηρούμε πως οι περιβαλλοντικές συνθήκες που βρίσκονται εντός ζώνης άνεσης σημειώνονται το διάστημα μεταξύ των ωρών 11:00-17:00. Η μεγαλύτερη θερμοκρασία εντοπίζεται στις 14:00 και η μικρότερη στις 6:00. Η διαφορά τους είναι 6,82°C.

21^η ΝΟΕΜΒΡΙΟΥ



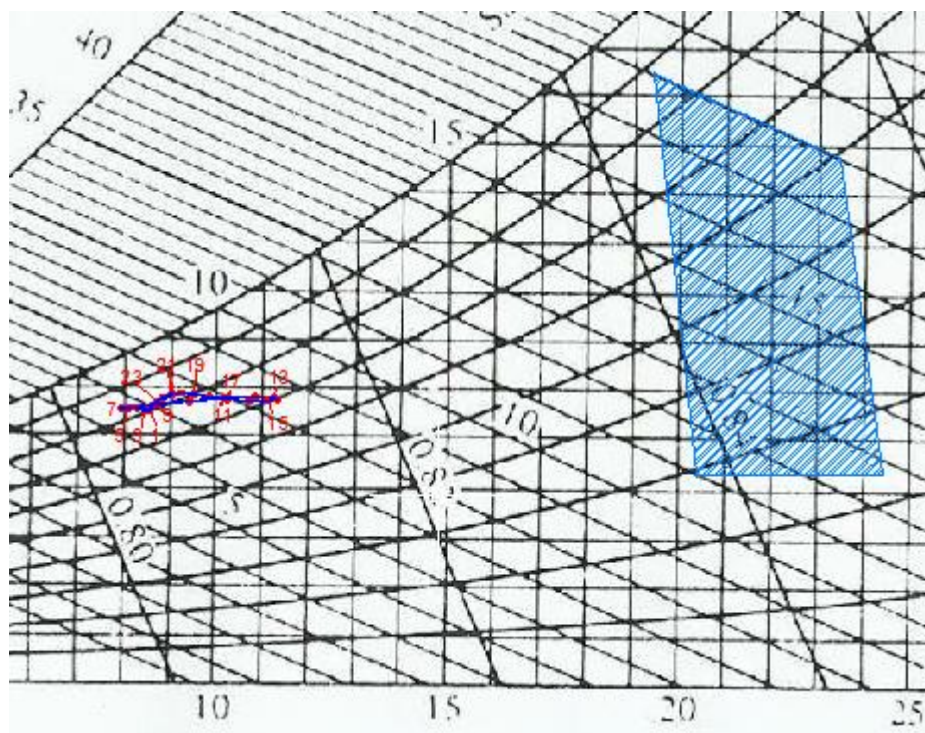
Εικόνα 7.3.22: Αναπαράσταση όλων των ωρών της 21^{ης} Νοεμβρίου πάνω στον ψυχομετρικό χάρτη, σε συνδυασμό με τη ζώνη θερμικής άνεσης



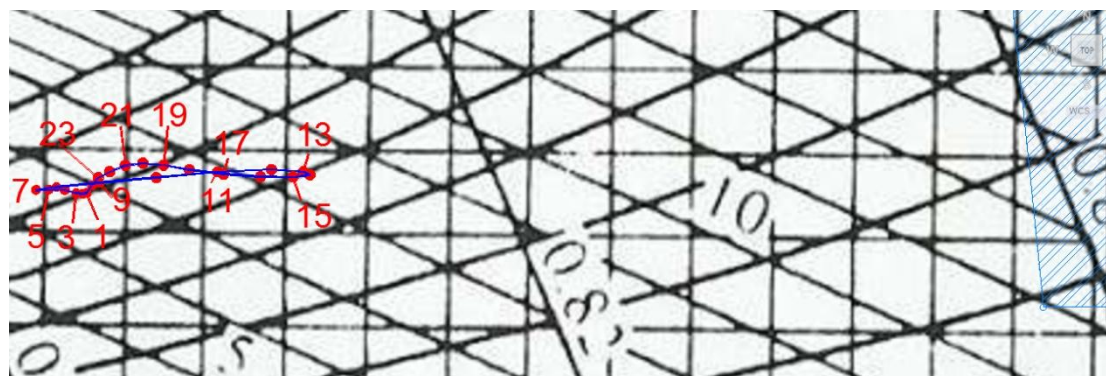
Εικόνα 7.3.23: Αναπαράσταση όλων των ωρών της 21^{ης} Νοεμβρίου πάνω στον ψυχομετρικό χάρτη, σε συνδυασμό με τη ζώνη θερμικής άνεσης (εικόνα σε μεγέθυνση)

Ο Νοέμβριος είναι ένας αρκετά κρύος μήνας και βρίσκεται εξολοκλήρου εκτός ζώνης θερμικής άνεσης. Η υψηλότερη θερμοκρασία του εντοπίζεται στις 14:00 και απέχει περίπου 6°C από τη θερμοκρασία στα όρια της ζώνης άνεσης και η μικρότερη στις 22:00. Η διαφορά τους είναι αρκετά μικρή (3,498°C).

21^η ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΥ



Εικόνα 7.3.24: Αναπαράσταση όλων των ωρών της 21^{ης} Δεκεμβρίου πάνω στον ψυχομετρικό χάρτη, σε συνδυασμό με τη ζώνη θερμικής άνεσης



Εικόνα 7.3.25: Αναπαράσταση όλων των ωρών της 21^{ης} Δεκεμβρίου πάνω στον ψυχομετρικό χάρτη, σε συνδυασμό με τη ζώνη θερμικής άνεσης (εικόνα σε μεγέθυνση)

Ο Δεκέμβριος είναι ο πιο ψυχρός μήνας του έτους και όλες τα σημεία του που αναπαριστούν τις 24 ώρες της ημέρας πάνω στον ψυχομετρικό χάρτη βρίσκονται πολύ "μακριά" από τη χειμερινή ζώνη θερμικής άνεσης. Η μεγαλύτερη θερμοκρασία σημειώνεται στις 14:00 και η μικρότερη στις 6:00. Η διαφορά τους είναι 3,402°C.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα παραπάνω μπορούμε να συμπεράνουμε πως στους καλοκαιρινούς μήνες η διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στην πιο ζεστή και πιο κρύα ώρα της ημέρας είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη στους χειμερινούς μήνες. Αυτό είναι λογικό, αφού κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών οι θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια των μεσημεριανών ωρών είναι αρκετά μεγάλες. Αυτό γρήγορα μπορεί να φανεί και με το μάτι από το πλάτος που έχουν τα σχήματα που προκύπτουν όταν ενώσουμε τις ώρες για κάθε ένα μήνα.

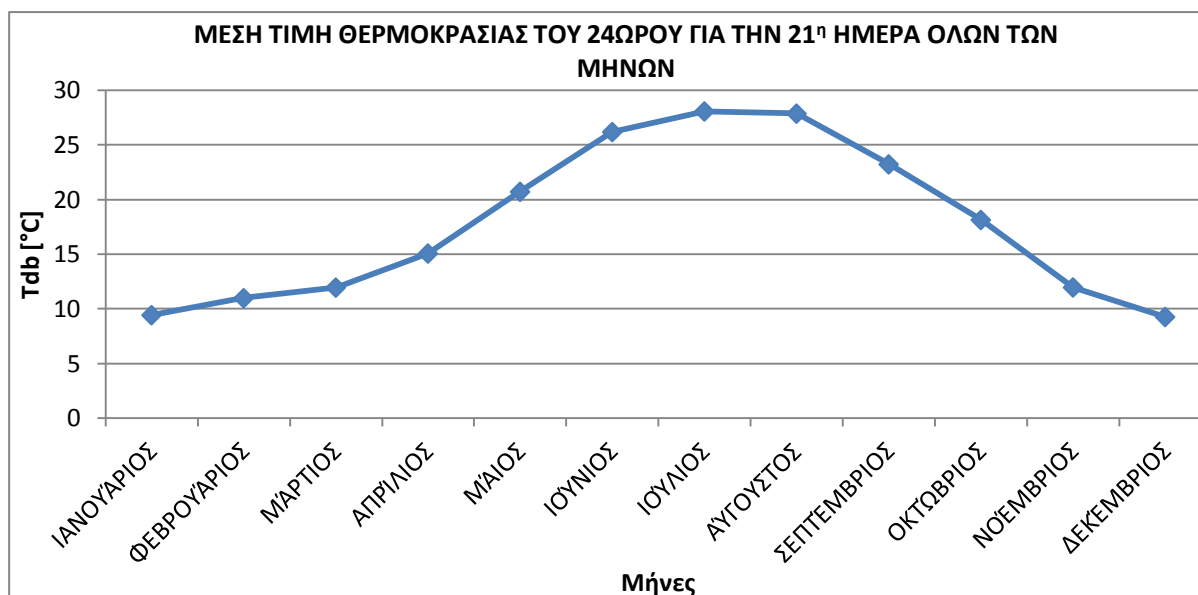
Αντίθετα, κατά τους χειμερινούς μήνες, και ειδικά το Νοέμβριο και το Δεκέμβριο, οι διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στην πιο ζεστή και πιο κρύα ώρα της ημέρας είναι πολύ μικρή. Στον ψυχομετρικό χάρτη, το πλάτος της πορείας του 24ώρου είναι γι αυτούς του μήνες πολύ μικρό.

7.4 Υπολογισμός των μέσων όρων των τιμών θερμοκρασίας και υγρασίας για κάθε μήνα και τοποθέτηση των σημείων στον ψυχομετρικό χάρτη

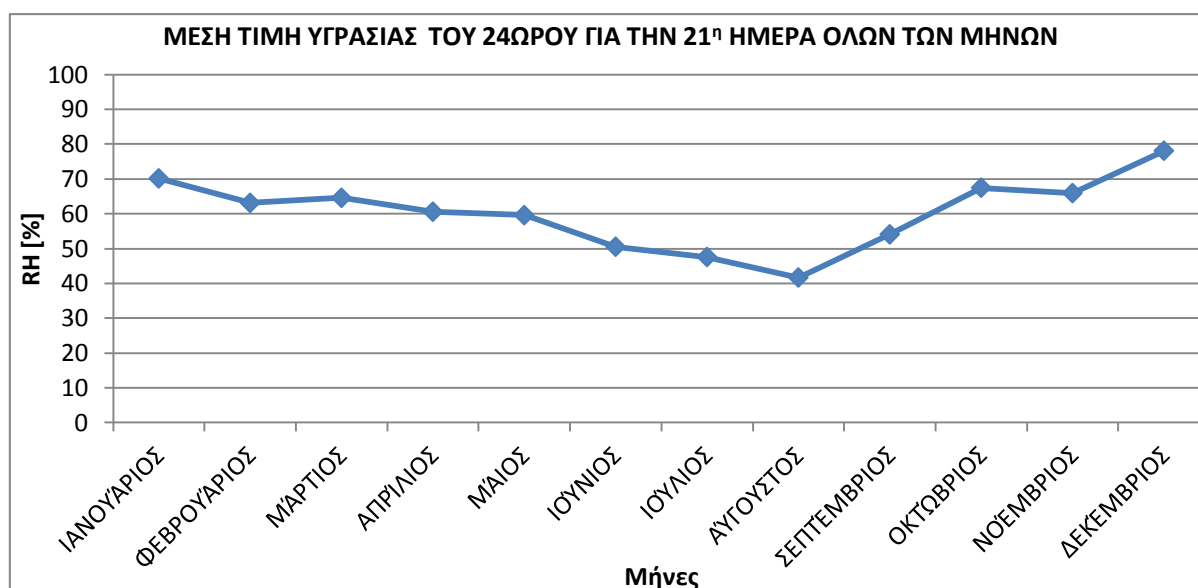
Ένας χρήσιμος υπολογισμός που μπορούμε να κάνουμε είναι να βρούμε μια γενική εικόνα του έτους μέσα στον ψυχομετρικό χάρτη. Δηλαδή, να βρούμε ένα αντιπροσωπευτικό σημείο για κάθε μήνα. Αυτό θα γίνει με τον υπολογισμό της μέσης τιμής της θερμοκρασίας ξηρού βολβού και της σχετικής υγρασίας όλου του 24ώρου για κάθε 21^η ημέρα των 12 μηνών του έτους. Ακολουθεί ο πίνακας και τα αντίστοιχα διαγράμματα που περιέχουν αυτά τα μεγέθη:

Πίνακας 7.4.1: Μέση τιμή θερμοκρασίας ξηρού βολβού και σχετικής υγρασίας όλου του 24ώρου για κάθε μήνα του έτους

ΜΗΝΕΣ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΞΗΡΟΥ ΒΟΛΒΟΥ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ
21 ^η ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ	9,429486	70,132
21 ^η ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΥ	10,984	63,116
21 ^η ΜΑΡΤΙΟΥ	11,956	64,56
21 ^η ΑΠΡΙΛΙΟΥ	15,072	60,572
21 ^η ΜΑΙΟΥ	20,724	59,576
21 ^η ΙΟΥΝΙΟΥ	26,192	50,512
21 ^η ΙΟΥΛΙΟΥ	28,08	47,568
21 ^η ΑΥΓΟΥΣΤΟΥ	27,88	41,668
21 ^η ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΥ	23,236	54,064
21 ^η ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ	18,144	67,468
21 ^η ΝΟΕΜΒΡΙΟΥ	11,968	65,916
21 ^η ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΥ	9,264	78,088



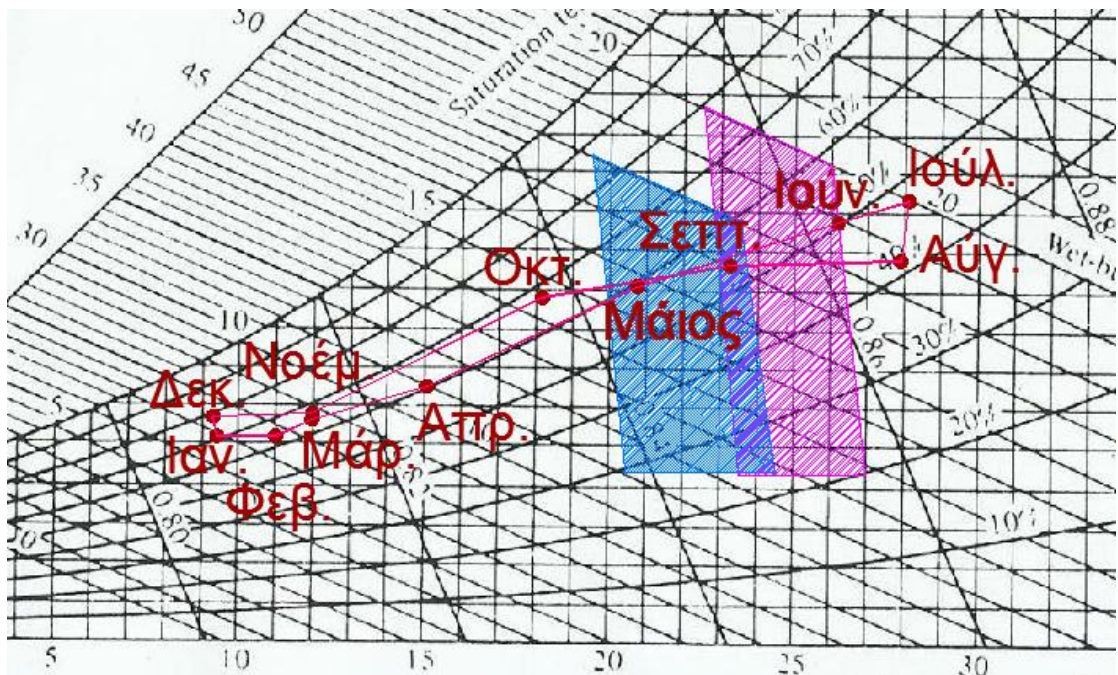
Σχήμα 7.4.1: Μέση τιμή της θερμοκρασίας ξηρού βολβού όλου του 24ώρου συναρτήσει των μηνών του έτους (υπολογισμένα για την 21^η ημέρα κάθε μήνα)



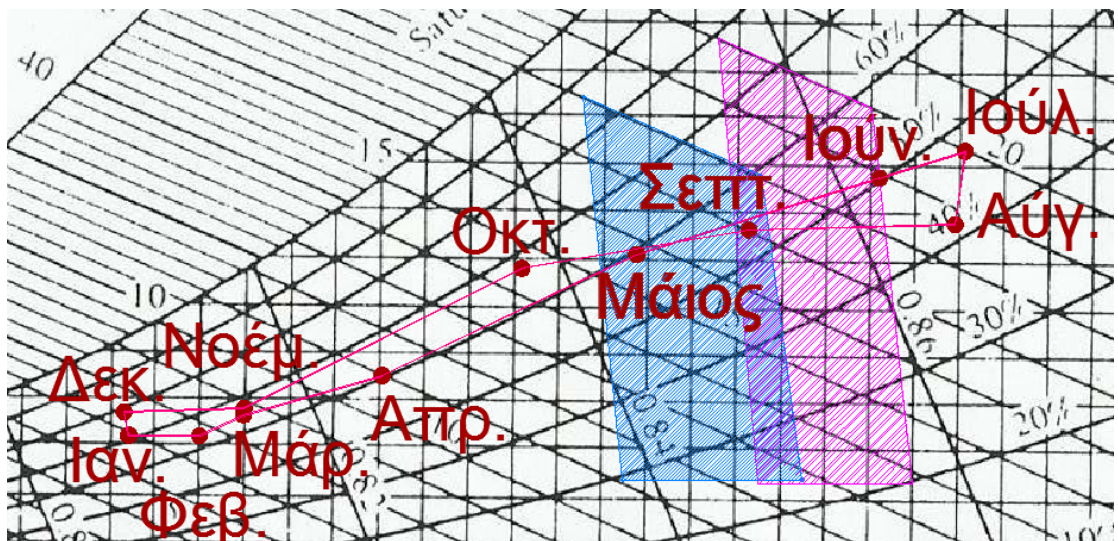
Σχήμα 7.4.2: Μέση τιμή της σχετικής υγρασίας όλου του 24ώρου συναρτήσει των μηνών του έτους (υπολογισμένα για την 21^η ημέρα κάθε μήνα)

Παρατηρούμε πως ο Αύγουστος είναι ο μήνας που παρατηρείται η μικρότερη τιμή σχετικής υγρασίας κατά μέσο όρο και ο Δεκέμβριος αυτός που παρατηρείται η μεγαλύτερη, φτάνοντας κοντά το 80%. Ο Δεκέμβριος αποτελεί και τον πιο κρύο μήνα του έτους και ο Ιούλιος τον πιο ζεστό.

Στη συνέχεια ακολουθεί η απεικόνιση των σημείων αυτών στον ψυχομετρικό χάρτη:



Εικόνα 7.4.1: Αναπαράσταση των σημείων με τις μέσες τιμές θερμοκρασίας ξηρού βολβού και σχετικής υγρασίας για την 21^η ημέρα κάθε μήνα σε συνδυασμό με τις ζώνες θερμικής άνεσης



Εικόνα 7.4.2: Αναπαράσταση των σημείων με τις μέσες τιμές θερμοκρασίας ξηρού βολβού και σχετικής υγρασίας για την 21^η ημέρα κάθε μήνα σε συνδυασμό με τις ζώνες θερμικής άνεσης (μεγέθυνση)

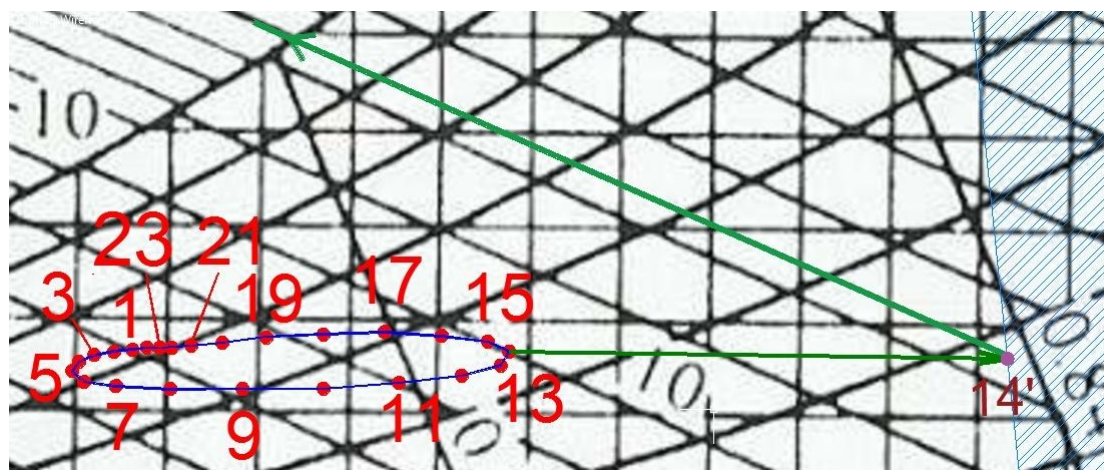
Παρατηρώντας τον ψυχομετρικό χάρτη με τα σημεία και την πορεία ολόκληρου του έτους πάνω σε αυτόν, παρατηρούμε ότι κατά μέσο όρο θερμικά "άνετος" μήνας μπορεί να θεωρηθεί ο Σεπτέμβριος, καθώς οι μέσες τιμές θερμοκρασίας ξηρής σφαίρας και σχετικής υγρασίας βρίσκονται εντός της θερινής ζώνης άνεσης. Επίσης παρατηρούμε πως ο Ιούνιος βρίσκεται και αυτός οριακά μέσα στη θερινή ζώνη άνεσης. Τέλος, βλέπουμε πόσο κοντά είναι η θερμοκρασία και η υγρασία των μηνών Μάρτη και Νοέμβρη.

7.5 Υπολογισμός της ενέργειας που χρειάζεται για να "μπουν" τα σημεία στη ζώνη θερμικής άνεσης

7.5.1 Υπολογισμός της διαφοράς ενθαλπίας κάθε σημείου από το αντίστοιχό του στο όριο της ζώνης θερμικής άνεσης

Αφού τοποθετήσαμε τα σημεία στον ψυχομετρικό χάρτη και έχουμε μια καλή εικόνα της πορείας του 24ώρου για την 21^η ημέρα κάθε μήνα, μπορούμε να βρούμε το ποσό ενέργειας (διαφορά ενθαλπίας), που χρειάζεται να αφαιρέσουμε ή να προσδώσουμε στον αέρα εξωτερικού περιβάλλοντος, ώστε οι συνθήκες του περιβάλλοντος να εισέλθουν οριακά στην αντίστοιχη ζώνη άνεσης.

Ακολουθεί ένα παράδειγμα:



Εικόνα 7.5.1.1: Γραφικό παράδειγμα υπολογισμού της αντίστοιχης τιμής της ενθαλπίας ενός σημείου στο όριο της ζώνης θερμικής άνεσης

Στην παραπάνω εικόνα βλέπουμε το μήνα Μάρτιο. Έστω το σημείο 14, που αντιστοιχεί στην ώρα 14:00. Γι αυτό το σημείο έχουμε υπολογίσει την αντίστοιχη ενθαλπία $h_{14}=29,169\text{kJ/kg}$. Στη συνέχεια, όπως φαίνεται και στο σχήμα, ακολουθώντας τη γραμμή που αντιστοιχεί στον ίδιο και σταθερό λόγο υγρασίας (W), θα πέσουμε πάνω στο όριο της ζώνης θερμικής άνεσης. Αυτό το σημείο θα είναι το 14'. Η ενθαλπία αυτού του σημείου θα είναι η h'_{14} . Η διαφορά αυτών των τιμών $\Delta h = h'_{14} - h_{14}$ θα είναι θετική, αφού είναι φανερό και από το σχήμα πως $h'_{14} > h_{14}$. Μπορούμε να πούμε επίσης ότι σε θετικό θα θεωρήσουμε και το ποσό ενέργειας που πρέπει να 'δώσουμε' στον αέρα εξωτερικού περιβάλλοντος για κάθε ώρα της ημέρας, που βρίσκεται αριστερά από τη ζώνη άνεσης. Σύμφωνα με αυτό τον τρόπο, ως αρνητικό θα θεωρείται το Δh όταν είναι απαραίτητο να αφαιρεθεί ενέργεια από τον αέρα περιβάλλοντος μιας ώρας της ημέρας, ώστε να μπει οριακά σε συνθήκες θερμικής άνεσης. Όσον αφορά τα σημεία που βρίσκονται εντός ορίων της ζώνης άνεσης, δε θα γίνει υπολογισμός και το Δh θα θεωρείται ίσο με 0.

Να σημειωθεί εδώ πως ο λόγος για τον οποίο η "διαδρομή" προς τη ζώνη άνεσης έγινε με σταθερό λόγο υγρασίας είναι γιατί ύστερα από δοκιμές καταλήξαμε πως αυτός ο κοινός για όλα τα σημεία τρόπος θα είναι ο πιο "γρήγορος δρόμος", άρα θα υπολογιστεί η μικρότερη δυνατή διαφορά ενθαλπίας που θα μπορούσε να δώσει ένας κοινός για όλα τα σημεία τρόπος.

Με αυτόν τον τρόπο θα υπολογίσουμε την ενέργεια που πρέπει να δώσουμε ή να αφαιρέσουμε από τον αέρα περιβάλλοντος, για κάθε ώρα, ώστε ο αυτός να εισέλθει οριακά στη ζώνη θερμικής άνεσης.

Η παραπάνω διαδικασία πραγματοποιήθηκε για όλα τα σημεία όλου του 24ώρου για την 21^η ημέρα όλων των μηνών και ακολουθούν τα αποτελέσματα που υπολογίστηκαν στους παρακάτω πίνακες:

Πίνακας 7.5.1.1: Τιμές των ενθαλιπών για όλο το 24ωρο, των αντίστοιχων για κάθε ώρα ενθαλιπών στα όρια της ζώνης άνεσης και των διαφορών τους για τους μήνες Ιανουάριος, Φεβρουάριος, Μάρτιος και Απρίλιος.

ΩΡΕΣ	21 ^η ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ			21 ^η ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΥ			21 ^η ΜΑΡΤΙΟΥ			21 ^η ΑΠΡΙΛΙΟΥ		
	h	h'	Δh	h	h'	Δh	h	h'	Δh	h	h'	Δh
1	21,03	33,513	12,483	21,982	33,293	11,311	24,944	34,817	9,873	30,101	40,037	9,936
2	20,147	33,073	12,926	21,593	33,12	11,527	24,683	34,737	10,054	29,054	39,361	10,307
3	19,472	32,768	13,296	21,26	32,995	11,735	24,341	34,662	10,321	27,773	38,657	10,884
4	19,09	32,629	13,539	20,98	32,861	11,881	23,984	34,515	10,531	26,675	38,088	11,413
5	19,05	32,702	13,652	20,77	32,883	12,113	23,705	34,294	10,589	26,199	37,847	11,648
6	19,215	32,871	13,656	20,707	32,878	12,171	23,619	34,056	10,437	26,604	37,918	11,314
7	19,539	33,026	13,487	20,914	32,975	12,061	23,809	33,957	10,148	27,861	38,341	10,48
8	20,025	33,184	13,159	21,511	33,05	11,539	24,304	33,898	9,594	29,651	38,944	9,293
9	20,73	33,254	12,524	22,537	33,25	10,713	25,077	33,888	8,811	31,466	39,477	8,011
10	21,696	33,293	11,597	23,894	33,483	9,589	26,038	33,923	7,885	32,847	39,638	6,791
11	22,87	33,378	10,508	25,359	33,645	8,286	27,06	34,046	6,986	33,585	39,441	5,856
12	24,079	33,463	9,384	26,65	33,778	7,128	28,006	34,257	6,251	33,8	39,007	5,207
13	25,084	33,534	8,45	27,537	33,834	6,297	28,746	34,537	5,791	33,8	38,618	4,818
14	25,673	33,568	7,895	27,914	33,835	5,921	29,169	34,817	5,648	33,868	38,487	4,619
15	25,738	33,685	7,947	27,793	33,926	6,133	29,211	35,039	5,828	34,101	38,712	4,611
16	25,329	33,753	8,424	27,29	33,972	6,682	28,88	35,169	6,289	34,37	39,248	4,878
17	24,624	33,861	9,237	26,564	34,094	7,53	28,26	35,26	7	34,416	39,882	5,466
18	23,89	34,03	10,14	25,778	34,13	8,352	27,496	35,154	7,658	34,044	40,332	6,288
19	23,473	34,262	10,789	25,057	34,19	9,133	26,74	35,089	8,349	33,268	40,616	7,348
20	23,11	34,372	11,262	24,44	34,244	9,804	26,114	34,952	8,838	32,345	40,667	8,322
21	23,054	34,544	11,49	23,911	34,144	10,233	25,673	34,887	9,214	31,582	40,641	9,059
22	22,955	34,58	11,625	23,413	33,993	10,58	25,406	34,841	9,435	31,15	40,637	9,487
23	22,601	34,41	11,809	22,919	33,789	10,87	25,247	34,832	9,585	30,955	40,58	9,625
24	21,921	33,984	12,063	22,432	33,514	11,082	25,12	34,835	9,715	30,706	40,423	9,717

Πίνακας 7.5.1.2: Τιμές των ενθαλιπών για όλο το 24ωρο, των αντίστοιχων για κάθε ώρα ενθαλιπών στα όρια της ζώνης άνεσης και των διαφορών τους για τους μήνες Μάιος, Ιούνιος, Ιούλιος και Αύγουστος

ΩΡΕΣ	21 ^η ΜΑΙΟΥ			21 ^η ΙΟΥΝΙΟΥ			21 ^η ΙΟΥΛΙΟΥ			21 ^η ΑΥΓΟΥΣΤΟΥ		
	h	h'	Δh	h	h'	Δh	h	h'	Δh	h	h'	Δh
1	42,133	46,323	4,19	51,595	51,595	0	54,172	54,172	0	50,583	50,583	0
2	41,534	45,902	4,368	50,843	50,843	0	53,544	53,544	0	50,836	50,836	0
3	40,551	45,312	4,761	49,806	50,129	0,323	52,635	52,635	0	50,479	50,479	0
4	39,47	44,58	5,11	48,89	49,783	0,893	51,892	51,892	0	49,692	49,692	0
5	38,761	44,109	5,348	48,581	49,597	1,016	51,793	51,793	0	48,98	48,98	0
6	38,839	43,922	5,083	49,183	49,699	0,516	52,601	52,601	0	48,917	48,917	0
7	39,867	44,194	4,327	50,667	50,667	0	54,217	54,217	0	49,842	49,842	0
8	41,658	44,798	3,14	52,637	52,637	0	56,201	55,371	-0,83	51,664	51,664	0
9	43,73	45,436	1,706	54,485	54,124	-0,361	57,99	55,508	-2,482	53,889	52,312	-1,577
10	45,508	45,855	0,347	55,707	53,707	-2	59,174	55,346	-3,828	55,829	52,527	-3,302
11	46,599	46,599	0	56,147	52,969	-3,178	59,724	54,868	-4,856	56,955	52,447	-4,508
12	46,969	46,969	0	56,05	52,094	-3,956	59,925	54,227	-5,698	57,164	51,718	-5,446
13	46,9	46,9	0	55,827	51,46	-4,367	60,143	54,005	-6,138	56,755	50,824	-5,931
14	46,753	46,753	0	55,764	51,42	-4,344	60,561	54,138	-6,423	56,186	50,159	-6,027
15	46,755	46,755	0	55,877	51,931	-3,946	61,058	54,613	-6,445	55,747	49,937	-5,81
16	46,848	46,848	0	55,954	52,618	-3,336	61,275	55,324	-5,951	55,447	50,056	-5,391
17	46,908	46,928	0,02	55,737	53,146	-2,591	60,839	55,454	-5,385	55,04	50,379	-4,661
18	46,578	47,34	0,762	55,101	53,434	-1,667	59,642	55,531	-4,111	54,254	50,531	-3,723
19	45,793	47,453	1,66	54,151	53,455	-0,696	57,941	55,052	-2,889	53,004	50,441	-2,563
20	44,7	47,267	2,567	53,158	53,158	0	56,23	54,428	-1,802	51,507	50,01	-1,497
21	43,623	46,928	3,305	52,409	52,409	0	54,971	54,052	-0,919	50,189	49,775	-0,414
22	42,859	46,665	3,806	52,04	52,04	0	54,369	54,069	-0,3	49,447	49,447	0
23	42,497	46,558	4,061	51966	51966	0	54,289	54,21	-0,079	49,428	49,428	0
24	42,362	46,471	4,109	51,919	51,919	0	54,357	54,357	0	49,956	49,956	0

Πίνακας 7.5.1.3: Τιμές των ενθαλιπών για όλο το 24ωρο, των αντίστοιχων για κάθε ώρα ενθαλιπών στα όρια της ζώνης άνεσης και της διαφοράς τους για τους μήνες Σεπτέμβριος, Οκτώβριος, Νοέμβριος και Δεκέμβριος

ΩΡΕΣ	21 ^η ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΥ			21 ^η ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ			21 ^η ΝΟΕΜΒΡΙΟΥ			21 ^η ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΥ		
	h	h'	Δh	h	h'	Δh	h	h'	Δh	h	h'	Δh
1	45,36	47,287	1,927	38,943	42,394	3,451	25,542	34,849	9,307	22,397	34,311	11,914
2	45,064	47,123	2,059	39,173	42,663	3,49	26,374	35,473	9,099	22,312	34,286	11,974
3	44,475	46,78	2,305	39,082	42,769	3,687	27,137	35,971	8,834	22,251	34,299	12,048
4	43,707	46,399	2,692	38,576	42,657	4,081	27,571	36,358	8,787	22,137	34,385	12,248
5	43,086	46,006	2,92	37,821	42,22	4,399	27,535	36,513	8,978	21,9453	34,388	12,4427
6	43,02	45,858	2,838	37,182	41,761	4,579	27,111	36,321	9,21	21,782	34,382	12,6
7	43,787	46,02	2,233	37,038	41,344	4,306	26,581	35,982	9,401	21,782	34,382	12,6
8	45,377	46,461	1,084	37,586	41,178	3,592	26,302	35,671	9,369	22,095	34,456	12,361
9	47,449	47,449	0	38,734	41,035	2,301	26,493	35,479	8,986	22,768	34,57	11,802
10	49,436	49,436	0	40,157	40,958	0,801	27,143	35,401	8,258	23,697	34,716	11,019
11	50,825	50,825	0	41,452	41,452	0	27,998	35,361	7,363	24,661	34,879	10,218
12	51,407	50,139	-1,268	42,38	42,38	0	28,697	35,301	6,604	25,416	34,956	9,54
13	51,355	49,555	-1,8	42,912	42,912	0	28,933	35,097	6,164	25,797	34,901	9,104
14	51,034	49,25	-1,784	43,158	43,158	0	28,593	34,816	6,223	25,786	34,835	9,049
15	50,59	49,329	-1,261	43,203	43,203	0	27,787	34,454	6,667	25,491	34,768	9,277
16	50,527	49,914	-0,613	43,065	43,065	0	26,76	34,15	7,39	25,076	34,766	9,69
17	50,289	50,289	0	42,71	42,71	0	25,779	33,942	8,163	24,688	34,819	10,131
18	49,827	49,827	0	42,121	42,925	0,804	25,029	33,862	8,833	24,392	34,926	10,534
19	49,047	49,047	0	41,315	43,048	1,733	24,563	33,882	9,319	24,164	35,041	10,877
20	48,021	48,134	0,113	40,387	42,868	2,481	24,325	33,929	9,604	23,933	35,087	11,154
21	46,973	47,977	1,004	39,506	42,547	3,041	24,236	34,013	9,777	23,635	35,024	11,389
22	46,145	47,667	1,522	38,857	42,239	3,382	24,259	34,1	9,841	23,268	34,855	11,587
23	45,667	47,491	1,824	38,573	42,085	3,512	24,445	34,261	9,816	22,889	34,698	11,809
24	45,479	47,422	1,943	38,655	42,158	3,503	24,866	34,539	9,673	22,583	34,491	11,908

Υπολογίσαμε λοιπόν σε αυτό το κεφάλαιο το ποσό ενέργειας σε kJ/kg ξ.α. που χρειάζεται να δώσουμε ή να αφαιρέσουμε από τον αέρα περιβάλλοντος για κάθε ώρα της 21^{ης} ημέρας κάθε μήνα, ώστε οι θερμικές συνθήκες του αέρα να φτάσουν οριακά στη ζώνη θερμικής άνεσης που αντιστοιχεί σε αυτό το μήνα.

7.5.2 Υπολογισμός της μέσης τιμής της διαφοράς ενθαλπίας δυο συνεχόμενων ωρών

Αφού βρήκαμε τις τιμές των ενθαλπιών στα όρια της ζώνης άνεσης για κάθε ώρα και βρήκαμε τις διαφορές των τιμών αυτών με τις πραγματικές τιμές ενθαλπίας για κάθε ώρα, συνδέσαμε τις διαφορές δύο συνεχόμενων ωρών, βρίσκοντας τη μέση τιμή ανάμεσα σε 2 διαδοχικές ώρες. Για παράδειγμα για τις ώρες 1:00-2:00 βρίσκουμε τη μέση τιμή της διαφοράς ενθαλπίας του διαστήματος ως:

$$\overline{\Delta h_{1-2}} = \frac{\Delta h_1 + \Delta h_2}{2} \quad (7.5.2.1)$$

Αντίστοιχα, συμβαίνει και με τις ακόλουθες ώρες. Η τελευταία μέση τιμή θα υπολογιστεί από τον τύπο:

$$\overline{\Delta h_{24-1}} = \frac{\Delta h_{24} + \Delta h_1}{2} \quad (7.5.2.2)$$

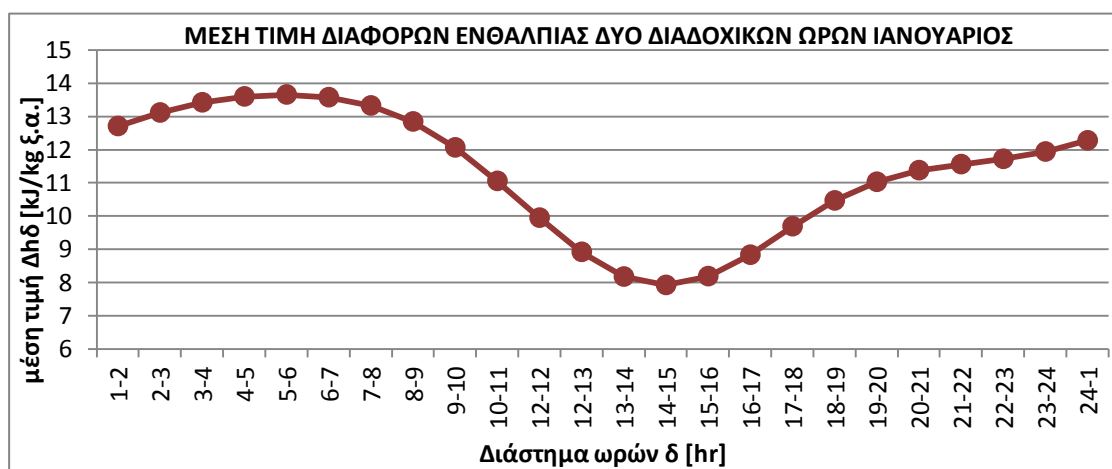
Με αυτόν τον τρόπο, λοιπόν, υπολογίσαμε τη μέση τιμή της ενέργειας που πρέπει να δώσουμε ή να αφαιρέσουμε από τον αέρα εξωτερικού περιβάλλοντος της Αθήνας, ώστε αυτός να "μπει" στη ζώνη θερμικής άνεσης, για τα διαστήματα ανάμεσα σε 2 διαδοχικές ώρες της ημέρας.

Ακολουθούν οι πίνακες και τα αντίστοιχα διαγράμματα για κάθε μήνα:

21^η Ιανουαρίου:

Πίνακας 7.5.2.1: Μέση τιμή της διαφοράς ενθαλπίας δύο διαδοχικών ωρών της ημέρας για το μήνα Ιανουάριο. Η διαφορά ενθαλπίας είναι η διαφορά της πραγματικής τιμής της ενθαλπίας της κάθε ώρας με την ενθαλπία που θα είχε η ώρα αυτή, αν οι περιβαλλοντικές συνθήκες της βρίσκονταν οριακά στη ζώνη θερμικής άνεσης.

ΧΡΟΝΙΚΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ (δ)	$\overline{\Delta h_{\delta}}$
1-2	12,7045
2-3	13,111
3-4	13,4175
4-5	13,5955
5-6	13,654
6-7	13,5715
7-8	13,323
8-9	12,8415
9-10	12,0605
10-11	11,0525
12-12	9,946
12-13	8,917
13-14	8,1725
14-15	7,921
15-16	8,1855
16-17	8,8305
17-18	9,6885
18-19	10,4645
19-20	11,0255
20-21	11,376
21-22	11,5575
22-23	11,717
23-24	11,936
24-1	12,273

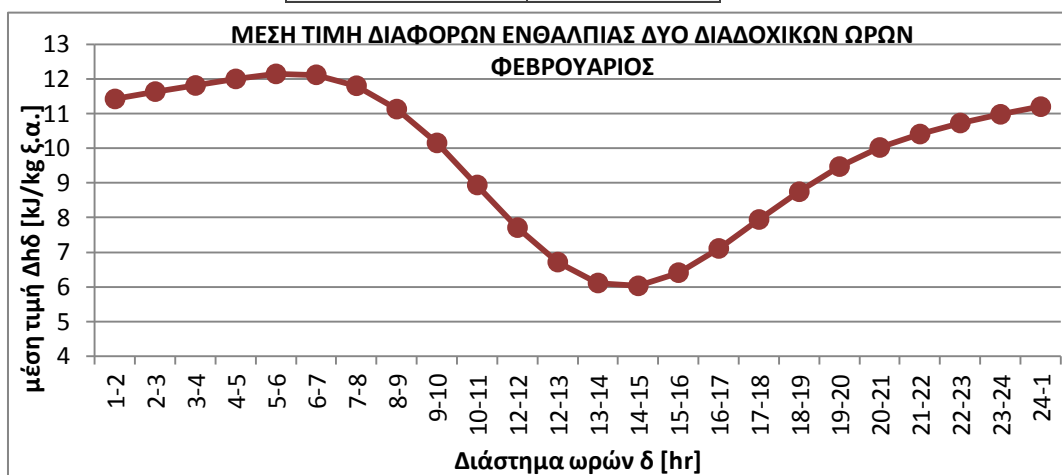


Σχήμα 7.5.2.1: Διάγραμμα του πίνακα 7.5.2.1

21^η Φεβρουαρίου:

Πίνακας 7.5.2.2: Μέση τιμή των διαφορών ενθαλπίας δύο διαδοχικών ωρών της ημέρας για το μήνα Φεβρουάριο. Η διαφορά ενθαλπίας είναι η διαφορά της πραγματικής τιμής της ενθαλπίας της κάθε ώρας με την ενθαλπία που θα είχε η ώρα αυτή, αν οι περιβαλλοντικές συνθήκες της βρίσκονταν οριακά στη ζώνη θερμικής άνεσης.

ΧΡΟΝΙΚΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ (δ)	$\overline{\Delta h_{\delta}}$
1-2	11,419
2-3	11,631
3-4	11,808
4-5	11,997
5-6	12,142
6-7	12,116
7-8	11,8
8-9	11,126
9-10	10,151
10-11	8,9375
12-12	7,707
12-13	6,7125
13-14	6,109
14-15	6,027
15-16	6,4075
16-17	7,106
17-18	7,941
18-19	8,7425
19-20	9,4685
20-21	10,0185
21-22	10,4065
22-23	10,725
23-24	10,976
24-1	11,1965

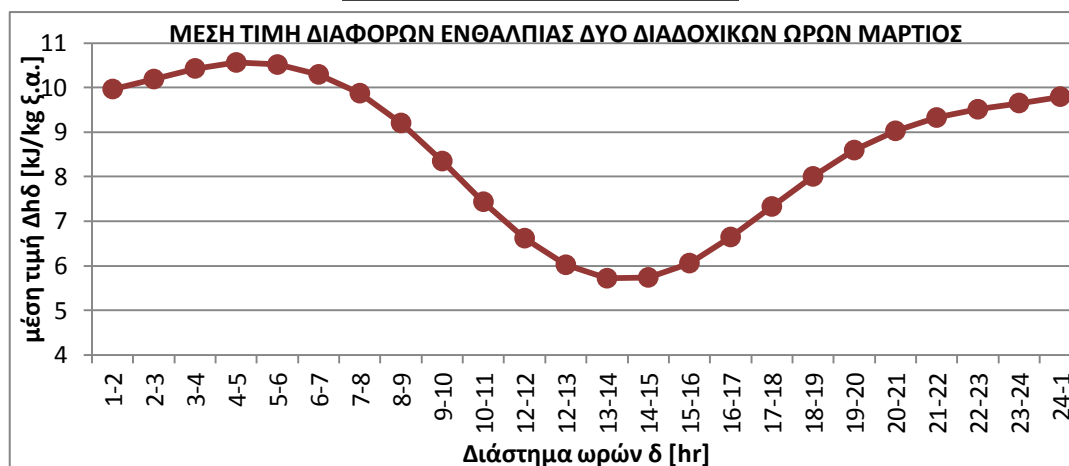


Σχήμα 7.5.2.2: Διάγραμμα του πίνακα 7.5.2.2

21^η Μαρτίου:

Πίνακας 7.5.2.3: Μέση τιμή των διαφορών ενθαλπίας δύο διαδοχικών ωρών της ημέρας για το μήνα Μάρτιο. Η διαφορά ενθαλπίας είναι η διαφορά της πραγματικής τιμής της ενθαλπίας της κάθε ώρας με την ενθαλπία που θα είχε η ώρα αυτή, αν οι περιβαλλοντικές συνθήκες της βρισκονταν οριακά στη ζώνη θερμικής άνεσης.

ΧΡΟΝΙΚΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ (δ)	$\overline{\Delta h_{\delta}}$
1-2	9,9635
2-3	10,1875
3-4	10,426
4-5	10,56
5-6	10,513
6-7	10,2925
7-8	9,871
8-9	9,2025
9-10	8,348
10-11	7,4355
12-12	6,6185
12-13	6,021
13-14	5,7195
14-15	5,738
15-16	6,0585
16-17	6,6445
17-18	7,329
18-19	8,0035
19-20	8,5935
20-21	9,026
21-22	9,3245
22-23	9,51
23-24	9,65
24-1	9,794

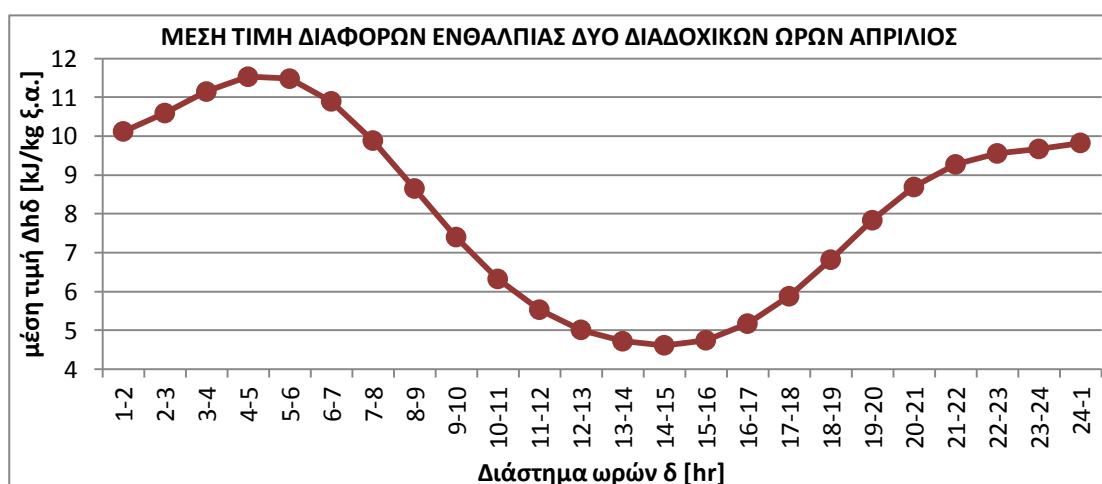


Σχήμα 7.5.2.3: Διάγραμμα του πίνακα 7.5.2.3

21^η Απριλίου:

Πίνακας 7.5.2.4: Μέση τιμή των διαφορών ενθαλπίας δύο διαδοχικών ωρών της ημέρας για το μήνα Απρίλιο. Η διαφορά ενθαλπίας είναι η διαφορά της πραγματικής τιμής της ενθαλπίας της κάθε ώρας με την ενθαλπία που θα είχε η ώρα αυτή, αν οι περιβαλλοντικές συνθήκες της βρίσκονταν οριακά στη ζώνη θερμικής άνεσης.

ΧΡΟΝΙΚΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ (δ)	$\overline{\Delta h_{\delta}}$
1-2	10,1215
2-3	10,5955
3-4	11,1485
4-5	11,5305
5-6	11,481
6-7	10,897
7-8	9,8865
8-9	8,652
9-10	7,401
10-11	6,3235
11-12	5,5315
12-13	5,0125
13-14	4,7185
14-15	4,615
15-16	4,7445
16-17	5,172
17-18	5,877
18-19	6,818
19-20	7,835
20-21	8,6905
21-22	9,273
22-23	9,556
23-24	9,671
24-1	9,8265

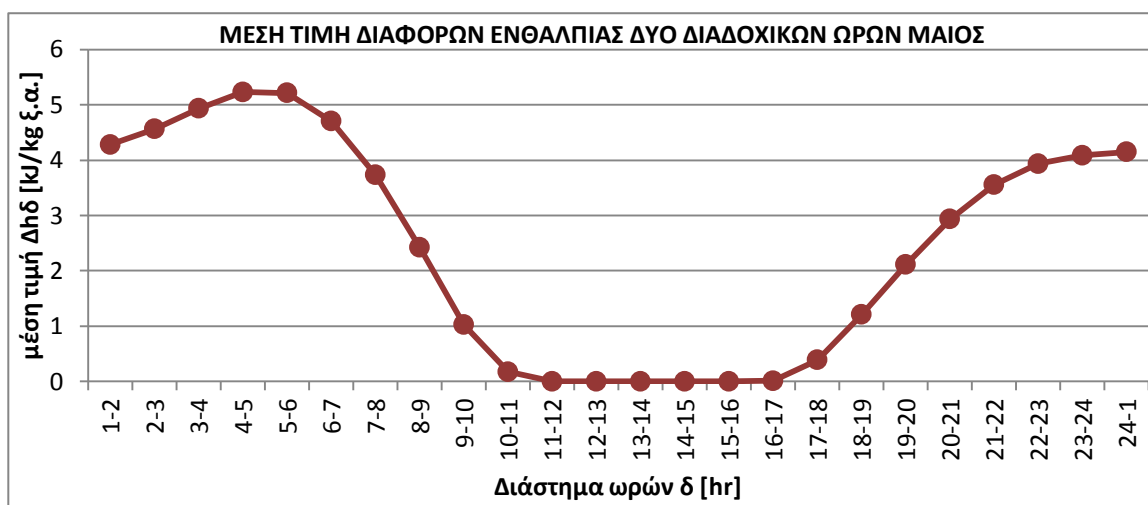


Σχήμα 7.5.2.4: Διάγραμμα του πίνακα 7.5.2.4

21^η Μαΐου:

Πίνακας 7.5.2.5: Μέση τιμή των διαφορών ενθαλπίας δύο διαδοχικών ωρών της ημέρας για το μήνα Μάιο. Η διαφορά ενθαλπίας είναι η διαφορά της πραγματικής τιμής της ενθαλπίας της κάθε ώρας με την ενθαλπία που θα είχε η ώρα αυτή, αν οι περιβαλλοντικές συνθήκες της βρίσκονταν οριακά στη ζώνη θερμικής άνεσης.

ΧΡΟΝΙΚΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ (δ)	$\overline{\Delta h_{\delta}}$
1-2	4,279
2-3	4,5645
3-4	4,9355
4-5	5,229
5-6	5,2155
6-7	4,705
7-8	3,7335
8-9	2,423
9-10	1,0265
10-11	0,1735
11-12	0
12-13	0
13-14	0
14-15	0
15-16	0
16-17	0,01
17-18	0,391
18-19	1,211
19-20	2,1135
20-21	2,936
21-22	3,5555
22-23	3,9335
23-24	4,085
24-1	4,1495

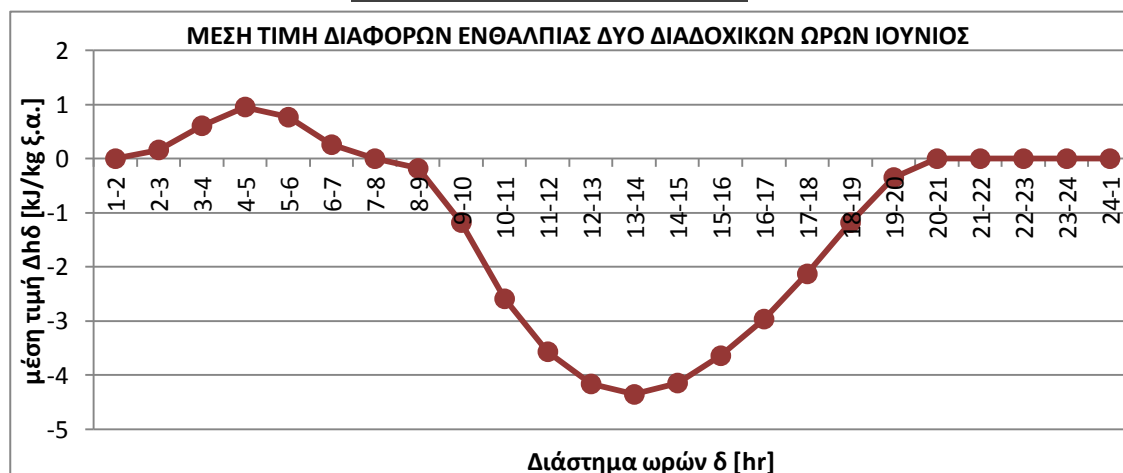


Σχήμα 7.5.2.5: Διάγραμμα του πίνακα 7.5.2.5

21^η Ιουνίου:

Πίνακας 7.5.2.6: Μέση τιμή των διαφορών ενθαλπίας δύο διαδοχικών ωρών της ημέρας για το μήνα Ιούνιο. Η διαφορά ενθαλπίας είναι η διαφορά της πραγματικής τιμής της ενθαλπίας της κάθε ώρας με την ενθαλπία που θα είχε η ώρα αυτή, αν οι περιβαλλοντικές συνθήκες της βρίσκονταν οριακά στη ζώνη θερμικής άνεσης.

ΧΡΟΝΙΚΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ (δ)	$\overline{\Delta h_{\delta}}$
1-2	0
2-3	0,1615
3-4	0,608
4-5	0,9545
5-6	0,766
6-7	0,258
7-8	0
8-9	-0,1805
9-10	-1,1805
10-11	-2,589
11-12	-3,567
12-13	-4,1615
13-14	-4,3555
14-15	-4,145
15-16	-3,641
16-17	-2,9635
17-18	-2,129
18-19	-1,1815
19-20	-0,348
20-21	0
21-22	0
22-23	0
23-24	0
24-1	0

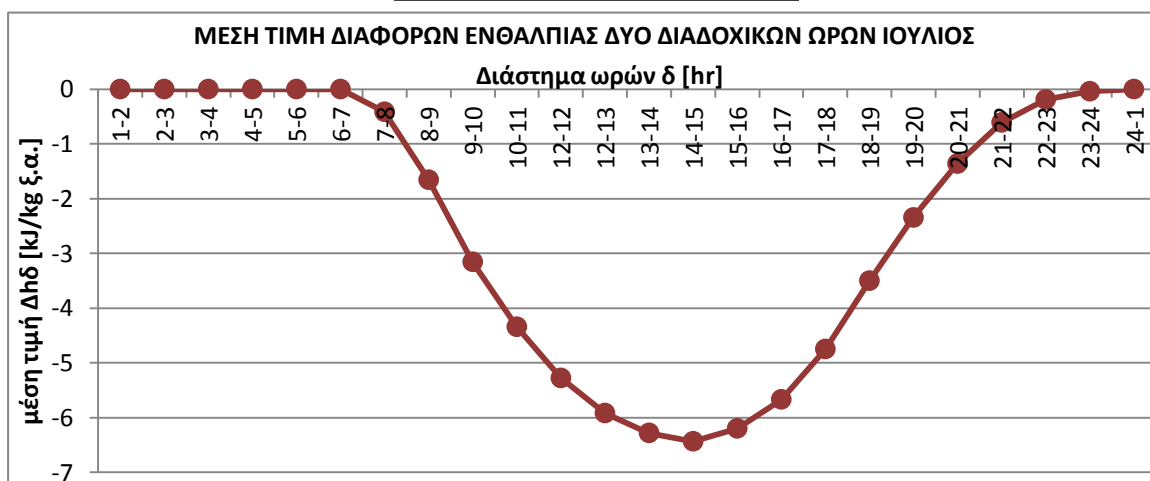


Σχήμα 7.5.2.6: Διάγραμμα του πίνακα 7.5.2.6

21^η Ιουλίου:

Πίνακας 7.5.2.7: Μέση τιμή των διαφορών ενθαλπίας δύο διαδοχικών ωρών της ημέρας για το μήνα Ιούλιο. Η διαφορά ενθαλπίας είναι η διαφορά της πραγματικής τιμής της ενθαλπίας της κάθε ώρας με την ενθαλπία που θα είχε η ώρα αυτή, αν οι περιβαλλοντικές συνθήκες της βρίσκονταν οριακά στη ζώνη θερμικής άνεσης.

ΧΡΟΝΙΚΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ (δ)	$\overline{\Delta h_{\delta}}$
1-2	0
2-3	0
3-4	0
4-5	0
5-6	0
6-7	0
7-8	-0,415
8-9	-1,656
9-10	-3,155
10-11	-4,342
12-12	-5,277
12-13	-5,918
13-14	-6,2805
14-15	-6,434
15-16	-6,198
16-17	-5,668
17-18	-4,748
18-19	-3,5
19-20	-2,3455
20-21	-1,3605
21-22	-0,6095
22-23	-0,1895
23-24	-0,0395
24-1	0

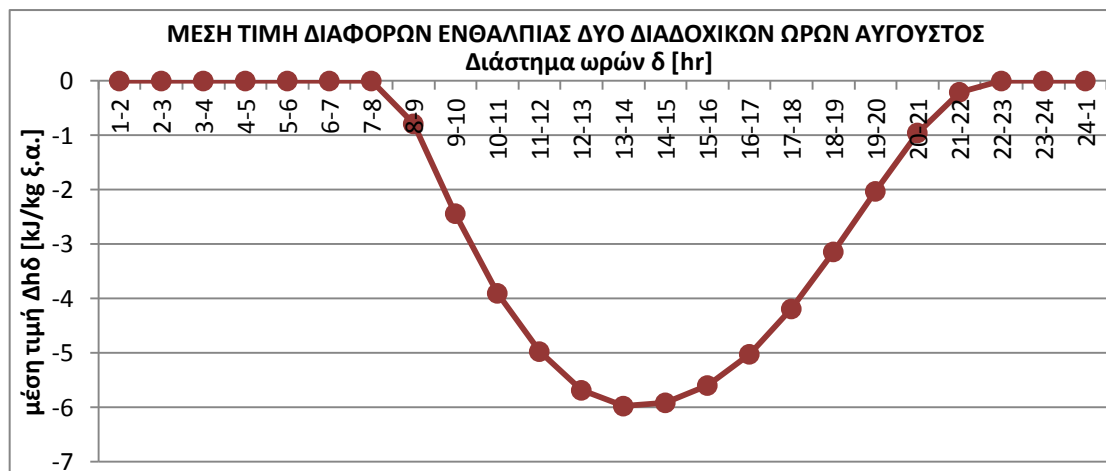


Σχήμα 7.5.2.7: Διάγραμμα του πίνακα 7.5.2.7

21^η Αυγούστου:

Πίνακας 7.5.2.8: Μέση τιμή των διαφορών ενθαλπίας δύο διαδοχικών ωρών της ημέρας για το μήνα Αύγουστο. Η διαφορά ενθαλπίας είναι η διαφορά της πραγματικής τιμής της ενθαλπίας της κάθε ώρας με την ενθαλπία που θα είχε η ώρα αυτή, αν οι περιβαλλοντικές συνθήκες της βρίσκονταν οριακά στη ζώνη θερμικής άνεσης.

ΧΡΟΝΙΚΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ (δ)	$\overline{\Delta h_{\delta}}$
1-2	0
2-3	0
3-4	0
4-5	0
5-6	0
6-7	0
7-8	0
8-9	-0,7885
9-10	-2,4395
10-11	-3,905
11-12	-4,977
12-13	-5,6885
13-14	-5,979
14-15	-5,9185
15-16	-5,6005
16-17	-5,026
17-18	-4,192
18-19	-3,143
19-20	-2,03
20-21	-0,9555
21-22	-0,207
22-23	0
23-24	0
24-1	0

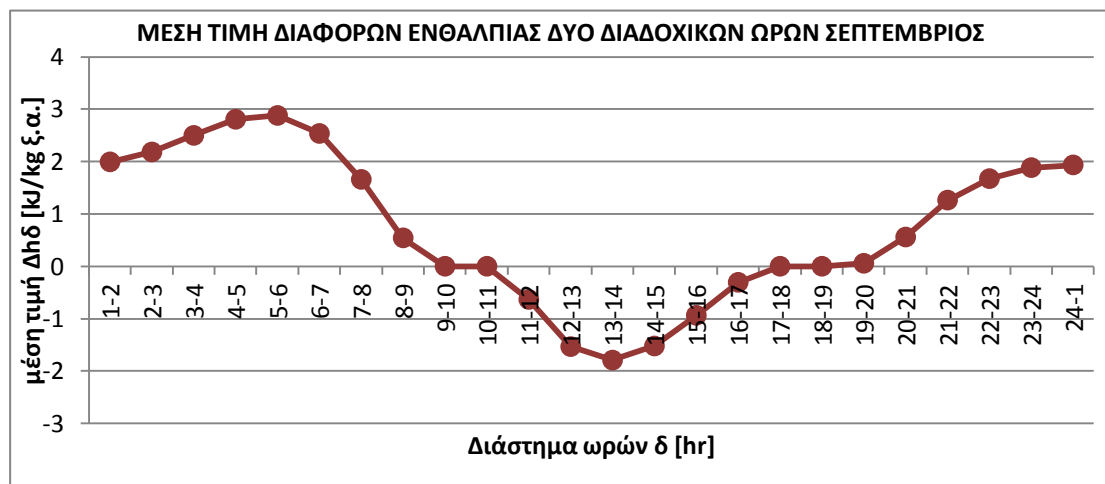


Σχήμα 7.5.2.8: Διάγραμμα του πίνακα 7.5.2.8

21^η Σεπτεμβρίου:

Πίνακας 7.5.2.9: Μέση τιμή των διαφορών ενθαλπίας δύο διαδοχικών ωρών της ημέρας για το μήνα Σεπτέμβριο. Η διαφορά ενθαλπίας είναι η διαφορά της πραγματικής τιμής της ενθαλπίας της κάθε ώρας με την ενθαλπία που θα είχε η ώρα αυτή, αν οι περιβαλλοντικές συνθήκες της βρίσκονταν οριακά στη ζώνη θερμικής άνεσης.

ΧΡΟΝΙΚΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ (δ)	$\overline{\Delta h_{\delta}}$
1-2	1,993
2-3	2,182
3-4	2,4985
4-5	2,806
5-6	2,879
6-7	2,5355
7-8	1,6585
8-9	0,542
9-10	0
10-11	0
11-12	-0,634
12-13	-1,534
13-14	-1,792
14-15	-1,5225
15-16	-0,937
16-17	-0,3065
17-18	0
18-19	0
19-20	0,0565
20-21	0,5585
21-22	1,263
22-23	1,673
23-24	1,8835
24-1	1,935



Σχήμα 7.5.2.9: Διάγραμμα του πίνακα 7.5.2.9

21^η Οκτωβρίου:

Πίνακας 7.5.2.10: Μέση τιμή των διαφορών ενθαλπίας δύο διαδοχικών ωρών της ημέρας για το μήνα Οκτώβριο. Η διαφορά ενθαλπίας είναι η διαφορά της πραγματικής τιμής της ενθαλπίας της κάθε ώρας με την ενθαλπία που θα είχε η ώρα αυτή, αν οι περιβαλλοντικές συνθήκες της βρίσκονταν οριακά στη ζώνη θερμικής άνεσης.

ΧΡΟΝΙΚΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ (δ)	$\overline{\Delta h_{\delta}}$
1-2	3,4705
2-3	3,5885
3-4	3,884
4-5	4,24
5-6	4,489
6-7	4,4425
7-8	3,949
8-9	2,9465
9-10	1,551
10-11	0,4005
11-12	0
12-13	0
13-14	0
14-15	0
15-16	0
16-17	0
17-18	0,402
18-19	1,2685
19-20	2,107
20-21	2,761
21-22	3,2115
22-23	3,447
23-24	3,5075
24-1	3,477

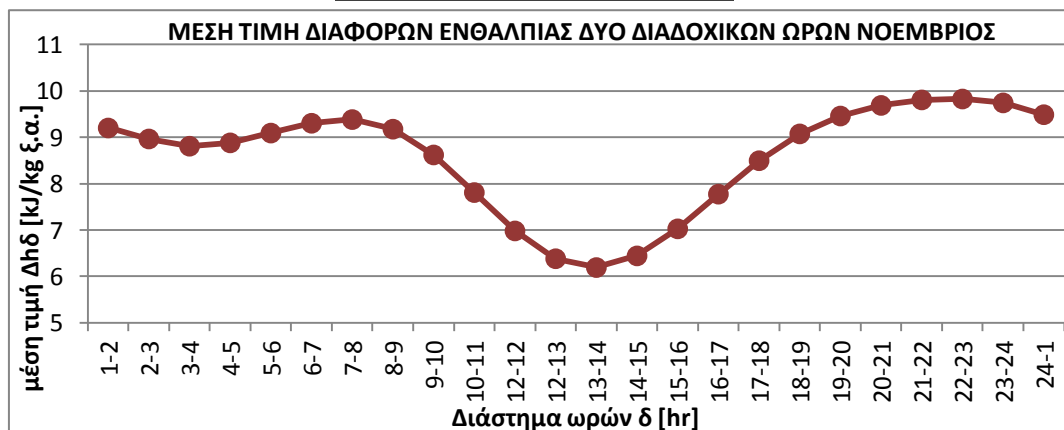


Σχήμα 7.5.2.10: Διάγραμμα του πίνακα 7.5.2.10

21^η Νοεμβρίου:

Πίνακας 7.5.2.11: Μέση τιμή των διαφορών ενθαλπίας δύο διαδοχικών ωρών της ημέρας για το μήνα Νοέμβριο. Η διαφορά ενθαλπίας είναι η διαφορά της πραγματικής τιμής της ενθαλπίας της κάθε ώρας με την ενθαλπία που θα είχε η ώρα αυτή, αν οι περιβαλλοντικές συνθήκες της βρίσκονταν οριακά στη ζώνη θερμικής άνεσης.

ΧΡΟΝΙΚΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ (δ)	$\overline{\Delta h_{\delta}}$
1-2	9,203
2-3	8,9665
3-4	8,8105
4-5	8,8825
5-6	9,094
6-7	9,3055
7-8	9,385
8-9	9,1775
9-10	8,622
10-11	7,8105
12-12	6,9835
12-13	6,384
13-14	6,1935
14-15	6,445
15-16	7,0285
16-17	7,7765
17-18	8,498
18-19	9,076
19-20	9,4615
20-21	9,6905
21-22	9,809
22-23	9,8285
23-24	9,7445
24-1	9,49

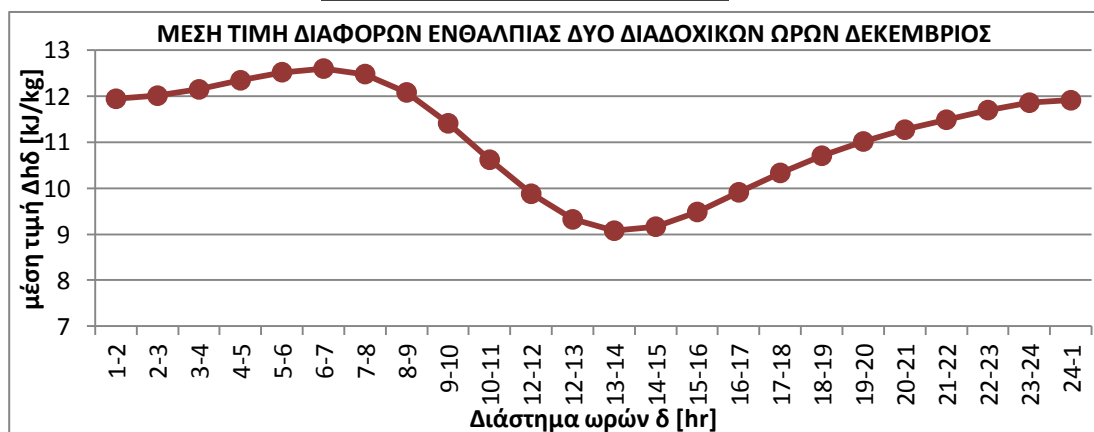


Σχήμα 7.5.2.11: Διάγραμμα του πίνακα 7.5.2.11

21^η Δεκεμβρίου:

Πίνακας 7.5.2.12: Μέση τιμή των διαφορών ενθαλπίας δύο διαδοχικών ωρών της ημέρας για το μήνα Δεκέμβριο. Η διαφορά ενθαλπίας είναι η διαφορά της πραγματικής τιμής της ενθαλπίας της κάθε ώρας με την ενθαλπία που θα είχε η ώρα αυτή, αν οι περιβαλλοντικές συνθήκες της βρίσκονταν οριακά στη ζώνη θερμικής άνεσης.

ΧΡΟΝΙΚΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ (δ)	$\overline{\Delta h_{\delta}}$
1-2	11,944
2-3	12,011
3-4	12,148
4-5	12,34535
5-6	12,52135
6-7	12,6
7-8	12,4805
8-9	12,0815
9-10	11,4105
10-11	10,6185
12-12	9,879
12-13	9,322
13-14	9,0765
14-15	9,163
15-16	9,4835
16-17	9,9105
17-18	10,3325
18-19	10,7055
19-20	11,0155
20-21	11,2715
21-22	11,488
22-23	11,698
23-24	11,8585
24-1	11,911



Σχήμα 7.5.2.12: Διάγραμμα του πίνακα 7.5.2.12

7.5.3 Υπολογισμός της μέσης τιμής διαφοράς ενθαλπίας για όλο το 24ωρο για κάθε μήνα

Αφού βρήκαμε το μέσο όρο των διαφορών της ενθαλπίας μεταξύ δύο συνεχόμενων ωρών, θα συνδέσουμε όλες αυτές τις μέσες τιμές, με σκοπό να βρούμε μια διαφορά ενθαλπίας για όλο το 24ωρο για κάθε 21^η ημέρα του μήνα. Θα βρούμε, δηλαδή, το (σταθμισμένο) μέσο όρο της ενέργειας που χρειάζεται, για όλο το 24ωρο κάθε μήνα, να αφαιρέσουμε ή να προσθέσουμε, ώστε να 'μπει' ο αέρας περιβάλλοντος της περιοχής Αθηνών μέσα στην αντίστοιχη, για χειμώνα ή καλοκαίρι, ζώνη θερμικής άνεσης. Ο τύπος που θα μας βοηθήσει είναι ο εξής και δικαιολογεί τον όρο σταθμισμένος μέσος όρος:

$$\Delta h_{\mu\tau} = \frac{(\overline{1-2}) \overline{\Delta h_{1-2}} + (\overline{2-3}) \overline{\Delta h_{2-3}} + \dots + (\overline{23-24}) \overline{\Delta h_{23-24}} + (\overline{24-1}) \overline{\Delta h_{24-1}}}{\text{όλο το μήκος}} \quad (7.5.3.1)$$

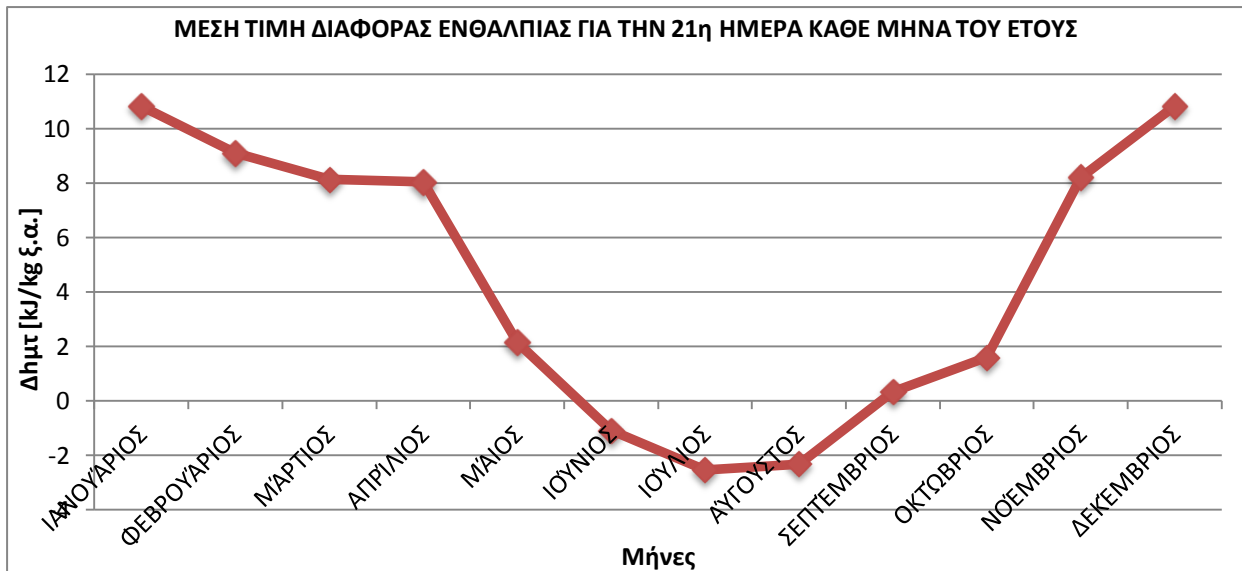
όπου $(\overline{1-2})$ είναι το μήκος πάνω στο χάρτη ανάμεσα στο σημείο 1 και 2, για κάθε 21^η ημέρα του μήνα. Αντίστοιχα, ισχύουν τα μήκη για όλες τις επόμενες ώρες. Προσθέτοντας τα 24 αυτά μήκη, βρίσκουμε τον παρονομαστή της παραπάνω εξίσωσης.

Έπειτα, για να γίνουν πιο κατανοητά τα αποτελέσματα που βρήκαμε, για κάθε μήνα θα βρούμε το πηλίκο της μέσης τιμής της διαφοράς ενθαλπίας του 24ώρου [kJ/kg ξ.α.] με τη μέση τιμή του όγκου υγρού αέρα [m³/kg ξ.α.] κάθε μήνα. Με αυτό τον τρόπο θα βρούμε τα ποσά ενέργειας ανά κυβικό μέτρο σε kJ/m³ που χρειάζεται να προσθέσουμε ή να αφαιρέσουμε κατά τη διάρκεια όλου του 24ώρου στον αέρα εξωτερικού περιβάλλοντος κάθε μήνα του έτους (υπολογισμένα πάντα την 21^η ημέρα του μήνα), ώστε αυτός να εισέλθει στην περιοχή της θερμικής άνεσης.

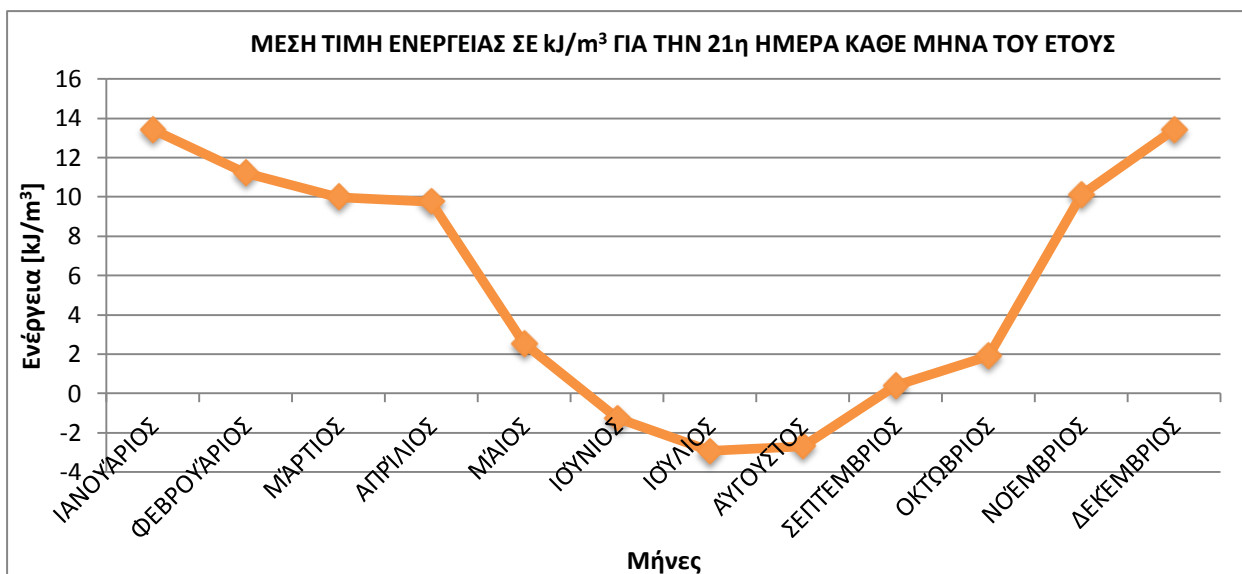
Ακολουθεί ο πίνακας με τα μεγέθη αυτά και στη συνέχεια τα αντίστοιχα διαγράμματα

Πίνακας 7.5.3.1: Μέση τιμή της διαφοράς ενθαλπίας για όλο το 24ωρο για την 21^η ημέρα κάθε μήνα, του μέσου όρου του ειδικού όγκου κάθε μήνα και του πηλίκου των δύο αυτών ποσοτήτων.

ΜΗΝΕΣ	$\Delta h_{\mu\tau}$ [kJ/kg ξ.α.]	v [m ³ /kg ξ.α.]	Ενέργεια [kJ/m ³]
21 ^η ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ	10,82925	0,806166667	13,43302
21 ^η ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΥ	9,096621	0,810666667	11,22116
21 ^η ΜΑΡΤΙΟΥ	8,135238	0,814041667	9,993638
21 ^η ΑΠΡΙΛΙΟΥ	8,041413	0,824083333	9,758009
21 ^η ΜΑΙΟΥ	2,147748	0,843583333	2,545982
21 ^η ΙΟΥΝΙΟΥ	-1,08964	0,86125	-1,26518
21 ^η ΙΟΥΛΙΟΥ	-2,53688	0,86775	-2,92352
21 ^η ΑΥΓΟΥΣΤΟΥ	-2,32418	0,865041667	-2,68679
21 ^η ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΥ	0,33556	0,851458333	0,3941
21 ^η ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ	1,592502	0,835833333	1,905287
21 ^η ΝΟΕΜΒΡΙΟΥ	8,22136	0,814333333	10,09582
21 ^η ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΥ	10,82447	0,806458333	13,42223



Σχήμα 7.5.3.1: Μέση τιμή ενέργειας όλου του 24ώρου που πρέπει να αφαιρεθεί ή να προστεθεί στον αέρα για κάθε 21^η ημέρα όλων των μηνών του έτους, ώστε οι συνθήκες εξωτερικού περιβάλλοντος να "εισέλθουν" στη ζώνη θερμικής άνεσης



Σχήμα 7.5.3.2: Μέση τιμή ενέργειας (σε kJ/m³) όλου του 24ώρου που πρέπει να αφαιρεθεί ή να προστεθεί στον αέρα για κάθε 21^η ημέρα όλων των μηνών του έτους, ώστε οι συνθήκες εξωτερικού περιβάλλοντος να "εισέλθουν" στη ζώνη θερμικής άνεσης

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Τα παραπάνω μεγέθη υπολογίστηκαν για τις συνθήκες του περιβάλλοντος της Αθήνας. Η μελέτη της θερμικής άνεσης, όμως, κυρίως γίνεται στο σχεδιασμό των σπιτιών. Εμείς, λοιπόν είναι σα να "κλείσαμε" αέρα περιβάλλοντος μέσα σε έναν δωμάτιο με αδιαβατικά τοιχώματα και χωρίς θερμοχωρητικότητα και να υπολογίσαμε το ποσό ενέργειας που χρειάζεται να του δώσουμε ή να του αφαιρέσουμε, ώστε τα θερμικά του χαρακτηριστικά να είναι θερμικά άνετα για τους ανθρώπους.

Το τελευταίο ποσό ενέργειας ανά μονάδα όγκου, είναι πολύ χρήσιμο, καθώς βάζοντας αέρα σε ένα χώρο με συγκεκριμένες διαστάσεις (όγκο), μπορούμε να βρούμε το ολικό ποσό ενέργειας που χρειάζεται να δώσουμε ή να αφαιρέσουμε από τον αέρα που βρίσκεται μέσα στο χώρο αυτό σε kJ, κάνοντας έναν πολλαπλασιασμό.

Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Καθώς οι συνθήκες κάτω από τις οποίες πραγματοποιήθηκαν οι παραπάνω υπολογισμοί είναι "ιδανικές", δηλαδή δε ελήφθησαν υπόψη οι θερμοχωρητικότητες των αντικειμένων σε ένα σπίτι και θεωρήθηκαν αδιαβατικά τοιχώματα, μια καλή ιδέα θα ήταν να συνεχιστούν οι υπολογισμοί, σε πραγματικές συνθήκες κτιρίων, λαμβάνοντας υπόψη τις θερμοχωρητικότητες και τα ποσά της ανταλλαγής θερμότητας μέσω των τοίχων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ΕΘΝΙΚΗ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ; Available from: http://www.hnms.gr/hnms/greek/meteorology/full_story.html?dr_url=%2Fhnms%2Fdocrep%2Fdocs%2Fmisc%2FClimatOfGreece .
2. Γιαλαμάς Ι. [Available from: <http://www.meteoclub.gr/images/stories/weerman/klimatiki-katataksi-elladas.pdf> .
3. Π.Θ.ΝΑΣΤΟΣ ΚΑΙ Α.ΜΑΤΖΑΡΑΚΗΣ. ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ, ΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣΤΗΝ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥΠΟΛΗ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ. 9ο COMECAP 2008; Thessaloniki, Greece2008.
4. Κ.ΕΝ.Α.Κ. - ΟΙ 4 ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ - ΠΙΝΑΚΑΣ ΚΑΙ ΣΧΗΜΑ [Internet]. Available from: <https://rizosdimitris.blogspot.gr/2012/01/4.html> .
5. [Available from: <http://greekvoyager.com/el/gnorizontas-tin-ellada/ellada-klima/themokrasia-ygrasia-iliofaneia/>.
6. Μούρσιας Χ. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΨΥΞΗΣ ΜΕ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ. Καβάλα: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΑΝ. ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΑΚΗΣ; 2014.
7. Olesen BW. Thermal comfort1982.
8. [Available from: <http://medical-dictionary.thefreedictionary.com/core+temperature>.
9. [Available from: <https://blogs.commonsworld.org/georgetown.edu/gufoodstudies/2015/12/10/how-do-we-gain-weight-03-hypothalamic-obesity/>.
10. [Available from: <http://www.newtonsapple.org.uk/mammals-endothems-and-warm-blood/>.
11. Andris Auliciems; S V Szokolay. Thermal comfort. University of Queensland: Brisbane, Qld. ; 1997.
12. Τζιβανίδης Χ. Σημειώσεις του μαθήματος "Θερμική Συμπεριφορά Κτηρίων". ΕΜΠ, τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών2005.
13. "Adaptation and thermal environment.". Available from: https://www.researchgate.net/figure/268983232_fig1_Fig-22-The-human-heat-budget-Havenith-2001.
14. Thermal comfort [Internet]. Available from: https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_comfort.
15. AMERICAN SOCIETY OF HEATING RAA-CE. ASHRAE STANDARD 55P Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy ;Atlanta2003.
16. Health and Safety Executive. Thermal Comfort [Available from: <http://www.hse.gov.uk/temperature/thermal/index.htm> .
17. Health and Safety Executive. The six basic factors [Available from: <http://www.hse.gov.uk/temperature/thermal/factors.htm> .
18. A holistic approach to thermal comfort [Available from: <http://www.pae-engineers.com/> .
19. AMERICAN SOCIETY OF HEATING RAA-CE. ANSI/ASHRAE Standard 55-2010 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta2013.
20. Neville Stanton AH, Karel Brookhuis, Eduardo Salas, Hal Hendrick. Handbook of Human Factors and Ergonomics Methods: CRC PRESS; 2005.
21. AMERICAN SOCIETY OF HEATING RAA-CE. Proposed Addendum d to Standard 55-2004, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta2008.
22. Höpfe P. Comfort Requirements in Indoor Climate1988.
23. Παπαδόπουλος ΑΜ. Θερμική Άνεση στα Κτίρια. Νέα Πρότυπα και Βελτίωση Θερμικής Άνεσης στα Κτίρια. Ιωάννινα: ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ-ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ; 2006 15 Μαΐου
24. Thermal Comfort (Relative Humidity (RH) and Air Temperature) [Available from: https://www7.nau.edu/itep/main/eeop/docs/airqlty/AkIAQ_ThermalComfort.pdf.
25. Designing Buildings Wiki. Mean radiant temperature. Available from: https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Mean_radiant_temperature.
26. Thermal comfort [Internet]. Available from: https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_comfort.
27. McIntyre D. A guide to thermal comfort. 1973:66-72.
28. Dry-bulb temperature. Designing Buildings Wiki [Internet]. Available from: https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Dry-bulb_temperature.

29. Wet-bulb temperature. Designing Buildings Wiki [Internet]. Available from: https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Wet-bulb_temperature.
30. GoLearnGeography. RELATIVE HUMIDITY [Available from: <https://golearngeo.wordpress.com/2010/10/13/relative-humidity/>].
31. Globe temperature. Designing Buildings Wiki [Internet]. Available from: https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Globe_temperature.
32. Αίσθηση της θερμοκρασίας [Internet]. Available from: https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%AF%CF%83%CE%B8%CE%B7%CF%83%CE%B7_%CF%84%CE%B7%CF%82_%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%BA%CF%81%CE%B1%CF%83%CE%AF%CE%B1%CF%82.
33. [Available from: <http://www.meteo.gr/help.asp>].
34. Heat index [Internet]. Available from: https://en.wikipedia.org/wiki/Heat_index.
35. ΕΘΝΙΚΟ ΑΣΤΕΡΟΣΚΟΠΕΙΟ ΑΘΗΝΩΝ. Available from: http://www.meteo.gr/meteoplus/pdf/deiktis_thermotitas.pdf.
36. ΕΘΝΙΚΟ ΑΣΤΕΡΟΣΚΟΠΕΙΟ ΑΘΗΝΩΝ. Available from: http://www.meteo.gr/meteoplus/pdf/deiktis_psuxrotitas.pdf.
37. Heat index [Internet]. Available from: <https://el.wikipedia.org/wiki/Humidex>.
38. Humidex Rating and Work. Available from: http://www.ccohs.ca/oshanswers/phys_agents/humidex.html.
39. PMV and PPD indices Standard ISO 7730 [Internet]. INNOVA Available from: file:///C:/Users/User/AppData/Local/Temp/PMV_and_PPD_indices.pdf.
40. Höpfe P. The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. 1999:71-5.
41. Andreas Matzarakis and Bas Amelung. Physiological Equivalent Temperature as Indicator for Impacts of Climate Change on Thermal Comfort of Humans. Available from: file:///C:/Users/User/AppData/Local/Temp/Physiological_Equivalent_Temperature_as_Indicator_.pdf.
42. Π. Θ. ΝΑΣΤΟΣ ΚΑΙ Α. ΜΑΤΖΑΡΑΚΗΣ. ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ, ΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣΤΗΝ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥΠΟΛΗ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ. 9ο COMECAP 2008; Thessaloniki, Greece2008.
43. Stefano Schiavon, Tyler Hoyt, Alberto Piccioli. Center for the Built Environment, University of California, Wurster Hall, Berkeley.
44. ASHRAE 55 [Internet]. WIKIPEDIA The Free Encyclopedia. Available from: https://en.wikipedia.org/wiki/ASHRAE_55.
45. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Available from: <http://shop.iccsafe.org/media/wysiwyg/material/8950P219-sample.pdf>.
46. Determining Thermal Comfort Using a Humidity and Temperature Sensor. Available from: <https://www.azosensors.com/article.aspx?ArticleID=487>
47. K. Parsons. "Overview of design regulations for thermal comfort thermal comfort –reviews and highlights reviews and highlights of latest thermal comfort standards," <http://www.cibse.org/getmedia/63b6b775-2291-4b59-bbd6-15f93ac456a0/Overview-of-design-regulations-Ken-Parsons.pdf.aspx>.
48. F. N. a. M. Wilson, *An overview of the European Standard EN 15251* London Metropolitan University, UK
49. "Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics ", CEN/TC 156, pr EN 15251
50. ΚΙΜΩΝ Α. ΑΝΤΩΝΟΠΟΥΛΟΣ. ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο2011.
51. Δημήτρης Αλ. Κατσαπρακάκης. Θέρμανση-Ψύξη-Κλιματισμός II Ψυχομετρία. Εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας Τ.Ε.Ι. Κρήτης.
52. Psychrometric Calculations [Available from: <http://www.sugartech.co.za/psychro/index.php>].