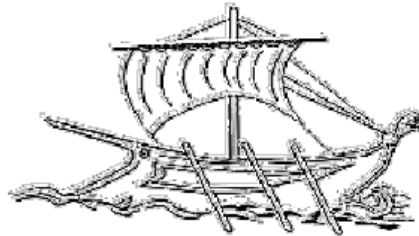


**Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ**

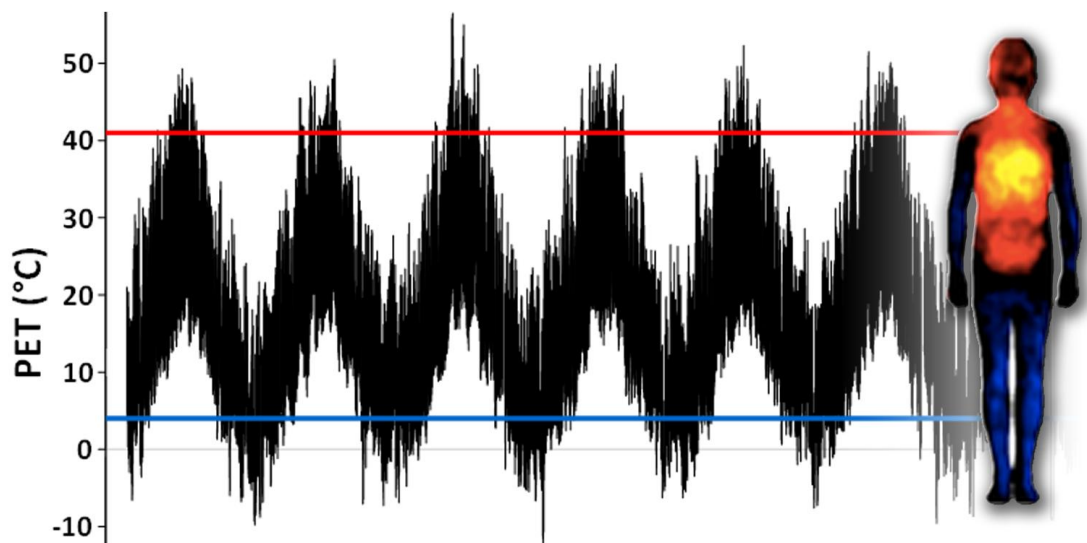
**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**



## **ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Υπολογισμός ωριαίων τιμών του βιοκλιματικού δείκτη PET για την ευρύτερη περιοχή των Αθηνών με τη χρήση του μοντέλου RayMan**



**ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ:** Λέκκας Δημήτριος  
Ηλιοπούλου Ασημίνα

**ΑΜ:** 33276  
**ΑΜ:** 32258

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:** Δρ. Μουστρής Π. Κωνσταντίνος

**ΑΙΓΑΛΕΩ**

**ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2014**

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι βιοκλιματικές συνθήκες και ειδικά αυτές που σχετίζονται με τη θερμική άνεση του ανθρώπου είναι πλέον μια καίρια συνιστώσα της ποιότητας ζωής, γιατί επιδρούν άμεσα στην υγεία, στην οικονομία και στη ευημερία των πολιτών. Αυτές διαμορφώνονται από πολλούς παράγοντες, μετεωρολογικούς και περιβαλλοντικούς.

Σε αυτή την πτυχιακή άσκηση γίνεται στατιστική επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων του δικτύου METEONET. Τα δεδομένα αυτά αφορούν ωριαίες τιμές θερμοκρασίας αέρα, υγρασίας, ταχύτητας ανέμου, ηλιακής ακτινοβολίας και ηλιοφάνειας για δέκα διαφορετικές περιοχές της Αθήνας τη χρονική περίοδο 2005-2011.

Σκοπός αυτής της πτυχιακής άσκησης είναι ο υπολογισμός των ωριαίων τιμών του βιοκλιματικού δείκτη PET (Physiological Equivalent Temperature) με την εφαρμογή του μοντέλου RayMan. Για το σκοπό αυτό, θα χρησιμοποιηθούν ωριαίες τιμές των απαραίτητων μετεωρολογικών παραμέτρων που έχουν καταγραφεί από το δίκτυο αυτόματων μετεωρολογικών σταθμών του ΕΜΠ (Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου).

**Λέξεις Κλειδιά :** Θερμική αίσθηση, Θερμική επιβάρυνση, Βιοκλιματικές συνθήκες, Δείκτης PET, Μοντέλο RayMan.

## ABSTRACT

This work deals with human thermal comfort and human thermal stress. The major aim of this work is the investigation and quantification of thermal comfort conditions as they configured in open spaces under different meteorological conditions.

In this dissertation meteorological data from the METEONET network are statistically analyzed. The variables that we will analyze are values of air temperature, humidity, wind speed, solar radiation for ten different areas of Athens the period 2005-2011. These data are recorded every 1 hour from 10 automated meteorological station of the NTUA.

The purpose of this dissertation is the calculation of hourly values of bioclimatic index PET (Physiological Equivalent Temperature) with the application of the model RayMan. For this purpose, we used hourly values of the necessary meteorological parameters recorded by the network of automatic weather stations NTUA (National Technical University of Athens).

**Keywords:** Thermal sensation, thermal strains, Bioclimatic conditions, index PET, Model RayMan

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

|  |           |
|--|-----------|
| <b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b>  | <b>2</b>  |
| <b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</b>   | <b>3</b>  |
| <b>ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ</b>   | <b>5</b>  |
| <b>ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ</b>  | <b>6</b>  |
| <b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>  | <b>11</b> |
| <b>1. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ</b>  | <b>12</b> |
| <b>1.1. Βιοκλιματολογία και Θερμική Αίσθηση</b>                    | <b>12</b> |
| 1.1.1. Η Βιοκλιματολογία και η αναγκαιότητα της στη σύγχρονη εποχή | 12        |
| 1.1.2. Αστικό κλίμα  | 15        |
| 1.1.3. Θερμική άνεση   | 19        |
| 1.1.4. Βασικοί παράμετροι που επηρεάζουν την θερμική άνεση         | 21        |
| 1.1.5. Θερμοκρασία αέρα  | 21        |
| 1.1.6. Θερμοκρασία ακτινοβολίας                                    | 23        |
| 1.1.7. Υγρασία αέρα  | 24        |
| 1.1.8. Ταχύτητα ανέμου   | 26        |
| 1.1.9. Ενδυμασία του ανθρώπου                                      | 26        |
| 1.1.10. Μεταβολική δραστηριότητα                                   | 28        |
| <b>1.2. Βιοκλιματικοί Δείκτες</b>                                  | <b>28</b> |
| 1.2.1. Ορισμός Βιοκλιματικών Δεικτών                               | 28        |
| 1.2.2. Είδη Βιοκλιματικών Δεικτών                                  | 29        |
| <b>1.3. Εφαρμογή του μοντέλου-λογισμικού RayMan</b>                | <b>32</b> |
| <b>2. ΔΙΚΤΥΟ ΜΕΤΕΟΝΕΤ</b>  | <b>36</b> |
| <b>2.1. Περιγραφή Του Δικτύου</b>                                  | <b>36</b> |
| <b>2.2. Περιγραφή Οργάνων των Σταθμών</b>                          | <b>38</b> |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.2.1. Βροχόπτωση  | 38        |
| 2.2.2. Θερμοκρασία - Σχετική υγρασία                               | 40        |
| 2.2.3. Ηλιακή - Καθαρή ακτινοβολία                                 | 40        |
| 2.2.4. Διάρκεια Ηλιοφάνειας  | 42        |
| 2.2.5. Ταχύτητα Ανέμου   | 42        |
| <b>3. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ</b>                        | <b>44</b> |
| 3.1. Αρχική Επεξεργασία Δεδομένων                                  | 44        |
| 3.2. Απεικόνιση Του Δείκτη PET Και Παραγωγή Διαγραμμάτων           | 46        |
| <b>4. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ</b>  | <b>48</b> |
| 4.1. Άγιος Κοσμάς  | 48        |
| 4.2. Άνω Λιόσια  | 49        |
| 4.3. Γαλάτσι   | 51        |
| 4.4. Ηλιούπολη   | 52        |
| 4.5. Μάνδρα  | 53        |
| 4.6. Μενίδι  | 55        |
| 4.7. Πεντέλη   | 56        |
| 4.8. Πικέρμι   | 58        |
| 4.9. Ψυττάλεια   | 59        |
| 4.10. Ζωγράφου   | 61        |
| 4.11. Πίνακας Ελαχίστων και Μεγίστων Απολύτων Τιμών του Δείκτη PET | 62        |
| <b>5. ΣΧΟΛΙΑ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b>                                    | <b>63</b> |
| <b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>  | <b>66</b> |

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

| <b>Πίνακας</b> | <b>Περιγραφή</b>   | <b>Σελίδα</b> |
|----------------|--|---------------|
| <b>1</b>       | Τιμές θερμικής αντίστασης για συγκεκριμένη ενδυμασία (Fanger, 1972)  | <b>23</b>     |
| <b>2</b>       | Ρυθμός μεταβολισμού για τυπικές δραστηριότητες (ASHRAE 55, 1992)   | <b>24</b>     |
| <b>3</b>       | Ταξινόμηση των τιμών του δείκτη PMV σύμφωνα με την επταβάθμια κλίμακα της ASHRAE (Fanger, 1972)  | <b>26</b>     |
| <b>4</b>       | Ταξινόμηση της θερμικής επιβάρυνσης του ανθρώπινου οργανισμού αναλογεί στις διάφορες τιμές του PMV(Fanger, 1972)   | <b>26</b>     |
| <b>5</b>       | Ταξινόμηση των τιμών του δείκτη PET για διαφορετικές θερμικές αντιλήψεις και επίπεδα θερμικού στρες, με δεδομένο ότι ο μεταβολισμός είναι 80 W και αντίσταση ντυσίματος 0.9 clo (Matzarakis and Mayer, 1996) | <b>27</b>     |
| <b>6</b>       | Συσχέτιση τιμών SET*, θερμικής αίσθησης και φυσιολογικής κατάστασης ατόμων χωρίς δραστηριότητα (ASHRAE 55, 1981)   | <b>28</b>     |
| <b>7</b>       | Πληροφοριακό υλικό σταθμών παρακολούθησης ΕΜΠ  | <b>33</b>     |
| <b>8</b>       | Απόλυτες μέγιστες και ελάχιστες τιμές του δείκτη PET (περίοδος 2005-2011)  | <b>58</b>     |

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

| Σχήμα | Περιγραφή  | Σελίδα |
|-------|--|--------|
| 1     | Θερμική Νησίδα   | 15     |
| 2     | Διαχωρισμός της ατμόσφαιρας στο στρώμα αστικού θόλου (UCL) και στο αστικό οριακό στρώμα (UBL), (αναπροσαρμογή από Oke, 1982)   | 16     |
| 3     | Τα ψηλά κτήρια το καλοκαίρι, προκαλούν διαδοχικές ανακλάσεις, συνεπώς θάμβωση, και μεγαλύτερη απορρόφηση της ακτινοβολίας από γειτονικά κτήρια.  | 17     |
| 4     | Τα ψηλά κτήρια το καλοκαίρι παγιδεύουν, εξαιτίας διαδοχικών ανακλάσεων, τις νυχτερινές θερμικές εκπομπές των υλικών μέσα στον αστικό χώρο, αντί να τις αφήνουν να διαφύγουν στην ατμόσφαιρα  | 18     |
| 5     | Μεταφορά θερμότητας από κτήρια στην ατμόσφαιρα, κατά τη διάρκεια των απογευματινών ωρών σε αστικό περιβάλλον. Μεγαλύτερα ποσά θερμότητας στα ψηλά κτήρια (αριστερά), συγκριτικά με τα χαμηλότερα κτήρια (δεξιά)                                | 18     |
| 6     | Κατάσταση θερμικής ισορροπίας (Α. Παπαδόπουλος, 2006)  | 19     |
| 7     | Τρόποι ανταλλαγής ενέργειας στο σύστημα 'άνθρωπος – περιβάλλον'  | 20     |
| 8     | Σχηματική απεικόνιση της περιοχής θερμικής άνεσης σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία, την υγρασία, τον άνεμο, την ηλιοφάνεια και τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας (V. & A. Olgyay, 1963)   | 21     |
| 9     | Οι βασικοί παράμετροι που επηρεάζουν τη θερμική αίσθηση (διαθέσιμο στην ιστοσελίδα <a href="http://www.opsi.gov.uk/">http://www.opsi.gov.uk/</a> )   | 22     |
| 10    | Μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα $t_a$ και της μέσης θερμοκρασίας του δέρματος $t_{sk}$ (συνθήκες: ένδυση = 1 clo, καθιστική εργασία, μεταβολικός ρυθμός = 60, $T_{mrt} = 20\text{ C}$ , RH = 50%, ταχύτητα ανέμου = 0,05 m/s) (Hoppe, 1988) | 23     |
| 11    | Το μέγεθος της επιφάνειας ενός ατόμου στην οποία επιδρά η άμεση ηλιακή ακτινοβολία σαν συνάρτηση του ύψους του ήλιου και του αζιμούθιου (Parsons, 1993).   | 24     |

| <b>Σχήμα</b> | <b>Περιγραφή</b>  | <b>Σελίδα</b> |
|--------------|---|---------------|
| 12           | Διάγραμμα συσχέτισης θερμικής άνεσης θερμοκρασίας και υγρασίας (Α. Παπαδόπουλος, 2006).   | 25            |
| 13           | Τιμές θερμικής αντίστασης για τυπικές ενδυμασίες (Fanger, 1972)   | 27            |
| 14           | Απεικόνιση χαρακτηριστικών σημείων κλειστού τεχνητού αίθριου με την ανάλυση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών. Ο κίτρινος κύκλος (α) και το κίτρινο παραλληλόγραμμο (β) αντιπροσωπεύουν δένδρο και κτήριο αντίστοιχα που τα γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά εμφανίζονται στο κάτω μέρος της εικόνας. | 33            |
| 15           | Οι επιλογές των μετεωρολογικών και χρονικών δεδομένων που εισάγονται στο πρόγραμμα RayMan   | 34            |
| 16           | Το λογισμικό παράθυρο RayMan για τις συμπληρωματικές ρυθμίσεις  | 34            |
| 17           | Χάρτης της ευρύτερης περιοχής Αθηνών με τις θέσεις των σταθμών παρακολούθησης.  | 36            |
| 18           | Γενική διάταξη των αισθητηρίων  | 38            |
| 19           | Βροχόμετρο ARG-100 (Cambell Scientific)   | 39            |
| 20           | Βροχόμετρο 52202 (Young Company)  | 39            |
| 21           | Αισθητήρας θερμοκρασίας 41003 (Young Company)   | 40            |
| 22           | Πυρανόμετρο SP-LITE (Kipp and Zonen)  | 41            |

| <b>Σχήμα</b> | <b>Περιγραφή</b>   | <b>Σελίδα</b> |
|--------------|--|---------------|
| 23           | Net radiometer NR-LITE (Kipp and Zonen)  | 41            |
| 24           | Αισθητήρας ηλιοφάνειας CSD-1 (Kipp and Zonen)  | 42            |
| 25           | Ανεμοδείκτης W200P (Vector Instruments)  | 43            |
| 26           | Ανεμόμετρο A100R (Vector Instruments)  | 43            |
| 27           | Ενδεικτικό δείγμα από τις συγκεντρωμένες και ταξινομημένες πλέον τιμές του σταθμού “Άγιος Κοσμάς”  | 44            |
| 28           | Θέση σταθμού στην υπό παρακολούθηση περιοχή (εγκαταστάσεις WSSCA)  | 46            |
| 29           | Αριστερά, το διάγραμμα της διαχρονικής εξέλιξης του δείκτη PET και δεξιά τα ποσοστά εμφάνισης κλάσεων του δείκτη PET. Δεδομένα περιόδου 2005-2001 από το σταθμό ‘Μενίδι’ | 46            |
| 30           | Διάγραμμα διαχρονικής εξέλιξης του δείκτη PET με μαρκαρισμένα παραδείγματα απωλειών δεδομένων και επεξηγήσεις  | 47            |
| 31           | Διακύμανση του δείκτη PET για τη χρονική περίοδο 2005-2011 (Άγιος Κοσμάς)  | 48            |
| 32           | Κατανομή ωριαίων τιμών (Άγιος Κοσμάς)  | 48            |
| 33           | Διακύμανση του δείκτη PET για τη χρονική περίοδο 2005-2011 (Άνω Λιόσια)  | 49            |



| <b>Σχήμα</b> | <b>Περιγραφή</b>   | <b>Σελίδα</b> |
|--------------|--|---------------|
| 34           | Κατανομή ωριαίων τιμών (Ανω Λιόσια)                                    | 50            |
| 35           | Διακύμανση του δείκτη PET για τη χρονική περίοδο 2005-2011 (Γαλάτσι)   | 51            |
| 36           | Κατανομή ωριαίων τιμών (Γαλάτσι)                                       | 51            |
| 37           | Διακύμανση του δείκτη PET για τη χρονική περίοδο 2005-2011 (Ηλιούπολη) | 52            |
| 38           | Κατανομή ωριαίων τιμών (Ηλιούπολη)                                     | 53            |
| 39           | Διακύμανση του δείκτη PET για τη χρονική περίοδο 2005-2011 (Μάνδρα)    | 53            |
| 40           | Κατανομή ωριαίων τιμών (Μάνδρα)  | 54            |
| 41           | Διακύμανση του δείκτη PET για τη χρονική περίοδο 2005-2011 (Μενίδι)    | 55            |
| 42           | Κατανομή ωριαίων τιμών (Μενίδι)  | 55            |
| 43           | Διακύμανση του δείκτη PET για τη χρονική περίοδο 2005-2011 (Πεντέλη)   | 56            |
| 44           | Κατανομή ωριαίων τιμών (Πεντέλη)                                       | 57            |

| <b>Σχήμα</b> | <b>Περιγραφή</b>  | <b>Σελίδα</b> |
|--------------|---|---------------|
| 45           | Διακύμανση του δείκτη PETγια τη χρονική περίοδο 2005-2011 (Πικέριμι)  | 58            |
| 46           | Κατανομή ωριαίων τιμών (Πικέριμι)   | 58            |
| 47           | Διακύμανση του δείκτη PETγια τη χρονική περίοδο 2005-2011 (Ψυττάλεια)   | 59            |
| 48           | Κατανομή ωριαίων τιμών (Ψυττάλεια)  | 60            |
| 49           | Διακύμανση του δείκτη PETγια τη χρονική περίοδο 2005-2011 (Ζωγράφου)  | 61            |
| 50           | Κατανομή ωριαίων τιμών (Ζωγράφου)   | 61            |
| 51           | Χωρική κατανομή των απόλυτων μέγιστων τιμών του δείκτη PET. Θερμή περίοδος του έτους (Μάιος-Σεπτέμβριος). Περίοδος 2005-2011.   | 63            |
| 52           | Χωρική κατανομή των απόλυτων μέγιστων τιμών του δείκτη PET. Ψυχρή περίοδος του έτους (Οκτώβριος-Απρίλιος). Περίοδος 2005-2011.  | 63            |
| 53           | Χωρική κατανομή των απόλυτων ελάχιστων τιμών του δείκτη PET. Θερμή περίοδος του έτους (Μάιος-Σεπτέμβριος). Περίοδος 2005-2011.  | 64            |
| 54           | Χωρική κατανομή των απόλυτων ελάχιστων τιμών του δείκτη PET. Ψυχρή περίοδος του έτους (Οκτώβριος-Απρίλιος). Περίοδος 2005-2011. | 64            |

# ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το θερμικό περιβάλλον παίζει καθοριστικό ρόλο στην ποιότητα ζωής του ανθρώπου και την απόδοση του στις καθημερινές του δραστηριότητες. Οι παράμετροι που επηρεάζουν τις θερμικές συνθήκες είναι οι επικρατούσες Μετεωρολογικές-Κλιματικές συνθήκες και η διαμόρφωση του περιβάλλοντα χώρου. Όταν αναφερόμαστε στην έννοια διαμόρφωση του περιβάλλοντος εννοούμε την γεωμετρία του χώρου, την ύπαρξη ή όχι φυτών και την ύπαρξη δομικών ή άλλων υλικών. Τα τελευταία χρόνια έχουν διεξαχθεί αρκετές μελέτες με σκοπό την έκφραση και την ποσοτικοποίηση της θερμική άνεσης του ανθρώπου και δημιουργήθηκαν αρκετά μοντέλα για την περιγραφή της και την διερεύνηση των παραγόντων που συμβάλουν στη διαμόρφωση της. Μέσα από τις μελέτες αυτές προσδιορίστηκαν οι παράμετροι που βελτιώνουν την θερμική άνεση και γίνονται υποδείξεις για το πώς μπορεί να βελτιωθεί το θερμικό περιβάλλον.

Η πτυχιακή αυτή μελέτη, αποτελείται από πέντε κύρια κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται εισαγωγικές βιομετεωρολογικές έννοιες και παράμετροι που επηρεάζουν την θερμική άνεση και το θερμικό ισοζύγιο του ανθρώπου καθώς και αναφορά στους κυριότερους βιοκλιματικούς δείκτες, με έμφαση στο δείκτη PET και ανάλυση του προγράμματος – μοντέλου RayMan. Στο δεύτερο κεφάλαιο, βρίσκονται όλες τις σχετικές πληροφορίες του δικτύου των μετεωρολογικών σταθμών από τους οποίους λάβαμε τις μετρήσεις μας δηλαδή η θέση τους, τεχνικά χαρακτηριστικά των οργάνων που τους αποτελούν κλπ. Στο τρίτο κεφάλαιο, παρουσιάζεται η διαδικασία επεξεργασίας των δεδομένων που λάβαμε από τους σταθμούς μέχρι να καταλήξουμε στην τελική μορφή των διαγραμμάτων, και ακολούθως, στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται και σχολιάζονται τα διαγράμματα για τον κάθε σταθμό. Στο πέμπτο και τελευταίο μέρος, παραθέτονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τα διαγράμματα των σταθμών με τη χρήση συμπληρωματικών διαγραμμάτων που προκύπτουν από τις απόλυτες μέγιστες και ελάχιστες τιμές του δείκτη PET από όλο το εξεταζόμενο διάστημα.

# 1. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

## 1.1. Βιοκλιματολογία και Θερμική Αίσθηση

### 1.1.1. Η Βιοκλιματολογία και η αναγκαιότητα της στη σύγχρονη εποχή

Το κλίμα αποτελεί ένα πολύ σπουδαίο στοιχείο του φυσικού περιβάλλοντος για το ανθρώπινο γένος, γιατί αν και ο άνθρωπος θεωρεί τον εαυτό του δημιουργήμα της ξηράς στην πραγματικότητα ζει και κινείται στο πυθμένα ενός πολύ βαθύ ωκεανού, που είναι η ατμόσφαιρα (Φλόκας, 1997).

Όλοι οι άνθρωποι, από την εποχή των σπηλαίων μέχρι και τη σημερινή εποχή, παρουσιάζουν φυσιολογικές αντιδράσεις στη συμπεριφορά τους τόσο στη ζέστη όσο και στο κρύο. Γι' αυτό το λόγο ο άνθρωπος έστρεψε την προσοχή του στη μελέτη του περιβάλλοντος από αρχαιοτάτους χρόνους. Τα κλιματολογικά στοιχεία και μετεωρολογικά φαινόμενα ήταν καθοριστικά για το μέρος που θα διάλεγε για τη διαμονή του, για το είδος της τροφής που θα έψαχνε στη γη ή θα κυνηγούσε και τον τρόπο με τον οποίο θα προστάτευε το σώμα του από το κρύο του χειμώνα και από τη ζέστη του καλοκαιριού. Το κλίμα επηρεάζει σε μεγαλύτερο βαθμό από οποιαδήποτε άλλο στοιχείο του φυσικού περιβάλλοντος την υγεία και την ευεξία τόσο του ανθρώπου όσο των ζώων και των φυτών.

Οι πρώτες καταγεγραμμένες μετρήσεις και η πρώτη επιστημονική κίνηση με κύριο στόχο την συστηματοποίηση της παρατήρησης και την ερμηνεία των μετεωρολογικών φαινομένων, έγινε τον 5ο αιώνα π.Χ. από τους αρχαίους Έλληνες φιλοσόφους. Κατέγραφαν γεγονότα σε ημερολόγια, τα οποία ονομάστηκαν «παραπήγματα», και με αυτό το τρόπο κατάφεραν να ερμηνεύσουν πολλά μετεωρολογικά φαινόμενα και να φτάσουν μέχρι και σε στατική πρόγνωση του καιρού.

Το 16ο αιώνα άνοιξαν οι επιστημονικοί ορίζοντες για την κλιματολογία με την ανακάλυψη του θερμομέτρου (1585) και του βαρομέτρου (1643). Τα επόμενα χρόνια επινοήθηκαν και άλλα όργανα όπως το υγρόμετρο, το ανεμόμετρο και το βροχόμετρο που βοήθησαν στη συστηματική μετεωρολογική παρατήρηση. Μέχρι τότε όμως η Μετεωρολογία θεωρείτο μόνο ως ενασχόληση των πλουσίων ανθρώπων και όχι ως σημαντική επιστήμη.

Το 1878 ιδρύεται ο διεθνής Μετεωρολογικός Οργανισμός για την ευρύτερη συνεργασία μεταξύ των εθνών και το 1950 ο οργανισμός αυτός παίρνει το όνομα Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός (World Meteorological Organization, W.M.O.). Η εξέλιξη του οργανισμού αυτού έχει ως αποτέλεσμα να έχει σήμερα 188 χώρες μέλη.

Η επιστήμη της Κλιματολογίας έχει σαν κύριο στόχο να περιγράψει και να εξηγήσει τη φύση του κλίματος και τη διαφορά του από τόπο σε τόπο και τέλος να βρει πως συνδέεται το κλίμα με τα άλλα στοιχεία του φυσικού περιβάλλοντος και τις ανθρώπινες δραστηριότητες (Φλόκας, 1997). Χωρίζεται στην εφαρμοσμένη και στην θεωρητική κλιματολογία.

Η θεωρητική κλιματολογία περιλαμβάνει τους κλάδους της κλιματογραφίας, της περιγραφικής και δυναμικής κλιματολογίας. Η εφαρμοσμένη κλιματολογία διακρίνεται σε διάφορους τομείς,

με κυριότερους την Εφαρμοσμένη Κλιματολογία, τη Γεωργική Κλιματολογία, τη Ραδιοκλιματολογία, την Παλαιοκλιματολογία και τη Βιοκλιματολογία.

*Βιοκλιματολογία* ονομάζεται η επιστήμη που ασχολείται με τις άμεσες και έμμεσες σχέσεις και αλληλεπιδράσεις μεταξύ του γεωφυσικού και γεωχημικού περιβάλλοντος της ατμόσφαιρας και των ζωντανών οργανισμών, φυτών, ανθρώπων και ζώων. Ο πιο πάνω ορισμός οριοθετήθηκε το 1956 (W.M.O., 1964).

Αργότερα το 1960 επικράτησε ένας άλλος ορισμός ο οποίος χαρακτηρίζει την επιστήμη αυτή ως τον κλάδο της οικολογίας, που πραγματεύεται την επίδραση του φυσικού περιβάλλοντος στα έμβια όντα (AMS, 1954).

Αντικείμενο της Βιοκλιματολογίας είναι η επίδραση των ατμοσφαιρικών συνθηκών στους έμβιους οργανισμούς και το αντίστροφο. Οι ατμοσφαιρικές συνθήκες επηρεάζουν τόσο τα φυτά, και κατ' επέκταση τη γεωργική παραγωγή, όσο και την υγεία των ανθρώπων. Έχει ως κύριο κλάδο της, τη Βιοκλιματολογία του ανθρώπου (Ανθρωποκλιματολογία ή Ιατρική Κλιματολογία), η οποία μελετά σε έκταση το θερμικό ισοζύγιο του ανθρώπινου σώματος και τις επιδράσεις πάνω σε αυτό των ακτινοβολιών, της ατμοσφαιρικής σύνθεσης και των μεταβολών του καιρού. Τις τελευταίες δεκαετίες, οι αντιδράσεις αυτές παρακολουθούνται από συστηματικές επιστημονικές έρευνες.

Κάποια από τα πρώτα δείγματα βιοκλιματικού σχεδιασμού εντοπίζονται στην αρχαία πόλη των Μυκηνών. Εγκλώβιζαν τον αέρα με στενές οδούς περιμετρικά ανοικτών χώρων, αυξάνοντας έτσι την ταχύτητα του, και αποκτούσαν φυσικό κλιματισμό στην άλλη έξοδο των διωδίων στους προαύλιους χώρους των κατοικιών. Οι περισσότερες αναφορές στο βιοκλιματικό σχεδιασμό, στα αρχαία χρόνια, αφορούν κυρίως κτήρια με σημαντικά δείγματα να έχουν βρεθεί στη Δήλο, στην Ιωνία της Μ. Ασίας και στη Χαλκιδική (Κολοβού, 2007).

Η Βιοκλιματολογία από τις αρχές του 20ου αιώνα είχε ήδη εδραιωθεί στο βαθμό που την αντιλαμβανόμαστε σήμερα. Σημαντικές επιστημονικές ανακαλύψεις οδήγησαν στην θεμελίωση βασικών αρχών οι οποίες διατυπώθηκαν σε μεθόδους που χρησιμοποιούνται στον περιβαλλοντικό σχεδιασμό. Το σύνολο των βιοκλιματικών δημοσιεύσεων στις αρχές του αιώνα είχαν ως θέμα τη σχέση μεταξύ κλίματος και εκδήλωσης επιδημιών. Το 1911 ο Leffevre πρώτος υπέθεσε ότι το ανθρώπινο σώμα μπορεί να θεωρηθεί σαν μια σφαίρα, δηλαδή ένα πυρήνα που παράγει θερμότητα. Το ίδιο έτος ο Hill κατασκεύασε το πρώτο καθαρά βιοκλιματικό όργανο, το 'καθαρόμετρο'. Το 1930 πραγματοποιήθηκαν εργαστηριακά πειράματα για στρατιωτικούς σκοπούς προκειμένου να διερευνηθούν οι σχέσεις μεταξύ των φυσιολογικών μεταβλητών, του μεταβολισμού, της ενδυμασίας και των μετεωρολογικών παραμέτρων. Το 1956 ιδρύεται η Παγκόσμια Βιομετεωρολογική Εταιρεία (International Society of Biometeorology, ISB) με στόχο την ανταλλαγή απόψεων, την προώθηση ερευνητικών μελετών και την εφαρμογή των αποτελεσμάτων τους.

Η τεχνολογία έχει παίξει σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη της Βιοκλιματολογίας, με θερμικά μοντέλα και ηλεκτρονικούς σχεδιασμούς. Η χρήση μαθηματικών μοντέλων ξεκίνησε το 1960 και συνεχίζονται μέχρι σήμερα υπολογίζοντας δείκτες που λαμβάνουν υπόψη το θερμικό ισοζύγιο του ανθρώπου. Οι Berglund και Stolwijk (1978) σύγκριναν και αξιολόγησαν τα σπουδαιότερα μοντέλα και κατέληξαν ότι το ενεργειακό ισοζύγιο περιγράφει την πλήρη επίδραση του θερμικού περιβάλλοντος του ανθρώπου.

Τα μαθηματικά μοντέλα οδήγησαν σε θερμικούς δείκτες που προσομοιάζουν το θερμικό ισοζύγιο του ανθρωπίνου σώματος με μια μαθηματική σχέση όπως αυτή των Finger (1972) Horpe (1984) Hammer (1985). Συνεπώς ο καλύτερος βιοκλιματικός δείκτης για τον άνθρωπο θα είναι μια κλιματική ταξινόμηση με κλιμακόμετρο τον ίδιο τον άνθρωπο (Ζαμπάκας, 1981).

Σήμερα οι κλιματικές μεταβολές που ξεκίνησαν από τον 20ο αιώνα γίνονται όλο και πιο αισθητές. Τις τελευταίες δεκαετίες η ραγδαία ανάπτυξη των αστικών κέντρων έχει συμβάλει στην ανάπτυξη μεγάλων οικολογικών προβλημάτων. Από τις αρχές του 19ου αιώνα άρχισαν να καταναλώνονται σημαντικά ποσά ενέργειας στη βιομηχανία για τη μαζική παραγωγή αγαθών. Οι άνθρωποι τότε δεν μπορούσαν να αντιληφθούν ότι η φύση είναι ένας ζωντανός οργανισμός η ισορροπία του οποίου είναι άρρητα συνδεδεμένη με τη διαβίωση των έμβιων όντων που αποτελούν τμήμα της. Αύτη η άγνοια συνέβαλε στην δημιουργία ενός από τα κυριότερα προβλήματα της σύγχρονης εποχής, την έλλειψη πόρων για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών.

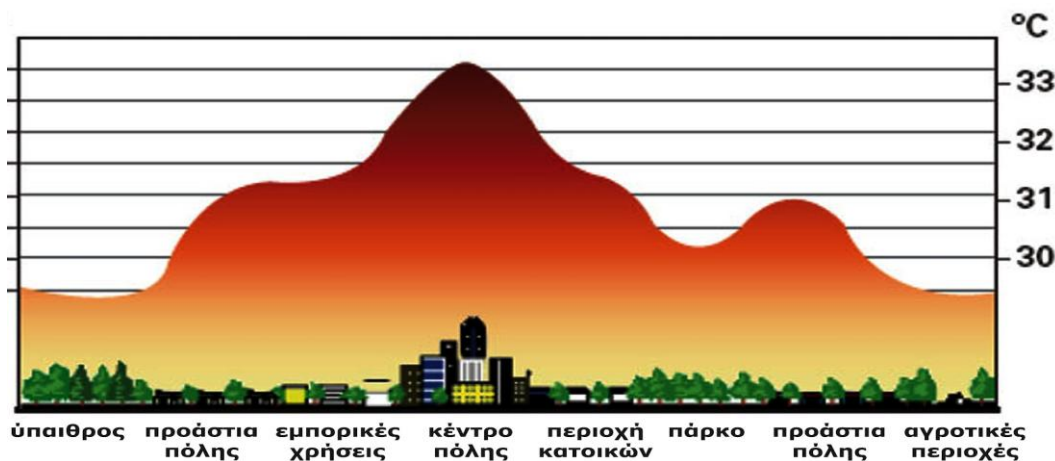
Τα μεγαλύτερα προβλήματα από τη ρύπανση του αέρα αλλά και η μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας σημειώνεται στις αστικές περιοχές των οποίων οι ελεύθεροι χώροι έχουν αντικατασταθεί από μεγάλα τσιμεντένια, στην πλειοψηφία τους, οικοδομήματα και οι χώροι πρασίνου έχουν μειωθεί σημαντικά. Παράλληλα το περιβάλλον επιβαρύνεται με ρύπους που είναι αποτέλεσμα των αυξημένων κυκλοφοριακών αναγκών αλλά κυρίως των αναγκών για θέρμανση κατά το χειμώνα και ψύξη κατά το καλοκαίρι. Είναι φανερό πως οι ενεργειακές ανάγκες θα αυξάνονται συνεχώς, εφόσον αυξάνεται ο πληθυσμός της γης και επιπλέον θα πολλαπλασιάζονται όσο βελτιώνεται το βιοτικό επίπεδο του ανθρώπου και αυξάνονται οι δραστηριότητες που απαιτούν κατανάλωση ενέργειας. Έτσι δυστυχώς δεν προμηνύεται μεταβολή των αναγκών για ενέργεια στο μέλλον προς το καλύτερο.

Για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών από την αρχή της βιομηχανικής ανάπτυξης μέχρι σήμερα, χρησιμοποιούνται κυρίως τα ορυκτά καύσιμα, οι γαιάνθρακες, το φυσικό αέριο και το πετρέλαιο. Η χρήση των συμβατικών αυτών μορφών ενέργειας συμβάλει στην αύξηση της θερμοκρασίας επιδρώντας και αλλάζοντας έτσι το μικρόκλιμα των αστικών περιοχών. Το πρόβλημα αυτό παίρνει μεγαλύτερες διαστάσεις στα αστικά κέντρα λόγω της έλλειψης χώρων πρασίνου, που με τα οφέλη τους αντισταθμίζουν τις δυσάρεστες συνέπειες της χρήσης του πετρελαίου. Προς την κατεύθυνση αυτή έχουν διεξαχθεί έρευνες για την εύρεση τρόπου αύξησης της επιφάνειας πάνω στην οποία μπορεί να εγκατασταθεί πράσινο μέσα στον οικιστικό ιστό των πόλεων. Μια από τις προτάσεις είναι η εγκατάσταση φυτοδωμάτων στις ταράτσες ή στις στέγες των κτηρίων. Η υλοποίηση της πρότασης αυτής είναι ακόμα στις αρχές αλλά πρόκειται για μια εφαρμογή μεγάλου κόστους που ίσως να έχει θετικά αποτελέσματα σε σχέση με τη βελτίωση του μικροκλίματος.

Έτσι είναι πλέον φανερό πως η επιστήμη της βιοκλιματολογίας είναι η μόνη αρμόδια και ικανή να προτείνει λύσεις και τρόπους για τη μείωση της κατανάλωσης συμβατικών μορφών ενέργειας και ταυτόχρονα τη βελτίωση του μικροκλίματος των αστικών και περαστικών περιοχών. Ωστόσο όσον αφορά το αστικό κλίμα σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση του παίζει τόσο το αστικό πράσινο όσο και η μορφή της δόμησης της περιοχής και πιο συγκεκριμένα, η πυκνότητα της δόμησης, τα υλικά που έχουν χρησιμοποιηθεί, τα χρώματα των κτηρίων αλλά και το ύψος τους. Τα χαρακτηριστικά αυτά γίνεται προσπάθεια να χειριστούν με το καλύτερο τρόπο οι αρχιτέκτονες για τη δημιουργία βιώσιμου χώρου. Η βιοκλιματολογία, σε συνεργασία και με άλλες επιστήμες (αρχιτεκτονική, γεωπονία, μετεωρολογία, μηχανολογία) στοχεύει στη δημιουργία αστικού περιβάλλοντος που να είναι λιγότερο ενεργοβόρο, καθαρότερο και με πιο ευνοϊκές κλιματολογικές συνθήκες.

## 1.1.2. Αστικό κλίμα

Όταν αναφερόμαστε στο αστικό κλίμα εννοούμε τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν σε μια αστική περιοχή που διαφέρουν από τις συνθήκες που συναντάμε στις γειτνιάζουσες αγροτικές περιοχές. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται κυρίως στην μεγάλη αστική ανάπτυξη. Η ραγδαία αυτή αύξηση της αστικοποίησης προκάλεσε μεγάλη αλλοίωση στη μορφολογία του εδάφους. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία του φαινόμενου της «θερμικής νησίδας».



Σχήμα 1: Θερμική Νησίδα

Το φαινόμενο της «θερμικής νησίδας» έτυχε ιδιαίτερης προσοχής την τελευταία δεκαετία στη χώρα μας, λόγω της αυξημένης οικοδομικής δραστηριότητας στα μεγάλα αστικά κέντρα. Το αποτέλεσμα του φαινομένου αυτού είναι ότι παρατηρείται αυξημένη θερμοκρασία στο κέντρο των μεγαλουπόλεων, που μπορεί να φτάσει μέχρι και 3-4°C, σε σχέση με τις γειτνιάζουσες περιοχές. Η διαφορά της θερμοκρασίας είναι συνήθως 16 °C μεγαλύτερη το βράδυ σε σχέση με τη μέρα και το χειμώνα παρά το καλοκαίρι και είναι εντονότερη όταν η ένταση του ανέμου έχει μικρότερες τιμές. Επιπρόσθετα κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού μπορεί να παρουσιαστούν διακυμάνσεις στη θερμοκρασία από "γειτονία σε γειτονία" μέσα στην ίδια πόλη, ειδικά τις βραδινές ώρες. Για παράδειγμα στην Ελλάδα καταγράφηκαν διαφορές 6-7°C μεταξύ της Λυκόβρυσης και της Κυψέλης. Το φαινόμενο της «θερμικής νησίδας» συντελεί σε ένα μεγάλο ποσοστό στην αύξηση των συγκεντρώσεων ρύπων. Η αύξηση της θερμοκρασίας στο κέντρο της πόλης δημιουργεί ανοδικά ρεύματα αέρα, τα οποία όταν φτάσουν σε ένα συγκεκριμένο ύψος μεταφέρονται προς τα προάστια, ενώ στα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, οι αέριες μάζες, μετακινούνται αντίστροφα από τα προάστια στο κέντρο της πόλης, για να αναπληρώσουν το κενό. Έτσι δημιουργείται μια κυκλοφοριακή 'κυψέλη' η οποία μεταφέρει τους ρύπους από το κέντρο προς τα προάστια και ξανά στο κέντρο (Μ. Πετράκης, 2000).

Οι κύριοι παράγοντες που παίζουν καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση του αστικού κλίματος (Α. Χρονοπούλου-Σερέλη και Μ. Ουζιέλ, 1997) είναι:

1. Οι τοπογραφικές συνθήκες του περιβάλλοντος χώρου μιας πόλης μπορεί να δημιουργήσουν κλιματικές παραλλαγές. Αν δηλαδή μια περιοχή, είναι ορεινή ή πεδινή ή αν βρίσκεται κοντά σε ποτάμι ή θάλασσα.

2. Το ανάγλυφο της αστικής περιοχής, για παράδειγμα η ύπαρξη ή μη λόφων μέσα σε μια πόλη. Παρατηρείται διαφορά στις κλιματικές συνθήκες στις προσήνεμες και υπήνεμες πλευρές των λόφων.

3. Η εδαφολογική σύσταση της περιοχής. Αν δηλαδή το έδαφος είναι αργιλώδες παρουσιάζει μεγαλύτερη υδατοχωρητικότητα απ' ότι το αμμώδες, με αποτέλεσμα να συγκρατεί μεγαλύτερο ποσοστό υγρασίας και να παρουσιάζει σταθερότερη θερμοκρασία. Αυτή η επίδραση τείνει να εξαφανιστεί πλέον στις μεγάλες πόλεις λόγω του γεγονότος ότι όλο και περισσότερες επιφάνειες καλύπτονται από τσιμέντο και άσφαλτο.

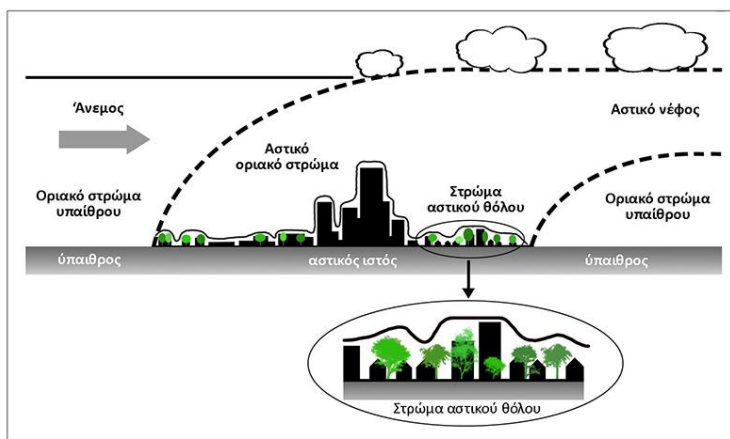
4. Η πυκνότητα της δόμηση μέσα στην πόλη επηρεάζει τη σκίαση των ακάλυπτων περιοχών ανάμεσα των κτηρίων, με αποτέλεσμα να διαφοροποιούνται οι θερμομετρικές συνθήκες. Όταν η απόσταση μεταξύ των οικοδομών είναι ίση με το ύψος των κτιρίων το κάτω μέρος της πρόσοψης με νότιο προσανατολισμό σκιάζεται για πιο μεγάλο χρονικό διάστημα.

5. Η τραχύτητα της επιφάνειας των πόλεων που διαμορφώνεται από το ύψος των κτιρίων. Σ' αυτή την τραχύτητα οφείλεται η μείωση της ταχύτητας του ανέμου μέσα στα αστικά κλίματα, αλλά και τη δημιουργία έντονων στροβιλισμών του ανέμου.

6. Η διάταξη του πρασίνου και η μορφή της βλάστησης. Η επίδραση του πρασίνου έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της θερμοκρασίας του γειτνιάζοντος αέρα, την αύξηση της σχετικής υγρασίας και την ελάττωση των θερμομετρικών διακυμάνσεων. Η επίδραση του πρασίνου στη διαμόρφωση του τοπικού κλίματος έχει έμμεση σχέση με την διεύθυνση και την ένταση του ανέμου.

7. Η μορφή της εδαφοκάλυψης μιας περιοχής. Έχει αποδειχτεί ότι σε περιοχές που είναι καλυμμένες με άσφαλτο, καταγράφονται πολύ υψηλότερες τιμές θερμοκρασίας από ότι σε άλλες που καλύπτονται με φυτά ή άλλου είδους κάλυψη. Σύμφωνα με μελέτες που έχουν γίνει το 15% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας αντανακλάται ενώ το υπόλοιπο 85% απορροφάται από τον ιστό της πόλης (Oke 1987). Οι περισσότερες επιφάνειες που βρίσκονται στη πόλη έχουν υψηλή ικανότητα θερμικής εκπομπής, δηλαδή τα δομικά στοιχεία αποβάλουν τη θερμότητα που έχουν απορροφήσει και έτσι ψύχονται, θερμαίνοντας όμως τους υπαίθριους χώρους γύρω από αυτές.

8. Οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις που βρίσκονται κοντά σε αστικές περιοχές αποβάλουν μεγάλες ποσότητες θερμότητας επηρεάζοντας έτσι το αστικό κλίμα.



**Σχήμα 2:** Διαχωρισμός της ατμόσφαιρας στο στρώμα αστικού θόλου (UCL) και στο αστικό οριακό στρώμα (UBL), (αναπροσαρμογή από Oke, 1982)



Κατά τους θερινούς ιδιαίτερα μήνες στις σύγχρονες πόλεις παρατηρείται μεγάλη αύξηση της θερμοκρασίας, γεγονός που οφείλεται στους πιο κάτω λόγους, σύμφωνα με τον Καική Μ (2006):

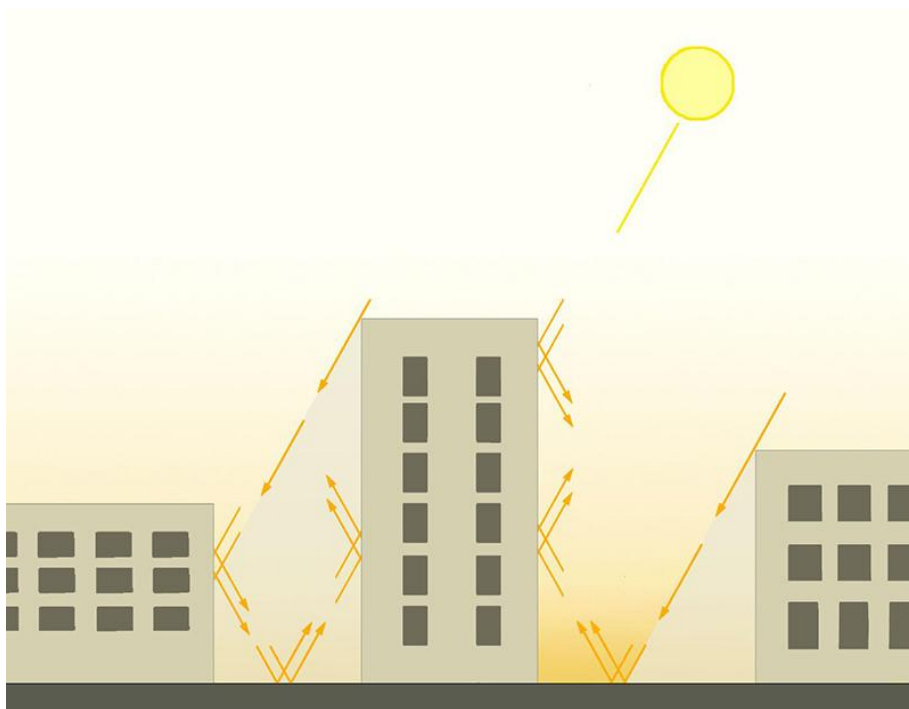
- Στην συμπίεση του εδάφους και τη κάλυψή του με αδιαπέραστα στη βροχή υλικά (όπως άσφαλτο και μπετόν) τα οποία εμποδίζουν τη διείσδυση του νερού της βροχής, κάνοντας το έδαφος ξηρότερο. Αυτή η συμπίεση και η κάλυψη του εδάφους αποκλείουν την εξάτμιση από το έδαφος.
- Στη χρήση δομικών υλικών με μεγάλη θερμοαγωγιμότητα και θερμοχωρητικότητα (άσφαλτος, σκυρόδεμα). Σε σύγκριση με το έδαφος στη φυσική του κατάσταση το σκυρόδεμα παρουσιάζει δεκαπλάσια θερμοαγωγιμότητα ( $0,011 \text{ cal/cm} \cdot \text{sec} \cdot ^\circ\text{C}$  έναντι  $0,001$ ) και πενταπλάσια θερμοχωρητικότητα ( $0,5 \text{ cal/cm}^3 \cdot ^\circ\text{C}$  έναντι  $0,1$ ).
- Οι μεγάλες επιφάνειες των κτιρίων και των δρόμων που ακτινοβολούνται άμεσα από τον ήλιο, θερμαίνονται και η επιφάνειά τους μπορεί να φθάσει στην θερμοκρασία των  $55 \text{ }^\circ\text{C}$  με  $60 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- Στην μειωμένη κίνηση του αέρα που συντελεί στη μειωμένη απόψυξη θερμών επιφανειών.
- Η υψηλή θερμοκρασία δημιουργεί θερμοκρασιακές αναστροφές, που εγκλωβίζουν τα σωματίδια και άλλους ρύπους της ατμόσφαιρας.
- Στην αποδιδόμενη θερμική ενέργεια από τα οχήματα και τα συστήματα κλιματισμού.

Σαν συνέπεια των παραπάνω παρουσιάζεται αύξηση της θερμοκρασίας  $4 \text{ }^\circ\text{C}$  στις παρυφές της πόλης,  $6 \text{ }^\circ\text{C}$  στο κέντρο ενώ κατά θέσεις μπορεί να υπερβεί και τους  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  σε σχέση με τα προάστια.

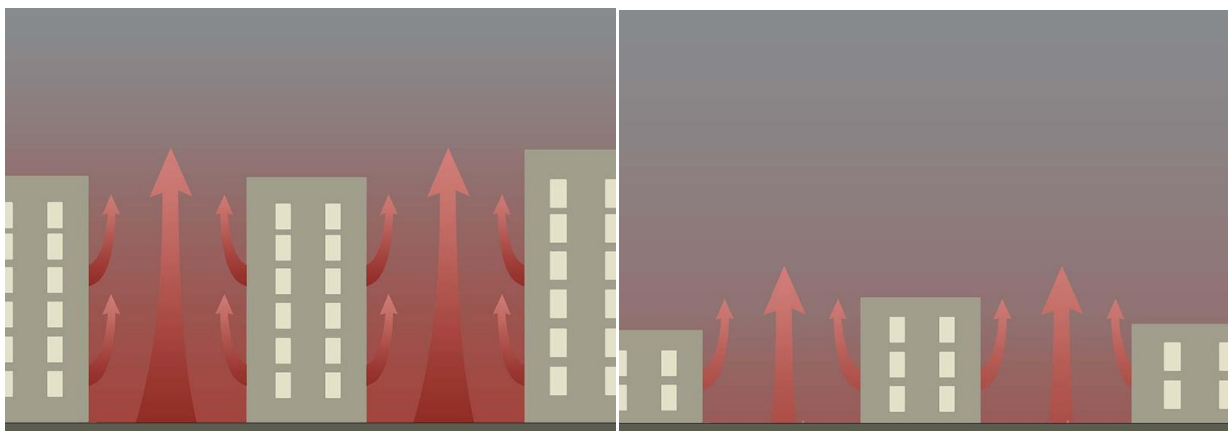
Το χειμώνα, σκιάζουν ελεύθερους χώρους και όψεις κτηρίων, ιδιαίτερα των χαμηλότερων ορόφων, έτσι στερούν, από υπαίθριους χώρους και από κτήρια με νότιο προσανατολισμό, τη δυνατότητα να εκμεταλλευθούν τα θερμικά ηλιακά οφέλη.



**Σχήμα 3:** Τα ψηλά κτήρια το καλοκαίρι, προκαλούν διαδοχικές ανακλάσεις, συνεπώς θάμβωση, και μεγαλύτερη απορρόφηση της ακτινοβολίας από γειτονικά κτήρια.



**Σχήμα 4:** Τα ψηλά κτήρια το καλοκαίρι παγιδεύουν, εξαιτίας διαδοχικών ανακλάσεων, τις νυχτερινές θερμικές εκπομπές των υλικών μέσα στον αστικό χώρο, αντί να τις αφήνουν να διαφύγουν στην ατμόσφαιρα.



**Σχήμα 5:** Μεταφορά θερμότητας από κτήρια στην ατμόσφαιρα, κατά τη διάρκεια των απογευματινών ωρών σε αστικό περιβάλλον. Μεγαλύτερα ποσά θερμότητας στα ψηλά κτήρια (αριστερά) συγκριτικά με τα χαμηλότερα κτήρια (δεξιά)

Σε αρκετές χώρες του κόσμου η πρόσβαση στο φυσικό φως ή στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία είναι, εδώ και αρκετά χρόνια, κατοχυρωμένη νομικά, ως δικαίωμα. Για παράδειγμα, η Αγγλία διαθέτει από το 1832 τέτοιο νόμο, ενώ πολλές πολιτείες των ΗΠΑ, έχουν υιοθετήσει ανάλογη νομοθεσία, ακόμη και για τους κοινόχρηστους χώρους, όπως πάρκα και παιδικές χαρές.

Ο ελληνικός οικοδομικός κανονισμός προβλέπει γεωμετρικούς όρους εξασφάλισης φυσικού φωτισμού, όχι όμως και ηλιασμού, αλλά και τους όρους φυσικού φωτισμού δεν τους ανάγει σε απαιτητό ιδιοκτησιακό δικαίωμα.

Έχει παρατηρηθεί (Oke, 1987) επίσης, ότι η στενότητα των αστικών φαράγγιων οδηγεί σε αύξηση των θερμοκρασιακών διαφορών μεταξύ πόλης και υπαίθρου. Τα στενά αστικά φαράγγια μπορεί να είναι πιο δροσερά νωρίς το πρωί εξαιτίας σκιασμού, όμως διατηρούν υψηλότερες θερμοκρασίες το απόγευμα και το βράδυ. Αντίθετα, οι φαρδύτεροι δρόμοι θερμαίνονται περισσότερο το μεσημέρι, αλλά ψύχονται ταχύτερα όταν πέσει ο ήλιος.

### 1.1.3. Θερμική άνεση

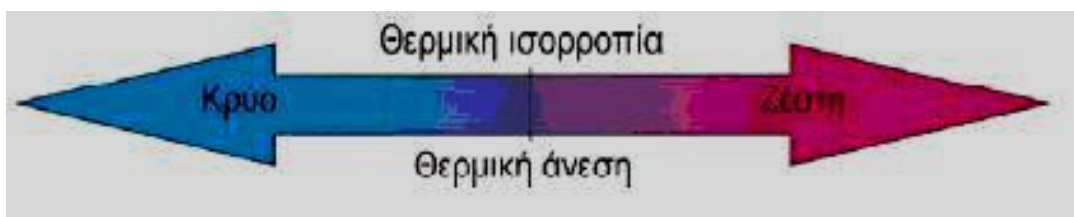
Το ανθρώπινο σώμα διαθέτει ένα αποτελεσματικό σύστημα ρύθμισης της θερμοκρασίας, η οποία διατηρείται περίπου στους 37 °C.

Όταν η θερμοκρασία του σώματος αρχίσει να αυξάνεται, είτε λόγω κλιματολογικών συνθηκών είτε λόγω έντονης δραστηριότητας, δύο μηχανισμοί ενεργοποιούνται για την ελάττωσή της. Αρχικά, τα αιμοφόρα αγγεία διαστέλλονται, αυξάνοντας τη ροή του αίματος στο δέρμα έτσι ώστε να αυξηθούν οι θερμικές απώλειες μέσω ακτινοβολίας και έπειτα αρχίζει η λειτουργία της εφίδρωσης. Η εφίδρωση και η ψύξη μέσω της εξάτμισης, είναι ο βασικός μηχανισμός ψύξης του δέρματος.

Όταν η θερμοκρασία του ανθρώπινου σώματος αρχίσει να μειώνεται, τα αιμοφόρα αγγεία συστέλλονται, μειώνοντας τη ροή του αίματος στο δέρμα, ώστε να μειωθεί η απώλεια θερμότητας μέσω αγωγής και ακτινοβολίας. Στη συνέχεια, η θερμοκρασία του σώματος αυξάνεται με την αύξηση των εσωτερικών καύσεων και γίνεται ενεργοποίηση των μυών με την εμφάνιση ρίγους.

Τα αποτελέσματα της επίδρασης των περιβαλλοντικών παραγόντων γίνονται αισθητά από τις μεταβολές της θερμοκρασίας του δέρματος και το είδος των σημάτων που λαμβάνει ο εγκέφαλος από τα αισθητήρια όργανα του δέρματος. Ο άνθρωπος θεωρεί το περιβάλλον του ως θερμικά άνετο όταν δεν υπάρχει κάποιο σήμα από τα αισθητήρια όργανα για πτώση ή άνοδο της θερμοκρασίας του σώματος.

Αυτή η κατάσταση μπορεί να περιγραφεί ως θερμική ισορροπία. σε μια τέτοια κατάσταση ένα άτομο δεν αισθάνεται ούτε κρύο, ούτε ζέστη.



Σχήμα 6: Κατάσταση θερμικής ισορροπίας (Α. Παπαδόπουλος, 2006)

Με τον όρο θερμική άνεση εννοούμε: «την νοητική κατάσταση κατά την οποία εκφράζετε ικανοποίηση στο θερμικό περιβάλλον» (ASHRAE, 1966, ISO 7730, 1984). Η θερμική άνεση ορίζει την αίσθηση της απόλυτης φυσικής και πνευματικής ευφορίας όλων των ατόμων που βρίσκονται σε ένα χώρο.

Είναι αρκετά δύσκολο να προσδιορίσουμε με ακρίβεια τη θερμική άνεση γιατί πρέπει να λάβουμε υπόψη μας ένα αρκετά μεγάλο αριθμό περιβαλλοντικών και προσωπικών δεδομένων,

που πιθανότατα θα κάνουν τον άνθρωπο να νιώθει πιο άνετα. Αυτοί οι παράγοντες αποτελούν το γνωστό «ανθρώπινο θερμικό περιβάλλον».

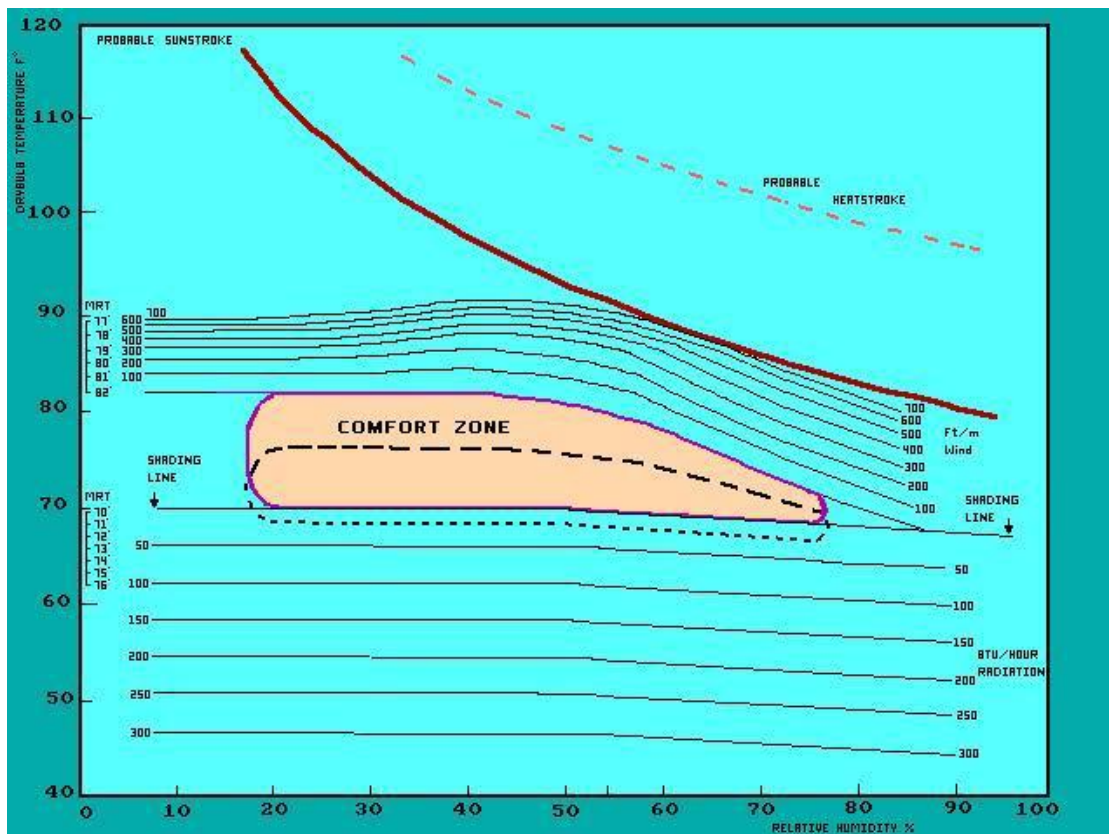


Σχήμα 7: Τρόποι ανταλλαγής ενέργειας στο σύστημα ‘άνθρωπος – περιβάλλον’

Η θερμική άνεση είναι επιθυμητή και επιδιώκεται γιατί πρώτα απ’ όλα είναι η επιθυμία του ανθρώπου να αισθάνεται άνετα στο θερμικό του περιβάλλον σε συνδυασμό με την ανάγκη του για άνεση προς άλλες κατευθύνσεις. Παράλληλα επηρεάζει σε ψυχολογικό επίπεδο τον άνθρωπο με αποτέλεσμα να επηρεάζει την απόδοσή του. Για παράδειγμα σε δυσμενή περιβάλλοντα τα παράπονα των υπαλλήλων μπορεί να αυξηθούν, η παραγωγή μπορεί να μειωθεί και σε κάποιες πιο ακραίες συνθήκες οι υπάλληλοι μπορεί να χάσουν την επιθυμία για δουλειά. Τέλος έχει παρατηρηθεί πως υπάρχει κάποια σχέση μεταξύ θερμικής άνεσης και ανθρώπινης υγείας.

Η ζώνη άνεσης έχει ως σκοπό να δώσει επιθυμητό θερμικό περιβάλλον σε άτομα που βρίσκονται σε εσωτερικούς χώρους με κανονική ενδυμασία και καθιστική ζωή. Επιθυμητά περιβάλλοντα είναι αυτά στα οποία τουλάχιστον το 80% των παρευρισκομένων το βρίσκουν θερμικά αποδεκτό. Τα όρια της θερμικής άνεσης του ανθρώπου κυμαίνονται το καλοκαίρι από 22,8-26,1 °C και το χειμώνα από 20-23,9 °C.

Στο πιο κάτω σχήμα (σχήμα 8) απεικονίζεται η ζώνη άνεσης σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία, την υγρασία, τον άνεμο, την ακτινοβολία, και τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολιών. Ο κατακόρυφος άξονας του σχήματος δίνει τη θερμοκρασία σε °F και ο οριζόντιος άξονας τη σχετική υγρασία. Η σκιασμένη περιοχή στο κέντρο απεικονίζει το συνδυασμό της θερμοκρασίας του αέρα και της σχετικής υγρασίας κατά τον οποίο οι περισσότεροι άνθρωποι αισθάνονται άνετα κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού καθισμένοι στη σκιά. Η διακεκομμένη γραμμή οριοθετεί την περιοχή άνεσης το χειμώνα. Τα κλιματικά στοιχεία έξω από τη ζώνη άνεσης απεικονίζονται με καμπύλες οι οποίες καθορίζουν τη φύση της διόρθωσης για την επαναφορά του ατόμου στις συνθήκες άνεσης. Κάθε σημείο το οποίο ορίζεται από την θερμοκρασία του αέρα και την σχετική υγρασία και το οποίο βρίσκεται μέσα στα όρια της περιοχής άνεσης δεν χρειάζεται διόρθωση.



Σχήμα 8: Σχηματική απεικόνιση της περιοχής θερμικής άνεσης σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία, την υγρασία, τον άνεμο, την ηλιοφάνεια και τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας (V. & A. Olgyay, 1963)

### 1.1.4. Βασικοί παράμετροι που επηρεάζουν την θερμική άνεση

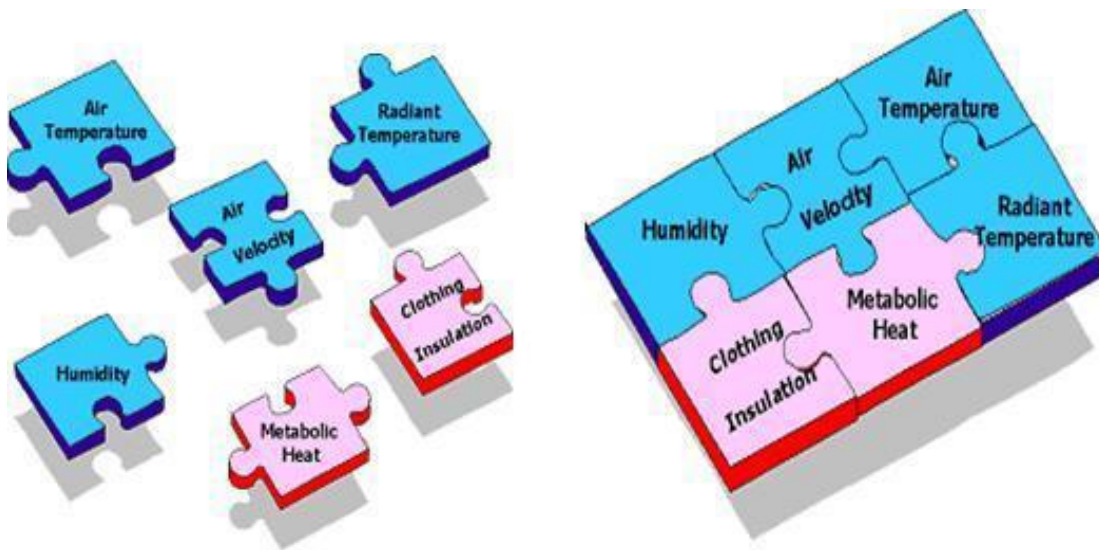
Καθοριστικός δείκτης της θερμικής άνεσης αδιαμφισβήτητα είναι η θερμοκρασία του αέρα. Παρόλο που είναι ένας σημαντικός δείκτης, από μόνος του δεν είναι ούτε έγκυρος ούτε ακριβής για τη θερμική άνεση του ανθρώπου. Η θερμοκρασία του αέρα σε συνδυασμό με άλλες περιβαλλοντικές παραμέτρους, οι οποίες είναι η θερμοκρασία ακτινοβολίας, η υγρασία και η κίνηση του ατμοσφαιρικού αέρα, είναι οι τέσσερις περιβαλλοντικές παράμετροι που επηρεάζουν την αντίδραση του ανθρώπου στα ποικίλα θερμικά περιβάλλοντα (Parsons, 1993). Οι παραπάνω παράμετροι συνδυασμένες με τις ανθρώπινες παραμέτρους που προκύπτουν από την μεταβολική παραγωγή θερμότητας (κατά τη διάρκεια των ανθρώπινων δραστηριοτήτων) και την ένδυση, αποτελούν τους έξι θεμελιώδεις παράγοντες που αποτελούν το κλειδί για το ενεργειακό μας ισοζύγιο, την αίσθηση του θερμικού περιβάλλοντος και την αίσθηση της θερμικής άνεσης ή δυσφορίας. Οι παράγοντες αυτοί είναι ανεξάρτητοι μεταξύ τους αλλά η αλληλεπίδραση των παραμέτρων αυτών μεταξύ τους και με τον ανθρώπινο οργανισμό συμβάλουν στη θερμική αίσθηση.

### 1.1.5. Θερμοκρασία αέρα

Θερμοκρασία μπορεί να θεωρηθεί η μέση κινητική ενέργεια (θερμική) των μορίων, σ' ένα σώμα. Εάν έχουμε απώλεια θερμικής ενέργειας από το σώμα, η θερμοκρασία μειώνεται ενώ

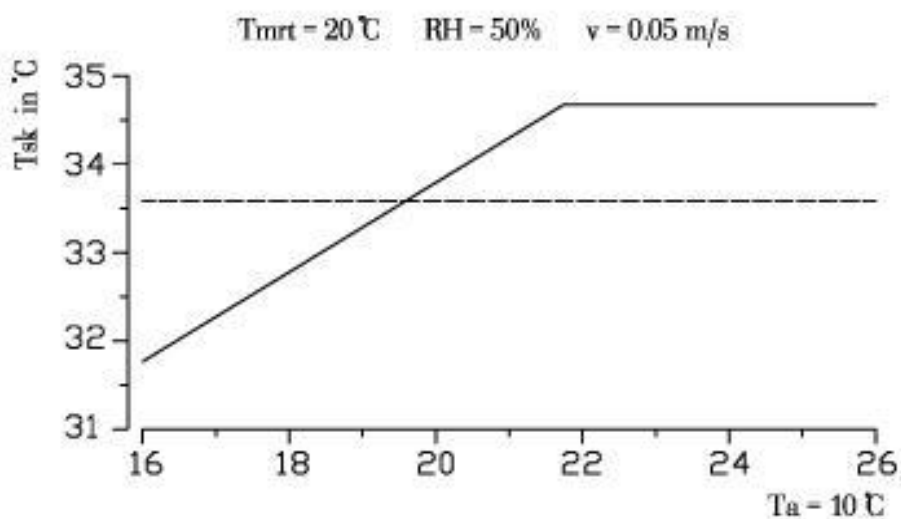


αντίθετα εάν έχουμε εισροή θερμικής ενέργειας τότε η θερμοκρασία του σώματος αυξάνεται. Ένας από τους νόμους της θερμοδυναμικής ορίζει πως η καθαρή ενέργεια μεταφέρεται από τα σώματα με υψηλή θερμοκρασία προς τα σώματα με χαμηλή θερμοκρασία. Η θερμοκρασία του ανθρώπινου σώματος είναι ένας σημαντικός δείκτης της κατάστασης του (άνεση, θερμικό κρύο στρες). Ο άνθρωπος είναι ένα ομοιόθερμο ον που επιδιώκει να διατηρεί την εσωτερική θερμοκρασία του σώματος του γύρω στους 37°C. Η απόκλιση από την τιμή αυτή έστω και για μερικούς βαθμούς, μπορεί να έχει σοβαρές επιπτώσεις για τον άνθρωπο. Γι' αυτό το λόγο η θερμοκρασία του ανθρώπινου σώματος, επηρεάζεται πολύ από την θερμοκρασία των υλικών που το περιβάλλουν (στερεά και ρευστά) γιατί επιδρούν στη μεταφορά θερμότητας από και προς αυτό. Η κινητήρια δύναμη για τη μεταφορά θερμικής ενέργειας μεταξύ ανθρώπινου σώματος και περιβάλλοντος είναι η θερμοκρασία του αέρα (Parsons, 1993).



**Σχήμα 9:** Οι βασικοί παράμετροι που επηρεάζουν τη θερμική αίσθηση (διαθέσιμο στην ιστοσελίδα <http://www.opsi.gov.uk/>)

Η θερμοκρασία του αέρα ορίζεται ως η θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα που περιβάλλει το ανθρώπινο σώμα. Έτσι η θερμοκρασία του ανθρώπινου σώματος καθορίζεται από τη θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα λόγω εξομοίωσης της θερμότητας μεταξύ δέρματος και ατμοσφαιρικού αέρα. Σε χαμηλότερη θερμοκρασία από 33-34 °C το σώμα χάνει θερμότητα ενώ σε υψηλότερες θερμοκρασίες κερδίζει θερμότητα. Το σώμα μας αντιλαμβάνεται τη θερμοκρασία του αέρα (και των άλλων παραμέτρων του θερμικού περιβάλλοντος) από τα αισθητήρια όργανα του δέρματος και του υποθαλάμου, ρυθμίζοντας τη θερμοκρασία του. Η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα τείνει να μειώσει τις απώλειες θερμότητας μέσω αγωγής και ακτινοβολίας, ενώ οι απώλειες αυξάνονται λόγω εφίδρωσης. Η θερμοκρασία του αέρα επηρεάζει επίσης και τη μέση θερμοκρασία του δέρματος. Το φυσικό αυτό μέγεθος έχει εισαχθεί για τη πληρέστερη αξιολόγηση της θερμικής άνεσης. Έρευνες του P. Horpe (1988) που πραγματοποιήθηκαν με τη βοήθεια του μαθηματικού μοντέλου M.E.M.I., κατέληξαν στην αναλογική σχέση μεταξύ της θερμοκρασίας του αέρα και της μέσης θερμοκρασίας του δέρματος.



**Σχήμα 10:** Μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα  $t_a$  και της μέσης θερμοκρασίας του δέρματος  $t_{sk}$  (συνθήκες: ένδυση = 1 clo, καθιστική εργασία, μεταβολικός ρυθμός = 60,  $T_{mrt} = 20\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $RH = 50\%$ , ταχύτητα ανέμου = 0,05 m/s) (Hoppe, 1988)

Η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα, έως και τους  $21\text{ }^\circ\text{C}$  οδηγεί σε συνεχόμενη μεταβολή της μέσης θερμοκρασίας του δέρματος. Η περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα, ενεργοποιεί το μηχανισμό της εφίδρωσης με αποτέλεσμα τη ψύξη του σώματος και γι' αυτό το λόγο η κλίση της ευθείας του διαγράμματος μειώνεται σημαντικά μετά τους  $21\text{ }^\circ\text{C}$ . Η μέση θερμοκρασία του δέρματος που θεωρείται ως φυσιολογική σε αντιστοιχία με τη θερμική ισορροπία του σώματος μας, που είναι  $37.5\text{ }^\circ\text{C}$ , είναι κοντά στους  $33.5\text{ }^\circ\text{C}$  όπως φαίνεται και από την οριζόντια γραμμή του διαγράμματος. Για τη διατήρηση της μέσης αυτής θερμοκρασίας θα πρέπει η θερμοκρασία του αέρα να είναι κοντά στους  $20\text{ }^\circ\text{C}$ .

### 1.1.6. Θερμοκρασία ακτινοβολίας

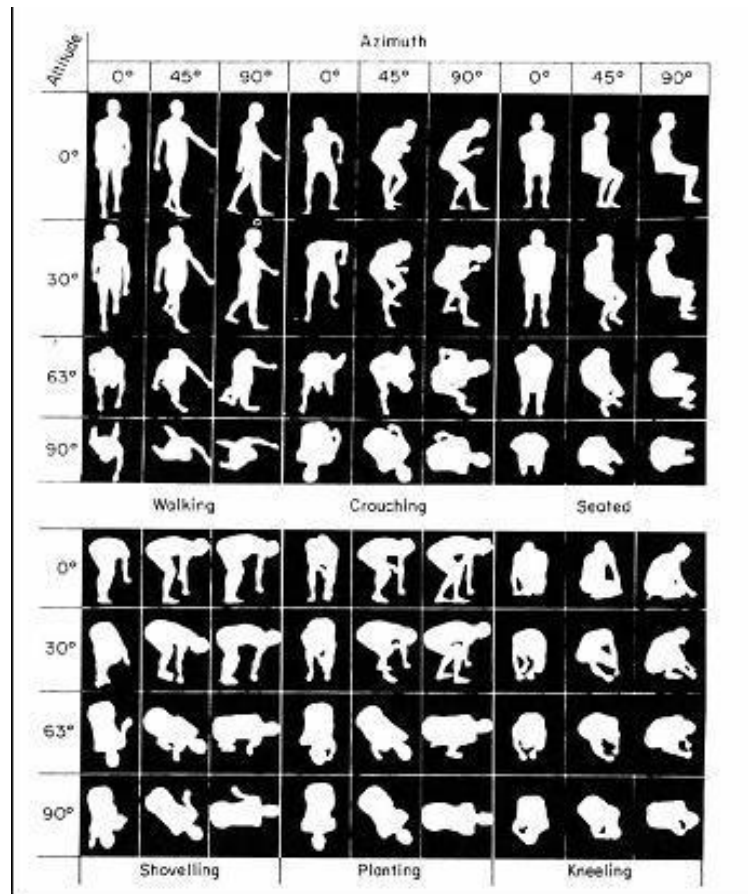
Στη ρύθμιση της θερμοκρασίας του ανθρώπινου σώματος εκτός από τη θερμοκρασία του αέρα συμβάλει και η θερμοκρασία ακτινοβολίας (radiant temperature). Η μεταφορά θερμότητας γίνεται με ανταλλαγή ακτινοβολίας μεταξύ των διαφόρων σωμάτων. Η θερμοκρασία ακτινοβολίας είναι μέρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που περιλαμβάνει τις ακτίνες X (μικρό μήκος κύματος), το φως και τα ραδιοκύματα (μεγάλο μήκος κύματος). Για την περιγραφή και την ποσοτικοποίηση της θερμικής ακτινοβολίας του περιβάλλοντος χρησιμοποιείται κυρίως η παράμετρος Μέση Θερμοκρασία Ακτινοβολίας (Mean Radiant Temperature) που τη συναντάμε πιο συχνά στις μελέτες Βιοκλιματολογίας-Βιομετεωρολογίας (Parsons, 1993).

Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας είναι η επίδραση της ροής ακτινοβολίας μιας επιφάνειας στο περιβάλλον που βρίσκεται. Όσο πιο μεγάλη είναι η επιφάνεια και όσο πιο κοντά βρίσκεται τόσο μεγαλύτερη είναι η επίδραση που έχει στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Έτσι όταν κάποιος κινείται μέσα σε ένα χώρο, η τιμή της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας αλλάζει, ανάλογα με τη θέση του στο χώρο. Όσο πιο κοντά είναι σε μια μεγάλη θερμή ή κρύα επιφάνεια τόσο μεγαλύτερη επίδραση έχει η επιφάνεια πάνω στο άτομο και τόσο υψηλότερη ή χαμηλότερη είναι η  $T_{mrt}$  στο συγκεκριμένο σημείο. Αυτή η παράμετρος χαρακτηρίζεται ως η πιο σημαντική για

τον υπολογισμό του θερμικού ισοζυγίου του ανθρώπου, ιδιαίτερα όταν αναφερόμαστε σε άκρως δυσμενείς θερμικές συνθήκες (Matzarakis, 1995).

Για να είναι εφικτός ο υπολογισμός της  $T_{mrt}$  πρέπει να γνωρίζουμε τα χαρακτηριστικά και τις διαστάσεις των επιφανειών που ακτινοβολούν γύρω από το σώμα που μελετάμε.

Επίσης θα πρέπει να ληφθούν υπόψη ο προσανατολισμός του ατόμου σε σχέση με τις πηγές ακτινοβολίας και το ορατό μέρος του ουράνιου θόλου.



**Σχήμα 11:** Το μέγεθος της επιφάνειας ενός ατόμου στην οποία επιδρά η άμεση ηλιακή ακτινοβολία σαν συνάρτηση του ύψους του ήλιου και του αζιμούθιου (Parsons, 1993).

Στον υπολογισμό του  $T_{mrt}$  σημαντικό ρόλο παίζει ο τρόπος με τον οποίο η άμεση ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει στον άνθρωπο, η λευκαύγεια (Albedo), το πάχος της ενδυμασίας και το χρώμα του δέρματος.

### 1.1.7. Υγρασία αέρα

Η υγρασία του περιβάλλοντος μπορεί να εκφραστεί με διάφορες μορφές. Οι συνηθέστερες είναι η σχετική υγρασία (%) και η τάση των υδρατμών (mb).

Τάση υδρατμών (e) ονομάζεται η μερική πίεση των υδρατμών που δημιουργούνται κατά την εξάτμιση του νερού και διαχέονται στον περιβάλλοντα αέρα με τον οποίο αναμιγνύονται και ασκούν πίεση.

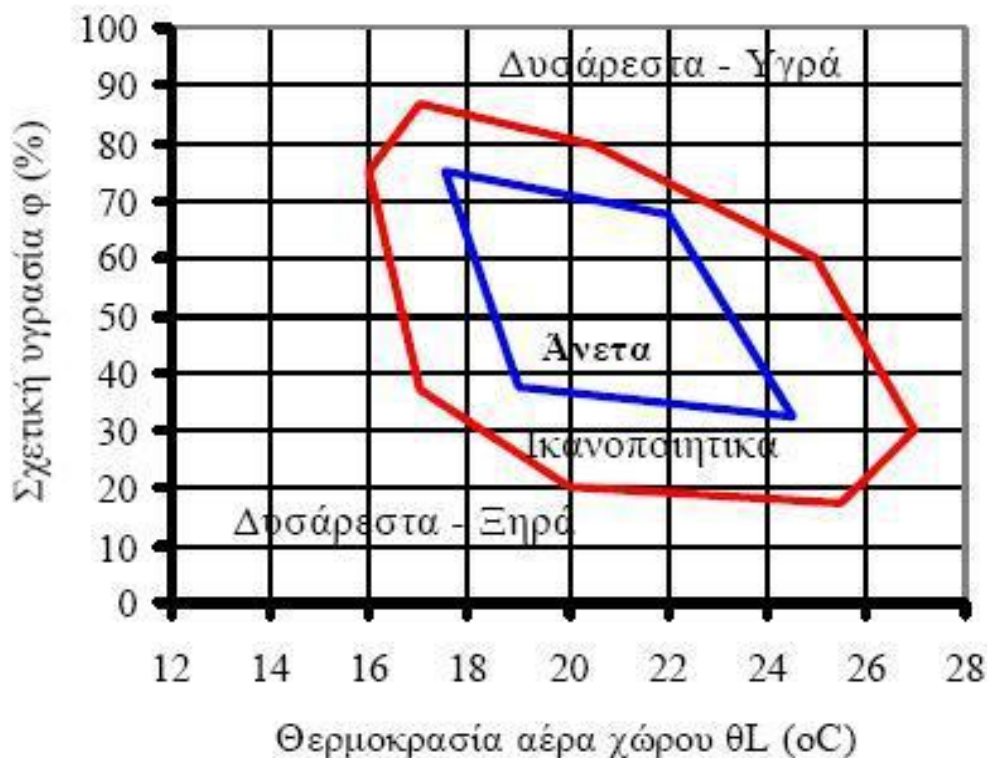


Σχετική υγρασία (RH) του ατμοσφαιρικού αέρα ονομάζεται ο λόγος της μάζας των υδρατμών που περιέχονται σε δεδομένο όγκο υγρού αέρα, προς τη μάζα των υδρατμών που θα περιείχε ο όγκος αυτός, αν ήταν κορεσμένος σε υδρατμούς, κάτω από τις ίδιες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας (Α.Παπαδόπουλος,2006). Είναι ίση με το λόγο της τάσης των υδρατμών, προς τη μέγιστη τάση αυτών, στην ίδια τιμή της θερμοκρασίας του δείγματος. Η σχετική υγρασία επηρεάζει την εξάτμιση του νερού από την επιδερμίδα μεταβάλλοντας τη θερμοκρασία του δέρματος και επηρεάζοντας το θερμικό ισοζύγιο του σώματος.

Συνοπτικά η υγρασία του αέρα επηρεάζει τους εξής τρεις μηχανισμούς του ανθρωπίνου σώματος:

- Το μηχανισμό διάχυσης των υγρών υπό τη μορφή αερίων του σώματος μέσω του δέρματος
- Το μηχανισμό εξάτμισης του ιδρώτα από την επιφάνεια του δέρματος, και
- Το μηχανισμό ύγρανσης του εισπνεόμενου αέρα

Οι μηχανισμοί της διάχυσης και της εξάτμισης εξαρτώνται άμεσα από τη σχετική υγρασία του αέρα. Σε περιβάλλον με υψηλή περιεκτικότητα σε υδρατμούς ( $RH > 70\%$ ) και υψηλή θερμοκρασία το σώμα μας ενεργοποιεί το μηχανισμό της εφίδρωσης. Παρόλα αυτά η εξάτμιση του ιδρώτα είναι αδύνατη σε αέρα με υψηλό περιεχόμενο υδρατμών, και έτσι ο ιδρώτας παραμένει στο δέρμα διαβρέχοντας το. Αυτή η κατάσταση οδηγεί το σώμα να αισθάνεται τη θερμοκρασία του αέρα υψηλότερη και την ατμόσφαιρα 'πυκνότερη'. Αντίθετα, σε περιβάλλον με μικρό ποσοστό υδρατμών στον ατμοσφαιρικό αέρα ( $RH < 30\%$ ) πραγματοποιείται εξάτμιση μεγάλου ποσοστού ιδρώτα.



**Σχήμα 12:** Διάγραμμα συσχέτισης θερμικής άνεσης, θερμοκρασίας και υγρασίας (Α.Παπαδόπουλος, 2006).

### 1.1.8. Ταχύτητα ανέμου

Η ταχύτητα του ατμοσφαιρικού αέρα που περιβάλλει τον άνθρωπο μπορεί να επηρεάσει τη ροή από και προς το σώμα και κατά συνέπεια να επηρεάσει την θερμοκρασία του ανθρωπίνου σώματος.

Η κίνηση του αέρα συνδέεται με δύο παραμέτρους:

- Την ταχύτητα του ανέμου και
- Τη μορφή της ροής του αέρα, αν είναι στρωτή ή τυρβώδης.

Το ανθρώπινο σώμα δεν διαθέτει ειδικά αισθητήρια για την αντίληψη της ταχύτητας του αέρα. Αυτή προσδιορίζεται έμμεσα από τον ανθρώπινο εγκέφαλο και από τις μεταβολές της θερμοκρασίας στο δέρμα.

Σε συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών και υψηλής σχετικής υγρασίας, η αύξηση της ταχύτητας του αέρα προσφέρει αυξημένες απώλειες θερμότητας με αποτέλεσμα πιο ισορροπημένο θερμικό ισοζύγιο. Σε αντίθετη περίπτωση όταν έχουμε χαμηλές θερμοκρασίες, η αυξημένη ταχύτητα αέρα επιταχύνει τις απώλειες θερμότητας από το σώμα, σε σημείο που να προκαλεί τη δυσφορία.

Η δεύτερη παράμετρος που επηρεάζει τις απώλειες θερμότητας από το σώμα είναι ο τύπος της ροής του αέρα. Ο τύπος της ροής και συγκεκριμένα ο βαθμός της τύρβης επηρεάζει τη θερμοκρασία του δέρματος ακόμη και με τη μέση ταχύτητα του αέρα να είναι σταθερή. Οι άνθρωποι φαίνεται να μην προτιμούν μεταβολές στην ταχύτητα του αέρα που προσομοιώνουν την τυρβώδη ροή, καθώς σε υψηλά ποσοστά τύρβης το ποσοστό των δυσαρεστημένων ατόμων είναι μεγάλο (Parsons, 1993).

### 1.1.9. Ενδυμασία του ανθρώπου

Ο άνθρωπος προσαρμόζει την ενδυμασία του ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στο περιβάλλον που κινείται. Τις τελευταίες δεκαετίες η εισαγωγή της στο ενεργειακό ισοζύγιο του ανθρώπου και κατ' επέκταση στα μαθηματικά μοντέλα οδήγησαν σε ορθότερο υπολογισμό της θερμικής άνεσης του ανθρώπου.

Η βασικότερη παράμετρος της ενδυμασίας είναι η θερμική αντίσταση της ένδυσης (thermal insulation of clothing Clo). Η θερμική αντίσταση που οφείλεται στην ένδυση επηρεάζει το μηχανισμό μεταφοράς θερμότητας μεταξύ ανθρωπίνου σώματος και περιβάλλοντος. Έτσι έχουμε αντίσταση στην αισθητή μεταφορά θερμότητας από τα στρώματα της ενδυμασίας και συνήθως εκφράζεται σε μονάδες Clo. Η μονάδα Clo είναι η αριθμητική έκφραση της συνολικής θερμικής αντίστασης της ένδυσης,  $1 \text{ Clo} = 0.155 \text{ m}^2 \text{ K/W}$  ( $\text{m}^2 \text{ K/W}$ : συντελεστής θερμοπερατότητας, W: Watt,  $\text{m}^2$ : τετραγωνικά μέτρα, K: μονάδες Kelvin) Η μονάδα αυτή εισάχθηκε ώστε να διευκολύνει την έκφραση της παραμέτρου της ενδυμασίας και βασίζεται στην αντίσταση η οποία προκύπτει από ένα κουστούμι εργασίας (1.0 Clo)

Η δεύτερη παράμετρος της ένδυσης είναι ότι μειώνει τη ταχύτητα εξάτμισης του ιδρώτα από το σώμα. Η αντίσταση της εξάτμισης είναι μέτρο της διαπερατότητας της υγρασίας η οποία επιδρά στη μεταφορά της λανθάνουσας θερμότητας από το δέρμα στη στρώση της ένδυσης και

επηρεάζει την απώλεια θερμότητας εξαιτίας της εξάτμισης από το δέρμα στο περιβάλλον (Fanger, 1972).

Για τον υπολογισμό της θερμικής αντίστασης της συνολικής ενδυμασίας αναπτύχθηκαν εμπειρικές εξισώσεις μετά από πειραματικούς υπολογισμούς. Οι Sprague και Munson (1974) εισήγαγαν ξεχωριστές εξισώσεις για το ανδρικό και το γυναικείο ντύσιμο για τον υπολογισμό της θερμικής αντίστασης .

$$I_{cl} = 0.727 \cdot \Sigma I_x + 0.113 \text{ (ανδρικό)}$$

$$I_{cl} = 0.770 \cdot \Sigma I_x + 0.050 \text{ (γυναικείο)}$$

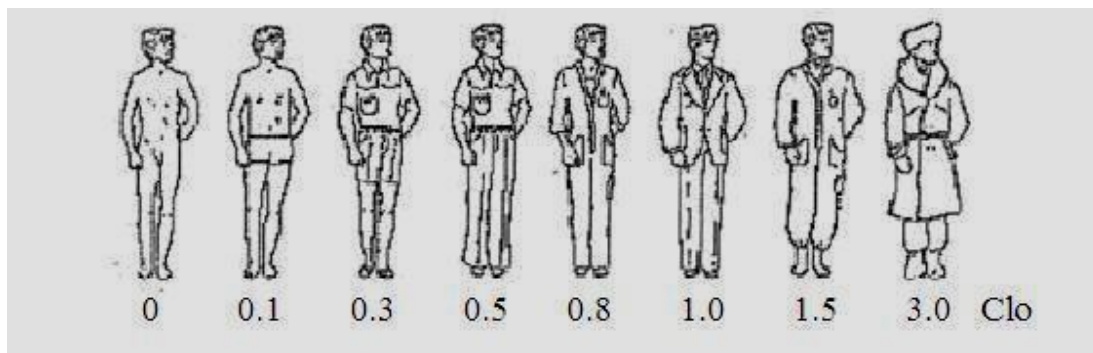
οπού  $I_{cl}$  η θερμική αντίσταση της συνολικής ενδυμασίας και  $I_x$  η τιμή για κάθε ξεχωριστό ένδυμα (Ματζαράκης, 1995).

Ο Robert Vale (2000) εισήγαγε για τον υπολογισμό της θερμικής αντίστασης της συνολικής ενδυμασίας την εξίσωση :  $I_{cl} = 0.82 \cdot \Sigma I_{cl_i}$

όπου  $I_{cl}$  είναι η συνολική θερμική αντίσταση και  $I_{cl_i}$  είναι η τιμή της θερμικής αντίστασης για κάθε ένδυμα.

**Πίνακας 1:** Τιμές θερμικής αντίστασης για συγκεκριμένη ενδυμασία (Fanger, 1972)

| Τιμές Clo ( $I_{cl}$ ) | Ενδυμασία           | Ενδυμασία<br>Τιμές Clo( $I_{cl}$ ) | Ενδυμασία          |
|------------------------|---------------------|------------------------------------|--------------------|
| 0                      | Γυμνός              | 0,25                               | Κοντό φόρεμα       |
| 0,03                   | Εσώρουχα            | 0,4                                | Μακρομάνικο φόρεμα |
| 0,15                   | Κοντομάνικη μπλούζα | 0,35                               | Ζακέτα             |
| 0,25                   | Μακρομάνικη μπλούζα | 0,6                                | Παλτό              |
| 0,05                   | Κάλτσες             | 0,05                               | Γάντια             |
| 0,06                   | Κοντό παντελόνι     | 0,03                               | Παπούτσια          |



**Σχήμα 13:** Τιμές θερμικής αντίστασης για τυπικές ενδυμασίες (Fanger, 1972)

## 1.1.10. Μεταβολική δραστηριότητα

Ο ανθρώπινος οργανισμός ακόμα και όταν ηρεμεί παράγει έργο, λόγω π.χ. της κίνησης του αίματος μέσα στις αρτηρίες με αποτέλεσμα την εμφάνιση του έργου τριβής. Το έργο που παράγεται μέσα στον ανθρώπινο οργανισμό μετατρέπεται σε θερμότητα και αποτελεί μέρος της εσωτερικής θερμότητας στο ενεργειακό ισοζύγιο. Από την στιγμή που ο άνθρωπος κινείται τότε ένα μέρος της διαθέσιμης ενέργειας μετατρέπεται σε έργο προς τα έξω και παύει να αποτελεί διαθέσιμη θερμότητα για τον οργανισμό.

**Πίνακας 2:** Ρυθμός μεταβολισμού για τυπικές δραστηριότητες (ASHRAE 55, 1992)

| <b>Δραστηριότητα</b>    | <b>Ρυθμός μεταβολισμού (met)</b> |
|-------------------------|----------------------------------|
| Ξαπλωμένος              | 0,8                              |
| Καθισμένος, ήρεμα       | 1                                |
| Καθιστική δραστηριότητα | 1,2                              |
| Όρθιος, άνετα           | 1,2                              |
| Ελαφρά δραστηριότητα    | 1,6                              |
| Μέτρια δραστηριότητα    | 2                                |
| Βαριά δραστηριότητα     | 3                                |

## 1.2. Βιοκλιματικοί Δείκτες

### 1.2.1. Ορισμός Βιοκλιματικών Δεικτών

Για να είναι δυνατή η ποσοτικοποίηση και η έκφραση της θερμικής άνεσης του ανθρώπου έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι σήμερα πολλές μελέτες. Οι μελέτες αυτές αποφάνθηκαν πως υπάρχουν τέσσερις τρόποι προσέγγισης του προβλήματος: η φυσική προσομοίωση, οι πειραματικές μελέτες, οι μελέτες επιδημιολογίας και τα μαθηματικά μοντέλα.

Η χρήση των μαθηματικών μοντέλων ξεκίνησε το 1960 και συνεχίζεται μέχρι σήμερα υπολογίζοντας δείκτες που λαμβάνουν υπόψη το θερμικό ισοζύγιο του ανθρώπου. Πρόοδο στην ανάπτυξη των μοντέλων αποτέλεσε η εισαγωγή φυσιολογικών στοιχείων όπως είναι η μάζα του σώματος, η κυκλοφορία του αίματος, η θερμοκρασία και υγρασία του δέρματος κ.α. (Wissler, 1963 και Stolwijk, 1970).

Κατά τη διάρκεια του τελευταίου αιώνα έχουν δημιουργηθεί αρκετοί θερμικοί δείκτες, με ποικίλους στόχους, οι οποίοι με διαφορετικό τρόπο μπορούν να υπολογίσουν το θερμικό περιβάλλον και την θερμική αίσθηση του ανθρώπου. Λίγοι απ' αυτούς όμως αναφέρονται στο θερμικό ισοζύγιο του ανθρώπου.

Μια ομάδα δεικτών είχε ως συγκεκριμένο στόχο τον υπολογισμό καταστάσεων εντόνου θερμικού στρες. Τέτοιοι δείκτες είναι οι Heat Stress Index (Belding and Hatch, 1965), Oxford

Index (Lind et.al, 1957) κ.α. Οι δείκτες αυτοί δημιουργήθηκαν με σκοπό να χρησιμοποιούνται ως βάση για τον υπολογισμό της φυσιολογικής ανοχής σε θερμά περιβάλλοντα, έτσι ώστε να οροθετούνται τα όρια ασφαλείας και οι ώρες αντοχής των εργατών σε ορυχεία και σε βιομηχανίες. Είναι όμως ακατάλληλοι για υπολογισμούς σε κανονικά περιβάλλοντα.

Μια άλλη ομάδα δεικτών συνδύαζε την επίδραση στον άνθρωπο δυο ή περισσότερων μεταβλητών του περιβάλλοντος σε μια μόνο μεταβλητή. Στην ίδια κατηγορία ανήκουν επίσης και αρκετά όργανα που δημιουργήθηκαν με σκοπό να ενοποιήσουν την επίδραση δύο ή περισσότερων μεταβλητών σε μια τιμή.

Ο Bedford (1930) δημιούργησε ένα δείκτη που δίνει τη μέση τιμή που προκύπτει από τις τέσσερις βασικές περιβαλλοντικές παραμέτρους. Δεν λάμβανε όμως υπ' όψη ούτε το επίπεδο δραστηριότητας ούτε την ενδυμασία. Οι ίδιες εφαρμογές για αυτό το δείκτη εφαρμοστήκαν και το 1940 από το Va Zuilen. Ομοίως ο C.G Webb το 1949 δημιούργησε το Equatorial Comfort Index βασισμένο σε μελέτη που πραγματοποίησε στην Σιγκαπούρη στην οποία έλαβαν μέρος 20 άτομα. Όμως ούτε αυτός ο δείκτης συμπεριλάμβανε το βαθμό δραστηριότητας και την ένδυση ως μεταβλητές με αποτέλεσμα να έχει μειωμένες εφαρμογές.

Μια άλλη θεωρητική προσέγγιση έγινε από τον Nishi και τους συνεργάτες του και τον Lustinec το 1972 η οποία ανέλυε την επίδραση της ένδυσης και των άλλων περιβαλλοντικών παραμέτρων βάση της υποθετικής θερμοκρασίας του δέρματος η οποία είναι απαραίτητη για να διατηρήσει τη θερμική ισορροπία του ανθρωπίνου σώματος.

Πρόοδο στην ανάπτυξη των μοντέλων αποτέλεσε η εισαγωγή φυσιολογικών στοιχείων όπως είναι η μάζα του σώματος, η κυκλοφορία του αίματος, η θερμοκρασία και η υγρασία του δέρματος, η εναλλαγή θερμότητας στις αρτηρίες κ.λ.π (Wissler 1963, Stolwijk 1970). Οι Berglund και Stolwijk (1978) συγκρίνανε και αξιολόγησαν τα σπουδαιότερα μοντέλα και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι το ενεργειακό ισοζύγιο περιγράφει την πλήρη επίδραση του θερμικού περιβάλλοντος στον άνθρωπο.

## 1.2.2. Είδη Βιοκλιματικών Δεικτών

Οι δείκτες που χρησιμοποιούνται ευρέως σήμερα είναι δείκτες με φυσιολογική συσχέτιση που απορρέουν από το θερμικό ισοζύγιο του ανθρώπου. Έγινε προσπάθεια να προσομοιάσει το ισοζύγιο του ανθρωπίνου σώματος με μια μαθηματική σχέση. Οι Horpe και Hammer (1986) βάση του πρώτου νόμου της θερμοδυναμικής κατέληξαν σε μια μορφή του ενεργειακού ισοζυγίου:

$$M - QSHIV - W \pm Q^* \pm QH - QL - QSW \pm QRE \pm N \pm S = 0$$

Όπου M: μεταβολισμός, QSHI: παραγωγή θερμότητας από ρίγος, W: μηχανικό έργο, Q\*: ισοζύγιο ακτινοβολίας, QH: ροή αισθητής θερμότητας, QL: ροή λανθάνουσας θερμότητας, QSW: ροή λανθάνουσας θερμότητας από εξάτμιση ιδρώτα, QRE: αναπνευστική ροή θερμότητας, N: αισθητή ροή θερμότητας για την εξίσωση της θερμοκρασίας της τροφής στο ύψος της θερμοκρασίας του πυρήνα του ανθρώπου, S: συσσωρευτική ροή θερμότητας από μεταβολές της εσωτερικής θερμοκρασίας.

Όλες οι ενεργειακές ροές είναι εκφρασμένες σε Watts και θεωρούνται ως θετικές όταν κατευθύνονται προς την επιφάνεια του οργανισμού και ως αρνητικές όταν απομακρύνονται από την επιφάνεια του.

Δείκτες που προσομοιάζουν το θερμικό ισοζύγιο του ανθρώπινου σώματος σε μια μαθηματική σχέση έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιούνται ευρύτατα τα τελευταία χρόνια (Franger 1972, Jendrizky 1979, Hopper 1984, Hammer 1985). Κάποιοι από αυτούς τους δείκτες είναι ο PMV ο PET και ο SET\*.

**Predicted Mean Vote (PMV):** εισήχθη από τον Franger το 1972 στηριζόμενος σε μια εμπειρική εξίσωση ενός συνόλου ατόμων, τα οποία εκτέθηκαν για μεγάλο χρονικό διάστημα σε σταθερές συνθήκες και σταθερό ρυθμό μεταβολισμού. Ορίζεται ως ο Μέσος Αναμενόμενος Θερμικός Δείκτης, που προβλέπει τη μέση τιμή των ψήφων μιας μεγάλης ομάδας ανθρώπων σε μια επταβάθμια κλίμακα αίσθησης θερμότητας. Βασίζεται σε περιβαλλοντικές παραμέτρους όπως η θερμοκρασία του αέρα, η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας, η ταχύτητα του ανέμου και η υγρασία, καθώς και στο μεταβολικό ρυθμό και την θερμομονωτική ικανότητα του ρουχισμού (ISO 7730, 1994). Βασίζεται σε ένα μοντέλο θερμικής μεταφοράς μεταξύ ανθρώπινου σώματος και περιβάλλοντος.

**Πίνακας 3:** Ταξινόμηση των τιμών του δείκτη PMV σύμφωνα με την επταβάθμια κλίμακα της ASHRAE (Fanger, 1972)

| Τιμές PMV | Ανθρώπινη θερμική αίσθηση |
|-----------|---------------------------|
| 3         | Πολύ ζεστή                |
| 2         | Ζεστή                     |
| 1         | Λίγη ζεστή                |
| 0         | Θερμικά ουδέτερο (άνεση)  |
| -1        | Ελαφρά δροσερό            |
| -2        | Δροσερό                   |
| -3        | Κρύο                      |

**Πίνακας 4:** Ταξινόμηση της θερμικής επιβάρυνσης του ανθρώπινου οργανισμού αναλογεί στις διάφορες τιμές του PMV(Fanger, 1972)

| Απόλυτη τιμή του PMV | Βαθμός επιβάρυνσης     |
|----------------------|------------------------|
| 0.0 - 0.5            | Καμία επιβάρυνση       |
| 0.6 - 1.2            | Ελαφρά επιβάρυνση      |
| 1.3 - 2.0            | Μέτρια επιβάρυνση      |
| 2.1 - 3.0            | Μεγάλη επιβάρυνση      |
| > 3.0                | Πολύ μεγάλη επιβάρυνση |

## Υπολογισμός του δείκτη **Physiological Equivalent Temperature (PET)**

Για τη ποσοτικοποίηση των συνθηκών θερμικής άνεσης στους χώρους που μελετήσαμε έγινε χρήση βιομετεωρολογικού δείκτη. Στην παρούσα μελέτη επιλέχθηκε ο δείκτης PET (Physiological Equivalent Temperature). Τα κριτήρια με βάση τα οποία επιλέχθηκε ο συγκεκριμένος δείκτης είναι η διαδεδομένη χρήση του σε μελέτες για τη θερμική άνεση, η εφαρμογή του σε κλιματικές συνθήκες παρόμοιες με της Ελλάδας και το ότι δίνει τα αποτελέσματα σε βαθμούς Κελσίου (°C) κάνοντας τα έτσι ακόμα πιο κατανοητά.

Για τον υπολογισμό του δείκτη αυτού, είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε τη θερμοκρασία, την υγρασία του αέρα, την ηλιακή ακτινοβολία, την ταχύτητα του ανέμου αλλά και στοιχεία για το αντικείμενο που μελετάμε, δηλαδή τον άνθρωπο. Για να είναι συγκρίσιμες οι τιμές του PET υποθέτουμε ότι η δραστηριότητα ενός ατόμου, με ύψος 1.75m βάρος 75 kg και ηλικία 35 ετών, είναι ίση με 80 W και η αντίσταση στην μεταφορά θερμότητας προέρχεται από ρουχισμό με συντελεστή 0.9 Clo (Matzarakis et al 1999, Horpe 1999). Ο PET υπολογίζεται μέσω των εξισώσεων του μοντέλου M.E.M.I (Mayer 1993) οι οποίες μπορούν να ενσωματωθούν σε πιο απλά λογισμικά όπως το RayMan.

Η βασική ιδέα δημιουργίας του PET ήταν η ‘μεταφορά’ των πραγματικών βιομετεωρολογικών συνθηκών σε ένα ισοδύναμο ιδεατό εσωτερικό περιβάλλον που προκαλεί την ίδια θερμική αίσθηση. Στην ουσία ο δείκτης αυτός μεταφράζει τη θερμική αίσθηση ενός ανθρώπου με τα χαρακτηριστικά που προαναφέρθηκαν, ο οποίος βρίσκεται σε εξωτερικό χώρο και δέχεται την επίδραση των θερμοϋγρομετρικών συνθηκών, των ακτινοβολιών και της πνοής του ανέμου στην αντίστοιχη θερμοκρασία εσωτερικού χώρου χωρίς ακτινοβολίες με ταχύτητα ανέμου 0,1 m/s και σταθερή τάση ατμών 12 kPa.

Ο δείκτης PET εκφράζεται σε °C και κατηγοριοποιείται το θερμικό στρες σε διάφορες κλίμακες θερμικής αίσθησης και θερμικού στρες (Πίνακας 5) Με αυτό το τρόπο τα αποτελέσματα είναι πιο κατανοητά ακόμα και σε χρήστες που δεν είναι τόσο εξοικειωμένοι με την ορολογία της σύγχρονης βιοκλιματολογίας.

**Πίνακας 5:** Ταξινόμηση των τιμών του δείκτη PET για διαφορετικές θερμικές αντιλήψεις και επίπεδα θερμικού στρες με δεδομένο ότι ο μεταβολισμός είναι 80 W και αντίσταση ντυσίματος 0.9 clo (Matzarakis and Mayer, 1996)

| Τιμές PET(°C) | Θερμική αίσθηση | Θερμικό στρες          |
|---------------|-----------------|------------------------|
| 4             | Πολύ Ψυχρά      | Υπερβολικά ψυχρό στρες |
| 8             | Ψυχρά Κρύο      | Έντονο ψυχρό στρες     |
| 13            | Κρύο            | Μέτριο ψυχρό στρες     |
| 18            | Ελαφρά κρύο     | Ελαφρύ ψυχρό στρες     |
| 23            | Ουδέτερο        | Θερμική άνεση          |
| 29            | Ελαφρά ζέστη    | Ελαφρύ θερμικό στρες   |
| 35            | Ζεστή           | Μέτριο θερμικό στρες   |
| 41            | Έντονη ζέστη    | Έντονο θερμικό στρες   |

Standard Effective Temperature (SET\*): Παρουσιάζει αριθμητικά την αίσθηση θερμικής καταπόνησης για συγκεκριμένα άτομα κάτω από διάφορες συνθήκες. Πλεονεκτεί στο γεγονός ότι επιτρέπει τη σύγκριση μεταξύ διάφορων περιβαλλόντων, σε διάφορους συνδυασμούς μεταβλητών δεδομένων. Μειονεκτεί στο ότι απαιτεί συγκεκριμένα άτομα.

**Πίνακας 6:** Συσχέτιση τιμών SET\*, θερμικής αίσθησης και φυσιολογικής κατάστασης ατόμων χωρίς δραστηριότητα (ASHRAE 55, 1981)

| Θερμοκρασία (°C) | Θερμική αίσθηση | Φυσιολογική κατάσταση ενός ατόμου χωρίς δραστηριότητα |
|------------------|-----------------|---|
| > 37.5           | Πάρα πολύ ζέστη | Μη ικανότητα συγκρότησης                              |
| 34.5 - 37.5      | Πολύ ζέστη      | Έντονη εφίδρωση                                       |
| 30.0 - 34.5      | Ζέστη           | Εφίδρωση  |
| 25.6 - 30.0      | Ελαφρά ζέστη    | Εφίδρωση - αγγειοδιαστολή                             |
| 22.2 - 25.6      | Θερμική άνεση   | Θερμική ουδετερότητα                                  |
| 17.5 - 22.2      | Ελαφρά κρύο     | Αγγειοσυστολή   |
| 14.5 - 17.5      | Κρύο            | Ελαφρό ψύχος  |

Οι βιοκλιματικοί δείκτες ανάλογα με τις θερμοκρασιακές συνθήκες που επικρατούν διακρίνονται σε δείκτες ψυχρού περιβάλλοντος και σε δείκτες θερμού περιβάλλοντος (Matzarakis, 1995).

Οι δείκτες που αναφέρονται στο ψυχρό περιβάλλον συνδυάζουν την επίδραση της θερμοκρασίας του αέρα και της ταχύτητας του ανέμου σε ένα δείκτη. Η εξίσωση που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του ρυθμού ψύξης ενός εκτεθειμένου σώματος είναι:

$$Wcl = (10v+10, 45 -v) (33-ta)$$

Οι Δείκτες οι οποίοι αναφέρονται στο θερμό περιβάλλον: είναι αριθμοί οι οποίοι συνδυάζουν την επίδραση της θερμοκρασίας του αέρα με διάφορους δείκτες υγρασίας για την μελέτη της εξάτμισης, που προκαλείται από το ανθρώπινο σώμα. Αυτοί οι δείκτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον αστικό σχεδιασμό και για τον υπολογισμό ασφαλών ορίων εργασίας.

### 1.3. Εφαρμογή του μοντέλου-λογισμικού RayMan

Για τον υπολογισμό του δείκτη PET χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο – λογισμικό RayMan. Το λογισμικό αυτό δημιουργήθηκε στο Μετεωρολογικό Ινστιτούτο του Πανεπιστημίου Freiburg από τους A. Matzaraki και F. Rutz. Το πρόγραμμα δημιουργήθηκε για να επιτευχθεί η ποσοτικοποίηση της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας (Mean Radiant Temperature) σε αστικά περιβάλλοντα και για τον υπολογισμό των θερμικών δεικτών Physiological Equivalent Temperature (PET), Predicted Mean Vote (PMV) και Standard Effective Temperature (SET\*). Είναι ένα πολύ καλό εργαλείο για εφαρμογές στο κλάδο της Κλιματολογίας γιατί μπορεί να



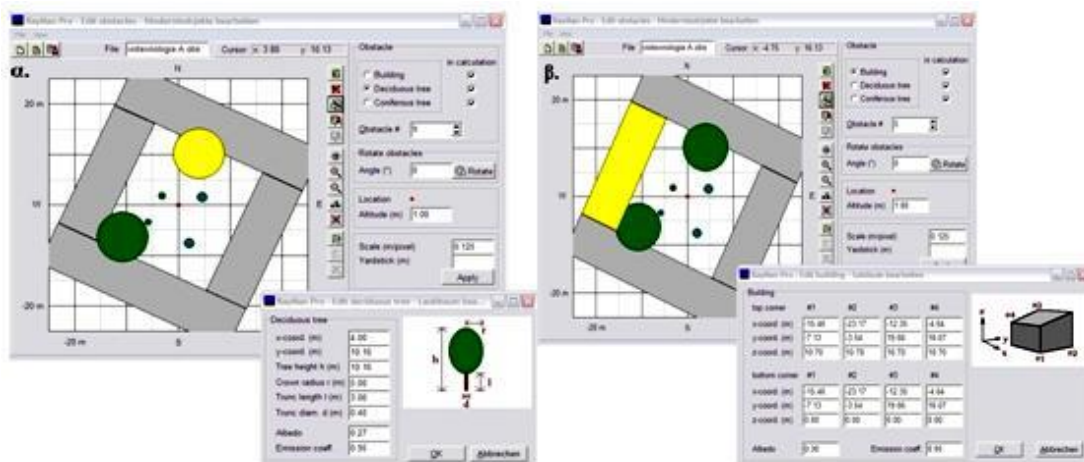
υπολογίσει τη διάρκεια της ηλιοφάνειας, τη διαδρομή του ήλιου κατά τη διάρκεια της ημέρας, τη σκίαση καθώς και την συνολική ακτινοβολία. Έχει βρει εφαρμογή σε πολλούς κλάδους της κλιματολογίας όπως για παράδειγμα, στην αστική κλιματολογία, στην τουριστική κλιματολογία και το τουριστικό σχεδιασμό, στην αγροτική κλιματολογία, στην τοπογραφική κλιματολογία και στην ανθρώπινη βιοκλιματολογία. Το λογισμικό RayMan λειτουργεί σε περιβάλλον Microsoft Windows και είναι ιδιαίτερα φιλικό προς το χρήστη.

Οι παράμετροι που εισάγονται στο μοντέλο είναι μετεωρολογικά δεδομένα, δεδομένα γεωμετρικής – τοπογραφικής διαμόρφωσης του περιβάλλοντος χώρου και δεδομένα σχετιζόμενα με τον ανθρώπινο οργανισμό. Τα δεδομένα διαμόρφωσης του περιβάλλοντα χώρου μπορεί να εισαχθούν ως ψηφιακές φωτογραφίες για υπολογισμό του συντελεστή θέασης του ουράνιου θόλου (Sky View Factor - SVF) το ανάγλυφο του εδάφους, τα ‘εμπόδια’ του περιβάλλοντος χώρου (δένδρα και κτηριακές εγκαταστάσεις).

Ως δεδομένα σχετιζόμενα με τον ανθρώπινο οργανισμό μπορεί να εισαχθούν το ύψος, το βάρος, το φύλο, ο συντελεστής ένδυσης και η δραστηριότητα του ατόμου. Στα μετεωρολογικά δεδομένα μπορούν να εισαχθούν είναι, η ταχύτητα του ανέμου  $V$  (m/s), η θερμοκρασία του αέρα  $T_a$  (°C), η τάση των ατμών  $VP$  (hPa), η σχετική υγρασία  $RH$  (%), η ολική ηλιακή ακτινοβολία  $G$  ( $W/m^2$ ) και τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας  $T_{mrt}$  (°C).

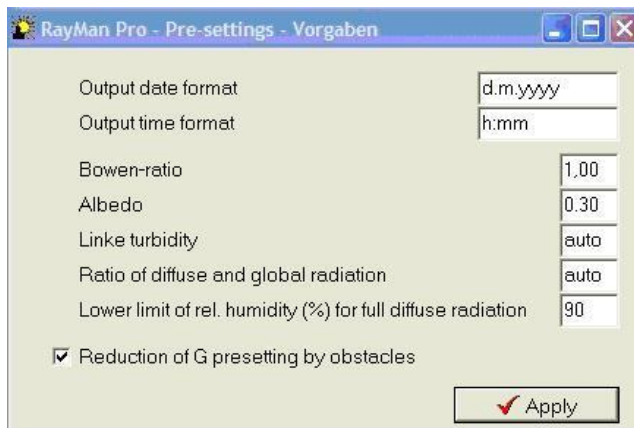
Πιο συγκεκριμένα μέσω της επιλογής ‘input’ μπορούμε να εισάγουμε τη τοπογραφία του χώρου, τα ‘εμπόδια’ που υπάρχουν, το φάκελο με τα δεδομένα μας, το συντελεστή θέασης ουρανού καθώς επίσης να ρυθμίσουμε τα επιπρόσθετα δεδομένα.

Μέσω της παραμέτρου ‘εμπόδια’ γίνεται απεικόνιση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της φυτοκάλυψης και των κτηριακών εγκαταστάσεων.

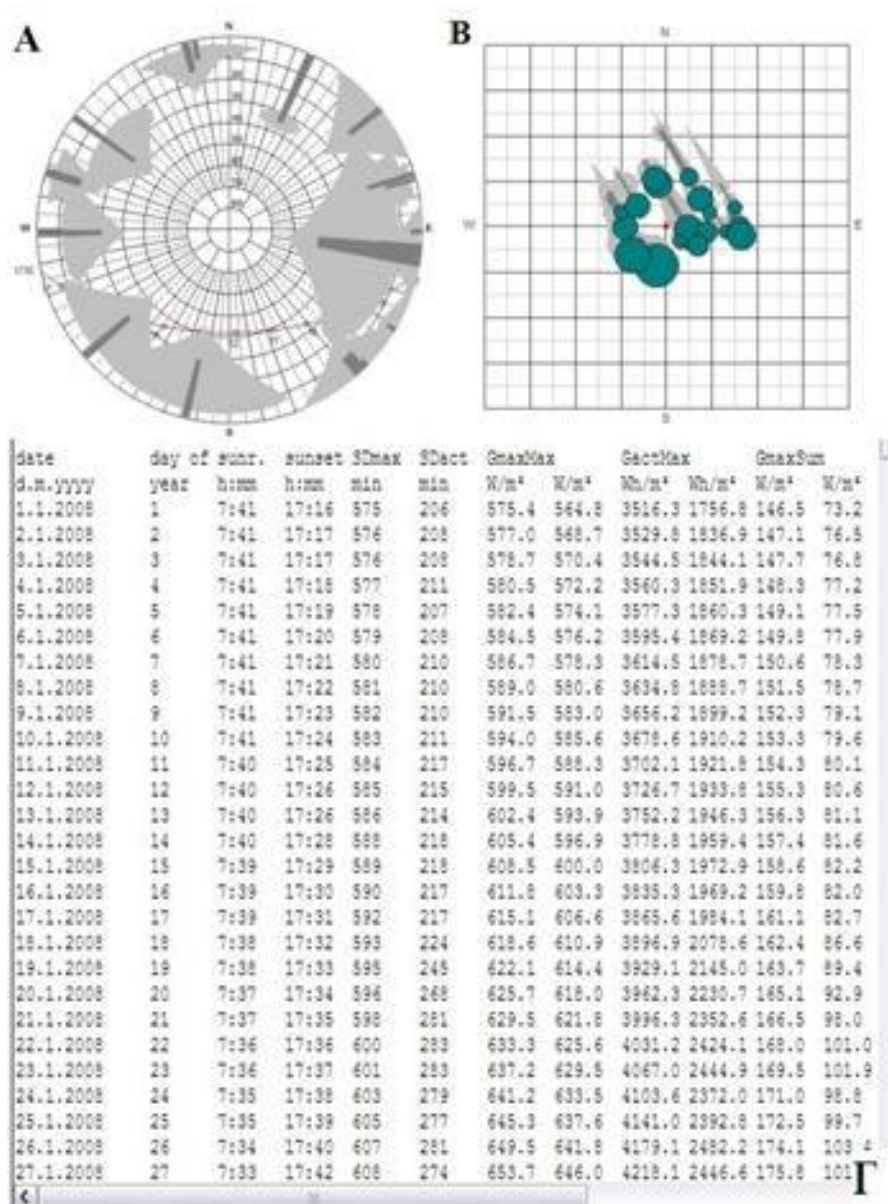


**Σχήμα 14 :** Απεικόνιση χαρακτηριστικών σημείων κλειστού τεχνητού αίθριου με την ανάλυση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών. Ο κίτρινος κύκλος (α) και το κίτρινο παραλληλόγραμμο (β) αντιπροσωπεύουν δένδρο και κτήριο αντίστοιχα που τα γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά εμφανίζονται στο κάτω μέρος της εικόνας.

Στην παράμετρο εισαγωγής των δεδομένων, εισάγονται οι μετρήσεις που λαμβάνονται στους υπό μελέτη χώρους και επιλέγονται τα μετεωρολογικά και χρονικά δεδομένα που θα αναλυθούν. Στη παρούσα μελέτη επιλέξαμε την ημερομηνία, την ώρα, την ταχύτητα του ανέμου, τη θερμοκρασία του αέρα και την πίεση του αέρα.



**Σχήμα 15:** Οι επιλογές των μετεωρολογικών και χρονικών δεδομένων που εισάγονται στο πρόγραμμα RayMan



**Σχήμα 16:** Το λογισμικό παράθυρο RayMan για τις συμπληρωματικές ρυθμίσεις

Οι επιπρόσθετες ρυθμίσεις περιλαμβάνουν τις παραμέτρους, Bowen ratio, Albedo, Linke Turbidity και το λόγο της διάχυτης ακτινοβολίας προς την ολική ακτινοβολία. Ο όρος Bowen ratio αντιπροσωπεύει την αναλογία των ενεργειακών ροών από ένα μέσο σε ένα άλλο, μέσω της αισθητής και της λανθάνουσας θερμότητας αντίστοιχα. Υπολογίζεται από την εξίσωση  $B = Q_h / Q_e$  όπου  $Q_h$  είναι η αισθητή θερμότητα και  $Q_e$  η λανθάνουσα θερμότητα. Στην εξίσωση αυτή όταν το μέγεθος  $B$  είναι μικρότερο του ενός τότε ένα μεγάλο μέρος της διαθέσιμης ενέργειας στην επιφάνεια περνάει στην ατμόσφαιρα ως λανθάνουσα θερμότητα παρά ως αισθητή θερμότητα, ενώ το αντίθετο ισχύει όταν η αξία του  $B$  είναι μεγαλύτερη του ένα. Ο παράγοντας Linke Turbidity περιγράφει την θολότητα της ατμόσφαιρας που οφείλεται τόσο στην απορρόφηση των υδρατμών όσο και στην απορρόφηση και κατανομή των μορίων αεροζόλ σε ξηρή και καθαρή ατμόσφαιρα (WMO 1981, Kasten 1996). Το Albedo είναι το ποσοστό αντανάκλασης της ηλιακής ακτινοβολίας όταν προσπίπτει σε μια επιφάνεια. Είναι ένα μέγεθος χωρίς μονάδα μέτρησης ενδεικτικό για μια επιφάνεια ή για τη διαδιδόμενη αντανακλαστικότητα ενός σώματος. Η τιμή του εξαρτάται από τη συχνότητα της ακτινοβολίας, την κατεύθυνση και τον προσανατολισμό και την κατανομή της εισερχόμενης ακτινοβολίας. Το Albedo των τυπικών υλικών στο ορατό φως είναι σε μια κλίμακα από 0,9 για το φρέσκο χιόνι μέχρι 0,04 για το κάρβουνο, που είναι ένα από τα πιο σκούρα υλικά. Διάχυτη ακτινοβολία (diffuse radiation) είναι το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που διαχέεται από την ατμόσφαιρα και φτάνει στην επιφάνεια του εδάφους από όλα τα σημεία του ουρανού (Φλόκας, 1997). Ολική ακτινοβολία είναι το άθροισμα της άμεσης και της διάχυτης ακτινοβολίας πάνω σε μια οριζόντια επιφάνεια (Φλόκας, 1997).

Τέλος, μέσω της παραμέτρου 'output', υπολογίζονται η πορεία του ήλιου κατά την διάρκεια της ημέρας σε συνάρτηση με τα 'εμπόδια' του χώρου, η σκίαση του διαμορφωμένου χώρου και πίνακας με τα δεδομένα που έχουν εισαχθεί στο λογισμικό πρόγραμμα RayMan.

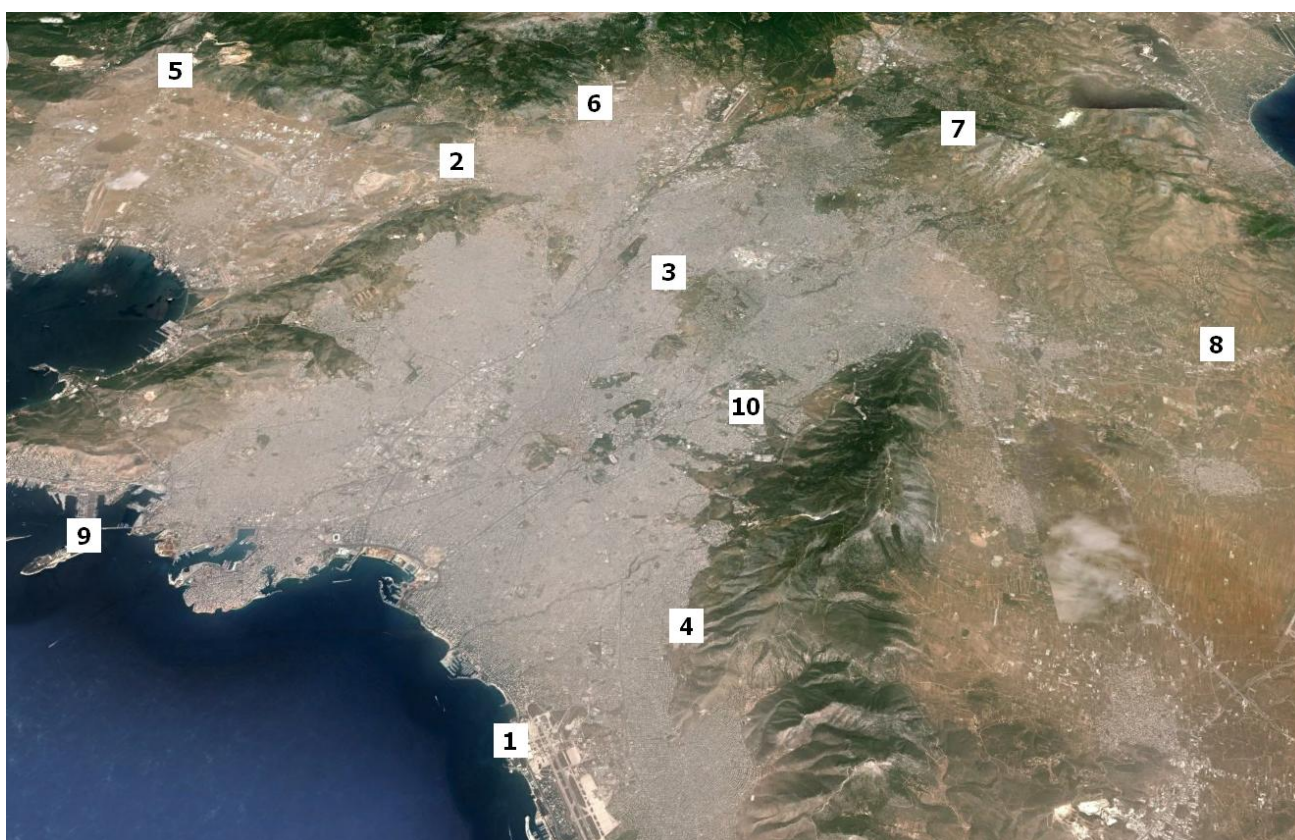


## 2. ΔΙΚΤΥΟ ΜΕΤΕΟΝΕΤ

### 2.1. Περιγραφή Του Δικτύου

Το υδρομετεωρολογικό δίκτυο ΜΕΤΕΟΝΕΤ του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου λειτουργεί από το 2005. Αποτελείται από 10 πλήρως αυτόματους τηλεμετρικούς σταθμούς οι οποίοι βρίσκονται στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας (687 km<sup>2</sup>), και καταμετρούν περιβαλλοντικές παραμέτρους υδρομετεωρολογικού ενδιαφέροντος, όπως βροχόπτωση, θερμοκρασία, σχετική υγρασία, εξάτμιση, πίεση αέρα, ηλιακή ακτινοβολία, ηλιοφάνεια, κατεύθυνση και ταχύτητα ανέμου.

Το δίκτυο έχει σχεδιαστεί και συντηρείται από το Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων, υπό την επίβλεψη της Καθ. Μαρία Μιμίκου και υποστηρίζεται από το κέντρο πληροφορικής του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Οι θέσεις των σταθμών επιλέχθηκαν με στόχο την επαρκή κάλυψη της προς έρευνα περιοχής και σε συμμόρφωση με τα αυστηρά κριτήρια καταγραφής όπως έχουν οριστεί από τον WMO, όπως και κριτήρια σχετικά με την ανύψωση του εδάφους, ασφάλεια και ευκολία πρόσβασης. Κάθε σταθμός είναι εξοπλισμένος με καταγραφικό δεδομένων το οποίο καταγράφει κάθε 10 λεπτά τις μετρήσεις όλων των αισθητήρων που είναι εγκαταστημένοι στον κάθε σταθμό. Η μεταφορά των δεδομένων γίνεται μέσω δικτύου κινητής τηλεφωνίας σε κεντρική βάση δεδομένων. Στο παρακάτω απεικονίζονται οι θέσεις των σταθμών:



**Σχήμα 17:** Χάρτης της ευρύτερης περιοχής Αθηνών με τις θέσεις των σταθμών παρακολούθησης.

**Πίνακας 7:** Πληροφοριακό υλικό σταθμών παρακολούθησης ΕΜΠ

| A/A | ΠΕΡΙΟΧΗ      | ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ<br>ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗΣ | ΥΨΟΜΕΤΡΟ<br>(m) a.s.l. | ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ<br>ΠΛΑΤΟΣ | ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ<br>ΜΗΚΟΣ |
|-----|--------------|-----------------------------|------------------------|----------------------|---------------------|
| 1   | Άγιος Κοσμάς | 25-02-2005                  | 6                      | 37.892928            | 23.717986           |
| 2   | Άνω Λιόσια   | 21-02-2006                  | 184                    | 38.076986            | 23.680289           |
| 3   | Γαλάτσι      | 15-06-2005                  | 176                    | 38.029323            | 23.757439           |
| 4   | Ηλιούπολη    | 20-05-2005                  | 206                    | 37.918328            | 23.761008           |
| 5   | Μάνδρα       | 06-07-2005                  | 258                    | 38.122980            | 23.563676           |
| 6   | Μενίδι       | 25-02-2005                  | 210                    | 38.105833            | 23.728856           |
| 7   | Πεντέλη      | 08-11-2005                  | 729                    | 38.086684            | 23.862616           |
| 8   | Πικέρμι      | 21-12-2005                  | 133                    | 38.001204            | 23.928603           |
| 9   | Ψυττάλεια    | 25-02-2005                  | 20                     | 37.943516            | 23.595094           |
| 10  | Ζωγράφου     | 05-08-2005                  | 181                    | 37.979792            | 23.779392           |

Πιο συγκεκριμένα η επιλογή των θέσεων έγινε με βάση τα παρακάτω κριτήρια:

- Κριτήρια υψομέτρου, με στόχο την εξάλειψη αποκλίσεων στην καταγραφή των δεδομένων βροχόπτωσης.
- Ασφάλεια, ευκολία πρόσβασης και κριτήρια υποδομής, έτσι ώστε κάθε σταθμός να βρίσκεται κοντά σε φυλασσόμενα δημόσια κτήρια.
- Τοπογραφικά κριτήρια, όπως ορίζονται από τις απαιτήσεις του παγκόσμιου μετεωρολογικού οργανισμού (WMO)

Με βάση τις οδηγίες του WMO για την καταγραφή καιρικών φαινομένων σε τοπική κλίμακα (πχ. Καταιγίδες), η θέση των σταθμών είναι υψίστης σημασίας. Όλοι οι σταθμοί είναι τοποθετημένοι στο έδαφος, σκεπασμένοι με γρασίδι, ή σε επιφάνεια αντιπροσωπευτική της γειτονικής περιοχής, περιφραγμένοι με φράκτες για αποφυγή ανεπιθύμητης εισόδου.

Οι θέσεις επιλέχθηκαν έτσι ώστε να είναι μακριά από δέντρα, κτίρια, τοίχους και άλλα εμπόδια, τόσο τώρα αλλά και στο μέλλον. Η απόσταση όλων των εμποδίων από τους μετρητές βροχόπτωσης επιλέχθηκε ώστε να είναι τουλάχιστον 2 φορές το ύψος του εμποδίου, βάση των προδιαγραφών της WMO.

Πέρα από τους μετρητές βροχόπτωσης, όλοι οι υπόλοιποι αισθητήρες είναι τοποθετημένοι σε ανοξείδωτο μετρολογικό ιστό ύψους 6 μέτρων, ανθεκτικός σε ταχύτητες ανέμου μέχρι και 280km/h και με κατάλληλη προστασία από κεραυνούς.

Για την λειτουργία κάθε σταθμού η απαραίτητη ενέργεια παρέχεται από ηλιακά πάνελ τα οποία είναι εγκαταστημένα στον μετρολογικό ιστό. Με αυτή την διάταξη κάθε σταθμός μπορεί να λειτουργεί μέχρι και 15 μέρες με πλήρη συννεφιά.

Στην επόμενη σελίδα, απεικονίζεται η γενική διάταξη των αισθητηρίων.



1. **Ανεμόμετρο και ανεμοδείκτης (αισθητήρας κατεύθυνσης ανέμου)**
2. **Μετρητής διάρκειας ηλιοφάνειας**
3. **Πυρανόμετρο**
4. **Ηλιακό πάνελ**
5. **Θερμοκρασία – αισθητήρας υγρασίας (θερμογράφος)**
6. **Μετρητής άμεσης ακτινοβολίας**
7. **Καταγραφικό**
8. **Δευτερεύων βροχόμετρο**
9. **Κύριο Βροχόμετρο**

**Σχήμα 18:** Γενική διάταξη των αισθητηρίων

## 2.2. Περιγραφή Οργάνων των Σταθμών

### 2.2.1. Βροχόπτωση

Το μεγαλύτερο ποσοστό κατακρήμνισης στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας είναι με την μορφή βροχόπτωσης. Εφόσον ο κύριος σκοπός του METEONET είναι η έρευνα των φαινομένων βροχόπτωσης, ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στην αξιοπιστία των τιμών αυτής της παραμέτρου εγκαθιστώντας 2 βροχόμετρα ανά σταθμό με σκοπό την αδιάλειπτη καταγραφή του ύψους της βροχής σε περίπτωση βλάβης ενός από των δύο βροχόμετρων, την ένταση και την χρονική κατανομή.

Έρευνες έχουν δείξει ότι βροχόμετρα με συμβατικό σχήμα παρεμβαίνουν με την ροή του αέρα, έτσι η ροή επιταχύνεται και η τύρβη αυξάνεται στην κορυφή του χωνιού. Για να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα εγκαταστάθηκαν αεροδυναμικά βροχόμετρα με κατάλληλο προφίλ που μειώνει την οπισθέλκουσα και την τύρβη. Επιπλέον έμφαση δόθηκε στην μη ύπαρξη εμποδίων σε γωνία 30-45 μοιρών, από την κορυφή του μετρητή μέχρι τα γύρω εμπόδια. Οι μετρητές είναι τοποθετημένοι σε ύψος 1,5m από το έδαφος.

Και στα δύο βροχόμετρα η βροχόπτωση μετράτε με την αποδεδειγμένη μέθοδο ‘tipping bucket’. Η βροχόπτωση συλλέγεται στο χωνί και μεταφέρεται σε έναν από τους δύο κάδους οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στα άκρα ενός μικρού σε μήκος βραχίονα. Η ισορροπία αλλάζει όταν ο πρώτος κάδος είναι γεμάτος, ο κάδος αδειάζει και τοποθετείται ο δεύτερος κάδος κάτω από το

χωνί. Η διαδικασία ανατροπής επαναλαμβάνεται διαρκώς όσο διαρκεί η βροχόπτωση, κάθε άδειασμα αντιστοιχεί σε μία προκαθορισμένη ποσότητα βροχόπτωσης.

Οι παλμοί κατά την διάρκεια της βροχόπτωσης μπορούν να μετρηθούν σε οποιοδήποτε χρονικό διάστημα, επιτρέποντας έτσι τον ακριβή προσδιορισμό του ρυθμού βροχόπτωσης. Το σφάλμα μέτρησης είναι λιγότερο από 5%.

#### **Τεχνικά χαρακτηριστικά πρωτεύων βροχόμετρου:**



- Κατασκευαστής: Cambell Scientific
- Μοντέλο: ARG-100
- Θερμοκρασία λειτουργίας:  $-30^{\circ}\text{C}$  έως  $+70^{\circ}\text{C}$
- Ακρίβεια:  $\pm 1\%$
- Ακρίβεια: 0.2 mm

**Σχήμα 19:** Βροχόμετρο ARG-100 (Cambell Scientific)

#### **Τεχνικά χαρακτηριστικά δευτερέων βροχόμετρου:**



- Κατασκευαστής: Young Company
- Μοντέλο: 52202
- Θερμοκρασία λειτουργίας:  $-20^{\circ}\text{C}$  έως  $+50^{\circ}\text{C}$
- Ακρίβεια:  $\pm 2-3\%$
- Ακρίβεια: 0.1 mm

**Σχήμα 20:** Βροχόμετρο 52202 (Young Company)



## 2.2.2. Θερμοκρασία - Σχετική υγρασία

Οι μετρήσεις θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας είναι αναγκαίες για μετεωρολογικές αναλύσεις, προβλέψεις, κλιματικές μελέτες και για άλλες εφαρμογές στην υδρολογία, γεωργία και μελέτες περιβάλλοντος. Αυτές οι παράμετροι είναι μεγάλης σημασίας διότι τα δεδομένα που συγκεντρώνονται χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της πιθανής εξάτμισης στην περιοχή καθώς και για βιοκλιματικούς δείκτες (π.χ. Θερμική άνεση) .

Οι δύο αισθητήρες συνήθως τοποθετούνται μαζί στον μετεωρολογικό ιστό σε απόσταση 2m από το έδαφος. Το κάλυμμα προστατεύει τους αισθητήρες θερμοκρασίας και υγρασίας από εσφαλμένες μετρήσεις. Οι πολλαπλές πλάκες έχουν προφίλ τέτοιο που μπλοκάρει την απευθείας και ανακλώμενη ακτινοβολία, επιτρέπει ωστόσο την ροή του αέρα. Το υλικό κατασκευής των πλακών είναι τέτοιο που συμβάλει στο υψηλό βαθμό αντανάκλασης, στην χαμηλή θερμική αγωγιμότητα και στην μέγιστη αντοχή σε καιρικές συνθήκες.

### Τεχνικές Προδιαγραφές αισθητηρίων θερμοκρασίας - υγρασίας :



- Κατασκευαστής: Young Company
- Μοντέλο: 41003
- Θερμοκρασία λειτουργίας:  $-40^{\circ}\text{C}$  έως  $+60^{\circ}\text{C}$
- Ακρίβεια : +/- μέχρι 2% για σχετική υγρασία και +/-  $0.3^{\circ}\text{C}$  για θερμοκρασία
- Εύρος μέτρησης: 0-100% για σχετική υγρασία και  $-40^{\circ}\text{C}$  έως  $+60^{\circ}\text{C}$  για θερμοκρασία

Σχήμα 21: Αισθητήρας θερμοκρασίας 41003 (Young Company)

## 2.2.3. Ηλιακή - Καθαρή ακτινοβολία

Οι διάφορες ροές ακτινοβολίας από και προς την επιφάνεια της Γής είναι μεταξύ άλλων οι πιο σημαντικές μεταβλητές για τη θερμική ισορροπία της γης. Οι μετρήσεις της ακτινοβολίας γίνονται κυρίως για:

- Μελέτες για την ατμοσφαιρική μετατροπή ενέργειας και τις αλλαγές στον χρόνο και στον χώρο.
- Ανάλυση των χαρακτηριστικών και της κατανομής ατμοσφαιρικών παραγόντων.
- Μελέτες για τις αλλαγές των διαφόρων ροών ακτινοβολίας.
- Επαλήθευση δεδομένων ακτινοβολίας που προήλθαν από δορυφόρους ή με την χρήση αλγόριθμων.



Τα πυρανόμετρα είναι επιστημονικά όργανα για την μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας, αποτελούνται από μία φωτοδίοδο η οποία δημιουργεί μια διαφορά τάσης ανάλογη νε την εισερχόμενη ακτινοβολία. Λόγο του σχεδιασμού του ανακλαστήρα η ευαισθησία είναι ανάλογη του συνημίτονου της γωνίας πρόσπτωσης της ακτινοβολίας, επιτρέποντας έτσι ακριβείς μετρήσεις.

Το δίκτυο είναι εξοπλισμένο με αισθητήρες για την μέτρηση της καθαρής ακτινοβολίας η οποία είναι μια μέση τιμή μεταξύ εισερχόμενης και εξερχόμενης ακτινοβολίας σε συνθήκες εξωτερικού χώρου. Το όργανο μέτρησης βασίζεται σε έναν αισθητήρα του οποίου η τάση εξόδου είναι ανάλογη της καθαρής ακτινοβολίας

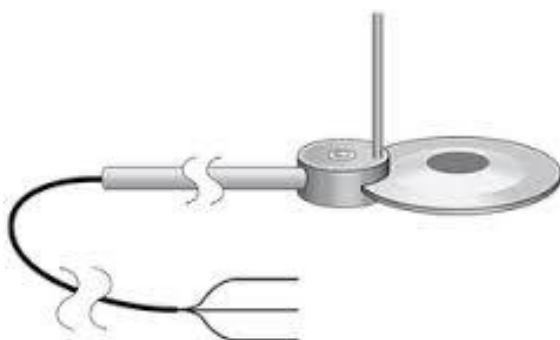
#### Τεχνικά χαρακτηριστικά Πυρανομέτρου:



- Κατασκευαστής: Kipp and Zonen
- Μοντέλο: SP-LITE
- Θερμοκρασία λειτουργίας:  $-30^{\circ}\text{C}$  έως  $+70^{\circ}\text{C}$
- Ακρίβεια:  $\pm 5\%$
- Εύρος μέτρησης: μέχρι  $2000\text{ W/m}^2$

Σχήμα 22: Πυρανόμετρο SP-LITE (Kipp and Zonen)

#### Τεχνικά χαρακτηριστικά Net radiometer:



- Κατασκευαστής: Kipp and Zonen
- Μοντέλο: NR-LITE
- Θερμοκρασία λειτουργίας :  $-30^{\circ}\text{C}$  έως  $+70^{\circ}\text{C}$
- Ακρίβεια :  $\pm 30\text{ W/m}^2$
- Εύρος μέτρησης:  $-2000\text{ W/m}^2$  έως  $+2000\text{ W/m}^2$

Σχήμα 23: Net radiometer NR-LITE (Kipp and Zonen)

## 2.2.4. Διάρκεια Ηλιοφάνειας

Η διάρκεια λιακάδας για μια δεδομένη περίοδο είναι ο χρόνος κατά τον οποίο η άμεση ηλιακή ακτινοβολία ξεπερνάει τα  $120 \text{ W/m}^2$  και εκφράζεται σε μονάδες μέτρησης χρόνου. Μια απλή εφαρμογή των δεδομένων της διάρκειας λιακάδας είναι ο κλιματολογικός χαρακτηρισμός περιοχών, συγκεκριμένα για τουριστικές περιοχές αλλά και για χρήση στην αγροτική μετεωρολογία.

**Τεχνικά χαρακτηριστικά αισθητήρα ηλιοφάνειας:**



- Κατασκευαστής: Kipp and Zonen
- Μοντέλο: CSD-1
- Θερμοκρασία λειτουργίας :  $-30^\circ\text{C}$  έως  $+70^\circ\text{C}$
- Ακρίβεια :  $\pm 40 \text{ W/m}^2$

**Σχήμα 24:** Αισθητήρας ηλιοφάνειας CSD-1 (Kipp and Zonen)

## 2.2.5. Ταχύτητα Ανέμου

Η ταχύτητα του ανέμου είναι ένα τρισδιάστατο διανυσματικό μέγεθος με μικρού μεγέθους τυχαίες αποκλίσεις στον χρόνο και στον χώρο. Για τις περισσότερες υδρομετεωρολογικές εφαρμογές ο άνεμος αναλύεται στις 2 διαστάσεις (ταχύτητα και κατεύθυνση). Όταν ο άνεμος παρουσιάζει απότομες διακυμάνσεις τότε αναφερόμαστε σε ριπή ανέμου.

Τα ανεμόμετρα είναι αισθητήρες οι οποίοι μετράνε την ταχύτητα του ανέμου και την ριπή. Ο άνεμος ωθεί έναν ρότορα σε περιστροφή με ταχύτητα ανάλογη της ταχύτητας του ανέμου. Αυτή η περιστροφή μετράται με ένα σύστημα μαγνητών σε ισορροπία και έναν διακόπτη reed.

Οι ανεμοδείκτες ενσωματώνουν έναν ποτενσιόμετρο ακριβείας ως αισθητήρα γωνίας του άξονα, επιτρέποντας έτσι τον ακριβή προσδιορισμό και καταγραφή της διεύθυνσης του ανέμου. Το ποτενσιόμετρο έχει την ελάχιστη δυνατή ροπή για λόγους αντοχής και αξιοπιστίας.

Οι μετρήσεις του ανέμου είναι αναγκαίες για την ανάλυση και πρόβλεψη καιρικών συνθηκών, κλιματολογικές μελέτες και εκτίμηση ακραίων καιρικών συνθηκών.

### Τεχνικά χαρακτηριστικά ανεμοδείκτη:



- Κατασκευαστής: Vector Instruments
- Μοντέλο: W200P
- Θερμοκρασία λειτουργίας : -30 °C έως +70 °C
- Ακρίβεια : +/-3%
- Εύρος μέτρησης: 0-360 μοίρες
- Ακρίβεια : 0.6 m/s

Σχήμα 25: Ανεμοδείκτης W200P (Vector Instruments)

### Τεχνικά χαρακτηριστικά ανεμόμετρου:



- Κατασκευαστής: Vector Instruments
- Μοντέλο: A100R
- Θερμοκρασία λειτουργίας : -30 °C έως +70 °C
- Ακρίβεια : +/-1 έως 2%
- Εύρος μέτρησης: 0-75 m/s
- Ακρίβεια : 0.2m/s

Σχήμα 26: Ανεμόμετρο A100R (Vector Instruments)

### 3. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ

#### 3.1. Αρχική Επεξεργασία Δεδομένων

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία, τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν προήλθαν από τους μετεωρολογικούς σταθμούς του δικτύου METEONET. Για τον υπολογισμό του ωριαίου δείκτη PET χρησιμοποιήθηκαν οι ωριαίες τιμές για τα παρακάτω μεγέθη:

- Θερμοκρασία αέρα (°C)
- Υγρασία (ποσοστό % στην ατμόσφαιρα)
- Ταχύτητα ανέμου (m/s)
- Ηλιακή ακτινοβολία (W/m<sup>2</sup>)

Τα δεδομένα μεταφέρθηκαν από το αρχείο κειμένου (.txt) που ήταν η αρχική διαθέσιμη μορφή τους, σε στήλες στο πρόγραμμα excel, ώστε να επεξεργαστούν και να μπορέσουν να εισαχθούν στο πρόγραμμα “RayMan”.

Αρχικά, εντοπίστηκαν όλα τα κενά και οι ασυνέχειες στην ωριαία καταγραφή τιμών που οφείλονταν στην καταγραφή από τον ίδιο το σταθμό. Εμφανιζόταν απώλεια δεδομένων η οποία μπορεί να ήταν από 1-2 ώρες μέχρι ολόκληρες ημέρες ή ακόμη και μερικές εβδομάδες σε σπάνιες περιπτώσεις. Τις περισσότερες φορές έλειπαν τιμές από όλα σχεδόν τα όργανα του σταθμού που πιθανώς οφειλόταν σε προβλήματα τροφοδοσίας, πιθανή βλάβη στον καταγραφέα, συντήρηση σταθμού κλπ. Αντιθέτως, οι περιπτώσεις που δεν υπήρχαν μετρήσεις από μεμονωμένα όργανα ήταν ελάχιστες. Παρόλα αυτά, για να υπολογίσουμε το δείκτη PET χρειαζόμαστε και τα τέσσερα προαναφερθέντα μεγέθη, συνεπώς αν μία ωριαία τιμή δεν υπήρχε από κάποιο όργανο, οι υπόλοιπες τιμές από τα άλλα όργανα αχρηστεύονταν αφού δεν επαρκούν για τον υπολογισμό του δείκτη PET.

|    | A    | B     | C   | D    | E               | F        | G               | H             |
|----|------|-------|-----|------|-----------------|----------|-----------------|---------------|
| 1  | Year | Month | Day | Hour | air temperature | humidity | solar radiation | wind velocity |
| 2  | 2005 | 2     | 25  | 12   | 14,85           | 61,89    | 632,92          | 1,35          |
| 3  | 2005 | 2     | 25  | 13   | 14,70           | 62,48    | 473,22          | 1,96          |
| 4  | 2005 | 2     | 25  | 14   | 14,68           | 62,37    | 372,43          | 3,27          |
| 5  | 2005 | 2     | 25  | 15   | 13,82           | 67,71    | 87,05           | 1,96          |
| 6  | 2005 | 2     | 25  | 16   | 13,83           | 69,51    | 116,31          | 2,88          |
| 7  | 2005 | 2     | 25  | 17   | 13,60           | 75,28    | 55,60           | 2,87          |
| 8  | 2005 | 2     | 25  | 18   | 13,44           | 74,34    | 2,54            | 4,24          |
| 9  | 2005 | 2     | 25  | 19   | 13,59           | 76,18    | 0,07            | 5,22          |
| 10 | 2005 | 2     | 25  | 20   | 13,48           | 79,90    | 0,06            | 4,05          |
| 11 | 2005 | 2     | 25  | 21   | 13,42           | 79,17    | 0,07            | 3,42          |
| 12 | 2005 | 2     | 25  | 22   | 13,45           | 79,25    | 0,06            | 3,80          |
| 13 | 2005 | 2     | 25  | 23   | 13,59           | 76,32    | 0,11            | 4,80          |
| 14 | 2005 | 2     | 26  | 0    | 13,33           | 80,60    | 0,09            | 3,23          |
| 15 | 2005 | 2     | 26  | 1    | 13,08           | 80,18    | 0,08            | 1,23          |
| 16 | 2005 | 2     | 26  | 2    | 12,83           | 83,87    | 0,05            | 2,04          |
| 17 | 2005 | 2     | 26  | 3    | 12,54           | 85,90    | 0,07            | 0,48          |
| 18 | 2005 | 2     | 26  | 4    | 12,93           | 78,25    | 0,04            | 0,99          |
| 19 | 2005 | 2     | 26  | 5    | 13,35           | 75,18    | 0,08            | 1,56          |
| 20 | 2005 | 2     | 26  | 6    | 13,45           | 79,47    | 0,06            | 1,88          |
| 21 | 2005 | 2     | 26  | 7    | 13,44           | 82,55    | 17,89           | 1,28          |
| 22 | 2005 | 2     | 26  | 8    | 14,09           | 75,52    | 98,06           | 1,55          |
| 23 | 2005 | 2     | 26  | 9    | 15,11           | 69,67    | 165,52          | 2,88          |
| 24 | 2005 | 2     | 26  | 10   | 15,64           | 73,92    | 222,45          | 4,34          |

Σχήμα 27: Ενδεικτικό δείγμα από τις συγκεντρωμένες και ταξινομημένες πλέον τιμές του σταθμού “Άγιος Κοσμάς”

Αφού συγκεντρώθηκαν οι τιμές της θερμοκρασίας του αέρα, της υγρασίας, της ταχύτητας του ανέμου και της ηλιακής ακτινοβολίας σε ένα ενιαίο φύλλο με αντιστοίχιση κατά ημερομηνία και ώρα (βλ. σχήμα 27), προχωρήσαμε σε περαιτέρω επεξεργασία των τιμών του κάθε μεγέθους, διαγράφοντας από το κάθε ένα με χρήση φίλτρων τιμές οι οποίες ήταν αφύσικες:

- Μετρήσεις υγρασίας που είχαν τιμή μικρότερη του 0% (αρνητική τιμή) ή μεγαλύτερη του 100%
- Θερμοκρασίες που ήταν εξαιρετικά υψηλές για οποιοδήποτε κλίμα (πχ. 60°C) και θερμοκρασίες που ήταν εξαιρετικά χαμηλές για τον ελλαδικό χώρο (πχ. -40°) ή ακόμη και αδύνατες (πχ -290°C)
- Αρνητικές τιμές στην ακτινοβολία (σημείωση: δεν βρέθηκαν πουθενά αφύσικα υψηλές)
- Οι τιμές της ταχύτητας του ανέμου δεν βρέθηκε να έχουν πρόβλημα (ήταν εντός φυσιολογικών ορίων)

Οι παραπάνω τιμές που διαγράφηκαν, μαζί με αυτές που έλειπαν, αντικαταστάθηκαν από την τιμή “-9999,00” η οποία αναγνωρίζεται από το πρόγραμμα “RayMan” σαν εκλιπούσα τιμή. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η αναγωγή της ταχύτητας του ανέμου σε ύψος 1,1 m καθώς το ανεμόμετρο είναι τοποθετημένο ψηλά στον ιστό του σταθμού, ενώ εμείς χρειαζόμαστε την ταχύτητα του στο ύψος του ‘κέντρου σώματος του ανθρώπου’. Ακολουθεί απόσπασμα για την εξήγηση της συγκεκριμένης μετατροπής, όπως αυτή έγινε σε σταθμό που βρίσκεται στις εγκαταστάσεις της Εταιρία Παροχής Νερού και Αποχέτευσης Αθήνας (WSSCA – Water Supply and Sewerage Company of Athens).

#### Παράδειγμα αναγωγής του ύψους στα 1,1m

Για βιομετεωρολογικούς σκοπούς , το ύψος 1,1m θεωρείται το μέσο κέντρο βαρύτητας του ανθρωπίνου σώματος. Για να μπορέσουμε να υπολογίσουμε τις ωριαίες τιμές του PET, χρησιμοποιώντας το μοντέλο RayMan, είναι απαραίτητες οι ωριαίες τιμές της ταχύτητας του ανέμου στα 1,1m από το έδαφος. Οι διαθέσιμες τιμές της ταχύτητας του ανέμου (56.704 ωριαίες τιμές) προέρχονται από τις καταγραφές ενός ανεμομέτρου το οποίο είναι τοποθετημένο στην κορυφή του μετεωρολογικού ιστού σε ύψος 10 μέτρων πάνω από το έδαφος. Ο μετεωρολογικός ιστός είναι τοποθετημένος μέσα στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού του WSSCA. Είναι μία επίπεδη επιφάνεια χωρίς έντονα και ψηλά εμπόδια 150-200m γύρω από τον μετεωρολογικό σταθμό. Το σχήμα 28 απεικονίζει (GoogleMaps-GoogleEarth), την υπό παρακολούθηση τοποθεσία μέσα στην περιοχή του WSSCA.

Για τον σκοπό αυτό, οι μετρούμενες ωριαίες τιμές της ταχύτητας του ανέμου στα 10 μέτρα πάνω από το έδαφος έπρεπε να επαναυπολογιστούν για το ύψος των 1,1 μέτρων πάνω από το έδαφος. Αυτή η παραμετροποίηση θεωρεί ένα λογαριθμικό κάθετο προφίλ του ανέμου όπως αυτό περιγράφεται στην παρακάτω σχέση:

$$u(z) = u_{ref} \cdot \frac{\ln(z/z_0)}{\ln(z_{ref}/z_0)}$$

Όπου  $u(z)$  είναι η ταχύτητα του ανέμου σε ύψος  $(z)$  πάνω από το επίπεδο εδάφους,  $(z_0)$  το αεροδυναμικό μήκος τραχύτητας της επιφάνειας σε μέτρα, και  $u_{ref}$  είναι η μετρούμενη ταχύτητα ανέμου από το ανεμόμετρο στο  $(z_{ref})$  ύψος πάνω από το επίπεδο εδάφους. Στην περίπτωσή μας,  $z = 1,1$  m και  $z_{ref} = 10,0$  m. Το αεροδυναμικό μήκος τραχύτητας της επιφάνειας για την υπό παρακολούθηση/μελέτη περιοχή/τοποθεσία ελήφθη ως  $z_0 = 0,03$  m.

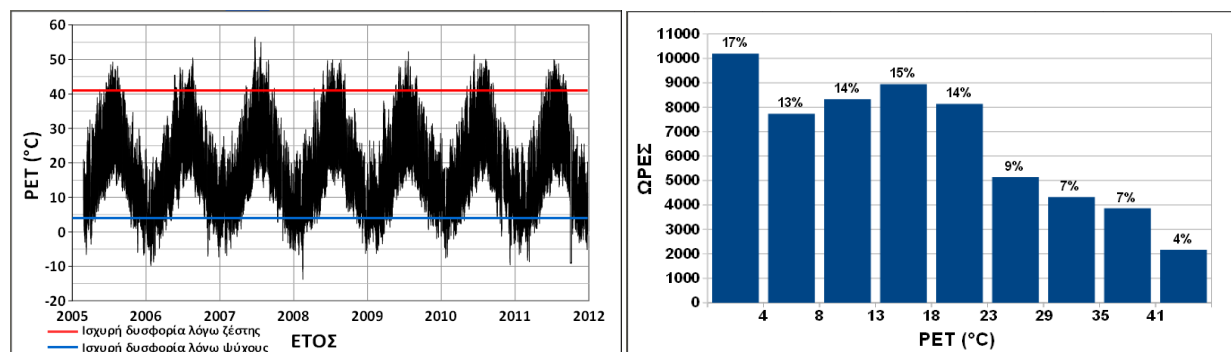


**Σχήμα 28:** Θέση σταθμού στην υπό παρακολούθηση περιοχή (εγκαταστάσεις WSSCA)

Τέλος, χρησιμοποιώντας τις ωριαίες τιμές της θερμοκρασίας αέρα, της σχετικής υγρασίας του αέρα, της ταχύτητας του ανέμου στα 1,1m πάνω από το επίπεδο του εδάφους, και τις αντίστοιχες ωριαίες τιμές της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας, υπολογίστηκαν οι ωριαίες τιμές του δείκτη PET με την εισαγωγή τους στο πρόγραμμα ‘RayMan’.

### 3.2. Απεικόνιση Του Δείκτη PET Και Παραγωγή Διαγραμμάτων

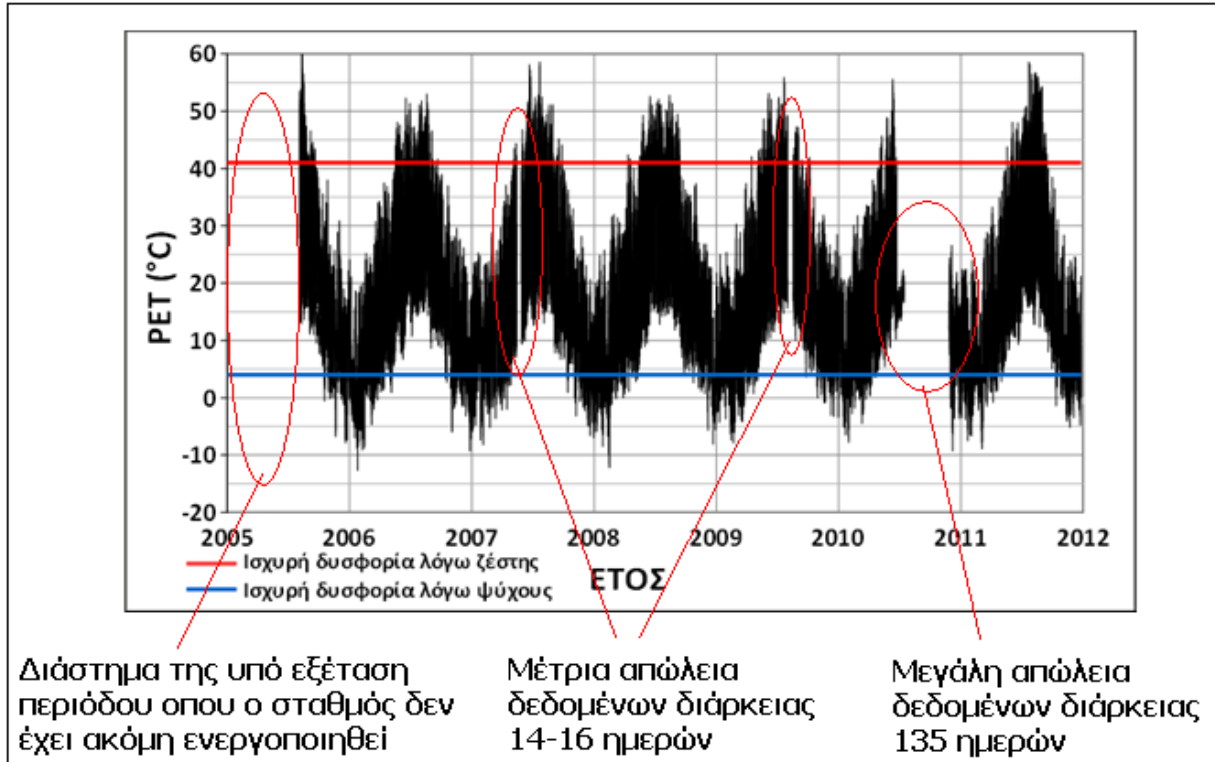
Με τις ωριαίες τιμές του δείκτη PET από τον κάθε σταθμό, δημιουργήσαμε δύο διαγράμματα για τον κάθε σταθμό. Ένα που εμφανίζει τη διαχρονική εξέλιξη των ωριαίων τιμών του δείκτη PET στο οποίο αποτυπώνονται και τα όρια των 41°C και 4°C για την ισχυρή δυσφορία λόγω ζέστης και λόγω ψύχους αντίστοιχα, και ένα που δείχνει τα ποσοστά εμφάνισης των κλάσεων ισοδυναμίας του δείκτη PET (σχήμα 29).



**Σχήμα 29:** Αριστερά, το διάγραμμα της διαχρονικής εξέλιξης του δείκτη PET και δεξιά τα ποσοστά εμφάνισης κλάσεων του δείκτη PET. Δεδομένα περιόδου 2005-2001 από το σταθμό ‘Μενίδι’



Όπως προαναφέρθηκε λόγω των εκλιπόντων τιμών, παρουσιάζονται κενά στα παραγόμενα δεδομένα (ωριαίος δείκτης PET) τα οποία διακρίνονται στα διαγράμματα διαχρονικής εξέλιξης του δείκτη PET των σταθμών. Τα κενά αυτά είναι ιδιαίτερα φανερά όταν έχουμε απώλεια δεδομένων πολλών ημερών, ενώ δεν διακρίνονται όταν είναι μερικών μόνο ωρών (σχήμα 30).



**Σχήμα 30:** Διάγραμμα διαχρονικής εξέλιξης του δείκτη PET με μαρκαρισμένα παραδείγματα απωλειών δεδομένων και επεξηγήσεις

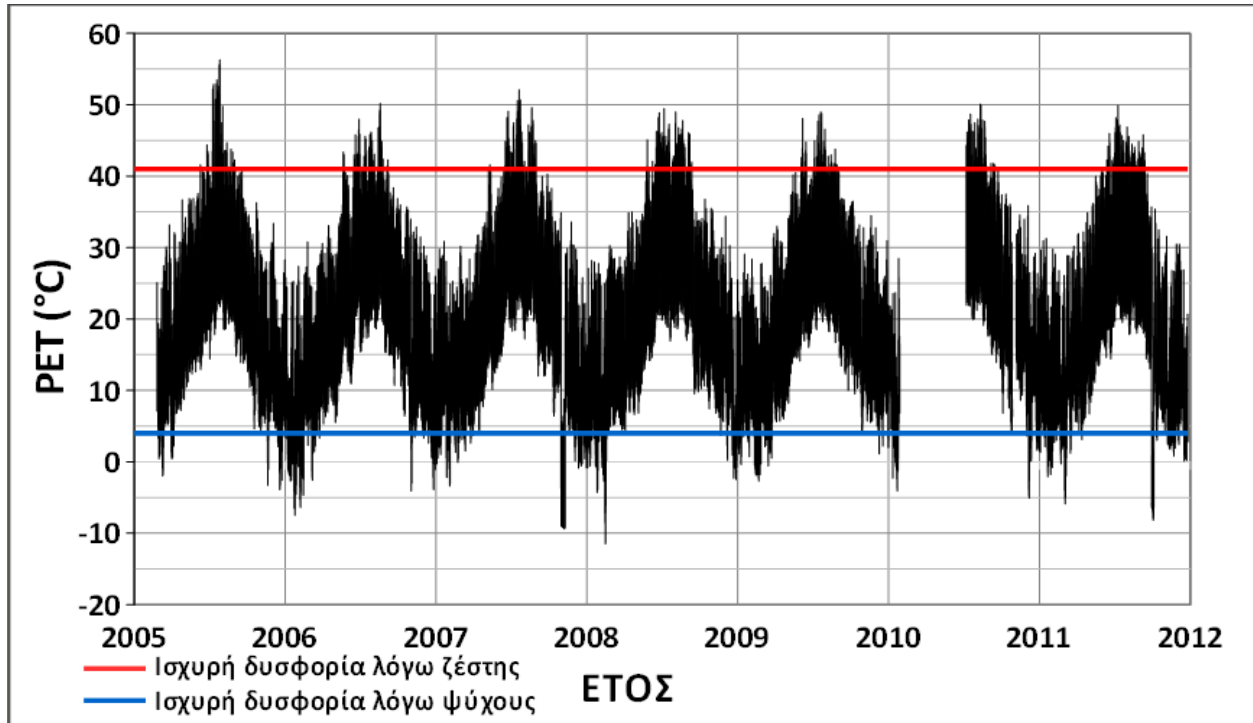
Εδώ να σημειώσουμε ότι όλα τα διαγράμματα αφορούν την περίοδο 01/01/2005 – 31/12/2011. Γι' αυτό το λόγο, παρατηρείται σχεδόν πάντα ένα κενό στην αρχή κάθε διαγράμματος, καθώς η πλειονότητα των σταθμών ενεργοποιήθηκε μέσα στο 2005 με εξαίρεση το σταθμό των Άνω Λιοσίων που είναι ο μοναδικός που ενεργοποιήθηκε το 2006 (βλ. Πίνακα 7).

Για να έχουμε μία πληρέστερη εικόνα των απωλειών των τιμών του δείκτη PET στην κάθε περιοχή, έχουμε υπολογίσει το πλήθος έγκυρων τιμών σαν ποσοστό του συνόλου για την υπό εξέταση περίοδο και για την περίοδο από τη στιγμή που ενεργοποιήθηκε ο σταθμός. Τα αποτελέσματα αναγράφονται στο κεφάλαιο του κάθε σταθμού μαζί με τα διαγράμματα του.

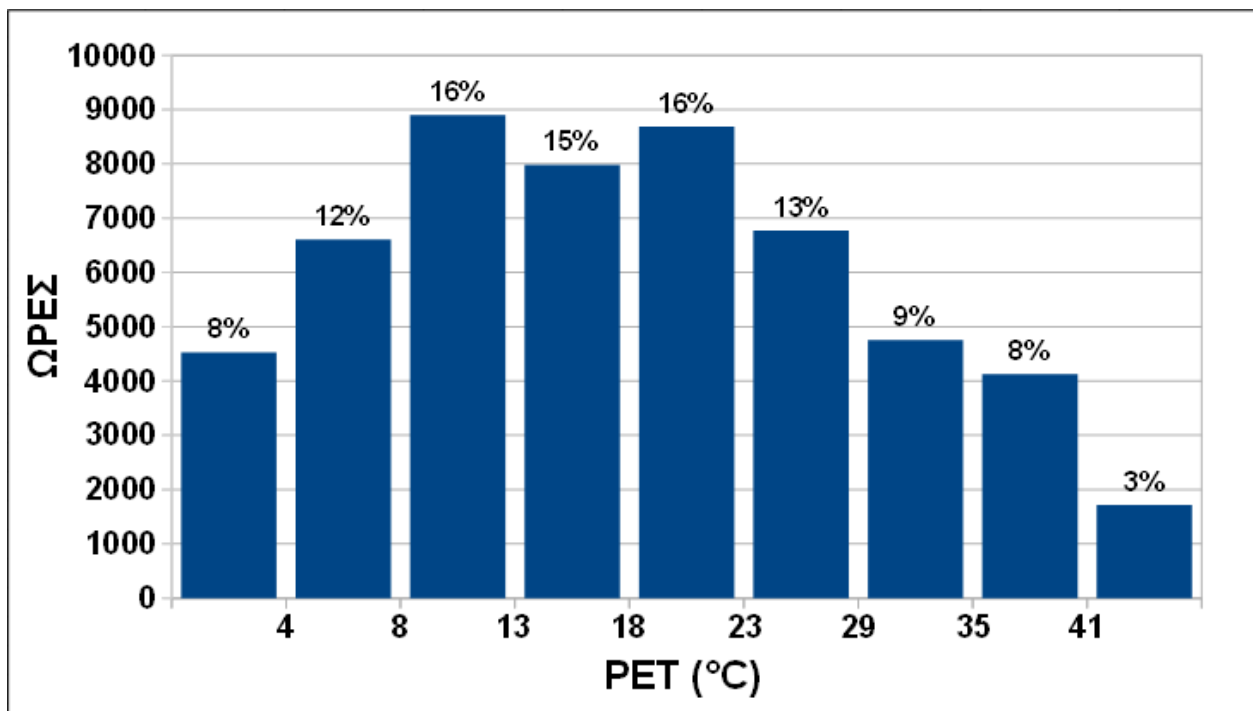
Τέλος, για να έχουμε μία πληρέστερη εικόνα στην ευρύτερη περιοχή των Αθηνών, βρήκαμε τις μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες του δείκτη PET για τη θερμή (Μάιος- Σεπτέμβριος) και ψυχρή (Οκτώβριος – Απρίλιος) περίοδο, από τον κάθε σταθμό, για όλο το εξεταζόμενο χρονικό διάστημα (2005-2011). Με αυτά τα δεδομένα δημιουργήθηκαν χάρτες χωρικών κατανομών των απολύτων ελαχίστων και μεγίστων τιμών του δείκτη PET για τις ψυχρές και θερμές περιόδους.

## 4. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

### 4.1. Άγιος Κοσμάς



Σχήμα 31: Διακύμανση του δείκτη PET για τη χρονική περίοδο 2005-2011 (Άγιος Κοσμάς)



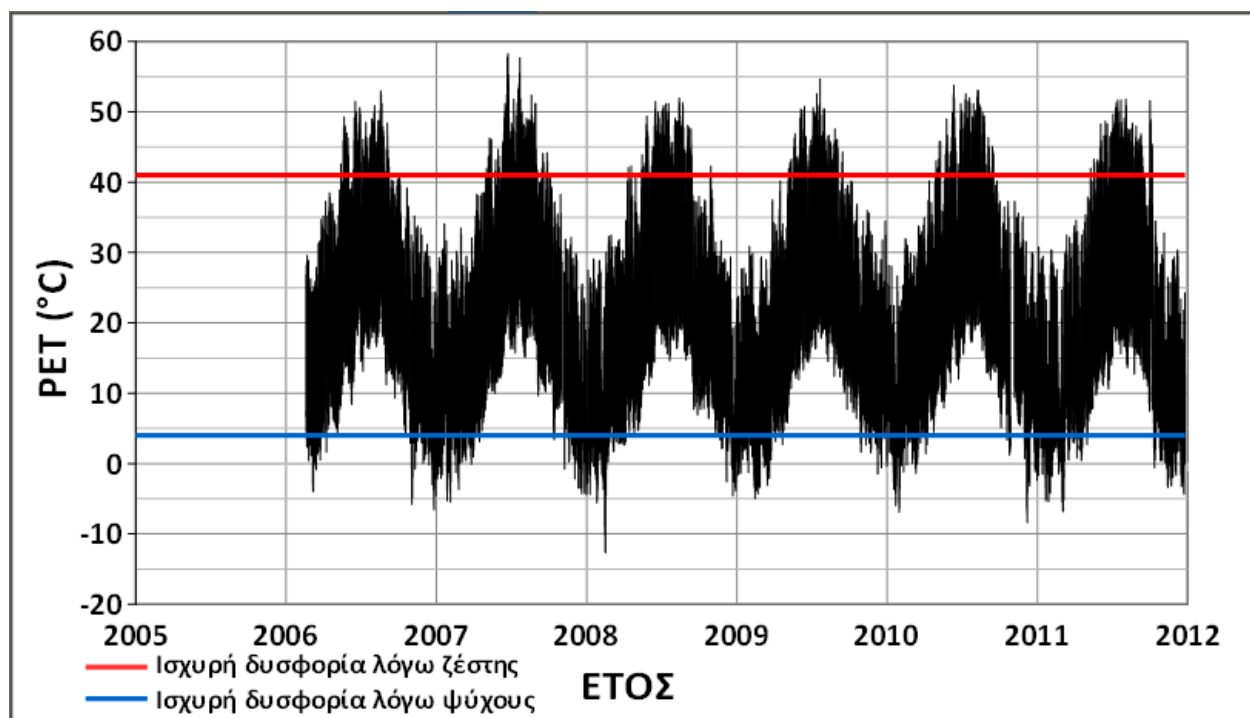
Σχήμα 32: Κατανομή ωριαίων τιμών (Άγιος Κοσμάς)

Η πληρότητα αποτελεσμάτων για την εξεταζόμενη περίοδο για το σταθμό 'Άγιος Κοσμάς' είναι **88,15 %** και η πληρότητα από την ημέρα ενεργοποίησής του σταθμού είναι **90,09 %**.

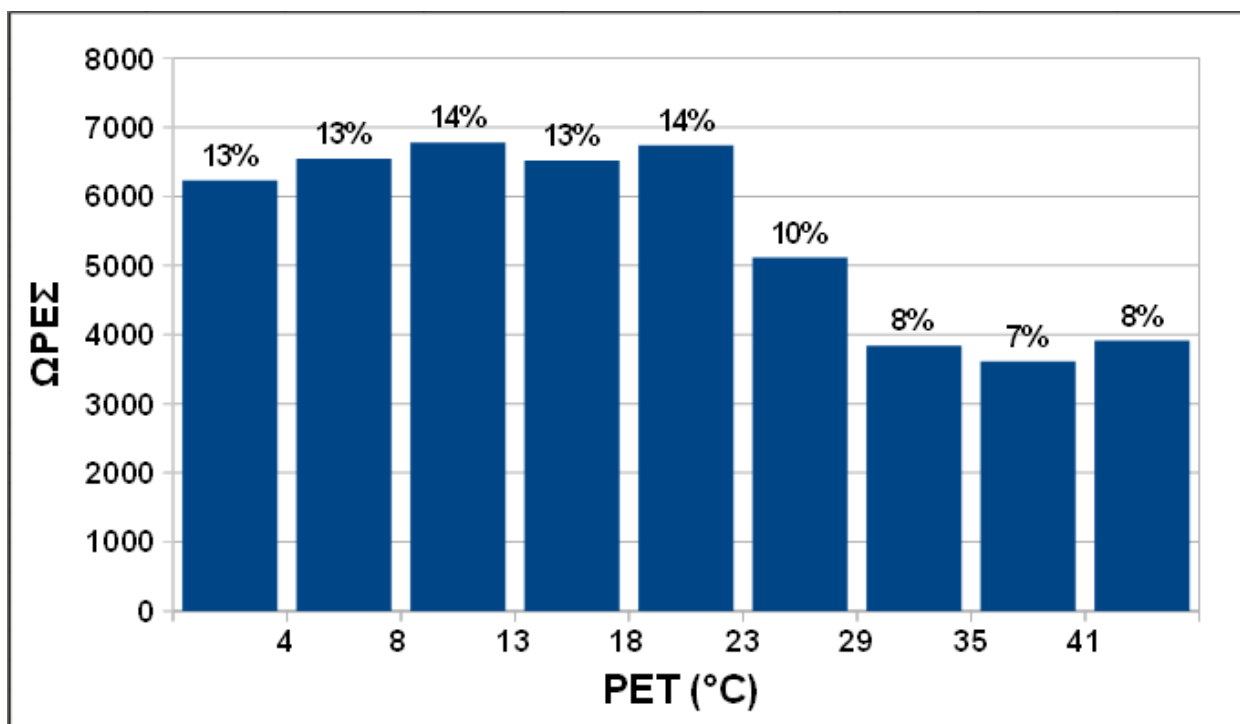


Σύμφωνα με τα παραπάνω σχήματα (Σχήμα 31, Σχήμα 32) παρατηρούμε ότι κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών (Μάιος-Σεπτέμβριος), υπάρχουν λίγες ώρες στη διάρκεια του 24ώρου στις οποίες η τιμή του δείκτη PET υπερβαίνει την τιμή των 41,0°C (ισχυρή δυσφορία λόγω ζέστης). Κατά τη διάρκεια των ψυχρών μηνών του έτους (Οκτώβριος-Απρίλιος) παρατηρούνται αρκετές ώρες στη διάρκεια του 24ώρου όπου η τιμή του δείκτη PET είναι μικρότερη των 4,0°C (ισχυρή δυσφορία λόγω ψύχους). Το καλοκαίρι του 2005 έχει μερικές πολύ ακραίες τιμές καθώς και τη χειμερινή περίοδο 2007-2008. Σε θερμοκρασίες σχετικής θερμικής άνεσης (18-23 °C), αντιστοιχεί ένα καλό ποσοστό του συνόλου καθώς και σε ένα ευρύτερο πεδίο (13-29 °C) έχουμε επίσης πολλές ώρες. Γενικά, οι θερμοκρασίες για τον άνθρωπο στην περιοχή, είναι το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου ιδανικές και η έντονη δυσφορία λόγω ψηλών ή χαμηλών θερμοκρασιών είναι σχετικά λίγες. Τη θερινή περίοδο η αίσθηση της ζέστης κρατάει λιγότερο συγκριτικά με τη χειμερινή περίοδο, όπου το κρύο είναι αισθητό για μεγαλύτερο διάστημα χωρίς να είναι όμως πολύ έντονο. Το κλίμα στην περιοχή οφείλεται λογικά στο ότι είναι παραθαλάσσια, με αποτέλεσμα να επηρεάζεται πολύ από τη θάλασσα παρά από την ύπαρξη κτηρίων.

## 4.2. Άνω Λιόσια



Σχήμα 33: Διακύμανση του δείκτη PET για τη χρονική περίοδο 2005-2011(Άνω Λιόσια)

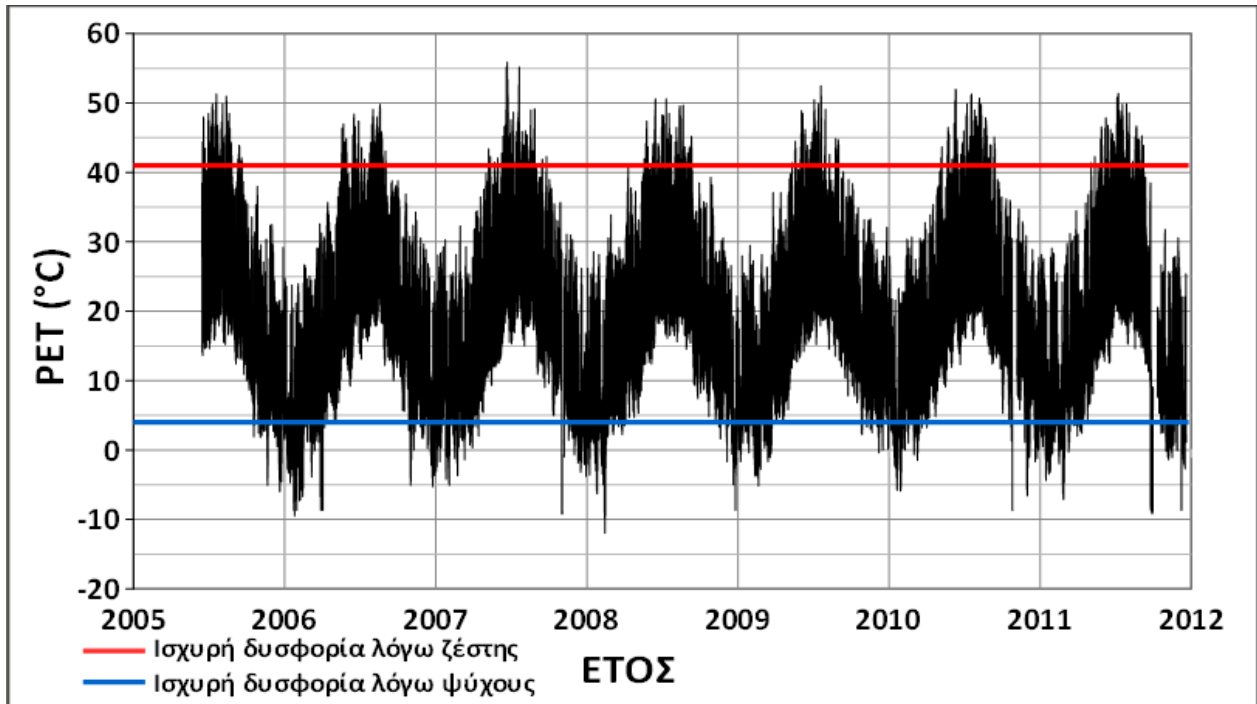


**Σχήμα 34:** Κατανομή ωριαίων τιμών (Άνω Λίοσια)

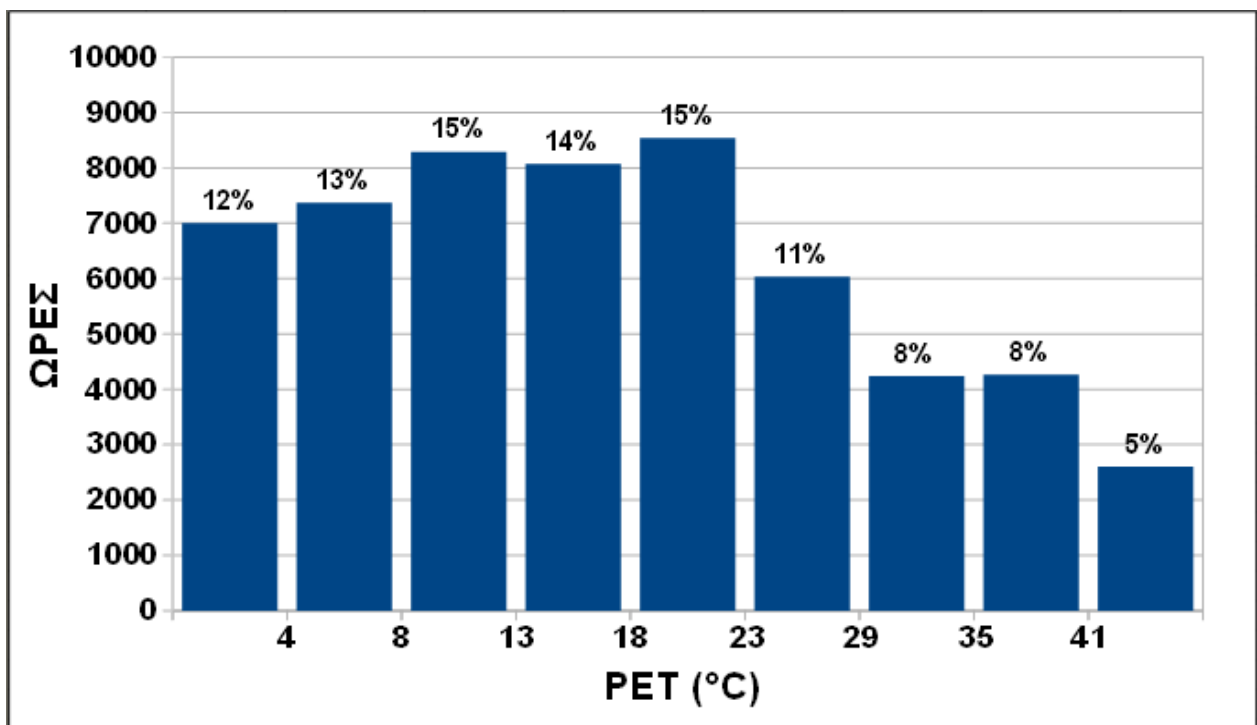
Η πληρότητα αποτελεσμάτων για την εξεταζόμενη περίοδο για το σταθμό 'Άνω Λίοσια' είναι **80,37 %** και η πληρότητα από την ημέρα ενεργοποίησής του σταθμού είναι **95,91 %**.

Σύμφωνα με τα παραπάνω σχήματα (Σχήμα 33, Σχήμα 34) παρατηρούμε ότι κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών (Μάιος-Σεπτέμβριος), υπάρχουν αρκετές ώρες στη διάρκεια του 24ώρου στις οποίες η τιμή του δείκτη PET υπερβαίνει την τιμή των 41,0°C (ισχυρή δυσφορία λόγω ζέστης). Κατά τη διάρκεια των ψυχρών μηνών του έτους (Οκτώβριος-Απρίλιος) παρατηρούνται πολλές ώρες στη διάρκεια του 24ώρου όπου η τιμή του δείκτη PET είναι μικρότερη των 4,0°C (ισχυρή δυσφορία λόγω ψύχους). Το καλοκαίρι του 2007 έχει μερικές πολύ ακραίες τιμές και τη χειμερινή περίοδο 2007-2008. Σε θερμοκρασίες σχετικής θερμικής άνεσης (18-23 °C), αντιστοιχεί ένα καλό ποσοστό του συνόλου και σε ένα ευρύτερο πεδίο (13-29 °C) έχουμε επίσης πολλές ώρες. Τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου οι θερμοκρασίες για τον άνθρωπο είναι για μεγάλο διάστημα σχετικά χαμηλές ενώ το αντίστοιχο διάστημα για τις ψηλές κατά την θερινή περίοδο είναι σχεδόν το μισό.

### 4.3. Γαλάτσι



Σχήμα 35: Διακύμανση του δείκτη PET για τη χρονική περίοδο 2005-2011 (Γαλάτσι)

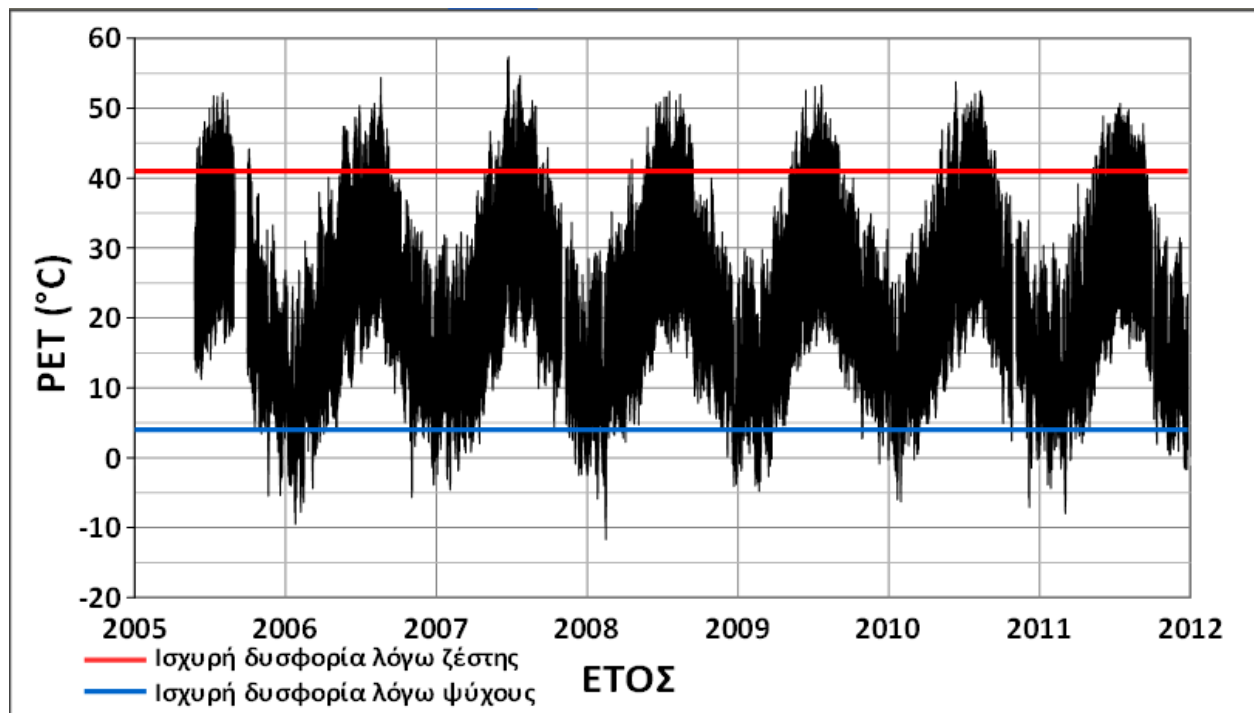


Σχήμα 36: Κατανομή ωριαίων τιμών (Γαλάτσι)

Η πληρότητα αποτελεσμάτων για την εξεταζόμενη περίοδο για το σταθμό 'Γαλάτσι' είναι **91,96 %** και η πληρότητα από την ημέρα ενεργοποίησής του σταθμού είναι **98,33 %**.

Σύμφωνα με τα παραπάνω σχήματα (Σχήμα 35, Σχήμα 36) παρατηρούμε ότι κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών (Μάιος-Σεπτέμβριος), υπάρχουν λίγες σχετικά ώρες στη διάρκεια του 24ώρου στις οποίες η τιμή του δείκτη PET υπερβαίνει την τιμή των 41,0°C (ισχυρή δυσφορία λόγω ζέστης). Κατά τη διάρκεια των ψυχρών μηνών του έτους (Οκτώβριος-Απρίλιος) παρατηρούνται πολλές ώρες στη διάρκεια του 24ώρου όπου η τιμή του δείκτη PET είναι μικρότερη των 4,0°C (ισχυρή δυσφορία λόγω ψύχους). Το καλοκαίρι του 2007 έχει μερικές πολύ ακραίες τιμές και τη χειμερινή περίοδο 2007-2008. Σε θερμοκρασίες σχετικής θερμικής άνεσης (18-23 °C), αντιστοιχεί ένα καλό ποσοστό του συνόλου και σε ένα ευρύτερο πεδίο (13-29 °C) έχουμε επίσης πολλές ώρες. Τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου οι θερμοκρασίες για τον άνθρωπο είναι για μεγάλο διάστημα σχετικά χαμηλές ενώ το αντίστοιχο διάστημα για τις ψηλές κατά την θερινή περίοδο είναι σχεδόν το μισό. Η συμπεριφορά του δείκτη PET έχει μεγάλες ομοιότητες με αυτόν του σταθμού 'Άνω Λιόσια' με μόνη διαφορά ότι τη θερινή περίοδο οι πολύ ακραίες τιμές είναι αισθητά λιγότερες και έχουμε αύξηση των ποσοστών στην ευρύτερη περιοχή των τιμών του δείκτη PET που έχουμε θερμική άνεση.

#### 4.4. Ηλιούπολη

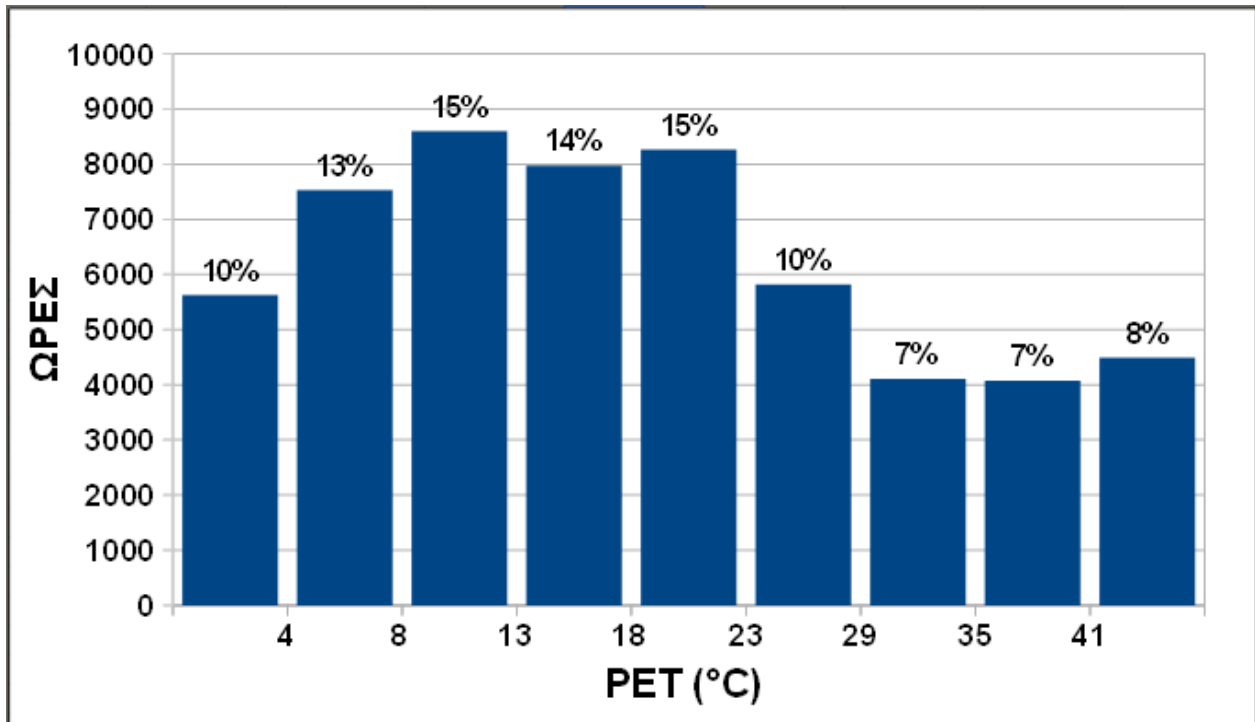


Σχήμα 37: Διακύμανση του δείκτη PET για τη χρονική περίοδο 2005-2011 (Ηλιούπολη)

Η πληρότητα αποτελεσμάτων για την εξεταζόμενη περίοδο για το σταθμό 'Ηλιούπολη' είναι **92,08 %** και η πληρότητα από την ημέρα ενεργοποίησής του σταθμού είναι **97,40 %**.

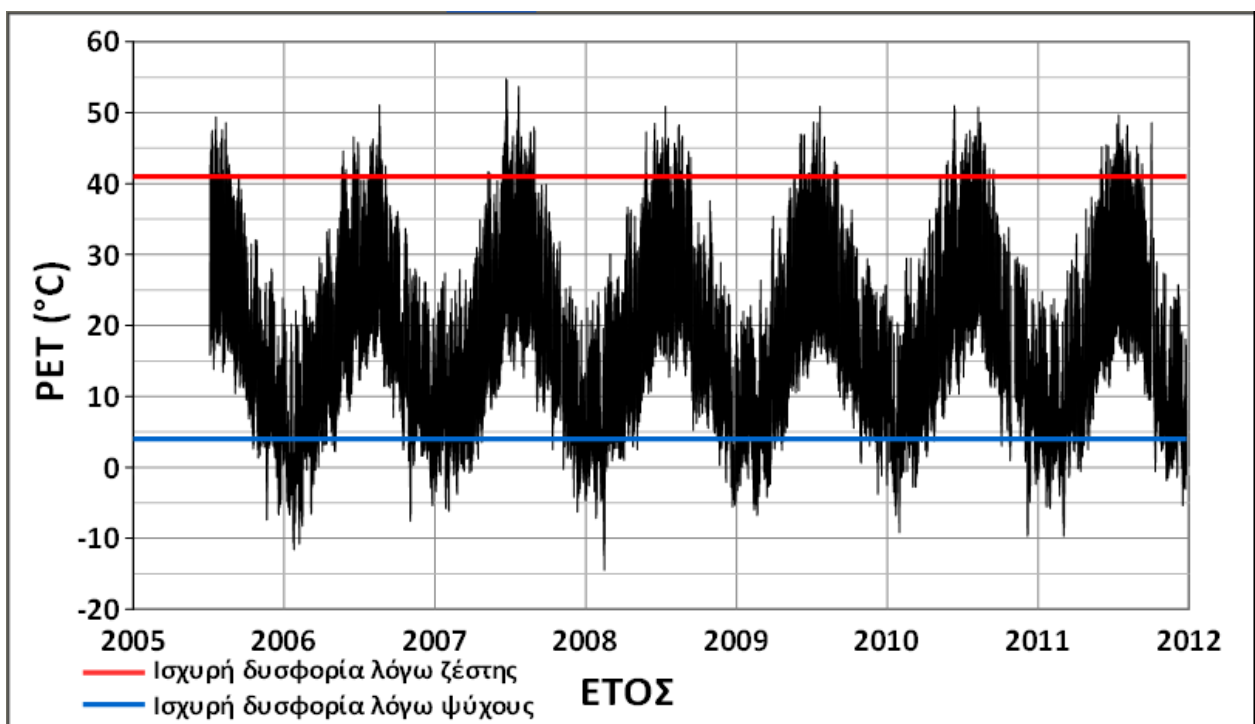
Σύμφωνα με τα σχήματα του σταθμού (Σχήμα 37, Σχήμα 38) παρατηρούμε ότι κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών (Μάιος-Σεπτέμβριος), υπάρχουν αρκετές ώρες στη διάρκεια του 24ώρου στις οποίες η τιμή του δείκτη PET υπερβαίνει την τιμή των 41,0°C (ισχυρή δυσφορία λόγω ζέστης). Κατά τη διάρκεια των ψυχρών μηνών του έτους (Οκτώβριος-Απρίλιος) παρατηρούνται επίσης αρκετές ώρες στη διάρκεια του 24ώρου όπου η τιμή του δείκτη PET είναι μικρότερη των 4,0°C (ισχυρή δυσφορία λόγω ψύχους). Το καλοκαίρι του 2007 έχει μερικές πολύ ακραίες τιμές όπως και τη χειμερινή περίοδο 2007-2008. Σε θερμοκρασίες σχετικής θερμικής άνεσης (18-23 °C), αντιστοιχεί ένα καλό ποσοστό του συνόλου και σε ένα ευρύτερο πεδίο (13-29 °C) έχουμε

επίσης πολλές ώρες. Τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου οι θερμοκρασίες για τον άνθρωπο είναι για μεγάλο διάστημα σχετικά χαμηλές ενώ το αντίστοιχο διάστημα για τις ψηλές κατά την θερινή περίοδο είναι σχεδόν το μισό. Η συμπεριφορά του δείκτη PET έχει πολύ μεγάλες ομοιότητες με αυτόν του σταθμού 'Άνω Λιόσια'. Η μόνη διαφορά είναι ότι κατά τη χειμερινή περίοδο οι τιμές του δείκτη είναι λίγο καλύτερες (ελάχιστα ηπιότερο κλίμα της περιόδου).

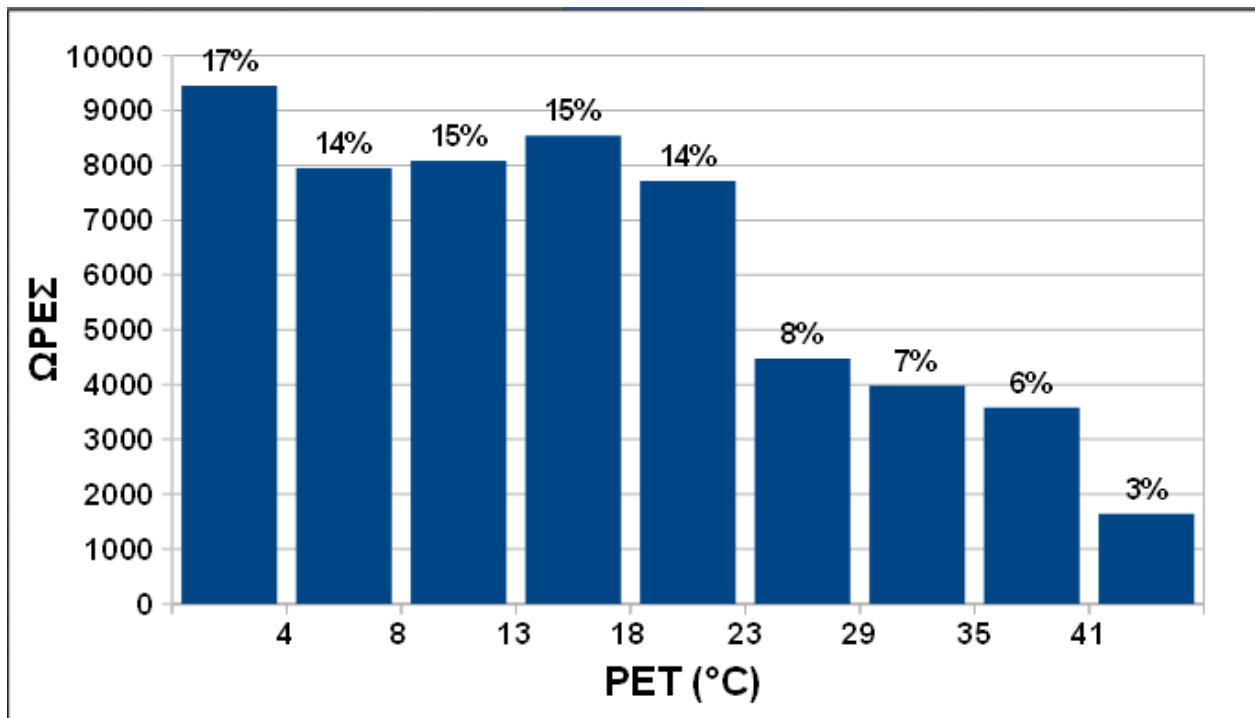


Σχήμα 38: Κατανομή ωριαίων τιμών (Ηλιούπολη)

## 4.5. Μάνδρα



Σχήμα 39: Διακύμανση του δείκτη PET για τη χρονική περίοδο 2005-2011 (Μάνδρα)

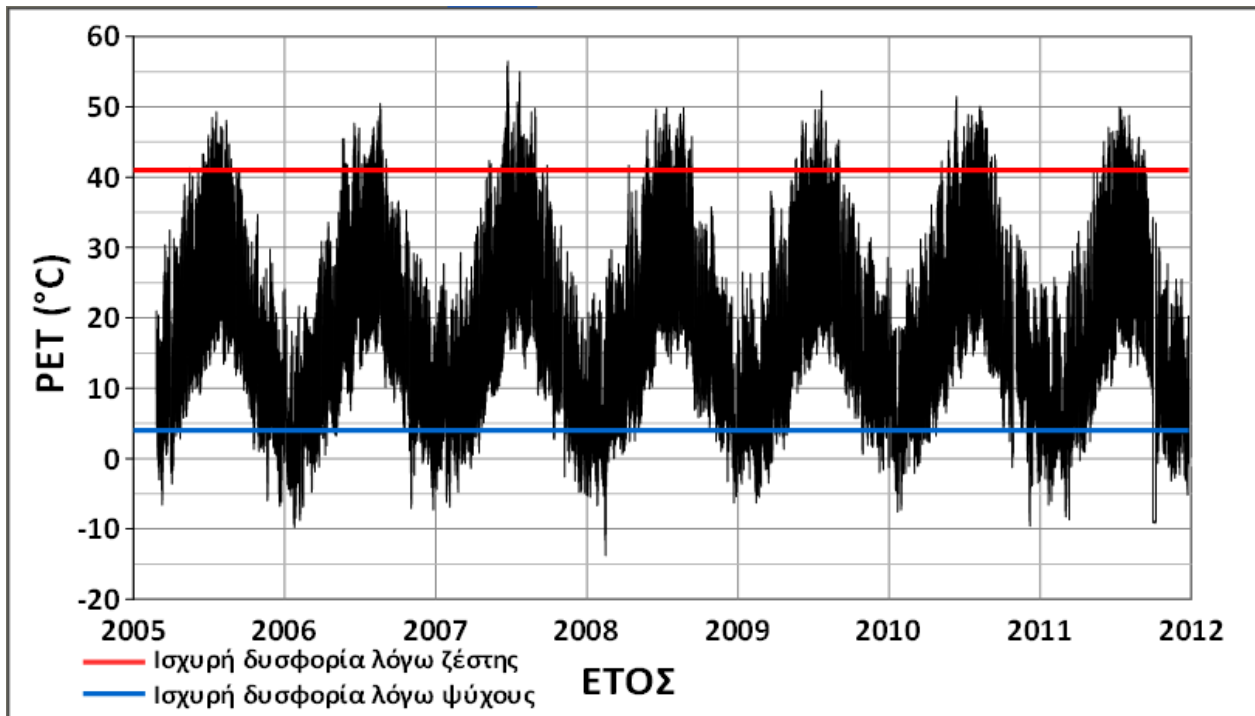


Σχήμα 40: Κατανομή ωριαίων τιμών (Μάνδρα)

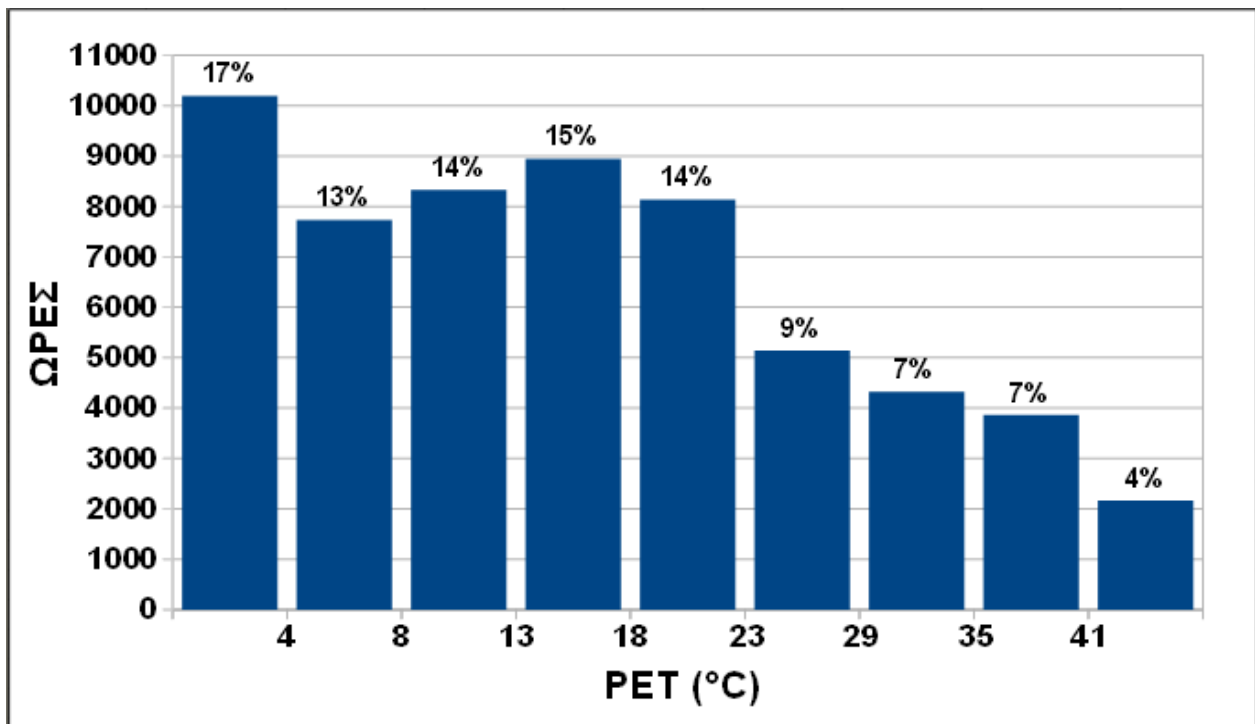
Η πληρότητα αποτελεσμάτων για την εξεταζόμενη περίοδο για το σταθμό 'Μάνδρα' είναι **90,32 %** και η πληρότητα από την ημέρα ενεργοποίησής του σταθμού είναι **97,41 %**.

Σύμφωνα με τα παραπάνω σχήματα (Σχήμα 39, Σχήμα 40) παρατηρούμε ότι κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών (Μάιος-Σεπτέμβριος), υπάρχουν λίγες σχετικά ώρες στη διάρκεια του 24ώρου στις οποίες η τιμή του δείκτη PET υπερβαίνει την τιμή των 41,0°C (ισχυρή δυσφορία λόγω ζέστης). Κατά τη διάρκεια των ψυχρών μηνών του έτους (Οκτώβριος-Απρίλιος) παρατηρούνται πάρα πολλές ώρες στη διάρκεια του 24ώρου όπου η τιμή του δείκτη PET είναι μικρότερη των 4,0°C (ισχυρή δυσφορία λόγω ψύχους). Το καλοκαίρι του 2007 έχει μερικές πολύ ακραίες τιμές και τη χειμερινή περίοδο 2007-2008. Σε θερμοκρασίες σχετικής θερμικής άνεσης (18-23 °C), αντιστοιχεί ένα καλό ποσοστό του συνόλου και σε ένα ευρύτερο πεδίο (13-29 °C) έχουμε επίσης σχετικά πολλές ώρες. Τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου οι θερμοκρασίες για τον άνθρωπο είναι για μεγάλο διάστημα χαμηλές (ψυχρές έως πολύ ψυχρές). Τη θερινή περίοδο οι θερμοκρασίες για τον άνθρωπο δεν είναι πολύ ψηλές για μεγάλα διαστήματα σύμφωνα με το δείκτη PET.

## 4.6. Μενίδι



Σχήμα 41: Διακύμανση του δείκτη PET για τη χρονική περίοδο 2005-2011 (Μενίδι)

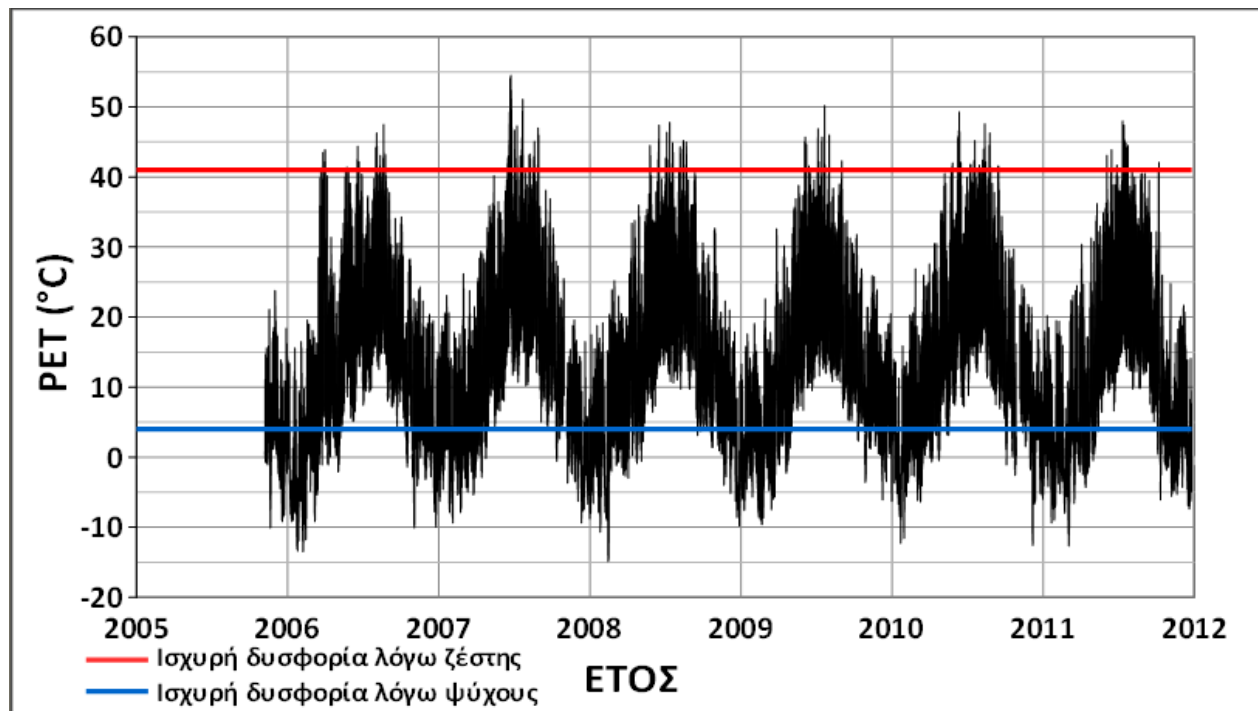


Σχήμα 42: Κατανομή ωριαίων τιμών (Μενίδι)

Η πληρότητα αποτελεσμάτων για την εξεταζόμενη περίοδο για το σταθμό 'Μενίδι' είναι **95,86 %** και η πληρότητα από την ημέρα ενεργοποίησής του σταθμού είναι **97,99 %**.

Σύμφωνα με τα παραπάνω σχήματα (Σχήμα 41, Σχήμα 42) παρατηρούμε ότι κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών (Μάιος-Σεπτέμβριος), υπάρχουν λίγες σχετικά ώρες στη διάρκεια του 24ωρου στις οποίες η τιμή του δείκτη PET υπερβαίνει την τιμή των 41,0°C (ισχυρή δυσφορία λόγω ζέστης). Κατά τη διάρκεια των ψυχρών μηνών του έτους (Οκτώβριος-Απρίλιος) παρατηρούνται πάρα πολλές ώρες στη διάρκεια του 24ώρου όπου η τιμή του δείκτη PET είναι μικρότερη των 4,0°C (ισχυρή δυσφορία λόγω ψύχους). Το καλοκαίρι του 2007 έχει μερικές πολύ ακραίες τιμές όπως και τη χειμερινή περίοδο 2007-2008. Σε θερμοκρασίες σχετικής θερμικής άνεσης (18-23 °C), αντιστοιχεί ένα καλό ποσοστό του συνόλου και σε ένα ευρύτερο πεδίο (13-29 °C) έχουμε επίσης σχετικά πολλές ώρες. Τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου οι θερμοκρασίες για τον άνθρωπο είναι για μεγάλο διάστημα χαμηλές (ψυχρές έως πολύ ψυχρές). Τη θερινή περίοδο οι θερμοκρασίες για τον άνθρωπο δεν είναι πολύ ψηλές για μεγάλα διαστήματα σύμφωνα με το δείκτη PET. Η συμπεριφορά του δείκτη εμφανίζεται να είναι πανομοιότυπη με αυτή του σταθμού 'Μάνδρα'.

## 4.7. Πεντέλη



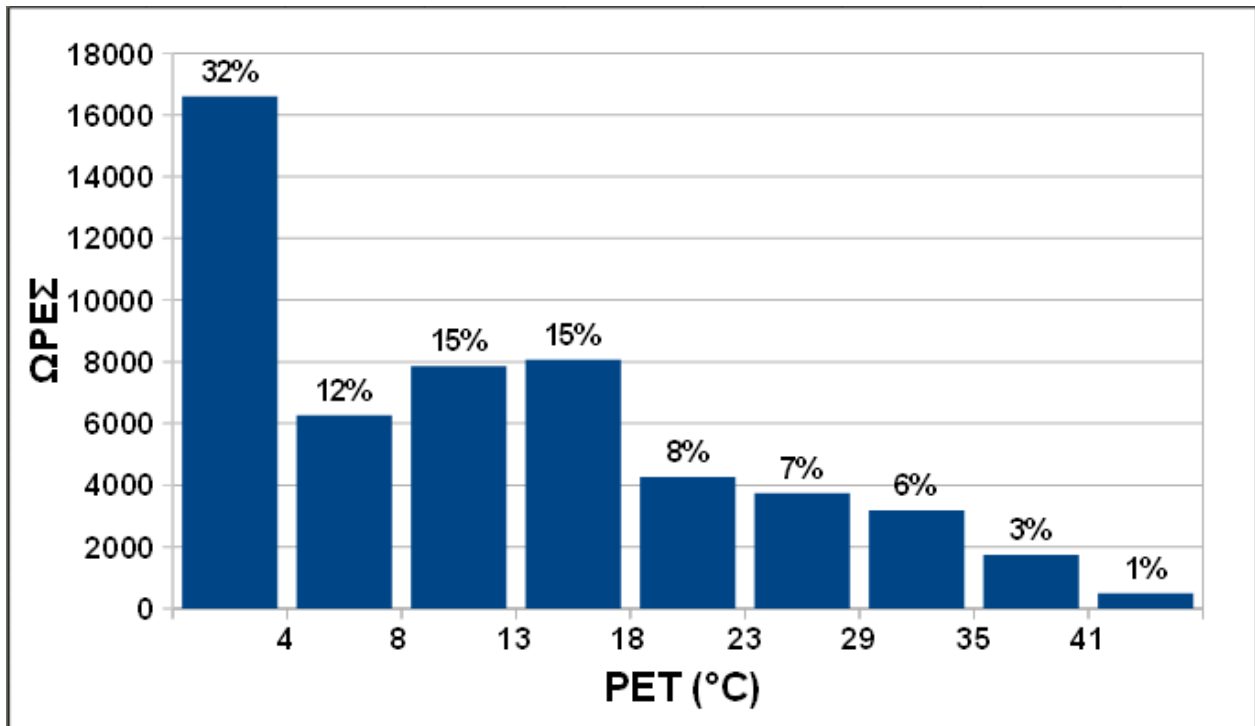
Σχήμα 43: Διακύμανση του δείκτη PET για τη χρονική περίοδο 2005-2011 (Πεντέλη)

Η πληρότητα αποτελεσμάτων για την εξεταζόμενη περίοδο για το σταθμό 'Πεντέλη' είναι **85,11 %** και η πληρότητα από την ημέρα ενεργοποίησής του σταθμού είναι **96,90 %**.

Σύμφωνα με τα σχήματα του σταθμού 'Πεντέλη' (Σχήμα 43, Σχήμα 44) παρατηρούμε ότι κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών (Μάιος-Σεπτέμβριος), υπάρχουν πολύ λίγες ώρες στη διάρκεια του 24ώρου στις οποίες η τιμή του δείκτη PET υπερβαίνει την τιμή των 41,0°C (ισχυρή δυσφορία λόγω ζέστης). Κατά τη διάρκεια των ψυχρών μηνών του έτους (Οκτώβριος-Απρίλιος) παρατηρούνται εξαιρετικά πολλές ώρες στη διάρκεια του 24ώρου όπου η τιμή του δείκτη PET είναι μικρότερη των 4,0°C (ισχυρή δυσφορία λόγω ψύχους) και για μεγάλα διαστήματα. Το καλοκαίρι του 2007 έχει μερικές πολύ ακραίες τιμές όπως και τη χειμερινή περίοδο 2007-2008.

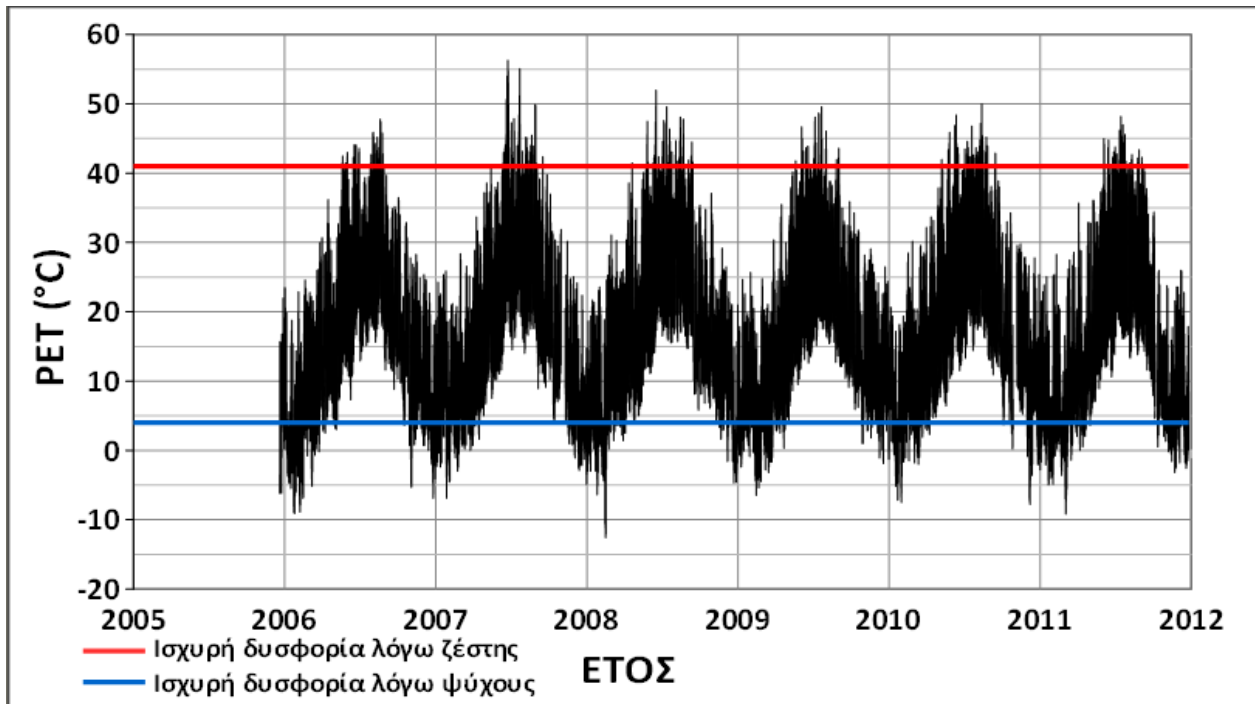


Η θερινή περίοδος χαρακτηρίζεται από πολύ ήπιες θερμοκρασίες για τον άνθρωπο συγκριτικά με όλες τις άλλες περιοχές. Η χειμερινή περίοδος είναι εξίσου ξεχωριστή με διαφορά από τις άλλες των υπολοίπων περιοχών, καθώς πολλές ώρες της ημέρας περιγράφονται από ιδιαίτερο ψύχος και στα μέσα της περιόδου η δυσφορία λόγω ψύχους είναι ισχυρή συνήθως όλες τις βραδινές ώρες αλλά και τις περισσότερες ώρες της ημέρας. Η συμπεριφορά αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι η εξεταζόμενη περιοχή του σταθμού βρίσκεται στο βουνό και μακριά από πυκνοκατοικημένες περιοχές και είναι μάλιστα ο ψηλότερα τοποθετημένος σταθμός, από το επίπεδο της θάλασσας, με διαφορά από τους υπόλοιπους.

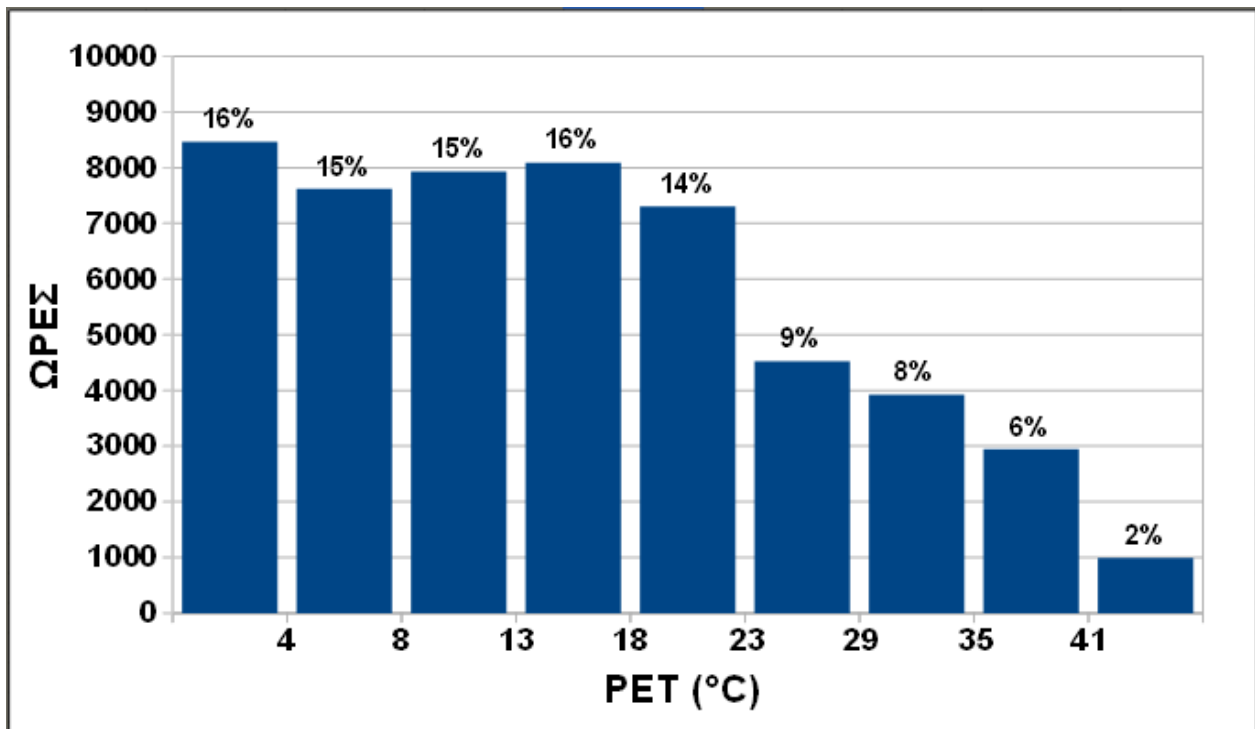


Σχήμα 44: Κατανομή ωριαίων τιμών (Πεντέλη)

## 4.8. Πικέρμι



Σχήμα 45: Διακύμανση του δείκτη PET για τη χρονική περίοδο 2005-2011 (Πικέρμι)

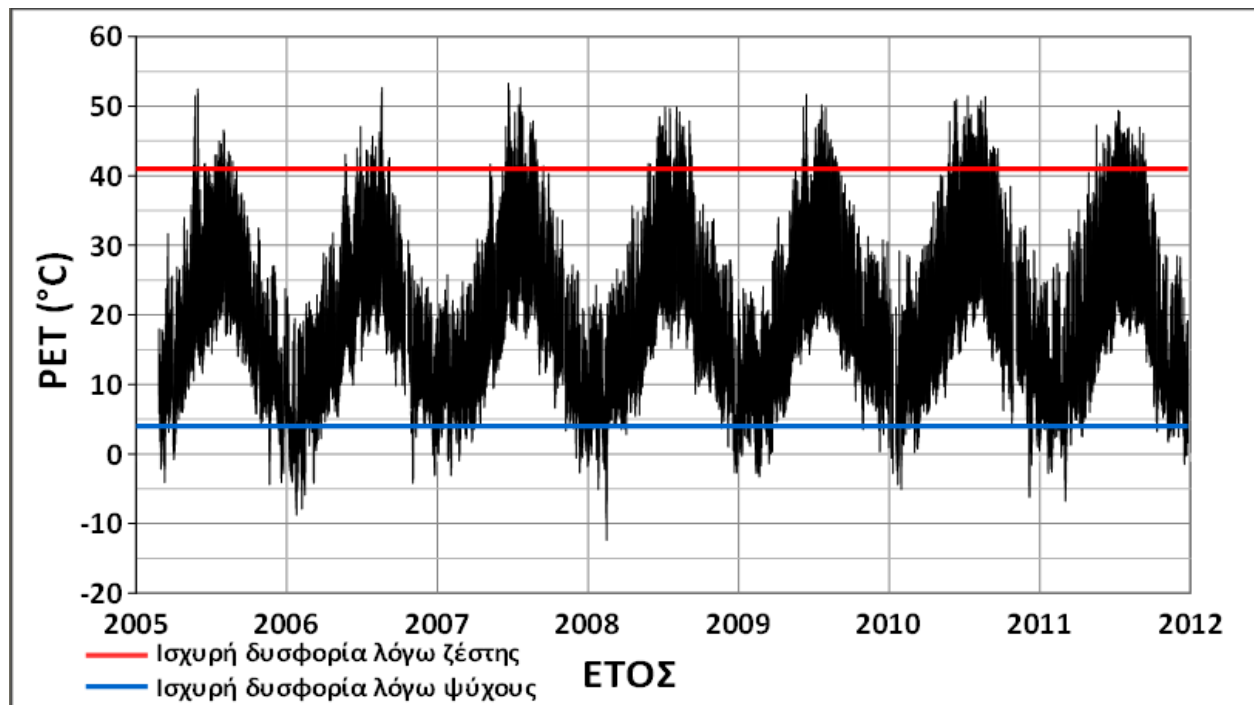


Σχήμα 46: Κατανομή ωριαίων τιμών (Πικέρμι)

Η πληρότητα αποτελεσμάτων για την εξεταζόμενη περίοδο για το σταθμό 'Πικέρμι' είναι **84,42 %** και η πληρότητα από την ημέρα ενεργοποίησής του σταθμού είναι **97,99 %**.

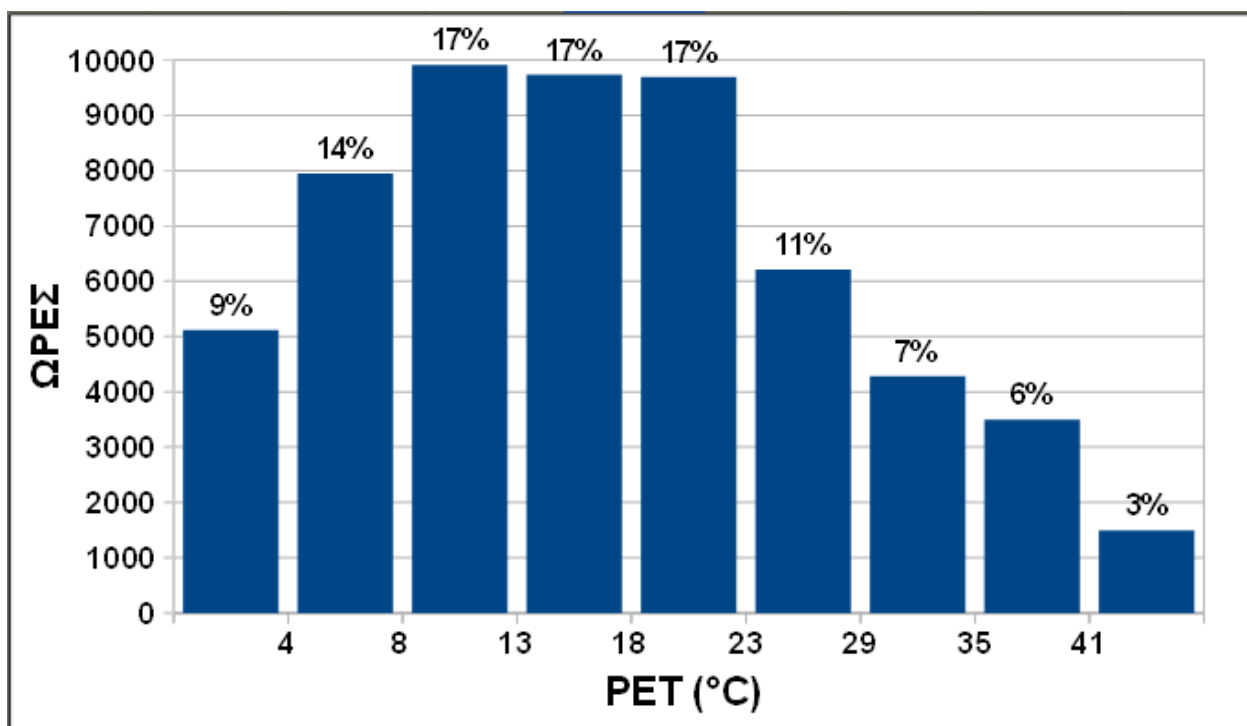
Σύμφωνα με τα παραπάνω σχήματα (Σχήμα 45, Σχήμα 46) παρατηρούμε ότι κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών (Μάιος-Σεπτέμβριος), υπάρχουν ελάχιστες ώρες στη διάρκεια του 24ώρου στις οποίες η τιμή του δείκτη PET υπερβαίνει την τιμή των 41,0°C (ισχυρή δυσφορία λόγω ζέστης). Κατά τη διάρκεια των ψυχρών μηνών του έτους (Οκτώβριος-Απρίλιος) παρατηρούνται πολλές ώρες στη διάρκεια του 24ώρου όπου η τιμή του δείκτη PET είναι μικρότερη των 4,0°C (ισχυρή δυσφορία λόγω ψύχους). Το καλοκαίρι του 2007 έχει μερικές πολύ ακραίες τιμές και τη χειμερινή περίοδο 2007-2008. Σε θερμοκρασίες σχετικής θερμικής άνεσης (18-23 °C), αντιστοιχεί ένα καλό ποσοστό του συνόλου και σε ένα ευρύτερο πεδίο (13-29 °C) έχουμε επίσης σχετικά πολλές ώρες. Τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου οι θερμοκρασίες για τον άνθρωπο είναι για μεγάλο διάστημα χαμηλές (ψυχρές έως πολύ ψυχρές). Τη θερινή περίοδο οι θερμοκρασίες για τον άνθρωπο δεν είναι πολύ ψηλές για μεγάλα διαστήματα σύμφωνα με το δείκτη PET. Η συμπεριφορά του δείκτη έχει πολλές ομοιότητες με αυτή του σταθμού 'Μενίδι'.

## 4.9. Ψυττάλεια



Σχήμα 47: Διακύμανση του δείκτη PET για τη χρονική περίοδο 2005-2011 (Ψυττάλεια)

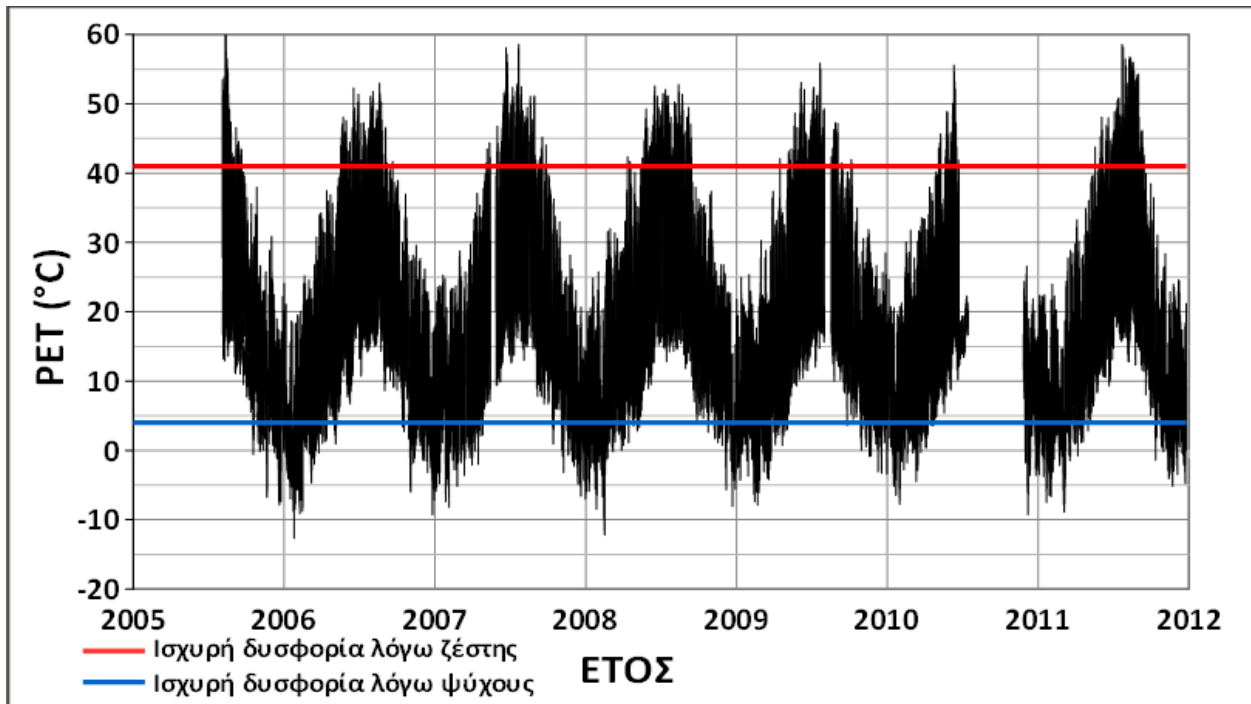
Η πληρότητα αποτελεσμάτων για την εξεταζόμενη περίοδο για το σταθμό 'Πικέρμι' είναι **94,36 %** και η πληρότητα από την ημέρα ενεργοποίησής του σταθμού είναι **96,44 %**.



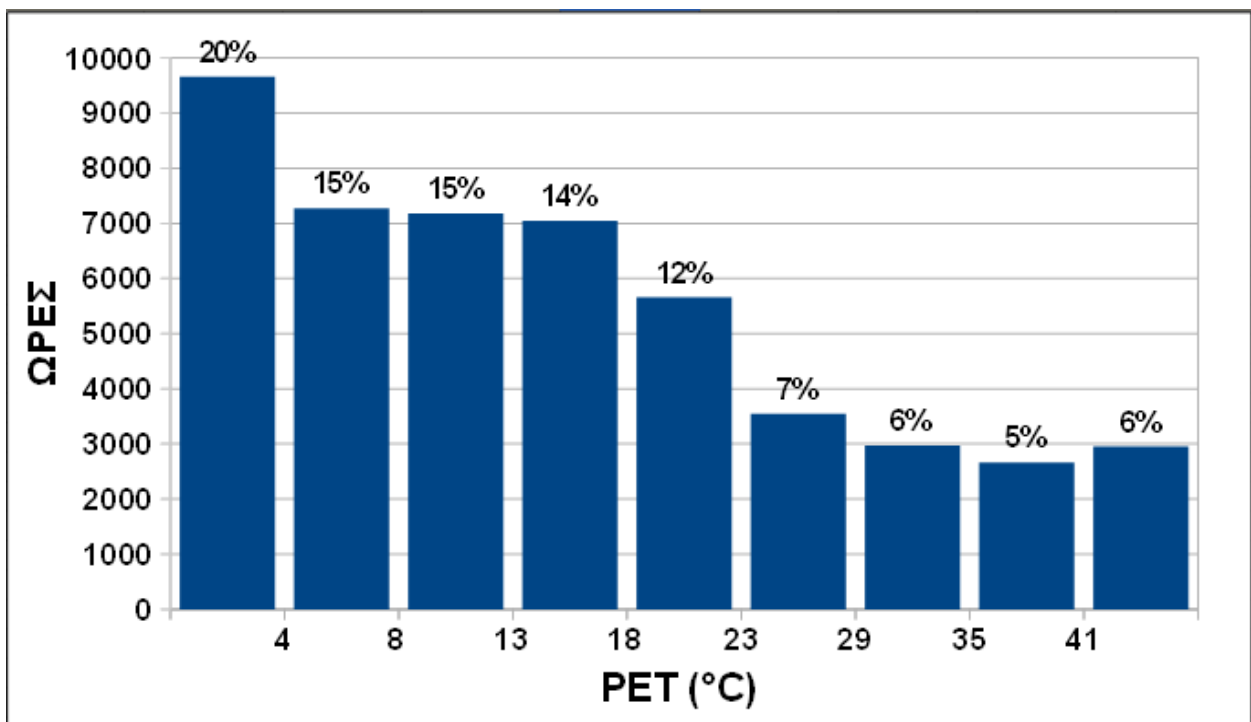
**Σχήμα 48:** Κατανομή ωριαίων τιμών (Ψυττάλεια)

Σύμφωνα με τα παραπάνω σχήματα (Σχήμα 47, Σχήμα 48) παρατηρούμε ότι κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών (Μάιος-Σεπτέμβριος), υπάρχουν λίγες ώρες στη διάρκεια του 24ώρου στις οποίες η τιμή του δείκτη PET υπερβαίνει την τιμή των 41,0°C (ισχυρή δυσφορία λόγω ζέστης). Κατά τη διάρκεια των ψυχρών μηνών του έτους (Οκτώβριος-Απρίλιος) παρατηρούνται αρκετές ώρες στη διάρκεια του 24ώρου όπου η τιμή του δείκτη PET είναι μικρότερη των 4,0°C (ισχυρή δυσφορία λόγω ψύχους). Το καλοκαίρι του 2005 έχει μερικές πολύ ακραίες τιμές καθώς και τη χειμερινή περίοδο 2007-2008. Σε θερμοκρασίες σχετικής θερμικής άνεσης (18-23 °C), αντιστοιχεί ένα καλό ποσοστό του συνόλου καθώς και σε ένα ευρύτερο πεδίο (13-29 °C) έχουμε επίσης πολλές ώρες. Γενικά, οι θερμοκρασίες για τον άνθρωπο στην περιοχή, είναι το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου ιδανικές και η έντονη δυσφορία λόγω ψηλών ή χαμηλών θερμοκρασιών είναι σχετικά λίγες. Τη θερινή περίοδο η αίσθηση της ζέστης κρατάει λιγότερο συγκριτικά με τη χειμερινή περίοδο, όπου το κρύο είναι αισθητό για μεγαλύτερο διάστημα χωρίς να είναι όμως πολύ έντονο. Η συμπεριφορά του δείκτη PET είναι παρεμφερή με αυτή του σταθμού 'Άγιος Κοσμάς' με μόνη διαφορά ότι σε όλες τις περιόδους η αισθητή θερμοκρασία είναι ελάχιστα ψυχρότερη από την αντίστοιχη στον 'Άγιο Κοσμά'. Οι λόγοι θα είναι ίδιοι, δηλαδή η ύπαρξη της θάλασσας, και καθώς ο σταθμός αυτός είναι ακόμη πιο μακριά από οικίες (μόνο η βιομηχανική μονάδα καθαρισμού του νερού βρίσκεται δίπλα στο σταθμό) και ουσιαστικά μιλάμε για νησί το οποίο επηρεάζεται ακόμη περισσότερο από την ύπαρξη της θάλασσας, θα είναι και ο λόγος που υπάρχει αυτή η μικρή διαφορά με τον 'Άγιο Κοσμά'.

## 4.10. Ζωγράφου



Σχήμα 49: Διακύμανση του δείκτη PET για τη χρονική περίοδο 2005-2011 (Ζωγράφου)



Σχήμα 50: Κατανομή ωριαίων τιμών (Ζωγράφου)

Η πληρότητα αποτελεσμάτων για την εξεταζόμενη περίοδο για το σταθμό 'Ζωγράφου' είναι **79,78 %** και η πληρότητα από την ημέρα ενεργοποίησής του σταθμού είναι **87,15 %**.

Σύμφωνα με τα σχήματα του σταθμού (Σχήμα 49, Σχήμα 50), παρατηρούμε ότι κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών (Μάιος-Σεπτέμβριος), υπάρχουν σχετικά αρκετές ώρες στη διάρκεια του 24ώρου στις οποίες η τιμή του δείκτη PET υπερβαίνει την τιμή των 41,0°C (ισχυρή δυσφορία λόγω ζέστης). Κατά τη διάρκεια των ψυχρών μηνών του έτους (Οκτώβριος-Απρίλιος) παρατηρούνται πολλές ώρες στη διάρκεια του 24ώρου όπου η τιμή του δείκτη PET είναι μικρότερη των 4,0°C (ισχυρή δυσφορία λόγω ψύχους). Το καλοκαίρι του 2005 έχει μερικές πολύ ακραίες τιμές και τις χειμερινές περιόδους 2005-2006 και 2007-2008. Σε θερμοκρασίες σχετικής θερμικής άνεσης (18-23 °C), αντιστοιχεί ένα καλό ποσοστό του συνόλου και σε ένα ευρύτερο πεδίο (13-29 °C) έχουμε επίσης σχετικά πολλές ώρες. Τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου οι θερμοκρασίες για τον άνθρωπο είναι για μεγάλο διάστημα χαμηλές (ψυχρές έως πολύ ψυχρές). Τη θερινή περίοδο οι θερμοκρασίες για τον άνθρωπο δεν είναι πολύ ψηλές για μεγάλα διαστήματα σύμφωνα με το δείκτη PET. Ο δείκτης παρουσιάζει ομοιότητες με του σταθμού 'Μάνδρα', με διαφορά ότι έχει περισσότερες ακραίες τιμές την καλοκαιρινή περίοδο ενώ η ψυχρή περίοδος είναι ελαφρά πιο ψυχρή.

## 4.11. Πίνακας Ελαχίστων και Μεγίστων Απολύτων Τιμών του Δείκτη PET

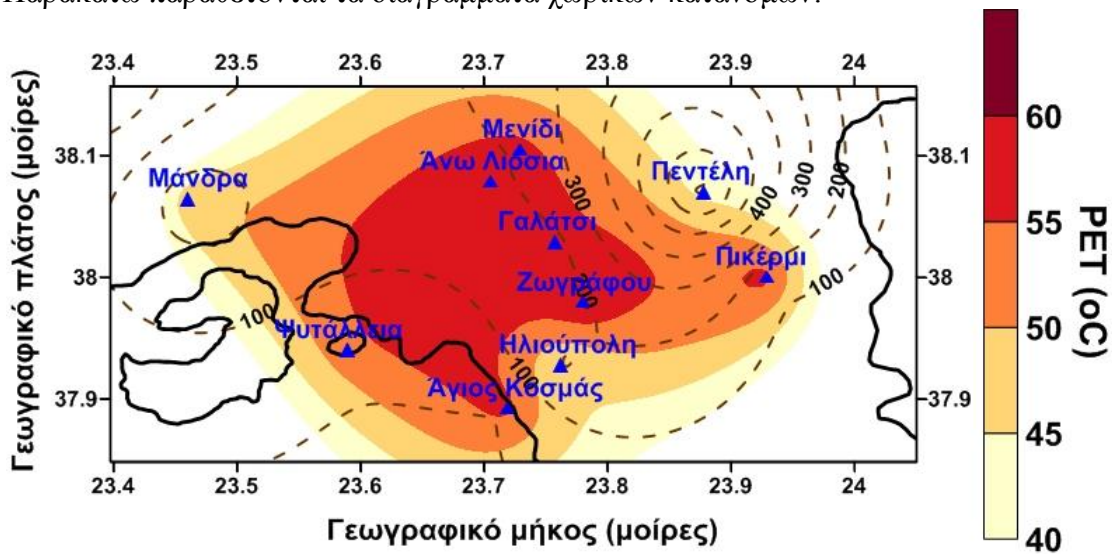
Από τον πίνακα 8, όπου φαίνονται οι απόλυτες μέγιστες και ελάχιστες τιμές του δείκτη PET για τη θερινή και τη χειμερινή περίοδο και το πότε αυτές εμφανίζονται, δημιουργήθηκαν τα σχήματα χωρικής κατανομής, τα οποία παρουσιάζονται και σχολιάζονται εν συνεχεία στα συμπεράσματα.

**Πίνακας 8:** Απόλυτες μέγιστες και ελάχιστες τιμές του δείκτη PET (περίοδος 2005-2011)

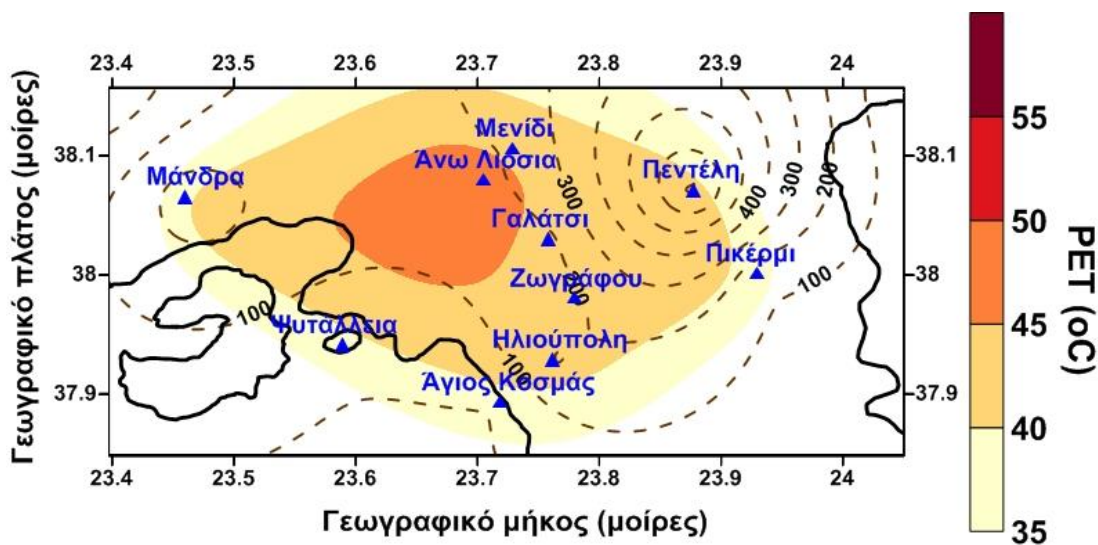
| Περιοχή Σταθμού | Θερινή περίοδος                  |                      | Ψυχρή περίοδος       |                      |
|-----------------|----------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|                 | Max PET (°C)                     | Min PET (°C)         | Max PET (°C)         | Min PET (°C)         |
| Άγιος Κοσμάς    | 56.3                             | 5.5                  | 38.3                 | -11.5                |
|                 | 27/07/05 12:00                   | 04/05/06 05:00       | 10/10/07 12:00       | 18/02/08 06:00       |
| Άνω Λιόσια      | 58.3                             | 2.7                  | 51.6                 | -12.7                |
|                 | 26/06/07 13:00                   | 07/05/11 05:00       | 07/10/11 11:00       | 19/02/08 1:00        |
| Γαλάτσι         | 55.9                             | -8.6                 | 40.8                 | -12.0                |
|                 | 25/06/07 04:00                   | 30/09/11 17:00-23:00 | 13/04/08 3:00        | 16/02/08 22:00       |
| Ηλιούπολη       | 57.4                             | 3.8                  | 44.2                 | -11.7                |
|                 | 27/06/07 12:00                   | 04/05/06 5:00        | 05/10/05 14:00       | 18/02/08 6:00        |
| Μάνδρα          | 48.7                             | -14.5                | 48.6                 | -14.5                |
|                 | 09/07/09 13:00                   | 08/02/06 1:00        | 08/10/08 9:00        | 18/02/08 6:00-7:00   |
| Μενίδι          | 56.5                             | 2.4                  | 41.7                 | -13.8                |
|                 | 26/06/07 14:00                   | 07/05/11 4:00        | 14/04/08 12:00       | 18/02/08 07:00       |
| Πεντέλη         | 54.5                             | -2.1                 | 43.9                 | -14.9                |
|                 | 26/06/07 12:00                   | 04/05/06 05:00       | 02/04/06 12:00-13:00 | 17/02/08 7:00        |
| Πικέρμι         | 56.3                             | 3.0                  | 41.5                 | -12.6                |
|                 | 26/06/07 12:00                   | 07/05/06 2:00        | 22/04/08 13:00       | 18/02/08 07:00       |
| Ψυττάλεια       | 53.3                             | 5.3                  | 38.5                 | -12.4                |
|                 | 24/06/07 14:00                   | 06/05/06 04:00       | 26/10/10 12:00       | 18/02/08 06:00-07:00 |
| Ζωγράφου        | 59.9                             | 0.9                  | 42.4                 | -12.7                |
|                 | 12/08/05 15:00<br>13/08/05 14:00 | 07/05/06 5:00        | 24/4/08 12:00        | 26/01/06 7:00        |

## 5. ΣΧΟΛΙΑ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Παρακάτω παραθέτονται τα διαγράμματα χωρικών κατανομών:



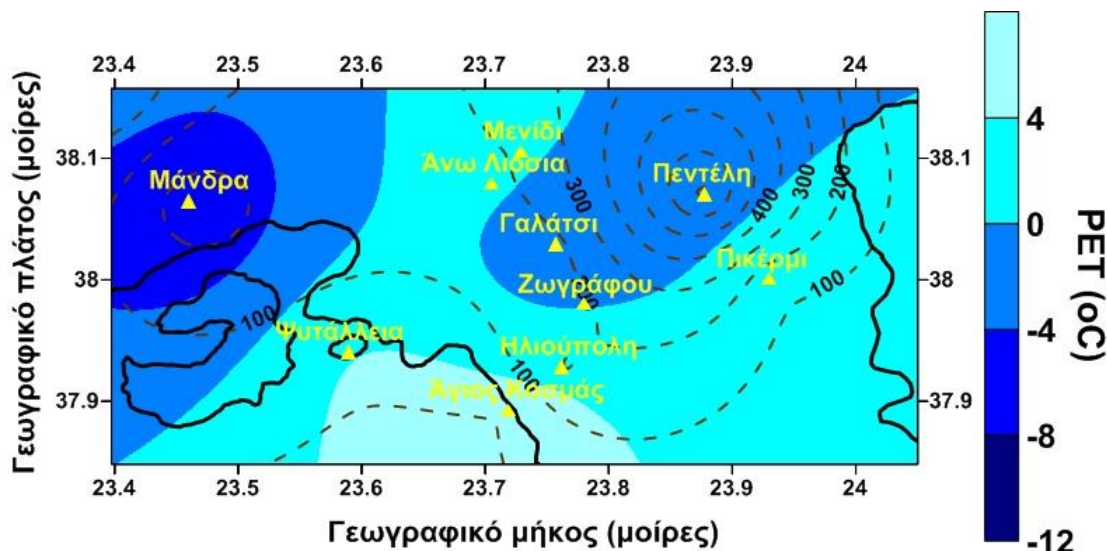
**Σχήμα 51:** Χωρική κατανομή των απόλυτων μέγιστων τιμών του δείκτη PET. Θερμή περίοδος του έτους (Μάιος-Σεπτέμβριος). Περίοδος 2005-2011.



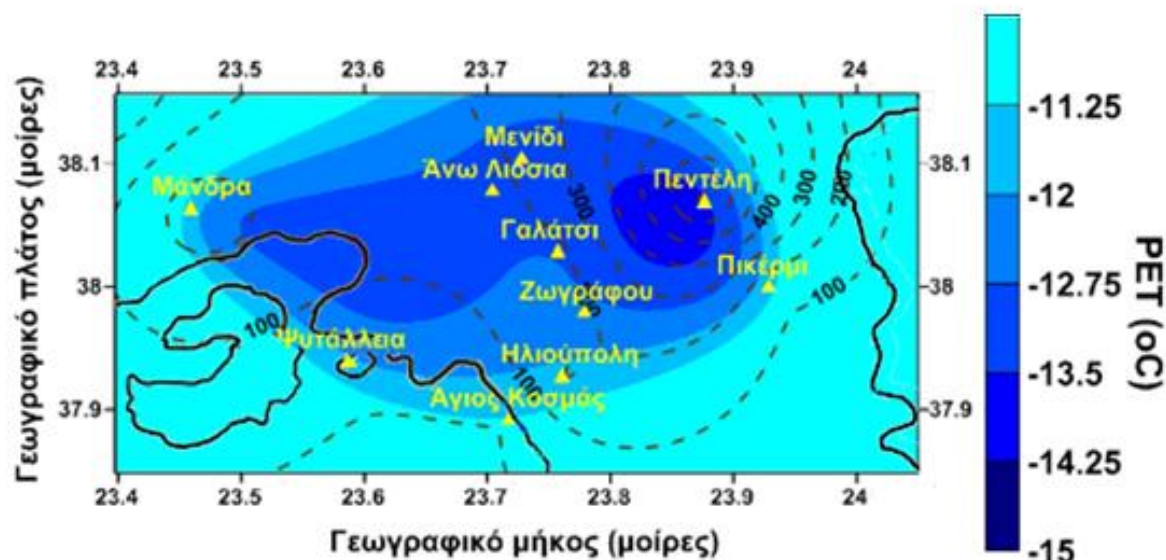
**Σχήμα 52:** Χωρική κατανομή των απόλυτων μέγιστων τιμών του δείκτη PET. Ψυχρή περίοδος του έτους (Οκτώβριος-Απρίλιος). Περίοδος 2005-2011.

Παρατηρούμε ότι όταν έχουμε τις μέγιστες τιμές στο δείκτη και στις δύο περιόδους του χρόνου (θερμή και ψυχρή), οι υψηλότερες ξεκινάνε από το κέντρο της Αθήνας και όσο απομακρυνόμαστε από αυτό μειώνονται και αυτές. Αυτό φυσικά οφείλεται στην ίδια τη φύση του λεκανοπεδίου της Αττικής που λόγω των βουνών που το περιτριγυρίζουν είναι δύσκολη η ανανέωση του θερμού αέρα που εγκλωβίζεται στο κέντρο της λεκάνης. Η πυκνή δόμηση της Αθήνας, η έλλειψη πρασίνου και η αυξημένη ρύπανση απλά φαίνεται να δυσχεραίνουν την κατάσταση.





**Σχήμα 53:** Χωρική κατανομή των απόλυτων ελάχιστων τιμών του δείκτη PET. Θερμή περίοδος του έτους (Μάιος-Σεπτέμβριος). Περίοδος 2005-2011.



**Σχήμα 54:** Χωρική κατανομή των απόλυτων ελάχιστων τιμών του δείκτη PET. Ψυχρή περίοδος του έτους (Οκτώβριος-Απρίλιος). Περίοδος 2005-2011.

Από τα παραπάνω σχήματα (σχήμα 53, σχήμα 54), παρατηρούμε ότι όταν έχουμε τις απόλυτα ελάχιστες τιμές του δείκτη PET, οι χαμηλότερες αυτών εντοπίζονται στα βουνά και στους πρόποδες αυτών (περιοχές που βρίσκονται οι σταθμοί ‘Πεντέλη’ και ‘Μάνδρα’). Οι παραθαλάσσιες περιοχές φαίνονται να έχουν ηπιότερο κλίμα από όλες τις άλλες. Η τιμή του PET είναι ψηλότερη και κατά τη θερινή αλλά και κατά τη χειμερινή περίοδο.

Εδώ να σημειώσουμε, ότι η μέρα με τις υψηλότερες τιμές του δείκτη PET, είναι η 26 Ιουνίου του 2007 και οι μέρες γύρω από αυτή. Οι ώρες που παρατηρήθηκαν οι μέγιστες είναι οι μεσημεριανές, δηλαδή 12:00 – 14:00. Η μέρα με τις χαμηλότερες τιμές του δείκτη PET, είναι 18



Φεβρουαρίου του 2008 και τις μέρες γύρω από αυτή. Οι ώρες που παρουσιάζονται είναι κατά το ξημέρωμα, δηλαδή 06:00 – 7:00.

Συνήθως, όπως προκύπτει από τα διαγράμματα της διακύμανσης του δείκτη PET και τον πίνακα 8, ο ψυχρότερος μήνας κάθε χρόνο είναι ο Φεβρουάριος, στον οποίο εμφανίζονται και οι ελάχιστες τιμές του δείκτη σε όλες τις περιοχές που εξετάζουμε. Αντίστοιχα, για τη θερμή περίοδο, οι πρώτες ακραίες τιμές εμφανίζονται μέσα Ιουνίου συνήθως και μετά ανά τακτά διαστήματα τους επόμενους δύο μήνες.

Συμπερασματικά, το κλίμα της ευρύτερης περιοχής των Αθηνών έχει αρκετές διακυμάνσεις ανάλογα την περιοχή, με τις περιοχές στο κέντρο του λεκανοπεδίου να χαρακτηρίζονται από γενικά καλές τιμές του δείκτη μέσα στο χρόνο, παρουσιάζοντας όμως αρκετές ακραίες συνθήκες κατά τη ψυχρή και κατά τη θερμή περίοδο. Οι περιοχές εξωτερικά του κέντρου, έχουν ηπιότερες συνθήκες για τον άνθρωπο κατά την θερινή περίοδο αλλά είναι πολύ ψυχρές (μεγάλη δυσφορία) τη χειμερινή περίοδο, ειδικά τις πρώτες πρωινές ώρες της ημέρας και ειδικά κοντά στις ορεινές περιοχές και σε μεγαλύτερα υψόμετρα (π.χ. περιοχή σταθμού Πεντέλης). Το ιδανικό κλίμα δείχνει να είναι στις περιοχές ακριβώς δίπλα στη θάλασσα, όπου οι βιοκλιματικές συνθήκες είναι πολύ καλές κατά τη διάρκεια της ψυχρής αλλά και κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου, με αισθητές θερμοκρασίες που σπάνια αγγίζουν τα όρια μεγάλης δυσφορίας για τον άνθρωπο.

Γενικά, θα μπορούσαμε να πούμε ότι διαπιστώνεται η ύπαρξη του φαινομένου της θερμής αστικής νησίδας στην ευρύτερη περιοχή της πόλης των Αθηνών. Αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στην έντονη αστικοποίηση στη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών και στην κατακόρυφη και οριζόντια ανάπτυξη της πόλης. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση της ελεύθερης επιφάνειας της γης και των χώρων πρασίνου. Παρατηρούνται μεγάλες μεταβολές των βιομετεωρολογικών συνθηκών μεταξύ γειτονικών περιοχών που λογικά θα έπρεπε να εμφανίζουν την ίδια θερμική συμπεριφορά.

Όλα τα παραπάνω έχουν άμεσες και έμμεσες συνέπειες στους κατοίκους της ευρύτερης περιοχής των Αθηνών. Οι άμεσες συνέπειες για παράδειγμα, είναι οι επιπτώσεις στην υγεία τους με έντονους και παρατεταμένους καύσωνες στη διάρκεια των θερινών μηνών, που οδηγούν στη θερμοπληξία. Ως έμμεσες συνέπειες θα μπορούσαν να θεωρηθούν οι αυξημένες ανάγκες κατανάλωσης ενέργειας για ψύξη στη διάρκεια των θερινών μηνών.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- AMS (American Meteorological Society) (1954) Meteorological Monographs, Recent studies in bioclimatology. AMS, Boston
- AMS (American Meteorological Society) (1959) Glossary of Meteorology. AMS, Boston
- Ανδρεαδάκη Ε (2006) Βιοκλιματικός σχεδιασμός. Περιβάλλον και βιωσιμότητα. University Studio Press, Θεσσαλονίκη
- Bauer B, Breuste J, Matzarakis A, Mayer H (1999) Micro-meteorological Measurements in small urban structures. 15th International Congress of Biometeorology & International congress on Urban Climatology, Sydney, Australia
- Franger P (1970) Thermal comfort. McGraw-Hill, New York
- Givonni B (1998) Climate consideration in building and urban design. Wiley, New York
- Gonzalez R, Nishi Y, Gagge A (1974) Experimental evaluation of standard effective temperature. A new biometeorological index of man's thermal discomfort. International Journal of Biometeorology
- Hoppe P (1999) The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. International Journal of Biometeorology
- Johansson E, Emmanuel R (2006) The influence of urban design on outdoor thermal comfort in hot humid city of Colombo, Sri Lanka. SpringerLink
- Κολοβού Ε (2007) Βιοκλιματική ανάσα για την Αθήνα. Ελεύθερος Τύπος της Κυριακής, 15 Ιουλίου
- Matzarakis A, Mayer H (1997) Atmospheric conditions and human thermal comfort in urban areas. 11th Seminar on Environmental Protection, Thessaloniki, Greece.
- Matzarakis A, Mayer H, Iziomon M (1993) Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. International Journal of Biometeorology
- Mayer H, Rutz F, Matzarakis A (2000) Importance of the mean radiant temperature on thermal conditions of humans in urban areas. 3rd Japanese-German Symposium on Urban Climatology.
- Matzarakis A, Rutz F (2005) RayMan-Possibilities and Limitation. Albert-Ludwigs Freiburg University
- Mayer H, Matzarakis A (2006) Impact of street trees on the thermal comfort of people in summer: A case study in Freiberg (Germany). Merhavim
- Νικολοπούλου Μ, Λυκούδης Σ, Κίκηρα Μ (2004) Μοντέλα Θερμικής Άνεσης για Ανοικτούς Αστικούς Χώρους. Σχεδιασμός Υπαίθριων Αστικών Χώρων με Βιοκλιματικά Κριτήρια, ΚΑΠΕ CRES
- Rutz F, Mayer H, Matzarakis A (2006) Modelling the thermal bioclimate in urban areas with the RayMan Model. 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Switzerland.
- Parsons K.C (1993) Human thermal environments. Taylor & Francis, London
- Παπαδόπουλος Α (2006) Θερμική Άνεση στα Κτίρια. Νέα πρότυπα και βελτίωση θερμικής άνεσης στα Κτίρια.
- Τσίππρας Κ (2005) Οικολογική αρχιτεκτονική. Κέδρος, Θεσσαλονίκη
- Φλοκάς Α (1997) Μαθήματα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας. Ζήτη, Θεσσαλονίκη
- Χρονοπούλου – Σερέλη Α, Μπερνάρ Ο (1997) Μαθήματα Βιοκλιματολογίας. Αθήνα
- Χρυσομαλλίδου Ν, Θεοδοσίου Θ, Τσικαλουδάκη Κ (2005) Αειφόρος ανάπτυξη ελεύθερων χώρων σε αστικό περιβάλλον. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Θεσσαλονίκη.

- Matzarakis A, Mayer H, Iziomon M (1993) Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. *International Journal of Biometeorology*
- Mayer H, Rutz F, Matzarakis A (2000) Importance of the mean radiant temperature on thermal conditions of humans in urban areas. 3rd Japanese-German Symposium on Urban Climatology.
- Matzarakis A, Rutz F (2005) RayMan-Possibilities and Limitation. Albert-Ludwigs Freiburg University
- Mayer H, Matzarakis A (2006) Impact of street trees on the thermal comfort of people in summer: A case study in Freiberg (Germany). *Merhavim*
- Νικολοπούλου Μ, Λυκούδης Σ, Κίκηρα Μ (2004) Μοντέλα Θερμικής Άνεσης για Ανοικτούς Αστικούς Χώρους. Σχεδιασμός Υπαίθριων Αστικών Χώρων με Βιοκλιματικά Κριτήρια, ΚΑΠΕ CRES
- Rutz F, Mayer H, Matzarakis A (2006) Modelling the thermal bioclimate in urban areas with the RayMan Model. 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Switzerland.
- Parsons K.C (1993) Human thermal environments. Taylor & Francis, London
- Παπαδόπουλος Α (2006) Θερμική Άνεση στα Κτίρια. Νέα πρότυπα και βελτίωση θερμικής άνεσης στα Κτίρια.
- Τσίππρας Κ (2005) Οικολογική αρχιτεκτονική. Κέδρος, Θεσσαλονίκη
- Φλοκάς Α (1997) Μαθήματα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας. Ζήτη, Θεσσαλονίκη
- Χρονοπούλου – Σερέλη Α, Μπερναρ Ο (1997) Μαθήματα Βιοκλιματολογίας. Αθήνα
- Χρυσομαλλίδου Ν, Θεοδοσίου Θ, Τσικαλουδάκη Κ (2005) Αειφόρος ανάπτυξη ελεύθερων χώρων σε αστικό περιβάλλον. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Θεσσαλονίκη.
- K. P. Moustiris, P. T. Nastos, and A. G. Paliatsos (2013). Research Article: One-Day Prediction of Biometeorological Conditions in a Mediterranean Urban Environment Using Artificial Neural Network Modelings