



**ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΜΕ
ΕΙΔΙΚΕΥΣΗ "ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ"**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Μελέτη μικρο-βιοκλιματικών συνθηκών στην
Πανεπιστημιούπολη Αθηνών : Πειραματικές μετρήσεις και
μοντελοποίηση.**

**Assessment of micro bioclimatic conditions within the Athens
University Campus : In situ measurements and modelling.**

Ηλιάνα Δ. Πολυχρόνη Α.Μ. 21130

Επιβλέπων : Παναγιώτης Νάστος, Καθηγητής, (ΕΚΠΑ)

**ΑΘΗΝΑ
Νοέμβριος 2014**

Τριμελής επιτροπή

Παναγιώτης Νάστος, Καθηγητής, (ΕΚΠΑ)

Ευάγγελος Μπαλτάς, Αναπλ. Καθηγητής, (ΕΜΠ)

Μαρία Χατζάκη, Λέκτορας, (ΕΚΠΑ)

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η διπλωματική αυτή εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών του τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος με ειδίκευση «Γεωγραφία και Περιβάλλον» και πραγματεύεται την μελέτη των μικρο-βιοκλιματικών συνθηκών στην Πανεπιστημιούπολη Αθηνών κατόπιν πειραματικών μετρήσεων και μοντελοποίησης.

Θα ήθελα σε αυτό το σημείο να ευχαριστήσω θερμά :

Τον επιβλέποντα κ. Παναγιώτη Νάστο, Καθηγητή ΕΚΠΑ, για την ανάθεση, την επίβλεψη, την ενθάρρυνση και την καθοδήγησή του, καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Τα μέλη της τριμελούς επιτροπής κ. Παναγιώτη Νάστο, Καθηγητή ΕΚΠΑ, κ. Ευάγγελο Μπαλτά, Αναπληρωτή Καθηγητή ΕΜΠ και κ. Μαρία Χατζάκη, Λέκτορας ΕΚΠΑ για τις εύστοχες και καλοπροαίρετες κριτικές τους ώστε το παρόν πόνημα να είναι αρτιότερο.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω την υποψήφια διδάκτορα Αναστασία Μπλέτα για τις συμβουλές της σε πολλά στάδια της εργασίας.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θέλω να εκφράσω στον Παναγιώτη Παπαζώτο για τη πολύτιμη βοήθεια του κατά τη διεξαγωγή των πειραματικών μετρήσεων και τη συμπαράσταση του καθ' όλη τη διάρκεια της διπλωματικής εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να δώσω τις πιο θερμές ευχαριστίες στην οικογένεια μου για την αγάπη, την ηθική και υλική υποστήριξη και ενθάρρυνσή τους σε όλο αυτό το διάστημα των σπουδών μου.

Ηλιάννα Δ. Πολυχρόνη
Αθήνα, 26.11.2014

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το αντικείμενο μελέτης της εργασίας αυτής είναι η εκτίμηση των μικρο-βιοκλιματικών συνθηκών στην Πανεπιστημιούπολη Αθηνών, με τη χρήση μοντέλων, όπως το RayMan. Ο προσδιορισμός της ανθρώπινης θερμικής αίσθησης στην Πανεπιστημιούπολη θεωρήθηκε μεγάλης σημασίας λόγω της μεγάλης συγκέντρωσης φοιτητών και μελών του Πανεπιστημίου. Η ανάλυση των βιοκλιματικών συνθηκών έγινε, χρησιμοποιώντας την φυσιολογικά ισοδύναμη θερμοκρασία (Physiologically Equivalent Temperature, PET), η οποία βασίζεται στο ενεργειακό ισοζύγιο του ανθρώπου. Κατά την περίοδο Ιανουαρίου - Ιουλίου 2013, προκειμένου να υπολογιστεί ο δείκτης PET, έγιναν μετρήσεις πεδίου της θερμοκρασίας του αέρα, της σχετικής υγρασίας, της ταχύτητας του ανέμου και της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε διαφορετικές θέσεις του εξεταζόμενου μικρο-αστικού περιβάλλοντος. Επιπλέον, υπολογίστηκε ο δείκτης PET για διάφορους συντελεστές θέασης ουράνιου θόλου (sky view factor) και έγινε η σύγκριση του με τη θέση αναφοράς (Μετεωρολογικός σταθμός του Εργαστηρίου Κλιματολογίας και Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αθηνών). Η ολική ακτινοβολία μεταφέρθηκε από τη θέση αναφοράς στις εξεταζόμενες θέσεις με το μοντέλο RayMan, το οποίο λαμβάνει υπόψη τους συντελεστές θέασης ουράνιου θόλου για την προσαρμογή των ροών ακτινοβολίας σε απλά και σύνθετα περιβάλλοντα.

Τα αποτελέσματα έδειξαν σημαντικές διαφορές των τιμών του δείκτη PET, ακόμη και σε πολύ κοντινές θέσεις. Εκτός αυτού, η μελέτη αυτή υπογραμμίζει ότι η φύτευση δένδρων μεταξύ άλλων δράσεων θα μπορούσε να είναι η λύση για τη μείωση της ισχυρής/ακραίας θερμικής επιβάρυνσης, βελτιώνοντας την ποιότητα ζωής στις πόλεις.

Λέξεις Κλειδιά : βιοκλιματολογία, βιοκλιματικές συνθήκες, PET, Αθήνα.

ABSTRACT

The objective of this research is to assess and analyze the bioclimatic conditions in human thermal bioclimatic conditions in the Athens University Campus (AUC) using urban micro models such as RayMan. The quantification of human thermal sensation in such a place was considered of great significance due to the great gathering of student body and members of University. The quantification of the bioclimatic conditions was succeeded by the estimation of the Physiologically Equivalent Temperature (PET), which is a bio-climatological index based on the human energy balance. We made field measurements of air temperature, relative humidity, wind speed and total solar irradiance, for different sites of the examined micro urban environment, in order to calculate PET, during January-July 2013. Additionally, the calculations were done by different sky view factors, and compared to a reference site (Meteorological station of Laboratory of Climatology and Atmospheric Environment, University of Athens). The global radiation was transferred to the examined sites with the RayMan model, which considers the sky view factors for the adaptation of the radiation fluxes to simple and complex environments.

The findings revealed significant differences in PET quantification, even in very close sites, which differs in sky view factor and buildings orientation and height. Besides, this study highlights the beneficial impact of trees and green cover in a complex environment, indicating that planting of trees among other actions could be the solution of mitigating strong/extreme heat stress, improving the quality of living in cities.

Keywords : bioclimatology, human thermal bioclimatic conditions, PET, Athens.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
ABSTRACT	5
1. ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΒΙΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ	8
1.1 Γενικά	8
1.2 Αντικείμενο και ιστορική εξέλιξη της Βιομετεωρολογίας -Βιοκλιματολογίας	9
1.3 Βιοκλιματολογία - Βιομετεωρολογία και ανθρώπινος οργανισμός	12
2. ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ ΚΑΙ ΑΝΘΡΩΠΟΣ	14
2.1 Θερμική άνεση	14
2.2 Παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμική άνεση	16
2.2.1 Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας (T_{mrt})	17
2.2.2 Θερμοκρασία αέρα	20
2.2.3 Σχετική υγρασία	21
2.2.4 Ταχύτητα ανέμου	24
2.2.5 Ένδυση	26
2.2.6 Μεταβολισμός.....	29
2.3 Θερμικό ισοζύγιο ενέργειας του ανθρώπου	31
2.4 Θερμική αίσθηση ανθρώπου στους ελεύθερους κοινόχρηστους χώρους	35
3. ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ	38
3.1 Εξέλιξη και κατηγοριοποίηση	38
3.2 Δείκτης PET (Physiological Equivalent Temperature)	43
3.3 Δείκτης UTCI (Universal Thermal Climate Index)	48
3.4 Σύγκριση των δεικτών PET και UTCI	52
4. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ	55
4.1 Γενικά για την περιοχή της Αθήνας	55
4.2 Αστικοποίηση στην Αθήνα	56
4.3 Η περιοχή της Πανεπιστημιούπολης Αθηνών	57
4.4 Προηγούμενη έρευνα στην Πανεπιστημιούπολη Αθηνών	59
4.5 Θέσεις και πειραματικές μετρήσεις στην Πανεπιστημιούπολη Αθηνών	61
4.6 Επεξεργασία δεδομένων	66
4.6.1 Γενικά για το μοντέλο RayMan Pro.....	68
4.6.2 Περιβάλλον και τρόπους λειτουργίας του μοντέλου RayMan Pro ..	70
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ	78
5.1 Πειραματικές μετρήσεις	78
5.1.1 Χρονική διακύμανση του δείκτη PET για τον σταθμό αναφοράς (θέση 4) και για τις εξεταζόμενες θέσεις 1, 2 και 3	79
5.1.2 Συχνότητα (%) εμφάνισης των κλάσεων του δείκτη PET σε κάθε μια από τις εξεταζόμενες θέσεις 1, 2 και 3	82

5.1.3 Κατανομή των τιμών του δείκτη PET σε σχέση με τον μήνα και την ώρα της ημέρας για κάθε μια από τις εξεταζόμενες θέσεις 1, 2 και 3	87
5.2 Μεταφορά της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας από τα δεδομένα του σταθμού αναφοράς (θέση 4) στα δεδομένα των θέσεων 1, 2 και 3	94
5.2.1 Χρονική διακύμανση του δείκτη PET για τον σταθμό αναφοράς (θέση 4) και για τις εξεταζόμενες θέσεις 1, 2 και 3 λαμβάνοντας υπόψη τη μεταφορά της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας από τον σταθμό αναφοράς	97
5.2.2 Συχνότητα (%) εμφάνισης των κλάσεων του δείκτη PET σε κάθε μια από τις εξεταζόμενες θέσεις 1, 2 και 3, λαμβάνοντας υπόψη τη μεταφορά της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας από τον σταθμό αναφοράς	100
5.2.3 Κατανομή των τιμών του δείκτη PET σε σχέση με το μήνα και την ώρα της ημέρας για κάθε μια από τις εξεταζόμενες θέσεις 1, 2 και 3, λαμβάνοντας υπόψη τη μεταφορά της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας από τον σταθμό αναφοράς	105
5.3 Σύγκριση γραφημάτων	111
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	117
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	119

1. ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΒΙΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ

1.1 Γενικά

Το αεριώδες τμήμα που περιβάλλει τη Γη και την ακολουθεί στο σύνολο των κινήσεων της, ονομάζεται ατμόσφαιρα. Η ατμόσφαιρα είναι αόρατη, άοσμη και παρουσιάζει ένα πλήθος ιδιοτήτων που αποτελούν τις συνθήκες του άμεσου περιβάλλοντος των ζωικών και φυτικών οργανισμών του πλανήτη μας. Σαν αποτέλεσμα πολύπλοκων διεργασιών, μέσα στην ατμόσφαιρα παρατηρούνται μετατροπές τόσο της ηλιακής όσο και της γήινης ακτινοβολίας σ' άλλες μορφές ενέργειας (π.χ. θερμότητα, κινητική ενέργεια κλπ.). Η ατμόσφαιρα, λοιπόν, μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα κέντρο θερμοδυναμικών και μηχανικών λειτουργιών οι οποίες είναι υπεύθυνες για τη δημιουργία διαφόρων φαινομένων. Τα φαινόμενα αυτά λέγονται μετεωρολογικά φαινόμενα γιατί συμβαίνουν μέσα στην ατμόσφαιρα και γίνονται αντιληπτά από τον άνθρωπο είτε άμεσα είτε έμμεσα με τη μεσολάβηση οργάνων. Η επιστήμη που εξετάζει την ατμόσφαιρα, και τα φαινόμενα που συμβαίνουν μέσα σ' αυτή, λέγεται Μετεωρολογία. Η κατάσταση της ατμόσφαιρας πάνω από μια περιοχή για μια ορισμένη χρονική στιγμή, συμπεριλαμβανομένης και της εξέλιξης αυτής της κατάστασης από τη γένεση ως το τέλος των συγκεκριμένων ατμοσφαιρικών διαταραχών, ονομάζεται καιρός. Η μέση καιρική κατάσταση, δηλαδή η σύνθεση ου καιρού για μια μεγάλη χρονική περίοδο που είναι απαραίτητη για την απαλοιφή των σφαλμάτων και την εδραίωση στατιστικών παραμέτρων, λέγεται κλίμα. Είναι φανερό πως το κλίμα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον καιρό. Το κλίμα αποτελεί αντικείμενο μελέτης της Κλιματολογίας (Φλόκας, 1997).

1.2 Αντικείμενο και ιστορική εξέλιξη της Βιομετεωρολογίας - Βιοκλιματολογίας

Το ατμοσφαιρικό περιβάλλον, ιδιαίτερα κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, επηρεάζει καθοριστικά τις συνθήκες διαβίωσης φυτικών και ζωικών οργανισμών. Κάποιοι από τους έμβιους οργανισμούς μπορούν να ανταπεξέλθουν σε εξαιρετικά αντίξοες συνθήκες ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος και να επιβιώσουν, ανάλογα με τους μηχανισμούς άμυνας που διαθέτουν, ενώ άλλοι θα μετακινηθούν προς αναζήτηση βελτιωμένων συνθηκών περιβάλλοντος. Τέλος, κάποιοι άλλοι δεν επιβιώνουν αφού αδυνατούν να αντιμετωπίσουν τις συνθήκες αυτές και τότε έχουμε εξαφάνιση φυτικών και ζωικών ειδών (Χρονοπούλου-Σερέλη και Χρονόπουλος, 2011). Οι ατμοσφαιρικές συνθήκες παίζουν ιδιαίτερο ρόλο στις συνθήκες διαβίωσης του ανθρώπινου οργανισμού, με αποτέλεσμα σε ορισμένες οριακές καταστάσεις να έχουν καθοριστική σημασία και στην επιβίωση του. Τόσο οι φυτικοί όσο και οι ζωικοί οργανισμοί μέσω των φυσιολογικών τους διεργασιών και δραστηριοτήτων επηρεάζουν με την σειρά τους το ατμοσφαιρικό περιβάλλον μέσα στο οποίο διαβιούν. Αυτή η αλληλεπίδραση ατμοσφαιρικών συνθηκών και έμβιων οργανισμών αποτελεί το αντικείμενο της Βιομετεωρολογίας - Βιοκλιματολογίας (Burton et al., 2009).

Η Βιομετεωρολογία και η Βιοκλιματολογία, αποτελούν εφαρμοσμένους κλάδους της Μετεωρολογίας και της Κλιματολογίας αντίστοιχα, και μελετούν τις σχέσεις που συνδέουν τις ατμοσφαιρικές συνθήκες με βιολογικά φαινόμενα και διεργασίες. Οι δύο επιστήμες διαφοροποιούνται μόνο όσον αφορά τη χρονική διάρκεια των απαιτούμενων δεδομένων των παραμέτρων του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος. Η Βιοκλιματολογία μελετά τα φαινόμενα υπό την επίδραση των κλιματικών συνθηκών, ενώ η Βιομετεωρολογία υπό την επίδραση του παρόντος καιρού (AMS, 1959; VDI, 1998; Allaby, 2007). Επειδή, όμως, τα βιολογικά φαινόμενα και οι διεργασίες ανταποκρίνονται με τον ίδιο τρόπο στα ατμοσφαιρικά

«ερεθίσματα», ανεξάρτητα της χρονικής τους διάρκειας, η επιστήμη της Βιοκλιματολογίας συχνά ταυτίζεται με τη Βιομετεωρολογία και αντίστροφα. Οι δύο επιστήμες δεν ταυτίζονται στη μελέτη ορισμένων αντικειμένων της Βιοκλιματολογίας, όπως είναι η πρόγνωση της συμπεριφοράς και του ρυθμού ανάπτυξης των οργανισμών, η εξέλιξη των οικοσυστημάτων σε διαφορετικά περιβαλλοντικά μέσα κ. ά., γιατί απαιτείται μεγάλη χρονοσειρά δεδομένων των παραμέτρων του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος (Χρονοπούλου-Σερέλη και Χρονόπουλος, 2011).

Η επιστήμη της Βιομετεωρολογίας - Βιοκλιματολογίας είναι μια από τις παλαιότερες περιβαλλοντικές επιστήμες. Υπάρχουν ενδείξεις για τη μελέτη της επίδρασης των ατμοσφαιρικών φαινομένων στα έμβια όντα από την τρίτη π.Χ. χιλιετία στην Κίνα. Επομένως, πρόκειται για μια νέα επιστήμη του 20ού αιώνα και συγχρόνως μια πολύ παλιά. Η Βιομετεωρολογία του Ιπποκράτη (460 – 377π.Χ.) είναι η πρώτη απελευθερωμένη, από αστρολογικές και παγανιστικές θεωρίες, Ιατρική Μετεωρολογία. Η υγεία σύμφωνα με τον Ιπποκράτη είναι συνέπεια της ισορροπίας των σωματικών υγρών, ενώ η ασθένεια της ανισορροπίας. Η ανισορροπία των σωματικών υγρών προκαλείται από τις μεταβολές του καιρού. Ο Ιπποκράτης συνιστά : ' Όποιος θέλει να εφαρμόσει σωστά την Ιατρική, πρέπει να προσέχει τις εποχές, δηλ. τις επιδράσεις που προκαλεί η καθεμία από αυτές. Να προσέχει τους ψυχρούς και θερμούς ανέμους, προπάντων αυτούς που κυριαρχούν παντού, καθώς επίσης και τους τοπικούς' (Ματζαράκης, 1995).

Κατά τα νεότερα χρόνια, οι αναζητήσεις για τη διερεύνηση των μετεωρολογικών φαινομένων δεν έπαψαν να αποτελούν αντικείμενο έρευνας πολλών επιστημόνων, ιδιαίτερα σε ό,τι αφορά τη διερεύνηση των σχέσεων μεταξύ των ατμοσφαιρικών συνθηκών και της ζωής του ανθρώπου. Στο μεσαίωνα, λόγω των θρησκευτικών αντιλήψεων και του πολιτικού κλίματος που επικρατούσε στην Ευρώπη, η διερεύνηση αυτή στον ευρωπαϊκό χώρο ανεστάλη. Αντίθετα, οι Άραβες επιστήμονες

συνέχισαν το έργο τους και τα αποτελέσματα των ερευνών τους διοχετεύθηκαν στο δυτικό κόσμο σε μια εποχή που συνέπεσε με το διαφωτισμό, με αποτέλεσμα να βρουν πρόσφορο επιστημονικά έδαφος για περαιτέρω ανάπτυξη (Χρονοπούλου-Σερέλη και Χρονόπουλος, 2011).

Έτσι για μεγάλο χρονικό διάστημα, οι περιβαλλοντικές παράμετροι ήταν οι μόνες που λαμβάνονταν υπόψη στην ερμηνεία της διάδοσης των επιδημιών και άλλων ασθενειών του ανθρώπου. Κατά το 18^ο και 19^ο αιώνα, μεγάλου βεληνεκούς επιστήμονες, όπως οι Lussac, von Humboldt, Fourier και Carnot, ανέπτυξαν τη μετεωρολογική επιστήμη, η οποία συνδυαζόμενη με τα προϊόντα εξαιρετικών ερευνών μεγάλων βιολόγων (Pasteur κ.ά) έθεσαν τις βάσεις της Βιομετεωρολογίας (WMO, 1954; AMS, 1959; Oliver, 2005; Allaby, 2007). Πιο συγκεκριμένα, ο Alexander von Humboldt, το 1827 στο βιβλίο του 'Ο κόσμος' , περιγράφοντας την έννοια του κλίματος λέει μεταξύ των άλλων : '... όλες οι μεταβολές στην ατμόσφαιρα επηρεάζουν τις αισθήσεις μας ...'.

Στις αρχές του 20^{ου} αιώνα το μετεωρολογικό ενδιαφέρον επικεντρωνόταν τόσο στην ανάπτυξη και την κατασκευή μετρητών και οργάνων, όσο και στην ερμηνεία ατμοσφαιρικών φαινομένων, όπως ήταν ο υετός, το ουράνιο τόξο κ.λπ. Στη δεκαετία του '30 μελετήθηκαν πειραματικά οι επιδράσεις του κλίματος για καθαρά στρατιωτικούς σκοπούς. Μέσα σε κλιματικά εργαστήρια (Climate Chamber) και με τη βοήθεια ανθρώπινων πειραματόζων έγιναν εφαρμογές προκειμένου να βρεθούν οι σχέσεις μεταξύ των φυσιολογικών μεταβλητών, της τροφής, του μεταβολισμού, της ενδυμασίας και των μετεωρολογικών παραμέτρων που επικρατούν. Μετά το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο παρουσιάστηκε ραγδαία ανάπτυξη, αφού κατά τη διάρκεια αυτού επιβεβαιώθηκε η σημασία της επίδρασης των ακραίων μετεωρολογικών συνθηκών στον ανθρώπινο οργανισμό. Το 1956 ιδρύθηκε η Παγκόσμια Βιομετεωρολογική Εταιρεία (International Society of Biometeorology, ISB), που είχε σκοπό της την παγκόσμια ανταλλαγή σκέψεων και απόψεων, όπως και την προώθηση ερευνητικών μελετών και

εφαρμογών των αποτελεσμάτων τους. Στο δεύτερο μισό του 20^{ου} αιώνα άρχισε η ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων, τα οποία σχετίζονται με τον ανθρώπινο οργανισμό και τις αλληλεπιδράσεις με το περιβάλλον του. Πειραματικές μελέτες, οι οποίες έγιναν παράλληλα με την ανάπτυξη των μοντέλων, σε περισσότερα από 1000 άτομα αποσκοπούσαν στην ανεύρεση εμπειρικών ορίων διάφορων φυσιολογικών μεταβλητών. Τα πειράματα αυτά διεξήχθησαν στην Β. Αμερική στη δεκαετία του '60 (Ματζαράκης, 1995).

Σήμερα ως Βιομετεωρολογία - Βιοκλιματολογία χαρακτηρίζεται η επιστήμη που ασχολείται με τις άμεσες και έμμεσες σχέσεις και αλληλεπιδράσεις γεωφυσικού και γεωχημικού περιβάλλοντος της ατμόσφαιρας και των ζώντων οργανισμών (Flach, 1957; WMO, 2004). Η επιστήμη αυτή βρίσκει σημαντικές εφαρμογές στη θερμική αίσθηση του ανθρώπου σε διαφορετικά περιβάλλοντα, στον αστικό σχεδιασμό, στην ανάπτυξη και παραγωγικότητα φυτών και ζώων και σε άλλα επιστημονικά πεδία (Oliver, 2005; Allaby, 2007; Χρονοπούλου-Σερέλη και Χρονόπουλος, 2011).

1.3 Βιοκλιματολογία - Βιομετεωρολογία και ανθρώπινος οργανισμός

Η ατμόσφαιρα αποτελεί τμήμα του περιβάλλοντος, με το οποίο ο ανθρώπινος οργανισμός έρχεται μόνιμα αντιμέτωπος προκειμένου να διατηρήσει την ισορροπία των ζωτικών λειτουργιών του. Οι αντιδράσεις του οργανισμού μπορούν ως εκ τούτου να ερμηνευθούν και να κατανοηθούν ως απάντησή του στις μεταβολές της φυσικής και χημικής κατάστασης της ατμόσφαιρας. Για την πλήρη κατανόηση των επιδράσεων των ατμοσφαιρικών συνθηκών στην ανθρώπινη υγεία και ευζωία, είναι απαραίτητο να μεταφραστεί η βασική - πρωτογενής μετεωρολογική πληροφορία σε έννοιες σχετικές με την βιολογία του ανθρώπου. Κατά την ανάλυση των πτυχών του περιβάλλοντος που αφορούν θέματα υγείας, τρεις κύριοι τομείς αποτελεσμάτων μπορούν να διακριθούν : 1) οι

πολύπλοκες συνθήκες ανταλλαγής θερμότητας, π.χ. το θερμικό περιβάλλον, 2) οι άμεσες βιολογικές επιδράσεις της ηλιακής ακτινοβολίας, δηλαδή οι συνθήκες ακτινοβολίας, ειδικά στην περιοχή του ορατού και υπεριώδους φάσματος, και 3) η ρύπανση του αέρα, συμπεριλαμβανομένων και των αλλεργιογόνων ουσιών όπως είναι η γύρη (WMO, 2004).

Η Βιοκλιματολογία - Βιομετεωρολογία που αφορά τον άνθρωπο αποτελεί μέρος της περιβαλλοντικής Μετεωρολογίας. Καλύπτει μια σειρά ερωτημάτων σχετικά με την εφαρμογή της ιατρική επιστήμης σε βλάβες που προκαλούνται στον ανθρώπινο οργανισμό από την επίδραση δυσμενών συνθηκών περιβάλλοντος. Κατά την εξέταση του φάσματος των επιδράσεων, η Βιομετεωρολογία χρησιμοποιεί σχεδόν τις ίδιες μεθόδους με την επιδημιολογία για τη μελέτη δυνητικών βλαβών, στη λήψη πληροφοριών σχετικά με τα όρια ασφαλούς έκθεσης σε διάφορες συνθήκες που μπορούν να επηρεάσουν την υγεία του ανθρώπου, στη διερεύνηση των αλληλεπιδράσεων των ατμοσφαιρικών συνθηκών με τις ασθένειες και επιδημίες, στη δυσφορία και τέλος στον καθορισμό της διαχωριστικής γραμμής μεταξύ των ωφέλιμων και επιβλαβών περιβαλλοντικών συνθηκών για τον άνθρωπο. Η περιπλοκότητα είναι προφανής όταν πραγματοποιούνται μελέτες σε τέτοια αντικείμενα (WMO, 2004).

2. ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ ΚΑΙ ΑΝΘΡΩΠΟΣ

2.1 Θερμική άνεση

Η θερμική άνεση (thermal comfort) για ένα άτομο αποτελεί την κατάσταση του εγκεφάλου που εκφράζει ικανοποίηση σε σχέση με το θερμικό περιβάλλον (ASHRAE, 1992). Ο ορισμός αυτός αφήνει ανοιχτό το τι σημαίνει «η κατάσταση του εγκεφάλου» ή «η ικανοποίηση», αλλά ορθώς τονίζει ότι η απόφαση της άνεσης είναι μια γνωστική διαδικασία που περιλαμβάνει πολλά δεδομένα, τα οποία επηρεάζονται από φυσιολογικές, σωματικές, ψυχολογικές και άλλες διεργασίες (ASHRAE, 2009).

Η πολυπλοκότητα της αξιολόγησης της θερμικής άνεσης απεικονίζεται από την εικόνα 1 που ακολουθεί. Αμφότερα τα άτομα που απεικονίζονται ενδέχεται να νιώθουν θερμικά άνετα, παρόλο που είναι σε εντελώς διαφορετικά θερμικά περιβάλλοντα. Η θερμική άνεση, λοιπόν, είναι ζήτημα πολλών φυσικών παραμέτρων, και όχι μόνο μιας, όπως για παράδειγμα η θερμοκρασία του αέρα. Τα θερμικά περιβάλλοντα εξετάζονται από κοινού με άλλους παράγοντες, όπως η ποιότητα του αέρα, το φως και το επίπεδο θορύβου, όταν αξιολογείται ένα εργασιακό περιβάλλον (INNOVA, 2002).

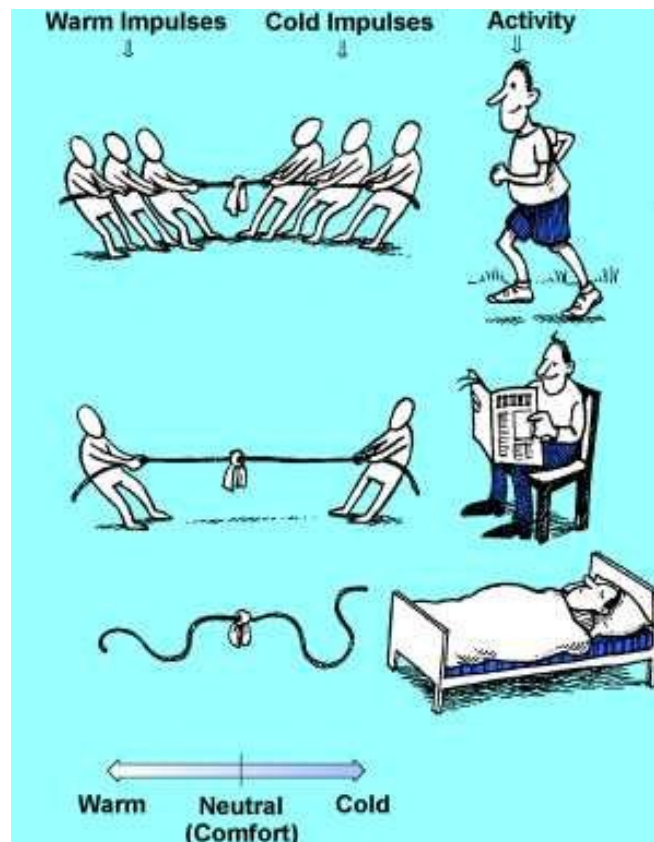


Εικόνα 1. Απεικόνιση της θερμικής άνεσης δυο ανθρώπων σε διαφορετικά θερμικά περιβάλλοντα (INNOVA, 2002).

Επιπλέον, όταν οι άνθρωποι, στο εκάστοτε θερμικό περιβάλλον που βρίσκονται, δεν μπορούν να αισθανθούν θερμικά άνετα, τότε τους δημιουργούνται άσχημα συναισθήματα, διαμαρτύρονται, το ηθικό τους πέφτει και αυτό έχει επιπτώσεις τόσο στην παραγωγικότητα τους στην εργασία τους όσο και στην υγεία τους. Για το λόγο αυτό, σχεδόν όλο τον 20^ο αιώνα, αλλά και νωρίτερα, υπήρξε ένα ενεργό ενδιαφέρον για έρευνα σχετικά με τις συνθήκες που παράγουν θερμική άνεση. Αυτό το ενδιαφέρον συνεχίστηκε και στον 21^ο αιώνα, δίνοντας έμφαση στις συνθήκες που θα παράγουν θερμική άνεση και ένα αποδεκτό περιβάλλον και όχι στην κατανόηση του, γιατί οι άνθρωποι αναφέρουν θερμική άνεση και δυσφορία (Parsons, 1993).

Ο άνθρωπος εκτιμά ένα περιβάλλον άνετο όταν δεν υπάρχει κανένα είδος θερμικής δυσφορίας. Όταν η θερμοκρασία του σώματος πέσει κάτω από τους 34°C, ο αισθητήρας κρύου αρχίζει να στέλνει ερεθίσματα στον εγκέφαλο και καθώς η θερμοκρασία συνεχίζει να πέφτει, ο αριθμός αυτών αυξάνεται. Ομοίως, ο αισθητήρας θερμότητας στον υποθάλαμο στέλνει ερεθίσματα, όταν η θερμοκρασία υπερβαίνει τους 37°C, και καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται, αυξάνει και ο αριθμός των ερεθισμάτων. Πιστεύεται ότι είναι τα σήματα από τα δύο αυτά συστήματα αισθητήρων που αποτελούν τη βάση για την αξιολόγηση του θερμικού περιβάλλοντος. Η ερμηνεία των σημάτων του εγκεφάλου αναπαριστάται σαν μια διελκυστίνδα, με τα ψυχρά ερεθίσματα στο ένα άκρο του σχοινιού και τα θερμά ερεθίσματα στο άλλο, όπως φαίνεται και στην εικόνα 2. Εάν τα σήματα στις δύο πλευρές είναι της ίδιας τάξης μεγέθους, επικρατεί θερμικά ουδέτερη αίσθηση, αν όχι, η αίσθηση που επικρατεί είναι είτε πολλή ζέστη είτε πολύ κρύο. Ένας άνθρωπος σε μια θερμικά ουδέτερη κατάσταση και εντελώς άνετος αποτελεί μια ειδική περίπτωση, καθώς δεν ενεργοποιούνται ούτε οι αισθητήρες θερμότητας ούτε του κρύου. Χρειάζεται κάποιος χρόνος για να αλλάξει η θερμοκρασία του σώματος, ως εκ τούτου, τα σήματα από

τον αισθητήρα θερμότητας αλλάζουν πολύ αργά σε σύγκριση με τα σήματα από αυτόν του κρύου (INNOVA, 2002).



Εικόνα 2. Απεικόνιση διεγκυστίνδας με ψυχρά και θερμά ερεθίσματα στα εκατέρωθεν άκρα της αναπαριστώντας θερμικές καταστάσεις (INNOVA, 2002).

2.2 Παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμική άνεση

Γενικά, οι παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμική άνεση χωρίζονται σε :

- Περιβαλλοντικούς, όπως η θερμοκρασία του αέρα, η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας των επιφανειών, η ατμοσφαιρική πίεση, η ταχύτητα του αέρα και η υγρασία.
- Οργανικούς, όπως το φύλο, η ηλικία, το ύψος, το βάρος και τα φυλετικά χαρακτηριστικά των ανθρώπων.
- Προσωπικούς, όπως είναι το επίπεδο δραστηριότητας (σε σχέση με το μεταβολισμό), το είδος και ο βαθμός ένδυσης.

Οι σημαντικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την θερμική άνεση είναι :

- Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας
- Η θερμοκρασία του αέρα
- Η σχετική υγρασία
- Η ταχύτητα του ανέμου
- Η ένδυση
- Ο μεταβολισμός

Η θερμική άνεση μπορεί να επιτευχθεί μεταβάλλοντας μία ή περισσότερες από τις παραπάνω παραμέτρους (Κοτσιρής, 2007).

2.2.1 Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας (T_{mrt})

Ο ανθρώπινος οργανισμός γίνεται δέκτης ενός συνόλου ακτινοβολιών, οι οποίες παραλλάσσονται ανάλογα με τη θέση στην οποία αυτός βρίσκεται. Δηλαδή, σε κάθε σημείο του χώρου παρατηρείται συνεχής ανταλλαγή ενέργειας, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός μοναδικού, για την κάθε θέση, περιβάλλοντος ακτινοβολίας (Χρονοπούλου-Σερέλη και Χρονόπουλος, 2011).

Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας (mean radiant temperature, T_{mrt}) συνδυάζει τη θερμική ενέργεια του συνόλου των ροών ακτινοβολίας (μικρού και μεγάλου μήκους κύματος), που φθάνουν στο ανθρώπινο σώμα, σε μια θερμοκρασιακή τιμή (Fanger, 1972; VDI, 1998). Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας (T_{mrt}) ορίζεται ως η ομοιόμορφη θερμοκρασία επιφάνειας ενός φανταστικού μαύρου θαλάμου στον οποίο ένας άνθρωπος θα ανταλλάσει το ίδιο ποσό της θερμικής ακτινοβολίας, όπως και στον πραγματικό μη ομοιόμορφο χώρο (ANSI/ASHRAE, 2004).

Σε εσωτερικούς χώρους, εάν δεν ενισχυθεί η ασυμμετρία της ακτινοβολίας, η τιμή της T_{mrt} είναι κοντά σε αυτή της θερμοκρασίας του αέρα (VDI, 1998).

Σε εξωτερικούς χώρους το περιβάλλον ακτινοβολίας γύρω από το σώμα μπορεί να είναι περίπλοκο και να περιλαμβάνει διάφορες μικρού μήκους κύματος ροές - άμεσης ακτινοβολίας, διάχυτης ακτινοβολίας από την ατμόσφαιρα και ανακλώμενης μικρού μήκους κύματος ροές από τις περιβάλλουσες επιφάνειες - καθώς και αρκετές μεγάλου μήκους κύματος ροές που εκπέμπονται από τα γύρω αντικείμενα και από την ατμόσφαιρα. Ως εκ τούτου, η τιμή της T_{mrt} μπορεί να είναι πολύ υψηλότερη από τη θερμοκρασία του αέρα, ακόμη και μέχρι 30 μονάδες, όπως διαπιστώνεται από μελέτες που διεξήχθησαν στη Γερμανία (Mayer and Höppe, 1987; Ali-Toudert and Mayer, 2007; Matzarakis et al., 1999; Matzarakis et al., 2007; Matzarakis et al., 2010), στην Αλγερία (Ali-Toudert et al., 2005; Ali-Toudert, 2005; Ali-Toudert and Mayer, 2006), στην Ουγγαρία (Gulyás et al., 2006), στη Σρι Λάνκα (Johansson and Rohinton, 2006), στη Σουηδία (Thorsson et al., 2007a) και στην Ελλάδα (Shashua-Bar et al., 2012).

Στις αστικές περιοχές, πολύ διαφορετικές συνθήκες ακτινοβολίας επικρατούν σε κοντινές περιοχές λόγω των διαφορετικών συνθηκών σκίασης και ως εκ τούτου παρουσιάζονται και πολύ διαφορετικές τιμές της T_{mrt} σε αυτές (Mayer and Höppe, 1987; Gulyás et al., 2006; Lee et al., 2013).

Για τον ακριβή υπολογισμό της T_{mrt} πρέπει κανείς να καθορίσει όλες τις πυκνότητες των ροών ακτινοβολίας που φθάνουν στο ανθρώπινο σώμα (Fänger, 1972). Για να γίνει αυτό απαιτείται πάρα πολύς χρόνος και ενέργεια όταν πρόκειται για σύνθετα περιβάλλοντα, όπως είναι οι αστικές περιοχές (Höppe, 1992; VDI, 1998). Επομένως, οι ερευνητές είτε προσομοιώνουν τις συνθήκες ακτινοβολίας με τη βοήθεια αριθμητικών μοντέλων όπως το ENVI-met (Bruse and Fleer, 1998), το RayMan (Matzarakis et al., 2007; Matzarakis et al., 2010) και το SOLWEIG (Lindberg et al., 2008; Lindberg and Grimmond, 2011) είτε εφαρμόζουν τεχνικές μετρήσεων στο χώρο με ορισμένες παραδοχές και απλουστεύσεις. Οι πιο δημοφιλείς μέθοδοι μέτρησης είναι η τεχνική έξι κατευθύνσεων που προτείνεται από την VDI 3787 (VDI, 1998) και η τεχνική του σφαιρικού

θερμομέτρου που περιγράφεται στο πρότυπο ISO 7726 (ISO, 1985; ISO, 1998).

Μέχρι σήμερα, η τεχνική των έξι κατευθύνσεων, που θεσπίστηκε από τον Höppe (1992), θεωρείται η πιο ακριβής μέθοδος για τον υπολογισμό των τιμών της T_{mrt} σε εξωτερικούς χώρους. Η μέθοδος των έξι κατευθύνσεων χρησιμεύει ως ένα βασικό μέρος των επί τόπου μετρήσεων της θερμικής άνεσης, οι οποίες συγκρίνονται με την εκτιμώμενη υποκειμενική θερμική άνεση που δίνουν οι άνθρωποι στις συγκεκριμένες δημόσιες αστικές περιοχές (Oliveira and Andrade, 2007; Andrade et al., 2011; Kántor et al., 2012a; 2012b).

Η T_{mrt} (°C) υπολογίζεται από τις επιμέρους πυκνότητες μικρού και μεγάλου μήκους κύματος ροής ακτινοβολίας (Höppe, 1992). Έχοντας λάβει υπόψη τη συνολική πυκνότητα της ροής ακτινοβολίας που απορροφάται από ένα σώμα (S_{rad} , σε W/m²) και εκφράζοντας την T_{mrt} με βάση το νόμο των Stefan - Boltzmann προκύπτουν οι ακόλουθες σχέσεις :

$$S_{rad} = \sum_{i=1}^6 W_i \cdot (a_k \cdot K_i + a_l \cdot L_i)$$

$$T_{mrt} = \sqrt[4]{\frac{S_{rad}}{a_l \cdot \sigma}} - 273.2 = \sqrt[4]{\frac{\sum_{i=1}^6 W_i \cdot (a_k \cdot K_i + a_l \cdot L_i)}{a_l \cdot \sigma}} - 273.2$$

K_i , L_i (σε W/m²) = μέσος όρος ανά λεπτό της πυκνότητας ροής μικρού και μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας, από τις έξι κάθετες διευθύνσεις αντίστοιχα (i: E-East, S-South, W-West, N-North)

a_k , a_l = συντελεστές απορρόφησης μικρού και μεγάλου μήκους κύματος αντίστοιχα

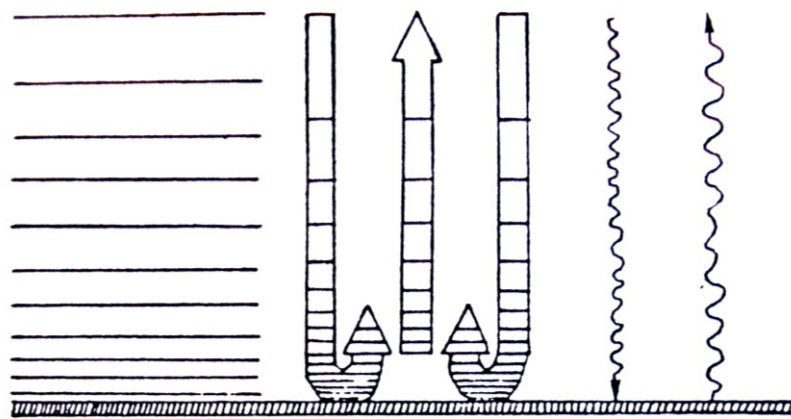
W_i = συντελεστής βαρύτητας

2.2.2 Θερμοκρασία αέρα

Η θερμοκρασία ενός υλικού εκφράζει το βαθμό της μοριακής δράσης ή της θερμότητας του. Επισημαίνεται ότι με τον όρο θερμότητα χαρακτηρίζεται η μορφή της ενέργειας που εξαρτάται από τη δομή της ύλης και η οποία είναι δυνατόν να μεταδοθεί σε διάφορα συστήματα ή σώματα με διάφορους τρόπους ή να μετατραπεί σε άλλες μορφές ενέργειας (Χρονοπούλου-Σερέλη και Φλόκας, 2010).

Η ηλιακή ακτινοβολία είναι εκείνη που ρυθμίζει άμεσα και έμμεσα τη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας των κατωτέρων στρωμάτων της διατηρώντας έτσι σε συνεχή δράση την τεράστια θερμική μηχανή γη-ατμόσφαιρα. Σαν άμεση επίδραση θεωρείται η μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία και σαν έμμεση η αντίστοιχη μεγάλου μήκους ακτινοβολία. Οι διάφοροι μηχανισμοί μετάδοσης της θερμότητας στην ατμόσφαιρα που έχουν ως αποτέλεσμα τη θέρμανση του αέρα, κυρίως, των κατωτέρων ατμοσφαιρικών στρωμάτων είναι : α) μετάδοση δι' αγωγιμότητας, β) μετάδοση δια μεταφοράς (διαμέσου μεταφοράς στροβίλων και μάζας) και γ) μετάδοση δι' ακτινοβολίας. Οι τρεις αυτοί μηχανισμοί αποδίδονται στην εικόνα 3 που ακολουθεί (Φλόκας, 1997).

Η θερμοκρασία του αέρα κοντά στην επιφάνεια του εδάφους έχει ιδιαίτερη σημασία, αφού στο χώρο αυτό διαβιούν οι σημαντικότεροι ζώντες οργανισμοί. Έτσι, η θερμοκρασία του αέρα είναι ένας από τους σημαντικότερους ρυθμιστές της κατανομής της χλωρίδας και της πανίδας στη γη αφού αποτελεί ρυθμιστική παράμετρο εξέλιξης και πολλές φορές ολοκλήρωσης του βιολογικού κύκλου των έμβιων όντων (Χρονοπούλου-Σερέλη και Χρονόπουλος, 2011).



ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ

Ο αέρας θερμαίνεται από απευθείας επαφή με το έδαφος

ΜΕΤΑΦΟΡΑ

Ο αέρας θερμαίνεται από τη γη, διαστέλεται και ανέρχεται. Νέος ψυχρός αέρας κατέρχεται και θερμαίνεται από τη γη

ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Η γη θερμαίνεται από τη μικρού μ.κ. ηλιακή ακτινοβολία. Ο αέρας θερμαίνεται από τη μεγάλου μ.κ. γήινη ακτινοβολία

Εικόνα 3. Τρόποι θέρμανσης του αέρα από την ηλιακή ακτινοβολία (Φλόκας, 1997).

2.2.3 Σχετική υγρασία

Οι υδρατμοί στην ατμόσφαιρα και ιδιαίτερα στο κατώτερο τμήμα της, παίζουν σημαντικό ρόλο στην υδατική οικονομία του πλανήτη μας. Αυτό συμβαίνει γιατί αποτελούν τη βάση για τη δημιουργία των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων (βροχή, χαλάζι, χιόνι κ.ά.) και υδροαποβλήτων (δρόσος, πάχνη). Η ποσότητα των υδρατμών στην ατμόσφαιρα μεταβάλλεται σε όγκο και κυμαίνεται από 0-4%. Οι υδρατμοί αυτοί προέρχονται κυρίως από την εξάτμιση των θαλασσών, των λιμνών, εδάφους, βροχής, χιονιού κ.α. Ο ατμοσφαιρικός αέρας σε κάθε θερμοκρασία μπορεί να συγκρατήσει μια ορισμένη και οριακή ποσότητα υδρατμών. Όταν υπάρχει η καθορισμένη και οριακή αυτή ποσότητα υδρατμών στον ατμοσφαιρικό αέρα, για τη δεδομένη θερμοκρασία, τότε αυτός χαρακτηρίζεται ως κορεσμένος. Αν η ποσότητα των υδρατμών υπερβεί το όριο αυτό, οι επιπλέον υδρατμοί υγροποιούνται. Σε κάθε άλλη περίπτωση ο αέρας είναι μη κορεσμένος (Μπαλτάς, 2006).

Η σχετική υγρασία του ατμοσφαιρικού αέρα (RH) εκφράζεται με τον λόγο της τάσης των υδρατμών προς τη μέγιστη τάση των υδρατμών στην ίδια θερμοκρασία, είναι καθαρός αριθμός και πάντα μικρότερος ή το πολύ ίσος με τη μονάδα. Στη μετεωρολογία, η σχετική υγρασία του αέρα εκφράζεται ως ποσοστό %. Η σχετική υγρασία του ατμοσφαιρικού αέρα μπορεί να οριστεί και ως ο λόγος της μάζας των υδρατμών, που περιέχονται σε δεδομένο όγκο υγρού αέρα, προς τη μάζα των υδρατμών που θα έπρεπε να περιέχει ο ίδιος όγκος για να είναι κορεσμένος σε υδρατμούς, κάτω από τις ίδιες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας. Η σχετική υγρασία μπορεί να υπολογιστεί από την ακόλουθη σχέση (Μπαλτάς, 2006) :

$$RH = 100 \frac{e}{e_s} = 100 \frac{m}{m_s}$$

όπου : e = τάση των υδρατμών του αέρα

e_s = τάση των υδρατμών του κορεσμένου αέρα

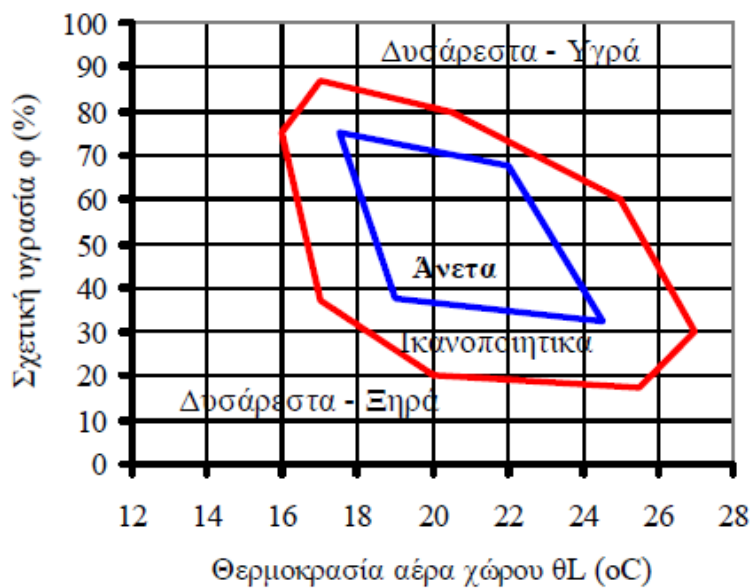
m = μάζα των υδρατμών του αέρα

m_s = μάζα των υδρατμών του κορεσμένου αέρα

Η αποβολή νερού από το ανθρώπινο σώμα (υπό τη μορφή ιδρώτα που εξατμίζεται) ενισχύεται από τη χαμηλή σχετική υγρασία του αέρα, προκαλώντας έτσι μια αίσθηση δροσισμού. Το αντίθετο αποτέλεσμα έχει η υψηλή υγρασία, η οποία παρεμποδίζει την εξάτμιση του ιδρώτα (Κοτσιρης, 2007). Όπως γίνεται κατανοητό από τα παραπάνω, η ατμοσφαιρική υγρασία παίζει σημαντικό ρόλο στο θερμικό ισοζύγιο του ανθρώπου και κατ' επέκταση στη θερμική του αίσθηση. Για να φανεί όμως η σημασία της σχετικής υγρασίας στην απώλεια της ενέργειας του ανθρώπινου οργανισμού, αρκεί να αναφερθεί ότι ένα άτομο, που αναπαύεται και φέρει ελαφριά ενδυμασία (0,6 clo) σε συνθήκες θερμοκρασίας αέρος 24,0°C και σχετικής υγρασίας 50%, παρουσιάζει απώλεια ενέργειας 21 W. Η απώλεια αυτή αυξάνεται στα 26 W, όταν η σχετική υγρασία μειωθεί στο 20%, ενώ οι

υπόλοιπες συνθήκες παραμένουν σταθερές (Atmaca and Yigit, 2006). Όμως, η μείωση της σχετική υγρασίας σε χαμηλά επίπεδα στους εσωτερικούς χώρους, μπορεί να δημιουργήσει πρόβλήματα στην κατάσταση της υγείας του ανθρώπου. Αναφέρεται ότι, η μείωση της σχετικής υγρασίας κάτω του 30% μπορεί να προκαλέσει ξηρότητα των βλεννογόνων του λαιμού ως και προβλήματα όρασης, γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η σχετική υγρασία στους εσωτερικούς χώρους πρέπει να κυμαίνεται σε ορισμένα όρια, δηλαδή από 30 έως 70% (Κοτσίρης, 2007).

Διαπιστώνεται, λοιπόν, πως τα αποδεκτά όρια σχετικής υγρασίας του αέρα είναι λιγότερο σαφή από αυτά της θερμοκρασίας του αέρα και το ανώτερο επιτρεπτό επίπεδο της εξακολουθεί ακόμη να βρίσκεται υπό μελέτη. Ωστόσο, όπως και στην περίπτωση της θερμοκρασίας του αέρα, τα αποδεκτά όρια της σχετικής υγρασίας για την επίτευξη της θερμικής άνεσης εξαρτώνται από συνδυασμό παραμέτρων. Το ζήτημα της θερμικής άνεσης είναι πολυπαραγοντικό με τη θερμοκρασία του αέρα να παίζει κρίσιμο ρόλο στον προσδιορισμό της αποδεκτής σχετικής υγρασίας. Ως αποτέλεσμα του παραπάνω γεγονότος, τα διαγράμματα θερμικής άνεσης όπως αυτά της σχετικής υγρασίας με τη θερμοκρασία αέρα (εικόνα 4) οριοθετούν το πεδίο θερμικής άνεσης και προσδιορίζουν το κατάλληλο ζεύγος τιμών θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας (Παπαδόπουλος, 2006).



Εικόνα 4. Διάγραμμα θερμικής άνεσης θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας (Παπαδόπουλος, 2006).

2.2.4 Ταχύτητα ανέμου

Ο άνεμος ορίζεται ως μια αέρια μάζα κινούμενη προς οποιαδήποτε διεύθυνση, με την οριζόντια συνιστώσα κίνησης να υπερβαίνει κατά πολύ την κατακόρυφη. Αίτιο δημιουργίας του ανέμου είναι η χωρική διαφοροποίηση της ατμοσφαιρικής πίεσης, που οφείλεται στην ανομοιόμορφη απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της Γης. Ο άνεμος προσδιορίζεται από τη διεύθυνση της κίνησής του και από την ταχύτητά του. Η ταχύτητα του ανέμου μετριέται με το ανεμόμετρο και οι μονάδες μέτρησης της εκφράζονται σε μέτρα ανά δευτερόλεπτο (m/sec), σε χιλιόμετρα ανά ώρα (km/h), σε μίλια ανά ώρα (mph). Η ταχύτητα του ανέμου συνήθως παρουσιάζει μέγιστο κατά τη διάρκεια της ημέρας, οπότε και είναι εντονότερες οι διαφοροποιήσεις της ατμοσφαιρικής πίεσης και θερμοκρασίας (Μπαλάς, 2006).

Η κίνηση των αερίων μαζών γύρω από το ανθρώπινο σώμα μπορεί να επηρεάσει το αίσθημα της θερμικής άνεσης καθορίζοντας, αφενός την ανταλλαγή της θερμότητας, με μεταφορά, ανάμεσα στο ανθρώπινο σώμα

και το περιβάλλον, και αφετέρου την περιεκτικότητα του αέρα σε υδρατμούς. Έτσι, η απώλεια θερμότητας με μεταφορά από το ανθρώπινο σώμα, εξαρτάται από την ταχύτητα του ανέμου και τη θερμοκρασιακή διαφορά ανάμεσα στο δέρμα και το περιβάλλον (Κοτσίρης, 2007). Όταν, λοιπόν, η θερμοκρασία των αερίων μαζών που περιβάλλουν το ανθρώπινο σώμα είναι χαμηλότερη απ' αυτό και η ταχύτητα κίνησης του περιβάλλοντος το σώμα αέρα είναι αυξημένη, τότε η δημιουργία αίσθησης ψύχους είναι εντονότερη απ' ό,τι σε συνθήκες νηνεμίας. Όταν όμως επικρατεί υψηλότερη θερμοκρασία αέρος από την αντίστοιχη του σώματος του ανθρώπου, οι αυξημένες ταχύτητες ανέμου δημιουργούν αίσθηση δροσισμού, δεδομένου ότι αυξάνεται η εξάτμιση των υγρών επιφανειών του σώματος του ανθρώπου από την εφίδρωση που παρατηρείται στις συνθήκες αυτές (Χρονοπούλου-Σερέλη και Χρονόπουλος, 2011).

Η αποβαλλόμενη θερμότητα διαφοροποιείται έντονα στα διάφορα μέλη του ανθρώπινου σώματος. Ως παράδειγμα μπορεί να αναφερθεί, ότι σε άτομο που βρίσκεται σε κατάσταση θερμικής άνεσης, η αποβαλλόμενη θερμότητα από την περιοχή της κεφαλής και του λαιμού (επιφάνειας $0,20\text{m}^2$ με βέλτιστη θερμοκρασία $34,7^\circ\text{C}$) είναι $4,0\text{ kcal/h}$. Αυτή γίνεται τετραπλάσια ($15,9\text{ kcal/h}$) από επιφάνεια σημαντικά μικρότερη ($0,07\text{ m}^2$) με βέλτιστη θερμοκρασία επιδερμίδας $28,6^\circ\text{C}$, όταν αναφέρεται στην παλάμη και στα δάκτυλα των χεριών του ανθρώπου (Ντούνης, 1992).

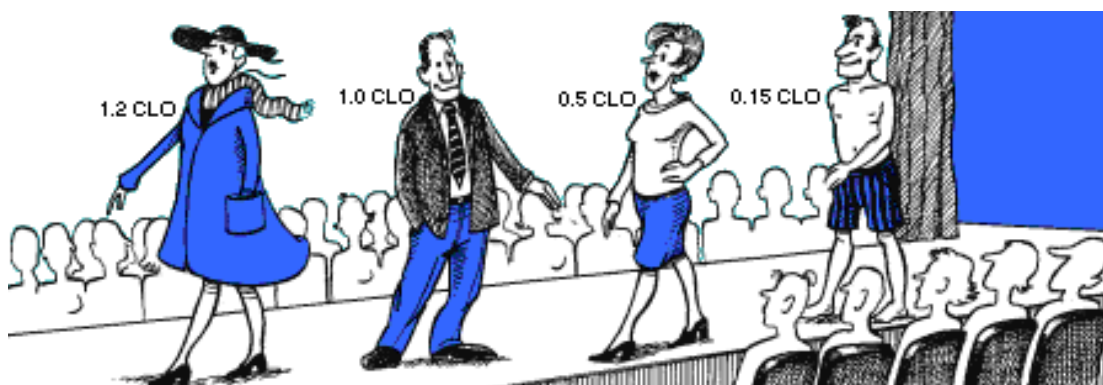
Τέλος, από τη μελέτη της θερμικής αίσθησης του ανθρώπου σε διάφορες ανεμομετρικές συνθήκες έχει διαπιστωθεί ότι η ταχύτητα του ανέμου παίζει καθοριστικό ρόλο στη θερμική του άνεση (Aynsley and Spruill, 1990; Tuller, 1997; Charalampopoulos and Chronopoulou-Sereli, 2005; Walton et al., 2007; Mochida and Lun, 2008).

2.2.5 Ένδυση

Η ένδυση λειτουργεί ως ένα είδος θερμικής μόνωσης στην αποβολή θερμότητας από την επιφάνεια του σώματος προς το εξωτερικό περιβάλλον. Η θερμική μόνωση λόγω ένδυσης I_{cl} (thermal insulation of clothing) έχει μονάδα μέτρησης το clo, το οποίο χρησιμοποιείται για να εκφράσει την θερμική μόνωση που παρέχουν τα ενδύματα και τα σύνολα ρουχισμού, και ισοδυναμεί με $0,155\text{m}^2\text{K/W}$ (ASHRAE, 1992).

Ο υπολογισμός της θερμικής μόνωσης λόγω ένδυσης γίνεται με τη βοήθεια πινάκων, όπως ο πίνακας 1, στους οποίους υπάρχουν οι τιμές είτε μεμονωμένων ενδυμάτων (I_{clu}) είτε συνόλων ένδυσης. Όταν μια τιμή θερμικής μόνωσης για ένα σύνολο ένδυσης δεν υπάρχει σε κάποιον πίνακα τότε προβλέπεται για τον υπολογισμό της μια διαδικασία άθροισης των τιμών θερμικής μόνωσης των ενδυμάτων. Η άθροιση για τον υπολογισμό της I_{cl} από τις τιμές θερμικής μόνωσης των επιμέρους ενδυμάτων (I_{clu}) είναι (ISO 9920, 1995; Parsons, 1999) : $I_{cl} = \sum I_{clu}$ σε clo.

Η ένδυση αποτελεί μια από τις παραμέτρους που εύκολα μπορεί να ρυθμίσει ο κάθε άνθρωπος προκειμένου να αισθανθεί θερμικά άνετα, χωρίς να καταναλωθεί κάποια μορφή ενέργειας. Το αίσθημα της άνεσης μπορεί να επιτευχθεί αφαιρώντας κάποια περιττά ρούχα το καλοκαίρι ή προσθέτοντας κάποια το χειμώνα, πράγμα προτιμότερο από το να μεταβληθεί, απευθείας, το επίπεδο της θερμοκρασίας του αέρα με τον κλιματισμό ή τη θέρμανση, αντίστοιχα (Κοτσίρης, 2007). Τέλος, στην εικόνα 5, που ακολουθεί, απεικονίζεται σε σκίτσο ο τύπος ρουχισμού και η τιμή του σε clo.



Εικόνα 5. Απεικόνιση του τύπου ρουχισμού και της τιμής του σε clo (INNOVA, 2002).

Πίνακας 1. Τιμές θερμικής μόνωσης σε σχέση με το είδος της ένδυσης (ASHRAE, 2009).

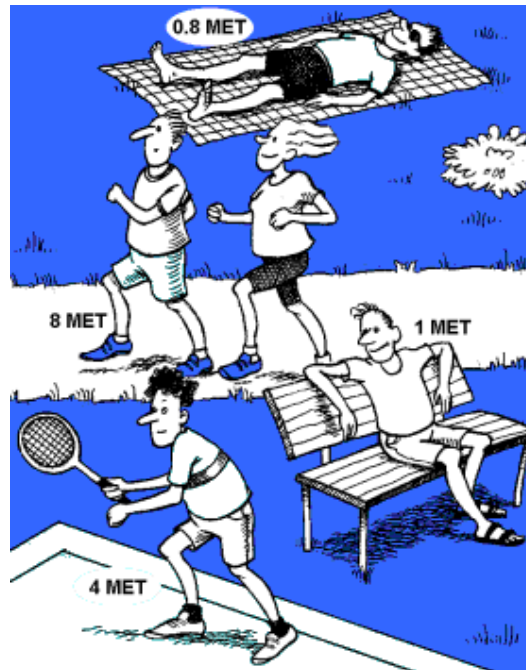
Περιγραφή ενδύματος	I_{clu} σε clo
Γυναικείο εσώρουχο	0,03
Ανδρικό εσώρουχο	0,04
Μπλουζάκι μακρό	0,08
Αθλητικές κάλτσες ως τον αστράγαλο	0,02
Αθλητικές κάλτσες ως τη γάμπα	0,03
Αθλητικές κάλτσες ως το γόνατο	0,06
Καλσόν	0,02
Σανδάλια/δερμάτινα σανδάλια	0,02
Παντόφλες	0,03
Μπότες	0,10
Αμάνικη, ανοιχτή στο λαιμό μπλούζα	0,12
Κοντομάνικο επίσημο πουκάμισο	0,19
Μακρυμάνικο επίσημο πουκάμισο	0,25
Μακρυμάνικο φανελένιο πουκάμισο	0,34
Κοντομάνικο πλεκτό σπορ πουκάμισο	0,17
Μακρυμάνικη βαμβακερή μπλούζα	0,34
Κοντό σορτς	0,06
Βερμούδα	0,08
Παντελόνι (λεπτό)	0,15

Παντελόνι (χονδρό)	0,24
Φόρμα	0,30
Ολόσωμη φόρμα	0,49
Μονόπιετο σακάκι (λεπτό)	0,36
Μονόπιετο σακάκι (χονδρό)	0,44
Αμάνικο γιλέκο (λεπτό)	0,10
Αμάνικο γιλέκο (χονδρό)	0,17
Πουλόβερ αμάνικο γιλέκο (λεπτό)	0,13
Πουλόβερ αμάνικο γιλέκο (χονδρό)	0,22
Πουλόβερ μακρυμάνικο (λεπτό)	0,25
Πουλόβερ μακρυμάνικο (χονδρό)	0,36
Φούστα (λεπτή)	0,14
Φούστα (χονδρή)	0,23
Μακρυμάνικο φόρεμα (λεπτό)	0,33
Μακρυμάνικο φόρεμα (χονδρό)	0,47
Κοντομάνικο φόρεμα (λεπτό)	0,29
Αμάνικο κοντό νυχτικό (λεπτό)	0,18
Αμάνικο μακρύ νυχτικό (λεπτό)	0,20
Μακρυμάνικο μακρύ νυχτικό (χονδρό)	0,46
Μακρυμάνικες πιτζάμες (χονδρές)	0,57
Κοντομάνικες πιτζάμες (λεπτές)	0,42
Μακρυμάνικη μακριά ρόμπα (χονδρή)	0,69
Μακρυμάνικη κοντή ρόμπα (χονδρή)	0,48
Κοντομάνικη κοντή ρόμπα (λεπτή)	0,34

2.2.6 Μεταβολισμός

Ο μεταβολισμός είναι το σύνολο των χημικών αντιδράσεων που πραγματοποιούνται στο ανθρώπινο σώμα. Επειδή η θερμοκρασία του σώματος είναι συνήθως υψηλότερη από αυτή του περιβάλλοντα χώρου, οι αντιδράσεις του μεταβολισμού πραγματοποιούνται προκειμένου να αντισταθμίσουν τις απώλειες προς το περιβάλλον. Στόχος είναι να διατηρηθεί το σώμα σε μια εσωτερική θερμοκρασία γύρω στους $37 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Έτσι, η θερμότητα που παράγει ένας μέσος ενήλικας την ώρα ανάπαυσης είναι, περίπου, 100W. Επειδή το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας αυτής μεταφέρεται στο περιβάλλον μέσω της επιφάνειας του δέρματος, έχει επικρατήσει να εκφράζεται ο μεταβολισμός, σε μονάδες θερμότητας προς μονάδες συνολικής επιφάνειας ανθρώπινου σώματος. Εάν, λοιπόν, θεωρήσουμε ότι ένας μέσος άνθρωπος έχει εμβαδόν επιφάνειας σώματος περίπου $1,7\text{m}^2$ τότε ο μεταβολισμός ενός μέσου ενήλικα, την ώρα που αναπαύεται, ισοδυναμεί με $58,15\text{W}/\text{m}^2$ ή $50 \text{ kcal}/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ ή, διαφορετικά, ισούται με 1met (ASHRAE, 1992). Ο μεταβολισμός σχετίζεται άμεσα με την ηλικία, το φύλο και το βάρος του σώματος. Ο βασικός παράγοντας από τον οποίο εξαρτάται ο μεταβολισμός, είναι το επίπεδο της δραστηριότητας. Έτσι, η θερμότητα που παράγει το ανθρώπινο σώμα αυξάνεται ανάλογα με το βαθμό δραστηριότητας (Κοτσιρης, 2007). Όταν υπολογίζεται ο μεταβολικός ρυθμός ενός ατόμου, είναι σημαντικό να χρησιμοποιείται μια μέση τιμή για τις δραστηριότητές του την τελευταία ώρα. Ο λόγος είναι ότι η θερμοχωρητικότητα του σώματος επηρεάζει τη ροή θερμότητας με βάση το επίπεδο δραστηριότητας της τελευταίας μίας ώρας. Σε κάθε περίπτωση οι δραστηριότητες των τελευταίων 15 λεπτών έχουν μεγαλύτερη βαρύτητα (INNOVA, 2002). Ο μεταβολισμός είναι στο χαμηλότερο επίπεδο την ώρα που ο άνθρωπος κοιμάται (0,8 met) και στο υψηλότερο σημείο του κατά τη διάρκεια αθλητικών δραστηριοτήτων, όπου συχνά φτάνει τα 10 met. Στις εικόνες 6 και 7 που ακολουθούν απεικονίζεται η μεταβολική δραστηριότητα του ανθρώπου σε διάφορες περιπτώσεις και η τιμή της σε

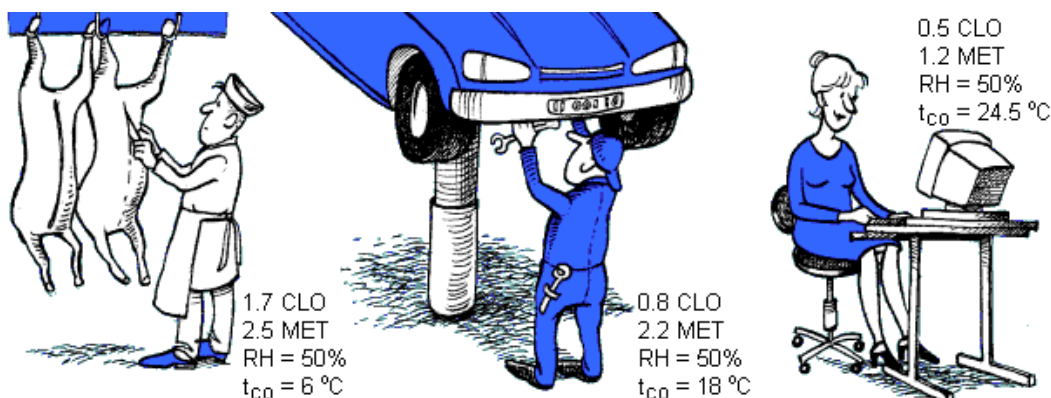
met. Τέλος, στην εικόνα 8 απεικονίζεται ταυτόχρονα η μεταβολική δραστηριότητα, ο τύπος ρουχισμού, η σχετική υγρασία και η θερμοκρασία αέρα σε τρεις διαφορετικές περιπτώσεις.



Εικόνα 6. Απεικόνιση της μεταβολικής δραστηριότητας του ανθρώπου και η τιμή της σε met (INNOVA, 2002).



Εικόνα 7. Απεικόνιση της μεταβολικής δραστηριότητας του ανθρώπου εν ώρα εργασίας και η τιμή της σε met (INNOVA, 2002).



Εικόνα 8. Απεικόνιση της μεταβολικής δραστηριότητας, του τύπου ρουχισμού, της σχετικής υγρασίας και της θερμοκρασίας αέρα σε τρεις διαφορετικές περιπτώσεις (INNOVA, 2002).

2.3 Θερμικό ισοζύγιο ενέργειας του ανθρώπου

Η διατήρηση της θερμικής ισορροπίας του ανθρώπινου οργανισμού και του περιβάλλοντος του προϋποθέτει την εξισορρόπηση των θερμικών του απωλειών με το άθροισμα των ποσών της θερμότητας που παράγονται από το μεταβολισμό και αυτών που δέχεται ο οργανισμός του από το περιβάλλον. Στη περίπτωση που οι θερμικές απώλειες είναι μεγαλύτερες, η θερμοκρασία του ανθρώπινου σώματος μειώνεται, ενώ όταν είναι μικρότερες αυξάνεται. Χαρακτηριστικά αναφέρεται το παράδειγμα ενός ενήλικα σκιέρ, που κατέρχεται μια χιονισμένη πλαγιά μεταφέροντας στη πλάτη του ένα παιδί. Μετά την κάθοδό του, ο σκιέρ είναι κάθιδρος και εξαιρετικά ζεστός, σε αντίθεση με το παιδί που βρίσκεται σε κατάσταση υποθερμίας. Δηλαδή, αυτά τα δύο άτομα βιώνουν στο ίδιο περιβάλλον διαφορετικές καταστάσεις θερμικής αίσθησης, οι οποίες οφείλονται στα διαφορετικά ποσά μεταβολικής θερμότητας που παράγονται από τον ίδιο τον οργανισμό μας (Collins, 1983). Στην περίπτωση του ενήλικα σκιέρ το ποσό της θερμότητας που παράγεται από τις μεταβολικές διαδικασίες του οργανισμού του, προσφέρει την απαιτούμενη ενέργεια για την εκτέλεση του μηχανικού έργου που επιτελεί, ενώ η περίσσειά του αποδεδμεύεται προς το περιβάλλον, δίνοντας σ' αυτόν την αίσθηση της ζέσης. Αντίθετα, το παιδί βιώνει κατάσταση ψύχους, διότι η αποδεδμευόμενη μεταβολική

του θερμότητα είναι μικρότερη από τις θερμικές του απώλειες (Χρονοπούλου-Σερέλη και Χρονόπουλος, 2011).

Η περιγραφή των διαδικασιών της θερμικής ανταλλαγής μεταξύ του ανθρώπινου οργανισμού και του περιβάλλοντός του, περιγράφονται από την ακόλουθη εξίσωση του ισοζυγίου της ενέργειας και απεικονίζονται στην εικόνα 9. Η εξίσωση αυτή εκφράζει μια δυναμική κατάσταση, δεδομένου ότι οι εξωτερικές συνθήκες διαρκώς μεταβάλλονται και ο οργανισμός του ανθρώπου ανταποκρίνεται ανάλογα, ενεργοποιώντας μηχανισμούς θερμορύθμισης, έτσι ώστε να επιτύχει τη θερμική του ισορροπία με τον περιβάλλοντα χώρο. Στην κατάσταση της θερμικής ισορροπίας, το S της εξίσωσης μηδενίζεται.

Η θεμελιώδη εξίσωση του ισοζυγίου ενέργειας (ISO, 1993; ASHRAE, 2005) :

$$M - W = E + R + C + C_{res} + E_{res} + S$$

όπου : M = ρυθμός μεταβολισμού (W/m^2)

W = απαιτούμενη ενέργεια για την εκτέλεση μηχανικού έργου (W/m^2)

E = αποβαλλόμενη από την επιφάνεια του δέρματος θερμότητα, μέσω εξάτμισης (W/m^2)

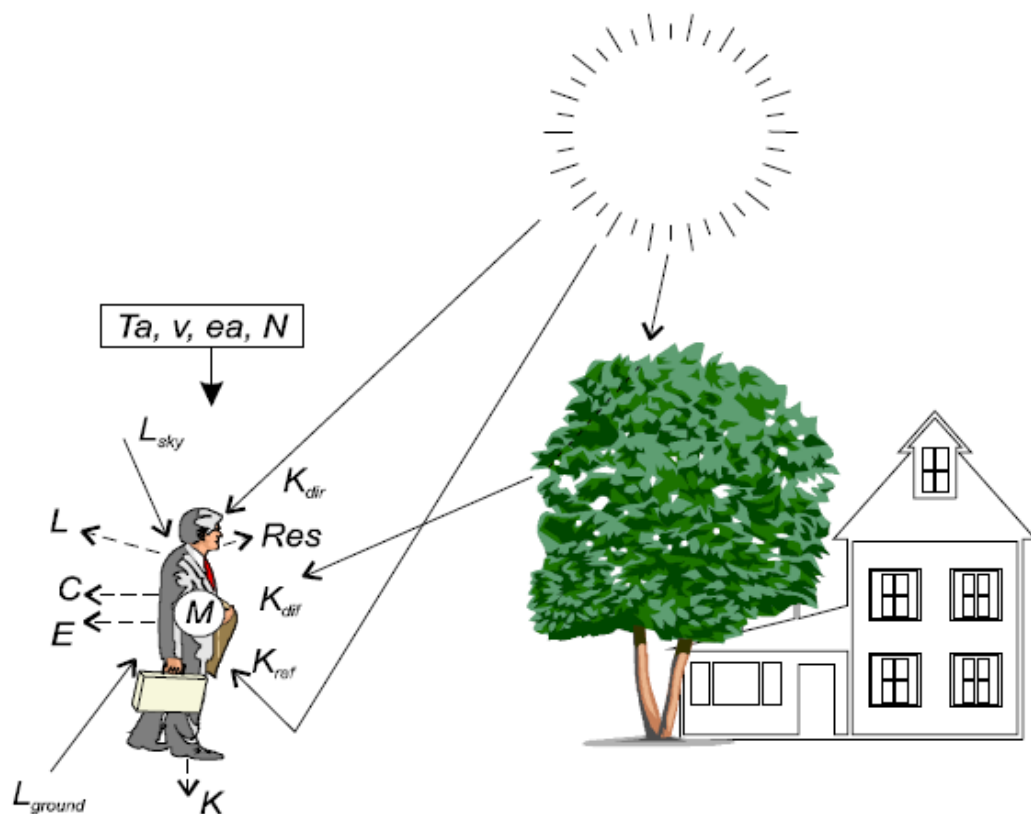
R = αποβαλλόμενη από την επιφάνεια του δέρματος θερμότητα, μέσω ακτινοβολίας (W/m^2)

C = αποβαλλόμενη από την επιφάνεια του δέρματος θερμότητα, μέσω μεταφοράς (W/m^2)

C_{res} = αποβαλλόμενη θερμότητα από την επιφάνεια του δέρματος, μέσω μεταφοράς δια της αναπνοής (W/m^2)

E_{res} = αποβαλλόμενη θερμότητα από την αναπνοή, μέσω εξάτμισης (W/m^2)

S = ρυθμός αποθήκευσης θερμότητας στο σώμα



Εικόνα 9. Απεικόνιση ενός ανθρώπου σε ένα σύνθετο θερμικό περιβάλλον, όπου T_a =θερμοκρασία αέρα, v =ταχύτητα ανέμου, ea =πίεση ατμών και N = νεφοκάλυψη. Για την ηλιακή ακτινοβολία : K_{glob} =ολική, K_{dir} =απ'ευθείας, K_{dif} =διάχυτη, K_{ref} =ανακλώμενη. Για τη θερμική ακτινοβολία : L_{ground} =εδάφους και L_{sky} =ουρανού. Για τις ροές θερμότητας : M =μεταβολισμός, C =μεταφορά, E =εξάτμιση, L =μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας, Res =αναπνοή, K =αγωγιμότητα (Blazejczyk, 2001).

Σημαντικό ρόλο στην εξίσωση αυτή παίζει ο ρυθμός παραγωγής θερμότητας μεταβολισμού δεδομένου ότι διαφοροποιείται έντονα στον ανθρώπινο οργανισμό, εφ' όσον αποτελεί συνάρτηση των φυσιολογικών δραστηριοτήτων του ατόμου (πέψη, κυοφορία κ.ά), της ηλικίας και του φύλου, της σωματικής άσκησης, όπως και της θερμοκρασίας του αέρα που τον περιβάλλει. Ο ρυθμός μεταβολισμού, όπως φαίνεται στον πίνακα 2 που ακολουθεί, αυξάνεται με τη δραστηριοποίηση του ανθρώπου. Έτσι, όταν αυτός βρίσκεται σε κατάκλιση παρατηρούνται οι μικρότερες τιμές met ($46W/m^2$, $0,8met$), οι οποίες διπλασιάζονται όταν βρίσκεται σε όρθια στάση και εκτελεί ελαφριά εργασία σε βιομηχανία, εργαστήριο κ.ά. και

υπερτριπλασιάζονται όταν εκτελεί βαριά εργασία (μηχανικός επισκευής αυτοκινήτων κ.ά.) (Χρονοπούλου-Σερέλη και Χρονόπουλος, 2011).

Πίνακας 2. Ανθρώπινη δραστηριότητα εκφραζόμενη σε W/m^2 και met (INNOVA, 2002).

Δραστηριότητα	Ρυθμός Μεταβολισμού	
	W/m^2	met
Κατάκλιση	46	0,8
Χαλαρή στάση (καθιστός)	58	1,0
Επισκευή ρολογιών	65	1,1
Χαλαρή στάση (όρθιος)	70	1,2
Καθιστική δραστηριότητα (γραφείο, σχολείο, σπίτι)	70	1,2
Οδήγηση αυτοκινήτου	80	1,4
Ελαφριά εργασία σε όρθια στάση (βιομηχανία, απασχόληση σε εργαστήριο)	93	1,6
Καθηγήτρια	95	1,6
Οικιακή εργασία (ξύρισμα, πλύσιμο, ντύσιμο)	100	1,7
Περπάτημα με ταχύτητα 2km/h	110	1,9
Μέτριας βαρύτητας εργασία σε όρθια στάση (χειρισμός μηχανημάτων, οικιακή απασχόληση)	116	2,0
Πλύσιμο πιάτων σε όρθια στάση	145	2,5
Οικιακή εργασία - πλύσιμο στο χέρι και σιδέρωμα ($120-220W/m^2$)	170	2,9
Περπάτημα με ταχύτητα 5km/h	200	3,4
Κτίσιμο - φόρτωση ένα καρότσι με πέτρες και κονίαμα	275	4,7
Σκάψιμο με τσάπα	380	6,5
Τρέξιμο με ταχύτητα 15km/h	550	9,5

2.4 Θερμική αίσθηση ανθρώπου στους ελεύθερους κοινόχρηστους χώρους

Ως θερμική αίσθηση χαρακτηρίζεται το συναίσθημα ενός ανθρώπου που περιγράφεται κατά τρόπο υποκειμενικό και εκφράζει την αντίληψη του ως προς τη θερμική κατάσταση του περιβάλλοντος στο οποίο αυτός βρίσκεται, ενώ η πιθανή αρνητική επίδραση της θερμοκρασίας του αέρα στη θερμική του κατάσταση εκφράζεται ως θερμική καταπόνηση. Αυτή κλιμακώνεται από «ουδεμία», «ελαφριά», «μέτρια», «έντονη» μέχρι και «πολύ έντονη», εξαιτίας της ζέστης ή του ψύχους και ποσοτικοποιείται αριθμητικά μέσω των κατάλληλων δεικτών. Ένας άνθρωπος μπορεί να υποστεί υπερθερμία ή υποθερμία όταν η θερμική καταπόνησή του είναι πολύ έντονη και η παραμονή του στο περιβάλλον αυτό παρατεταμένη και ως εκ τούτου να οδηγηθεί στο θάνατο λόγω ζέστης ή ψύχους, αντίστοιχα. Στις περιπτώσεις αυτές ο ανθρώπινος οργανισμός έχει εξαντλήσει όλους τους μηχανισμούς που διαθέτει για την αντιμετώπιση των ακραίων αυτών συνθηκών και αδυνατεί να διατηρήσει την ιδανική για το σώμα του θερμοκρασία (Χρονοπούλου-Σερέλη και Χρονόπουλος, 2011).

Οι φυτοκαλυμμένες θέσεις του αστικού ιστού μπορούν να βελτιώσουν σε ικανοποιητικό επίπεδο τη θερμική αίσθηση των κατοίκων λόγω της σκίασης και της εξατμισοδιαπνοής. Οι δύο αυτές παράμετροι διαφοροποιούνται έντονα ανάλογα με το φυτικό είδος. Για αυτό το λόγο θα πρέπει να γίνεται προσεκτική επιλογή των φυτών, ανάλογα με τις ανάγκες και τις απαιτήσεις του χώρου στον οποίο πρόκειται να εγκατασταθούν. Σε ένα πάρκο ή σε κάποιας άλλης μορφής κοινόχρηστο υπαίθριο χώρο, όταν υπάρχουν τεχνητές παρεμβάσεις για τη βελτίωση των θερμικών τους συνθηκών, οι θέσεις αυτές υστερούν στις προτιμήσεις των επισκεπτών συγκριτικά με άλλες που έχουν διαμορφωθεί με τη χρήση φυτικού υλικού (Χρονοπούλου-Σερέλη και Χρονόπουλος, 2011).

Η επιτυχής διαμόρφωση ενός υπαίθριου κοινόχρηστου χώρου πρέπει να δίνει τη δυνατότητα στον επισκέπτη του, να μετακινείται εντός αυτού και

να αξιοποιεί διαφορετικά μικροκλιματικά περιβάλλοντα, έτσι ώστε να διατηρεί τη θερμική του άνεση. Δηλαδή, πρέπει να του προσφέρεται ένα ευέλικτο θερμικό περιβάλλον με ηλιαζόμενες και σκιαζόμενες θέσεις (Thorsson et al., 2004).

Στον αστικό ιστό, εκτός από τα διαμορφωμένα πάρκα, υπάρχουν και άλλες μεγάλες φυτοκαλυμμένες επιφάνειες με δασική κυρίως βλάστηση (άλση), που προσελκύουν ιδιαίτερα κατά τη θερμική περίοδο του έτους σημαντικό αριθμό επισκεπτών. Στο εσωτερικό των επιφανειών αυτών παρουσιάζεται θερμομετρική διαφοροποίηση ανάλογα με την πυκνότητα των δένδρων και τη σκίαση που προκαλούν, του μεγέθους των αίθριων ως και των κτιρίων που πιθανόν υπάρχουν στο χώρο (Χρονοπούλου-Σερέλη και Χρονόπουλος, 2011).

Η θερμική καταπόνηση, που παρατηρείται στους κατοίκους των πόλεων, όταν αυτοί βρίσκονται σε διαφορετικής μορφής υπαίθριους χώρους, γίνεται αντιληπτή με διαφορετικό τρόπο, ανάλογα με το ευρύτερο περιβάλλον στο οποίο εντάσσονται οι χώροι αυτοί και το κοινωνικοοικονομικό επίπεδο της πληθυσμιακής ομάδας που τους χρησιμοποιεί. Επομένως, οι κάτοικοι πυκνοδομημένων περιοχών με περιορισμένη βλάστηση και έλλειψη ελεύθερων κοινόχρηστων χώρων είναι περισσότερο ευάλωτοι στις υψηλές θερμοκρασίες λόγω της έλλειψης της αναγκαίας υποδομής για την αντιμετώπιση των δυσμενών θερμικών συνθηκών (Harlan et al., 2006). Αντίθετα, σε κατοίκους με υψηλότερο βιοτικό επίπεδο, η θερμική καταπόνηση δεν γίνεται στον ίδιο βαθμό αντιληπτή λόγω βελτιωμένων συνθηκών διαβίωσης (Χρονοπούλου-Σερέλη και Χρονόπουλος, 2011).

Για την επίτευξη συνθηκών θερμικής άνεσης κατά τη διάρκεια της ημέρας τη θερμή περίοδο του έτους σημαντικό ρόλο παίζει η παρουσία στον αστικό ιστό φυτοκαλυμμένων υπαίθριων χώρων με δενδρώδη κυρίως βλάστηση. Αυτό αποδίδεται τόσο στη δημιουργούμενη από τα δένδρα σκίαση όσο και στη βελτίωση των θερμοϋγρομετρικών συνθηκών, λόγω των φυσιολογικών

διεργασιών των φυτών. Η σημαντική αυτή λεπτομέρεια των περιοχών πρασίνου γίνεται περισσότερο εμφανής κατά τις μεσημβρινές ώρες της θερμής περιόδου, όταν επικρατούν οι δυσμενέστερες για τους κατοίκους των ξηροθερμικών περιοχών συνθήκες (αυξημένες τιμές θερμοκρασίας αέρα, ηλιοφάνειας, ηλιακής ακτινοβολίας, μειωμένης ταχύτητας ανέμου). Επισημαίνεται ότι η διαφυγή της μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας κατά τις νυχτερινές ώρες παρεμποδίζεται από την πυκνή δενδρώδη βλάστηση, με αποτέλεσμα την επικράτηση στην περίπτωση αυτή δυσμενέστερων συνθηκών θερμικής αίσθησης σε σύγκριση με άλλες άδενδρες επιφάνειες. Κατά τη χειμερινή περίοδο, ο άνθρωπος μέσω της άμεσης έκθεσής του στον ήλιο αναζητεί θερμότερες συνθήκες όποτε η σκίαση δεν είναι επιθυμητή. Άρα στη σύνθεση της βλάστησης των θέσεων ανάπαυσης και κίνησης των επισκεπτών πρέπει να επικρατούν τα φυλλοβόλα δένδρα, τα οποία διαμορφώνουν συνθήκες θερμικής άνεσης τόσο κατά το χειμώνα, που έχει ολοκληρωθεί η διαδικασία της φυλλόπτωσης, επιτρέποντας έτσι τη διόδο της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας, όσο και κατά το θέρος που τα δένδρα έχουν πλήρως ανεπτυγμένη τη φυλλική τους επιφάνεια με αποτέλεσμα τη δημιουργία σκιάς (Χρονοπούλου-Σερέλη και Χρονόπουλος, 2011).

3. ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ

3.1 Εξέλιξη και κατηγοριοποίηση

Από τις αρχές του προηγούμενου αιώνα επιχειρήθηκε να ποσοτικοποιηθεί και να εκφραστεί μέσω δεικτών το ευχάριστο, ουδέτερο ή δυσάρεστο συναίσθημα που βιώνει ο άνθρωπος σε διαφορετικά περιβάλλοντα. Ορισμένοι δείκτες υπολογίζονται από το συνδυασμό βασικών μικρομετεωρολογικών παραμέτρων (θερμοκρασία, υγρασία, ταχύτητα ανέμου, ηλιακή ακτινοβολία) και άλλοι λαμβάνοντας επιπλέον υπόψη τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά του χώρου και τα δεδομένα που αναφέρονται στα άτομα που υφίστανται την επίδραση των περιβαλλοντικών αυτών παραμέτρων. Οι δείκτες αυτοί χαρακτηρίζονται ως βιομετεωρολογικοί - βιοκλιματικοί (Χρονοπούλου-Σερέλη και Χρονόπουλος, 2011).

Μετά το 1905, όταν έγινε η πρώτη παρατήρηση ως προς την καταλληλότητα της θερμοκρασίας του υγρού θερμομέτρου ως παράγοντα έκφρασης της θερμικής καταπόνησης, έχει προταθεί ένας μεγάλος αριθμός δεικτών, που εφαρμόστηκε ή εφαρμόζεται (πίνακας 3) σε παγκόσμιο επίπεδο. Τα πρώτα μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν ως δείκτες θερμικού περιβάλλοντος, ήταν εμπειρικά βασισμένα σε μεμονωμένες μετεωρολογικές παραμέτρους ή σε συνδυασμό αυτών. Αργότερα, έγινε η προσομοίωση του ανθρώπινου θερμικού ισοζυγίου και στην δεκαετία του 1970 αναπτύχθηκαν οι σχετικοί με την ανθρώπινη φυσιολογία δείκτες (Knez and Thorsson, 2006).

Πίνακας 3. Βιομετεωρολογικοί - βιοκλιματικοί δείκτες (κατά Epstein and Moran, 2006, συμπληρωμένο).

Έτος	Δείκτες	Συγγραφείς
1905	Wet bulb temperature (T_w)	Haldane
1916	Katathermometer	Hill et al.
1923	Effective temperature (ET)	Houghton & Yaglou
1929	Equivalent temperature (T_{eq})	Dufton
1932	Corrected effective temperature (CET)	Vernon & Warner
1937	Operative temperature (OpT)	Winslow et al.
1945	Thermal acceptance ratio (TAR)	Ionides et al.
1945	Index of physiological effect (E_p)	Robinson et al.
1946	Corrected effective temperature (CET)	Bedford
1947	Predicted 4-h sweat rate (P4SR)	Mc Ardel et al.
1948	Resultant temperature (RT)	Missenard et al.
1950	Craig index (I)	Craig
1955	Heat stress index (HIS)	Belding & Hatch
1957	Wet-bulb globe temperature (WBGT)	Yaglou & Minard
1957	Oxford index (WD)	Lind & Hellon
1957	Discomfort index (DI)	Thom
1958	Thermal strain index (TSI)	Lee & Henschel
1959	Discomfort index (DI)	Tennenbaum et al.
1960	Cummulative discomfort index (CumDI)	Tennenbaum et al.
1960	Index of physiological strain (I_s)	Hall & Polte
1962	Index of thermal stress (ITS)	Givoni
1966	Heat strain index (corrected) (HIS)	Mc Karns & Brief
1966	Prediction of heart rate (HR)	Fuller & Brouha
1967	Effective radiant field (ERF)	Gagge et al.

1970	Predicted mean vote (PMV)	Fänger
1970	Prescriptive zone	Lind
1971	New effective temperature (ET*)	Gagge et al.
1971	Wet globe temperature (WGT)	Botsford
1971	Humid operative temperature	Nishi & Gagge
1972	Predicted body core temperature	Givoni & Goldman
1972	Skin wettedness	Kerslake
1973	Standard effective temperature (SET)	Gagge et al.
1973	Predicted heart rate	Givoni & Goldman
1978	Skin wettedness	Gonzales et al.
1979	Fighter index of thermal stress (FITS)	Nunneley & Stribley
1981	Effective heart strain index (EHSI)	Kamon & Ryan
1982	Predicted sweat loss (m_{sw})	Shapiro et al.
1985	Requires sweating (SW_{req})	ISO 7933
1986	Predicted mean vote (modified) (PMV*)	Gagge et al.
1996	Cummulative heart strain index (CHSI)	Frank et al.
1998	Physiological strain index (PSI)	Moran et al.
1999	Modified discomfort index (MDI)	Moran et al.
1999	Physiological equivalent temperature (PET)	Höppe
2000	Standard effective temperature (modified) (SET*)	Pickup and De Dear
2001	Environmental stress index (ESI)	Moran et al.
2005	Wet-bulb dry temperature (WBDT)	Wallace et al.
2005	Relative humidity dry temperature (RHDT)	Wallace et al.
2009	Universal Thermal Climate Index (UTCI)	Bröde et al.

Μια πρώτη κατηγοριοποίηση των βιοκλιματικών δεικτών μπορεί να γίνει με βάση τις θερμοκρασιακές συνθήκες που επικρατούν στο περιβάλλον. Διακρίνονται, λοιπόν, σε (Ματζαράκης, 1995) :

- Δείκτες που αναφέρονται σε ψυχρό περιβάλλον, όπου συνδυάζεται η θερμοκρασία του αέρα και η ταχύτητα του ανέμου, όπως οι δείκτες απόψυξης, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την περιγραφή της στροβιλώδους μεταφοράς αισθητής θερμότητας.
- Δείκτες που αναφέρονται σε θερμό περιβάλλον, όπου συνδυάζεται η θερμοκρασία του αέρα με διάφορους δείκτες υγρασίας για τη μελέτη της εξάτμισης, που προκαλείται από το ανθρώπινο σώμα.

Σε ένα γενικότερο πλαίσιο οι βιοκλιματικοί δείκτες μπορούν να ταξινομηθούν σε δυο κατηγορίες : τους βιομετεωρολογικούς και τους θερμοφυσιολογικούς δείκτες.

Οι βιομετεωρολογικοί δείκτες (π.χ. Heat Index, PET, UTCI) αξιοποιούν μετεωρολογικά δεδομένα για την περιγραφή της επίδρασης των κλιματικών συνθηκών στον άνθρωπο. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία, η ηλιακή ακτινοβολία και η ταχύτητα ανέμου (Παπαδοπούλου, 2010). Η απλότητα που χαρακτηρίζει τους δείκτες αυτής της κατηγορίας αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημά τους. Οι δείκτες αυτοί λαμβάνουν υπόψη και το ανθρώπινο θερμικό ισοζύγιο, ορίζουν έναν «τυπικό άνθρωπο» (συγκεκριμένο ύψος, βάρος, μεταβολισμό, ένδυση κλπ) και το εισάγουν στο μοντέλο μαζί με τα μετεωρολογικά δεδομένα.

Στους θερμοφυσιολογικούς δείκτες, η εκτίμηση της επίδρασης του κλίματος στον ανθρώπινο οργανισμό, γίνεται με τη συγκριτική θεώρηση του συνόλου των θερμικών παραγόντων. Με τη χρήση τους γίνεται μοντελοποίηση του ανθρώπινου ισοζυγίου θερμότητας. Θερμοφυσιολογικοί θεωρούνται εκείνοι οι δείκτες που ως δεδομένα εισόδου απαιτούν και χαρακτηριστικά της ανθρώπινης φυσιολογίας

(ηλικία, φύλο, ένταση εργασίας κ.τ.λ.) (Παπαδοπούλου, 2010). Σε αυτούς τους δείκτες τα μετεωρολογικά δεδομένα κρατούνται σταθερά και μεταβάλλονται τα δεδομένα της φυσιολογίας του ανθρώπου.

Έντονος προβληματισμός έχει αναπτυχθεί σχετικά με τη χρήση των βιομετεωρολογικών - βιοκλιματικών δεικτών στο εξωτερικό περιβάλλον, εάν δηλαδή αυτοί έχουν τη δυνατότητα να αποδώσουν με ακρίβεια τη θερμική αίσθηση του ανθρώπου, αφού είχαν αρχικά σχεδιαστεί και αναπτυχθεί για εσωτερικούς χώρους. Η απόκλιση των εκτιμήσεων της θερμικής αίσθησης από τις αντίστοιχες, που προκύπτουν από τους δείκτες ή τα μοντέλα, μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι οι συνθήκες του εξωτερικού περιβάλλοντος, η κύρια δραστηριότητα του ατόμου σε αυτές, ο χρόνος παραμονής του και η προηγούμενη θερμική του κατάσταση μπορεί να διαφοροποιήσουν τα όρια της θερμικής του αίσθησης και να καταστήσουν το άτομο περισσότερο ή λιγότερο ανεκτικό σε θερμικά δυσμενείς συνθήκες. Για την εκτίμηση της θερμικής αίσθησης στους ελεύθερους κοινόχρηστους χώρους έχει ιδιαίτερη σημασία η σωστή επιλογή του δείκτη ώστε να επιτευχθεί η μεγαλύτερη προσέγγιση της πραγματικής θερμικής αίσθησης των επισκεπτών στους χώρους αυτούς. Από τη χωρική κατανομή της βιομετεωρολογικής αυτής παραμέτρου είναι δυνατόν να επισημανθούν θέσεις με ευνοϊκές ή δυσμενείς συνθήκες θερμικής αίσθησης, να συσχετισθούν με τη διαμόρφωση του χώρου και στη συνέχεια να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα για πιθανές παρεμβάσεις, βελτιώνοντας έτσι τις βιομετεωρολογικές του συνθήκες (Χρονοπούλου-Σερέλη και Χρονόπουλος, 2011).

3.2 Δείκτης PET (Physiological Equivalent Temperature)

Ο δείκτης PET είναι ένας καθολικός δείκτης για το χαρακτηρισμό του θερμικού βιοκλίματος, που επιτρέπει την αξιολόγηση των θερμικών συνθηκών, βασίζεται (Höppe, 1993; Taffé, 1997) στο ενεργειακό ισοζύγιο του ανθρώπου και προέρχεται από το μοντέλο Munich Energy-balance Model for Individuals (MEMI). Ο δείκτης αυτός (Höppe und Mayer, 1987; Höppe, 1999) ορίζεται ως η φυσιολογική θερμοκρασία σε οποιοδήποτε χώρο (εσωτερικό ή εξωτερικό) που είναι ισοδύναμη με τη θερμοκρασία του αέρα στην οποία το ενεργειακό φορτίο ενός «τυπικού ανθρώπου» σε ένα «τυπικό» εσωτερικό περιβάλλον, εξισορροπείται με τις θερμοκρασίες του δέρματος και του εσωτερικού του σώματος του και είναι ίσες με αυτές που ισχύουν στο εξωτερικό περιβάλλον (Χρονοπούλου-Σερέλη και Χρονόπουλος, 2011).

Ο «τυπικός» άνθρωπος έχει ελαφρά δραστηριότητα (μεταβολισμός 80W) και θερμική μόνωση ενδυμασίας 0,9clo (Höppe, 1999). Για το «τυπικό» εσωτερικό περιβάλλον ή αλλιώς κλίμα αναφοράς εσωτερικού χώρου, λαμβάνονται υπόψη οι τυπικές συνθήκες δωματίου, που είναι μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας ίση με τη θερμοκρασία του αέρα, ταχύτητα ανέμου ίση με 0,1m/s και τάση ατμών ίση με 12hPa (τα 12hPa αντιστοιχούν σε 50% σχετική υγρασία και θερμοκρασία αέρα 20,0°C) (Höppe and Seidl, 1991).

Για βιοκλιματικούς λόγους, η ταχύτητα του ανέμου που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του δείκτη PET ρυθμίζεται σύμφωνα με τον τύπο (Kuttler, 2000) :

$$WS_{1.1} = WS_h * (1.1/h)^{\alpha} \quad \alpha = 0.12 * z_0 + 0.18$$

όπου WS_h είναι η ταχύτητα του ανέμου (m/s) στο ύψος του σταθμού (h , συνήθως 10m), το α είναι ένας εμπειρικός εκθέτης ανάλογα με την επιφανειακή τραχύτητα του εδάφους και το z_0 είναι το μήκος της τραχύτητας. Η ταχύτητα του ανέμου εκτιμήθηκε στο 1.1m όπου είναι το

κέντρο βάρους του ανθρώπινου σώματος και αποτελεί το σημείο αναφοράς για τη μελέτη της ανθρώπινης βιομετεωρολογίας.

Στον πίνακα 4 που ακολουθεί παρουσιάζεται η εκτίμηση του θερμικού περιβάλλοντος με βάση τις διάφορες τιμές του PET, όπου κατηγοριοποιείται η ανθρώπινη θερμική αίσθηση και ο αντίστοιχος βαθμός φυσιολογικής καταπόνησης, στη βάση μιας συγκεκριμένης εξ' ορισμού κλίμακας τιμών του δείκτη, που ισχύει μόνο για τις κατ' υπόθεση τιμές της εσωτερικής παραγωγής θερμότητας 80W και θερμικής μόνωσης που προκαλείται από την ενδυμασία 0,9clo.

Πίνακας 4. Οι τιμές του δείκτη PET σε σχέση με τους διάφορους βαθμούς θερμικής αίσθησης και φυσιολογικής καταπόνησης των ανθρώπων (όταν η αντίσταση μεταφοράς θερμότητας λόγω ένδυσης είναι : 0.9 clo και ο μεταβολισμός είναι : 80W) (Matzarakis et al., 1999).

PET(°C)	Θερμική αίσθηση (Thermal sensation)	Βαθμός θερμο-φυσιολογικής επιβάρυνσης (Physiological stress level)
<4	Πάρα πολύ κρύο (Very cold)	Ακραία ψυχρή επιβάρυνση (Extreme cold stress)
4-8	Κρύο (Cold)	Ισχυρή ψυχρή επιβάρυνση (Strong cold stress)
8-13	Δροσερό (Cool)	Μέτρια ψυχρή επιβάρυνση (Moderate cold stress)
13-18	Ελαφρά δροσερό (Slightly cool)	Ελαφρά ψυχρή επιβάρυνση (Slight cold stress)
18-23	Θερμικά ουδέτερο (Comfortable)	Δεν υπάρχει θερμική επιβάρυνση (No thermal stress)
23-29	Ελαφρά θερμό (Slightly warm)	Ελαφρά θερμική επιβάρυνση (Slight heat stress)
29-35	Θερμό (Warm)	Μέτρια θερμική επιβάρυνση (Moderate heat stress)
35-41	Ζεστό (Hot)	Ισχυρή θερμική επιβάρυνση (Strong heat stress)
>41	Πάρα πολύ ζεστό (Very hot)	Ακραία θερμική επιβάρυνση (Extreme heat stress)

Παραδείγματα των εκτιμώμενων τιμών PET σε διαφορετικά περιβάλλοντα παρατίθενται στον πίνακα 5 όπου είναι προφανής η ισοδυναμία των θερμοκρασιών αέρα και PET στις τυπικές συνθήκες δωματίου ($T_a = PET = 21,0^\circ C$). Σημαντική διαφορά της τιμής PET σε σχέση με την T_a , που φτάνει για παράδειγμα στους $13,0^\circ C$, εντοπίζεται σε μια θερινή ημέρα με έντονη ηλιακή ακτινοβολία (Hörre, 1999), πράγμα το οποίο δηλώνει το σημαντικό ρόλο της ηλιακής ακτινοβολίας στη διαμόρφωση της τιμής του PET. Η ιδιαίτερη σημασία της ηλιακής ακτινοβολίας φαίνεται και από τη σύγκριση των τιμών του PET σε μια θερινή ηλιόλουστη και μια νεφосκεπή ημέρα, όπου οι τιμές διαφέρουν κατά $14,0^\circ C$, θεωρώντας ότι αυτές έχουν την ίδια θερμοκρασία, τάση ατμών και ταχύτητα ανέμου και διαφέρουν μόνο ως προς τις συνθήκες ηλιακής ακτινοβολίας (Χρονοπούλου-Σερέλη και Χρονόπουλος, 2011).

Πίνακας 5. Παραδείγματα τιμών του δείκτη PET, όπως διαμορφώνονται σε ημέρες με διαφορετικές μετεωρολογικές συνθήκες σε εσωτερικό χώρο και εξωτερικό περιβάλλον (κατά Hörre, 1999).

Συνθήκες ημέρας	T_a ($^\circ C$)	T_{mrt} ($^\circ C$)	V (m/sec)	VP (hPa)	PET ($^\circ C$)
Τυπικού δωματίου	21	21	0,1	12	21
Χειμερινής με ηλιοφάνεια	-5	40	0,5	2	10
Χειμερινής με νέφωση	-5	-5	5,0	2	-13
Θερινής με ηλιοφάνεια	30	60	1,0	21	43
Θερινής με νέφωση	30	30	1,0	21	29

T_a = θερμοκρασία αέρα, T_{mrt} = μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας, V = ταχύτητα ανέμου, VP = τάση ατμών.

Σε σχέση με άλλους βιομετεωρολογικούς δείκτες, ο PET αναφέρεται στην ευρέως γνωστή μονάδα θερμοκρασίας, των βαθμών Κελσίου ($^\circ C$). Το γεγονός αυτό καθιστά τα αποτελέσματα από τον υπολογισμό του εύκολα κατανοητά για τους πιθανούς χρήστες. Αυτό ιδιαίτερα ισχύει για τους αρμόδιους που ασχολούνται με τον αστικό ή περιφερειακό σχεδιασμό,

αυτούς που λαμβάνουν αποφάσεις, ακόμη και το ευρύ κοινό που μπορεί να μην είναι εξοικειωμένο με τη σύγχρονη ορολογία, που σχετίζεται με την ανθρώπινη βιομετεωρολογία (Höppe, 1999; Matzarakis et al., 1999). Ο δείκτης PET έχει, επίσης, το πλεονέκτημα ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί καθ' όλη τη διάρκεια του έτους και σ' ένα ευρύ φάσμα κλιματικών συνθηκών. Οι μετεωρολογικές παράμετροι που επηρεάζουν το ανθρώπινο ενεργειακό ισοζύγιο, όπως η θερμοκρασία του αέρα, η υγρασία του αέρα, η ταχύτητα του ανέμου και η μικρού και μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία, εμπεριέχονται στις τιμές του PET (Gulyás and Matzarakis, 2007). Επιπλέον, ο PET εξετάζει και την αντίσταση μεταφοράς θερμότητας λόγω της ένδυσης και της εσωτερικής παραγωγής θερμότητας. Για να υπογραμμιστεί περαιτέρω η σημασία του PET, αξίζει να σημειωθεί ότι η Γερμανική Ένωση Μηχανικών (VDI, 1998) προτείνει την εφαρμογή του για την αξιολόγηση της θερμικής κατάστασης διαφορετικών κλιματικών συνθηκών. Έτσι, έχουν γίνει εφαρμογές του δείκτη PET για την αξιολόγηση του θερμικού φορτίου διαφορετικών μικροκλιμάτων και την περαιτέρω αξιοποίησή τους στον αστικό σχεδιασμό.

Ο δείκτης PET έχει χρησιμοποιηθεί :

- στην εκτίμηση των επιδράσεων της γεωμετρίας των οδοχαραδρών και στη θερμική αίσθηση κατοίκων τροπικών περιοχών (Johansson and Rohinton, 2006).
- σε δομημένες περιοχές για το συσχετισμό των χρήσεων γης με τις ενεργειακές απαιτήσεις και τη θερμική άνεση του ανθρώπου (Svensson and Eliasson, 2002).
- για τη μελέτη της επιρροής των διαφορετικών πολιτισμών (π.χ. σκανδιναβικών και ασιατικών), αλλά και της περιβαλλοντικής προέλευσης τους (π.χ. αστικής και μη αστικής) στη θερμική, συναισθηματική και αντιληπτική απόκριση των ατόμων κατά την

παραμονή τους σ' ένα δημόσιο χώρο υπό συνθήκες θερμικής άνεσης (Knez and Thorsson, 2006).

- για την αξιολόγηση των συνθηκών που επικρατούν σε ημέρες με μέγιστη θερμοκρασία αέρα μεγαλύτερη των 30,0°C. Πιο συγκεκριμένα, ο PET αναλύθηκε, σε ημερήσια βάση, για την περιοχή του Ελληνικού (Αθήνα) κατά τη χρονική περίοδο από το 1960 έως το 2000 (Nastos and Matzarakis, 2008b).
- για την αξιολόγηση της θερμικής αίσθησης σε σύνθετα υπαίθρια και ημι-υπαίθρια περιβάλλοντα αθλητικών εγκαταστάσεων (σταδίων). Στην περίπτωση αυτή εξετάζεται η δυνατότητα προσέγγισης, που συνδυάζει δεδομένα αεροδυναμικής και υπολογισμού του ανθρώπινου θερμικού ισοζυγίου (Bouyer et al., 2007).
- για την μελέτη των επιδράσεων του αστικού βιοκλίματος στην ανθρώπινη νοσηρότητα (Schwartz et al., 2004; Nastos and Matzarakis, 2006; Michelozzi et al., 2007)
- για την μελέτη των επιδράσεων του αστικού βιοκλίματος στην ανθρώπινη θνησιμότητα (Curriero et al., 2002; Analitis et al., 2008; Baccini et al., 2008; Hajat and Kosatky, 2010; Almeida et al., 2010; Nastos and Matzarakis, 2012)
- για την μελέτη θεμάτων σχετικά με τον τουρισμό και την λήψη αποφάσεων (de Freitas, 2003; Didaskalou and Nastos, 2003; Hamilton and Lau, 2005; Lin et al., 2006; Matzarakis and Nastos, 2011; Matzarakis et al., 2014)
- για μελέτες πολεοδομικού σχεδιασμού (Carmona et al., 2003; Nikolopoulou and Steemers, 2003; Nikolopoulou and Lykoudis, 2006; Thorsson et al., 2004).
- για μελέτες σε αστικό δομημένο χώρο με πολύπλοκα μοτίβα σκίασης και στη δημιουργία ακριβών προβλέψεων για το θερμικό περιβάλλον (Thorsson et al., 2007b; Gulyás et al., 2006).

Η αξιολόγηση της ανθρώπινης θερμικής αίσθησης αποτελεί μια δύσκολη διαδικασία. Η δυσκολία αυτή οφείλεται στην έλλειψη περιεκτικών πειραματικών μελετών, οι οποίες θα παρέχουν αρκετά αξιόπιστα στοιχεία ώστε να προσομοιωθεί η πολυπλοκότητα των θερμικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ ενός μεμονωμένου ατόμου (λαμβάνοντας υπόψη τη δραστηριότητα, την ψυχολογία, τη φυσιολογία και την ενδυμασία του) και ενός ιδιαίτερου περιβάλλοντος, που συνδυάζει τη θερμοκρασία του αέρα, την υγρασία, την ταχύτητα του ανέμου, την ηλιακή και υπέρυθρη ακτινοβολία και άλλα δεδομένα. Επιπλέον, αποτελεί δύσκολη διαδικασία λόγω της έλλειψης ενός απλού δείκτη, εύχρηστου και κατανοητού, που θα έδινε τη δυνατότητα στους μηχανικούς να εκτιμήσουν τις συνέπειες των σχεδιαστικών τους επιλογών στη θερμική άνεση του ανθρώπου. Αν και σήμερα ένας τέτοιος δείκτης δεν είναι διαθέσιμος, ο δείκτης PET αποτελεί μια πρώτη λύση, αφού με αυτόν ποσοτικοποιούνται τα θερμικά δεδομένα ενός συγκεκριμένου υπαίθριου περιβάλλοντος και ανάγονται σε μια θερμοκρασία ιδεατού εσωτερικού χώρου, που προκαλεί το ίδιο θερμικό αποτέλεσμα, όπως αυτό γίνεται αισθητό από ένα «τυπικό» άτομο (Χρονοπούλου-Σερέλη και Χρονόπουλος, 2011).

3.3 Δείκτης UTCI (Universal Thermal Climate Index)

Το 1999, η Διεθνής Ένωση Βιομετεωρολογίας (ISB) καθιέρωσε μια επιτροπή σχετικά με την ανάπτυξη ενός Παγκόσμιου Θερμικού Κλιματικού δείκτη του UTCI (Universal Thermal Climate Index). Ο στόχος αυτού του προγράμματος ήταν η δημιουργία ενός θερμικού δείκτη που να βασίζεται στο πιο εξελιγμένο θερμοφυσιολογικό πρότυπο. Από το 2005, αυτές οι προσπάθειες ενισχύθηκαν από την Ευρωπαϊκή COST (Cooperation in Science and Technical Development) Action 730, η οποία συγκέντρωσε κορυφαίους εμπειρογνώμονες στους τομείς της ανθρώπινης θερμοφυσιολογίας, της θερμοφυσιολογικής μοντελοποίησης, της μετεωρολογίας και της κλιματολογίας, με σκοπό την ανάπτυξη του δείκτη

UTCI. Έτσι το 2009 η COST Action 730 κατάφερε να δημιουργήσει τον δείκτη UTCI (Blazejczyk et al., 2013).

Ο δείκτης UTCI δημιουργήθηκε για να καλύψει τους εξής στόχους (Blazejczyk et al., 2013) :

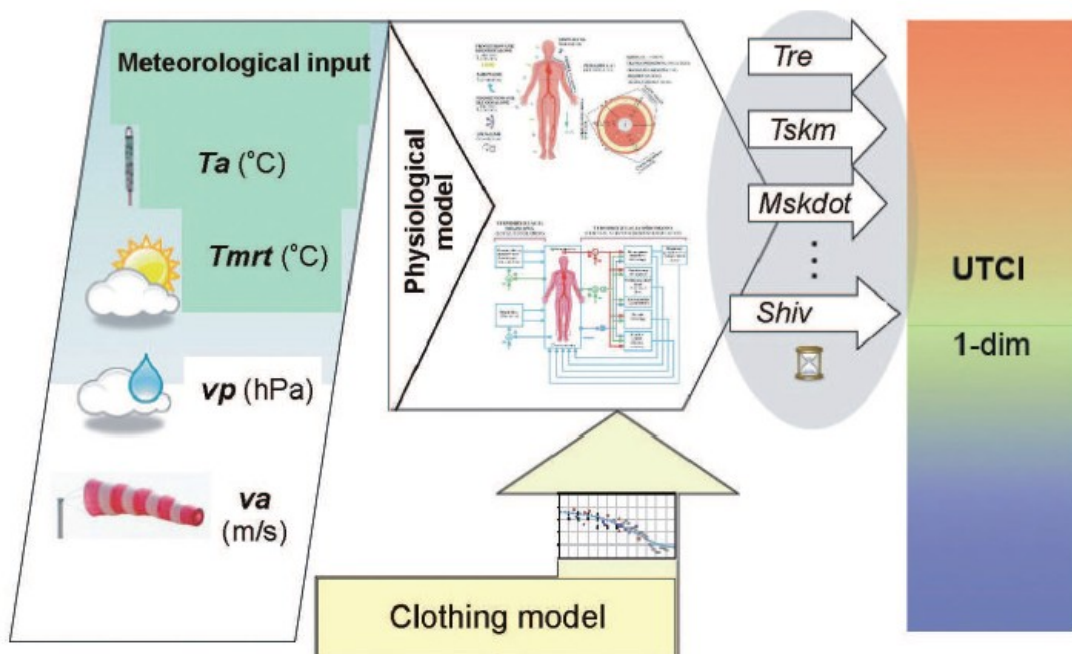
- Να είναι σημαντικός θερμοφυσιολογικά σε όλο το φάσμα της θερμικής ανταλλαγής.
- Να είναι εφαρμόσιμος για ολόκληρο το σώμα, αλλά και για την τοπική ψύξη του δέρματος (π.χ. κρυοπαγήματα).
- Να ισχύει για όλα τα κλίματα, τις εποχές και τις κλίμακες.
- Να είναι χρήσιμος σε βασικές εφαρμογές στην ανθρώπινη βιομετεωρολογία, για παράδειγμα, στην Μετεωρολογική Υπηρεσία, Υπηρεσία Δημόσιας Υγείας κ.α.
- Να είναι δείκτης με θερμοκρασιακή κλίμακα.

Ο δείκτης UTCI εκφράζεται ως η ισοδύναμη θερμοκρασία περιβάλλοντος, ενός περιβάλλοντος αναφοράς, που παρέχει την ίδια φυσιολογική απόκριση ενός ατόμου αναφοράς, όπως και στο πραγματικό περιβάλλον (Blazejczyk et al., 2012). Οι μετεωρολογικές και οι μη μετεωρολογικές (μεταβολικός ρυθμός και θερμική μόνωση ενδυμασίας) συνθήκες αναφοράς ορίστηκαν ως εξής (Blazejczyk et al., 2010) :

- ταχύτητα ανέμου 0,5m/s σε ύψος 10m (περίπου 0,3m/s σε 1,1m)
- η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας (T_{mrt}) ίση με τη θερμοκρασία του αέρα
- τάση ατμών που αντιπροσωπεύει την σχετική υγρασία στο 50%. Σε υψηλές θερμοκρασίες αέρα ($>29^{\circ}\text{C}$) η υγρασία αναφοράς λαμβάνεται σταθερή στα 20hPa.

- μια αντιπροσωπευτική δραστηριότητα ενός ατόμου που περπατά με ταχύτητα 4km/h (1,1m/s), αυτό παρέχει ένα μεταβολικό ρυθμό 2,3met.

Ο δείκτης UTCI έχει ως σκοπό μέσα από μια μονοδιάστατη ποσότητα, να αποδώσει την πραγματική ανθρώπινη φυσιολογική αντίδραση σε μια θερμική κατάσταση, η οποία ορίζεται πολυδιάστατα. Όπως φαίνεται στην εικόνα 10, η τιμή του δείκτη θα πρέπει να υπολογίζεται σε συνάρτηση με τις πολλές μεταβλητές του συγκεκριμένου μοντέλου (Blazejczyk et al., 2013).



Εικόνα 10. Ο UTCI προκύπτει ως ισοδύναμη θερμοκρασία από την απόκριση πολλών μεταβλητών του θερμοφυσιολογικού μοντέλου UTCI-Fiala (Fiala et al., 2012), το οποίο συνδυάστηκε με ένα μοντέλο για ένδυση (Havenith et al., 2012).

Ο χαρακτηρισμός της ανταπόκρισης του μοντέλου θα πρέπει να είναι ενδεικτικός για τις φυσιολογικές και τις θερμορυθμιστικές διεργασίες όπως απαριθμούνται στον πίνακα 6, οι οποίες είναι σημαντικές για την ανθρώπινη αντίδραση σε ουδέτερες, μέτριες και ακραίες συνθήκες (Blazejczyk et al., 2013, Bröde et al. 2012, Kampmann et al., 2008).

Η κατηγοριοποίηση των τιμών του δείκτη UTCI σε σχέση με τη θερμική καταπόνηση κρίνεται αναγκαία για κάποιες εφαρμογές του δείκτη UTCI. Η κατηγοριοποίηση αυτή φαίνεται παρουσιάζεται στον πίνακα 7 που ακολουθεί.

Πίνακας 6. Μεταβλητές που προέρχονται από τα αποτελέσματα του θερμοφυσιολογικού μοντέλου μετά από χρόνο έκθεσης 30 και 120 λεπτά (Blazejczyk et al., 2013).

Variable	Abbreviation	Unit
Rectal temperature	T _{re}	°C
Mean skin temperature	T _{skm}	°C
Face skin temperature	T _{skfc}	°C
Sweat production	M _{skdot}	g/min
Heat generated by shivering	Shiv	W
Skin wettedness	wettA	% of body area
Skin blood flow	V _{blSk}	% of basal value

Πίνακας 7. Κατηγοριοποίηση των τιμών του δείκτη UTCI σε σχέση με τη θερμική καταπόνηση (Nastos and Matzarakis, 2012).

UTCI (°C)	Κατηγοριοποίηση επιβάρυνσης (Stress category)
Above +46	Ακραία θερμική επιβάρυνση (Extreme heat stress)
+38 to +46	Πολύ ισχυρή θερμική επιβάρυνση (Very strong heat stress)
+32 to +38	Ισχυρή θερμική επιβάρυνση (Strong heat stress)
+26 to +32	Ελαφρά θερμική επιβάρυνση (Moderate heat stress)
+9 to +26	Θερμικά ουδέτερο (No thermal stress)
+9 to 0	Ελαφρά ψυχρή επιβάρυνση (Slight cold stress)
0 to -13	Μέτρια ψυχρή επιβάρυνση (Moderate cold stress)
-13 to -27	Ισχυρή ψυχρή επιβάρυνση (Strong cold stress)
-27 to -40	Πολύ ισχυρή ψυχρή επιβάρυνση (Very strong cold stress)
Below -40	Ακραία ψυχρή επιβάρυνση (Extreme cold stress)

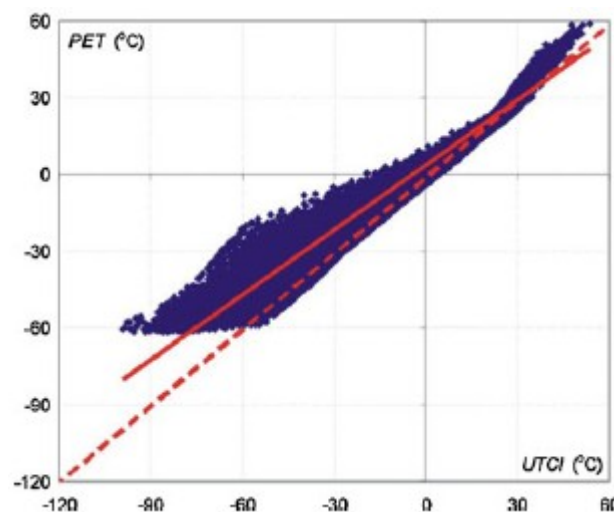
3.4 Σύγκριση των δεικτών PET και UTCI

Μέσω του μοντέλου RayMan, το οποίο είναι κατάλληλο για τον υπολογισμό της ροής της ακτινοβολίας και των βιομετεωρολογικών δεικτών, μπορούν να υπολογιστούν και οι δυο δείκτες PET και UTCI (Matzarakis et al., 1999, 2010).

Τα συμπεράσματα από τη σύγκριση των δεικτών PET και UTCI σύμφωνα με την εργασία των Blazejczyk et al. 2012 είναι τα εξής :

- έχουν παρόμοιες τιμές, αφού και οι δύο δείκτες δείχνουν ισοδύναμες θερμοκρασίες.
- για τον δείκτη PET η χαμηλότερη τιμή είναι περίπου -62°C, ενώ για τον δείκτη UTCI κυμαίνεται από -50 έως -110°C.

- Ο δείκτης UTCI δίνει τιμές όχι χαμηλότερες από τη θερμοκρασία του αέρα με μια αισθητή ασυμμετρία στην κατανομή τους. Ο δείκτης PET δίνει τιμές οι οποίες στην πλειονότητα τους διαφέρουν ελάχιστα από τη θερμοκρασία του αέρα κατά -5 έως +5 K.
- Ο δείκτης UTCI είναι πολύ ευαίσθητος στις μεταβολές των διεργασιών του περιβάλλοντος : τη θερμοκρασία, την ηλιακή ακτινοβολία, την υγρασία και την ταχύτητα του ανέμου και από αυτή την άποψη αντιπροσωπεύει την αντίδραση του ανθρώπινου σώματος. Σε αντίθεση, ο δείκτης PET είναι πιο στενά συνδεδεμένος με τη θερμοκρασία του αέρα αφού οι παραδοχές του για τη θερμική μόνωση λόγω ένδυσης διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό από αυτές του μοντέλου που χρησιμοποιεί ο δείκτης UTCI.
- Η εικόνα 11 απεικονίζει τη γενική συμφωνία του δείκτη UTCI με τον δείκτη PET. Τα παγκόσμια δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τη σύγκριση των δεικτών αντιπροσωπεύουν ένα πολύ ευρύ φάσμα των μετεωρολογικών μεταβλητών. Ο σκοπός αυτής της ανάλυσης είναι η σύγκριση των δυο δεικτών. Στο διάγραμμα φαίνεται πώς η διασπορά του δείκτη PET αυξάνεται με τη μείωση του UTCI.



Εικόνα 11. Διάγραμμα δεικτών UTCI και PET, η ευθεία γραμμή αντιπροσωπεύει την παλινδρόμηση και η διακεκομμένη γραμμή την ομοιότητα (Blazejczyk et al., 2012).

Στον πίνακα 8, που ακολουθεί, παρουσιάζονται σε κατηγορίες οι τιμές των δεικτών PET και UTCI σε σχέση με τη θερμο-φυσιολογική επιβάρυνση και τη θερμική αίσθηση ενός ανθρώπου.

Πίνακας 8. Κλίμακες των δεικτών PET και UTCI για διαφορετικούς βαθμούς θερμο-φυσιολογικής επιβάρυνσης και θερμικής αίσθησης (Matzarakis and Mayer, 1996; Blazejczyk et al., 2010; Németh, 2011).

PET (°C)	UTCI (°C)	Βαθμοί θερμο-φυσιολογικής επιβάρυνσης (Grade of physiological stress)	Θερμική αίσθηση (Thermal sensation)
above +41	above +46	Ακραία θερμική επιβάρυνση (extreme heat stress)	Πάρα πολύ ζεστό (very hot)
-----	+38 to +46	Πολύ ισχυρή θερμική επιβάρυνση (very strong heat stress)	Πολύ ζεστό (strongly hot)
+35 to +41	+32 to +38	Ισχυρή θερμική επιβάρυνση (strong heat stress)	Ζεστό (hot)
+29 to +35	+26 to +32	Μέτρια θερμική επιβάρυνση (moderate heat stress)	Θερμό (warm)
+23 to +29	-----	Ελαφρά θερμική επιβάρυνση (slight heat stress)	Ελαφρά θερμό (slightly warm)
+18 to +23	+9 to +26	Δεν υπάρχει θερμική επιβάρυνση (no thermal stress)	Θερμικά ουδέτερο, Άνεση (comfortable)
+13 to +18	0 to +9	Ελαφρά ψυχρή επιβάρυνση (slight cold stress)	Ελαφρά δροσερό (slightly cool)
+8 to +13	-13 to 0	Μέτρια ψυχρή επιβάρυνση (moderate cold stress)	Δροσερό (cool)
+4 to +8	-27 to -13	Ισχυρή ψυχρή επιβάρυνση (strong cold stress)	Κρύο (cold)
-----	-40 to -27	Πολύ ισχυρή ψυχρή επιβάρυνση (very strong cold stress)	Πολύ κρύο (strongly cold)
below +4	below -40	Ακραία ψυχρή επιβάρυνση (extreme cold stress)	Πάρα πολύ κρύο (very cold)

4. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ

4.1 Γενικά για την περιοχή της Αθήνας

Η Αθήνα βρίσκεται στην κεντρική Ελλάδα (37058'N, 23043'E) με μέσο υψόμετρο 107m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας στη λεκάνη της Αττικής. Ο πληθυσμός της πόλης είναι 3.130.841 σύμφωνα με την απογραφή του 2011. Η περιοχή της Αθήνας καλύπτει μια έκταση περίπου 400km². Η Αθήνα, σύμφωνα με την κλιματική ταξινόμηση κατά Köppen ανήκει στον κλιματικό τύπο Csa (χερσαίο Μεσογειακό με ξηρό και θερμό καλοκαίρι) (Charalampopoulos et al., 2013).

Η μέση ημερήσια θερμοκρασία για τους χειμερινούς μήνες (Δεκέμβρη, Ιανουάριο και Φεβρουάριο) είναι 9.4°C και η ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία πέφτει κάτω από το μηδέν μόνο δύο φορές το χρόνο. Κατά τους θερινούς μήνες (Ιούνιο, Ιούλιο, Αύγουστο), η μέση ημερήσια θερμοκρασία είναι 25.8°C, αν και η μέση μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία ξεπερνά τους 31°C. Η ετήσια βροχόπτωση είναι 402mm και παρουσιάζεται κυρίως τον Οκτώβριο και τους χειμερινούς μήνες (Katsoulis, 1987).

Από βιομετεωρολογική άποψη σε σχέση με τον άνθρωπο, η Αθήνα είναι μια πόλη όπου ενδέχεται να προκύψουν συνθήκες υψηλής θερμικής καταπόνησης, ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες (Matzarakis et al., 1999; Balaras et al., 1993). Σύμφωνα με τις τελευταίες δημοσιεύσεις, η υψηλότερη δυσφορία εμφανίζεται στην Αθήνα μεταξύ του Ιουλίου και του Αυγούστου (Nastos and Zerefos, 2009; Nikolopoulos and Lykoudis, 2006).

Στην εικόνα 12 που ακολουθεί φαίνεται η ευρύτερη περιοχή της Αττικής και η περιοχή της Αθήνας σκιαγραφημένη. Στην περιοχή της Αθήνας βρίσκεται και η Πανεπιστημιούπολη Αθηνών, η οποία αποτελεί την περιοχή μελέτης αυτής της διπλωματικής εργασίας.



Εικόνα 12. Η ευρύτερη περιοχή της Αττικής, στην οποία σκιαγραφείται η περιοχή της Αθήνας και είναι εμφανή τα όρια της (www.skymap.gr).

4.2 Αστικοποίηση στην Αθήνα

Οι Philandras et al. (1999) μελέτησαν τις συνέπειες της αστικοποίησης στην Αθήνα, εξετάζοντας τη μέση μηνιαία μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία του αέρα για την περίοδο 1925-1996 από το αρχείο δεδομένων του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (ΕΑΑ). Παρά το γεγονός ότι το άμεσο περιβάλλον του ΕΑΑ είναι ένας ανοιχτός χώρος, 70m ψηλότερος από τη γύρω περιοχή και 5km σε απόσταση από τη θάλασσα, η επίδραση της αστικοποίησης σε αυτόν είναι εμφανής.

Στις αρχές του 20^{ου} αιώνα, πρέπει να υπήρχε κάποια επίδραση της αστικοποίησης σε πολλές περιοχές της Αθήνας, όμως στο ΕΑΑ με βάση τη φυσική διαμόρφωση που το περιβάλλει θεωρήθηκε ότι δεν υπήρχε σημαντική επίδραση της αστικοποίησης σε αυτόν, ενώ σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας παρατηρήθηκε μετά το 1910, η οποία απεικονίζει την παγκόσμια κλιματική αλλαγή μέχρι το 1940 (Karapiperis, 1961). Η

υπάρχουσα μικρή επίδραση της αστικοποίησης στο ΕΑΑ, μετά από τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο άρχισε να αυξάνεται μέχρι το 1990, όπου η επίδραση από εκεί και έπειτα έγινε σταθερή. Το φαινόμενο της αστικοποίησης στο ΕΑΑ αναφέρεται κυρίως στη μέγιστη θερμοκρασία και στις θερμότερες εποχές του έτους. Αποδίδεται στην εκτεταμένη οικοδόμηση της Αθήνας μετά τον πόλεμο και γύρω από το ΕΑΑ έως τη θάλασσα, που έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας της θαλάσσιας αύρας. Το φαινόμενο της αστικοποίησης οφείλεται, επίσης, στην ταχεία αύξηση του πληθυσμού και του αριθμού των οχημάτων κυρίως μετά το 1970. Επιπλέον, η πτωτική τάση των βροχοπτώσεων κατά την περίοδο 1970-1990, μπορεί να έχει συμβάλει στην αύξηση της μέγιστης θερμοκρασίας του αέρα. Η επίδραση της αστικοποίησης στις μέγιστες θερμοκρασίες του ΕΑΑ ανέρχεται στους 2°C την άνοιξη, το καλοκαίρι και λιγότερο το φθινόπωρο, ενώ καμία επίδραση της αστικοποίησης δεν είναι σαφής το χειμώνα. Τέλος, οι ετήσιες τιμές των μέγιστων και ελάχιστων θερμοκρασιών αν εξεταστούν γραμμικά και ληφθεί υπόψη η αστική επίδραση στο ΕΑΑ, δεν δείχνουν καμία αυξητική τάση (Philandras et al., 1999).

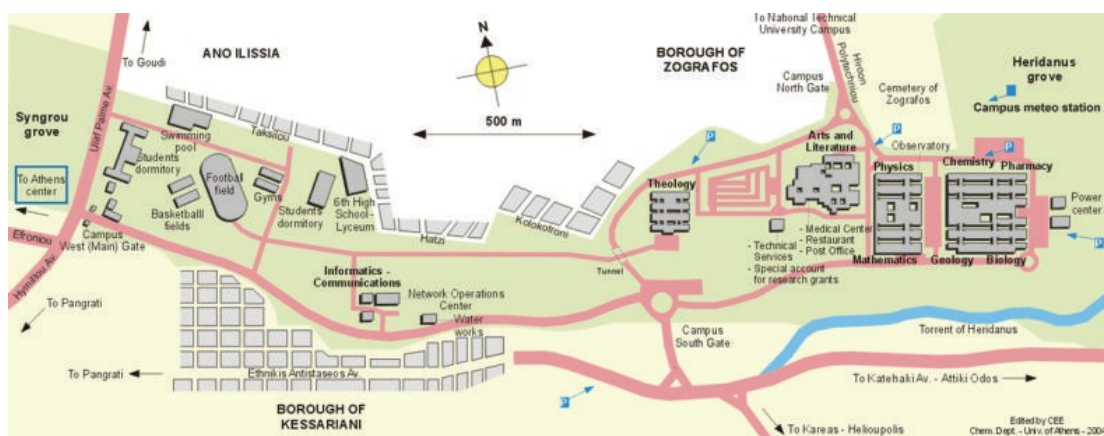
4.3 Η περιοχή της Πανεπιστημιούπολης Αθηνών

Το Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών είναι το μεγαλύτερο κρατικό ίδρυμα της ανώτατης εκπαίδευσης στην Ελλάδα και από τα μεγαλύτερα πανεπιστήμια στην Ευρώπη. Η Πανεπιστημιούπολη Αθηνών βρίσκεται κοντά στο κέντρο της Αθήνας και εκτείνεται σε 1.300 στρέμματα (www.uoa.gr).

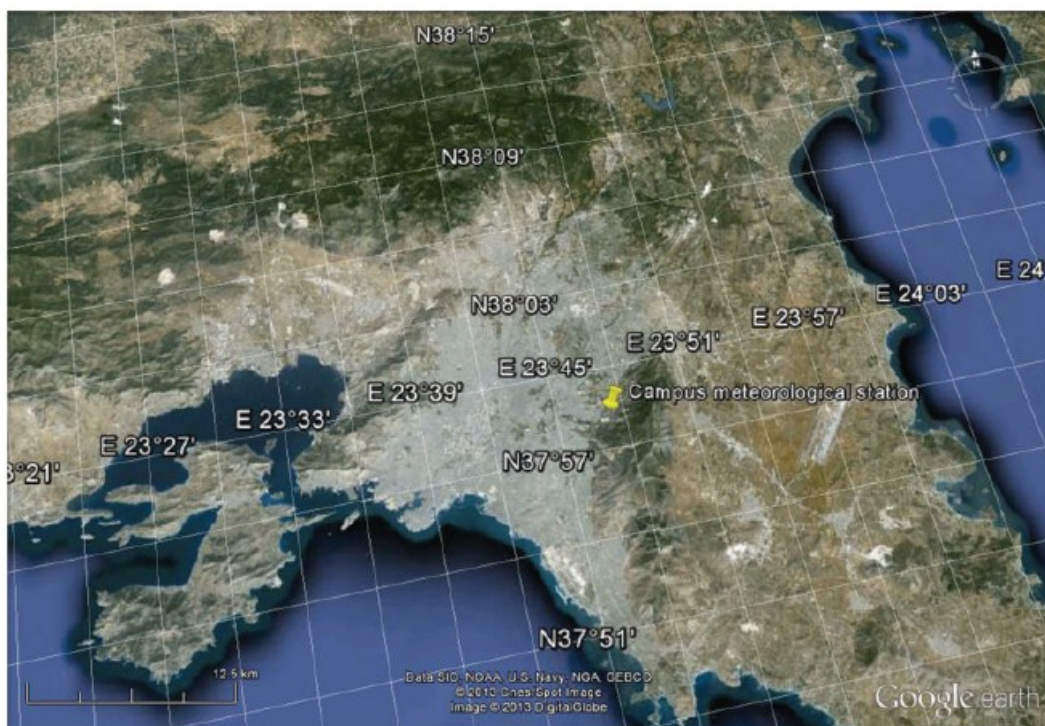
Με ένα σώμα σπουδαστών περίπου 125000 προπτυχιακών και μεταπτυχιακών φοιτητών, πάνω από 2000 ακαδημαϊκά μέλη και περίπου 1300 διοικητικό προσωπικό και εξειδικευμένο προσωπικό, το Πανεπιστήμιο Αθηνών έχει ως στόχο την αριστεία τόσο στους τομείς της διδασκαλίας, όσο και της έρευνας σε ένα σημαντικά ποικίλο φάσμα επιστημονικών κλάδων.

Όσον αφορά την κατανομή του χρόνου, κατά τη διάρκεια του έτους, όπου το προαναφερθέν πλήθος ανθρώπων βρίσκεται στην Πανεπιστημιούπολη χωρίζεται σε δύο εξάμηνα εντός του έτους. Το πρώτο εξάμηνο ξεκινά τον Σεπτέμβριο και τελειώνει τον Ιανουάριο και το δεύτερο ξεκινά τον Φεβρουάριο και τελειώνει τον Ιούλιο. Τον Αύγουστο το Πανεπιστήμιο είναι κλειστό λόγω καλοκαιρινών διακοπών. Επίσημες αργίες είναι οι διακοπές των Χριστουγέννων και το Πάσχα, από τις 24 Δεκεμβρίου έως 7 Ιανουαρίου και δεκαπέντε ημέρες τον Απρίλιο ή τον Μάιο αντίστοιχα. Επιπλέον, υπάρχουν και κάποιες μεμονωμένες αργίες λόγω εθνικών εορτασμών όπως η 28 Οκτωβρίου και η 25 Μαρτίου. Έτσι, σε γενικές γραμμές στην Πανεπιστημιούπολη δεν υπάρχει κόσμος δεκαπέντε ημέρες το χειμώνα, δεκαπέντε ημέρες την άνοιξη και ολόκληρο τον Αύγουστο. Λόγω του μεγάλου αριθμού των ανθρώπων που βρίσκονται στην Πανεπιστημιούπολη της Αθήνας, καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, κρίνεται σκόπιμη η εκτίμηση των βιοκλιματικών συνθηκών της (Nastos and Matzarakis, 2013).

Στην εικόνα 13 απεικονίζεται ο χάρτης της Πανεπιστημιούπολης των Αθηνών και στην εικόνα 14 η ευρύτερη περιοχή της Αθήνας με την θέση του μετεωρολογικού σταθμού στην Πανεπιστημιούπολη.



Εικόνα 13. Χάρτης της Πανεπιστημιούπολης Αθηνών (Nastos and Matzarakis, 2013).



Εικόνα 14. Η δορυφορική εικόνα της ευρύτερης περιοχής της Αθήνας με την θέση του μετεωρολογικού σταθμού στην πανεπιστημιούπολη (Nastos and Matzarakis, 2013).

4.4 Προηγούμενη έρευνα στην Πανεπιστημιούπολη Αθηνών

Οι Nastos και Matzarakis (2008a, 2013) ασχολήθηκαν με τη μελέτη και ανάλυση του θερμικού περιβάλλοντος του ανθρώπου στην Πανεπιστημιούπολη με τη βοήθεια των βιοκλιματικών δεικτών. Τα μετεωρολογικά δεδομένα που χρησιμοποίησαν για τη μελέτη τους προήλθαν από το μετεωρολογικό σταθμό του Εργαστηρίου Κλιματολογίας και Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αθηνών και αφορούν τις ωριαίες τιμές της θερμοκρασίας του αέρα, της σχετικής υγρασίας, της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας και της ταχύτητας του ανέμου για τη περίοδο 1999-2007. Όρισαν την ανθρώπινη δραστηριότητα και τη θερμική αντίσταση της ενδυμασίας ως 80W και 0,9 clo, αντίστοιχα. Στη συνέχεια από τα δεδομένα αυτά υπολόγισαν τον βιοκλιματικό δείκτη PET με την εφαρμογή του μοντέλου RayMan.

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την αξιολόγηση του PET στην Πανεπιστημιούπολη Αθηνών με τη χρήση βιοκλιματικών διαγραμμάτων, σύμφωνα με τους Nastos και Matzarakis (2008a, 2013) είναι :

- Περίπου το 50% των νυχτών του έτους εμφανίζει ισχυρές/ακραίες ψυχρές βιοκλιματικές συνθήκες, το οποίο πιθανόν οφείλεται στη θέση της Πανεπιστημιούπολης στους πρόποδες του Υμηττού στα όρια της αστικοποιημένης περιοχής. Περίπου το 30% των ημερών του έτους εμφανίζουν ισχυρή/ακραία θερμική επιβάρυνση. Θερμική άνεση ή ελαφρά θερμική επιβάρυνση εμφανίζεται σε σχεδόν 27% των ημερών.
- Το εξωτερικό θερμικό περιβάλλον χαρακτηρίζεται από ισχυρή/ακραία θερμική επιβάρυνση από τις 9:00 το πρωί μέχρι τις 16:00 το απόγευμα για το 13%-23% των ημερών. Όσον αφορά, την ισχυρή/ακραία ψυχρή επιβάρυνση, εμφανίζεται σχεδόν στο 50% των ημερών από τα μεσάνυχτα έως τις πρωινές ώρες (6:00).
- Το εξωτερικό θερμικό περιβάλλον παραμένει πάνω από τη θερμική άνεση, δηλαδή $PET > 18^{\circ}\text{C}$, για περίπου το 45%-65% των ημερών από τις 8:00 το πρωί έως τις 17:00 το απόγευμα.
- Η περίοδος από τις αρχές του Ιουνίου μέχρι τα μέσα του Σεπτεμβρίου χαρακτηρίζεται από τιμές του δείκτη $PET > 18^{\circ}\text{C}$ όσον αφορά το 45%-85% των ημερών, ενώ η ισχυρή/ακραία θερμική επιβάρυνση ($PET > 35^{\circ}\text{C}$) γίνεται αισθητή για σχεδόν 20%-25% των ημερών από το τέλος του Ιουλίου έως το τέλος του Αυγούστου.
- Κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου του έτους, το θερμικό περιβάλλον χαρακτηρίζεται από ισχυρή/ακραία θερμική επιβάρυνση από τις 8:00 το πρωί έως τις 17:00 το απόγευμα. Κατά την ψυχρή περίοδο του έτους φαίνεται να επικρατεί θερμική άνεση έως ελαφρά θερμική επιβάρυνση από τις 8:00 το πρωί μέχρι τις 17:00

το απόγευμα και αυτό παρουσιάζεται από τις αρχές Οκτωβρίου μέχρι τα τέλη Νοεμβρίου και το Μάρτιο.

4.5 Θέσεις και πειραματικές μετρήσεις στην Πανεπιστημιούπολη Αθηνών

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως σκοπό την αξιολόγηση και ανάλυση του μικρο-βιοκλιματικού καθεστώτος της Πανεπιστημιούπολης Αθηνών. Για τον σκοπό αυτό επιλέχθηκαν τρεις θέσεις μελέτης μέσα στην Πανεπιστημιούπολη, στις οποίες αντιστοιχούν διαφορετικά περιβάλλοντα και η θέση του μετεωρολογικού σταθμού του Εργαστηρίου Κλιματολογίας και Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αθηνών για να χρησιμοποιηθεί ως θέση αναφοράς.

Οι θέσεις που επιλέχθηκαν και φαίνονται στην εικόνα 15 που ακολουθεί είναι :

1. Επίπεδη ανοιχτή περιοχή ($\varphi=37^{\circ} 58' N$, $\lambda=23^{\circ} 47' E$, $h=255m$)
2. Κτιριακό αίθριο ($\varphi=37^{\circ} 58' N$, $\lambda=23^{\circ} 46' E$, $h=258m$)
3. Φυτικό αίθριο ($\varphi=37^{\circ} 58' N$, $\lambda=23^{\circ} 46' E$, $h=252m$)
4. Μετεωρολογικός σταθμός ($\varphi=37^{\circ} 58' N$, $\lambda=23^{\circ} 47' E$, $h=257m$)

Στις θέσεις 1, 2 και 3 μετρήθηκαν πειραματικά με φορητό μετεωρολογικό σταθμό : η θερμοκρασία του αέρα, η σχετική υγρασία, η ταχύτητα του ανέμου και η ολική ηλιακή ακτινοβολία. Οι μετρήσεις διεξήχθησαν μια ημέρα κάθε μήνα κατά την περίοδο Ιανουαρίου - Ιουλίου 2013. Πιο συγκεκριμένα στις : 22 Ιανουαρίου, 20 Φεβρουαρίου, 28 Μαρτίου, 22 Απριλίου, 28 Μαΐου, 25 Ιουνίου και 17 Ιουλίου. Επιπλέον, συλλέχθηκαν και τα μετεωρολογικά δεδομένα, για τις ίδιες ημέρες, από τον μετεωρολογικό σταθμό (θέση 4) του Εργαστηρίου Κλιματολογίας και Ατμοσφαιρικού

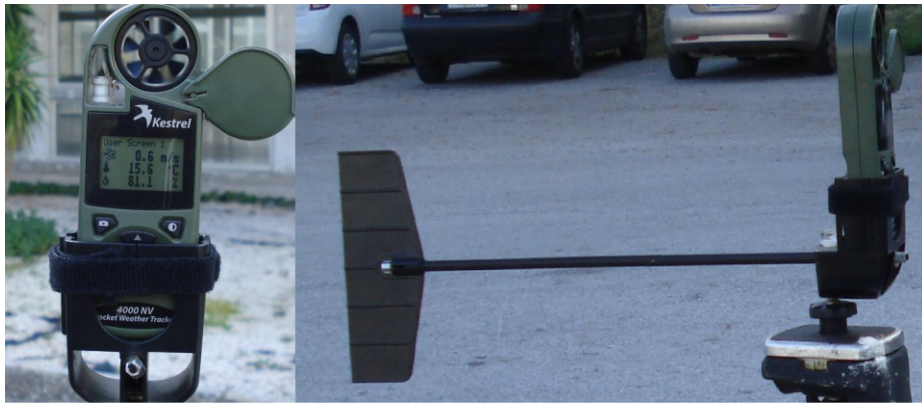
Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αθηνών για να χρησιμοποιηθούν ως δεδομένα θέση αναφοράς.



Εικόνα 15. Δορυφορική εικόνα με τις θέσεις που διεξήχθησαν οι πειραματικές μετρήσεις καθώς και η θέση του μετεωρολογικού σταθμού (Google Earth).

Τα φορητά μετεωρολογικά όργανα που χρησιμοποιήθηκαν για να ληφθούν οι μετρήσεις είναι :

- Ο Kestrel 4000 NV Pocket Weather Tracker (εικόνα 16) είναι ένας υψηλής τεχνολογίας μετρητής καιρού με τον οποίο μετρήθηκε η θερμοκρασία του αέρα, η σχετική υγρασία και η ταχύτητα του ανέμου.
- Το πυρανόμετρο Skye (εικόνα 17) με το οποίο μετρήθηκε η ολική ηλιακή ακτινοβολία.



Εικόνα 16. Ο φορητός μετεωρολογικός σταθμός Kestrel 4000 NV Pocket Weather Tracker.



Εικόνα 17. Το πυρανόμετρο Skye.

Η εγκατάσταση τριών μετεωρολογικών σταθμών, ώστε οι μετρήσεις να λαμβάνονται ταυτόχρονα και στις τρεις θέσεις, δεν ήταν δυνατή. Ως εκ τούτου, ο φορητός μετεωρολογικός σταθμός τοποθετούταν αρχικά στη θέση 1 όπου λαμβάνονταν τρεις μετρήσεις ανά 5 λεπτά. Κατόπιν, ο φορητός μετεωρολογικός σταθμός μεταφερόταν στη θέση 2 όπου λαμβάνονταν τρεις μετρήσεις ανά 5 λεπτά. Τέλος, μεταφερόταν στη θέση 3 όπου αφού λαμβάνονταν τρεις μετρήσεις ανά 5 λεπτά συμπληρωνόταν ένας κύκλος μετρήσεων και μεταφερόταν πάλι στη θέση 1 για να επαναληφθεί η ίδια διαδικασία. Κάθε κύκλος μετρήσεων διαρκούσε περίπου 1 ώρα, οπότε στο διάστημα μιας ώρας είχαν ληφθεί μετρήσεις και από τις τρεις θέσεις.

Πρέπει να σημειωθεί ότι ο φορητός μετεωρολογικός σταθμός τοποθετούνταν στο γεωμετρικό κέντρο της κάθε θέσης και σε απόσταση από σώματα που εκπέμπουν θερμότητα.

Στις εικόνες 18, 19 και 20 φαίνεται η θέση του φορητού μετεωρολογικού σταθμού στην επίπεδη ανοιχτή περιοχή (θέση 1), στο κτιριακό αίθριο (θέση 2) και στο φυτικό αίθριο (θέση 3), αντίστοιχα.



Εικόνα 18. Η Επίπεδη Ανοιχτή Περιοχή (θέση 1) και ο φορητός μετεωρολογικός σταθμός στο γεωμετρικό κέντρο της θέσης.



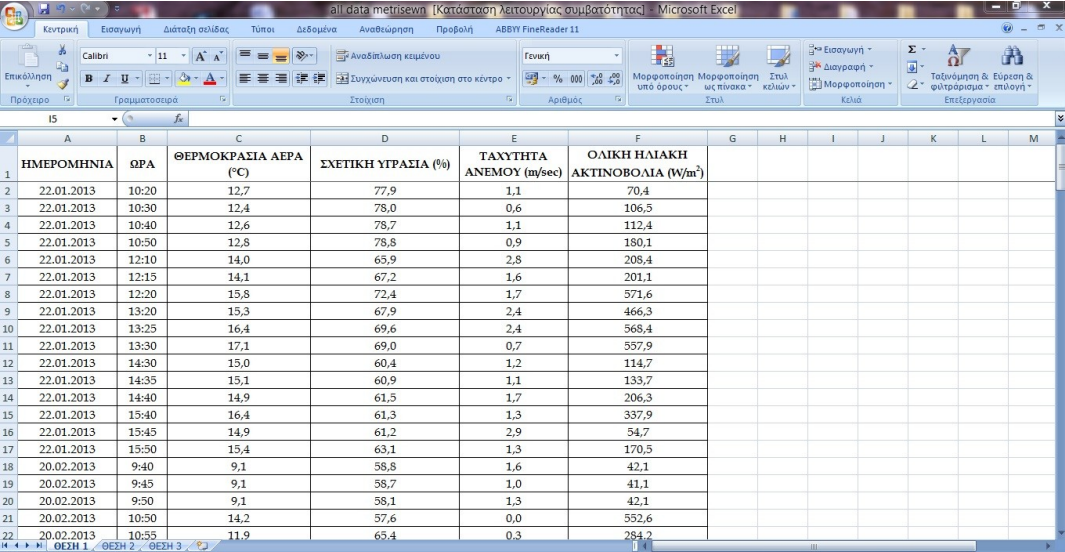
Εικόνα 19. Το Κτιριακό Αίθριο (θέση 2) και ο φορητός μετεωρολογικός σταθμός στο γεωμετρικό κέντρο της θέσης.



Εικόνα 20. Το Φυτικό Αίθριο (θέση 3) και ο φορητός μετεωρολογικός σταθμός στο γεωμετρικό κέντρο της θέσης.

4.6 Επεξεργασία δεδομένων

Στο τέλος κάθε ημέρας μετρήσεων συλλέγονταν τα μετεωρολογικά δεδομένα (θερμοκρασία αέρα, σχετική υγρασία, ταχύτητα ανέμου και ολική ηλιακή ακτινοβολία) από τον φορητό μετεωρολογικό σταθμό και διαχωρίζονταν, με βάση την ώρα, ανά θέση σε φύλλο εργασίας του Microsoft Office Excel 2007. Μετά το πέρας και της τελευταίας ημέρας μετρήσεων (17.07.2013) δημιουργήθηκε ένα συγκεντρωτικό αρχείο excel το οποίο περιείχε τρία φύλλα εργασίας, ένα για τα δεδομένα κάθε θέσης, όπως φαίνεται στην εικόνα 21. Ο φορητός μετεωρολογικός σταθμός ήταν τοποθετημένος στο 1.1m όπου είναι το κέντρο βάρους του ανθρώπινου σώματος και αποτελεί το σημείο αναφοράς για τη μελέτη της ανθρώπινης βιομετεωρολογίας, έτσι οι τιμές της ταχύτητας του ανέμου που λαμβάνονταν δεν χρειάζονταν περαιτέρω επεξεργασία.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΩΡΑ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ (°C)	ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΝΕΜΟΥ (m/sec)	ΟΛΙΚΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ (W/m²)							
1	22.01.2013	10:20	12,7	77,9	1,1	70,4							
2	22.01.2013	10:30	12,4	78,0	0,6	106,5							
3	22.01.2013	10:40	12,6	78,7	1,1	112,4							
4	22.01.2013	10:50	12,8	78,8	0,9	180,1							
5	22.01.2013	12:10	14,0	65,9	2,8	208,4							
6	22.01.2013	12:15	14,1	67,2	1,6	201,1							
7	22.01.2013	12:20	15,8	72,4	1,7	571,6							
8	22.01.2013	13:20	15,3	67,9	2,4	466,3							
9	22.01.2013	13:25	16,4	69,6	2,4	568,4							
10	22.01.2013	13:30	17,1	69,0	0,7	557,9							
11	22.01.2013	14:30	15,0	60,4	1,2	114,7							
12	22.01.2013	14:35	15,1	60,9	1,1	133,7							
13	22.01.2013	14:40	14,9	61,5	1,7	206,3							
14	22.01.2013	15:40	16,4	61,3	1,3	337,9							
15	22.01.2013	15:45	14,9	61,2	2,9	54,7							
16	22.01.2013	15:50	15,4	63,1	1,3	170,5							
17	20.02.2013	9:40	9,1	58,8	1,6	42,1							
18	20.02.2013	9:45	9,1	58,7	1,0	41,1							
19	20.02.2013	9:50	9,1	58,1	1,3	42,1							
20	20.02.2013	10:50	14,2	57,6	0,0	552,6							
21	20.02.2013	10:55	11,9	65,4	0,3	284,2							

Εικόνα 21. Ενδεικτικό αρχείο δεδομένων.

Παρόμοιο αρχείο με αυτό της εικόνας 21 δημιουργήθηκε με τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από τον σταθερό μετεωρολογικό σταθμό (θέση 4). Όμως, το ανεμόμετρο στον σταθερό μετεωρολογικό σταθμό ήταν σε ύψος 10m

οπότε τα δεδομένα της ταχύτητας του ανέμου επεξεργάστηκαν πρώτα με βάση την ακόλουθη σχέση, ώστε η ταχύτητα του ανέμου να εκτιμηθεί στο 1.1m, (Kuttler, 2000) : $WS_{1.1} = WS_h * (1.1/h)^\alpha$ $\alpha = 0.12 * z_0 + 0.18$

όπου WS_h είναι η ταχύτητα του ανέμου (m/s) στο ύψος του σταθμού ($h=10m$), το α είναι ένας εμπειρικός εκθέτης ανάλογα με την επιφανειακή τραχύτητα του εδάφους και το z_0 είναι το μήκος τραχύτητας. Στην περίπτωση του μετεωρολογικού σταθμού $z_0 = 0.25$.

Για τους σκοπούς της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας επιλέχθηκε ο βιοκλιματικός δείκτης Physiological Equivalent Temperature (PET) ως ο καταλληλότερος για την αξιολόγηση των μικρο-βιοκλιματικών συνθηκών στους υπαίθριους χώρους που μελετώνται. Οι βασικότεροι λόγοι είναι η ευρέως γνωστή μονάδα μέτρησης του που είναι ο βαθμός Κελσίου ($^{\circ}C$) και ο εύκολος υπολογισμός του με το μοντέλο RayMan Pro, καθώς και τα υπόλοιπα πλεονεκτήματα του έναντι των άλλων βιοκλιματικών δεικτών που αναφέρονται στο κεφάλαιο 3.

Για τον υπολογισμό του δείκτη PET χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο RayMan Pro. Τα γενικά στοιχεία του μοντέλου καθώς και η διαδικασία υπολογισμού του δείκτη PET περιγράφονται αναλυτικά στα υποκεφάλαια 4.6.1 και 4.6.2.

Μετά τον υπολογισμό του δείκτη PET, τα δεδομένα που προέκυψαν επεξεργάστηκαν με τη βοήθεια των λογισμικών : Microsoft Office Excel 2007, IBM SPSS Statistics version 22 και Surfer version 9, για τη δημιουργία διαφόρων γραφημάτων με σκοπό τη διεξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τις μικρο-βιοκλιματικές συνθήκες που επικρατούν στις παρούσες θέσεις μελέτης στην Πανεπιστημιούπολη Αθηνών.

4.6.1 Γενικά για το μοντέλο RayMan Pro

Το μοντέλο αυτό δημιουργήθηκε στο Meteorological Institute, University of Freiburg, στη Γερμανία από τους A. Matzarakis και F. Rutz. Το μοντέλο έχει αναπτυχθεί με βάση το Γερμανικό VDI-Guidelines 3789 Part II (VDI, 1994) και το VDI-3787 (VDI, 1998) και έχει σχεδιαστεί ώστε να είναι συμβατό σε περιβάλλον Microsoft Windows (Matzarakis et al., 2007). Το μοντέλο έχει γραφτεί σε Borland Delphi (Matzarakis et al., 2008).

Σκοπός του μοντέλου RayMan είναι να υπολογίσει τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας (mean radiant temperature) και τους διαφορετικούς θερμικούς δείκτες για την ποσοτικοποίηση των θερμικών συνθηκών (θερμική άνεση, ψυχρή επιβάρυνση και θερμική επιβάρυνση. Το μοντέλο χρειάζεται μόνο βασικά μετεωρολογικά δεδομένα (θερμοκρασία αέρα, υγρασία αέρα και ταχύτητα ανέμου) για τον υπολογισμό της ροής της ακτινοβολίας (Matzarakis et al., 2007). Για τον υπολογισμό της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας (mean radiant temperature) χρειάζεται επίσης η συνολική ακτινοβολία (global radiation) ή η νεφοκάλυψη. Για τον υπολογισμό των θερμικών δεικτών, με βάση το θερμικό ισοζύγιο του ανθρώπου, απαιτούνται μετεωρολογικά αλλά και θερμοφυσιολογικά (δραστηριότητα και θερμική μόνωση ένδυσης) δεδομένα (Matzarakis and Rutz, 2005; Matzarakis and Rutz, 2007).

Το μοντέλο RayMan έχει τη δυνατότητα να υπολογίσει και να απεικονίσει τα εξής (Matzarakis et al., 2010; Matzarakis et al., 2007) (Matzarakis and Rutz, 2005):

- τη διάρκεια της ηλιοφάνειας (με και χωρίς περιορισμούς ορίζοντα) σε μια καθημερινή ανάλυση για κάθε απλό και πολύπλοκο περιβάλλον.
- την πορεία του ήλιου (sunpaths) για κάθε ημέρα του χρόνου.
- τη σκίαση από τα αστικά και φυσικά εμπόδια για κάθε ημέρα του έτους και για κάθε συγκεκριμένη χρονική περίοδο της ημέρας,

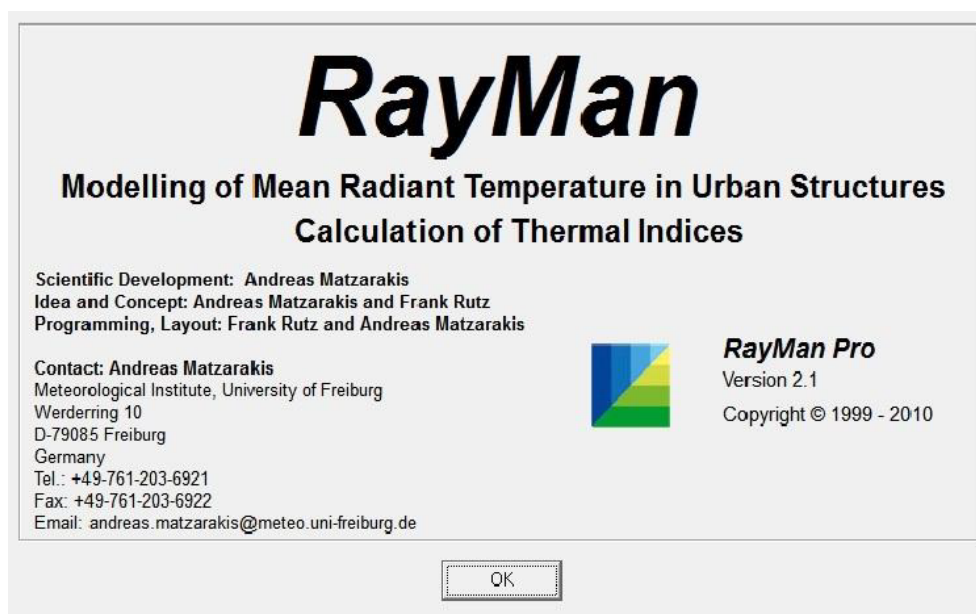
προκειμένου να ποσοτικοποιήσει τις περιοχές όπου εμφανίζονται σκιές και επηρεάζουν τη ροή της ακτινοβολίας.

- τη συνολική ακτινοβολία (global radiation)
- τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας (mean radiant temperature)
- του θερμικούς δείκτες : Predicted Mean Vote (PMV), Physiological Equivalent Temperature (PET), Standard Effective Temperature (SET*) και Universal Thermal Climate Index (UTCI).
- μια πλήρη αξιολόγηση του θερμικού βιοκλίματος για κάθε τύπο τοπογραφίας ή αστικής δομής είναι δυνατή με βάση τα αποτελέσματα του μοντέλου RayMan.
- τον υπολογισμό του συντελεστή θέασης ουράνιου θόλου (sky view factor) με την εισαγωγή fish-eye φωτογραφιών.

Στα πλεονεκτήματα του μοντέλου είναι το φιλικό προς το χρήστη περιβάλλον, η εύκολη εισαγωγή δεδομένων και ο συνδυασμός των διαφορετικών επιλογών με φωτογραφίες fish-eye, ιδιοτήτων των κτιρίων και της βλάστησης, πρόγραμμα ελεύθερου σχεδίου με δυνατότητα για τροποποίηση και τη δυνατότητα της χρήσης του σε ποικίλα σενάρια, για κατασκευές σε διαφορετικές περιπτώσεις σχεδιασμού. Αυτό περιλαμβάνει τον υπολογισμό του ενεργειακού ισοζυγίου του ανθρώπου και την εκτίμηση του θερμικού βιοκλίματος με τη χρήση των θερμικών δεικτών (Matzarakis et al., 2007). Η ποσότητα των νεφών που καλύπτει τον ουρανό μπορεί να συμπεριληφθεί με ελεύθερο σχέδιο, ενώ η επίπτωσή τους στη ροή της ακτινοβολίας μπορεί να εκτιμηθεί (Matzarakis and Rutz, 2005). Ένα άλλο πλεονέκτημά του είναι ο γρήγορος χρόνος εκτέλεσης. Το κύριο πλεονέκτημα του είναι όμως στις απαιτήσεις των μετεωρολογικών δεδομένων, τα οποία δεν έχουν υψηλή χωρική μεταβλητότητα, όπως η θερμοκρασία του αέρα και η υγρασία του αέρα (Matzarakis et al., 2007).

4.6.2 Περιβάλλον και τρόπος λειτουργίας του μοντέλου RayMan Pro

Όταν ξεκινάει το μοντέλο εμφανίζεται το ακόλουθο παράθυρο (εικόνα 22), στο οποίο αναγράφονται οι πληροφορίες σχετικά με την έκδοση του μοντέλου, τους δημιουργούς και τα στοιχεία επικοινωνίας.



Εικόνα 22. Αρχικό παράθυρο με πληροφορίες σχετικά με το μοντέλο.

Από το κύριο παράθυρο, το οποίο φαίνεται στην εικόνα 23, γίνεται η επιλογή και η επεξεργασία των δεδομένων εισόδου και εξόδου όπως : η τοπογραφία, τα εμπόδια, όπως τα κτίρια ή φυλλοβόλα και κωνοφόρα δένδρα, τα γενικά όρια του ορίζοντα (ελεύθερη σχεδίαση). Επιπλέον, δίνει τη δυνατότητα να επιλεγθούν τα διαγράμματα που απεικονίζουν την τροχιά του ήλιου και τα όρια του ορίζοντα. Τέλος, στους πίνακες του παραθύρου μπορούν να δοθούν τρέχουσες τιμές ή τιμές από δεδομένα αρχείων.

Εικόνα 23. Κύριο παράθυρο του μοντέλου RayMan.

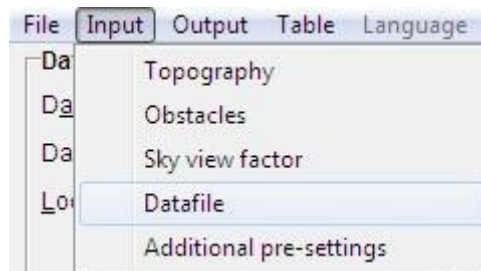
Τα επιμέρους μέρη που υπάρχουν στο κύριο παράθυρο (εικόνα 23) είναι τα εξής :

- **Data and Time** : στο κουτάκι αυτό εισάγονται η ημερομηνία, η ημέρα του χρόνου και η τοπική ώρα, με την επιλογή 'now and today' το RayMan συμπληρώνει τα παραπάνω με τη τρέχουσα ημερομηνία και ώρα.
- **Geographical Data** : location - όνομα τοποθεσίας στην οποία αναφέρονται τα παρακάτω γεωγραφικά δεδομένα, add location - προσθήκη τοποθεσίας στην υπάρχουσα λίστα, remove location - διαγραφή τοποθεσίας από την υπάρχουσα λίστα, geogr. longitude - εισαγωγή γεωγραφικού μήκους σε deg./min. , geogr. latitude - εισαγωγή γεωγραφικού πλάτους σε deg./min. , altitude - σόνταξη υψομέτρου σε m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, time zone - εισαγωγή της ζώνης ώρας σε ώρες + / - UTC (Universal Time Coordinated).

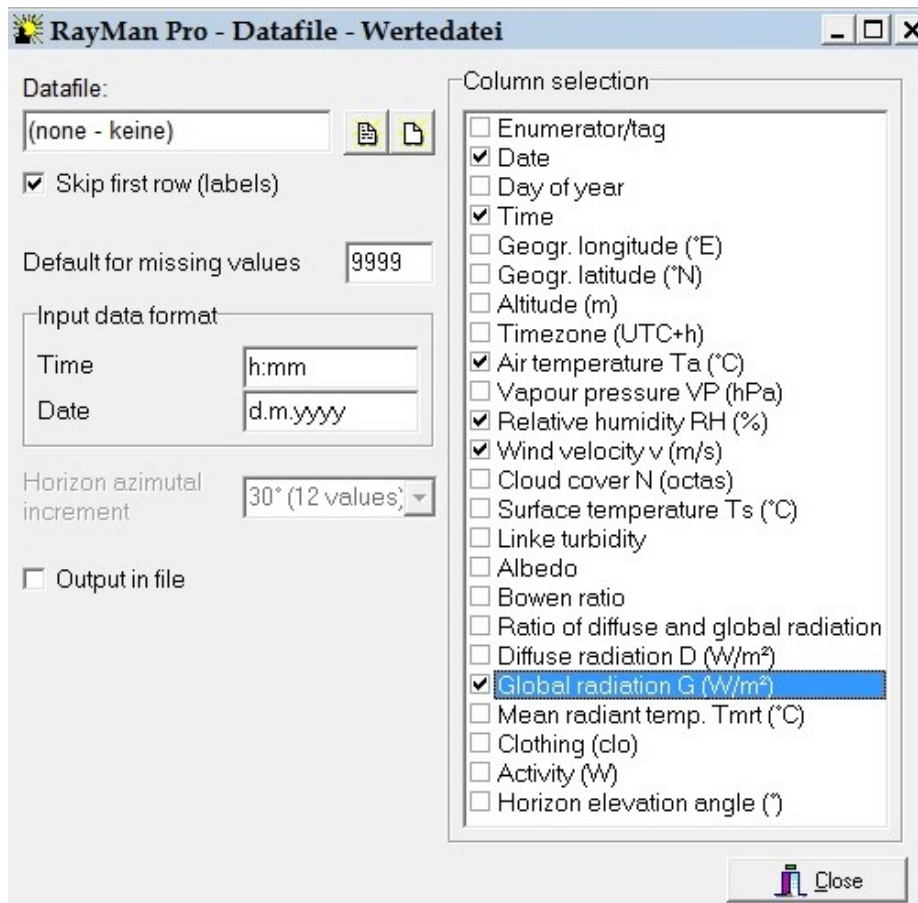
- Current Data : μπορεί να καθοριστεί η σχετική υγρασία (relative humidity) αντί της πίεσης των ατμών (vapour pressure) και αλλάζοντας τη μια τιμή η άλλη προσαρμόζεται αυτόματα. Προεπιλεγμένες τιμές: air temperature (θερμοκρασία αέρα) 20°C, vapour pressure (τάση ατμών) 12.5hPa, relative humidity (σχετική υγρασία) 53.4%, wind velocity (ταχύτητα ανέμου) 1.0m/s, cloud cover (νεφοκάλυψη) 0.0 octas.
- Personal Data : τα δεδομένα αυτά αφορούν το άτομο για το οποίο γίνεται ο υπολογισμός των θερμικών δεικτών. Χρησιμοποιούνται οι ακόλουθες προκαθορισμένες τιμές για έναν μέσο άνθρωπο. Height (ύψος) : 1.75m, weight (βάρος) : 75.0kg, age (ηλικία) : 35 a, sex (φύλο) : men.
- Clothing and activity: στο πεδίο αυτό εισάγονται δεδομένα σχετικά με την ένδυση (clothing), δραστηριότητα (activity) και τη θέση (position) τα δεδομένα αυτά αφορούν το άτομο για το οποίο γίνεται ο υπολογισμός των θερμικών δεικτών. Για τον υπολογισμό του δείκτη PMV χρησιμοποιούνται τρέχουσες τιμές, ενώ για τον δείκτη PET χρησιμοποιούνται πάντα οι ίδιες 0.90clo και 80.0W.
- Thermal indices : στο πεδίο αυτό επιλέγονται ποιοι δείκτες (PMV, PET, SET*, UTCI, PT) θα υπολογιστούν.
- Calculation : στο πεδίο αυτό υπάρχουν 2 επιλογές, New - για να γίνει ένας νέος υπολογισμός και Add - για να προστεθεί ο υπολογισμός που θα γίνει σε έναν προϋπάρχον.

Για την εισαγωγή δεδομένων αρχείων .txt στο κύριο παράθυρο του μοντέλου RayMan επιλέγεται η εντολή Input→ Datafile (εικόνα 24) και τότε ανοίγει το παράθυρο Datafile (εικόνα 25). Εάν δεν χρησιμοποιηθεί

αρχείο δεδομένων, οι τιμές από τα προεπιλεγμένα Current Data χρησιμοποιούνται για τους υπολογισμούς.



Εικόνα 24. Αναδυόμενο παράθυρο όταν επιλεγθεί το Input στο κύριο παράθυρο του μοντέλου RayMan.



Εικόνα 25. Παράθυρο Datafile του μοντέλου RayMan.

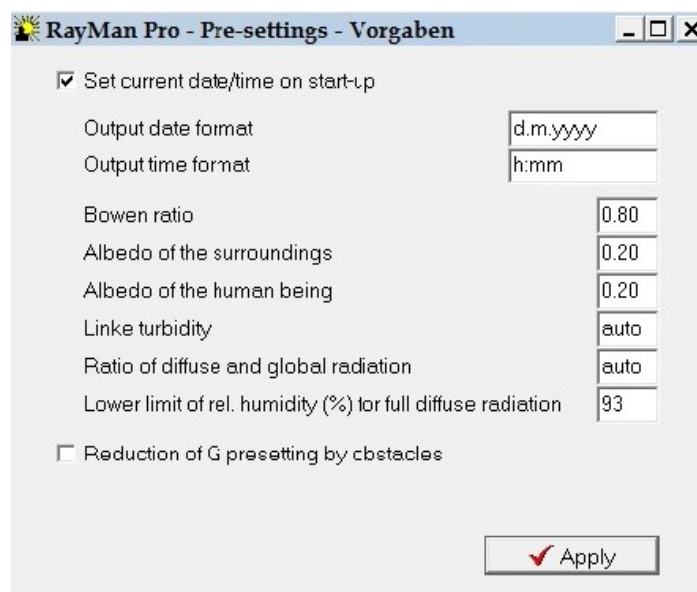
Αναλυτικότερα για το παράθυρο Datafile (εικόνα 25):

- Datafile : στη θέση αυτή εισάγεται το αρχείο με τα δεδομένα που θα επεξεργαστεί το μοντέλο και έχει μορφή κειμένου δεδομένων (.txt).

Το αρχείο κειμένου των δεδομένων πρέπει να περιέχει στήλες δεδομένων που να χωρίζονται με κενά.

- Skip first row : αυτό το πλαίσιο επιλογής είναι χρήσιμο εάν η πρώτη γραμμή του αρχείου δεδομένων περιέχει ετικέτες ή τίτλο. Εάν είναι επιλεγμένο τότε το RayMan αγνοεί μόνο την κεφαλίδα και ξεκινά με τη δεύτερη γραμμή.
- Default for missing values : αν το αρχείο δεδομένων περιλαμβάνει κενά ή ψεύτικες τιμές, τις αντικαθιστά με τις προεπιλεγμένες που έχουν εισαχθεί στο πλαίσιο αυτό.
- Input data format : αλλαγή της μορφή της ώρας και της ημερομηνίας εάν διαφέρουν από τη μορφή των δεδομένων εισόδου.
- Output in file : εάν είναι επιλεγμένο τότε το RayMan αποθηκεύει τους υπολογισμούς σε ένα αρχείο εξόδου.
- Column selection : τα στοιχεία που επιλέγονται είναι αυτά που υπάρχουν στο αρχείο δεδομένων και πρέπει να επιλέγονται με την ίδια σειρά όπως εμφανίζονται και στο αρχείο. Ως εκ τούτου μπορούν να μετακινηθούν τα στοιχεία προκειμένου να μπουν στη σωστή σειρά και μετά να επιλεγθούν. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα έχουν επιλεγθεί αυτά που χρησιμοποιήθηκαν και στην παρούσα διπλωματική εργασία.

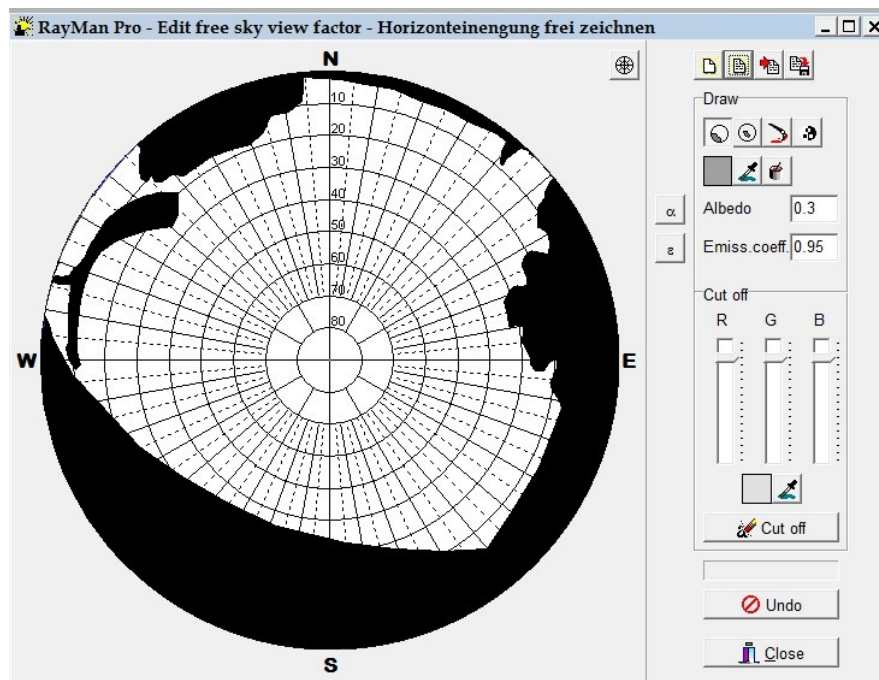
Έπειτα από το κύριο παράθυρο του μοντέλου RayMan επιλέγεται η εντολή Input→ Additional pre-settings (εικόνα 24) και εμφανίζεται ένα παράθυρο για επιπλέον ρυθμίσεις πριν γίνει ο υπολογισμός των θερμικών δεικτών (εικόνα 26). Στις επιπλέον ρυθμίσεις στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας δίνονται οι τιμές που φαίνονται στην εικόνα 26.



Εικόνα 26. Παράθυρο pre-settings με επιπλέον ρυθμίσεις του μοντέλου RayMan.

Το μοντέλο RayMan δίνει τη δυνατότητα να υπολογιστεί ο συντελεστής θέασης ουράνιου θόλου (sky view factor) με την εισαγωγή fish-eye φωτογραφιών. Για την εισαγωγή των φωτογραφιών από το κύριο παράθυρο του μοντέλου RayMan επιλέγεται η εντολή Input→ Sky view factor (εικόνα 24) και τότε ανοίγει το παράθυρο edit free sky view factor (εικόνα 27). Στο παράθυρο αυτό εισάγονται και επεξεργάζονται οι φωτογραφίες fish-eye, οι οποίες πρέπει να έχουν τη μορφή αρχείων Bitmap(.bmp). Έπειτα στο παράθυρο με τις επιπλέον ρυθμίσεις (εικόνα 26) επιλέγεται και το κουτάκι Reduction of G presetting by obstacles όταν έχει εισαχθεί Fish - Eye φωτογραφία.

Για την εξαγωγή δεδομένων από το κύριο παράθυρο επιλέγεται η εντολή Output→Data table και εξάγονται τα δεδομένα σε πίνακα όπως φαίνεται στην εικόνα 28. Όταν έχουν εισαχθεί και δεδομένα για τον υπολογισμό του Sky View Factor, από το κύριο παράθυρο επιλέγεται και η εντολή Output→Diagram (polar) και εμφανίζεται το διάγραμμα της εικόνας 29 στο οποίο φαίνεται η πορεία του ήλιου και τα αντικείμενα που υπάρχουν στην παρούσα θέση και σκιάζουν τον χώρο.



Εικόνα 27. Παράθυρο όπου εισάγονται και επεξεργάζονται οι φωτογραφίες fish-eye για τον υπολογισμό του Sky View Factor στο μοντέλο RayMan.

RayMan Pro - Output - Ausgabe

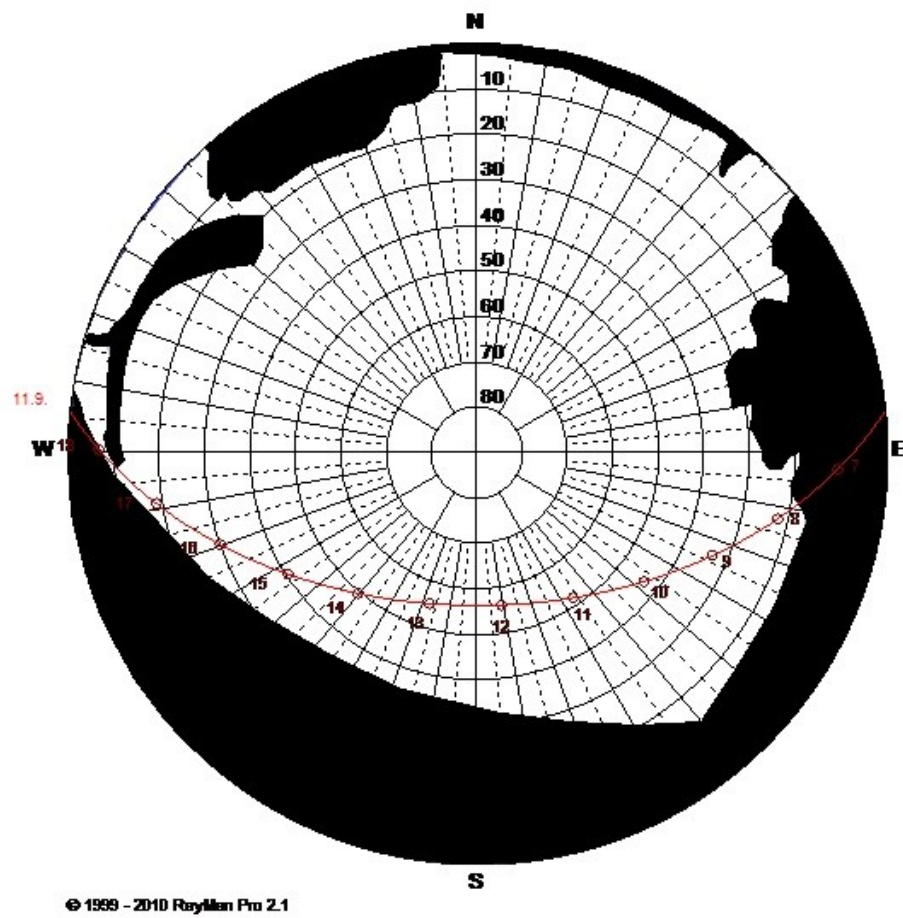
File View

Time: 20:46 Increment (min): 30

Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany

date	day of time	Latit.	Long.	Altit.	sunr.	sunset	SDmax	SDact	SVF_Ray	W
d.m.yyyy	year	h:mm	°N	°E	m	h:mm	h:mm	min	min	
20.2.2013	51	10:00	37.97	23.77	252	7:10	18:09	659	658	1.000 5
20.2.2013	51	10:00	37.97	23.77	252	7:10	18:09	659	658	1.000 5
20.2.2013	51	10:00	37.97	23.77	252	7:10	18:09	659	658	1.000 5
20.2.2013	51	11:00	37.97	23.77	252	7:10	18:09	659	658	1.000 6
20.2.2013	51	11:00	37.97	23.77	252	7:10	18:09	659	658	1.000 6
20.2.2013	51	11:00	37.97	23.77	252	7:10	18:09	659	658	1.000 6
20.2.2013	51	12:00	37.97	23.77	252	7:10	18:09	659	658	1.000 7
20.2.2013	51	12:00	37.97	23.77	252	7:10	18:09	659	658	1.000 7
20.2.2013	51	12:00	37.97	23.77	252	7:10	18:09	659	658	1.000 7
20.2.2013	51	13:00	37.97	23.77	252	7:10	18:09	659	658	1.000 7
20.2.2013	51	14:00	37.97	23.77	252	7:10	18:09	659	658	1.000 6
20.2.2013	51	14:00	37.97	23.77	252	7:10	18:09	659	658	1.000 6
20.2.2013	51	14:00	37.97	23.77	252	7:10	18:09	659	658	1.000 6
20.2.2013	51	15:00	37.97	23.77	252	7:10	18:09	659	658	1.000 5
20.2.2013	51	15:00	37.97	23.77	252	7:10	18:09	659	658	1.000 5
20.2.2013	51	15:00	37.97	23.77	252	7:10	18:09	659	658	1.000 5
20.2.2013	51	16:00	37.97	23.77	252	7:10	18:09	659	658	1.000 3
20.2.2013	51	16:00	37.97	23.77	252	7:10	18:09	659	658	1.000 3
20.2.2013	51	16:00	37.97	23.77	252	7:10	18:09	659	658	1.000 3

Εικόνα 28. Πίνακας με τα δεδομένα που υπολογίζει το μοντέλο RayMan.



Εικόνα 29. Παράδειγμα Diagram (polar) όπου φαίνεται και η πορεία του ήλιου.

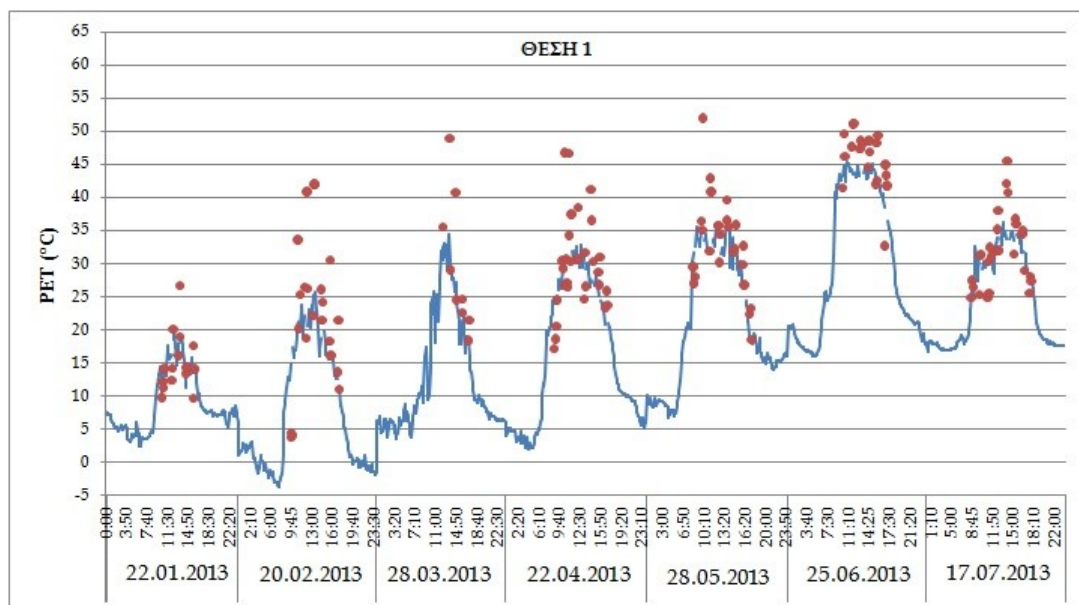
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

5.1 Πειραματικές μετρήσεις

Η πρώτη προσέγγιση της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν να υπολογιστεί ο δείκτης PET (όπως περιγράφεται στο υποκεφάλαιο 4.6.2) λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα από τις πειραματικές μετρήσεις που έγιναν και να δημιουργηθούν τα γραφήματα που ακολουθούν. Αντίστοιχες μελέτες με την παρούσα διπλωματική εργασία έχουν πραγματοποιηθεί και σε άλλες περιοχές και έχει ακολουθηθεί η ίδια μεθοδολογία στη συλλογή και ανάλυση των δεδομένων. Τέτοιες μελέτες είναι οι εξής :

- Αξιολόγηση των βιοκλιματικών συνθηκών στην Κρήτη, Ελλάδα από τους Bleta et al., 2014.
- Ανάλυση του θερμικού βιοκλίματος σε διάφορα αστικά περιβάλλοντα στην Αθήνα, από τους Charalampopoulos et al., 2013.
- Αξιολόγηση των βιομετεωρολογικών συνθηκών στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας, από τους Moustris et al., 2014.
- Ανθρωπο-βιομετεωρολογική αξιολόγηση των αστικών δομών σε ακραίες κλιματολογικές συνθήκες : το παράδειγμα του Birobidzhan στην Ανατολική Ρωσία από τους Bauche et al., 2013.
- Εφαρμογή αστικών μικρο-μοντέλων για την εκτίμηση των βιοκλιματικών συνθηκών στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας από τους Nastos et al., 2012.
- Θερμικό Βιόκλιμα στο Στρασβούργο - ο καύσωνας του 2003 από τους Matzarakis et al., 2009.

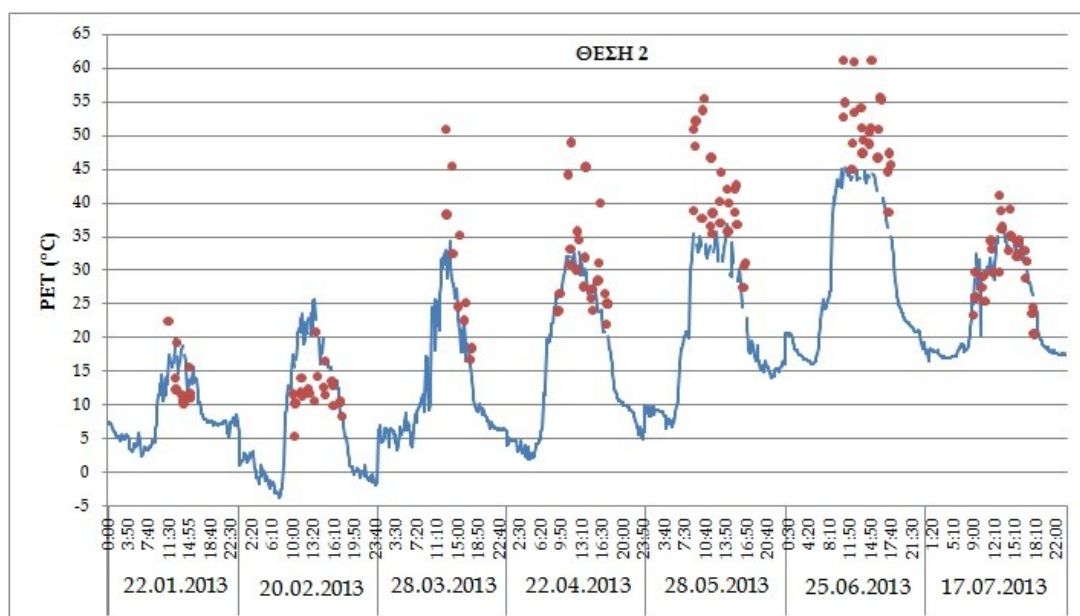
5.1.1 Χρονική διακύμανση του δείκτη PET για τον σταθμό αναφοράς (θέση 4) και για τις εξεταζόμενες θέσεις 1, 2 και 3



Εικόνα 30. Χρονική διακύμανση του δείκτη PET για τον σταθμό αναφοράς (μπλε γραμμή) και για τη θέση 1 (κόκκινες κουκίδες).

Στο διάγραμμα της εικόνας 30 φαίνεται η χρονική διακύμανση του δείκτη PET για τον σταθμό αναφοράς και για την επίπεδη ανοιχτή περιοχή (θέση 1). Η μέγιστη τιμή του δείκτη PET για την θέση 1 είναι 52°C και εμφανίζεται στις 28.05.2013 στις 10:00 το πρωί, ενώ την ίδια ημέρα και ώρα η τιμή του στον σταθμό αναφοράς είναι 35,1°C, άρα η διαφορά ανάμεσα στις δυο θέσεις είναι κατά απόλυτη τιμή 16,9°C. Η ελάχιστη τιμή του δείκτη PET για την θέση 1 είναι 4,1°C και εμφανίζεται στις 20.02.2013 στις 9:50 το πρωί, ενώ την ίδια ημέρα και ώρα η τιμή του στον σταθμό αναφοράς είναι 17,5°C, άρα η διαφορά ανάμεσα στις δυο θέσεις είναι κατά απόλυτη τιμή 13,4°C. Στις 22.01.2013 οι τιμές του δείκτη PET στη θέση 1 και στον σταθμό αναφοράς κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα. Στις 20.02.2013, 28.03.2013, 22.04.2013, 28.05.2013 και 17.07.2013 οι περισσότερες τιμές στη θέση 1 κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα με αυτές του σταθμού αναφοράς, ενώ λίγες τιμές είναι μεγαλύτερες με απόκλιση της τάξης των 20°C. Στις 25.06.2013 ελάχιστες τιμές του δείκτη PET κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα με αυτές του

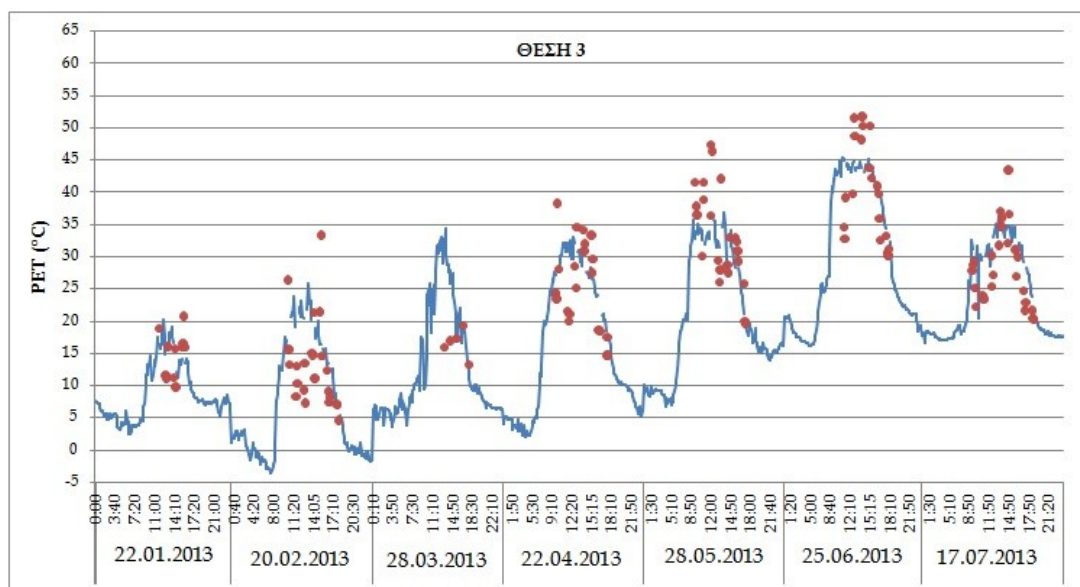
σταθμού αναφοράς, ενώ οι περισσότερες τιμές είναι μεγαλύτερες με απόκλιση της τάξης των 10°C.



Εικόνα 31. Χρονική διακύμανση του δείκτη PET για τον σταθμό αναφοράς (μπλε γραμμή) και για τη θέση 2 (κόκκινες κουκίδες).

Στο διάγραμμα της εικόνας 31 φαίνεται η χρονική διακύμανση του δείκτη PET για τον σταθμό αναφοράς και για το κτιριακό αίθριο (θέση 2). Η μέγιστη τιμή του δείκτη PET για την θέση 2 είναι 61,5°C και εμφανίζεται στις 25.06.2013 στις 14:50, ενώ την ίδια ημέρα και ώρα η τιμή του στον σταθμό αναφοράς είναι 45,1°C, άρα η διαφορά ανάμεσα στις δυο θέσεις είναι κατά απόλυτη τιμή 16,4°C. Η ελάχιστη τιμή του δείκτη PET για την θέση 2 είναι 5,4°C και εμφανίζεται στις 20.02.2013 στις 10:00 το πρωί, ενώ την ίδια ημέρα και ώρα η τιμή του στον σταθμό αναφοράς είναι 15,8°C, άρα η διαφορά ανάμεσα στις δυο θέσεις είναι κατά απόλυτη τιμή 10,4°C. Στις 22.01.2013 οι τιμές του δείκτη PET στη θέση 2 και στον σταθμό αναφοράς κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα με μια απόκλιση της τάξεως των 5°C. Στις 20.02.2013 οι τιμές του δείκτη PET στη θέση 2 είναι μικρότερες από αυτές του σταθμού αναφοράς με μια απόκλιση της τάξεως των 10°C. Στις 28.03.2013 και 22.04.2013, οι περισσότερες τιμές στη θέση 2 κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα με αυτές του σταθμού αναφοράς, ενώ λίγες

τιμές είναι μεγαλύτερες με απόκλιση της τάξης των 15°C. Στις 28.05.2013 και 25.06.2013 ελάχιστες τιμές στη θέση 2 κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα με αυτές του σταθμού αναφοράς, ενώ οι περισσότερες τιμές είναι μεγαλύτερες με απόκλιση της τάξης των 20°C. Στις 17.07.2013 σχεδόν όλες οι τιμές του δείκτη PET κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα με αυτές του σταθμού αναφοράς, κάποιες είναι ελαφρώς μικρότερες και κάποιες ελαφρώς μεγαλύτερες με απόκλιση της τάξης των 5°C.



Εικόνα 32. Χρονική διακύμανση του δείκτη PET για τον σταθμό αναφοράς (μπλε γραμμή) και για τη θέση 3 (κόκκινες κουκίδες).

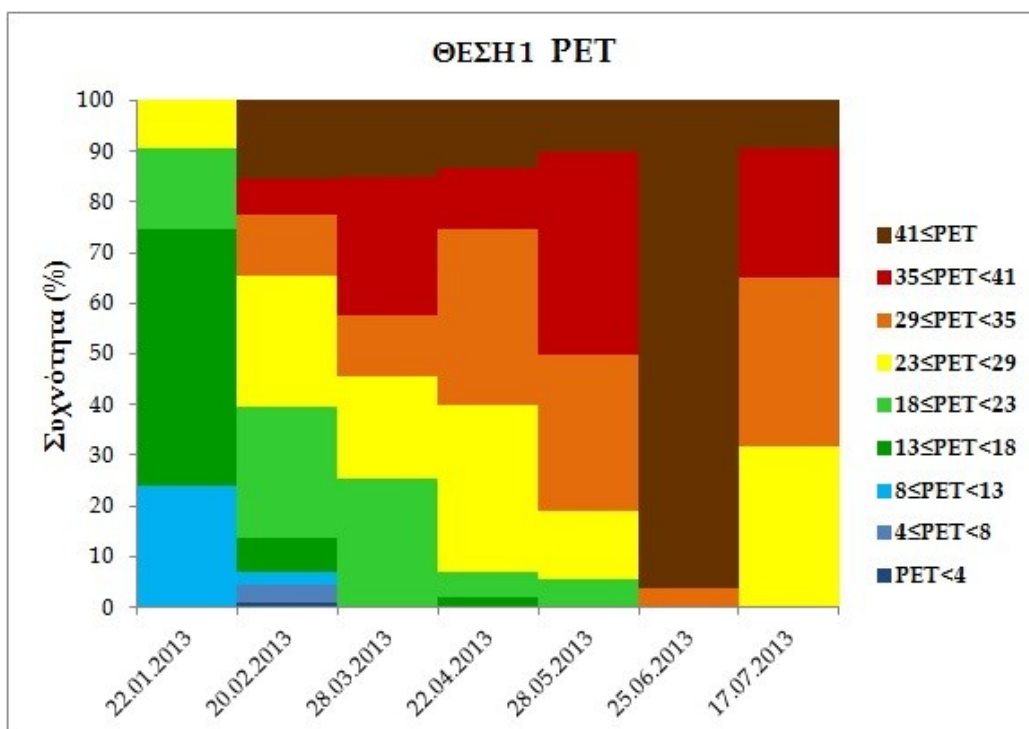
Στο διάγραμμα της εικόνας 32 φαίνεται η χρονική διακύμανση του δείκτη PET για τον σταθμό αναφοράς και για το φυτικό αίθριο (θέση 3). Η μέγιστη τιμή του δείκτη PET για την θέση 3 είναι 51,7°C και εμφανίζεται στις 25.06.2013 στις 14:00, ενώ την ίδια ημέρα και ώρα η τιμή του στον σταθμό αναφοράς είναι 43°C, άρα η διαφορά ανάμεσα στις δυο θέσεις είναι κατά απόλυτη τιμή 8,7°C. Η ελάχιστη τιμή του δείκτη PET για την θέση 3 είναι 4,5°C και εμφανίζεται στις 20.02.2013 στις 17:50, ενώ την ίδια ημέρα και ώρα η τιμή του στον σταθμό αναφοράς είναι 5,4°C, άρα η διαφορά ανάμεσα στις δυο θέσεις είναι κατά απόλυτη τιμή 0,9°C. Στις 22.01.2013 σχεδόν όλες οι τιμές του δείκτη PET στη θέση 3 κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα με αυτές του σταθμού αναφοράς, κάποιες είναι ελαφρώς

μικρότερες και κάποιες ελαφρώς μεγαλύτερες με απόκλιση της τάξης των 5°C. Στις 20.02.2013 και 28.03.2013 οι περισσότερες τιμές στη θέση 3 είναι χαμηλότερες από αυτές του σταθμού αναφοράς με απόκλιση της τάξης των 15°C. Στις 22.04.2013, 28.05.2013, 25.06.2013 και 17.07.2013 οι τιμές του δείκτη PET στη θέση 3 τις πρωινές ώρες είναι μικρότερες, τις μεσημεριανές ώρες είναι μεγαλύτερες ενώ τις απογευματινές ώρες κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα με αυτές του σταθμού αναφοράς, οι αποκλίσεις είναι της τάξης των 15°C.

5.1.2 Συχνότητα (%) εμφάνισης των κλάσεων του δείκτη PET σε κάθε μια από τις εξεταζόμενες θέσεις 1, 2 και 3

Οι θερμο-ανθρωποβιοκλιματικές συνθήκες παρουσιάζονται σαν ποσοστά των κλάσεων του PET, για κάθε μια ημέρα που έγιναν μετρήσεις στο διάστημα Ιανουαρίου - Ιουλίου 2013, στις εικόνες 33, 34 και 35. Σύμφωνα με τον πίνακα 4 (στο κεφάλαιο 3), όπου φαίνονται τα κατώφλια του δείκτη PET για διάφορους βαθμούς του θερμικού αισθήματος στους ανθρώπους, ο άνθρωπος υφίσταται ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση για τιμές $PET \geq 35^{\circ}C$, θερμική άνεση και ελαφρά θερμική επιβάρυνση για τιμές $18^{\circ}C \leq PET < 29^{\circ}C$ και ισχυρή και ακραία ψυχρή επιβάρυνση για τιμές $PET < 8^{\circ}C$.

Στα γραφήματα των εικόνων 33, 34 και 35 παρατηρείται ότι οι κλάσεις του PET για την ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση ($PET \geq 35^{\circ}C$) δεν εμφανίζονται στη θέση 1 στις 22.01.2013, στη θέση 2 στις 22.01.2013 και 20.02.2013 και στη θέση 3 στις 22.01.2013, 20.02.2013 και 28.03.2013. Οι κλάσεις του PET για τη θερμική άνεση και ελαφρά θερμική επιβάρυνση ($18^{\circ}C \leq PET < 29^{\circ}C$) δεν εμφανίζονται στις θέσεις 1, 2 και 3 στις 25.06.2013. Οι κλάσεις του PET για την ισχυρή και ακραία ψυχρή επιβάρυνση για τιμές $PET < 8^{\circ}C$ δεν εμφανίζονται στις θέσεις 1, 2 και 3 στις 22.01.2013, 28.03.2013, 22.04.2013, 28.05.2013, 25.06.2013 και 17.07.2013.

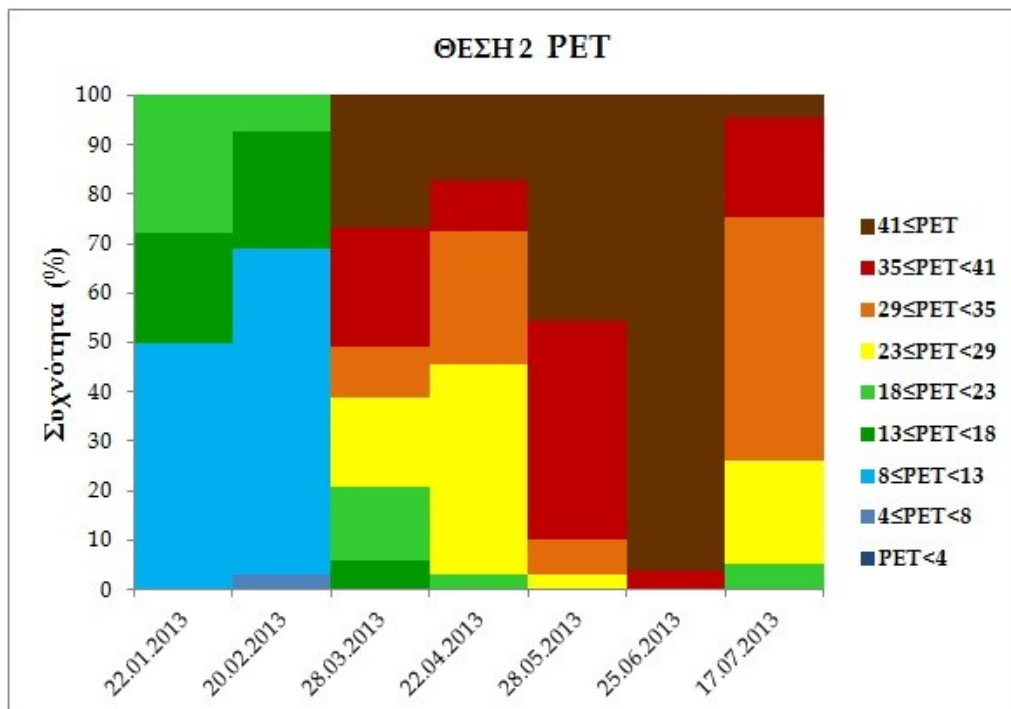


Εικόνα 33. Συχνότητα (%) εμφάνισης των κλάσεων του δείκτη PET για τη θέση 1.

Για την ανοιχτή επίπεδη περιοχή (θέση 1) η κατανομή της συχνότητας των PET κλάσεων (εικόνα 33) είναι η εξής :

- στις 22.01.2013 το 25,4% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση και ελαφρά θερμική επιβάρυνση ($18^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 29^{\circ}\text{C}$).
- στις 20.02.2013 το 4,3% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή και ακραία ψυχρή επιβάρυνση ($\text{PET} < 8^{\circ}\text{C}$), το 51,7% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση και ελαφρά θερμική επιβάρυνση ($18^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 29^{\circ}\text{C}$) και το 22,4% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση ($\text{PET} \geq 35^{\circ}\text{C}$).
- στις 28.03.2013 το 45,8% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση και ελαφρά θερμική επιβάρυνση ($18^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 29^{\circ}\text{C}$) και το 42,4% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση ($\text{PET} \geq 35^{\circ}\text{C}$).
- στις 22.04.2013 το 37,8% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση και ελαφρά θερμική επιβάρυνση ($18^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 29^{\circ}\text{C}$) και το 25,4% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση ($\text{PET} \geq 35^{\circ}\text{C}$).

- στις 28.05.2013 το 18,9% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση και ελαφρά θερμική επιβάρυνση ($18^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 29^{\circ}\text{C}$) και το 50% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση ($\text{PET} \geq 35^{\circ}\text{C}$).
- στις 25.06.2013 το 96% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση ($\text{PET} \geq 35^{\circ}\text{C}$).
- στις 17.07.2013 το 31,7% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση και ελαφρά θερμική επιβάρυνση ($18^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 29^{\circ}\text{C}$) και το 34,9% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση ($\text{PET} \geq 35^{\circ}\text{C}$).

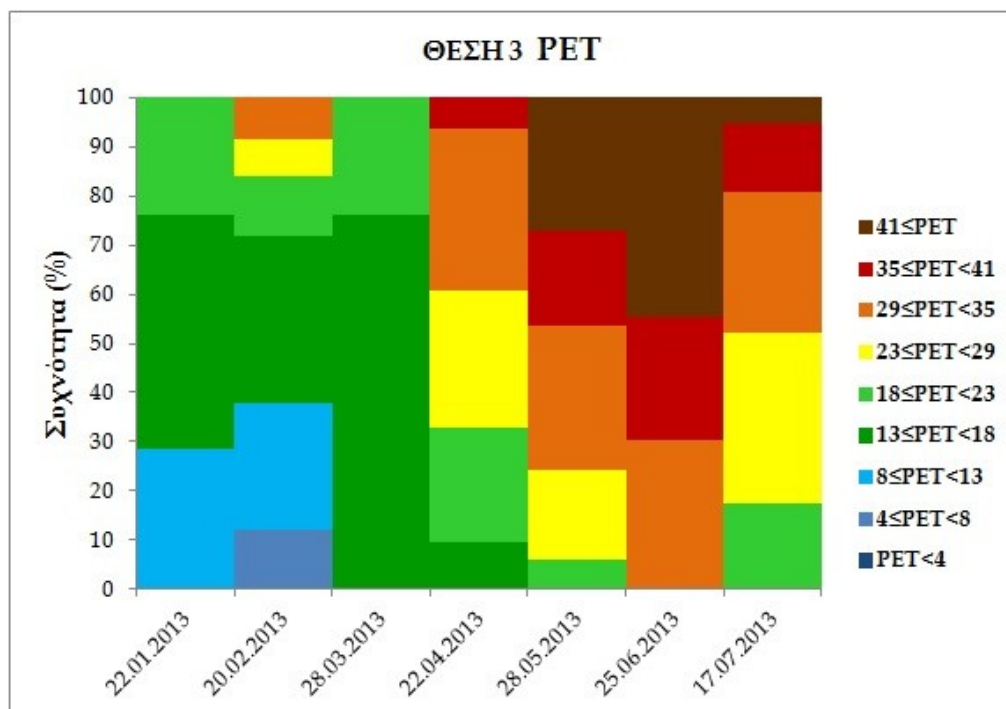


Εικόνα 34. Συχνότητα (%) εμφάνισης των κλάσεων του δείκτη PET για τη θέση 2.

Για το κτιριακό αίθριο (θέση 2) η κατανομή της συχνότητας των PET κλάσεων (εικόνα 34) είναι η εξής :

- στις 22.01.2013 το 27,8% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση και ελαφρά θερμική επιβάρυνση ($18^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 29^{\circ}\text{C}$).

- στις 20.02.2013 το 2,9% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή και ακραία ψυχρή επιβάρυνση ($PET < 8^{\circ}C$) και το 7,35% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση και ελαφρά θερμική επιβάρυνση ($18^{\circ}C \leq PET < 29^{\circ}C$).
- στις 28.03.2013 το 32,8% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση και ελαφρά θερμική επιβάρυνση ($18^{\circ}C \leq PET < 29^{\circ}C$) και το 50,8% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση ($PET \geq 35^{\circ}C$).
- στις 22.04.2013 το 45,5% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση και ελαφρά θερμική επιβάρυνση ($18^{\circ}C \leq PET < 29^{\circ}C$) και το 27,6% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση ($PET \geq 35^{\circ}C$).
- στις 28.05.2013 το 3% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση και ελαφρά θερμική επιβάρυνση ($18^{\circ}C \leq PET < 29^{\circ}C$) και το 89,9% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση ($PET \geq 35^{\circ}C$).
- στις 25.06.2013 το 100% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση ($PET \geq 35^{\circ}C$).
- στις 17.07.2013 το 26,1% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση και ελαφρά θερμική επιβάρυνση ($18^{\circ}C \leq PET < 29^{\circ}C$) και το 24,6% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση ($PET \geq 35^{\circ}C$).



Εικόνα 35. Συχνότητα (%) εμφάνισης των κλάσεων του δείκτη PET για τη θέση 3.

Για το φυτικό αίθριο (θέση 3) η κατανομή της συχνότητας των PET κλάσεων (εικόνα 35) είναι η εξής :

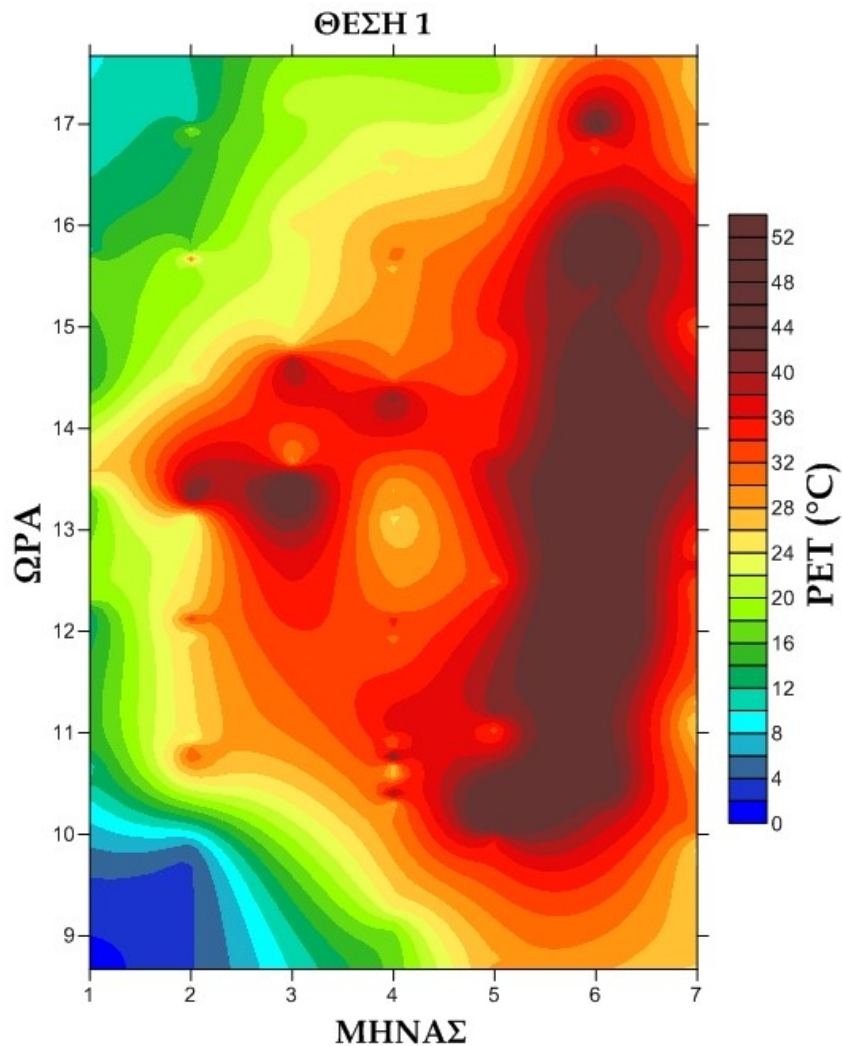
- στις 22.01.2013 το 23,8% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση και ελαφρά θερμική επιβάρυνση ($18^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 29^{\circ}\text{C}$).
- στις 20.02.2013 το 12,2% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή και ακραία ψυχρή επιβάρυνση ($\text{PET} < 8^{\circ}\text{C}$) και το 19,5% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση και ελαφρά θερμική επιβάρυνση ($18^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 29^{\circ}\text{C}$).
- στις 28.03.2013 το 23,8% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση και ελαφρά θερμική επιβάρυνση ($18^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 29^{\circ}\text{C}$).
- στις 22.04.2013 το 51,6% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση και ελαφρά θερμική επιβάρυνση ($18^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 29^{\circ}\text{C}$) και το 6,3% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση ($\text{PET} \geq 35^{\circ}\text{C}$).
- στις 28.05.2013 το 24,1% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση και ελαφρά θερμική επιβάρυνση ($18^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 29^{\circ}\text{C}$) και το 46,4% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση ($\text{PET} \geq 35^{\circ}\text{C}$).

- στις 25.06.2013 το 69,5% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση ($PET \geq 35^{\circ}C$).
- στις 17.07.2013 το 52,3% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση και ελαφρά θερμική επιβάρυνση ($18^{\circ}C \leq PET < 29^{\circ}C$) και το 19,2% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση ($PET \geq 35^{\circ}C$).

5.1.3 Κατανομή των τιμών του δείκτη PET σε σχέση με τον μήνα και την ώρα της ημέρας για κάθε μια από τις εξεταζόμενες θέσεις 1, 2 και 3

Στα γραφήματα που ακολουθούν οι αριθμοί 1,2,3,4,5,6 και 7 για τους μήνες αντιστοιχούν στην ημέρα του κάθε μήνα που έγιναν οι μετρήσεις, δηλαδή (1):22.01.2013, (2): 20.02.2013, (3): 28.03.2013, (4):22.04.2013, (5):28.05.2013, (6):25.06.2013 και (7):17.07.2013.

Σύμφωνα με τον πίνακα 4 (στο κεφάλαιο 3), όπου φαίνονται τα κατώφλια του δείκτη PET για διάφορους βαθμούς του θερμικού αισθήματος στους ανθρώπους, ο άνθρωπος υφίσταται ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση για τιμές $PET \geq 35^{\circ}C$, μέτρια θερμική επιβάρυνση για τιμές $29^{\circ}C \leq PET < 35^{\circ}C$, θερμική άνεση και ελαφρά θερμική επιβάρυνση για τιμές $18^{\circ}C \leq PET < 29^{\circ}C$, ελαφρά και μέτρια ψυχρή επιβάρυνση $8^{\circ}C \leq PET < 18^{\circ}C$ και ισχυρή και ακραία ψυχρή επιβάρυνση για τιμές $PET < 8^{\circ}C$.

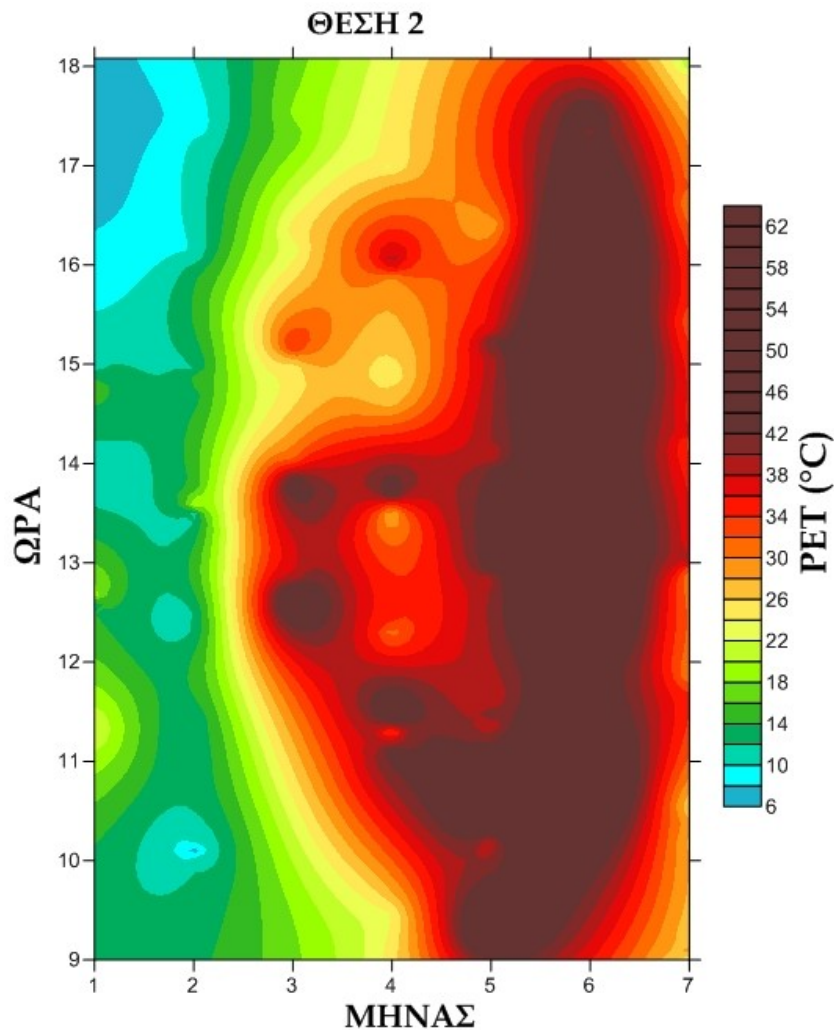


Εικόνα 36. Κατανομή των τιμών του δείκτη PET σε σχέση με το μήνα και την ώρα της ημέρας για τη θέση 1.

Στο γράφημα της εικόνας 36, όπου απεικονίζεται η κατανομή των τιμών του δείκτη PET σε σχέση με τον μήνα και την ώρα της ημέρας για την ανοιχτή επίπεδη περιοχή (θέση 1), παρατηρούνται τα εξής :

- (1): 22.01.2013, τις πρωινές ώρες (8:30-10:00) επικρατεί ισχυρή και ακραία ψυχρή επιβάρυνση ($PET < 8^{\circ}\text{C}$), 10:00-12:00 και 14:30-17:00 επικρατεί ελαφρά και μέτρια ψυχρή επιβάρυνση ($8^{\circ}\text{C} \leq PET < 18^{\circ}\text{C}$) και 12:00-14:30 επικρατεί θερμική άνεση και ελαφρά θερμική επιβάρυνση ($18^{\circ}\text{C} \leq PET < 29^{\circ}\text{C}$).

- (2): 20.02.2013, τις πρωινές ώρες (8:30-10:00) επικρατεί ισχυρή και ακραία ψυχρή επιβάρυνση ($PET < 8^{\circ}\text{C}$), 11:00-13:00 και 14:30-16:00 επικρατεί θερμική άνεση και ελαφρά θερμική επιβάρυνση ($18^{\circ}\text{C} \leq PET < 29^{\circ}\text{C}$), 13:00-14:30 επικρατεί ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση ($PET \geq 35^{\circ}\text{C}$).
- (3): 28.03.2013, τις πρωινές ώρες έως τις 11:00 και 14:30-17:00 επικρατεί θερμική άνεση και ελαφρά θερμική επιβάρυνση ($18^{\circ}\text{C} \leq PET < 29^{\circ}\text{C}$), ενώ 11:00-14:30 επικρατεί ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση ($PET \geq 35^{\circ}\text{C}$).
- (4): 22.04.2013, από το πρωί έως τις 10, 12:30-13:30 και μετά τις 16:00 επικρατεί θερμική άνεση και ελαφρά θερμική επιβάρυνση ($18^{\circ}\text{C} \leq PET < 29^{\circ}\text{C}$), ενώ 10:00-16:00 επικρατεί ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση ($PET \geq 35^{\circ}\text{C}$).
- (5): 28.05.2013, 10:00-17:00 επικρατεί ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση ($PET \geq 35^{\circ}\text{C}$).
- (6): 25.06.2013, 10:00-17:00 επικρατεί ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση ($PET \geq 35^{\circ}\text{C}$).
- (7): 17.07.2013, 10:00-17:00 επικρατεί ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση ($PET \geq 35^{\circ}\text{C}$).

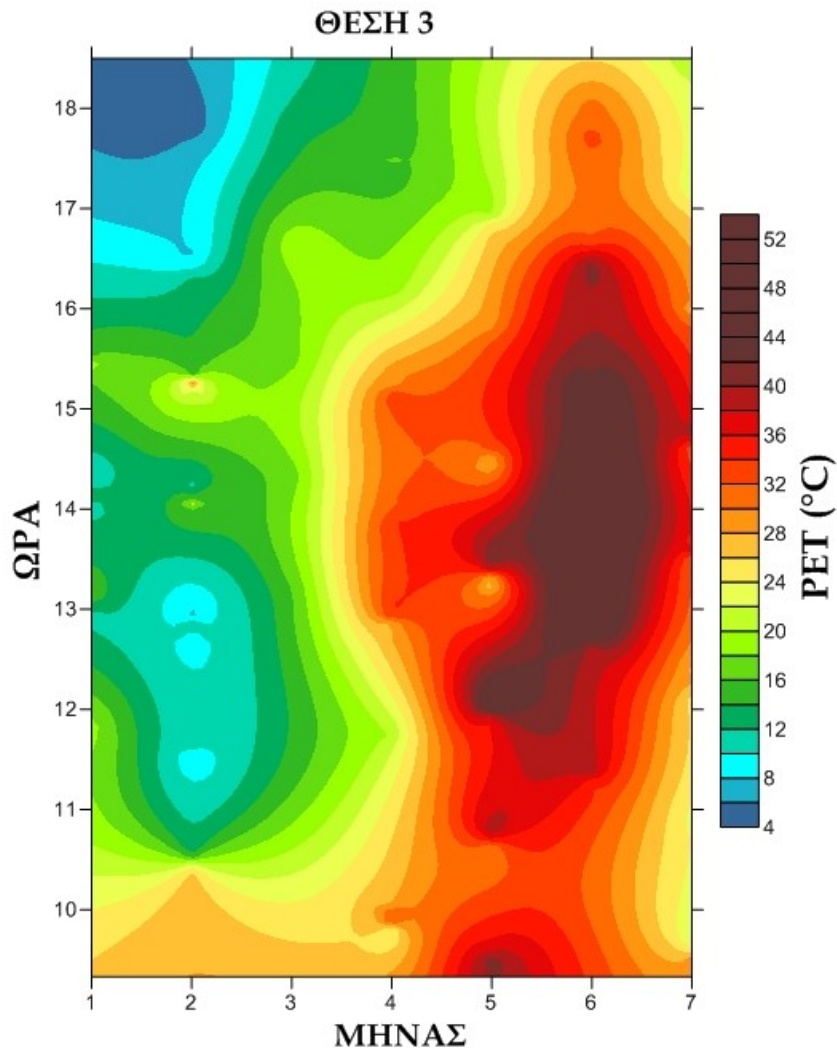


Εικόνα 37. Κατανομή των τιμών του δείκτη PET σε σχέση με το μήνα και την ώρα της ημέρας για τη θέση 2.

Στο γράφημα της εικόνας 37, όπου απεικονίζεται η κατανομή των τιμών του δείκτη PET σε σχέση με τον μήνα και την ώρα της ημέρας για το κτιριακό αίθριο (θέση 2), παρατηρούνται τα εξής :

- (1): 22.01.2013, από τις 9:00 έως τις 16:00 επικρατεί ελαφρά και μέτρια ψυχρή επιβάρυνση ($8^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 18^{\circ}\text{C}$) και από τις 16:00 έως τις 18:00 επικρατεί ισχυρή και ακραία ψυχρή επιβάρυνση ($\text{PET} < 8^{\circ}\text{C}$).
- (2): 20.02.2013, 9:00-18:00 επικρατεί ελαφρά και μέτρια ψυχρή επιβάρυνση ($8^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 18^{\circ}\text{C}$).

- (3): 28.03.2013, 9:00-11:30 καθώς και 16:00-18:00 επικρατεί θερμική άνεση και ελαφρά θερμική επιβάρυνση ($18^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 29^{\circ}\text{C}$), ενώ 11:30-16:00 επικρατεί ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση ($\text{PET} \geq 35^{\circ}\text{C}$).
- (4): 22.04.2013, 9:00-10:00, 14:30-15:30 και 16:30-18:00 επικρατεί θερμική άνεση και ελαφρά θερμική επιβάρυνση ($18^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 29^{\circ}\text{C}$) ενώ 10:00-14:30 και 15:30-16:30 επικρατεί ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση ($\text{PET} \geq 35^{\circ}\text{C}$).
- (5): 28.05.2013, 9:00-18:00 επικρατεί ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση ($\text{PET} \geq 35^{\circ}\text{C}$).
- (6): 25.06.2013, 9:00-18:00 επικρατεί ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση ($\text{PET} \geq 35^{\circ}\text{C}$).
- (7): 17.07.2013, 9:00-18:00 επικρατεί ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση ($\text{PET} \geq 35^{\circ}\text{C}$).



Εικόνα 38. Κατανομή των τιμών του δείκτη PET σε σχέση με το μήνα και την ώρα της ημέρας για τη θέση 3.

Στο γράφημα της εικόνας 38, όπου απεικονίζεται η κατανομή των τιμών του δείκτη PET σε σχέση με τον μήνα και την ώρα της ημέρας για το φυτικό αίθριο (θέση 3), παρατηρούνται τα εξής :

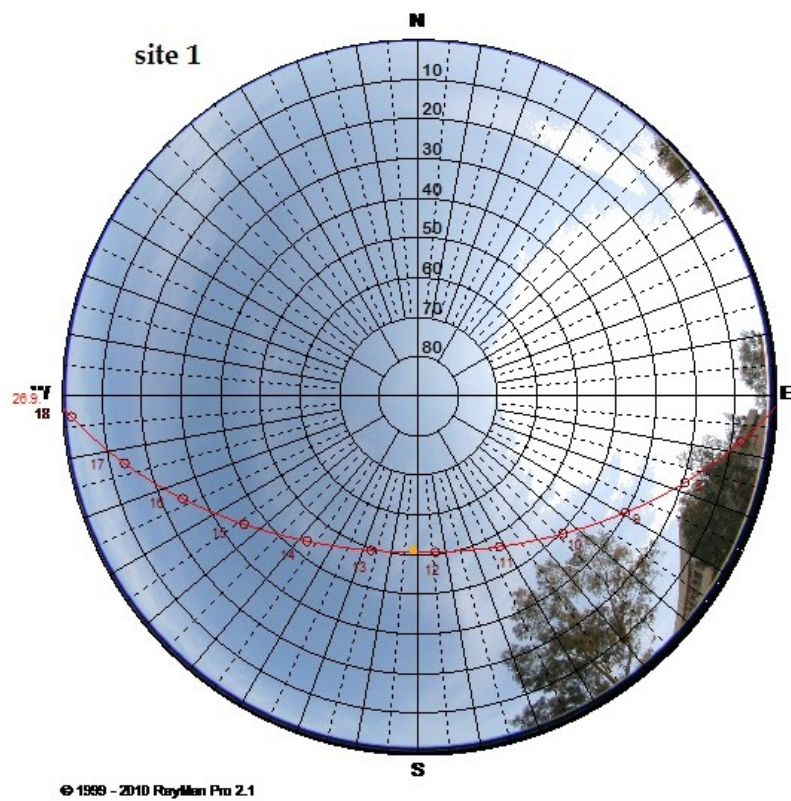
- (1): 22.01.2013, τις πρωινές ώρες έως τις 11:00 επικρατεί θερμική άνεση και ελαφρά θερμική επιβάρυνση ($18^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 29^{\circ}\text{C}$), 11:00-17:00 επικρατεί ελαφρά και μέτρια ψυχρή επιβάρυνση ($8^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 18^{\circ}\text{C}$) και μετά τις 17:00 επικρατεί ισχυρή και ακραία ψυχρή επιβάρυνση ($\text{PET} < 8^{\circ}\text{C}$).

- (2): 20.02.2013, τις πρωινές ώρες έως τις 10:30 επικρατεί θερμική άνεση και ελαφρά θερμική επιβάρυνση ($18^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 29^{\circ}\text{C}$), 10:30-16:30 επικρατεί ελαφρά και μέτρια ψυχρή επιβάρυνση ($8^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 18^{\circ}\text{C}$) και μετά τις 16:30 επικρατεί ισχυρή και ακραία ψυχρή επιβάρυνση ($\text{PET} < 8^{\circ}\text{C}$).
- (3): 28.03.2013, τις πρωινές ώρες έως τις 17:00 επικρατεί ελαφρά ψυχρή επιβάρυνση και θερμική άνεση ($13^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 23^{\circ}\text{C}$) και μετά τις 17:00 επικρατεί μέτρια ψυχρή επιβάρυνση ($8^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 13^{\circ}\text{C}$).
- (4): 22.04.2013, τις πρωινές ώρες έως τις 12:30 και μετά τις 15:00 επικρατεί θερμική άνεση και ελαφρά θερμική επιβάρυνση ($18^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 29^{\circ}\text{C}$) ενώ 12:30-15:00 επικρατεί μέτρια θερμική επιβάρυνση ($29^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 35^{\circ}\text{C}$).
- (5): 28.05.2013, 9:30-14:00 επικρατεί ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση ($\text{PET} \geq 35^{\circ}\text{C}$), 14:00-16:00 επικρατεί μέτρια θερμική επιβάρυνση ($29^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 35^{\circ}\text{C}$) και μετά τις 16:00 επικρατεί θερμική άνεση και ελαφρά θερμική επιβάρυνση ($18^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 29^{\circ}\text{C}$).
- (6): 25.06.2013, τις πρωινές ώρες έως τις 11:30 επικρατεί μέτρια θερμική επιβάρυνση ($29^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 35^{\circ}\text{C}$), 11:30-17:00 επικρατεί ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση ($\text{PET} \geq 35^{\circ}\text{C}$) και μετά τις 17:00 επικρατεί ελαφρά θερμική επιβάρυνση ($23^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 29^{\circ}\text{C}$).
- (7): 17.07.2013, τις πρωινές ώρες έως τις 12:30 και μετά τις 16:00 επικρατεί ελαφρά θερμική επιβάρυνση ($23^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 29^{\circ}\text{C}$), ενώ 12:30-16:00 επικρατεί κυρίως μέτρια θερμική επιβάρυνση ($29^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 35^{\circ}\text{C}$) εκτός από τις 14:00-15:00 όπου επικρατεί ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση ($\text{PET} \geq 35^{\circ}\text{C}$).

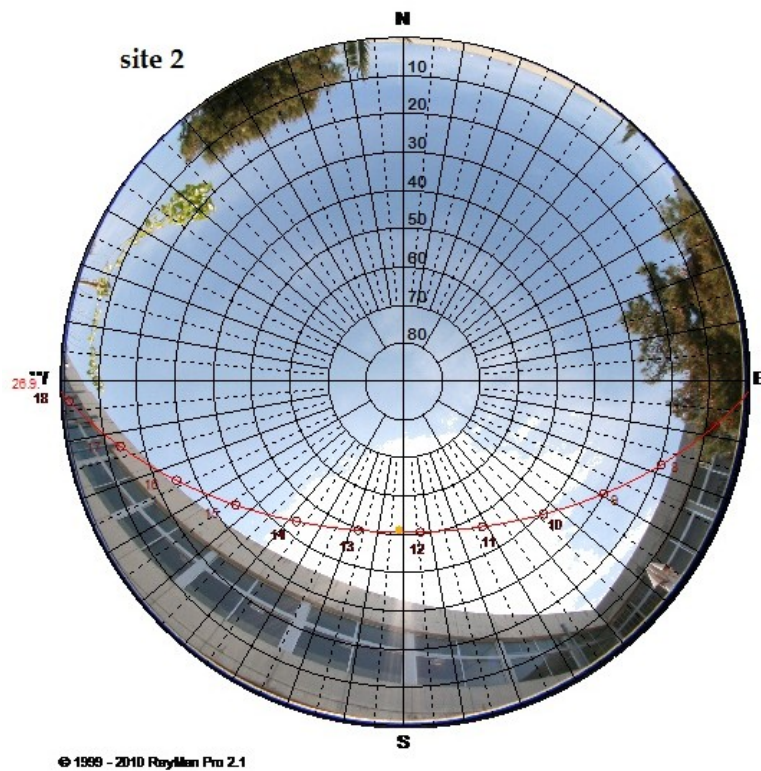
5.2 Μεταφορά της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας από τα δεδομένα του σταθμού αναφοράς (θέση 4) στα δεδομένα των θέσεων 1, 2 και 3

Μια δεύτερη αποτελεσματική προσέγγιση της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν να υπολογιστεί ο δείκτης PET (όπως περιγράφεται στο υποκεφάλαιο 4.6.2) λαμβάνοντας υπόψη την μεταφορά της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας από τον σταθμό αναφοράς στις εξεταζόμενες θέσεις και τις εικόνες fish-eye, που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του συντελεστή θέασης ουράνιου θόλου (sky view factor), και να δημιουργηθούν τα γραφήματα που ακολουθούν. Οι fish-eye φωτογραφίες είναι φωτογραφίες που τραβήχτηκαν με ευρυγώνιους φακούς 180° και η φωτογραφική μηχανή ήταν στραμμένη προς τον ουρανό. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται στην περίπτωση απουσίας in situ μετρήσεων της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας. Πιο συγκεκριμένα, στην παρούσα διπλωματική εργασία η ολική ηλιακή ακτινοβολία από τα δεδομένα του σταθμού αναφοράς (θέση 4) μεταφέρθηκε στα δεδομένα των πειραματικών μετρήσεων στις θέσεις 1, 2 και 3. Τα υπόλοιπα κλιματολογικά στοιχεία που μετρήθηκαν στις θέσεις 1, 2 και 3, δηλαδή η θερμοκρασία του αέρα, η σχετική υγρασία και η ταχύτητα του ανέμου, παρέμειναν ίδια.

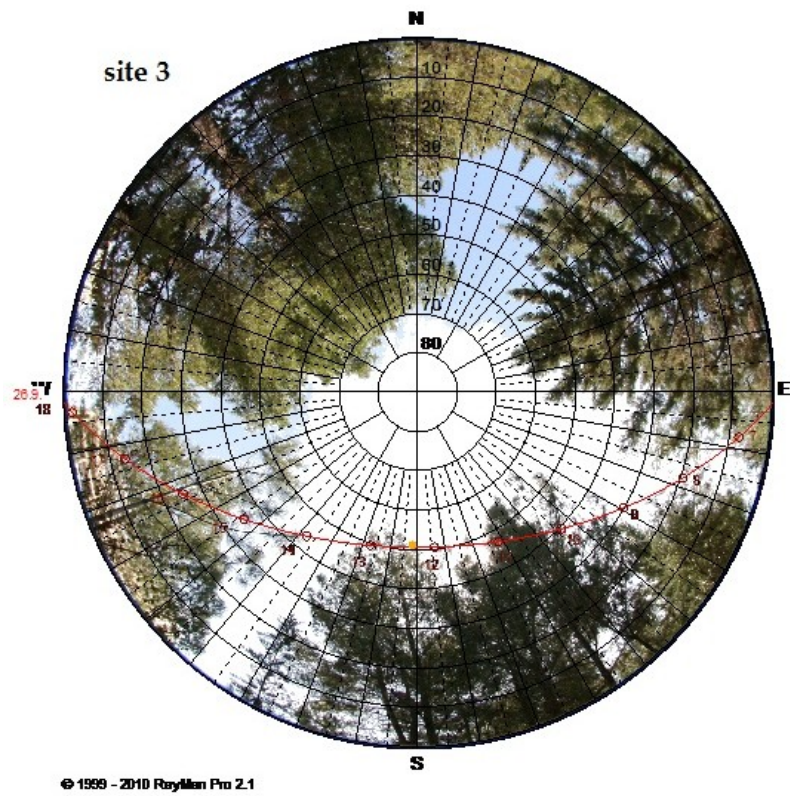
Στις εικόνες 39, 40 και 41, που ακολουθούν απεικονίζονται τα διαγράμματα polar, που δημιουργήθηκαν από την επεξεργασία των φωτογραφιών fish-eye από το μοντέλο RayMan για τις θέσεις 1, 2 και 3 αντίστοιχα. Η κόκκινη γραμμή απεικονίζει την πορεία του ήλιου.



Εικόνα 39. Φωτογραφία Fish-eye και η πορεία του ήλιου στη θέση 1.

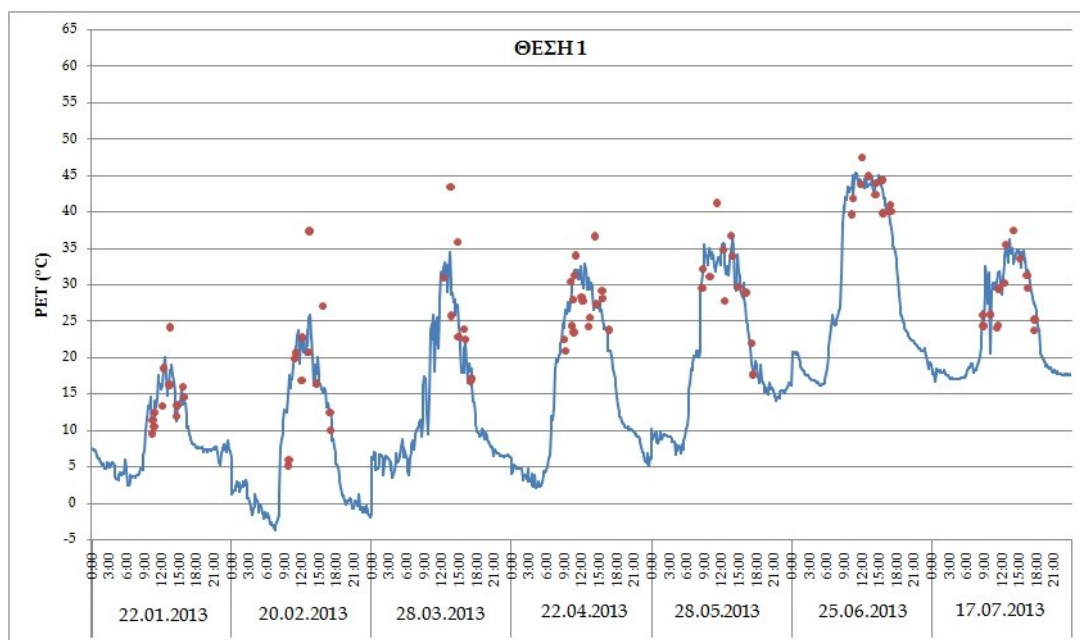


Εικόνα 40. Φωτογραφία Fish-eye και η πορεία του ήλιου στη θέση 2.



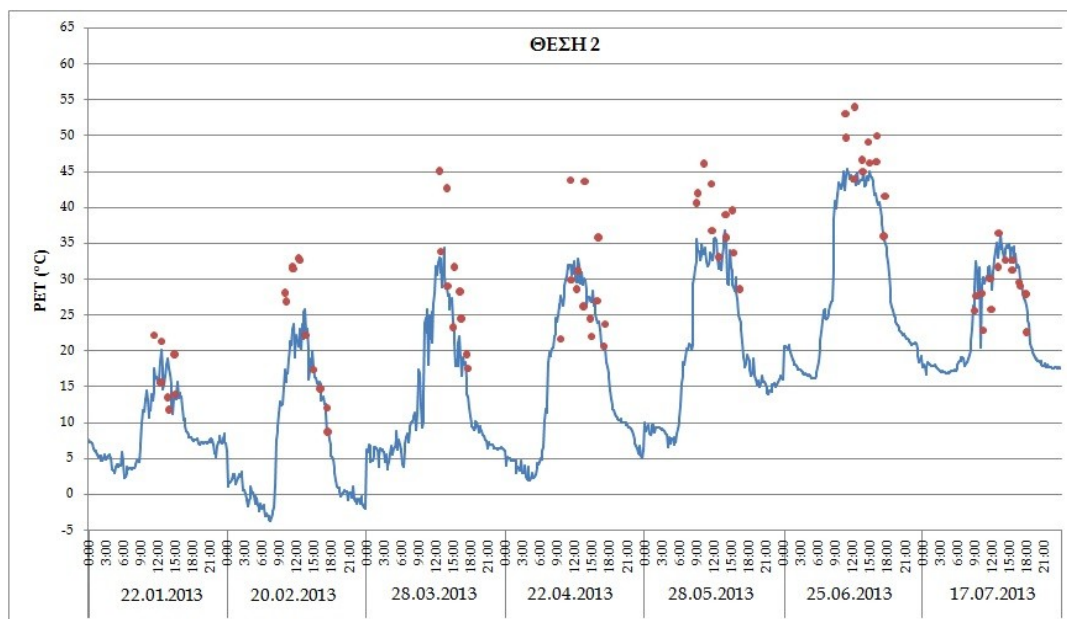
Εικόνα 41. Φωτογραφία Fish-eye και η πορεία του ήλιου στη θέση 3.

5.2.1 Χρονική διακύμανση του δείκτη PET για τον σταθμό αναφοράς (θέση 4) και για τις εξεταζόμενες θέσεις 1, 2 και 3 λαμβάνοντας υπόψη τη μεταφορά της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας από τον σταθμό αναφοράς



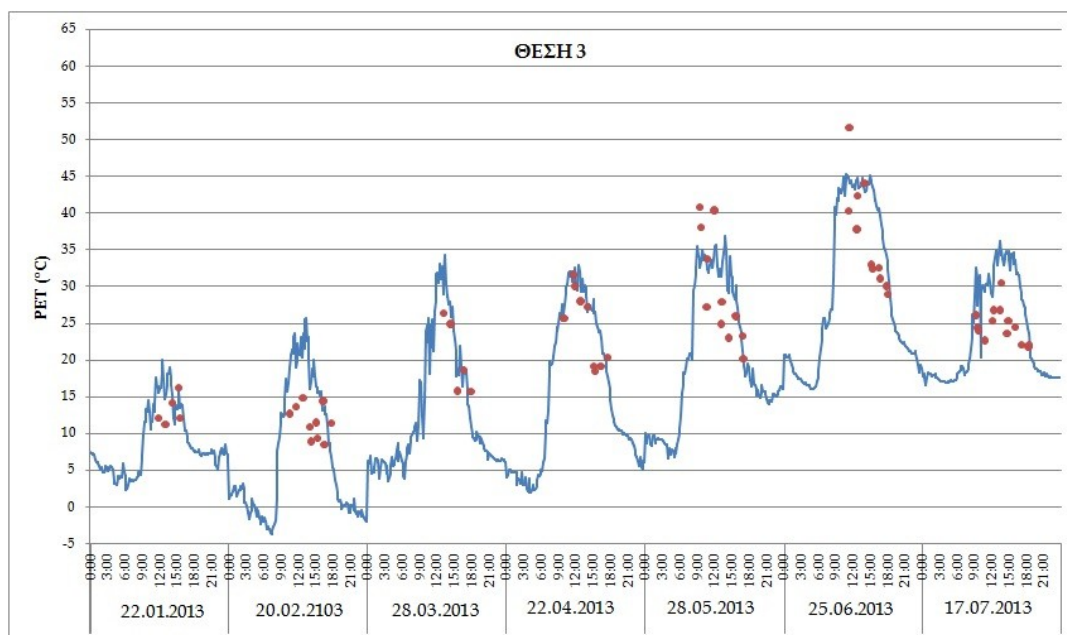
Εικόνα 42. Χρονική διακύμανση του δείκτη PET για τον σταθμό αναφοράς (μπλε γραμμή) και για τη θέση 1 (κόκκινες κουκίδες) λαμβάνοντας υπόψη τη μεταφορά της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας από τον σταθμό αναφοράς.

Στο διάγραμμα της εικόνας 42 φαίνεται η χρονική διακύμανση του δείκτη PET για τον σταθμό αναφοράς και για την ανοιχτή επίπεδη περιοχή (θέση 1) λαμβάνοντας υπόψη τη μεταφορά της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας από το σταθμό αναφοράς. Η μέγιστη τιμή του δείκτη PET για τη θέση 1 είναι $47,4^{\circ}\text{C}$ και εμφανίζεται στις 25.06.2013 στις 12:00 το μεσημέρι, ενώ η ελάχιστη τιμή του είναι $5,1^{\circ}\text{C}$ και εμφανίζεται στις 20.02.2013 στις 9:40 το πρωί. Όλες τις ημέρες των μετρήσεων οι τιμές του δείκτη PET στη θέση 1 κυμαίνονται είτε στα ίδια επίπεδα είτε λίγο χαμηλότερα από αυτές του σταθμού αναφοράς με μια απόκλιση της τάξεως των 10°C . Σε όλες τις ημέρες όμως εμφανίζονται κάποιες μεμονωμένες τιμές του δείκτη PET που είναι από 5°C έως 15°C μεγαλύτερες από αυτές του σταθμού.



Εικόνα 43. Χρονική διακύμανση του δείκτη PET για τον σταθμό αναφοράς (μπλε γραμμή) και για τη θέση 2 (κόκκινες κουκίδες) λαμβάνοντας υπόψη τη μεταφορά της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας από τον σταθμό αναφοράς.

Στο διάγραμμα της εικόνας 43 φαίνεται η χρονική διακύμανση του δείκτη PET για το σταθμό αναφοράς και για το κτιριακό αίθριο (θέση 2) λαμβάνοντας υπόψη τη μεταφορά της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας από το σταθμό αναφοράς. Η μέγιστη τιμή του δείκτη PET για την θέση 2 είναι 54°C και εμφανίζεται στις 25.06.2013 στις 12:20, ενώ η ελάχιστη τιμή του είναι 8,7°C και εμφανίζεται στις 20.02.2013 στις 17:20. Στις 22.01.2013 και 17.07.2013, οι τιμές του δείκτη PET στη θέση 2 κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα με αυτές του σταθμού αναφοράς, κάποιες είναι ελαφρώς μικρότερες και κάποιες ελαφρώς μεγαλύτερες. Στις 20.02.2013, 28.03.2013, 22.04.2013, 28.05.2013 και 25.06.2013 οι τιμές στη θέση 2 είτε κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα με αυτές του σταθμού αναφοράς είτε είναι μεγαλύτερες με απόκλιση της τάξης των 15°C.



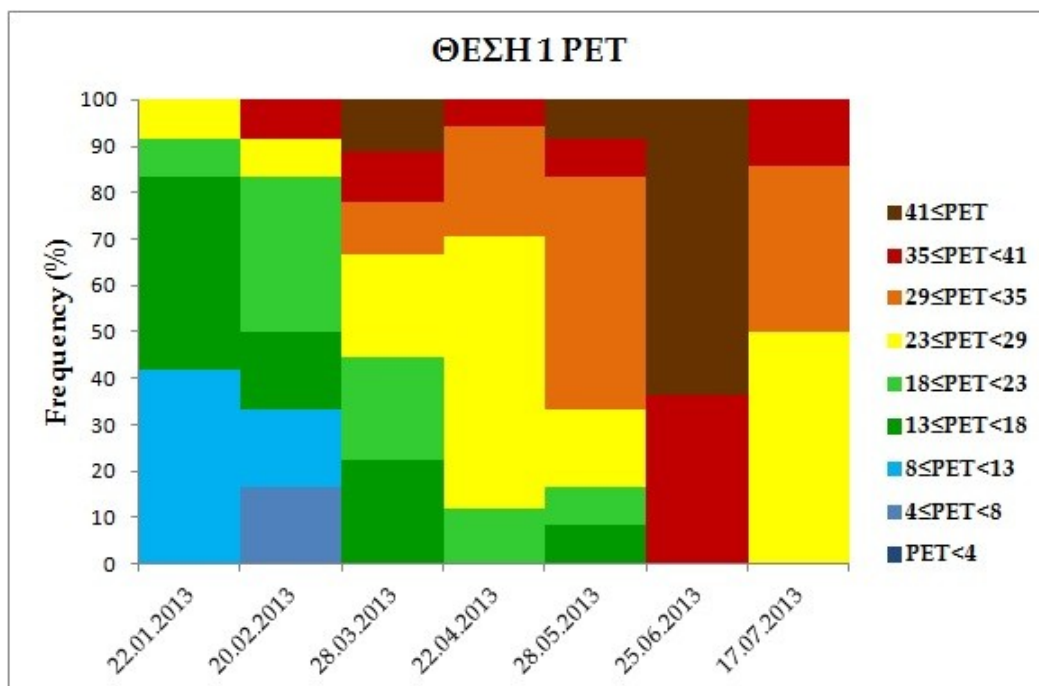
Εικόνα 44. Χρονική διακύμανση του δείκτη PET για τον σταθμό αναφοράς (μπλε γραμμή) και για τη θέση 3 (κόκκινες κουκίδες) λαμβάνοντας υπόψη τη μεταφορά της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας από τον σταθμό αναφοράς.

Στο διάγραμμα της εικόνας 44 φαίνεται η χρονική διακύμανση του δείκτη PET για τον σταθμό αναφοράς και για το φυτικό αίθριο (θέση 3) λαμβάνοντας υπόψη τη μεταφορά της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας από τον σταθμό αναφοράς. Η μέγιστη τιμή του δείκτη PET για την θέση 3 είναι 51,7°C και εμφανίζεται στις 25.06.2013 στις 11:20, ενώ η ελάχιστη τιμή του είναι 8,5°C και εμφανίζεται στις 20.02.2013 στις 16:30. Στις 22.01.2013, 20.02.2013, 28.03.2013, 22.04.2013 και 17.07.2013 οι τιμές του δείκτη PET στη θέση 3 κορμούνται στα ίδια επίπεδα με αυτές του σταθμού αναφοράς, κάποιες είναι λίγο μικρότερες με απόκλιση της τάξης των 5°C. Στις 28.05.2013 και 25.06.2013 οι περισσότερες τιμές του δείκτη PET στη θέση 3 είναι λίγο μικρότερες από αυτές του σταθμού με απόκλιση της τάξης των 5°C, ενώ κάποιες είναι λίγο μεγαλύτερες με απόκλιση της τάξης των 5°C.

5.2.2 Συχνότητα (%) εμφάνισης των κλάσεων του δείκτη PET σε κάθε μια από τις εξεταζόμενες θέσεις 1, 2 και 3, λαμβάνοντας υπόψη τη μεταφορά της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας από τον σταθμό αναφοράς

Οι θερμο-ανθρωποβιοκλιματικές συνθήκες παρουσιάζονται σαν ποσοστά των κλάσεων του PET, λαμβάνοντας υπόψη τη μεταφορά της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας από τον σταθμό αναφοράς, για κάθε μια ημέρα που έγιναν μετρήσεις στο διάστημα Ιανουαρίου - Ιουλίου 2013 στις εικόνες 45, 46 και 47 . Σύμφωνα με τον πίνακα 4, όπου φαίνονται τα κατώφλια του δείκτη PET για διάφορους βαθμούς του θερμικού αισθήματος στους ανθρώπους, ο άνθρωπος υφίσταται ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση για τιμές $PET \geq 35^{\circ}\text{C}$, θερμική άνεση και ελαφρά θερμική επιβάρυνση για τιμές $18^{\circ}\text{C} \leq PET < 29^{\circ}\text{C}$ και ισχυρή ψυχρή επιβάρυνση για τιμές $PET < 8^{\circ}\text{C}$.

Στα γραφήματα των εικόνων 45, 46 και 47 παρατηρείται ότι οι κλάσεις του PET για την ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση ($PET \geq 35^{\circ}\text{C}$) δεν εμφανίζονται στη θέση 1 στις 22.01.2013, στη θέση 2 στις 22.01.2013 και 20.02.2013 και στη θέση 3 στις 22.01.2013, 20.02.2013, 28.03.2013, 22.04.2013 και 17.07.2013. Οι κλάσεις του PET για τη θερμική άνεση και ελαφρά θερμική επιβάρυνση ($18^{\circ}\text{C} \leq PET < 29^{\circ}\text{C}$) δεν εμφανίζονται στη θέση 1 στις 25.06.2013, στη θέση 2 στις 25.06.2013 και στη θέση 3 στις 22.01.2013 και 20.02.2013. Οι κλάσεις του PET για την ισχυρή και ακραία ψυχρή επιβάρυνση για τιμές $PET < 8^{\circ}\text{C}$ εμφανίζονται μόνο στη θέση 1 στις 20.02.2013.

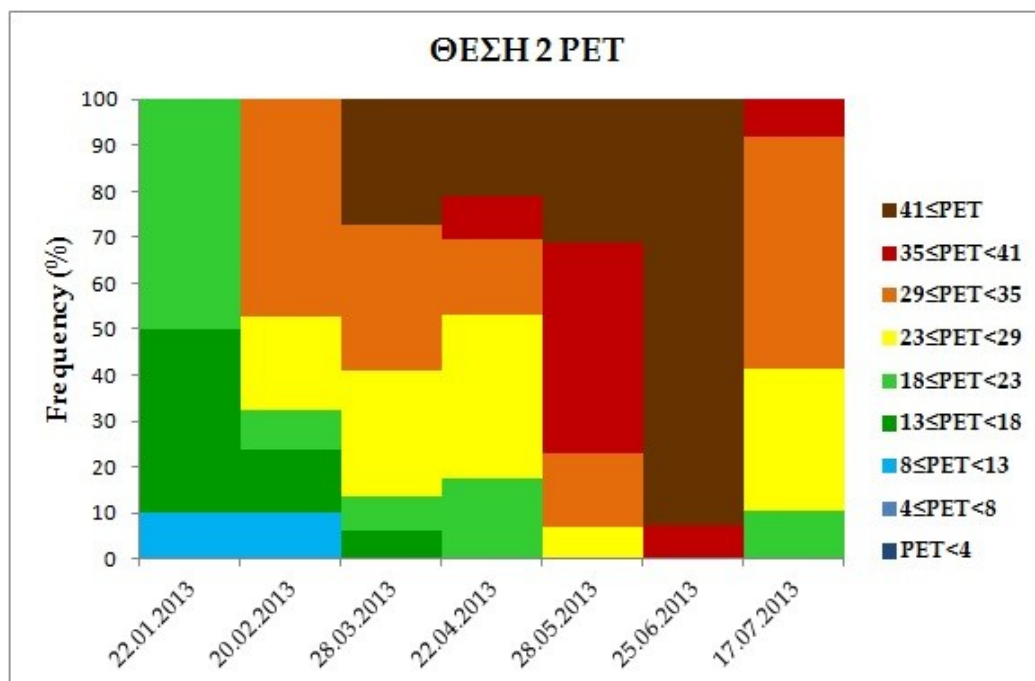


Εικόνα 45. Συχνότητα (%) εμφάνισης των κλάσεων του δείκτη PET για τη θέση 1 λαμβάνοντας υπόψη τη μεταφορά της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας από τον σταθμό αναφοράς.

Για τη θέση 1 η κατανομή της συχνότητας των PET κλάσεων (εικόνα 45) είναι η εξής :

- στις 22.01.2013 το 16,7% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση και ελαφρά θερμική επιβάρυνση ($18^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 29^{\circ}\text{C}$).
- στις 20.02.2013 το 16,7% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή και ακραία ψυχρή επιβάρυνση ($\text{PET} < 8^{\circ}\text{C}$), το 41,7% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση και ελαφρά θερμική επιβάρυνση ($18^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 29^{\circ}\text{C}$) και το 8,3% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση ($\text{PET} \geq 35^{\circ}\text{C}$).
- στις 28.03.2013 το 44,4% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση και ελαφρά θερμική επιβάρυνση ($18^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 29^{\circ}\text{C}$) και το 22,2% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση ($\text{PET} \geq 35^{\circ}\text{C}$).

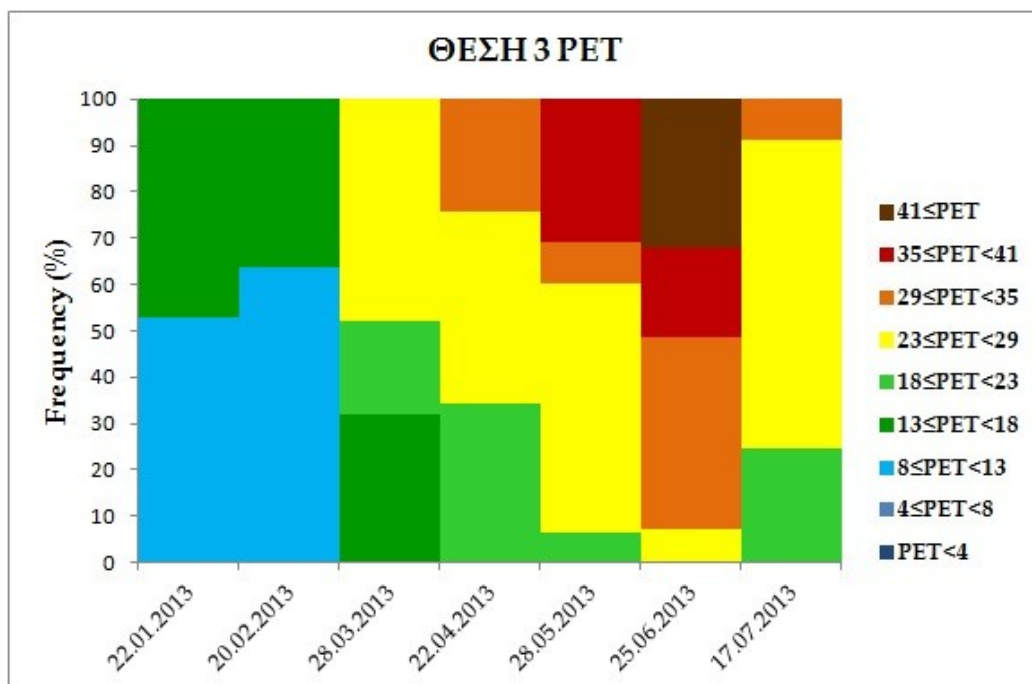
- στις 22.04.2013 το 76,6% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση και ελαφρά θερμική επιβάρυνση ($18^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 29^{\circ}\text{C}$) και το 5,9% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση ($\text{PET} \geq 35^{\circ}\text{C}$).
- στις 28.05.2013 το 25% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση και ελαφρά θερμική επιβάρυνση ($18^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 29^{\circ}\text{C}$) και το 16,7% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση ($\text{PET} \geq 35^{\circ}\text{C}$).
- στις 25.06.2013 το 100% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση ($\text{PET} \geq 35^{\circ}\text{C}$).
- στις 17.07.2013 το 14,3% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση ($\text{PET} \geq 35^{\circ}\text{C}$).



Εικόνα 46. Συχνότητα (%) εμφάνισης των κλάσεων του δείκτη PET για τη θέση 2 λαμβάνοντας υπόψη τη μεταφορά της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας από τον σταθμό αναφοράς.

Για τη θέση 2 η κατανομή της συχνότητας των PET κλάσεων (εικόνα 46) είναι η εξής :

- στις 22.01.2013 το 50% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση και ελαφρά θερμική επιβάρυνση ($18^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 29^{\circ}\text{C}$).
- στις 20.02.2013 το 28,8% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση και ελαφρά θερμική επιβάρυνση ($18^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 29^{\circ}\text{C}$).
- στις 28.03.2013 το 34,8% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση και ελαφρά θερμική επιβάρυνση ($18^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 29^{\circ}\text{C}$) και το 27,3% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση ($\text{PET} \geq 35^{\circ}\text{C}$).
- στις 22.04.2013 το 52,9% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση και ελαφρά θερμική επιβάρυνση ($18^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 29^{\circ}\text{C}$) και το 30,6% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση ($\text{PET} \geq 35^{\circ}\text{C}$).
- στις 28.05.2013 το 6,9% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση και ελαφρά θερμική επιβάρυνση ($18^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 29^{\circ}\text{C}$) και το 77% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση ($\text{PET} \geq 35^{\circ}\text{C}$).
- στις 25.06.2013 το 100% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση ($\text{PET} \geq 35^{\circ}\text{C}$).
- στις 17.07.2013 το 41,2% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση και ελαφρά θερμική επιβάρυνση ($18^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 29^{\circ}\text{C}$) και το 8,2% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση ($\text{PET} \geq 35^{\circ}\text{C}$).



Εικόνα 47. Συχνότητα (%) εμφάνισης των κλάσεων του δείκτη PET για τη θέση 3 λαμβάνοντας υπόψη τη μεταφορά της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας από τον σταθμό αναφοράς.

Για τη θέση 3 η κατανομή της συχνότητας των PET κλάσεων (εικόνα 47) είναι η εξής :

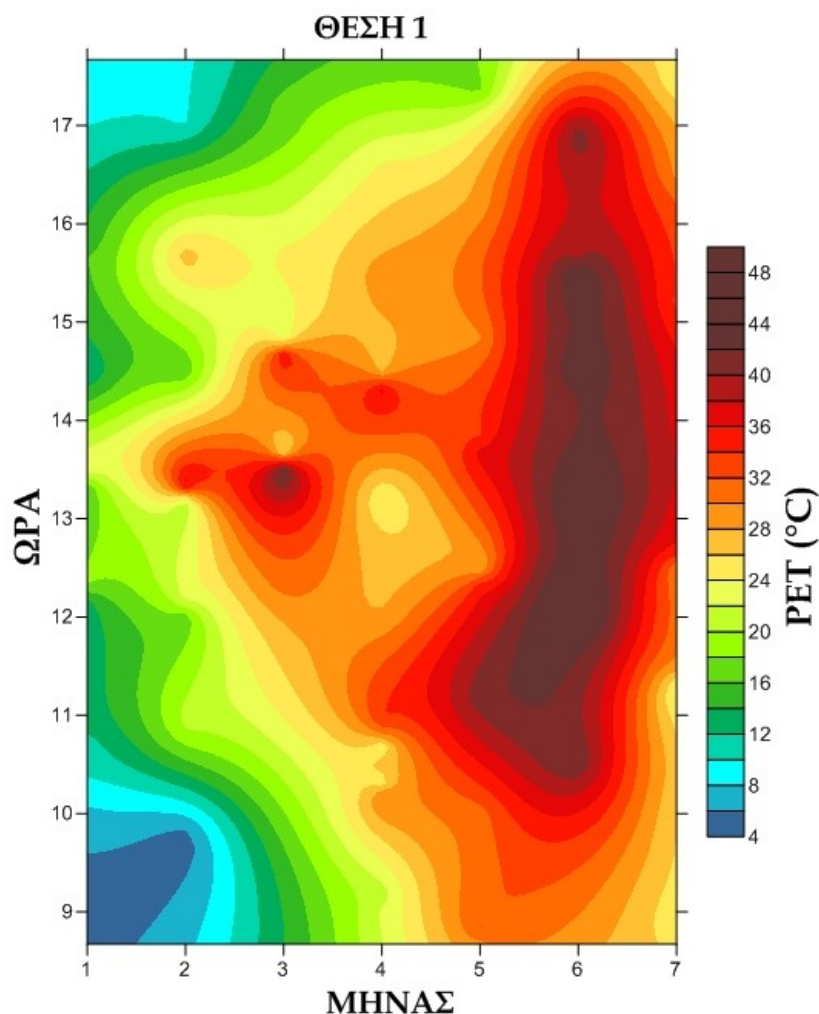
- στις 22.01.2013 και στις 20.02.2013 εμφανίζονται μόνο οι κλάσεις για την ελαφρά έως μέτρια ψυχρή επιβάρυνση ($8^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 18^{\circ}\text{C}$).
- στις 28.03.2013 το 68% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση και ελαφρά θερμική επιβάρυνση ($18^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 29^{\circ}\text{C}$).
- στις 22.04.2013 το 75,9% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση και ελαφρά θερμική επιβάρυνση ($18^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 29^{\circ}\text{C}$).
- στις 28.05.2013 το 60,3% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση και ελαφρά θερμική επιβάρυνση ($18^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 29^{\circ}\text{C}$) και το 30,8% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση ($\text{PET} \geq 35^{\circ}\text{C}$).
- στις 25.06.2013 το 7,1% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση και ελαφρά θερμική επιβάρυνση ($18^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 29^{\circ}\text{C}$) και το 51,2% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση ($\text{PET} \geq 35^{\circ}\text{C}$).

- στις 17.07.2013 το 91,4% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση και ελαφρά θερμική επιβάρυνση ($18^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 29^{\circ}\text{C}$).

5.2.3 Κατανομή των τιμών του δείκτη PET σε σχέση με το μήνα και την ώρα της ημέρας για κάθε μια από τις εξεταζόμενες θέσεις 1, 2 και 3, λαμβάνοντας υπόψη τη μεταφορά της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας από τον σταθμό αναφοράς

Στα γραφήματα που ακολουθούν οι αριθμοί 1,2,3,4,5,6 και 7 για τους μήνες αντιστοιχούν στην ημέρα του κάθε μήνα που έγιναν οι μετρήσεις, δηλαδή (1):22.01.2013, (2): 20.02.2013, (3): 28.03.2013, (4):22.04.2013, (5):28.05.2013, (6):25.06.2013 και (7):17.07.2013.

Σύμφωνα με τον πίνακα 4 (στο κεφάλαιο 3), όπου φαίνονται τα κατώφλια του δείκτη PET για διάφορους βαθμούς του θερμικού αισθήματος στους ανθρώπους, ο άνθρωπος υφίσταται ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση για τιμές $\text{PET} \geq 35^{\circ}\text{C}$, θερμική άνεση και ελαφρά θερμική επιβάρυνση για τιμές $18^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 29^{\circ}\text{C}$, ελαφρά και μέτρια ψυχρή επιβάρυνση $8^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 18^{\circ}\text{C}$ και ισχυρή και ακραία ψυχρή επιβάρυνση για τιμές $\text{PET} < 8^{\circ}\text{C}$.

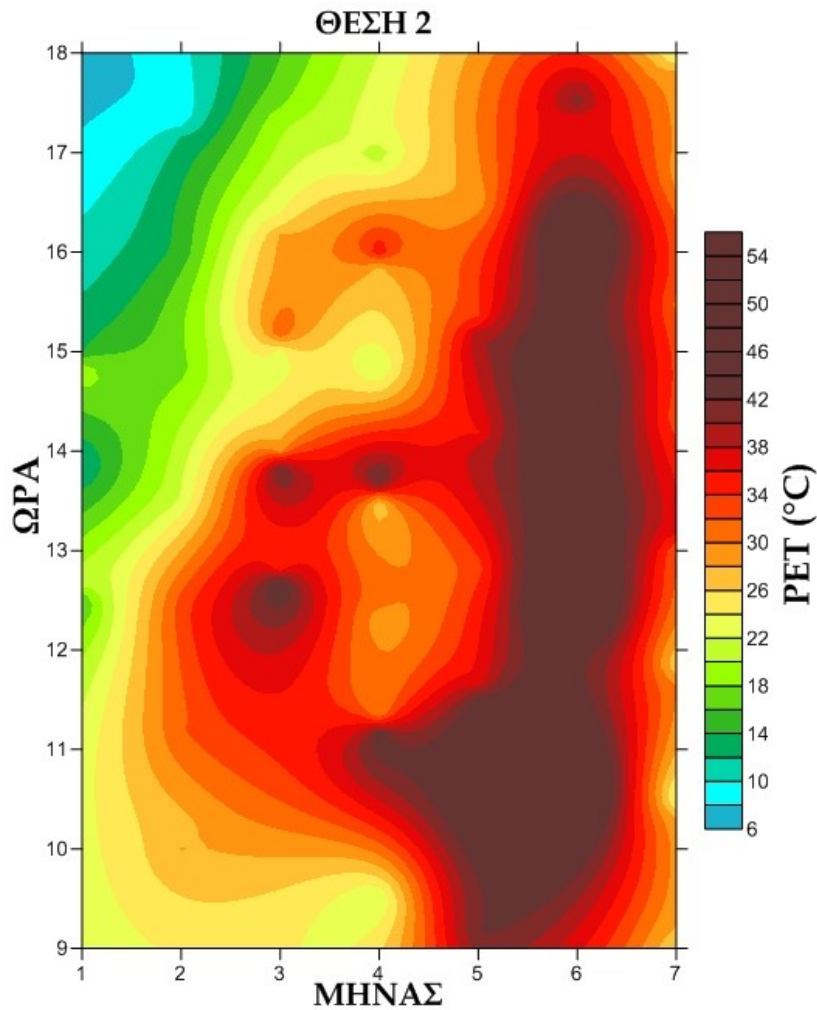


Εικόνα 48. Κατανομή των τιμών του δείκτη PET σε σχέση με το μήνα και την ώρα της ημέρας για τη θέση 1 λαμβάνοντας υπόψη τη μεταφορά της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας από τον σταθμό αναφοράς.

Στο γράφημα της εικόνας 48, όπου απεικονίζεται η κατανομή των τιμών του δείκτη PET σε σχέση με τον μήνα και την ώρα της ημέρας για την επίπεδη ανοιχτή περιοχή (θέση 1), παρατηρούνται τα εξής :

- (1): 22.01.2013, τις πρωινές ώρες έως τις 10:00 επικρατεί ισχυρή και ακραία ψυχρή επιβάρυνση ($PET < 8^{\circ}\text{C}$), 10:00-12:00 και μετά τις 14:30 επικρατεί ελαφρά και μέτρια ψυχρή επιβάρυνση ($8^{\circ}\text{C} \leq PET < 18^{\circ}\text{C}$) και 12:00-14:30 επικρατεί θερμική άνεση ($18^{\circ}\text{C} \leq PET < 23^{\circ}\text{C}$).

- (2): 20.02.2013, τις πρωινές ώρες έως τις 10:00 επικρατεί ισχυρή και ακραία ψυχρή επιβάρυνση ($PET < 8^{\circ}C$), 11:00-13:00 και 14:30-16:30 επικρατεί θερμική άνεση και ελαφρά θερμική επιβάρυνση ($18^{\circ}C \leq PET < 29^{\circ}C$), ενώ 13:00-14:30 επικρατεί ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση ($PET \geq 35^{\circ}C$).
- (3): 28.03.2013, τις πρωινές ώρες έως τις 12:00 και μετά τις 15:00 επικρατεί θερμική άνεση και ελαφρά θερμική επιβάρυνση ($18^{\circ}C \leq PET < 29^{\circ}C$), ενώ 12:00-15:00 επικρατεί κυρίως μέτρια θερμική επιβάρυνση ($29^{\circ}C \leq PET < 35^{\circ}C$) με την ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση ($PET \geq 35^{\circ}C$) να εμφανίζεται μόνο στο διάστημα 13:00-13:30.
- (4): 22.04.2013, τις πρωινές ώρες έως τις 11:00, 12:00-13:30 και μετά τις 14:30 επικρατεί θερμική άνεση και ελαφρά θερμική επιβάρυνση ($18^{\circ}C \leq PET < 29^{\circ}C$), ενώ 11:00-12:00 και 13:30-14:30 επικρατεί ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση ($PET \geq 35^{\circ}C$).
- (5): 28.05.2013, 10:30-17:00 επικρατεί ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση ($PET \geq 35^{\circ}C$).
- (6): 25.06.2013, 10:00-17:00 επικρατεί ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση ($PET \geq 35^{\circ}C$).
- (7): 17.07.2013, τις πρωινές ώρες έως τις 12:00 επικρατεί ελαφρά και μέτρια θερμική επιβάρυνση ($23^{\circ}C \leq PET < 35^{\circ}C$), ενώ 12:30-16:30 επικρατεί ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση ($PET \geq 35^{\circ}C$).

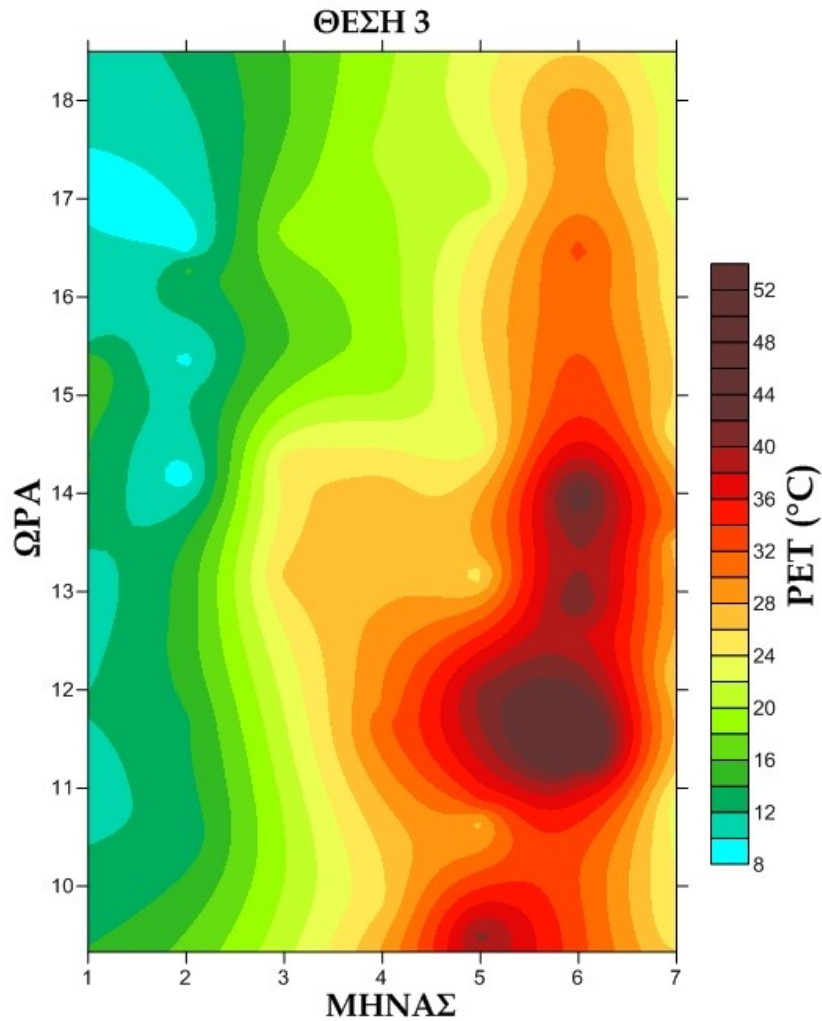


Εικόνα 49. Κατανομή των τιμών του δείκτη PET σε σχέση με το μήνα και την ώρα της ημέρας για τη θέση 2 λαμβάνοντας υπόψη τη μεταφορά της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας από τον σταθμό αναφοράς.

Στο γράφημα της εικόνας 49, όπου απεικονίζεται η κατανομή των τιμών του δείκτη PET σε σχέση με τον μήνα και την ώρα της ημέρας για το κτιριακό αίθριο (θέση 2), παρατηρούνται τα εξής :

- (1): 22.01.2013, από τις 9:00 έως τις 13:00 επικρατεί θερμική άνεση ($18^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 23^{\circ}\text{C}$) και μετά τις 13:00 επικρατεί ελαφρά και μέτρια ψυχρή επιβάρυνση ($8^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 18^{\circ}\text{C}$).
- (2): 20.02.2013, 9:00-13:30 επικρατεί ελαφρά θερμική επιβάρυνση ($23^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 29^{\circ}\text{C}$) και μετά τις 13:00 επικρατεί θερμική άνεση και ελαφρά ψυχρή επιβάρυνση ($13^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 23^{\circ}\text{C}$).

- (3): 28.03.2013, 9:00-10:00, και μετά τις 14:00-15:30 επικρατεί θερμική άνεση και ελαφρά θερμική επιβάρυνση ($18^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 29^{\circ}\text{C}$), ενώ 10:00-14:00 επικρατεί ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση ($\text{PET} \geq 35^{\circ}\text{C}$).
- (4): 22.04.2013, 9:00-10:00, 11:30-13:30, 14:30-15:30 και μετά τις 16:30 επικρατεί ελαφρά και μέτρια θερμική επιβάρυνση ($23^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 35^{\circ}\text{C}$), ενώ 10:00-11:30, 13:30-14:30 και 15:30-16:30 επικρατεί ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση ($\text{PET} \geq 35^{\circ}\text{C}$).
- (5): 28.05.2013, 9:00-18:00 επικρατεί ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση ($\text{PET} \geq 35^{\circ}\text{C}$).
- (6): 25.06.2013, 9:00-18:00 επικρατεί ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση ($\text{PET} \geq 35^{\circ}\text{C}$).
- (7): 17.07.2013, 9:00-18:00 ελαφρά και μέτρια θερμική επιβάρυνση ($23^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 35^{\circ}\text{C}$).



Εικόνα 50. Κατανομή των τιμών του δείκτη PET σε σχέση με το μήνα και την ώρα της ημέρας για τη θέση 3 λαμβάνοντας υπόψη τη μεταφορά της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας από τον σταθμό αναφοράς.

Στο γράφημα της εικόνας 50, όπου απεικονίζεται η κατανομή των τιμών του δείκτη PET σε σχέση με τον μήνα και την ώρα της ημέρας για το φυτικό αίθριο (θέση 3), παρατηρούνται τα εξής :

- (1): 22.01.2013, 9:30-18:00 επικρατεί ελαφρά και μέτρια ψυχρή επιβάρυνση ($8^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 18^{\circ}\text{C}$).
- (2): 20.02.2013, 9:30-18:00 επικρατεί ελαφρά θερμική επιβάρυνση ($13^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 18^{\circ}\text{C}$).
- (3): 28.03.2013, 9:30-18:00 επικρατεί ελαφρά ψυχρή επιβάρυνση και θερμική άνεση ($13^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 23^{\circ}\text{C}$).

- (4): 22.04.2013, τις πρωινές ώρες έως τις 14:00 επικρατεί ελαφρά και μέτρια θερμική επιβάρυνση ($23^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 35^{\circ}\text{C}$), ενώ μετά τις 14:00 επικρατεί θερμική άνεση ($18^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 23^{\circ}\text{C}$).
- (5): 28.05.2013, τις πρωινές ώρες έως τις 13:00 επικρατεί ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση ($\text{PET} \geq 35^{\circ}\text{C}$), ενώ μετά τις 13:00 επικρατεί ελαφρά και μέτρια θερμική επιβάρυνση ($23^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 35^{\circ}\text{C}$).
- (6): 25.06.2013, 9:30-11:00 και μετά τις 14:30 επικρατεί μέτρια θερμική επιβάρυνση ($29^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 35^{\circ}\text{C}$), ενώ 11:00-14:30 επικρατεί ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση ($\text{PET} \geq 35^{\circ}\text{C}$).
- (7): 17.07.2013, 9:30-18:00 επικρατεί ελαφρά θερμική επιβάρυνση ($23^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 29^{\circ}\text{C}$).

5.3 Σύγκριση γραφημάτων

Για τη σύγκριση των γραφημάτων χρονικής διακύμανσης του δείκτη PET των πειραματικών μετρήσεων (εικόνες 30, 31 και 32) και αυτών, που έχει ληφθεί υπόψη η μεταφορά της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας από τον σταθμό αναφοράς (εικόνες 42, 43 και 44), δημιουργήθηκε ο πίνακας 9.

Επιπλέον, για τη σύγκριση των γραφημάτων συχνότητας εμφάνισης (%) της κλάσης για την ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση ($\text{PET} \geq 35^{\circ}\text{C}$) για κάθε ημέρα των πειραματικών μετρήσεων (εικόνες 33, 34 και 35) και αυτών, που έχει ληφθεί υπόψη η μεταφορά της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας από τον σταθμό αναφοράς (εικόνες 45, 46 και 47), δημιουργήθηκε ο πίνακας 10.

Τέλος, για τη σύγκριση των γραφημάτων της κατανομής των τιμών του δείκτη PET σε σχέση με την ημέρα και τη διάρκεια (σε ώρες) εμφάνισης της κλάσης για την ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση ($\text{PET} \geq 35^{\circ}\text{C}$) των πειραματικών μετρήσεων (εικόνες 36, 37 και 38) και αυτών, που έχει ληφθεί

υπόψη η μεταφορά της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας από τον σταθμό αναφοράς (εικόνες 48, 49 και 50) και δημιουργήθηκε ο πίνακας 11.

Πίνακας 9. Σύγκριση χρονικής διακύμανσης του δείκτη PET για τις εξεταζόμενες θέσεις.

Σύγκριση Χρονικής διακύμανσης του δείκτη PET για τις εξεταζόμενες θέσεις				
A		B		
Θέσεις και ημέρες διεξαγωγής των πειραματικών μετρήσεων	Μέγιστη τιμή του δείκτη PET (°C) από πειραματικές μετρήσεις	Μέγιστη τιμή του δείκτη PET (°C) λαμβάνοντας υπόψη τη μεταφορά της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας από το σταθμό αναφοράς	Διαφορά Μέγιστων τιμών (A-B) (°C)	Ποσοστό διαφοράς μέγιστων τιμών του B από το A (%)
Επίπεδη ανοιχτή περιοχή (Θέση 1)				
22.01.2013	26,7	24,1	2,6	10
20.02.2013	42	37,3	4,7	11
28.03.2013	48,9	43,4	5,5	11
22.04.2013	46,8	36,6	10,2	22
28.05.2013	52	41,2	10,8	21
25.06.2013	51,2	47,4	3,8	7
17.07.2013	45,5	37,4	8,1	18
Κτιριακό αίθριο (Θέση 2)				
22.01.2013	22,5	22,2	0,3	1
20.02.2013	20,9	32,9	-12	-57
28.03.2013	50,9	45,1	5,8	11
22.04.2013	49	43,8	5,2	11
28.05.2013	55,5	46,1	9,4	17
25.06.2013	61,2	54	7,2	12
17.07.2013	41,1	36,3	4,8	12
Φυτικό αίθριο (Θέση 3)				
22.01.2013	20,7	16,2	4,5	22
20.02.2013	33,3	14,9	18,4	55
28.03.2013	19,3	26,4	-7,1	-37
22.04.2013	38,2	31,6	6,6	17
28.05.2013	47,3	40,8	6,5	14
25.06.2013	51,7	51,7	0	0
17.07.2013	43,4	30,5	12,9	30

Πίνακας 10. Σύγκριση συχνότητας εμφάνισης της κλάσης για την ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση του δείκτη PET για τις εξεταζόμενες θέσεις.

Σύγκριση Συχνότητας εμφάνισης της κλάσης για την ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση του δείκτη PET για τις εξεταζόμενες θέσεις				
	A	B		
Θέσεις και ημέρες διεξαγωγής των πειραματικών μετρήσεων	Συχνότητα εμφάνισης της κλάσης για την ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση (PET ≥ 35°C) από πειραματικές μετρήσεις (%)	Συχνότητα εμφάνισης της κλάσης για την ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση (PET ≥ 35°C) λαμβάνοντας υπόψη τη μεταφορά της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας από το σταθμό αναφοράς (%)	Διαφορά συχνότητας εμφάνισης της κλάσης για την ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση (A-B) (%)	Ποσοστό διαφοράς του B από το A (%)
Επίπεδη ανοιχτή περιοχή (Θέση 1)				
22.01.2013	0	0	0	0
20.02.2013	22,4	8,3	14,1	63
28.03.2013	42,4	22,2	20,2	48
22.04.2013	25,4	5,9	19,5	77
28.05.2013	50	16,7	33,3	67
25.06.2013	96	100	-4	-4
17.07.2013	34,9	14,3	20,6	59
Κτιριακό αίθριο (Θέση 2)				
22.01.2013	0	0	0	0
20.02.2013	0	0	0	0
28.03.2013	50,8	27,3	23,5	46
22.04.2013	27,6	30,6	-3	-11
28.05.2013	89,9	77	12,9	14
25.06.2013	100	100	0	0
17.07.2013	24,6	8,2	16,4	67
Φυτικό αίθριο (Θέση 3)				
22.01.2013	0	0	0	0
20.02.2013	0	0	0	0
28.03.2013	0	0	0	0
22.04.2013	6,3	0	6,3	100
28.05.2013	46,4	30,8	15,6	34
25.06.2013	69,5	51,2	18,3	26
17.07.2013	19,2	0	19,2	100

Πίνακας 11. Σύγκριση κατανομής των τιμών του δείκτη PET σε σχέση με την ημέρα και τη διάρκεια (σε ώρες) της εμφάνισης της κλάσης για την ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση για τις εξεταζόμενες θέσεις.

Σύγκριση κατανομής των τιμών του δείκτη PET σε σχέση με την ημέρα και τη διάρκεια (σε ώρες) της εμφάνισης της κλάσης για την ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση για τις εξεταζόμενες θέσεις				
A		B		
Θέσεις και ημέρες διεξαγωγής των πειραματικών μετρήσεων	Διάρκεια εμφάνισης της κλάσης για την ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση (PET $\geq 35^{\circ}\text{C}$) από πειραματικές μετρήσεις (h)	Διάρκεια εμφάνισης της κλάσης για την ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση (PET $\geq 35^{\circ}\text{C}$) λαμβάνοντας υπόψη τη μεταφορά της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας από το σταθμό αναφοράς (h)	Διαφορά διάρκειας εμφάνισης της κλάσης για την ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση (A-B) (h)	Ποσοστό διαφοράς του B από το A (%)
Επίπεδη ανοιχτή περιοχή (Θέση 1)				
22.01.2013	0	0	0	0
20.02.2013	1,5	1,5	0	0
28.03.2013	3	0,5	2,5	83
22.04.2013	6	2	4	67
28.05.2013	7	6,5	0,5	7
25.06.2013	7	7	0	0
17.07.2013	7	4	3	43
Κτιριακό αίθριο (Θέση 2)				
22.01.2013	0	0	0	0
20.02.2013	0	0	0	0
28.03.2013	4,5	4	0,5	11
22.04.2013	5,5	3,5	2	36
28.05.2013	9	9	0	0
25.06.2013	9	9	0	0
17.07.2013	9	9	0	0
Φυτικό αίθριο (Θέση 3)				
22.01.2013	0	0	0	0
20.02.2013	0	0	0	0
28.03.2013	0	0	0	0
22.04.2013	0	0	0	0
28.05.2013	4,5	3,5	1	22
25.06.2013	5,5	3,5	2	36
17.07.2013	1	0	1	100

Στον πίνακα 9, με βάση τις μέγιστες τιμές του δείκτη PET των πειραματικών μετρήσεων, παρατηρείται ότι οι χαμηλότερες τιμές εμφανίζονται στο φυτικό αίθριο (θέση 3), οι αμέσως μεγαλύτερες στην επίπεδη ανοιχτή περιοχή (θέση 1) και οι υψηλότερες τιμές στο κτιριακό αίθριο (θέση 2). Επιπλέον, από τον πίνακα 9 προκύπτει ότι και στις τρεις εξεταζόμενες θέσεις οι μέγιστες τιμές του PET, στις οποίες έχει ληφθεί υπόψη η μεταφορά της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας από τον σταθμό αναφοράς, είναι μικρότερες από αυτές των πειραματικών μετρήσεων, δηλαδή αυτή η προσέγγιση υποεκτιμά τις τιμές του δείκτη PET. Αναλυτικότερα, στην επίπεδη ανοιχτή περιοχή (θέση 1) το ποσοστό της διαφοράς των τιμών φθάνει το 22%, στο κτιριακό αίθριο (θέση 2) το 17% και στο φυτικό αίθριο (θέση 3) το 55%.

Στον πίνακα 10, παρατηρώντας τη συχνότητα εμφάνισης της κλάσης του δείκτη PET για την ισχυρή και ακραία επιβάρυνση ($PET \geq 35^{\circ}C$) των πειραματικών μετρήσεων, προκύπτει ότι τα χαμηλότερα ποσοστά εμφανίζονται στο φυτικό αίθριο (θέση 3), τα αμέσως μεγαλύτερα στην επίπεδη ανοιχτή περιοχή (θέση 1) και τα υψηλότερα στο κτιριακό αίθριο (θέση 2). Επιπλέον, από τον πίνακα 10 προκύπτει ότι και στις τρεις εξεταζόμενες θέσεις οι τιμές της συχνότητας εμφάνισης της κλάσης του PET για την ισχυρή και ακραία επιβάρυνση ($PET \geq 35^{\circ}C$), στις οποίες έχει ληφθεί υπόψη η μεταφορά της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας από το σταθμό αναφοράς, είναι μικρότερες από αυτές των πειραματικών μετρήσεων. Αναλυτικότερα, στην επίπεδη ανοιχτή περιοχή (θέση 1), το ποσοστό της διαφοράς των τιμών φθάνει το 77%, στο κτιριακό αίθριο (θέση 2) το 67% και στο φυτικό αίθριο (θέση 3) το 100%.

Στον πίνακα 11, παρατηρώντας τη κατανομή των τιμών του δείκτη PET σε σχέση με την ημέρα και τη διάρκεια (σε ώρες) της εμφάνισης της κλάσης για την ισχυρή και ακραία θερμική επιβάρυνση των πειραματικών μετρήσεων, προκύπτει ότι η μικρότερη διάρκεια ήταν στο φυτικό αίθριο (θέση 3), η αμέσως μεγαλύτερη στην επίπεδη ανοιχτή περιοχή (θέση 1) και η υψηλότερη στο κτιριακό αίθριο (θέση 2). Επιπλέον, από τον πίνακα 11 προκύπτει ότι και στις τρεις εξεταζόμενες θέσεις οι ώρες εμφάνισης της κλάσης του PET για την ισχυρή και ακραία επιβάρυνση ($PET \geq 35^{\circ}\text{C}$), στις οποίες έχει ληφθεί υπόψη η μεταφορά της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας από τον σταθμό αναφοράς, είναι λιγότερες από αυτές των πειραματικών μετρήσεων. Αναλυτικότερα, στην επίπεδη ανοιχτή περιοχή (θέση 1) το ποσοστό της διαφοράς των τιμών φθάνει το 83%, στο κτιριακό αίθριο (θέση 2) το 36% και στο φυτικό αίθριο (θέση 3) το 100%.

Η υπάρχουσα διαφοροποίηση των ποσοστών, που προαναφέρθηκαν, ανάμεσα στις θέσεις μελέτης είναι λογική, αφού η κάθε θέση έχει διαφορετικό συντελεστή θέασης ουράνιου θόλου (sky view factor).

Στους πίνακες 9 και 10, παρατηρούνται κάποιες αρνητικές τιμές, που υποδηλώνουν ότι η δεύτερη προσέγγιση υπερεκτιμά τις τιμές του δείκτη PET.

Περαιτέρω έρευνα απαιτείται ώστε να διερευνηθούν οι αποκλίσεις των δύο μεθόδων, διεξάγοντας μετρήσεις μεγαλύτερης χρονικής περιόδου. Επίσης, πρέπει να τονιστεί ότι ο σταθμός αναφοράς πρέπει να είναι σε τέτοια θέση ώστε ο συντελεστής ουράνιου θόλου να είναι 0, δηλαδή να μην υπάρχουν σε κοντινή απόσταση κτίρια και δένδρα, γεγονός που εν μέρει συμβαίνει στην δική μας περίπτωση στο μετεωρολογικό σταθμό της Πανεπιστημιούπολης.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα έδειξαν σημαντικές διαφορές στις τιμές του δείκτη PET ακόμη και σε πολύ κοντινές θέσεις, οι οποίες διαφέρουν μεταξύ τους ως προς τον συντελεστή θέασης ουράνιου θόλου (sky view factor).

Οι εικόνες fish-eye και οι πορείες του ήλιου έδειξαν ότι η κάθε εξεταζόμενη θέση παρουσιάζει διαφορετικές συνθήκες ακτινοβολίας κατά την περίοδο Ιανουαρίου - Ιουλίου 2013.

Η σύγκριση της συχνότητας του δείκτη PET (%) στις διάφορες θέσεις έδειξε ότι υψηλότερες τιμές εμφανίζονται στο κτιριακό αίθριο (θέση 2) και στην ανοιχτή επίπεδη περιοχή (θέση 1) απ' ότι στο φυτικό αίθριο (θέση 3). Επομένως, τα μεγαλύτερα ποσοστά της ισχυρής και ακραίας θερμικής επιβάρυνσης απαντώνται στις θέσεις 2 και 1, ενώ το φυτικό αίθριο (θέση 3) παρουσιάζει τις καλύτερες βιοκλιματικές συνθήκες. Στο κτιριακό αίθριο (θέση 2) απαντώνται οι υψηλότερες τιμές της συχνότητας των μη ευχάριστων κλάσεων του PET σε όλη την εξεταζόμενη περίοδο.

Όσον αφορά τη δεύτερη προσέγγιση, που λαμβάνει υπόψη τη μεταφορά της ολικής ακτινοβολίας από το σταθμό αναφοράς στην εξεταζόμενη θέση, έδειξε αποτελέσματα παρόμοιας διακύμανσης με αυτά των *in situ* μετρήσεων, αλλά οι τιμές του PET, που υπολογίστηκαν, υποεκτιμούν τις πραγματικές συνθήκες.

Από τα παραπάνω είναι ξεκάθαρη η ευεργετική επίδραση της ύπαρξης των δέντρων σε ένα πολύπλοκο περιβάλλον, υποδεικνύοντας ότι η φύτευση των δέντρων μεταξύ άλλων δράσεων θα μπορούσε να είναι η λύση για τη μετρίαση της ισχυρής και ακραίας θερμικής επιβάρυνσης, βελτιώνοντας έτσι την ποιότητα της ζωής στις πόλεις.

Μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να γίνει ώστε να προταθούν τρόποι μετριασμού της ακραίας θερμικής επιβάρυνσης, ιδιαίτερα σε χώρους όπου

συχνάζουν φοιτητές, όπως το κτιριακό αίθριο, με δημιουργία κατάλληλων προσομοιώσεων με τη χρήση του μοντέλου RayMan.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξενόγλωσση

- Ali - Toudert F. 2005. Dependence of the outdoor thermal on street design in hot and dry climate. *Berichte des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg*.
- Ali - Toudert F. and Mayer H. 2006. Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate. *Building and Environment*, 41: 94-108.
- Ali - Toudert F. and Mayer H. 2007. Thermal comfort in an east-west oriented street canyon in Freiburg (Germany) under hot summer conditions. *Theoretical and Applied Climatology*, 87: 223-237.
- Ali - Toudert F., Djenane M., Bensalem R. and Mayer H. 2005. Outdoor thermal comfort in the old desert city of Beni-Isguen, Algeria. *Climate Research*, 28: 243-256.
- Allaby M. 2007. *Encyclopedia of Weather and Climate*. Facts on File.
- Almeida S.P., Casimiro E. and Calheiros J. 2010. Effects of apparent temperature on daily mortality in Lisbon and Oporto, Portugal. *Environmental Health*, 9: 12.
- American Meteorology Society (AMS). 1959. *Glossary of Meteorology*. Huschke R.E. (Ed.). Boston, Massachusetts.
- Analitis A., Katsouyanni K., Biggeri A., Baccini M., Forsberg B., Bisanti L., Kirchmayer U., Ballester F., Cadum E., Goodman P.G., Hojs A., Sunyer J., Tiittanen P. and Michelozzi P. 2008. Effects of cold weather on mortality: results from 15 European cities within the PHEWE project. *American Journal of Epidemiology*, 168(12): 1397-1408.
- Andrade H., Alcoforado M.J. and Oliveira S. 2011. Perceptions of temperature and wind by users of public outdoor spaces: relationships with weather parameters and personal characteristics. *International Journal of Biometeorology*, 55: 665-680.

- ANSI/ASHRAE. 2004. Standard 55. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. American Society of Heating, Refrigerating and Air - conditioning Engineers, Atlanta, GA.
- ASHRAE. 1992. Standard 55. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. American Society of Heating, Refrigerating and Air - conditioning Engineers, Atlanta, GA.
- ASHRAE. 2005. Handbook Fundamentals (SI ed.) American Society of Heating, Refrigerating and Air - conditioning Engineers, Atlanta, GA.
- ASHRAE. 2009. Handbook Fundamentals (IP ed.) American Society of Heating, Refrigerating and Air - conditioning Engineers, Atlanta, GA.
- Atmaca I. and Yigit A. 2006. Predicting the effect of relative humidity on skin temperature and skin wettedness. *Journal of Thermal Biology*, 31: 442-452.
- Aynsley R. and Spruill M. 1990. Thermal comfort models for outdoor thermal comfort in warm humid climates and probabilities of low wind speeds. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 36: 481-488.
- Baccini M., Biggeri A., Accetta G., Kosatsky T., Katsouyanni K., Analitis A., Anderson H.R., Bisanti L., D'Ippoliti D., Danova J., Forsberg B., Medina S., Paldy A., Rabaczko D., Schindler C. and Michelozzi P. 2008. Heat effects on mortality in 15 European cities. *Epidemiology*, 19(5): 711-719.
- Balaras C., Tselepidaki M., Santamouris M., Asimakopoulos D. 1993. Calculations and statistical analysis of the environmental cooling power index for Athens, Greece. *Energy Conversion and Management*, 34: 139-146.
- Bauche J.P., Grigorieva E.A. and Matzarakis A. 2013. Human-Biometeorological Assessment of Urban Structures in Extreme Climate Conditions : The Example of Birobidzhan, Russian Far East. *Advances in Meteorology*, volume 2013, Article ID 749270, 10 pages.

- Blazejczyk K. 2001. Assessment of recreational potential of bioclimate based on the human heat balance. In : A. Matzarakis and C.R. De Freitas (Eds.), *Proceedings of the First International Workshop on Climate, Tourism and Recreation*, Neos Marmaras, Halkidiki, Greece.
- Blazejczyk K., Epstein Y., Jendritzky G., Staiger H. and Tinz B. 2012. Comparison of UTCI to selected thermal indices. *International Journal of Biometeorology*, 56: 515-535.
- Blazejczyk K., Bröde P., Fiala D., Havenith G., Holmér I., Jendritzky G., Kampmann B. and Kunert A. 2010. Principles of the new Universal Thermal Climate Index (UTCI) and its application to bioclimatic research in European scale. *Miscellanea Geographica*, 14: 91-102.
- Blazejczyk K., Jendritzky G., Bröde P., Fiala D., Havenith G., Epstein Y., Psikuta A. and Kampmann B. 2013. An introduction to the Universal Thermal Climate Index (UTCI). *Geographia Polonica*, 86(1): 5-10.
- Bleta A., Nastos P. T. and Matzarakis A. 2014. Assessment of bioclimatic conditions on Crete Island, Greece. *Regional Environmental Change*, 14: 1967-1981.
- Bouyer J., Vinet J., Delpech P. and Carré S. 2007. Thermal comfort assessment in semi-outdoor environments: Application to comfort study in stadia. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 95: 963-976.
- Bröde P., Fiala D., Blazejczyk K., Holmér I., Jendritzky G., Kampmann B., Tinz B. and Havenith G. 2012. Deriving the operational procedure for the Universal Thermal Climate Index (UTCI). *International Journal of Biometeorology*, 56(3): 481-494.
- Bruse M. and Fleer H. 1998. Simulating surface - plant - air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. *Environmental Modelling and Software*, 13: 373-384.
- Burton I., Ebi K. L. and G. McGregor. 2009. Biometeorology for Adaptation to Climate Variability and Change. In: *Biometeorology I*.

Biometeorology for Adaptation to Climate Variability and Change. Springer.

- Carmona M., Heath T., Oc T. and Tiesdell S. 2003. Public places-urban spaces: the dimensions of urban design. Architectural Press, Elsevier, Burlington.
- Charalampopoulos I. and Chronopoulou - Sereli A. 2005. Mapping the urban green area influence on the local climate under windless and light wind conditions. The case of western part of Athens, Greece. *Acta Climatologica et Chorologica*, 38-39:25-31.
- Charalampopoulos I., Tsiros I., Chronopoulou-Sereli A. and Matzarakis A. 2013. Analysis of thermal bioclimate in various urban configurations in Athens, Greece. *Urban Ecosystems*, 16: 217-233.
- Collins K.J. 1983. Hypothermia - The facts. Oxford University Press, New York.
- Curriero F.C., Heiner K.S., Samet J.M., Zeger S.L., Strug L. and Patz J.A. 2002. Temperature and mortality in 11 cities of eastern United States. *American Journal of Epidemiology*, 155: 80-87.
- De Freitas C.R. 2003. Tourism climatology: evaluating environmental information for decision making and business planning in the recreation and tourism sector. *International Journal of Biometeorology*, 4: 45-54.
- Didaskalou E. and Nastos P. 2003. The role of climatic and bioclimatic conditions in the development of health tourism product. *Anatolia*, 14(2): 107-126.
- Epstein Y. and Moran D. S. 2006. Thermal comfort and the heat stress indices. *Industrial Health*, 44: 388-398.
- Fänger P.O. 1972. Thermal Comfort : analysis and applications in environmental engineering. McGraw-Hill Book Company, New York.
- Fiala D., Havenith G., Bröde P., Kampmann B. and Jendritzky G. 2012. UTCI -Fiala multi-node model of human heat transfer and temperature regulation. *International Journal of Biometeorology*, 56(3): 429-441.

- Flach E. 1957. Grundbegriffe und Grundtatsachen der Bioklimatologie. In: Linkes Meteorologisches Taschenbuch, neue Ausgabe III, Leipzig : Akademischer Verlag.
- Gulyás Á. and Matzarakis A. 2007. Selected examples of bioclimatic analysis applying the physiologically equivalent temperature in Hungary. *Acta Climatologica Et Chorologica, Universitatis Szegediensis*, tomus 40-41: 37-46.
- Gulyás Á., Unger J. and Matzarakis A. 2006. Assessment of the microclimatic and thermal comfort conditions in a complex urban environment: modelling and measurements. *Building and Environment*, 41: 1713-1722.
- Hajat S. and Kosatky T. 2010. Heat-related mortality: a review and exploration of heterogeneity. *Journal of Epidemiology & Community Health*, 64: 753-760.
- Hamilton J.M. and Lau M.A. 2005. The role of climate information in tourist destination choice decision-making. *Proceedings of the 17th international congress of biometeorology*, pp 608-611.
- Harlan S. L., Brazel A. J., Prashad L., Stefanow W.L. and Larsen L. 2006. Neighborhood micro-climates and vulnerability to heat stress. *Social Science and Medicine*, 63: 2847-2863.
- Havenith G., Fiala D., Blazejczyk K., Richards M., Bröde P., Holmér I., Rintamaki H., Benshabat Y. and Jendritzky G. 2012. The UTCI-clothing model. *International Journal of Biometeorology*, 56(3): 461-470.
- Höppe P. 1992. A new method to determine the mean radiant temperature outdoors. *Wetter und Leben*, 44: 147-151.
- Höppe P. 1993. Heat balance modelling. *Experientia*, 49: 741-746.
- Höppe P. 1999. The physiological equivalent temperature - a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environmental. *International Journal of Biometeorology*, 43: 71-75.

- Höppe P. and Seidl H. 1991. Problems in the assessment of the bioclimate for vacationists at the seaside. *International Journal of Biometeorology*, 35: 107-110.
- Höppe P. und Mayer H. 1987. Planungsrelevante Bewertung der thermischen Komponente des Stadtklimas. *Landschaft und Stadt*, 19: 22-29.
- INNOVA. 2002. Thermal Comfort. Innova AirTech Instruments. Ballerup, Denmark.
- ISO 9920. 1995. Ergonomics of the thermal environment - estimation of the thermal insulation and evaporative resistance of clothing ensemble. International Standardization Organization, Geneva, Switzerland.
- ISO. 1985. ISO Standard 7726. Thermal environments – Instruments and methods for measuring physical quantities. International Standardization Organization, Geneva, Switzerland.
- ISO. 1993. Evaluation of cold environments - determination of required clothing insulation (IREQ). ISO Technical Report TR 11079. International Standardization Organization, Geneva, Switzerland.
- ISO. 1998. ISO Standard 7726. Ergonomics of the thermal environments – Instruments for measuring physical quantities. International Standardization Organization, Geneva, Switzerland.
- Johansson E. and Rohinton E. 2006. The influence of urban design on outdoor thermal comfort in the hot, humid city of Colombo, Sri Lanka. *International Journal of Biometeorology*, 51: 119-133.
- Kampmann B., Bröde P., Havenith G. and Jendritzky G. 2008. Der Entwicklungsstand des klimatischen Belastungs-Index UTCI. [in:] Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, Produkt und Produktions-Ergonomie – Aufgabe für Entwickler und Planer, vol. 54, Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, Dortmund: GfA Press, pp.243-246.
- Kántor N., Égerházi L. and Unger J. 2012 a. Subjective estimation of thermal environment in recreational urban spaces –Part 1:

investigations in Szeged, Hungary. *International Journal of Biometeorology*, 56: 1075–1088.

- Kántor N., Unger J. and Gulyás Á. 2012b. Subjective estimations of thermal environment in recreational urban spaces – Part 2: international comparison. *International Journal of Biometeorology*, 56: 1089–1101.
- Karapiperis P. 1961. The Variability of Climatic Temperature in Rome and Athens. *Geophysica*, 8: 63–70.
- Katsoulis B. 1987. Indications of change of climate from analysis of air temperature time series in Athens, Greece. *Climatic Change*, 10: 67–79.
- Knez I. and Throsson S. 2006. Influences of culture and environmental attitude on thermal, emotional and perceptual evaluations of a public square. *International Journal of Biometeorology*, 50: 258–268.
- Kuttler W. 2000. Stadtklima. In: *Handbuch der Umweltveränderungen und Ökotoxologie*, Band 1B: Atmosphäre (Hrsg.) Guderian R, Springer, New York.
- Lee H., Holst J. and Mayer H. 2013. Modification of human-biometeorologically significant radiant flux densities by shading as local method to mitigate heat stress in summer within urban street canyons. *Advances in Meteorology*, 06/2013: 1–13.
- Lin T.P., Hwang C.C. and Cheng H.Y. 2006. The influence of climate information on travel arrangements. In: *Proceedings of the 8th leisure, recreation and tourism research symposium*, Taipei, 7 October 2006. Outdoor Recreation Association, Taipei, pp 120–126.
- Lindberg F. and Grimmond C.S.B. 2011. The influence of vegetation and building morphology on shadow patterns and mean radiant temperatures in urban areas: model development and evaluation. *Theoretical Applied Climatology*, 105: 311–323.
- Lindberg F., Holmer B. and Thorsson S. 2008. SOLWEIG 1.0 - Modelling spatial variations of 3D radiant fluxes and mean radiant temperature in

complex urban setting. *International Journal of Biometeorology*, 52: 697-713.

- Matzarakis A. and Mayer H. 1996. Another kind of environmental stress: thermal stress. NEWSLETTERS no. 18, WHO Collaborating Centre for Air Quality Management and Air Pollution Control. pp 7-10.
- Matzarakis A. and Nastos P.T. 2011. Analysis of tourism potential for Crete Island, Greece. *Global NEST Journal*, 13: 141-149.
- Matzarakis A. and Rutz F. 2005. Application of RayMan for tourism and climate investigations. *Annalen der Meteorologie*, 41(2): 631-636.
- Matzarakis A. and Rutz F. 2007. RayMan: A tool for tourism and applied climatology. In: A. Matzarakis, C. R. de Freitas, D. Scott (Eds.). *Developments in Tourism Climatology*, pp. 129-138.
- Matzarakis A., De Rocco M. and Najjar G. 2009. Thermal bioclimate in Strasburg - The 2003 heat wave . *Theoretical Applied Climatology*, 98: 209-220.
- Matzarakis A., Endler C. and Nastos P.T. 2014. Quantification of climate-tourism potential for Athens, Greece - recent and future climate simulations. *Global NEST Journal*, 16(1): 43-51.
- Matzarakis A., Matuschek O., Neumcke R., Rutz F., Zalloom M. and Endler C. 2008. Tools for biometeorological and climatological studies. *Proceedings 18th International Congress on Biometeorology Tokio*.
- Matzarakis A., Mayer H. and Iziomon M.G. 1999. Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. *International Journal of Biometeorology*, 43: 76-84.
- Matzarakis A., Rutz F. and Mayer H. 2007. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: application of the RayMan model. *International Journal of Biometeorology*, 51: 323-334.
- Matzarakis A., Rutz F. and Mayer H. 2010. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments - Basics of the RayMan model. *International Journal of Biometeorology*, 54: 131-139.

- Mayer H. and Höppe P. 1987. Thermal Comfort of man in different urban environments. *Theoretical and Applied Climatology*, 38:43-49
- Michelozzi P., Kirchmayer U., Katsouyanni K., Biggeri A., McGregor G., Menne B., Kassomenos P., Anderson H.R., Baccini M., Accetta G., Analytis A. and Kosatsky T. 2007. Assessment and prevention of acute health effects of weather conditions in Europe, the PHEWE project: background, objectives, design. *Environmental Health*, 6: 12.
- Mochida A. and Lun I.Y.F. 2008. Prediction of wind environment and thermal comfort at pedestrian level in urban area. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 96: 1498-1527.
- Moustris K.P., Nastos P.T., Larissi I.K. and Paliatsos A.G. 2014. Assessment of biometeorological conditions within the greater Athens area. In: Kanakidou M., Mihalopoulos N. and Nastos P. (Eds), *Abstracts and e-contributions of 12th International Conference of Meteorology, Climatology and Physics of the Atmosphere*, Heraklion 28-31 May, vol. 2, pp.272-276. Crete University Press.
- Nastos P. and Zerefos C. 2009. Spatial and temporal variability of consecutive dry and wet days in Greece. *Atmospheric Research*, 94: 616–628.
- Nastos P.T. and Matzarakis A. 2006. Weather impacts on respiratory infections in Athens, Greece. *International Journal of Biometeorology*, 50: 358–369.
- Nastos P.T. and Matzarakis A. 2008a. Bioclimatic conditions, trends and variability at the University Campus of Athens, In: *Proceedings of the 9th Conference of Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics*, Department of Meteorology-Climatology, School of Geology, Aristotle University of Thessaloniki (Ed.) in collaboration with the Hellenic Meteorological Society, Thessaloniki, Greece 28-31 May 2008, 925-932 (in Greek).

- Nastos P.T. and Matzarakis A. 2008b. Variability of tropical days over Greece within the second half of the twentieth century. *Theoretical and Applied Climatology*, 93: 75-89.
- Nastos P.T. and Matzarakis A. 2012. The effect of air temperature and human thermal indices on mortality in Athens. *Theoretical and Applied Climatology*, 108: 591-599.
- Nastos P.T. and Matzarakis A. 2013. Human Bioclimatic Conditions, Trends, and Variability in the Athens University Campus, Greece. *Advances in Meteorology*, volume 2013, Article ID 976510, 8 pages.
- Nastos P.T., Eleftheroudis K.A., Chalkias C. and Matzarakis A. 2012. Application of urban micro models for assessment of bioclimatic conditions within the wider Athens area, Greece. *EMS Annual Meeting Abstracts*, vol.9
- Németh A. 2011. Changing thermal bioclimate in some Hungarian cities. *Acta Climatologica et Chorologica, Universitatis Szegediensis*, tomus 44-45: 93-101.
- Nikolopoulou M. and Lykoudis S. 2006. Thermal comfort in outdoor urban spaces: analysis across different European countries. *Building and Environment*, 41: 1455-1470.
- Nikolopoulou M. and Steemers K. 2003. Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces. *Energy and Buildings*, 35: 95-101.
- Oliveira S. and Andrade H. 2007. An initial assessment of the bioclimatic comfort in an outdoor public space in Lisbon. *International Journal of Biometeorology*, 52: 69-84.
- Oliver J. E. 2005. *Encyclopedia of World Climatology*. Springer.
- Parsons K.C. 1993. *Human Thermal Environments*. London Taylor and Francis.

- Parsons K.C. 1999. International Standards for the Assessment of the Risk of Thermal Strain on Clothed Workers in Hot Environments. *The Annals of Occupational Hygiene*, 43 (5): 297-308.
- Philandras C. M., Metaxas D.A. and Nastos P.T. 1999. Climate variability and Urbanization in Athens. *Theoretical and Applied Climatology*, 63: 65-72.
- Schwartz J., Samet J. and Patz J. 2004. Hospital admissions for heart disease: the effects of temperature and humidity. *Epidemiology*, 15:755-761.
- Shashua-Bar L., Tsiros I. and Hoffman M. 2012. Passive cooling design options to ameliorate thermal comfort in urban streets of a Mediterranean climate (Athens) under hot summer conditions. *Building and Environment*, 57: 110-119.
- Svensson M.K. and Eliasson I. 2002. Diurnal air temperatures in built-up areas in relation to urban planning. *Landscape and Urban Planning*, 61: 37-54.
- Taffé P. 1997. A qualitative response model of thermal comfort. *Building and Environment*, 32: 115-121.
- Thorsson S., Lindberg F., Eliasson I. and Holmer B. 2007a. Different methods for estimating the mean radiant temperature in an outdoor urban setting. *International Journal of Climatology*, 27: 1983-1993.
- Thorsson S., Honjo T., Lindberg F., Eliasson I. and Lim E. 2007b. Thermal comfort and outdoor activity in Japanese Urban Public Places. *Environment Behaviour*, 39: 1-25.
- Thorsson S., Lindqvist M. and Lindqvist S. 2004. Thermal bioclimatic conditions and patterns of behaviour in an urban park in Göteborg, Sweden. *International Journal of Biometeorology*, 48: 149-156.
- Tuller S. 1997. Climatic controls of the cool human thermal sensation in a summertime on shore wind. *International Journal of Biometeorology*, 41: 26-33.

- VDI. 1994. VDI guideline 3789. Part 2: Environmental Meteorology, Interactions between Atmosphere and Surfaces; Calculation of the short- and long wave radiation. Beuth, Berlin.
- VDI. 1998. VDI guideline 3787, Part I: Environmental Meteorology, Methods for the human biometeorological evaluation of climate and air quality for the urban and regional planning at regional level. Part I: Climate. Beuth, Berlin.
- Walton D., Dravitzky V. and Donn M. 2007. The relative influence of wind, sunlight and temperature on user comfort in urban outdoor spaces. *Building and Environment*, 42:3166-3175.
- World Meteorological Organisation (WMO). 1954. Meteorological Monographs, In: Sargent F. and R.G. Stone (Eds.), Recent studies in Bioclimatology : A Group of Contributions.
- World Meteorological Organisation (WMO). 2004. Guidelines on Biometeorology and Air Quality forecasts. TD 1184. Series Geneva, Switzerland.

Ελληνική

- Κοτσιρης Γ.Α. 2007. Θερμική Άνεση. Εκδόσεις Ίων, Αθήνα.
- Ματζαράκης Α. 1995. Ανθρωποβιομετεωρολογική Εκτίμηση του Κλίματος της Ελλάδος. Διδακτορική Διατριβή. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Μπαλτάς Ε.Α. 2006. Εφαρμοσμένη μετεωρολογία. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
- Ντούνης Ι.Α. 1992. Έμπειρο σύστημα ασαφούς λογικής για τον έλεγχο της θερμικής και οπτικής άνεσης στα κτίρια. Διδακτορική διατριβή, Εθνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Παπαδόπουλος Α. 2006. Η Οδηγία 2002/91/EC για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων, Θερμική Άνεση στα Κτίρια, Νέα Πρότυπα και

Βελτίωση Θερμικής Άνεσης στα Κτίρια. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

- Παπαδοπούλου Γ., Γεωργίου Ε., Μαμάσης Ν. και Μιμίκου Μ. 2010. Εκτίμηση χωρικής κατανομής κλιματικών και βιοκλιματικών δεικτών στην περιοχή της Αττικής με χρήση δεδομένων του Δικτύου METEONET. Τεχνικά Χρονικά, Επιστημονική Έκδοση ΤΕΕ, τόμος 1: τεύχος 1.
- Φλόκας Α. 1997. Μαθήματα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
- Χρονοπούλου - Σερέλη Α. και Φλόκας Α. 2010. Μαθήματα Γεωργικής Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
- Χρονοπούλου - Σερέλη Α. και Χρονόπουλος Ι. 2011. Βιομετεωρολογία - Βιοκλιματολογία. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

Ιστότοποι

- www.skymap.gr
- www.uoa.gr