



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ
ΤΩΝ ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΥΠΑΙΘΡΙΩΝ ΧΩΡΩΝ ΜΕ
ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΙΩΑΝΝΗ Ν. ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΠΟΥΛΟΥ

ΥΠΟΒΛΗΘΗΚΕ ΣΤΟ ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΑΘΗΝΑ 2009

Επιβλέπουσα: Καθηγήτρια Αικατερίνη Χρονοπούλου-Σερέλη



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ
ΤΩΝ ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΥΠΑΙΘΡΙΩΝ ΧΩΡΩΝ ΜΕ
ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΙΩΑΝΝΗ Ν. ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΠΟΥΛΟΥ

ΥΠΟΒΛΗΘΗΚΕ ΣΤΟ ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΑΘΗΝΑ 2009

Επιβλέπουσα: Καθηγήτρια Αικατερίνη Χρονοπούλου-Σερέλη

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ
ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ
ΤΩΝ ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΥΠΑΙΘΡΙΩΝ ΧΩΡΩΝ ΜΕ
ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ

ΙΩΑΝΝΗΣ Ν. ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΠΟΥΛΟΣ

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

Επιβλέπουσα:

Αικ. Χρονοπούλου – Σερέλη, Καθηγήτρια Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών.

Μέλη:

Α. Ματζαράκης, Καθηγητής Πανεπιστημίου Freiburg, Γερμανίας.

Ι. Τσίρος, Επίκ. Καθηγητής Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών

Εξεταστική Επιτροπή

Δ. Ασημακόπουλος, Καθηγητής Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών

Θ. Καρακώστας, Καθηγητής Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης

Α. Ματζαράκης, Καθηγητής Πανεπιστημίου Freiburg Γερμανίας

Αικ. Χρονοπούλου-Σερέλη, Καθηγήτρια Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών

Π. Νάστος, Ανάπ. Καθηγητής Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών

Μ. Παπαφωτίου, Ανάπ. Καθηγήτρια Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών

Ι. Τσίρος, Επίκ. Καθηγητής Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών

Περίληψη

Οι βιοκλιματικές συνθήκες και ειδικά αυτές που σχετίζονται με τη θερμική άνεση του ανθρώπου είναι πλέον μια καίρια συνιστώσα της ποιότητας ζωής γιατί επιδρούν άμεσα στην υγεία, στην οικονομία και στην ευημερία των πολιτών. Αυτές διαμορφώνονται από πολλούς παράγοντες, μετεωρολογικούς και περιβαλλοντικούς. Όμως ακόμα και οι μετεωρολογικοί παράγοντες είναι υπό ορισμένη κλίμακα επηρεαζόμενοι από το περιβάλλον του ανθρώπου και τη διαμόρφωση του.

Οι υπαίθριοι χώροι είναι θέσεις όπου ο άνθρωπος περνά πολύ μεγάλο μέρος του χρόνου του. Επιπρόσθετα στους χώρους αυτούς δεν είναι δυνατό να παρέμβει ο άνθρωπος δραστικά για να διαμορφώσει το μικροκλίμα τους όπως γίνεται σε εσωτερικούς χώρους με την τεχνητή θέρμανση και ψύξη. Άρα ο μόνος τρόπος για να επιτευχθεί ικανοποιητική θερμική αίσθηση για τον άνθρωπο στους χώρους αυτούς, είναι η σωστή σχεδίαση και υλοποίησή τους όπου αυτό είναι δυνατό. Για το λόγο αυτό απαιτείται λεπτομερής κατανόηση της βιοκλιματικής λειτουργίας και των παραγόντων που συμβάλουν σε αυτή. Στο πλαίσιο αυτής της διατριβής αναπτύχθηκε μεθοδολογία η οποία περιγράφει και αξιολογεί τις βιοκλιματικές συνθήκες χώρων με διαφορετική διαμόρφωση.

Έγινε κατηγοριοποίηση των μετεωρολογικών συνθηκών (κατάστασης ουρανού και ταχύτητας ανέμου) και εκτίμηση της ταχύτητας του ανέμου σε κάθε μελετώμενο υπαίθριο χώρο. Ορίστηκαν επίσης αιτιολογημένοι κανόνες βάσει των οποίων πρέπει να γίνεται λήψη των μετρήσεων και αναπτύχθηκε μια σειρά παραμέτρων με τις οποίες γίνεται αξιολόγηση της επιφερόμενης θερμικής επιβάρυνσης του ανθρώπου κατά την παραμονή του στους υπαίθριους αυτούς χώρους.

Η εφαρμογή και αξιολόγηση της μεθοδολογίας έγινε σε 7 επιλεγμένες διαμορφώσεις υπαίθριων χώρων του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών από τις οποίες λαμβάνονταν μετεωρολογικά δεδομένα για 3 έτη. Το πλήθος των πρωτογενών μετρήσεων ξεπέρασε τον αριθμό των 11,000,000 και από τα 7 σημεία μέτρησης. Με τη χρήση του λογισμικού ENVI-met έγινε εκτίμηση της ταχύτητας ανέμου όπως προέβλεπε η μεθοδολογία και ακολούθησε ο υπολογισμός του δείκτη Physiological Equivalent Temperature (PET) με το μοντέλο-λογισμικό RayMan Pro. Με την εφαρμογή νέων παραμέτρων θερμικής επιβάρυνσης (ΑΘΕ, ΗμΘΕ και ΝυΘΕ) και σχετικής θερμικής επιβάρυνσης

(ΣχΑΘΕ, ΣχΗμΘΕ και ΣχΝυΘΕ) διερευνήθηκε λεπτομερώς η συμπεριφορά της κάθε διαμόρφωσης χώρου όσον αφορά στη θερμική αίσθηση του ανθρώπου.

Από τη λεπτομερή εφαρμογή και αξιολόγηση της μεθοδολογίας διαπιστώθηκε ότι η διαμορφούμενη θερμική αίσθηση του ανθρώπου και η συνεπακόλουθη θερμική επιβάρυνση ως αποτέλεσμα της διαμόρφωσης του υπαίθριου χώρου, εξαρτάται από την εποχή του έτους και τις επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες. Έτσι, για παράδειγμα το κτηριακό αίθριο που μελετήθηκε, ενώ ήταν η βέλτιστη διαμόρφωση για την παραμονή του ανθρώπου κατά το χειμώνα, (44.1 μονάδες ΣχΗμΘΕ, κλάση 4) ήταν η λιγότερο αποδοτική κατά το καλοκαίρι (-45.4 μονάδες ΣχΗμΘΕ, κλάση 4).

Επιπρόσθετα, πέραν της γεωμετρικής διαμόρφωσης του χώρου διαπιστώθηκε ότι το κυρίαρχο υλικό έχει σημαντική επίδραση στη διαμόρφωση των βιοκλιματικών συνθηκών αφού το φυτικό αίθριο που μελετήθηκε ήταν μια πολύ αποδοτική διαμόρφωση κατά το καλοκαίρι (99.2 μονάδες ΣχΗμΘΕ, κλάση 1) όταν κατά την ίδια εποχή και μετεωρολογική κλάση το κτηριακό αίθριο ήταν η χειρότερη (-44.2 μονάδες ΣχΗμΘΕ). Επίσης όσο αυξάνει η ταχύτητα του ανέμου και μειώνεται η εισερχόμενη ακτινοβολία τόσο μικρότερες είναι οι διαφορές στη βιοκλιματική απόδοση των συγκρινόμενων υπαίθριων χώρων.

Τέλος, η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε και τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή της σε πραγματικές συνθήκες, έδειξαν ότι αξιοποιώντας την είναι δυνατή η διάκριση και η καταγραφή της βιοκλιματικής συμπεριφοράς των υπαίθριων χώρων με μεγαλύτερη λεπτομέρεια σε κάθε εποχή του έτους και υπό διαφορετικές μετεωρολογικές συνθήκες. Δηλαδή, έγινε εφικτή η ολοκληρωμένη και σε βάθος αξιολόγηση των βιοκλιματικών συνθηκών που προσφέρουν οι μελετώμενες διαμορφώσεις περιβάλλοντος χώρου.

Επιστημονική Περιοχή: Μετεωρολογία, Βιοκλιματολογία

Λέξεις Κλειδιά:, Θερμική αίσθηση, διαμόρφωση περιβάλλοντος, μεθοδολογία, θερμική επιβάρυνση, βιοκλιματικές συνθήκες.

Abstract

The methodology deals with human thermal comfort and human thermal stress. The major aim of this methodology is the investigation and quantification of thermal comfort conditions as they configured in open spaces under different meteorological conditions. In order to reach those aims, a new meteorological conditions approach based on Global Radiation, Sun Duration and Wind Speed parameters was applied. Also two sets of new parameters were applied to focus on human thermal stress. The first includes Accumulative Thermal Stress (ATS), Diurnal Thermal Stress (DTS) and Nocturnal Thermal Stress (NTS) when the second one includes Relative Accumulative Thermal Stress (RATS), Relative Diurnal Thermal Stress (RDTS) and Relative Nocturnal Thermal Stress (RNTS).

This methodology was applied at seven selected open spaces located in the campus of the Agricultural University of Athens, Greece. The application lasted more than 3 years and almost 11.000.000 measurements were carried out. In order to evaluate human thermal comfort and stress Physiological Equivalent Temperature (PET) index was used. The major PET calculations were made using RayMan Pro software. Seven different types of open spaces were selected for methodology application: a) reference space, b) building atrium, c) green atrium, d) garden, e) arboretum, f) park and g) ornamental green.

The results indicate the strong influence of open spaces configuration and various meteorological conditions on human thermal comfort and stress. For example, the most beneficial open space was the Building Atrium at winter (44.1 RDTS units, class 4) when the same place was under the most stressful conditions at summer season (-45.4 RDTS units, class 4). Additionally, geometrical design and dominant material at each open space indicates strong influence on thermal conditions. So, Green Atrium forms low thermal stress conditions at summer (99.2 RDTS units, class 1) when at Building Atrium RDTS parameter measure -44.2 units at the same meteorological class.

The application results indicate high sensitivity on human thermal comfort and stress conditions. The applied methodology is suitable for an integrated investigation of bioclimatic conditions under various meteorological conditions as a consequence of open space configuration. Finally, the results of the study

may provide useful information and quantitative data for planning and constructing urban structures and their surrounding environment.

Scientific branch: Bioclimatology, Meteorology

Keywords: Thermal sensation, Environmental configuration, methodology, thermal stress, bioclimatic conditions

Στους γονείς μου, Νίκο και Κατερίνα

Η έγκριση της παρούσας διατριβής υπό του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα (Ν. 5343/1932 άρθρο 202, παρ. 2)

Κατάλογος Εικόνων _____	3
Κατάλογος Πινάκων _____	9
Πρόλογος και Ευχαριστίες _____	11
1. Γενικό μέρος _____	13
1.1 Εισαγωγικές έννοιες _____	13
1.1.1 Βιομετεωρολογία – Βιοκλιματολογία _____	13
1.1.2. Βιοκλιματολογία και ανθρώπινος οργανισμός _____	14
1.1.3. Βιομετεωρολογικοί – Βιοκλιματικοί δείκτες _____	15
1.2. Βασικές παράμετροι που επηρεάζουν τη θερμική αίσθηση _____	17
1.2.1. Ακτινοβολία _____	18
1.2.1.1. Θερμοκρασία ακτινοβολίας και μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας _____	19
1.2.2. Θερμοκρασία Αέρος _____	23
1.2.3. Ταχύτητα ανέμου _____	24
1.2.4. Υγρασία _____	25
1.3. Το θερμικό ισοζύγιο του ανθρώπου _____	27
1.3.1. Φυσιολογικές διεργασίες και θερμοφυσιολογία του ανθρώπου _____	28
1.4. Διαμόρφωση περιβάλλοντος και βιοκλιματικές συνθήκες _____	31
1.4.1. Γεωμετρία του χώρου _____	32
1.4.2. Υλικά _____	36
1.4.3. Βλάστηση _____	38
2. Περιγραφή μεθοδολογίας εκτίμησης της θερμικής επιβάρυνσης υπαίθριων χώρων διαφορετικής διαμόρφωσης _____	43
2.1. Υφιστάμενη γνώση – Αναγκαιότητα ανάπτυξης μεθοδολογίας _____	43
2.2. Στάδια ανάπτυξης μεθοδολογίας _____	48
2.2.1. Στάδιο 1°. Μελέτη και αξιολόγηση των χαρακτηριστικών της ερευνώμενης περιοχής _____	48
2.2.2. Στάδιο 2°. Επιλογή βιοκλιματικού δείκτη _____	50
2.2.3. Στάδιο 3°. Απαραίτητα μετεωρολογικά δεδομένα – Εγκατάσταση οργάνων – Λήψη δεδομένων _____	54
2.2.4. Στάδιο 4°. Εκτίμηση παραμέτρων ηλιακής ακτινοβολίας και έντασης ανέμου για τον υπολογισμό του δείκτη PET στις διαφορετικές διαμορφώσεις _____	56
2.2.5. Στάδιο 5°. Κατηγοριοποίηση ημερών με κοινά μετεωρολογικά χαρακτηριστικά _____	66

2.2.6. Στάδιο 6°. Διαδικασία υπολογισμού του δείκτη PET	72
2.2.7. Στάδιο 7°. Εκτίμηση και αξιολόγηση της θερμικής αίσθησης διαφορετικών διαμορφώσεων χώρου	76
2.2.8. Στάδιο 8°. Εκτίμηση της Θερμικής Επιβάρυνσης του ανθρώπου	78
3. Εφαρμογή της μεθοδολογίας	82
3.1. Περιοχή μελέτης	82
3.1.1. Επιλεγμένες διαμορφώσεις περιβάλλοντος χώρου και εντοπισμός τους	83
3.2. Εξοπλισμός - Μετρήσεις	90
3.3. Υπολογισμοί	94
3.3.1. Κατηγοριοποίηση στις Μετεωρολογικές Κλάσεις	94
3.3.2. Εκτίμηση της ηλιακής ακτινοβολίας και της ταχύτητας ανέμου στα σημεία μελέτης	95
3.3.3. Εκτίμηση των Βιοκλιματικών Συνθηκών.	98
3.4. Αποτελέσματα εφαρμογής της μεθοδολογίας και βιοκλιματική αξιολόγηση των διαφορετικών διαμορφώσεων	100
3.4.1. Κλάση 1, Χειμώνας	100
3.4.2. Κλάση 1, Άνοιξη	107
3.4.3. Κλάση 1, Καλοκαίρι	113
3.4.4. Κλάση 1, Φθινόπωρο	117
3.4.5. Κλάση 2, Χειμώνας	122
3.4.6. Κλάση 2, Άνοιξη	127
3.4.7. Κλάση 2, Καλοκαίρι	132
3.4.8. Κλάση 2, Φθινόπωρο	137
3.4.9. Κλάση 3, Χειμώνας	141
3.4.10. Κλάση 3, Άνοιξη	146
3.4.11. Κλάση 3, Καλοκαίρι	152
3.4.12. Κλάση 3, Φθινόπωρο	157
3.4.13. Κλάση 4, Χειμώνας	162
3.4.14. Κλάση 4, Άνοιξη	166
3.4.15. Κλάση 4, Καλοκαίρι	172
3.4.16. Κλάση 4, Φθινόπωρο	177
4. Συμπεράσματα	182
Αναφορές	189

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1. Το μέγεθος της επιφάνειας ενός ατόμου στην οποία επιδρά η άμεση ηλιακή ακτινοβολία ως συνάρτηση του ύψους του ηλίου (altitude) και του αζιμούθιου (azimuth) κατά Parsons 1993. _____ 20

Εικόνα 2. Όργανο μέτρησης της παραμέτρου T_{mrt} . A) Τριπλό όργανο για ταυτόχρονη μέτρηση από όλες τις γωνίες (Thorsson et al. 2007a). B) Σχήμα απλού οργάνου που μπορεί να περιστραφεί για να μετρήσει και υπό όλες τις επιθυμητές γωνίες (Matzarakis 2001). _____ 23

Εικόνα 3. Μηχανικό ανάλογο του μηχανισμού θερμορύθμισης του ανθρώπινου σώματος (Parsons 1993). _____ 30

Εικόνα 4. A) Σχηματική απεικόνιση των H και W - ύψος και απόσταση κτηρίων. B) Σχηματική απεικόνιση του Συντελεστή Θέασης Ουράνιου Θόλου -Sky View Factor. Τροποποιημένη Εικόνα από Oke 1981. _____ 34

Εικόνα 5. Χαρακτηριστικές τιμές λευκαύγειας (Albedo) των κυριάρχων υλικών του αστικού περιβάλλοντος από Akbari 1992
_____ 37

Εικόνα 6. Οι βασικές λειτουργίες των δένδρων που επιδρούν στο αστικό περιβάλλον. Τροποποιημένη εικόνα από Akbari 1992. _____ 39

Εικόνα 7. Σχηματική απεικόνιση της επίδρασης του αστικού πράσινου επί της θερμοκρασίας αέρος. Τροποποιημένη από Brown and Gillespie 1995 _____ 40

Εικόνα 8. Το λογισμικό ENVI-met. A: Πίνακας εισαγωγής δεδομένων. B: Αποτέλεσμα προσομοίωσης χωρικής κατανομής θερμοκρασίας σε αστικό πάρκο και στον περιβάλλοντα αστικό ιστό. C&D: Τρισδιάστατη απεικόνιση σχεδιασμένων διαμορφώσεων. _____ 61

Εικόνα 9. Λεπτομέρεια από το περιβάλλον εισαγωγής διαμορφώσεων του λογισμικού ENVI-met. _____ 62

Εικόνα 10. Βασική οθόνη διαχείρισης λογισμικού ENVI-met. 64

Εικόνα 11. Χωρική κατανομή της ταχύτητας ανέμου στο χώρο του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών όπως προέκυψε από την

προσομοίωση του λογισμικού ENVI-met (γκρίζο χρώμα: κτηριακές εγκαταστάσεις του ΓΠΑ).	65
Εικόνα 12. Συγκριτικό διάγραμμα ημέρας όπου η GR_{act} ήταν περίπου 32% της GR_{max} , κατά τη διάρκεια του χειμώνα	69
Εικόνα 13. Η GR_{act} κατά τη διάρκεια δυο ημερών με πολύ υψηλή ηλιοφάνεια αλλά σε διαφορετικές εποχές του έτους.	71
Εικόνα 14. Συνοπτικό διάγραμμα λειτουργίας του λογισμικού RayMan Pro	73
Εικόνα 15. Μερικές απεικονίσεις από το πολλαπλό σύστημα εισαγωγής δεδομένων του υπολογιστικού λογισμικού RayMan Pro.	75
Εικόνα 16. Η ημερήσια κύμανση του δείκτη PET στη θέση p5 κατά τα 24ωρα που εντάσσονται στο καλοκαίρι, κλάση 2 (A) και η μέση κύμανση που προέκυψε από αυτά (B).	77
Εικόνα 17. (A) Διάγραμμα του χώρου του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών με τα σημεία μετρήσεων. (B) Αεροφωτογραφία του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών.	83
Εικόνα 18. Θέση του σημείου 1 (p1) και ο ορίζοντας όπως φαίνεται από το σημείο αυτό.	84
Εικόνα 19. Θέση του σημείου 2 (p2) και ο ορίζοντας όπως φαίνεται από το σημείο αυτό.	85
Εικόνα 20. Θέση του σημείου 3 (p3) και ο ορίζοντας όπως φαίνεται από το σημείο αυτό.	86
Εικόνα 21. Θέση του σημείου 4 (p4) και ο ορίζοντας όπως φαίνεται από το σημείο αυτό.	87
Εικόνα 22. Θέση του σημείου 5 (p5) και ο ορίζοντας όπως φαίνεται από το σημείο αυτό	88
Εικόνα 23. Θέση του σημείου 6 (p6) και ο ορίζοντας όπως φαίνεται από το σημείο αυτό	89
Εικόνα 24. Θέση του Σημείου 7 (p7) και ο ορίζοντας όπως φαίνεται από το σημείο αυτό	90
Εικόνα 25. Το όργανο τύπου Hobo, το προστατευτικό του σε φάση κατασκευής και ο τρόπος τοποθέτησης στο πεδίο μετρήσεων (περίπτωση p4).	92
Εικόνα 26. Φακός τύπου Fish-Eye και φωτογραφία που λήφθηκε με αυτόν πριν τη βασική της επεξεργασία.	93
Εικόνα 27. Α) Το γράφημα διασποράς των ζευγών τιμών μεταξύ	

της WSp2 και της WSp1. B) Το γράφημα διασποράς των ζευγών τιμών μεταξύ της WSp3 και της WSp1. _____	97
Εικόνα 28. A) Το γράφημα διασποράς των ζευγών τιμών μεταξύ της WSp4 και της WSp1. B) Το γράφημα διασποράς των ζευγών τιμών μεταξύ της WSp5 και της WSp1. _____	97
Εικόνα 29. A) Το γράφημα διασποράς των ζευγών τιμών μεταξύ της WSp6 και της WSp1. B) Το γράφημα διασποράς των ζευγών τιμών μεταξύ της WSp7 και της WSp1. _____	97
Εικόνα 30. Πορεία των τιμών του δείκτη PET σε 24ωρη βάση κατά τη διάρκεια του χειμώνα (κλάση 1) στις διαφορετικές διαμορφώσεις. _____	102
Εικόνα 31. Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΑΘΕ), Ημερήσια Θερμική Επιβάρυνση (ΗμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΝυΘΕ) κατά το χειμώνα (κλάση 1). _____	104
Εικόνα 32. Σχετική Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΣχΑΘΕ), Σχετική Ημερήσια (ΣχΗμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΣχΝυΘΕ) κατά το χειμώνα (κλάση 1). _____	106
Εικόνα 33. Πορεία των τιμών του δείκτη PET σε 24ωρη βάση κατά τη διάρκεια της άνοιξης (κλάση 1) στις διαφορετικές διαμορφώσεις _____	108
Εικόνα 34. Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΑΘΕ), Ημερήσια Θερμική Επιβάρυνση (ΗμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΝυΘΕ) κατά την άνοιξη (κλάση 1). _____	110
Εικόνα 35. Σχετική Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΣχΑΘΕ), Σχετική Ημερήσια (ΣχΗμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΣχΝυΘΕ) κατά την άνοιξη (Κλάση 1). _____	112
Εικόνα 36. Πορεία των τιμών του δείκτη PET σε 24ωρη βάση κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού (κλάση 1) στις διαφορετικές διαμορφώσεις _____	114
Εικόνα 37. Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΑΘΕ), Ημερήσια Θερμική Επιβάρυνση (ΗμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΝυΘΕ) κατά το καλοκαίρι (κλάση 1). _____	115
Εικόνα 38. Σχετική Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΣχΑΘΕ), Σχετική Ημερήσια (ΣχΗμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΣχΝυΘΕ) κατά το καλοκαίρι (Κλάση 1). _____	117
Εικόνα 39. Πορεία των τιμών του δείκτη PET σε 24ωρη βάση κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου (κλάση 1) στις διαφορετικές διαμορφώσεις _____	119

Εικόνα 40. Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΑΘΕ), Ημερήσια Θερμική Επιβάρυνση (ΗμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΝυΘΕ) κατά το φθινόπωρο (κλάση 1).	120
Εικόνα 41. Σχετική Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΣχΑΘΕ), Σχετική Ημερήσια (ΣχΗμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΣχΝυΘΕ) κατά το φθινόπωρο (κλάση 1).	122
Εικόνα 42. Πορεία των τιμών του δείκτη PET σε 24ωρη βάση κατά τη διάρκεια του χειμώνα (κλάση 2) στις διαφορετικές διαμορφώσεις.	124
Εικόνα 43. Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΑΘΕ), Ημερήσια Θερμική Επιβάρυνση (ΗμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΝυΘΕ) κατά το χειμώνα (κλάση 2).	125
Εικόνα 44. Σχετική Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΣχΑΘΕ), Σχετική Ημερήσια (ΣχΗμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΣχΝυΘΕ) κατά το χειμώνα (κλάση 2).	127
Εικόνα 45. Πορεία των τιμών του δείκτη PET σε 24ωρη βάση κατά τη διάρκεια της άνοιξης (κλάση 2) στις διαφορετικές διαμορφώσεις	128
Εικόνα 46. Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΑΘΕ), Ημερήσια Θερμική Επιβάρυνση (ΗμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΝυΘΕ) κατά την άνοιξη (κλάση 2).	130
Εικόνα 47. Σχετική Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΣχΑΘΕ), Σχετική Ημερήσια (ΣχΗμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΣχΝυΘΕ) κατά την άνοιξη (κλάση 2).	131
Εικόνα 48. Πορεία των τιμών του δείκτη PET σε 24ωρη βάση κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού (κλάση 2) στις διαφορετικές διαμορφώσεις.	134
Εικόνα 49. Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΑΘΕ), Ημερήσια Θερμική Επιβάρυνση (ΗμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΝυΘΕ) κατά το καλοκαίρι (κλάση 2).	135
Εικόνα 50. Σχετική Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΣχΑΘΕ), Σχετική Ημερήσια (ΣχΗμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΣχΝυΘΕ) κατά το καλοκαίρι (κλάση 2).	136
Εικόνα 51. Πορεία των τιμών του δείκτη PET σε 24ωρη βάση κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου (κλάση 2) στις διαφορετικές διαμορφώσεις	138
Εικόνα 52. Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΑΘΕ), Ημερήσια Θερμική Επιβάρυνση (ΗμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΝυΘΕ) κατά το φθινόπωρο (κλάση 2).	139

Εικόνα 53. Σχετική Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΣχΑΘΕ), Σχετική Ημερήσια (ΣχΗμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΣχΝυΘΕ) κατά το φθινόπωρο (κλάση 2).	140
Εικόνα 54. Πορεία των τιμών του δείκτη PET σε 24ωρη βάση κατά τη διάρκεια του χειμώνα (κλάση 3) στις διαφορετικές διαμορφώσεις.	143
Εικόνα 55. Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΑΘΕ), Ημερήσια Θερμική Επιβάρυνση (ΗμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΝυΘΕ) κατά το χειμώνα (κλάση 3).	144
Εικόνα 56. Σχετική Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΣχΑΘΕ), Σχετική Ημερήσια (ΣχΗμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΣχΝυΘΕ) κατά το χειμώνα (κλάση 3).	146
Εικόνα 57. Πορεία των τιμών του δείκτη PET σε 24ωρη βάση κατά τη διάρκεια της άνοιξης (κλάση 3) στις διαφορετικές διαμορφώσεις	148
Εικόνα 58. Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΑΘΕ), Ημερήσια Θερμική Επιβάρυνση (ΗμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΝυΘΕ) κατά την άνοιξη (κλάση 3).	150
Εικόνα 59. Σχετική Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΣχΑΘΕ), Σχετική Ημερήσια (ΣχΗμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΣχΝυΘΕ) κατά την άνοιξη (κλάση 3).	151
Εικόνα 60. Πορεία των τιμών του δείκτη PET σε 24ωρη βάση κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού (κλάση 3) στις διαφορετικές διαμορφώσεις	154
Εικόνα 61. Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΑΘΕ), Ημερήσια Θερμική Επιβάρυνση (ΗμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΝυΘΕ) κατά το καλοκαίρι (κλάση 3).	155
Εικόνα 62. Σχετική Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΣχΑΘΕ), Σχετική Ημερήσια (ΣχΗμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΣχΝυΘΕ) κατά το καλοκαίρι (κλάση 3).	156
Εικόνα 63. Πορεία των τιμών του δείκτη PET σε 24ωρη βάση κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου (κλάση 3) στις διαφορετικές διαμορφώσεις.	159
Εικόνα 64. Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΑΘΕ), Ημερήσια Θερμική Επιβάρυνση (ΗμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΝυΘΕ) κατά το φθινόπωρο (κλάση 3).	160
Εικόνα 65. Σχετική Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΣχΑΘΕ), Σχετική Ημερήσια (ΣχΗμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση	

(ΣχΝυΘΕ) κατά το φθινόπωρο (κλάση 3).	161
Εικόνα 66. Πορεία των τιμών του δείκτη PET σε 24ωρη βάση κατά τη διάρκεια του χειμώνα (κλάση 4) στις διαφορετικές διαμορφώσεις.	163
Εικόνα 67. Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΑΘΕ), Ημερήσια Θερμική Επιβάρυνση (ΗμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΝυΘΕ) κατά το χειμώνα (κλάση 4).	164
Εικόνα 68. Σχετική Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΣχΑΘΕ), Σχετική Ημερήσια (ΣχΗμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΣχΝυΘΕ) κατά το χειμώνα (κλάση 4).	166
Εικόνα 69. Πορεία των τιμών του δείκτη PET σε 24ωρη βάση κατά τη διάρκεια της άνοιξης (κλάση 4) στις διαφορετικές διαμορφώσεις.	168
Εικόνα 70. Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΑΘΕ), Ημερήσια Θερμική Επιβάρυνση (ΗμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΝυΘΕ) κατά την άνοιξη (κλάση 4).	170
Εικόνα 71. Σχετική Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΣχΑΘΕ), Σχετική Ημερήσια (ΣχΗμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΣχΝυΘΕ) κατά την άνοιξη (κλάση 4).	171
Εικόνα 72. Πορεία των τιμών του δείκτη PET σε 24ωρη βάση κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού (κλάση 4) στις διαφορετικές διαμορφώσεις	174
Εικόνα 73. Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΑΘΕ), Ημερήσια Θερμική Επιβάρυνση (ΗμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΝυΘΕ) κατά το καλοκαίρι (κλάση 4).	175
Εικόνα 74. Σχετική Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΣχΑΘΕ), Σχετική Ημερήσια (ΣχΗμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΣχΝυΘΕ) κατά το καλοκαίρι (κλάση 4).	176
Εικόνα 75. Πορεία των τιμών του δείκτη PET σε 24ωρη βάση κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου (κλάση 4) στις διαφορετικές διαμορφώσεις	178
Εικόνα 76. Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΑΘΕ), Ημερήσια Θερμική Επιβάρυνση (ΗμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΝυΘΕ) κατά το φθινόπωρο (κλάση 4).	179
Εικόνα 77. Σχετική Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΣχΑΘΕ), Σχετική Ημερήσια (ΣχΗμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΣχΝυΘΕ) κατά το φθινόπωρο (κλάση 4).	180

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1. Συντελεστής επιφάνειας προβολής f_p , συναρτήσεως του ύψους του ηλίου (από Jendritzky, 1990)	21
Πίνακας 2. Συγκριτικές τιμές βασικών μετεωρολογικών παραμέτρων σε σχέση με τις μη αστικές περιοχές (Τροποποιημένος από Landsberg 1970).	32
Πίνακας 3. Η σχέση της τιμής του SVF και του ρυθμού νυχτερινής ψύξης. Τροποποιημένος από Urmanis 1998.	35
Πίνακας 4. Η ποσοστιαία κατανάλωση της ηλιακής ενέργειας σε διαφορετικά είδη εδαφοκάλυψης. Τροποποιημένος πίνακας από Kiese 1972; Bernatzky 1982	39
Πίνακας 5. Τιμές του δείκτη PET σε διάφορες μετεωρολογικές συνθήκες (Τροποποιημένος από Höppe 1999)	52
Πίνακας 6. Σχέση θερμικής αίσθησης του ανθρώπου και των τιμών του δείκτη PET. (Τροποποιημένος από Matzarakis et al. 1999)	53
Πίνακας 7. Ενδεικτικές τιμές του μήκους τραχύτητας z_0 . Τροποποιημένος πίνακας από Stull 2000 και Oke 1981a	59
Πίνακας 8. Κατηγοριοποίηση με βάση τις μετεωρολογικές συνθήκες	70
Πίνακας 9. Παράμετροι που υπολογίζονται από το υπολογιστικό λογισμικό RayMan Pro	76
Πίνακας 10. Η κατανομή των κλάσεων ημερών ανά έτος για το χρόνο μελέτης	94
Πίνακας 11. Οι εξισώσεις παλινδρόμησης για κάθε σημείο μελέτης και ο αντίστοιχος συντελεστής R^2	96
Πίνακας 12. Μέσες, μέγιστες, ελάχιστες και εύρος των τιμών του δείκτη PET ($^{\circ}\text{C}$) για τον χειμώνα κατά την κλάση 1.....	101
Πίνακας 13. Μέσες, μέγιστες, ελάχιστες και εύρος των τιμών του δείκτη PET ($^{\circ}\text{C}$) για την άνοιξη κατά την κλάση 1.....	108
Πίνακας 14. Μέσες, μέγιστες, ελάχιστες και εύρος των τιμών του δείκτη PET ($^{\circ}\text{C}$) για το καλοκαίρι κατά την κλάση 1...	113
Πίνακας 15. Μέσες, μέγιστες, ελάχιστες και εύρος των τιμών του δείκτη PET ($^{\circ}\text{C}$) για το φθινόπωρο κατά την κλάση 1...	118

- Πίνακας 16. Μέσες, μέγιστες, ελάχιστες και εύρος των τιμών του δείκτη PET (°C) για τον χειμώνα κατά την κλάση 2....123
- Πίνακας 17. Μέσες, μέγιστες, ελάχιστες και εύρος των τιμών του δείκτη PET (°C) για την άνοιξη κατά την κλάση 2.....128
- Πίνακας 18. Μέσες, μέγιστες, ελάχιστες και εύρος των τιμών του δείκτη PET (°C) για καλοκαίρι κατά την κλάση 2.....133
- Πίνακας 19. Μέσες, μέγιστες, ελάχιστες και εύρος των τιμών του δείκτη PET (°C) για το φθινόπωρο κατά την κλάση 2...137
- Πίνακας 20. Μέσες, μέγιστες, ελάχιστες και εύρος των τιμών του δείκτη PET (°C) για το χειμώνα κατά την κλάση 3.....142
- Πίνακας 21. Μέσες, μέγιστες, ελάχιστες και εύρος των τιμών του δείκτη PET (°C) για την άνοιξη κατά την κλάση 3.....147
- Πίνακας 22. Μέσες, μέγιστες, ελάχιστες και εύρος των τιμών του δείκτη PET (°C) για το καλοκαίρι κατά την κλάση 3...152
- Πίνακας 23. Μέσες, μέγιστες, ελάχιστες και εύρος των τιμών του δείκτη PET (°C) για το φθινόπωρο κατά την κλάση 3...157
- Πίνακας 24. Μέσες, μέγιστες, ελάχιστες και εύρος των τιμών του δείκτη PET (°C) για το χειμώνα κατά την κλάση 4.....162
- Πίνακας 25. Μέσες, μέγιστες, ελάχιστες και εύρος των τιμών του δείκτη PET (°C) για την άνοιξη κατά την κλάση 4.....167
- Πίνακας 26. Μέσες, μέγιστες, ελάχιστες και εύρος των τιμών του δείκτη PET (°C) για το καλοκαίρι κατά την κλάση 4...173
- Πίνακας 27. Μέσες, μέγιστες, ελάχιστες και εύρος των τιμών του δείκτη PET (°C) για το φθινόπωρο κατά την κλάση 4...178

Πρόλογος και Ευχαριστίες

Η παρούσα διατριβή εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Γενικής και Γεωργικής Μετεωρολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών με την οικονομική υποστήριξη του Ιδρύματος Κρατικών Υποτροφιών (Ι.Κ.Υ.) το οποίο και ευχαριστώ πολύ.

Για την έμπνευση, την υποστήριξη και την καθοδήγηση που χρειάστηκε για την ολοκλήρωση του πονήματος αυτού, οφείλω τουλάχιστον ένα μεγάλο ευχαριστώ στην Καθηγήτρια Αικατερίνη Χρονοπούλου-Σερέλη η οποία με τίμησε με την επίβλεψη του σημαντικότερου ως τώρα έργου μου. Πέραν των επιστημονικών γνώσεων που έλαβα κατά την τριβή μου με το γνωστικό αυτό αντικείμενο, η επιβλέπουσα καθηγήτριά μου με έμαθε τη σημασία της αφοσίωσης στο στόχο, της υπομονής και της επιμονής αλλά κυρίως την αξία της συνεργασίας. Η διδακτορική μου διατριβή μπορεί να είναι ένα σημαντικό προσόν στην επιστημονική μου πορεία, η συνεργασία μου όμως με την κ. Αικατερίνη Χρονοπούλου - Σερέλη θα είναι ένα σπουδαίο εφόδιο για τη ζωή μου.

Ευχαριστώ επίσης θερμά τον Καθηγητή Ανδρέα Ματζαράκη, ο οποίος ως μέλος της Συμβουλευτικής μου Επιτροπής είχε σημαντικό ρόλο στην επιστημονική καθοδήγησή μου στα πλαίσια της διατριβής αυτής. Παρόλη την απόσταση που μας χώριζε, ήταν πραγματικά κάθε στιγμή πολύ κοντά μέσω της τεχνολογίας και απαντούσε σε κάθε πιθανή απορία μου δίνοντας λύση σε πολλά από τα προβλήματα που προέκυψαν. Η μεγάλη του εμπειρία και γνώση επάνω στα ζητήματα της βιομετεωρολογίας, την οποία μου παρείχε ακούραστα όλο αυτό το διάστημα, με βοήθησαν καθοριστικά στην ολοκλήρωση του πονήματος αυτού.

Επίσης ευχαριστώ πολύ τον Επίκουρο Καθηγητή Ιωάννη Τσίρο που ως μέλος της Συμβουλευτικής Επιτροπής μου με βοήθησε σημαντικά με τις καίριες παρατηρήσεις και συμβουλές

του ώστε να ολοκληρώσω τη διατριβή μου πιο αποτελεσματικά και ορθά.

Θα ήταν σημαντική παράληψη αν στο τέλος αυτής της πορείας ξεχνούσα την από αρχής υποστήριξη όλων των ανθρώπων που εργάζονται στο Εργαστήριο Γενικής και Γεωργικής Μετεωρολογίας με τους οποίους συνυπήρξα και συνεργάστηκα άψογα. Ιδιαίτερα όμως θα ευχαριστήσω τον τεχνίτη του εργαστηρίου μας κ. Μίλτο Παγώνη του οποίου η βοήθεια ήταν πάντα άμεση και καθοριστική σε όποιο τεχνικό πρόβλημα παρουσιαζόταν.

Ευχαριστώ επίσης τα μέλη της Εξεταστικής Επιτροπής της διδακτορικής μου διατριβής για τον πολύτιμο χρόνο που αφιέρωσαν για να μελετήσουν, να αξιολογήσουν και τελικά να κρίνουν αυτή την προσπάθεια.

Το μεγαλύτερο όμως ευχαριστώ το οφείλω στην οικογένεια μου, γιατί συνέβαλαν όλοι με τρόπο καθοριστικό, ακόμα και ο ανιψιός μου Νικόλας που ενώ δεν ξέρει να διαβάζει ακόμα, πάντα φρόντιζε να πατά κρυφά τα πλήκτρα του υπολογιστή χαρίζοντας μου υπέροχα διαλλείματα... Τέλος, ευχαριστώ όλους τους δικούς μου ανθρώπους που μου έδειξαν ότι η φιλία έχει πάντα την υπομονή που χρειάζονται τα όνειρα για να γίνουν πραγματικότητα.

1. Γενικό μέρος

1.1 Εισαγωγικές έννοιες

1.1.1 Βιομετεωρολογία – Βιοκλιματολογία

Η επίδραση των ατμοσφαιρικών συνθηκών στον άνθρωπο και στις δραστηριότητές του ήταν αντικείμενο μελέτης από την εποχή που οργάνωσε τις πρώτες κοινωνίες του στον πλανήτη (Gornitz 2009). Είναι γνωστό πως τα φυτά (και συνεπώς η γεωργική παραγωγή) επηρεάζονται άμεσα από την ατμοσφαιρική υγρασία, την ακτινοβολία και τη θερμοκρασία (WMO 1954; Blennow and Persson 1998). Επίσης οι ατμοσφαιρικές συνθήκες έχουν επίδραση στη διαβίωση των ανθρώπων (Bisanti et al. 2004; Conti et al. 2005; Assimakopoulos et al. 2007; Nastos and Matzarakis 2008a) σε τέτοιο βαθμό που μπορεί να επηρεάσουν την υγεία αλλά και την όποια δραστηριότητά τους. Ο πρώτος που επισήμανε την επίδραση του κλίματος στους οργανισμούς ήταν ο Ιπποκράτης στην πραγματεία του 'Αέρας – Νερό – Γη'. Για μεγάλο χρονικό διάστημα αυτοί οι περιβαλλοντικοί παράγοντες ήταν οι μόνοι που λαμβάνονταν υπ' όψη στην προσπάθεια εξήγησης της έξαρσης επιδημιών και ασθενειών του ανθρώπου (Ματζαράκης 1995; Rizzo et al. 2004; Allaby 2007). Στο δεύτερο μισό του 19^{ου} αιώνα, οι ανακαλύψεις του L. Pasteur έστρεψαν το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας, από τις περιβαλλοντικές επιστήμες σε άλλες, όπως η βακτηριολογία και η μικροβιολογία. Πρόσφατα και πάλι το ενδιαφέρον στράφηκε στην επίδραση των περιβαλλοντικών παραμέτρων στην υγεία του ανθρώπου, οπότε

ανεδείχθη ο ρόλος της επιστήμης της Βιομετεωρολογίας - Βιοκλιματολογίας. Ο ορισμός και η περιγραφή της επιστήμης αυτής εμπλουτίστηκε εκ νέου και υπέστη αναθεωρήσεις μέχρι να καταλήξει στη σημερινή του μορφή. Ως Βιομετεωρολογία - Βιοκλιματολογία χαρακτηρίστηκε αρχικά η επιστήμη που διερευνά τις άμεσες και έμμεσες σχέσεις και αλληλεπιδράσεις μεταξύ γεωφυσικού και γεωχημικού περιβάλλοντος, της ατμόσφαιρας και των ζωντανών οργανισμών, φυτών, ανθρώπων και ζώων. Ο χαρακτηρισμός 'περιβάλλον' στον ορισμό αυτό εμπεριέχει το μικρο-, μακρο- και κοσμικό περιβάλλον. Ο ορισμός αυτός στοιχειοθετήθηκε και οριοθετήθηκε το 1956 με σκοπό την περιγραφή της επιστήμης της Βιομετεωρολογίας - Βιοκλιματολογίας (WMO 2004). Μεταγενέστερα, το έτος 1960 επικράτησε ένας άλλος ορισμός, ο οποίος χαρακτηρίζει την επιστήμη αυτή κλάδο της οικολογίας που διερευνά την επίδραση του φυσικού περιβάλλοντος στα έμβια όντα. Τελικά η επιστημονική κοινότητα κατέληξε στο ότι η Βιοκλιματολογία - Βιομετεωρολογία είναι η επιστήμη που μελετά τη σχέση μεταξύ κλίματος και έμβιων οργανισμών (Oliver 2005).

1.1.2. Βιοκλιματολογία και ανθρώπινος οργανισμός

Η ατμόσφαιρα είναι τμήμα του περιβάλλοντος το οποίο ο άνθρωπος αντιμετωπίζει καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής του, αφού αυτό εμπλέκεται σχεδόν στο σύνολο των βασικών βιολογικών του λειτουργιών. Οι αντιδράσεις του οργανισμού μπορούν να θεωρηθούν αποτέλεσμα της προσπάθειας του ανθρώπου να αντεπεξέλθει στις όποιες μεταβολές, της ατμόσφαιρας, φυσικές ή χημικές. Για να γίνει κατανοητή η επίδραση των ατμοσφαιρικών συνθηκών στην ανθρώπινη υγεία και την ευζωία, θα πρέπει να 'μεταφραστεί' η βασική - πρωτογενής μετεωρολογική πληροφορία σε έννοιες σχετιζόμενες με τη βιολογία του ανθρώπου. Για να γίνει εφικτό το

παραπάνω, η επίδραση της ατμόσφαιρας στον άνθρωπο διαχωρίστηκε σε τρεις βασικούς τομείς. Ο τομέας του θερμικού περιβάλλοντος, δηλαδή των συνθηκών που επιδρούν στην ανταλλαγή θερμότητας στο σύστημα άνθρωπος - περιβάλλον. Ο τομέας της άμεσης βιολογικής επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας και τέλος ο τομέας της επίδρασης της αέριας ρύπανσης συμπεριλαμβανομένης και των αλλεργιογόνων ουσιών όπως η γύρη κ.α. (*Lowry 1969; Fanger 1972; WMO 2004; Allaby 2007*).

Η Βιομετεωρολογία -Βιοκλιματολογία που αφορά στον άνθρωπο είναι μέρος της περιβαλλοντικής Μετεωρολογίας. Σκοπός της, εκτός των άλλων, είναι η απάντηση μιας σειράς ερωτημάτων σχετικά με την εφαρμογή της ιατρικής επιστήμης σε βλάβες που προκαλούνται στον ανθρώπινο οργανισμό από την επίδραση δυσμενών συνθηκών του περιβάλλοντος. Για να διερευνηθεί το φάσμα των επιδράσεων, η Βιομετεωρολογία χρησιμοποιεί σχεδόν τις ίδιες μεθόδους με την επιδημιολογία στη μελέτη των δυνητικών βλαβών, στη λήψη πληροφοριών, στα όρια της ασφαλούς έκθεσης σε διάφορες συνθήκες, 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 για μελέτες, που πραγματεύονται αντικείμενα όπως τα παραπάνω (*WMO 2004*).

1.1.3. Βιομετεωρολογικοί – Βιοκλιματικοί δείκτες

Για να είναι εφικτή η ποσοτικοποίηση και έκφραση της θερμικής αίσθησης του ανθρώπου όπως αυτή διαμορφώνεται από

τις περιβαλλοντικές - ατμοσφαιρικές συνθήκες έχουν επινοηθεί διάφοροι δείκτες. Αυτοί οι δείκτες, γνωστοί ως Βιομετεωρολογικοί - Βιοκλιματικοί δείκτες, προκύπτουν από τον μαθηματικό συνδυασμό διάφορων μετεωρολογικών παραμέτρων όπως η θερμοκρασία και η υγρασία αέρος, η ταχύτητα ανέμου και η ηλιακή ακτινοβολία στις διάφορες εκφράσεις της. Σε κάποιους από τους δείκτες αυτούς εισάγονται και γεωμετρικά χαρακτηριστικά του περιβάλλοντα χώρου όπως και δεδομένα που αφορούν στα άτομα που δέχονται την επίδραση των περιβαλλοντικών συνθηκών. Ένας διαχωρισμός των δεικτών αυτών μπορεί να γίνει με βάση τις θερμομετρικές συνθήκες (Ματζαράκης 1995), ως ακολούθως:

A) Δείκτες που αναφέρονται στο ψυχρό περιβάλλον: Στην περίπτωση αυτή έχουμε το συνδυασμό της θερμοκρασίας του αέρα και της ταχύτητας του ανέμου, όπως οι δείκτες απόψυξης, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την περιγραφή της στροβιλώδους μεταφοράς αισθητής θερμότητας.

B) Δείκτες οι οποίοι αναφέρονται στο θερμό περιβάλλον: Σε αυτούς γίνεται συνδυασμός της θερμοκρασίας του αέρα με διάφορες παράμετροι υγρασίας για τη μελέτη της εξάτμισης, που προκαλείται από το ανθρώπινο σώμα.

Οι δείκτες που εφαρμόζονται σε θερμά περιβάλλοντα ενδιαφέρουν ιδιαίτερα τον Ελλαδικό χώρο, γιατί η όποια επιβάρυνση από το θερμικό περιβάλλον προέρχεται συνήθως από υψηλές θερμοκρασίες και σπανιότερα από χαμηλές. Αυτό δεν οφείλεται μόνο στις γενικότερες κλιματικές συνθήκες της περιοχής αλλά και σε ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τα οποία διαμορφώνονται τοπικά. Πιο συγκεκριμένα λόγω της διόγκωσης των αστικών κέντρων (ως αποτέλεσμα της αστυφιλίας) το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας εντείνεται και επεκτείνεται διαρκώς. Απόρροια του φαινομένου αυτού είναι η αύξηση της θερμοκρασίας των πόλεων στις οποίες κατοικεί το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού της χώρας.

1.2. Βασικές παράμετροι που επηρεάζουν τη θερμική αίσθηση

Η θερμοκρασία αέρος, η θερμοκρασία ακτινοβολίας (Radiant Temperature), η υγρασία και η κίνηση του ατμοσφαιρικού αέρα είναι οι τέσσερις βασικές περιβαλλοντικές παράμετροι οι οποίες επηρεάζουν την απόκριση του ανθρώπου στο εκάστοτε θερμικό περιβάλλον (*Lowry 1969; Fanger 1972; Parsons 1993*). Οι παραπάνω παράμετροι μαζί με αυτές που σχετίζονται με τον άνθρωπο, δηλαδή τη μεταβολική παραγωγή θερμότητας (κατά τη διάρκεια των ανθρώπινων δραστηριοτήτων) και την ένδυση, αποτελούν τους έξι θεμελιώδεις παράγοντες που ορίζουν το ανθρώπινο θερμικό περιβάλλον. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η αλληλεπίδραση των παραμέτρων αυτών μεταξύ τους αλλά και με τον οργανισμό του ανθρώπου.

Για να γίνει πιο κατανοητό το παραπάνω ο *Collins 1983* αναφέρει το παράδειγμα ενός ενήλικα σκιέρ που κάνει κατάβαση έχοντας ένα παιδί στην πλάτη του. Στο κάτω μέρος της πλαγιάς ο ενήλικας θα έχει αίσθηση υψηλής θερμοκρασίας και θα είναι ιδρωμένος ενώ αντίθετα το παιδί θα υποφέρει από υποθερμία. Η διαφοροποίηση στη θερμική αίσθηση του ενήλικα και του παιδιού που βρίσκονται κάτω από τις ίδιες μετεωρολογικές συνθήκες οφείλεται στο ότι η δραστηριότητα του ενήλικα είναι αυξημένη και η παραγωγή θερμότητας από τον οργανισμό του είναι μεγαλύτερη από την απώλεια θερμότητας λόγω μειωμένης θερμοκρασίας αέρος και αυξημένης σχετικής υγρασίας. Συμπερασματικά, ο ενήλικας και το παιδί βιώνουν δυο τελείως διαφορετικές καταστάσεις θερμικής αίσθησης στο ίδιο ακριβώς περιβάλλον.

1.2.1. Ακτινοβολία

Η ηλιακή ακτινοβολία έχει αποδειχθεί ότι μειώνει τη θερμική άνεση του ανθρώπου και διαμορφώνει δυσχερείς βιομετεωρολογικές συνθήκες όταν οι συνθήκες είναι θερμές (Rohles and Wallis 1979; Madsen et al. 1992; Parsons 1993). Μπορεί επίσης να προκαλέσει δυσφορία σε άτομα που βρίσκονται εντός κτηρίων (κοντά σε παράθυρα ή άλλα ανοίγματα) αλλά και σε υπαίθριους χώρους (Hodder and Parsons 2007). Γενικά, η ακτινοβολία που περνά μέσα από την ατμόσφαιρα μπορεί να διαχωριστεί σε τρία βασικά μέρη: Την υπεριώδη ακτινοβολία (UV), την ορατή και την υπέρυθη (IR). Η ορατή ακτινοβολία, παρόλο που καταλαμβάνει πολύ μικρό μέρος του φάσματος, 'περιέχει' το 45% της εκπεμπόμενης ενέργειας, η υπεριώδης το 5%, και η υπέρυθη το 50% αντίστοιχα. Η επίδραση της ακτινοβολίας στη θερμική αίσθηση έχει εκτιμηθεί έως τώρα με δυο τεχνικές: 1) Μετρήσεις της φυσιολογικής απόκρισης του ανθρώπου 2) Μετρήσεις σε κατάλληλα ανδρείκελα (Hodder and Parsons 2007).

Οι μελέτες που έγιναν (Nielsen et al. 1988; Nielsen 1990; Blazejczyk 1994) έδειξαν πως η ηλιακή και κυρίως η άμεση ηλιακή ακτινοβολία έχουν πολύ σημαντική επίδραση στη θερμορύθμιση και συνεπώς στη θερμική αίσθηση του ανθρώπου. Η εμβάθυνση και η καλύτερη κατανόηση των διαδικασιών της θερμορύθμισης ανέδειξε όμως την ανάγκη χρήσης μιας ξεχωριστής παραμέτρου -σχετιζόμενης με την ηλιακή ακτινοβολία- που θα δείχνει κυρίως την επίδρασή της επί της θερμικής αίσθησης του ανθρώπου. Η παράμετρος αυτή ονομάστηκε Θερμοκρασία Ακτινοβολίας και ειδικότερα μια περίπτωση της, η Μέση Θερμοκρασία Ακτινοβολίας, αποτελεί πλέον σημαντικό 'συστατικό' στη διερεύνηση των συνθηκών που επηρεάζουν τις βιομετεωρολογικές συνθήκες.

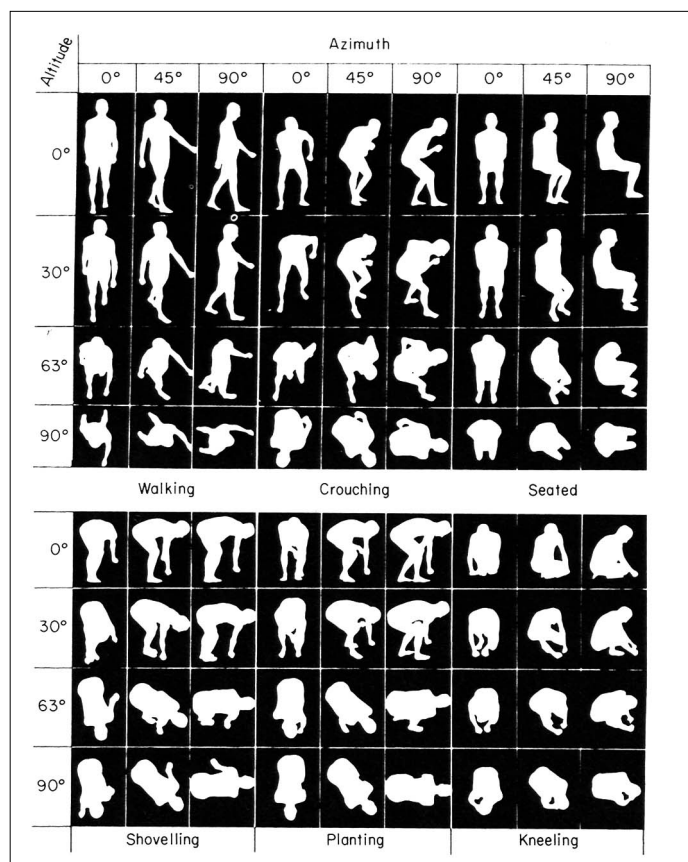
1.2.1.1. Θερμοκρασία ακτινοβολίας και μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας

Η θερμοκρασία ακτινοβολίας είναι μέρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που περιλαμβάνει τις ακτίνες Χ (μικρό μήκος κύματος), το φως και τα ραδιοκύματα (μεγάλο μήκος κύματος). Ένας τρόπος για να γίνει αντιληπτή η έννοια της θερμικής ακτινοβολίας (που αποτέλεσμά της είναι η θερμοκρασία ακτινοβολίας) είναι να τη συσχετίσουμε με το φως (η συσχέτιση αυτή είναι δόκιμη αλλά όχι απόλυτα ακριβής). Σε κάθε περιβάλλον λοιπόν, υπάρχει διαρκής ανταλλαγή ενέργειας, ανακλάσεις, απορροφήσεις φωτός κ.λπ. Καθώς ένα άτομο κινείται σε κάποιο δωμάτιο, το φως (και η θερμική ακτινοβολία) αλλάζουν. Σε κάθε σημείο του χώρου αυτού υπάρχει ένα μοναδικό περιβάλλον ακτινοβολίας. Για την περιγραφή και την ποσοτικοποίηση της θερμικής ακτινοβολίας του περιβάλλοντος, χρησιμοποιείται κυρίως η παράμετρος Μέση Θερμοκρασία Ακτινοβολίας (Mean Radiant Temperature - T_{mrt} °C) όπου συναντάται πλέον πολύ συχνά στις μελέτες βιοκλιματολογίας - βιομετεωρολογίας (Parsons 1993; Ματζαράκης 1995).

Η παράμετρος αυτή χαρακτηρίζεται ως η σημαντικότερη στον υπολογισμό του θερμικού ισοζυγίου του ανθρώπου, ιδιαίτερα όταν αναφερόμαστε σε άκρως δυσμενείς θερμικές συνθήκες (Ματζαράκης 1995) γιατί εμπεριέχει το σύνολο των ακτινοβολιών μεγάλου και μικρού μήκους κύματος, άμεσες και ανακλούμενες (Thorsson et al. 2007a). Η παράμετρος αυτή ορίζεται, για έναν άνθρωπο με καθορισμένη στάση σώματος και ενδυμασία ως η αντίστοιχη μέση θερμοκρασία εκπομπής μέλανος

σώματος, στο οποίο θα είχαμε τις ίδιες απώλειες και οφέλη ακτινοβολίας κάτω από όμοιες συνθήκες περιβάλλοντος (Gonzalez et al. 1974). Οι συνθήκες αυτές αναφέρονται τόσο για τον άνθρωπο όσο και για το μέλαν σώμα.

Για να γίνει εφικτός ο υπολογισμός της παραμέτρου T_{mrt} πρέπει να είναι γνωστά τα χαρακτηριστικά και οι διαστάσεις των επιφανειών που ακτινοβολούν, γύρω από το μελετώμενο άτομο. Επιπρόσθετα θα πρέπει να είναι γνωστοί και οι παράγοντες του ορατού μέρους του ουράνιου θόλου και ο προσανατολισμός του ανθρώπου σε σχέση με τις πηγές ακτινοβολίας (Εικ. 1). Στον υπολογισμό της παραμέτρου T_{mrt} σημαντικό ρόλο παίζει ο τρόπος με τον οποίο η άμεση ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει στον άνθρωπο, η λευκαύγεια (albedo), το πάχος της ενδυμασίας και τέλος το χρώμα του δέρματός του.



Εικόνα 1. Το μέγεθος της επιφάνειας ενός ατόμου στην οποία επιδρά η άμεση ηλιακή ακτινοβολία ως συνάρτηση του ύψους του ηλίου (altitude)

και του αζιμούθιου (azimuth) κατά Parsons 1993.

Στις βιοκλιματικές μελέτες, συνήθως η προβολική επιφάνεια θεωρείται ανεξάρτητη από τη στάση του ατόμου σε σχέση με τον ήλιο. Για την απλοποίηση των προκαταρκτικών υπολογισμών (προβολικής επιφάνειας), γίνεται υπολογισμός της μέσης προβολικής επιφάνειας (f_p) για διαφορετικά ύψη ηλίου, οι τιμές της οποίας παρουσιάζονται στον Πίνακα 1. Οι αναλυτικές τιμές της παραμέτρου αυτής και υπολογίζονται με την εμπειρική σχέση του *Jedritzky 1990*:

$$f_p = 0.308 \times \cos\left(\gamma \times \left(0.998 - \frac{\gamma^2}{50000}\right)\right)$$

όταν γ είναι το ύψος του

ηλίου.

Πίνακας 1. Συντελεστής επιφάνειας προβολής f_p , συναρτήσεως του ύψους του ηλίου (από *Jedritzky, 1990*)

γ	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
f_p	0.308	0.304	0.292	0.271	0.237	0.205	0.174	0.140	0.108	0.082

Κατά τον υπολογισμό της παραμέτρου T_{mrt} θεωρείται ότι γύρω από το άτομο που μελετάται, ο χώρος διαχωρίζεται σε έναν αριθμό ισοθερμικών επιφανειών με θερμοκρασίες T_i και συντελεστή εκπομπής ϵ_i , στις οποίες προστίθενται και οι παράγοντες του ορατού μέρους του ουρανού (Sky View Factors) F_a , ως συντελεστές βάρους (*Ματζαράκης 1995*). Η εξίσωση υπολογισμού της T_{mrt} ως αποτέλεσμα των εργασιών, των *Fanger 1972* και *Höppe 1984* είναι η ακόλουθη:

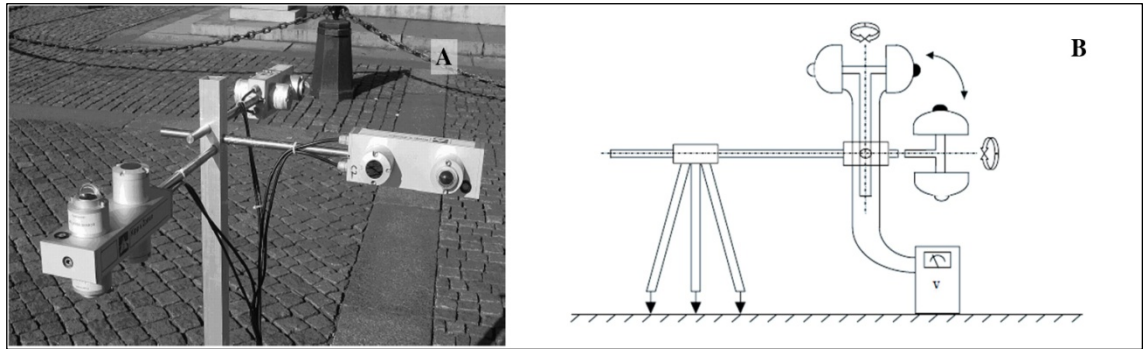
$$T_{mrt} = \sqrt{\left(T_1^4 * F_1 + \dots + T_i^4 * F_i + \frac{A * F_a}{\sigma} + \frac{\alpha_{ir}}{\sigma * \epsilon_p} * (D * F_a + I * F_p + r_s * F_r)\right) - 273.2}$$

Τα $T_1...T_i$ είναι οι θερμοκρασίες των στερεών επιφανειών εκφρασμένες σε απόλυτους βαθμούς, $F_1...F_i$ είναι οι επιφάνειες που εκφράζουν το μη ορατό μέρος του ουρανού (Sky view factors), F_a είναι η τιμή που λαμβάνει ο παράγοντας του ορατού μέρους του ουρανού, F_r είναι οι παράγοντες του μη ορατού μέρους του ουρανού, απ' όπου προέρχεται η ανακλώμενη ακτινοβολία, ϵ_p είναι ο συντελεστής εκπομπής της επιφάνειας του ανθρώπου και a_{ir} ο βαθμός ανάκλασης της ηλιακής ακτινοβολίας από την επιφάνεια του ανθρώπου, I είναι η άμεση ηλιακή ακτινοβολία σε W/m^2 , A η γήινη ακτινοβολία σε W/m^2 και το σ η σταθερά Stefan - Boltzmann.

Εκτός της υπολογιστικής αυτής μεθόδου, η μέτρηση της παραμέτρου αυτής ή για την ακρίβεια η εκτίμησή της, γίνεται κυρίως με τρεις τρόπους.

- Την ολοκληρωμένη μέτρηση των ακτινοβολιών - Integral radiation measurements (IRM).
- Τη μέτρηση μέσω θερμομέτρου σφαίρας.
- Τη χρήση υπολογιστικού λογισμικού.

Η ολοκληρωμένη μέτρηση ακτινοβολιών (IRM) είναι η ακριβέστερη μέθοδος αλλά ταυτόχρονα η πιο δύσκολη και δαπανηρή μεταξύ των υπολοίπων (VDI 1994; Iziomon et al. 2001; Matzarakis 2001; Spagnolo and de Dear 2003; Ali-Toudert et al. 2005; Matzarakis et al. 2007; Thorsson et al. 2007a). Στην Εικόνα 2 διακρίνεται διάταξη φορητού εξοπλισμού για τη μέτρηση αυτού του είδους.



Εικόνα 2. Όργανο μέτρησης της παραμέτρου T_{mrt} . Α) Τριπλό όργανο για ταυτόχρονη μέτρηση από όλες τις γωνίες (Thorsson et al. 2007a). Β) Σχήμα απλού οργάνου που μπορεί να περιστραφεί για να μετρήσει και υπό όλες τις επιθυμητές γωνίες (Matzarakis 2001).

Η μέτρηση της παραμέτρου T_{mrt} μέσω θερμομέτρου σφαίρας είναι απλούστερη από την IRM αλλά δεν έχουν αξιολογηθεί επαρκώς τα αποτελέσματά της σε συνθήκες ανοιχτού περιβάλλοντος (Thorsson et al. 2007a). Τέλος, η χρήση υπολογιστικού λογισμικού είναι η πλέον διαδεδομένη μέθοδος γιατί ενώ έχει σε κάποιες περιπτώσεις μειωμένη ακρίβεια, είναι εξαιρετικά απλή, γρήγορη και οικονομική. Επίσης η χρήση των κατάλληλων λογισμικών επιτρέπει εκτός του υπολογισμού της T_{mrt} , σε πραγματικά περιβάλλοντα, και την προσομοίωσή της σε ιδεατά. Τα υπολογιστικά λογισμικά που είναι κατάλληλα για τον υπολογισμό της παραμέτρου αυτής είναι το RayMan Pro, το ENVI-met και το Townscope (Bruse and Fleer 1998; Teller and Azar 2001; Matzarakis et al. 2007; Thorsson et al. 2007a; Matzarakis et al. 2009; Matzarakis et al. in Press). Για τη μέτρηση της παραμέτρου αυτής έχει επικρατήσει το RayMan Pro λόγω της ταχύτητάς του, της ακρίβειάς και της ευκολίας χρήσης του.

1.2.2. Θερμοκρασία Αέρος

Μια από τις αρχές της θερμοδυναμικής είναι πως η ενέργεια μεταφέρεται από τα σώματα με υψηλή θερμοκρασία προς τα σώματα με χαμηλότερη θερμοκρασία. Η θερμοκρασία του ανθρώπινου σώματος είναι ενδεικτική της κατάστασής του. Ο άνθρωπος ως ομόθερμο ον, υπό φυσιολογικές συνθήκες διατηρεί την εσωτερική θερμοκρασία σώματός του περίπου στους 37 °C. Η απόκλιση από την τιμή αυτή ακόμα και για λίγους βαθμούς μπορεί να προκαλέσει σημαντικές βλάβες στον οργανισμό. Η θερμοκρασία του ανθρώπινου σώματος επηρεάζεται από τη θερμοκρασία των υλικών που το περιβάλλουν (στερεά και ρευστά), γιατί αυτά επιδρούν στη μεταφορά θερμότητας από και προς αυτό. Αρά η θερμοκρασία αυτών είναι σημαντική για τη θερμική του ισορροπία. Η βασική περιβαλλοντική παράμετρος που επηρεάζει τις παραπάνω διαδικασίες περισσότερο από κάθε άλλη είναι η θερμοκρασία αέρος (*Parsons 1993*).

Η θερμοκρασία αέρος για μελέτες που εστιάζουν στη θερμική αίσθηση του ανθρώπου μπορεί να θεωρηθεί ως η θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα που περιβάλλει το ανθρώπινο σώμα και εν μέρη καθορίζει τη ροή θερμότητας από και προς τον άνθρωπο. Από βιοκλιματικής άποψης, η θερμοκρασία του αέρα που βρίσκεται μακριά από το αντικείμενο της μελέτης (άνθρωπος) δεν παίζει σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση της θερμικής αίσθησης γιατί δεν επηρεάζει ουσιαστικά την ανταλλαγή θερμότητας σώματος - περιβάλλοντος. Επίσης, η θερμοκρασία αέρος πάρα πολύ κοντά σε ένα ενδεδυμένο ή μη σώμα δεν θεωρείται αντιπροσωπευτική γιατί επηρεάζεται σημαντικά από τις οριακές συνθήκες.

1.2.3. Ταχύτητα ανέμου

Η ταχύτητα του ατμοσφαιρικού αέρα που περιβάλλει τον άνθρωπο μπορεί να επηρεάσει τη ροή θερμότητας από και προς αυτόν και συνεπώς να επηρεάσει τη θερμοκρασία του ανθρώπινου σώματος. Η κίνηση του ατμοσφαιρικού αέρα μπορεί να ποικίλει στο χρόνο, στη διεύθυνση αλλά και ως προς την ταχύτητα. Γενικά, ως ταχύτητα ανέμου μπορούμε να χαρακτηρίσουμε τη μέση ταχύτητά του για ένα χρονικό διάστημα έκθεσης, ολοκληρώνοντας για τους τρεις άξονες. Αρκετές μελέτες έχουν καταδείξει ότι η ταχύτητα ανέμου παίζει καθοριστικό ρόλο στη θερμική αίσθηση του ανθρώπου (*Aynsley and Spruill 1990; Tuller 1997; Charalampopoulos and Chronopoulou-Sereli 2005; Walton et al. 2007; Mochida and Lun 2008*). Στο ISO 7730 (*ISO 1993*) και προτείνεται να λαμβάνεται υπόψη τόσο η ταχύτητα ανέμου όσο και η τυπική απόκλιση αυτής, στις βιοκλιματικές - βιομετεωρολογικές μελέτες. Η παράμετρος που ονομάζεται ένταση στροβιλισμού (*Turbulence Intensity*) και είναι ο λόγος της τυπικής απόκλισης των στιγμιαίων ταχυτήτων ανέμου προς τη μέση ταχύτητα ανέμου μπορεί να αποτελέσει βασικό κριτήριο στην αξιολόγηση της θερμικής άνεσης (*Parsons 1993*). Τέλος πρέπει να σημειωθεί ότι η κίνηση του ατμοσφαιρικού αέρα, όπως αυτή εκφράζεται με την ταχύτητα του ανέμου, σε συνδυασμό με τη θερμοκρασία αέρα, μπορεί να επιδράσει στον ρυθμό αποβολής ή πρόσληψης θερμότητας στο ανθρώπινο σώμα και κατά συνέπεια να επηρεάσει ακόμα πιο δραστικά τη θερμοκρασία του σώματος (*Fanger 1972; Brown and Gillespie 1995*).

1.2.4. Υγρασία

Εάν κάποιο υγρό διαβρέξει την επιφάνεια του ανθρώπινου

σώματος τότε αρχικά θα θερμανθεί και κατόπιν θα εξατμιστεί μέρος από αυτό. Η απομάκρυνση το υγρού αυτού στον περιβάλλοντα χώρο προκαλεί μεταφορά θερμότητας από το σώμα στο περιβάλλον και έτσι το σώμα σταδιακά ψύχεται. Το γενεσιουργό αίτιο της μεταφοράς του εξατμιζόμενου υγρού (μάζα) είναι η διαφορά μάζας ανά μονάδα όγκου του υγρού αέρα. Για παράδειγμα, η διαφορά απόλυτης υγρασίας μεταξύ του ατμοσφαιρικού αέρα που εφάπτεται της επιφάνειας του δέρματος και του παρακείμενου ατμοσφαιρικού αέρα προκαλεί με τον μηχανισμό που περιγράφηκε μεταφορά θερμότητας. Άρα η ατμοσφαιρική υγρασία είναι ένας από τους βασικότερους παράγοντες που ελέγχουν την εξάτμιση του νερού από τον ανθρώπινο οργανισμό προς το περιβάλλον με αποτέλεσμα να ελέγχει και τον ρυθμό ψύξης του ανθρώπινου σώματος συνολικά (*Lowry 1969; Toftum et al. 1998*).

Η επίδραση της ατμοσφαιρικής υγρασίας στο θερμικό ισοζύγιο του ανθρώπου και συνεπώς στη θερμική του αίσθηση γίνεται πιο σαφής εάν ληφθεί υπ' όψη ότι ένα άτομο που αναπαύεται ενδεδυμένο ελαφρά (0.6 clo) υπό συνθήκες θερμοκρασίας αέρος 24 °C και σχετικής υγρασίας 50 % χάνει ποσότητα νερού ίση με 37 m·L·s⁻¹ που ισοδυναμεί με 21 W απώλεια ενέργειας. Εάν οι υπόλοιπες συνθήκες μείνουν σταθερές και μειωθεί η σχετική υγρασία στο 20% τότε η απώλεια ενέργειας φθάνει τα 26 W (*Atmaca and Yigit 2006*). Θα πρέπει όμως να τονιστεί ότι η επίδραση της ατμοσφαιρικής υγρασίας είναι σημαντική αλλά σε κάθε περίπτωση λιγότερο σημαντική από την επίδραση που έχει η ταχύτητα ανέμου, η θερμοκρασία αέρος και οπωσδήποτε η ηλιακή ακτινοβολία (*Fanger 1972; Höppe 1993; Ματζαράκης 1995*).

1.3. Το θερμικό ισοζύγιο του ανθρώπου

Η εσωτερική θερμοκρασία του ανθρώπινου σώματος είναι γνωστό πως πρέπει να διατηρείται κοντά στους 37 °C. Για να επιτευχθεί αυτό απαιτείται θερμική ισορροπία μεταξύ σώματος και περιβάλλοντός του. Πρέπει, σε γενικές γραμμές, η μεταβολική παραγωγή θερμότητας του ανθρώπινου οργανισμού και η εισερχόμενη σε αυτό θερμότητα να είναι ίσες με τις θερμικές του απώλειες. Σε περίπτωση που η μεταβολική παραγωγή και η εισερχόμενη θερμότητα είναι μεγαλύτερη από τις θερμικές απώλειες τότε η θερμοκρασία του σώματος αυξάνεται και αντίστροφα. Η θερμική ισορροπία του ανθρώπινου σώματος μπορεί να περιγραφεί με διάφορες εξισώσεις, σε κάθε περίπτωση όμως θα εμπεριέχονται οι παράμετροι της παραγωγής, της μεταφοράς και της συσσώρευσης θερμότητας στον ανθρώπινο οργανισμό (Hörpe 1993; Ματζαράκης 1995; Hörpe 1999).

Το θερμικό ποσό που παράγεται από τον μεταβολισμό του σώματος (M) παρέχει την απαραίτητη ενέργεια για την εκτέλεση μηχανικού έργου (W) και η περίσσεια αυτού ελευθερώνεται ως θερμότητα. Η μεταφορά αυτής της θερμότητας μπορεί να γίνει μέσω αγωγιμότητας (K), μεταφοράς (C), ακτινοβολίας (R) και της εξάτμισης (E). Από τα ποσά όλων των παραπάνω παραμέτρων εξαρτάται η περίσσεια (S) της θερμότητας στο σύστημα άνθρωπος - περιβάλλον. Όταν το παραπάνω σύστημα βρίσκεται σε θερμική ισορροπία η S παίρνει την τιμή 0. Η θεμελιώδης εξίσωση που περιγράφει τις συνθήκες θερμικής ισορροπίας είναι η ακόλουθη:

$M - W = E + R + C + K + S$, όπου η διαφορά $M - W$ είναι πάντα θετική και οι παράμετροι E , R , C και K είναι τα ποσά της απώλειας θερμότητας από το σώμα (Hörpe 1993; VDI 1998).

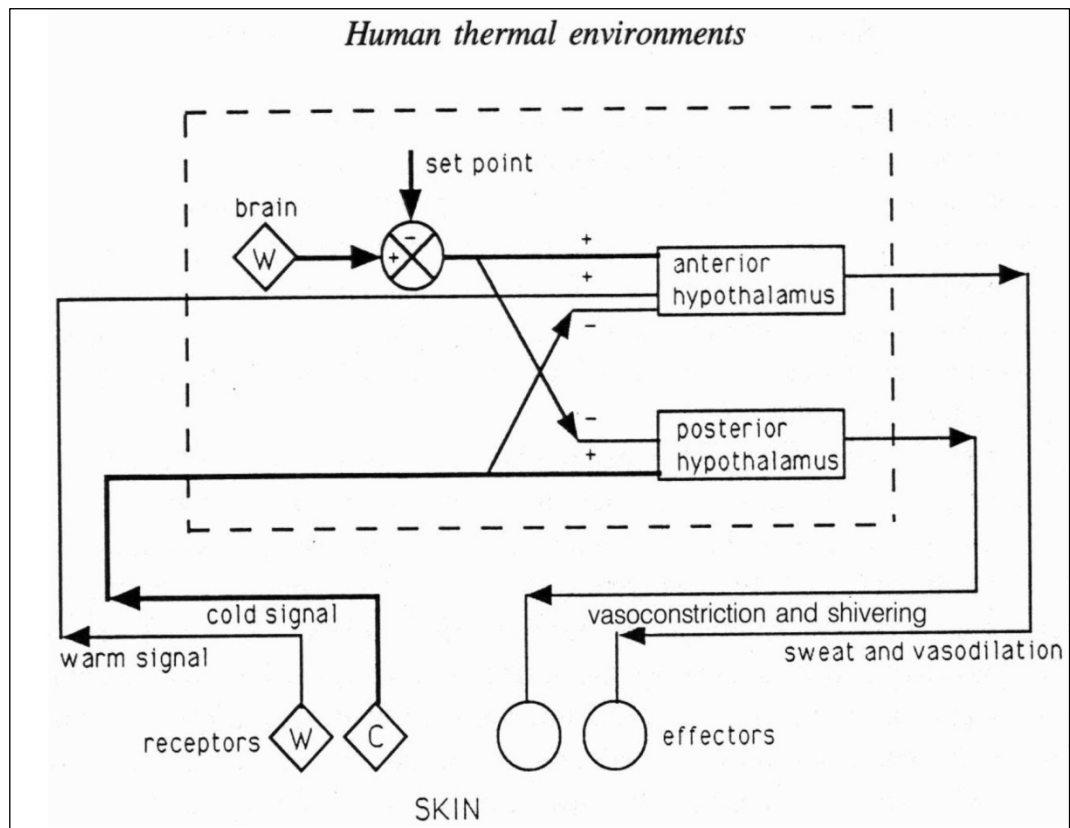
1.3.1. Φυσιολογικές διεργασίες και θερμοφυσιολογία του ανθρώπου

Η θεμελιώδης εξίσωση της θερμικής ισορροπίας η οποία περιγράφει τον τρόπο που το ανθρώπινο σώμα διατηρεί την εσωτερική του θερμοκρασία κοντά στους 37 °C όπως προαναφέρθηκε, χρησιμοποιεί όρους θερμικής ανταλλαγής μεταξύ του περιβάλλοντος και του σώματος. Στην πραγματικότητα η εξίσωση αυτή δεν περιγράφει μια σταθερή κατάσταση (σε σταθερές θερμοκρασίες) αλλά μια δυναμική κατάσταση από την οποία γίνεται προφανές πως οι εξωτερικές συνθήκες αλλάζουν διαρκώς και το σώμα για να αντεπεξέλθει δρα ανάλογα ώστε να επιτύχει θερμορύθμιση.

Η μεταβολική θερμότητα παράγεται από τα κύτταρα του οργανισμού. Η παραγόμενη από αυτά θερμότητα μεταφέρεται μέσω αγωγιμότητας εφόσον το επιτρέπουν οι τοπικές θερμικές συνθήκες (δηλαδή η διαφορά θερμοκρασίας του κυττάρου με το άμεσο περιβάλλον του) και μέσω μεταφοράς με τα σωματικά υγρά (κυρίως με το αίμα) διαχέεται σε ολόκληρο το σώμα, σχεδόν ομοιογενώς. Εάν το ανθρώπινο σώμα μονωθεί θερμικά από το περιβάλλον του τότε η παραγωγή θερμότητας θα συνεχιστεί με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας σώματος κατά 1 °C ανά ώρα για άτομο που δεν έχει καμία σωματική δραστηριότητα. Η παραπάνω κατάσταση είναι σχεδόν αδύνατο να συμβεί υπό κανονικές συνθήκες όποτε το ανθρώπινο σώμα παράγει διαρκώς θερμότητα από την κυτταρική δραστηριότητα η οποία μεταφέρεται με το αίμα σε όλα τα όργανα του σώματος μεταξύ αυτών στους πνεύμονες και στο δέρμα. Από τα όργανα αυτά προκαλείται απώλεια θερμότητας προς το περιβάλλον με ποικίλους τρόπους όπως με μεταφορά,

αγωγιμότητα, ακτινοβολία και εξάτμιση. Οι θερμικές ιδιότητες των διάφορων συστατικών του σώματος όπως το αίμα, τα οστά, το λίπος, οι μύες κ.λπ. επηρεάζουν σημαντικά την εσωτερική παραγωγή θερμότητας και συνεπώς τη διαδικασία ανταλλαγής θερμότητας με το περιβάλλον. Όμως για να επιτευχθεί η σταθερότητα της θερμοκρασίας του σώματος θα πρέπει να υπάρχει κάποιος μηχανισμός που να ρυθμίζει και να συντονίζει το όλο σύστημα. Ο μηχανισμός αυτός ονομάζεται μηχανισμός θερμορύθμισης του σώματος και είναι εξαιρετικά σύνθετος. Η αποτελεσματικότητα αυτού και η ταχύτητα ανταπόκρισής του γίνεται εμφανής αν αφαιρέσουμε μέρος του ρουχισμού ενός ατόμου ή προσθέσουμε ρουχισμό ή ακόμα και αν αλλάξουμε θέση ή κατάλυμα, γιατί παρόλο που θα αλλάξει το άμεσο θερμικό περιβάλλον, το σώμα θα διατηρήσει τη θερμοκρασία του. Η βασική 'αποστολή' του συστήματος θερμορύθμισης είναι η επιβίωση του ανθρώπου αρχικά, και η εξασφάλιση της πιο κατάλληλης θερμοκρασίας για την λειτουργία των οργάνων του σώματος (*Parsons 1993*).

Για να γίνει πιο κατανοητός και εύληπτος ο μηχανισμός θερμορύθμισης του σώματος έχουν προταθεί διάφορα μοντέλα και μηχανικά ανάλογα (Εικ. 3). Κανένα από τα μηχανικά ανάλογα όμως δεν έχει καταφέρει να περιγράψει πλήρως τη διαδικασία θερμορύθμισης. Τα πιο εξελιγμένα μοντέλα αν και πλησιάζουν ικανοποιητικά την πραγματικότητα, είναι πολύπλοκα στην απεικόνιση και δύσκολα στην κατανόηση τους.



Εικόνα 3. Μηχανικό ανάλογο του μηχανισμού θερμορύθμισης του ανθρώπινου σώματος (Parsons 1993).

Παρόλα αυτά, είναι αποδεκτό από το σύνολο των μελετητών πως όταν η σωματική θερμοκρασία αυξάνεται τότε αποδεσμεύεται θερμότητα μέσω της αγγειοδιαστολής και αν χρειαστεί μέσω της εφίδρωσης. Αντίθετα όταν η σωματική θερμοκρασία μειώνεται τότε η αγγειοσυστολή 'κατακρατά' την παραγόμενη θερμότητα και αν χρειαστεί επιταχύνεται η παραγωγή θερμότητας μέσω της αναρρίγησης. Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι το κέντρο ελέγχου της θερμορύθμισης είναι ο υποθάλαμος. Αντίθετα με αυτές τις επιβεβαιωμένες και κοινώς αποδεκτές πληροφορίες που προαναφέρθηκαν, ακόμα και τώρα δεν είναι πλήρως κατανοητό με ποιο τρόπο το σώμα αντιλαμβάνεται τις αλλαγές στο θερμικό περιβάλλον και πως οι πληροφορίες διοχετεύονται στο κέντρο ελέγχου και ακολουθεί η επεξεργασία αυτών και η αντίδραση του σώματος. Η κυρίαρχη υπόθεση επί του θέματος αυτού υποστηρίζει ότι θερμικοί αισθητήρες εντός του σώματος, βρίσκονται σχεδόν σε

όλα τα όργανα και στο νωτιαίο μυελό. Τέλος, στην επιφάνεια του σώματος, δηλαδή στο δέρμα υπάρχουν δυο είδη αισθητήρων, αυτοί που αντιλαμβάνονται την υψηλή θερμοκρασία και αυτοί που αντιλαμβάνονται τη χαμηλή θερμοκρασία. (McIntyre 1980; Hansel 1981; Bligh 1985; Chato 1985).

1.4. Διαμόρφωση περιβάλλοντος και βιοκλιματικές συνθήκες

Το περιβάλλον ως έννοια, περιλαμβάνει το σύνολο των φυσικών ή τεχνητών συνθηκών μέσα στις οποίες ζουν και αναπτύσσονται τα έμβια όντα. Στην περίπτωση των επιστημών της ατμόσφαιρας, η έννοια του περιβάλλοντος μπορεί να περιοριστεί στα στοιχεία ή στις διεργασίες που επηρεάζουν και αλληλεπιδρούν με αυτή. Το βασικότερο χαρακτηριστικό του περιβάλλοντος που καθορίζει την ποιοτική και ποσοτική επιρροή του στις βιοκλιματικές συνθήκες, είναι η διαμόρφωσή του. Με τον όρο διαμόρφωση, εννοείται ο συνδυασμός της γεωμετρίας (φυσικής ή τεχνητής) και τα υλικά που συνέβαλαν στη σύνθεσή της. Δεν είναι εύκολο να προσδιοριστεί ποιο από τα δυο αυτά χαρακτηριστικά (γεωμετρία ή υλικά) διαδραματίζει σπουδαιότερο ρόλο στη διαμόρφωση των βιοκλιματικών συνθηκών, γιατί οι ατμοσφαιρικές συνθήκες είναι ευμετάβλητες και οι αλληλεπιδράσεις περίπλοκες (Lowry 1969; Oke 1981a; Oliver 2005; Allaby 2007).

Μια περίπτωση έντονα τροποποιημένου περιβάλλοντος είναι το αστικό σε σύγκριση με τις υπόλοιπες συχνά απαντώμενες διαμορφώσεις (δασικό, περιαστικό, αγροτικό κ.α.). Έτσι στον αστικό χώρο παρατηρούνται γενικά αυξημένες τιμές θερμοκρασίας και μειωμένης σχετικής υγρασίας, οι οποίες αποδίδονται στο μεγάλο όγκο των δομικών υλικών. Παράλληλα,

διαμορφώνονται μειωμένες τιμές ακτινοβολίας λόγω της αυξημένης ρύπανσης και χαμηλότερες τιμές ταχύτητας ανέμου λόγω της τραχύτητας της επιφάνειας (Πιν. 2) της αστικής περιοχής, χαρακτηρίστηκα που έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον στη διαμόρφωση των βιοκλιματικών του συνθηκών (Landsberg 1970; Terjung and O'Rourke 1981; Johnson 1985; Magee et al. 1999; Gedzelman et al. 2003; Offerle et al. 2006; Akinbode et al. 2008).

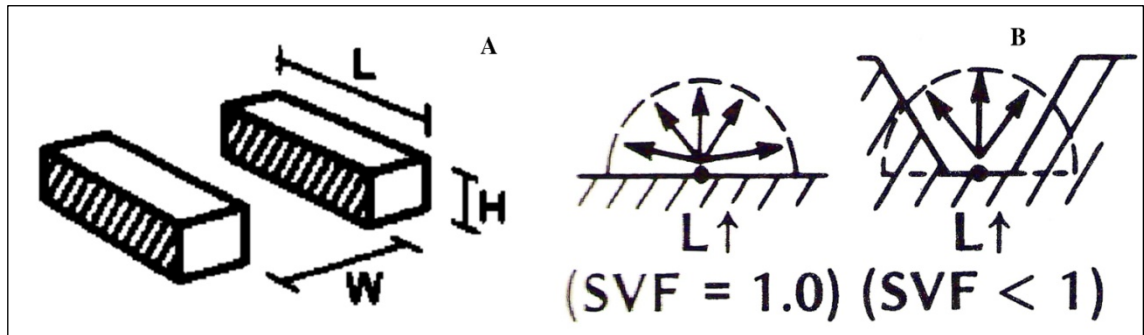
Πίνακας 2. Συγκριτικές τιμές βασικών μετεωρολογικών παραμέτρων σε σχέση με τις μη αστικές περιοχές (Τροποποιημένος από Landsberg 1970).

Παράμετρος	Σύγκριση με μη αστικές περιοχές
<u>Ακτινοβολία</u>	
Ολική ακτινοβολία	15 έως 20% μειωμένη
Υπεριώδης (Χειμώνα)	30% μειωμένη
Υπεριώδης (Καλοκαίρι)	5% μειωμένη
Διάρκεια ηλιοφάνειας	5 έως 10% μειωμένη
<u>Θερμοκρασία αέρος</u>	
Μέση ετήσια	0.5 έως 1.0 °C αυξημένη
Μέση χειμερινή ελάχιστη	1.0 έως 2.0 °C αυξημένη
<u>Σχετική Υγρασία</u>	
Χειμώνας	2% μειωμένη
Καλοκαίρι	8% μειωμένη
<u>Ταχύτητα ανέμου</u>	
Μέση ετήσια	20 έως 30% μειωμένη
Ριπές	10 έως 20% μειωμένη
Άπνοια	5 έως 20 αυξημένη

Συνολικά, η επίδραση του δομημένου χώρου στις ατμοσφαιρικές συνθήκες είναι τόσο μεγάλη που προέκυψε η ανάγκη για τον καθορισμό ενός ξεχωριστού τύπου κλίματος, του αστικού, που είναι τόσο διαφοροποιημένο ώστε να το εξετάζει ξεχωριστός κλάδος των ατμοσφαιρικών επιστημών, η Αστική Κλιματολογία (Landsberg 1981; Oliver 2005).

1.4.1. Γεωμετρία του χώρου

Η γεωμετρία του χώρου είναι ένα από τα βασικά συστατικά της διαμόρφωσης περιβάλλοντος αφού καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τη σκίαση και τη ροή του ατμοσφαιρικού αέρα. Στην πράξη, ο σχεδιασμός ενός χώρου, σε όποια κλίμακα διαστάσεων και αν αναφέρεται, από μια ολόκληρη αστική περιοχή έως την αυλή μιας μεμονωμένης κατοικίας, μπορεί να τροποποιήσει τις ατμοσφαιρικές συνθήκες και τις τιμές των παραμέτρων όπως τη θερμοκρασία και την υγρασία αέρος, την ταχύτητα και τη διεύθυνση του ανέμου και τέλος το ισοζύγιο των ακτινοβολιών. Η σημασία της γεωμετρικής διαμόρφωσης στη μελέτη των ατμοσφαιρικών συνθηκών οδήγησε στην επινόηση δυο βασικών παραμέτρων μέσω των οποίων γίνεται δυνατή η περιγραφή της και η ένταξη της σε μαθηματικά πρότυπα (μοντέλα) που περιγράφουν τη θερμική αίσθηση του ανθρώπου, την εξάπλωση της θερμικής ρύπανσης έως και τη διασπορά των ρύπων (*Alcoforado and Andrade 2006; Emmanuel and Erik 2006; Johansson 2006; Tang and Wang 2007; Ali-Toudert and Mayer 2007b; Matzarakis et al. 2009*). Οι παράμετροι αυτές είναι ο Συντελεστής Θέασης του Ουράνιου Θόλου - Sky View Factor (SVF), και ο λόγος του ύψους του κτηρίου προς την απόσταση από το απέναντι κτήριο, δηλαδή το πλάτος του δρόμου (H/W). Η παράμετρος SVF είναι ένα αδιάστατο μέγεθος που μπορεί να πάρει τιμές από 0.0 έως και 1.0 το οποίο υποδηλώνει το ποσοστό του ουράνιου θόλου (ημισφαίριο) που είναι ορατό από τον παρατηρητή από μια συγκεκριμένη θέση στο χώρο. Όταν δεν υπάρχει κανένα τμήμα του ουράνιου θόλου που να είναι ορατό τότε ο SVF λαμβάνει την τιμή 0.0 και όταν αντίθετα είναι ορατό το σύνολό του λαμβάνει την τιμή 1.0 (Εικ. 4).



Εικόνα 4. Α) Σχηματική απεικόνιση των H και W - ύψος και απόσταση κτηρίων. Β) Σχηματική απεικόνιση του Συντελεστή Θέασης Ουράνιου Θόλου - Sky View Factor. Τροποποιημένη Εικόνα από Oke 1981.

Στην ουσία η παράμετρος H/W συμπεριλαμβάνεται στο SVF και χρησιμοποιείται σε πιο εξειδικευμένες μελέτες που εξετάζουν αμιγώς κτηριακές διαμορφώσεις (Yamashita et al. 1986). Σε κάθε περίπτωση όμως αποτελούν τις δυο ευρέως χρησιμοποιούμενες παράμετροι ποσοτικοποίησης και περιγραφής της γεωμετρικής διαμόρφωσης του χώρου (Shashua-Bar and Hoffman 2003; Emmanuel et al. 2007). Πολλές μελέτες συσχετίζουν μέσω αυτών, τη γεωμετρική διαμόρφωση με την ένταση της Αστικής Θερμικής Νησίδας - Urban Heat Island σε πολλές περιοχές του πλανήτη και σε διαφορετικές μορφές του αστικού χώρου (Barring et al. 1985; Johnson 1985; Eliasson 1996; Arnfield 2003). Επίσης ο SVF συνδέεται με την νυχτερινή ψύξη δια ακτινοβολίας, μια διαδικασία πολύ σημαντική στη διαμόρφωση των βιοκλιματικών συνθηκών και πολύ χρήσιμη κατά την επικράτηση θερμών συνθηκών (Urmanis et al. 1998; Goh and Chang 1999; Pearlmutter et al. 1999; Unger 2004). Οι τιμές που λαμβάνει ο ρυθμός νυχτερινής ψύξης (cooling rate) επηρεάζονται άμεσα από τη γεωμετρία του χώρου όπως παρουσιάζεται και στον Πίνακα 3 (Bourbia and Awbi 2004; Doulos et al. 2004; Giridharan et al. 2007).

Πίνακας 3. Η σχέση της τιμής του SVF και του ρυθμού νυχτερινής ψύξης.
Τροποποιημένος από Urmanis 1998.

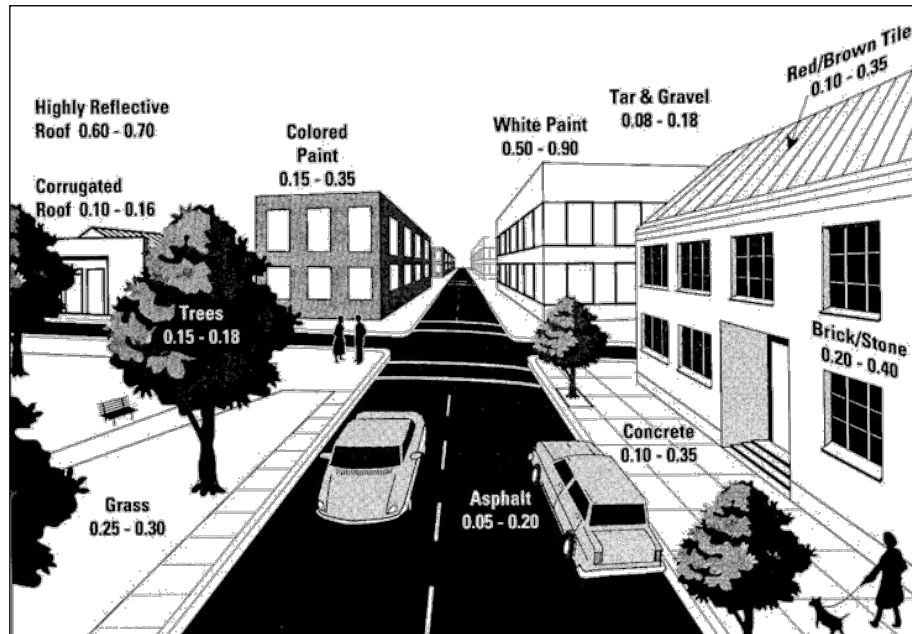
Μορφή Περιοχής	SVF	Ρυθμός Ψύξης ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}^{-1}$)
Αστική	0.91	1.3
Αστική	0.43	1.2
Πάρκο	0.64	1.0
Πάρκο	0.89	2.3
Πάρκο	0.76	2.9
Πάρκο	0.59	2.0
Περιοαστική	0.9	1.8

Εκτός των προαναφερθέντων, η γεωμετρική διαμόρφωση του χώρου διαδραματίζει σημαντικό ρόλο, στη θερμοκρασία που αναπτύσσεται στις επιφάνειές των στοιχείων του χώρου (Eliasson 1990; Eliasson 1992; Bourbia and Awbi 2004; Unger 2004). Η επίδραση όμως της γεωμετρικής διαμόρφωσης είναι πιο έντονη και άμεση στην περίπτωση της παραμέτρου T_{mrt} ($^{\circ}\text{C}$) που είναι η πιο καθοριστική παράμετρος της θερμικής άνεσης του ανθρώπου και είναι απαραίτητη στον υπολογισμό των δεικτών Physiological Equivalent Temperature (PET), Predicted Mean Vote (PMV) και Standard Effective Temperature (*SET) που αυτή τη στιγμή είναι και τα σπουδαιότερα εργαλεία αξιολόγησης των βιοκλιματικών συνθηκών (Gulyas et al. 2006; Johansson and Emmanuel 2006; Emmanuel et al. 2007; Alcoforado et al. 2009).

Τέλος, όπως είναι φυσικό, η διάταξη του τεχνητού ή φυσικού περιβάλλοντος και η τοπογραφία της περιοχής καθορίζουν τον τρόπο ροής του ατμοσφαιρικού αέρα με αποτέλεσμα να διαμορφώνουν τόσο την ταχύτητα όσο και τη διεύθυνση του ανέμου (Oke 1981a; Uno et al. 1989; Eliasson et al. 2006; Mochida et al. 2008). Η ταχύτητα του ανέμου είναι μια από τις βασικές παραμέτρους που επιδρά στις βιοκλιματικές συνθήκες και κατά συνέπεια τη θερμική αίσθηση του ανθρώπου σε ένα χώρο (Fanger 1972; Aynsley and Spruill 1990; Parsons 1993; Matzarakis et al. 1999).

1.4.2. Υλικά

Εκτός από τη διάταξη και τον προσανατολισμό των αντικείμενων στο χώρο, είναι πολύ σημαντική στη διαμόρφωση των βιοκλιματικών συνθηκών και η υλική τους σύσταση, δηλαδή η φύση του υλικού, το χρώμα του, η ανακλαστική του ικανότητα και οι θερμικές του ιδιότητες (*Chato 1985; Doulos et al. 2004; Small 2006*). Ίσως η πιο μελετημένη ως προς την επίδρασή της, στις κλιματικές συνθήκες παράμετρος είναι η λευκαύγεια (albedo) που είναι ο λόγος της ανακλώμενης προς την προσπίπτουσα ακτινοβολία σε ένα αντικείμενο και μετράται ποσοστιαία (%) ή σε κάποιες περιπτώσεις ως δεκαδικός αριθμός (*Oliver 2005*). Στην Εικόνα 5 παρουσιάζονται τιμές της παραμέτρου albedo για διάφορα υλικά που απαντώνται συχνά σε πληθώρα διαμορφώσεων σε αστικά και μη περιβάλλοντα. Το εύρος των τιμών που παρατηρείται για κάθε υλικό οφείλεται αφενός στις διαφορετικές αποχρώσεις του και αφετέρου στην πιθανώς διαφορετική υφή του (*Akbari 1992; Sailor and Fan 2002; Allaby 2007; Wilmers 1988*). Η τιμή του albedo είναι καθοριστική τόσο για τη θερμική συμπεριφορά του υλικού και τη διαμόρφωση του ισοζυγίου ακτινοβολιών όσο και για τη θερμοκρασία επιφανείας του και του αέρος κοντά σε αυτό.

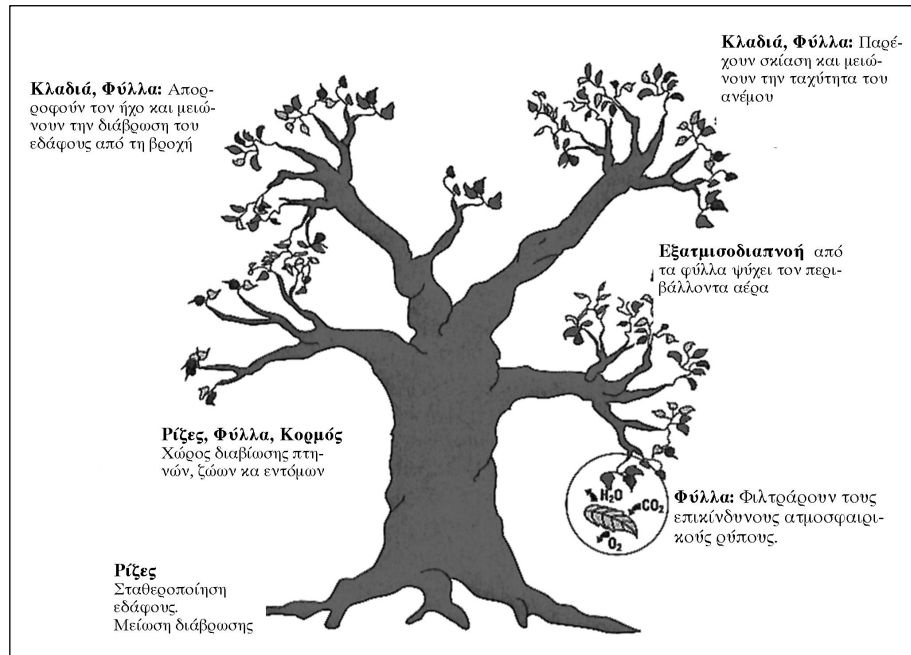


Εικόνα 5. Χαρακτηριστικές τιμές λευκαύγειας (Albedo) των κυριάρχων υλικών του αστικού περιβάλλοντος από Akbari 1992

Η σημασία της παραμέτρου αυτής οδήγησε την επιστημονική κοινότητα στο να αναζητήσει λύσεις για τη μείωση της έντασης του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας (Urban Heat Island) και της συνεπαγόμενης αυξημένης ζήτησης σε ενέργεια για δροσισμό, μέσω του ελέγχου της τιμής του albedo. Αυτό μπορεί να γίνει είτε με αλλαγή χρωματισμών στις άμεσα εκτεθειμένες στην ηλιακή ακτινοβολία επιφάνειες, είτε με τη χρήση βελτιωμένων υλικών (Hörpe 1991; Akbari 1992; Eliasson 1992; Asaeda et al. 1996; Akbari et al. 1997; Huggett and Cheesman 2002; Sailor and Fan 2002; Priyadarsini et al. 2008). Τέλος, σημαντικές είναι και οι άλλες ιδιότητες των υλικών που συνθέτουν το χώρο, όπως η θερμοχωρητικότητα, η εκπεμπτικότητα και η θερμική αγωγιμότητα, το σύνολο των οποίων καθορίζει τόσο τη θερμική συμπεριφορά αυτού όσο και τις βιοκλιματικές συνθήκες που επικρατούν σε αυτόν.

1.4.3. Βλάστηση

Συστατικό της διαμόρφωσης του περιβάλλοντος χώρου είναι πολύ συχνά η βλάστηση, είτε πρόκειται για φυσική είτε για αστική περιοχή. Η βλάστηση αποτελεί συχνά μέρος του φυσικού τοπίου, οι καλλωπιστικές της και οι άλλες ευεργετικές ή επιθυμητές της ιδιότητες, οδήγησαν στη χρήση της και σε περιβάλλοντα κάθε είδους, στα οποία κατοικεί και δραστηριοποιείται ο άνθρωπος. Σύμφωνα με αρκετές μελέτες, η επίδραση της βλάστησης υπό ορισμένες συνθήκες μπορεί να επιφέρει μείωση της ζήτησης κατανάλωσης ενέργειας για ψύξη πάνω από 18% (*Santamouris et al. 2001; Solecki et al. 2005*). Επιπρόσθετα, οι *Akbari et. al. (1997)* σημειώνουν ότι η αύξηση της βλάστησης κατά 30% σε μια περιοχή, εάν συνδυαστεί με αύξηση της λευκαύγειας (albedo) των κτηρίων κατά 20%, οδηγεί σε μείωση της κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση κατά 10-20% και για ψύξη 30-100% και οι *Dimoudi and Nikolopoulou 2003* υποστηρίζουν ότι για κάθε φυτοκαλυμμένη επιφάνεια περίπου 100 m² σημειώνεται πτώση της θερμοκρασίας αέρος κατά 1 °K στην αστική περιοχή.



Εικόνα 6. Οι βασικές λειτουργίες των δένδρων που επιδρούν στο αστικό περιβάλλον. Τροποποιημένη εικόνα από Akbari 1992.

Η επίδραση της βλάστησης είναι πολυδιάστατη (Εικ. 6) και συγκροτείται κυρίως από τη σκίαση που προσφέρει αλλά και από την εξατμισοδοαπνοή της ως μέρος της φυσιολογικής λειτουργίας των φυτών. Όσον αφορά στην κατανάλωση (ηλιακής) ενέργειας από τα φυτά, τα μεγαλύτερα ποσά καταναλώνονται από τη διεργασία της εξατμισοδιαπνοής (Bernatzky 1982) και μπορεί να φθάσει στο 75% του συνολικού ποσού της ενέργειας που δέχεται η βλάστηση. Στον Πίνακα 4 παρουσιάζεται ο καταμερισμός της κατανάλωσης ενέργειας από μερικά φυτικά είδη.

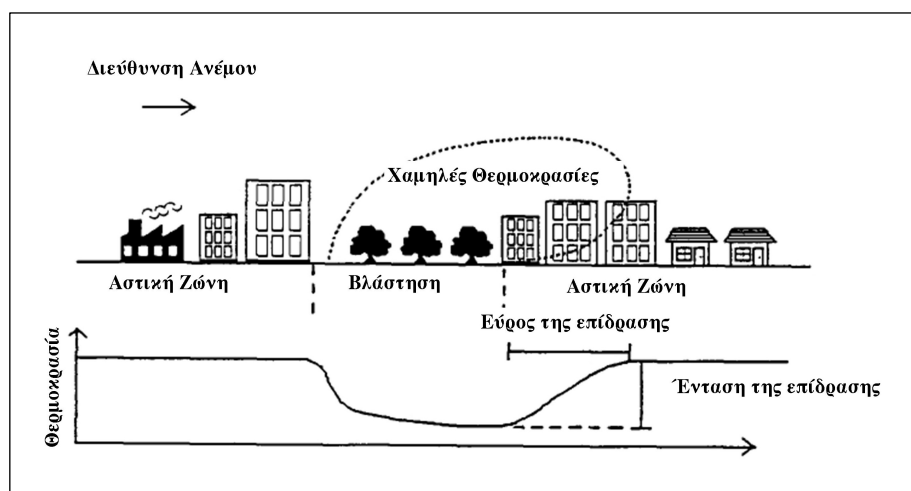
Πίνακας 4. Η ποσοστιαία κατανάλωση της ηλιακής ενέργειας σε διαφορετικά είδη εδαφοκάλυψης. Τροποποιημένος πίνακας από Kiese 1972; Bernatzky 1982

Είδος κάλυψης εδάφους	Εξατμισοδιαπνοή (%)	Θέρμανση Αέρα (%)
Ερυθρελάτη	66.5	33.4
Κωνοφόρα	64.8	33.8
Οξιιά	83.8	14.6
Γρασίδι	78.8	16.2
Αστική δόμηση	15.0	60.0

Κατά τη διάρκεια της ημέρας η διαδικασία της εξατμισοδιαπνοής είναι πολύ σημαντική και επηρεάζει τη θερμοκρασία του παρακείμενου ατμοσφαιρικού αέρα. Για αυτό το χρονικό διάστημα η επίδραση αυτή είναι εντονότερη ως αποτέλεσμα της δράσης της φυλλικής επιφάνειας των δένδρων παρά της χλόης. Αντίθετα, κατά τη διάρκεια της νύχτας η επίδραση της χλόης κάτω από τα δένδρα γίνεται ισχυρότερη όσον αφορά στην ψύξη του αέρα (Bernatzky 1982).

Η βλάστηση γενικά διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση των βασικότερων βιοκλιματικών παραμέτρων δεδομένου ότι μειώνει τη θερμοκρασία και αυξάνει την υγρασία του αέρα, μειώνει την ταχύτητα του ανέμου και την ακτινοβολία.

Σχετικά με τη μείωση της θερμοκρασίας αέρος αυτή σχετίζεται με το μέγεθος, το είδος και τη διάταξη της βλάστησης στο χώρο. Η εμβέλεια της επίδρασης του χώρου πρασίνου συναρτάται από την έκταση, το σχεδιασμό, τα επιλεγμένα φυτικά είδη και τη διαμόρφωση των χώρων που τον περιβάλλουν (Akbari 1992; Avissar 1996; Chronopoulou - Sereli et al. 2004).



Εικόνα 7. Σχηματική απεικόνιση της επίδρασης του αστικού πράσινου επί της θερμοκρασίας αέρος. Τροποποιημένη από Brown and Gillespie 1995

Οι φυτοκαλυμμένες επιφάνειες γενικά αυξάνουν την υγρασία του αέρα, χαρακτηριστικό που μπορεί να έχει κατά περίπτωση θετική ή αρνητική επίδραση στις βιοκλιματικές συνθήκες. Ο ατμοσφαιρικός αέρας εμπλουτίζεται με υγρασία που προέρχεται από τις φυσιολογικές λειτουργίες του φυτού αλλά και από τη διαδικασία άρδευσης των χώρων αυτών (όταν και όπου διενεργείται). Η αύξηση της υγρασίας του ατμοσφαιρικού αέρα σε μια τροπική αστική περιοχή έχει διαφορετική επίδραση στις διαμορφούμενες κλιματικές συνθήκες σε σχέση με μια μεσογειακή αστική περιοχή ή άλλη θερμή και ξηρή περιοχή (*Fanger et al. 1974; Giles et al. 1990; Ajibola 2001; Emmanuel and Erik 2006; Yu and Hien 2006*).

Μείωση της ταχύτητας του ανέμου διαπιστώνεται εντός και γύρω από την περιοχή του φυτοκαλυμμένου χώρου. Η ιδιότητα αυτή μπορεί να είναι επιθυμητή ή όχι, ανάλογα με την εποχή του έτους, γιατί αφενός μπορεί να είναι επιθυμητή κατά την ψυχρή περίοδο του έτους αλλά κατά τη θερμή, η αύξηση της ταχύτητας του ανέμου βελτιώνει τη θερμική αίσθηση των κατοίκων. Όμως με κατάλληλο σχεδιασμό των χώρων πράσινου μπορεί να αμβλυνθεί η μείωση της ταχύτητας του αέρα και να ενταθεί η ευεργετική του επίδραση (*Aynsley and Spruill 1990; Eliasson 2000; Eliasson and Upmanis 2000; Mochida and Lun 2008*).

Η βλάστηση ανάλογα με το ύψος, τη σύνθεση και την πυκνότητά της μειώνει την ηλιακή ακτινοβολία που φθάνει στην επιφάνεια του εδάφους. Το αποτέλεσμα αυτής της μείωσης δεν μπορεί να αξιολογηθεί αυτοτελώς αν δεν ληφθούν υπ' όψη όλες οι κλιματικές παράμετροι της περιοχής και της εποχής. Δηλαδή, κατά τη θερμή περίοδο του έτους σε μια περιοχή με εύκρατο κλίμα, η μείωση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι κατά βάση επιθυμητή. Το αντίστροφο συμβαίνει κατά την ψυχρή

περίοδο του έτους στην ίδια περιοχή. Γενικά όμως, η μείωση της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στις επιφάνειες ως συνέπεια της ύπαρξης βλάστησης οδηγεί σε τοπική μείωση της θερμοκρασίας κατά τις ώρες της ημέρας, αποτέλεσμα που είναι συχνά επιθυμητό όσον αφορά στη θερμική αίσθηση του ανθρώπου, ιδιαίτερα κατά τη θερμή περίοδο (*Bernatzky 1982; Jonsson 2004*). Στην ουσία η βλάστηση μειώνει τη διαθέσιμη ενέργεια που μπορεί να αυξήσει τη θέρμανση του αέρα ή των επιφανειών. Η βλάστηση χρησιμοποιεί μέρος της ενέργειας (κυρίως ηλιακή και δευτερευόντως θερμική) του περιβάλλοντος για να ολοκληρώσει τις λειτουργίες του βιολογικού της κύκλου. Εφόσον η ενέργεια αυτή μετατρέπεται σε άλλες μορφές, τα διαθέσιμα ποσά για θέρμανση είναι πολύ μικρότερα (*Terjung and O'Rourke 1981; Jones 1992; Ca et al. 1998; Dimoudi and Nikolopoulou 2003*).

Τέλος όσον αφορά όμως στη θερμική αίσθηση του ανθρώπου, η κατάσταση περιπλέκεται γιατί αυτή επηρεάζεται ταυτόχρονα από την ακτινοβολία, τη θερμοκρασία και υγρασία του ατμοσφαιρικού αέρα και τέλος την ταχύτητα ανέμου. Οι έως τώρα μελέτες που εστίασαν στη θερμική αίσθηση του ανθρώπου κάτω από γενικά θερμές συνθήκες συγκλίνουν στη θετική αποτίμηση της βλάστησης στη διαμόρφωση ευνοϊκών ατμοσφαιρικών συνθηκών εντός της πόλης (*Streiling and Matzarakis 2003; Thorsson et al. 2004; Χαραλαμπόπουλος 2006; Emmanuel et al. 2007; Ali-Toudert and Mayer 2007b*).

2. Περιγραφή μεθοδολογίας εκτίμησης της θερμικής επιβάρυνσης υπαίθριων χώρων διαφορετικής διαμόρφωσης

Στο κεφάλαιο αυτό θα περιγραφεί αναλυτικά η μεθοδολογία αξιολόγησης των βιοκλιματικών συνθηκών σε υπαίθριους χώρους, τα στάδια της, οι προϋποθέσεις εφαρμογής της και τα μέσα που χρησιμοποιούνται για την εκτέλεση του κάθε σταδίου της. Γενικά, για την εφαρμογή της μεθοδολογίας θα πρέπει να πληρούνται κάποιες προϋποθέσεις που αφορούν στο χώρο μελέτης, στον εξοπλισμό και στη δυνατότητα λήψης μετρήσεων. Το πλαίσιο εργασίας που διαμορφώνεται μέσα από τα στάδια που θα περιγραφούν, είναι ευέλικτο και μπορεί να αναπροσαρμόζεται ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες κάθε μελέτης, τις τεχνολογικές εξελίξεις, τις δυνατότητες του διαθέσιμου εξοπλισμού και την ευχέρεια χρήσης του κατάλληλου υπολογιστικού λογισμικού.

2.1. Υφιστάμενη γνώση – Αναγκαιότητα ανάπτυξης μεθοδολογίας

Το κλίμα, ο βασικός παράγοντας διαμόρφωσης της θερμικής άνεσης του ανθρώπου, είναι μια δέσμη παραμέτρων που καθορίζει εκτός των άλλων την ποιότητα διαβίωσης του ανθρώπου αλλά μπορεί και να καταστεί παράγοντας ζωτικής σημασίας κάτω από ορισμένες συνθήκες (*Davis et al. 2003; Rainham and Smoyer-Tomic 2003; Bisanti et al. 2004*). Η διαπίστωση αυτή δεν είναι σύγχρονη αλλά ξεκινά από την εποχή του Ιπποκράτη, ο οποίος συμβουλεύει τους ασκούντες την Ιατρική Επιστήμη να δίνουν μεγάλη προσοχή στην εποχή

του έτους, στους ψυχρούς αλλά και στους θερμούς ανέμους. Σημαντική ακόμα θεωρούσε την εναλλαγή του καιρού, τη βροχή, και την ξηρασία στην πρόβλεψη της έξαρσης επιδημιών (Ματζαράκης 1995; Papadopoulou et al. 2009).

Πολλές μελέτες συνδέουν πλέον, τις ατμοσφαιρικές συνθήκες με τη θνησιμότητα, τις ψυχολογικές μεταπτώσεις και την εκδήλωση παθολογικών καταστάσεων στον άνθρωπο. Ο Clarke 1972 καταλήγει στο ότι κατά τη διάρκεια εκδήλωσης καύσωνα, οι σχετιζόμενοι με τις ατμοσφαιρικές συνθήκες θάνατοι, είναι στατιστικώς σημαντικά περισσότεροι στις αστικές περιοχές σε σχέση με τις μη αστικές περιοχές. Αυτό επιβεβαιώθηκε και στον Ελλαδικό χώρο μεταγενέστερα από τη μελέτη των Giles and Balafoutis 1990 που σχετίζει την επίδραση των υψηλών θερμομετρικών συνθηκών που επικράτησαν σε δυο διαδοχικά έτη (1987-1988) με την αύξηση των θανάτων, ειδικά στα αστικά κέντρα. Για την ίδια χρονική περίοδο οι Matzarakis and Mayer 1991 διερεύνησαν με τη βοήθεια βιοκλιματικών δεικτών τη σχέση θερμικής καταπόνησης (heat stress) και συνθηκών καύσωνα. Πιο σύγχρονες μελέτες οι οποίες είχαν και επιδημιολογική προσέγγιση (Bisanti et al. 2004; Conti et al. 2005) κατέδειξαν την επίδραση των ατμοσφαιρικών συνθηκών σε διάφορους τομείς της ανθρώπινης υγείας όπως η αναπνοή, ο ύπνος κ.λπ (Luc et al. 2005; Nastos and Matzarakis 2006; Nastos and Matzarakis 2008a). Πέραν όμως της άμεσης σχέσης των ατμοσφαιρικών συνθηκών με τη ζωή του ανθρώπου, έχει διαπιστωθεί και σημαντική επίδραση επί της οικονομίας σε μικρο- και μακρο- κλίμακα (Akbari and Taha 1992; Ca et al. 1998; Barradas et al. 1999). Αυτό είναι αποτέλεσμα της ανάγκης του ανθρώπου να διαβιώνει σε ένα ελεγχόμενο και όσο το δυνατό πιο σταθερό θερμικό περιβάλλον κάτι που οδηγεί στην κατανάλωση ενέργειας για ψύξη ή θέρμανση των κατοικιών και άλλων κλειστών χώρων εργασίας, διαβίωσης κ.λπ. (Lowry 1969; Santamouris et al. 2001; Kolokotroni et al. 2006;

Assimakopoulos et al. 2007).

Το βασικό όμως πρόβλημα της διαμόρφωσης ικανοποιητικών θερμικών συνθηκών εντοπίζεται σήμερα στις αστικές και περιαστικές περιοχές όπου κατοικεί και δραστηριοποιείται το μεγαλύτερο μέρος του παγκόσμιου πληθυσμού (σήμερα ο αστικός πληθυσμός αγγίζει τα 3.2 δισεκατομμύρια δηλαδή σχεδόν το 48% του παγκόσμιου πληθυσμού). Γενικότερα, η υποβάθμιση των βιοκλιματικών συνθηκών, καταγράφεται εκεί όπου υπάρχει σημαντική τροποποίηση του φυσικού περιβάλλοντος λόγω της οικιστικής δραστηριότητας και των συνακόλουθων ανθρωπογενών δράσεων με αποτέλεσμα τη διαμόρφωση κυρίως δυσμενέστερων θερμικών συνθηκών (*Detwyler and Melvin 1972; Landsberg 1981*). Για παράδειγμα, παρατηρήθηκε από τους *Klysik and Fortuniak 1999* αύξηση της αστικής θερμοκρασίας κατά 12 °C στο Lodz της Πολωνίας, τιμή που συμπίπτει με αυτή ανάλογης έρευνας στο Tokyo από τους *Saitoh et al. 1996*, όταν σε άλλες περιπτώσεις η αύξηση αυτή ήταν πολύ μικρότερη όπως στην πόλη Fairbanks (Αλάσκα) όπου δεν ξεπέρασε τους 1.5 °C (*Magee et al. 1999*). Στην Αθήνα αντίστοιχα, έχει μετρηθεί αύξηση της θερμοκρασίας αέρος (ένταση της αστικής θερμικής νησίδας) που φθάνει έως τους 5 °C (*Livada et al. 2002; Mihalakakou et al. 2004*) και 7 °C στα πλαίσια του λεκανοπεδίου της Αθήνας (*Horbert et al. 1988*). Ανάλογη τροποποίηση σε βασικές ατμοσφαιρικές παραμέτρους που καθορίζουν τις βιοκλιματικές συνθήκες (υγρασία αέρος, ταχύτητα ανέμου, ακτινοβολία) παρατηρείται σε κάθε περιοχή που δραστηριοποιείται ο άνθρωπος (*Chagnon 1981; Sailor and Fan 2002; Arnfield 2003; Akinbode et al. 2008*). Έχει παρατηρηθεί όμως ότι η διαμόρφωση του περιβάλλοντος χώρου αποτελεί κυρίαρχο παράγοντα στη δημιουργία ιδιαίτερων κατά περίπτωση βιοκλιματικών συνθηκών (*Henry and Dicks 1987; Mihalakakou et al. 1994; Eliasson 2000*). Ως διαμόρφωση

περιβάλλοντος εννοείται στις μελέτες, που εστιάζουν στις βιοκλιματικές συνθήκες, η γεωμετρία και τα υλικά που συγκροτούν το χώρο καθώς και η γεωγραφική του θέση (WMO 1954; Oke 1981b; Sad de Assis and Barros Frota 1999). Τελικά, όσον αφορά στη θερμική αίσθηση του ανθρώπου έχει αποδειχθεί ότι το άμεσο περιβάλλον επιδρά καθοριστικά και για το λόγο αυτό πολλές μελέτες έχουν εστιάσει στην ανάλυση των συνθηκών θερμικής αίσθησης σε διάφορα μικροπεριβάλλοντα. Αυτά μπορεί να ποικίλουν από διαμορφώσεις αστικού πράσινου (Picot 2004; Potchter et al. 2006), χώρους στάθμευσης (Scott et al. 1999), γήπεδα (Bouyer et al. 2007) ή και τυπικές διαμορφώσεις του δομημένου περιβάλλοντος (Oke 1981b; Ali-Toudert and Mayer 2006; Gulyas et al. 2006). Οι έως τώρα παρουσιαζόμενες μελέτες όμως, εξετάζουν την επίδραση της διαμόρφωσης του χώρου μόνο για μικρά χρονικά διαστήματα τα οποία κυμαίνονται από λίγες ημέρες (Clarke and Bach 1971; Nagara et al. 1996; Tuller 1997; Potchter et al. 2006; Walton et al. 2007) έως και μικρό αριθμό μηνών (Thorsson et al. 2007b; Zauli Sajani et al. 2008). Εκτός αυτού, η χρονική περίοδος που επιλέγεται για να διεξαχθεί η κάθε μελέτη αφορά σταθερές μετεωρολογικές συνθήκες -αδιάλειπτη ηλιοφάνεια και χαμηλή ταχύτητα ανέμου- κάτι που περιορίζει σημαντικά την κατανόηση της συνολικής βιοκλιματικής συμπεριφοράς των χώρων μελέτης (Ahmed 2003; Streiling and Matzarakis 2003; Picot 2004; Tablada et al. 2009). Οι συνθήκες αυτές, δεν είναι οι μόνες στις οποίες υπόκειται ένας χώρος και οι άνθρωποι που βρίσκονται σε αυτόν. Επίσης, οι μέχρι τώρα μελέτες, συνήθως καταγράφουν τις συνθήκες σε 'σαφή' περιβάλλοντα (Gulyas et al. 2006; Ali-Toudert and Mayer 2007a; Andrade and Alcoforado 2008). Με τον όρο 'σαφή' αναφέρονται σε διαμορφώσεις που έχουν διακριτή γεωμετρία, που συχνά είναι αποτέλεσμα μόνο κτηριακών δομών. Όμως είναι γνωστό ότι οι χώροι οι οποίοι συντελούν

σημαντικά στη βελτίωση της θερμικής άνεσης του ανθρώπου είναι αυτοί που είναι πλούσιοι σε βλάστηση (Akbari et al. 2001; Jonsson 2004; Charalampopoulos and Chronopoulou-Sereli 2005; Donovan and Butry 2009). Η βλάστηση με τη λειτουργία της εξατμισοδιαπνοής μπορεί να μειώσει τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος και όταν συνδυάζεται με σκίαση (από κατάλληλα δένδρῶδη ή θαμνώδη φυτικά είδη) μπορεί να βελτιώσει σημαντικά τις βιοκλιματικές συνθήκες και τις συνθήκες θερμικής αίσθησης του ανθρώπου (Dimoudi and Nikolopoulou 2003; Χαραλαμπόπουλος 2006; Lin et al. 2008). Διαπιστώθηκαν εξαιρετικά βελτιωμένες βιοκλιματικές συνθήκες (αύξηση της σχετικής υγρασίας κατά 25% και μείωση της θερμοκρασίας αέρος κατά 4.5 °C) στην φυτοκαλυμμένη έκταση του Εθνικού Κήπου της Αθήνας σε σύγκριση με παρακείμενο δρόμο λόγω της πυκνής πολυώροφης αρδευόμενης βλάστησής του (Horbert et al. 1988; Χρονοπούλου-Σερέλη and Ουζιέλ 1997).

Η μεθοδολογία, που αναπτύχθηκε στην παρούσα διατριβή αποσκοπεί στη συνολική εκτίμηση των βιοκλιματικών συνθηκών σε υπαίθριους χώρους ως αποτέλεσμα της διαμόρφωσής τους. Με τον όρο συνολική εκτίμηση εννοείται η μελέτη σε όλες τις εποχές του έτους και σε διαφορετικές μετεωρολογικές συνθήκες, δεδομένου ότι οι μέχρι σήμερα έρευνες αναφέρονται σε περιορισμένο χρονικό διάστημα που αφορά ώρες, ημέρες ή και λίγους μήνες. Επίσης η μεθοδολογία αυτή εστιάζει στην επίδραση που έχει η διαμόρφωση του χώρου στη θερμική επιβάρυνση του ανθρώπου, δηλαδή στην καταπόνηση που δέχεται ο άνθρωπος αν παραμείνει στις μελετώμενες διαμορφώσεις. Αυτό έγινε δυνατό με την εφαρμογή νέων παραμέτρων, που αφορούν στη θερμική επιβάρυνση. Τέλος για να εκτιμηθεί η επίδραση της διαμόρφωσης περιβάλλοντος και μόνο αυτής στη θερμική επιβάρυνση του ανθρώπου, εφαρμόστηκε μια νέα

συγκριτική τεχνική αξιοποιώντας ένα χώρο με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά ως σημείο αναφοράς.

2.2. Στάδια ανάπτυξης μεθοδολογίας

2.2.1. Στάδιο 1°. Μελέτη και αξιολόγηση των χαρακτηριστικών της ερευνώμενης περιοχής

Σε μια εκτεταμένη περιοχή οι μικρομετεωρολογικές συνθήκες που διαμορφώνονται σε εντοπισμένες θέσεις εξαρτώνται κυρίως

- από τις γενικότερες μετεωρολογικές συνθήκες
- από το τοπογραφικό ανάγλυφο της περιοχής
- από τη διαμόρφωση του περιβάλλοντος (θέση αντικειμένων στο χώρο, υλικά κατασκευής τους, υδάτινες επιφάνειες κ.λπ)

Προκειμένου να αξιολογηθεί και να ποσοτικοποιηθεί η διαφοροποίηση, που προκαλεί η διαμόρφωση του υπαίθριου χώρου θα πρέπει να εξαλειφθούν οι επιδράσεις του τοπογραφικού ανάγλυφου και οι πιθανές επιδράσεις των διαφορετικών (χωρικά) μετεωρολογικών συνθηκών. Αυτό μπορεί να συμβαίνει σε περιοχή μελέτης μικρής έκτασης (οπότε θα βρίσκονται οι διάφορες διαμορφώσεις χώρου υπό την επίδραση των ίδιων μετεωρολογικών συνθηκών) ή σε ενιαία εκτεταμένη περιοχή χωρίς διαφοροποιήσεις στο τοπογραφικό ανάγλυφο. Γενικά όμως οι περιοχές οι οποίες παρουσιάζουν αυξημένο βιοκλιματικό ενδιαφέρον έχουν ποικίλη διαμόρφωση, οπότε θα πρέπει οι μελετώμενες διαμορφώσεις να βρίσκονται σε μικρή απόσταση μεταξύ τους. Η απόσταση αυτή δεν θα πρέπει να ξεπερνά τη μέγιστη οριζόντια απόσταση που ορίζει το

μικροκλίμα. Δηλαδή, για τις συνήθεις περιπτώσεις περιβάλλοντος δεν θα πρέπει να ξεπερνά το ένα χιλιόμετρο (*Oke 1981a; Oke 2004b*). Σε περιπτώσεις όμως εκτεταμένης ομοιογένειας του χώρου (συνεχές δάσος, ερημικές εκτάσεις κ.λπ.), αυτή η απόσταση μπορεί να αυξηθεί μέχρι του σημείου που δεν θα διαφοροποιούνται οι μετεωρολογικές συνθήκες μεταξύ των μελετώμενων θέσεων.

Τέλος, μια καθοριστική και απαραίτητη διαμόρφωση για την ορθή εφαρμογή της μεθοδολογίας είναι αυτή η οποία θα αποτελέσει το Σημείο Αναφοράς (ΣΑ). Αυτή η διαμόρφωση πρέπει να είναι κατάλληλη για την καταγραφή των ευρύτερων μετεωρολογικών συνθηκών. Στην ουσία αναζητάται χώρος ο οποίος πρέπει να πληροί τις προϋποθέσεις για την εγκατάσταση μόνιμου μετεωρολογικού σταθμού (*Detwyler and Melvin 1972; Arnfield 2003; Geiger et al. 2003; Oke 2004a; Oke 2004b; Grimmond 2006*) ή σε περίπτωση που αυτό δεν είναι εφικτό πρέπει απαραίτητως να έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

-Ανοιχτός ορίζοντας.

-Απουσία εμποδίων έτσι ώστε να μην προκαλείται σκίαση στο χώρο.

-Ομοιογενής εδαφοκάλυψη με προτίμηση στην απουσία οποιουδήποτε υλικού πέραν του φυσικού εδάφους.

-Μειωμένη ή μηδενική ανθρωπογενής δραστηριότητα που μπορεί να τροποποιήσει με οποιοδήποτε τρόπο τις μικρομετεωρολογικές συνθήκες.

-Τέλος, ο χώρος στον οποίο θα βρίσκεται το ΣΑ θα πρέπει να απέχει μικρή απόσταση από τα υπόλοιπα σημεία μελέτης και σε ιδανικές περιπτώσεις, να βρίσκεται ανάμεσα τους.

2.2.2. Στάδιο 2°. Επιλογή βιοκλιματικού δείκτη

Για την αξιολόγηση των βιοκλιματικών συνθηκών στους υπαίθριους χώρους, έχει ιδιαίτερη σημασία η επιλογή του δείκτη, που θα τις ποσοτικοποιήσει και τελικά θα τις εκφράσει με τρόπο εύληπτο και άμεσα κατανοητό. Οι διαθέσιμοι βιοκλιματικοί δείκτες αριθμούν μερικές δεκάδες και ξεκίνησαν να βρίσκουν εφαρμογή στις ατμοσφαιρικές επιστήμες από τις αρχές του προηγούμενου αιώνα (*Parsons 1993; Ματζαράκης 1995; Jauregui 1997; de Freitas et al. 2008*). Στα αρχικά στάδια εξέλιξης και εφαρμογής τους ήταν απλοί και πολλές φορές εμπειρικοί, των οποίων οι μαθηματικές εξισώσεις συνδύαζαν κάποιες από τις βασικές και συχνά διαθέσιμες μετεωρολογικές παραμέτρους. Τέτοιοι δείκτες είναι ο Discomfort Index (*Thom 1959; Jáuregui and Soto 1967; Rubinstein et al. 1980; Angouridakis and Makrogiannis 1982; Penas 1984; Pennas 1984*), ο Humidex (*Bisanti et al. 2004; Conti et al. 2005*), και ο Relative Strain Index (*Emmanuel 2005; Gulyas et al. 2006*) οι οποίοι συνδυάζουν τη θερμοκρασία και την υγρασία της ατμόσφαιρας σε απλές μαθηματικές εξισώσεις. Οι χαμηλές απαιτήσεις σε διαθεσιμότητα μετεωρολογικών παραμέτρων έκανε τους δείκτες αυτού του τύπου αρκετά δημοφιλείς στο παρελθόν. Όμως, αυτοί οι δείκτες δεν ήταν ακριβείς στην αξιολόγηση των βιοκλιματικών συνθηκών και της συνεπακόλουθης θερμικής αίσθησης γιατί δε λάμβαναν υπόψη ούτε τα χαρακτηριστικά του ανθρώπου, ούτε καν την ακτινοβολία. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να θεωρείται, βάσει των δεικτών αυτού του τύπου, ότι ένας άνθρωπος βρίσκεται σε συνθήκες ίδιας θερμικής αίσθησης είτε είναι υπό σκιά είτε είναι εκτεθειμένος στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία. Τελικά, η κατηγορία αυτών των δεικτών θεωρείται ακατάλληλη για εφαρμογή σε περίπλοκα περιβάλλοντα

όπως είναι τα περισσότερα στα οποία δραστηριοποιείται ο άνθρωπος. Η ανάγκη για ακριβέστερη και ορθότερη αξιολόγηση των συνθηκών θερμικής αίσθησης του ανθρώπου οδήγησε στην επινοήση μιας νέας γενιάς δεικτών, που είχαν υψηλότερες απαιτήσεις σε δεδομένα αλλά έδιναν πολύ πιο τεκμηριωμένα και ερμηνεύσιμα αποτελέσματα (*Fanger 1972; Beshir and Ramsey 1988; Oliver 2005*). Οι δείκτες που ανήκουν σε αυτή τη νέα γενιά έχουν συμπεριλάβει με ιδιαίτερα αναλυτικό τρόπο τη φυσιολογία του ανθρώπινου οργανισμού και τις λειτουργίες του, που σχετίζονται με τη θερμορύθμιση του (*Parsons 1993*) καθώς και το σύνολο των ατμοσφαιρικών παραμέτρων (*Fanger 1972; Jendritzky and Nübler 1981; Höppe 1993; VDI 1998*). Τέτοιοι δείκτες είναι ο Predicted Mean Vote (PMV), ο Physiological Equivalent Temperature (PET), η νέα Effective Temperature (*ET), ο Standard Effective Temperature (SET*) οι οποίοι χρησιμοποιούνται σε ποικίλα περιβάλλοντα, κυρίως όμως σε αστικά, που είναι και τα πιο περίπλοκα ως προς τη διαμόρφωση τους (*Jendritzky and Nübler 1981; de Dear 1990; Matzarakis et al. 1999; Spagnolo and de Dear 2003*).

Για τους σκοπούς της περιγραφόμενης μεθοδολογίας επιλέχθηκε ο Physiological Equivalent Temperature (PET). Η βασική ιδέα δημιουργίας του PET ήταν η 'μεταφορά' των πραγματικών βιομετεωρολογικών συνθηκών του εξωτερικού ή εσωτερικού περιβάλλοντος σε ένα ισοδύναμο ιδεατό εσωτερικό περιβάλλον που προκαλεί την ίδια θερμική αίσθηση. Η θερμική αίσθηση επηρεάζεται και διαφοροποιείται έντονα από τις μετεωρολογικές παραμέτρους και ιδιαίτερα από την ηλιακή ακτινοβολία. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 5 σε δυο θερινές ημέρες με την ίδια θερμοκρασία, υγρασία και ταχύτητα ανέμου, οι συνθήκες θερμικής αίσθησης, όπως εκφράζονται από τον PET μπορεί να διαφέρουν κατά 14 °C, αν στη μια

περίπτωση επικρατεί ηλιοφάνεια και στην άλλη περίπτωση επικρατεί νέφωση. Οι τιμές αυτές θα διέφεραν ακόμα και κάτω από τις ίδιες ακριβώς ατμοσφαιρικές συνθήκες αν το υποκείμενο (άνθρωπος) έφερε διαφορετικό ρουχισμό, διαφορετική στάση σώματος ή έκανε μια άλλη δραστηριότητα.

Πίνακας 5. Τιμές του δείκτη PET σε διάφορες μετεωρολογικές συνθήκες (Τροποποιημένος από Höppe 1999)

Περιγραφή*	T _a (°C)	T _{mrt} (°C)	WS (m·s ⁻¹)	VP (hPa)	PET (°C)
Κλειστός χώρος	21	21	0.1	12	21
Χειμώνας Ηλιοφάνεια	-5	40	0.5	2	10
Χειμώνας Νέφωση	-5	-5	5.0	2	-13
Καλοκαίρι Ηλιοφάνεια	30	60	1.0	21	43
Καλοκαίρι Νέφωση	30	30	1.0	21	29

*όπου T_a η θερμοκρασία αέρος, WS η ταχύτητα ανέμου, VP η τάση ατμών και T_{mrt} η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας.

Στην ουσία ο δείκτης PET μεταφράζει τη θερμική αίσθηση του ανθρώπου, ο οποίος βρίσκεται σε εξωτερικό χώρο και δέχεται την επίδραση των θερμοϋγρομετρικών συνθηκών, των ακτινοβολιών και της πνοής του ανέμου στη θερμοκρασία εσωτερικού χώρου ελλείψει ακτινοβολιών (T_a=T_{mrt}) με ταχύτητα ανέμου WS=0.1 m·s⁻¹ και σταθερή τάση ατμών VP=12 hPa (Höppe 1993). Ο PET ορίζεται λοιπόν ως η θερμοκρασία αέρος στην οποία η ανθρώπινη ενεργειακή ισορροπία για τις υποτιθέμενες συνθήκες εσωτερικού χώρου είναι ισορροπημένη από την ίδια θερμοκρασία δέρματος και ρυθμό εφίδρωσης όπως στις υπολογισμένες πραγματικές εξωτερικές συνθήκες (Matzarakis and Mayer 1997). Οι τιμές του δείκτη PET έχουν κατηγοριοποιηθεί (Πίν. 6) και εκφράζουν τη θερμική αίσθηση του ανθρώπου από το πολύ ψυχρό (PET ≤ 4 °C) ως το πολύ ζεστό (PET ≥ 41 °C). Το εύρος των τιμών του δείκτη από 18 έως και 23 °C εκφράζει τις καλύτερες βιοκλιματικές συνθήκες για τον άνθρωπο (κατηγορία άνετο) με βέλτιστη τιμή του PET το 20.5

°C.

Πίνακας 6. Σχέση θερμικής αίσθησης του ανθρώπου και των τιμών του δείκτη PET. (Τροποποιημένος από Matzarakis et al. 1999)

PET (°C)	Θερμική Αίσθηση
	Πολύ ψυχρό
4	Ψυχρό
8	Δροσερό
13	Ελαφρά δροσερό
18	Άνετο
23	Ελαφρά θερμό
29	Θερμό
35	Ζεστό
41	Πολύ ζεστό

Για τον υπολογισμό του δείκτη PET απαιτούνται ποικίλα μετεωρολογικά δεδομένα όπως θερμοκρασία και υγρασία αέρος, ακτινοβολία και ταχύτητα ανέμου. Επίσης σαν είσοδοι στο μαθηματικό μοντέλο που τον υπολογίζει, εισάγονται και πληροφορίες σχετικές με τον άνθρωπο, όπως μόνωση ρουχισμού, βάρος, ύψος, ηλικία και σωματική δραστηριότητα (Hörpfe 1999; Matzarakis et al. 1999). Ο δείκτης PET υπολογίζεται μέσω των εξισώσεων του μοντέλου MEMI (Mayer 1993) οι οποίες μπορούν να ενσωματωθούν σε φιλικά προς το χρήστη λογισμικά όπως το RayMan (Matzarakis et al. 2006; Matzarakis et al. 2007).

Η επιλογή του δείκτη PET, για τις ανάγκες της παρούσας διατριβής έγινε διότι θεωρείται ο καταλληλότερος για την αξιολόγηση των βιοκλιματικών συνθηκών (και της θερμικής αίσθησης του ανθρώπου) σε υπαίθριους χώρους (Gulyas et al. 2006; Johansson and Emmanuel 2006; Oliveira and Andrade

2007; Lin and Matzarakis 2008). Ο βασικότερος λόγος που οδήγησε στην επιλογή αυτή είναι η ευρέως γνωστή μονάδα μέτρησής του που είναι ο βαθμός Κελσίου (°C). Αυτό το χαρακτηριστικό του PET τον κάνει ιδιαίτερα 'δημοφιλή' στις βιοκλιματικές έρευνες γιατί τα εξαγόμενα αποτελέσματα γίνονται αντιληπτά ακόμα και από μη εξειδικευμένους επιστήμονες αλλά και από το ευρύ κοινό (Höppe 1999; Matzarakis et al. 1999; Johansson and Emmanuel 2006; Ali-Toudert and Mayer 2007a).

2.2.3. Στάδιο 3°. Απαραίτητα μετεωρολογικά δεδομένα – Εγκατάσταση οργάνων – Λήψη δεδομένων

Για την εκτίμηση της θερμικής αίσθησης του ανθρώπου που βρίσκεται σε διαφορετικές διαμορφώσεις περιβάλλοντος, απαιτούνται δεδομένα θερμοκρασίας και υγρασίας αέρος, ηλιακής ακτινοβολίας και έντασης ανέμου. Στόχος της μεθοδολογίας αυτής δεν είναι μόνο η εκτίμηση της θερμικής αίσθησης αλλά και η αξιολόγηση της βιοκλιματικής απόδοσης των διαμορφώσεων, οπότε δεδομένα των παραμέτρων αυτών απαιτούνται και από το σημείο αναφοράς (ΣΑ).

Μετεωρολογικά δεδομένα πρέπει απαραίτητως να λαμβάνονται από τα αντίστοιχα όργανα του μετεωρολογικού σταθμού, που είναι εγκατεστημένος στη θέση του χώρου που χρησιμοποιείται ως ΣΑ. Αν υπάρχει δυνατότητα εγκατάστασης αντιστοίχων οργάνων με αυτά του ΣΑ και στα σημεία των διαμορφώσεων που θα αξιολογηθούν, τότε η εκτίμηση του PET γίνεται χωρίς καμία ιδιαίτερη διαδικασία αλλά με την εφαρμογή του κατάλληλου μαθηματικού μοντέλου.

Στην πλειονότητα όμως των περιπτώσεων δεν είναι δυνατή η εγκατάσταση μετεωρολογικών σταθμών σε όλες τις θέσεις που απαιτείται. Στις περιπτώσεις αυτές, τοποθετούνται αυτόνομα

όργανα μέτρησης της θερμοκρασίας και υγρασίας αέρος, διότι οι παράμετροι αυτές δεν είναι δυνατόν να εκτιμηθούν με την απαιτούμενη ακρίβεια (*Elnahas and Williamson 1997; Mochida et al. 1997; Herbert and Herbert 2002; Shashua-Bar and Hoffman 2002; Lagouarde et al. 2004*), οπότε απαιτείται η *in situ* μέτρησή τους.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να επισημανθεί η αναγκαιότητα για διασφάλιση κοινών συνθηκών μέτρησης των μετεωρολογικών παραμέτρων εφόσον η αξιολόγηση των βιοκλιματικών συνθηκών γίνεται τόσο μεμονωμένα όσο και συγκριτικά μεταξύ διαφορετικών διαμορφώσεων. Άρα τα όργανα μετρήσεων και ο εξοπλισμός πρέπει να είναι ίδιου τύπου για κάθε διαμόρφωση, για να μην υπάρχουν αποκλίσεις στα δεδομένα που να οφείλονται σε αυτόν. Εκτός αυτού, το ύψος τοποθέτησής τους πρέπει να είναι κοινό και να πληροί τις προδιαγραφές που απαιτούνται (*VDI 1998; Höpfe 1999; Matzarakis et al. 1999*) για τον υπολογισμό του PET (1.50 – 1.70 m πάνω από την επιφάνεια του εδάφους). Στην προκειμένη περίπτωση προτείνεται το ύψος 1.70 m, διότι εκφράζει ακριβέστερα το χώρο μέσα στον οποίο κινείται ο 'μέσος' άνθρωπος. Θα πρέπει η επιλογή του σημείου τοποθέτησης των διατάξεων που μετρούν τις μετεωρολογικές παραμέτρους να λαμβάνει υπόψη τις ιδιαιτερότητες του κάθε χώρου. Για παράδειγμα, δεν θα πρέπει σε καμιά περίπτωση ο εξοπλισμός να είναι σε μικρή απόσταση από σώματα που εκπέμπουν θερμότητα ή να εκτίθενται σε νερό που εκτοξεύεται από συστήματα άρδευσης. Επίσης, είναι προτιμότερο να τοποθετούνται τα μετεωρολογικά όργανα στο γεωμετρικό κέντρο του χώρου ή της διαμόρφωσης που θα γίνει εκτίμηση των βιοκλιματικών της συνθηκών. Όσον αφορά στο χρόνο, οι μετρήσεις θα πρέπει να λαμβάνονται ταυτόχρονα σε όλες τις θέσεις και με όσο το δυνατό μικρότερο μεσοδιάστημα (*interval*). Το μεσοδιάστημα αυτό δεν θα πρέπει

να είναι πολύ μικρό (μικρότερο από 1 min) γιατί σε χαμηλά ύψη (1.50–1.70 m από το έδαφος) δημιουργούνται προβλήματα στις μετρήσεις των μετεωρολογικών παραμέτρων ιδιαίτερα της θερμοκρασίας αέρος (*Geiger et al. 2003*). Όμως αυτό δεν θα πρέπει να είναι πολύ μεγάλο (πάνω από 15 min) για να διασφαλίζεται η καλύτερη ποιότητα των μετρήσεων. Με βάση αυτά τα κριτήρια επιλέχθηκε για τη μεθοδολογία αυτή το μεσοδιάστημα των δυο λεπτών (2 min) για τη διεξαγωγή των συγκεκριμένων μετρήσεων.

2.2.4. Στάδιο 4°. Εκτίμηση παραμέτρων ηλιακής ακτινοβολίας και έντασης ανέμου για τον υπολογισμό του δείκτη PET στις διαφορετικές διαμορφώσεις

Για την εκτίμηση του δείκτη PET στις διαφορετικές διαμορφώσεις της ερευνώμενης περιοχής, εκτός της θερμοκρασίας και υγρασίας αέρος, οι οποίες μετρώνται στις θέσεις αυτές, είναι απαραίτητα τα δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας και ταχύτητας ανέμου. Όπως ήδη προαναφέρθηκε, επειδή στην πλειονότητα των περιπτώσεων δεν είναι δυνατή η εγκατάσταση οργάνων, κρίθηκε αναγκαία η διερεύνηση τρόπων και μεθοδολογιών αντιμετώπισης του προβλήματος αυτού.

Η ηλιακή ακτινοβολία είναι πολύ σημαντική παράμετρος στον υπολογισμό της θερμικής αίσθησης γιατί εκτός των άλλων αυτή καθορίζει την τιμή της T_{mrt} (*Masmoudi and Mazouz 2004; Thorsson et al. 2007a*). Η παράμετρος η οποία είναι καθοριστική για τη διαμόρφωση των τιμών της T_{mrt} είναι η ολική ακτινοβολία (Global Radiation), η οποία όταν δε μετράται *in situ* μπορεί να εκτιμηθεί με ικανοποιητική ακρίβεια σε κάθε θέση του χώρου. Για την εκτίμηση της παραμέτρου πρέπει να είναι γνωστή η γεωγραφική θέση

(γεωγραφικό πλάτος και μήκος) και το υψόμετρο που όταν συνδυαστούν με την παράμετρο του χρόνου (ημέρα του έτους και ώρα) είναι αρκετά για τον υπολογισμό της ολικής ακτινοβολίας (GR). Η διαδικασία υπολογισμού της GR εμπεριέχει πολλούς και σύνθετους υπολογισμούς (VDI 1994; Stull 2000). Για την επιτάχυνση της διαδικασίας προτείνεται το λογισμικό RayMan Pro το οποίο μπορεί και υπολογίζει την GR και μέσω αυτής την T_{mrt} με υψηλή ακρίβεια αφού λαμβάνει υπ' όψη και τη γεωμετρική διαμόρφωση του χώρου. Για την περιγραφή της γεωμετρικής διαμόρφωσης μπορεί να αξιοποιηθεί η ειδική εφαρμογή που είναι ενσωματωμένη στο λογισμικό RayMan Pro με τη βοήθεια της οποίας σχεδιάζεται η διαμόρφωση του περιβάλλοντα χώρου. Εναλλακτικά, μπορούν να εισαχθούν στο λογισμικό αυτό φωτογραφίες που έχουν ληφθεί με φακό τύπου Fish-Eye. Η φωτογραφική μηχανή που φέρει αυτό το φακό πρέπει να είναι οριζοντιωμένη και κατάλληλα προσανατολισμένη ως προς το Βορρά. Τέλος, οι φωτογραφίες αυτές πρέπει να επεξεργαστούν από κατάλληλο λογισμικό για να αποκτήσουν το μέγεθος και το χρωματισμό που προβλέπεται για τον υπολογισμό της παραμέτρου Sky View Factor (SVF) μέσω του λογισμικού RayMan Pro.

Τέλος, το βασικότερο πρόβλημα που έχρηζε ειδικής μεταχείρισης ήταν η εκτίμηση της ταχύτητας του ανέμου (WS) στα σημεία μελέτης. Η αδυναμία μέτρησης της παραμέτρου σε κάθε θέση για μεγάλο χρονικό διάστημα, οδήγησε στην εφαρμογή μιας νέας τεχνικής που αξιοποιεί τις δυνατότητες του μικροκλιματικού λογισμικού ENVI-met.

Η ταχύτητα ανέμου ($WS \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) είναι μια παράμετρος η οποία αφενός είναι απαραίτητη για τον υπολογισμό του δείκτη PET, αφετέρου παρουσιάζει αρκετές δυσκολίες στη μέτρησή της. Πιο συγκεκριμένα, ενώ η σύγχρονη τεχνολογία μας επιτρέπει να μετρήσουμε τη θερμοκρασία (T_a) και υγρασία

αέρος (RH) με πολύ μεγάλη ακρίβεια κάνοντας χρήση οικονομικού και σχετικά ανθεκτικού εξοπλισμού, η ταχύτητα ανέμου χρειάζεται πιο ακριβό και ευαίσθητο εξοπλισμό που στις περισσότερες περιπτώσεις δεν μπορεί να διατεθεί για μεγάλα χρονικά διαστήματα που απαιτούνται. Δηλαδή, θα έπρεπε να τοποθετείται σε κάθε διαμόρφωση χώρου ένα ανεμόμετρο υψηλής ακρίβειας και ευαισθησίας. Τα όργανα αυτά έχουν μεγάλο κόστος και τα κινητά τους μέρη (όταν υπάρχουν), τα κάνουν ιδιαίτερα ευαίσθητα. Εφόσον δεν είναι δυνατή στις περισσότερες περιπτώσεις η μέτρηση της WS θα πρέπει να γίνει εκτίμησή της με όσο το δυνατό μεγαλύτερη ακρίβεια.

Η εκτίμηση της WS συνήθως γίνεται με τη λογαριθμική σχέση που περιγράφει ο *Oke 1981a* και ορίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$u_z = \frac{u_*}{\kappa} \ln \frac{z}{z_0}$$

Όπου u_z είναι η WS στο ύψος z , το u_* είναι η ταχύτητα τριβής, κ η σταθερά von Karman η οποία είναι 0.4 και z_0 το μήκος τραχύτητας. Η παράμετρος z_0 εξαρτάται από το είδος της επιφάνειας και αφορά στο υλικό αλλά και στο σχήμα του. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 7, το z_0 παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές (≥ 2.0) στα αστικά κέντρα και σε δάση με ξέφωτα, δηλαδή εκεί όπου η επιφάνεια παρουσιάζει μεγαλύτερη ανομοιομορφία. Αντίθετα, οι χαμηλότερες τιμές εντοπίζονται στις ομοιόμορφες επιφάνειες (έρημοι, θάλασσες, πάγοι κ.λπ).

Πίνακας 7. Ενδεικτικές τιμές του μήκους τραχύτητας z_0 . Τροποποιημένος πίνακας από Stull 2000 και Oke 1981a

Είδος Επιφάνειας	Μήκος Τραχύτητας z_0 (m)
Νερό (στάσιμο- ανοιχτή θάλασσα)	$0.1-10*10^{-5}$
Πάγος (λείος)	$0.1*10^{-4}$
Άμμος, Έρημος	0.0003
Διάφορα Εδάφη	0.001-0.01
Καλλιεργούμενες εκτάσεις με χαμηλά φυτά και μικρά εμπόδια-μεμονωμένοι θάμνοι	0.1
Υψηλές καλλιέργειες, ποικίλου ύψους, αμπέλια	0.25
Ποικιλία καλλιεργειών, οπωρώνες, αραιά κτήρια	0.5
Μεγάλου μεγέθους εμπόδια, προάστια πόλεων, χωριά	1.0
Αστικά κέντρα, ανομοιόμορφα δάση με ξέφωτα.	≥ 2.0

Η παραπάνω σχέση όμως αφορά στην ταχύτητα του ανέμου που μετράται πάνω από τις επιφάνειες αυτές. Σε περιπτώσεις όμως που πρέπει να εκτιμηθεί η WS μέσα ή κάτω από τη φυτοκόμη, η εκτίμηση με τη σχέση αυτή δεν είναι ιδιαίτερα ακριβής και όχι πάντα δόκιμη (Finnigan et al. 2007; Mochida et al. 2008; Endalew et al. 2009). Είναι πολύ συνηθισμένο όμως οι υπαίθριοι χώροι να έχουν βλάστηση και περίπλοκη γεωμετρική διαμόρφωση. Εφόσον ο δέκτης (άνθρωπος) των βιοκλιματικών συνθηκών βρίσκεται και κινείται κάτω ή στο μέσο του ύψους της φυτοκόμης θα πρέπει και οι ανεμομετρικές συνθήκες να εκτιμηθούν στο αυτό ύψος.

Για τον υπολογισμό λοιπόν των ανεμομετρικών συνθηκών σε περιβάλλοντα με περίπλοκες διαμορφώσεις έχουν εφαρμοστεί μαθηματικά μοντέλα που συνυπολογίζουν και τις αεροδυναμικές επιδράσεις των δένδρων και γενικά της βλάστησης (Svensson and Höggkvist 1990; Hiraoka 1993). Τα μαθηματικά μοντέλα που εφαρμόζονται πολύ συχνά, είναι τύπου $k-\epsilon$ (turbulent kinetic energy equations) και είναι πλέον κλασσικά στην υλοποίηση λογισμικού υπολογιστικών εφαρμογών που εξετάζουν και προσομοιώνουν την αεροδυναμική σε περίπλοκα περιβάλλοντα (Liu et al. 1996; Sanz 2003; Liang et al.

2006; Ali-Toudert and Mayer 2007b; Endalew et al. 2009).

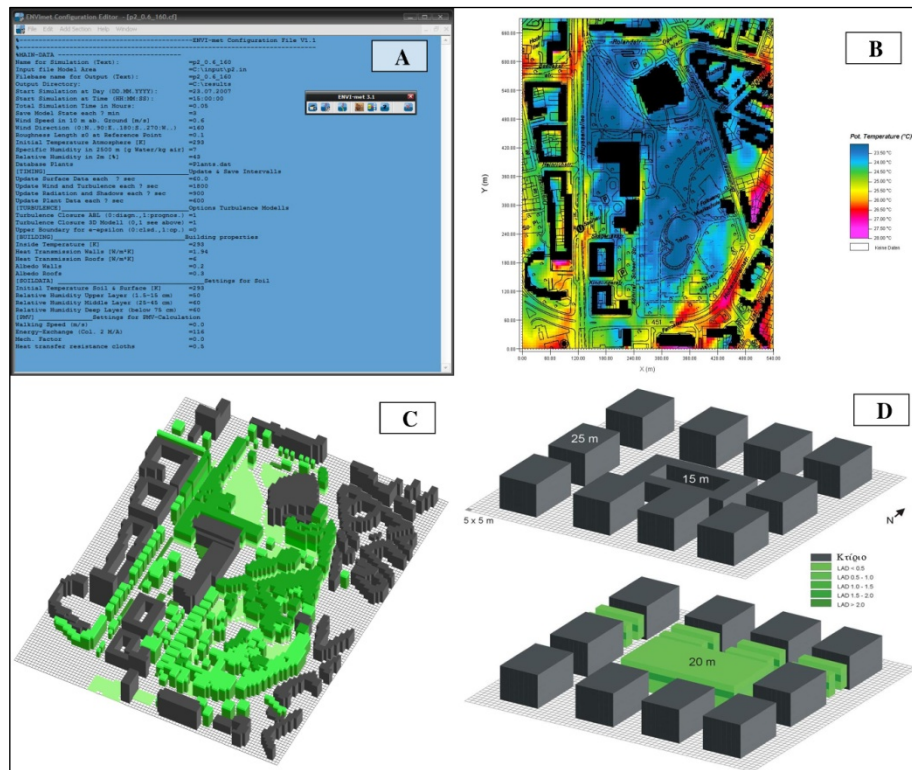
Κατά την εφαρμογή της μεθόδου, η ανάγκη για την όσο πιο ακριβή εκτίμηση των ανεμομετρικών συνθηκών επέβαλε την αξιοποίηση μιας υλοποίησης λογισμικού του μαθηματικού μοντέλου k - ε που επιτρέπει τον σχεδιασμό της διαμόρφωσης του χώρου μελέτης. Το λογισμικό ονομάζεται ENVI-met και έχει αξιοποιηθεί σε πολλές μικρομετεωρολογικές μελέτες (Bruse and Fleer 1998; Ali-Toudert and Mayer 2006; Emmanuel and Erik 2006; Johansson and Emmanuel 2006; Emmanuel et al. 2007; Samaali et al. 2007).

Το λογισμικό ENVI-met αποτελείται από ένα τρισδιάστατο μικροκλιματικό μαθηματικό μοντέλο. Σχεδιάστηκε για να προσομοιώνει τις αλληλεπιδράσεις επιφανείας-φυτού-ατμόσφαιρας σε περίπλοκα και αστικά περιβάλλοντα. Η τυπική ανάλυση του μπορεί να είναι από 0.5 έως 10 m σε μήκος και 10 sec σε χρόνο. Τα πεδία εφαρμογής του είναι κυρίως η Αστική Κλιματολογία, η Αρχιτεκτονική και ο Σχεδιασμός Χώρων (Bruse and Fleer 1998; De Ridder et al. 2004; Samaali et al. 2007). Το μαθηματικό μοντέλο πάνω στο οποίο γίνεται η υλοποίηση του λογισμικού ENVI-met συγκροτείται από τους βασικούς νόμους της ρευστομηχανικής και της θερμοδυναμικής και μπορεί να προσομοιώσει:

- Τη ροή των αερίων μαζών μεταξύ και γύρω από κτήρια.
- Τη διαδικασία ανταλλαγής θερμότητας και υγρασίας από τεχνητές επιφάνειες και το έδαφος.
- Τις διαδικασίες ανταλλαγής ενέργειας μεταξύ βλάστησης και ατμόσφαιρας.
- Τις βιοκλιματικές συνθήκες.
- Τη διασπορά σωματιδίων και ρύπων

Γενικά είναι ένα λογισμικό που λειτουργεί σε περιβάλλον Microsoft Windows και αποτελείται από 4 επιμέρους εφαρμογές (υποεφαρμογές). Την εφαρμογή σχεδίασης του περιβάλλοντος,

την εφαρμογή εισαγωγής δεδομένων, το μαθηματικό υπολογιστικό μοντέλο και τέλος την εφαρμογή τμηματικής εξαγωγής αποτελεσμάτων (Εικ. 8).

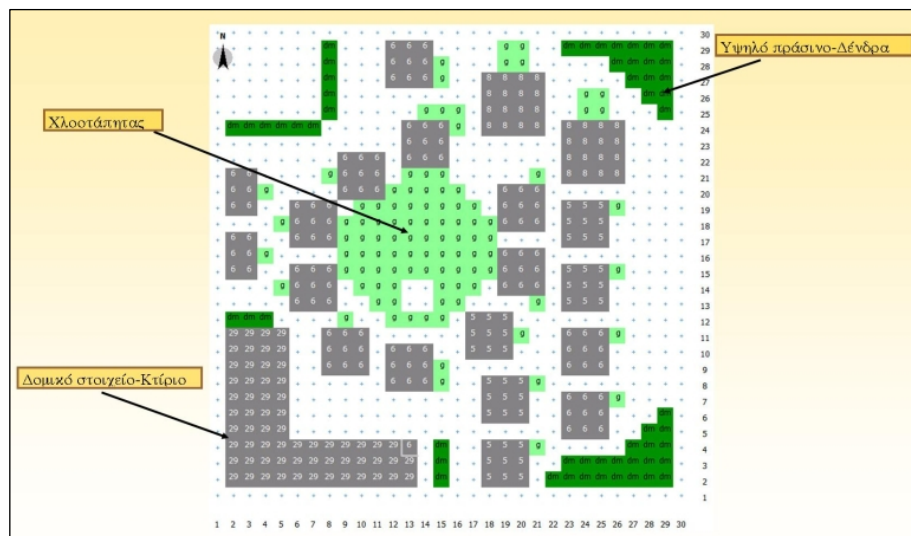


Εικόνα 8. Το λογισμικό ENVI-met. A: Πίνακας εισαγωγής δεδομένων. B: Αποτέλεσμα προσομοίωσης χωρικής κατανομής θερμοκρασίας σε αστικό πάρκο και στον περιβάλλοντα αστικό ιστό. C&D: Τρισδιάστατη απεικόνιση σχεδιασμένων διαμορφώσεων.

Στην εφαρμογή σχεδίασης περιβάλλοντος εισάγονται δεδομένα που προσομοιώνουν την πραγματική διαμόρφωση του χώρου. Μέσω αυτών, εισάγονται κτηριακές διαμορφώσεις για τις οποίες μπορεί να καθοριστεί το ύψος και οι λοιπές τους διαστάσεις. Επίσης μπορεί να εισαχθεί η εδαφοκάλυψη που μπορεί να ποικίλει από γυμνό έδαφος κάθε τύπου, τεχνητά υλικά εδαφοκάλυψης (πλάκες, τσιμέντο και ασφαλτος), αλλά και χλοοτάπητας. Τέλος μπορεί να εισαχθεί κάθε τύπος βλάστησης όπως θάμνοι και δένδρα (Εικ. 9) για τα οποία ορίζεται το προφίλ τους και η κατανομή της φυτοκόμης ακόμα

και το βάθος του ριζικού τους συστήματος.

Με την εφαρμογή εισαγωγής δεδομένων τροφοδοτείται το λογισμικό με στοιχεία όπως χρόνος και διάρκεια προσομοίωσης, χρόνος εσωτερικής επικαιροποίησης (update) του μοντέλου, αρχική ταχύτητα ανέμου, θερμοκρασία αέρος και εδάφους, υγρασία αέρος, στοιχεία των κτηρίων όπως θερμοκή αγωγιμότητα τοιχοποιίας, εσωτερική θερμοκρασία και λευκαύγεια. Επίσης εισάγονται δεδομένα σχετικά με τη βλάστηση και το έδαφος σε διάφορα βάθη, δεδομένα που σχετίζονται με την εκτίμηση των βιοκλιματικών συνθηκών όπως συντελεστής μόνωσης ένδυσης υποκειμένου (άνθρωπος) και δραστηριότητα. Τέλος μπορούν να εισαχθούν δεδομένα που σχετίζονται με τη διασπορά σωματιδίων στην ατμόσφαιρα και τη νέφωση (πάχος και είδος).



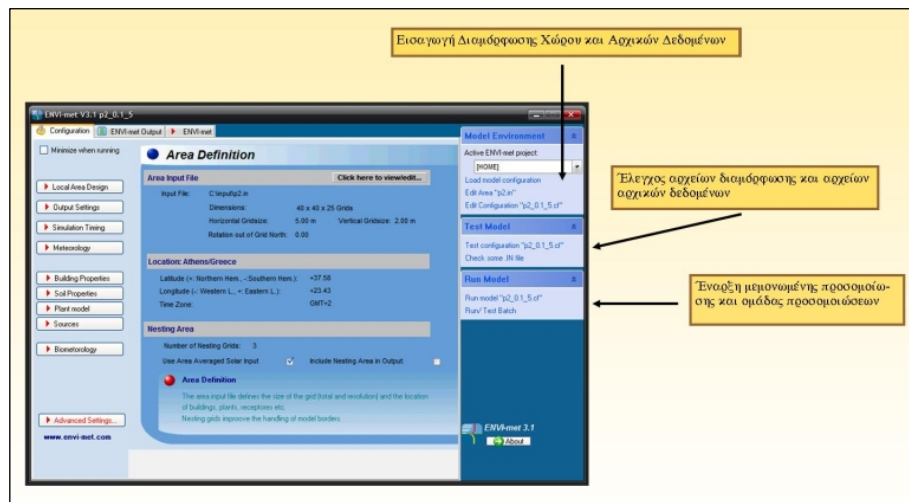
Εικόνα 9. Λεπτομέρεια από το περιβάλλον εισαγωγής διαμορφώσεων του λογισμικού ENVI-met.

Το μαθηματικό υπολογιστικό μοντέλο (Εικ. 10) επιτρέπει την επιλογή της διακριτικής του ικανότητας. Οι επιλογές αυτές είναι α) 100X100X30 β) 180X180X30 και γ) 250X250X30 όπου οι δύο πρώτοι αριθμοί είναι το πλάτος και το μήκος ενώ ο τρίτος είναι το ύψος του προσομοιούμενου χώρου αντίστοιχα (η διαστασολόγηση γίνεται από το χρήστη). Εδώ θα πρέπει να

σημειωθεί ότι για την ομαλή λειτουργία του ENVI-met απαιτείται αυξημένη υπολογιστική ισχύς, μεγάλη άμεσα προσπελάσιμη μνήμη του ηλεκτρονικού υπολογιστή και ιδιαίτερη προσοχή κατά τη λειτουργία του προγράμματος. Θα πρέπει επίσης να επιλέγεται το μοντέλο με τη μικρότερη διακριτική ικανότητα για να μειώνεται όσο είναι δυνατό ο χρόνος που απαιτείται για την ολοκλήρωση της προσομοίωσης.

Οι παράμετροι που μπορούν να υπολογιστούν ή να εκτιμηθούν είναι πάρα πολλές και οι σπουδαιότερες από αυτές είναι:

- Ταχύτητα ανέμου, ροή στις τρεις διαστάσεις ($m \cdot s^{-1}$)
- Μεταβολή ταχύτητας ανέμου (%)
- Θερμοκρασία αέρος και μεταβολή θερμοκρασίας αέρος ($^{\circ}K$)
- Ειδική ($g \cdot Kg^{-1}$) και σχετική υγρασία αέρος (%)
- Άμεση, διάχυτη και ανακλώμενη μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία ($W \cdot m^{-2}$)
- Μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία ($W \cdot m^{-2}$)
- Συντελεστής θέασης ουράνιου θόλου - Sky View Factor
- Ροή θερμότητας ($^{\circ}K \cdot m \cdot s^{-1}$)
- Θερμοκρασία τοιχοποιίας ($^{\circ}K$)
- Θερμοκρασία φύλλων ($^{\circ}K$)
- Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας ($^{\circ}K$)
- Μέσος αναμενόμενος θερμικός δείκτης - Predicted Mean Vote (PMV)
- Ταχύτητα απόθεσης σωματιδίων ($mm \cdot s^{-1}$)
- Συγκέντρωση CO_2 (ppm)



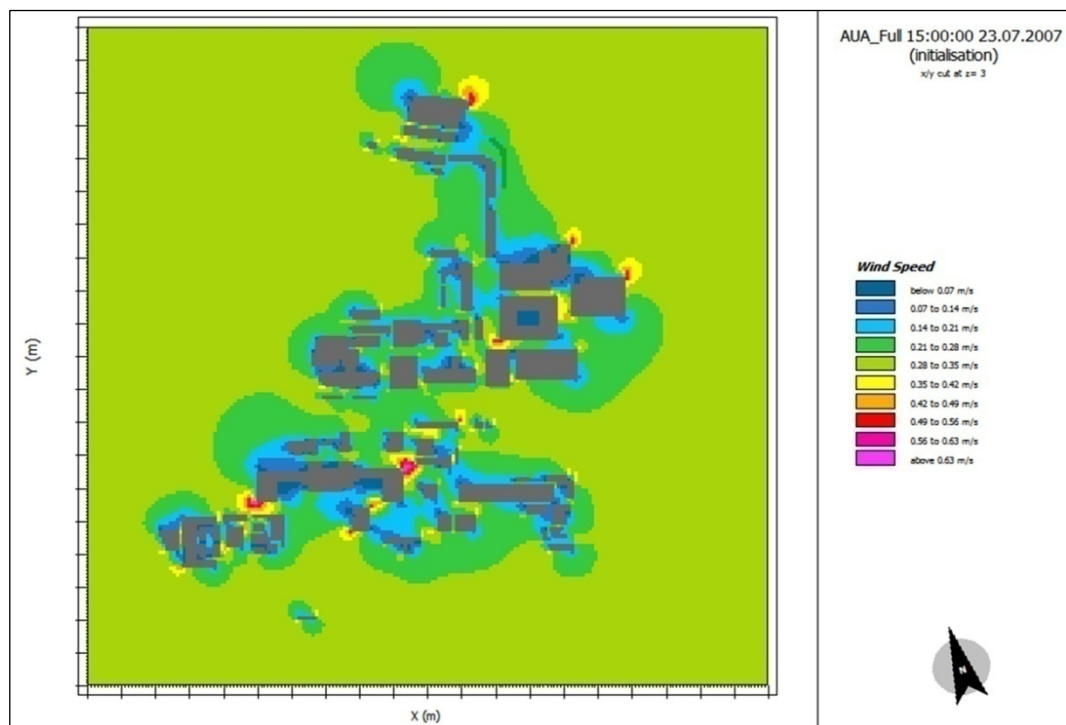
Εικόνα 10. Βασική οθόνη διαχείρισης λογισμικού ENVI-met.

Όσον αφορά στην εκτίμηση της WS σε κάθε σημείο μελέτης είναι αναγκαία η δημιουργία μαθηματικών σχέσεων που συνδέουν την WS στο σημείο αναφοράς (ΣΑ) και την ταυτόχρονη WS στα υπόλοιπα σημεία διαμόρφωσης. Για να επιτευχθεί το παραπάνω ακολουθήθηκαν τα εξής βήματα:

-Ακριβής σχεδιασμός της κάθε διαμόρφωσης και ιδιαίτερα στις θέσεις μέτρησης των θερμοϋγρομετρικών συνθηκών. Ο σχεδιασμός γίνεται μέσω της υποεφαρμογής του ENVI-met που ονομάζεται Eddi. Μέσω της υποεφαρμογής αυτής εισάγονται στοιχεία που αφορούν στο εδαφικό υλικό, στα δομικά υλικά εδαφοκάλυψης, στα δομικά στοιχεία και τη φυτοκάλυψη (δένδρα, χλοοτάπητας, θάμνοι κ.λπ.). Όσον αφορά στο φυτικό υλικό εισάγονται ακόμα και στοιχεία που αφορούν στη φυσιολογία του φυτού (τύπος C3 ή C4), στο προφίλ της φυτοκόμης μέσω του LAD-Leaf Area Density, στη δραστηριότητα των στοματιών των φύλλων και τέλος στο χαρακτηρισμό των φυτών ως φυλλοβόλα ή αειθαλή. Οι τιμές των παραμέτρων αυτών αλλάζουν ανάλογα με την εποχή του έτους που λαμβάνουν χώρα αυτές οι προσομοιώσεις.

-Υπολογισμός της χωρικής κατανομής (Εικ. 11) της WS σε όλη την περιοχή της σχεδιασμένης διαμόρφωσης περιβάλλοντος. Οι υπολογισμοί αυτοί γίνονται σε κάθε σημείο μελέτης και

για πλήθος ανεμομετρικών συνθηκών από 0.1 έως και $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.



Εικόνα 11. Χωρική κατανομή της ταχύτητας ανέμου στο χώρο του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών όπως προέκυψε από την προσομοίωση του λογισμικού ENVI-met (γκρίζο χρώμα: κτηριακές εγκαταστάσεις του ΓΠΑ).

-Εξαγωγή ζεύγους αποτελεσμάτων WS από το ίδιο ύψος. Στην περίπτωση αυτή, γίνεται καταγραφή της WS για κάθε δεδομένη χρονική στιγμή σε δύο διαφορετικά σημεία με κοινό ύψος.

-Στατιστική επεξεργασία. Με τα ζεύγη τιμών των αποτελεσμάτων της WS γίνεται καταρχήν πολλαπλή παλινδρόμηση η οποία εμπλέκει στατιστικά την WS στο σημείο μελέτης με την WS στον ΣΑ και τη διεύθυνση ανέμου. Η διεύθυνση ανέμου όμως, κατόπιν δοκιμών και αξιοποίησης κατάλληλων στατιστικών κριτηρίων, αποδείχθηκε ότι δεν προσφέρει σημαντικά στην εκτίμηση των ανεμομετρικών συνθηκών και έτσι αφαιρέθηκε από τις παλινδρομήσεις. Ο έλεγχος αυτός (της επίδρασης της διεύθυνσης ανέμου) όμως θα πρέπει να γίνεται κάθε φορά για κάθε διαμόρφωση περιβάλλοντος για την αποφυγή

λαθών. Τέλος, από τα αποτελέσματα των στατιστικών παλινδρομήσεων προκύπτουν απλές μαθηματικές σχέσεις βάσει των οποίων γίνεται η εκτίμηση της WS σε κάθε διαμόρφωση της ερευνώμενης περιοχής.

2.2.5. Στάδιο 5°. Κατηγοριοποίηση ημερών με κοινά μετεωρολογικά χαρακτηριστικά

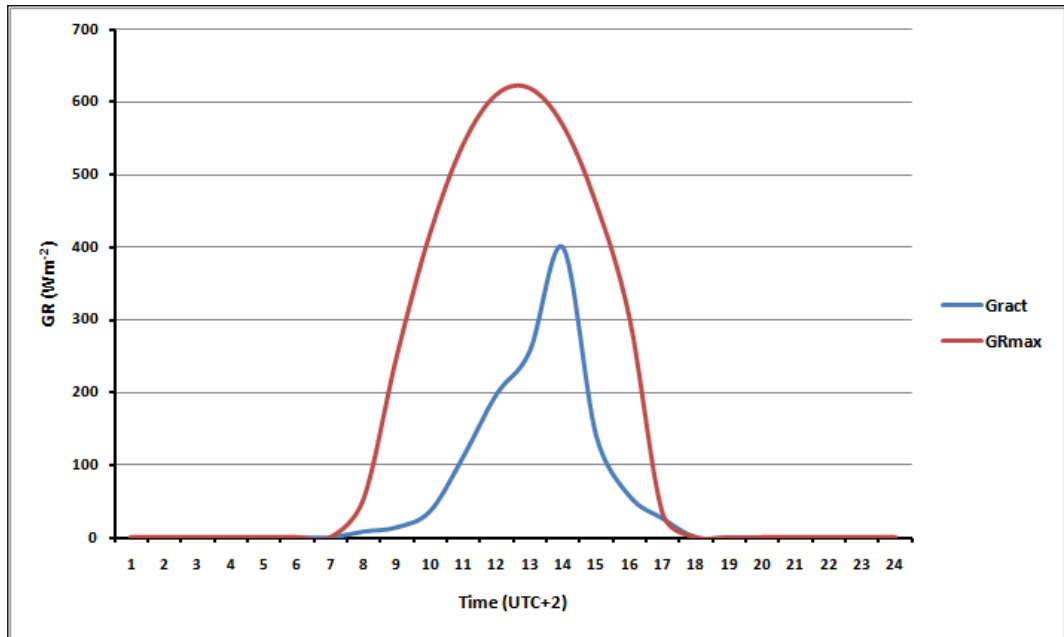
Για την καλύτερη και πιο τεκμηριωμένη αξιολόγηση της βιοκλιματικής συμπεριφοράς κάθε θέσης με διαφορετική διαμόρφωση περιβάλλοντος, πρέπει να υπάρχει η όσο το δυνατό μεγαλύτερη επαναληψιμότητα στις μετρήσεις. Δηλαδή, δεν αρκεί μόνο μια ημέρα με συγκεκριμένα μετεωρολογικά χαρακτηριστικά για να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα σχετικά με τις διαμορφούμενες βιοκλιματικές συνθήκες. Αντίθετα, απαιτείται σημαντικός αριθμός ημερών με κοινά μετεωρολογικά χαρακτηριστικά. Για το λόγο αυτό εφαρμόστηκε μια νέα τεχνική βάσει της οποίας είναι δυνατή η ομαδοποίηση των ημερών ανάλογα με τις μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν κατά τη διάρκειά τους. Πριν αναλυθεί η τεχνική αυτή θα πρέπει να τονιστεί ότι στην παρούσα μέθοδο η βασική μονάδα χρόνου είναι το 24ώρο, και δευτερεύουσες η ημέρα που περιλαμβάνει το χρονικό διάστημα από 08:00 έως και 19:00 (UTC+2), και η νύχτα που περιλαμβάνει τις υπόλοιπες ώρες. Επίσης η ελάχιστη χρονική μονάδα, βάσει της οποίας έγιναν και οι υπολογισμοί είναι η ώρα. Δηλαδή, όλες οι τιμές των παραμέτρων στην τελική φάση, δηλαδή σε αυτήν που παρουσιάζονται τα αποτελέσματα, είναι ωριαίες. Με την επιλογή αυτή μειώνεται ο όγκος των παρουσιαζόμενων αποτελεσμάτων χωρίς να χάνεται η αξιοπιστία τους ενώ ταυτόχρονα εξυπηρετείται η καλύτερη κατανόηση τους.

Όπως προαναφέρθηκε, η μέθοδος αυτή έχει σκοπό την αξιολόγηση της βιοκλιματικής συμπεριφοράς των υπαίθριων χώρων τόσο μεμονωμένα όσο και συγκριτικά (μεταξύ τους αλλά και μεταξύ του καθενός και του σημείου αναφοράς). Η βιοκλιματική συμπεριφορά είναι συνάρτηση της διαμόρφωσης του περιβάλλοντα χώρου και των μετεωρολογικών συνθηκών που επικρατούν. Προκειμένου να εξασφαλιστεί η μέγιστη δυνατή ομοιομορφία έγινε ομαδοποίηση των 24ώρων με βάση τις μετεωρολογικές συνθήκες που επικράτησαν κατά τη διάρκεια τους. Για την ομαδοποίηση αυτή, δημιουργήθηκαν κατάλληλες κλάσεις χρησιμοποιώντας επιλεγμένες μετεωρολογικές παραμέτρους.

Δυο βασικά χαρακτηριστικά που επηρεάζουν σημαντικά τις βιοκλιματικές συνθήκες και την ημερήσια (24ωρη) κύμανσή τους είναι η ταχύτητα του ανέμου και η κατάσταση του ουρανού. Με τον όρο κατάσταση του ουρανού εννοείται η νέφωση, ως παράγοντας διαμόρφωσης του ποσού της ηλιακής ενέργειας που φθάνει στη γήινη επιφάνεια και συνεπώς στις διαφορετικές διαμορφώσεις που γίνεται η αξιολόγηση. Η ταχύτητα του ανέμου είναι μια επίσης πολύ διαδεδομένη μετεωρολογική παράμετρος που μετράται από την πλειονότητα των μετεωρολογικών σταθμών. Αντίθετα, η νέφωση είναι μια παράμετρος που απαιτεί για τη μέτρησή της εξειδικευμένο και σχετικά σπάνιο εξοπλισμό ή εκπαιδευμένο παρατηρητή που θα λαμβάνει μετρήσεις πεδίου για όλο το 24ωρο. Αυτά τα χαρακτηρίστηκα - ιδιαιτερότητες οδήγησαν στην εξεύρεση άλλου τρόπου περιγραφής και κατηγοριοποίησης της κατάστασης του ουρανού. Ο τρόπος αυτός βασίζεται στην αξιοποίηση δυο διαδεδομένων παραμέτρων, της διάρκειας ηλιοφάνειας (Sun Duration - min) και της ολικής ακτινοβολίας (Global Radiation - $W \cdot m^{-2}$).

Οι παράμετροι αξιοποιούνται συνδυαστικά με τον ακόλουθο

τρόπο. Για κάθε περιοχή στην οποία θα λάβει χώρα η περιγραφόμενη μέθοδος, υπολογίζεται η 24ωρη πορεία της ολικής ακτινοβολίας (GR) για κάθε ημέρα του έτους. Ο υπολογισμός αυτός αφορά στη GR σε συνθήκες ανέφελου ουρανού και γίνεται βάσει του σχετικού τυπολογίου (*Muhammad 1983; VDI 1994*). Το τυπολόγιο αυτό το συνέταξε η Ένωση των Μηχανικών της Γερμανίας (VDI) και ενσωματώνεται στο λογισμικό RayMan Pro, μέσω του οποίου έγιναν οι υπολογισμοί. Έχοντας λοιπόν, ολοκληρώσει αυτούς τους υπολογισμούς, προκύπτει μια καμπύλη που περιγράφει τη μέγιστη ή βέλτιστη πορεία της GR (GR_{max}) στην περιοχή μελέτης για κάθε ημέρα του έτους. Από τον κατάλληλο εξοπλισμό που έχει τοποθετηθεί στο σημείο αναφοράς λαμβάνονται επίσης μετρήσεις της ίδιας παραμέτρου (GR). Συνεπώς για κάθε ημέρα έχει υπολογιστεί η βέλτιστη πορεία της ολικής ακτινοβολίας (GR_{max}) και έχει μετρηθεί και η πραγματική (GR_{act}) πορεία της. Κατόπιν αυτού, υπολογίζεται με τη βοήθεια του κανόνα του τραπεζίου η επιφάνεια που δημιουργεί η καμπύλη GR_{max} και η καμπύλη GR_{act} . Έχοντας πλέον την επιφάνεια που έχει δημιουργεί η GR_{max} υπό συνθήκες ανέφελου ουρανού για την κάθε μια ημέρα στη συγκεκριμένη περιοχή, τη συγκρίνουμε με την αντίστοιχη επιφάνεια που έχει δημιουργήσει η καμπύλη της GR_{act} που καταγράφηκε κατά την ημέρα αυτή. Συνεπώς η επιφάνεια της GR_{act} εκφράζεται ως ποσοστό % της GR_{max} (Εικ. 12).



Εικόνα 12. Συγκριτικό διάγραμμα ημέρας όπου η GR_{act} ήταν περίπου 32% της GR_{max} , κατά τη διάρκεια του χειμώνα

Αξιοποιώντας με τον ίδιο τρόπο και την παράμετρο της διάρκειας ηλιοφάνειας ($SD - min$), μπορεί να εκφραστεί η συνολική πραγματική διάρκεια ηλιοφάνειας (SD_{act}) ως ποσοστό (%) της μέγιστης διάρκειας ηλιοφάνειας (SD_{max}). Με τις δυο αυτές παράμετροι μπορεί να περιγραφεί και να κωδικοποιηθεί η κατάσταση του ουρανού χωρίς να γίνεται χρήση της παραμέτρου της νέφωσης που δεν μετράται συνήθως στους μετεωρολογικούς σταθμούς με τη χρήση κατάλληλου εξοπλισμού και όταν αυτό γίνεται από εκπαιδευμένο παρατηρητή υπεισέρχεται η υποκειμενικότητα του.

Όσον αφορά στις ανεμομετρικές συνθήκες, αξιοποιούνται οι ωριαίες τιμές της ταχύτητας ανέμου ($WS - m \cdot s^{-1}$), μιας ευρέως μετρούμενης παραμέτρου στους περισσότερους μετεωρολογικούς σταθμούς. Για κάθε 24ωρο υπολογίζεται η μέση τιμή (mean) και η μέγιστη τιμή (max) αυτής της παραμέτρου. Έτσι το κάθε 24ωρο θα χαρακτηρίζεται ως προς τα ανεμομετρικά του χαρακτηριστικά βάσει του συνδυασμού της μέγιστης και της μέσης ωριαίας ταχύτητας ανέμου.

Η κατηγοριοποίηση των 24ώρων, βάσει των μετεωρολογικών συνθηκών που επικράτησαν κατά τη διάρκεια τους, έγινε με κριτήριο τα όρια των τιμών GR, SD και WS (Πίν. 8).

Πίνακας 8. Κατηγοριοποίηση με βάση τις μετεωρολογικές συνθήκες

Κλάση Ημέρας	% GR_{max}	% SD_{max}	WS_{mean}^*	WS_{max}^*
1	≥ 85	≥ 85	≤ 1.5	≤ 3.0
2	≥ 85	≥ 85	> 1.5	> 3.0
3	< 50	< 50	≤ 1.5	≤ 3.0
4	< 50	< 50	> 1.5	> 3.0

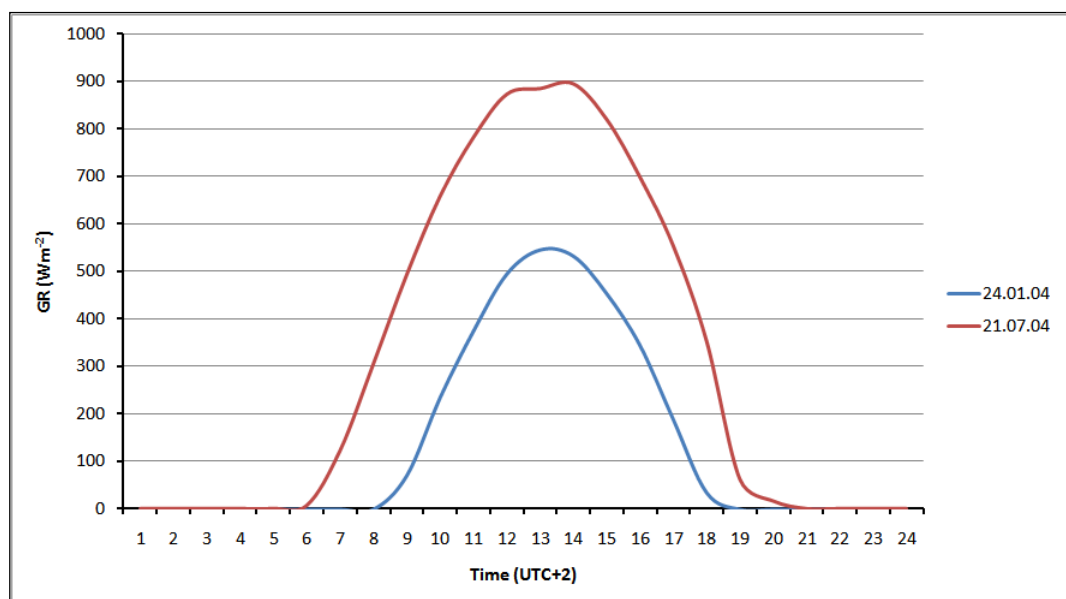
*: WS σε $m \cdot s^{-1}$

Οι τιμές των ορίων των παραμέτρων GR και SD προέκυψαν κατόπιν δοκιμών μεταξύ δεδομένων νέφωσης και διάφορων τιμών των ορίων αυτών (τα δεδομένα και των τριών αυτών παραμέτρων λαμβάνονταν από το μετεωρολογικό σταθμό). Δηλαδή ελήφθησαν δεδομένα νέφωσης για διάστημα τριών ετών διότι από την ανάλυση μεγαλύτερων χρονοσειρών διαπιστώθηκε ότι η αξιοποίηση μεγαλύτερου όγκου δεδομένων νέφωσης δεν συνεισέφερε σημαντικά στην ακρίβεια των υπολογισμών. Κατόπιν, έγιναν συγκρίσεις των τιμών νέφωσης με τις αντίστοιχες τιμές που καταγράφονταν από τις παραμέτρους GR και SD. Παρατηρήθηκε ότι στις ημέρες (24ωρα) κατά τις οποίες η νέφωση ήταν πολύ περιορισμένη (0-1 Octas) η τιμή της επιφάνειας που δημιουργούσε η καμπύλη της GR_{act} ήταν μεγαλύτερη ή ίση (\geq) του 85% της GR_{max} και ταυτόχρονα η SD_{act} ήταν μεγαλύτερη ή ίση (\geq) του 85% της SD_{max} . Όσον αφορά στην WS, τόσο από τις δοκιμές που έγιναν όσο και από τους σχετικούς πίνακες που παρουσιάζει ο Fanger (1972) φαίνεται ότι η τιμή των $3 m \cdot s^{-1}$ είναι ένα όριο που πέραν αυτού αλλάζει σημαντικά η πορεία της θερμικής αίσθησης. Επίσης η μέση ταχύτητα ανέμου στα $1.5 m \cdot s^{-1}$ χαρακτηρίζει μια ημέρα με χαμηλή ταχύτητα ανέμου.

Έτσι λοιπόν, βάσει των μετρήσεων των παραπάνω παραμέτρων (GR, SD, WS) που λαμβάνονται για όλο το διάστημα λήψης δεδομένων γίνεται δυνατή η κατάταξη της κάθε ημέρας σε μια από τις 4 κλάσεις που προαναφέρθηκαν (Πίν. 8). Εδώ

πρέπει να σημειωθεί ότι πιθανώς θα υπάρξουν ημέρες που δεν συμπεριλαμβάνονται σε αυτές τις κλάσεις όπως επίσης ότι υπάρχει δυνατότητα τροποποίησης ή εμπλουτισμού των κλάσεων ανάλογα με την επιστημονική στόχευση του μελετητή. Οι μετεωρολογικές παράμετροι που αξιοποιούνται για την κατάταξη των ημερών στις διάφορες κλάσεις μετρώνται πάντα στο σημείο αναφοράς. Τέλος, όταν κατά τη διάρκεια του 24ώρου καταγραφεί επεισόδιο βροχόπτωσης ή άλλου κατακρημνίσματος, η ημέρα αυτή δεν εντάσσεται σε καμία κλάση και τα δεδομένα που συλλέχθηκαν δεν αξιοποιούνται στη διαδικασία αξιολόγησης των βιοκλιματικών συνθηκών.

Παρατηρώντας μια ημέρα (24ωρο) του χειμώνα που εντάσσεται στην κλάση 1 και μια καλοκαιρινή ημέρα της ίδιας κλάσης (Εικ. 13) γίνεται εμφανές ότι η GR διαγράφει σχηματικά την ίδια πορεία αλλά λαμβάνει τελείως διαφορετικές τιμές. Αυτό και μόνο το χαρακτηριστικό (ηλιακή ακτινοβολία) είναι αρκετό για να κάνει τις όποιες συγκρίσεις των βιοκλιματικών συνθηκών μεταξύ των 24ώρων που ανήκουν σε ίδια κλάση, επισφαλείς.



Εικόνα 13. Η GR_{act} κατά τη διάρκεια δυο ημερών με πολύ υψηλή ηλιοφάνεια

αλλά σε διαφορετικές εποχές του έτους.

Για το λόγο αυτό ομαδοποιήθηκαν τα 24ωρα και σε εποχές του έτους για να υπάρχει συγκρισιμότητα μεταξύ των ποσών της ηλιακής ακτινοβολίας των 24ώρων της ίδιας κλάσης. Έτσι στην κλάση 1 - χειμώνας εντάχθηκαν τα 24ωρα που πληρούσαν τις μετεωρολογικές προϋποθέσεις της κλάσης 1 των ημερών που ανήκουν στους μήνες Δεκέμβριος, Ιανουάριος, Φεβρουάριος. Αντίστοιχα, η άνοιξη για τους μήνες Μάρτιος, Απρίλιος, Μάιος κ.λπ.

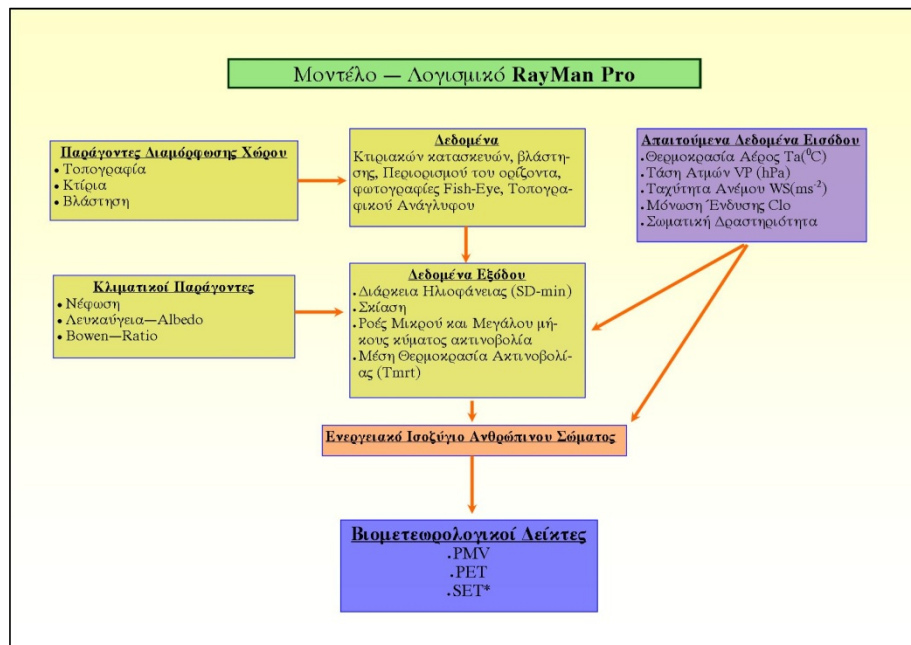
2.2.6. Στάδιο 6°. Διαδικασία υπολογισμού του δείκτη PET

Έχοντας ολοκληρώσει τόσο την κατάταξη των ημερών στην αντίστοιχη κλάση και εποχή, όσο και τις μετρήσεις στις διαφορετικές διαμορφώσεις της ερευνούμενης περιοχής, είναι δυνατή η μετάβαση στο επόμενο στάδιο της μεθόδου που αφορά στη διαχείριση των δεδομένων και στον υπολογισμό του PET. Αρχικά θα πρέπει όλα τα δεδομένα των μετεωρολογικών παραμέτρων να μετατραπούν σε μέσες ωριαίες τιμές για να μειωθεί ο όγκος και να αυξηθεί η υπολογιστική ευελιξία. Επίσης πρέπει να προετοιμαστούν τα δεδομένα έτσι ώστε να έχουν την κατάλληλη μορφή (format) για να αποτελέσουν στοιχεία εισόδου στο λογισμικό, που θα υπολογίσει το δείκτη PET.

Στην περιγραφόμενη μέθοδο το λογισμικό που επιλέχθηκε και προτείνεται για τον υπολογισμό του δείκτη PET, είναι το RayMan Pro. Δεν είναι δεσμευτική η συγκεκριμένη επιλογή γιατί ο PET μπορεί να υπολογιστεί μέσω των εξισώσεων του μαθηματικού μοντέλου MEMI (VDI 1998; Hörrpe 1999) όπως έγινε σε αρκετές έως τώρα μελέτες (Bouyer et al. 2007; Ali-

Toudert and Mayer 2007b). Όμως το RayMan Pro έχει πολύ σημαντικά επιπρόσθετα χαρακτηριστικά που διευκολύνουν τη διαδικασία αξιολόγησης των βιοκλιματικών συνθηκών ενώ ταυτόχρονα είναι ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο λογισμικό με υψηλή ακρίβεια και ευχρηστία.

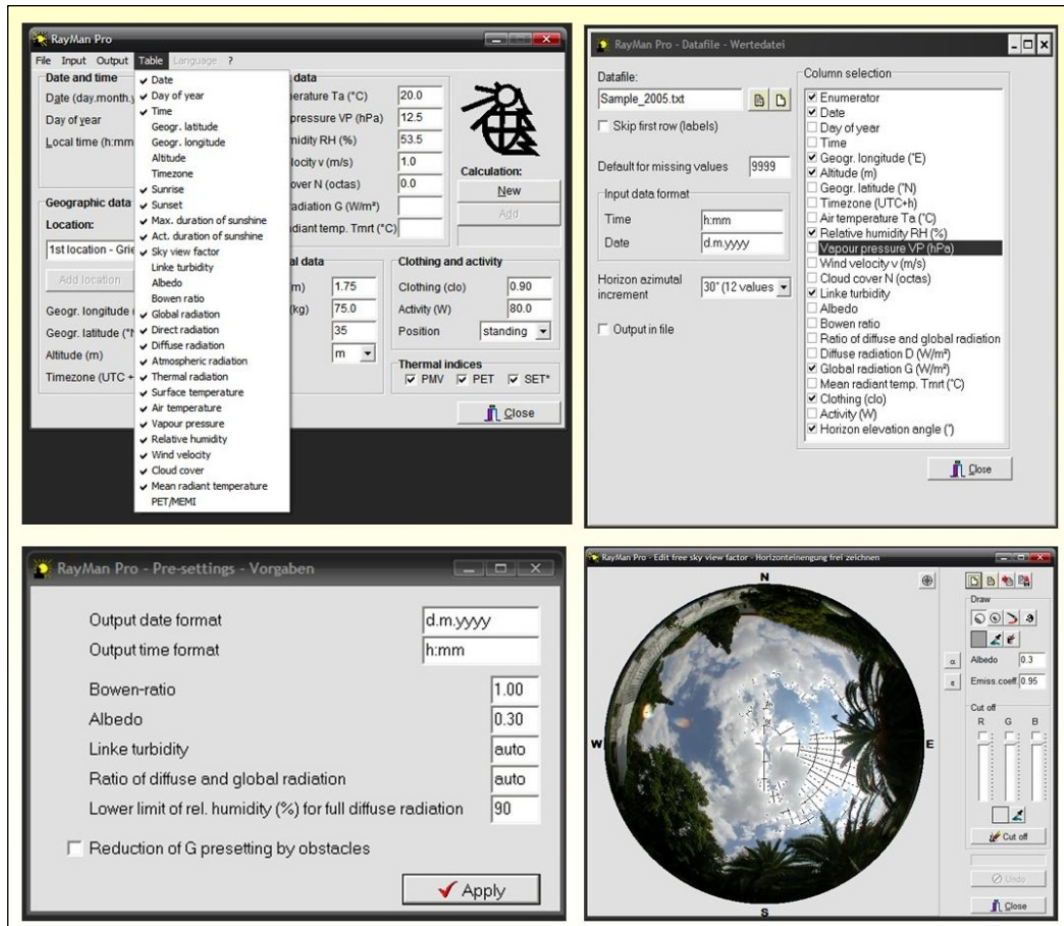
Το παραθυρικό αυτό λογισμικό δημιουργήθηκε στο Μετεωρολογικό Ινστιτούτο του Πανεπιστημίου του Freiburg, της Γερμανίας από τους F. Rutz, A. Matzarakis και H. Mayer. Αρχικά δημιουργήθηκε για να γίνει μέσω αυτού εκτίμηση της παραμέτρου Mean Radiant Temperature (T_{mrt} °C) σε αστικά περιβάλλοντα και για να υπολογιστούν βιομετεωρολογικοί δείκτες όπως ο PMV, PET κ.α. Έχει βρει εφαρμογή σε πολλές μελέτες θερμικής άνεσης του ανθρώπου και σε πλήθος διαμορφώσεων περιβάλλοντα χώρου (Matzarakis and Mayer 2000; Andrade 2003; Gulyas et al. 2003; Χαραλαμπίδης 2006; Lin and Matzarakis 2008; Nastos and Matzarakis 2008b).



Εικόνα 14. Συνοπτικό διάγραμμα λειτουργίας του λογισμικού RayMan Pro

Το λογισμικό RayMan Pro είναι σχεδιασμένο για να

λειτουργεί σε περιβάλλον Microsoft Windows και είναι ιδιαίτερα φιλικό προς το χρήστη. Οι παράμετροι που μπορούν να εισαχθούν σε αυτό ως είσοδοι καθώς και ένα συνοπτικό διάγραμμα λειτουργίας του εμφανίζονται στην Εικόνα 14. Γενικά τα δεδομένα εισόδου αφορούν σε στοιχεία του υποκειμένου -στην περίπτωση μας ο άνθρωπος- και περιλαμβάνουν δεδομένα ένδυσης, δραστηριότητας, σωματικής διάπλασης, ηλικίας και στάσης του σώματος. Εκτός αυτών, στο λογισμικό εισάγονται απαραίτητα μετεωρολογικά δεδομένα όπως θερμοκρασία αέρος, υγρασία αέρος και ταχύτητα ανέμου. Για τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας στο σημείο που θα εκτιμηθούν οι βιοκλιματικοί δείκτες εισάγονται δεδομένα υψομέτρου, γεωγραφικών συντεταγμένων, ώρας και ημέρας του έτους. Εάν το σημείο αυτό δεν βρίσκεται σε χώρο απαλλαγμένο από εμπόδια (βλάστηση, κτήρια ή φυσικό ανώμαλο τοπογραφικό ανάγλυφο) θα πρέπει με κάποιο τρόπο να περιγραφεί η γεωμετρία του χώρου. Αυτό είναι δυνατό να συμβεί με εισαγωγή φωτογραφιών Fish-Eye ή με σχεδίαση του χώρου μέσω ειδικής λειτουργίας του RayMan Pro. Στην Εικόνα 15 παρουσιάζονται οι βασικότερες καρτέλες εισαγωγής δεδομένων στο λογισμικό αυτό.



Εικόνα 15. Μερικές απεικονίσεις από το πολλαπλό σύστημα εισαγωγής δεδομένων του υπολογιστικού λογισμικού RayMan Pro.

Στο λογισμικό μπορεί να γίνει εισαγωγή δεδομένων χειροκίνητα (manual), σε περίπτωση που επιθυμείται ο υπολογισμός παραμέτρων για μια δεδομένη χρονική στιγμή ή να γίνει μαζική εισαγωγή δεδομένων με αρχεία - πίνακες για τον υπολογισμό παραμέτρων για ορισμένη χρονική περίοδο. Όσον αφορά στο υπολογιστικό κομμάτι του RayMan Pro, αυτό αποτελεί μια υλοποίηση του μαθηματικού μοντέλου MEMI (Matzarakis et al. 2007) που βασίζεται στο ενεργειακό ισοζύγιο του ανθρώπου - human energy balance- για να υπολογίσει καταρχήν τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας (T_{mrt} °C) και κατόπιν αυτού βιοκλιματικούς δείκτες όπως ο PMV, PET και SET*. Η μαθηματική ανάλυση του μοντέλου που έχει ενσωματωθεί στο RayMan Pro περιγράφεται αναλυτικά στο VDI 1998.

Οι παράμετροι που μπορεί να υπολογιστούν από το λογισμικό RayMan Pro παρουσιάζονται συνοπτικά στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 9. Παράμετροι που υπολογίζονται από το υπολογιστικό λογισμικό RayMan Pro

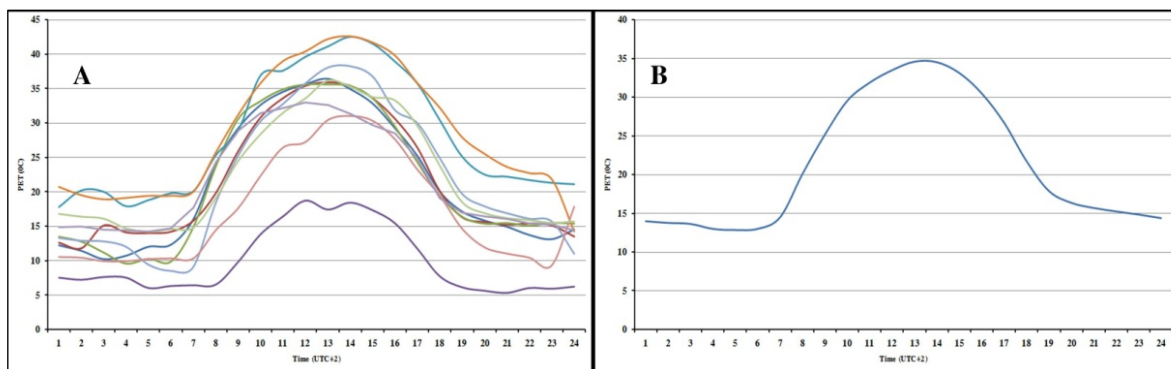
<i>T_{mrt}</i> (°C) - Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας
<i>Sunrise Time</i> - Χρόνος ανατολής ηλίου
<i>Sunset Time</i> - Χρόνος δύσης του ηλίου
<i>Max Duration of sunshine</i> - Μέγιστος χρόνος ηλιοφάνειας
<i>Actual Duration of sunshine</i> - Πραγματικός χρόνος ηλιοφάνειας
<i>Sky View Factor</i> - Συντελεστής θέασης ουράνιου θόλου
<i>Global Radiation</i> (Wm ⁻²) - Ολική ηλιακή ακτινοβολία
<i>Direct Radiation</i> (Wm ⁻²) - Άμεση ηλιακή ακτινοβολία
<i>Diffuse Radiation</i> (Wm ⁻²) - Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία
<i>Atmospheric Radiation</i> (Wm ⁻²) - Ατμοσφαιρική ακτινοβολία
<i>Surface Temperature</i> (°C) - Θερμοκρασία επιφάνειας

Τα εξαγόμενα αποτελέσματα είναι σε μορφή πινάκων. Υπάρχει δυνατότητα επιλογής περιορισμού των παραμέτρων εξόδου που υπολογίζονται, για εξοικονόμηση χώρου και υπολογιστικής ισχύος.

2.2.7. Στάδιο 7°. Εκτίμηση και αξιολόγηση της θερμικής αίσθησης διαφορετικών διαμορφώσεων χώρου

Έχοντας συλλέξει όλα τα απαραίτητα δεδομένα, αυτά εισάγονται στο RayMan Pro με συγκεκριμένη μορφή (format) και με την ολοκλήρωση των υπολογισμών προκύπτουν τα αποτελέσματα του PET για κάθε διαμόρφωση περιβάλλοντος χώρου. Αυτά τα αποτελέσματα θα πρέπει να ομαδοποιηθούν ανάλογα με την κλάση και την εποχή στην οποία ανήκουν.

Η επόμενη βασική διαδικασία που ακολουθεί την ομαδοποίηση σε κλάσεις είναι ο υπολογισμός των τιμών του PET σε μέσες τιμές 24ώρου. Πιο συγκεκριμένα υπολογίζεται ανά κλάση η μέση τιμή του δείκτη για την 01:00 έως και την 24:00 ώρα.



Εικόνα 16. Η ημερήσια κύμανση του δείκτη PET στη θέση p5 κατά τα 24ωρα που εντάσσονται στο καλοκαίρι, κλάση 2 (A) και η μέση κύμανση που προέκυψε από αυτά (B).

Αν και παρουσιάζει σχετική ομοιομορφία, στην ημερήσια πορεία και στις τιμές του PET, κρίνεται σκόπιμη η ομαδοποίηση τους με την έκφραση των μέσων τιμών τους για την πληρέστερη κατανόηση και περιγραφή της πορείας των βιοκλιματικών συνθηκών. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα της Εικόνας 16 όπου παρουσιάζεται η πορεία του PET για τις διάφορες ημέρες της συγκεκριμένης κλάσης και εποχής (A) και η μέση πορεία του PET (B) για τις μέρες αυτές. Προφανώς, στην περίπτωση της μέσης πορείας η εξαγωγή συμπερασμάτων είναι πιο εύκολη και σαφής.

Επίσης, για την εκτίμηση της θερμικής αίσθησης όπως αυτή εκφράζεται από το δείκτη PET μπορούν να αξιοποιηθούν όλα τα μέσα που δίνει η περιγραφική στατιστική. Έχοντας σχεδιάσει γραφήματα με την ημερήσια πορεία του δείκτη PET σε όλα τα σημεία μελέτης και καταρτίσει συγκριτικούς πίνακες στατιστικών στοιχείων, είναι εύκολη η περιγραφή των

βιοκλιματικών συνθηκών σε κάθε διαμόρφωση περιβάλλοντος χώρου ξεχωριστά αλλά και σε σύγκριση μεταξύ τους. Για την καλύτερη εκτίμηση της βιοκλιματικής προσφοράς της κάθε μελετώμενης διαμόρφωσης κρίνεται απαραίτητο να συγκρίνεται η τιμή του PET της κάθε διαμόρφωσης με την ταυτόχρονη τιμή του PET του σημείου αναφοράς (ΣΑ). Το ΣΑ θα έχει καθοριστικό ρόλο τόσο κατά τη φάση αυτή όσο και κατά τις επόμενες γιατί σε αυτό επικρατούν οι συνθήκες θερμικής έτσι όπως θα διαμορφώνονταν αν δεν υπήρχε καμία παρέμβαση στο χώρο.

2.2.8. Στάδιο 8°. Εκτίμηση της Θερμικής Επιβάρυνσης του ανθρώπου

Για κάθε δείκτη ο οποίος εκφράζει τη θερμική αίσθηση προκύπτει μετά από έρευνες που γίνονται με τη χρήση ερωτηματολογίων (*Spagnolo and de Dear 2003; Oliveira and Andrade 2007; Lin 2009*) μια αντιστοιχία μεταξύ των μαθηματικών τιμών το δείκτη και της αίσθησης του ανθρώπου για το θερμικό του περιβάλλον. Στην περίπτωση του δείκτη PET (βλέπε Πίνακα), ο μέσος άνθρωπος που παραμένει όρθιος και ακίνητος (μεταβολική παραγωγή θερμότητας 80W) όντας ελαφρά ενδεδυμένος (0.9 clo) αισθάνεται άνετα στο εύρος τιμών από 18 έως 23 °C. Η μέση τιμή του εύρους αυτού είναι 20.5 °C, τιμή η οποία είναι βέλτιστη όσον αφορά στη θερμική αίσθηση του ανθρώπου. Άρα όσο η τιμή του PET απέχει (αριθμητικά) από τη βέλτιστη αυτή τιμή, τόσο περισσότερο επιβαρύνεται ο ανθρώπινος οργανισμός. Επιπρόσθετα, όσο μεγαλύτερο είναι το χρονικό διάστημα έκθεσής του στις δυσμενείς αυτές συνθήκες, τόσο μεγαλύτερη είναι και η επιβάρυνση που δέχεται ο οργανισμός (*Fanger 1972; Tuller 1975; Höppe 1993; Parsons 1993; WHO 2003; Yamashita et al. 2005*). Με γνώμονα την αριθμητική απόκλιση από τη βέλτιστη

τιμή του PET (20.5 °C) αλλά και τη χρονική διάρκεια της έκθεσης του ανθρώπινου οργανισμού στις δυσμενείς συνθήκες, επινοήθηκε και παρουσιάζονται στη διατριβή αυτή μια ομάδα νέων παραμέτρων. Μέσω αυτών, είναι δυνατή η καλύτερη αξιολόγηση των προσφερόμενων βιοκλιματικών συνθηκών ως αποτέλεσμα της διαμόρφωσης του περιβάλλοντος στις μελετώμενες θέσεις.

Αρχικά επινοήθηκε μια νέα παράμετρος που ονομάζεται Θερμική Επιβάρυνση (ΘΕ) η οποία προκύπτει αν υπολογιστεί η διαφορά της τιμής του PET που καταγράφεται στο μελετώμενο χώρο, από την τιμή του PET που είναι η βέλτιστη για τον άνθρωπο. Ως βέλτιστη, όπως προαναφέρθηκε, θεωρείται η τιμή του PET 20.5 °C. Άρα η ΘΕ συνοπτικά είναι η διαφορά της βέλτιστης τιμής του PET από τη μέση ωριαία τιμή του δείκτη PET που καταγράφηκε στο σημείο μελέτης:

$$\Theta E p_v = PET p_v - 20.5$$

όπου: ΘΕ η Θερμική Επιβάρυνση σε °C

PET_{p_v} η μέση ωριαία τιμή του PET στο σημείο P_v

Όταν οι τιμές της ΘΕ είναι θετικές, τότε η επιβάρυνση είναι αποτέλεσμα επικράτησης θερμότερων συνθηκών από τη βέλτιστη τιμή, ενώ αντίθετα αν οι τιμές της ΘΕ είναι αρνητικές, τότε η επιβάρυνση είναι αποτέλεσμα επικράτησης ψυχρότερων συνθηκών. Θεωρείται ότι η ΘΕ είτε αρνητική είτε θετική επιφέρει την ίδια καταπόνηση στον ανθρώπινο οργανισμό.

Βάσει της ΘΕ ορίστηκε μια σειρά από παράμετροι οι οποίες έχουν στόχο την ποσοτικοποίηση της επιβάρυνσης που

δέχεται ο ανθρώπινος οργανισμός κατά την παραμονή σε μια συγκεκριμένη θέση. Οι παράμετροι αυτές είναι η Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΑΘΕ), η Ημερήσια Θερμική Επιβάρυνση (ΗμΘΕ) και η Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΝυΘΕ) οι οποίες συμβολίζονται και υπολογίζονται για ένα συγκεκριμένο σημείο p_v ως εξής:

$$A\theta E p_v = \sum_{i=1}^{24} |\theta E p_v|$$

$$H\mu\theta E p_v = \sum_{i=8}^{19} \theta E p_v$$

$$N\upsilon\theta E p_v = \sum_{i=1}^7 \theta E p_v + \sum_{i=20}^{24} \theta E p_v$$

Η παράμετρος ΑΘΕ αφορά όλο το 24ωρο και είναι το άθροισμα των απόλυτων τιμών της ΘΕ ενώ η ΗμΘΕ αφορά στις τιμές της ΘΕ για τις ώρες από 08:00 έως και 19:00. Οι τιμές της ΘΕ για τις υπόλοιπες ώρες του 24ώρου εμπεριέχονται στην ΝυΘΕ. Η ΑΘΕ λόγω των απολύτων τιμών είναι ένα μέτρο της συνολικής επιβάρυνσης του ανθρώπινου οργανισμού είτε αυτή προέρχεται από ψυχρές είτε από θερμές συνθήκες. Οι άλλες δυο παράμετροι (ΗμΘΕ και ΝυΘΕ) δεν προκύπτουν από τις απόλυτες τιμές της ΘΕ και έτσι παρέχεται η πληροφορία σχετικά με την προέλευση (ψυχρότερες ή θερμότερες συνθήκες) της επιβάρυνσης του οργανισμού. Ο συνδυασμός αυτών των τριών παραμέτρων μπορεί να δώσει μια πλήρη εικόνα για την αξιολόγηση των βιοκλιματικών συνθηκών που διαμορφώνονται στο χώρο μελέτης. Επίσης, θα πρέπει να επισημανθεί ότι οι παράμετροι αυτές δεν έχουν κάποια μονάδα μέτρησης άρα οι τιμές που λαμβάνουν μας προσφέρουν την ποσοτική διάσταση

της επιβάρυνσης του ανθρώπινου οργανισμού.

Για να συμπληρωθεί η αποτίμηση της βιοκλιματικής προσφοράς κάθε διαμόρφωσης ορίστηκε μια ακόμα ομάδα παραμέτρων η οποία δίνει το μέγεθος της επίδρασης της διαμόρφωσης σε σχέση με το Σημείο Αναφοράς (ΣΑ). Η σύγκριση αυτή στην ουσία απαλείφει την όποια επίδραση των μετεωρολογικών συνθηκών στην επιβάρυνση του οργανισμού και αναδεικνύει την επίδραση των χαρακτηριστικών της διαμόρφωσης του χώρου. Αναλυτικότερα, οι παράμετροι αυτές περιγράφονται για ένα σημείο p_v ως εξής:

$$\Sigma\chi A\theta E p_v = A\theta E_{\Sigma A} - A\theta E_{p_v}$$

$$\Sigma\chi H\mu\theta E = |H\mu\theta E_{\Sigma A}| - |H\mu\theta E_{p_v}|$$

$$\Sigma\chi N\upsilon\theta E = |N\upsilon\theta E_{\Sigma A}| - |N\upsilon\theta E_{p_v}|$$

Για την εφαρμογή αυτής της σειράς παραμέτρων αξιοποιούνται τα αποτελέσματα του δείκτη PET από το ΣΑ. Όποτε στην περίπτωση της Σχετικής Αθροιστικής Θερμικής Επιβάρυνσης ($\Sigma\chi A\theta E$) υπολογίζεται η διαφορά αφαιρώντας την τιμή της $A\theta E$ στο μελετώμενο σημείο από την αντίστοιχη τιμή στο ΣΑ. Όταν η $\Sigma\chi A\theta E$ λαμβάνει θετικές τιμές, η θερμική επιβάρυνση στο ΣΑ είναι μεγαλύτερη από αυτή που καταγράφεται στο μελετώμενο σημείο. Συνεπώς η διαμόρφωση του μελετώμενου σημείου προσφέρει βελτιωμένες βιοκλιματικές συνθήκες σε σχέση με αυτές του ΣΑ. Με αντίστοιχη λογική ορίστηκε και η Σχετική Ημερήσια Θερμική Επιβάρυνση ($\Sigma\chi H\mu\theta E$) και η Σχετική Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση ($\Sigma\chi N\upsilon\theta E$).

Με την αξιοποίηση των στοιχείων περιγραφικής

στατιστικής, των γραφημάτων της μέσης πορείας 24ώρου του PET, των παραμέτρων Θερμικής Επιβάρυνσης, Αθροιστικής Θερμικής Επιβάρυνσης και των αντίστοιχων παραμέτρων της Σχετικής Θερμικής Επιβάρυνσης, είναι εφικτή μια πληρέστερη αξιολόγηση και αποτίμηση των βιοκλιματικών συνθηκών των μελετώμενων χώρων.

3. Εφαρμογή της μεθοδολογίας

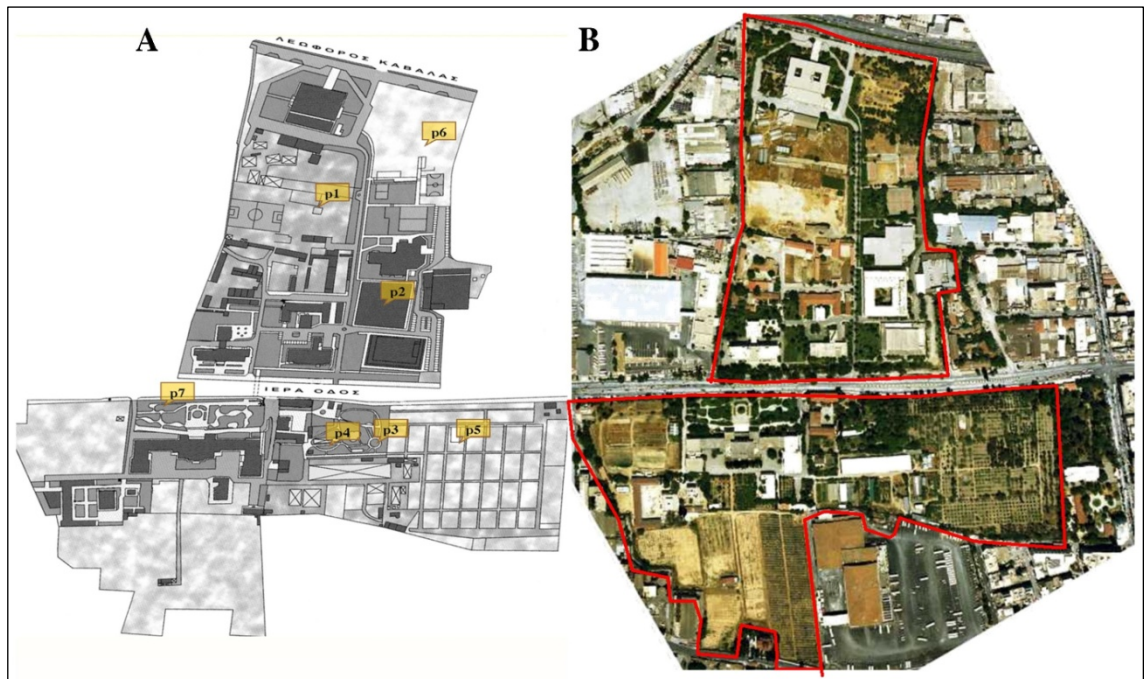
Η μεθοδολογία που περιγράφηκε στα προηγούμενα κεφάλαια εφαρμόστηκε σε πραγματικές συνθήκες για να εκτιμηθεί η βιοκλιματική απόδοση υπαίθριων χώρων με διαφορετική διαμόρφωση περιβάλλοντος. Μέσω της εφαρμογής αυτής, έγινε αφενός αποτίμηση της προσφοράς των συγκεκριμένων υπαίθριων χώρων στη θερμική αίσθηση του ανθρώπου και αφετέρου αξιολόγηση των δυνατοτήτων που προσφέρει αυτή η μέθοδος.

3.1. Περιοχή μελέτης

Για την αξιολόγηση των διαφόρων διαμορφώσεων περιβάλλοντος χώρου ως προς τη βιοκλιματική τους συμπεριφορά επιλέχθηκε ο χώρος του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών (ΓΠΑ). Ο χώρος αυτός πληροί τις απαραίτητες προϋποθέσεις. Δηλαδή, έχει μικρή σχετικά έκταση και δεν παρουσιάζει διαφοροποιήσεις ως προς το τοπογραφικό ανάγλυφο ενώ περιέχει διαφορετικούς τύπους διαμορφώσεων περιβάλλοντος χώρου.

Το ΓΠΑ βρίσκεται κοντά στο κέντρο της Αθήνας στην περιοχή του Βοτανικού. Η έκταση που καταλαμβάνει είναι ίση με 340 στρέμματα (34 ha) και περιλαμβάνει κτηριακές εγκαταστάσεις όπως αμφιθέατρα διδασκαλίας, εργαστηριακές

αίθουσες, χώρους διοικητικής μέριμνας, χώρους αθλοπαιδιών, βιβλιοθήκη, και χώρους αναψυχής. Τέλος, σημαντική έκταση καταλαμβάνουν οι πειραματικοί αγροί, οι αμπελώνες και το δενδροκομείο στο οποίο γίνεται πειραματισμός και εξάσκηση των φοιτητών.



Εικόνα 17. (Α) Διάγραμμα του χώρου του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών με τα σημεία μετρήσεων. (Β) Αεροφωτογραφία του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών.

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 17 και κυρίως στην αεροφωτογραφία, μεγάλη έκταση του ΓΠΑ είναι ακάλυπτη από κτηριακές εγκαταστάσεις και σημαντικό μέρος αυτής είναι καλυμμένη με βλάστηση. Ο χώρος του ΓΠΑ σε σχέση με το περιβάλλον του, είναι μια νησίδα πρασίνου σε μια πυκνοδομημένη περιοχή.

3.1.1. Επιλεγμένες διαμορφώσεις περιβάλλοντος χώρου και εντοπισμός τους

Στον υπαίθριο χώρο του ΓΠΑ υπάρχουν διάφοροι τύποι διαμορφώσεων. Έγινε επιλογή των επτά χαρακτηριστικότερων

χώρων ως προς τη διαμόρφωση περιβάλλοντός τους, οι οποίοι θα συμβολίζονται εν συντομία p_1, p_2, \dots, p_7 .

Διαμόρφωση Σημείου Αναφοράς (p_1)

Η διαμόρφωση αυτή εκφράζει το χώρο του Αυτόματου Τηλεμετρικού Μετεωρολογικού Σταθμού (ΑΤΜΣ) του ΓΠΑ. Η περιοχή είναι απαλλαγμένη από βλάστηση, ποώδη ή δενδρώδη και το έδαφος δεν καλύπτεται από δομικά υλικά. Δεν υπάρχουν κοντά στο σημείο μετρήσεων κτήρια, δένδρα ή άλλα εμπόδια που θα μπορούσαν να περιορίσουν τον ορίζοντα του σημείου αυτού. Στην Εικόνα 18 εμφανίζεται η διαμόρφωση p_1 στο ΓΠΑ και μια εικόνα τύπου Fish-Eye που δείχνει όλο το εύρος του ορίζοντα από το σημείο αυτό. Ο SVF υπολογίστηκε στη θέση αυτή και βρέθηκε 0.931.



Εικόνα 18. Θέση του σημείου 1 (p_1) και ο ορίζοντας όπως φαίνεται από το σημείο αυτό.

Διαμόρφωση Κτηριακού Αίθριου (p_2)

Το σημείο αυτό βρίσκεται στο κέντρο του αίθριου του κτηρίου Χασιώτη. Η οροφή του αίθριου αυτού είναι ανοιχτή και δεν καλύπτεται σε κανένα σημείο της από γυαλί ή άλλο

υλικό. Το αίθριο είναι αρκετά μεγάλης έκτασης, περίπου 570 m² και ύψους 13 m. Ο χώρος κατά τη διάρκεια των μετρήσεων ήταν απαλλαγμένος από ποώδη βλάστηση και στο έδαφος υπήρχε χώμα και μόνο ένα πολύ μικρό ποσοστό (<10%) καλυπτόταν με δομικά υλικά (τσιμέντο). Στο χώρο αυτό υπήρχαν κατά τη διάρκεια των μετρήσεων δυο αυτοφυή δένδρα μέσου ύψους ($\approx 3\text{m}$). Τα δένδρα αυτά όμως δεν έπαιζαν καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση του SVF λόγω της θέσης και του προσανατολισμού τους σε σχέση με το σημείο μέτρησης, το οποίο βρισκόταν στο κέντρο του τεχνητού αυτού αίθριου. Στην Εικόνα 19 εμφανίζεται η διαμόρφωση του p2 στο ΓΠΑ και μια εικόνα τύπου Fish-Eye που δείχνει όλο το εύρος του ορίζοντα από το σημείο αυτό. Ο SVF υπολογίστηκε και βρέθηκε στη θέση αυτή ίσος με 0.353 όταν τα δένδρα του αίθριου είχαν φύλλωμα και 0.375 όταν δεν υπήρχαν φύλλα.



Εικόνα 19. Θέση του σημείου 2 (p2) και ο ορίζοντας όπως φαίνεται από το σημείο αυτό.

Διαμόρφωση φυτικού Αίθριου (p3)

Το σημείο αυτό βρίσκεται στον κήπο του Εργαστηρίου Ανθοκομίας του ΓΠΑ. Ο κήπος αυτός είναι πλούσιος σε

βλάστηση κάθε είδους. Συγκεκριμένα, στο χώρο αυτό φύονται πολλά δένδρα, η κόμη των οποίων ποικίλει σε ύψος. Το έδαφος καλύπτεται με χλοοτάπητα και καλλωπιστικά φυτά ενώ υπάρχουν σε ελάχιστο ποσοστό πλακοστρωμένα μονοπάτια. Η μικρή αυτή πλακόστρωση δεν φαίνεται να παίζει σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση των μικρομετεωρολογικών συνθηκών του χώρου αφού σχεδόν καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας δεν δέχεται άμεση ηλιακή ακτινοβολία. Το p3 βρίσκεται σε ένα φυτικό αίθριο εντός του κήπου που περιγράφηκε ανωτέρω. Αναλυτικότερα, το σημείο μέτρησης βρίσκεται πάνω από έναν κυκλικό χώρο ο οποίος καλύπτεται με χλοοτάπητα, στην περιφέρεια του οποίου έχουν φυτευτεί δένδρα που δημιουργούν ένα αίθριο. Στην Εικόνα 20 εμφανίζεται η θέση του p3 στο ΓΠΑ και μια εικόνα τύπου Fish-Eye που δείχνει όλο το εύρος του ορίζοντα από το σημείο αυτό. Ο SVF υπολογίστηκε και βρέθηκε στη θέση αυτή ίσος με 0.204 όταν τα δένδρα του αίθριου είχαν φύλλωμα και 0.515 όταν δεν υπήρχαν φύλλα.



Εικόνα 20. Θέση του σημείου 3 (p3) και ο ορίζοντας όπως φαίνεται από το σημείο αυτό.

Διαμόρφωση Ανθόκηπου (p4)

Η διαμόρφωση αυτή όπως και η διαμόρφωση του p3

βρίσκεται στον κήπο του Εργαστηρίου Ανθοκομίας του ΓΠΑ. Η μεταξύ τους απόσταση δεν υπερβαίνει τα 20 m. Βρίσκεται σε χώρο που είναι πιο 'ανοιχτός' από το p3 αλλά με παρόμοια χαρακτηριστικά. Το σημείο μέτρησης βρίσκεται στο κέντρο του χώρου αυτού και για την ακρίβεια είναι πάνω από τμήμα χλοοτάπητα και γύρω από αυτό βρίσκονται ψηλά δένδρα. Στα βόρεια του p4 ο ορίζοντας είναι πιο ανοιχτός από δένδρα, ενώ η μεγαλύτερη πυκνότητα δένδρων βλάστησης βρίσκεται στα ανατολικά του. Στην Εικόνα 21 εμφανίζεται η διαμόρφωση του p4 στο ΓΠΑ και μια εικόνα τύπου Fish-Eye που δείχνει όλο το εύρος του ορίζοντα από το σημείο αυτό. Ο SVF υπολογίστηκε και βρέθηκε στη θέση αυτή ίσος με 0.537 όταν τα δένδρα του περιβάλλοντα χώρου έχουν φύλλωμα και 0.581 όταν δεν υπάρχουν φύλλα.



Εικόνα 21. Θέση του σημείου 4 (p4) και ο ορίζοντας όπως φαίνεται από το σημείο αυτό.

Διαμόρφωση Δενδροκομείου (p5)

Ο χώρος στον οποίο βρίσκεται η διαμόρφωση αυτή είναι το πειραματικό δενδροκομείο του ΓΠΑ. Εκεί βρίσκονται κατά κύριο λόγο καρποφόρα δένδρα μέσου μεγέθους. Στο χώρο

υπάρχουν φυλλοβόλα και αειθαλή δέντρα. Το σημείο μέτρησης βρίσκεται σε θέση που δεν αρδευόταν τακτικά και το έδαφος ήταν απαλλαγμένο από ποώδη βλάστηση. Η φύτευση των δένδρων ήταν σχετικά αραιή για να είναι δυνατή η διενέργεια των καλλιεργητικών φροντίδων και να περνούν άνετα τα γεωργικά μηχανήματα ανάμεσα στα δένδρα. Στην Εικόνα 22 εμφανίζεται η θέση της διαμόρφωσης του δενδροκομείου στο ΓΠΑ και μια εικόνα τύπου Fish-Eye που δείχνει όλο το εύρος του ορίζοντα από το σημείο αυτό. Ο SVF υπολογίστηκε και βρέθηκε στη θέση αυτή ίσος με 0.681 όταν τα δένδρα που γειτνιάζουν με το σημείο μέτρησης είχαν φύλλωμα και 0.749 όταν δεν υπήρχαν φύλλα.



Εικόνα 22. Θέση του σημείου 5 (p5) και ο ορίζοντας όπως φαίνεται από το σημείο αυτό

Διαμόρφωση Αλσυλλίου (p6)

Ο χώρος στον οποίο βρίσκεται η διαμόρφωση αυτή μπορεί να χαρακτηριστεί ως αλσύλλιο. Αναλυτικότερα, είναι μια έκταση περίπου 4.5 στρεμμάτων (0.45 ha) η οποία έχει φυτευτεί συστηματικά (διάταξη 4X4 m) με φυλλοβόλα κυρίως δένδρα. Διάσπαρτα και περιφερειακά υπάρχουν θάμνοι και λίγα αειθαλή δένδρα. Το σημείο μέτρησης βρίσκεται εντός της διαμόρφωσης αυτής και στην Εικόνα 23 εμφανίζεται η θέση του p6 με την αντίστοιχη εικόνα τύπου Fish-Eye που δείχνει όλο

το εύρος του ορίζοντα από το σημείο αυτό. Ο SVF υπολογίστηκε και βρέθηκε στη θέση αυτή ίσος με 0.074 όταν τα δένδρα του αλσυλλίου είχαν φύλλωμα και 0.499 όταν δεν υπήρχαν φύλλα.



Εικόνα 23. Θέση του σημείου 6 (p6) και ο ορίζοντας όπως φαίνεται από το σημείο αυτό

Διαμόρφωση Προκηπίου (p7)

Ο χώρος αυτός βρίσκεται μπροστά από το κεντρικό κτήριο του ΓΠΑ και χαρακτηρίζεται από αραιή δενδροφύτευση η οποία περιβάλλεται από χλοοτάπητα και δίκτυο μονοπατιών επιστρωμένων με αδρανές υλικό (A3) δημιουργώντας έναν χώρο καλλωπιστικού πράσινου. Στο σημείο μελέτης βρίσκονται φυλλοβόλα δένδρα χαμηλού ύψους τα οποία επηρεάζουν καθοριστικά τη θέαση του ουράνιου θόλου. Στην Εικόνα 24 εμφανίζεται η διαμόρφωση p7 στο ΓΠΑ και μια εικόνα τύπου Fish-Eye που δείχνει όλο το εύρος του ορίζοντα από το σημείο αυτό. Ο SVF υπολογίστηκε και βρέθηκε στη θέση αυτή ίσος με 0.206 όταν τα δένδρα γύρω από το σημείο μέτρησης είχαν φύλλωμα και 0.692 όταν δεν υπήρχαν φύλλα.



Εικόνα 24. Θέση του Σημείου 7 (p7) και ο ορίζοντας όπως φαίνεται από το σημείο αυτό

3.2. Εξοπλισμός – Μετρήσεις

Για την εκτίμηση των βιοκλιματικών συνθηκών χρησιμοποιήθηκαν:

A) Δεδομένα που λαμβάνονταν από τον Αυτόματο Τηλεμετρικό Μετεωρολογικό Σταθμό (ΑΤΜΣ) του Εργαστηρίου Γενικής και Γεωργικής Μετεωρολογίας του ΓΠΑ. Το σημείο αυτό έχει οριστεί ως Σημείο Αναφοράς (ΣΑ).

B) Δεδομένα που λαμβάνονταν από μια σειρά οργάνων τοποθετημένων σε κάθε ένα από τα επιλεγμένα σημεία των διαμορφώσεων.

Από τον ΑΤΜΣ χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα ταχύτητας ανέμου (WS) σε $m \cdot s^{-1}$, διάρκειας ηλιοφάνειας (SD) σε min και ολικής ηλιακής ακτινοβολίας (GR) σε $W \cdot m^{-2}$. Στα υπόλοιπα σημεία μελέτης ήταν τοποθετημένο ένα όργανο τύπου Hobo H08-032-08 υψηλής ακρίβειας. Το όργανο αυτό αποτελείται από έναν καταγραφέα (logger) και τους ενσωματωμένους αισθητήρες μέτρησης θερμοκρασίας και υγρασίας αέρος. Η ακρίβεια του

οργάνου αυτού όσον αφορά στη θερμοκρασία είναι ± 0.2 °C σε εύρος μετρήσεων -40 έως 100 °C. Αντίστοιχα για τη σχετική υγρασία αέρος (RH%), η ακρίβεια του οργάνου είναι $\pm 3\%$. Τα δεδομένα αυτά άρχισαν να λαμβάνονται από τα συγκεκριμένα όργανα τον Ιούνιο του 2003 και οι μετρήσεις ολοκληρώθηκαν τον Ιούλιο του 2006. Οι μετρήσεις γίνονταν ταυτόχρονα σε όλα τα σημεία μέτρησης ανά δίλεπτο ενώ ανά 6 μήνες γινόταν έλεγχος λειτουργίας των οργάνων και της ακρίβειας των μετρήσεών τους (calibration). Συνολικά ελήφθησαν περίπου 11,000,000 μετρήσεις θερμοκρασίας (°C) και σχετικής υγρασίας αέρος (RH%). Τα δεδομένα αυτά για να καταστούν πιο εύκολα στη διαχείριση τους, μετατράπηκαν σε μέσους όρους δεκαλέπτου και κατόπιν σε μέσες ωριαίες τιμές όπως προβλέπεται από την περιγραφείσα μεθοδολογία.



Εικόνα 25. Το όργανο τύπου Hobo, το προστατευτικό του σε φάση κατασκευής και ο τρόπος τοποθέτησης στο πεδίο μετρήσεων (περίπτωση p4).

Για την προστασία των οργάνων Hobo από τη βροχή, την άμεση ηλιακή ακτινοβολία, και τα ρεύματα αέρος κατασκευάστηκαν προστατευτικά καλύμματα (shelters) τα οποία παράλληλα με την προστασία επέτρεπαν τον ευχερή αερισμό για να επιτυγχάνεται η μέγιστη αντιπροσωπευτικότητα των μετρήσεων. Στην Εικόνα 25 παρουσιάζεται ένα από τα προστατευτικά καλύμματα σε διάφορες όψεις του, το όργανο και ο τρόπος τοποθέτησης του στο εσωτερικό του προστατευτικού καλύμματος, και τέλος παρουσιάζεται στην τελική του μορφή (σημείο p4) όπως ήταν τοποθετημένο στο σημείο μέτρησης. Μια τέτοια κατασκευή ήταν τοποθετημένη σε όλα τα σημεία μέτρησης που είχαν αρχικά επιλεγεί στις

διαμορφώσεις περιβάλλοντος χώρου. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι το ύψος των οργάνων ήταν 1.70 m από την επιφάνεια του εδάφους.



Εικόνα 26. Φακός τύπου *Fish-Eye* και φωτογραφία που λήφθηκε με αυτόν πριν τη βασική της επεξεργασία.

Τέλος για να περιγραφεί η γεωμετρική διαμόρφωση του χώρου αξιοποιήθηκε η παράμετρος θέασης ουράνιου θόλου (SVF). Ο SVF σύμφωνα με τον *Oke 1981a*, είναι το 'σύνολο' του ορατού ουρανού από ένα δεδομένο σημείο. Ο συντελεστής αυτός επηρεάζει την εκπομπή της μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας και καθορίζει μερικώς τη διαδικασία νυκτερινής ψύξης των επιφανειών (*Oke 1981a; Chapman et al. 2001; Andrade and Alcoforado 2008*). Είναι επίσης σημαντική παράμετρος στην εκτίμηση του ποσού της ακτινοβολίας που φθάνει σε ένα σημείο ως διάχυτη και άμεση. Βρίσκει συχνά εφαρμογή στη Βιομετεωρολογία, στη Δασική Μετεωρολογία (*Blennow 1998; Blennow and Persson 1998; Holmer et al. 2001*), στη Αστική Κλιματολογία (*Mills 1997; Bruse and Fleer 1998; Bradley et al. 2001; Bourbia and Awbi 2004; Hartz et al. 2006*) και σε άλλους τομείς της Μετεωρολογίας - Κλιματολογίας (*Svensson and Eliasson 2002; Yamashita et al. 1986; Unger 2004; Asawa et al. 2008*).

Από κάθε σημείο μετρήσεων λαμβάνονταν κατά τακτά χρονικά διαστήματα, ευρυγώνιες φωτογραφίες με εξοπλισμό που αποτελείτο από κατάλληλη ψηφιακή φωτογραφική μηχανή που έφερε φακό τύπου Fish-Eye με μέγιστη γωνία λήψης 180°. Λαμβάνονταν δε, στο ίδιο ύψος με τα όργανα μετρήσεων και σε πολύ κοντινή απόσταση από αυτά (σχεδόν εφάπτονταν ο εξοπλισμός λήψης των φωτογραφιών με τα όργανα που κατέγραφαν τη θερμοκρασία και την υγρασία αέρος). Στην Εικόνα 26 εμφανίζεται ο φακός τύπου Fish-Eye και ένα δείγμα ανεπεξέργαστης φωτογραφίας που λήφθηκε με αυτόν.

3.3. Υπολογισμοί

3.3.1. Κατηγοριοποίηση στις Μετεωρολογικές Κλάσεις

Βάσει των μετεωρολογικών συνθηκών που επικράτησαν σε κάθε ημέρα, αυτές κατατάχθηκαν στην ανάλογη κλάση (Πίν. 8) χρησιμοποιώντας τα απαραίτητα δεδομένα από τον ΑΤΜΣ.

Πίνακας 10. Η κατανομή των κλάσεων ημερών ανά έτος για το χρόνο μελέτης

Έτος	Κλάση 1	Κλάση 2	Κλάση 3	Κλάση 4
2003	38	32	20	16
2004	76	34	39	32
2005	70	22	22	25
2006	35	23	14	12
Άθροισμα	219	111	95	85
Ποσοστό	42.9%	21.8%	18.6%	16.7%

Όπως φαίνεται και από την κατανομή των ημερών στις διάφορες κλάσεις (Πίν. 10) το μεγαλύτερο ποσοστό ανήκει στην κλάση 1. Αυτό οφείλεται καταρχήν στο ότι ο χρόνος μελέτης περιέλαβε περισσότερο καλοκαιρινούς μήνες από μήνες άλλων εποχών. Επίσης αφαιρέθηκαν από την όλη διαδικασία αξιολόγησης των βιοκλιματικών συνθηκών οι ημέρες στις οποίες σημειώθηκε βροχόπτωση. Οι ημέρες αυτές όπως είναι

αναμενόμενο είναι μέρες που έχουν νέφωση και γενικότερα δεν χαρακτηρίζονται από 'σταθερές' μετεωρολογικές συνθήκες. Γενικά οι κλάσεις όπου επικράτησε νέφωση (κλάση 3 και 4) έχουν τα μικρότερα ποσοστά 18.6 και 16.7 % αντίστοιχα. Τέλος θα πρέπει να σημειωθεί ότι υπήρχε απώλεια δεδομένων που άγγιξε το 20% του συνόλου είτε από βλάβες οργάνων (αστοχία αισθητήρων, απροειδοποίητη εξάντληση μπαταρίας κ.λπ) απώλεια είτε από ολική καταστροφή και απώλεια οργάνων.

3.3.2. Εκτίμηση της ηλιακής ακτινοβολίας και της ταχύτητας ανέμου στα σημεία μελέτης

Εφαρμόζοντας την προτεινόμενη μεθοδολογία υπολογίζονται οι τιμές της Ολικής Ακτινοβολίας για τις ημέρες που ενδιαφέρουν. Για να επιτευχθεί αυτό, εισάγονται στο λογισμικό RayMan Pro τα δεδομένα χρόνου, οι γεωγραφικές συντεταγμένες του κάθε σημείου μελέτης καθώς και οι επεξεργασμένες φωτογραφίες τύπου Fish-Eye που περιγράφουν τη διαμόρφωση περιβάλλοντος κάθε επιλεγμένου χώρου.

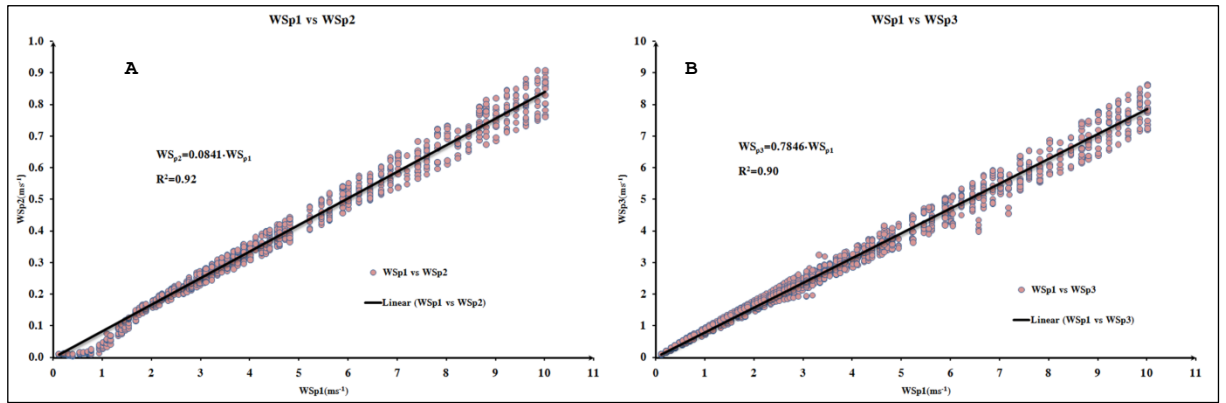
Ακολούθως, με τη χρήση του λογισμικού ENVI-met υπολογίζονται τα πρωτογενή δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν στη στατιστική επεξεργασία που θα οδηγήσει στις σχέσεις που συνδέουν την ταχύτητα ανέμου στο ΣΑ με την ταχύτητα ανέμου σε κάθε μια από τις θέσεις μελέτης. Για να επιτευχθεί αυτό, πρέπει να σχεδιαστεί στο υποπρόγραμμα του ENVI-met ο χώρος μελέτης και η διαμόρφωση του και κατόπιν να γίνουν προσομοιώσεις (simulations) για διαφορετικές ταχύτητες και διευθύνσεις ανέμου. Αξιοποιώντας τις χωρικές κατανομές των ανεμομετρικών συνθηκών που προκύπτουν από το λογισμικό

ENVI-met εξήχθησαν ζεύγη αποτελεσμάτων βάσει των οποίων έγινε η στατιστική επεξεργασία που κατέληξε στις σχέσεις που συνδέουν την ταχύτητα ανέμου στο ΣΑ με την αντίστοιχη στις μελετώμενες διαμορφώσεις. Τα αποτελέσματα και τα στατιστικά κριτήρια έδωσαν σαφή αποτελέσματα. Επιπλέον, η ίδια η στατιστική ανάλυση επέτρεψε να απαλείψουμε τη διεύθυνση του ανέμου ως μη σημαντική στη διαμόρφωση των τιμών της WS.

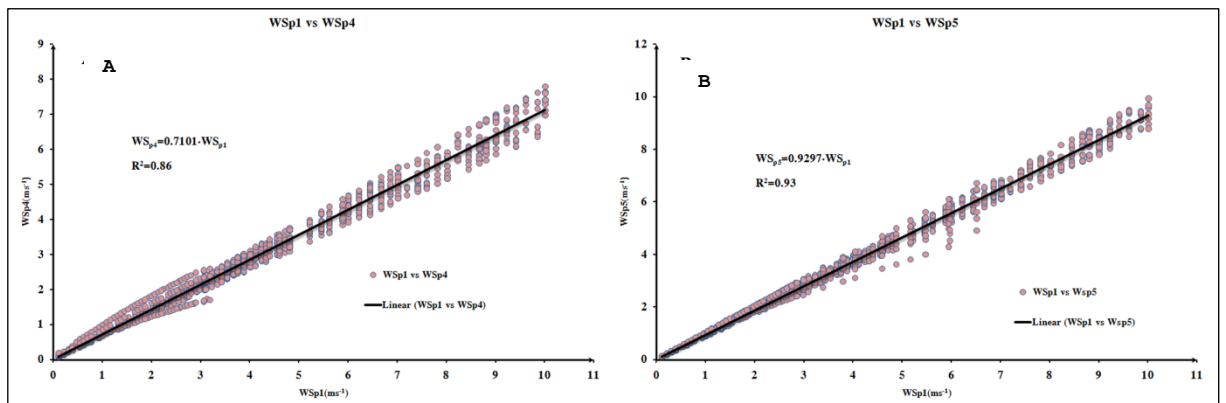
Αφού ακολουθήθηκε η παραπάνω διαδικασία προέκυψαν οι μαθηματικές σχέσεις που μέσω αυτών μπορεί να εκτιμηθεί η ταχύτητα ανέμου (WS) σε κάθε ένα από τα σημεία μελέτης. Στις εικόνες που ακολουθούν (Εικόνα 27 έως Εικόνα 29) εμφανίζονται τα γραφήματα διασποράς μαζί με τη μαθηματική σχέση που συνδέει την WS_{p1} με την WS στα υπόλοιπα σημεία μελέτης. Επίσης στον Πίνακα 11 εμφανίζονται οι εξισώσεις παλινδρόμησης όπως υπολογίστηκαν από τα ζεύγη τιμών μετά από τις προσομοιώσεις της κατανομής της WS στα σημεία μελέτης.

Πίνακας 11. Οι εξισώσεις παλινδρόμησης για κάθε σημείο μελέτης και ο αντίστοιχος συντελεστής R^2 .

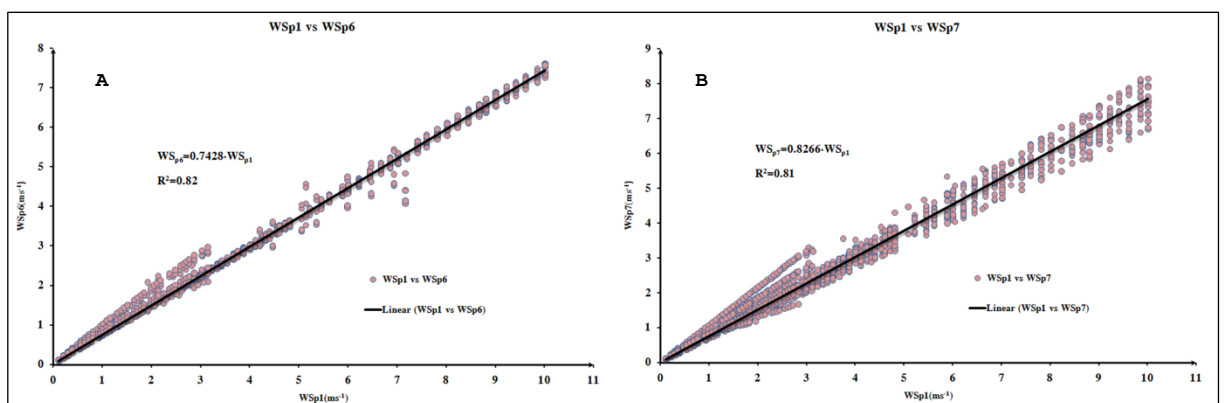
Πεδίο Εφαρμογής	Εξίσωση Παλινδρόμησης	R^2
WS_{p1} vs WS_{p2}	$WS_{p2}= 0.0841 \cdot WS_{p1}$	0.92*
WS_{p1} vs WS_{p3}	$WS_{p3}=0.7846 \cdot WS_{p1}$	0.90*
WS_{p1} vs WS_{p4}	$WS_{p4}=0.7101 \cdot WS_{p1}$	0.86*
WS_{p1} vs WS_{p5}	$WS_{p5}=0.9297 \cdot WS_{p1}$	0.93*
WS_{p1} vs WS_{p6}	$WS_{p6}=0.7428 \cdot WS_{p1}$	0.82*
WS_{p1} vs WS_{p7}	$WS_{p7}=0.8266 \cdot WS_{p1}$	0.81*



Εικόνα 27. Α) Το γράφημα διασποράς των ζευγών τιμών μεταξύ της WSp2 και της WSp1. Β) Το γράφημα διασποράς των ζευγών τιμών μεταξύ της WSp3 και της WSp1.



Εικόνα 28. Α) Το γράφημα διασποράς των ζευγών τιμών μεταξύ της WSp4 και της WSp1. Β) Το γράφημα διασποράς των ζευγών τιμών μεταξύ της WSp5 και της WSp1.



Εικόνα 29. Α) Το γράφημα διασποράς των ζευγών τιμών μεταξύ της WSp6 και της WSp1. Β) Το γράφημα διασποράς των ζευγών τιμών μεταξύ της WSp7 και της WSp1.

Βάσει των παραπάνω σχέσεων μπορεί να εκτιμηθεί η ταχύτητα του ανέμου σε κάθε μια από τις διαμορφώσεις περιβάλλοντος που μελετώνται, έχοντας δεδομένα της παραμέτρου αυτής μόνο από το ΣΑ. Η ταχύτητα του ανέμου μαζί με τις υπόλοιπες απαραίτητες παραμέτρους χρησιμοποιείται στον υπολογισμό του δείκτη PET.

3.3.3. Εκτίμηση των Βιοκλιματικών Συνθηκών.

Για την εκτίμηση των βιοκλιματικών συνθηκών χρησιμοποιήθηκαν τα λογισμικά Excel, RayMan Pro, ENVI-met, η γλώσσα MatLab και Visual Basic for Applications. Η επιλογή των λογισμικών αυτών όπως και ο τρόπος διεξαγωγής των υπολογισμών δεν είναι δεσμευτικός αλλά η χρήση των συγκεκριμένων παρέχει πολλά πλεονεκτήματα. Το Excel αξιοποιήθηκε για τους απλούς υπολογισμούς που μπορούν να γίνουν με αυτό και την γρήγορη σχεδίαση γραφημάτων, το MatLab διευκόλυνε σημαντικά την κατηγοριοποίηση των δεδομένων και τη διαχείριση αρχείων μεγάλου όγκου και τη στατιστική επεξεργασία των δεδομένων. Το ENVI-met ήταν το εργαλείο που μέσω αυτού έγινε η προσομοίωση των ανεμομετρικών συνθηκών στα σημεία μελέτης που οδήγησε στην εξαγωγή των μαθηματικών σχέσεων που συνδέουν την WS στον ΑΤΜΣ με την WS στα υπόλοιπα σημεία μελέτης. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο όγκος των δεδομένων που πήραμε για την εφαρμογή της μεθοδολογίας μόνο από την προσομοίωση των ανεμομετρικών συνθηκών ξεπέρασε τα 60 GB. Τέλος, το βασικό εργαλείο για την εκτίμηση των βιοκλιματικών συνθηκών στα σημεία μελέτης ήταν το RayMan Pro.

Εν κατακλείδι, οι διαδικασίες που ακολουθήθηκαν κατά τη διάρκεια του υπολογισμού των βιοκλιματικών συνθηκών είναι κατά σειρά εκτέλεσής τους αυτές που οριστήκαν από την

μεθοδολογική ακολουθία. Αρχικά έγινε συλλογή δεδομένων της θερμοκρασίας και υγρασίας αέρος από τα εγκατεστημένα μετεωρολογικά όργανα τύπου Hobo. Ακλουθεί ο υπολογισμός των μέσων τιμών δεκαλέπτου και ώρας για τα δεδομένα από τα όργανα τύπου Hobo και οι υπολογισμοί της μέγιστης διάρκειας ηλιοφάνειας και της μέγιστης ολικής ακτινοβολίας για κάθε ημέρα μελέτης. Στη συνέχεια γίνεται σύγκριση της διάρκειας ηλιοφάνειας και της πορείας της ηλιακής ακτινοβολίας που καταγράφηκε στον ATMΣ (σημείο αναφοράς) με τις τιμές που υπολογίστηκαν στο προηγούμενο βήμα. Αφού έγινε η κατάρτιση πινάκων με τις τιμές της ταχύτητας ανέμου (WS) σε ωριαία βάση και της μέσης μέγιστης ταχύτητας ανέμου, δημιουργήθηκαν οι κατηγορίες ημέρας με κριτήρια την ταχύτητα ανέμου, την ολική ακτινοβολία και τη διάρκεια της ηλιοφάνειας. Με τη χρήση του ENVI-met έγινε ο σχεδιασμός της διαμόρφωσης των σημείων και ακολούθησαν οι προσομοιώσεις των ανεμομετρικών συνθηκών σε κάθε σημείο μελέτης από 0.1 έως $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ με βήμα ταχύτητας ανέμου $0.1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Στην τελική φάση των υπολογισμών έγινε εφαρμογή (στατιστικής) παλινδρόμησης και εξαγωγή των σχέσεων που συνδέουν την ταχύτητα ανέμου στον ATMΣ με την ταχύτητα ανέμου σε κάθε ένα από τα σημεία μελέτης και ο διαχωρισμός των ημερών με βάση την εποχή (χειμώνας, άνοιξη, καλοκαίρι φθινόπωρο) και την κατηγορία της. Έχοντας έτσι ολοκληρώσει τους προκαταρκτικούς υπολογισμούς έγινε εισαγωγή στο RayMan Pro των μετεωρολογικών δεδομένων των διαμορφώσεων, των επεξεργασμένων εικόνων τύπου Fish-Eye και της ταχύτητας ανέμου. Υπολογίστηκαν τα αποτελέσματα των τιμών του δείκτη PET και τέλος έγινε η σύγκριση των αποτελεσμάτων του PET στα σημεία μελέτης p2...p7 με τις ταυτόχρονες τιμές στο σημείο p1 που είναι και το σημείο αναφοράς.

Για την εποπτικότερη παρουσίαση των αποτελεσμάτων

επιλέχθηκε η ομαδοποίηση τους ανά κλάση και εποχή. Αυτός ο τρόπος παρουσίασης συμβάλει στην πιο άμεση σύγκριση και στην εξαγωγή συμπερασμάτων για τη συγκριτική βιοκλιματική συμπεριφορά των διαφορετικών διαμορφώσεων που μελετήθηκαν.

3.4. Αποτελέσματα εφαρμογής της μεθοδολογίας και βιοκλιματική αξιολόγηση των διαφορετικών διαμορφώσεων

3.4.1. Κλάση 1, Χειμώνας

Η θερμική άνεση του ανθρώπου κατά τη χειμερινή περίοδο δεν έχει μελετηθεί επαρκώς ιδιαίτερα όσον αφορά στους ανοιχτούς υπαίθριους χώρους. Οι έως τώρα μελέτες, στην πλειονότητά τους εστιάζουν στις βιοκλιματικές συνθήκες που διαμορφώνονται κατά τη θερμή περίοδο του έτους (*Ahmed 2003; Picot 2004; Thorsson et al. 2004; Potchter et al. 2006; Jansson et al. 2007; Mayer et al. 2008; Zauli Sajani et al. 2008; Shashua-Bar et al. 2009; Tablada et al. 2009*). Σε περιοχές με κλίμα όπως αυτό της Αθήνας η διαμονή σε εξωτερικούς χώρους δεν αποκλείεται κατά αυτή την περίοδο του έτους. Ιδιαίτερα όταν επικρατούν συνθήκες μεγάλου αριθμού ωρών ηλιοφάνειας και χαμηλής ταχύτητας ανέμου είναι πολύ συνηθής η παραμονή και η διακίνηση των πολιτών σε υπαίθριους χώρους ως ένα διάλειμμα από την παρατεταμένη παραμονή τους στους εσωτερικούς χώρους. Αυτού του είδους οι μετεωρολογικές συνθήκες περιγράφονται από την κλάση 1 στην οποία εντάχθηκαν συνολικά 28 ημέρες.

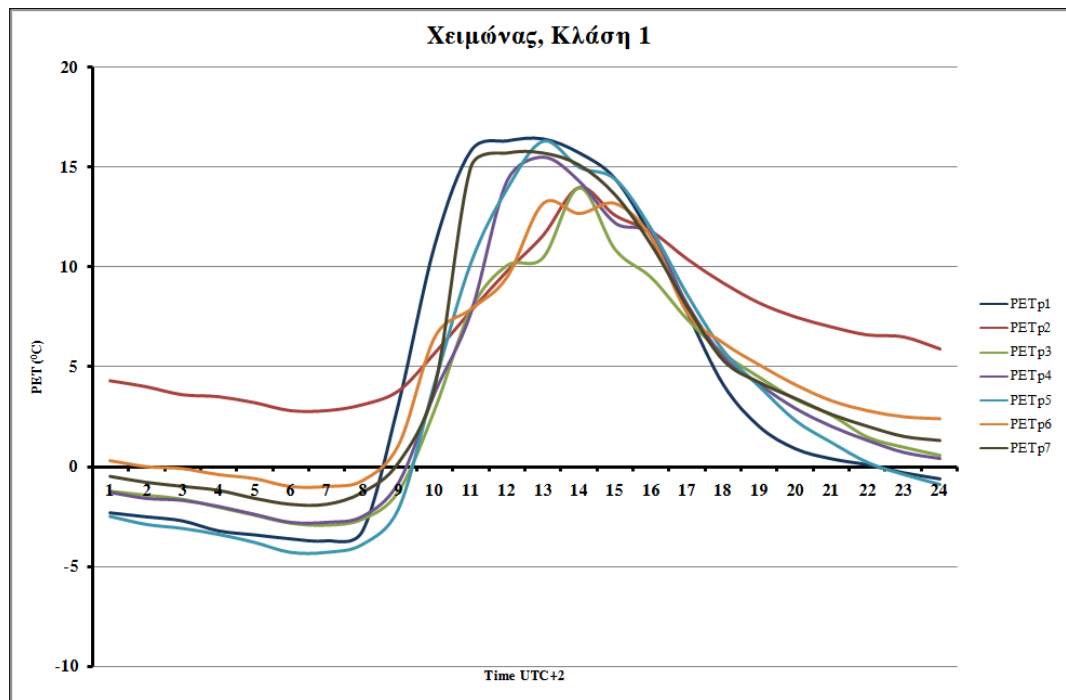
Από την ανάλυση των δεδομένων του PET στις διάφορες διαμορφώσεις χώρου (p1,p2...p7) διαπιστώθηκε παρόμοια συμπεριφορά όσον αφορά στη θερμική άνεση του ανθρώπου. Οι

μέσες τιμές του δείκτη κυμάνθηκαν (Πίνακας 12) από 'Πολύ Ψυχρό' έως και 'Ψυχρό' με την υψηλότερη μέση τιμή (6.9 °C) να καταγράφεται στο χώρο του κτηριακού αίθριου (p2) και την αντίστοιχα χαμηλότερη μέση τιμή (3.1 °C) στο φυτικό αίθριο (p3).

Πίνακας 12. Μέσες, μέγιστες, ελάχιστες και εύρος των τιμών του δείκτη PET (°C) για τον χειμώνα κατά την κλάση 1.

	PETp1	PETp2	PETp3	PETp4	PETp5	PETp6	PETp7
Mean	3.9	6.9	3.1	3.6	3.2	4.4	4.5
Max	16.4	14	14	15.5	16.3	13.2	15.7
Min	-3.7	2.8	-2.9	-2.8	-4.3	-1	-1.9
Range	20.1	11.2	16.9	18.3	20.6	14.2	17.6

Στη διαμόρφωση p2 καταγράφηκε και η υψηλότερη ελάχιστη τιμή του δείκτη PET, η οποία είναι και η μόνη θετική μεταξύ των ελαχίστων τιμών της κλάσης αυτής. Επίσης, θα πρέπει να επισημανθεί ότι οι υψηλότερες μέγιστες τιμές του δείκτη καταγράφηκαν στις θέσεις p1 (ΣΑ) και p5 (δενδροκομείο) στις οποίες υπολογίστηκαν αυτή την εποχή οι υψηλότερες τιμές του SVF (0.931 και 0.749 αντίστοιχα) που έχουν ως αποτέλεσμα την πρόσληψη μεγαλύτερων ποσών ηλιακής ενέργειας στο χώρο συγκριτικά με τις ποιο 'κλειστές' διαμορφώσεις (Oke 1981a; Eliasson 1996; Grimmond et al. 2001; Ali-Toudert et al. 2005). Τέλος το υψηλότερο εύρος τιμών καταγράφηκε στις θέσεις p5 και p1 ως αποτέλεσμα της παρατεταμένης έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία και της ευχερούς νυχτερινής ψύξης δια ακτινοβολίας (Oke 1981a; Geiger et al. 2003; Gaitani et al. 2007).

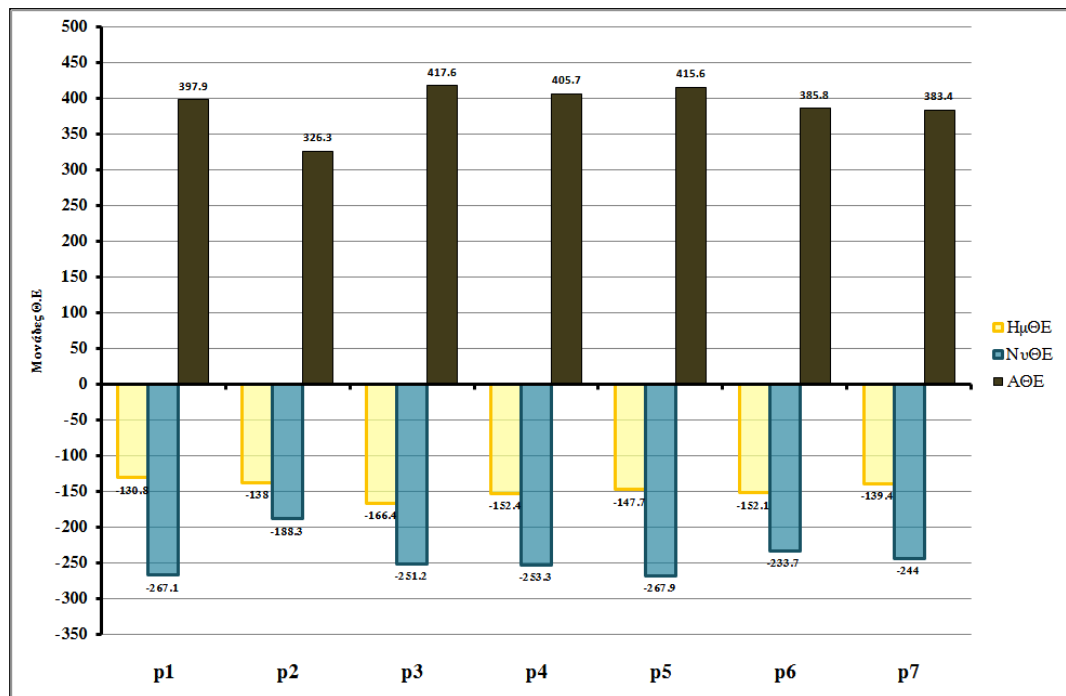


Εικόνα 30. Πορεία των τιμών του δείκτη PET σε 24ωρη βάση κατά τη διάρκεια του χειμώνα (κλάση 1) στις διαφορετικές διαμορφώσεις.

Στην Εικόνα 30 αξίζει να επισημανθεί η ολοκληρωτικά διαφορετική συμπεριφορά της πορείας του PET στο κτηριακό αίθριο (p2) σε σχέση με τα υπόλοιπα σημεία, στα οποία παρουσιάζεται μια μάλλον ομοιογενέστερη συμπεριφορά. Η καμπύλη που δημιουργείται από την πορεία του δείκτη στο σημείο αυτό απέχει σημαντικά από το κωδωνοειδές σχήμα που δημιουργεί η πορεία του δείκτη στο p1. Στο p2 γίνεται εμφανής η επίδραση της γεωμετρικής διαμόρφωσης, που οδηγεί σε καθυστέρηση της εισόδου της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας στο χώρο και στην παρατεταμένη σκίαση κατά τις απογευματινές ώρες. Η υψηλή δε τιμή του PET κατά τις βράδυνες και πρώτες πρωινές ώρες καταδεικνύει την επίδραση της κυριαρχίας του δομικού υλικού στο χώρο που αποδίδει την αποταμιευμένη θερμότητα κατά το χρονικό αυτό διάστημα του 24ώρου.

Η επιβάρυνση που δέχεται ο άνθρωπος από το θερμικό περιβάλλον σε κάθε μια από τις μελετώμενες διαμορφώσεις κατά τη διάρκεια του 24ώρου (ΑΘΕ), κατά τη διάρκεια της ημέρας (ΗμΘΕ) και της νύχτας (ΝυΘΕ) παρουσιάζονται στην

Εικόνα 31. Διαπιστώνεται ότι οι αρνητικές τιμές της ΗμΘΕ και ΝυΘΕ εκφράζουν συνθήκες ψυχρότερες από αυτές που διαμορφώνουν τις βέλτιστες συνθήκες θερμικής άνεσης (20.5 °C). Η επιβάρυνση είναι όπως αναμένεται εντονότερη κατά τη διάρκεια της νύχτας σε σχέση με την αντίστοιχη της ημέρας λόγω της απουσίας ηλιακής ακτινοβολίας. Στο φυτικό αίθριο (p3) καταγράφηκε η υψηλότερη τιμή της παραμέτρου ΑΘΕ λόγω της χαμηλής τιμής του SVF (0.515) η οποία συνδέεται με την έντονη παρουσία της βλάστησης στο σημείο αυτό. Αντίθετα, η χαμηλότερη τιμή καταγράφηκε στο κτηριακό αίθριο (p2) όπου ο περιορισμός του ορίζοντα είναι ακόμα μεγαλύτερος (SVF=0.375) αλλά περιβάλλεται από δομικά υλικά τα οποία συσσωρεύουν θερμότητα προερχόμενη από την ηλιακή ακτινοβολία την οποία αποδίδουν σταδιακά καθ' όλη τη διάρκεια της νύχτας. Η υψηλότερη τιμή της παραμέτρου ΗμΘΕ καταγράφηκε στο p1 με τιμή -130.8 μονάδες ορίζοντας το σημείο αυτό ως το καλύτερο για την παραμονή του ανθρώπου κατά τη διάρκεια της ημέρας (08:00 έως και 19:00). Αυτό οφείλεται στην εξισορροπητική δράση της ηλιακής ακτινοβολίας που στο σημείο αυτό φθάνει ανεμπόδιστα μειώνοντας την επίδραση των χαμηλών θερμοκρασιών στη διαμόρφωση της θερμικής άνεσης. Αντίθετα, η τιμή της ΗμΘΕ στο p3 (-166.4) κατατάσσει το σημείο αυτό ως τη χειρότερη επιλογή για την παραμονή του ανθρώπου κατά τις ώρες της ημέρας ως αποτέλεσμα των χαμηλών θερμοκρασιών που συνδυάζονται με την παρεμπόδιση την άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας για μεγάλο χρονικό διάστημα.

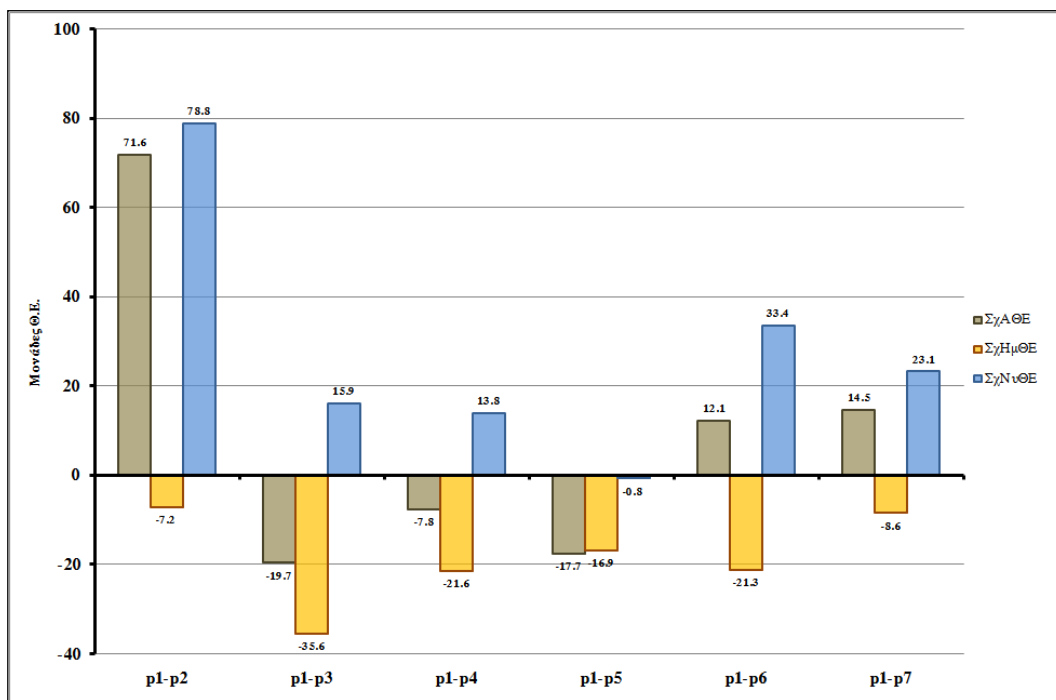


Εικόνα 31. Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΑΘΕ), Ημερήσια Θερμική Επιβάρυνση (ΗμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΝυΘΕ) κατά το χειμώνα (κλάση 1).

Κατά τις νυχτερινές ώρες η θερμική επιβάρυνση είναι πιο μικρή στο κτηριακό αίθριο (-188.3 μονάδες ΝυΘΕ) ως αποτέλεσμα αφενός των υψηλότερων θερμοκρασιών λόγω της απόδοσης θερμότητας από το κτήριο που περιβάλλει το χώρο και αφετέρου λόγω της μειωμένης νυχτερινής ψύξης δια ακτινοβολίας. Εκτός των δύο αυτών παραγόντων που επιδρούν θετικά στη θερμική επιβάρυνση, παίζει ρόλο - δευτερεύοντα όμως - και η πολύ χαμηλή ταχύτητα του ανέμου μέσα στο κτηριακό αίθριο. Το σημείο αυτό καθίσταται έτσι το ιδανικότερο μεταξύ των εξεταζόμενων όσον αφορά στη θερμική επιβάρυνση μεταξύ των υπολοίπων για τις νυχτερινές ώρες. Στο αντίποδα, η ΝυΘΕ στο δένδροκομείο (p5) έλαβε τιμή ίση με -267.9 μονάδες, κατατάσσοντας το ως το σημείο με τις δυσμενέστερες συνθήκες θερμικής άνεσης. Αυτό οφείλεται στην υψηλή τιμή του SVF (0.749) που επιτρέπει την ευχερή νυχτερινή ψύξη δια ακτινοβολίας. Τόσο οι τιμές που έλαβε η παράμετρος ΗμΘΕ όσο και η ΝυΘΕ καταδεικνύουν τη σημασία της διαμόρφωσης χώρου (που εκφράζεται μέσω του SVF) και της

φύσης των υλικών που περιβάλλουν το σημείο (*Akbari 1992; Akbari and Taha 1992; Eliasson 1996; Doulos et al. 2004; Ali-Toudert 2005; Charalampopoulos et al. 2006*).

Για την καλύτερη αξιολόγηση των συνθηκών θερμικής άνεσης σε χώρους με διαφορετική εδαφοκάλυψη και διαμόρφωση, αναλύθηκαν οι παράμετροι ΣχΑΘΕ, ΣχΗμΘΕ και ΣχΝυΘΕ (Εικ. 32). Σύμφωνα με τις τιμές που λαμβάνει η ΣχΑΘΕ, κατά τη διάρκεια του χειμώνα, οι συνθήκες της θερμικής άνεσης είναι πολύ βελτιωμένες στη θέση p2 σε σχέση με τις αντίστοιχες που καταγράφηκαν στο σημείο αναφοράς (p1). Πιο συγκεκριμένα η τιμή της ΣχΑΘΕ για το σημείο p2 είναι 71.6 καθιστώντας το ως το ιδανικότερο στη διαμόρφωση 24ωρων συνθηκών θερμικής άνεσης. Επίσης θετική ΣχΑΘΕ καταγράφηκε στο αλσύλλιο (p6) και στη διαμόρφωση του προκήπιου (p7) ενώ σε όλα τα υπόλοιπα σημεία έλαβε αρνητικές τιμές. Αυτό σημαίνει ότι η θερμική επιβάρυνση του ατόμου είναι μικρότερη στα σημεία p2, p7 και p6 σε 24ωρη βάση σε σχέση με σημείο αναφοράς (p1). Το αντίθετο συμβαίνει στις υπόλοιπες διαμορφώσεις χώρου (p3, p4 και p5). Όσον αφορά στη σχετική ημερήσια θερμική επιβάρυνση (ΣχΗμΘΕ) σε όλες τις συγκρινόμενες θέσεις, καταγράφηκαν μόνο αρνητικές τιμές, κάτι που σημαίνει ότι η θερμική επιβάρυνση είναι μεγαλύτερη σε όλα τα σημεία σε σχέση με το σημείο αναφοράς (p1) για τις ώρες της ημέρας. Οι συγκριτικά δυσμενέστερες συνθήκες θερμικής άνεσης καταγράφηκαν στο σημείο p3 όπου η τιμή του SVF είναι σχετικά χαμηλή (0.515) και η περιβάλλουσα βλάστηση πολύ πυκνή. Η βλάστηση μειώνοντας την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία και τη θερμοκρασία αέρος οδηγεί σε δυσμενείς συνθήκες για την παραμονή του ανθρώπου στο χώρο (*Bernatzky 1982; Taesler 1991; Gomez et al. 1998*)



Εικόνα 32. Σχετική Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΣχΑΘΕ), Σχετική Ημερήσια (ΣχΗμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΣχΝυΘΕ) κατά το χειμώνα (κλάση 1).

Από την Εικόνα 32 φαίνεται ότι σε όλες τις θέσεις που μελετήθηκαν καταγράφονται αρνητικές τιμές της παραμέτρου ΣχΗμΘΕ με την υψηλότερη τιμή (-7.2) να υπολογίζεται στο κτηριακό αίθριο (p2). Αντίθετα, θετικές τιμές ΣχΝυΘΕ διαμορφώθηκαν σε όλες τις ερευνώμενες θέσεις εκτός από το σημείο p5 που έλαβε μικρή αρνητική τιμή (-0.8). Αυτό σημαίνει ότι στα σημεία p2, p3, p4, p6 και p7 η θερμική επιβάρυνση είναι μικρότερη σε σχέση με το σημείο αναφοράς κατά τις οριζόμενες νυχτερινές ώρες με τις βέλτιστες να καταγράφονται στο p2 (78.8).

Γενικά κατά τις ανέφελες μέρες του χειμώνα όταν επικρατούν συνθήκες χαμηλής ταχύτητας ανέμου, η θερμική αίσθηση όπως περιγράφεται από το δείκτη PET είναι σημαντικά ψυχρότερη από το επιθυμητό. Επίσης το σύνολο της θερμικής επιβάρυνσης οφείλεται τόσο κατά τη διάρκεια της ημέρας όσο και κατά τη διάρκεια της νύχτας στις χαμηλότερες τιμές PET που διαμορφώνονται σε σύγκριση με την ιδανική τιμή θερμικής αίσθησης (PET=20.5 °C). Τέλος η παράμετρος ΣχΗμΘΕ έδειξε

ότι η όποια σκίαση ως αποτέλεσμα της διαμόρφωσης του χώρου οδηγεί σε δυσμενέστερες συνθήκες στα συγκρινόμενα σημεία σε σχέση με το σημείο αναφοράς (p1). Αντίθετα αποτελέσματα έδειξε η ΣχΝυΘΕ για τις νυχτερινές ώρες, λόγω της μειωμένης νυχτερινής ψύξης δια ακτινοβολίας στα σημεία p2, p3, p4, p6 και p7 σε σχέση με το p1.

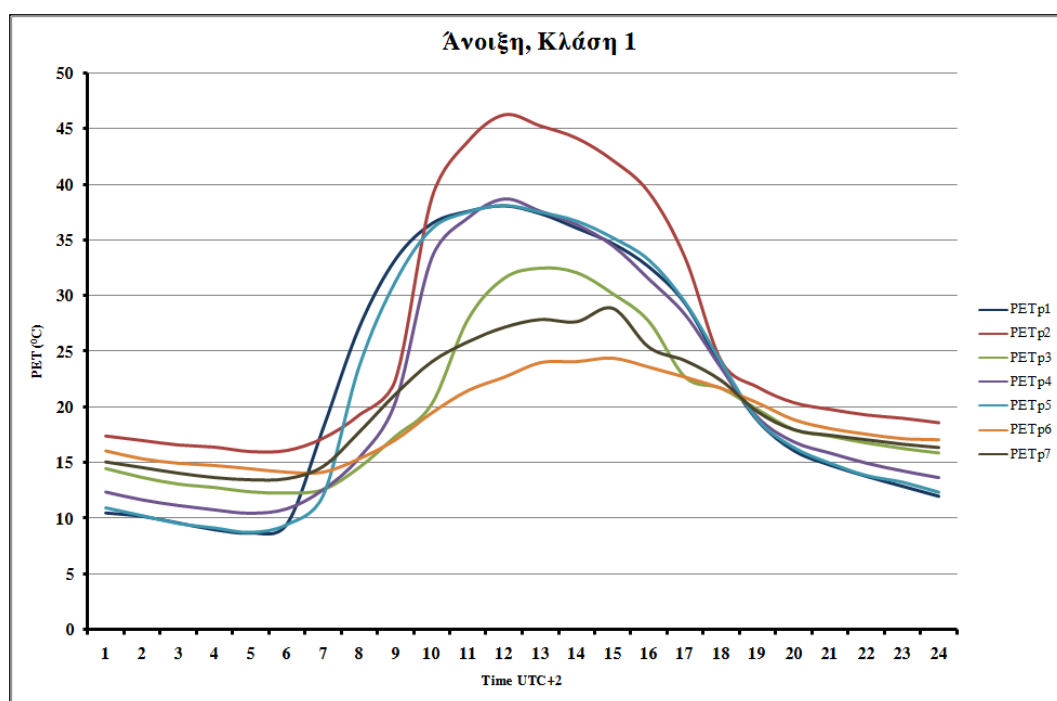
3.4.2. Κλάση 1, Άνοιξη

Η άνοιξη στις κλιματικές συνθήκες της Ελλάδας και συνεπώς στην περιοχή μελέτης (Αθήνα) είναι μια μεταβατική περίοδος μεταξύ της ψυχρής και της θερμής εποχής του έτους. Οι ημέρες της άνοιξης με σταθερές συνθήκες -κλάση 1- οδηγούν τους κατοίκους συχνά σε ανοιχτούς υπαίθριους χώρους για διαμονή ή και μετακίνηση. Αυτό δικαιολογείται και από τις συνθήκες θερμικής άνεσης που καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια των 29 ημερών που εντάσσονται σε αυτή την περίπτωση. Σε αντίθεση με τις συνθήκες θερμικής άνεσης κατά το χειμώνα, την άνοιξη καταρχήν δεν καταγράφηκαν τιμές του PET μικρότερες από 0 °C (Πίν. 13). Η μέση τιμή του 24ώρου στα σημεία μελέτης εντάσσεται στις κλάσεις 'Άνετο' έως και 'Ελαφρά Θερμό' μόνο στην περίπτωση της θέσης p2. Έτσι, η πιο υψηλή μέση τιμή του δείκτη καταγράφηκε στο p2 (26.5 °C) και η αντίστοιχα χαμηλότερη στο σημείο p6 (18.8 °C). Η διαμόρφωση του χώρου γύρω από το κτηριακό αίθριο (p2) οδηγεί σε υψηλές τιμές του δείκτη (Εικόνα 33)-κυρίως κατά τη διάρκεια της ημέρας- παρά τη χαμηλή τιμή του SVF που υπολογίστηκε εκεί. Αυτό οφείλεται εκτός των άλλων, στον εγκλωβισμό των αερίων μαζών στο εσωτερικό του αίθριου και τελικά στη σταδιακή θέρμανσή τους. Στο σημείο αυτό υπολογίστηκε και η υψηλότερη μέγιστη τιμή του δείκτη PET.

Πίνακας 13. Μέσες, μέγιστες, ελάχιστες και εύρος των τιμών του δείκτη PET (°C) για την άνοιξη κατά την κλάση 1.

	PETp1	PETp2	PETp3	PETp4	PETp5	PETp6	PETp7
Mean	22.1	26.5	19.8	21.3	21.8	18.8	19.9
Max	38.1	46.3	32.5	38.7	38.1	24.4	28.9
Min	8.7	16	12.3	10.5	8.8	14.2	13.5
Range	29.4	30.3	20.2	28.2	29.3	10.2	15.4

Αντίθετα, στη θέση p6 (αλσύλλιο) όπου κυριαρχεί η δενδρώδης βλάστηση και ο SVF είναι εξαιρετικά χαμηλός (0.074), η μέγιστη τιμή του δείκτη είναι η χαμηλότερη μεταξύ των μελετώμενων διαμορφώσεων ενώ η ελάχιστη είναι η υψηλότερη, προφανώς λόγω μειωμένης νυχτερινής ψύξης δια ακτινοβολίας.



Εικόνα 33. Πορεία των τιμών του δείκτη PET σε 24ωρη βάση κατά τη διάρκεια της άνοιξης (κλάση 1) στις διαφορετικές διαμορφώσεις

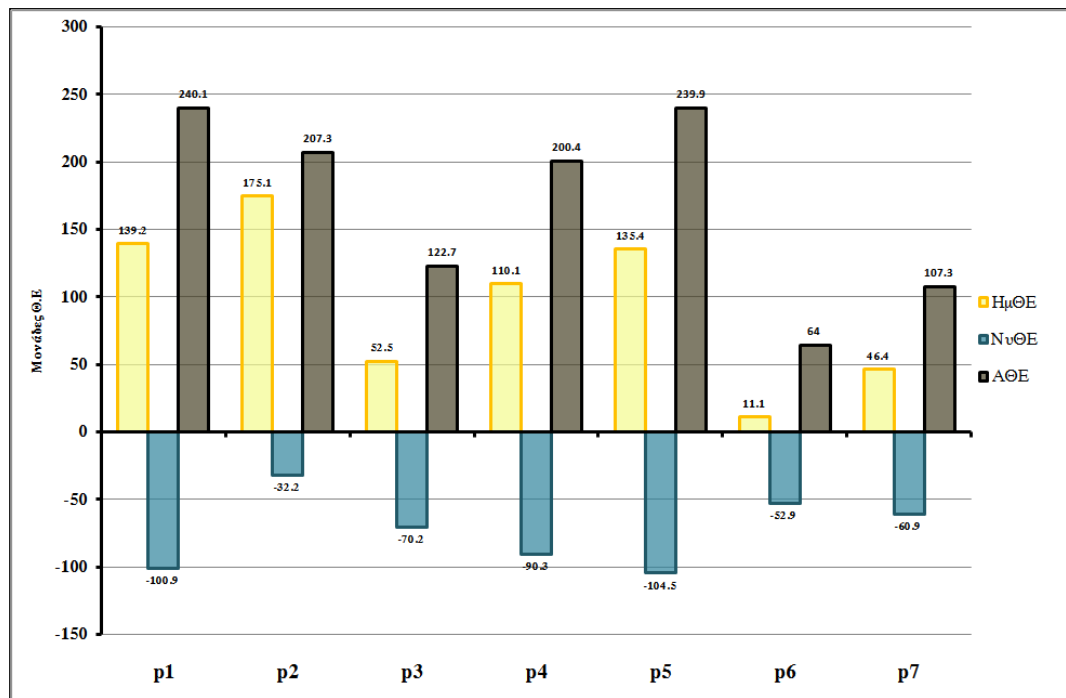
Στην πορεία των μέσων τιμών του PET σε 24ωρη βάση (Εικ. 33), χαρακτηριστική είναι η καμπύλη του PET στο p2 ως αποτέλεσμα της κτηριακής διαμόρφωσης του αίθριου που καθυστερεί την είσοδο της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας στο χώρο κατά τις πρωινές ώρες ενώ παρατείνει τη σκίαση κατά

τις απογευματινές. Παρουσιάζει επίσης, όπως αναμενόταν πολύ υψηλές τιμές του PET όταν η ηλιακή ακτινοβολία εισχωρεί στο αίθριο γιατί δημιουργείται αύξηση της θερμοκρασίας αέρος που συνδυάζεται με εξαιρετικά χαμηλές ταχύτητες ανέμου στο χώρο του αίθριου και αυξημένη ηλιακή ακτινοβολία.

Παρόμοια μορφή με αυτή της καμπύλης του p2 παρουσιάζει η καμπύλη που περιγράφει την πορεία του δείκτη PET στο p3 (φυτικό αίθριο). Η καμπύλη αυτή, εμφανίζει μια υστέρηση στην αύξηση της τιμής της λόγω διαμόρφωσης του χώρου – φυτικό αίθριο– κατά τις πρωινές ώρες με τη διαφορά ότι ο PET παραμένει σε χαμηλά επίπεδα λόγω της κυριαρχίας της βλάστησης στο χώρο. Ειδικότερα, οφείλεται στη δένδρως βλάστηση που μειώνει τα ποσά της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας και κρατά τη θερμοκρασία αέρος σε χαμηλά επίπεδα μέσω της εξατμισοδιαπνοής (*Bernatzky 1982; Dimoudi and Nikolopoulou 2003; Charalampopoulos et al. 2006*)

Στα σημεία p6 και p7 όπου επικρατεί σκίαση για μεγάλο διάστημα της ημέρας, οι καμπύλες παρουσιάζουν μεγάλη εξομάλυνση σε σχέση με την κωδωνοειδή καμπύλη που διαμορφώνει ο PET στο p1.

Οι παράμετροι αξιολόγησης της θερμικής επιβάρυνσης (Εικόνα 34), δείχνουν ότι αυτή οφείλεται σε ψυχρότερες από τις επιθυμητές συνθήκες κατά τη διάρκεια της νύχτας και σε θερμότερες κατά τη διάρκεια της ημέρας αντίστοιχα. Πιο συγκεκριμένα, το σημείο p6 παρουσιάζει τη χαμηλότερη ΑΘΕ καθιστώντας το ιδανικό μεταξύ των άλλων όσον αφορά στη θερμική επιβάρυνση όλου του 24ώρου. Για το ίδιο χρονικό διάστημα η μεγαλύτερη τιμή της παραμέτρου ΑΘΕ καταγράφηκε στο p1.

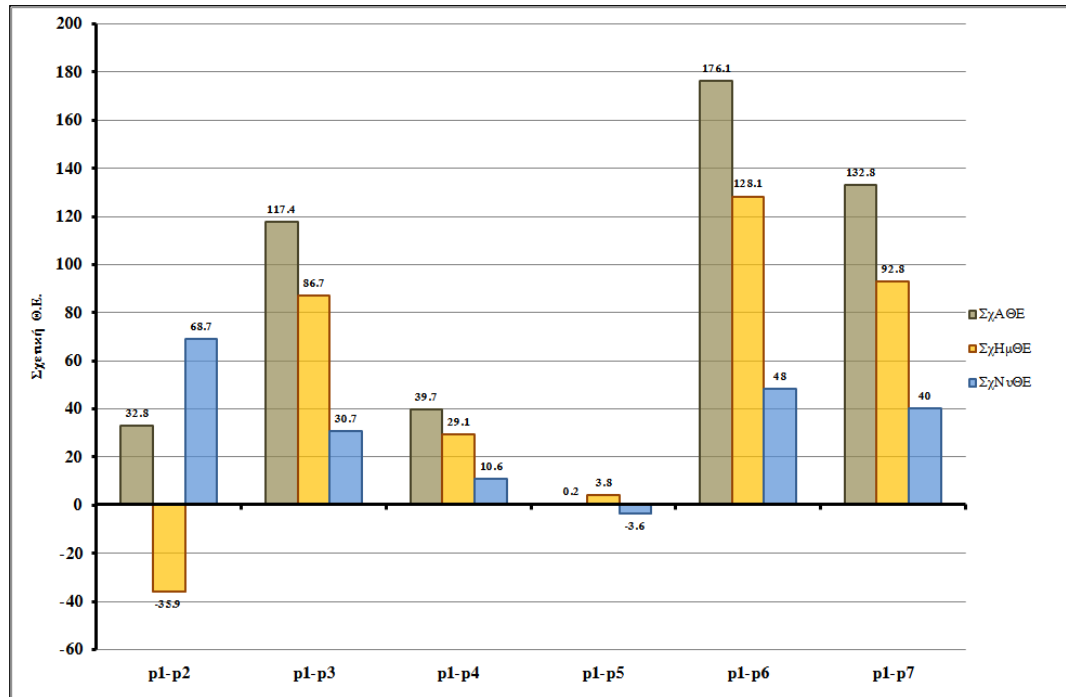


Εικόνα 34. Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΑΘΕ), Ημερήσια Θερμική Επιβάρυνση (ΗμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΝυΘΕ) κατά την άνοιξη (κλάση 1).

Την υψηλότερη θερμική επιβάρυνση κατά τη διάρκεια της ημέρας (ΗμΘΕ) αισθάνεται ο άνθρωπος που παραμένει στο p2 (175.1) και τη χαμηλότερη στο p6 (11.1). Κατά τη διάρκεια της νύχτας το περιβάλλον του p2 δημιουργεί συνθήκες βάσει των οποίων η ΝυΘΕ είναι η χαμηλότερη σε σύγκριση με τις τιμές που υπολογίστηκαν στις υπόλοιπες διαμορφώσεις. Αυτό αποδίδεται στην αποδέσμευση μέρους της θερμότητας των δομικών υλικών που περιβάλλουν το σημείο αυτό (Akbari 1992; Ali-Toudert and Mayer 2006; Χαραλαμπίδης 2006). Στον αντίποδα η υψηλότερη τιμή της ΝυΘΕ καταγράφηκε στο p5 γιατί αφενός έχει μια στοιχειώδη σκίαση κατά την ημέρα (SVF=0.749) που περιορίζει μερικώς την είσοδο της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας και κατ' επέκταση τη θέρμανση του χώρου και αφ' ετέρου όμως η διαμόρφωσή του (αραιή δενδροφύτευση) επιτρέπει την ευχερή νυχτερινή ψύξη δια ακτινοβολίας.

Η ΣχΑΘΕ όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 35 καταδεικνύει τις σημαντικές διαφοροποιήσεις που επιφέρει η διαμόρφωση

περιβάλλοντος των σημείων που μελετήθηκαν στη θερμική άνεση σε σχέση με τις ταυτόχρονες συνθήκες που καταγράφονταν στο σημείο αναφοράς (p1). Αρχικά, σε επίπεδο 24ωρης Σχετικής Αθροιστικής Θερμικής Επιβάρυνσης (ΣχΑΘΕ) για την εποχή αυτή, το p6 διαμορφώνει τις καλύτερες βιοκλιματικές συνθήκες σε σχέση με το σημείο αναφοράς. Σε αυτό συμβάλει προφανώς η παρατεταμένη σκίαση στο χώρο και η παρουσία της πυκνής δενδρώδους βλάστησης. Η ΣχΑΘΕ κατατάσσει ως βέλτιστη διαμόρφωση αυτή του p6 με τιμή 176.1 και ακολουθεί το p7 με 132.8. Η χαμηλότερη τιμή της ΣχΑΘΕ καταγράφηκε στο p5 με οριακά θετική απόδοση (0.2 μονάδες) κάτι που είναι αναμενόμενο αν λάβει κανείς υπόψη του την 24ωρη πορεία του PET στην διαμόρφωση αυτή. Στην ουσία, η διαμόρφωση του p5 δεν τροποποιεί σχεδόν καθόλου τη θερμική άνεση. Μια πιο πλήρη εικόνα της προσφοράς της διαμόρφωσης των μελετώμενων σημείων δίνει η ΣχΗμΘΕ και η ΣχΝυΘΕ. Κατά τη διάρκεια της ημέρας όλα τα σημεία εκτός του p2 είχαν θετική απόδοση με την καλύτερη να καταγράφεται στο p6 (128.1) και να ακολουθεί απόδοση του p7 (92.8). Στο p5 οι συνθήκες θερμικής άνεσης ήταν οριακά καλύτερες από τις αντίστοιχες του σημείου αναφοράς (p1) με αποτέλεσμα η ΣχΗμΘΕ να πάρει την τιμή των 3.8 μονάδων. Όπως προαναφέρθηκε, το μόνο σημείο στο οποίο η θερμική επιβάρυνση κατά τη διάρκεια της ημέρας ήταν μεγαλύτερη από αυτή του σημείου αναφοράς ήταν το p2. Δηλαδή, είναι προτιμότερο ο άνθρωπος να παραμένει στον τελείως ανοιχτό χώρο του p1 από το να παραμένει για τον ίδιο χρόνο στο p2. Δηλαδή η διαμόρφωση του p2 είναι επιβαρυντική κατά την ημέρα όσον αφορά στη θερμική άνεση.



Εικόνα 35. Σχετική Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΣχΑΘΕ), Σχετική Ημερήσια (ΣχΗμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΣχΝυΘΕ) κατά την άνοιξη (Κλάση 1).

Κατά τη διάρκεια την νύχτας όλες οι διαμορφώσεις προσέφεραν βελτιωμένες συνθήκες θερμικής άνεσης σε σχέση με το σημείο αναφοράς εκτός της διαμόρφωσης p5. Οι συνθήκες στη θέση p2 ήταν οι καλύτερες δυνατές για τις νυχτερινές ώρες (68.7 μονάδες ΣχΝυΘΕ) και ακολούθησαν οι συνθήκες στα σημεία p6 και p7 με 48 και 40 μονάδες αντίστοιχα.

Γενικά, οι συνθήκες θερμικής άνεσης όπως καταγράφηκαν από το δείκτη PET και συγκρίθηκαν μέσω των ΑΘΕ, ΗμΘΕ, ΝυΘΕ, ΣχΑΘΕ, ΣχΗμΘΕ και ΣχΝυΘΕ παρουσιάζουν βελτίωση κατά τη διάρκεια της νύχτας όπως επίσης και κατά τη διάρκεια της ημέρας σε σχέση με τις αντίστοιχες του χειμώνα. Αυτό οφείλεται αφενός στην αύξηση του ποσού της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας κατά την ημέρα και αφετέρου στη μείωση της νυχτερινής ψύξης στις μελετώμενες διαμορφώσεις λόγω της αύξησης της περιβάλλουσας φυλλικής μάζας.

3.4.3. Κλάση 1, Καλοκαίρι

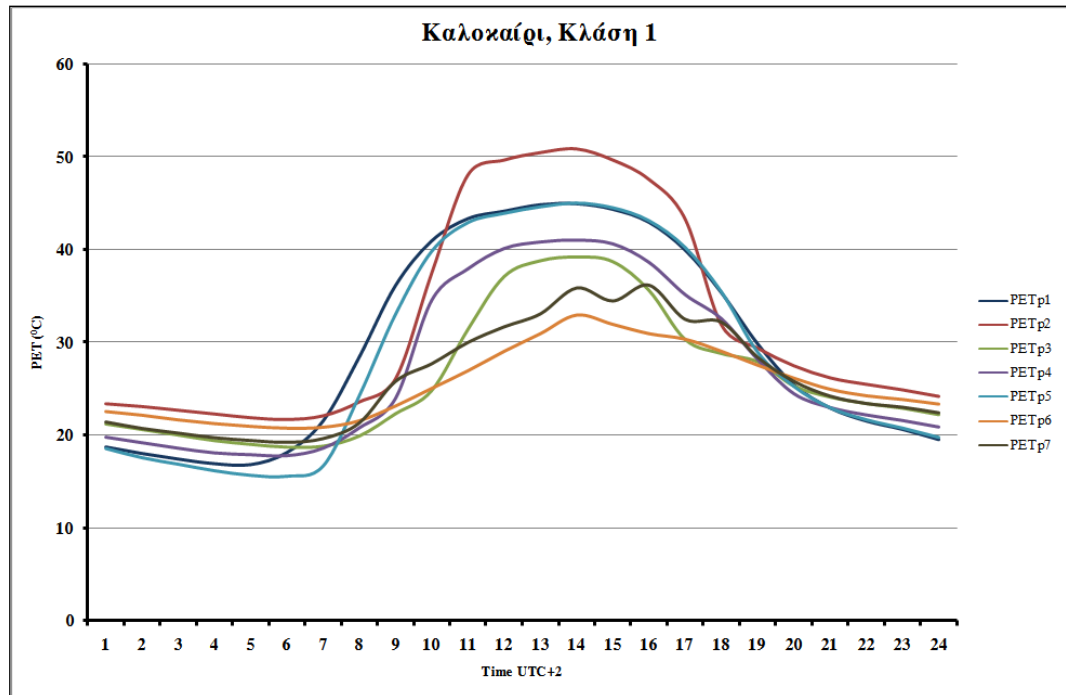
Η θερμική αίσθηση του ανθρώπου κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού υπό συνθήκες παρατεταμένης ηλιοφάνειας και χαμηλής ταχύτητας ανέμου έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον γιατί σε περιοχές με κλιματικές συνθήκες όπως αυτές του ελλαδικού χώρου, είναι ιδιαίτερα επιβαρυντικές για τη διαβίωση και την παραμονή του ανθρώπου σε εξωτερικούς χώρους (σύνολο ημερών 125). Όπως φαίνεται και από τα στοιχεία περιγραφικής στατιστικής (Πίν. 14), στα σημεία μελέτης καταγράφηκαν εξαιρετικά υψηλές τιμές του PET. Η υψηλότερη μεταξύ αυτών (μέγιστες τιμές) καταγράφηκε στο p2 (50.9 °C) όπως άλλωστε αναμενόταν. Αντίθετα, η ελάχιστη τιμή σε μέση 24ωρη βάση καταγράφηκε στο p6 (33 °C). Η υψηλότερη μέση τιμή του δείκτη PET υπολογίστηκε στη θέση p2 (32.2 °C) και ανήκει στην κατηγορία θερμικής άνεσης 'Θερμό' ενώ η χαμηλότερη μέση τιμή του δείκτη υπολογίστηκε στο p6 (25.6 °C) και ανήκει στην κλάση 'Ελαφρά Θερμό'. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει και το εύρος τιμών κατά την περίοδο αυτή που είναι αρκετά μεγάλο. Το εύρος των τιμών μπορεί να αποτελέσει κατά μια έννοια και μέτρο της θερμικής καταπόνησης του οργανισμού.

Πίνακας 14. Μέσες, μέγιστες, ελάχιστες και εύρος των τιμών του δείκτη PET (°C) για το καλοκαίρι κατά την κλάση 1.

	PETp1	PETp2	PETp3	PETp4	PETp5	PETp6	PETp7
Mean	29.8	32.2	26.3	27.4	28.9	25.6	26.2
Max	45	50.9	39.2	41.1	45.1	33	36.2
Min	16.9	21.7	18.7	17.8	15.6	20.8	19.2
Range	28.1	29.2	20.5	23.3	29.5	12.2	17

Στην περίπτωση αυτή το μεγαλύτερο εύρος καταγράφηκε στο p2 (κτηριακό αίθριο) και το μικρότερο στο p6 (αλσύλλιο).

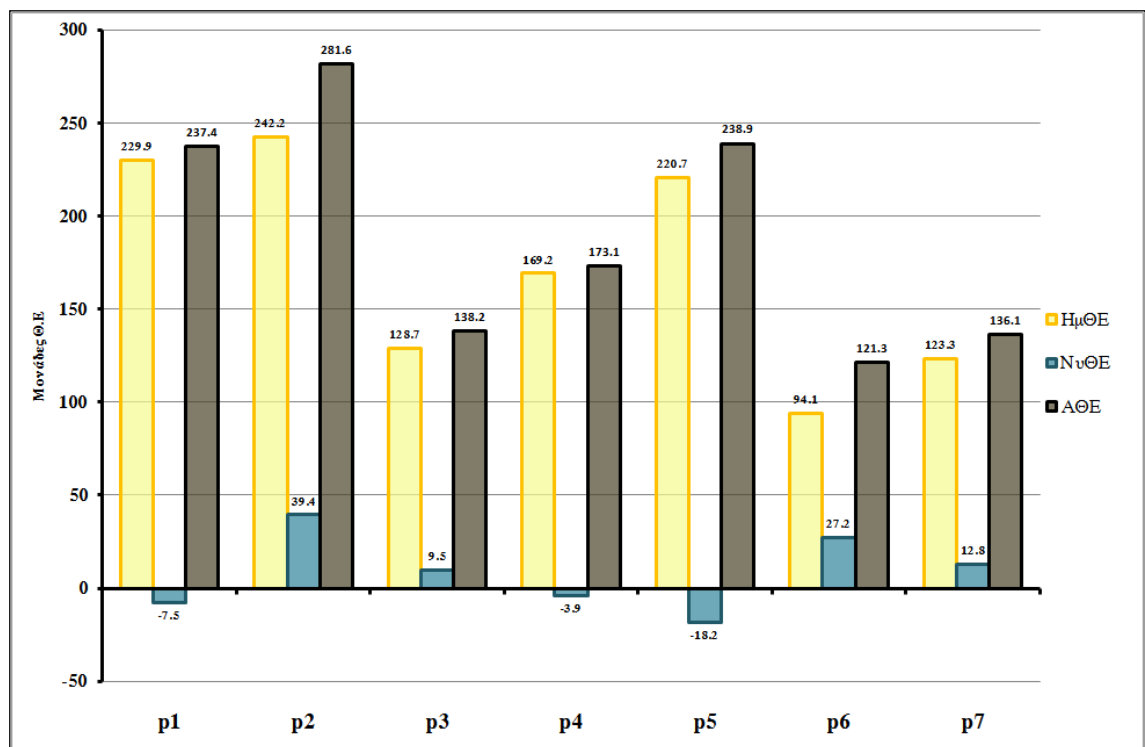
Αυτό οφείλεται στην πρώτη περίπτωση στη διαμόρφωση του χώρου που προκαλεί υπερθέρμανση κατά τη διάρκεια της ημέρας και στην παρατεταμένη σκίαση στη δεύτερη περίπτωση.



Εικόνα 36. Πορεία των τιμών του δείκτη PET σε 24ωρη βάση κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού (κλάση 1) στις διαφορετικές διαμορφώσεις

Όσον αφορά στην πορεία του PET όπως εμφανίζεται στην Εικόνα 36, γίνεται εμφανής η επίδραση της διαμόρφωσης του περιβάλλοντος στη θερμική άνεση. Δηλαδή οι διαμορφώσεις p2 και p3 που καθυστερούν την είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τις πρωινές ώρες και επιταχύνουν τη σκίαση κατά τις μεταμεσημβρινές δημιουργούν καμπύλες με πανομοιότυπα σχήματα με τη διαφορά ότι καθ' όλη τη διάρκεια του 24ώρου οι τιμές στο p3 ήταν χαμηλότερες από τις αντίστοιχες στο p2. Επίσης, οι καμπύλες της πορείας του δείκτη PET στις θέσεις p1 και p5 είναι πανομοιότυπες ως προς το σχήμα αλλά και ως προς τις τιμές που λαμβάνουν. Επίσης είναι εντυπωσιακή η διαφορά των τιμών του PET κατά τις μεσημεριανές ώρες μεταξύ του p2 και του p6 η οποία φθάνει τους 18 °C. Επίσης, στην Εικόνα 36 καταγράφεται σαφώς η

θερμική επιβάρυνση και η κατανομή της τόσο κατά την ημέρα όσο και κατά τη νύχτα. Σε όλες τις διαμορφώσεις οι συνθήκες είναι σημαντικά θερμότερες από το επιθυμητό κατά την ημέρα. Η υψηλότερη θερμική επιβάρυνση καταγράφηκε για το διάστημα αυτό στο p2 και ακολουθούν τα p1 και p5. Οι θέσεις αυτές αξίζει να σημειωθεί ότι έχουν τη μεγαλύτερη έκθεση στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία και επίσης ότι σε αυτές καταγράφηκαν και οι υψηλότερες τιμές του SVF. Η σχέση του SVF και της θερμικής επιβάρυνσης κατά τη διάρκεια της ημέρας γίνεται ακόμα πιο εμφανής στην περίπτωση των θέσεων p3, p4 και p5 των οποίων η κλιμάκωση των τιμών του SVF ακολουθείται από την κλιμάκωση των τιμών της ΑΘΕ (Εικ. 37).



Εικόνα 37. Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΑΘΕ), Ημερήσια Θερμική Επιβάρυνση (HμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΝυΘΕ) κατά το καλοκαίρι (κλάση 1).

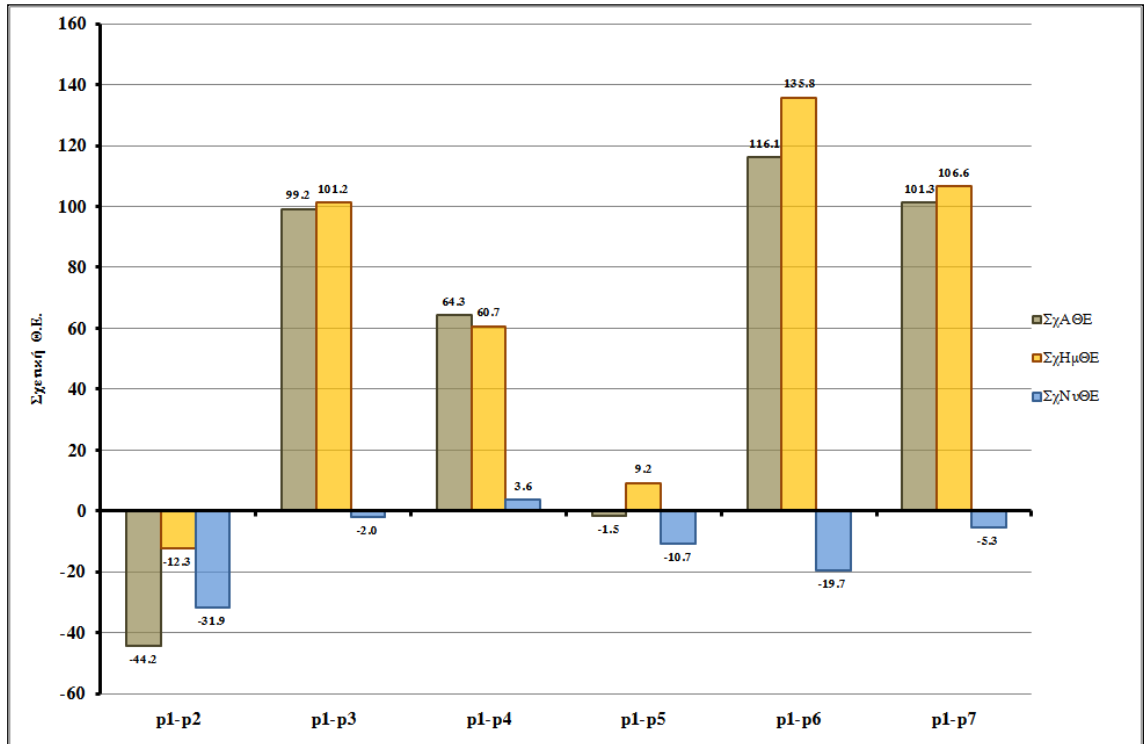
Η χαμηλότερη τιμή της HμΘΕ καταγράφηκε στο p6 (94.1) κατά τη διάρκεια της ημέρας. Όσον αφορά στις νυχτερινές

ώρες, η ΝυΘΕ λαμβάνει χαμηλές τιμές είτε οφείλεται σε ψυχρότερες είτε σε θερμότερες συνθήκες από τις επιθυμητές. Ελαφρά αρνητικές τιμές καταγράφηκαν στο p1, p4 και p5 και θετικές στις υπόλοιπες διαμορφώσεις που μελετήθηκαν. Αξίζει να σημειωθεί ότι η υψηλότερη τιμή της ΝυΘΕ καταγράφηκε στη θέση p2 ως αποτέλεσμα της παρεμπόδισης της νυχτερινής ψύξης δια ακτινοβολίας.

Η ΣχΑΘΕ καταδεικνύει (Εικόνα 38) την ευνοϊκή επίδραση της διαμόρφωσης περιβάλλοντος στη θερμική άνεση στην περίπτωση των σημείων που περιβάλλονται από ικανοποιητικώς πυκνή βλάστηση όπως είναι τα p3, p4, p6 και p7. Στην περίπτωση των σημείων αυτών, η ΑΘΕ σε σχέση με αυτή που καταγράφηκε στο p1 δίδει τιμές ΣχΑΘΕ με μεγαλύτερη μεταξύ αυτών στο p6 (135.8) όπως φαίνεται και στην Εικόνα 38. Η μόνη διαμόρφωση στην οποία επιδεινώνονται οι ήδη επιβαρυσμένες συνθήκες θερμικής αίσθησης είναι το κτηριακό αίθριο (p2) στο οποίο η ΣχΑΘΕ έλαβε τιμή -44.2. Στο δενδροκομείο (p5), η τιμή της ΣχΑΘΕ ήταν -1.5, δηλαδή το σημείο αυτό συμπεριφέρεται βιοκλιματικά παρόμοια με το σημείο αναφοράς (p1) σε 24ωρη βάση. Όσον αφορά στη ΣχΗμΘΕ, σε όλες τις μελετώμενες θέσεις εκτός του p2 κατέγραψε θετικές τιμές, κάτι που καταδεικνύει τη θετική επίδραση αυτών των διαμορφώσεων στη θερμική άνεση σε σχέση με τις συνθήκες στο p1. Η καλύτερη απόδοση όσον αφορά στη θερμική άνεση καταγράφεται στο αλσύλλιο (p6) και ακολουθεί η διαμόρφωση του προκηπίου (p7) και του φυτικού αίθριου (p3).

Κατά τις νυχτερινές ώρες σε όλες τις διαμορφώσεις καταγράφονται αρνητικές τιμές ΣχΝυΘΕ εκτός του p3. Αυτό δείχνει, όπως αναμένεται άλλωστε, την επίδραση της δυνατότητας ταχύτερης και αποτελεσματικότερης ψύξης σε σημεία με πολύ υψηλό SVF όπως το p1. Όμως σε όλα τα σημεία για την περίοδο του καλοκαιριού, η νυχτερινή θερμική επιβάρυνση όπως φάνηκε και στην Εικόνα 38 δεν είναι πολύ

αυξημένη οπότε και δεν μπορεί σε καμία περίπτωση να μειώσει την αξία του οφέλους κατά τις ώρες της ημέρας.



Εικόνα 38. Σχετική Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (Σχ.Α.Θ.Ε.), Σχετική Ημερήσια (Σχ.Η.μ.Θ.Ε.) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (Σχ.Ν.υ.Θ.Ε.) κατά το καλοκαίρι (Κλάση 1).

3.4.4. Κλάση 1, Φθινόπωρο

Οι ημέρες του φθινοπώρου που πληρούσαν τα κριτήρια για να ενταχτούν στην κλάση 1 ήταν συνολικά 37 και οι μέσες 24ώρες τιμές του PET κυμάνθηκαν μεταξύ της θερμικής αίσθησης 'Άνετο' και 'Ελαφρά Θερμό' μόνο στην περίπτωση του κτηριακού αίθριου (p2). Οι μέσες μέγιστες τιμές του δείκτη έφθασαν την τιμή 42.9 °C (Πολύ Θερμό) στο κτηριακό αίθριο (p2) όταν η χαμηλότερη μέγιστη τιμή 31.9 °C (Θερμό) καταγράφηκε στο αλσύλλιο (p6). Επιπρόσθετα, η χαμηλότερη μέση ελάχιστη τιμή του δείκτη PET υπολογίστηκε σε 9.1 °C και καταγράφηκε στο δενδροκομείο τις πρώτες πρωινές ώρες

(Εικόνα 39). Ακολούθως, η μεγαλύτερη από τις μέσες ελάχιστες τιμές του δείκτη καταγράφηκε στο p2 (15.9 °C) επίσης κατά τις πρώτες πρωινές ώρες.

Συγκρίνοντας την πορεία των τιμών του δείκτη σε 24ωρη βάση (Εικ. 39) με την αντίστοιχη πορεία τιμών για την κλάση 1 κατά το καλοκαίρι (Εικ. 36), γίνεται εμφανής η μείωσή τους καθ' όλη τη διάρκεια του 24ώρου. Δηλαδή, κατά το φθινόπωρο οι τιμές του PET σε όλες τις διαμορφώσεις και για κάθε χρονική στιγμή καταγράφηκαν μειωμένες σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές του καλοκαιριού της ίδιας κλάσης.

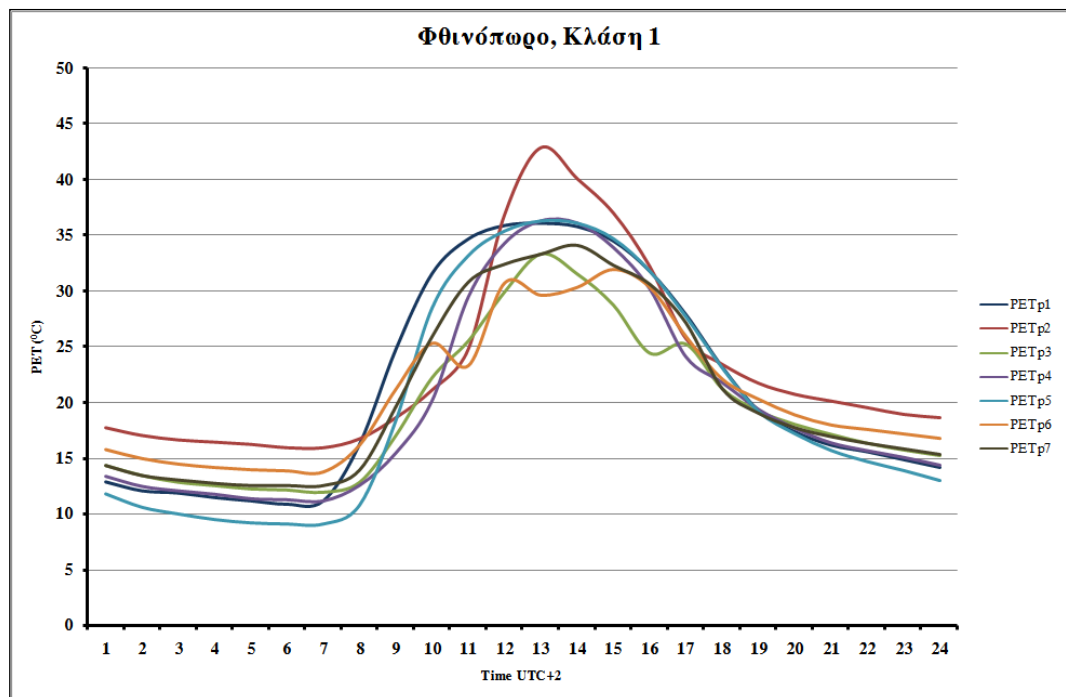
Πίνακας 15. Μέσες, μέγιστες, ελάχιστες και εύρος των τιμών του δείκτη PET (°C) για το φθινόπωρο κατά την κλάση 1.

	PETp1	PETp2	PETp3	PETp4	PETp5	PETp6	PETp7
Mean	21.3	23.1	19.3	19.9	20	20.7	20.5
Max	36.1	42.9	33.3	36.3	36.3	31.9	34.1
Min	10.9	15.9	11.9	11.2	9.1	13.8	12.5
Range	25.2	27	21.4	25.1	27.2	18.1	21.6

Εκτός αυτού, οι τιμές του PET ξεκινούν την αυξητική τους πορεία πιο αργά κατά τις πρωινές και μειώνονται πιο σύντομα κατά τις απογευματινές ώρες σε σχέση με τις αντίστοιχες του καλοκαιριού. Η πορεία των τιμών του δείκτη είναι παρόμοια στο σημείο αναφοράς (p1) και στο δενδροκομείο (p5) ως αποτέλεσμα της πανομοιότυπης διαμόρφωσης, κάτι που παρατηρήθηκε και σε όλες τις προηγούμενες εποχές που σχολιάστηκαν. Επίσης ο PET παρουσίασε παρόμοια πορεία σε 24ωρη βάση στα δύο σχηματιζόμενα αίθρια, με το φυτικό αίθριο (p3) να δημιουργεί καλύτερες συνθήκες θερμικής αίσθησης από το κτηριακό (p2) για όλο σχεδόν το 24ωρο (Εικ. 39). Εξίσου βελτιωμένες βιοκλιματικές συνθήκες με αυτές στο p3, καταγράφηκαν στο αλσύλλιο (p6) στο οποίο ο PET παρουσίασε μια ιδιαίτερη κύμανση που οφείλεται στην ανομοιόμορφη κατανομή της βλάστησης με αποτέλεσμα την ανομοιόμορφη σκίαση του χώρου.

Βάσει της ΑΘΕ, οι πιο επιβαρυντικές συνθήκες για τον άνθρωπο επικράτησαν στο σημείο αναφοράς (p1) και στο δένδροκομείο (p5) με τιμές 191.7 και 191.0 αντίστοιχα (Εικ. 40). Οι τιμές αυτές είναι πολύ μειωμένες σε σχέση με τις αντίστοιχες που καταγράφηκαν κατά το καλοκαίρι (Εικ. 37). Οι βέλτιστες τιμές της παραμέτρου αυτής υπολογίστηκαν στο αλσύλλιο (117.5) και στο φυτικό αίθριο (119.5). Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι οι τιμές ΑΘΕ στα σημεία αυτά είναι παραπλήσιες με αυτές του καλοκαιριού. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στην έντονη σκίαση κατά τη θερινή περίοδο και τη μειωμένη θερμοκρασία αέρος κατά το φθινόπωρο.

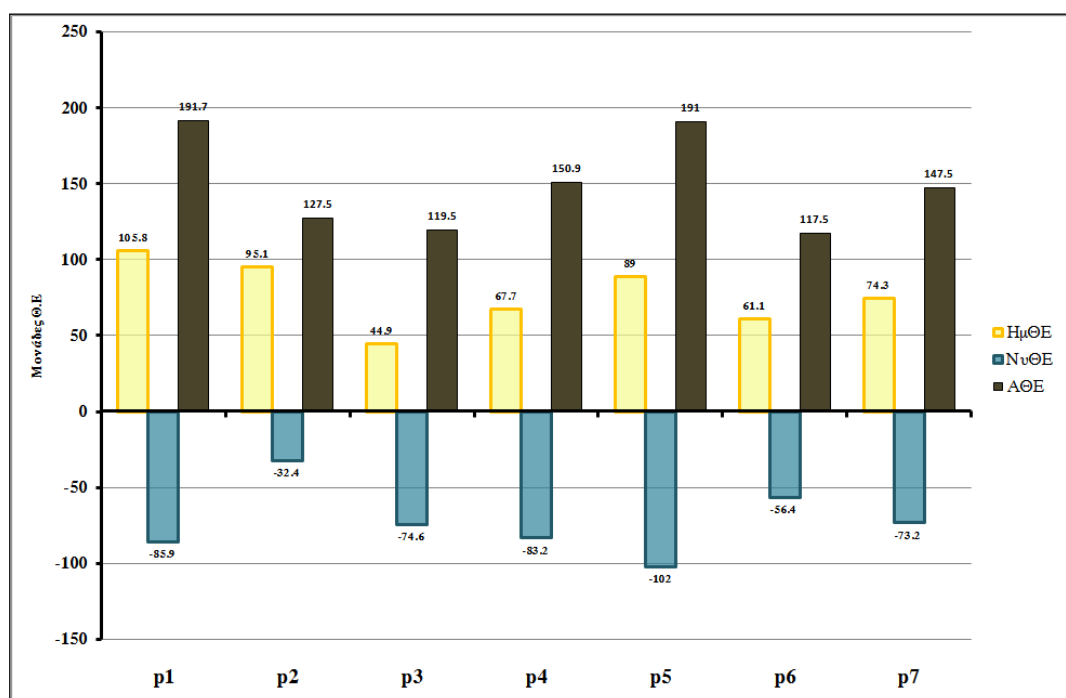
Κατά τη διάρκεια της ημέρας, σύμφωνα με την παράμετρο ΗμΘΕ οι συνθήκες θερμικής αίσθησης ήταν θερμότερες από τη βέλτιστη τιμή του PET (20.5 °C)



Εικόνα 39. Πορεία των τιμών του δείκτη PET σε 24ωρη βάση κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου (κλάση 1) στις διαφορετικές διαμορφώσεις

σε κάθε σημείο μελέτης. Πιο συγκεκριμένα, η υψηλότερη τιμή της παραμέτρου ΗμΘΕ (Εικ. 40) στις διαφορετικές διαμορφώσεις καταγράφηκε στο p1 (105.8 μονάδες ΗμΘΕ) το οποίο στερείται λόγω της γεωμετρικής διαμόρφωσης του χώρου κάθε δυνατότητα σκίασης. Το καλοκαίρι, στο ίδιο σημείο η ΗμΘΕ ήταν σχεδόν διπλάσια ως αποτέλεσμα των υψηλότερων τιμών της ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας αέρος. Η χαμηλότερη τιμή ΗμΘΕ που ορίζει και το καταλληλότερο σημείο για παραμονή του ανθρώπου την εποχή αυτή υπό συνθήκες κλάσης 1 καταγράφηκε στο φυτικό αίθριο (44.9).

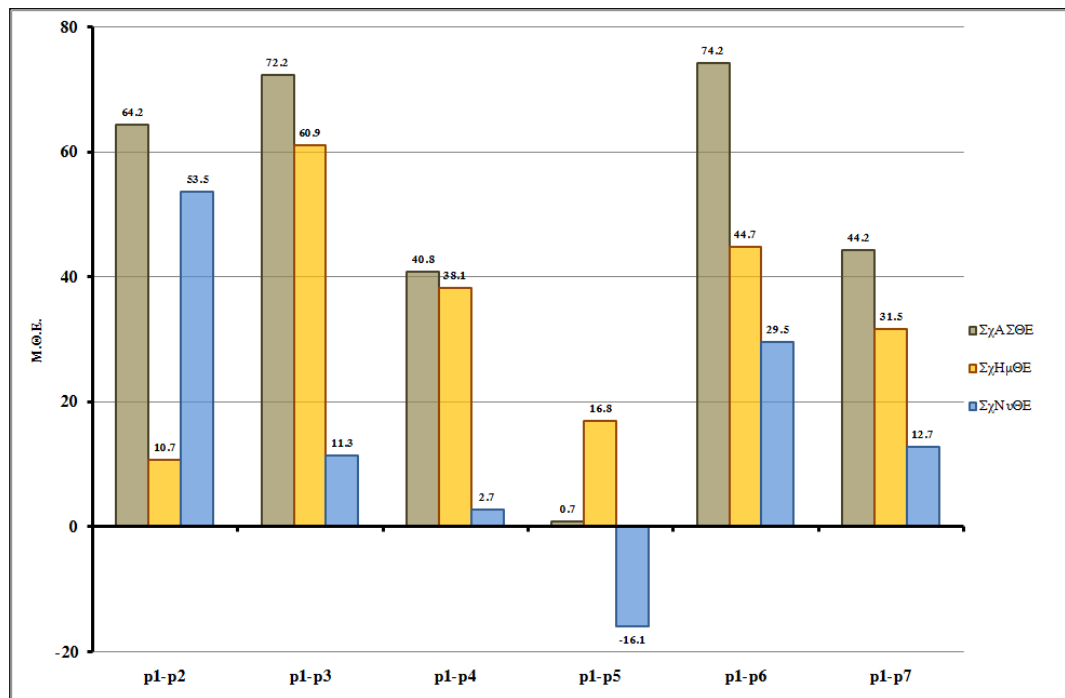
Κατά τη διάρκεια της νύχτας οι συνθήκες θερμικής άνεσης ήταν σε κάθε διαμόρφωση ψυχρότερες από τη βέλτιστη τιμή του PET για τον άνθρωπο με την χαμηλότερη τιμή ΝυΘΕ (Εικ. 40) να καταγράφεται στο δένδροκομείο (-102.0). Αξίζει να επισημανθεί ότι το σημείο αυτό είχε ανάλογη συμπεριφορά και κατά το καλοκαίρι. Οι λιγότερο επιβαρυντικές συνθήκες βάσει των τιμών της παραμέτρου ΝυΘΕ καταγράφηκαν στο κτηριακό αίθριο (-32.4).



Εικόνα 40. Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΑΘΕ), Ημερήσια Θερμική Επιβάρυνση (ΗμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΝυΘΕ) κατά το

Κατά το φθινόπωρο, σε όλες τις διαμορφώσεις περιβάλλοντος των σημείων μελέτης υπολογίστηκαν βελτιωμένες συνθήκες θερμικής αίσθησης σε 24ωρη βάση (Εικ. 41) όταν συγκρίνονται με το σημείο αναφοράς (p1). Πιο συγκεκριμένα η ΣχΑΘΕ κατέδειξε τη βελτιωτική επίδραση της βλάστησης στα σημεία p3 και p6, κατατάσσοντας τα στις πρώτες θέσεις μεταξύ των υπολοίπων παίρνοντας τιμές 74.2 και 72.2 αντίστοιχα. Στον αντίποδα, στο δενδροκομείο (p5), η ΣχΑΘΕ υπολογίστηκε σε 0.7, τιμή που δείχνει τη μειωμένη επίδραση της συγκεκριμένης διαμόρφωσης στη θερμική αίσθηση του ανθρώπου.

Οι τιμές που έλαβε η παράμετρος ΣχΗμΘΕ κατέταξαν το φυτικό αίθριο ως τη βέλτιστη διαμόρφωση για την παραμονή του ανθρώπου κατά τη διάρκεια της ημέρας, λαμβάνοντας την τιμή 60.9 και ως λιγότερο ευνοϊκή τη διαμόρφωση του κτηριακού αίθριου (p2) με τιμή 10.7. Σύμφωνα με τα ραβδογράμματα της Εικόνα 41 όλες οι διαμορφώσεις δρουν ευνοϊκά στη θερμική αίσθηση του ανθρώπου σε σχέση με το σημείο αναφοράς (p1), κάτι που ισχύει και για τις νυχτερινές ώρες (ΣχΝυΘΕ) σε όλες τις μελετώμενες διαμορφώσεις εκτός του δενδροκομείου (p5) που λαμβάνει την τιμή -16.1. Τέλος είναι αξιοσημείωτη η πολύ υψηλή τιμή της ΣχΝυΘΕ (53.5) στη θέση p2 που την ορίζει ως το σημείο με την πιο αποτελεσματική διαμόρφωση ως προς τη θερμική αίσθηση του ανθρώπου κατά τις νυχτερινές ώρες.



Εικόνα 41. Σχετική Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΣχΑΘΕ), Σχετική Ημερήσια (ΣχΗμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΣχΝυΘΕ) κατά το φθινόπωρο (κλάση 1).

3.4.5. Κλάση 2, Χειμώνας

Τα αποτελέσματα των ημερών που εντάσσονται στη μετεωρολογική κλάση 2 αφορούν σε συνθήκες αυξημένης διάρκειας ηλιοφάνειας όπως και στην περίπτωση της κλάσης 1 με τη διαφορά ότι η ταχύτητα του ανέμου είναι συγκριτικά υψηλότερη (Πίν. 8). Κατά τη διάρκεια του χειμώνα εντοπίστηκαν συνολικά 17 κατάλληλες ημέρες που πληρούσαν τα κριτήρια της κατηγορίας αυτής στις οποίες οι μέσες τιμές του PET ήταν αρκετά χαμηλότερες σε σχέση με αυτές της κλάσης 1 για την ίδια εποχή. Πιο συγκεκριμένα, οι μέσες τιμές του δείκτη κατέταξαν τη θερμική αίσθηση ως 'Πολύ Ψυχρό' σε όλες τις περιπτώσεις, εκτός αυτής του κτηριακού αίθριου που εντάσσεται στο 'Ψυχρό' (Πίν. 16) με τιμή 4.9 °C.

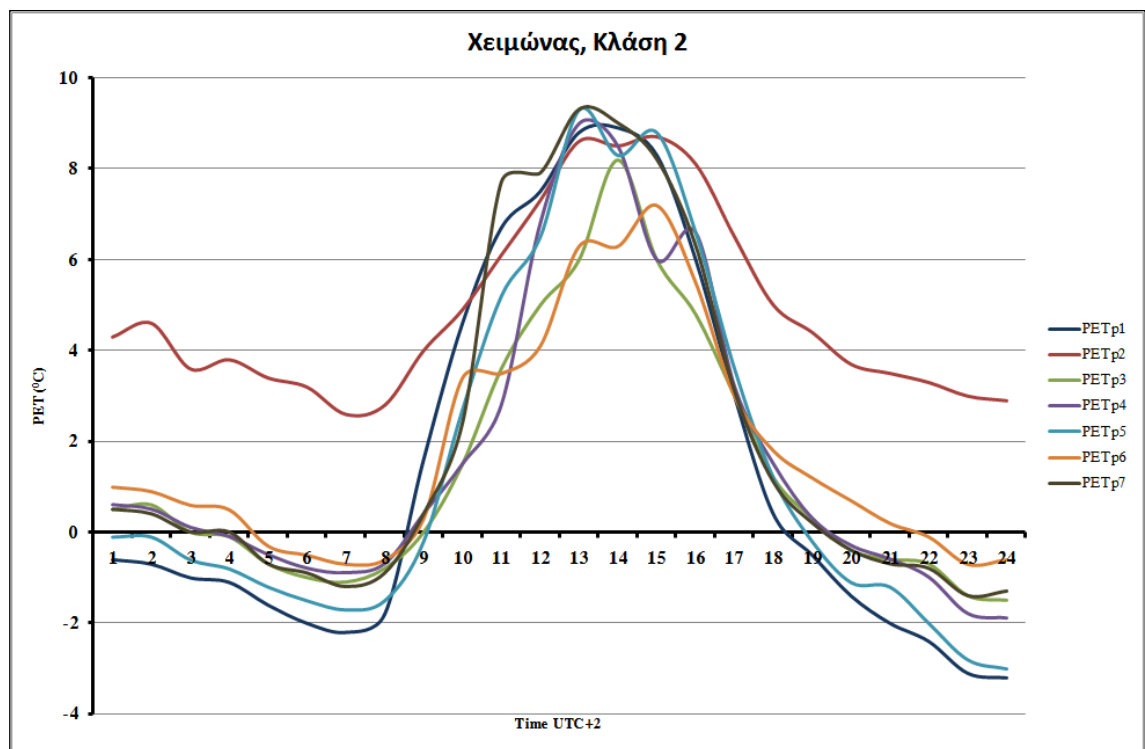
Πίνακας 16. Μέσες, μέγιστες, ελάχιστες και εύρος των τιμών του δείκτη PET (°C) για τον χειμώνα κατά την κλάση 2

	PETp1	PETp2	PETp3	PETp4	PETp5	PETp6	PETp7
Mean	1.3	4.9	1.4	1.6	1.4	1.8	2.0
Max	8.9	8.7	8.2	9.0	9.3	7.2	9.3
Min	-3.2	2.6	-1.5	-1.9	-3.0	-0.7	-1.4
Range	12.1	6.1	9.7	10.9	12.3	7.9	10.7

Η υψηλότερη μέση μέγιστη τιμή του δείκτη PET υπολογίστηκε στο δενδροκομείο (p5) και στο προκήπιο (p7) κατά τις μεσημεριανές ώρες (Εικόνα 42). Αντίθετα, η χαμηλότερη μέση μέγιστη τιμή καταγράφηκε στο αλσύλλιο τις πρώτες μεταμεσημβρινές ώρες του 24ώρου. Οι μέσες ελάχιστες τιμές του δείκτη ήταν σε όλα τα σημεία αρνητικές πλην αυτής στο κτηριακό αίθριο (p2) που ήταν η υψηλότερη (2.6 °C). Συγκρίνοντας τα δεδομένα της ίδιας εποχής στην κλάση 1, διαπιστώνεται ότι οι μέσες ελάχιστες δεν διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους σε αντίθεση με τις αντίστοιχες μέσες μέγιστες τιμές του PET των διαφορετικών διαμορφώσεων. Αυτό οφείλεται στο ότι οι αυξημένες τιμές της ταχύτητας ανέμου εντοπίζονται χρονικά κατά τη διάρκεια της ημέρας (στο διάστημα που σημειώνονται οι μέγιστες τιμές) και όχι κατά τη διάρκεια της νύχτας.

Στην Εικόνα 42 επίσης, διακρίνεται η σημαντικά διαφοροποιημένη συμπεριφορά της 24ωρης πορείας του PET στο κτηριακό αίθριο (p2) σε σχέση με όλες τις υπόλοιπες διαμορφώσεις περιβάλλοντος. Αυτή οφείλεται σε δυο χαρακτηριστικά της διαμόρφωσης στη θέση αυτή. Το πρώτο είναι τα υλικά που έχουν χρησιμοποιηθεί στο χώρο και οι θερμικές τους ιδιότητες. Δηλαδή, η δυνατότητα που έχουν να αποταμιεύουν την παρεχόμενη από τον ήλιο θερμότητα και να την αποδίδουν στο περιβάλλον με σχετικά αργούς ρυθμούς (Eliasson 1990; Geiger et al. 2003). Η βραδύτητα αυτή εντείνεται και από το δεύτερο χαρακτηριστικό που είναι το σχήμα του αίθριου που εκ των πραγμάτων δεν επιτρέπει την

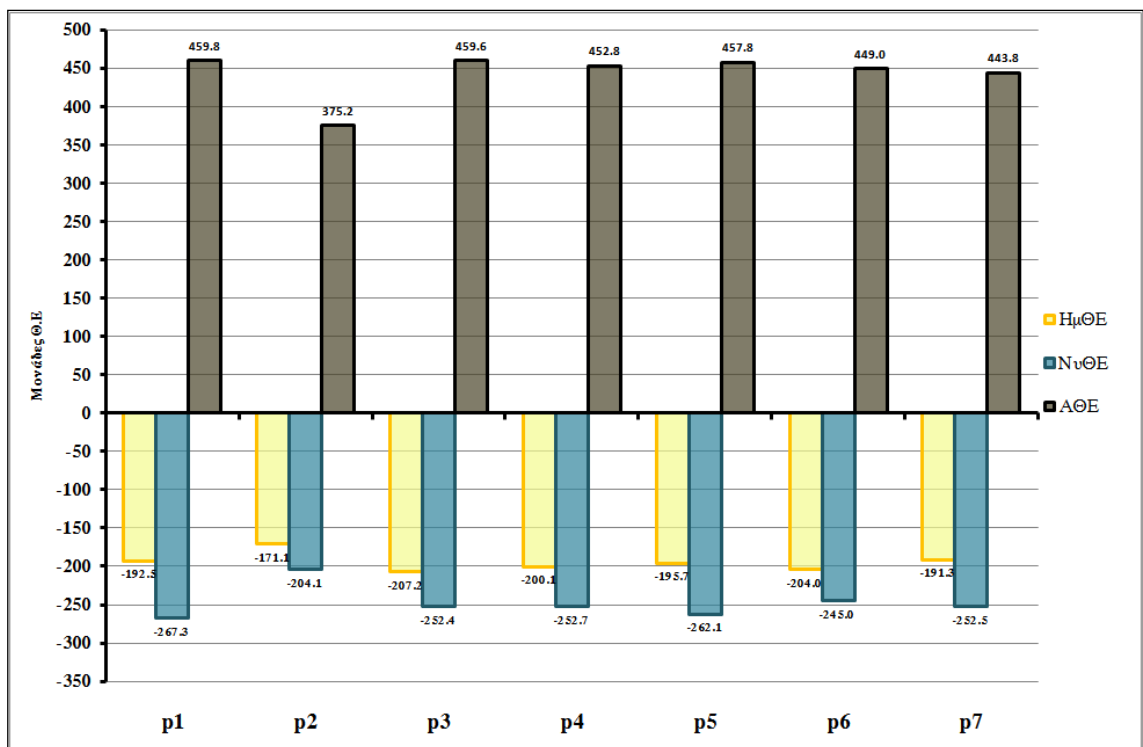
ευχερή νυχτερινή ψύξη δια ακτινοβολίας. Επίσης στις συνθήκες της κλάσης 2, όπου η ταχύτητα είναι σχετικά αυξημένη στο ελεύθερο περιβάλλον, εντός του κτηριακού αίθριου επικρατεί σχεδόν άπνοια. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μόνιμα υψηλότερη τιμή του δείκτη στη θέση αυτή, σε σχέση με τις ταυτόχρονες τιμές στις άλλες θέσεις που μελετήθηκαν. Τα μετεωρολογικά χαρακτηριστικά της κλάσης αυτής παίζουν καθοριστικό ρόλο και στη διαμόρφωση των τιμών της θερμικής επιβάρυνσης.



Εικόνα 42. Πορεία των τιμών του δείκτη PET σε 24ωρη βάση κατά τη διάρκεια του χειμώνα (κλάση 2) στις διαφορετικές διαμορφώσεις.

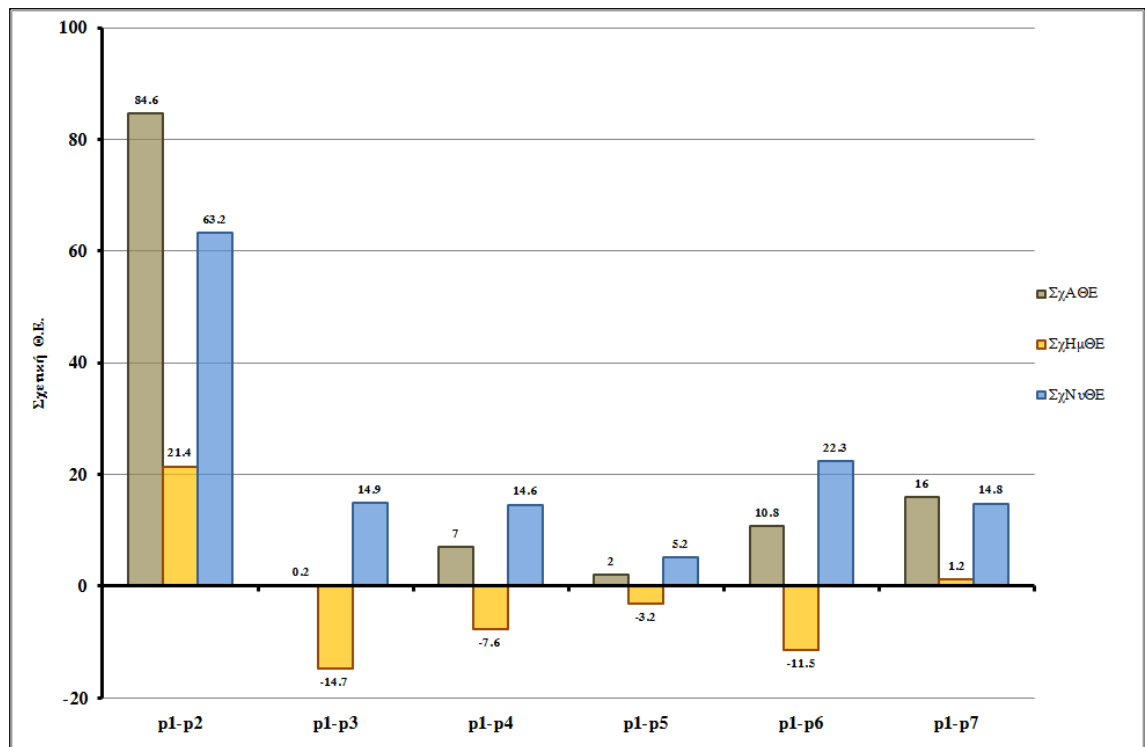
Η ΑΘΕ όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 43 εμφανίζει μια σχετικά ομοιογενή συμπεριφορά μεταξύ των σημείων που μελετήθηκαν. Οι τιμές που καταγράφηκαν, κυμάνθηκαν από 459.8 στον σημείο αναφοράς (p1) έως 375.2 στο κτηριακό αίθριο (p2). Άρα σε 24ωρη βάση, η βιοκλιματικά βέλτιστη διαμόρφωση για την παραμονή του ανθρώπου κάτω από αυτές τις συνθήκες είναι αυτή στο p2, του οποίου η διαμόρφωση

προστατεύει από τη μείωση της θερμικής άνεσης λόγω της αύξησης της ταχύτητας ανέμου. Όσον αφορά στις παραμέτρους ΗμΘΕ και ΝυΘΕ, λαμβάνουν αρνητικές τιμές ως αποτέλεσμα της επικράτησης χαμηλότερων τιμών ΡΕΤ από τη βέλτιστη τιμή (20.5 °C) τόσο κατά την ημέρα όσο και κατά τη νύχτα (Εικ. 43). Σύμφωνα με τις παραμέτρους αυτές, η καλύτερη διαμόρφωση περιβάλλοντος όσον αφορά στη θερμική επιβάρυνση του ανθρώπου είναι αυτή του κτηριακού αίθριου για όλο το 24ωρο. Αντίθετα, οι διαμορφώσεις με έντονη την παρουσία φυτικού υλικού όπως το αλσύλλιο (p6) και το φυτικό αίθριο (p3) κατέγραψαν τις χειρότερες επιδόσεις όσον αφορά στη θερμική επιβάρυνση του ανθρώπου. Με βάση τα αποτελέσματα αυτά, δεν μπορούμε να ισχυριστούμε ότι κάποια διαμόρφωση περιβάλλοντος από αυτές που μελετήθηκαν μπορεί να αμβλύνει την επίδραση των ψυχρών ατμοσφαιρικών συνθηκών στη θερμική άνεση του ανθρώπου.



Εικόνα 43. Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΑΘΕ), Ημερήσια Θερμική Επιβάρυνση (ΗμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΝυΘΕ) κατά το

Κατά τη συγκριτική αξιολόγηση της απόδοσης της κάθε επιλεγμένης διαμόρφωσης σε σχέση με το σημείο αναφοράς (p1), προέκυψαν σαφείς διαφορές μεταξύ του κτηριακού αίθριου και των υπολοίπων σημείων (Εικ. 44). Αναλυτικότερα, η ΣχΑΘΕ στο κτηριακό αίθριο έλαβε την τιμή 84.6 όταν η επόμενη θετική τιμή που καταγράφηκε στην περιοχή του προκηπίου (p7) ήταν μόλις 16.0 μονάδες. Οι τιμές αυτές καταδεικνύουν ότι η επίδραση της διαμόρφωσης του κτηριακού αίθριου είναι η εντονότερη και αποτελεσματικότερη μεταξύ των υπολοίπων διαμορφώσεων, σε 24ωρη βάση. Όσον αφορά στη ΣχΗμΘΕ, καλύτερη συμπεριφορά παρουσίασαν τα σημεία του κτηριακού αίθριου (p2) και του προκηπίου (p7) και η χειρότερη καταγράφηκε στο φυτικό αίθριο (p3). Παρατηρείται λοιπόν, ότι ενώ τα δυο αυτά σημεία (p2 και p3) είναι σε θέσεις σκιαζόμενες για μεγάλο χρονικό διάστημα εντός της ημέρας, συμπεριφέρονται πολύ διαφορετικά. Η διαφοροποίηση αυτή της θερμικής αίσθησης μεταξύ του κτηριακού και φυτικού αίθριου αποδίδεται στη ραγδαία ταπείνωση της ταχύτητας ανέμου ως και της θερμικής συμπεριφοράς των υλικών του κτηριακού αίθριου (Akbari 1992; Akbari and Taha 1992; Givoni 1998; Ahmed 2003; Dimoudi and Nikolopoulou 2003; Ali-Toudert et al. 2005; Huang et al. 2008).



Εικόνα 44. Σχετική Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΣχΑΘΕ), Σχετική Ημερήσια (ΣχΗμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΣχΝυΘΕ) κατά το χειμώνα (κλάση 2).

Κατά τη διάρκεια της νύχτας (Εικ. 44), όπως δείχνει η παράμετρος ΣχΝυΘΕ όλες οι διαμορφώσεις επιδρούν θετικά στη μείωση της θερμικής επιβάρυνσης σε σχέση με το σημείο αναφοράς (p1). Μεταξύ αυτών, θετικότερη συμπεριφορά καταγράφηκε στο κτηριακό αίθριο και ακολούθησε το αλσύλλιο των οποίων η διαμόρφωση εμποδίζει την νυχτερινή ψύξη μέσω ακτινοβολίας.

3.4.6. Κλάση 2, Άνοιξη

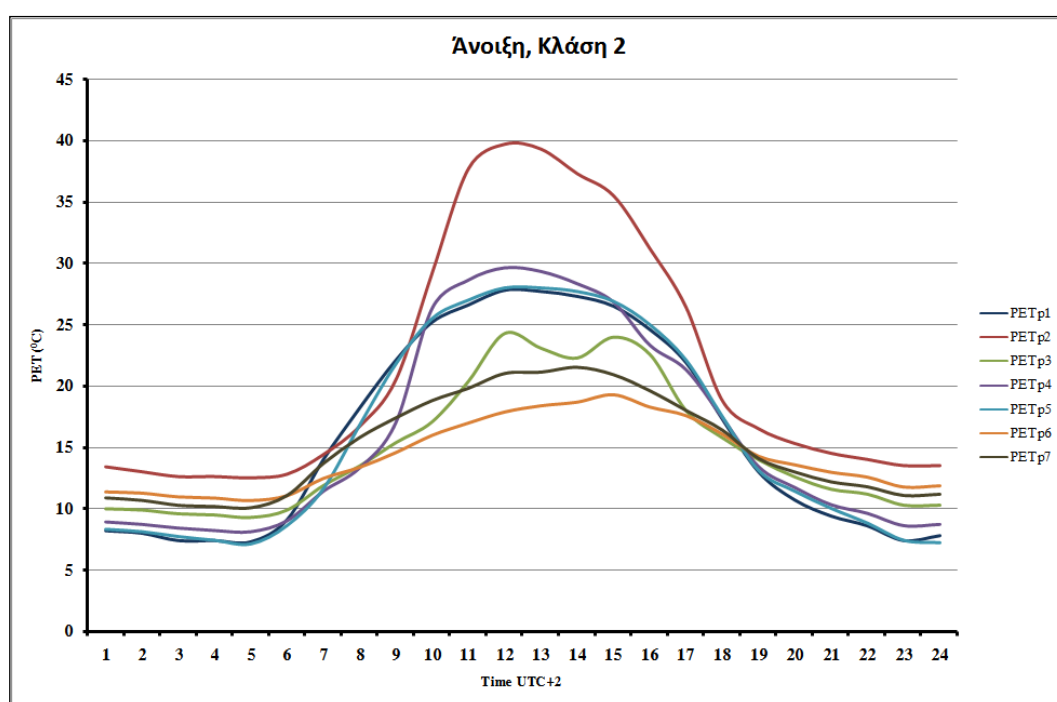
Βάσει του βιοκλιματικού δείκτη PET, κατά την άνοιξη υπό μετεωρολογικές συνθήκες κλάσης 2 (σύνολο ημερών 50), η θερμική αίσθηση του ανθρώπου όπως καταγράφεται από τις μέσες τιμές του κατατάσσεται από 'Ελαφρά Δροσερό' έως και 'Άνετο' (Πίν. 17). Οι συνθήκες θερμικής άνεσης είναι ελαφρά

βελτιωμένες σε σχέση με αυτές που επικράτησαν κατά την ίδια εποχή σε μετεωρολογική κλάση 1.

Πίνακας 17. Μέσες, μέγιστες, ελάχιστες και εύρος των τιμών του δείκτη PET (°C) για την άνοιξη κατά την κλάση 2.

	PETp1	PETp2	PETp3	PETp4	PETp5	PETp6	PETp7
Mean	16.0	21.3	14.9	16.1	16.0	14.3	15.0
Max	27.8	39.7	24.3	29.6	28.0	19.3	21.5
Min	7.3	12.5	9.3	8.1	7.1	10.7	10.1
Range	20.5	27.2	15.0	21.5	20.9	8.6	11.4

Η χαμηλότερη μέση τιμή του δείκτη PET καταγράφηκε στο αλσύλλιο (14.3 °C) και η αντίστοιχη υψηλότερη στο κτηριακό αίθριο (21.3 °C). Η υψηλότερη μέση μέγιστη τιμή υπολογίστηκε στο κτηριακό αίθριο (39.7 °C) κατά τις μεσημεριανές ώρες (Εικ. 45) και η αντίστοιχη χαμηλότερη στο αλσύλλιο (19.3 °C).

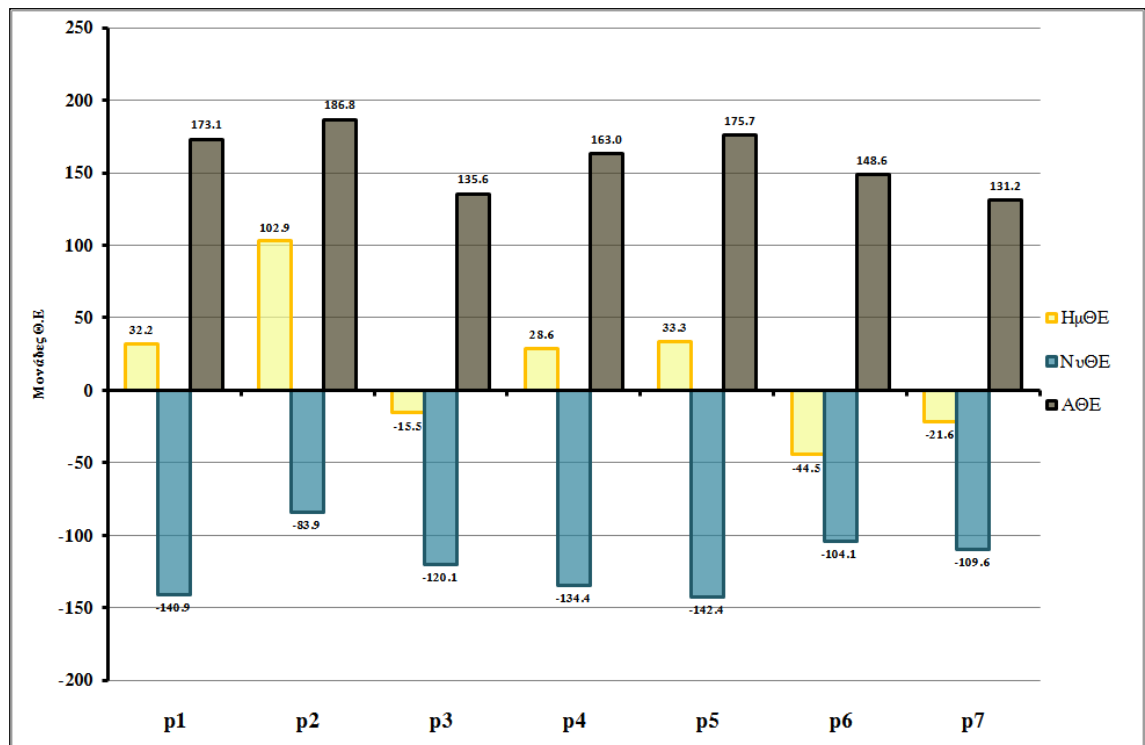


Εικόνα 45. Πορεία των τιμών του δείκτη PET σε 24ωρη βάση κατά τη διάρκεια της άνοιξης (κλάση 2) στις διαφορετικές διαμορφώσεις

Όσον αφορά στην 24ωρη πορεία του PET στις μελετώμενες διαμορφώσεις (Εικ. 45), έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον η μεγάλη

απόκλιση των τιμών του δείκτη στο κτηριακό αίθριο κατά τις μεσημεριανές ώρες σε σχέση με τις υπόλοιπες θέσεις. Αυτή η συμπεριφορά είναι αποτέλεσμα της μειωμένης ταχύτητας ανέμου στη θέση αυτή σε σχέση με τις υπόλοιπες θέσεις και στην απουσία σκίασης κατά τις ώρες αυτές στο κτηριακό αίθριο (p2). Η σύγκριση αυτή καταδεικνύει τη σημασία της ταχύτητας ανέμου στη διαμόρφωση των συνθηκών θερμικής άνεσης, ειδικά υπό συνθήκες παρατεταμένης ηλιοφάνειας (*Fanger 1972; Parsons 1993; Stathopoulos et al. 2004; Papadopoulou et al. 2009*).

Οι τιμές της AΘΕ (Εικ. 46) είναι μειωμένες σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές που καταγράφηκαν κατά την κλάση 1. Η υψηλότερη τιμή της AΘΕ υπολογίστηκε στο p2 (186.8) και η χαμηλότερη στο p3 (135.6). Από το εύρος των τιμών αυτών γίνεται εμφανές ότι σε επίπεδο 24ώρου δεν υπάρχουν σημαντικές διαφοροποιήσεις σε αντίθεση με το διάστημα της ημέρας όπου η ΗμΘΕ

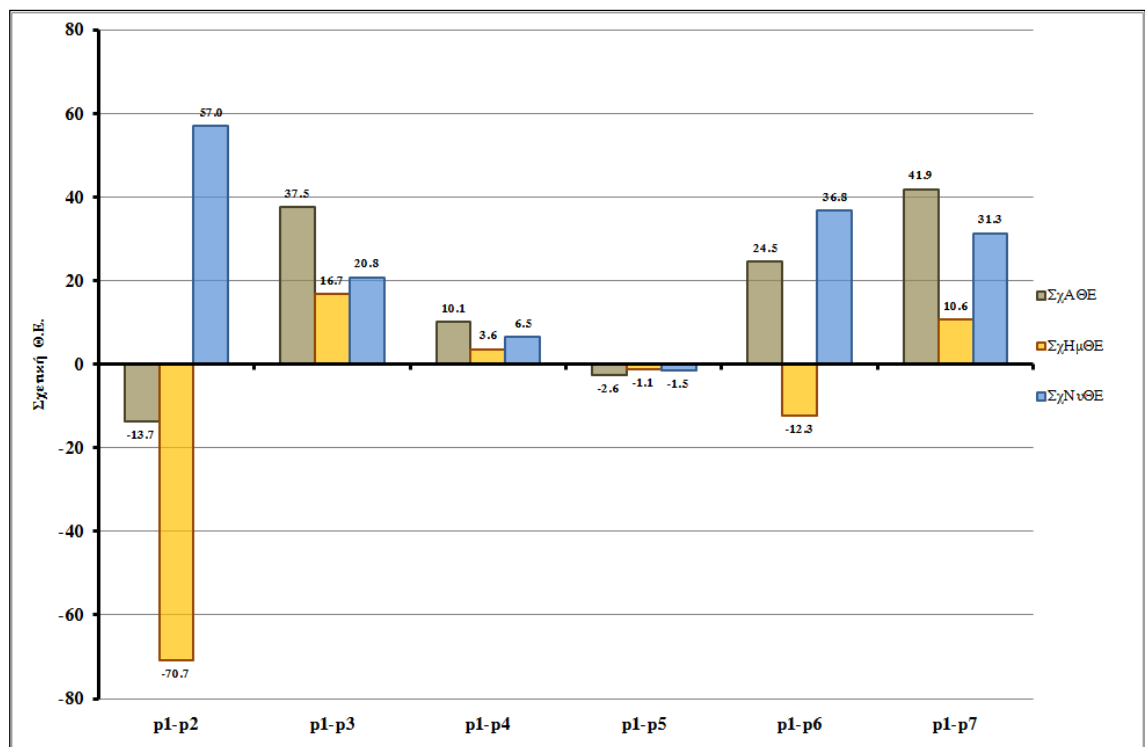


Εικόνα 46. Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΑΘΕ), Ημερήσια Θερμική Επιβάρυνση (ΗμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΝυΘΕ) κατά την άνοιξη (κλάση 2).

διαφοροποιείται σημαντικά μεταξύ των διαφορετικών θέσεων μελέτης. Πιο συγκεκριμένα, η υψηλότερη θετική τιμή καταγράφηκε στο κτηριακό αίθριο (102.9) και η αντίστοιχη χαμηλότερη στον ανθόκηπο (28.6 °C). Αρνητικές τιμές της παραμέτρου ΗμΘΕ καταγράφηκαν στο φυτικό αίθριο, το αλσύλλιο και στον χώρο του προκηπίου με τη χαμηλότερη τιμή να υπολογίζεται στο φυτικό αίθριο κατατάσσοντας το ως τη θέση με τη βέλτιστη διαμόρφωση ως προς τη θερμική αίσθηση του ανθρώπου κατά τη διάρκεια της ημέρας. Όσον αφορά στις νυχτερινές ώρες, η θερμική επιβάρυνση, όπως έχει ήδη αναφερθεί, οφείλεται πάντα σε ψυχρότερες συνθήκες από αυτές που διαμορφώνουν τη βέλτιστη τιμή του PET (20.5 °C) με αποτέλεσμα οι τιμές της ΝυΘΕ να είναι σε κάθε σημείο αρνητικές (Εικ. 46). Η υψηλότερη τιμή των μελετώμενων θέσεων καταγράφηκε στο κτηριακό αίθριο (p2) και η χαμηλότερη στο δενδροκομείο (p5).

Όσον αφορά στην παράμετρο ΣχΑΘΕ (Εικ. 47), σε όλα τα

μελετώμενα σημεία, η θερμική επιβάρυνση ήταν μειωμένη σε σχέση με το σημείο αναφοράς (p1), εκτός από αυτή που υπολογίστηκε στο κτηριακό αίθριο (p2) και στο δενδροκομείο (p5). Πιο συγκεκριμένα, η διαμόρφωση του p2 κατέγραψε τιμή ΣχΑΘΕ -13.7 καθιστώντας την ως την πλέον επιζήμια όσον αφορά στη διαμόρφωση των συνθηκών θερμικής αίσθησης. Η βέλτιστη συμπεριφορά, σύμφωνα με την ίδια παράμετρο καταγράφηκε στο προκήπιο (p7) με τιμή 41.9 μονάδες. Η συμπεριφορά αυτή οφείλεται στο συνδυασμό σκίασης και ευχερούς κυκλοφορίας του ατμοσφαιρικού αέρα στη θέση αυτή (Parsons 1993; Gulyas et al. 2006).



Εικόνα 47. Σχετική Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΣχΑΘΕ), Σχετική Ημερήσια (ΣχΗμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΣχΝυΘΕ) κατά την άνοιξη (κλάση 2).

Κατά τη διάρκεια της ημέρας (Είκ. 47) η τιμή της ΣχΗμΘΕ καταδεικνύει τη διαμόρφωση του κτηριακού αίθριου (p2) ως την πλέον επιβαρυντική όταν η βέλτιστη σύμφωνα με την ίδια

παράμετρο είναι το φυτικό αίθριο (p3). Επίσης θα πρέπει να σημειωθεί ότι και στο αλσύλλιο (p6) η τιμή της ΣχΗμΘΕ είναι αρνητική λόγω της σκίασης που ευνοεί την επικράτηση γενικά ψυχρότερων συνθηκών κατά τη διάρκεια της ημέρας σε σχέση με αυτές του σημείου αναφοράς.

Σύμφωνα όμως με την παράμετρο ΣχΝυΘΕ, όλες οι θέσεις πλην αυτής του δενδροκομείου (p5) διαμορφώνουν καλύτερες συνθήκες θερμικής αίσθησης από το σημείο αναφοράς το οποίο έλαβε και τη μόνη αρνητική τιμή (-1.5). Κατά τις νυχτερινές ώρες στο κτηριακό αίθριο καταγράφηκαν οι πιο ευνοϊκές συνθήκες και η τιμή της ΣχΝυΘΕ υπολογίστηκε σε 57 μονάδες και ακολούθησε το αλσύλλιο με 36.8. Οι δύο αυτές θέσεις όπως και σε άλλες περιπτώσεις έτσι και στην περίπτωση αυτή έχουν διαμορφώσει ευνοϊκότερες (θερμότερες) συνθήκες κατά τη διάρκεια της νύχτας.

3.4.7. Κλάση 2, Καλοκαίρι

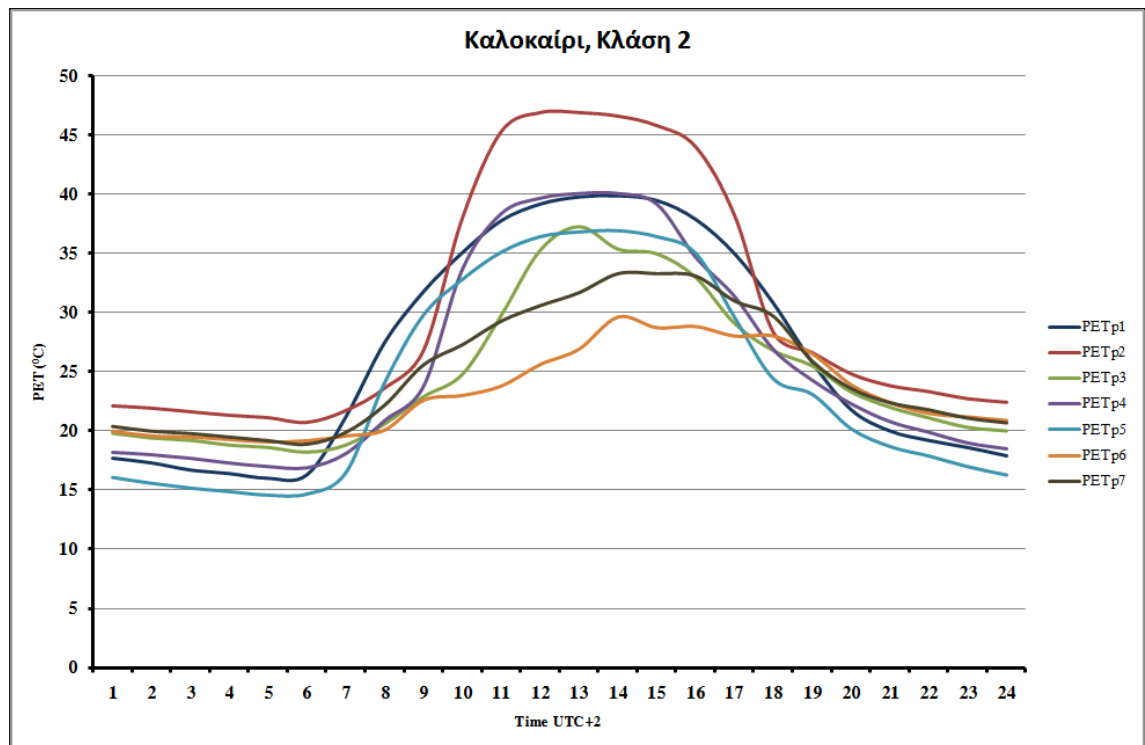
Κατά τη διάρκεια των 10 ημερών που πληρούσαν τα κριτήρια της κλάσης 2 για την θερινή περίοδο οι μέσες τιμές του PET εντάσσονται στην κατηγορία 'θερμό' σύμφωνα με τον Πίνακα 6. Η υψηλότερη μέση τιμή του δείκτη PET καταγράφηκε όπως και στην περίπτωση της κλάσης 1 στο κτηριακό αίθριο (30.2 °C) ενώ η χαμηλότερη μέση τιμή του δείκτη καταγράφηκε στο φυτικό αίθριο (23.2 °C). Βάσει των μέσων μέγιστων τιμών του PET (Πίν. 18) διαφαίνεται η σημασία της βλάστησης, ειδικά αυτής που προσφέρει ικανοποιητική σκίαση. Οι διαμορφώσεις φυτικό αίθριο (p3), προκήπιο (p7) και αλσύλλιο (p6) μείωσαν τις τιμές του PET κυρίως λόγω της σκίασης ενώ του δενδροκομείου (p5) λόγω της αυξημένης δυνατότητας ανανέωσης του ατμοσφαιρικού αέρα κατά τις κρίσιμες

μεσημβρινές ώρες (Taesler 1991; Swaid et al. 1993; Tuller 1997; Mertens 1999; Matzarakis and Mayer 2000; Yokohari et al. 2001; Shashua-Bar and Hoffman 2003; Picot 2004; Rizzo et al. 2004; Thorsson et al. 2004; Toy et al. 2007; Mayer et al. 2008). Η μέση ελάχιστη τιμή του PET καταγράφηκε στα σημεία όπου η νυχτερινή ψύξη δια ακτινοβολίας είναι ευχερής και έλαβε την τιμή 14.6 °C στη θέση p5 εκεί όπου η διαμόρφωση δημιουργεί περιορισμένη σκίαση κατά τη διάρκεια της ημέρας αλλά η υψηλή τιμή του SVF (0.749) επιτρέπει την ψύξη της θέσης αυτής κατά τη διάρκεια της νύχτας.

Πίνακας 18. Μέσες, μέγιστες, ελάχιστες και εύρος των τιμών του δείκτη PET (°C) για καλοκαίρι κατά την κλάση 2.

	PETp1	PETp2	PETp3	PETp4	PETp5	PETp6	PETp7
Mean	26.6	30.2	24.8	25.7	24.1	23.2	25.0
Max	39.9	46.9	37.3	40.1	36.9	29.6	33.3
Min	16.0	20.7	18.2	16.9	14.6	19.1	18.9
Range	23.9	26.2	19.1	23.2	22.3	10.5	14.4

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το μέσο εύρος που καταγράφηκε στο αλσύλλιο (p6) το οποίο είναι μόλις 10.5 °C. Η πορεία του PET (Εικ. 48) στο p6 έχει εξαιρετικά χαμηλή κύμανση σε 24ωρη βάση λαμβάνοντας αρκετά υψηλές τιμές κατά τη διάρκεια της νύχτας και τις χαμηλότερες κατά το μεγαλύτερο διάστημα της ημέρας.

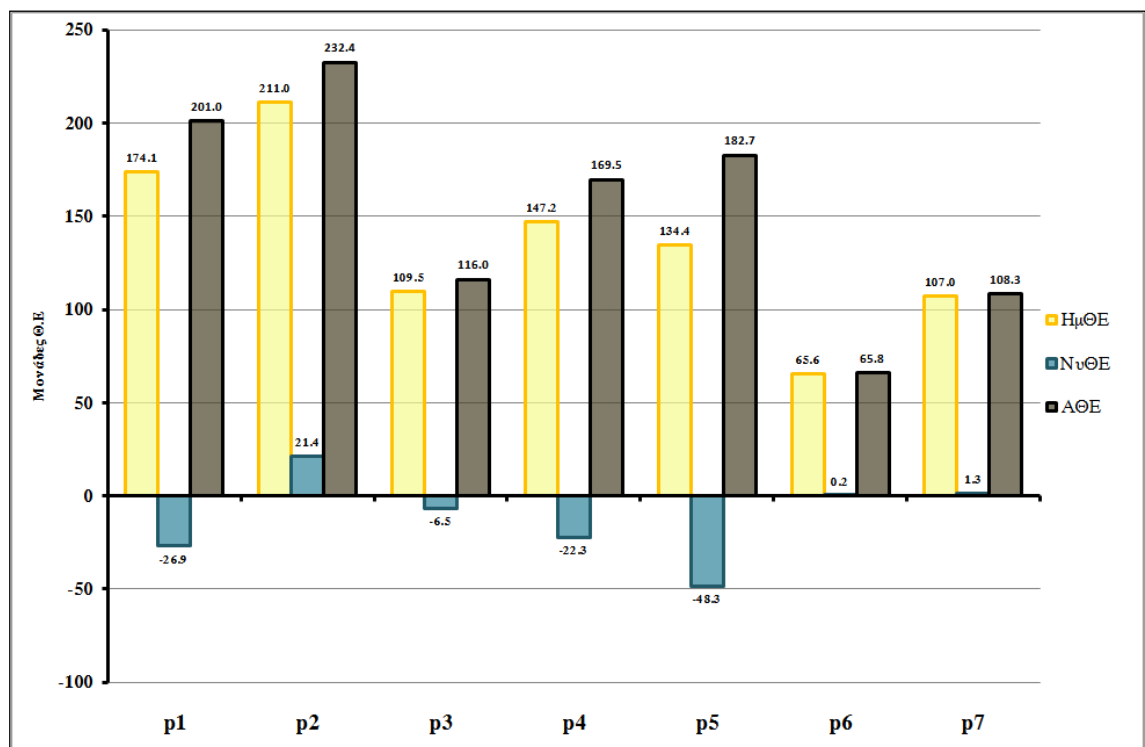


Εικόνα 48. Πορεία των τιμών του δείκτη PET σε 24ωρη βάση κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού (κλάση 2) στις διαφορετικές διαμορφώσεις.

Οι θέσεις με την καλύτερη βιοκλιματική συμπεριφορά κατά τις μεσημβρινές ώρες είναι αυτές που περιβάλλονται από δενδρώδη βλάστηση (p3, p6, p7) ενώ το κτηριακό αίθριο (p2) λόγω της μειωμένης κίνησης των αερίων μαζών στο εσωτερικό του, της ανεπαρκούς σκίασης κατά τις ώρες αυτές και της επικράτησης των δομικών υλικών διαμορφώνει τις υψηλότερες τιμές του δείκτη κατά το χρονικό αυτό διάστημα.

Σύμφωνα με την παράμετρο AΘΕ, η διαμόρφωση στο p2 είναι αυτή που επιφέρει τη μεγαλύτερη θερμική επιβάρυνση σε 24ωρη βάση (Εικ. 49) λαμβάνοντας τιμή 232.4 μονάδων. Αντίθετα, η μικρότερη θερμική επιβάρυνση υπολογίστηκε στο αλσύλλιο (65.8). Αξίζει να σημειωθεί ότι η AΘΕ στο σημείο αυτό είναι 65.8 μονάδες, δηλαδή είναι μικρότερη από το 75% της αντίστοιχης τιμής στο p2. Η θερμική επιβάρυνση του ανθρώπου κατά τη διάρκεια της ημέρας σε όλες τις περιπτώσεις παρουσιάζει θετικές τιμές δεδομένου ότι διαμορφώνονται θερμότερες συνθήκες από τη βέλτιστη τιμή του PET (20.5 °C). Έτσι η υψηλότερη τιμή της ΗμΘΕ καταγράφηκε στο p2 (211.0)

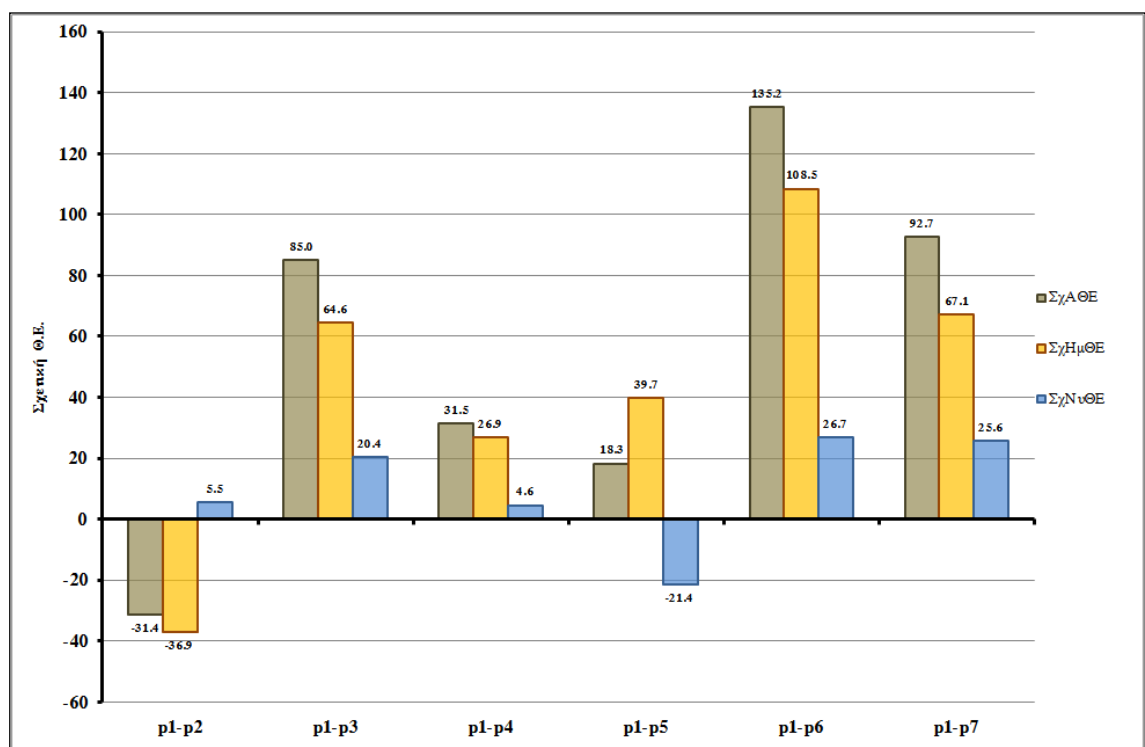
και η αντίστοιχα χαμηλότερη στο p6 (65.6). Κατά τη διάρκεια της νύχτας στα σημεία p1, p3, p4 και p5 η θερμική επιβάρυνση (ΝυΘΕ) οφείλεται σε ψυχρότερες συνθήκες από τη βέλτιστη τιμή του PET ενώ στις υπόλοιπες διαμορφώσεις οφείλεται σε υψηλότερες τιμές της βέλτιστης τιμής. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι τιμές και των τριών αυτών παραμέτρων δεν απέχουν σημαντικά από τις αντίστοιχες που καταγράφηκαν κατά την καλοκαιρινή περίοδο με μετεωρολογικές συνθήκες κλάσης 1 (Εικ. 37). Κατά τη συγκριτική αξιολόγηση της θερμικής άνεσης κάνοντας χρήση των παραμέτρων ΣχΑΘΕ, ΣχΗμΘΕ και ΣχΝυΘΕ, προέκυψε σημαντικά διαφοροποιημένη συμπεριφορά σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές που καταγράφηκαν κατά τη μετεωρολογική κλάση 1.



Εικόνα 49. Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΑΘΕ), Ημερήσια Θερμική Επιβάρυνση (ΗμΘΕ) και Νυκτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΝυΘΕ) κατά το καλοκαίρι (κλάση 2).

Αναλυτικότερα, η ΣχΑΘΕ λαμβάνοντας τιμή 135.2

κατατάσσει το αλεύλλιο (p6) ως την αποτελεσματικότερη διαμόρφωση περιβάλλοντος ως προς τη θερμική άνεση του ανθρώπου ενώ αντίθετα το κτηριακό αίθριο λαμβάνοντας την τιμή -31.4 χαρακτηρίζεται ως η θέση που επιδεινώνει εντονότερα τη θερμική άνεση. Λαμβάνοντας υπ' όψη ότι η ΣχΑΘΕ είναι μια συγκριτική παράμετρος, γίνεται αντιληπτό ότι τα οφέλη των διαμορφώσεων που έχουν πυκνή φυτοκάλυψη υποβαθμίζονται καθώς αυτό το χαρακτηριστικό τους μειώνει την ταχύτητα ανέμου, αυξάνοντας έτσι τη θερμική επιβάρυνση όταν επικρατούν γενικώς θερμές συνθήκες. Επίσης, όπως φαίνεται και στην περίπτωση της ΣχΝυΘΕ στο αλεύλλιο (p6), λόγω της παρεμπόδισης της νυχτερινής ψύξης δια ακτινοβολίας σε συνδυασμό με τη μείωση της ταχύτητας του ανέμου, η θέση αυτή διαμορφώνει τις δυσμενέστερες συνθήκες από πλευράς θερμικής άνεσης.



Εικόνα 50. Σχετική Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΣχΑΘΕ), Σχετική Ημερήσια (ΣχΗμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΣχΝυΘΕ) κατά το καλοκαίρι (κλάση 2).

Η γενική εικόνα που παρουσιάζεται μέσω των τιμών της

ΣχΝυΘΕ δείχνει ότι επιτυγχάνονται βελτιωμένες συνθήκες νυχτερινής θερμικής αίσθησης σε ανοιχτούς χώρους κατά την περίοδο του καλοκαιριού όταν επικρατούν συνθήκες αυξημένης ταχύτητας ανέμου.

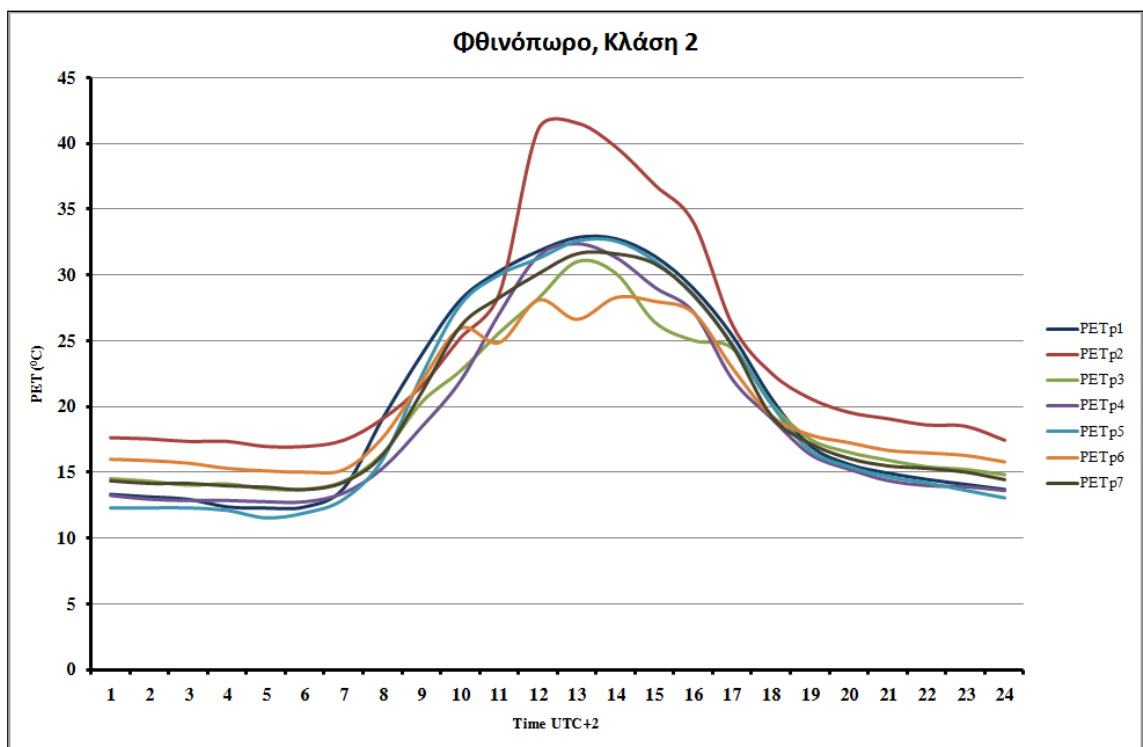
3.4.8. Κλάση 2, Φθινόπωρο

Η μέση τιμή του PET στις διαμορφώσεις χώρου που μελετήθηκαν κατά τη διάρκεια των 34 φθινοπωρινών ημερών που πληρούσαν τα κριτήρια της κλάσης 2 κυμάνθηκε από 'Άνετο' έως και 'Ελαφρά Θερμό' (Πίν. 19). Συγκρινόμενες οι τιμές του δείκτη με τις αντίστοιχες τιμές της κλάσης 1 είναι ελαφρά χαμηλότερες όπως αναμενόταν, κυρίως λόγω της ευνοϊκής επίδρασης της αύξησης της ταχύτητας του ανέμου στη διαμόρφωση των συνθηκών θερμικής άνεσης του ανθρώπου (Aynsley and Spruill 1990; Stathopoulos et al. 2004; Metje et al. 2008). Η υψηλότερη μέση μέγιστη τιμή του δείκτη, 41.6 °C καταγράφηκε στο κτηριακό αίθριο (p2) και η αντίστοιχη χαμηλότερη, 28.3 °C στο αλσύλλιο (p6). Επίσης, η υψηλότερη μέση ελάχιστη τιμή του PET καταγράφηκε στο p2 και η χαμηλότερη στο δενδροκομείο (p5). Η επίδραση της αυξημένης ταχύτητας του ανέμου γίνεται εμφανής και στις τιμές του μέσου εύρους, οι οποίες είναι μειωμένες σε σχέση με τις αντίστοιχες που υπολογίστηκαν στην κλάση 1.

Πίνακας 19. Μέσες, μέγιστες, ελάχιστες και εύρος των τιμών του δείκτη PET (°C) για το φθινόπωρο κατά την κλάση 2.

	PETp1	PETp2	PETp3	PETp4	PETp5	PETp6	PETp7
Mean	20.2	23.8	19.3	18.9	19.6	20	20
Max	32.9	41.6	31	32.4	32.6	28.3	31.6
Min	12.3	17	13.7	12.7	11.5	15	13.7
Range	20.6	24.6	17.3	19.7	21.1	13.3	17.9

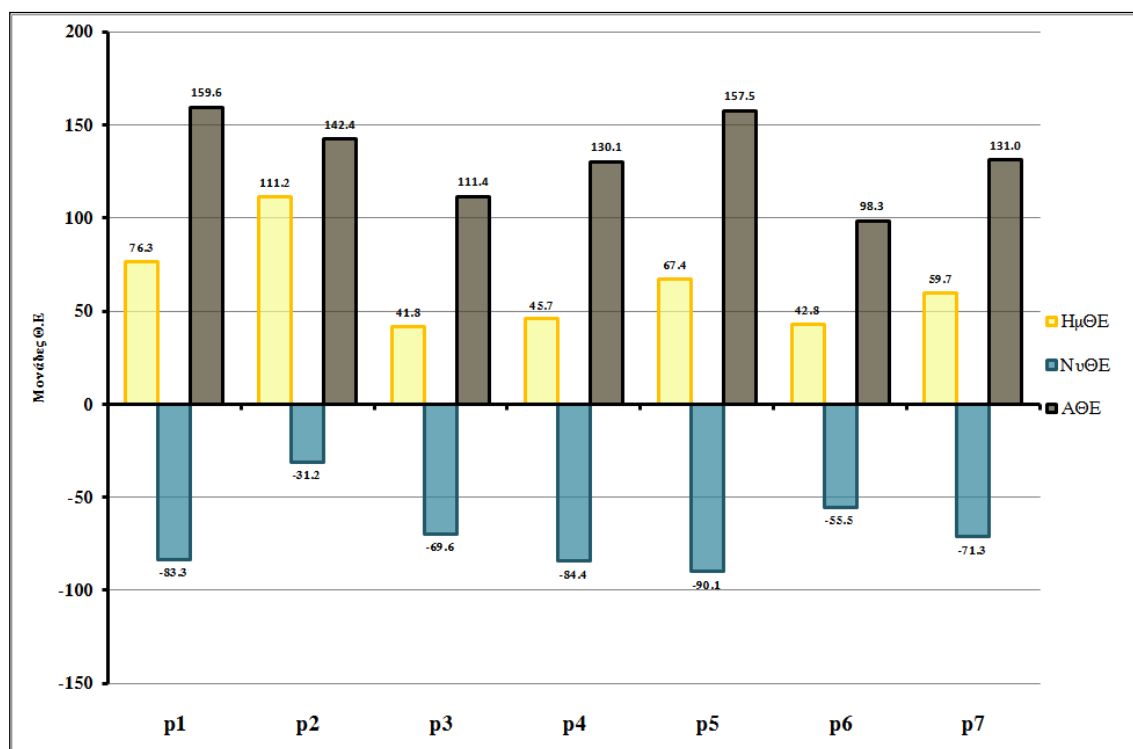
Η διαφοροποίηση της πορείας του PET (Εικ. 51) στο κτηριακό αίθριο γίνεται εμφανής σε σχέση με τις υπόλοιπες διαμορφώσεις που μελετήθηκαν. Αυτή οφείλεται κυρίως στη γεωμετρική διαμόρφωση αυτού του χώρου η οποία μειώνει δραστικά την ταχύτητα του ανέμου με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας και της υγρασίας αέρος που συμβάλουν στην ανύψωση των τιμών του δείκτη και στην επιδείνωση των συνθηκών θερμικής άνεσης του ανθρώπου.



Εικόνα 51. Πορεία των τιμών του δείκτη PET σε 24ωρη βάση κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου (κλάση 2) στις διαφορετικές διαμορφώσεις

Όσον αφορά στη θερμική επιβάρυνση (Εικ. 52), αυτή είναι αποτέλεσμα επικράτησης υψηλότερων τιμών από εκείνες της βέλτιστης τιμής του δείκτη PET (20.5 °C) κατά τη διάρκεια της ημέρας και χαμηλότερων από αυτή την τιμή κατά τη διάρκεια της νύχτας. Αν δε, συγκριθούν οι τιμές που έλαβαν οι παράμετροι ΑΘΕ, ΗμΘΕ και ΝυΘΕ στην περίπτωση αυτή με την αντίστοιχη της κλάσης 1, παρατηρείται μικρή βελτίωση των συνθηκών θερμικής άνεσης και συνεπώς μείωση της θερμικής

επιβάρυνσης.

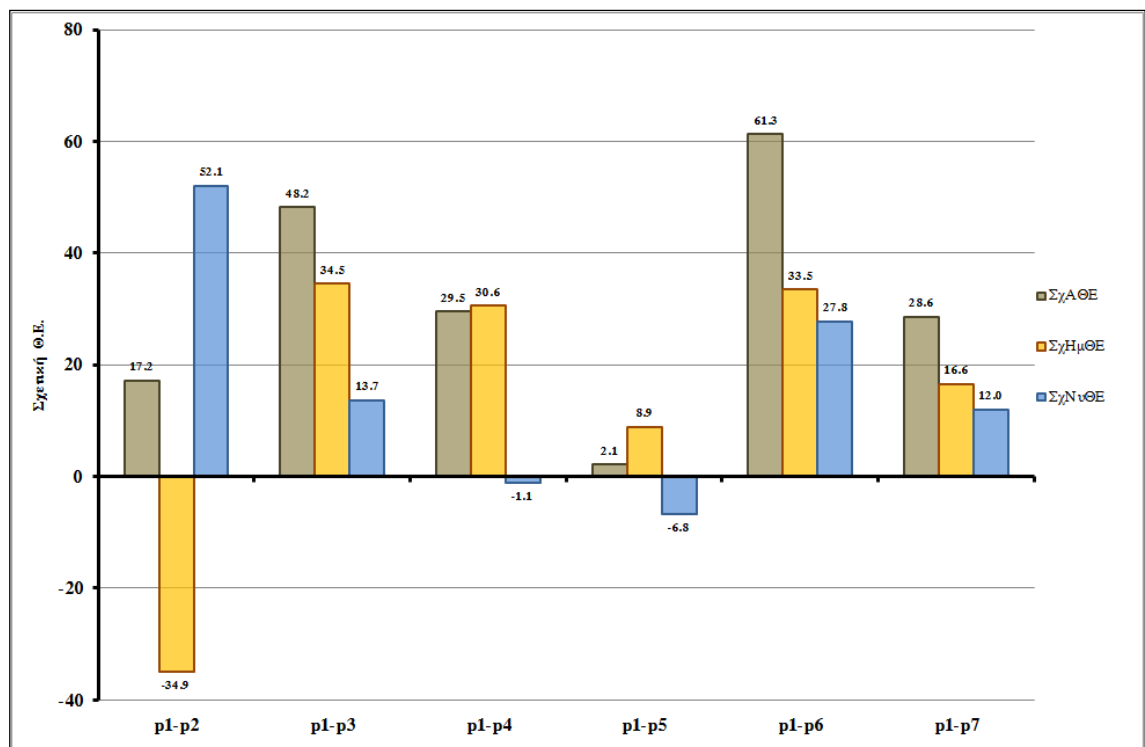


Εικόνα 52. Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΑΘΕ), Ημερήσια Θερμική Επιβάρυνση (ΗμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΝυΘΕ) κατά το φθινόπωρο (κλάση 2).

Σε 24ωρη βάση, η χαμηλότερη τιμή θερμικής επιβάρυνσης (ΑΘΕ) υπολογίστηκε στο αλεύλλιο (98.3) και ακολούθως στο φυτικό αίθριο (111.4), θέσεις που αφενός έχουν πολύ χαμηλό SVF και αφετέρου κυρίαρχο στοιχείο της διαμόρφωσής τους είναι η βλάστηση. Στον αντίποδα οι υψηλότερες τιμές ΑΘΕ καταγράφηκαν στα σημεία που είναι για μεγάλα χρονικά διαστήματα εκτεθειμένα στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία. Έτσι στη θέση του σημείου αναφοράς (p1) η ΑΘΕ έλαβε τιμή 159.6 και στο δένδροκομείο (p5) έλαβε αντίστοιχα 157.5 μονάδες.

Κατά τη διάρκεια της ημέρας η θερμική επιβάρυνση, όπως ποσοτικοποιείται από την παράμετρο ΗμΘΕ, λαμβάνει την υψηλότερη τιμή της στο κτηριακό αίθριο (p2) και τη

χαμηλότερη στο φυτικό αίθριο (p3). Αξίζει να σημειωθεί ότι η ΗμΘΕ είναι σχεδόν τριπλάσια στο κτηριακό αίθριο σε σχέση με την αντίστοιχη τιμή που καταγράφηκε στο φυτικό αίθριο. Κατά τις νυχτερινές ώρες, οι διαμορφώσεις με τις χαμηλότερες τιμές του SVF κατέγραψαν και τις χαμηλότερες τιμές ΝυΘΕ. Πιο συγκεκριμένα, στο κτηριακό αίθριο (p2) καταγράφηκε η καλύτερη τιμή ΝυΘΕ (-83.3) και ακολούθησε η τιμή του αλσυλλίου (-55.5). Αντίθετα, οι δυσμενέστερες συνθήκες θερμικής αίσθησης επικράτησαν κυρίως στις θέσεις με υψηλές τιμές SVF όπως στο δενδροκομείο (p5) και στο σημείο αναφοράς (p1).



Εικόνα 53. Σχετική Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΣχΑΘΕ), Σχετική Ημερήσια (ΣχΗμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΣχΝυΘΕ) κατά το φθινόπωρο (κλάση 2).

Όσον αφορά στη βιοκλιματική απόδοση των μελετώμενων διαμορφώσεων (Εικ. 53), αυτή του αλσυλλίου (p6) προκρίνεται ως η καλύτερη για την περίπτωση αυτών των συνθηκών

(φθινόπωρο, κλάση 2) σε επίπεδο 24ώρου. Στη θέση αυτή, η τιμή της ΣχΑΘΕ υπολογίστηκε σε 61.3 μονάδες όταν η χαμηλότερη αλλά θετική τιμή της παραμέτρου αυτής υπολογίστηκε στο δενδροκομείο (p5) σε 8.9 μονάδες. Κατά τη διάρκεια της ημέρας όλες οι διαμορφώσεις επέδρασαν βελτιωτικά λαμβάνοντας θετικές τιμές με μόνη εξαίρεση το p2 (κτηριακό αίθριο) με -34.9. Συνεπώς η διαμόρφωση του κτηριακού αίθριου είναι η μόνη που κατά τη διάρκεια της ημέρας επιδεινώνει τη θερμική άνεση σε σχέση με το σημείο αναφοράς (p1). Αντίθετα, κατά τη διάρκεια την νύχτας, στη διαμόρφωση αυτή επικρατούν υψηλότερες θερμοκρασίες και χαμηλότερη ταχύτητα ανέμου από το p1 με αποτέλεσμα να καταγράφεται η υψηλότερη τιμή ΣχΝυΘΕ (52.1). Αντίθετα ελαφρά αρνητικές τιμές της παραμέτρου καταγράφηκαν στο δενδροκομείο (p5) με τιμή -6.8 μονάδες χαρακτηρίζοντας τη θέση αυτή ως την χειρότερη όσον αφορά τη σχετική θερμική επιβάρυνση (ΣχΝυΘΕ).

3.4.9. Κλάση 3, Χειμώνας

Συνολικά στην κλάση 3 κατά το χειμώνα εντάχθηκαν 48 ημέρες. Στην κλάση αυτή ανήκουν οι ημέρες κατά τις οποίες επικράτησε αυξημένη νεφοκάλυψη και χαμηλή ταχύτητα ανέμου (Πίν. 8) εξαιρουμένων των ημερών που σημειώθηκε βροχόπτωση. Οι μέσες τιμές του δείκτη PET (Πίν. 20) εκφράζουν συνθήκες θερμικής αίσθησης που χαρακτηρίζονται σύμφωνα με τον Πίνακα 6 ως 'Δροσερό' έως και 'Ελαφρά Δροσερό'. Οι τιμές αυτές είναι υψηλότερες τόσο από αυτές που επικράτησαν κατά την ίδια εποχή σε μετεωρολογική κλάση 1 όσο και από αυτές της κλάσης 2. Δηλαδή υπό συνθήκες αυξημένης ηλιοφάνειας τόσο με χαμηλή ταχύτητα ανέμου όσο και με υψηλότερη, οι τιμές του

PET είναι πιο χαμηλές από αυτές που καταγράφονται υπό συνθήκες νεφοκάλυψης. Οι μέσες μέγιστες τιμές στην περίπτωση αυτή είναι πολύ υψηλότερες από τις αντίστοιχες της κλάσης 2 αλλά ελαφρά υψηλότερες από τις αντίστοιχες της κλάσης 1. Λαμβάνοντας υπόψη ότι οι τιμές αυτές καταγράφονται κατά τη διάρκεια της ημέρας γίνεται αντιληπτή η σημασία που έχει η ταχύτητα του ανέμου στη διαμόρφωση των συνθηκών θερμικής αίσθησης κάτω από γενικά ψυχρές συνθήκες (Landsberg 1970; Fanger 1972; Hunt et al. 1976; Parsons 1993; Soligo et al. 1998; Mäkinen et al. 2006). Τέλος όσον αφορά στις μέσες ελάχιστες τιμές, ενώ κατά το χειμώνα της κλάσης 1 και της κλάσης 2 αυτές είναι παραπλήσιες, οι τιμές στην κλάση 3 είναι σημαντικά αυξημένες ως αποτέλεσμα της νέφωσης που εμποδίζει την νυχτερινή ψύξη δια ακτινοβολίας.

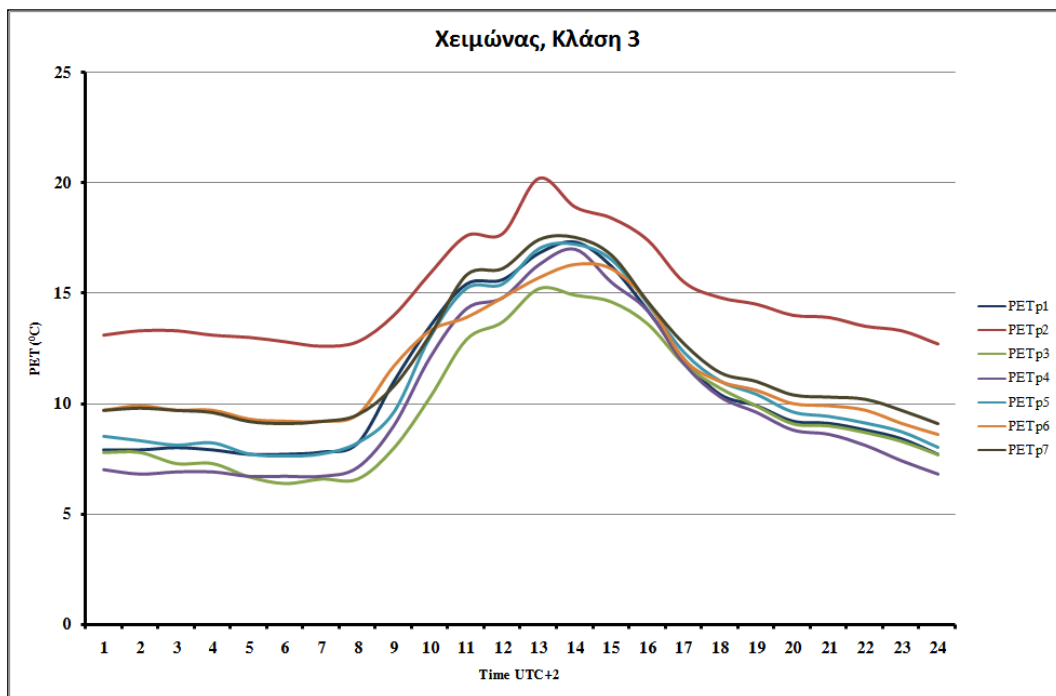
Πίνακας 20. Μέσες, μέγιστες, ελάχιστες και εύρος των τιμών του δείκτη PET (°C) για το χειμώνα κατά την κλάση 3.

	PETp1	PETp2	PETp3	PETp4	PETp5	PETp6	PETp7
Mean	10.8	14.8	9.8	10.0	10.9	11.4	11.8
Max	17.3	20.2	15.2	17.0	17.2	16.3	17.5
Min	7.7	12.6	6.4	6.7	7.6	8.6	9.1
Range	9.6	7.6	8.8	10.3	9.6	7.7	8.4

Επίσης, βρέθηκε συγκριτικά μειωμένο το εύρος τιμών με το υψηλότερο να καταγράφεται στον ανθόκηπο (p4) και το χαμηλότερο στο κτηριακό αίθριο (p2). Αυτό οφείλεται στη χαμηλή τιμή του SVF στο p2 που δεν επιτρέπει τη σημαντική ταπείνωση του PET κατά τη διάρκεια της νύχτας.

Πέραν του εύρους των τιμών, και η μορφή των καμπυλών της 24ωρης κύμανσης (Εικ. 54) δείχνει την επίδραση της νέφωσης στη διαμόρφωση των συνθηκών θερμικής αίσθησης. Η πορεία λοιπόν του δείκτη σχηματίζει μια ελαφρώς πιο αμβλεία κύμανση από τη συνηθισμένη, κωδωνοειδή καμπύλη σε κάθε σημείο μελέτης. Ακόμα όμως και στην κλάση αυτή ο PET συμπεριφέρεται διαφορετικά στη θέση του κτηριακού αίθριου (p2) σε σχέση με τις υπόλοιπες. Δηλαδή, η τιμή του δείκτη

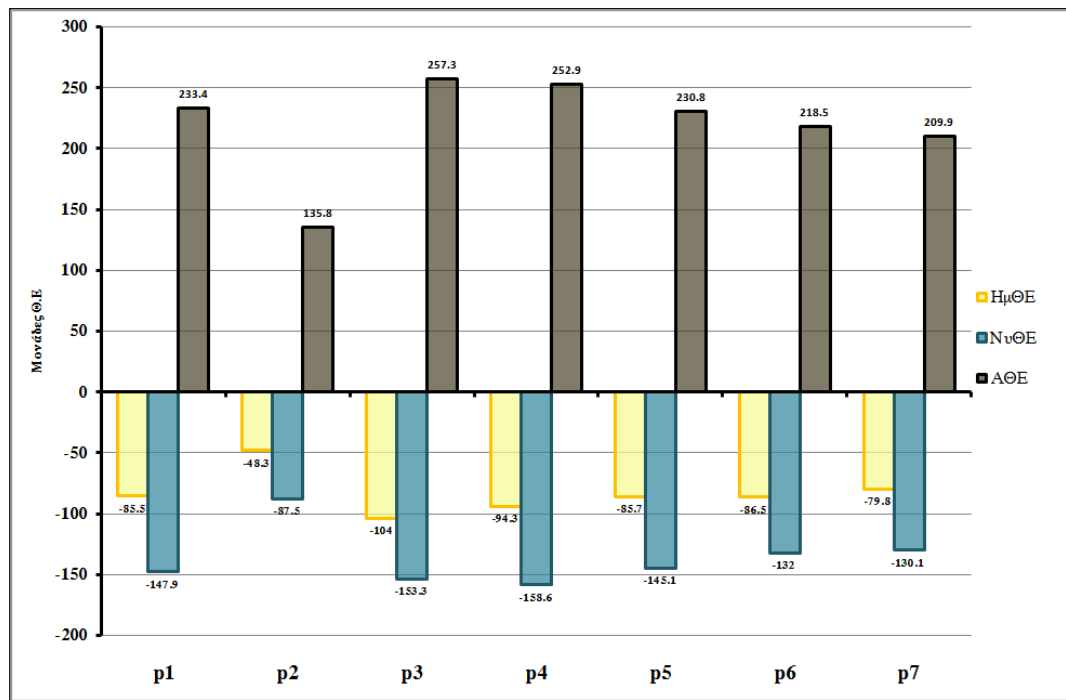
είναι υψηλότερη καθόλη τη διάρκεια της ημέρας αλλά και της νύχτας.



Εικόνα 54. Πορεία των τιμών του δείκτη PET σε 24ωρη βάση κατά τη διάρκεια του χειμώνα (κλάση 3) στις διαφορετικές διαμορφώσεις.

Αντίθετα, οι χαμηλότερες τιμές του PET καταγράφονται καθ' όλη σχεδόν τη διάρκεια του 24ώρου στο φυτικό αίθριο, συμπεριφορά που είναι ανεπιθύμητη κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου του έτους. Η γενική όμως εικόνα που παρουσιάζει η κύμανση του PET (Εικ. 54) δείχνει μια σχετικά ομοιογενή συμπεριφορά μεταξύ των υπολοίπων σημείων μελέτης.

Όσον αφορά στη θερμική επιβάρυνση όπως αυτή ποσοτικοποιείται μέσω των παραμέτρων AΘΕ, ΗμΘΕ και ΝυΘΕ (Εικ. 55) παρατηρείται ότι αυτή είναι σχεδόν το 50% της αντίστοιχης που καταγράφηκε υπό μετεωρολογικές συνθήκες κλάσης 1 και κλάσης 2.

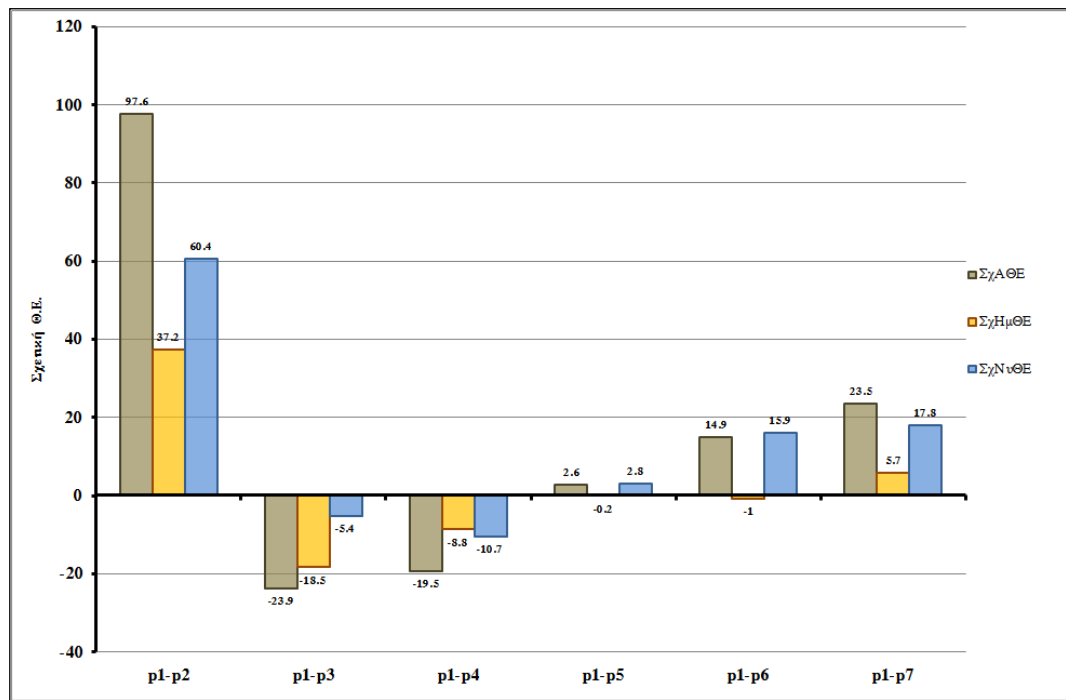


Εικόνα 55. Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΑΘΕ), Ημερήσια Θερμική Επιβάρυνση (ΗμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΝυΘΕ) κατά το χειμώνα (κλάση 3).

Αυτό οφείλεται κυρίως στη μειωμένη ψύξη δια ακτινοβολίας κατά τις νυχτερινές ώρες λόγω της νέφωσης αλλά και λόγω των υψηλότερων θερμοκρασιών που επικρατούσαν κατά τις ημέρες που εντάχθηκαν στην κλάση αυτή. Αναλύοντας τα αποτελέσματα των σχετικών ραβδογραμμάτων (Εικ. 55) γίνεται προφανές πως η θερμική επιβάρυνση είναι αποτέλεσμα ψυχρότερων από το επιθυμητό συνθηκών οι οποίες είναι πιο έντονες κατά τη διάρκεια της νύχτας από ότι κατά τη διάρκεια της ημέρας, όπως άλλωστε αναμενόταν. Η θέση που μπορεί να διακριθεί από το σύνολο των μελετώμενων διαμορφώσεων ως προς τη βιοκλιματική της συμπεριφορά είναι στο κτηριακό αίθριο (p2), όπου η παράμετρος ΑΘΕ έλαβε τιμή 135.8 όταν η αμέσως καλύτερη (χαμηλότερη) τιμή καταγράφηκε στη θέση του προκηπίου (p7) με ΑΘΕ 209.9 μονάδες. Αντίθετα, η ίδια παράμετρος κατέδειξε τη διαμόρφωση της θέσης p3 ως την πλέον ακατάλληλη για την παραμονή του ανθρώπου σε 24ώρη βάση αφού η ΑΘΕ έλαβε την τιμή 257.3. Όσον αφορά στην παράμετρο ΗμΘΕ, η βέλτιστη τιμή καταγράφηκε στο p2 (-48.3)

και η αντίστοιχη χαμηλότερη στο p3 (-104.0). Κατά τη διάρκεια της νύχτας και πάλι η βέλτιστη τιμή υπολογίστηκε στο κτηριακό αίθριο (NuθE=-87.5) με τη χαμηλότερη τιμή της παραμέτρου να καταγράφεται στον ανθόκηπο (-158.6).

Οι παράμετροι που ποσοτικοποιούν τη σχετική θερμική επιβάρυνση (ΣχAθE, ΣχHμθE και ΣχNuθE) επίσης δείχνουν σαφώς ότι η μόνη διαμόρφωση που τροποποιεί σημαντικά τις βιοκλιματικές συνθήκες είναι αυτή του κτηριακού αίθριου, σε 24ωρη, ημερήσια και νυχτερινή χρονική περίοδο (Εικ. 56). Πιο συγκεκριμένα, η ΣχAθE στο p2 έλαβε τιμή 97.6 όταν η αμέσως καλύτερη τιμή καταγράφηκε στο p7 και ήταν 23.5 μονάδες. Για την παράμετρο αυτή επίσης θετικές τιμές (που δείχνουν ότι τα συγκρινόμενο σημείο έχει καλύτερη βιοκλιματική απόδοση από το σημείο αναφοράς p1) καταγράφηκαν στα σημεία p6 και p5. Αντίθετα, η ΣχAθE έλαβε τιμή -23.9 στο φυτικό αίθριο και -19.5 στον ανθόκηπο καταδεικνύοντας την αρνητική επίδραση των διαμορφώσεων τους σε 24ωρη βάση σε σχέση με το σημείο αναφοράς.



Εικόνα 56. Σχετική Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΣχΑΘΕ), Σχετική Ημερήσια (ΣχΗμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΣχΝυΘΕ) κατά το χειμώνα (κλάση 3).

Κατά τη διάρκεια της ημέρας μόνο η διαμόρφωση στις θέσεις p2 και p7 βελτίωσε τις συγκριτικές συνθήκες θερμικής αίσθησης ενώ όλες οι άλλες διαμορφώσεις επιδείνωσαν τις βιοκλιματικές συνθήκες με αποτέλεσμα να λαμβάνουν αρνητικές τιμές της παραμέτρου ΣχΗμΘΕ. Αντίθετα, κατά τη διάρκεια της νύχτας μόνο οι διαμορφώσεις p3 και p4 επέδρασαν αρνητικά στη διαμόρφωση των συνθηκών θερμικής άνεσης σε σχέση με το σημείο αναφοράς (p1) με αποτέλεσμα σε αυτά να καταγραφούν τιμές -5.4 και -10.7 αντίστοιχα. Στον αντίποδα, η συνεισφορά του p2 στη διαμόρφωση ευνοϊκότερων συνθηκών θερμικής άνεσης ήταν η σημαντικότερη και έτσι η ΣχΝυΘΕ έλαβε στη θέση αυτή την υψηλότερη τιμή (60.4).

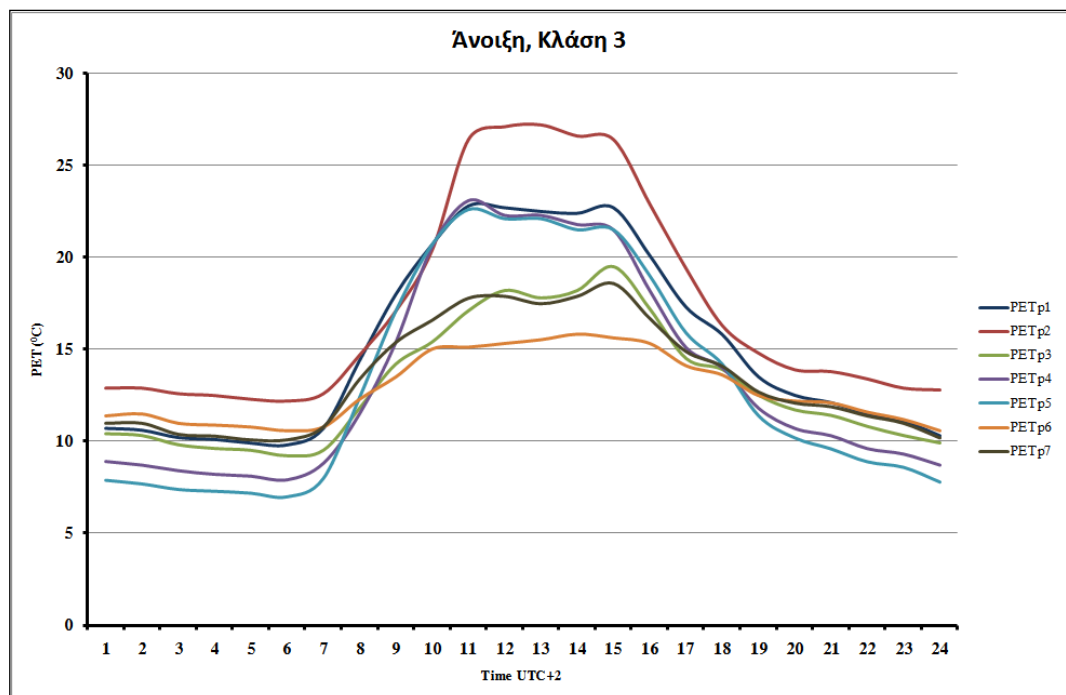
3.4.10. Κλάση 3, Άνοιξη

Οι συνθήκες θερμικής αίσθησης κατά τη διάρκεια των 20 ημερών που εντάχθηκαν σε αυτή την περίπτωση ήταν ψυχρότερες σε σχέση με τις αντίστοιχες συνθήκες κατά την κλάση 1 και 2. Οι μέσες τιμές του δείκτη PET κατατάσσονται στην κατηγορία 'Δροσερό' έως και 'Ελαφρά Δροσερό' με την υψηλότερη τιμή να καταγράφεται στο κτηριακό αίθριο (17.3 °C) και τη χαμηλότερη στο αλσύλλιο (12.8 °C). Οι μέσες μέγιστες τιμές οι οποίες σύμφωνα με την Εικόνα 57 καταγράφονται κατά τις μεσημεριανές ώρες (11:00 έως 14:00) διατρέχουν το εύρος της θερμικής αίσθησης από 'Ελαφρά Δροσερό' έως και 'Ελαφρά Θερμό' με την υψηλότερη τιμή να καταγράφεται στο p2 (27.2 °C) και τη χαμηλότερη στο p6 (15.8 °C). Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η μείωση του εύρους των τιμών του δείκτη σε σχέση τόσο με τις αντίστοιχες τιμές που καταγράφηκαν κατά την άνοιξη της κλάσης 2 όσο και κατά την κλάση 1 όπου επικρατούν οι ίδιες ανεμομετρικές συνθήκες. Για παράδειγμα στην κλάση 1, το εύρος των τιμών του PET στο κτηριακό αίθριο είναι 30.3 °C ενώ στην παρούσα κλάση είναι μόλις 15.0 °C (Πίνακας 21). Οι διαφοροποιήσεις στην παράμετρο αυτή είναι αποτέλεσμα της εκτεταμένης νέφωσης, η οποία στερώντας μεγάλο μέρος της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας μειώνει τις μέγιστες τιμές του PET κατά τις μεσημεριανές ώρες και αυξάνει τις ελάχιστες κατά τις βράδυνες και πρώτες πρωινές, ως αποτέλεσμα του διαφορετικού ρυθμού ψύξης (Persson 1997; Spronken-Smith and Oke 1999; Shashua-Bar and Hoffman 2003).

Πίνακας 21. Μέσες, μέγιστες, ελάχιστες και εύρος των τιμών του δείκτη PET (°C) για την άνοιξη κατά την κλάση 3.

	PETp1	PETp2	PETp3	PETp4	PETp5	PETp6	PETp7
Mean	15.1	17.3	13	13.6	13.3	12.8	13.5
Max	22.8	27.2	19.5	23.1	22.6	15.8	18.6
Min	9.8	12.2	9.2	7.9	7	10.6	10.1
Range	13	15	10.3	15.2	15.6	5.2	8.5

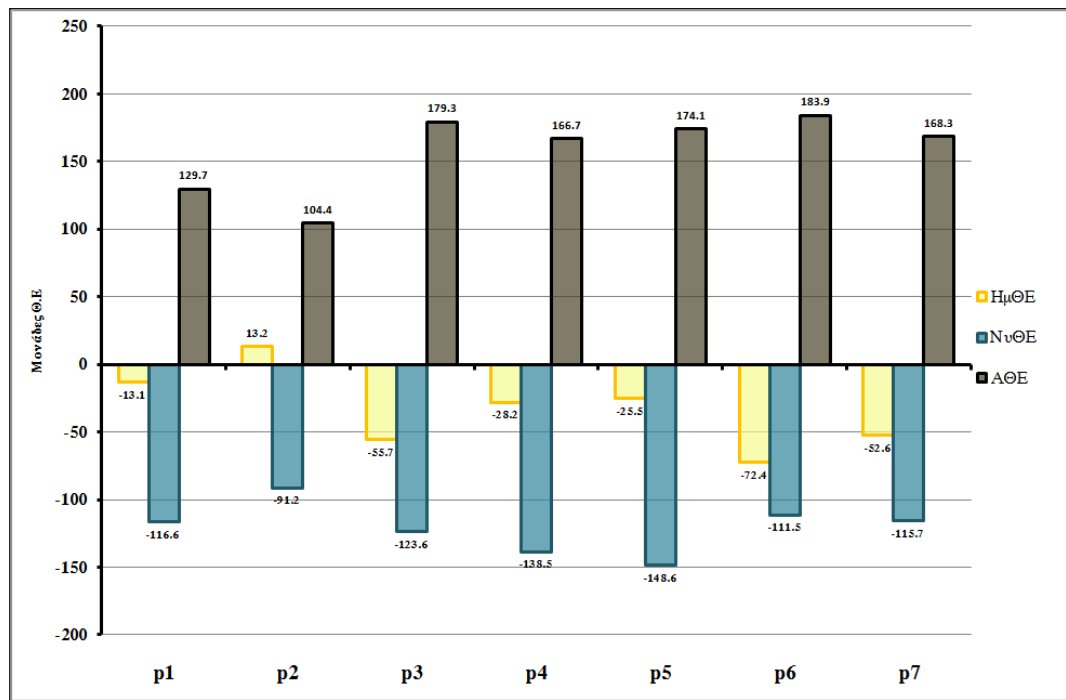
Η υψηλότερη τιμή του μέσου εύρους των τιμών του PET καταγράφηκε στο δενδροκομείο (p5), θέση που την εποχή αυτή έχει αρκετά υψηλό SVF (0.681) και η αντίστοιχα χαμηλότερη, στο αλσύλλιο που έχει αντίστροφα την πιο χαμηλή τιμή του SVF (0.074). Όσον αφορά στην ημερήσια κύμανση του PET (Εικ. 57) ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η πορεία του δείκτη, που κατά τις μεσημβρινές ώρες δεν οδηγεί σε ένα μοναδικό μέγιστο αλλά δημιουργεί μια πιο ομαλή καμπύλη, απόρροια της νέφωσης που επικρατεί. Γενικά η πορεία του PET, όσον αφορά στη μορφή των καμπυλών, παρουσιάζει μια σχετική ομοιογένεια, με τις διαμορφώσεις που κυριαρχεί η βλάστηση (p6, p3 κ.λπ) να καταγράφουν χαμηλότερες τιμές κατά τη διάρκεια της ημέρας. Οι βιοκλιματικές συνθήκες που ξεχωρίζουν και σε αυτή την περίπτωση είναι εκείνες του κτηριακού αίθριου που είναι θερμότερες σχεδόν καθ' όλη τη διάρκεια του 24ώρου.



Εικόνα 57. Πορεία των τιμών του δείκτη PET σε 24ωρη βάση κατά τη διάρκεια της άνοιξης (κλάση 3) στις διαφορετικές διαμορφώσεις

Η θερμική επιβάρυνση (Εικ. 58) κατά την άνοιξη της

κλάσης 3, είναι αποτέλεσμα επικράτησης ψυχρότερων από το επιθυμητό συνθηκών θερμικής αίσθησης κατά την νύχτα αλλά και κατά τη διάρκεια της ημέρας, στις περισσότερες μελετώμενες διαμορφώσεις. Πιο συγκεκριμένα η ΝυΘΕ πήρε την υψηλότερη αρνητική τιμή (-148.6 μονάδες) στο δενδροκομείο (p5) με και τη μικρότερη αρνητική επίσης τιμή (-91.2 μονάδες) στο κτηριακό αίθριο (p2). Κατά τη διάρκεια της ημέρας στο μόνο σημείο που η ΗμΘΕ έλαβε θετική τιμή (13.2 μονάδες) είναι το p2 όταν σε όλα τα υπόλοιπα σημεία μελέτης η παράμετρος αυτή έλαβε μικρές αλλά αρνητικές τιμές. Συγκρίνοντας τις τιμές της παραμέτρου αυτής με τις αντίστοιχες των προηγούμενων κλάσεων γίνεται εμφανές ότι κατά την κλάση 1 η παράμετρος ΗμΘΕ έλαβε θετικές τιμές σε όλα τα σημεία της μελέτης ενώ στην κλάση 2 η παράμετρος αυτή έλαβε θετικές τιμές στα 4 από τα 7 σημεία μελέτης. Αυτό καταδεικνύει τη σημασία πρωτίστως της ηλιακής ακτινοβολίας και δευτερευόντως της ταχύτητας του ανέμου στη διαμόρφωση των βιοκλιματικών συνθηκών στους υπαίθριους χώρους (*Stathopoulos et al. 2004; Gulyas et al. 2006; Oliveira and Andrade 2007; Mochida and Lun 2008.*)

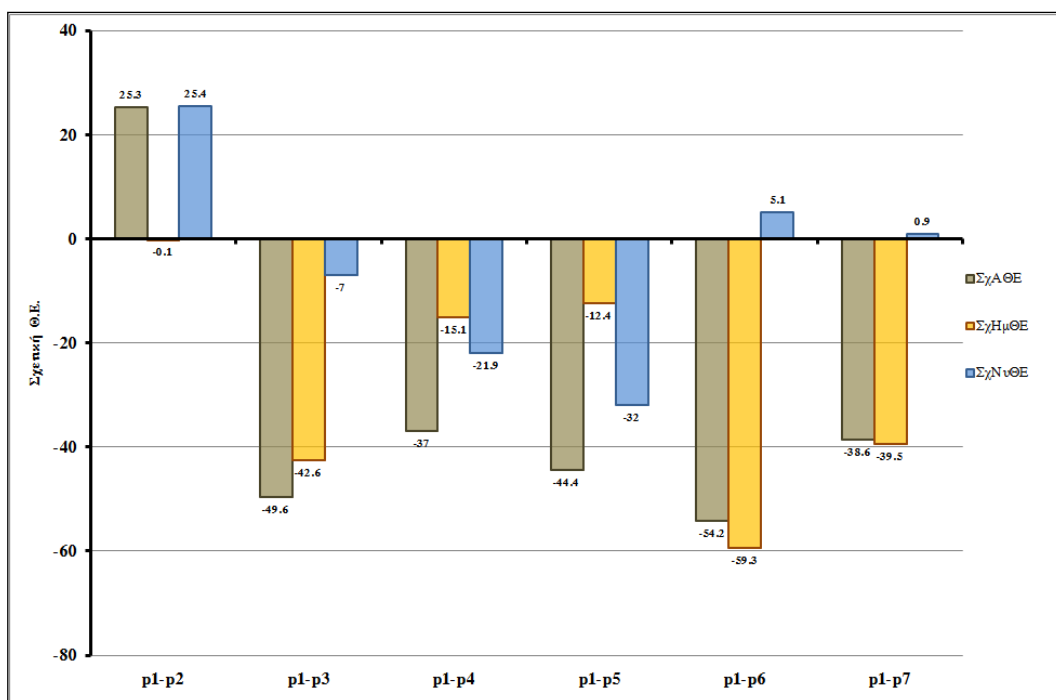


Εικόνα 58. Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΑΘΕ), Ημερήσια Θερμική Επιβάρυνση (ΗμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΝυΘΕ) κατά την άνοιξη (κλάση 3).

Όσον αφορά στην ΑΘΕ, οι τιμές της είναι παραπλήσιες στα περισσότερα σημεία μελέτης με εξαίρεση το p2 στο οποίο καταγράφηκε και η χαμηλότερη τιμή (104.4). Θα πρέπει να επισημανθεί ότι οι τιμές αυτής της παραμέτρου δεν διαφέρουν σημαντικά από τις αντίστοιχες της κλάσης 2 όσο από αυτές της κλάσης 1 κατά την οποία η ΑΘΕ έλαβε υψηλότερες τιμές.

Όσον αφορά στη σχετική θερμική επιβάρυνση και τις παραμέτρους που την περιγράφουν (Εικ. 59) φαίνεται ότι κατά τη διάρκεια της ημέρας η παραμονή στο κτηριακό αίθριο (p2) δεν διαφέρει σημαντικά από την παραμονή στο σημείο αναφοράς (p1) αφού η ΣχΗμΘΕ έλαβε στη θέση αυτή πολύ μικρή αρνητική τιμή (-0.1). Όσον αφορά στις υπόλοιπες διαμορφώσεις, σύμφωνα με τις τιμές της ΣχΗμΘΕ παρουσιάζουν εντονότερη θερμική επιβάρυνση από το σημείο αναφοράς (p1). Αυτό συμβαίνει όπως φάνηκε και στην Εικόνα 58 λόγω των ψυχρότερων συνθηκών που επικρατούν κατά τη διάρκεια της ημέρας. Όσον αφορά τη ΣχΝυΘΕ, στις διαμορφώσεις p2, p6 και

p7 η παράμετρος αυτή έλαβε θετικές τιμές καταδεικνύοντας ακόμα μια φορά τη σημασία της γεωμετρικής διαμόρφωσης του χώρου, η οποία δρα προστατευτικά σε ψυχρές συνθήκες, κατά τη διάρκεια της νύχτας. Οι σχετικά ευνοϊκότερες συνθήκες επικράτησαν στο p2 στο οποίο κατεγράφη και η υψηλότερη τιμή ΣχΝυΘΕ (25.4) ενώ οι δυσμενέστερες στο p5 με τιμή -32.0 μονάδες. Σε επίπεδο 24ώρου το μόνο σημείο στο οποίο κατεγράφη θετική τιμή (25.3) είναι στο κτηριακό αίθριο (p2) ορίζοντας έτσι τη διαμόρφωση αυτή ως την καταλληλότερη για τη χειμερινή περίοδο μεταξύ των επιλεγμένων για την παραμονή του ανθρώπου ως προς τη θερμική του επιβάρυνση.



Εικόνα 59. Σχετική Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΣχΑΘΕ), Σχετική Ημερήσια (ΣχΗμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΣχΝυΘΕ) κατά την άνοιξη (κλάση 3).

Τέλος, όσον αφορά στην πορεία των παραμέτρων αυτών στις αντίστοιχες κλάσεις 1 και 2 παρατηρείται μια γενική μείωση των τιμών. Αυτό δείχνει πως η διαφορά μεταξύ των βιοκλιματικών συνθηκών του σημείου αναφοράς (p1) και των

υπολοίπων μελετώμενων διαμορφώσεων μειώνεται. Δηλαδή, η διαμόρφωση του χώρου έχει μικρότερη σημασία στη δημιουργία των συνθηκών θερμικής αίσθησης οδηγούμενοι από την κλάση 1 στην κλάση 3. Ενδεικτικό είναι ότι για την κλάση 1 η μεγαλύτερη τιμή ΣχΑΘΕ ήταν 176.1 όταν για την κλάση 3 ήταν 25.3 μονάδες.

3.4.11. Κλάση 3, Καλοκαίρι

Στην κλάση αυτή (αυξημένη νέφωση και χαμηλή ταχύτητα ανέμου) και για το χρονικό διάστημα της παρούσας μελέτης βρέθηκαν 4 ημέρες που πληρούσαν τα επιθυμητά χαρακτηριστικά. Αυτό είναι αναμενόμενο για το καλοκαίρι στο ελλαδικό χώρο και ιδιαίτερα στην Αττική. Ο μικρός αριθμός ημερών της κλάσης αυτής οφείλεται επιπλέον στο γεγονός ότι αποκλείονται από τους υπολογισμούς οι ημέρες στις οποίες καταγράφηκε βροχόπτωση. Η έλλειψη μεγάλου αριθμού ημερών που εντάσσονται στην κλάση αυτή αντικατοπτρίζεται και στην πορεία του δείκτη PET (Είκ. 60) η οποία παρουσιάζει σε όλα τα σημεία μια ασυνήθιστη μορφή, απόρροια της μικρής εξομάλυνσης κατά τον υπολογισμό των μέσων τιμών. Από τις τιμές του δείκτη PET (Πίν. 22) διαπιστώνεται ότι η θερμική αίσθηση κατά την περίοδο αυτή κυμαίνεται από 'Θερμό' στο αλσύλλιο (p6) έως 'Πολύ ζεστό' στο κτηριακό αίθριο (p2).

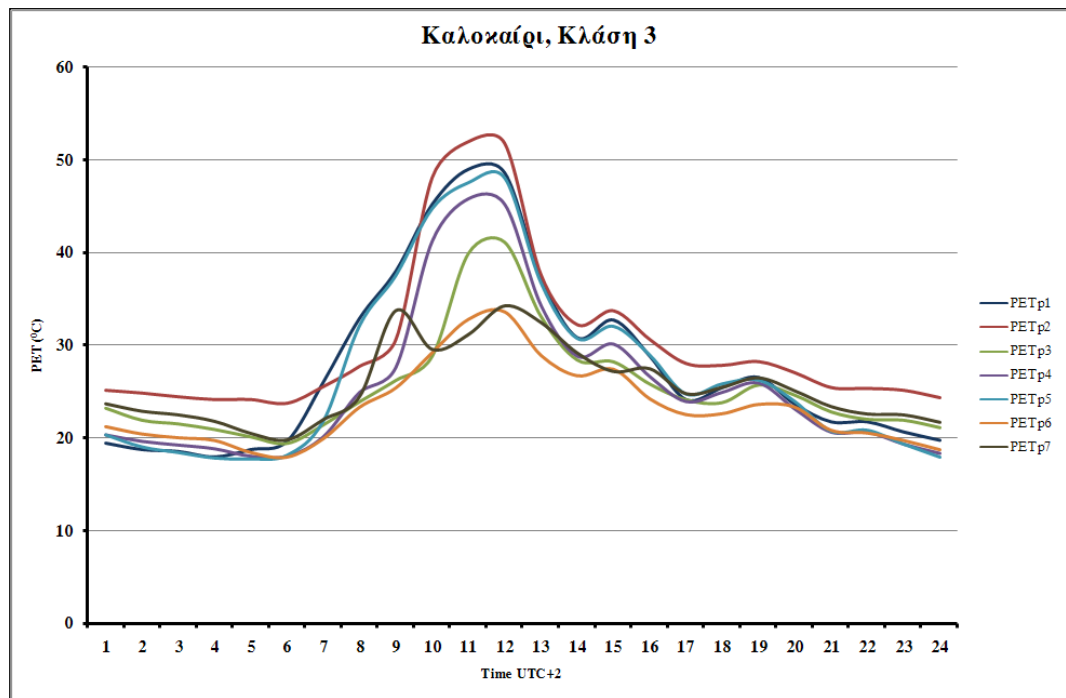
Πίνακας 22. Μέσες, μέγιστες, ελάχιστες και εύρος των τιμών του δείκτη PET (°C) για το καλοκαίρι κατά την κλάση 3.

	PETp1	PETp2	PETp3	PETp4	PETp5	PETp6	PETp7
Mean	27.7	30.3	25.4	25.6	27.1	23.4	25.6
Max	49.0	52.0	41.1	45.8	48.0	33.6	34.3
Min	17.9	23.7	19.4	18.0	17.7	17.9	19.8
Range	31.1	28.3	21.7	27.8	30.3	15.7	14.5

Παρατηρείται επίσης ότι τόσο οι μέσες μέγιστες όσο και

οι μέσες ελάχιστες τιμές στην περίπτωση αυτή είναι ελαφρά χαμηλότερες από τις αντίστοιχες της κλάσης 1. Σε σύγκριση όμως με τις αντίστοιχες τιμές που καταγράφηκαν στην κλάση 2, ενώ οι μέσες μέγιστες λαμβάνουν παρόμοιες τιμές, οι μέσες ελάχιστες είναι σε κάποιες περιπτώσεις πολύ χαμηλότερες στην κλάση αυτή. Ενδεικτικά αναφέρουμε την περίπτωση του αλσυλλίου (p6) όπου η μέση ελάχιστη τιμή του δείκτη ήταν 25.9 °C στην κλάση 2, ενώ στην κλάση 3 έλαβε την τιμή 17.9 °C. Επίσης το εύρος στην κλάση αυτή ήταν πολύ υψηλό σχεδόν σε όλα τα σημεία μελέτης, κάτι που προφανώς οφείλεται στην έλλειψη ικανού αριθμού ημερών που εντάσσονται στην κλάση αυτή.

Στην Εικόνα 60 διακρίνεται και σε αυτή την περίπτωση ότι στο κτηριακό αίθριο (p2) διαμορφώνονται οι υψηλότερες τιμές PET κατά τις προμεσημβρινές ώρες ενώ παρόμοια βιοκλιματική συμπεριφορά παρουσιάζουν και οι θέσεις p1, p5, p3 και p4. Στις θέσεις αυτές, κοινό στοιχείο της διαμόρφωσης είναι ότι δεν παρέχεται σκίαση στο χώρο κατά τις ώρες αυτές. Επίσης για τις 4 αυτές ημέρες παρατηρήθηκε ότι κατά τη διάρκεια των μεσημβρινών ωρών επικρατούσε σχετικά αυξημένη ηλιοφάνεια σε σχέση με την υπόλοιπη ημέρα.

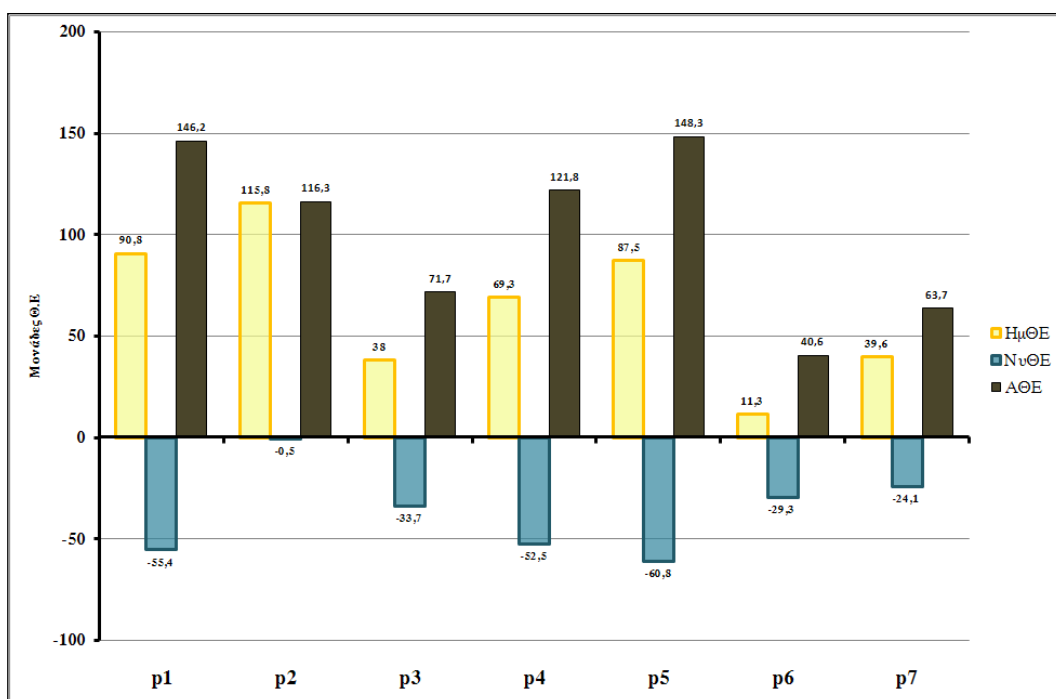


Εικόνα 60. Πορεία των τιμών του δείκτη PET σε 24ωρη βάση κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού (κλάση 3) στις διαφορετικές διαμορφώσεις

Η ιδιομορφία αυτή αποτυπώνεται και στην πορεία του δείκτη PET όπου στις περισσότερες διαμορφώσεις (ειδικά σε αυτές που δεν μπορούν να έχουν σκίαση αυτό το χρονικό διάστημα) παρουσιάστηκε μια ραγδαία αύξηση των τιμών του, η οποία ακολουθήθηκε από αντίστοιχη μείωση σε σύντομο χρονικό διάστημα. Αντίθετα, για τις ώρες της ημέρας που η κατάσταση του ουρανού ήταν ομοιογενέστερη, οι τιμές του δείκτη κυμάνθηκαν σε παρόμοια επίπεδα σε κάθε χώρο μελέτης.

Όσον αφορά στη θερμική επιβάρυνση (ΘΕ), οι τιμές που υπολογίστηκαν ήταν σχετικά χαμηλές (Εικ. 61) σε κάθε θέση εάν συγκριθούν με τις αντίστοιχες τιμές της ίδιας εποχής κατά τις συνθήκες κλάσης 1 και 2. Οι υψηλότερες τιμές ΑΘΕ καταγράφηκαν στο p1 και p5 και έλαβαν τιμές 146.2 και 148.3 μονάδες αντίστοιχα. Τα σημεία αυτά είναι και τα πιο εκτεθειμένα στην ηλιακή ακτινοβολία δεδομένου ότι έχουν και τις υψηλότερες τιμές του SVF μεταξύ των διαμορφώσεων που μελετήθηκαν. Η χαμηλότερη τιμή της παραμέτρου αυτής ήταν 40.6 μονάδες και καταγράφηκε στο αλσύλλιο (p6) η οποία είναι εξαιρετικά χαμηλή για την καλοκαιρινή περίοδο.

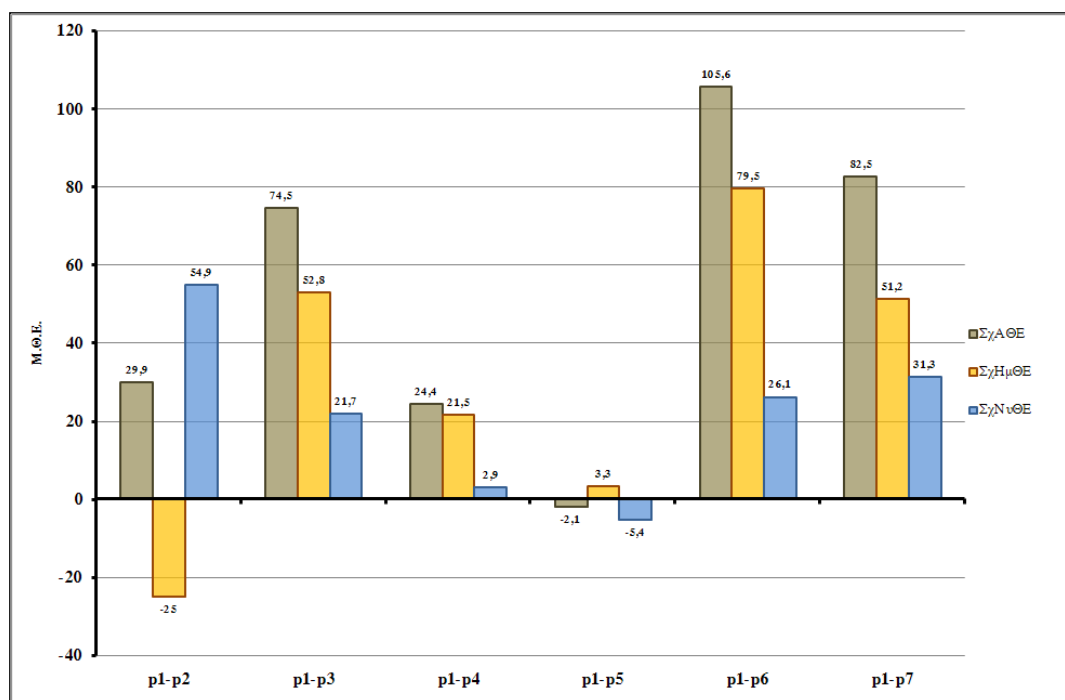
Λαμβάνοντας υπό όψη τις τιμές που καταγράφηκαν για την ΗμΘΕ και την ΝυΘΕ παρατηρείται ότι κατά τη διάρκεια της ημέρας η όποια θερμική επιβάρυνση είναι απόρροια θερμότερων από το επιθυμητό συνθηκών ενώ κατά τη νύχτα είναι απόρροια της επικράτησης ψυχρότερων συνθηκών αντίστοιχα. Και στις δυο όμως περιπτώσεις οι τιμές δεν είναι ιδιαίτερα υψηλές. Πιο συγκεκριμένα, η ΗμΘΕ έλαβε την υψηλότερη τιμή της στο κτηριακό αίθριο (115.8) ενώ η ΝυΘΕ αντίστοιχα στο δενδροκομείο (-60.8).



Εικόνα 61. Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΑΘΕ), Ημερήσια Θερμική Επιβάρυνση (ΗμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΝυΘΕ) κατά το καλοκαίρι (κλάση 3).

Η ΣχΑΘΕ καταδεικνύει ότι όλες οι διαμορφώσεις χώρου που μελετήθηκαν, εκτός αυτής του δενδροκομείου (p5), έχουν ευνοϊκή επίδραση στη θερμική άνεση του ανθρώπου αφού κατέγραψαν θετικές τιμές (Εικόνα 62). Σύμφωνα με την παράμετρο αυτή, η καλύτερη διαμόρφωση ήταν αυτή του αλσύλλιου (ΣχΑΘΕ=105.6) και ακολούθησε του προκηπίου

(ΣχΑΘΕ=82.5). Στον αντίποδα, η διαμόρφωση του δενδροκομείου, σύμφωνα με τη ΣχΑΘΕ κατέγραψε αρνητική τιμή, καταδεικνύοντας ότι η διαμόρφωση αυτή δημιουργεί δυσμενέστερες βιοκλιματικές συνθήκες από αυτές του σημείου αναφοράς (p1). Όσον αφορά στην ΣχΗμΘΕ, η μόνη διαμόρφωση στην οποία υπολογίστηκε αρνητική τιμή είναι στο p2 (-25), όταν οι πιο βελτιωμένες συνθήκες καταγράφηκαν στο p6 (79.5). Επιπρόσθετα στις θέσεις p7 και p3 καταγράφηκαν υψηλές θετικές τιμές ΣχΗμΘΕ (51.2 και 52.8 μονάδες αντίστοιχα) καταδεικνύοντας τη θετική επίδραση της διαμόρφωσης τους στις συνθήκες αυτής της μετεωρολογικής κλάσης.



Εικόνα 62. Σχετική Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΣχΑΘΕ), Σχετική Ημερήσια (ΣχΗμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΣχΝυΘΕ) κατά το καλοκαίρι (κλάση 3).

Όσον αφορά στην παράμετρο ΣχΝυΘΕ, όλες οι διαμορφώσεις περιβάλλοντος (εκτός αυτής του δενδροκομείου) δημιούργησαν ευνοϊκότερες βιοκλιματικές συνθήκες από τις αντίστοιχες του σημείου αναφοράς (p1) και κατέγραψαν θετικές τιμές στην παράμετρο αυτή. Πρέπει όμως να τονιστεί ότι ο μειωμένος

αριθμός των διαθέσιμων ημερών, που εντάχθηκαν σε αυτή την περίπτωση, δεν επιτρέπει τη διεξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων όσον αφορά στη θερμική αίσθηση, στη θερμική επιβάρυνση και στη σχετική θερμική επιβάρυνση.

3.4.12. Κλάση 3, Φθινόπωρο

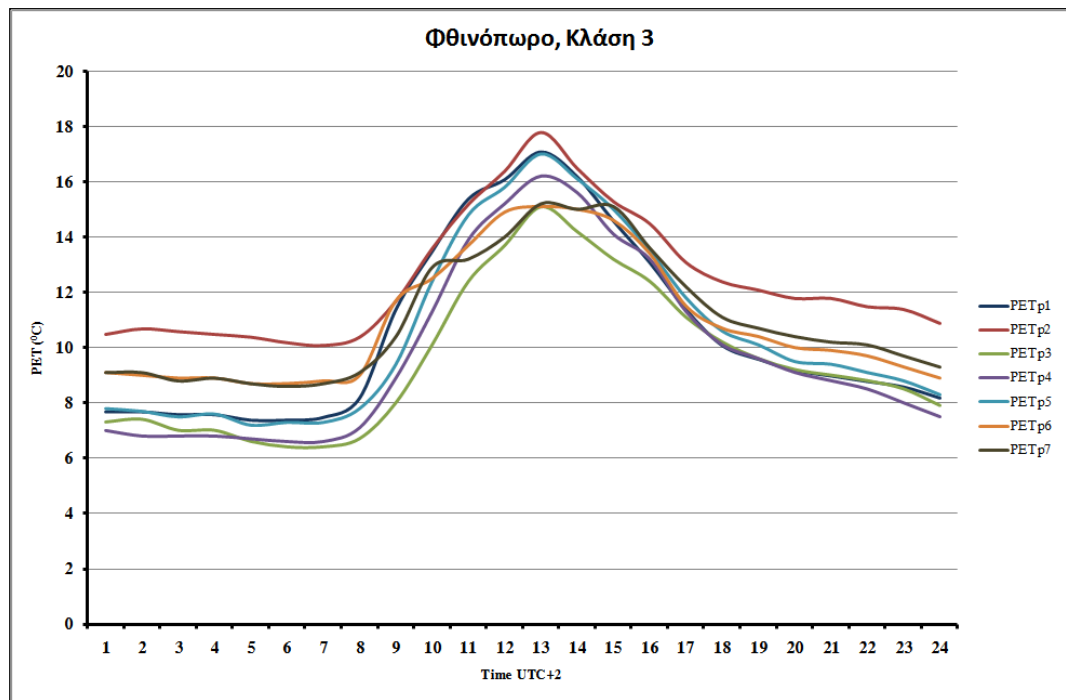
Κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου εντάχθηκαν συνολικά 23 ημέρες στην κλάση 3. Η μέση τιμή του δείκτη PET στις μελετώμενες διαμορφώσεις (Πίν. 23) εντάσσεται στην κατηγορία θερμικής αίσθησης 'Δροσερό' όταν για τις κλάσεις 1 και 2 εντασσόταν στο 'Άνετο' έως 'Ελαφρά Θερμό'. Από την παρατήρηση αυτή γίνεται εμφανής η επίδραση της κατάστασης του ουρανού στη διαμόρφωση των βιοκλιματικών συνθηκών (Fanger 1972; Brown and Gillespie 1995). Η υψηλότερη μέση τιμή του δείκτη καταγράφηκε στο κτηριακό αίθριο (p2) με 12.5 °C και η αντίστοιχη χαμηλότερη στο φυτικό αίθριο (p3) όπου ο δείκτης έλαβε την τιμή 9.5 °C. Η υψηλότερη μέση μέγιστη τιμή καταγράφηκε στο p2 και η χαμηλότερη στο p6 και p3. Οι θέσεις αυτές ενώ έχουν τη χαμηλότερη τιμή SVF (0.375, 0.499 και 0.515 αντίστοιχα) μεταξύ των υπόλοιπων, έχουν αντιδιαμετρική συμπεριφορά όσον αφορά στη μέση μέγιστη τιμή του δείκτη, ως αποτέλεσμα της κυριαρχίας διαφορετικών υλικών στη διαμόρφωση του περιβάλλοντος χώρου (Unger 1999; Wong and Jusuf 2008).

Πίνακας 23. Μέσες, μέγιστες, ελάχιστες και εύρος των τιμών του δείκτη PET (°C) για το φθινόπωρο κατά την κλάση 3

	PETp1	PETp2	PETp3	PETp4	PETp5	PETp6	PETp7
Mean	10.6	12.5	9.5	9.8	10.5	10.9	11
Max	17.1	17.8	15.1	16.2	17	15.1	15.2
Min	7.4	10.1	6.4	6.6	7.2	8.7	8.6
Range	9.7	7.7	8.7	9.6	9.8	6.4	6.6

Χαρακτηριστική είναι η επίδραση της νέφωσης στη διαμόρφωση του εύρους των τιμών, το οποίο κυμαίνεται σε κάθε περίπτωση σε πολύ χαμηλές τιμές. Στις δυο προηγούμενες κλάσεις που μελετήθηκαν, το εύρος ξεπέρασε τους 20 °C σχεδόν σε όλες τις διαμορφώσεις όταν στην κλάση αυτή η μεγαλύτερη τιμή είναι 10 °C και καταγράφεται στις θέσεις p4 και p5.

Η κύμανση των τιμών του δείκτη PET στην περίπτωση του κτηριακού αίθριου κατά τη διάρκεια του 24ώρου (Εικ. 63) κάνει σαφή την επίδραση των δομικών υλικών στη διαμόρφωση των βιοκλιματικών συνθηκών. Δηλαδή, παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές καθ' όλη τη διάρκεια του 24ώρου σε σύγκριση με τις υπόλοιπες διαμορφώσεις.. Πιο συγκεκριμένα, κατά το χρονικό διάστημα που στις άλλες θέσεις η διαμόρφωση επιτρέπει τη σχετικά ταχεία μείωση των τιμών το PET, στο κτηριακό αίθριο αυτή η διαδικασία γίνεται πολύ βραδύτερα. Η ιδιότητα αυτή της διαμόρφωσης του p2 είναι ευνοϊκή για την παραμονή του ανθρώπου στο χώρο αυτό τόσο κατά την ημέρα όσο και κατά τη νύχτα (Εικ. 64). Αναλυτικότερα, σε όλες τις θέσεις οι βιοκλιματικές συνθήκες δημιουργούν ψυχρότερη θερμική αίσθηση από την επιθυμητή καθ' όλη τη διάρκεια του 24ώρου. Κατά το φθινόπωρο, στις δυο προηγούμενες κλάσεις (1 και 2) που μελετήθηκαν, η θερμική αίσθηση ήταν θερμότερη του επιθυμητού κατά τη διάρκεια της ημέρας ενώ στην κλάση 3 είναι ψυχρότερη. Η ΗμΘΕ έλαβε τη χαμηλότερη τιμή της στη θέση του φυτικού αίθριου (-109.3) καθιστώντας τη διαμόρφωσή αυτή ως τη χειρότερη για την παραμονή του ανθρώπου. Στον αντίποδα, το κτηριακό αίθριο διαμόρφωσε τις βέλτιστες συνθήκες λαμβάνοντας τιμή -77.0 μονάδες. Σε όλες τις υπόλοιπες θέσεις, η παράμετρος αυτή έλαβε παρόμοιες τιμές. Όσον αφορά στις νυχτερινές ώρες και πάλι

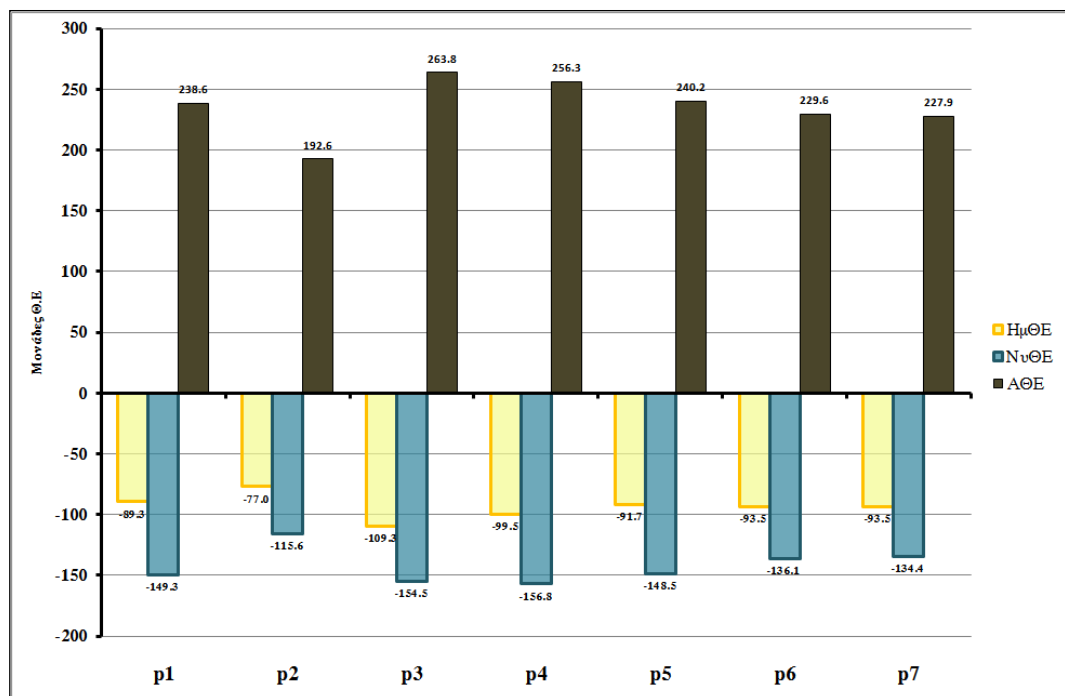


Εικόνα 63. Πορεία των τιμών του δείκτη PET σε 24ωρη βάση κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου (κλάση 3) στις διαφορετικές διαμορφώσεις.

το κτηριακό αίθριο είναι η καταλληλότερη διαμόρφωση, καταγράφοντας -115.6 μονάδες που είναι και η βέλτιστη τιμή της ΝυΘΕ. Τελικά η διαμόρφωση που προκαλεί τη μεγαλύτερη θερμική επιβάρυνση σε 24ωρη βάση, είναι το φυτικό αίθριο (p3) που έλαβε τιμή ΑΘΕ ίση με 263.8 μονάδες.

Ανάλογα με τη θερμική επιβάρυνση κυμαίνεται και η σχετική θερμική επιβάρυνση που δείχνει πιο καθαρά την επίδραση της διαμόρφωσης στις βιοκλιματικές συνθήκες (Εικ. 65). Θετική λοιπόν συμπεριφορά, σύμφωνα με τη ΣχΑΘΕ παρουσιάζουν οι διαμορφώσεις του κτηριακού αίθριου (p2), του αλσουλίου (p6) και του προκήπιου (p7). Οι δυο τελευταίες διαμορφώσεις είναι πλούσιες σε βλάστηση αλλά έχουν και κάποιες διαφορές στη διαμόρφωση τους, που τις διαφοροποιούν από τις θέσεις p3 και p4. Πιο συγκεκριμένα, οι p6 και p7 είναι καλυμμένες με βλάστηση στην 'οροφή', δηλαδή δε διαμορφώνουν σχήμα αίθριου. Αυτή τους η ιδιότητα είναι καθοριστική όταν επικρατούν συνθήκες όπως αυτές της

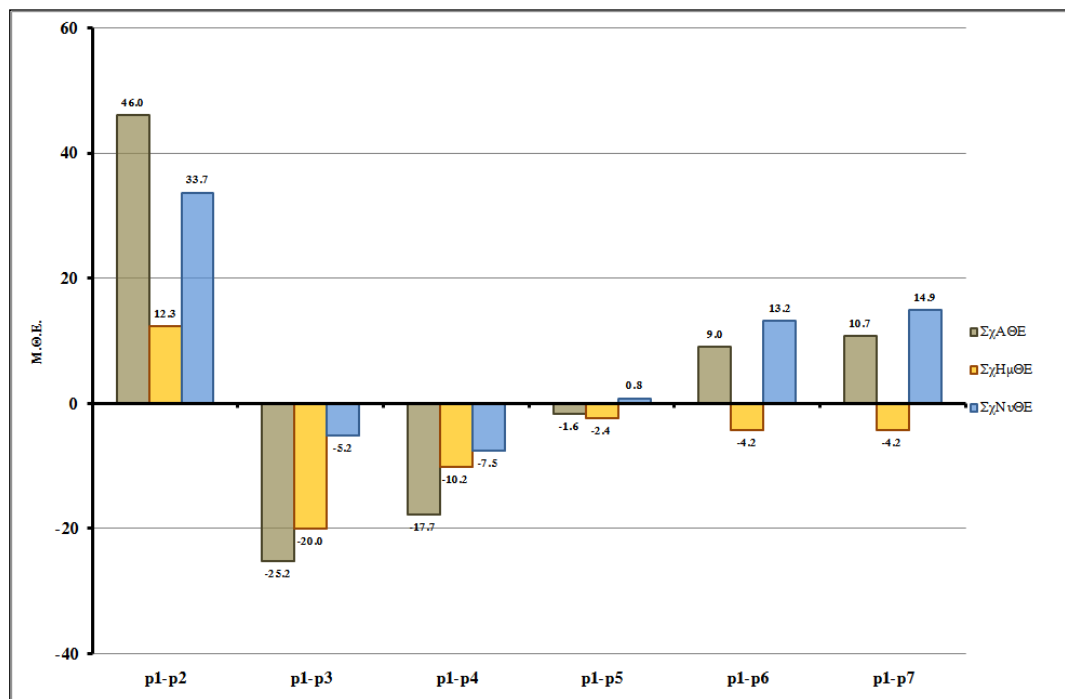
κλάσης 3. Δηλαδή, ενώ κατά τη διάρκεια της ημέρας όπως και όλα τα υπόλοιπα φυτοκαλυμμένα σημεία δημιουργούν πιο έντονη θερμική επιβάρυνση από αυτή στο σημείο αναφοράς, κατά τη διάρκεια της νύχτας μπορούν και διατηρούν πιο θερμές συνθήκες με αποτέλεσμα τη βελτιωμένη τους συμπεριφορά όπως καταγράφεται και από την παράμετρο της ΣχΑΘΕ. Πιο συγκεκριμένα, κατά τη διάρκεια της ημέρας, η μόνη διαμόρφωση που έχει θετική συμπεριφορά ως προς τη θερμική επιβάρυνση είναι



Εικόνα 64. Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΑΘΕ), Ημερήσια Θερμική Επιβάρυνση (ΗμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΝυΘΕ) κατά το φθινόπωρο (κλάση 3).

αυτή του κτηριακού αίθριου με τιμή ΣχΗμΘΕ 12.3 μονάδες. Η χαμηλότερη τιμή της παραμέτρου αυτής καταγράφηκε στο φυτικό αίθριο (-20.0) και ακολούθησε ο γειτνιαζών χώρος του ανθόκηπου με -10.2 μονάδες. Οι τιμές που καταγράφηκαν σε αυτά τα δυο σημεία αλλά και στα υπόλοιπα είναι σχετικά χαμηλές και το μέγεθος τους δείχνει τη μειωμένη επίδραση της διαμόρφωσης του χώρου στις συνθήκες της κλάσης 3. Κατά τη διάρκεια της νύχτας και πάλι, η πιο βελτιωμένη

βιοκλιματική συμπεριφορά καταγράφηκε στο p2 με τιμή ΣχΝυΘΕ 33.7 και ακολουθούν οι θέσεις p7 και p6 με τιμές 14.9 και 13.2 μονάδες αντίστοιχα. Αντίθετα, οι πλούσιες σε βλάστηση θέσεις των p3 και p4 είχαν ελαφρά αρνητική βιοκλιματική συμπεριφορά δεδομένου ότι έλαβαν τιμές -5.2 και -7.5 αντίστοιχα. Η γενική εικόνα που δίνουν τόσο τα στατιστικά στοιχεία όσο και οι υπόλοιπες παράμετροι της θερμικής επιβάρυνσης, δείχνουν μια άμβλυση των διαφορών μεταξύ των βιοκλιματικών συνθηκών στις διάφορες διαμορφώσεις, που οφείλεται στην επικράτηση της νέφωσης. Δηλαδή, λόγω της μειωμένης ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στις μελετώμενες διαμορφώσεις (λόγω νέφωσης κατά την κλάση αυτή) η επίδραση της σκίασης που προσφέρει η γεωμετρία του χώρου γίνεται λιγότερο σημαντική όσον αφορά στη θερμική αίσθηση και συνεπώς στη θερμική επιβάρυνση.



Εικόνα 65. Σχετική Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΣχΑΘΕ), Σχετική Ημερήσια (ΣχΗμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΣχΝυΘΕ) κατά το φθινόπωρο (κλάση 3).

3.4.13. Κλάση 4, Χειμώνας

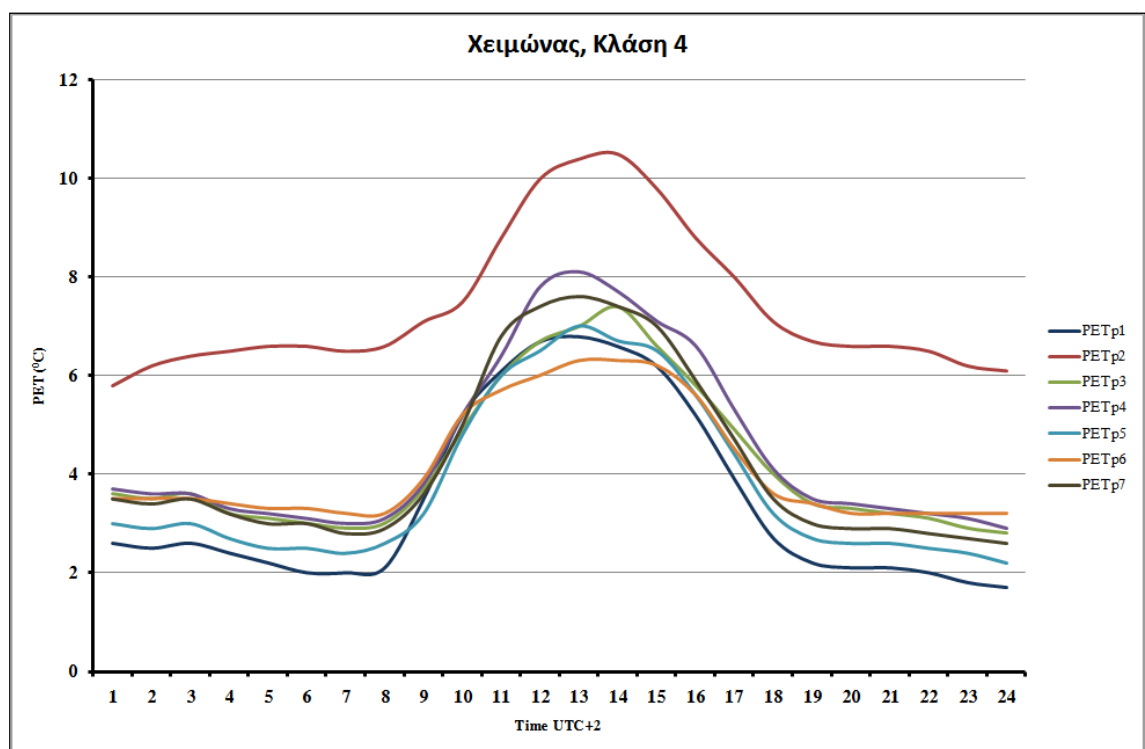
Οι βιοκλιματικές συνθήκες κατά την κλάση 4 είναι αποτέλεσμα της εκτεταμένης νέφωσης και της αυξημένης ταχύτητας ανέμου (Πίν. 8). Από τις 60 ημέρες που θα μπορούσαν να ενταχθούν στην κλάση αυτή, στους υπολογισμούς αξιολόγησης των βιοκλιματικών συνθηκών εντάχθηκαν 29 ημέρες κυρίως λόγω της βροχόπτωσης που σημειωνόταν. Σύμφωνα με τη μέση τιμή του δείκτη PET (Πίν. 24) στις διαμορφώσεις που μελετήθηκαν η θερμική αίσθηση κυμάνθηκε από την κατηγορία 'Πολύ Ψυχρό' έως 'Ψυχρό'. Η χαμηλότερη μέση τιμή του PET καταγράφηκε στο σημείο αναφοράς (p1) και ήταν 3.5 °C όταν η υψηλότερη καταγράφηκε στο κτηριακό αίθριο (p2) και ήταν 7.4 °C. Στην περίπτωση αυτή καταγράφεται και η υψηλότερη μέση μέγιστη (10.5 °C) και η υψηλότερη μέση ελάχιστη τιμή (5.8 °C) του PET, δηλαδή η διαμόρφωση αυτή παρουσιάζει τελείως διαφορετική συμπεριφορά από όλες τις υπόλοιπες (Πίν. 24).

Η πορεία του PET σε 24ωρη βάση (Εικ. 66), καταδεικνύει ακόμα πιο παραστατικά την ιδιαίτερη επίδραση του κτηριακού αίθριου στις βιοκλιματικές συνθήκες και τη σημασία της μείωσης της ταχύτητας του ανέμου στην επίτευξη βελτιωμένης θερμικής αίσθησης του ανθρώπου (Tuller 1980; Kawashima 1990; Walton et al. 2007) κατά την επικράτηση ψυχρών συνθηκών.

Πίνακας 24. Μέσες, μέγιστες, ελάχιστες και εύρος των τιμών του δείκτη PET (°C) για το χειμώνα κατά την κλάση 4

	PETp1	PETp2	PETp3	PETp4	PETp5	PETp6	PETp7
Mean	3.5	7.4	4.2	4.5	3.8	4.2	4.2
Max	6.8	10.5	7.4	8.1	7.0	6.3	7.6
Min	1.7	5.8	2.8	2.9	2.2	3.2	2.6
Range	5.1	4.7	4.6	5.2	4.8	3.1	5.0

Ο δείκτης PET στη θέση αυτή λαμβάνει καθ' όλη τη διάρκεια του 24ώρου υψηλότερες τιμές από τις αντίστοιχες που καταγράφονται στις υπόλοιπες διαμορφώσεις που μελετήθηκαν. Γενικά, η μορφή και οι τιμές της 24ωρης πορείας του PET (Είκ. 66) δείχνει ότι σε όλες τις διαμορφώσεις, πλην του κτηριακού αίθριου, οι βιοκλιματικές συνθήκες είναι παρόμοιες αριθμητικά αλλά και όσον αφορά στη χρονική τους εξέλιξη.

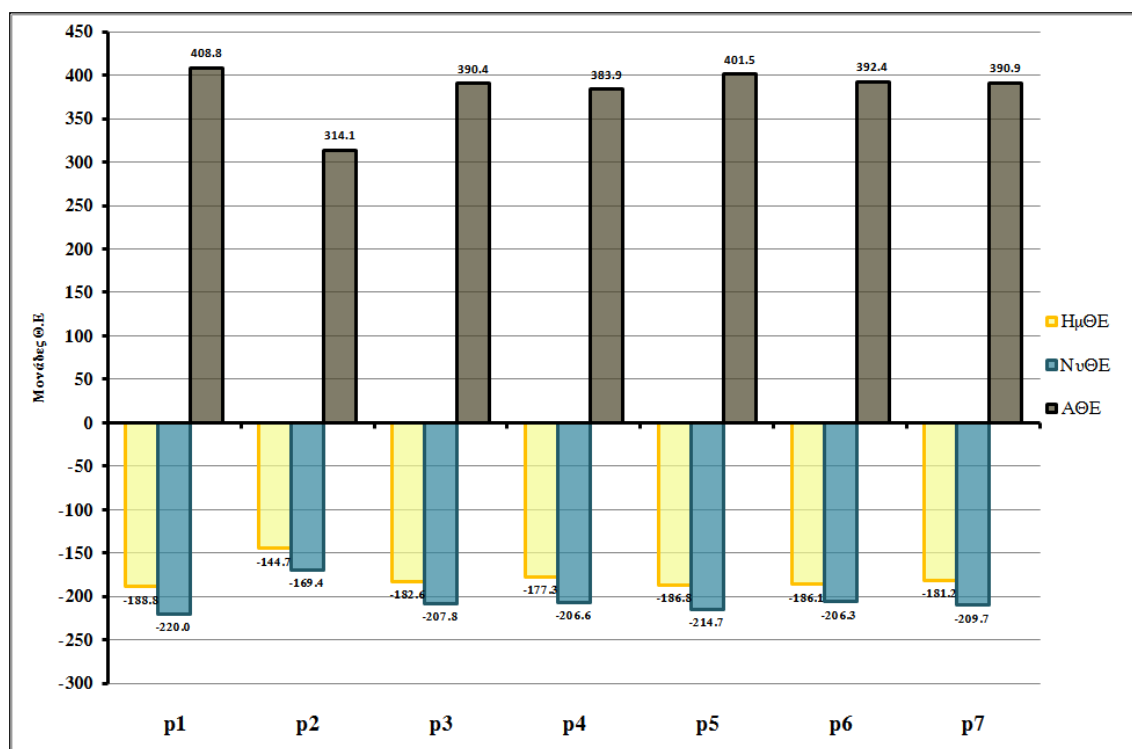


Εικόνα 66. Πορεία των τιμών του δείκτη PET σε 24ωρη βάση κατά τη διάρκεια του χειμώνα (κλάση 4) στις διαφορετικές διαμορφώσεις.

Η απουσία έντονης ηλιακής ακτινοβολίας που είναι από τα βασικά γενεσιουργά αίτια των διαφοροποιήσεων της θερμικής αίσθησης, έχει μειώσει την επίδραση της γεωμετρικής διαμόρφωσης του χώρου στις βιοκλιματικές συνθήκες. Σε αυτό συντείνει και η αυξημένη ταχύτητα του ανέμου με αποτέλεσμα και η θερμική επιβάρυνση να παρουσιάζεται σχετικά ομοιογενής μεταξύ των διαμορφώσεων που μελετήθηκαν (με

εξαίρεση αυτής του κτηριακού αίθριου).

Κατ' αρχήν, η θερμική επιβάρυνση σύμφωνα με τις τιμές των παραμέτρων ΗμΘΕ και της ΝυΘΕ είναι αποτέλεσμα επικράτησης ψυχρών συνθηκών σε όλες τις μελετώμενες διαμορφώσεις περιβάλλοντος (Εικ. 67). Αξίζει να σημειωθεί ότι οι τιμές της ΑΘΕ είναι παραπλήσιες των αντίστοιχων τιμών των κλάσεων 1 και 2. Αυτό συμβαίνει γιατί οι τιμές της ΗμΘΕ είναι μικρότερες την ημέρα, αφού η ηλιοφάνεια των δυο πρώτων κλάσεων οδηγεί σε βελτιωμένες συνθήκες θερμικής αίσθησης, ενώ οι τιμές της ΝυΘΕ είναι μεγαλύτερες στις κλάσεις αυτές λόγω της ευχερέστερης ψύξης σε συνθήκες ανέφελου ουρανού (Kimball 1985; Persson 1997).

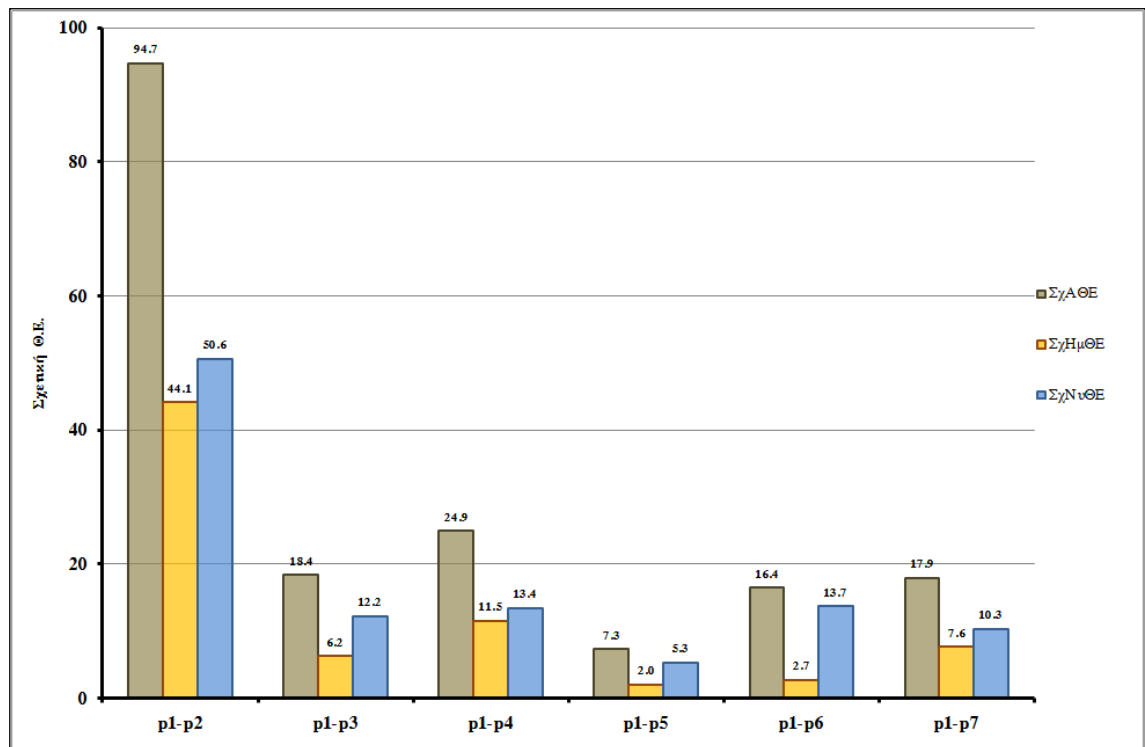


Εικόνα 67. Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΑΘΕ), Ημερήσια Θερμική Επιβάρυνση (ΗμΘΕ) και Νυκτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΝυΘΕ) κατά το χειμώνα (κλάση 4).

Η υψηλότερη λοιπόν τιμή της ΑΘΕ καταγράφηκε στο σημείο αναφοράς (p1) και έφθασε τις 408.8 μονάδες και η χαμηλότερη

στο κτηριακό αίθριο (p2), η οποία ήταν 314.1 μονάδες. Κατά αναλογία με τα παραπάνω, η υψηλότερη τιμή της ΗμΘΕ καταγράφηκε στο p2 (-144.7) και η χαμηλότερη στο p1 (-188.8). Αντίστοιχα για την ΝυΘΕ η υψηλότερη τιμή καταγράφηκε και πάλι στο p2 (-169.4) και χαμηλότερη στο p1 (-220.0).

Όσον αφορά στη σχετική θερμική επιβάρυνση, η γενική εικόνα, δείχνει πως όλες οι διαμορφώσεις χώρου προσέφεραν καλύτερες βιοκλιματικές συνθήκες από το σημείο αναφοράς (p1). Αυτό εκφράζεται σε όλες τις παραμέτρους (ΣχΑΘΕ, ΣχΗμΘΕ και ΣχΝυΘΕ), οι οποίες έλαβαν σε κάθε περίπτωση μόνο θετικές τιμές. Όμως η διαμόρφωση η οποία δημιουργεί τις καλύτερες συνθήκες σχετικής θερμικής αίσθησης είναι το p2. Αναλυτικότερα, κατά τη διάρκεια της ημέρας η ΣχΗμΘΕ έλαβε την υψηλότερη τιμή της (44.1) στο p2 και τη χαμηλότερη στο p5 (2.0). Η τιμή της παραμέτρου στις υπόλοιπες θέσεις ήταν σε κάθε περίπτωση κάτω από 7.6 μονάδες. Κατ' αναλογία, η ΣχΝυΘΕ έλαβε στο p2 τιμή ίση με 50.6 μονάδες που ήταν και η υψηλότερη ενώ στο p5 έλαβε και πάλι τη χαμηλότερη τιμή (5.3). Η συνολική εικόνα της σχετικής θερμικής επιβάρυνσης, δείχνει ότι όλες



Εικόνα 68. Σχετική Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΣΧΑΘΕ), Σχετική Ημερήσια (ΣΧΗΜΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΣΧΝυΘΕ) κατά το χειμώνα (κλάση 4).

οι διαμορφώσεις έχουν ευνοϊκότερη επίδραση από αυτή του σημείου αναφοράς τόσο κατά τη διάρκεια της ημέρας όσο και κατά τη διάρκεια της νύχτας. Όμως, η θετική αυτή επίδραση είναι σχετικά χαμηλή σε όλες τις διαμορφώσεις εκτός αυτής του κτηριακού αίθριου (p2) στην οποία η ΣΧΑΘΕ είναι σχεδόν 4 φορές υψηλότερη από την αμέσως καλύτερη τιμή που καταγράφηκε στον ανθόκηπο (p4).

3.4.14. Κλάση 4, Άνοιξη

Το πλήθος των ημερών που ανήκουν στην κλάση αυτή και είναι κατάλληλες για επεξεργασία ήταν συνολικά 10. Βάσει των αποτελεσμάτων της περιγραφικής στατιστικής (Πίν. 25) η μεγαλύτερη μέση τιμή του δείκτη PET καταγράφηκε στο κτηριακό αίθριο (11.9 °C), κατατάσσοντας τη θερμική αίσθηση στη θέση αυτή στην κατηγορία 'Δροσερό'. Η χαμηλότερη

αντίστοιχη τιμή του δείκτη καταγράφηκε στο σημείο αναφοράς (7.6 °C) που ανήκει στην κατηγορία 'Ψυχρό'. Γενικά, οι τιμές του δείκτη PET είναι χαμηλότερες σε όλα τα σημεία συγκριτικά με τις αντίστοιχες τιμές που υπολογίστηκαν στις κλάσεις 1, 2 και 3.

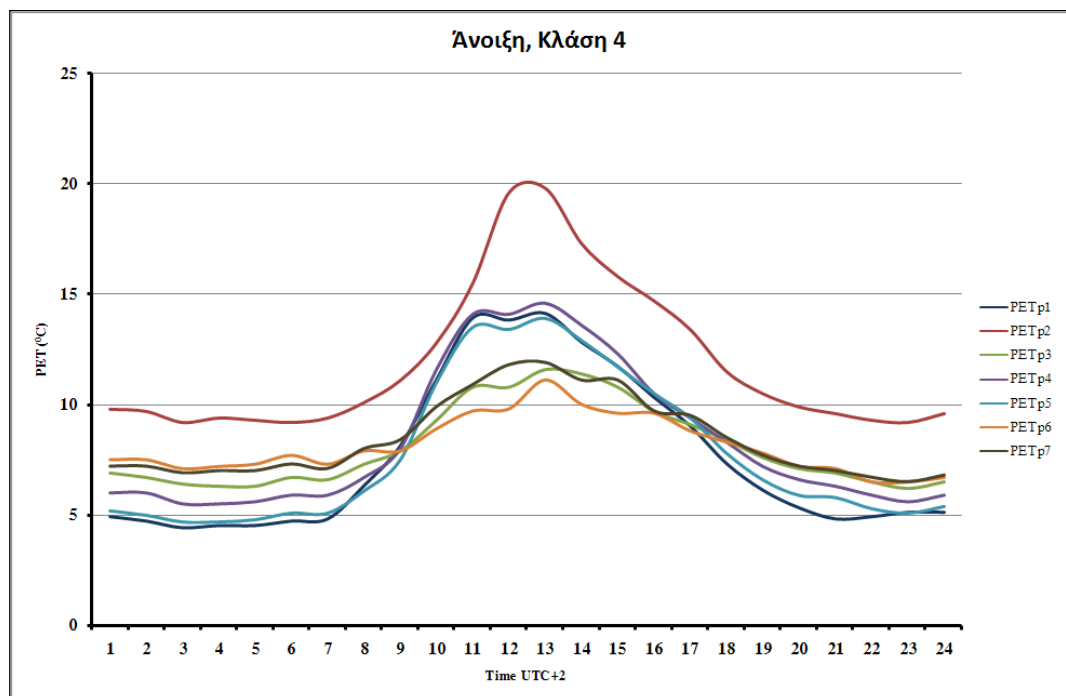
Πίνακας 25. Μέσες, μέγιστες, ελάχιστες και εύρος των τιμών του δείκτη PET (°C) για την άνοιξη κατά την κλάση 4

	PETp1	PETp2	PETp3	PETp4	PETp5	PETp6	PETp7
Mean	7.6	11.9	8.1	8.4	7.8	8.1	8.4
Max	14.1	19.8	11.6	14.6	13.9	11.1	11.9
Min	4.4	9.2	6.2	5.5	4.7	6.5	6.5
Range	9.7	10.6	5.4	9.1	9.2	4.6	5.4

Τόσο οι ακραίες τιμές (μέσες μέγιστες και ελάχιστες), όσο και το συνεπακόλουθο μέσο εύρος τιμών, καταδεικνύουν ότι και στην εποχή αυτή, η αυξημένη ταχύτητα ανέμου και η μειωμένη ηλιακή ακτινοβολία προκαλούν μια μείωση των διαφορών των βιοκλιματικών συνθηκών μεταξύ των διαφορετικών διαμορφώσεων. Η νέφωση σε συνδυασμό με τη αυξημένη ταχύτητα ανέμου δεν επιτρέπουν την ανάπτυξη υψηλών τιμών του PET κατά τη διάρκεια της ημέρας. Ενώ κατά τη διάρκεια της νύχτας η όποια νέφωση, συμβάλει στη βραδύτερη ψύξη δια ακτινοβολίας. Σε σχέση με τον αντίστοιχο χειμώνα όμως, οι τιμές του δείκτη παραπέμπουν σε θερμότερες συνθήκες θερμικής αίσθησης, κάτι που φαίνεται σε όλους του δείκτες και παραμέτρους που χρησιμοποιήθηκαν για την ποσοτικοποίηση της.

Η ημερήσια κύμανση του PET δείχνει και στην περίπτωση αυτή μια παρόμοια βιοκλιματική συμπεριφορά σε όλες τις θέσεις εκτός από το κτηριακό αίθριο στο οποίο οι τιμές του δείκτη είναι υψηλότερες όλο το 24ωρο (Εικ. 69). Αναλυτικότερα, παρατηρείται μια 'ομαδοποίηση' της πορείας των τιμών του PET, στις πιο 'ανοιχτές' διαμορφώσεις (p1, p4 και p5) και μια ακόμα στις πιο 'κλειστές' θέσεις (p3, p6

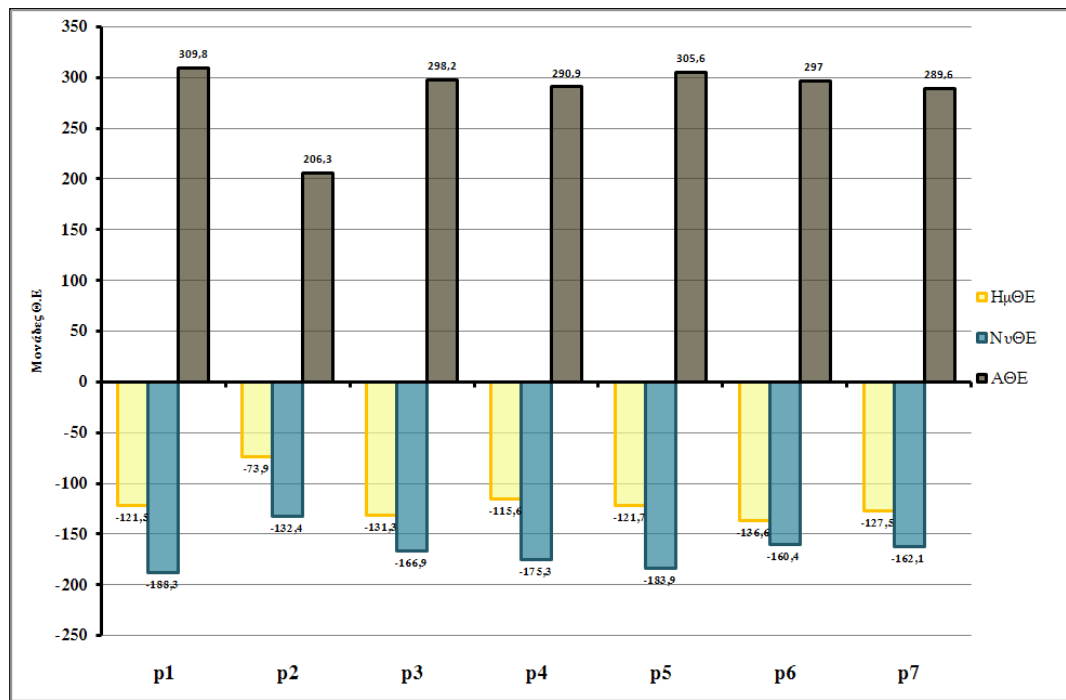
και p7). Στην πρώτη ομάδα οι τιμές του δείκτη ξεκινούν χαμηλότερα από τις τιμές της δεύτερης. Στη διάρκεια της ημέρας και όσο πλησιάζουμε χρονικά το μεσημέρι, οι τιμές του δείκτη της πρώτης ομάδας προσεγγίζουν και τελικά ξεπερνούν τις αντίστοιχες της δεύτερης ομάδας. Αντίθετα η διαμόρφωση του κτηριακού αίθριου οδηγεί σε καθυστερημένη αλλά ταχεία άνοδο των τιμών του PET μέχρι το μεσημέρι και βραδεία πτώση των τιμών αυτών κατά τις απογευματινές και πρώτες νυχτερινές ώρες.



Εικόνα 69. Πορεία των τιμών του δείκτη PET σε 24ωρη βάση κατά τη διάρκεια της άνοιξης (κλάση 4) στις διαφορετικές διαμορφώσεις.

Η θερμική επιβάρυνση σε όλες τις μελετώμενες θέσεις είναι αποτέλεσμα επικράτησης ψυχρότερων συνθηκών από τις επιθυμητές τόσο κατά τη διάρκεια της ημέρας όσο και κατά τη διάρκεια της νύχτας (Εικ. 70). Οι τιμές των παραμέτρων (AΘΕ, ΗμΘΕ και ΝυΘΕ) της θερμικής επιβάρυνσης δείχνουν επιδεινωμένες βιοκλιματικές συνθήκες συγκριτικά με αυτές που καταγράφηκαν για την ίδια εποχή κατά τις υπόλοιπες κλάσεις. Κατά τις ώρες της ημέρας η μεγαλύτερη τιμή της

ΗμΘΕ καταγράφηκε στο κτηριακό αίθριο (-73.9) και η μικρότερη στο αλσύλλιο (-136.6). Στο κτηριακό αίθριο (p2) παρατηρείται ότι παρόλο που η θέση είναι υπό σκιά για μεγάλο χρονικό διάστημα - σε κάθε περίπτωση μεγαλύτερο από ότι στη θέση του p1 - οι βιοκλιματικές συνθήκες οδηγούν σε μικρότερη θερμική επιβάρυνση. Αυτό είναι αποτέλεσμα της προστασίας της θέσης από τον άνεμο και της θερμικής συμπεριφοράς των δομικών υλικών που κυριαρχούν στη διαμόρφωση. Δηλαδή, η έκθεση σε μειωμένες ταχύτητες ανέμου σε συνδυασμό με τις υψηλότερες θερμοκρασίες του αέρα μέσα στο αίθριο δρουν ευνοϊκά στη διαμόρφωση των βιοκλιματικών συνθηκών (Ματζαράκης 1995; Yamashita et al. 2005; Wong et al. 2007). Αντίστοιχα, κατά τις νυχτερινές ώρες η χαμηλότερη τιμή της ΝυΘΕ καταγράφηκε στο p1 (-188.3) προφανώς λόγω της έκθεσης στις υψηλότερες ταχύτητες ανέμου σε σχέση με τις άλλες θέσεις και της ανεμπόδιστης ψύξης δια ακτινοβολίας. Αντίθετα, η υψηλότερη τιμή της ΝυΘΕ (-132.4) καταγράφηκε στη θέση p2 ως αποτέλεσμα των αντίστροφων διαδικασιών από αυτές που συμβαίνουν στο p1.

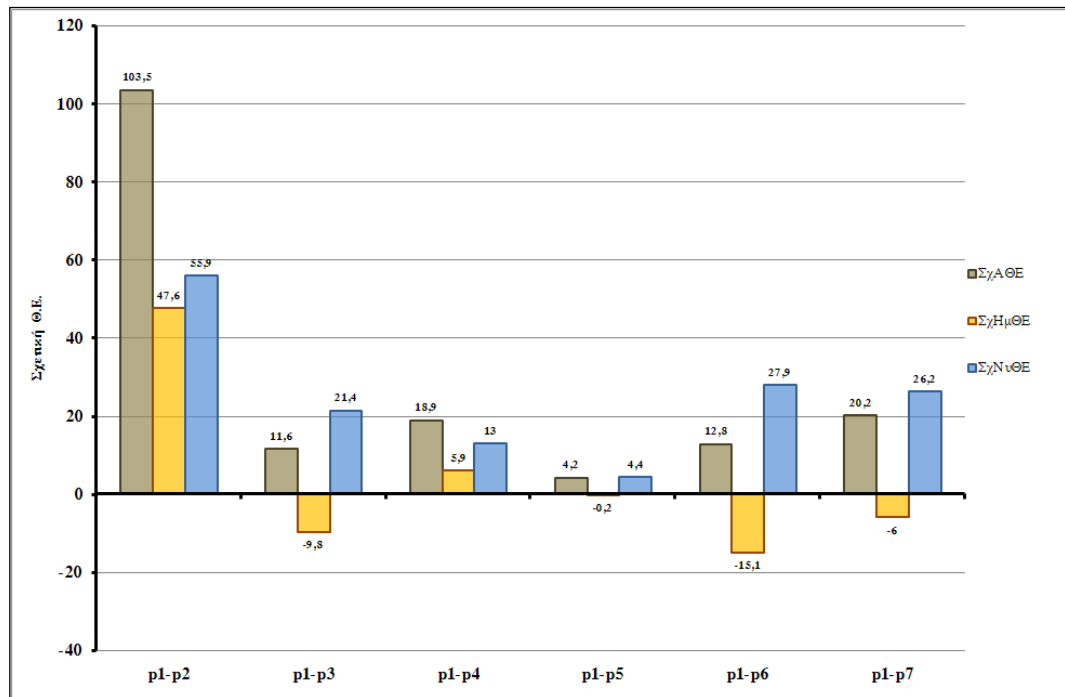


Εικόνα 70. Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΑΘΕ), Ημερήσια Θερμική Επιβάρυνση (ΗμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΝυΘΕ) κατά την άνοιξη (κλάση 4).

Η παράμετρος της ΑΘΕ έλαβε την υψηλότερη τιμή της στο p1 (309.8) και τη χαμηλότερη τιμή στο p2 (206.3) αντίστοιχα. Αξίζει να σημειωθεί ότι δεν υπάρχει μεγάλη διαφοροποίηση των τιμών των παραμέτρων που ποσοτικοποιούν τη θερμική επιβάρυνση στις υπόλοιπες διαμορφώσεις. Αυτό αποδίδεται στις ιδιαίτερες συνθήκες που επικρατούν κατά την μετεωρολογική αυτή κλάση.

Όσον αφορά στη σχετική θερμική επιβάρυνση, σε συνέχεια με τα προηγούμενα αποτελέσματα, δείχνει παρόμοια συμπεριφορά σε όλα τα σημεία εκτός του κτηριακού αίθριου (p2). Πιο συγκεκριμένα, κατά τις ώρες της ημέρας, οι διαμορφώσεις p2 και p4 (Εικ. 71) δημιουργούν βελτιωμένες βιοκλιματικές συνθήκες σε σχέση με τις αντίστοιχες του σημείου αναφοράς (p1). Η διαμόρφωση όμως του p2 υπερτερεί σημαντικά αφού καταγράφει τιμή ΣχΗμΘΕ που φθάνει τις 47.6 μονάδες έναντι της τιμής στο p4 που είναι μόλις 5.9 μονάδες. Οι υπόλοιπες θέσεις διαμορφώνουν δυσμενέστερες

συνθήκες σε σχέση με τον αδιαμόρφωτο χώρο



Εικόνα 71. Σχετική Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΣχΑΘΕ), Σχετική Ημερήσια (ΣχΗμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΣχΝυΘΕ) κατά την άνοιξη (κλάση 4).

του p1 με πιο χαμηλή τιμή αυτή που προκύπτει από τη σύγκριση με το p6, ως αποτέλεσμα της παρατεταμένης σκίασης και της χαμηλής τιμής του SVF (0.499). Κατά τη διάρκεια των νυχτερινών ωρών, όλες οι διαμορφώσεις είχαν βελτιωμένη βιοκλιματική συμπεριφορά σε σχέση με αυτή του p1 με αποτέλεσμα να καταγράφονται μόνο θετικές τιμές. Η υψηλότερη τιμή της ΣχΝυΘΕ υπολογίστηκε στο κτηριακό αίθριο (58.9) και ακολούθησε η τιμή που καταγράφηκε στο αλσύλλιο (27.9). Η χαμηλότερη μεταξύ αυτών των θετικών τιμών καταγράφηκε στο δενδροκομείο (4.4). Τέλος, ως συνέπεια των παραπάνω, οι τιμές της ΣχΑΘΕ ήταν θετικές σε κάθε διαμόρφωση που μελετήθηκε, με υψηλότερη όλων αυτή του p2 (103.5) και χαμηλότερη αυτή που καταγράφηκε στο p5 (4.2).

3.4.15. Κλάση 4, Καλοκαίρι

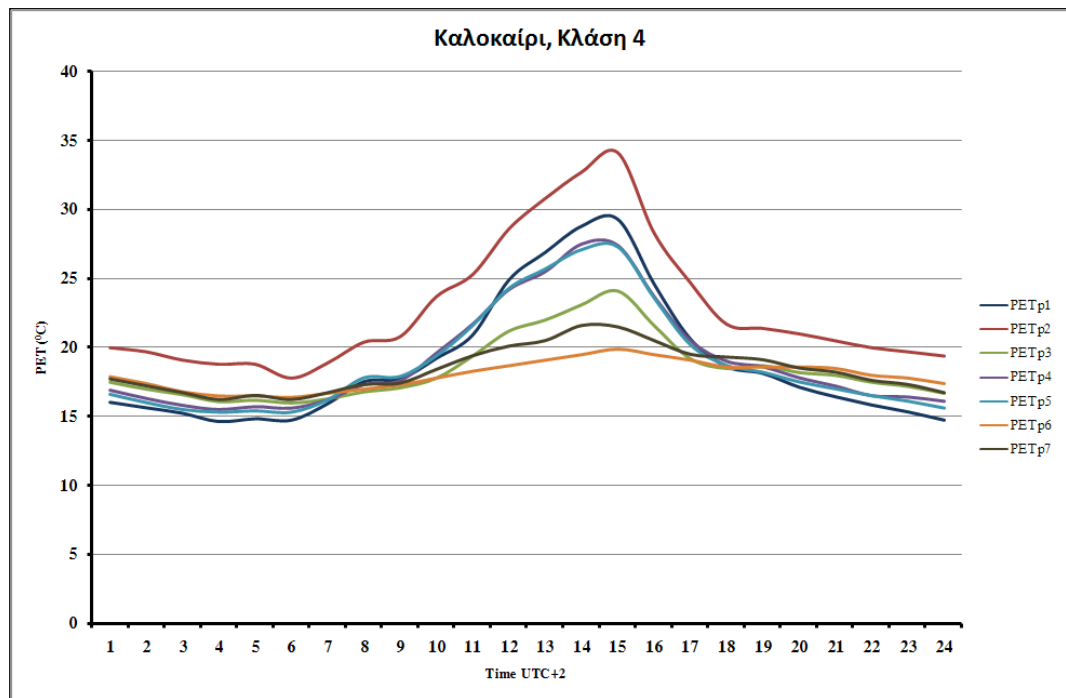
Στην κλάση αυτή (αυξημένη νέφωση και ταχύτητα ανέμου) μετά από την απόρριψη των ημερών κατά τη διάρκεια των οποίων σημειώθηκε βροχόπτωση εντάχθηκε μόνο μια ημέρα, γεγονός που δεν επιτρέπει την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων τόσο όσον αφορά στην κύμανση των τιμών του δείκτη όσο και στην διαμορφούμενη θερμική αίσθηση του ανθρώπου. Όμως κρίνεται απαραίτητη η παρουσίαση των αποτελεσμάτων αυτών για την ολοκλήρωση της εικόνας της βιοκλιματικής συμπεριφοράς των διαφορετικών διαμορφώσεων αν και οι πιθανότητες εμφάνισης τέτοιων συνθηκών είναι σπάνιες στην περιοχή μελέτης. Οι μέσες τιμές του PET (Πίν. 26) κατά τη διάρκεια του διαστήματος αυτού σε όλες τις διαμορφώσεις που μελετήθηκαν χαρακτηρίζουν τις συνθήκες θερμικής αίσθησης ως 'Άνετες' (Πίν. 6). Η υψηλότερη μέση τιμή του δείκτη καταγράφηκε και πάλι στο κτηριακό αίθριο (p2) και έλαβε την τιμή 22.8 °C. Στο αντίποδα, η αντίστοιχη χαμηλότερη τιμή καταγράφηκε στο αλσύλλιο (18.0 °C). Επιπρόσθετα, η υψηλότερη μέγιστη τιμή (34.1 °C) σημειώθηκε στο p2 κατά τις μεσημβρινές ώρες (Εικ. 72) όταν η χαμηλότερη (19.9 °C) καταγράφηκε στο αλσύλλιο. Η διαφορά μεταξύ των δυο αυτών τιμών καταδεικνύει για άλλη μια φορά την αξία και τη σημασία της διαμόρφωσης του χώρου στη θερμική αίσθηση του ανθρώπου (*Barring et al. 1985; Dimoudi and Nikolopoulou 2003; Χρονοπούλου-Σερέλη 2005; Mayer et al. 2008; Lafortezza et al. 2009*)

Πίνακας 26. Μέσες, μέγιστες, ελάχιστες και εύρος των τιμών του δείκτη PET (°C) για το καλοκαίρι κατά την κλάση 4

	PETp1	PETp2	PETp3	PETp4	PETp5	PETp6	PETp7
Mean	18.9	22.8	18.5	19.1	19.0	18.0	18.3
Max	29.3	34.1	24.1	27.5	27.3	19.9	21.6
Min	14.6	17.8	16.0	15.5	15.3	16.4	16.2
Range	14.7	16.3	8.1	12.0	12.0	3.5	5.4

Το εύρος των τιμών του δείκτη PET στην περίπτωση της μετεωρολογικής αυτής κλάσης είναι πολύ μικρό. Πιο συγκεκριμένα, η μέγιστη τιμή της παραμέτρου αυτής καταγράφηκε στο κτηριακό αίθριο (p2) με τιμή 16.3 °C και η αντίστοιχη χαμηλότερη στο αλσύλλιο (3.5 °C). Οι εξαιρετικά χαμηλές τιμές του εύρους (σε όλα τα σημεία εκτός του p2) είναι αποτέλεσμα αφενός της μειωμένης ηλιακής ακτινοβολίας και αφετέρου της αυξημένης ταχύτητας ανέμου.

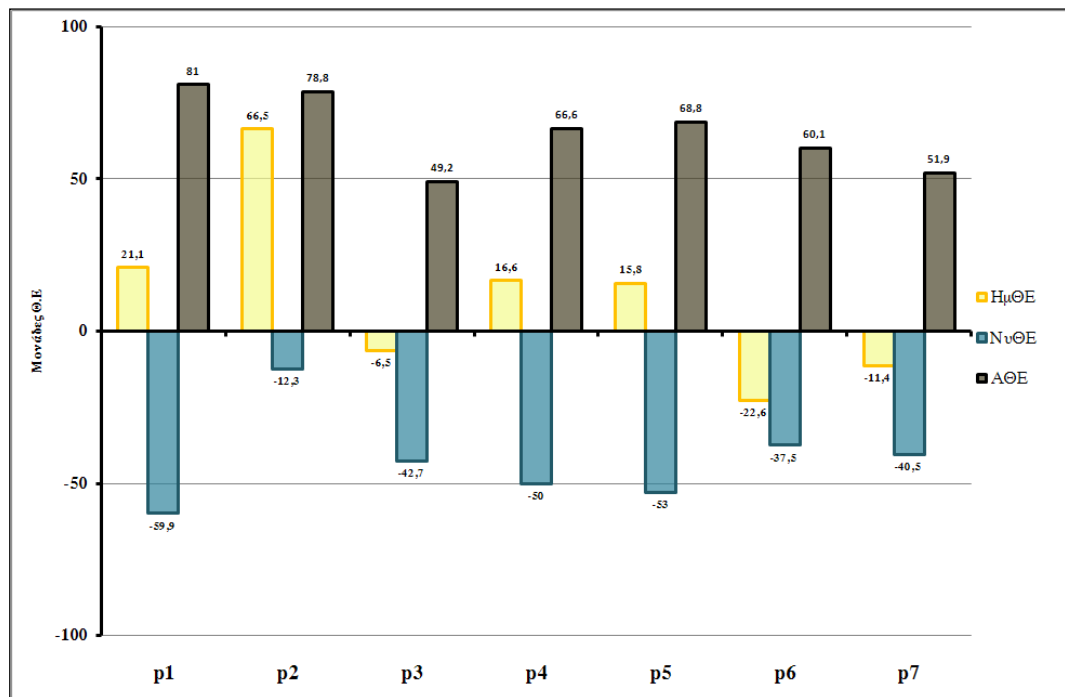
Στην περίπτωση αυτή (κλάση 4, καλοκαίρι), η πορεία των τιμών του PET διαφοροποιείται σημαντικά στο κτηριακό αίθριο, διατηρώντας σταθερά υψηλότερες τιμές καθ' όλη τη διάρκεια του 24ωρου (Εικ. 72). Αντίθετα, οι υπόλοιπες θέσεις δεν παρουσιάζουν μεγάλη διαφοροποίηση όσον αφορά στις τιμές του δείκτη, ειδικά κατά στις απογευματινές, βραδινές και πρώτες πρωινές ώρες. Οι σημαντικότερες διαφοροποιήσεις καταγράφηκαν στις τιμές του δείκτη κατά τις μεσημβρινές ώρες της ημέρας αυτής ως αποτέλεσμα της παροδικής μείωσης της νέφωσης.



Εικόνα 72. Πορεία των τιμών του δείκτη PET σε 24ωρη βάση κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού (κλάση 4) στις διαφορετικές διαμορφώσεις

Η διαμόρφωση με τις ευνοϊκότερες συνθήκες σύμφωνα με την παράμετρο ΑΘΕ είναι αυτή του φυτικού αίθριου (49.2) ενώ οι δυσμενέστερες εντοπίζονται στο σημείο αναφοράς (81.0). Θα πρέπει να επισημανθεί ότι η ΑΘΕ δεν παρουσιάζει μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ των μελετώμενων διαμορφώσεων και ότι οι τιμές της είναι εξαιρετικά χαμηλές αν συγκριθούν με αυτές που καταγράφηκαν κατά την επικράτηση μετεωρολογικών συνθηκών κλάσεων 1, 2 και 3. Κατά τη διάρκεια της ημέρας σε όλες τις διαμορφώσεις καταγράφηκαν τιμές ΗμΘΕ που είναι σχετικά μικρές, είτε αυτές είναι αρνητικές είτε θετικές (Εικ. 73). Η μέγιστη τιμή της καταγράφηκε και πάλι στο κτηριακό αίθριο (66.5) κυρίως ως αποτέλεσμα της σημαντικής μείωσης της ταχύτητας του ανέμου στον χώρο αυτό. Αντίθετα η πιο χαμηλή τιμή της παραμέτρου καταγράφηκε στο φυτικό αίθριο (-6.5) και ακολούθησε το αλσύλλιο (-11.4), καταδεικνύοντας και σε αυτή την περίπτωση την αξία της βλάστησης στη βελτίωση των συνθηκών θερμικής άνεσης (Akbari et al. 2001; Yu and Hien 2006; Potchter et al. 2008; Laforteza et al. 2009). Κατά τις νυχτερινές ώρες, η ΝυΘΕ

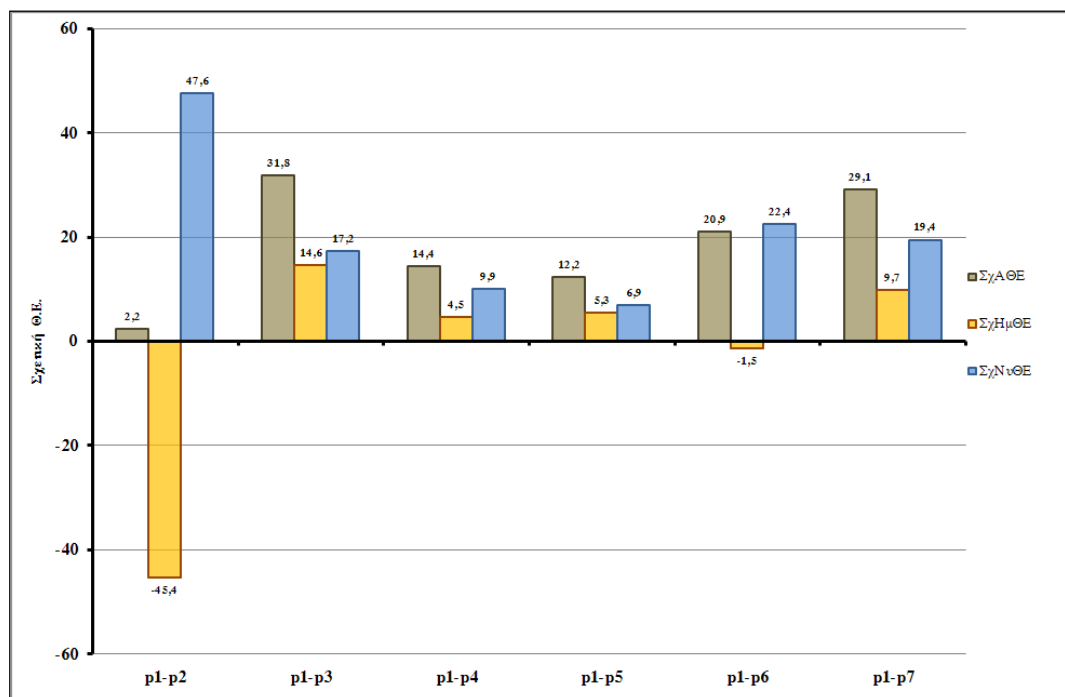
έλαβε τη χαμηλότερη τιμή (-12.3) στο p2, ορίζοντας τη διαμόρφωση αυτή ως την καταλληλότερη για την παραμονή του ανθρώπου κατά το διάστημα αυτό. Οι υπόλοιπες διαμορφώσεις έλαβαν παραπλήσιες τιμές χωρίς όμως να καταγράφονται υψηλές τιμές της ΝυΘΕ που θα έδειχναν έντονη θερμική επιβάρυνση.



Εικόνα 73. Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΑΘΕ), Ημερήσια Θερμική Επιβάρυνση (ΗμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΝυΘΕ) κατά το καλοκαίρι (κλάση 4).

Σε ακολουθία των τιμών που έλαβαν οι παράμετροι που αξιολογούν τη θερμική επιβάρυνση και οι παράμετροι της σχετικής θερμικής επιβάρυνσης κατέγραψαν χαμηλές τιμές. Πιο αναλυτικά, η χαμηλότερη τιμή της ΣχΑΘΕ (2.2) υπολογίστηκε στο κτηριακό αίθριο και η υψηλότερη (31.8) στο φυτικό αίθριο. Δηλαδή, σε 24ωρη βάση το κτηριακό αίθριο δεν διαφοροποιείται σημαντικά από το σημείο αναφοράς ενώ το φυτικό διαμορφώνει συγκριτικά τις καλύτερες συνθήκες θερμικής αίσθησης. Κατά τη διάρκεια της ημέρας (ΣχΗμΘΕ) η διαμόρφωση στην οποία επικρατούν οι σχετικά δυσμενέστερες

συνθήκες είναι αυτή του p2 (Εικ. 74) που είναι και η μόνη διαμόρφωση στην οποία καταγράφηκε αρνητική τιμή (-45.4). Σε όλες τις υπόλοιπες διαμορφώσεις οι τιμές ήταν θετικές αλλά χαμηλές αν συγκριθούν με τις αντίστοιχες των προηγούμενων μετεωρολογικών κλάσεων. Η παράμετρος αυτή κατέδειξε ως καλύτερη διαμόρφωση για τις ώρες της ημέρας εκείνη του φυτικού αίθριου και ακολούθησε η διαμόρφωση του προκήπιου με τιμές 14.6 και 9.7 μονάδες αντίστοιχα. Κατά τη διάρκεια των νυχτερινών ωρών η σχετική θερμική επιβάρυνση έλαβε θετικές τιμές σε όλες τις διαμορφώσεις που μελετήθηκαν (Εικ. 74), κάτι που δείχνει ότι σε όλες τις θέσεις οι συνθήκες θερμικής αίσθησης ήταν καλύτερες από εκείνες που επικρατούσαν στο σημείο αναφοράς.



Εικόνα 74. Σχετική Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΣχΑΘΕ), Σχετική Ημερήσια (ΣχΗμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΣχΝυΘΕ) κατά το καλοκαίρι (κλάση 4).

Οι βέλτιστη τιμή της ΣχΝυΘΕ καταγράφηκε στο κτηριακό αίθριο (p2) και ήταν ίση με 47.6 όταν η αμέσως χαμηλότερη καταγράφηκε στο αλσύλλιο (p6) με 22.4 μονάδες. Οι πιο χαμηλές τιμές της παραμέτρου αυτής καταγράφηκαν στο

δενδροκομείο και στον ανθόκηπο με τιμές 6.9 και 9.9 μονάδες αντίστοιχα, αποδεικνύοντας ότι οι διαμορφώσεις αυτές δεν διαφοροποιούν σημαντικά τη θερμική αίσθηση του ανθρώπου σε σχέση με το σημείο αναφοράς.

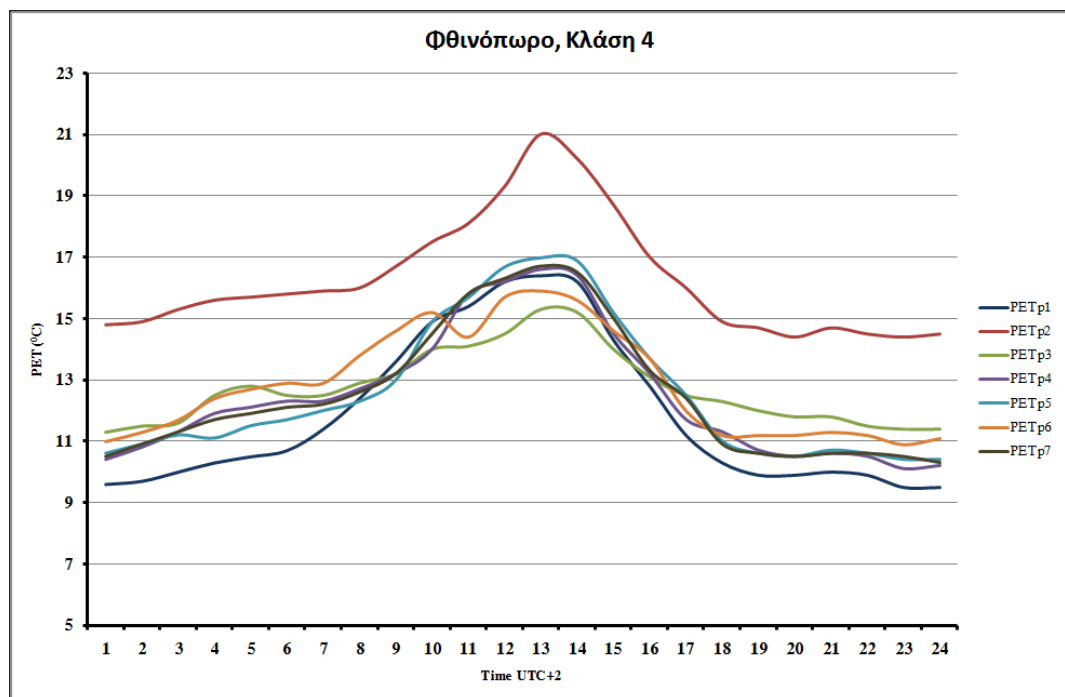
3.4.16. Κλάση 4, Φθινόπωρο

Κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου οι ημέρες κατά τις οποίες δεν σημειώθηκε βροχόπτωση ενώ ταυτόχρονα ανταποκρίνονταν στα κριτήρια της μετεωρολογικής κλάσης 4 ήταν συνολικά 14. Οι μέσες τιμές του PET (Πίν. 27) κατέταξαν την διαμορφούμενη θερμική αίσθηση στην κατηγορία 'Δροσερό' έως 'Ελαφρά Δροσερό'. Η υψηλότερη μέση τιμή καταγράφηκε στο κτηριακό αίθριο (16.2 °C) και η αντίστοιχη χαμηλότερη στο σημείο αναφοράς (11.9 °C). Σε αναλογία με το παραπάνω η μέση μέγιστη τιμή του δείκτη καταγράφηκε και σε αυτή την περίπτωση στο p2 (21.0 °C) όταν η χαμηλότερη μέση μέγιστη υπολογίστηκε στο σημείο αναφοράς (11.9 °C). Η χαμηλότερη μέση ελαχίστη τιμή του δείκτη καταγράφηκε στο σημείο αναφοράς (9.6 °C) και η υψηλότερη στο κτηριακό αίθριο (14.4 °C). Με την παρατήρηση αυτή γίνεται σαφής η σημασία της νυχτερινής ψύξης δια ακτινοβολίας στην διαμόρφωση των βιοκλιματικών συνθηκών ακόμα και κάτω από αυτές τις μετεωρολογικές συνθήκες (*Urmanis et al. 1998; Iziomon et al. 2003; Shashua-Bar and Hoffman 2003*).

Πίνακας 27. Μέσες, μέγιστες, ελάχιστες και εύρος των τιμών του δείκτη PET (°C) για το φθινόπωρο κατά την κλάση 4

	PETp1	PETp2	PETp3	PETp4	PETp5	PETp6	PETp7
Mean	11.9	16.3	12.7	12.5	12.5	12.9	12.5
Max	16.4	21	15.3	16.6	17	15.9	16.7
Min	9.5	14.4	11.3	10.1	10.4	10.9	10.3
Range	6.9	6.6	4	6.5	6.6	5	6.4

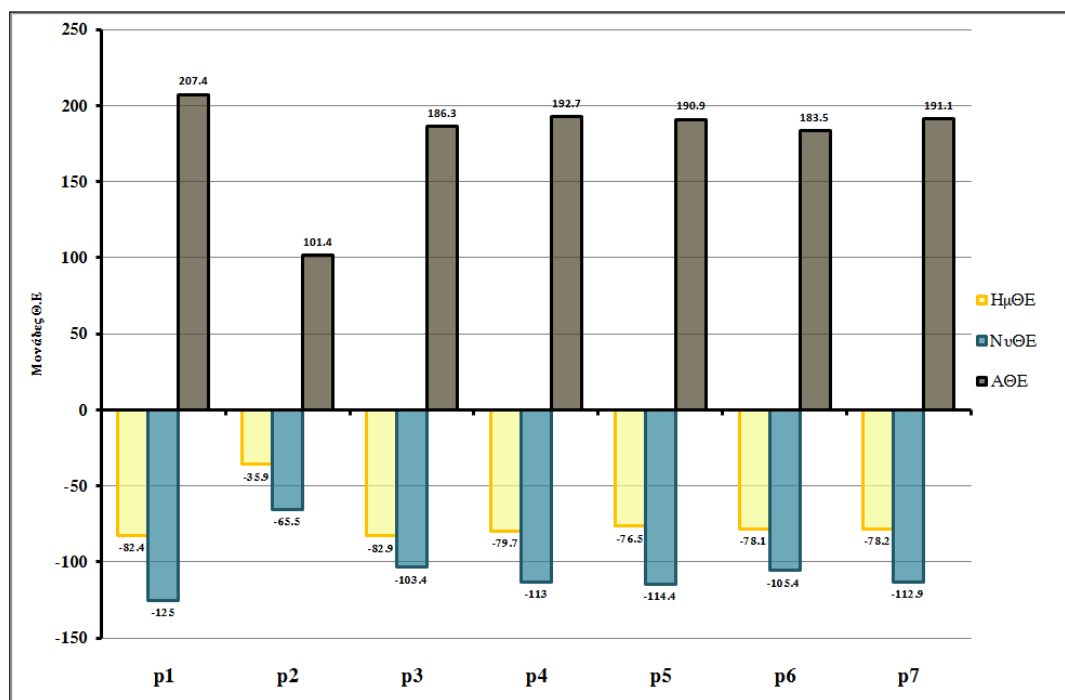
Η πορεία του PET κατά τις συνθήκες της μετεωρολογικής κλάσης 4 παρουσιάζει πολύ μεγάλη ομοιομορφία (Εικ. 75) λόγω της μειωμένης ηλιακής ακτινοβολίας και της αυξημένης ταχύτητας ανέμου. Η μόνη διαμόρφωση η οποία τροποποιεί σημαντικά τις συνθήκες θερμικής αίσθησης είναι αυτή του p2 που καταγράφει υψηλότερες τιμές για όλο το 24ωρο.



Εικόνα 75. Πορεία των τιμών του δείκτη PET σε 24ωρη βάση κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου (κλάση 4) στις διαφορετικές διαμορφώσεις

Η θερμική επιβάρυνση (Εικ. 76) κυμαίνεται σε παρόμοια επίπεδα με αυτά που καταγράφηκαν στις προηγούμενες μετεωρολογικές κλάσεις για την ίδια εποχή. Η υψηλότερη

θερμική επιβάρυνση (ΑΘΕ) υπολογίστηκε στο σημείο αναφοράς (p1) και η χαμηλότερη στο κτηριακό αίθριο με τιμές 207.4 και 101.4 μονάδες αντίστοιχα. Στις υπόλοιπες διαμορφώσεις η ΑΘΕ έλαβε παραπλήσιες τιμές ως αποτέλεσμα της δράσης της υψηλής ταχύτητας ανέμου και της μειωμένης ηλιοφάνειας. Σε όλες τις διαμορφώσεις οι συνθήκες ήταν ψυχρότερες από τις επιθυμητές τόσο κατά τη διάρκεια της νύχτας όσο και κατά τη διάρκεια της ημέρας. Αυτό καταγράφεται τόσο μέσω της παραμέτρου ΗμΘΕ όσο και από την ΝυΘΕ οι οποίες έλαβαν σε κάθε περίπτωση αρνητικές τιμές.

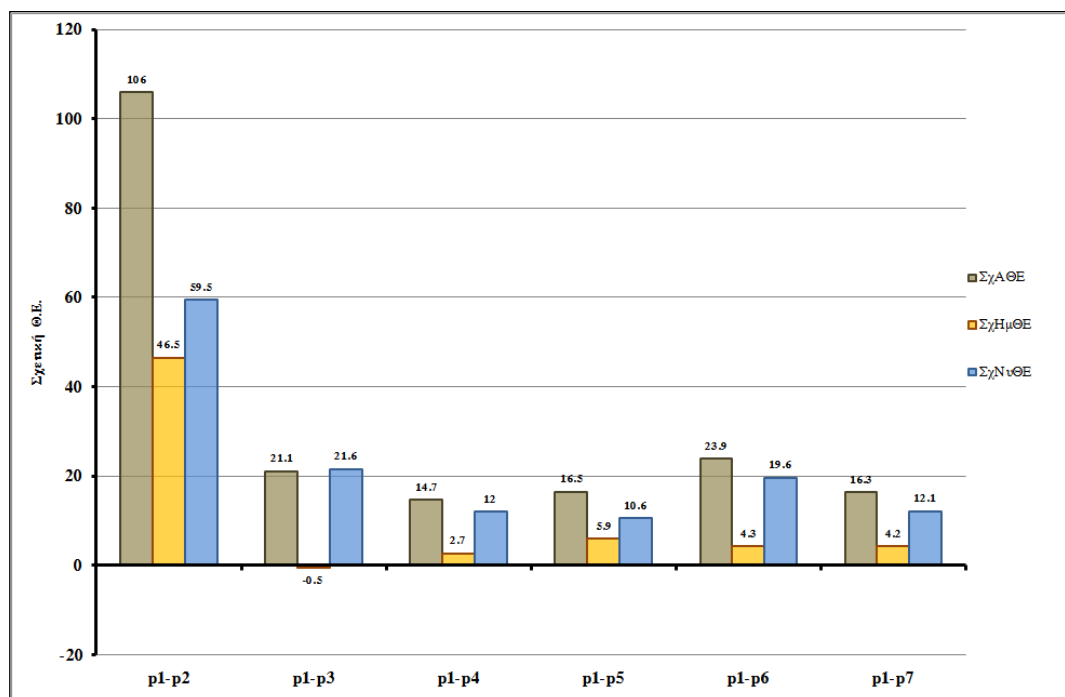


Εικόνα 76. Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΑΘΕ), Ημερήσια Θερμική Επιβάρυνση (ΗμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΝυΘΕ) κατά το φθινόπωρο (κλάση 4).

Πιο συγκεκριμένα, η καλύτερη τιμή της ΗμΘΕ καταγράφηκε στο p2 (-35.9) και η δυσμενέστερη στο p1 (-82.4) ως απόρροια της ανεμπόδιστης πνοής του ανέμου στο σημείο αναφοράς. Κατά αναλογία, τη νύχτα οι καλύτερες συνθήκες (ΝυΘΕ=-65.5) επικράτησαν στο p2 αφού η διαμόρφωση αυτή

εμποδίζει την ψύξη δια ακτινοβολίας και μειώνει σημαντικά την ταχύτητα του αέρα ενώ αντίθετα οι πιο επιβαρυντικές συνθήκες υπολογίστηκαν στο p1 ($Nu_{\theta E} = -125.0$).

Όσον αφορά στην σχετική θερμική επιβάρυνση (Εικ. 77) όλες οι διαμορφώσεις προσέφεραν καλύτερες βιοκλιματικές συνθήκες από αυτές του σημείου αναφοράς. Η ΣχΑΘΕ κατέδειξε τη διαμόρφωση του p2 ως την ικανοποιητικότερη μεταξύ των υπολοίπων με τιμή 106.0 μονάδες όταν η αμέσως χαμηλότερη καταγράφηκε στο αλσύλλιο με μόλις 23.9 μονάδες.



Εικόνα 77. Σχετική Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΣχΑΘΕ), Σχετική Ημερήσια (ΣχΗμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΣχΝυΘΕ) κατά το φθινόπωρο (κλάση 4).

Αντίστοιχα κατά τη διάρκεια της ημέρας η ΣχΗμΘΕ με τιμή 46.5 μονάδες κατέταξε το p2 ως τη διαμόρφωση που επηρεάζει θετικότερα τη θερμική αίσθηση υπό αυτές τις μετεωρολογικές συνθήκες. Η ίδια συμπεριφορά παρουσιάζεται και κατά τη διάρκεια της νύχτας (ΣχΝυΘΕ). Γενικά παρατηρείται ότι οι τιμές των δυο αυτών παραμέτρων είναι κατά 75% χαμηλότερες στις υπόλοιπες διαμορφώσεις σε σχέση με αυτή του κτηριακού

αίθριο, καθιστώντας τη ως την αδιαμφισβήτητα καλύτερη στη δημιουργία των βέλτιστων συνθηκών θερμικής άνεσης του ανθρώπου.

4. Συμπεράσματα

Από την ανάπτυξη της μεθοδολογίας εκτίμησης των βιοκλιματικών συνθηκών υπαίθριων χώρων διαφορετικής διαμόρφωσης περιβάλλοντος προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Ο διαχωρισμός σε μετεωρολογικές κλάσεις επιτρέπει τη διεξαγωγή ασφαλέστερων συγκρίσεων με στόχο την ανάδειξη της βιοκλιματικής λειτουργίας κάθε διαμόρφωσης χώρου σε διαφορετικές αλλά σαφώς καθορισμένες συνθήκες. Επιπρόσθετα, με τον τρόπο αυτό διερευνάται η βιοκλιματική συμπεριφορά των διαμορφώσεων χώρου κάτω από οποιεσδήποτε καιρικές συνθήκες επιθυμεί ο εφαρμόζων τη μέθοδο.
- Η εκτίμηση της κατάστασης του ουρανού μέσω των παραμέτρων της Ολικής Ακτινοβολίας και της Διάρκειας Ηλιοφάνειας απαλλάσσει από την ανάγκη για εξεύρεση δεδομένων νέφωσης, που είναι δυσεύρετα αλλά και ενέχουν συχνά την υποκειμενικότητα του παρατηρητή. Η τεχνική εκτίμησης της ταχύτητας ανέμου, στις διαμορφώσεις χώρου που μελετήθηκαν με τη χρήση του λογισμικού ENVI-met, που αποτελεί υλοποίηση των κλασικών πλέον εξισώσεων της ρευστομηχανικής, έδωσε τη δυνατότητα εξαγωγής μαθηματικών σχέσεων που είναι εξειδικευμένες για κάθε διαμόρφωση χώρου.
- Η αξιοποίηση του λογισμικού RayMan Pro στην εκτίμηση του βιοκλιματικού δείκτη PET επιτάχυνε τη διαδικασία της αξιολόγησης της βιοκλιματικής απόδοσης των μελετώμενων διαμορφώσεων χώρου. Επιπρόσθετα εξυπηρέτησε μέσω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών του (format δεδομένων εισόδου και εξόδου) τη σύνδεση των

διάφορων σταδίων της μεθοδολογίας και έδωσε τη δυνατότητα για ενδιάμεσους ελέγχους της αξιοπιστίας των παραγόμενων αποτελεσμάτων.

- Οι παράμετροι Αθροιστική Θερμική Επιβάρυνση (ΑΘΕ), Ημερήσια Θερμική Επιβάρυνση (ΗμΘΕ) και Νυχτερινή Θερμική Επιβάρυνση (ΝυΘΕ), που επινοήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας διατριβής, είναι εύκολα αντιληπτές και δεν απαιτούν περίπλοκους υπολογισμούς κάτι που επιτρέπει την ευρεία αλλά και γρήγορη εφαρμογή τους. Πρόσθετα η ΗμΘΕ και η ΝυΘΕ λόγω του τρόπου υπολογισμού τους, επιτρέπουν τον καθορισμό της αιτίας της θερμικής επιβάρυνσης (ψυχρότερες ή θερμότερες από τις επιθυμητές συνθήκες) και μέσω της ΑΘΕ γίνεται αξιολόγηση σε 24ωρη βάση. Οι παράμετροι της Σχετικής Θερμικής Αθροιστικής Επιβάρυνσης (ΣχΑΘΕ), της Σχετικής Ημερήσιας Θερμικής Επιβάρυνσης (ΣχΗμΘΕ) και της Σχετικής Νυχτερινής Θερμικής Επιβάρυνσης (ΣχΝυΘΕ) αφαιρώντας την επίδραση των μετεωρολογικών συνθηκών, παρουσιάζουν την 'καθαρή' επίδραση της διαμόρφωσης κάθε υπαίθριου χώρου, πράγμα εξαιρετικά χρήσιμο στην αξιολόγηση τους.

Από την εφαρμογή της μεθοδολογίας στους επιλεγμένους υπαίθριους χώρους του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα που αφορούν στη βιοκλιματική λειτουργία των χώρων αυτών:

- Το κτηριακό (p2) και το φυτικό αίθριο (p3) παρόλο που έχουν παραπλήσια τιμή του SVF συμπεριφέρονται τελείως διαφορετικά όπως έδειξαν οι παράμετροι της θερμικής επιβάρυνσης (ΑΘΕ, ΗμΘΕ και ΝυΘΕ) και της σχετικής

θερμικής επιβάρυνσης (ΣχΑΘΕ, ΣχΗμΘΕ και ΣχΝυΘΕ). Στο p2 καταγράφονται οι υψηλότερες τιμές ΑΘΕ (281.6 έως 232.4 μονάδες) κατά τη θερμή περίοδο του έτους όταν υπάρχει αυξημένη ηλιοφάνεια (κλάση 1 και 2) ενώ στο p3 καταγράφονται αρκετά χαμηλές τιμές (138.2 έως 116.0 μονάδες). Αντίθετα, κατά την ψυχρή περίοδο του έτους το p2 είναι ο χώρος με τις πιο βελτιωμένες συνθήκες (326.3 έως 375.2 μονάδες) ενώ ο χώρος του p3 είναι αυτός που διαμορφώνει τις δυσμενέστερες συνθήκες (417.6 έως 459.6 μονάδες). Τελικά οι δύο αυτές διαμορφώσεις αν και έχουν πολλά κοινά χαρακτηριστικά (τιμή SVF, γεωμετρία και σκίαση) παρουσιάζουν αντιδιαμετρική συμπεριφορά λόγω της διαφορετικής φύσης του κυριάρχου υλικού, που είναι η βλάστηση στο p3 και τα δομικά υλικά στο p2.

- Οι παράμετροι της θερμικής επιβάρυνσης αλλά ιδιαίτερα αυτές της σχετικής θερμικής επιβάρυνσης έδειξαν ότι υπό θερμές συνθήκες και αυξημένη ηλιοφάνεια (καλοκαίρι, κλάση 1 και 2), οι φυτοκαλυμμένες διαμορφώσεις στις οποίες επικρατεί σκίαση κατά τις μεσημβρινές ώρες (p6 και p7), δημιουργούν τις καλύτερες συνθήκες θερμικής αίσθησης σε σχέση με τις υπόλοιπες διαμορφώσεις. Σε κάποιες περιπτώσεις δε, η ΣχΑΘΕ έλαβε τιμές κατά 50% υψηλότερες στις θέσεις p6 και p7 σε σχέση με τις άλλες φυτοκαλυμμένες θέσεις (p3 και p4) που είναι εκτεθειμένες στην ηλιακή ακτινοβολία κατά τις μεσημβρινές ώρες κάτι που καταδεικνύει τη σημασία όχι μόνο της ύπαρξης βλάστησης αλλά και της σωστής διάταξής της στο χώρο.
- Η διαφορά των τιμών των παραμέτρων της θερμικής επιβάρυνσης μεταξύ των διαμορφώσεων χώρου που μελετήθηκαν μειώνεται μεταβαίνοντας από την κλάση 1 στην κλάση 4. Αυτό οφείλεται στο ότι η μείωση των

ποσών της ηλιακής ακτινοβολίας και η αύξηση της ταχύτητας του ανέμου ομογενοποιούν τις βιοκλιματικές συνθήκες μεταξύ των σημείων μελέτης. Ανάλογη μείωση από την κλάση 1 στην 4 παρατηρείται κατά την άνοιξη και το καλοκαίρι (όπως περιγράφεται από την παράμετρο ΣχΗμΘΕ) στις διαμορφώσεις στις οποίες κυρίαρχο υλικό είναι η βλάστηση (p3, p4, p6, και p7). Δηλαδή, η βλάστηση στους υπαίθριους χώρους είναι ιδιαίτερα αποδοτική στη διαμόρφωση ευνοϊκών συνθηκών θερμικής αίσθησης του ανθρώπου σε συνθήκες αυξημένης ηλιοφάνειας και μειωμένης ταχύτητας ανέμου.

- Η φυτοκάλυψη σε θερμές συνθήκες κατά τη διάρκεια της ημέρας δρα βελτιωτικά στη διαμόρφωση της θερμικής άνεσης του ανθρώπου. Η δράση αυτή είναι εντονότερη όταν η βλάστηση προκαλεί εκτεταμένη και παρατεταμένη σκίαση. Αντίθετα, κατά τη διάρκεια της νύχτας τα χαρακτηριστικά αυτά προκαλούν παρεμπόδιση της ψύξης δια ακτινοβολίας με αποτέλεσμα σε θερμές συνθήκες να οδηγούν σε ταπείνωση της θερμικής άνεσης. Η αντίστροφη διαδικασία συμβαίνει κατά την επικράτηση ψυχρών συνθηκών. Επίσης κατά την επικράτηση θερμών συνθηκών, η ιδανικότερη διαμόρφωση όσον αφορά στη βλάστηση είναι αυτή όπου πάνω από τον παρατηρητή (σημείο μετρήσεων) ο χώρος καταλαμβάνεται από φυτοκόμη, εξασφαλίζοντας έτσι σκίαση ενώ ο χώρος πλευρικά του παρατηρητή είναι ελεύθερος για να επιτρέπεται η ευχερής μετακίνηση των αερίων μαζών.
- Οι διαμορφώσεις περιβάλλοντος χώρου, που εμπεριέχουν φυτικό υλικό (p3, p4, p5, p6 και p7) σχεδόν καθ' όλη τη διάρκεια του έτους και σε κάθε μετεωρολογική κλάση βελτίωσαν αποτελεσματικότερα τις συνθήκες θερμικής άνεσης του ανθρώπου σε σχέση με το σημείο αναφοράς

(απουσία βλάστησης) με εξαίρεση τις ώρες της ημέρας κατά τη διάρκεια του χειμώνα ειδικά όταν επικρατεί χαμηλή ταχύτητα ανέμου. Πρόσθετα διαπιστώθηκε ότι στο ίδιο σημείο (p1) κατά το χειμώνα της κλάσης 2 καταγράφηκε η απολύτως υψηλότερη τιμή της ΑΘΕ με 459.8 μονάδες. Δηλαδή ο αδιαμόρφωτος χώρος (p1) υπό ψυχρές συνθήκες και με αυξημένη ταχύτητα ανέμου επιφέρει τη μεγαλύτερη θερμική επιβάρυνση στον άνθρωπο σε 24ωρη βάση. Η μικρότερη θερμική επιβάρυνση αντίστοιχα καταγράφηκε στο αλσύλλιο (p6) κατά την κλάση 3 το καλοκαίρι με 40.6 μονάδες. Ειδικότερα, η διαμόρφωση χώρου που δημιουργήσε τις πιο επιβαρυντικές θερμές συνθήκες είναι το κτηριακό αίθριο (p2), όπου καταγράφηκαν στην ΗμΘΕ 242.2 μονάδες κατά την κλάση 1 το καλοκαίρι και στη ΝυΘΕ 39.4 μονάδες για την ίδια εποχή και κλάση. Αντίθετα, η θέση στην οποία καταγράφηκαν οι πιο επιβαρυντικές ψυχρές συνθήκες κατά την ημέρα ήταν το φυτικό αίθριο (p3) στην κλάση 2 του χειμώνα με -207.2 μονάδες ΗμΘΕ και κατά τη νύχτα το δενδροκομείο (p5) όπου η παράμετρος ΝυΘΕ έλαβε την τιμή -267.9 μονάδες κατά το χειμώνα της κλάσης 1.

- Οι διαμορφώσεις χώρου παρουσιάζουν σημαντική μεταβλητότητα ως προς τις αποδιδόμενες βιοκλιματικές συνθήκες. Για παράδειγμα, η διαμόρφωση του αλσύλλιου είναι η αποτελεσματικότερη όσον αφορά στη θερμική άνεση του ανθρώπου σε σχέση με αυτή του σημείου αναφοράς κατά την άνοιξη της κλάσης 1 (ηλιοφάνεια και χαμηλή ταχύτητα ανέμου) καταγράφοντας 176.1 μονάδες της παραμέτρου ΣχΑΘΕ. Η ίδια όμως διαμόρφωση δημιουργεί και τις συγκριτικά δυσμενέστερες συνθήκες κατά την άνοιξη της κλάσης 3 (αυξημένη νεφοκάλυψη και χαμηλή ταχύτητα ανέμου) όπου έλαβε την τιμή των -54.2 μονάδων στην ίδια παράμετρο. Αυτό καταδεικνύει την αξία της παρουσιαζόμενης μεθοδολογίας αφού η ίδια

διαμόρφωση συμπεριφέρεται αντιδιαμετρικά ακόμα και στην ίδια εποχή αλλά σε διαφορετικές μετεωρολογικές κλάσεις, πράγμα που δεν μπορεί να επισημανθεί με άλλο τρόπο.

- Γενικώς, παρατηρήθηκε ότι ανεξάρτητα από την επικρατούσα μετεωρολογική κλάση και σύμφωνα με την παράμετρο ΣχΑΘΕ προκρίνεται διαφορετική διαμόρφωση ως η βέλτιστη για την παραμονή του ανθρώπου σε κάθε εποχή του έτους. Δηλαδή, κατά το χειμώνα η αποτελεσματικότερη διαμόρφωση είναι αυτή του κτηριακού αίθριου (p2) με συνολικά 348.1 μονάδες ΣχΑΘΕ ενώ κατά τη διάρκεια της άνοιξης η διαμόρφωση που δημιουργήσε τις καλύτερες συνθήκες ήταν το αλσύλλιο (p6) με 159.2 μονάδες. Ακολούθως, κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού η διαμόρφωση με την μικρότερη θερμική επιβάρυνση ήταν αυτή του αλσυλλίου (p6) όπου η ΣχΑΘΕ υπολογίστηκε σε 377.8 μονάδες ενώ όσον αφορά στο φθινόπωρο η διαμόρφωση που είχε τη βέλτιστη βιοκλιματική συμπεριφορά είναι αυτή του κτηριακού αίθριου (233.4 μονάδες). Διαφαίνεται έτσι ότι κάθε υπαίθριος χώρος τροποποιεί τις βιοκλιματικές συνθήκες με διαφορετικό τρόπο ανάλογα με την εποχή του έτους.
- Αντίστοιχη βιοκλιματική μεταβλητότητα παρουσιάζουν οι μελετώμενοι χώροι ανεξάρτητα της εποχής του έτους αλλά υπό διαφορετικές μετεωρολογικές συνθήκες. Δηλαδή, όταν καταγράφονται συνθήκες αυξημένης ηλιοφάνειας και χαμηλής ταχύτητας αέρα (κλάση 1), η διαμόρφωση που προσφέρει την καλύτερη θερμική αίσθηση είναι το αλσύλλιο (p6) στο οποίο υπολογίστηκαν 378.5 μονάδες της παραμέτρου ΣχΑΘΕ. Κατά την επικράτηση συνθηκών αυξημένης ηλιοφάνειας και υψηλότερης ταχύτητας ανέμου (κλάση 2) και πάλι η ίδια διαμόρφωση προκρίνεται για

την πιο άνετη παραμονή του ανθρώπου με 231.8 μονάδες ΣχΑΘΕ. Όσον αφορά όμως σε συνθήκες αυξημένης νέφωσης και χαμηλής ταχύτητας ανέμου (κλάση 3) το κτηριακό αίθριο (p2) είναι η καλύτερη διαμόρφωση αφού η ΣχΑΘΕ υπολογίστηκε συνολικά σε 198.4 μονάδες. Τέλος, όταν επικρατεί αυξημένη νέφωση και ταχύτητα ανέμου (κλάση 4) και πάλι η βέλτιστη διαμόρφωση είναι αυτή του κτηριακού αίθριου (p2) αφού συνολικά υπολογίστηκαν εκεί 306.4 μονάδες της παραμέτρου ΣχΑΘΕ. Πέραν λοιπόν της εποχικής μεταβολής των βιοκλιματικών συνθηκών σε κάθε υπαίθριο χώρο, καταγράφηκε και εξίσου σημαντική μεταβολή ανάλογα με τις επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες.

- Συνοψίζοντας, είναι δύσκολο να δοθεί μονοσήμαντη απάντηση στο ποια είναι η περισσότερο αποδοτική διαμόρφωση υπαίθριου χώρου ως προς τη θερμική αίσθηση του ανθρώπου, αφού μέσω της μεθοδολογίας που αναπτύχθηκε και της εφαρμογής και αξιολόγησής της σε πραγματικές συνθήκες, έγινε προφανές ότι η βιοκλιματική απόδοση τους ποικίλει ανάλογα με τις μετεωρολογικές συνθήκες και την εποχή. Άρα, μια μεθοδολογία όπως αυτή που αναπτύχθηκε στην παρούσα διατριβή μπορεί να αποτυπώσει λεπτομερώς και να αξιολογήσει σε βάθος τη βιοκλιματική συμπεριφορά των υπαίθριων χώρων. Έτσι προσφέρονται τεκμηριωμένα συμπεράσματα σε αυτούς που θέλουν καταρχήν να διερευνήσουν και ακόλουθα να σχεδιάσουν περιβάλλοντα που θα προσφέρουν καλύτερη θερμική αίσθηση στον άνθρωπο ιδιαίτερα ενόψει της διαφαινόμενης κλιματικής αλλαγής που θα επιδεινώσει περαιτέρω το θερμικό περιβάλλον του ανθρώπου με ότι αυτό συνεπάγεται για την ευημερία και την υγεία του.

Αναφορές

Ahmed K. S. (2003). Comfort in urban spaces: defining the boundaries of outdoor thermal comfort for the tropical urban environments. *Energy and Buildings* 35(1): 103-110.

Ajibola K. (2001). Design for comfort in Nigeria -- a bioclimatic approach. *Renewable Energy* 23(1): 57-76.

Akbari H. (1992). *Cooling our communities: A Guidebook on Tree Planting and Light-Colored Surfacing*. Series L. B. Laboratory.

Akbari H., Kurn D. M., Bretz S. E., Hanford J. W. (1997). Peak power and cooling energy savings of shade trees. *Energy and Buildings* 25(2): 139-148.

Akbari H., Pomerantz M., Taha H. (2001). Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. *Solar Energy* 70(3): 295-310.

Akbari H. and Taha H. (1992). The impact of trees and white surfaces on residential heating and cooling energy use in four Canadian cities. *Energy* 17(2): 141-149.

Akinbode O. M., Eludoyin A. O., Fashae O. A. (2008). Temperature and relative humidity distributions in a medium-size administrative town in southwest Nigeria. *Journal of Environmental Management* 87(1): 95-105.

Alcoforado M. J. and Andrade H. (2006). Nocturnal urban heat island in Lisbon (Portugal): main features and modelling attempts. *Theoretical and Applied Climatology* 84(1): 151-159.

Alcoforado M. J., Andrade H., Lopes A., Vasconcelos J. (2009). Application of climatic guidelines to urban planning: The example of Lisbon (Portugal). *Landscape and Urban Planning* 90(1-2): 56-65.

Ali-Toudert F. (2005). *Dependence of Outdoor Thermal Comfort on Street Design in Hot and Dry Climate*. Meteorological Institute. Freiburg. Freiburg University.

Ali-Toudert F., Djenane M., Bensalem R., Mayer H. (2005). *Outdoor thermal*

comfort in the old desert city of Beni-Isguen, Algeria. *Climate Research* 28(3): 243-256.

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(2): 94-108.

Ali-Toudert F. and Mayer H. (2007a). Thermal comfort in an east–west oriented street canyon in Freiburg (Germany) under hot summer conditions. *Theoretical and Applied Climatology* 87(1): 223-237.

Ali-Toudert F. and Mayer H. (2007b). Effects of asymmetry, galleries, overhanging facades and vegetation on thermal comfort in urban street canyons. *Solar Energy* 81(6): 742-754.

Allaby M., Eds. (2007). *Encyclopedia of weather and climate*, Facts on File.

Andrade H. (2003). Microclimatic variations of thermal comfort in a Lisbon city district. 5th international conference on urban climate. Lodz, Poland.

Andrade H. and Alcoforado M. J. (2008). Microclimatic variation of thermal comfort in a district of Lisbon (Telheiras) at night. *Theoretical and Applied Climatology* 92(3): 225-237.

Angouridakis V. and Makrogiannis T. (1982). The Discomfort-Index in Thessaloniki, Greece. *International Journal of Biometeorology* 26(1): 53-59.

Arnfield A. J. (2003). Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *International Journal of Climatology* 23(1): 1-26.

Asaeda T., Ca V. T., Wake A. (1996). Heat storage of pavement and its effect on the lower atmosphere. *Atmospheric Environment* 30(3): 413-427.

Asawa T., Hoyano A., Nakaohkubo K. (2008). Thermal design tool for outdoor spaces based on heat balance simulation using a 3D-CAD system. *Building and Environment* 43(12): 2112-2123.

Assimakopoulos M., Mihalakakou G., Flocas H. (2007). Simulating the thermal behaviour of a building during summer period in the urban environment. *Renewable Energy* 32(11): 1805-1816.

- Atmaca I. and Yigit A. (2006). Predicting the effect of relative humidity on skin temperature and skin wettedness. *Journal of Thermal Biology* 31(5): 442-452.
- Avissar R. (1996). Potential effects of vegetation on the urban thermal environment. *Atmospheric Environment* 30(3): 437-448.
- 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(1-3): 481-488.
- Barradas V. L., Tejeda-Martvnez A., Jáuregui E. (1999). Energy balance measurements in a suburban vegetated area in Mexico City. *Atmospheric Environment* 33(24-25): 4109-4113.
- Barring L., Mattsson J. O., Lindqvist S. (1985). Canyon geometry, street temperatures and urban heat island in Malmo, sweden. *International Journal of Climatology* 5(4): 433-444.
- Bernatzky A. (1982). The contribution of tress and green spaces to a town climate. *Energy and Buildings* 5(1): 1-10.
- Beshir M. and Ramsey J. D. (1988). Heat stress indices: A review paper. *International Journal of Industrial Ergonomics* 3(2): 89-102.
- Bisanti L., Cadum E., Costa G., Michelozzi P., Perucci C., Russo C. (2004). 2003 heat waves and mortality in Italy. *Epidemiology* 15: 97.
- Blazejczyk K. (1994). Changes of skin temperature and body heat content in fluctuating outdoor climate. 6th International Conference on Environmental Ergonomics. J. Frim, Ducharme, M. and Tikuissi, P. Montebello, Canada.
- Blennow K. (1998). Modelling minimum air temperature in partially and clear felled forests. *Agricultural and Forest Meteorology* 91(3-4): 223-235.
- Blennow K. and Persson P. (1998). Modelling local-scale frost variations using mobile temperature measurements with a GIS. *Agricultural and Forest Meteorology* 89(1): 59-71.
- Bligh J. (1985). Regulation of body temperature in man and other mammals, in A. Shitzer and R. C. Eberhart (Eds), *Heat Transfer in Medicine and Biology – analysis and applications*. New York Plenum Press.

Bourbia F. and Awbi H. B. (2004). Building cluster and shading in urban canyon for hot dry climate: Part 1: Air and surface temperature measurements. *Renewable Energy* 29(2): 249-262.

Bouyer J., Vinet J., Delpech P., Carri S. (2007). Thermal comfort assessment in semi-outdoor environments: Application to comfort study in stadia. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 95(9-11): 963-976.

Bradley A., Thornes J., Chapman L. (2001). A method to assess the variation of urban canyon geometry from sky view factor transects. *Atmospheric Science Letters* 2(1-4): 155-165.

Brown R. and Gillespie T. (1995). *Microclimatic landscape design* John Wiley & Sons, Inc.

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(3-4): 373-384.

Ca V., Asaeda T., Abu E. (1998). Reductions in air conditioning energy caused by a nearby park. *Energy and Buildings* 29(1): 83-92.

Chagnon S. (1981). *Metromex: A review and summary*. Series Meteorological Monographs.

Chapman L., Thornes J. E., Andrew E., Bradley V. (2001). Modelling of road surface temperature from a geographical parameter database. Part 1: Statistical. *Meteorological Applications* 8(4): 409-419.

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.

Charalampopoulos I., Kiokakis L., Chronopoulou – Sereli A., Kanavou N. (2006). Bioclimatic performance of several sites which differ on their green coverage in Athens, Greece. 6th International Conference on Urban Climate Göteborg, Sweden.

Chato J. (1985). Measurement of thermal properties of biological materials, in A Shitzer and R Eberhart, *Heat Transfer in Medicine and Biology – Analysis and Applications*. New York Plenum Press.

Chronopoulou - Sereli A., Charalampopoulos I., Tsiros I. (2004). The role of urban park configuration in their bioclimatic behavior. 7th Panhellenic (international) conference of meteorology, climatology and atmospheric physics. Nicosia, Cyprus.

Clarke J. F. (1972). Some effects of the urban structure on heat mortality. *Environmental Research* 5(1): 93-104.

Clarke J. F. and Bach W. (1971). Comparison of the comfort conditions in different urban and suburban microenvironments. *International Journal of Biometeorology* 15(1): 41-54.

Collins K. (1983). *Hypothermia - The facts*. OxfordOxford University press.

Conti S., Meli P., Minelli G., Solimini R., Toccaceli V., Vichi M., Beltrano C., Perini L. (2005). Epidemiologic study of mortality during the Summer 2003 heat wave in Italy. *Environmental Research* 98(3): 390-399.

Davis R. E., Knappenberger P. C., Novicoff W. M., Michaels P. J. (2003). Decadal changes in summer mortality in U.S. cities. *International Journal of Biometeorology* 47(3): 166-175.

de Dear R. J. (1990). Diurnal and seasonal variations in the human thermal climate of Singapore. *Singapore Journal of Tropical Geography* 10(1): 13-26.

de Freitas C., Scott D., McBoyle G. (2008). A second generation climate index for tourism (CIT): specification and verification. *International Journal of Biometeorology* 52(5): 399-407.

De Ridder K., Adamec V., Bapuelos A., Bruse M., Bórger M., Damsgaard O., Dufek J., Hirsch J., Lefebre F., Pérez-Lacorzana J. M., Thierry A., Weber C. (2004). An integrated methodology to assess the benefits of urban green space. *Science of The Total Environment* 334-335: 489-497.

Detwyler R. and Melvin M. (1972). *Urbanization and environment*. Belmont CaliforniaDuxbury Press.

Dimoudi A. and Nikolopoulou M. (2003). Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits. *Energy and Buildings* 35(1): 69-76.

Donovan G. H. and Butry D. T. (2009). The value of shade: Estimating the effect of urban trees on summertime electricity use. *Energy and Buildings* 41(6): 662-668.

Doulos L., Santamouris M., Livada I. (2004). Passive cooling of outdoor urban spaces. The role of materials. *Solar Energy* 77(2): 231-249.

Eliasson I. (1990). Urban Geometry, surface temperature and air temperature. *Energy and Buildings* 15: 141-145.

Eliasson I. (1992). Infrared thermography and urban temperature patterns. *International Journal of Remote Sensing* 13(5): 869 - 879.

Eliasson I. (1996). Urban nocturnal temperatures, street geometry and land use. *Atmospheric Environment* 30(3): 379-392.

Eliasson I. (2000). The use of climate knowledge in urban planning. *Landscape and Urban Planning* 48(1-2): 31-44.

Eliasson I., Offerle B., Grimmond C. S. B., Lindqvist S. (2006). Wind fields and turbulence statistics in an urban street canyon. *Atmospheric Environment* 40(1): 1-16.

Eliasson I. and Upmanis H. (2000). Nocturnal Airflow from Urban Parks- Implications for City Ventilation. *Theoretical and Applied Climatology* 66(1): 95-107.

Elnahas M. M. and Williamson T. J. (1997). An improvement of the CTTC model for predicting urban air temperatures. *Energy and Buildings* 25(1): 41-49.

Emmanuel R. (2005). Thermal comfort implications of urbanization in a warm-humid city: the Colombo Metropolitan Region (CMR), Sri Lanka. *Building and Environment* 40(12): 1591-1601.

Emmanuel R. and Erik J. (2006). Influence of urban morphology and sea breeze on hot humid microclimate: the case of Colombo, Sri Lanka. *Climate Research* 30(3): 189-200.

Emmanuel R., Rosenlund H., Johansson E. (2007). Urban shading - a design option for the tropics? A study in Colombo, Sri Lanka. *International Journal of Climatology* 27(14): 1995-2004.

Endalew A., Hertog M., Gebrehiwot M., Baelmans M., Ramon H., Nicolao B.

M., Verboven P. (2009). Modelling airflow within model plant canopies using an integrated approach. *Computers and Electronics in Agriculture* 66(1): 9-24.

Fanger P. (1972). *Thermal Comfort*. New York McGraw Hill.

Fanger P. O., Højbjerg J., Thomsen J. O. B. (1974). Thermal comfort conditions in the morning and in the evening. *International Journal of Biometeorology* 18(1): 16-22.

Finnigan J., Edward A., Kiyoko M. (2007). *The turbulent Wind in Plant and Forest Canopies*. Plant Disturbance Ecology. Burlington. Academic Press: 15-58.

Gaitani N., Mihalakakou G., Santamouris M. (2007). On the use of bioclimatic architecture principles in order to improve thermal comfort conditions in outdoor spaces. *Building and Environment* 42(1): 317-324.

Gedzelman S. D., Austin S., Cermak R., Stefano N., Partridge S., Quesenberry S., Robinson D. A. (2003). Mesoscale aspects of the Urban Heat Island around New York City. *Theoretical and Applied Climatology* 75(1): 29-42.

Geiger R., Aron R., Todhunder P. (2003). *The climate near the ground*. Maryland USA Rowman & Littlefield Publishers INC.

Giles B. and Balafoutis C. (1990). The Greek heatwaves of 1987 and 1988. *International Journal of Climatology* 10(5): 505-517.

Giles B., Balafoutis C., Maheras P. (1990). Too hot for comfort: The heatwaves in Greece in 1987 and 1988. *International Journal of Biometeorology* 34(2): 98-104.

Giridharan R., Lau S. S. Y., Ganesan S., Givoni B. (2007). Urban design factors influencing heat island intensity in high-rise high-density environments of Hong Kong. *Building and Environment* 42(10): 3669-3684.

Givoni B. (1998). *Climate considerations in buildings and urban design*. New York John Wiley & Sons.

Goh K. C. and Chang C. H. (1999). The relationship between height to width ratios and the heat island intensity at 22:00 h for Singapore. *International Journal of Climatology* 19(9): 1011-1023.

Gomez F., Gaja E., Reig A. (1998). *Vegetation and climatic changes in a city*.

Ecological Engineering 10(4): 355-360.

Gonzalez R. R., Nishi Y., Gagge A. P. (1974). Experimental evaluation of standard effective temperature a new biometeorological index of man's thermal discomfort. *International Journal of Biometeorology* 18(1): 1-15.

Gornitz V., Eds. (2009). *Encyclopedia of paleoclimatology and ancient environment*, Springer.

Grimmond C. S. B. (2006). Progress in measuring and observing the urban atmosphere. *Theoretical and Applied Climatology* 84(1): 3-22.

Grimmond C. S. B., Potter S. K., Zutter H. N., Souch C. (2001). Rapid methods to estimate sky-view factors applied to urban areas. *International Journal of Climatology* 21(7): 903-913.

Gulyas A., Unger J., Balazs B., Matzarakis A. (2003). Analysis of the bioclimatic conditions within different surface structures in a medium – sized city (Szeged, Hungary). *Acta Climatologica* (36-37): 37-44.

Gulyas A., Unger J., Matzarakis A. (2006). Assessment of the microclimatic and human comfort conditions in a complex urban environment: Modelling and measurements. *Building and Environment* 41(12): 1713-1722.

Hansel H. (1981). *Thermoreception and Temperature Regulation*. London Academic Press.

Hartz D., Brazel A., Heisler G. (2006). A case study in resort climatology of Phoenix, Arizona, USA. *International Journal of Biometeorology* 51(1): 73-83.

Henry J. A. and Dicks S. E. (1987). Association of urban temperatures with land use and surface materials. *Landscape and Urban Planning* 14: 21-29.

Herbert J. M. and Herbert R. D. (2002). Simulation of the effects of canyon geometry on thermal climate in city canyons. *Mathematics and Computers in Simulation* 59(1-3): 243-253.

Hiraoka H. (1993). Modelling of turbulent flows within plant/urban canopies. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 46-47: 173-182.

Hodder S. and Parsons K. (2007). The effects of solar radiation on thermal comfort. *International Journal of Biometeorology* 51(3): 233-250.

Holmer B., Postgård U., Eriksson M. (2001). Sky view factors in forest canopies calculated with IDRISI. *Theoretical and Applied Climatology* 68(1): 33-40.

Höppe P. (1984). *Die Energiebilanz des Menschen*. Wiss. Mitt. Meteor. München. Univ. München 49.

Höppe P. (1991). Improving indoor thermal comfort by changing outdoor conditions. *Energy and Buildings* 16(1-2): 743-747.

Höppe P. (1999). The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *International Journal of Biometeorology* 43(2): 71-75.

Höppe P. R. (1993). Heat balance modelling. *Experientia* 49(9): 741-746.

Horbert M., Kirchgeorg A., Chronopoulou – Sereli A., Chronopoulos J. (1988). Impact of green on the urban atmosphere in Athens. *Scientific Series of the International Bureau*. Series Berlin

Huang L., Li J., Zhao D., Zhu J. (2008). A fieldwork study on the diurnal changes of urban microclimate in four types of ground cover and urban heat island of Nanjing, China. *Building and Environment* 43(1): 7-17.

Huggett R. and Cheesman J. (2002). *Topography and the Environment* Prentice Hall, Pearson Education.

Hunt J. C. R., Poulton E. C., Mumford J. C. (1976). The effects of wind on people; New criteria based on wind tunnel experiments. *Building and Environment* 11(1): 15-28.

ISO (1993). *Moderate thermal environments - determination of the PMV and PPD indices and specification on the conditions for thermal comfort*. DIS 7730. Series Geneva.

Iziomon M. G., Mayer H., Matzarakis A. (2003). Downward atmospheric longwave irradiance under clear and cloudy skies: Measurement and parameterization. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 65(10): 1107-1116.

Iziomon M. G., Mayer H., Wicke W., Matzarakis A. (2001). Radiation balance over low-lying and mountainous areas in south-west Germany. *Theoretical and*

Applied Climatology 68(3): 219-231.

Jansson C., Jansson P. E., Gustafsson D. (2007). Near surface climate in an urban vegetated park and its surroundings. *Theoretical and Applied Climatology* 89(3): 185-193.

Jauregui E. (1997). The last Ms for 40th anniversary issue. *Aspects of urban human biometeorology. International Journal of Biometeorology* 40(1): 58-61.

Jáuregui E. and Soto C. (1967). Wet-bulb temperature and discomfort index areal distribution in Mexico. *International Journal of Biometeorology* 11(1): 21-28.

Jedritzky G. (1990). Bioklimatische bewertungsgrundlage der räume am beispiel von mesoskaligen Bioklimakarten. *ARL Beiträge* 114: 7-69.

Jendritzky G. and Nübler W. (1981). A model analysing the urban thermal environment in physiologically significant terms. *Meteorology and Atmospheric Physics* 29(4): 313-326.

Johansson E. (2006). Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot dry climate: A study in Fez, Morocco. *Building and Environment* 41(10): 1326-1338.

Johansson E. and Emmanuel R. (2006). The influence of urban design on outdoor thermal comfort in the hot, humid city of Colombo, Sri Lanka. *International Journal of Biometeorology* 51(2): 119-133.

Johnson D. B. (1985). Urban modification of diurnal temperature cycles in birmingham, U.K. *International Journal of Climatology* 5(2): 221-225.

Jones H. (1992). *Plants and microclimate* Cambridge University Press.

Jonsson P. (2004). Vegetation as an urban climate control in the subtropical city of Gaborone, Botswana. *International Journal of Climatology* 24(10): 1307-1322.

Kawashima S. (1990). Effect of vegetation on surface temperature in urban and suburban areas in winter. *Energy and Buildings* 15(3-4): 465-469.

Kiese O. (1972). Bestandmeteorologische untersuchungen zur bestimmung wahrmehaushaltes eines buchenwaldes. *Ber. Inst. Meteorol. Klimatol. der Techn. Univ. Hannover* No 6.

Kimball B. A. (1985). Cooling performance and efficiency of night sky radiators. *Solar Energy* 34(1): 19-33.

Klysik K. and Fortuniak K. (1999). Temporal and spatial characteristics of the urban heat island of Łódź, Poland. *Atmospheric Environment* 33(24-25): 3885-3895.

Kolokotroni M., Giannitsaris I., Watkins R. (2006). The effect of the London urban heat island on building summer cooling demand and night ventilation strategies. *Solar Energy* 80(4): 383-392.

Lafortezza R., Carrus G., Sanesi G., Davies C. (2009). Benefits and well-being perceived by people visiting green spaces in periods of heat stress. *Urban Forestry & Urban Greening* 8(2): 97-108.

Lagouarde J.-P., Moreau P., Irvine M., Bonnefond J.-M., Voogt J. A., Sollic F. (2004). Airborne experimental measurements of the angular variations in surface temperature over urban areas: case study of Marseille (France). *Remote Sensing of Environment* 93(4): 443-462.

Landsberg H. (1970). *Climates and urban planning*. Geneva, Technical paper WMO.

Landsberg H. (1981). *The urban climate*. New York Academic Press.

Liang L., Xiaofeng L., Borong L., Yingxin Z. (2006). Improved k- ϵ two-equation turbulence model for canopy flow. *Atmospheric Environment* 40(4): 762-770.

Lin B., Li X., Zhu Y., Qin Y. (2008). Numerical simulation studies of the different vegetation patterns' effects on outdoor pedestrian thermal comfort. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 96(10-11): 1707-1718.

Lin T.-P. (2009). Thermal perception, adaptation and attendance in a public square in hot and humid regions. *Building and Environment* 44(10): 2017-2026.

Lin T.-P. and Matzarakis A. (2008). Tourism climate and thermal comfort in Sun Moon Lake, Taiwan. *International Journal of Biometeorology* 52(4): 281-290.

Liu J., Chen J. M., Black T. A., Novak M. D. (1996). E- ϵ modelling of turbulent air flow downwind of a model forest edge. *Boundary-Layer Meteorology* 77(1):

21-44.

Livada I., Santamouris M., Niachou K., Papanikolaou N., Mihalakakou G. (2002). Determination of places in the great Athens area where the heat island effect is observed. *Theoretical and Applied Climatology* 71(3): 219-230.

Lowry W. (1969). *Weather and life. An introduction to Biometeorology* Academic Press.

Luc V., Martine R., Florian R. (2005). Assessing public health risk due to extremely high temperature events: climate and social parameters. *Climate Research* 30(1): 71-78.

Madsen T., Olsen B., Reid K. (1992). New methods for evaluation of the thermal environment in automotive vehicles. *ASHRAE Trans* 92(1): 70-72.

Magee N., Curtis J., Wendler G. (1999). The Urban Heat Island Effect at Fairbanks, Alaska. *Theoretical and Applied Climatology* 64(1): 39-47.

Mäkinen T., Raatikka V.-P., Rytönen M., Jokelainen J., Rintamäki H., Ruuhela R., Näyhä S., Hassi J. (2006). Factors affecting outdoor exposure in winter: population-based study. *International Journal of Biometeorology* 51(1): 27-36.

Masmoudi S. and Mazouz S. (2004). Relation of geometry, vegetation and thermal comfort around buildings in urban settings, the case of hot arid regions. *Energy and Buildings* 36(7): 710-719.

Matzarakis A. (2001). Die thermische Komponente des Stadtklimas. *Berichte des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg*. Universität Freiburg.

Matzarakis A., De Rocco M., Najjar G. (2009). Thermal bioclimate in Strasbourg - the 2003 heat wave. *Theoretical and Applied Climatology* 98(3): 209-220.

Matzarakis A., De Rocco M., Najjar G. (in Press). Thermal bioclimate in Strasbourg - the 2003 heat wave. *Theoretical and Applied Climatology*.

Matzarakis A. and Mayer H. (1991). The extreme heat wave in Athens in July 1987 from the point of view of human biometeorology. *Atmospheric Environment. Part B. Urban Atmosphere* 25(2): 203-211.

Matzarakis A. and Mayer H. (1997). Heat stress in Greece. *International Journal of Biometeorology* 41(1): 34-39.

Matzarakis A. and Mayer H. (2000). Atmospheric conditions and human thermal comfort in urban areas. 11th Seminar on Environmental Protection „Environment and Health“. Thessaloniki, Greece: 155-166.

Matzarakis A., Mayer H., Iziomon M. G. (1999). Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. *International Journal of Biometeorology* 43(2): 76-84.

Matzarakis A., Rutz F., Mayer H. (2006). Modelling the thermal bioclimate in urban areas with the RayMan Model. The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture. Geneva, Switzerland.

Matzarakis A., Rutz F., Mayer H. (2007). Modelling radiation fluxes in simple and complex environments—application of the RayMan model. *International Journal of Biometeorology* 51(4): 323-334.

Mayer H. (1993). Urban bioclimatology. *Cellular and Molecular Life Sciences* 49(11): 957-963.

Mayer H., Holst J., Dostal P., Imbery F., Schindler D. (2008). Human thermal comfort in summer within an urban street canyon in Central Europe. *Meteorologische Zeitschrift* 17: 241-250.

McIntyre D. (1980). *Indoor climate*. London Applied Science.

Mertens E. (1999). Bioclimate and city planning - open space planning. *Atmospheric Environment* 33(24-25): 4115-4123.

Metje N., Sterling M., Baker J. (2008). Pedestrian comfort using clothing values and body temperatures. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 96(4): 412-435.

Mihalakakou G., Santamouris M., Asimakopoulos D., Papanikolaou N. (1994). Impact of ground cover on the efficiencies of earth-to-air heat exchangers. *Applied Energy* 48(1): 19-32.

Mihalakakou G., Santamouris M., Papanikolaou N., Cartalis C., Tsangrassoulis A. (2004). Simulation of the Urban Heat Island Phenomenon in Mediterranean Climates. *Pure and Applied Geophysics* 161(2): 429-451.

Mills G. (1997). The radiative effects of building groups on single structures.

Energy and Buildings 25(1): 51-61.

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(10-11): 1498-1527.

Mochida A., Murakami S., Ojima T., Kim S., Ooka R., Sugiyama H. (1997). CFD analysis of mesoscale climate in the Greater Tokyo area. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 67-68: 459-477.

Mochida A., Tabata Y., Iwata T., Yoshino H. (2008). Examining tree canopy models for CFD prediction of wind environment at pedestrian level. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 96(10-11): 1667-1677.

Muhammad I. (1983). *An introduction to solar radiation* Academic Press.

Nagara K., Shimoda Y., Mizuno M. (1996). Evaluation of the thermal environment in an outdoor pedestrian space. *Atmospheric Environment* 30(3): 497-505.

Nastos P. and Matzarakis A. (2006). Weather impacts on respiratory infections in Athens, Greece. *International Journal of Biometeorology* 50(6): 358-369.

Nastos P. and Matzarakis A. (2008a). Human-Biometeorological Effects on Sleep Disturbances in Athens, Greece: A Preliminary Evaluation. *Indoor and Built Environment* 17(6): 535-542.

Nastos P. and Matzarakis A. (2008b). Variability of tropical days over Greece within the second half of the twentieth century. *Theoretical and Applied Climatology* 93(1): 75-89.

Nielsen B. (1990). Solar heat load: heat balance during exercise in clothed subjects. *European Journal of Applied Physiology* 60(6): 452-456.

Nielsen B., Kassow K., Aschengreen F. (1988). Heat balance during exercise in the sun. *European Journal of Applied Physiology* 58(1): 189-196.

Offerle B., Grimmond C. S. B., Fortuniak K., Kłysik K., Oke T. R. (2006). Temporal variations in heat fluxes over a central European city centre. *Theoretical and Applied Climatology* 84(1): 103-115.

Oke T. R. (1981a). *The boundary layer climates*. London Routledge.

Oke T. R. (1981b). Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: Comparison of scale model and field observations. *International Journal of Climatology* 1(3): 237-254.

Oke T. R. (2004a). Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. Series W. M. Organisation. Geneva

Oke T. R. (2004b). Siting and exposure of meteorological instruments at urban sites. Series 27th NATO/CCMS International Technical Meeting on Air Pollution Modelling and its Application, Banff, 25-29 October, 2004.

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(1): 69-84.

Oliver J., Eds. (2005). *Encyclopedia of world climatology*, Springer.

Papadopoulou N., Tountas Y., Sypsa V., Katsouyanni K., Analitis A., Kassomenos P. (2009). Effect of south winds on daily mortality in Athens. *Climate Research* 38(3): 193-198.

Parsons K. (1993). *Human thermal environments*. London Taylor & Francis.

Pearlmutter D., Bitan A., Berliner P. (1999). Microclimatic analysis of "compact" urban canyons in an arid zone. *Atmospheric Environment* 33(24-25): 4143-4150.

Penas P. (1984). A study on the discomfort index on the islands of Mediterranean Sea. *Meteorology and Atmospheric Physics* 34(4): 365-373.

Pennas P. (1984). A study on the discomfort index on the islands of Mediterranean Sea. *Meteorology and Atmospheric Physics* 34(4): 365-373.

Persson P. (1997). Differential nocturnal cooling in the landscape detected by mobile measurements. *Theoretical and Applied Climatology* 56: 215-224.

Picot X. (2004). Thermal comfort in urban spaces: impact of vegetation growth: Case study: Piazza della Scienza, Milan, Italy. *Energy and Buildings* 36(4): 329-334.

Potchter O., Cohen P., Bitan A. (2006). Climatic behavior of various urban parks during hot and humid summer in the mediterranean city of Tel Aviv, Israel.

International Journal of Climatology 26(12): 1695-1711.

Potchter O., Goldman D., Kadish D., Iluz D. (2008). The oasis effect in an extremely hot and arid climate: The case of southern Israel. *Journal of Arid Environments* 72(9): 1721-1733.

Priyadarsini R., Hien W. N., Wai David C. K. (2008). Microclimatic modeling of the urban thermal environment of Singapore to mitigate urban heat island. *Solar Energy* 82(8): 727-745.

Rainham D. G. C. and Smoyer-Tomic K. E. (2003). The role of air pollution in the relationship between a heat stress index and human mortality in Toronto. *Environmental Research* 93(1): 9-19.

Rizzo G., Beccali M., Nucara A., Cutler J. C. (2004). Thermal Comfort. *Encyclopedia of Energy*. New York. Elsevier: 55-64.

Rohles F. and Wallis S. (1979). Comfort criteria for air conditioned automotive vehicles, SAE, Technical Paper Series.

Rubinstein M., Ganor E., Ohring G. (1980). Areal distribution of the discomfort index in Israel. *International Journal of Biometeorology* 24(4): 315-322.

Sad de Assis E. and Barros Frota A. (1999). Urban bioclimatic design strategies for a tropical city. *Atmospheric Environment* 33(24-25): 4135-4142.

Sailor D. J. and Fan H. (2002). Modeling the diurnal variability of effective albedo for cities. *Atmospheric Environment* 36(4): 713-725.

Saitoh T., Shimada T., Hoshi H. (1996). Modeling and simulation of the Tokyo urban heat island. *Atmospheric Environment* 30(20): 3431-3442.

Samaali M., Courault D., Bruse M., Olioso A., Ocelli R. (2007). Analysis of a 3D boundary layer model at local scale: Validation on soybean surface radiative measurements. *Atmospheric Research* 85(2): 183-198.

Santamouris M., Papanikolaou N., Livada I., Koronakis I., Georgakis C., Argiriou A., Assimakopoulos D. N. (2001). On the impact of urban climate on the energy consumption of buildings. *Solar Energy* 70(3): 201-216.

Sanz C. (2003). A Note on $k - \epsilon$ Modelling of Vegetation Canopy Air-Flows. *Boundary-Layer Meteorology* 108(1): 191-197.

Scott D., Simpson J., McPherson E. (1999). Effects of tree cover on parking lot microclimate and vehicle emissions. *Journal of Arboriculture* 25(3): 129-142.

Shashua-Bar L. and Hoffman M. (2002). The Green CTTC model for predicting the air temperature in small urban wooded sites. *Building and Environment* 37(12): 1279-1288.

Shashua-Bar L. and Hoffman M. E. (2003). Geometry and orientation aspects in passive cooling of canyon streets with trees. *Energy and Buildings* 35(1): 61-68.

Shashua-Bar L., Potchter O., Bitan A., Boltansky D., Yaakov Y. (2009). Microclimate modelling of street tree species effects within the varied urban morphology in the Mediterranean city of Tel Aviv, Israel. *International Journal of Climatology*: n/a.

Small C. (2006). Comparative analysis of urban reflectance and surface temperature. *Remote Sensing of Environment* 104(2): 168-189.

Solecki W. D., Rosenzweig C., Parshall L., Pope G., Clark M., Cox J., Wiencke M. (2005). Mitigation of the heat island effect in urban New Jersey. *Global Environmental Change Part B: Environmental Hazards* 6(1): 39-49.

Soligo M. J., Irwin P. A., Williams C. J., Schuyler G. D. (1998). A comprehensive assessment of pedestrian comfort including thermal effects. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 77-78: 753-766.

Spagnolo J. and de Dear R. (2003). A field study of thermal comfort in outdoor and semi-outdoor environments in subtropical Sydney Australia. *Building and Environment* 38(5): 721-738.

Spronken-Smith R. A. and Oke T. R. (1999). Scale Modelling of Nocturnal Cooling in Urban Parks. *Boundary-Layer Meteorology* 93(2): 287-312.

Stathopoulos T., Wu H., Zacharias J. (2004). Outdoor human comfort in an urban climate. *Building and Environment* 39(3): 297-305.

Streiling S. and Matzarakis A. (2003). Influence of single and small clusters of trees on the bioclimate of a city: A case study. *Journal of Arboriculture* 29(6): 309-316.

Stull R. (2000). *Meteorology for Scientists and Engineers* Brooks/Cole.

- Svensson M. K. and Eliasson I. (2002). Diurnal air temperatures in built-up areas in relation to urban planning. *Landscape and Urban Planning* 61(1): 37-54.
- Svensson U. and Höggkvist K. (1990). A two-equation turbulence model for canopy flows. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 35(1-3): 201-211.
- Swaid H., Bar-El M., Hoffman M. E. (1993). A bioclimatic design methodology for urban outdoor spaces. *Theoretical and Applied Climatology* 48(1): 49-61.
- Tablada A., De Troyer F., Blocken B., Carmeliet J., Verschure H. (2009). On natural ventilation and thermal comfort in compact urban environments - the Old Havana case. *Building and Environment* 44(9): 1943-1958.
- Taesler R. (1991). The bioclimate in temperate and northern cities. *International Journal of Biometeorology* 35(3): 161-168.
- Tang U. W. and Wang Z. S. (2007). Influences of urban forms on traffic-induced noise and air pollution: Results from a modelling system. *Environmental Modelling & Software* 22(12): 1750-1764.
- Teller J. and Azar S. (2001). Townscope II--A computer system to support solar access decision-making. *Solar Energy* 70(3): 187-200.
- Terjung W. H. and O'Rourke P. A. (1981). Relative influence of vegetation on urban energy budgets and surface temperatures. *Boundary-Layer Meteorology* 21(2): 255-263.
- Thom E. (1959). The discomfort index. *Weatherwise* 12(57-59).
- Thorsson S., Fredrik L., Ingegard E., Bjorn H. (2007a). Different methods for estimating the mean radiant temperature in an outdoor urban setting. *International Journal of Climatology* 27(14): 1983-1993.
- Thorsson S., Honjo T., Lindberg F., Eliasson I., Lim E.-M. (2007b). Thermal Comfort and Outdoor Activity in Japanese Urban Public Places. *Environment and Behavior* 39(5): 660-684.
- Thorsson S., Lindqvist M., Lindqvist S. (2004). Thermal bioclimatic conditions and patterns of behaviour in an urban park in Göteborg, Sweden. *International Journal of Biometeorology* 48(3): 149-156.

Toftum J., Jørgensen A. S., Fanger P. O. (1998). Upper limits for indoor air humidity to avoid uncomfortably humid skin. *Energy and Buildings* 28(1): 1-13.

Toy S., Yilmaz S., Yilmaz H. (2007). Determination of bioclimatic comfort in three different land uses in the city of Erzurum, Turkey. *Building and Environment* 42(3): 1315-1318.

Tuller S. (1980). Effects of a moderate sized city on human thermal bioclimate during clear winter nights. *International Journal of Biometeorology* 24(1): 97-106.

Tuller S. E. (1975). The energy budget of man: Variations with aspect in a downtown urban environment. *International Journal of Biometeorology* 19(1): 2-13.

Tuller S. E. (1997). Climatic controls of the cool human thermal sensation in a summertime onshore wind. *International Journal of Biometeorology* 41(1): 26-33.

Unger J. (1999). Urban-rural air humidity differences in Szeged, Hungary. *International Journal of Climatology* 19(13): 1509-1515.

Unger J. (2004). Intra-urban relationship between surface geometry and urban heat island: review and new approach. *Climate Research* 27(3): 253-264.

Uno I., Ueda H., Wakamatsu S. (1989). Numerical modeling of the nocturnal urban boundary layer. *Boundary-Layer Meteorology* 49(1): 77-98.

Upmanis H., Eliasson I., Lindqvist S. (1998). The influence of green areas on nocturnal temperatures in a high latitude city (Goteborg, Sweden). *International Journal of Climatology* 18(6): 681-700.

VDI (1994). VDI 3789, Part 2, Environmental Meteorology, Interactions between Atmosphere and Surfaces. Calculation of Short-wave and Long-wave Radiation

VDI (1998). VDI guideline 3787. Part 2. 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., Dravitzki V., Donn M. (2007). The relative influence of wind, sunlight and temperature on user comfort in urban outdoor spaces. *Building*

and Environment 42(9): 3166-3175.

WHO (2003). Climate Change and Human Health - Risks and Responses SUMMARY. Series W. H. Organization. Geneva Switzerland

Wilmers F. (1988). Green for melioration of urban climate. Energy and Buildings 11(1-3): 289-299.

WMO (1954). Meteorological Monographs, Recent studies in Bioclimatology. Series Boston

WMO (2004). Guidelines on Biometeorology and Air Quality forecasts. TD 1184. Series Geneva

Wong N. and Jusuf S. (2008). GIS-based greenery evaluation on campus master plan. Landscape and Urban Planning 84(2): 166-182.

Wong N. H., Kardinal Jusuf S., Aung La Win A., Kyaw Thu H., Syatia Negara T., Xuchao W. (2007). Environmental study of the impact of greenery in an institutional campus in the tropics. Building and Environment 42(8): 2949-2970.

Yamashita K., Matsuo J., Tochiara Y., Kondo Y., Takayama S., Nagayama H. (2005). Thermal Sensation and Comfort during Exposure to Local Airflow to Face or Legs. Journal of PHYSIOLOGICAL ANTHROPOLOGY and Applied Human Science 24(1): 61-66.

Yamashita S., Sekine K., Shoda M., Yamashita K., Hara Y. (1986). On relationships between heat island and sky view factor in the cities of Tama River basin, Japan. Atmospheric Environment (1967) 20(4): 681-686.

Yokohari M., Brown R. D., Kato Y., Yamamoto S. (2001). The cooling effect of paddy fields on summertime air temperature in residential Tokyo, Japan. Landscape and Urban Planning 53(1-4): 17-27.

Yu C. and Hien W. N. (2006). Thermal benefits of city parks. Energy and Buildings 38(2): 105-120.

Zauli Sajani S., Tibaldi S., Scotto F., Lauriola P. (2008). Bioclimatic characterisation of an urban area: a case study in Bologna (Italy). International Journal of Biometeorology 52(8): 779-785.

Ματζαράκης Α. (1995). Ανθρωποβιομετεωρολογική εκτίμηση του κλίματος της Ελλάδος. Θεσσαλονίκη Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο

Χαραλαμπόπουλος Ι. (2006). Εκτίμηση Βιομετεωρολογικών δεικτών σε φυτοκαλυμμένους και μη χώρους. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Χρονοπούλου-Σερέλη Α. and Ουζιέλ Μ. (1997). Μαθήματα Βιοκλιματολογίας Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Χρονοπούλου-Σερέλη Α., Χαραλαμπόπουλος, Ι., Τσίρος, Ι. (2005). Ο ρόλος της διαμόρφωσης των αστικών πάρκων στη βιοκλιματική τους απόδοση. 7^ο Πανελλήνιο (Διεθνές) Συνέδριο Μετεωρολογίας, Κλιματολογίας και Φυσικής της Ατμόσφαιρας. Λευκωσία, Κύπρος: 937-942.