



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ - ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ

**ΘΕΡΜΙΚΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ ΣΤΟ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΣΩΜΑ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΗ ΆΝΕΣΗ:
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΣΕ ΘΕΡΜΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΓΕΩΡΓΙΟΣ Ι. ΚΑΤΑΒΟΥΤΑΣ

ΦΥΣΙΚΟΣ

ΑΘΗΝΑ 2011

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**ΘΕΡΜΙΚΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ ΣΤΟ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΣΩΜΑ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΗ ΆΝΕΣΗ:
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΣΕ ΘΕΡΜΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ**

ΓΕΩΡΓΙΟΣ Ι. ΚΑΤΑΒΟΥΤΑΣ

(200512)

ΥΠΟΒΛΗΘΗΚΕ ΣΤΟ ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΑΘΗΝΑ 2011

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

Επιβλέπων

Γ. Θεοχαράτος, Αναπ. Καθηγητής Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών

Μέλη

Δ. Ασημακόπουλος, Καθηγητής Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών

Ε. Φλόκα, Επίκ. Καθηγήτρια Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών

Επταμελής Εξεταστική Επιτροπή

Δ. Ασημακόπουλος, Καθηγητής Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών

Μ. Σανταμούρης, Καθηγητής Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών

Α. Χρονοπούλου – Σερέλη, Καθηγήτρια Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών

Γ. Θεοχαράτος, Αναπ. Καθηγητής Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών

Κ. Ιακωβίδης, Αναπ. Καθηγητής Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών

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

Ε. Φλόκα, Επίκ. Καθηγήτρια Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διδακτορική διατριβή, η οποία πραγματεύεται τη θερμική ισορροπία στο ανθρώπινο σώμα και τη θερμική άνεση σε ένα θερμό περιβάλλον, εκπονήθηκε στον Τομέα Φυσικής Περιβάλλοντος και Μετεωρολογίας του Τμήματος Φυσικής του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών και υποστηρίχθηκε οικονομικά από τον Ειδικό Λογαριασμό Κονδυλίων Έρευνας του Ε.Κ.Π.Α.

Νιώθω ότι οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον Αν. Καθηγητή του Τμήματος Φυσικής του Ε.Κ.Π.Α κ. Γεώργιο Θεοχαράτο υπό την επίβλεψη του οποίου ολοκληρώθηκε η παρούσα διατριβή. Η γνώση και η εμπειρία του υπήρξαν πηγή έμπνευσης για εμένα ενώ η καθοδήγηση και η στήριξη του σε κάθε βήμα της προσπάθειας αυτής συνέβαλαν με τον καθοριστικότερο τρόπο στην ολοκλήρωση της.

Θα ήθελα επίσης να εκφράσω θερμές ευχαριστίες στον Καθηγητή του Τμήματος Φυσικής του Ε.Κ.Π.Α κ. Δημοσθένη Ασημακόπουλο και στην Επ. Καθηγήτρια του Τμήματος Φυσικής του Ε.Κ.Π.Α κα. Έλενα Φλόκα για τις εύστοχες παρατηρήσεις τους, τις πολύτιμες συμβουλές τους και για την έμπρακτη και αμέριστη υποστήριξη τους.

Τις θερμές ευχαριστίες μου θα ήθελα να εκφράσω στον Αν. Καθηγητή του Τμήματος Φυσικής του Ε.Κ.Π.Α κ. Κωνσταντίνο Ιακωβίδη για τις εύστοχες παρατηρήσεις του και την άμεση ανταπόκριση κάθε φορά που χρειαζόμουν τη βοήθεια του, καθώς και στον Επιστημονικό Συνεργάτη του Τμήματος Φυσικής του Ε.Κ.Π.Α κ. Νικόλαο Καλτσουνίδη για την τεχνική υποστήριξη.

Ευχαριστώ επίσης θερμά το Διευθυντή της Α΄ Παθολογικής Κλινικής του 417 Νοσηλευτικού Ιδρύματος Μ.Τ.Σ κ. Γεώργιο Γιαννακό για την επιστημονική βοήθεια και τον υλικοτεχνικό εξοπλισμό που μου παρείχε.

Επιθυμώ ακόμα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή Henry Gong και την ερευνητική του ομάδα από το Τμήμα Ιατρικής του Rancho Los Amigos Medical Center στο Downey της California για την παραχώρηση δεδομένων και την άψογη συνεργασία μας.

Επίσης, οφείλω να ευχαριστήσω τα υπόλοιπα μέλη της επταμελούς επιτροπής, την Καθηγήτρια του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών κα. Αικατερίνη Χρονοπούλου, τον Καθηγητή του Τμήματος Φυσικής του Ε.Κ.Π.Α κ. Ματθαίο

Σανταμούρη και τον Αν. Καθηγητή του Τμήματος Γεωλογίας του Ε.Κ.Π.Α κ. Παναγιώτη Νάστο για τις εύστοχες παρατηρήσεις και συμβουλές τους.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τους φίλους και συνεργάτες τη Δρ. Μαρία Χατζάκη και την υποψήφια διδάκτωρ Κατερίνα Πανταβού για την άριστη συνεργασία μας όλα αυτά τα χρόνια και τις εποικοδομητικές συζητήσεις μας εντός και εκτός του εργαστηρίου, καθώς και τους καλούς μου φίλους, τον Μερκούρη, τον Παύλο, τον Μάριο, τον Δημήτρη, οι οποίοι ήταν πάντα δίπλα μου και με στήριζαν σε όλες τις δύσκολες στιγμές.

Τέλος, οφείλω τουλάχιστον ένα πολύ μεγάλο και θερμό ευχαριστώ στη μητέρα μου Βαρβάρα και στον αδερφό μου Νίκο καθώς και στη σύντροφο της ζωής μου Ελένη για την αμέριστη συμπαράσταση τους, οι οποίοι με αγάπη και υπομονή ήταν πάντα δίπλα μου στην προσπάθεια αυτή.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διδακτορική διατριβή πραγματεύεται τη θερμική ισορροπία στο ανθρώπινο σώμα και τη θερμική άνεση σε ένα θερμό εξωτερικό περιβάλλον, διαφοροποιώντας το βαθμό προσαρμογής, την έκθεση στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία καθώς και το επίπεδο της δραστηριότητας σε διάφορα θερμοκρασιακά επίπεδα, ενώ παράλληλα διερευνάται η πιθανή επίδραση ενός αέριου ρυπαντή, όπως είναι το όζον (O_3), σε όρους του θερμικού ισοζυγίου του ανθρώπου.

Η μελέτη της θερμικής άνεσης αποτελεί ένα ιδιαίτερα ενδιαφέρον και πολύπλοκο θέμα της βιομετεωρολογίας του ανθρώπου διότι πρέπει να συμπεριλάβει τόσο τις σχετικές συνιστώσες των μετεωρολογικών παραμέτρων όσο και τις ανθρώπινες λειτουργίες, μέσω των οποίων ο ανθρώπινος οργανισμός αντιδρά και προσαρμόζεται συνεχώς στο εκάστοτε εξωτερικό περιβάλλον.

Η διερεύνηση της θερμικής ισορροπίας στο ανθρώπινο σώμα και της θερμικής άνεσης πραγματοποιήθηκε μέσω δυο πειραματικών διαδικασιών οι οποίες έλαβαν χώρα τον Ιούλιο του 2007 και 2008 στην Πανεπιστημιούπολη του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών για επιλεγμένες ομάδες ατόμων στο πεδίο. Η μελέτη βασίστηκε σε συνεχή καταγραφή των θερμοφυσιολογικών παραμέτρων των επιλεγμένων ομάδων μελέτης καθώς και σε συνεχή καταγραφή των μετεωρολογικών παραμέτρων στην περιοχή μελέτης, στην κλίμακα του λεπτού.

Η πρώτη πειραματική διαδικασία αφορούσε στη μελέτη των θερμοφυσιολογικών παραμέτρων, των ροών από και προς το ανθρώπινο σώμα και του φορτίου του θερμορυθμιστικού συστήματος του ανθρώπου λόγω της έντασης των διαδικασιών προσαρμογής μέσω του δείκτη Θερμικού Φορτίου (Heat Load index) όταν δεν προηγείται προσαρμογή της επιλεγμένης ομάδας μελέτης με υψηλό επίπεδο δραστηριότητα σε ένα έντονα θερμό περιβάλλον. Επιπλέον, διερευνήθηκε η συνεισφορά των θερμοφυσιολογικών παραμέτρων στη διαμόρφωση των ροών του θερμικού ισοζυγίου και στον υπολογισμό ενός θερμοφυσιολογικού δείκτη μέσω των πειραματικών και θεωρητικών τιμών της μέσης θερμοκρασίας δέρματος και της παραγωγής θερμότητας από τον μεταβολισμό. Από την μελέτη των παραπάνω παραμέτρων προέκυψε ότι η μέση θερμοκρασία δέρματος και η παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό αποτελούν σημαντικές παραμέτρους του θερμικού ισοζυγίου. Επιπρόσθετα, βρέθηκε ότι η υπόθεση της σταθερής παραγωγής θερμότητας από το μεταβολισμό με κριτήριο μια επιλεγμένη δραστηριότητα δεν συνάδει με τις πραγματικές συνθήκες και πραγματοποιείται στο πλαίσιο της απλοποίησης των υπολογισμών, ενώ η διαφορά της πειραματικής από τη θεωρητική μέση θερμοκρασία δέρματος υπέδειξε την αδυναμία του μοντέλου να την προσδιορίσει μέσω μια εμπειρικής εξίσωσης, ιδιαίτερα για μη προσαρμοσμένους οργανισμούς.

Η δεύτερη πειραματική διαδικασία επικεντρώθηκε στα θερμοκρασιακά επίπεδα από 27 °C έως 39 °C κατά τη διάρκεια διαδοχικών πειραματικών φάσεων για την επιλεγμένη ομάδα μελέτης, αρχικά υπό σκιά με χαμηλά επίπεδα δραστηριότητας, στη συνέχεια με έκθεση στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία και υψηλά επίπεδα δραστηριότητας και τέλος υπό σκιά με χαμηλή δραστηριότητα. Η μελέτη των θερμοφυσιολογικών παραμέτρων υπέδειξε διαφορετικά επίπεδα τιμών, αποτέλεσμα το οποίο σχετίζεται όχι μόνο με το ατμοσφαιρικό περιβάλλον αλλά και με το επίπεδο της δραστηριότητας, με το χρόνο έκθεσης σε κάθε φάση, με το πεδίο ακτινοβολίας καθώς και με την προηγούμενη θερμική κατάσταση του σώματος. Παράλληλα, η

προσομοίωση των ροών μέσω του Man-ENvironment heat EXchange model (MENEX) βάσει των πειραματικών τιμών της μέσης θερμοκρασίας δέρματος και της παραγωγής θερμότητας από το μεταβολισμό υπέδειξε ότι ακόμη και για συγκεκριμένη δραστηριότητα στο ίδιο θερμικό περιβάλλον, το πλεόνασμα ή η απώλεια θερμότητας μέσω της ακτινοβολίας, της μεταφοράς, της εξάτμισης και της αναπνοής δύναται να διαφέρει μεταξύ υγιών ατόμων καθώς και μεταξύ των φάσεων.

Τέλος, έγινε διερεύνηση της πιθανής επίδρασης ενός αέριου ρυπαντή όπως είναι το όζον σε όρους του θερμικού ισοζυγίου του ανθρώπου μέσω των μεταβολών που παρατηρούνται άμεσα σε παραμέτρους της φυσιολογίας. Χρησιμοποιήθηκαν πρωτογενή πειραματικά δεδομένα φυσιολογίας τα οποία παραχωρήθηκαν για μια σειρά ελεγχόμενων πειραμάτων σε δυο ομάδες εθελοντών, υγιών και υπερτασικών, κατά τη διάρκεια ανάπαυσης και άσκησης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό για τα υγιή άτομα κυμάνθηκε σε υψηλότερα επίπεδα κατά την έκθεση σε όζον, τόσο κατά τη φάση της ανάπαυσης, όσο και κατά τη φάση της άσκησης, με τις ανωμαλίες να είναι στατιστικά σημαντικές, ενώ οι όροι της αναπνοής κατά την έκθεση σε όζον παρουσίασαν στατιστικά σημαντική ανωμαλία μόνο κατά τη διάρκεια της άσκησης για τους υπερτασικούς.

Λέξεις Κλειδιά: Θερμική άνεση, Εξίσωση θερμικού ισοζυγίου, Θερμική επιβάρυνση, Ροές θερμότητας από και προς το ανθρώπινο σώμα, Βιομετεωρολογία

ABSTRACT

The current thesis deals with the study of heat balance in the human body and thermal comfort in a warm outdoor environment, changing the degree of adaptation, the exposure to direct radiation field and the activity level for different air temperatures. The possibility of ozone (O₃) effect in terms of heat balance equation in human body is investigated as well.

The study of thermal comfort is a very interesting and complex issue of human biometeorology, because it has to comprise both the relevant components of meteorological parameters as well as thermophysiological mechanisms that regulate the continuous reaction and adaptation of the human body to the current outdoor environment.

Two experimental processes took place at the Athens University Campus during July 2007 and July 2008 in order to investigate thermal comfort and thermal balance in the human body for selected individual subjects. The study was based on the continuous recording of appropriate thermophysiological and meteorological parameters, for each individual subject in the study area, at intervals of one minute.

The first experimental process involved the study of the thermophysiological parameters, the thermal exchanges between human body and the environment as well as the load of thermoregulatory system due to intensity of adaptation processes through Heat Load index for a non-acclimated study group of individual subjects with high activity level in an extremely hot environment. Furthermore, the contribution of thermophysiological parameters to the heat fluxes pattern as well as to the thermophysiological index was investigated according to the experimental and theoretical values of mean skin temperature and metabolic heat production. Studying the aforementioned parameters, it was found that mean skin temperature and metabolic heat production are important factors in the heat balance equation. The course of metabolic heat production was found to vary in the range of one minute, so the assumption of constant metabolic heat production due to standard activity do not coincide with actual practice and accomplish in order to simplify the calculations. Moreover, the discrepancy between experimental and theoretical mean skin temperature revealed the inability of the model to determine it through an empirical equation, especially for non-acclimatized organisms.

The second experimental process focused on air temperature levels between 27 °C and 39 °C during successive experimental phases for the selected individual subjects, initially under the shade with low activity level, then exposed to solar radiation with high activity level and finally under the shade with low activity level. The study of the thermophysiological parameters revealed different temporal patterns which are associated not only with atmospheric environment but also with activity level, time of exposure in each experimental phase, exposure under different radiation field and previous thermal state of the human body. Moreover, the simulation of heat fluxes through Man-ENvironment heat EXchange model (MENEX) according to the experimental measurements of mean skin temperature and metabolic heat production showed that even for standard activity in the same thermal environment, heat gains or losses by radiation, convection, evaporation and respiration can differ between healthy individuals as well as between experimental phases.

Finally, the potential impact of a gaseous pollutant such as ozone in terms of heat balance equation in human body through the acute changes in physiological

parameters was investigated. Primary physiological experimental data were used, which were granted in a series of controlled experiments in two groups of volunteers, healthy and hypertensive, during rest and exercise. The results indicated higher metabolic heat production during exposure to ozone for healthy individuals in both phases, with statistically significant anomalies, while the respiration heat fluxes revealed statistically significant anomalies only for the hypertensive subjects during exercise.

Keywords: Thermal comfort, Heat balance equation, Heat stress, Heat fluxes from and to the human body, Biometeorology

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<i>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</i>	3
<i>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</i>	5
<i>ABSTRACT</i>	7
<i>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</i>	9
<i>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ</i>	13
<i>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ</i>	19
2.1 Ομοίωση και θερμορυθμιστικοί μηχανισμοί	19
2.2 Προσαρμογή και εγκλιματισμός	21
2.3 Θερμική άνεση, αίσθηση, επιβάρυνση και ένταση	22
2.4 Δείκτες θερμικής άνεσης	24
2.5 Μοντέλα και εξίσωση θερμικού ισοζυγίου.....	26
2.6 Τάσεις και προβλήματα στην εκτίμηση της θερμικής άνεσης στο εξωτερικό περιβάλλον	30
<i>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ</i>	35
3.1 Εισαγωγή	35
3.2 Πειραματικός σχεδιασμός	36
3.2.1 Επιλογή πειραματικών περιόδων	36
3.2.2 Πειραματική θέση	38
3.2.3 Επιλογή ατόμων	39
3.2.4 Επιλογή ενδυμασίας.....	40
3.3 Περιγραφή πειραματικής διαδικασίας Α.....	41
3.4 Περιγραφή πειραματικής διαδικασίας Β	43
3.5 Πειραματικός εξοπλισμός.....	44
3.5.1 Όργανο πολλαπλών αισθητήρων SenseWear Pro II Armband	44
3.5.2 Λογισμικό InnerView Research Professional 5.1	46
3.5.3 Αισθητήρες και όργανα Μετεωρολογικού Σταθμού Πανεπιστημίου Αθηνών (Μ.Σ.Π.Α)	48
3.5.4 Αισθητήρες και όργανα Κινητού Μετεωρολογικού Σταθμού (Κ.Μ.Σ)	49
3.5.5 Συλλογή και αποθήκευση δεδομένων από το τοπικό δίκτυο αισθητήρων του Μ.Σ.Π.Α και του Κ.Μ.Σ.....	50
3.5.6 Λογισμικό υποστήριξης και επικοινωνίας PC208W και PC200W	52
3.5.7 Μετρούμενες μεταβλητές	52
<i>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ ΑΝΕΥ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΎΞΑΡΣΗΣ</i>	55
4.1 Εισαγωγή	55
4.2 Στοιχεία Θεωρίας	56
4.3 Δεδομένα-Μεθοδολογία	71
4.4 Μετεωρολογικές συνθήκες	74
4.5 Μελέτη των πεδίων των θερμοφυσιολογικών παραμέτρων	74

4.5.1 Θερμοκρασία δέρματος	75
4.5.2 Παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό	77
4.5.3 Ροή θερμότητας.....	79
4.5.4 Γαλβανική αντίδραση δέρματος	81
4.6 Αποτελέσματα της πειραματικής και θεωρητικής προσέγγισης του θερμικού	
ισοζυγίου	83
4.6.1 Τυρβώδης ανταλλαγή αισθητής θερμότητας	83
4.6.2 Απώλεια θερμότητας μέσω αναπνοής.....	84
4.6.3 Ροή μέσω της μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία	86
4.6.4 Απορροφούμενη ηλιακή ακτινοβολία.....	87
4.6.5 Τυρβώδης ανταλλαγή λανθάνουσας θερμότητας.....	88
4.6.6 Καθαρή αποθηκευόμενη θερμότητα	89
4.7 Θερμοφυσιολογικός δείκτης.....	90
4.8 Σύνοψη και Συμπεράσματα.....	92
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ ΜΕ ΉΠΙΑ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΈΝΑ	
ΜΕΤΡΙΑ ΈΩΣ ΠΟΛΥ ΘΕΡΜΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ.....	95
5.1 Εισαγωγή	95
5.2 Στοιχεία Θεωρίας.....	96
5.3 Δεδομένα-Μεθοδολογία	99
5.4 Μετεωρολογικές συνθήκες.....	103
5.5 Μελέτη των πεδίων των θερμοφυσιολογικών παραμέτρων	105
5.5.1 Θερμοκρασία δέρματος	105
5.5.2 Παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό	111
5.5.3 Ροή θερμότητας.....	113
5.5.4 Γαλβανική αντίδραση δέρματος	115
5.6 Ροές θερμότητας από και προς το ανθρώπινο σώμα	117
5.6.1 Τυρβώδης ανταλλαγή αισθητής θερμότητας	117
5.6.2 Απώλεια θερμότητας μέσω αναπνοής.....	121
5.6.3 Ισοζύγιο ακτινοβολιών στον άνθρωπο.....	123
5.6.4 Τυρβώδης ανταλλαγή λανθάνουσας θερμότητας.....	126
5.6.5 Καθαρή αποθηκευόμενη θερμότητα	131
5.7 Θερμοφυσιολογικοί δείκτες.....	135
5.7.1 Δείκτης Θερμικού Φορτίου.....	135
5.7.2 Δείκτης Απώλειας Ύδατος.....	140
5.8 Σύνοψη και Συμπεράσματα.....	142
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ ΜΕ ΉΠΙΑ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΈΝΑ ΉΠΙΑ	
ΘΕΡΜΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ.....	147
6.1 Εισαγωγή	147
6.2 Δεδομένα-Μεθοδολογία	147
6.3 Μετεωρολογικές συνθήκες.....	151
6.4 Μελέτη των πεδίων των θερμοφυσιολογικών παραμέτρων	153
6.4.1 Θερμοκρασία δέρματος	153
6.4.2 Παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό	164
6.4.3 Ροή θερμότητας.....	166
6.4.4 Γαλβανική αντίδραση δέρματος	169
6.5 Ροές θερμότητας από και προς το ανθρώπινο σώμα	173

6.5.1 Τυρβώδης ανταλλαγή αισθητής θερμότητας	173
6.5.2 Απώλεια θερμότητας μέσω αναπνοής.....	176
6.5.3 Ισοζύγιο ακτινοβολιών στον άνθρωπο	178
6.5.4 Τυρβώδης ανταλλαγή λανθάνουσας θερμότητας.....	180
6.5.5 Καθαρή αποθηκευόμενη θερμότητα	183
6.6 Θερμοφυσιολογικοί δείκτες.....	187
6.6.1 Δείκτης Θερμικού Φορτίου.....	187
6.6.2 Δείκτης Απώλειας Ύδατος.....	195
6.7 Σύνοψη και Συμπεράσματα.....	197
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ ΣΕ ΌΡΟΥΣ ΤΟΥ ΘΕΡΜΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΤΟΥ	
ΑΝΘΡΩΠΟΥ.....	203
7.1 Εισαγωγή	203
7.2 Πειραματική διαδικασία	204
7.2.1 Επιλογή ατόμων	204
7.2.2 Περιγραφή πειραματικής διαδικασίας	206
7.2.3 Πειραματικές συνθήκες	206
7.3 Πειραματικά δεδομένα	206
7.4 Μεθοδολογία.....	207
7.5 Επίδραση όζοντος στην παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό	211
7.6 Επίδραση όζοντος στη λανθάνουσα απώλεια θερμότητας από την αναπνοή	215
7.7 Επίδραση όζοντος στη ξηρή απώλεια θερμότητας από την αναπνοή.....	218
7.8 Σύνοψη και Συμπεράσματα.....	221
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	223
ΛΙΣΤΑ ΑΡΧΙΚΩΝ ΣΥΜΒΟΛΩΝ.....	233
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	237
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	239
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	245

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μελέτη της θερμικής άνεσης αποτελεί ένα ιδιαίτερα ενδιαφέρον και πολύπλοκο θέμα της βιομετεωρολογίας του ανθρώπου. Σε αντίθεση με το εσωτερικό περιβάλλον όπου πολλές μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί και η εκτίμηση της είναι καλά τεκμηριωμένη (π.χ Fanger 1972; Givoni 1976; Brager and de Dear 1998; ASHRAE 2001; Fergus 2003), στο εξωτερικό περιβάλλον ο αριθμός αντίστοιχων μελετών είναι σχετικά μικρός. Το γεγονός αυτό οφείλεται κυρίως στο ότι οι άνθρωποι στις ανεπτυγμένες χώρες, από όπου και προέρχονται οι περισσότερες μελέτες, περνούν περισσότερο από το 90% του χρόνου τους στο εσωτερικό περιβάλλον (Höppe 2002; Spagnolo and de Dear 2003). Παρόλα αυτά την τελευταία δεκαετία, εξαιτίας των κλιματικών αλλαγών και της αυξανόμενης θερμικής επιβάρυνσης στις πόλεις, έχει αυξηθεί το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας για τη μελέτη της θερμικής άνεσης στο εξωτερικό περιβάλλον (Honjo 2009).

Ο ορισμός της θερμικής άνεσης (thermal comfort), επί της αρχής, δύναται να δοθεί μέσω τριών διαφορετικών προσεγγίσεων: μιας ψυχολογικής, μιας θερμοφυσιολογικής και μιας βασισμένης στην θερμική ισορροπία του ανθρώπινου σώματος (Höppe 2002). Η American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE 1997, 2001) δίνοντας έμφαση στην υποκειμενική και ψυχολογική διάσταση περιγράφει τη θερμική άνεση ως την κατάσταση του μυαλού όπου εκφράζει ικανοποίηση με το θερμικό περιβάλλον. Ο θερμοφυσιολογικός ορισμός της άνεσης σχετίζεται με την ενεργοποίηση των θερμοϋποδοχών στο δέρμα και στον υποθάλαμο. Σε αυτή τη βάση, άνεση είναι ο ελάχιστος ρυθμός νευρικού σήματος από τους θερμοϋποδοχείς (Mayer 1993). Τέλος, σύμφωνα με τον ενεργητικό ορισμό η άνεση πραγματοποιείται όταν οι ροές από και προς το ανθρώπινο σώμα βρίσκονται σε ισορροπία και η θερμοκρασία δέρματος καθώς και ο ρυθμός εφίδρωσης εντοπίζονται στα όρια της άνεσης (Fanger 1972).

Στις αρχές του 20^{ου} αιώνα ο Haldane (1905) είναι πιθανόν ο πρώτος που πρότεινε τη θερμοκρασία του υγρού θερμομέτρου (wet-bulb temperature) ως την καταλληλότερη μέτρηση για να εκφράσει τη θερμική καταπόνηση. Την αμέσως επόμενη περίοδο αναπτύχθηκαν δείκτες άνεσης οι οποίοι περιορίζονταν στον υπολογισμό του συνδυαζόμενου αποτελέσματος ορισμένων από τις σχετιζόμενες μετεωρολογικές παραμέτρους (Yaglou 1927; Dufton 1929; Thom 1959; Steadman

1971; Steadman 1979). Το 1932 ο Büttner αναγνώρισε ότι για την εκτίμηση της θερμικής επίδρασης του περιβάλλοντος στο ανθρώπινο σώμα πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν η συνδυασμένη επίδραση όλων των θερμικών παραμέτρων, δημοσιεύοντας ένα μοντέλο υπολογισμού της θερμικής ισορροπίας του ανθρώπινου σώματος (Büttner 1932, 1938). Την περίοδο αυτή τέθηκαν οι βάσεις για τον προσδιορισμό των ροών θερμότητας από και προς το ανθρώπινο σώμα βάσει των νόμων της φυσικής. Παρ' όλα αυτά η μη αναλυτική γνώση της θερμοφυσιολογίας του ανθρώπου και η έλλειψη υπολογιστών καθυστέρησαν την εφαρμογή των μοντέλων θερμικής ισορροπίας στην βιομετεωρολογία του ανθρώπου. Στις αρχές τις δεκαετίας του '70 ο Fanger δημοσιεύει ένα από τα πρώτα και πολύ δημοφιλή μοντέλα θερμικής ισορροπίας του ανθρώπινου σώματος, με στόχο τη δημιουργία ενός θερμικά άνετου εσωτερικού περιβάλλοντος (Fanger 1972). Οι Jendritzky et al. (1979, 1990) παραμετροποιώντας τις ροές ακτινοβολίας στο εξωτερικό περιβάλλον οδήγησαν στην εφαρμογή του μοντέλου του Fanger στο εξωτερικό περιβάλλον, γνωστό ως Klima Michel model.

Σε αντίθεση με το μοντέλο του Fanger, το οποίο αναφέρεται σε συνθήκες άνεσης και δεν δύναται να προσδιορίσει πραγματικές τιμές ροών από και προς το ανθρώπινο σώμα, σχετικά μικρός αριθμός μοντέλων για το εξωτερικό περιβάλλον εκτιμά τις φυσιολογικές παραμέτρους των θερμικών ανταλλαγών του ανθρώπου με το περιβάλλον με μια ρεαλιστική προσέγγιση (Hörpe 1984; de Freitas 1985; Brown and Gillespie 1986; Nielsen et al. 1988; Błażejczyk 1994, 2006). Ο Hörpe (1984) δημοσιεύει το σταθερό και μη σταθερό μοντέλο MEMI και IMEM, αντίστοιχα, στηριζόμενος στις γενικευμένες εξισώσεις του Fanger και σε κάποιες παραμέτρους του μοντέλου των Gagge et al. (1971). Το μοντέλο του Hörpe δύναται να εφαρμοστεί σε εξωτερικό και εσωτερικό περιβάλλον και προσομοιώνει τις σχετιζόμενες θερμοφυσιολογικές παραμέτρους ως αποτέλεσμα του μοντέλου. Το 1994 ο Błażejczyk δημοσιεύει το Man-ENvironment heat EXchange model (MENEX) το οποίο εφαρμόζεται για μη σταθερές αλλά και σταθερές συνθήκες, προσομοιώνοντας τις ροές από και προς το ανθρώπινο σώμα, αποκλειστικά στο εξωτερικό περιβάλλον. Το 2006 παρουσιάζεται η ανανεωμένη έκδοση του μοντέλου η οποία περιλαμβάνει νέα μοντέλα προσομοίωσης του ισοζυγίου ακτινοβολιών στον άνθρωπο, ενώ εφαρμόζεται σε θερμοφυσιολογικές και πειραματικές μελέτες θερμικών ανταλλαγών με το ατμοσφαιρικό περιβάλλον (π.χ. Tuller 1997; Grundstein et al. 2010). Πρόσφατα, οι Kenny et al. (2009a, 2009b) τροποποίησαν το μοντέλο COMFA των

Brown and Gillespie (1986) για εφαρμογή σε άτομα που πραγματοποιούν φυσική δραστηριότητα, ενώ οι Shimazaki et al. (2011) προτείνουν ως δείκτη άνεσης το ανθρώπινο θερμικό φορτίο, το οποίο αποτελεί το ποσό θερμότητας που υπολείπεται στην εξίσωση του θερμικού ισοζυγίου.

Σημαντικός αριθμός μελετών συνδέει τη θερμική άνεση στο εξωτερικό περιβάλλον με εφαρμογές στον αστικό σχεδιασμό, με κύριο στόχο την αποτύπωση και βελτίωση των θερμικών συνθηκών σε συγκεκριμένα αστικά και περιαστικά μικροκλίματα (Mayer and Höppe 1987; Charalampopoulos and Chronopoulou-Sereli 2005; Johansson and Emmanuel 2006; Ali-Toudert and Mayer 2007; Gaitani et al. 2007; Andrade and Alcoforado 2008). Παράλληλα, ορισμένες μελέτες επικεντρώνονται στην εκτίμηση της θερμικής άνεσης για άτομα τα οποία περπατούν στον περιβάλλοντα χώρο κτιρίων και σε πεζοδρόμια σε αστικές περιοχές και τα οποία συνήθως βρίσκονται υπό σκιά, ενώ υφίστανται υψηλές ταχύτητες ανέμου (Nagara et al. 1996; Soligo et al. 1998; Murakami et al. 1999; Stathopoulos 2006; Lin et al. 2008).

Ιδιαίτερο επιστημονικό ενδιαφέρον παρουσιάζει η διερεύνηση των μετεωρολογικών παραμέτρων και των δεικτών άνεσης με την υποκειμενική ανθρώπινη συμπεριφορά και αντίδραση στο εξωτερικό περιβάλλον, μέσω της χρήσης δομημένων ερωτηματολογίων (de Freitas 1985; Höppe and Seidl 1991; Nikolopoulou et al. 2001; Nikolopoulou and Steemers 2003; Spagnolo and de Dear 2003; Thorsson et al. 2004; Oliveira and Andrade 2007; Knez et al. 2009, Tseliou et al. 2010). Οι Nikolopoulou et al. (2001) υπέδειξαν ότι η εκτίμηση της θερμικής άνεσης στο εξωτερικό περιβάλλον αποτελεί ένα πολύπλοκο θέμα, καταλήγοντας ότι η πραγματική θερμική αίσθηση διαφέρει από εκείνη η οποία εκτιμάται από μοντέλα εσωτερικού χώρου, όπως το μοντέλο του Fanger (1972).

Επιπλέον, πολλές μελέτες επικεντρώνονται στην επίδραση του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στον άνθρωπο κατά τη διάρκεια θερμών επεισοδίων (Matzarakis et al. 2009; Theoharatos et al. 2010; Matzarakis and Nastos 2011), ενώ άλλες διερευνούν την επίδραση μετεωρολογικών και βιομετεωρολογικών παραμέτρων στην ανθρώπινη υγεία, βάσει της θνησιμότητας ή των εισαγωγών στα νοσοκομεία (Nastos and Matzarakis 2006; Pantavou et al. 2008; Pantavou et al. 2011).

Η εκτίμηση της επίδρασης του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στον άνθρωπο αποτελεί αντικείμενο της βιομετεωρολογίας του ανθρώπου, συμπεριλαμβανομένης και της αέριας ρύπανσης. Η εκτίμηση της ποιότητας του αέρα και η δυνητική επίδραση στον ανθρώπινο οργανισμό πραγματοποιείται με τη βοήθεια δεικτών

ποιότητας αέρα (AQI, Air Quality Index). Τέτοιου τύπου δείκτες μετατρέπουν τις συγκεντρώσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων σε αριθμητικές τιμές και αυτές με τη σειρά τους αντιστοιχίζονται σε κατηγορίες ποιότητας της ατμόσφαιρας και επιπτώσεων στην υγεία (Kassomenos et al. 1999; Kyrkilis et al. 2007). Ωστόσο, η επίδραση του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης ως “διαδραστική” (WHO 1996; Patz and Balbus 2001), έχει οδηγήσει και σε μια συνδυασμένη προσέγγιση της επίδρασης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και του καιρού στην ανθρώπινη υγεία (Paliatsos and Nastos 1999; Smoyer et al. 2000; Grass and Cane 2008, Theoharatos et al. 2010).

Λαμβάνοντας υπόψη την μέχρι τώρα έρευνα, η υπάρχουσα γνώση σε θέματα που αφορούν τη θερμική άνεση στο εξωτερικό περιβάλλον αντλείται από ελάχιστες πειραματικές μελέτες στο πεδίο για επιλεγμένες ομάδες ατόμων, με ταυτόχρονη μέτρηση θερμοφυσιολογικών και μετεωρολογικών παραμέτρων. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην πολυπλοκότητα και στο πλήθος τεχνικών δυσκολιών τέτοιων μετρήσεων στο πεδίο, σε αντίθεση με αντίστοιχες μελέτες στο εσωτερικό περιβάλλον ή σε κλιματικούς θαλάμους (π.χ. Fanger 1972; Cagnon et al. 2008; Kenny et al. 2010, Bain et al. 2011). Παράλληλα, η εκτενής βιβλιογραφική έρευνα ανέδειξε ότι οι περισσότερες μελέτες περιορίζονται στον υπολογισμό ενός δείκτη άνεσης χωρίς να διερευνώνται οι ροές από και προς το ανθρώπινο σώμα βάσει των οποίων προκύπτει ο δείκτης. Επιπλέον, οι προσομοιώσεις λαμβάνουν ως πρότυπο ένα μέσο τύπο ανθρώπου, θεωρώντας σταθερή την παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό, με κριτήριο μια επιλεγμένη δραστηριότητα. Τέλος, η μέση θερμοκρασία δέρματος είτε θεωρείται σταθερή είτε προκύπτει από εμπειρικές εξισώσεις, ενώ η προσομοίωση της μέσω μαθηματικών προγνωστικών μοντέλων σπάνια συνοδεύεται από μελέτες εγκυρότητας των μοντέλων σε επιλεγμένα άτομα (Fiala et al. 2001).

Αντικείμενο της συγκεκριμένης διατριβής είναι η διερεύνηση της θερμικής άνεσης και της θερμικής ισορροπίας του ανθρώπου σε ένα θερμό εξωτερικό περιβάλλον, διαφοροποιώντας το βαθμό προσαρμογής, την έκθεση στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία καθώς και το επίπεδο της δραστηριότητας σε διάφορα θερμοκρασιακά επίπεδα. Επιπλέον, διερευνάται η συνεισφορά των θερμοφυσιολογικών παραμέτρων στη διαμόρφωση των ροών του θερμικού ισοζυγίου και στον υπολογισμό ενός θερμοφυσιολογικού δείκτη μέσω των πειραματικών και θεωρητικών τιμών. Η προσέγγιση αυτή για επιλεγμένες ομάδες μελέτης στο πεδίο υλοποιείται: α) με ταυτόχρονες θερμοφυσιολογικές μετρήσεις, β) με προσομοίωση

των ροών μεταξύ του ανθρώπινου σώματος και του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος και γ) με προσομοίωση θερμοφυσιολογικών δεικτών. Τέλος, διερευνάται η πιθανή επίδραση ενός αέριου ρυπαντή, όπως είναι το όζον (O_3), σε όρους του θερμικού ισοζυγίου του ανθρώπου μέσω των μεταβολών που παρατηρούνται άμεσα σε παραμέτρους της φυσιολογίας.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται μια συνοπτική αναφορά των κεφαλαίων στα οποία διαρθρώνεται η διατριβή.

Στο **Κεφάλαιο 2** παρουσιάζονται τα σημαντικότερα ευρήματα στο πεδίο της ανθρώπινης θερμικής άνεσης στο εξωτερικό περιβάλλον. Συγκεκριμένα, περιγράφονται οι κύριοι θερμορυθμιστικοί μηχανισμοί στο ανθρώπινο σώμα καθώς και οι όροι της προσαρμογής, του εγκλιματισμού, της θερμικής άνεσης, της θερμικής αίσθησης, της θερμικής επιβάρυνσης και της θερμικής έντασης. Παράλληλα, παρουσιάζονται δείκτες θερμικής άνεσης και μοντέλα θερμικής ισορροπίας στον άνθρωπο καθώς και οι τάσεις και τα προβλήματα στην εκτίμηση της θερμικής άνεσης στο εξωτερικό περιβάλλον.

Στο **Κεφάλαιο 3** παρουσιάζεται ο πειραματικός σχεδιασμός για την επιλογή των πειραματικών περιόδων, της πειραματικής θέσης, των ατόμων και της ενδυμασίας. Παράλληλα, περιγράφονται οι δυο πειραματικές διαδικασίες οι οποίες πραγματοποιήθηκαν. Τέλος, παρουσιάζεται το όργανο SenseWear Pro II Armband και το αντίστοιχο λογισμικό Innerview Research Professional Software 5.1, για την καταγραφή και επεξεργασία των θερμοφυσιολογικών παραμέτρων, καθώς και ο εξοπλισμός για τη μέτρηση των μετεωρολογικών παραμέτρων.

Στο **Κεφάλαιο 4** γίνεται η διερεύνηση της θερμικής άνεσης και της θερμικής ισορροπίας στον άνθρωπο όταν δεν προηγείται προσαρμογή σε ένα έντονα θερμό περιβάλλον. Αρχικά παρουσιάζονται οι αρχές που διέπουν το Man-ENvironment heat EXchange model (MENEX), το οποίο χρησιμοποιήθηκε στη παρούσα μελέτη για την προσομοίωση των ροών μεταξύ του ανθρώπινου σώματος και του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος. Παράλληλα, περιγράφεται το μοντέλο SolGlob το οποίο χρησιμοποιήθηκε στο παρόν κεφάλαιο για την προσομοίωση της απορροφούμενης ηλιακής ακτινοβολίας στο ισοζύγιο ακτινοβολιών του άνθρωπο. Στη συνέχεια περιγράφεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε, έτσι ώστε να διερευνηθεί η συνεισφορά των θερμοφυσιολογικών παραμέτρων στη διαμόρφωση των ροών του θερμικού ισοζυγίου και στον υπολογισμό ενός θερμοφυσιολογικού δείκτη μέσω των

πειραματικών και θεωρητικών τιμών της θερμοκρασίας δέρματος και της παραγωγής θερμότητας από το μεταβολισμό.

Στο **Κεφάλαιο 5** διερευνάται η θερμική άνεση και η θερμική ισορροπία στον άνθρωπο όταν προηγείται ήπια προσαρμογή στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον, συνδυάζοντας διαδοχικές φάσεις έκθεσης ή μη στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία, με αντίστοιχη δραστηριότητα ή μη σε ένα μέτρια έως πολύ θερμό περιβάλλον. Αρχικά περιγράφεται το μοντέλο Rayman, το οποίο χρησιμοποιήθηκε στο παρόν κεφάλαιο για την προσομοίωση της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας, ως μια άλλη έκφραση της επίδρασης της ακτινοβολίας στον ανθρώπινο οργανισμό. Στη συνέχεια, γίνεται μια εκτενής προσπάθεια διερεύνησης των θερμοφυσιολογικών παραμέτρων, των ροών από και προς το ανθρώπινο σώμα και των θερμοφυσιολογικών δεικτών στην εκτίμηση της θερμικής άνεσης.

Το **Κεφάλαιο 6** αποτελεί συνέχεια του προηγούμενου κεφαλαίου μελετώντας τη θερμική άνεση και τη θερμική ισορροπία στον άνθρωπο σε ένα ήπια θερμό περιβάλλον, εξετάζοντας ταυτόχρονα τις μεταβολές στα αντίστοιχα πεδία αποτελεσμάτων που διερευνήθηκαν στο Κεφάλαιο 5.

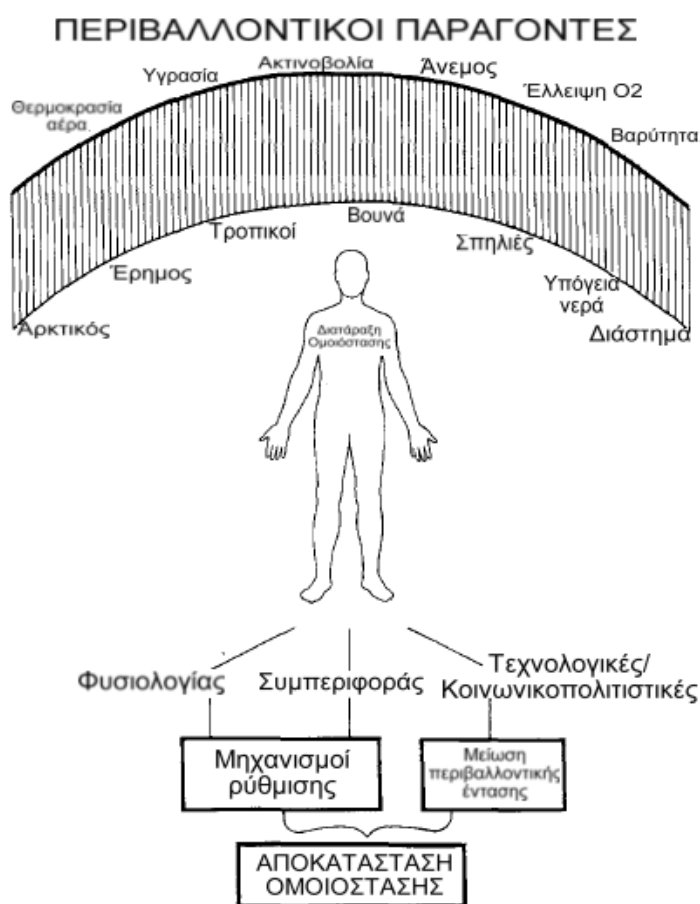
Στο **Κεφάλαιο 7** διερευνάται η πιθανή επίδραση ενός αέριου ρυπαντή, όπως είναι το όζον (O_3), σε όρους του θερμικού ισοζυγίου του ανθρώπου μέσω των μεταβολών που παρατηρούνται άμεσα σε παραμέτρους της φυσιολογίας, για δυο ομάδες εθελοντών, υγιών και υπέρτασικών.

Τέλος, στο **Κεφάλαιο 8** συνοψίζονται τα συμπεράσματα που πρόέκυψαν από την παρούσα διδακτορική διατριβή, ενώ παράλληλα παρουσιάζονται οι μελλοντικοί στόχοι στο συγκεκριμένο ερευνητικό πεδίο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ

2.1 Ομοιόσταση και θερμορυθμιστικοί μηχανισμοί

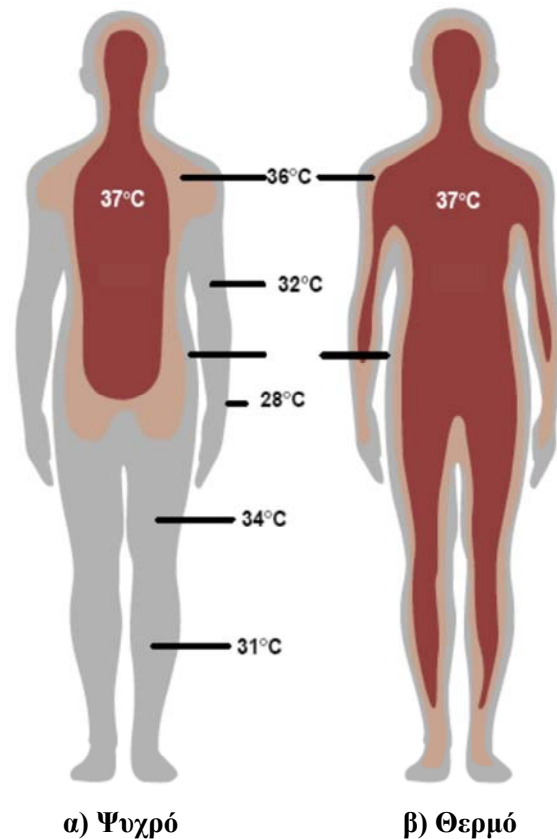
Η ικανότητα του οργανισμού να διατηρεί το εσωτερικό του περιβάλλον σταθερό ανεξάρτητα από τις συνθήκες του εξωτερικού περιβάλλοντος καλείται ομοιόσταση και λειτουργεί σε όλα τα βιολογικά επίπεδα του οργανισμού. Η διατήρηση της ομοιόστασης στις διάφορες κλιματικές μεταβολές διασφαλίζεται μέσω των φυσιολογικών μηχανισμών ρύθμισης και της εκούσιας συμπεριφοράς του ατόμου σε συνδυασμό με διάφορες τεχνολογικές και κοινωνικό-πολιτιστικές τεχνικές (Σχήμα 2.1) (Yousef 1987).



ΣΧΗΜΑ 2.1. Διαγραμματική απεικόνιση της αλληλεπίδρασης μεταξύ του εξωτερικού περιβάλλοντος και της διατήρησης της ομοιόστασης στον άνθρωπο (πηγή: Yousef 1987).

Μια από τις εκφράσεις της ομοιόστασης είναι η διατήρηση μιας ουσιαστικά σταθερής εσωτερικής θερμοκρασίας σώματος μέσα σε ορισμένα φυσιολογικά όρια, η οποία περιγράφεται ως ομοιοθερμία. Ενώ η θερμοκρασία του περιβάλλοντος κυμαίνεται σε μεγάλο εύρος τιμών, η εσωτερική θερμοκρασία του σώματος

ρυθμίζεται στα πλαίσια ενός στενού θερμοκρασιακού φάσματος (35°C έως 41°C) που κυμαίνεται γύρω από τους 37°C . Ουσιαστικά, το ανθρώπινο σώμα διαιρείται σε ένα θερμό εσωτερικό πυρήνα και ένα εξωτερικό περίβλημα, με τις θερμοκρασίες να επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από το περιβάλλον και τη θερμοκρασία του δέρματος να κυμαίνεται σε μεγαλύτερα εύροι τιμών (Wenger 2002) (Σχήμα 2.2).



ΣΧΗΜΑ 2.2. Κατανομή των θερμοκρασιών στο ανθρώπινο σώμα κατά τη διάρκεια έκθεσης σε α) ψυχρό και β) θερμό περιβάλλον (πηγή: Wenger 2002).

Όταν η θερμική ισορροπία στο ανθρώπινο σώμα διαταράσσεται ενεργοποιούνται φυσιολογικοί μηχανισμοί ρύθμισης του κεντρικού κυκλοφορικού συστήματος, των σωματικών υγρών, της αναπνοής, του μεταβολισμού και της εφίδρωσης (Wenger 2002). Οι αποκρίσεις αυτές παρατηρούνται σε όλα τα υγιή άτομα ανεξάρτητα από την ηλικία, το φύλο και την εθνότητα. Ωστόσο, σημειώνονται ποσοτικές διαφοροποιήσεις μεταξύ των ατόμων, με την ενδοατομική μεταβλητότητα να παρουσιάζει μικρότερες αποκλίσεις από τη διατομική (Yousef 1987).

Σε ένα θερμό περιβάλλον οι κυριότεροι θερμοφυσιολογικοί μηχανισμοί είναι η διαστολή των περιφερειακών αιμοφόρων αγγείων και η εφίδρωση. Ο πρώτος μηχανισμός επιτρέπει μέσω του κυκλοφορικού συστήματος τη μεταφορά μεγαλύτερης ποσότητας αίματος από τον πυρήνα στην επιφάνεια του σώματος με

αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του δέρματος, γεγονός που συνεπάγεται μεγαλύτερη απώλεια θερμότητας από το σώμα καθώς αυξάνεται η θερμοκρασιακή βαθμίδα μεταξύ της επιφάνειας του σώματος και του περιβάλλοντος. Στις περιπτώσεις όπου συμβαίνει το αντίθετο το πλεόνασμα θερμότητας μειώνεται μέσω της αγγειοδιαστολής. Παράλληλα, ο μηχανισμός της εφίδρωσης ελέγχει την απώλεια θερμότητας μέσω της εξάτμισης από την επιφάνεια του σώματος και σχετίζεται με το συντελεστή διαβροχής του δέρματος. Στις περιπτώσεις όπου ο ιδρώτας αποβάλλεται από το σώμα με το σχηματισμό σταγόνων ή απορροφάται από την ενδυμασία μειώνεται η ικανότητα του ως μηχανισμός και δεν προσφέρει το βέλτιστο αποτέλεσμα (Wenger 2002).

Σε ένα ψυχρό περιβάλλον οι κύριοι θερμορυθμιστικοί μηχανισμοί είναι η συστολή των περιφερειακών αιμοφόρων αγγείων και η παραγωγή θερμότητας από το ρίγος. Μέσω της αγγειοσυστολής μεγαλύτερη ποσότητα αίματος μεταφέρεται από την επιφάνεια του σώματος προς το πυρήνα με αποτέλεσμα την αύξηση του καρδιακού παλμού. Παράλληλα, ελαττώνεται η θερμοκρασιακή βαθμίδα μεταξύ της επιφάνειας του σώματος και του περιβάλλοντος συντελώντας στη διατήρηση της θερμότητας στο σώμα. Η παραγωγή θερμότητας από το ρίγος ξεκινά όταν η θερμοκρασία του πυρήνα υπερβεί ένα ορισμένο κατώτερο όριο, με το ρυθμό μεταβολισμού λόγω ρίγους να αυξάνεται στο διπλάσιο ή και στο τριπλάσιο (Höppe 1993).

2.2 Προσαρμογή και εγκλιματισμός

Ο άνθρωπος επιδεικνύει αξιοσημείωτη ικανότητα προσαρμογής σε έντονες και ταχύτατες μεταβολές των περιβαλλοντικών συνθηκών, γεγονός που του επιτρέπει τη διαβίωση στις περισσότερες κλιματικές περιοχές του πλανήτη. Με την ευρύτερη έννοια ο όρος προσαρμογή ορίζεται ως η βαθμιαία μείωση της αντίδρασης του οργανισμού κατά την επαναλαμβανόμενη έκθεση σε ένα ερέθισμα, συμπεριλαμβανομένων όλων των δράσεων οι οποίες συντελούν στην κατεύθυνση αυτή, κατά την παραμονή σε ένα περιβάλλον (Nikolopoulou and Steemers 2003). Σε αυτή τη βάση η προσαρμογή διακρίνεται σε τρεις κατηγορίες: την φυσιολογική, την φυσική και την ψυχολογική (Nikolopoulou and Steemers 2003).

Η φυσιολογική προσαρμογή σχετίζεται με το σύνολο των αντιδράσεων στο ανθρώπινο σώμα και οι οποίες διακρίνονται σε βραχυπρόθεσμες αντιδράσεις όπως είναι η εφίδρωση, η διαστολή και συστολή των περιφερειακών αιμοφόρων αγγείων

καθώς και στις μακροπρόθεσμες όπως είναι ο εγκλιματισμός. Στο πλαίσιο αυτό εγκλιματισμός ορίζεται το σύνολο των φυσιολογικών μεταβολών κατά τη διαδοχική έκθεση ή παραμονή σε ένα θερμό ή ψυχρό περιβάλλον, με αποτέλεσμα τη βαθμιαία μείωση της φυσιολογικής έντασης που υφίσταται ο ανθρώπινος οργανισμός (Wenger 2002). Οι κυριότερες φυσιολογικές μεταβολές που παρατηρούνται κατά τον εγκλιματισμό σε ένα θερμό περιβάλλον είναι η διαμόρφωση σε χαμηλότερα επίπεδα τιμών του καρδιακού παλμού και της θερμοκρασίας του πυρήνα και η αύξηση του ρυθμού εφίδρωσης (Yousef 1987; Wenger 2002).

Η φυσική προσαρμογή περιλαμβάνει όλες εκείνες τις αλλαγές που πραγματοποιεί ο άνθρωπος ώστε να βελτιώσει τη διαβίωση του στο εκάστοτε περιβάλλον. Τέτοιες αλλαγές μπορεί να είναι ατομικές όπως η προσαρμογή της ενδυμασίας ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες, η στάση του σώματος και η μετακίνηση από μια θέση σε μια άλλη που του προκαλεί μικρότερη ένταση καθώς και διαδραστικές όπως η βελτίωση των συνθηκών για παράδειγμα με το άνοιγμα ή κλείσιμο ενός παραθύρου (Nikolopoulou and Steemers 2003).

Η ψυχολογική προσαρμογή σχετίζεται με τις παραμέτρους εκείνες οι οποίες επηρεάζουν τη θερμική αντίληψη των ανθρώπων για το περιβάλλον και τις αλλαγές που συντελούνται σε αυτό, βασιζόμενη στο γεγονός ότι ένα φυσικό ερέθισμα δεν είναι σε άμεση σχέση με το μέγεθος αλλά εξαρτάται από την “πληροφορία” όπου οι άνθρωποι έχουν για συγκεκριμένες καταστάσεις (Nikolopoulou and Steemers 2003; Knez et al. 2009). Τέτοιες παράμετροι είναι ο χρόνος έκθεσης, η φυσικότητα του περιβάλλοντος καθώς και οι προσδοκίες και εμπειρίες των ανθρώπων (Nikolopoulou and Steemers 2003; Knez et al. 2009).

2.3 Θερμική άνεση, αίσθηση, επιβάρυνση και ένταση

Η υποκειμενική και ψυχολογική προσέγγιση της θερμικής άνεσης (thermal comfort) περιγράφει την κατάσταση του μυαλού όπου εκφράζει ικανοποίηση με το θερμικό περιβάλλον (ASHRAE 1997, 2001). Βάσει της θερμοφυσιολογίας η άνεση σχετίζεται με την ενεργοποίηση των θερμοϋποδοχών στο δέρμα και στον υποθάλαμο, ως ο ελάχιστος ρυθμός νευρικού σήματος από τους θερμοϋποδοχείς (Mayer 1993). Επιπλέον, ο ενεργητικός ορισμός της προϋποθέτει θερμική ισορροπία στο ανθρώπινο σώμα, με τη θερμοκρασία δέρματος και το ρυθμό εφίδρωσης να εντοπίζονται στα όρια της άνεσης (Fanger 1972).

Η θερμική αίσθηση (thermal sensation) περιγράφει το συνειδητό αίσθημα το οποίο προϋποθέτει υποκειμενική εκτίμηση. Ουσιαστικά, η θερμική άνεση και η θερμική αίσθηση αποτελούν διπολικά φαινόμενα, με διαβάθμιση από το “ψυχρό” έως το “θερμό”, όπου η άνεση ή η ουδέτερη αίσθηση εντοπίζονται στο μέσο της κλίμακας (Epstein and Moran 2006). Διάφορες κλίμακες έχουν παρουσιαστεί κατά καιρούς, ενώ στον Πίνακα 2.1 συνοψίζονται η υποκειμενική ταξινόμηση της δυσφορίας με την αντίστοιχη φυσιολογική αντίδραση.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1. Θερμική αίσθηση και άνεση σε συνδυασμό με τη φυσιολογική ζώνη θερμικής επίδρασης και την αντίστοιχη επί της εκατό υγρότητα του δέρματος (πηγή: Epstein and Moran 2006).

Ψυχο- Φυσιολογική κλίμακα ψήφου		Θερμική αίσθηση	Αίσθηση άνεσης	Ζώνη θερμικής επίδρασης	Heat strain index (<i>HSI</i> , %)
	9	Πολύ θερμό	Πολύ μη άνετα	Μη αποκατάσταση θερμότητας	80
+3	8	Θερμό	Μη άνετα		40-60
+2	7	Ζεστό	Ήπια μη άνετα	Αποκατάσταση εξάτμισης ιδρώτα	20
+1	6	Ήπια ζεστό			
0	5	Ουδέτερο	Άνετα	Αποκατάσταση θερμορύθμισης	0
-1	4	Ήπια δροσερό			
-2	3	Δροσερό	Ήπια μη άνετα		
-3	2	Ψυχρό		Αποκατάσταση ρίγους	
	1	Πολύ ψυχρό	Μη άνετα	Μη αποκατάσταση ψύχους	

Οι θεμελιώδεις παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν τη θερμική αίσθηση διακρίνονται σε δυο κατηγορίες, τους περιβαλλοντικούς και αυτούς που σχετίζονται με την εκούσια συμπεριφορά του ατόμου. Οι πρώτοι περιλαμβάνουν τη θερμοκρασία του αέρα, την υγρασία του αέρα, την ταχύτητα του ανέμου και τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας, ενώ οι δεύτεροι την παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό λόγω δραστηριότητας και την ενδυμασία. Η αλληλεπίδραση των έξι θεμελιωδών παραμέτρων ορίζουν το θερμικό περιβάλλον και την αίσθηση της θερμικής άνεσης (Fanger 1972).

Οι δυναμικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ του ανθρώπινου σώματος και του περιβάλλοντος, βάσει των περιβαλλοντικών παραμέτρων και αυτών που σχετίζονται με τη δράση του ατόμου, διαμορφώνουν το πλεόνασμα ή την απώλεια θερμότητας στον ανθρώπινο οργανισμό μέσω της ακτινοβολίας, της μεταφοράς, της αγωγής, της εξάτμισης και της αναπνοής. Το καθαρό φορτίο θερμότητας το οποίο προκύπτει και

στο οποίο εκτίθεται ο οργανισμός, από τη συνδυασμένη συνεισφορά των παραμέτρων αυτών, ονομάζεται θερμική επιβάρυνση (heat stress) (ACGIH 2004; Epstein and Moran 2006). Έτσι, ενώ μια ήπια ή μέτρια θερμική επιβάρυνση μπορεί να προκαλέσει δυσφορία αλλά δεν είναι επιζήμια για την ανθρώπινη υγεία, όσο αυξάνεται το επίπεδο επιβάρυνσης προσεγγίζοντας τα όρια αντοχής του οργανισμού τόσο αυξάνεται και ο κίνδυνος θερμικών διαταραχών. Η θερμική επιβάρυνση σχετίζεται με την θερμική ένταση (heat strain) αλλά ως όροι δεν ταυτίζονται μεταξύ τους. Ουσιαστικά, η θερμική ένταση ορίζεται ως το σύνολο των φυσιολογικών αντιδράσεων του οργανισμού ώστε να διατηρήσει μια σταθερή εσωτερική θερμοκρασία σώματος μέσα σε ορισμένα φυσιολογικά όρια, και είναι αποτέλεσμα της θερμικής επιβάρυνσης (ACGIH 2004).

2.4 Δείκτες θερμικής άνεσης

Η μελέτη της επίδρασης του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος ολοκληρωτικά στον άνθρωπο είναι εξαιρετικά πολύπλοκη διότι πρέπει να συμπεριλάβει τόσο τις σχετικές συνιστώσες των μετεωρολογικών παραμέτρων όσο και τις ανθρώπινες λειτουργίες, μέσω των οποίων ο ανθρώπινος οργανισμός αντιδρά και προσαρμόζεται συνεχώς στο εκάστοτε περιβάλλον. Επιπλέον, η επίδραση αυτή δεν δύναται να περιγραφεί αποκλειστικά ως συνάρτηση μιας και μόνης μετεωρολογικής παραμέτρου διότι το ανθρώπινο σώμα δεν διαθέτει μεμονωμένους αισθητήρες για την αντίληψη της κάθε κλιματικής παραμέτρου, αλλά μέσω των θερμοϋποδοχών ρυθμίζει τη θερμοκρασία του δέρματος και τη ροή του αίματος που διέρχεται από τον υποθάλαμο (Höppe 1999). Το γεγονός αυτό οδήγησε στην ανάπτυξη δεικτών οι οποίοι συνδυάζουν περισσότερες παραμέτρους σε μια τιμή, όπου με τη σειρά της ταξινομείται βάσει της αίσθησης και της φυσιολογικής αντίδρασης του οργανισμού (ASHRAE 2001, Parsons 2003).

Σε αυτή τη βάση οι δείκτες διακρίνονται σε δυο γενικές κατηγορίες: τους εμπειρικούς (empirical indices) και τους λογικούς (rational indices). Οι εμπειρικοί δείκτες αναπτύχθηκαν ιδιαίτερα το πρώτο μισό του 20^{ου} αιώνα και περιορίζονται στον υπολογισμό του συνδυαζόμενου αποτελέσματος της θερμοκρασίας του αέρα, της υγρασίας του αέρα και της ταχύτητας του ανέμου στη θερμική αίσθηση του ατόμου, κυρίως για καθιστική δραστηριότητα (Πίνακας 2.2). Επιπλέον, οι δείκτες αυτοί διακρίνονται ανάλογα με τις θερμοκρασιακές συνθήκες, σε δείκτες που αναφέρονται

στο ψυχρό περιβάλλον ή στο θερμό περιβάλλον. Οι πρώτοι συνδυάζουν την θερμοκρασία του αέρα και την ταχύτητα του ανέμου, όπως οι δείκτες αποψύξεως, για να περιγράψουν τα απαγόμενα ποσά θερμότητας από τον ατμοσφαιρικό αέρα στη μονάδα του χρόνου ανά μονάδα επιφάνειας του σώματος, ενώ οι δεύτεροι συνδυάζουν τη θερμοκρασία και την υγρασία του αέρα για να περιγράψουν την εξάτμιση στο ανθρώπινο σώμα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.2. Επιλεγμένοι εμπειρικοί δείκτες.

Εμπειρικοί δείκτες	
Δείκτης	Περιγραφή
Effective Temperature (ET , °C) (Yaglou 1927)	Η θερμοκρασία ήρεμης κορεσμένης ατμόσφαιρας από υδρατμούς με ταχύτητα ανέμου 0.1ms^{-1} , που έχει τις ίδιες επιπτώσεις στην ανθρώπινη αίσθηση με την υπό έρευνα ατμοσφαιρική κατάσταση σε άτομα που ηρεμούν και είναι ντυμένα ελαφριά. Αρχικά ως συνάρτηση της θερμοκρασίας και της υγρασίας του αέρα ενώ αργότερα λήφθηκε υπόψη ο άνεμος και η ακτινοβολία.
Wet-Bulb Globe Temperature ($WBGT$, °C) (Yaglou and Minard 1957)	Αναπαριστά την επίδραση της θερμοκρασίας και της υγρασίας στον άνθρωπο και ταξινομείται βάσει της δραστηριότητας.
Discomfort Index (DI , αδιάστατο) (Thom 1959)	Δίνεται ως συνάρτηση της θερμοκρασίας του ξηρού και υγρού θερμομέτρου και ταξινομείται βάσει του ποσοστού δυσφορίας του πληθυσμού.
Humidex (HU , °C) (Masterton and Richardson 1979)	Η θερμοκρασία που αισθάνεται ο άνθρωπος στο εξωτερικό περιβάλλον, ως συνάρτηση της θερμοκρασίας και της υγρασίας του αέρα.

Σε αντίθεση, οι λογικοί δείκτες στηρίζονται στη θερμική ισορροπία του ανθρώπινου σώματος έχοντας φυσικό και θερμοφυσιολογικό υπόβαθρο (Πίνακας 2.3). Ταυτόχρονα, εξετάζουν όλες τις σχετιζόμενες μετεωρολογικές παραμέτρους καθώς, επίσης, το επίπεδο της δραστηριότητας, την ενδυμασία και τα ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά, όπως το ύψος, το βάρος, την ηλικία και το φύλο.

Το γεγονός της ύπαρξης μεγάλου αριθμού δεικτών οδήγησε την Παγκόσμια Βιομετεωρολογική Εταιρεία (ISB) μέσω της δράσης COST Action 730 (2005-2009) στην ανάπτυξη του δείκτη Universal Thermal Climate Index, ώστε να αποτελέσει πρότυπο δείκτη για το εξωτερικό περιβάλλον (Πίνακας 2.3). Ο δείκτης περιλαμβάνει θερμοφυσιολογικό υπόβαθρο σε όλο το εύρος των θερμικών ανταλλαγών με το περιβάλλον ενώ είναι εφαρμόσιμος σε όλα τα κλίματα, τις εποχές και τις κλίμακες ενώ ταυτόχρονα αποτελεί χρήσιμο εργαλείο εφαρμογών στη βιομετεωρολογία του ανθρώπου (Jendritzky et al. 2008; Bröde et al. 2009).

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.3. Επιλεγμένοι λογικοί δείκτες.

Λογικοί δείκτες	
Δείκτης	Περιγραφή
Heat Stress Index (<i>HSI</i> , %) (Belding and Hatch 1955)	Ο λόγος της εξάτμισης που απαιτείται για τη διατήρηση της θερμικής ισορροπίας του οργανισμού προς τη μέγιστη εξάτμιση στο πραγματικό περιβάλλον.
Predicted Mean Vote (<i>PMV</i> , αδιάστατο) (Fanger 1972)	Η μέση προβλεπόμενη ψήφος μιας μεγάλης ομάδας ατόμων ως προς τη θερμική αίσθηση, ως συνάρτηση της δραστηριότητας, της ενδυμασίας, της θερμοκρασίας του αέρα, της υγρασίας του αέρα, της σχετικής ταχύτητας του ανέμου και της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας.
Outdoor Standard Effective Temperature (<i>OUT_SET*</i> , °C) (Pickup and de Dear 2000)	Η ισοδύναμη θερμοκρασία ενός ιδεατού περιβάλλοντος όπου ο άνθρωπος βιώνει την ίδια εφίδρωση και διαμορφώνει την ίδια θερμοκρασία δέρματος με το υπό εξέταση περιβάλλον. Συνθήκες ιδεατού περιβάλλοντος: $T_{mrt}=T_a$, $v=0.15\text{ms}^{-1}$, $f=50\%$.
Physiological Equivalent Temperature (<i>PET</i> , °C) (Mayer and Höppe 1987; Höppe 1999)	Η ισοδύναμη θερμοκρασία σε ένα ιδεατό εσωτερικό περιβάλλον όπου η θερμική ισορροπία στο ανθρώπινο σώμα διατηρείται με τη θερμοκρασία δέρματος και πυρήνα ίσες με εκείνες του υπό εξέταση περιβάλλοντος (εσωτερικό ή εξωτερικό). Συνθήκες ιδεατού εσωτερικού περιβάλλοντος: $T_{mrt}=T_a$, $v=0.1\text{ms}^{-1}$, $VP_a=12\text{hPa}$, $I_{cl}=0.9\text{ clo}$ και ελαφρά δραστηριότητα.
Heat Load (<i>HL</i> , αδιάστατο) (Błażejczyk 1994, 2001, 2006)	Το φορτίο του θερμορρυθμιστικού συστήματος του ανθρώπινου οργανισμού λόγω της έντασης των διαδικασιών προσαρμογής, ως συνδυασμός τριών βασικών ροών: της καθαρής αποθηκευόμενης θερμότητας, της απορροφούμενης ηλιακής ακτινοβολίας και της τυρβώδους ανταλλαγής λανθάνουσας θερμότητας.
Water Loss Index (<i>SW</i> , gh^{-1}) (Błażejczyk 1994, 2001, 2006)	Η απώλεια ύδατος μέσω της δυνητικής απώλειας θερμότητας λόγω εξάτμισης στο ανθρώπινο σώμα στο υπό εξέταση περιβάλλον, με τα όρια τιμών να εξαρτώνται από το επίπεδο δραστηριότητας και το βαθμό εγκλιματισμού.
Universal Thermal Climate Index (<i>UTCI</i> , °C) (COST Action 730, Jendritzky et al. 2008; Bröde et al. 2009)	Η θερμοκρασία του αέρα σε ένα ιδεατό περιβάλλον όπου προκαλεί την ίδια φυσιολογική αντίδραση στον οργανισμό όπως το υπό εξέταση περιβάλλον. Συνθήκες ιδεατού περιβάλλοντος: $T_{mrt}=T_a$, $v=0.5\text{ms}^{-1}$ στα 10m, VP_a αναφέρεται σε υγρασία 50% ενώ για υψηλές θερμοκρασίες λαμβάνεται σταθερή 20hPa, η δραστηριότητα αναφέρεται σε άνθρωπο που περπάτα με 1.1ms^{-1} και η αντίσταση της ενδυμασίας προσδιορίζεται ως συνάρτηση της T_a .

2.5 Μοντέλα και εξίσωση θερμικού ισοζυγίου

Με στόχο τη διατήρηση μιας σταθερής εσωτερικής θερμοκρασίας μέσα σε ορισμένα φυσιολογικά όρια, το ανθρώπινο σώμα βρίσκεται σε μια συνεχή ανταλλαγή θερμότητας με το περιβάλλον. Οι ροές θερμότητας από και προς το ανθρώπινο σώμα διέπονται από τους θεμελιώδεις νόμους της θερμοδυναμικής και περιγράφονται από την γενικευμένη εξίσωση του θερμικού ισοζυγίου

$$M + C + R + L + E_d + E_{sw} + E_{res} + E_{rel} + K_d = S \quad (2.1)$$

όπου M η παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό η οποία συνίσταται στο βασικό ρυθμό μεταβολισμού, στην ελεύθερη παραγωγή ενέργειας από το μεταβολισμό λόγω της δραστηριότητας και στο φόρτο της δραστηριότητας, C η τυρβώδη ανταλλαγή αισθητής θερμότητας, R η ροή θερμότητας μέσω της απορροφούμενης ηλιακής ακτινοβολίας, L η ροή θερμότητας μέσω της μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία, E_d η ανταλλαγή θερμότητας μέσω διάχυσης των υδρατμών, E_{sw} η ροή θερμότητας λόγω εξάτμισης του ιδρώτα, E_{res} η ξηρή απώλεια θερμότητας από την αναπνοή, E_{rel} η λανθάνουσα απώλεια θερμότητας από την ύγρανση του εισπνεόμενου αέρα, K_d η ροή θερμότητας μέσω αγωγής και S η καθαρή αποθηκευόμενη θερμότητα, με όλες τις ροές εκφρασμένες σε Wm^{-2} .

Όλα τα μοντέλα θερμικής ισορροπίας είτε αναφέρονται στο εξωτερικό ή στο εσωτερικό περιβάλλον βασίζονται στη γενικευμένη εξίσωση του θερμικού ισοζυγίου, με τις διαφορές τους να εντοπίζονται είτε στους συντελεστές που υπεισέρχονται στον υπολογισμό των ροών είτε στην παραμετροποίηση των θερμοφυσιολογικών παραμέτρων (Πίνακας 2.4).

Ένα από τα πρώτα και πιο γνωστά μοντέλα θερμικής ισορροπίας είναι το μοντέλο άνεσης του Fanger (1972), το οποίο αναπτύχθηκε με στόχο τη δημιουργία ενός θερμικά άνετου εσωτερικού περιβάλλοντος. Το μοντέλο αναφέρεται σε σταθερές συνθήκες θεωρώντας την καθαρή αποθηκευόμενη θερμότητα στο ανθρώπινο σώμα ίση με το μηδέν. Παράλληλα, η θερμοκρασία δέρματος και ο ρυθμός εφίδρωσης αντικαθιστώνται από αναμενόμενες τιμές σε συνθήκες άνεσης, οι οποίες προήλθαν από μελέτες ατόμων σε κλιματικούς θαλάμους. Αποτέλεσμα του μοντέλου είναι οι δείκτες Predicted Mean Vote (PMV) και Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD) (Πίνακες 2.3, 2.4). Οι Jendritzky et al. (1979, 1990) παραμετροποιώντας τις ροές ακτινοβολίας στο εξωτερικό περιβάλλον οδήγησαν στην εφαρμογή του μοντέλου του Fanger στο εξωτερικό περιβάλλον, γνωστό ως Klima Michel model. Αποτέλεσμα του μοντέλου για το εξωτερικό περιβάλλον είναι οι δείκτες Predicted Mean Vote (PMV) και Perceived Temperature (PT) (Πίνακας 2.4).

Το μοντέλο του Gagge (1971, 1986) αναπτύχθηκε για εσωτερικό περιβάλλον και αναπαριστά το ανθρώπινο σώμα ως δυο ομόκεντρους κυλίνδρους, με τον εσωτερικό κύλινδρο να αναφέρεται στον πυρήνα του σώματος και τον εξωτερικό στην επιδερμίδα. Σε αντίθεση με το μοντέλο του Fanger, η θερμοκρασία δέρματος και η εφίδρωση προκύπτουν από παραμετροποίηση ορισμένων θερμορρυθμιστικών διαδικασιών στο ανθρώπινο σώμα. Αποτέλεσμα του μοντέλου είναι οι δείκτες New

Effective Temperature (ET^*) και Standard Effective Temperature (SET^*). Για την εφαρμογή του στο εξωτερικό περιβάλλον το μοντέλο τροποποιήθηκε από τους Pickup and de Dear (2000) λαμβάνοντας υπόψη τις ροές ακτινοβολίας, από όπου προκύπτει ο δείκτης OUT_SET^* (Πίνακες 2.3, 2.4).

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.4. Επιλεγμένα μοντέλα θερμικής ισορροπίας.

Μοντέλο	Δείκτης
Μοντέλο άνεσης του Fanger (Fanger 1972)	PMV, PPD
Μοντέλο 24-κόμβων του σώματος (Stolwijk 1971)	-
Μοντέλο 2-κόμβων του σώματος (Gagge et al. 1971, 1986)	ET^*, SET^*
Klima Michel Model (KMM) (Jendritzky et al. 1979, 1990)	PMV, PT
Munich Energy-balance Model for Individuals (MEMI) Instationary Munich Energy-balance (IMEM) (Höppe 1984, 1993, 1999)	PET
COMfort formula (COMFA) (Brown and Gillespie 1986)	-
Man-ENvironment heat EXchange model (MENEX) (Błażejczyk 1994, 2001, 2005, 2006)	HL, SW, STI, PhS, PST
Μοντέλο 16-κόμβων του σώματος, τροποποιημένο μοντέλο του Stolwijk (Huizenga et al. 2001)	-
Μαθηματικό προγνωστικό μοντέλο της θερμορύθμισης (Fiala et al. 2001)	-
Το τροποποιημένο μοντέλο COMFA για άτομα που πραγματοποιούν φυσική δραστηριότητα (Kenny et al. 2009a, 2009b)	-

Οι Brown and Gillespie (1986) δημοσιεύουν το μοντέλο COMFA για την εκτίμηση της θερμικής άνεσης στο εξωτερικό περιβάλλον. Το μοντέλο χρησιμοποιεί ορισμένες παραμέτρους του μοντέλου του Fanger, ενώ παράλληλα θέτει τέσσερα κριτήρια τα οποία πρέπει να ικανοποιούνται για να υφίσταται θερμική άνεση. Ως αποτέλεσμα το μοντέλο δεν προσδιορίζει κάποιο δείκτη αλλά ταξινομεί την καθαρή αποθηκευόμενη θερμότητα με την υποκειμενική αίσθηση. Πρόσφατα, οι Kenny et al. (2009a, 2009b) τροποποίησαν το μοντέλο COMFA για εφαρμογή σε άτομα που πραγματοποιούν φυσική δραστηριότητα, ενώ οι Shimazaki et al. (2011) προτείνουν ως δείκτη άνεσης το ανθρώπινο θερμικό φορτίο, το οποίο αποτελεί το ποσό θερμότητας που υπολείπεται στην εξίσωση του θερμικού ισοζυγίου.

Ο Höppe (1984) δημοσιεύει το σταθερό μοντέλο MEMI θεωρώντας την καθαρή αποθηκευόμενη θερμότητα στο ανθρώπινο σώμα ίση με το μηδέν και το μη σταθερό μοντέλο IMEM χρησιμοποιώντας αρχικές συνθήκες για τις θερμοκρασίες του σώματος. Αμφότερα τα μοντέλα στηρίζονται στις γενικευμένες εξισώσεις του Fanger και σε κάποιες παραμέτρους του μοντέλου των Gagge et al. (1971). Το μοντέλο του Höppe προσομοιώνει τις σχετιζόμενες θερμοφυσιολογικές παραμέτρους ως αποτέλεσμα του μοντέλου και μπορεί να εφαρμοστεί σε εξωτερικό και εσωτερικό

περιβάλλον. Το αποτέλεσμα του μοντέλου είναι ο δείκτης Physiological Equivalent Temperature (*PET*) (Πίνακες 2.3, 2.4).

Παράλληλα, έχουν αναπτυχθεί μαθηματικά προγνωστικά μοντέλα του θερμορρυθμιστικού συστήματος του ανθρώπου, τα οποία διαιρούν το ανθρώπινο σώμα σε n αριθμό τμημάτων λαμβάνοντας υπ' όψη την ανατομία καθώς και τις θερμικές και φυσιολογικές ιδιότητες του κάθε τμήματος. Ως αποτέλεσμα τα μοντέλα αυτά δεν προσδιορίζουν έναν δείκτη αλλά προσομοιώνουν θερμοφυσιολογικές παραμέτρους για κάθε τμήμα του σώματος. Ένα από τα πιο γνωστά μοντέλα είναι το μοντέλο 24-κόμβων του σώματος του Stolwijk (1971) ενώ οι Huizenga et al. (2001) παρουσίασαν ένα νέο μοντέλο πολλαπλών κόμβων το οποίο στηρίζεται σε αυτό του Stolwijk ενσωματώνοντας σημαντικές θερμοφυσιολογικές βελτιώσεις. Οι Fiala et al. (2001) παρουσίασαν ένα πολλαπλών κόμβων προγνωστικό μοντέλο της θερμορύθμισης και των θερμοκρασιών στο ανθρώπινο σώμα το οποίο εφαρμόζεται στο δείκτη Universal Thermal Climate Index (UTCI) για την εκτίμηση της φυσιολογικής αντίδρασης του οργανισμού. Παρ' όλες τις δυνατότητες τις οποίες παρουσιάζουν τα μαθηματικά προγνωστικά μοντέλα σπάνια συνοδεύονται από μελέτες εγκυρότητας ενώ όταν κάτι τέτοιο συμβαίνει περιορίζεται σε μικρό αριθμό πειραμάτων των συγγραφέων και όχι χρησιμοποιώντας ανεξάρτητα πειραματικά δεδομένα (Fiala et al. 2001).

Ο Błażejczyk (1994, 2006) δημοσιεύει το κλιματικό και φυσιολογικό μοντέλο MENEX το οποίο προσομοιώνει τις θερμικές ανταλλαγές μεταξύ του ανθρώπινου σώματος και του περιβάλλοντος, για μη σταθερές και σταθερές συνθήκες, αποκλειστικά στο εξωτερικό περιβάλλον για διάφορες κλίμακες. Το μοντέλο ενσωματώνει αριθμητικά μοντέλα για την προσομοίωση της απορροφούμενης ηλιακής ακτινοβολίας τα οποία αναπτύχθηκαν χρησιμοποιώντας ως αναλογικό μοντέλο του ανθρώπινου σώματος εθελοντές και ανδρείκελα σε σειρά πειραμάτων στο πεδίο, σε αντίθεση με άλλα μοντέλα όπου χρησιμοποιούν ως αναλογικό μοντέλο τον κατακόρυφο κύλινδρο ή το ελλειψοειδές είτε βασίζονται σε θεωρητικές σχέσεις της ηλιακής γεωμετρίας με την απορροφούμενη ηλιακή ενέργεια (Błażejczyk 2004). Ως αποτέλεσμα το μοντέλο προσδιορίζει τις ροές από και προς το ανθρώπινο σώμα καθώς και μια σειρά από δείκτες όπως οι Heat Load (*HL*), Water Loss (*SW*), Subjective Temperature Index (*STI*), Physiological Strain Index (*PhS*) και Physiological Subjective Temperature (*PST*) (Πίνακες 2.3, 2.4).

Στην παρούσα διατριβή η προσομοίωση των θερμικών ανταλλαγών μεταξύ του ανθρώπινου σώματος και του περιβάλλοντος πραγματοποιήθηκε μέσω του μοντέλου MENEX ενώ παράλληλα χρησιμοποιήθηκαν οι δείκτες Heat Load (*HL*) και Water Loss (*SW*), οι οποίοι εκφράζουν θερμοφυσιολογικές διαδικασίες στο ανθρώπινο σώμα. Η αρχή λειτουργίας του μοντέλου με τη σχέση μεταξύ των φυσιολογικών και μετεωρολογικών παραμέτρων καθώς και των ροών θερμότητας από και προς το ανθρώπινο σώμα περιγράφονται αναλυτικά στη παράγραφο 4.2.

2.6 Τάσεις και προβλήματα στην εκτίμηση της θερμικής άνεσης στο εξωτερικό περιβάλλον

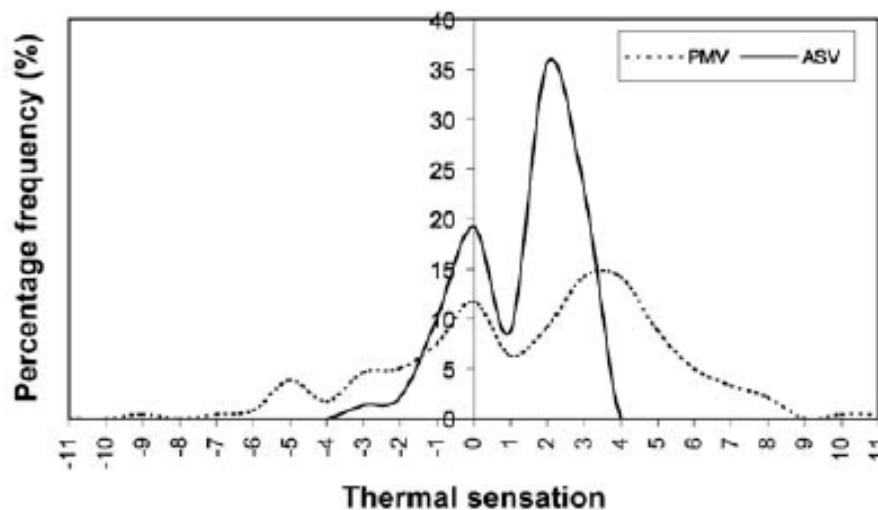
Το κυριότερο πρόβλημα στην εκτίμηση της θερμικής άνεσης στο εξωτερικό περιβάλλον σχετίζεται με τη χρήση μοντέλων και δεικτών τα οποία αναπτύχθηκαν και αξιολογήθηκαν αρχικά για το εσωτερικό περιβάλλον. Παράλληλα, οι κλιματικές παράμετροι στο εξωτερικό περιβάλλον παρουσιάζουν μεγαλύτερη διακύμανση, τόσο χωρικά όσο και χρονικά, συγκριτικά με έναν εσωτερικό χώρο. Επιπλέον, η δραστηριότητα είναι κυρίως καθιστική σε αντίθεση με το εξωτερικό περιβάλλον όπου τα επίπεδα δραστηριότητας είναι υψηλότερα και παρουσιάζουν μεγαλύτερη διακύμανση.

Οι Spagnolo and de Dear (2003) έθεσαν ορισμένα κρίσιμα ερωτήματα, όπως για το πώς μπορούμε να ήμαστε σίγουροι ότι η ισοδύναμη θερμοκρασία των 23.5 °C του δείκτη Effective Temperature (*ET**) υποδηλώνει άνεση στο εξωτερικό περιβάλλον όπως συμβαίνει στο εσωτερικό και εάν το αίσθημα της άνεσης είναι αντίστοιχο για άτομα στους τροπικούς όπως συμβαίνει για άτομα σε ψυχρότερες κλιματικές ζώνες. Συνδυάζοντας ορισμένους δείκτες άνεσης με την υποκειμενική ψήφο μιας μεγάλης ομάδας ατόμων κατέληξαν σε υψηλότερα όρια άνεσης για την περιοχή του Σύννεϋ συγκριτικά με τα αντίστοιχα πρότυπα για τον εσωτερικό χώρο. Η μελέτη τους υπέδειξε ότι τα εσωτερικά όρια άνεσης δεν είναι απευθείας μεταβιβάσιμα στο εξωτερικό περιβάλλον (Spagnolo and de Dear 2003).

Σε προηγούμενη μελέτη οι Nikolopoulou et al. (2001) έδειξαν ότι η πραγματική θερμική αίσθηση διαφέρει από εκείνη η οποία εκτιμάται από μοντέλα εσωτερικού χώρου, συγκρίνοντας την Πραγματική Αίσθηση Θερμότητας (Actual Sensation Vote, *ASV*), που συλλέχθηκε από δομημένα ερωτηματολόγια μιας μεγάλης ομάδας ατόμων, με τον δείκτη *PMV*. Βέβαια, το γεγονός αυτό πιθανόν να οφείλεται

μερικώς στη διαφορετική κλίμακα θερμικής αίσθησης, η οποία είναι 5-βάθμια για την ASV και 7-βάθμια για τον *PMV* (Spagnolo and de Dear 2003). Παράλληλα, σημειώνουν ότι ψυχολογικές παράμετροι όπως η προσωπική επιλογή, η σχετική εμπειρία των ανθρώπων σε παρόμοιες συνθήκες καθώς και οι προσδοκίες αποτελούν σημαντικές παραμέτρους στην εκτίμηση της θερμικής άνεσης στο εξωτερικό περιβάλλον (Nikolopoulou et al. 2001).

Σε αντίστοιχη μελέτη, οι Thorsson et al. (2004), μελέτησαν τη σχέση μεταξύ του θερμικού περιβάλλοντος και της θερμικής αντίληψης των ατόμων σε ένα αστικό πάρκο στο Γκετεμποργκ. Η σύγκριση του δείκτη *PMV* με τη θερμική αντίληψη των ερωτώμενων (*ASV*) παρουσιάζει σημαντικές αποκλίσεις (Σχήμα 2.3), υποδεικνύοντας ότι η θερμική αίσθηση η οποία εκτιμάται από σταθερά μοντέλα, όπως το μοντέλο του Fanger (1972), ίσως να μην είναι κατάλληλα για μικρής διάρκειας εκτίμηση της θερμικής άνεσης στο εξωτερικό περιβάλλον (Thorsson et al. 2004).

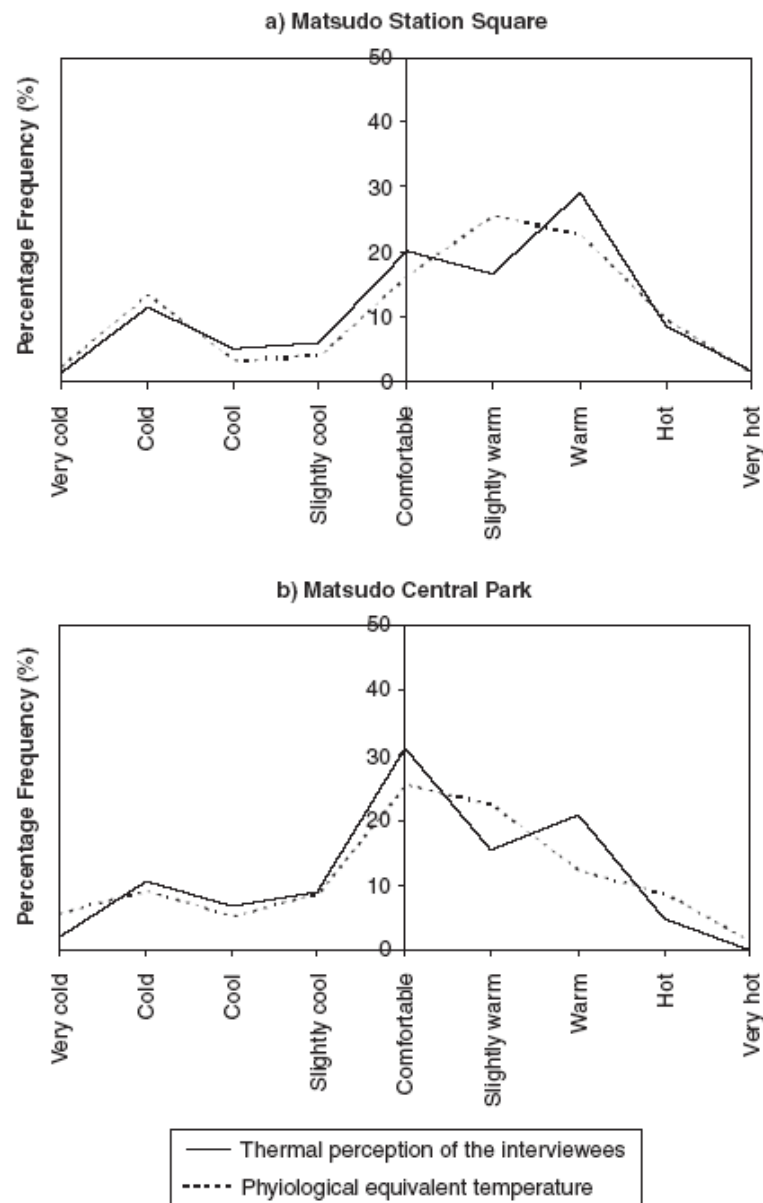


ΣΧΗΜΑ 2.3. Ποσοστιαία συχνότητα κατανομής της θερμικής αίσθησης μέσω του δείκτη Predicted Mean Vote (*PMV*) και της θερμικής αίσθησης των ερωτώμενων (*ASV*) (πηγή: Thorsson et al. 2004).

Αντιθέτως, η σύγκριση των αποτελεσμάτων των δομημένων ερωτηματολογίων και του δείκτη *PET* σε ένα αστικό πάρκο και μια πλατεία σε πόλη έξω από το Τόκυο παρουσιάζει καλή συμφωνία (Σχήμα 2.4) (Thorsson et al. 2007b).

Οι Havenith et al. (2002) διερευνώντας προσωπικές παραμέτρους στην εκτίμηση της θερμικής άνεσης, όπως η ενδυμασία και η παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό, καταλήγουν ότι η ιδέα της άνεσης πιθανόν να μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια υψηλής δραστηριότητας, λόγω των διαφορετικών ορμονών οι οποίες παράγονται στον υποθάλαμο προκαλώντας ένα αίσθημα ικανοποίησης, το οποίο πιθανόν να διευρύνει το εύρος όπου ένα άτομο αισθάνεται άνετα. Παράλληλα,

σημειώνουν την περιορισμένη διαθεσιμότητα λεπτομερών πινάκων της παράγωγης θερμότητας από το μεταβολισμό με τη δραστηριότητα και καταλήγουν ότι ένα σφάλμα της τάξης του 15% στην εκτίμηση της παραγωγής θερμότητας από το μεταβολισμό οδηγεί το δείκτη *PMV* σε σφάλμα μεγαλύτερο του 0.3 στη κλίμακα του (Havenith et al. 2002).



ΣΧΗΜΑ 2.4. Ποσοστιαία συχνότητα κατανομής της θερμικής αντίληψης των ερωτώμενων και ο δείκτης Physiological Equivalent Temperature (*PET*) α) σε μια πλατεία και β) σε ένα αστικό πάρκο της πόλης Matsudo της Ιαπωνίας (πηγή: Thorsson et al. 2007b).

Οι Vanos et al. (2010) διερεύνησαν την πραγματική θερμική αίσθηση ατόμων τα οποία πραγματοποιούν φυσική δραστηριότητα σε σχέση με το ποσό θερμότητας που αποθηκεύεται στο ανθρώπινο σώμα μέσω του τροποποιημένου μοντέλου COMFA (Kenny et al. 2009a, 2009b). Η μελέτη τους υπέδειξε ότι οι συνθήκες του

εξωτερικού περιβάλλοντος καθώς και η υψηλή δραστηριότητα δύναται να οδηγήσουν τα άτομα ώστε να είναι περισσότερο ανεκτικά σε θερμικά μη άνετες συνθήκες, διευρύνοντας τα όρια της θερμικής αίσθησης. Παράλληλα, σημειώνουν τη δυσκολία εκτίμησης της πραγματικής θερμικής αίσθησης για υψηλά επίπεδα ρυθμού μεταβολισμού και προτείνουν τη χρήση διορθωτικών συντελεστών ώστε να διαφοροποιείται η χαμηλή από την υψηλή παράγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό ανάλογα με τη δραστηριότητα στο εξωτερικό περιβάλλον (Vanos et al. 2010). Διορθωτικούς συντελεστές έχουν χρησιμοποιήσει οι Yao et al. (2009) για το δείκτη *aPMV* (adaptive Predicted Mean Vote) με στόχο να λαμβάνει υπόψη του διαφορετικές κλιματικές ζώνες καθώς και ψυχολογικές παραμέτρους.

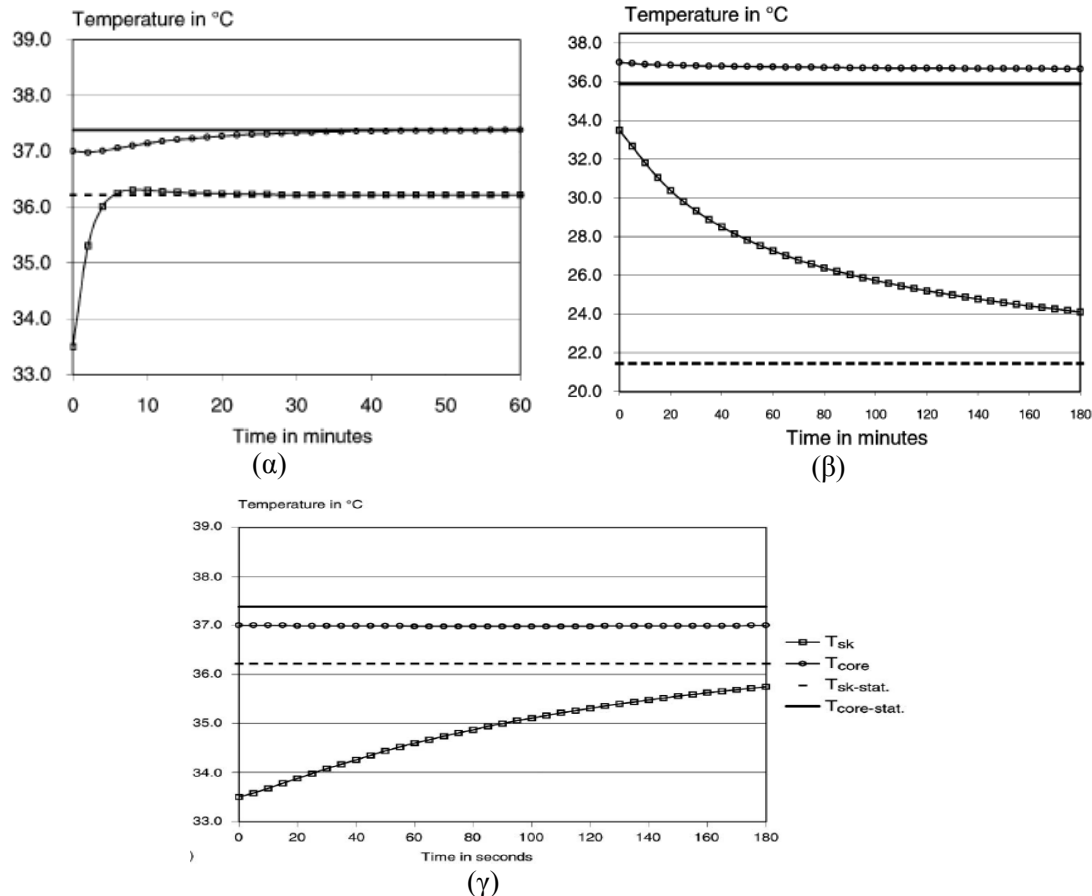
Οι Nastos and Matzarakis (2006) μελετώντας την επίδραση των μετεωρολογικών και βιομετεωρολογικών παραμέτρων στην ανθρώπινη υγεία προσδιόρισαν μια στατιστικά σημαντική συσχέτιση μεταξύ του αριθμού των εισαγωγών με συμπτώματα λοίμωξης του αναπνευστικού και τους δείκτες *PMV*, *PET* και *SET**. Η μελέτη τους υπέδειξε ότι μείωση κατά 10 μονάδες του δείκτη *PMV* και κατά 10 °C των δεικτών *PET* και *SET** σχετίζεται με αύξηση της πιθανότητας εμφάνισης λοίμωξης του αναπνευστικού κατά 47%, 12% και 11%, αντίστοιχα (Nastos and Matzarakis 2006).

Σε αντίστοιχη μελέτη, οι Pantavou et al. 2008, προσδιόρισαν αρνητική ισχυρή συσχέτιση μεταξύ του δείκτη *PMV* και του αριθμού των περιστατικών με αναπνευστικά και καρδιαγγειακά συμπτώματα κατά τη θερμή περίοδο. Το αποτέλεσμα αυτό επιβεβαιώνεται και από την πρόσφατη μελέτη των Pantavou et al. 2011, με τη θερμική αίσθηση, τη θερμική επιβάρυνση και την άνεση να προσδιορίζονται μέσω των δεικτών *HL*, *ASV*, *DI* και *TS*. Παράλληλα, η μελέτη τους υπέδειξε διαφορετική συχνότητα κατανομής στη κλίμακα του κάθε δείκτη, με το δείκτη *ASV* να τείνει να ταξινομεί τις περισσότερες περιπτώσεις στην άνεση και το δείκτη *HL* στην έντονη θερμή επιβάρυνση (Pantavou et al. 2011).

Το αποτέλεσμα αυτό φέρνει στην επιφάνεια τη διαφορετική συμπεριφορά του κάθε δείκτη, γεγονός το οποίο σχετίζεται με το τι εκφράζει καθώς και με τον τρόπο υπολογισμού του όσο αναφορά τις έννοιες της θερμικής άνεσης, της θερμικής επιβάρυνσης, της θερμικής δυσφορίας και της θερμικής έντασης.

Τέλος, ένα σημείο το οποίο χρίζει ιδιαίτερης προσοχής κατά την εκτίμηση της θερμικής άνεσης στο εξωτερικό περιβάλλον είναι ο χρόνος έκθεσης και η προηγούμενη θερμική κατάσταση του σώματος. Ο Höppe (2002) μελέτησε τη

χρονική εξέλιξη των θερμοφυσιολογικών παραμέτρων για τρία διαφορετικά σενάρια. Τα δυο πρώτα αφορούσαν την έξοδο ενός ατόμου από έναν εσωτερικό χώρο σε ένα θερμό και ψυχρό περιβάλλον, αντίστοιχα, ενώ στο τρίτο σενάριο μελέτησε ένα άτομο το οποίο εξέρχεται από ένα σκιερό μέρος και εισέρχεται σε ένα οδικό τμήμα 200m εκτεθειμένος στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία (Σχήμα 2.5).



ΣΧΗΜΑ 2.5. Χρονική εξέλιξη της θερμοκρασίας του πυρήνα του σώματος και της μέσης θερμοκρασίας του δέρματος μετά την είσοδο α) σε ένα θερμό περιβάλλον ($T_a=30^\circ\text{C}$, $T_{mrt}=60^\circ\text{C}$, $VP_a=15\text{hPa}$, $v=0.5\text{ms}^{-1}$) από θερμικά ουδέτερες συνθήκες, β) σε ένα ψυχρό περιβάλλον ($T_a=T_{mrt}=0^\circ\text{C}$, $VP_a=5\text{hPa}$, $v=1\text{ms}^{-1}$) από θερμικά ουδέτερες συνθήκες και γ) σε ένα θερμό περιβάλλον ($T_a=30^\circ\text{C}$, $T_{mrt}=60^\circ\text{C}$, $VP_a=5\text{hPa}$, $v=1\text{ms}^{-1}$) εκτεθειμένος στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία προερχόμενος από σκιερό μέρος ($T_{mrt}=25^\circ\text{C}$) (πηγή: Höppe 2002).

Με τη χρήση του μοντέλου IMEM, τα αποτελέσματα υπέδειξαν ότι για άτομα τα οποία παραμένουν σε ένα θερμό εξωτερικό περιβάλλον περισσότερο από μισή ώρα είναι δυνατή η χρήση σταθερών μοντέλων (Höppe 2002). Αντιθέτως, σε ένα ψυχρό περιβάλλον το ανθρώπινο σώμα καθυστερεί πολλές ώρες ώστε να προσαρμοστεί στις συνθήκες του εξωτερικού περιβάλλοντος, με αποτέλεσμα να απαιτείται η χρήση μη σταθερών μοντέλων για ρεαλιστικά αποτελέσματα (Höppe 2002). Επιπλέον, η μελέτη υπέδειξε τη διαφορετική χρονική εξέλιξη των θερμοφυσιολογικών παραμέτρων όταν οι προσομοιώσεις πραγματοποιούνται για σταθερές και μη σταθερές συνθήκες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

3.1 Εισαγωγή

Στα πλαίσια της παρούσας διδακτορικής διατριβής ο σχεδιασμός και η διεξαγωγή πειραμάτων είχε ως κύριο σκοπό την αποτύπωση και διερεύνηση της επίδρασης του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στον ανθρώπινο οργανισμό, με έμφαση στη θερμική άνεση για επιλεγμένες ομάδες ατόμων στο πεδίο σε ένα θερμό περιβάλλον. Η διεξαγωγή κατάλληλων θερμοφυσιολογικών και μετεωρολογικών μετρήσεων δημιούργησε τις προϋποθέσεις για μια θεωρητική και πειραματική προσέγγιση της ανθρώπινης θερμικής άνεσης.

Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε κατά τον πειραματικό σχεδιασμό στην ανάπτυξη πρωτοκόλλου για την επιλογή των ατόμων, την καταγραφή των θερμοφυσιολογικών και μετεωρολογικών μεταβλητών καθώς και στο σχεδιασμό πειραματικών φάσεων οι οποίες διαφοροποιούνται για τις επιλεγμένες ομάδες μελέτης ως προς τα εξής κριτήρια:

- Προσαρμογή ή μη στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον.
- Έκθεση ή μη στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία.
- Δραστηριότητα ή μη.

Στο πλαίσιο αυτό, ο πειραματικός σχεδιασμός οδήγησε στη διεξαγωγή δυο πειραματικών διαδικασιών με τους κύριους στόχους να είναι:

- Η διερεύνηση της θερμικής άνεσης χωρίς προσαρμογή σε ένα έντονα θερμό περιβάλλον (Πειραματική διαδικασία Α).
- Η διερεύνηση της θερμικής άνεσης με ήπια προσαρμογή στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον, συνδυάζοντας διαδοχικές φάσεις έκθεσης ή μη στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία, με αντίστοιχη δραστηριότητα ή μη στα θερμοκρασιακά επίπεδα από 27 °C έως 39 °C (Πειραματική διαδικασία Β).

Αμφότερες οι πειραματικές διαδικασίες πραγματοποιήθηκαν τον Ιούλιο του 2007 και 2008 στην Πανεπιστημιούπολη του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών στη περιοχή Ζωγράφου. Οι επιμέρους στόχοι των πειραμάτων συνιστούσαν συνεχή καταγραφή των θερμοφυσιολογικών παραμέτρων

για τις επιλεγμένες ομάδες μελέτης καθώς και συνεχή καταγραφή των μετεωρολογικών παραμέτρων στην περιοχή μελέτης στην κλίμακα του λεπτού.

Ο σχεδιασμός της πειραματικής υποδομής για την καταγραφή των θερμοφυσιολογικών παραμέτρων βασίστηκε σε ένα όργανο πολλαπλών αισθητήρων (SenseWear Pro II Armband) και στο αντίστοιχο λογισμικό επεξεργασίας (Innerview Research Professional Software 5.1) της εταιρείας BodyMedia, Inc. (Pittsburgh, PA). Ταυτόχρονα, η καταγραφή των μετεωρολογικών παραμέτρων βασίστηκε στο Μετεωρολογικό Σταθμό του Πανεπιστημίου Αθηνών ο οποίος εντοπίζεται στη περιοχή μελέτης και επί πλέον σε έναν Κινητό Μετεωρολογικό Σταθμό.

Ο πειραματικός σχεδιασμός για την εκάστοτε διαδικασία και τον αντίστοιχο εξοπλισμό περιγράφεται αναλυτικά στη συνέχεια.

3.2 Πειραματικός σχεδιασμός

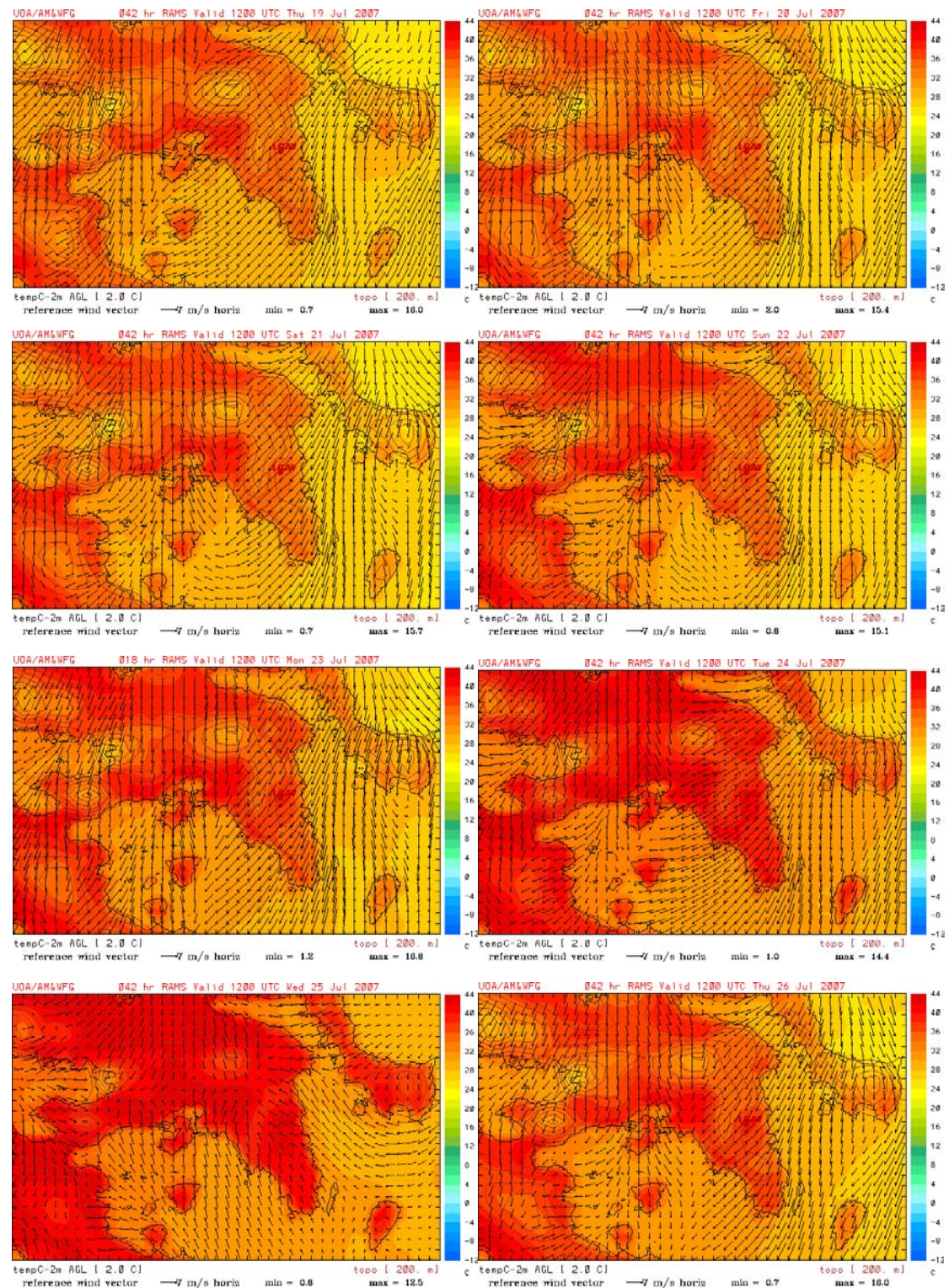
Κατά το πειραματικό σχεδιασμό πραγματοποιήθηκε η επιλογή των πειραματικών περιόδων με βάση το στόχο της κάθε διαδικασίας ενώ ταυτόχρονα προσδιορίστηκε η πειραματική θέση όπου θα λάβει χώρα η εκάστοτε διαδικασία. Στη συνέχεια επιλέχθηκαν τα άτομα που θα συμμετέχουν, με αποτύπωση των ανθρωπομετρικών τους χαρακτηριστικών. Ταυτόχρονα, προσδιορίστηκαν τα απαιτούμενα πειραματικά θερμοφυσιολογικά και μετεωρολογικά δεδομένα καθώς και ο αντίστοιχος κατάλληλος πειραματικός εξοπλισμός. Τέλος, σχεδιάστηκαν κατάλληλες πειραματικές φάσεις βάσει του στόχου της κάθε διαδικασίας.

3.2.1 Επιλογή πειραματικών περιόδων

Αφού ο κύριος σκοπός ήταν η διερεύνηση της θερμικής άνεσης σε θερμό περιβάλλον, αμφότερες οι πειραματικές διαδικασίες έλαβαν χώρα στη διάρκεια της θερμής περιόδου. Η επιλογή των πειραματικών περιόδων βάσει των θερμοκρασιακών επιπέδων του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στηρίχτηκε στη πρόγνωση υψηλής ανάλυσης του συστήματος SKIRON, που λειτουργεί επιχειρησιακά από την ομάδα ατμοσφαιρικών μοντέλων και πρόγνωσης καιρού του Τμήματος Φυσικής του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών.

Κύριος στόχος της πειραματικής διαδικασίας Α ήταν η διερεύνηση της θερμικής άνεσης χωρίς προσαρμογή σε ένα έντονα θερμό περιβάλλον. Βάσει της πρόγνωσης του SKIRON τα θερμοκρασιακά επίπεδα του αέρα επρόκειτο να διαμορφωθούν σε ιδιαίτερα υψηλά επίπεδα το χρονικό διάστημα από 19 έως 26

Ιουλίου του 2007 (Σχήμα 3.1). Ως εκ τούτου επιλέχθηκε η πειραματική διαδικασία Α να πραγματοποιηθεί κατά την κορύφωση της θερμικής έξαρσης, το χρονικό διάστημα από 23 έως 25 Ιουλίου του 2007, όπου η μέγιστη θερμοκρασία του αέρα επρόκειτο να ξεπεράσει το κατώφλι των 37 °C (Prezerakos 1989).



ΣΧΗΜΑ 3.1. Πρόγνωση του SKIRON για τη θερμοκρασία του αέρα στις 1200 UTC το χρονικό διάστημα από 19 έως 25 Ιουλίου 2007.

Έχοντας αποκτήσει εμπειρία από την πειραματική διαδικασία Α, κύριος στόχος της πειραματικής διαδικασίας Β ήταν η διερεύνηση της θερμικής άνεσης με ήπια προσαρμογή στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον, συνδυάζοντας διαδοχικές φάσεις έκθεσης ή μη στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία, με αντίστοιχη δραστηριότητα ή μη, αυξάνοντας και τον αριθμό των συμμετεχόντων για θερμοκρασιακά επίπεδα από 27 °C έως 39 °C. Βάσει της πρόγνωσης του SKIRON ως τέτοιο διάστημα επιλέχτηκε το δεύτερο δεκαπενθήμερο του Ιουλίου του 2008. Συγκεκριμένα, η πειραματική διαδικασία Β έλαβε χώρα τις ημέρες 15, 16, 17, 18, 21, 22, 23, 24, 25, και 28 Ιουλίου του 2008.

3.2.2 Πειραματική θέση

Η πειραματική θέση εντοπίζεται σε τμήμα της Πανεπιστημιούπολης του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών (Σχήμα 3.2). Η Πανεπιστημιούπολη (37°58'Β, 23°47'Α) τοποθετείται στο ανατολικό τμήμα του λεκανοπεδίου Αττικής στους πρόποδες του όρους Υμηττός και απέχει 5 km από το κέντρο της πόλης των Αθηνών. Το μέσο υψόμετρο από την επιφάνεια της θάλασσας είναι 242 m. Το πειραματικό πεδίο χαρακτηρίζεται ως περιαστικό συνδυάζοντας κυρίως κωνοφόρα δένδρα, θάμνους, κτιριακές εγκαταστάσεις και ασφαλτοστρωμένα οδικά τμήματα.



ΣΧΗΜΑ 3.2. Τμήμα της Πανεπιστημιούπολης του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, όπου εντοπίζεται το πειραματικό πεδίο.

Η επιλογή της πειραματικής θέσης έγινε με βάση τα ακόλουθα κριτήρια:

- Να εντοπίζεται σε περιαστική περιοχή.
- Να διεξάγεται απρόσκοπτα η πειραματική διαδικασία χωρίς έντονο κυκλοφοριακό φόρτο.
- Να διαθέτει οδικά τμήματα με διαφορετική διαδοχή των κατά μήκος κλίσεων.

3.2.3 Επιλογή ατόμων

Τα άτομα που συμμετείχαν ήταν εθελοντές και επελέγησαν με βάση τα ακόλουθα κριτήρια:

- Να είναι ενήλικες.
- Να διαθέτουν καλή υγεία.
- Να διαθέτουν ικανοποιητική φυσική κατάσταση ώστε να ολοκληρώσουν την πειραματική διαδικασία.
- Να μη λαμβάνουν φαρμακευτική αγωγή.

Τα ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά των ατόμων που συμμετείχαν απεικονίζονται στο Πίνακα 3.1.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1. Ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά των ατόμων.

Κωδικός	Φύλο	Ηλικία (yr)	Βάρος (kg)	Ύψος (cm)	Dubois Area (m ²)	Παρατηρήσεις
200771 - Sub1	Άρρεν	32	79.0	186	2.03	Καπνιστής
200772 - Sub2	Θήλυ	32	50.0	165	1.53	Μη καπνιστής
200871 - Sub3	Άρρεν	33	79.8	186	2.04	Καπνιστής
200872 - Sub4	Θήλυ	30	60.8	168	1.69	Μη καπνιστής
200873 - Sub5	Θήλυ	32	66.7	170	1.77	Καπνιστής
200874 - Sub6	Άρρεν	22	80.7	188	2.07	Μη καπνιστής
200875 - Sub7	Άρρεν	32	75.8	178	1.94	Καπνιστής

Στο Πίνακα 3.2 απεικονίζονται τα άτομα που συμμετείχαν ανά πειραματική διαδικασία.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2. Συμμετέχοντες ανά πειραματική διαδικασία.

Πειραματική διαδικασία	Κωδικός
Α	200771 - Sub1
	200772 - Sub2
	200871 - Sub3
Β	200872 - Sub4
	200873 - Sub5
	200874 - Sub6
	200875 - Sub7

3.2.4 Επιλογή ενδυμασίας

Το ποσό θερμικής μόνωσης (αντίστασης) που αντιστοιχεί στην ενδυμασία ενός ατόμου έχει συναφή επίπτωση στη θερμική άνεση (ASHRAE 1997, 2001). Στο πλαίσιο αυτό, επελέγησαν δυο ανεξάρτητα δείγματα συνολικής ενδυμασίας για κάθε μια πειραματική διαδικασία.

Κατά την πειραματική διαδικασία Α, την ενδυμασία του άνδρα αποτελούσε ένα ελαφρύ παντελόνι, μια κοντομάνικη φανέλα, κάλτσες, υποδήματα (χοντρή σόλας) και ανδρικά εσώρουχα. Αντίστοιχα την ενδυμασία της γυναίκας αποτελούσε ένα ελαφρύ παντελόνι, μια αμάνικη φανέλα, κάλτσες, υποδήματα (χοντρή σόλας) και γυναικεία εσώρουχα. Σύμφωνα με την ASHRAE (1997, 2001) η αντίσταση της συνολικής επιλεγμένης ενδυμασίας προσδιορίστηκε σε 0.39 clo για τον άνδρα και σε 0.36 clo για τη γυναίκα και προέκυψε από συνδυασμό ενδυμάτων (Πίνακας 3.3).

Κατά την πειραματική διαδικασία Β, την ενδυμασία όλων των ατόμων αποτελούσε ένα κανονικό παντελόνι, μια κοντομάνικη φανέλα, κάλτσες, υποδήματα (λεπτής σόλας) και εσώρουχα. Σύμφωνα με την ASHRAE (1997, 2001) η αντίσταση της συνολικής επιλεγμένης ενδυμασίας προσδιορίστηκε σε 0.41 clo για την ομάδα μελέτης (Πίνακας 3.3). Επιπλέον, για την ελαχιστοποίηση τυχόν διαφορετικών φυσιολογικών αντιδράσεων, επιλέχτηκε λευκή κοντομάνικη φανέλα και σκούρο μπλε παντελόνι (Kato et al. 1996; Błażejczyk et al. 1999, Błażejczyk 2004).

Η επιλεγμένη συνολική ενδυμασία κάθε πειραματικής διαδικασίας παρέμενε σταθερή για όλες τις πειραματικές ημέρες.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3. Επιλεγμένη αντίσταση ενδυμάτων για τις ομάδες μελέτης.

Ένδυμα	Αντίσταση ενδύματος (clo)	Αντίσταση ενδύματος (m ² KW ⁻¹)
Ανδρικό εσώρουχο	0.04	0.0062
Γυναικείο εσώρουχο	0.03	0.0047
Στηθόδεσμο	0.01	0.0016
Ελαφρύ παντελόνι	0.20	0.0310
Κανονικό παντελόνι	0.24	0.0372
Κοντομάνικη φανέλα	0.08	0.0124
Αμάνικη φανέλα	0.05	0.0078
Κάλτσες (στο ύψος της γάμπας)	0.03	0.0047
Υποδήματα (λεπτής σόλας)	0.02	0.0031
Υποδήματα (χοντρή σόλας)	0.04	0.0062

Ένα δεύτερο χαρακτηριστικό της ενδυμασίας, εκτός από τη θερμική μόνωση, είναι η λευκαύγεια (albedo, αδιάστατο), η οποία εξαρτάται από το χρώμα και από το υλικό του ενδύματος. Στις μελέτες θερμικής άνεσης λαμβάνεται υπόψη η μέση

λευκαύγεια της ενδυμασίας και του δέρματος. Η λευκαύγεια του δέρματος κυμαίνεται για ανοιχτόχρωμες επιδερμίδες από 0.40 έως 0.45 ενώ για σκουρόχρωμες μεταξύ 0.20 και 0.25 (Driscoll 1985; Monteith and Unsworth 2008). Για μελέτες θερμικής άνεσης σε εξωτερικούς χώρους οι Brown and Gillespie (1986) πρότειναν ως μέση λευκαύγεια ενδυμασίας και δέρματος την τιμή 0.37. Επίσης, οι Błażejczyk et al. (1993) και Błażejczyk (2004) κατά την προσομοίωση της απορροφούμενης ηλιακής ακτινοβολίας από τον άνθρωπο χρησιμοποίησαν την τιμή 0.33 και 0.30, αντίστοιχα, ενώ οι Kenny et al. (2008) χρησιμοποίησαν τρεις διαφορετικές τιμές, ανοιχτό (0.57), μέτριο (0.37) και σκούρο (0.21). Στη παρούσα διατριβή, ως μέση λευκαύγεια δέρματος και ενδυμασίας επιλέχτηκε η τιμή 0.31 ως η πιο αντιπροσωπευτική.

3.3 Περιγραφή πειραματικής διαδικασίας Α

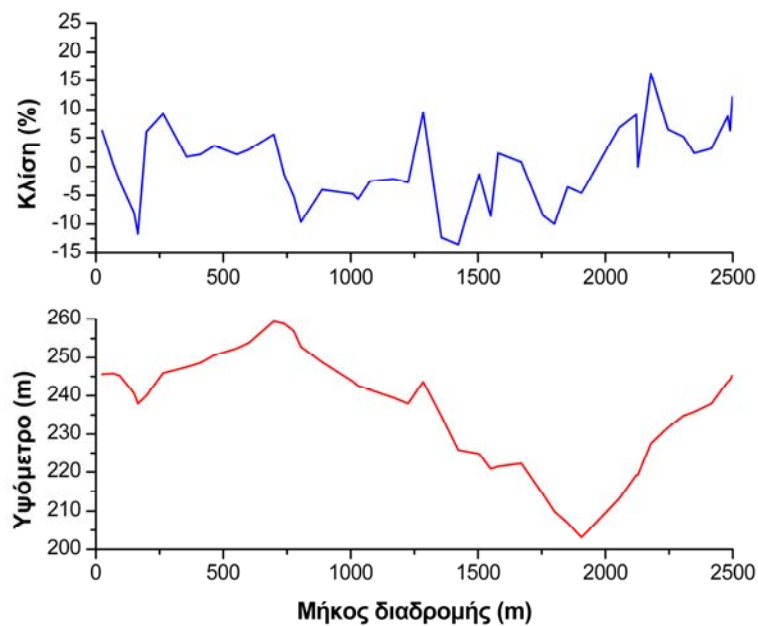
Η διαδικασία που ακολουθήθηκε αποτελείτο από δυο κύριες φάσεις. Η πρώτη φάση διεξήχθη στο κτίριο Φυσικής IV στον τομέα Φυσικής Περιβάλλοντος και Μετεωρολογίας, σε ένα κλιματιζόμενο χώρο του τρίτου ορόφου. Οι διαστάσεις του χώρου είναι 3.32 m πλάτος, 6.88 m μήκος και 3.5 m ύψος. Κάθε πειραματική ημέρα η ομάδα μελέτης παρουσιαζόταν την προγραμματισμένη ώρα, στις 13:00 τοπική ώρα (SLT). Με την άφιξη των ατόμων τοποθετείται στο τρικέφαλο του δεξιού τους βραχίονα μια συσκευή πολλαπλών αισθητήρων για τη συνεχή καταγραφή των θερμοφυσιολογικών τους παραμέτρων. Αξίζει να σημειωθεί, ότι είχε ζητηθεί από την ομάδα μελέτης να έχει έναν ήρεμο ύπνο το προηγούμενο βράδυ και να έχουν καταναλώσει οποιοδήποτε γεύμα τουλάχιστον μια ώρα νωρίτερα από την άφιξη τους. Στη συνέχεια ζητήθηκε να καθίσουν άνετα και να διαβάσουν ή να πραγματοποιήσουν εξ ίσου ήρεμη δραστηριότητα για 90min (13:15-14:45 SLT). Στο χώρο επικρατούσαν τιμές θερμοκρασίας ~27 °C και ~50% σχετικής υγρασίας κάθε πειραματική ημέρα. Στις 14:45 SLT η ομάδα μελέτης εξέρχεται από το κλιματιζόμενο γραφείο και διαμέσου της εσωτερικής κλίμακας κατευθύνεται στην έξοδο του κτιρίου.

Ουσιαστικά, με την έξοδο της ομάδας από το κτίριο ξεκινά η δεύτερη φάση της πειραματικής διαδικασίας. Αμφότεροι περπατούν ταυτόχρονα σε μια προκαθορισμένη και ελεγχόμενη κυκλική διαδρομή, μήκους 2.5 km, σε τμήμα της Πανεπιστημιούπολης (Σχήμα 3.3). Η διαδρομή ολοκληρώθηκε σε 33 min, το χρονικό διάστημα από 14:48 έως 15:20 SLT.



ΣΧΗΜΑ 3.3. Η προκαθορισμένη και ελεγχόμενη κυκλική διαδρομή, με το σημείο έναρξης Α.

Η μέγιστη ανηφορική κλίση σε τμήμα της διαδρομής είναι 16% ενώ η αντίστοιχη κατηφορική κλίση είναι 13% (Σχήμα 3.4). Η ομάδα μελέτης ολοκλήρωσε τη προκαθορισμένη διαδρομή με μέση ταχύτητα 1.26 ms^{-1} . Η μέση μέγιστη ταχύτητα σε τμήμα της διαδρομής ήταν 1.31 ms^{-1} ενώ η αντίστοιχη μέση ελάχιστη ήταν 1.14 ms^{-1} .



ΣΧΗΜΑ 3.4. Μεταβολή υψομέτρου και κλίσης κατά μήκος της διαδρομής.

Η επιλογή του χρόνου όπου πραγματοποιήθηκε η πειραματική διαδικασία επιλέχτηκε ώστε να ελαχιστοποιήσει την επίδραση της σκίασης που προκαλείται από κτίρια και δέντρα κατά μήκος της διαδρομής. Η ακολουθούμενη πορεία σχεδιάστηκε σε δρόμο πλάτους 10 m συμπεριλαμβανομένων των πεζοδρόμων εκατέρωθεν. Συνεπώς, η ομάδα μελέτης ήταν συνεχώς εκτεθειμένη στην άμεση ηλιακή

ακτινοβολία κατά μήκος της διαδρομής αφού ελάχιστα τμήματα του δρόμου ήταν σκιασμένα.

Ο χρόνος παραμονής στον εσωτερικό κλιματιζόμενο χώρο καθώς και ο χρόνος ολοκλήρωσης της διαδρομής παρέμενε σταθερός για κάθε μια από τις τρεις πειραματικές ημέρες.

3.4 Περιγραφή πειραματικής διαδικασίας Β

Σε κάθε πειραματική ημέρα η ομάδα μελέτης παρουσιαζόταν μεταξύ 13:20 έως 13:30 SLT στο σημείο Β (Σχήμα 3.5, 3.6). Η πειραματική διαδικασία διαχωρίστηκε σε τρεις κύριες φάσεις. Κατά την πρώτη φάση διάρκειας 30 min, ζητήθηκε από την ομάδα μελέτης να καθίσει άνετα στη σκιά ενός κωνοφόρου δένδρου (Σχήμα 3.5). Κατά τη διάρκεια της δεύτερης φάσης τα άτομα περπάτησαν ταυτόχρονα σε μια προκαθορισμένη και ελεγχόμενη κυκλική διαδρομή, μήκους 2.6 km, σε τμήμα της Πανεπιστημιούπολης (Σχήμα 3.5). Με την άφιξη της ομάδας μελέτης στο αρχικό σημείο Β ξεκινά η τρίτη φάση κατά την οποία τα άτομα κάθισαν άνετα στη σκιά του κωνοφόρου δένδρου για 30 min (Σχήμα 3.6).



ΣΧΗΜΑ 3.5. Η προκαθορισμένη και ελεγχόμενη κυκλική διαδρομή, με το σημείο έναρξης Β.



ΣΧΗΜΑ 3.6. Πανοραμική άποψη του σημείου B.

Ο σχεδιασμός της κυκλικής διαδρομής όπου ακολουθήθηκε κατά τη δεύτερη φάση της πειραματικής διαδικασίας οδήγησε στη συνεχή έκθεση της ομάδας μελέτης στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία. Η χρονική διάρκεια εκτέλεσης της διαδρομής για κάθε μια από τις δέκα πειραματικές ημέρες κυμάνθηκε από 37 έως 42 min, διαμορφώνοντας μέση ταχύτητα 1.03 και 1.17 ms^{-1} , αντίστοιχα.

3.5 Πειραματικός εξοπλισμός

3.5.1 Όργανο πολλαπλών αισθητήρων *SenseWear Pro II Armband*

Οι μετρήσεις θερμοφυσιολογικών και φυσιολογικών παραμέτρων του ανθρώπινου οργανισμού πραγματοποιήθηκαν με το όργανο *SenseWear Pro II Armband* (BodyMedia, Inc., Pittsburgh, PA). Η διάταξη (Σχήμα 3.7) ενσωματώνει ένα 2-αξονων επιταχύμετρο (2-axis accelerometer), αισθητήρα ροής θερμότητας (Heat flux, *HF*), αισθητήρα γαλβανικής αντίδρασης του δέρματος (Galvanic skin response, *GSR*), αισθητήρα θερμοκρασίας δέρματος (Skin temperature, T_{arm}) και αισθητήρα θερμοκρασίας κοντά στην επιφάνεια του σώματος (near-body ambient temperature) (BodyMedia, Inc., 2006).

Συγκεκριμένα, το επιταχύμετρο χρησιμοποιεί έναν 2-αξόνων (εγκάρσιο και διαμήκη) μικροηλεκτρονικό αυτόματο αισθητήρα (MEMS) καταγράφοντας τη κίνηση και χαρτογραφώντας τις δυνάμεις που ασκούνται στο σώμα (BodyMedia, Inc., 2006).

Ο αισθητήρας ροής θερμότητας μετρά το ποσό της θερμότητας που εκλύεται από το σώμα. Ο αισθητήρας ενσωματώνει χαμηλής θερμικής αντίστασης υλικά και άκρως ευαίσθητες διατάξεις θερμοζευγών (thermocouple arrays). Επιπλέον είναι τοποθετημένος κατά μήκος ενός θερμικά αγωγίμου τμήματος μεταξύ του δέρματος και μιας οπής στην άκρη της συσκευής εκτεθειμένης στο περιβάλλον. Ένας υψηλής ακρίβειας ενισχυτής χρησιμοποιείται για τη καταγραφή του σήματος από τον ενσωματωμένο μικροεπεξεργαστή της συσκευής (BodyMedia, Inc., 2006).



ΣΧΗΜΑ 3.7. Το όργανο πολλαπλών αισθητήρων SenseWear Pro II Armband.

Ο αισθητήρας γαλβανικής αντίδρασης του δέρματος μετρά την ηλεκτρική αγωγιμότητα (εμπέδηση) μεταξύ δυο σημείων. Ο αισθητήρας περιλαμβάνει δυο υποαλλεργικά ανοξείδωτα ατσάλινα ηλεκτρόδια, ενσωματωμένα στο πίσω μέρος της συσκευής, συνδεδεμένα με ένα κύκλωμα όπου μετρά την ηλεκτρική αγωγιμότητα του δέρματος μεταξύ των δυο ηλεκτροδίων. Η γαλβανική αντίδραση του δέρματος αντιπροσωπεύει την περιεκτικότητα νερού στο δέρμα λόγω εφίδρωσης καθώς και την διαστολή και συστολή των περιφερειακών αγγείων (BodyMedia, Inc., 2006).

Η θερμοκρασία του δέρματος και η θερμοκρασία κοντά στην επιφάνεια του σώματος μετρήθηκαν από υψηλής ακρίβειας θερμικές αντιστάσεις (thermistors) που εντοπίζονται στο πίσω και πλαϊνό μέρος του οργάνου αντίστοιχα (BodyMedia, Inc., 2006).

Η συχνότητα καταγραφής είναι 32 Hz με ρυθμιζόμενη συχνότητα αποθήκευσης, από μια φορά το λεπτό έως μια φορά το δευτερόλεπτο, με ανάλογη μείωση της συνολικής διάρκειας καταγραφής. Έτσι στη μνήμη του οργάνου καταγράφονται συμπιεσμένα κανάλια δεδομένων. Τα κανάλια καταγραφής είναι ένα επιλεγμένο σύνολο χαρακτηριστικών όπου προσδιορίζουν τη βασική στατιστική για το πλήθος των δεδομένων (μέση τιμή, διαφορές κλπ) καθώς και πιο σύνθετα

χαρακτηριστικά (peaks κλπ). Επιπλέον η χρονική επισήμανση των συμβάντων πραγματοποιείται μέσω ενός χρονοδιακόπτη (timestamp). Η ανάλυση και ακρίβεια των αισθητήρων για τις μετρούμενες μεταβλητές απεικονίζονται στο Πίνακα 3.4.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4. Ανάλυση και ακρίβεια των αισθητήρων του SenseWear Pro II Armband.

Μετρούμενες μεταβλητές	Ανάλυση	Ακρίβεια
Διαμήκη επιτάχυνση	0.01 g	Εύρος 2-τυπικών αποκλίσεων ± 0.05 g
Εγκάρσια επιτάχυνση	0.01 g	Εύρος 2-τυπικών αποκλίσεων ± 0.06 g
Ροή θερμότητας	1 W m^{-2}	Εύρος 2-τυπικών αποκλίσεων $\pm 10 \text{ W m}^{-2}$
Γαλβανική αντίδραση δέρματος	-	Εύρος 2-τυπικών αποκλίσεων ± 7.0 nSiemen
Θερμοκρασία δέρματος	$0.05 \text{ }^{\circ}\text{C}$	Εύρος 2-τυπικών αποκλίσεων $\pm 0.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Θερμοκρασία κοντά στην επιφάνεια του σώματος	$0.05 \text{ }^{\circ}\text{C}$	Εύρος 2-τυπικών αποκλίσεων $\pm 0.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$

3.5.2 Λογισμικό InnerView Research Professional 5.1

Η επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων του οργάνου SenseWear Pro II Armband πραγματοποιήθηκε μέσω του λογισμικού InnerView Research Professional 5.1 (BodyMedia, Inc., Pittsburgh, PA). Συγκεκριμένα, η επικοινωνία πραγματοποιήθηκε είτε μέσω USB θύρας (ενσύρματα) είτε μέσω ενός κατάλληλου ασύρματου δέκτη (Σχήμα 3.8).



ΣΧΗΜΑ 3.8. Ανάκτηση δεδομένων μέσω USB καλωδίου ή ασύρματου δέκτη.

Πριν την έναρξη κάθε πειραματικής διαδικασίας τα ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά των ατόμων όπως η ηλικία, το φύλο, το ύψος, το βάρος καθώς και πληροφορίες για το αν είναι καπνιστές ή μη και δεξιόχειρες ή αριστερόχειρες προγραμματίστηκαν στην κάθε συσκευή (Σχήμα 3.9).

The screenshot shows the 'SenseWear Parameters' window. It includes tabs for 'Retrieve SenseWear Data', 'View & Annotate SenseWear Data', and 'Configure SenseWear'. The 'Subject Info' tab is active, displaying fields for Subject (200872), Date of Birth (25 Dec 1976), Current Age (33 yrs), Height (5' 07" / 169 cm), Weight (147.7 lbs / 67 kg), BMI (23.46), Sex (Female), Handedness (Right Handed), and Smoker (Smoker). The 'Data Channels' tab is also visible. At the bottom are 'OK', 'Close', and 'Apply' buttons.

ΣΧΗΜΑ 3.9. Εισαγωγή ανθρωπομετρικών χαρακτηριστικών και παραμέτρων του οργάνου.

Οι ενσωματωμένοι αλγόριθμοι του λογισμικού χρησιμοποιούν τα σήματα φυσιολογίας και θερμοφυσιολογίας των αισθητήρων για να ανιχνεύσουν αρχικά το ευρύτερο πλαίσιο του κομιστή και στη συνέχεια εφαρμόζουν μια διάταξη από φόρμουλες για τον υπολογισμό της ενεργειακής δαπάνης (Σχήμα 3.10) (BodyMedia, Inc., 2006). Συγκεκριμένα, υπολογίζονται η συνολική ενεργειακή δαπάνη (Total energy expenditure, *TEE*), η ενεργειακή δαπάνη ανάπαυσης (Resting energy expenditure, *REE*) ή βασικός ρυθμός μεταβολισμού (Basal metabolic rate, *BMR*), η ενεργητική ενεργειακή δαπάνη (Active energy expenditure, *AEE*) και η παράγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό (Metabolic heat production, *M*). Ο σχεδιασμός και η εγκυρότητα (validation) των αλγορίθμων στηρίχτηκε στο σύστημα μεταβολικής μέτρησης (metabolic cart) MedGraphics CPX Express ένα φορητό καρδιοαναπνευστικό σύστημα ελέγχου.



ΣΧΗΜΑ 3.10. Εκτέλεση αλγορίθμων και ανάλυση δεδομένων.

3.5.3 Αισθητήρες και όργανα Μετεωρολογικού Σταθμού Πανεπιστημίου Αθηνών (Μ.Σ.Π.Α)

Ο Αυτόματος Μετεωρολογικός Σταθμός του Εργαστηρίου Φυσικής Περιβάλλοντος και Μετεωρολογίας του Πανεπιστημίου Αθηνών (Μ.Σ.Π.Α), ο οποίος είναι εγκατεστημένος στη περιοχή μελέτης, χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση των μετεωρολογικών μεταβλητών. Όλα τα όργανα του σταθμού που χρησιμοποιήθηκαν, πλην του θερμομέτρου εδάφους βρίσκονται τοποθετημένα σε ιστό 10m στηριζόμενο με αντηρίδες.

Η θερμοκρασία αέρα μετρήθηκε με προστατευόμενο θερμόμετρο τύπου T351 του οίκου Vector Instruments (Σχήμα 3.11α). Το αισθητήριο στοιχείο είναι αντίσταση πλατίνας (PT 100) ακρίβειας 1/3 DIN περιελιγμένη σε γυάλινο κύλινδρο. Είναι τοποθετημένο μέσα σε φυσικώς αεριζόμενο περίβλημα επάλληλων δίσκων που εξασφαλίζουν προστασία από τις καιρικές συνθήκες. Το εύρος των μετρούμενων θερμοκρασιών είναι από -50 έως +70 °C, με ακρίβεια ± 0.1 °C και χρόνο απόκρισης 50 sec. Η θερμοκρασία εδάφους μετρήθηκε με θερμόμετρο πλατίνας PT 100 (Σχήμα 3.11β). Το εύρος λειτουργίας κυμαίνεται από -100 έως 350 °C, με ακρίβεια ± 0.1 °C.

Η σχετική υγρασία μετρήθηκε με σύστημα υγραμέτρου τύπου MP100A του οίκου Rotronic (Σχήμα 3.11γ). Το αισθητήριο στοιχείο είναι Rotronic-Hygrometer C94. Το εύρος λειτουργίας είναι από 0 έως 100% σχετική υγρασία, με ακρίβεια $\pm 1\%$ και χρόνο απόκρισης μικρότερο των 10 sec.

Η μέτρηση της ταχύτητας ανέμου πραγματοποιήθηκε με τη χρήση κυπελλοφόρου ανεμόμετρου τύπου A100L2 Low Power Anemometer του οίκου Vector Instruments (Σχήμα 3.11δ). Το όργανο φέρει τρία (3) κωνικά κύπελλα και διαθέτει φωτοκύτταρο για τη μέτρηση της συχνότητας περιστροφής. Το κατώφλι λειτουργίας του οργάνου είναι τα 0.15 msec^{-1} , ενώ το όριο λειτουργίας του είναι ταχύτητα 75 msec^{-1} . Η ακρίβεια κυμαίνεται από 0.1 msec^{-1} στην περιοχή $0.1\text{-}10 \text{ msec}^{-1}$, 1% της μετρούμενης τιμής στην περιοχή $10\text{-}55 \text{ msec}^{-1}$ και 2% της μετρούμενης τιμής στην περιοχή $55\text{-}75 \text{ msec}^{-1}$.

Η ατμοσφαιρική πίεση μετρήθηκε με αναλογικό βαρόμετρο τύπου PTB101B του οίκου Vaisala (Σχήμα 3.11ε). Ο βασικός αισθητήρας του οργάνου είναι ένας πυκνωτής σιλικόνης του οποίου η χωρητικότητα μεταβάλλεται με τη μεταβολή της πίεσης. Το εύρος της μετρούμενης πίεσης είναι από 600 έως 1060hPa, με ακρίβεια 6hPa και χρόνο απόκρισης 300msec.



ΣΧΗΜΑ 3.11. Όργανα Μετεωρολογικού Σταθμού Πανεπιστημίου Αθηνών α) Θερμόμετρο T351, β) Θερμόμετρο πλατίνας PT 100, γ) Υγρόμετρο MP100A, δ) Ανεμόμετρο A100L2, ε) Αναλογικό βαρόμετρο PTB101B, ζ) Πυρανόμετρο CM3, η) Ραδιόμετρο CUV3 και θ) Πυργεόμετρο CG1.

Η μέτρηση της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας πραγματοποιήθηκε με πυρανόμετρο τύπου CM3 του οίκου Kipp-Zonen (Σχήμα 3.11ζ). Το φασματικό εύρος κυμαίνεται από 305 έως 2800 nm, με ακρίβεια $\pm 10\%$ και χρόνο απόκρισης 18 sec. Η υπεριώδης ακτινοβολία μετρήθηκε με ραδιόμετρο τύπου CUV3 του οίκου Kipp-Zonen (Σχήμα 3.11η). Το όργανο μετρά στο φασματικό παράθυρο από 290 έως 400nm με ακρίβεια 3% και χρόνο απόκρισης μικρότερο του 1 sec. Η μέτρηση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος έγινε με πυργεόμετρο τύπου CG1 του οίκου Kipp-Zonen (Σχήμα 3.11θ). Το όργανο μετρά στην φασματική περιοχή από 5 έως 25 μm , με ακρίβεια $\pm 10\%$ και χρόνο απόκρισης 25 sec.

3.5.4 Αισθητήρες και όργανα Κινητού Μετεωρολογικού Σταθμού (Κ.Μ.Σ)

Ο Κινητός Μετεωρολογικός Σταθμός (Κ.Μ.Σ) είναι εξοπλισμένος με μετεωρολογικά όργανα τοποθετημένα σε ιστό ύψους 2 m, κινούμενος με τροχήλατο σύστημα.

Η θερμοκρασία του αέρα και η σχετική υγρασία μετρήθηκαν με σύστημα θερμουγρομέτρου τύπου S3C03 του οίκου Rotronic (Σχήμα 3.12α). Το σύστημα

αποτελείται από αισθητήρα θερμοκρασίας PT100 και αισθητήρα υγρασίας HygroClip. Το εύρος των μετρούμενων θερμοκρασιών είναι από -40 έως 60°C με ακρίβεια 0.1°C . Το εύρος της μετρούμενης σχετικής υγρασίας είναι από 0 έως 100% με ακρίβεια 1.5% . Το σύστημα θερμουγρομέτρου βρίσκεται προστατευμένο εντός κλωβίσκου ώστε να μην υφίσταται την επίδραση της ακτινοβολίας και της βροχής.



(α)



(β)

ΣΧΗΜΑ 3.12. Όργανα Κινητού Μετεωρολογικού Σταθμού α) Θερμουγρόμετρο S3C03 και β) Ανεμόμετρο C3.

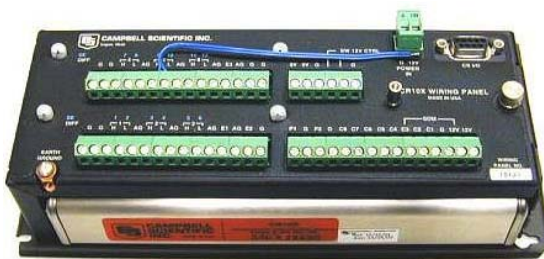
Για τη μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου χρησιμοποιήθηκε κυπελλοφόρο ανεμόμετρο τύπου C3 του οίκου Second Wind (Σχήμα 3.12β). Το ανεμόμετρο φέρει τρία (3) κωνικά κύπελλα ενώ η ακρίβεια μετρήσεων είναι 0.1 msec^{-1} για εύρος τιμών από 5 έως 25 msec^{-1} .

3.5.5 Συλλογή και αποθήκευση δεδομένων από το τοπικό δίκτυο αισθητήρων του Μ.Σ.Π.Α και του Κ.Μ.Σ

Για την καταγραφή των δεδομένων του τοπικού δικτύου αισθητήρων του Μετεωρολογικού Σταθμού του Πανεπιστημίου Αθηνών χρησιμοποιήθηκε μονάδα συλλογής και αποθήκευσης των μετρήσεων (Data Logger) τύπου CR10X του οίκου Campbell Scientific (Σχήμα 3.13α). Ο καταχωρητής είναι ερμητικά κλειστός μέσα σε ανοξείδωτο περίβλημα και έχει ενσωματωμένη μεγάλη υπολογιστική ισχύ για τη συλλογή και επεξεργασία των μετρήσεων.

Ο καταχωρητής δεδομένων διαθέτει 12 αναλογικές εισόδους (6 διαφορικές) με ανάλυση (resolution) 13bit, δυο εισόδους, τρεις εξόδους διέγερσης αισθητηρίων (για αισθητήρες που απαιτούν κάποια τάση για να παράγουν σήμα) και οκτώ ψηφιακές θύρες I/O. Οι εξοδοί των διαφόρων μετρητών οδηγούνται στο Data Logger, όπου καταρχήν ανάγονται σε πραγματικές τιμές με τη βοήθεια της μονάδας επεξεργασίας και στη συνέχεια καταχωρούνται στη μονάδα μνήμης. Το CR10X διαθέτει επεξεργαστή Hitachi 6303 ενώ η μνήμη είναι τύπου EEPROM για το

λειτουργικό σύστημα και SRAM για την αποθήκευση των δεδομένων. Το αυτόματο καταγραφικό διαθέτει εσωτερική μνήμη 128 KB SRAM και 128 KB FLASH CR 10X (EEPROM) με δυνατότητα επέκτασης της μνήμης από μονάδες FLASH. Επιπλέον ο καταχωρητής είναι εφοδιασμένος με modem τύπου DC112 Phone Modem που του επιτρέπει να συνδέεται μέσω τηλεφωνικής γραμμής με Η/Υ. Η λήψη δεδομένων από τα διάφορα όργανα πραγματοποιείται ανά 2sec (συχνότητα δειγματοληψίας 0.5Hz) ενώ ο ελάχιστος χρόνος για μέτρηση είναι 2ms. Το μέγιστο επίπεδο μέτρησης είναι τα 2000Hz για αργούς μετρητές και τα 250kHz για γρήγορους μετρητές. Το θερμοκρασιακό εύρος λειτουργίας του CR10X είναι από -25 έως +50 °C.



(α)



(β)

ΣΧΗΜΑ 3.13. Καταχωρητής δεδομένων (Data Logger) α) CR10X και β) CR200.

Για την καταγραφή των δεδομένων του τοπικού δικτύου αισθητήρων του Κινητού Μετεωρολογικού Σταθμού χρησιμοποιήθηκε ένας καταχωρητής δεδομένων (Data Logger) CR200 του οίκου Campbell Scientific (Σχήμα 3.13β). Ο CR200 είναι ερμητικά κλειστός μέσα σε ανοξείδωτο περίβλημα και έχει ενσωματωμένη υπολογιστική ισχύ για τη συλλογή και επεξεργασία των μετρήσεων. Επιπλέον διαθέτει κεντρική μονάδα επεξεργασίας, μονάδα μνήμης, αναλογικά και ψηφιακά κανάλια εισόδου για την καταγραφή των εξόδων των αισθητήρων και σημεία με έξοδο τάσης για την τροφοδοσία των μετρητών. Ο ρυθμός σάρωσης πραγματοποιείται 1 φορά το δευτερόλεπτο ενώ η ανάλυση μέτρησης είναι 0.6mV. Ο CR200 διαθέτει μνήμη 2KB SRAM για επικοινωνία, υπολογισμούς και μεταβλητές, 60KB μνήμη EEPROM για το λειτουργικό σύστημα και το λογισμικό και 128KB μνήμη EEPROM για αποθήκευση δεδομένων. Τα δεδομένα αποθηκεύονται στη μνήμη εξόδου του CR200 από όπου είναι διαθέσιμα για ανάκτηση μέσω της θύρας RS-232 και του interface SC929 της Campbell Scientific.

3.5.6 Λογισμικό υποστήριξης και επικοινωνίας PC208W και PC200W

Η επικοινωνία με το αυτόματο καταγραφικό CR10X του Μ.Σ.Π.Α πραγματοποιήθηκε μέσω τηλεφωνικής γραμμής ΟΤΕ (dial up γραμμής) και του λογισμικού PC208W του οίκου Campbell Scientific. Μέσω του λογισμικού ο CR10X προγραμματίστηκε να μετρά τις πρωτογενείς μετεωρολογικές παραμέτρους των αισθητήρων με βήμα λεπτού (1min). Στο προεπιλεγμένο χρονικό διάστημα καταγράφονται ο κωδικός που χαρακτηρίζει το σταθμό, ο κωδικός που προσδιορίζει το χρονικό διάστημα, το έτος, το μήνα, τον αύξοντα αριθμό της ημέρας του έτους (Ιουλιανή ημέρα), την ώρα (ώρα και πρώτα λεπτά), τη μέση τιμή του μεγέθους όπως εξάγεται από τις ανά 2 sec μετρήσεις και την αντίστοιχη τυπική απόκλιση. Επιπλέον το data logger προγραμματίστηκε να καταγράφει τη μέγιστη και ελάχιστη τιμή στο επιλεγμένο χρονικό διάστημα καθώς και τη χρονική στιγμή κατά την οποία αυτές εμφανίστηκαν.

Η επικοινωνία του καταχωρητή δεδομένων CR200 του Κ.Μ.Σ πραγματοποιήθηκε με τοπική σύνδεση μέσω της θύρας RS-232 και του interface SC929 καθώς και του λογισμικού PC200W του οίκου Campbell Scientific. Ο CR200 προγραμματίστηκε να μετρά τις πρωτογενείς μετεωρολογικές παραμέτρους των αισθητήρων με βήμα λεπτού (1min), ενώ μέσω ενσωματωμένων εντολών προγραμματίστηκε να υπολογίζει δευτερογενή μετεωρολογικά δεδομένα όπως η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή για το επιλεγμένο χρονικό διάστημα. Εκτός από τις τιμές των πρωτογενών και δευτερογενών παραμέτρων ο καταχωρητής προγραμματίστηκε να αποθηκεύει και τις τιμές πέντε ακόμη παραμέτρων. Αυτές είναι ο κωδικός του σταθμού, ο κωδικός που προσδιορίζει το χρονικό διάστημα, η ημερομηνία, η ώρα (ώρα και πρώτα λεπτά), ο αύξων αριθμός της καταγεγραμμένης τιμής και τα επίπεδα της μπαταρίας.

3.5.7 Μετρούμενες μεταβλητές

Ένα λογικό και μετριοπαθές πρωτόκολλο μετρήσεων υιοθετήθηκε για τις φυσιολογικές, θερμοφυσιολογικές και μετεωρολογικές μεταβλητές. Ο Πίνακας 3.5 συνοψίζει τις μετρούμενες μεταβλητές και το τύπο των αισθητήρων που τελικά επιλέχθηκαν να χρησιμοποιηθούν με βήμα μέτρησης το 1min.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.5. Μετρούμενες μεταβλητές και τύπος αισθητήρων.

	Μεταβλητή	Τύπος μεταβλητής	Μονάδα μέτρησης	Αισθητήρας
Φυσιολογικές-Θερμοφυσιολογικές	Επιτάχυνση	Εγκάρσια επιτάχυνση	g	Αυτόματος ηλεκτρομηχανικός αισθητήρας κίνησης
	Επιτάχυνση	Διαμήκη επιτάχυνση	g	Αυτόματος ηλεκτρομηχανικός αισθητήρας κίνησης
	Ενέργεια	Ροή θερμότητας	Wm ⁻²	Αισθητήρας ροής θερμότητας
	Ηλεκτρική αγωγιμότητα	Γαλβανική αντίδραση δέρματος	nSiemen	Αισθητήρας γαλβανικής αντίδρασης δέρματος
	Θερμοκρασία	Θερμοκρασία δέρματος	°C	Αισθητήρας θερμοκρασίας δέρματος
	Θερμοκρασία	Θερμοκρασία κοντά στην επιφάνεια του σώματος	°C	Αισθητήρας θερμοκρασίας αέρα
Μετεωρολογικές	Θερμοκρασία	Θερμοκρασία αέρα	°C	Αισθητήρας θερμοκρασίας αέρα
	Υγρασία	Σχετική υγρασία	%	Αισθητήρας σχετικής υγρασίας
	Ταχύτητα	Ταχύτητα ανέμου	msec ⁻¹	Αισθητήρας ταχύτητας ανέμου
	Θερμοκρασία	Θερμοκρασία εδάφους	°C	Αισθητήρας θερμοκρασίας εδάφους
	Πίεση	Ατμοσφαιρική πίεση	hPa	Αισθητήρας ατμοσφαιρικής πίεσης του αέρα
	Ενέργεια	Ολική ακτινοβολία	Wm ⁻²	Πυρανόμετρο
	Ενέργεια	Υπεριώδη ακτινοβολία	Wm ⁻²	Ραδιόμετρο
	Ενέργεια	Μεγάλου μήκους κύματος προσπίπτουσα ακτινοβολία	Wm ⁻²	Πυργεόμετρο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ ΑΝΕΥ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΎΞΑΡΣΗΣ

4.1 Εισαγωγή

Κύριος στόχος του θερμορυθμιστικού συστήματος του ανθρώπου είναι η διατήρηση μιας ουσιαστικά σταθερής εσωτερικής θερμοκρασίας σώματος μέσα σε ορισμένα φυσιολογικά όρια, η οποία περιγράφεται ως ομοιοθερμία (homeothermy) και αποτελεί μια από τις εκφράσεις της ομοιόστασης (homeostasis). Έτσι, το θερμορυθμιστικό σύστημα του ανθρώπου βρίσκεται σε συνεχή προσαρμογή με το ατμοσφαιρικό περιβάλλον (Yousef 1987).

Ο ορισμός της θερμικής άνεσης μπορεί να δοθεί μέσω τριών διαφορετικών προσεγγίσεων: μιας ψυχολογικής, μιας θερμοφυσιολογικής και μιας βασισμένης στην θερμική ισορροπία του ανθρώπινου σώματος (Höppe 2002). Σύμφωνα με την ASHRAE (1997, 2001), θερμική άνεση είναι “η κατάσταση του μυαλού όπου εκφράζεται η ικανοποίηση με το θερμικό περιβάλλον”. Μια τέτοια ψυχολογική προσέγγιση παρουσιάζει αντικειμενικές δυσκολίες λόγω υποκειμενικότητας. Παρ’ όλα αυτά οι ψυχολογικές παράμετροι διαδραματίζουν ουσιαστικό ρόλο στη θερμική άνεση ειδικά στο εξωτερικό περιβάλλον (Nikolopoulou et al. 2001; Nikolopoulou and Steemers 2003). Ο θερμοφυσιολογικός ορισμός της άνεσης σχετίζεται με την ενεργοποίηση των θερμοϋποδοχών στο δέρμα και στον υποθάλαμο. Σε αυτή τη βάση, άνεση είναι ο ελάχιστος ρυθμός νευρικού σήματος από τους θερμοϋποδοχείς (Mayer 1993). Σύμφωνα με τον ενεργητικό ορισμό, η άνεση πραγματοποιείται όταν οι ροές από και προς το ανθρώπινο σώμα βρίσκονται σε ισορροπία και η θερμοκρασία δέρματος καθώς και ο ρυθμός εφίδρωσης εντοπίζονται στα όρια της άνεσης, ενώ εξαρτώνται μόνο από την παράγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό (Fanger 1972).

Οι κύριες θερμοδυναμικές διεργασίες από και προς το ανθρώπινο σώμα περιγράφονται μέσω της εξίσωσης του θερμικού ισοζυγίου. Οι διακυμάνσεις των μετεωρολογικών στοιχείων και της παραγωγής θερμότητας από το μεταβολισμό, διαμορφώνουν το πλεόνασμα ή την απώλεια θερμότητας στον ανθρώπινο οργανισμό μέσω της ακτινοβολίας, της μεταφοράς, της αγωγής, της εξάτμισης και της αναπνοής.

Στην προσπάθεια να μελετηθεί η επίδραση του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στον ανθρώπινο οργανισμό, στη συγκεκριμένη διατριβή διερευνήθηκε η θερμική άνεση με τρεις διαφορετικές προσεγγίσεις, με θερμοφυσιολογικές και φυσιολογικές

μετρήσεις στον ανθρώπινο οργανισμό, με προσομοίωση των ροών από και προς το ανθρώπινο σώμα και με τον προσδιορισμό θερμοφυσιολογικών δεικτών.

Σε αυτή τη βάση, οι αντικειμενικοί στόχοι αυτού του κεφαλαίου, σύμφωνα με την πειραματική διαδικασία Α, είναι: (1) η μελέτη των πεδίων των θερμοφυσιολογικών παραμέτρων για την επιλεγμένη ομάδα ατόμων, κατά τη παραμονή σε έναν εσωτερικά κλιματιζόμενο χώρο και κατά τη διάρκεια προκαθορισμένης διαδρομής σε ένα έντονα θερμό περιβάλλον, (2) η διερεύνηση των ροών θερμότητας μεταξύ του ανθρώπινου σώματος και του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος για την επιλεγμένη ομάδα ατόμων, κατά τη διάρκεια της προκαθορισμένης διαδρομής σε ένα έντονα θερμό περιβάλλον, άνευ προσαρμογής, βάσει των πειραματικών μετρήσεων της παράγωγης θερμότητας από το μεταβολισμό και της θερμοκρασίας δέρματος, (3) η διερεύνηση των ροών θερμότητας μεταξύ του ανθρώπινου σώματος και του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος, βάσει των θεωρητικών προσεγγίσεων της παράγωγης θερμότητας από το μεταβολισμό και της θερμοκρασίας δέρματος στο ίδιο ατμοσφαιρικό περιβάλλον, καθώς και (4) η διερεύνηση της συνεισφοράς των θερμοφυσιολογικών παραμέτρων στη διαμόρφωση των ροών του θερμικού ισοζυγίου και κατ' επέκταση στην εκτίμηση ενός θερμοφυσιολογικού δείκτη.

4.2 Στοιχεία Θεωρίας

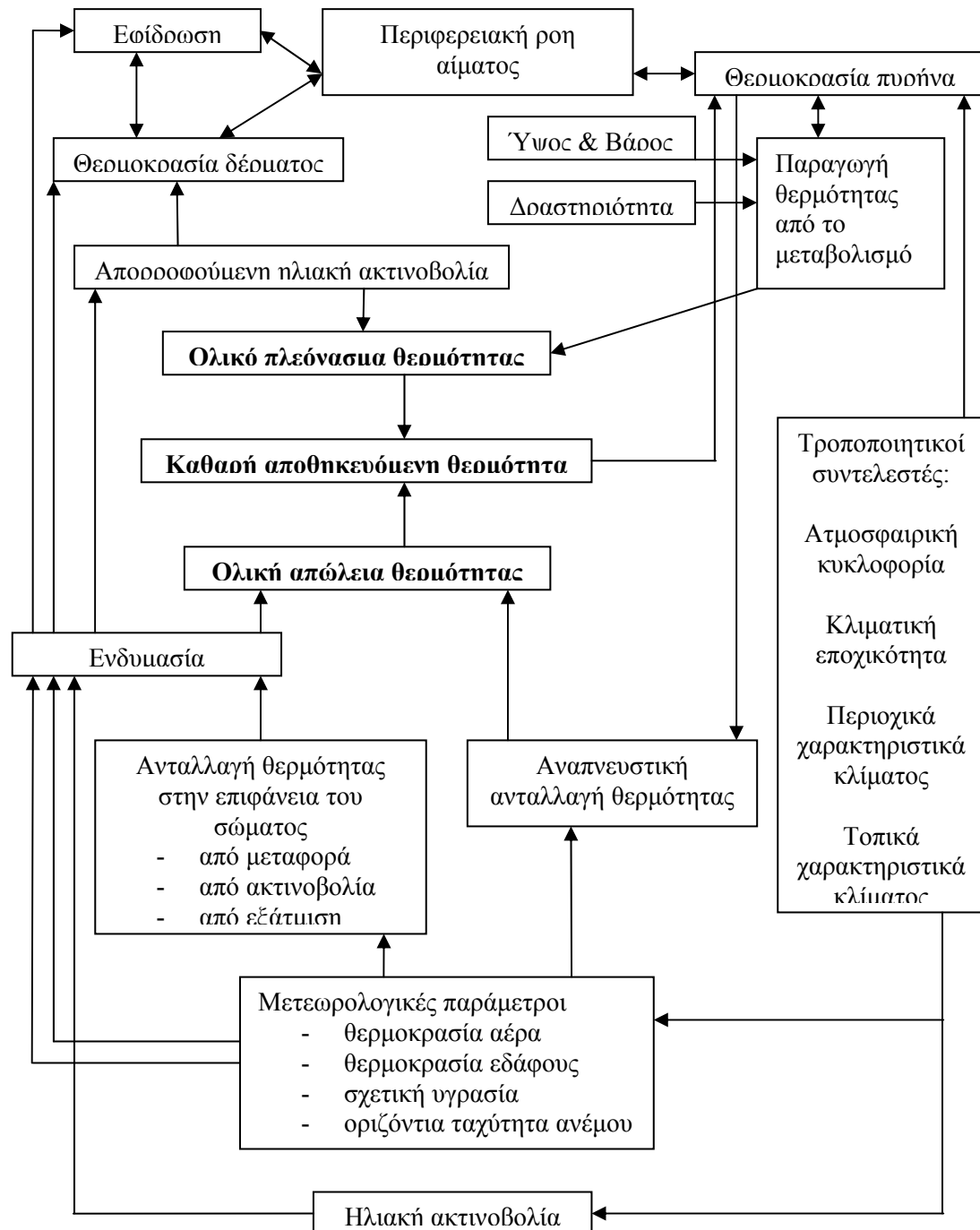
Στη παρούσα διατριβή, οι ανταλλαγές θερμότητας από και προς το ανθρώπινο σώμα προσομοιώθηκαν μέσω του Man-ENvironment heat EXchange model (MENEX). Το μοντέλο MENEX μπορεί να εφαρμοστεί για μη σταθερές (non-stationary) αλλά και σταθερές (stationary) συνθήκες στο εξωτερικό περιβάλλον, με τη σχέση μεταξύ φυσιολογικών και μετεωρολογικών παραμέτρων να απεικονίζεται στο Σχήμα 4.1 (Błażejczyk 1994, 2001, 2006; Błażejczyk and Matzarakis 2007).

Το μοντέλο MENEX περιγράφει τις ροές από και προς το ανθρώπινο σώμα βάσει της γενικευμένης εξίσωσης

$$M + Q + C + E + R_{es} + K_d = S \quad (4.1)$$

όπου M η παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό, η οποία συνίσταται στο βασικό ρυθμό μεταβολισμού, στην ελεύθερη παραγωγή ενέργειας από το μεταβολισμό λόγω της δραστηριότητας και στο φόρτο της δραστηριότητας (σε Wm^{-2}), Q η ροή

θερμότητας μέσω ακτινοβολίας (σε Wm^{-2}), C η τυρβώδης ανταλλαγή αισθητής θερμότητας (σε Wm^{-2}), E η τυρβώδης ανταλλαγή λανθάνουσας θερμότητας (σε Wm^{-2}), R_{es} η απώλεια θερμότητας μέσω αναπνοής (σε Wm^{-2}), K_d η ροή θερμότητας μέσω αγωγής (σε Wm^{-2}) και S η καθαρή αποθηκευόμενη θερμότητα (σε Wm^{-2}).



ΣΧΗΜΑ 4.1. Σχέση μεταξύ των φυσιολογικών και μετεωρολογικών παραμέτρων στο Man-ENvironment heat EXchange model (MENEX) (πηγή: Błażejczyk 2001).

α. Παραγωγή θερμότητας από μεταβολισμό

Το ανθρώπινο σώμα με την διαδικασία της οξείδωσης των συστατικών των τροφών παράγει ενέργεια η οποία ορίζεται ως ρυθμός μεταβολισμού. Ανάλογα με το είδος της δραστηριότητας το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας μετατρέπεται σε θερμότητα ενώ το υπόλοιπο μετατρέπεται σε εξωτερικό μηχανικό έργο σύμφωνα με την εξίσωση:

$$M = H + W \quad (4.2)$$

όπου M είναι η παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό (σε Wm^{-2}), H είναι η εσωτερική παραγωγή θερμότητας (σε Wm^{-2}) και W είναι το εξωτερικό μηχανικό έργο (σε Wm^{-2}). Ορίζοντας την εξωτερική μηχανική ισχύς (η) ως

$$\eta = W/M \quad (4.3)$$

η εξίσωση (4.2) γράφεται

$$H = M \cdot (1 - \eta) \quad (4.4)$$

Σύμφωνα με το διεθνή οργανισμό ISO (International Organization for Standardization) το μεγαλύτερο τμήμα της παραγωγής θερμότητας από το μεταβολισμό μετατρέπεται σε εσωτερική παραγωγή θερμότητας με ένα πολύ μικρό ποσοστό να μετατρέπεται σε εξωτερικό μηχανικό έργο, ώστε να μπορεί να μηδενιστεί ($\eta \approx 0$), για τους περισσότερους τύπους δραστηριότητας (ISO 8996 2001). Η εκτίμηση της παραγωγής θερμότητας από το μεταβολισμό πραγματοποιείται μέσω πινάκων για διάφορους τύπους δραστηριότητας (Πίνακας 4.2), λαμβάνοντας ως πρότυπο ένα μέσο τύπο ανθρώπου με ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά σύμφωνα με το Πίνακα 4.1 (ISO 8996 2001).

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1. Μέσος τύπος ανθρώπου κατά την εκτίμηση της παραγωγής θερμότητας από το μεταβολισμό κατά ISO 8996 (2001).

Ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά	Άρρεν	Θήλυ
Ύψος (cm)	175	170
Βάρος (kg)	70	60
Επιφάνεια σώματος (m^2)	1.8	1.6
Ηλικία (yrs)	30	30

συμπεριφέρονται προσθετικά. Η ποσότητα της μεταφερόμενης ενέργειας με τη μεταφορά εξαρτάται στην περίπτωση της ελεύθερης μεταφοράς κυρίως από τη διαφορά θερμοκρασίας των επιφανειών του σώματος και του περιβάλλοντος μέσου. Στην περίπτωση της εξαναγκασμένης μεταφοράς αποτελεί συνάρτηση της διαφοράς θερμοκρασίας και της ταχύτητας του ρεύματος του περιβάλλοντος μέσου. Κατά συνέπεια η τυρβώδη ανταλλαγή αισθητής θερμότητας του ανθρώπινου σώματος με το περιβάλλον (C , σε Wm^{-2}) προσομοιώθηκε βάσει της εξίσωσης

$$C = h_c \cdot I_{rc} \cdot (T_a^* - T_{sk}^*) \quad (4.5)$$

όπου T_a^* η θερμοκρασία του αέρα (σε K), T_{sk}^* η μέση θερμοκρασία του δέρματος (σε K), h_c ο συντελεστής μετάδοσης της θερμότητας από μεταφορά και ακτινοβολία (σε $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$) και I_{rc} ο συντελεστής μείωσης της μετάδοσης θερμότητας από μεταφορά και ακτινοβολία λόγω του ρουχισμού (αδιάστατο).

Ο συντελεστής μετάδοσης της θερμότητας από μεταφορά και ακτινοβολία (h_c) εξαρτάται σε μεγάλη έκταση από τον τύπο της μεταφοράς, δηλαδή εξαναγκασμένη, ελεύθερη και μικτή, και από τον χαρακτήρα του ρεύματος ανταλλαγής, συνεχές ή στροβιλώδες. Στη διεθνή βιβλιογραφία δίνεται ένα μεγάλο πλήθος τύπων και στοιχείων μεγεθών για το h_c , για διάφορα εύρη ταχύτητας αέρα και στάσεις του σώματος. Στη παρούσα διατριβή ο συντελεστής h_c υπολογίστηκε βάσει της εξίσωσης

$$h_c = (0.013 \cdot p - 0.04 \cdot T_a - 0.503) \cdot (v + v')^{0.4} \quad (4.6)$$

όπου p είναι η ατμοσφαιρική πίεση σε (σε hPa), T_a είναι η θερμοκρασία του αέρα (σε $^{\circ}\text{C}$), v είναι η οριζόντια ταχύτητα του ανέμου (σε ms^{-1}) και v' είναι η ταχύτητα κίνησης του ανθρώπου (σε ms^{-1}).

Ο συντελεστής μείωσης της μετάδοσης θερμότητας από μεταφορά και ακτινοβολία (I_{rc}) από την εφαρμοζόμενη επίδραση των ρούχων υπολογίστηκε από τη σχέση

$$I_{rc} = h'_c \cdot (h'_c + h_c + 4 \cdot s \cdot \sigma \cdot T_a^{*3})^{-1} \quad (4.7)$$

όπου s είναι ο συντελεστής εκπομπής για φυσικά αντικείμενα ($=0.97$, αδιάστατο), σ είναι η σταθερά του Stefan-Boltzman ($=5.667 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$), T_a^* είναι η θερμοκρασία του αέρα (σε K), h_c είναι ο συντελεστής μετάδοσης της θερμότητας από μεταφορά και

ακτινοβολία (σε $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$) και h'_c είναι ο συντελεστής μετάδοσης της θερμότητας μέσω του ρουχισμού (σε $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$). Ο συντελεστής μετάδοσης της θερμότητας μέσω του ρουχισμού (h'_c) δίνεται ως συνάρτηση της αντίστασης ενδυμασίας I_{cl} από την εξίσωση

$$h'_c = (0.013 \cdot p - 0.04 \cdot T_a - 0.503) \cdot 0.503 \cdot \left(I_{cl} \cdot (1 - 0.27 \cdot (v + v')^{0.4}) \right)^{-1} \quad (4.8)$$

όπου p είναι η ατμοσφαιρική πίεση σε (σε hPa), T_a είναι η θερμοκρασία του αέρα (σε $^{\circ}\text{C}$), I_{cl} είναι η αντίσταση της συνολικής ενδυμασίας (σε clo), v είναι η οριζόντια ταχύτητα του ανέμου (σε ms^{-1}) και v' είναι η ταχύτητα κίνησης του ανθρώπου (σε ms^{-1}).

Η θεωρητική μέση θερμοκρασία δέρματος υπολογίστηκε ως συνάρτηση μετεωρολογικών και φυσιολογικών παραμέτρων και προσομοιώθηκε βάσει της εμπειρικής εξίσωσης

$$T_{sk} = (26.4 + 0.02138 \cdot T_{mrt} + 0.2095 \cdot T_a - 0.0185 \cdot f - 0.009 \cdot v) + 0.6 \cdot (I_{cl} - 1) + 0.00128 \cdot M \quad (4.9)$$

όπου T_a είναι η θερμοκρασία του αέρα (σε $^{\circ}\text{C}$), f είναι η σχετική υγρασία (σε %), v είναι η οριζόντια ταχύτητα του ανέμου (σε ms^{-1}), I_{cl} είναι η αντίσταση της συνολικής ενδυμασίας (σε clo), M είναι η παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό (σε Wm^{-2}) και T_{mrt} είναι η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας (σε $^{\circ}\text{C}$), όπου θα περιγραφεί αναλυτικά στην παράγραφο 4.2δ.

γ. Τυρβώδης ανταλλαγή λανθάνουσας θερμότητας

Η τυρβώδης ανταλλαγή λανθάνουσας θερμότητας (E , σε Wm^{-2}) περιγράφει την ανταλλαγή θερμότητας μέσω διάχυσης των υδρατμών (E_d , σε Wm^{-2}) και της εξάτμισης του ιδρώτα (E_{sw} , σε Wm^{-2}) και κατά συνέπεια δίνεται από την εξίσωση

$$E = E_d + E_{sw} \quad (4.10)$$

Η διάχυση των υδρατμών είναι ένα τμήμα της ονομαζόμενης άδηλης αναπνοής, που δεν ελέγχεται από τη ρύθμιση της θερμοκρασίας. Το νερό διαχέεται με τη μορφή αερίου μέσα από τα ανοιχτά στρώματα του δέρματος και της ενδυμασίας. Ο άνθρωπος δεν συνειδητοποιεί αυτή την απώλεια νερού του σώματος, καθώς δεν

συνδέεται με αυτή καμία χρήση του δέρματος ή της ενδυμασίας και καμία σημαντική ψύξη της επιφάνειας του δέρματος (Höppe 1984). Η ενέργεια εξάτμισης που απαιτείται για τη μετατροπή του νερού σε υδρατμούς, οι οποίοι στη συνέχεια μπορούν να εξατμιστούν, προέρχεται από τον υποδόριο ιστό, που δεν διαθέτει θερμοϋποδοχείς (Höppe 1993). Επιπλέον, σε μια ενεργειακή προσέγγιση αυτό που πρέπει να εξεταστεί είναι η εξάτμιση του νερού σε υδρατμούς, οι οποίοι στη συνέχεια μπορούν να διαχυθούν και όχι η διάχυση των υδρατμών ως έχει, η οποία δεν απαιτεί ενέργεια.

Η τυρβώδη ανταλλαγή λανθάνουσας θερμότητας (E , σε Wm^{-2}) προσομοιώθηκε μέσω της εξίσωσης

$$E = \left((h_e \cdot w_{sk} \cdot I_e \cdot (e_a - e_{s,sk})) - (0.42 \cdot (M - 58) - 5.04) \right) \cdot sex \quad (4.11)$$

όπου h_e είναι ο συντελεστής μετάδοσης της θερμότητας μέσω εξάτμισης (σε $Wm^{-2}hPa^{-1}$), w_{sk} είναι ο συντελεστής διαβροχής του δέρματος (skin wettedness, αδιάστατο), I_e είναι ο συντελεστής μείωσης της μετάδοσης θερμότητας από εξάτμιση λόγω του ρουχισμού (αδιάστατο), e_a είναι η τάση ατμών στη θερμοκρασία του αέρα (σε hPa), $e_{s,sk}$ είναι η τάση ατμών στο κορεσμό στη θερμοκρασία του δέρματος (σε hPa), M είναι η παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό (σε Wm^{-2}) και sex είναι ο συντελεστής φύλου (αδιάστατο).

Ο συντελεστής μετάδοσης της θερμότητας μέσω εξάτμισης υπολογίστηκε ως συνάρτηση της θερμοκρασίας του αέρα (T_a , σε $^{\circ}C$), της ατμοσφαιρικής πίεσης (p , σε hPa), της αντίστασης της συνολικής ενδυμασίας (I_{cl} , σε clo), της οριζόντιας ταχύτητας του ανέμου (v , σε ms^{-1}) και της ταχύτητας κίνησης του ανθρώπου (v' , σε ms^{-1}) από την εξίσωση

$$h_e = (T_a \cdot (0.00006 \cdot T_a - 0.00002 \cdot p + 0.011) + 0.02 \cdot p - 0.773) \cdot 0.53 \cdot \left(I_{cl} \cdot (1 - 0.27(v + v')^{0.4}) \right)^{-1} \quad (4.12)$$

Ο συντελεστής διαβροχής του δέρματος (w_{sk}) είναι μια έκφραση της ρυθμιστικής ικανότητας της εξάτμισης. Συγκεκριμένα, ορίζεται ως ο λόγος της πραγματικής τυρβώδους ανταλλαγής λανθάνουσας θερμότητας προς τη μέγιστη δυνατή (δυννητική) υπό τις δεδομένες συνθήκες και λαμβάνει τιμές μεταξύ $0 < w_{sk} < 1$ (Nishi 1981).

Η διαβροχή του δέρματος εξαρτάται από την ενυδάτωση και από το κλάσμα της επιδερμίδας όπου είναι υγρό. Επίσης, εξαρτάται από την ισορροπία μεταξύ της έκκρισης και της εξάτμισης του ιδρώτα. Εάν η έκκριση υπερβαίνει την εξάτμιση, ο ιδρώτας συσσωρεύεται στην επιφάνεια του δέρματος και διαβρέχει τμήματα γειτονικών ιδρωτοποιών αδένων, αυξάνοντας τη διαβροχή και τη πραγματική τυρβώδη ανταλλαγή λανθάνουσας θερμότητας. Το αντίθετο συμβαίνει όταν η εξάτμιση υπερβαίνει την έκκριση ιδρώτα. Εάν ο ρυθμός εφίδρωσης υπερβαίνει τη μέγιστη δυνατή τυρβώδη ανταλλαγή λανθάνουσας θερμότητας (δυνητική) υπό τις δεδομένες συνθήκες, ο συντελεστής διαβροχής λαμβάνει τη τιμή 1 και η περίσσεια ιδρώτα αποβάλλεται από το σώμα με το σχηματισμό σταγόνων διότι δεν δύναται να εξατμιστεί (Wenger 2002). Πρέπει να σημειωθεί επίσης, ότι για πολύ μικρές τιμές του συντελεστή διαβροχής η τυρβώδης ανταλλαγή λανθάνουσας θερμότητας από την επιφάνεια του δέρματος οφείλεται ολοκληρωτικά στη διάχυση των υδρατμών μέσα από τις εξωτερικές στοιβάδες του δέρματος. Κατά την ενεργοποίηση του μηχανισμού εφίδρωσης, η τυρβώδης ανταλλαγή λανθάνουσας θερμότητας μπορεί να προέρχεται τόσο από τη διάχυση των υδρατμών όσο και από την εξάτμιση του ιδρώτα. Όταν η επιφάνεια του δέρματος είναι εντελώς υγρή η τυρβώδη ανταλλαγή λανθάνουσας θερμότητας οφείλεται αποκλειστικά στο μηχανισμό εφίδρωσης (Nishi 1981).

Ο συντελεστής διαβροχής του δέρματος (w_{sk}) υπολογίστηκε ως συνάρτηση της μέσης θερμοκρασίας δέρματος (T_{sk}) από τις εξισώσεις

για $T_{sk} < 22^{\circ}C$

$$w_{sk} = 0.001 \quad (4.13)$$

για $22.0^{\circ}C \leq T_{sk} \leq 36.5^{\circ}C$

$$w_{sk} = 1.031 \cdot (37.5 - T_{sk})^{-1} - 0.065 \quad (4.14)$$

για $T_{sk} > 36.5^{\circ}C$

$$w_{sk} = 1 \quad (4.15)$$

Ο συντελεστής μείωσης της μετάδοσης θερμότητας από εξάτμιση λόγω του ρουχισμού (I_e) υπολογίστηκε ως συνάρτηση του συντελεστή μετάδοσης της θερμότητας από μεταφορά και ακτινοβολία (h_c) και του συντελεστή μετάδοσης της θερμότητας μέσω του ρουχισμού (h'_c) από την εξίσωση

$$I_e = h'_c \cdot (h'_c + h_c)^{-1} \quad (4.16)$$

Η τάση ατμών στη θερμοκρασία του αέρα υπολογίστηκε ως συνάρτηση της σχετικής υγρασίας και της κορεσμένης τάσης ατμών στη θερμοκρασία του αέρα μέσω της εξίσωσης (Rogers and Yau 1989)

$$f = \frac{w}{w_s(p, T)} \approx \frac{e}{e_s} \quad (4.17)$$

όπου f είναι η σχετική υγρασία (σε %), w η αναλογία μίγματος και w_s η αναλογία μίγματος στο κορεσμό στην ίδια θερμοκρασία και πίεση. Η κορεσμένη τάση ατμών ($e_{s,a}$, σε hPa) στη θερμοκρασία του αέρα υπολογίστηκε από την εμπειρική εξίσωση των Magnus-Tetens (Μακρογιαννης και Σαχσαμανογλου 2004)

$$e_{s,a} = 6.112 \cdot 10^{\left(7.5 \cdot T_a \cdot (237.7 + T_a)^{-1}\right)} \quad (4.18)$$

Η κορεσμένη τάση ατμών στη μέση θερμοκρασία δέρματος υπολογίστηκε από την εξίσωση

$$e_{s,sk} = \exp(0.058 \cdot T_{sk} + 2.003) \quad (4.19)$$

Ο συντελεστής φύλου (sex) είναι ένα αδιάστατο μέγεθος όπου λαμβάνει την τιμή 1 όταν η προσομοίωση αναφέρεται σε άνδρα και τη τιμή 0.7 όταν η προσομοίωση αναφέρεται σε γυναίκα. Η διαφοροποίηση οφείλεται στους διαφορετικούς μηχανισμούς ορμονικής ρύθμισης καθώς και στη μικρότερη πυκνότητα των ιδρωτοποιών αδένων στις γυναίκες (Wyndham et al. 1965; Höppe 1984; Höppe 1993).

δ. Ισοζύγιο ακτινοβολιών στον άνθρωπο

Το ισοζύγιο ακτινοβολιών στον άνθρωπο (Q , σε Wm^{-2}) περιγράφει την απορροφούμενη ηλιακή ακτινοβολία (R , σε Wm^{-2}) και τη μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία (L , σε Wm^{-2}) και κατά συνέπεια δίνεται από την εξίσωση

$$Q = L + R \quad (4.20)$$

Η μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία (L , σε Wm^{-2}) περιγράφει την ισορροπία ανταλλαγής θερμότητας μέσω θερμικής ακτινοβολίας μεταξύ του ανθρώπινου σώματος (L_s , σε Wm^{-2}) και της ατμοσφαιράς (L_a , σε Wm^{-2}) καθώς και

μεταξύ του ανθρώπινου σώματος (L_s , σε Wm^{-2}) και του εδάφους (L_g , σε Wm^{-2}) μέσω της εξίσωσης (Błażejczyk 2004)

$$L = (0.5 \cdot L_g + 0.5 \cdot L_a - L_s) \cdot I_{rc} \quad (4.21)$$

όπου I_{rc} είναι ο συντελεστής μείωσης της μετάδοσης θερμότητας από μεταφορά και ακτινοβολία λόγω του ρουχισμού (αδιάστατο), όπως περιγράφηκε στην παράγραφο 4.2β.

Η θερμική ακτινοβολία του εδάφους (L_g , σε Wm^{-2}) προσομοιώθηκε μέσω της εξίσωσης (Błażejczyk 2004)

$$L_g = s \cdot \sigma \cdot (273 + T_g)^4 \quad (4.22)$$

όπου s είναι ο συντελεστής εκπομπής για φυσικά αντικείμενα ($=0.97$, αδιάστατο), σ είναι η σταθερά του Stefan-Boltzman ($=5.667 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$) και T_g είναι η θερμοκρασία του εδάφους (σε $^{\circ}\text{C}$).

Η θερμική ακτινοβολία της ατμόσφαιρας (L_a , σε Wm^{-2}) προσομοιώθηκε μέσω της εξίσωσης (Błażejczyk 2004)

$$L_a = s \cdot \sigma \cdot (273 + T_a)^4 \cdot (0.82 - 0.25 \cdot 10^{-0.094 \cdot e_a}) \quad (4.23)$$

όπου s είναι ο συντελεστής εκπομπής για φυσικά αντικείμενα ($=0.97$, αδιάστατο), σ είναι η σταθερά του Stefan-Boltzman ($=5.667 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$), T_a είναι η θερμοκρασία του αέρα (σε $^{\circ}\text{C}$) και e_a είναι η τάση ατμών στη θερμοκρασία του αέρα (σε hPa).

Η θερμική ακτινοβολία του ανθρώπινου σώματος (L_s , σε Wm^{-2}) προσομοιώθηκε μέσω της εξίσωσης (Błażejczyk 2004)

$$L_s = s_h \cdot \sigma \cdot (273 + T_{sk})^4 \quad (4.24)$$

όπου s_h είναι ο συντελεστής εκπομπής του ανθρώπινου σώματος ($=0.95$, αδιάστατο), σ είναι η σταθερά του Stefan-Boltzman ($=5.667 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$) και T_{sk} είναι η μέση θερμοκρασία του δέρματος (σε $^{\circ}\text{C}$).

Η απορροφούμενη ηλιακή ακτινοβολία (R , σε Wm^{-2}) αποτελεί σημαντική παράμετρο του ισοζυγίου ακτινοβολιών στον άνθρωπο (Błażejczyk et al. 1999, 2000; Matzarakis et al. 2000; Błażejczyk 2004, Kenny et al. 2008). Η προσομοίωση της R πραγματοποιήθηκε μέσω του μοντέλου SolGlob το οποίο αναπτύχθηκε

χρησιμοποιώντας ως αναλογικό μοντέλο του ανθρώπινου σώματος εθελοντές και ανδρείκελα σε σειρά πειραμάτων στο πεδίο, σε αντίθεση με άλλα μοντέλα όπου χρησιμοποιούν ως αναλογικό μοντέλο τον κατακόρυφο κύλινδρο ή το ελλειψοειδές είτε βασίζονται σε θεωρητικές σχέσεις της ηλιακής γεωμετρίας με την απορροφούμενη ηλιακή ενέργεια (Błażejczyk 2004).

Η απορροφούμενη ηλιακή ακτινοβολία (R , σε Wm^{-2}) προσομοιώθηκε ως συνάρτηση του ύψους του ηλίου (hSl , σε μοίρες) και του λόγου της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας (K_{glob} , σε Wm^{-2}) προς το δυναμικό πεδίο της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας κάτω από καθαρό ουρανό (K_t , σε Wm^{-2}) και κατά συνέπεια δίνεται από τις εξισώσεις

για $hSl \leq 12^\circ$

$$R = (0.0014 \cdot K_{glob}^2 + 0.476 \cdot K_{glob} - 3.8) \cdot (1 - 0.01 \cdot ac) \cdot I_{rc} \quad (4.25)$$

για $hSl > 12^\circ$ και $K_{glob} \cdot K_t^{-1} \leq 0.8$

$$R = 0.2467 \cdot K_{glob}^{0.9763} \cdot (1 - 0.01 \cdot ac) \cdot I_{rc} \quad (4.26)$$

για $hSl > 12^\circ$ και $0.8 < K_{glob} \cdot K_t^{-1} \leq 1.05$

$$R = 3.6922 \cdot K_{glob}^{0.5842} \cdot (1 - 0.01 \cdot ac) \cdot I_{rc} \quad (4.27)$$

για $hSl > 12^\circ$ και $1.05 < K_{glob} \cdot K_t^{-1} \leq 1.2$

$$R = 43.426 \cdot K_{glob}^{0.2326} \cdot (1 - 0.01 \cdot ac) \cdot I_{rc} \quad (4.28)$$

για $hSl > 12^\circ$ και $K_{glob} \cdot K_t^{-1} > 1.2$

$$R = 8.9281 \cdot K_{glob}^{0.4861} \cdot (1 - 0.01 \cdot ac) \cdot I_{rc} \quad (4.29)$$

όπου ac η λευκαύγεια (albedo) του δέρματος και/ή της ενδυμασίας (αδιάστατο) και I_{rc} ο συντελεστής μείωσης της μετάδοσης θερμότητας από μεταφορά και ακτινοβολία λόγω του ρουχισμού (αδιάστατο). Το δυναμικό πεδίο της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας κάτω από καθαρό ουρανό (K_t) προσδιορίστηκε ως συνάρτηση του ύψους του ηλίου (hSl) μέσω της εξίσωσης (Błażejczyk 2004)

$$K_t = -0.0015 \cdot hSl^3 + 0.1796 \cdot hSl^2 + 9.6375 \cdot hSl - 11.9 \quad (4.30)$$

Μια άλλη έκφραση της επίδρασης της ακτινοβολίας στον ανθρώπινο οργανισμό είναι η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας (Mean radiant temperature, T_{mrt}). Ως μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας, για ένα άτομο σε ένα συγκεκριμένο σημείο με δοσμένη στάση σώματος και ενδυμασίας, ορίζεται η ομοιόμορφη θερμοκρασία μιας υποθετικής επιφάνειας που περιβάλλει το ανθρώπινο σώμα, στην οποία η μεταφορά θερμότητας λόγω ακτινοβολίας από το ανθρώπινο σώμα θα ήταν ισοδύναμη με αυτή της πραγματικής κατάστασης (Fanger 1972, Matzarakis et al. 2007). Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας προσομοιώθηκε μέσω της εξίσωσης

$$T_{mrt} = \left((R \cdot I_{rc}^{-1} + 0.5 \cdot L_g + 0.5 \cdot L_a) \cdot (s_h \cdot \sigma)^{-1} \right)^{0.25} - 273 \quad (4.31)$$

όπου R είναι η απορροφούμενη ηλιακή ακτινοβολία (σε Wm^{-2}), I_{rc} είναι ο συντελεστής μείωσης της μετάδοσης θερμότητας από μεταφορά και ακτινοβολία λόγω του ρουχισμού (αδιάστατο), L_g είναι η θερμική ακτινοβολία του εδάφους (σε Wm^{-2}), L_a είναι η θερμική ακτινοβολία της ατμόσφαιρας (σε Wm^{-2}), s_h είναι ο συντελεστής εκπομπής του ανθρώπινου σώματος ($=0.95$, αδιάστατο) και σ είναι η σταθερά του Stefan-Boltzman ($=5.667 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$).

ε. Απώλεια θερμότητας μέσω αναπνοής

Οι ροές θερμότητας που σχετίζονται με την αναπνοή αναφέρονται στη μεταφορά θερμότητας από την επιφάνεια της αναπνευστικής οδού (βλεννογόνοι υμένες) στον εισπνεόμενο αέρα, ο οποίος εκπνέεται σε υψηλότερες θερμοκρασίες εμπλουτισμένος με υδρατμούς σε σύγκριση με τον εισπνεόμενο αέρα και συνολικά εκφράζονται από την εξίσωση

$$R_{es} = E_{res} + E_{rel} \quad (4.32)$$

όπου E_{res} είναι η ξηρή απώλεια θερμότητας από την αναπνοή (σε Wm^{-2}) και E_{rel} είναι η λανθάνουσα απώλεια θερμότητας από την ύγρανση του εισπνεόμενου αέρα (σε Wm^{-2}).

Ο εισπνεόμενος αέρας από την στιγμή που φτάνει στο κατώτερο αναπνευστικό σύστημα θερμαίνεται στην εσωτερική θερμοκρασία του σώματος (θερμοκρασία πυρήνα) (Höppe 1993). Κατά τη διάρκεια της εκπνοής ένα μέρος της

θερμότητας ανακτάται κατά την ψύξη στο ανώτερο αναπνευστικό σύστημα. Ως εκ τούτου η θερμοκρασία του εκπνεόμενου αέρα εξαρτάται από την θερμοκρασία του εισπνεόμενου αέρα (Höppe 1981). Η αντίστοιχη απώλεια θερμότητας περιγράφεται ως ξηρή απώλεια θερμότητας από την αναπνοή (E_{res} , σε Wm^{-2}) λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ του εισπνεόμενου και εκπνεόμενου αέρα και υπολογίστηκε μέσω της εξίσωσης (Höppe 1984; Höppe 1993)

$$E_{res} = RTM \cdot c_p \cdot (T_a - T_{ex}) \quad (4.33)$$

όπου RTM είναι η μάζα του αέρα που εισπνέεται το δευτερόλεπτο (σε $kg s^{-1}$), c_p είναι η ειδική θερμότητα του αέρα (σε $kcal kg^{-1} ^\circ C^{-1}$), T_a είναι η θερμοκρασία του αέρα (σε $^\circ C$) και T_{ex} είναι η θερμοκρασία του εκπνεόμενου αέρα (σε $^\circ C$).

Η μάζα του αέρα που εισπνέεται το δευτερόλεπτο ή αερισμός των πνευμόνων (RTM) εξαρτάται κυρίως από τη παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό έστω και εάν παρατηρούνται μικρές διαφοροποιήσεις για δραστηριότητες όπου η κίνηση των άνω και κάτω άκρων είναι κυρίαρχες (Fanger 1972). Για διάφορους τύπους δραστηριότητας ο αερισμός των πνευμόνων (RTM , σε $kg s^{-1}$) προσομοιώθηκε βάσει της ακόλουθης γραμμικής εξίσωσης (Fanger 1972)

$$RTM = 1.667 \cdot 10^{-6} \cdot M \quad (4.34)$$

Η θερμοκρασία εκπνοής δύναται να προσομοιωθεί ως συνάρτηση των συνθηκών του εισπνεόμενου αέρα. Όμως τα χαμηλά επίπεδα τιμών που λαμβάνει η ξηρή απώλεια θερμότητας από την αναπνοή, συγκρινόμενα με τις υπόλοιπες ροές μας οδήγησαν να χρησιμοποιήσουμε την σταθερή τιμή $35 ^\circ C$ ως θερμοκρασία εκπνοής.

Ο εισπνεόμενος αέρας φτάνοντας στους πνεύμονες καθίσταται κορεσμένος μέσω των υδρατμών. Η απαραίτητη ύγρανση του αέρα για να φτάσει σε αυτή την κατάσταση συνδυάζεται με αντίστοιχη απώλεια θερμότητας η οποία πραγματοποιείται στους βλεννογόνους υμένες του ανώτερου αναπνευστικού συστήματος. Κατά τη διάρκεια της εκπνοής ο αέρας ψύχεται ανακτώντας ένα μέρος των υδρατμών και της θερμότητας, με αποτέλεσμα τη χρονική στιγμή που φεύγει από το σώμα να περιέχει περισσότερους υδρατμούς συγκρινόμενος με τον εισπνεόμενο αέρα. Η αντίστοιχη απώλεια θερμότητας περιγράφεται ως λανθάνουσα απώλεια θερμότητας από την ύγρανση του εισπνεόμενου αέρα (E_{rel} , σε Wm^{-2}) και υπολογίστηκε μέσω της εξίσωσης (Höppe 1984; Höppe 1993)

$$E_{rel} = RTM \cdot r \cdot (e_a - e_{s,ex}) \cdot p^{-1} \quad (4.35)$$

όπου RTM είναι η μάζα του αέρα που εισπνέεται το δευτερόλεπτο (σε kg s^{-1}), r είναι η θερμότητα εξάτμισης του νερού (kJ kg^{-1}), e_a είναι η τάση ατμών στη θερμοκρασία του αέρα (σε hPa), $e_{s,ex}$ είναι η κορεσμένη τάση ατμών στη θερμοκρασία εκπνοής (σε hPa) και p είναι η ατμοσφαιρική πίεση (σε hPa).

στ. Ροή θερμότητας μέσω αγωγής

Η ροή θερμότητας μέσω αγωγής (K_d^* , σε W) περιγράφει τη μοριακή ανταλλαγή θερμότητας του ανθρώπινου σώματος με το περιβάλλον. Όταν ένα τμήμα του ανθρώπινου σώματος βρίσκεται σε άμεση επαφή με ένα στέρεο σώμα πραγματοποιείται από αυτό το τμήμα της επιφάνειας μια ανταλλαγή θερμότητας μέσω αγωγής. Η διάδοση θερμότητας με αγωγή περιγράφεται από την γενικευμένη εξίσωση (Höppe 1984)

$$K_d^* = A_{ko} \cdot h_k \cdot \Delta T \quad (4.36)$$

όπου h_k είναι ο αγωγίμος αριθμός διάδοσης θερμότητας από την επιφάνεια του σώματος έως το στερεό σώμα (σε $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$), A_{ko} είναι η επιφάνεια επαφής (σε m^2) και ΔT είναι η διαφορά θερμοκρασίας (σε K). Η τάξη μεγέθους της επιφάνειας επαφής (A_{ko}) δίνεται ως ποσοστό της συνολικής επιφάνειας του σώματος και αναφέρεται κατά τη στάση καθίσματος περίπου στο 6%, στη κατάκλιση σε ύπτια θέση περίπου στο 32% και κατά την πλάγια κατάκλιση περίπου στο 19%.

Στη παρούσα διατριβή η ροή θερμότητας μέσω αγωγής είναι αμελητέα ώστε μπορεί να παραλείπεται. Συγκεκριμένα, για έναν άνθρωπο που στέκεται όρθιος ή περπατά το τμήμα της επιφάνειας του σώματος που βρίσκεται σε σταθερή επαφή είναι πολύ μικρό ενώ το υλικό από τις σόλες των υποδημάτων εμφανίζει πολύ μεγάλη αντίσταση αγωγής θερμότητας. Επιπρόσθετα, οι θερμοαγωγιμότητες των υλικών που χρησιμοποιούνται ως επιφάνειες καθίσματος είναι συγκριτικά περιορισμένες με το τμήμα της επιφάνειας του σώματος που βρίσκεται σε σταθερή επαφή να εξαρτάται σε μεγάλη έκταση από τη στάση του σώματος και την ελαστικότητα του υλικού επαφής (Höppe 1984).

ζ. Δείκτης Θερμικού Φορτίου

Ο δείκτης Θερμικού Φορτίου (Heat Load, HL , αδιάστατο) αποτελεί βασικό μέτρο του φορτίου του θερμορυθμιστικού συστήματος του ανθρώπινου οργανισμού λόγω της έντασης των διαδικασιών προσαρμογής. Ο HL υπολογίζεται ως συνδυασμός των τριών βασικών ροών θερμότητας: της καθαρής αποθηκευόμενης θερμότητας (S), της απορροφούμενης ηλιακής ακτινοβολίας (R) και της τυρβώδους ανταλλαγής λανθάνουσας θερμότητας (E). Μαθηματικά, ο δείκτης HL ορίζεται από τον Błażejczyk (1994, 2001, 2006) μέσω των εξισώσεων

για $S < 0 \text{ Wm}^{-2}$ και $E \geq -50 \text{ Wm}^{-2}$

$$HL = \left(\frac{(S + 1000)}{1000} \right)^{\frac{5}{(1+R)}} \quad (4.37)$$

για $S \geq 0 \text{ Wm}^{-2}$ και $E \geq -50 \text{ Wm}^{-2}$

$$HL = \left(\frac{(S + 1000)}{1000} \right)^{2 - \frac{1}{(1+R)}} \quad (4.38)$$

για $S < 0 \text{ Wm}^{-2}$ και $E < -50 \text{ Wm}^{-2}$

$$HL = \left(\frac{E}{(-50)} \right) \cdot \left(\frac{(S + 1000)}{1000} \right)^{\frac{5}{(1+R)}} \quad (4.39)$$

για $S \geq 0 \text{ Wm}^{-2}$ και $E < -50 \text{ Wm}^{-2}$

$$HL = \left(\frac{E}{(-50)} \right) \cdot \left(\frac{(S + 1000)}{1000} \right)^{2 - \frac{1}{(1+R)}} \quad (4.40)$$

Η ταξινόμηση της θερμικής επιβάρυνσης σύμφωνα με την ένταση του δείκτη HL απεικονίζεται στο Πίνακα 4.3.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3. Ταξινόμηση του δείκτη Θερμικού Φορτίου (HL) ως προς τη θερμική επιβάρυνση.

Θερμικό Φορτίο (Heat Load, HL)	Θερμική επιβάρυνση
≤ 0.250	Έντονη ψυχρή επιβάρυνση (-3)
0.251-0.820	Μεγάλη ψυχρή επιβάρυνση (-2)
0.821-0.975	Ήπια ψυχρή επιβάρυνση (-1)
0.976-1.025	Άνεση (0)
1.026-1.180	Ήπια θερμή επιβάρυνση (+1)
1.181-1.750	Μεγάλη θερμή επιβάρυνση (+2)
≥ 1.751	Έντονη θερμή επιβάρυνση (+3)

4.3 Δεδομένα-Μεθοδολογία

Για τον υπολογισμό των παραμέτρων που παρουσιάζονται σε αυτή την παράγραφο χρησιμοποιήθηκαν τα πειραματικά δεδομένα του Αυτόματου Μετεωρολογικού Σταθμού του Εργαστηρίου Φυσικής Περιβάλλοντος και Μετεωρολογίας του Πανεπιστημίου Αθηνών (Μ.Σ.Π.Α). Τα δεδομένα αυτά είναι η μέση θερμοκρασία αέρα, η σχετική υγρασία, η οριζόντια ταχύτητα του ανέμου, η ολική ηλιακή ακτινοβολία, η ατμοσφαιρική πίεση και η θερμοκρασία εδάφους με βήμα λεπτού (1 min). Όλες οι μετεωρολογικές παράμετροι όπου χρησιμοποιήθηκαν πλην της θερμοκρασίας εδάφους μετρήθηκαν σε ύψος 2m από το έδαφος. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα για το ύψος ηλίου με βήμα λεπτού (1 min) από το Τμήμα Αστρονομικών Εφαρμογών του Αστεροσκοπείου του Πολεμικού Ναυτικού των ΗΠΑ (US Naval Observatory, <http://aa.usno.navy.mil/data/docs/AltAz>).

Η ανάλυση που περιγράφεται στη συνέχεια αφορά τη πειραματική διαδικασία Α, κατά την κορύφωση ενός θερμού επεισοδίου, για το χρονικό διάστημα από 23 έως 25 Ιουλίου του 2007. Η πειραματική διαδικασία Α αποτελείτο από δυο κύριες φάσεις. Κατά την πρώτη φάση η επιλεγμένη ομάδα μελέτης παραμένει σε έναν εσωτερικά κλιματιζόμενο χώρο για 90 min πραγματοποιώντας ήρεμη δραστηριότητα ενώ κατά τη δεύτερη φάση περπατά κατά μήκος μιας προκαθορισμένης κυκλικής διαδρομής για 33 min σε ένα έντονα θερμό περιβάλλον, χωρίς να έχει προηγηθεί προσαρμογή σε αυτές τις συνθήκες, όπως περιγράφηκε στη παράγραφο 3.3.

Για τη διερεύνηση της χρονικής εξέλιξης των θερμοφυσιολογικών και φυσιολογικών παραμέτρων στον ανθρώπινο οργανισμό πραγματοποιήθηκε ανάλυση και επεξεργασία των μετρήσεων με βήμα λεπτού (1 min), για κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας Α, μέσω του λογισμικού InnerView Research Professional 5.1 (BodyMedia, Inc., Pittsburgh, PA). Συγκεκριμένα, οι παράμετροι που αναλύθηκαν είναι η παράγωγη θερμότητας από το μεταβολισμό (M), η θερμοκρασία του δέρματος (T_{arm}), η γαλβανική αντίδραση του δέρματος (GSR) και η ροή θερμότητας (HF). Τα σήματα φυσιολογίας και θερμοφυσιολογίας των αισθητήρων ανίχνευσαν αρχικά το ευρύτερο πλαίσιο του κομιστή και στη συνέχεια μέσω των ενσωματωμένων αλγορίθμων υπολογίστηκε η ενεργειακή δαπάνη και συγκεκριμένα η παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό. Βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας (Jakicic et al. 2004; Mignault et al. 2005; Wadsworth et al. 2005; De Feo et al. 2006; Malavolti et al. 2007) η μέθοδος αυτή επιτρέπει την έγκυρη και ακριβή μέτρηση της ενεργειακής

δαπάνης και της παραγωγής θερμότητας από το μεταβολισμό σε μια ελεγχόμενη πειραματική διαδικασία στο πεδίο.

Σύμφωνα με τους Lund and Gisolfi (1974) η μέτρηση της θερμοκρασίας δέρματος στο τρικέφαλο παρουσιάζει υψηλό συντελεστή συσχέτισης (0.96) με τη βέλτιστη μέση θερμοκρασία δέρματος. Επιπλέον, σε ένα θερμό περιβάλλον δεν παρουσιάζονται σημαντικές διαφοροποιήσεις στη θερμοκρασία δέρματος για διαφορετικά σημεία μέτρησης, όταν η ενδυμασία των ατόμων είναι ελαφριά (Hardy and DuBois 1938; Nielsen and Nielsen 1984). Σε αυτή τη βάση, η βέλτιστη μέση θερμοκρασία δέρματος υπολογίστηκε ως συνάρτηση της πειραματικής θερμοκρασίας δέρματος στο τρικέφαλο του δεξιού βραχίονα, όπως περιγράφεται από την εξίσωση των Lund and Gisolfi (1974) και στη συνέχεια του κεφαλαίου θα αναφέρεται ως μέση πειραματική θερμοκρασία δέρματος ($T_{sk,exp}$)

$$T_{sk,exp} = 0.73 \cdot T_{arm} + 8.88 \quad (4.41)$$

Για τη διερεύνηση των ανταλλαγών θερμότητας από και προς το ανθρώπινο σώμα, σε ένα έντονα θερμό περιβάλλον, χωρίς προσαρμογή, πραγματοποιήθηκε προσομοίωση μέσω του μοντέλου MENEX, για τη 2^η φάση της πειραματικής διαδικασίας Α. Συγκεκριμένα, υπολογίστηκαν κατά μήκος της διαδρομής, με βήμα 1 min, οι ροές της τυρβώδους ανταλλαγής αισθητής θερμότητας (C) με βάση την Εξ. 4.5, της τυρβώδους ανταλλαγής λανθάνουσας θερμότητας (E) από την Εξ. 4.11, της μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία (L) με βάση την Εξ. 4.21, της απορροφούμενης ηλιακής ακτινοβολίας (R) από τις Εξ. 4.25 έως 4.29, της απώλειας θερμότητας μέσω της αναπνοής (R_{es}) με βάση την Εξ. 4.32 και της καθαρής αποθηκευόμενης θερμότητας (S) από την Εξ. 4.1, για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης. Τα μετεωρολογικά δεδομένα εισόδου στο μοντέλο είναι η μέση θερμοκρασία αέρα, η σχετική υγρασία, η οριζόντια ταχύτητα του ανέμου, η ολική ηλιακή ακτινοβολία, η ατμοσφαιρική πίεση και η θερμοκρασία εδάφους. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφέρουμε ότι όταν η ταχύτητα του ανέμου μετρήθηκε μικρότερη από 0.25 ms^{-1} , η προσομοίωση των ροών πραγματοποιήθηκε με την τιμή 0.25 ms^{-1} μιας και στο πραγματικό ατμοσφαιρικό περιβάλλον δεν υφίστανται συνθήκες πλήρους άπνοιας. Τα θερμοφυσιολογικά δεδομένα εισόδου στο μοντέλο είναι η πειραματική παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό και η αντίστοιχη μέση πειραματική θερμοκρασία δέρματος, για την επιλεγμένη ομάδα μελέτης. Με σκοπό να προσδιοριστεί το

πειραματικό πεδίο η λευκαύγεια του εδάφους ορίστηκε στα 0.18 (Oke 1982; Arnfield 2003). Επιπρόσθετα, η ταχύτητα κίνησης για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης ορίστηκε στα 1.26 ms^{-1} , ως η μέση ταχύτητα κίνησης για την ολοκλήρωση της διαδρομής, όπως έχει αναφερθεί στη παράγραφο 3.3. Η αντίσταση της συνολικής επιλεγμένης ενδυμασίας ορίστηκε στο μοντέλο σε 0.39 clo για τον άνδρα και σε 0.36 clo για τη γυναίκα και προέκυψε από συνδυασμό ενδυμάτων, ενώ η μέση λευκαύγεια του δέρματος και της ενδυμασίας ορίστηκε στα 0.31, όπως έχουν προσδιοριστεί και περιγραφεί στη παράγραφο 3.2.4.

Με στόχο τη διερεύνηση της συνεισφοράς των θερμοφυσιολογικών παραμέτρων στη διαμόρφωση των ροών του θερμικού ισοζυγίου πραγματοποιήθηκε προσομοίωση για το ίδιο θερμικό περιβάλλον, λαμβάνοντας ως πρότυπο ένα μέσο τύπο ανθρώπου (άνδρας και γυναίκα), όπως αυτός περιγράφεται στη παράγραφο 4.2α, κάθε πειραματική ημέρα. Συγκεκριμένα, κατά τη θεωρητική προσέγγιση των θερμοφυσιολογικών παραμέτρων, η παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό για το μέσο άνδρα και τη μέση γυναίκα με μέση ταχύτητα κίνησης τα 1.26 ms^{-1} , αντίστοιχη της μέσης ταχύτητας κίνησης της ομάδας μελέτης κατά μήκος της διαδρομής (2^η φάση) για την πειραματική διαδικασία Α, ορίστηκε στα 151 Wm^{-2} σύμφωνα με τους αναλυτικούς πίνακες κατά ISO 8996 (2001). Αντίστοιχα, η μέση θεωρητική θερμοκρασία δέρματος ($T_{sk.th}$) προσομοιώθηκε για το μέσο άνδρα και τη μέση γυναίκα μέσω του μοντέλου MENEX, βάσει της Εξ. 4.9. Πρέπει να σημειωθεί επίσης, ότι κατά την προσομοίωση των ροών από και προς το ανθρώπινο σώμα, βάσει των θεωρητικών παραμέτρων της παραγωγής θερμότητας από το μεταβολισμό και της μέσης θερμοκρασίας δέρματος, χρησιμοποιήθηκαν τα μετεωρολογικά δεδομένα καθώς και οι παράμετροι της ενδυμασίας, της λευκαύγειας του εδάφους και της ταχύτητας κίνησης όπως μετρήθηκαν και προσδιορίστηκαν, αντίστοιχα, κατά την πειραματική διαδικασία Α.

Επίσης, για τη μελέτη της θερμικής άνεσης μέσω ενός θερμοφυσιολογικού ή βιομετεωρολογικού δείκτη υπολογίστηκε ο δείκτης Θερμικού Φορτίου (Heat Load index, HL), με βήμα 1 min κατά μήκος της διαδρομής (2^η φάση), για την πειραματική και θεωρητική προσομοίωση κάθε πειραματική ημέρα, με βάση τις Εξ. 4.37 έως 4.40.

Τέλος, από τα αποτελέσματα αυτά έχουν εξαχθεί οι μέσες τιμές για κάθε παράμετρο για ολόκληρη την πειραματική περίοδο.

4.4 Μετεωρολογικές συνθήκες

Η πειραματική διαδικασία Α πραγματοποιήθηκε κατά την κορύφωση ενός παρατεταμένου θερμού επεισοδίου στα τέλη Ιουλίου του 2007 (Tolika et al. 2009; Theoharatos et al. 2010). Συγκεκριμένα η μέγιστη θερμοκρασία ξεπέρασε το κατώφλι των 37 °C (Prezerakos 1989) για 7 συνεχόμενες ημέρες το χρονικό διάστημα από 19 έως 25 Ιουλίου. Η κορύφωση του θερμού επεισοδίου έλαβε χώρα το χρονικό διάστημα μεταξύ 23 και 25 Ιουλίου όπου και πραγματοποιήθηκε η πειραματική διαδικασία, με την μέγιστη θερμοκρασία να υπερβαίνει τους 40 °C. Επιπλέον τη δεδομένη χρονική περίοδο η ελάχιστη θερμοκρασία παρέμενε πάνω από τους 37 °C για περισσότερες από 8 h κατά τη διάρκεια της ημέρας, διαμορφώνοντας έντονες συνθήκες θερμικής δυσφορίας (Theoharatos et al. 2010).

Οι επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες καθ' όλη την πειραματική περίοδο στο πεδίο απεικονίζονται στο Πίνακα 4.4.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.4. Μετεωρολογικές παράμετροι κατά την πειραματική διαδικασία από 23 έως 25 Ιουλίου 2007.

Μετεωρολογικές παράμετροι	Ελάχιστη	Μέγιστη	Μέση
Θερμοκρασία αέρα (°C)	38.1	43.2	40.5±1.6
Σχετική υγρασία (%)	7.6	12.5	9.5±1.4
Ταχύτητα ανέμου (ms ⁻¹)	0.5	4.9	2.1±0.8
Θερμοκρασία εδάφους (°C)	39.5	41.9	40.9±0.9
Ολική ακτινοβολία (Wm ⁻²)	736.0	885.0	799.9±44.2
Ατμοσφαιρική πίεση (hPa)	977.0	982.0	980.0±1.9

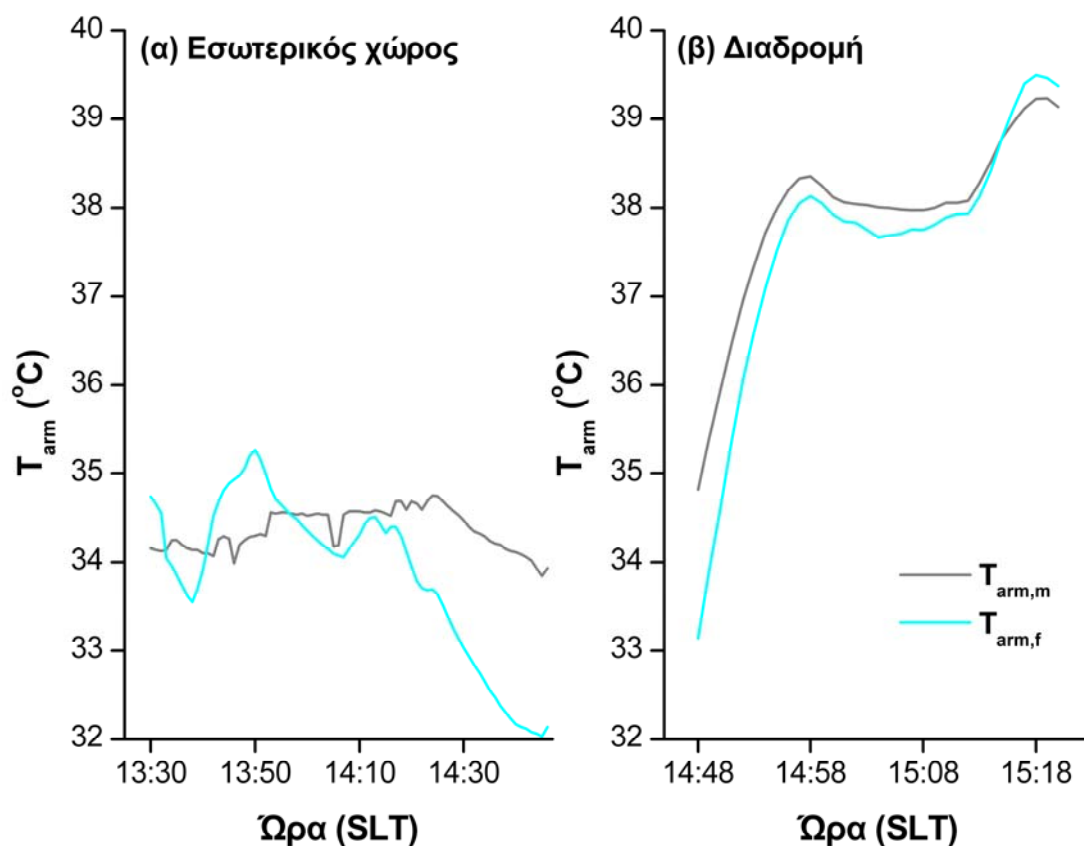
4.5 Μελέτη των πεδίων των θερμοφυσιολογικών παραμέτρων

Η διαμόρφωση της θερμικής άνεσης εξαρτάται εκτός από το θερμικό περιβάλλον και από παραμέτρους όπως το επίπεδο δραστηριότητας, ο χρόνος έκθεσης στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον καθώς και ο χρόνος προσαρμογής ή μη σε αυτό. Στην παράγραφο αυτή εξετάζεται η πορεία και τα επίπεδα τιμών των θερμοφυσιολογικών παραμέτρων κατά τη διάρκεια των δυο φάσεων της πειραματικής διαδικασίας Α. Συγκεκριμένα, μελετήθηκε η θερμοκρασία δέρματος, η παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό, η ροή θερμότητας και η γαλβανική αντίδραση του δέρματος, κατά την παραμονή στον εσωτερικά κλιματιζόμενο χώρο (1^η φάση) και κατά τη διάρκεια της διαδρομής (2^η φάση), προκειμένου να διερευνηθεί η αντίδραση του οργανισμού σε ένα έντονα θερμό περιβάλλον χωρίς προσαρμογή.

4.5.1 Θερμοκρασία δέρματος

Στο Σχήμα 4.2 παρουσιάζεται η θερμοκρασία δέρματος στο τρικέφαλο του δεξιού βραχίονα (T_{arm}) κατά την παραμονή της ομάδας μελέτης στον εσωτερικά κλιματιζόμενο χώρο και κατά τη διάρκεια της διαδρομής.

Κατά την πρώτη φάση, η μέση T_{arm} διαμορφώνεται στους 34.4 °C για τον άνδρα (Sub1) και στους 33.9 °C για την γυναίκα (Sub2) (Σχήμα 4.2α). Αυτό το χρονικό διάστημα η υψηλότερη τιμή της T_{arm} διαμορφώθηκε στους 34.7 °C για το Sub1 και στους 35.3 °C για το Sub2. Το τελευταίο ημίωρο της παραμονής στον εσωτερικό χώρο η T_{arm} ακολουθεί πτωτική πορεία, ιδιαίτερα για το Sub2, με τη χαμηλότερη τιμή να διαμορφώνεται στους 33.8 °C για το Sub1 και στους 32.0 °C για το Sub2. Η διόρθωση η οποία παρατηρείται τα τελευταία 2 min αποτυπώνει την έξοδο από το κλιματιζόμενο γραφείο και την κίνηση της ομάδας μελέτης διαμέσου της εσωτερικής κλίμακας προς την έξοδο του κτιρίου.

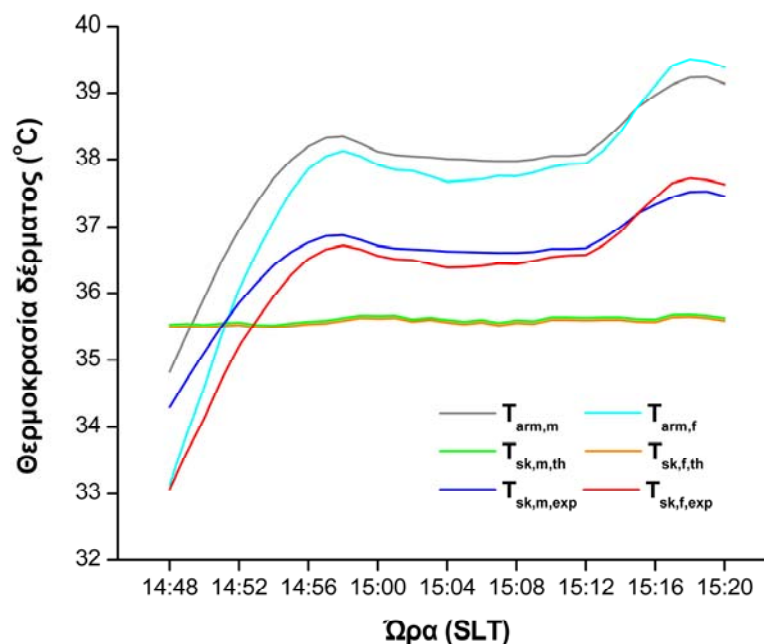


ΣΧΗΜΑ 4.2. Η θερμοκρασία δέρματος στο τρικέφαλο του δεξιού βραχίονα για τον άνδρα (Sub1, $T_{arm,m}$) και τη γυναίκα (Sub2, $T_{arm,f}$) κατά τη διάρκεια α) παραμονής στον εσωτερικά κλιματιζόμενο χώρο και β) της διαδρομής.

Αντίθετα, στα πρώτα 10 min της διαδρομής παρατηρείται μια απότομη αύξηση της T_{arm} για την ομάδα μελέτης, η οποία είναι αποτέλεσμα της υψηλής

δραστηριότητας σε ένα έντονα θερμό περιβάλλον χωρίς προσαρμογή (Σχήμα 4.2β). Η χαμηλότερη τιμή της T_{arm} διαμορφώθηκε το 1 min της διαδρομής με 34.8 και 33.1 °C για τον άνδρα (Sub1) και τη γυναίκα (Sub2), αντίστοιχα. Κατά το χρονικό διάστημα της απότομης αύξησης της T_{arm} , μεταξύ 14:48 και 14:58 SLT, η υψηλότερη βαθμίδα παρατηρείται για τη γυναίκα (Sub2), με τη διαφορά μεταξύ των δυο ατόμων να κυμαίνεται από 1.2 °C έως 0.2 °C. Για τα αμέσως επόμενα 13 min, μεταξύ 14:59 έως 15:11 SLT, παρατηρείται μια ελαφρά πτώση και ισορροπία των τιμών της T_{arm} , η οποία σχετίζεται με την διαδικασία της εφίδρωσης στον οργανισμό. Τέλος, τα τελευταία λεπτά της διαδρομής παρατηρείται μια περαιτέρω αύξηση των τιμών της T_{arm} με μια ελαφρά διόρθωση τα τελευταία δυο λεπτά. Συνολικά κατά τη διάρκεια της διαδρομής η T_{arm} διαμορφώνεται σε ελαφρώς υψηλότερα επίπεδα για το Sub1 σε σχέση με το Sub2, με εξαίρεση τα τελευταία 4 min όπου η μέγιστη τιμή διαμορφώνεται στους 39.2 °C και 39.5 °C για το Sub1 και το Sub2, αντίστοιχα.

Στο Σχήμα 4.3 παρουσιάζονται η θερμοκρασία δέρματος στο τρικέφαλο του δεξιού βραχίονα (T_{arm}) καθώς και η μέση πειραματική ($T_{sk,exp}$) και η μέση θεωρητική θερμοκρασία δέρματος ($T_{sk,th}$) κατά τη διάρκεια της διαδρομής.



ΣΧΗΜΑ 4.3. Η θερμοκρασία δέρματος στο τρικέφαλο του δεξιού βραχίονα (T_{arm}), η μέση πειραματική ($T_{sk,exp}$) και η μέση θεωρητική θερμοκρασία δέρματος ($T_{sk,th}$) για κάθε ομάδα μελέτης κατά τη διάρκεια της διαδρομής.

Συγκεκριμένα, βρέθηκε ότι η πορεία της $T_{sk,th}$ δεν παρουσιάζει κάποια ιδιαίτερη κύμανση κατά μήκος της διαδρομής, σε αντίθεση με την $T_{sk,exp}$ η οποία ακολουθεί την πορεία της T_{arm} σε χαμηλότερα επίπεδα τιμών, ιδιαίτερα στις

υψηλότερες θερμοκρασίες δέρματος (Σχήμα 4.3). Επιπλέον, η μέση $T_{sk,th}$ διαμορφώθηκε στους 35.61 °C για το Sub1 και στους 35.57 °C για το Sub2 κατά μήκος της διαδρομής, με το Sub1 να διαμορφώνει ελαφρώς υψηλότερες τιμές, αποτέλεσμα το οποίο σχετίζεται με την ελαφρώς υψηλότερη αντίσταση της συνολικά επιλεγμένης ενδυμασίας. Η χαμηλότερη τιμή της $T_{sk,exp}$ διαμορφώθηκε το 1 min της διαδρομής με 34.3 °C για τον άνδρα (Sub1) και με 33.1 °C για τη γυναίκα (Sub2), σε αντιστοιχία με την T_{arm} . Η μεγαλύτερη διόρθωση της $T_{sk,exp}$ πραγματοποιήθηκε στις υψηλότερες θερμοκρασίες, με τη μέγιστη τιμή να διαμορφώνεται στους 37.5 °C και 37.7 °C για το Sub1 και το Sub2, αντίστοιχα. Επίσης, η μέση $T_{sk,exp}$ διαμορφώθηκε στους 36.6 °C για τον άνδρα και στους 36.3 °C για τη γυναίκα κατά μήκος της διαδρομής.

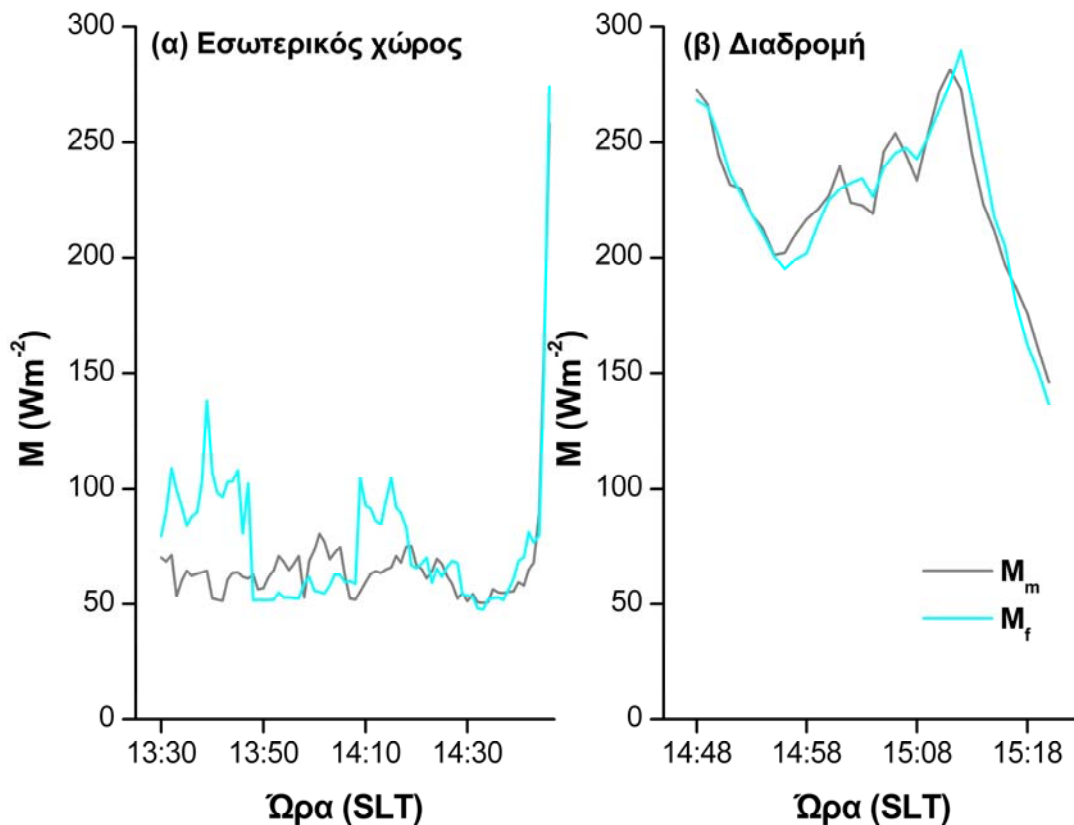
Από τα παραπάνω, παρ' όλο που η μέση $T_{sk,th}$ κατά μήκος της διαδρομής υπολείπεται της αντίστοιχης μέσης $T_{sk,exp}$ κατά 0.9 °C για το Sub1 και κατά 0.7 °C για το Sub2, φαίνεται η αδυναμία του μοντέλου να προσομοιώσει ικανοποιητικά την πορεία της μέσης θερμοκρασίας δέρματος μέσω μιας εμπειρικής εξίσωσης, για ένα άτομο που κινείται σε ένα έντονα θερμό περιβάλλον χωρίς προσαρμογή (Katavoutas et al. 2009). Εξάλλου, η χρονική εξέλιξη της $T_{sk,exp}$ κατά μήκος της διαδρομής είναι σε συμφωνία με τα αποτελέσματα του Höppe (2002), κατά την προσομοίωση της μέσης θερμοκρασίας δέρματος από ένα ουδέτερο εσωτερικό περιβάλλον σε ένα θερμό περιβάλλον, μέσω του μοντέλου IMEM (Instationary Munich Energy-Balance Model). Επιπλέον, οι μικρές αποκλίσεις οι οποίες παρατηρούνται ως προς τα επίπεδα τιμών της μέσης θερμοκρασίας δέρματος οφείλονται στο έντονα θερμό περιβάλλον της πραγματοποιηθείσας πειραματικής διαδικασίας και στο γεγονός ότι σε πραγματικές συνθήκες η παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό δεν παραμένει σταθερή αλλά μεταβάλλεται ακόμη και στην κλίμακα του 1 min όπως θα αναλυθεί διεξοδικά στην επόμενη παράγραφο.

4.5.2 Παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό

Η πορεία της παραγωγής θερμότητας από το μεταβολισμό (M) χαρακτηρίζει το επίπεδο δραστηριότητας της ομάδας μελέτης κατά τη διάρκεια παραμονής στον εσωτερικά κλιματιζόμενο χώρο και κατά τη διάρκεια της διαδρομής (Σχήμα 4.4).

Σύμφωνα με το Σχήμα 4.4α, η μέση παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό διαμορφώθηκε στα $66.6 \pm 25.6 \text{ Wm}^{-2}$ για τον άνδρα (Sub1) και στα $76.7 \pm 31.6 \text{ Wm}^{-2}$ για τη γυναίκα (Sub2) κατά την παραμονή στον εσωτερικό χώρο. Τα

αποτελέσματα αυτά χαρακτηρίζουν συνολικά τη δραστηριότητα ως καθιστική και ήπια και είναι σε συμφωνία με το Πίνακα 4.2 για την εκτίμηση της παραγωγής θερμότητας από το μεταβολισμό κατά ISO 8996 (2001). Με εξαίρεση τα τελευταία 2 min, οι εξάρσεις της M_f οι οποίες παρατηρούνται για το Sub2 οφείλονται στην έντονη κίνηση στον εσωτερικά κλιματιζόμενο χώρο και ταυτίζονται με την αντίστοιχη αύξηση της θερμοκρασίας δέρματος στο τρικέφαλο του δεξιού βραχίονα ($T_{arm,f}$). Τα τελευταία 2 min παρατηρείται μια απότομη αύξηση της παραγωγής θερμότητας από το μεταβολισμό η οποία σχετίζεται με την ταυτόχρονη αύξηση της ενεργειακής δαπάνης (energy expenditure) (Miles 2007), λόγω της μετακίνησης της ομάδας μελέτης από το κλιματιζόμενο χώρο προς την έξοδο του κτιρίου, μέσω της εσωτερικής κλίμακας (Bassett et al. 1997). Αυτή τη χρονική στιγμή, η μέγιστη M διαμορφώθηκε στα 258.2 Wm^{-2} για το Sub1 και στα 274.2 Wm^{-2} για το Sub2.



ΣΧΗΜΑ 4.4. Η παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό για τον άνδρα (Sub1, M_m) και τη γυναίκα (Sub2, M_f) κατά τη διάρκεια α) παραμονής στον εσωτερικά κλιματιζόμενο χώρο και β) της διαδρομής.

Κατά τη διάρκεια της διαδρομής η παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό ακολουθεί παρόμοια πορεία για την ομάδα μελέτης, με τη μέση διαφορά μεταξύ του Sub1 και του Sub2 να διαμορφώνεται στα 8.1 Wm^{-2} (Σχήμα 4.4β). Στα πρώτα 8 min

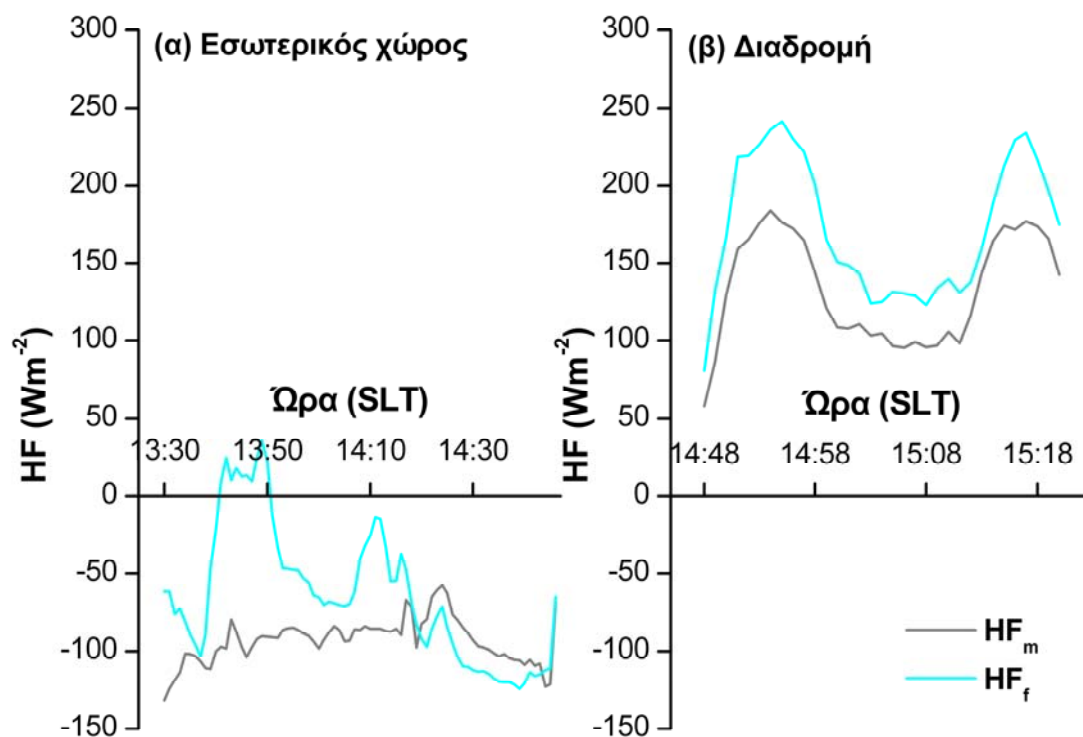
της διαδρομής παρατηρείται μια απότομη πτώση της M , η οποία σχετίζεται με τις υψηλές τιμές που διαμορφώθηκαν κατά την κίνηση της ομάδας μελέτης στην εσωτερική κλίμακα, κατά την έξοδο από το κτίριο καθώς και στην απουσία έντονων κλίσεων σε αυτό το χρονικό διάστημα. Στα επόμενα 15 min της διαδρομής παρατηρείται μια βαθμιαία αύξηση της M λόγω των έντονων μεταβολών στις κλίσεις καθώς και στην αύξηση της ταχύτητας σε τμήματα της διαδρομής (Zarrugh et al. 1974; Minetti et al. 2002). Έτσι, η μέγιστη M διαμορφώθηκε στα 281.5 Wm^{-2} για το Sub1 και στα 289.6 Wm^{-2} για το Sub2, ύστερα από 24 και 25 min, αντίστοιχα. Τέλος, τα τελευταία 8 min παρατηρείται μια απότομη πτώση της M , η οποία σχετίζεται με την ακούσια ελάττωση της ταχύτητας λόγω των ανοδικών κλίσεων και της σωματικής καταπόνησης του οργανισμού στο τέλος της διαδρομής. Η ελάχιστη τιμή της M καταγράφηκε στο τέλος της διαδρομής με 146.1 Wm^{-2} και 136.3 Wm^{-2} για το Sub1 και το Sub2, αντίστοιχα.

Από τα παραπάνω υποδεικνύεται ότι η παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό, εκτός από παραμέτρους όπως η στάση του σώματος, η ηλικία, το φύλο, το βάρος και το ύψος, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ταχύτητα κίνησης και από τις κλίσεις του εδάφους με αποτέλεσμα να μεταβάλλεται στην κλίμακα του 1 min. Έτσι, η υπόθεση της σταθερής παραγωγής θερμότητας από το μεταβολισμό με κριτήριο μια επιλεγμένη δραστηριότητα δεν συνάδει με τις πραγματικές συνθήκες και πραγματοποιείται στο πλαίσιο της απλοποίησης των υπολογισμών (Katavoutas et al. 2009).

4.5.3 Ροή θερμότητας

Στο Σχήμα 4.5 απεικονίζεται η ροή θερμότητας για τον άνδρα (HF_m) και τη γυναίκα (HF_f) κατά τη διάρκεια παραμονής στον εσωτερικά κλιματιζόμενο χώρο και κατά μήκος της διαδρομής. Κατά την πρώτη φάση της πειραματικής διαδικασίας παρατηρείται μια μέση απώλεια θερμότητας κατά $-93.2 \pm 14.3 \text{ Wm}^{-2}$ για τον άνδρα (Sub1) και κατά $-64.0 \pm 43.5 \text{ Wm}^{-2}$ για τη γυναίκα (Sub2) (Σχήμα 4.5α). Συγκεκριμένα, η απώλεια θερμότητας για το Sub1 κυμαίνεται από -57.5 Wm^{-2} έως -131.4 Wm^{-2} . Σε αντίθεση, το Sub2 παρουσιάζει μεγαλύτερο εύρος τιμών της HF_f ενώ ταυτόχρονα παρατηρείται ένα χρονικό διάστημα 10 min με πλεόνασμα θερμότητας. Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι οι εξάρσεις της HF_f οι οποίες παρατηρούνται, ταυτίζονται με τις αντίστοιχες εξάρσεις της M_f και της $T_{arm,f}$, καταδεικνύοντας την αλληλεπίδραση τους και την άμεση αντίδραση του οργανισμού στα ερεθίσματα.

Στη συνέχεια κατά τη δεύτερη φάση της πειραματικής διαδικασίας καταγράφεται ένα πλεόνασμα θερμότητας για την ομάδα μελέτης, με το εύρος τιμών να κυμαίνεται από 58.2 Wm^{-2} έως 184.1 Wm^{-2} για το Sub1 και από 81.1 Wm^{-2} έως 241.6 Wm^{-2} για το Sub2 (Σχήμα 4.5β). Στα πρώτα 8 min της διαδρομής παρατηρείται μια απότομη αύξηση της HF η οποία σχετίζεται με την απότομη αλλαγή της θερμοκρασίας του αέρα, από τον εσωτερικά κλιματιζόμενο χώρο σε ένα έντονα θερμό περιβάλλον, καθώς και από την επίδραση της ακτινοβολίας. Επιπλέον, η απότομη αύξηση της HF για την ομάδα μελέτης είναι σε συμφωνία με την αντίστοιχη απότομη αύξηση που παρατηρείται για την T_{arm} . Στη συνέχεια καταγράφεται μια πτώση και εξισορρόπηση των τιμών της HF στα επίπεδα των 100 Wm^{-2} και 150 Wm^{-2} για το Sub1 και το Sub2, αντίστοιχα, και σχετίζεται με την αντίστοιχη ελαφρά πτώση και ισορροπία που διαγράφει η T_{arm} το ίδιο χρονικό διάστημα. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων 10 min της διαδρομής, παρατηρείται ένα δεύτερο μέγιστο της HF εξ' αιτίας της υψηλής T_{arm} .



ΣΧΗΜΑ 4.5. Η ροή θερμότητας για τον άνδρα (Sub1, HF_m) και τη γυναίκα (Sub2, HF_f) κατά τη διάρκεια α) παραμονής στον εσωτερικά κλιματιζόμενο χώρο και β) της διαδρομής.

Από τα παραπάνω υποδεικνύεται μια μέση απώλεια θερμότητας της HF κατά την παραμονή στον εσωτερικό χώρο και ένα πλεόνασμα θερμότητας κατά τη διάρκεια της διαδρομής για την ομάδα μελέτης. Το γεγονός αυτό καταδεικνύει την σχέση της

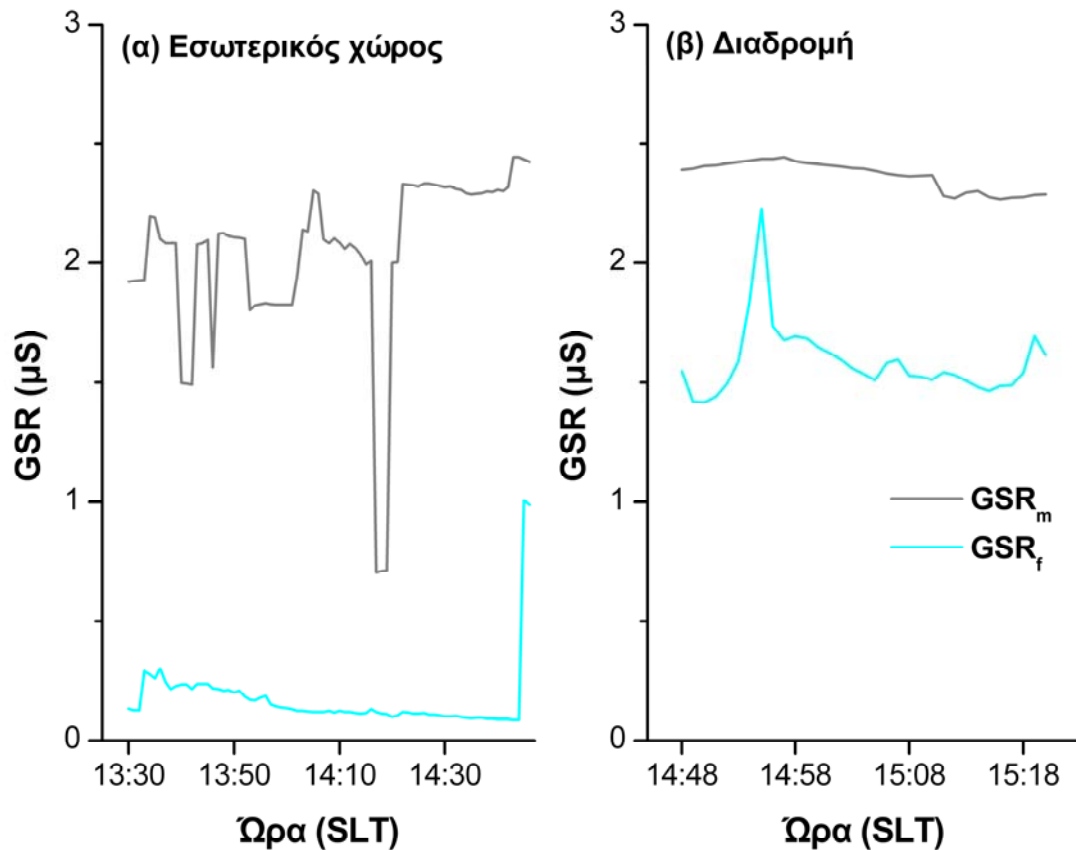
HF με τα θερμοκρασιακά επίπεδα του σώματος καθώς και με το θερμικό περιβάλλον κατά τη διαδικασία προσαρμογής σε αυτό (Katavoutas et al. 2008b).

4.5.4 Γαλβανική αντίδραση δέρματος

Στο Σχήμα 4.6 απεικονίζεται η γαλβανική αντίδραση του δέρματος η οποία αντιπροσωπεύει την περιεκτικότητα νερού στο δέρμα λόγω εφίδρωσης καθώς και τη διαστολή και συστολή των περιφερειακών αγγείων.

Κατά τη διάρκεια παραμονής στον εσωτερικό χώρο, βρέθηκε ότι η γαλβανική αντίδραση του δέρματος για τον άνδρα (GSR_m) διαμορφώνεται σε υψηλότερα επίπεδα συγκρινόμενη με τις αντίστοιχες τιμές της GSR_f για τη γυναίκα (Σχήμα 4.6α). Συγκεκριμένα, κατά τη πρώτη φάση της πειραματικής διαδικασίας, η μέση τιμή της GSR_m διαμορφώθηκε στα $2.05 \pm 0.35 \mu S$ διαγράφοντας έντονες διακυμάνσεις. Σε αντίθεση, η μέση τιμή της GSR_f κυμαίνεται στα $0.17 \pm 0.14 \mu S$, ενώ μια απότομη αύξηση παρατηρείται τα τελευταία 2 min, η οποία πρέπει να σχετίζεται με την έξοδο από το κλιματιζόμενο γραφείο και την κίνηση της γυναίκας (Sub2) διαμέσου της εσωτερικής κλίμακας προς την έξοδο του κτιρίου. Το ίδιο χρονικό διάστημα, δεν παρατηρείται μια αντίστοιχη απότομη αύξηση της GSR_m για τον άνδρα, γεγονός που ουσιαστικά οφείλεται στα ήδη υψηλά επίπεδα κύμανσης της GSR_m .

Κατά τη διάρκεια της δεύτερης φάσης, βρέθηκε ότι η GSR_m για τον άνδρα (Sub1) ακολουθεί μια ελαφρά αυξητική πορεία τα πρώτα 10 min, με το μέγιστο να διαμορφώνεται στα $2.44 \mu S$ (Σχήμα 4.6β). Στη συνέχεια καταγράφεται μια ελαφρά πτώση, ενώ συνολικά η μέση τιμή της GSR_m διαμορφώνεται στα $2.37 \pm 0.06 \mu S$, απουσία έντονων διακυμάνσεων. Σε αντίθεση, για τη γυναίκα (Sub2) βρέθηκε μια έντονη αυξητική βαθμίδα της GSR_f τα πρώτα 8 min, με τη μέγιστη τιμή να διαμορφώνεται στα $2.23 \mu S$. Το γεγονός αυτό σχετίζεται με τη μετακίνηση της ομάδας μελέτης από τον εσωτερικό χώρο σε ένα έντονα θερμό περιβάλλον καθώς και με τη διαμόρφωση χαμηλών τιμών της GSR_f κατά τη πρώτη φάση της πειραματικής διαδικασίας. Μετά τα πρώτα 8 min, η GSR_f διαγράφει πτωτική πορεία, ενώ ένα δεύτερο μέγιστο εντοπίζεται τα τελευταία 5 min. Συνολικά κατά τη διάρκεια της διαδρομής, η μέση τιμή της GSR_f διαμορφώνεται στα $1.59 \pm 0.15 \mu S$.



ΣΧΗΜΑ 4.6. Η γαλβανική αντίδραση του δέρματος για τον άνδρα (Sub1, GSR_m) και τη γυναίκα (Sub2, GSR_f) κατά τη διάρκεια α) παραμονής στον εσωτερικά κλιματιζόμενο χώρο και β) της διαδρομής.

Τα παραπάνω αποτελέσματα υποδεικνύουν υψηλότερα επίπεδα τιμών γαλβανικής αντίδρασης του δέρματος για τον άνδρα (Sub1) σε σχέση με τη γυναίκα (Sub2) σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας. Συγκεκριμένα, η μέση διαφορά της GSR για την ομάδα μελέτης κυμαίνεται στα 1.88 μS και στα 0.78 μS κατά την παραμονή στον εσωτερικά κλιματιζόμενο χώρο και κατά τη διάρκεια της διαδρομής, αντίστοιχα. Η διαφοροποίηση αυτή πιθανών να σχετίζεται με τους διαφορετικούς μηχανισμούς ορμονικής ρύθμισης καθώς και με τη μικρότερη πυκνότητα των ιδρωτοποιών αδένων στις γυναίκες (Wyndham et al. 1965; Höppe 1984; Höppe 1993). Επίσης, πρέπει να τονιστεί ότι κατά την παραμονή στον εσωτερικό χώρο τα επίπεδα τιμών στα οποία διαμορφώνεται η γαλβανική αντίδραση για τον άνδρα (GSR_m) είναι ιδιαίτερα υψηλά, με αποτέλεσμα την απουσία έντονης αυξητικής βαθμίδας κατά τη διάρκεια των πρώτων λεπτών της διαδρομής, σε αντίθεση με την γαλβανική αντίδραση της γυναίκας (GSR_f).

4.6 Αποτελέσματα της πειραματικής και θεωρητικής προσέγγισης του θερμικού ισοζυγίου

Έχοντας διερευνήσει τις θερμοφυσιολογικές παραμέτρους του ανθρώπινου οργανισμού κατά την πειραματική διαδικασία A, στη παράγραφο αυτή, προσομοιώνονται οι ροές από και προς το ανθρώπινο σώμα βάσει των θεωρητικών και πειραματικών παραμέτρων της μέσης θερμοκρασίας δέρματος και της παραγωγής θερμότητας από το μεταβολισμό. Η μελέτη αυτή θα αποτυπώσει τις δυναμικές αλληλεπιδράσεις του ανθρώπινου οργανισμού σε ένα έντονα θερμό περιβάλλον χωρίς προσαρμογή, ενώ θα συμβάλλει στη διερεύνηση των διαφορών μεταξύ της πειραματικής και θεωρητικής προσέγγισης των ροών κατά τη διάρκεια της διαδρομής (2^η φάση).

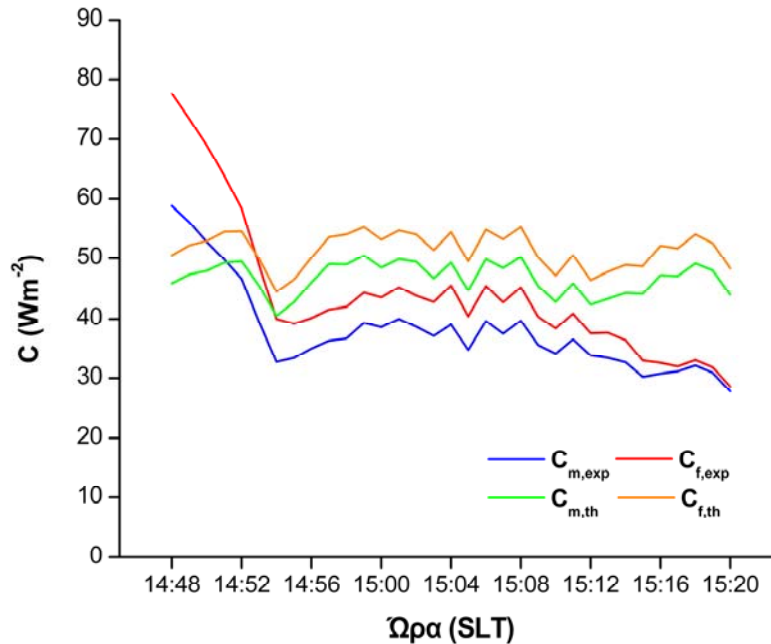
4.6.1 Τυρβώδης ανταλλαγή αισθητής θερμότητας

Στο Σχήμα 4.7 απεικονίζεται η τυρβώδης ανταλλαγή αισθητής θερμότητας για τον άνδρα (C_m) και τη γυναίκα (C_f) βάσει της θεωρητικής και πειραματικής προσέγγισης κατά τη δεύτερη φάση της πειραματικής διαδικασίας.

Με βάση την πειραματική προσέγγιση βρέθηκε ένα πλεόνασμα θερμότητας μέσω της C_{exp} κατά τη διάρκεια της διαδρομής για την ομάδα μελέτης, με την υψηλότερη τιμή να εντοπίζεται το 1 min με 58.2 Wm^{-2} και 77.6 Wm^{-2} για τον άνδρα (Sub1) και τη γυναίκα (Sub2), αντίστοιχα. Στα επόμενα 6 min της διαδρομής παρατηρείται μια απότομη πτώση της C_{exp} η οποία σχετίζεται με την αντίστοιχη απότομη αύξηση της μέσης πειραματικής θερμοκρασίας δέρματος ($T_{sk,exp}$), ιδιαίτερα για το Sub2. Αυτό το χρονικό διάστημα, η μέση διάφορα της C_{exp} για την ομάδα μελέτης κυμάνθηκε στα 13.5 Wm^{-2} . Λόγω των υψηλών τιμών της $T_{sk,exp}$ τα τελευταία λεπτά της διαδρομής, η C_{exp} εμφανίζει τις χαμηλότερες τιμές αυτή τη χρονική περίοδο. Συγκεκριμένα το ελάχιστο πλεόνασμα θερμότητας παρατηρείται το τελευταίο λεπτό με 27.8 Wm^{-2} για τον άνδρα (Sub1) και 28.6 Wm^{-2} για τη γυναίκα (Sub2). Το συνολικό πλεόνασμα θερμότητας το οποίο διαμορφώνεται ακολουθεί πτωτική πορεία με το χρόνο, λόγω της απότομης αύξησης της $T_{sk,exp}$, ενώ η μέση τιμή διαμορφώνεται στα $38.0 \pm 7.3 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub1 και στα $44.1 \pm 11.8 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub2.

Βάσει της θεωρητικής προσέγγισης παρατηρείται ένα πλεόνασμα θερμότητας μέσω της C_{th} για το μέσο άνδρα και τη μέση γυναίκα, με τη χρονική εξέλιξη των τιμών να εμφανίζει την ίδια κύμανση. Το αποτέλεσμα αυτό σχετίζεται με τη σχεδόν σταθερή μέση θεωρητική θερμοκρασία δέρματος $T_{sk,th}$. Η μέση τιμή της C_{th}

διαμορφώθηκε στα $46.8 \pm 2.7 \text{ Wm}^{-2}$ για το μέσο άνδρα και στα $51.5 \pm 3.0 \text{ Wm}^{-2}$ για τη μέση γυναίκα, ενώ η μέση διαφορά κυμάνθηκε στα 4.7 Wm^{-2} ως αποτέλεσμα της διαφορετικής αντίστασης της συνολικά επιλεγμένης ενδυμασίας.



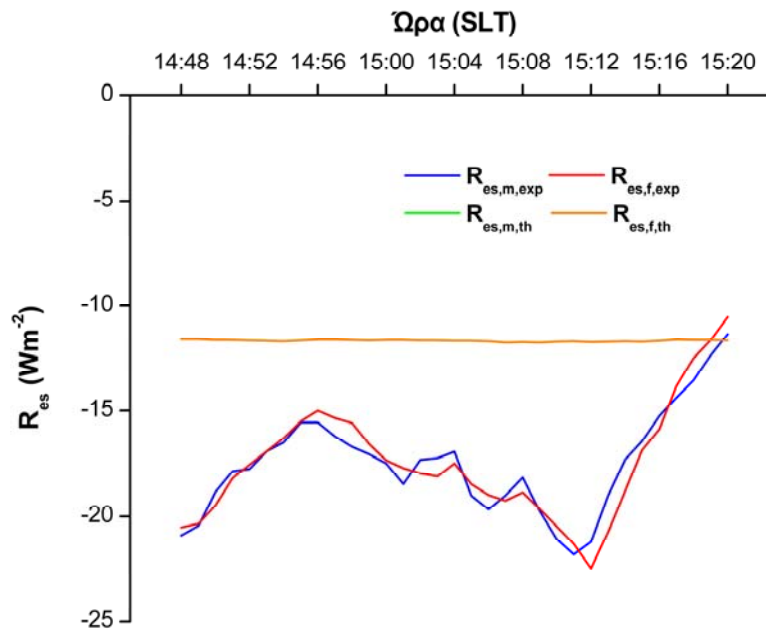
ΣΧΗΜΑ 4.7. Η τυρβώδης ανταλλαγή αισθητής θερμότητας βάσει της θεωρητικής ($C_{m,th}$, $C_{f,th}$) και της πειραματικής ($C_{m,exp}$, $C_{f,exp}$) προσέγγισης για κάθε ομάδα μελέτης κατά μήκος της διαδρομής.

Από τα παραπάνω, φαίνεται ότι παρ' όλο που η ομάδα μελέτης υφίσταται ένα πλεόνασμα θερμότητας μέσω της τυρβώδους ανταλλαγής αισθητής θερμότητας για τις δυο προσεγγίσεις, η κύμανση της θεωρητικής προσέγγισης οφείλεται κατά κύριο λόγο στις μεταβολές της θερμοκρασίας του αέρα και της ταχύτητας του ανέμου, λόγω της σχεδόν σταθερής μέσης θεωρητικής θερμοκρασίας δέρματος $T_{sk,th}$. Σε αντίθεση, μέσω της πειραματικής προσέγγισης η κύμανση της τυρβώδους ανταλλαγής αισθητής θερμότητας επηρεάζεται σημαντικά από την πορεία της μέσης πειραματικής θερμοκρασίας δέρματος $T_{sk,exp}$ (Katavoutas et al. 2009). Επιπλέον, παρατηρείται υψηλότερο πλεόνασμα θερμότητας τα πρώτα 5 min βάσει της πειραματικής προσέγγισης. Σε αντίθεση, το μέσο πλεόνασμα θερμότητας για το σύνολο της διαδρομής είναι υψηλότερο βάσει της θεωρητικής προσέγγισης, με τη διαφορά να κυμαίνεται στα 8.9 Wm^{-2} για το Sub1 και στα 7.4 Wm^{-2} για το Sub2.

4.6.2 Απώλεια θερμότητας μέσω αναπνοής

Στο Σχήμα 4.8 παρουσιάζεται η χρονική εξέλιξη της απώλειας θερμότητας μέσω αναπνοής (R_{es}) με βάση τις δυο προσεγγίσεις. Συγκεκριμένα, βάσει της

πειραματικής προσέγγισης η υψηλότερη απώλεια ($R_{es,m,exp}$, $R_{es,f,exp}$) κυμαίνεται στα -21.8 Wm^{-2} για το Sub1 και στα -22.5 Wm^{-2} για το Sub2, μετά από 24 min και 25 min από την έναρξη της διαδρομής, αντίστοιχα. Η μέγιστη απώλεια θερμότητας για την ομάδα μελέτης συμπίπτει με την αντίστοιχη μέγιστη παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό, υποδεικνύοντας την έντονη αλληλεπίδραση τους. Η μέση $R_{es,exp}$ για το σύνολο της διαδρομής διαμορφώνεται στα $-17.5 \pm 2.5 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub1 και στα $-17.4 \pm 2.7 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub2.



ΣΧΗΜΑ 4.8. Η απώλεια θερμότητας μέσω αναπνοής βάσει της θεωρητικής ($R_{es,m,th}$, $R_{es,f,th}$) και της πειραματικής ($R_{es,m,exp}$, $R_{es,f,exp}$) προσέγγισης για κάθε ομάδα μελέτης κατά μήκος της διαδρομής.

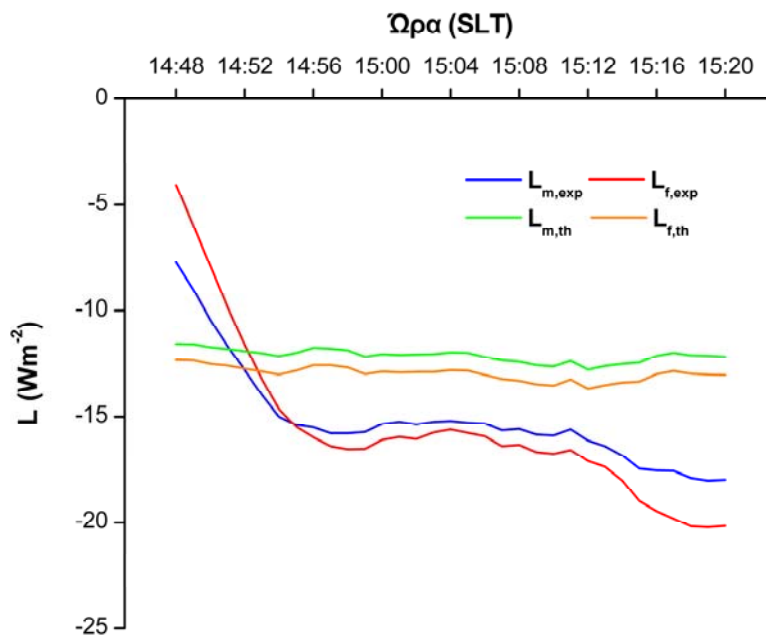
Με βάση τη θεωρητική προσέγγιση, η απώλεια θερμότητας μέσω αναπνοής ($R_{es,m,th}$, $R_{es,f,th}$) για ένα μέσο άνδρα και μια μέση γυναίκα παραμένει σχεδόν σταθερή, με τη μέση τιμή να διαμορφώνεται στα -11.65 Wm^{-2} . Το αποτέλεσμα αυτό σχετίζεται με τη σταθερή θεωρητική παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό (151 Wm^{-2}) η οποία επιλέχθηκε κατά τη θεωρητική προσομοίωση και αντιστοιχεί στη μέση ταχύτητα κίνησης της ομάδας μελέτης. Ουσιαστικά, η μικρή κύμανση της $R_{es,th}$ οφείλεται αποκλειστικά στις μεταβολές της θερμοκρασίας του αέρα, της σχετικής υγρασίας και της ατμοσφαιρικής πίεσης.

Τα παραπάνω αποτελέσματα υποδεικνύουν την άμεση επίδραση της παράγωγης θερμότητας από το μεταβολισμό στην απώλεια θερμότητας μέσω αναπνοής. Επιπλέον, γίνεται εμφανές ότι η υπόθεση της σταθερής παραγωγής θερμότητας από το μεταβολισμό με κριτήριο μια επιλεγμένη δραστηριότητα

προσομοιώνει μια σχεδόν σταθερή απώλεια θερμότητας μέσω αναπνοής (Katavoutas et al. 2009).

4.6.3 Ροή μέσω της μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία

Τα αποτελέσματα της ροής μέσω της μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία (L) κατέδειξαν μια απώλεια θερμότητας για την ομάδα μελέτης βάσει των δυο προσεγγίσεων (Σχήμα 4.9). Ειδικότερα, βάσει της πειραματικής προσέγγισης, παρατηρείται μια αυξανόμενη απώλεια θερμότητας κατά μήκος της διαδρομής, η οποία είναι εντονότερη τα πρώτα 8 min και σχετίζεται με την απότομη αύξηση της μέσης πειραματικής θερμοκρασίας δέρματος ($T_{sk,exp}$). Αυτό το χρονικό διάστημα, η υψηλότερη απώλεια καταγράφεται για τον άνδρα (Sub1) ενώ για το υπόλοιπο τμήμα της διαδρομής η κατάσταση αντιστρέφεται. Επιπλέον, η χαμηλότερη απώλεια παρατηρείται το 1 min της διαδρομής με -7.7 Wm^{-2} για το Sub1 και με -4.0 Wm^{-2} για το Sub2 ενώ αντίστοιχα η μέγιστη καταγράφεται 32 min από την έναρξη της διαδρομής με -18.0 Wm^{-2} για το Sub1 και με -20.2 Wm^{-2} για το Sub2.



ΣΧΗΜΑ 4.9. Η ροή μέσω της μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία βάσει της θεωρητικής ($L_{m,th}$, $L_{f,th}$) και της πειραματικής ($L_{m,exp}$, $L_{f,exp}$) προσέγγισης για κάθε ομάδα μελέτης κατά μήκος της διαδρομής.

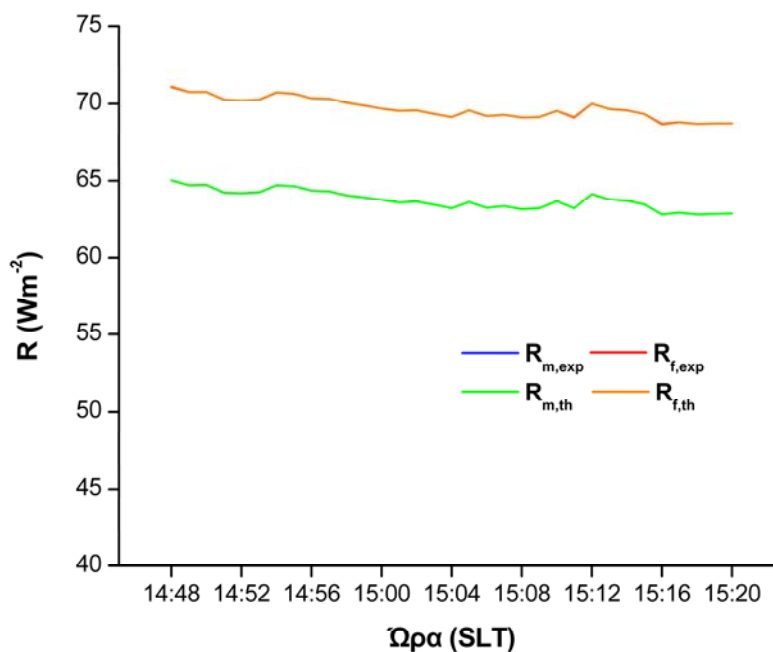
Η απώλεια θερμότητας μέσω της μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία για το μέσο άνδρα ($L_{m,th}$) και τη μέση γυναίκα ($L_{f,th}$) εμφανίζει μικρή κύμανση, με τη μέση τιμή να διαμορφώνεται αντίστοιχα στα $-12.1 \pm 0.3 \text{ Wm}^{-2}$ και $-12.9 \pm 0.3 \text{ Wm}^{-2}$. Η διάφορα της απώλειας θερμότητας που παρατηρείται για τη τυπική ομάδα μελέτης

οφείλεται ουσιαστικά στη διαφορετική αντίσταση της συνολικά επιλεγμένης ενδυμασίας.

Η σύγκριση της ροής από τη μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία μεταξύ των δυο προσεγγίσεων καταδεικνύει στο μεγαλύτερο τμήμα της διαδρομής, με εξαίρεση τα πρώτα 5 min, μια υψηλότερη απώλεια θερμότητας κατά τη πειραματική προσέγγιση. Το αποτέλεσμα αυτό σχετίζεται με την υψηλότερη πειραματική μέση θερμοκρασία δέρματος ($T_{sk,exp}$) η οποία διαμορφώθηκε για την ομάδα μελέτης το ίδιο χρονικό διάστημα, συγκρινόμενη με την αντίστοιχη θεωρητική ($T_{sk,th}$).

4.6.4 Απορροφούμενη ηλιακή ακτινοβολία

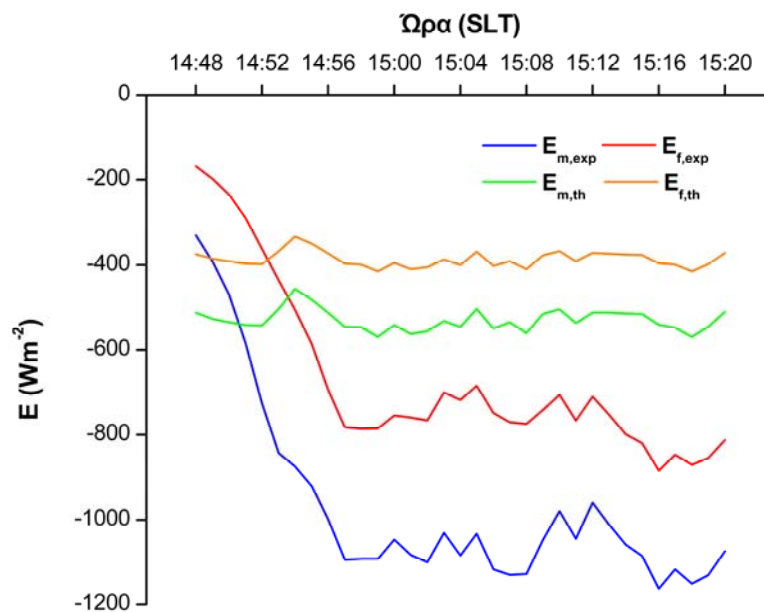
Από το Σχήμα 4.10, γίνεται εμφανές ότι το πλεόνασμα θερμότητας μέσω της απορροφούμενης ηλιακής ακτινοβολίας (R) είναι παρόμοιο ανά φύλο και στις δυο προσεγγίσεις. Το γεγονός αυτό σχετίζεται με την ανεξαρτησία της απορροφούμενης ηλιακής ακτινοβολίας από τη μέση θερμοκρασία δέρματος και τη παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό. Η μέση τιμή της R κατά μήκος της διαδρομής διαμορφώνεται στα 63.7 Wm^{-2} για τον άνδρα (Sub1) και στα 70.0 Wm^{-2} για τη γυναίκα (Sub2), ενώ η μέση διαφορά κυμαίνεται στα 5.9 Wm^{-2} . Το υψηλότερο πλεόνασμα θερμότητας το οποίο παρατηρείται για το Sub2 κατά μήκος της διαδρομής είναι αποτέλεσμα της μικρότερης αντίστασης της συνολικά επιλεγμένης ενδυμασίας.



ΣΧΗΜΑ 4.10. Η απορροφούμενη ηλιακή ακτινοβολία βάσει της θεωρητικής ($R_{m,th}$, $R_{f,th}$) και της πειραματικής ($R_{m,exp}$, $R_{f,exp}$) προσέγγισης για κάθε ομάδα μελέτης κατά μήκος της διαδρομής.

4.6.5 Τυρβώδης ανταλλαγή λανθάνουσας θερμότητας

Η τυρβώδης ανταλλαγή λανθάνουσας θερμότητας (E) μέσω της διάχυσης των υδρατμών και της εξάτμισης του ιδρώτα απεικονίζεται στο Σχήμα 4.11 για τις δυο προσεγγίσεις. Συγκεκριμένα, με βάση την πειραματική προσέγγιση, παρατηρείται συνολικά μια έντονη απώλεια θερμότητας. Το αποτέλεσμα αυτό σχετίζεται με το έντονα θερμό περιβάλλον, την υψηλή παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό καθώς και με τη μη προσαρμογή της ομάδας μελέτης σε αυτές τις συνθήκες. Ειδικότερα, παρατηρείται μια έντονη βαθμίδα τα πρώτα 10 min, αποτέλεσμα το οποίο οφείλεται στην αντίστοιχη απότομη αύξηση της πειραματικής μέσης θερμοκρασίας δέρματος ($T_{sk,exp}$), ενώ η ισορροπία που παρατηρείται στη συνέχεια σχετίζεται με την αντίστοιχη ισορροπία τιμών της $T_{sk,exp}$. Η μικρότερη απώλεια βρέθηκε το 1 min της διαδρομής με -330.6 Wm^{-2} και -168.7 Wm^{-2} για τον άνδρα (Sub1) και τη γυναίκα (Sub2), ενώ η μεγαλύτερη απώλεια διαμορφώθηκε τα τελευταία λεπτά με $-1,161.8 \text{ Wm}^{-2}$ και -884.3 Wm^{-2} , αντίστοιχα. Η μέση απώλεια για ολόκληρη τη διαδρομή κυμαίνεται στα $-969.4 \pm 221.1 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub1 και στα -668.6 ± 203.13 για το Sub2, με τη μέση διάφορα να διαμορφώνεται στα 300.7 Wm^{-2} .



ΣΧΗΜΑ 4.11. Η τυρβώδης ανταλλαγή λανθάνουσας θερμότητας βάσει της θεωρητικής ($E_{m,th}$, $E_{f,th}$) και της πειραματικής ($E_{m,exp}$, $E_{f,exp}$) προσέγγισης για κάθε ομάδα μελέτης κατά μήκος της διαδρομής.

Σε αντίθεση, βάσει της θεωρητικής προσέγγισης, παρατηρείται μικρή κύμανση τιμών της E_{th} για το μέσο άνδρα και τη μέση γυναίκα, ενώ η μέση τιμή βρέθηκε στα $-530.0 \pm 25.2 \text{ Wm}^{-2}$ και $-387.0 \pm 18.6 \text{ Wm}^{-2}$, αντίστοιχα. Ουσιαστικά, η

απουσία σημαντικής κύμανσης στο σύνολο της διαδρομής οφείλεται στην σχεδόν σταθερή θεωρητική μέση θερμοκρασία δέρματος ($T_{sk,th}$). Επιπλέον, η μέση διάφορα για το μέσο άνδρα και τη μέση γυναίκα βρέθηκε στα 142.9 Wm^{-2} .

Από τα παραπάνω αποτελέσματα, πρέπει να τονιστεί ότι η σημαντική διαφορά στα επίπεδα τιμών της τυρβώδους ανταλλαγής λανθάνουσας θερμότητας μεταξύ των δυο προσεγγίσεων οφείλεται στην υψηλή παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό καθώς και στις υψηλότερες τιμές της μέσης θερμοκρασίας δέρματος κατά την πειραματική προσέγγιση (Katavoutas et al. 2009). Ταυτόχρονα, η σημαντική διαφορά που παρατηρείται μεταξύ του άνδρα και της γυναίκας οφείλεται στη διαφορετική προσέγγιση του μοντέλου κατά την προσομοίωση της τυρβώδους ανταλλαγής λανθάνουσας θερμότητας μεταξύ των δυο φύλων, λόγω της μικρότερης πυκνότητας των ιδρωτοποιών αδένων στις γυναίκες (Wyndham et al. 1965; Höppe 1984; Höppe 1993).

4.6.6 Καθαρή αποθηκευόμενη θερμότητα

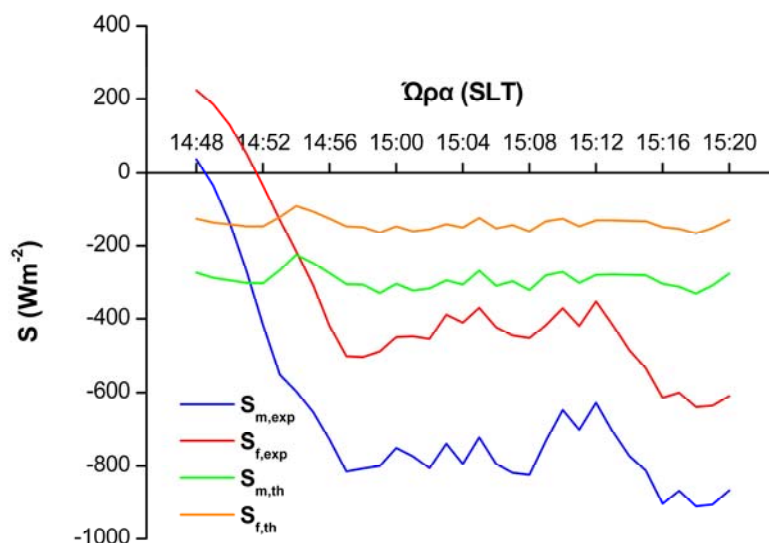
Η καθαρή αποθηκευόμενη θερμότητα (S), ως αποτέλεσμα των ανταλλαγών θερμότητας μεταξύ του ανθρώπινου σώματος και του περιβάλλοντος, απεικονίζεται στο Σχήμα 4.12 για κάθε μια προσέγγιση. Παρατηρείται ότι η χρονική εξέλιξη της S παρουσιάζει παρόμοια κύμανση με την τυρβώδη ανταλλαγή λανθάνουσας θερμότητας (E), αντίστοιχα για κάθε προσέγγιση. Το αποτέλεσμα αυτό συνδέεται με το γεγονός ότι η τυρβώδης ανταλλαγή λανθάνουσας θερμότητας αποτελεί έναν καθοριστικό παράγοντα στο θερμικό ισοζύγιο του ανθρώπου, ιδιαίτερα σε ένα έντονα θερμό περιβάλλον.

Βάσει της πειραματικής προσέγγισης, ένα πλεόνασμα θερμότητας διαμορφώνεται για τη γυναίκα (Sub2) τα πρώτα 4 min της διαδρομής. Το αποτέλεσμα αυτό σχετίζεται κυρίως με τη χαμηλή πειραματική μέση θερμοκρασία δέρματος ($T_{sk,f,exp}$) καθώς και με τη μικρή απώλεια θερμότητας της $E_{f,exp}$ το ίδιο χρονικό διάστημα. Μετά τα πρώτα 4 min, παρατηρείται μια αυξανόμενη απώλεια θερμότητας της $S_{f,exp}$, ως αποτέλεσμα της αυξανόμενης απώλειας θερμότητας της $E_{f,exp}$ για το Sub2. Ταυτόχρονα ένα πλεόνασμα θερμότητας διαμορφώνεται το 1 min για το Sub1 ενώ μια αυξανόμενη απώλεια θερμότητας της $S_{m,exp}$ βρέθηκε για το υπόλοιπο της διαδρομής. Η έντονη βαθμίδα της S_{exp} που εντοπίζεται τα πρώτα 8 min για την ομάδα μελέτης σχετίζεται με την αντίστοιχη έντονη απώλεια θερμότητας της E_{exp} και κατ' επέκταση με την απότομη αύξηση της πειραματικής μέσης θερμοκρασίας δέρματος

($T_{sk,exp}$). Η μέγιστη τιμή της S_{exp} , ως πλεόνασμα θερμότητας, διαμορφώνεται το πρώτο 1 min με 37.3 Wm^{-2} για τον άνδρα (Sub1) και με 223.6 Wm^{-2} για τη γυναίκα (Sub2). Αντίστοιχα, η μέγιστη απώλεια θερμότητας βρέθηκε τα τελευταία λεπτά της διαδρομής με -910.9 Wm^{-2} για το Sub1 και με -639.1 Wm^{-2} για το Sub2.

Η αντίστοιχη θεωρητική προσέγγιση καταδεικνύει καθ' όλη τη διάρκεια της διαδρομής μια απώλεια θερμότητας, με τη μεγαλύτερη απώλεια να παρατηρείται για το μέσο άνδρα. Συγκεκριμένα, η μέση τιμή διαμορφώθηκε στα $-292.2 \pm 23.1 \text{ Wm}^{-2}$ και στα $-139.5 \pm 16.1 \text{ Wm}^{-2}$ για το μέσο άνδρα και τη μέση γυναίκα, αντίστοιχα, ενώ η μέση διαφορά βρέθηκε στα 152.7 Wm^{-2} .

Η προσομοίωση της καθαρής αποθηκευόμενης θερμότητας μεταξύ των δυο προσεγγίσεων ανά φύλο καταδεικνύει μια μέση διαφορά η οποία διαμορφώνεται στα 382.0 Wm^{-2} για τον άνδρα και στα 222.3 Wm^{-2} για τη γυναίκα. Η σημαντική αυτή διαφορά υποδεικνύει την έντονη επίδραση της μέσης θερμοκρασίας δέρματος και της παραγωγής θερμότητας από το μεταβολισμό στο θερμικό ισοζύγιο του ανθρώπου, ιδιαίτερα σε ένα έντονα θερμό περιβάλλον χωρίς προσαρμογή σε αυτό (Katavoutas et al. 2008b; Katavoutas et al. 2009).



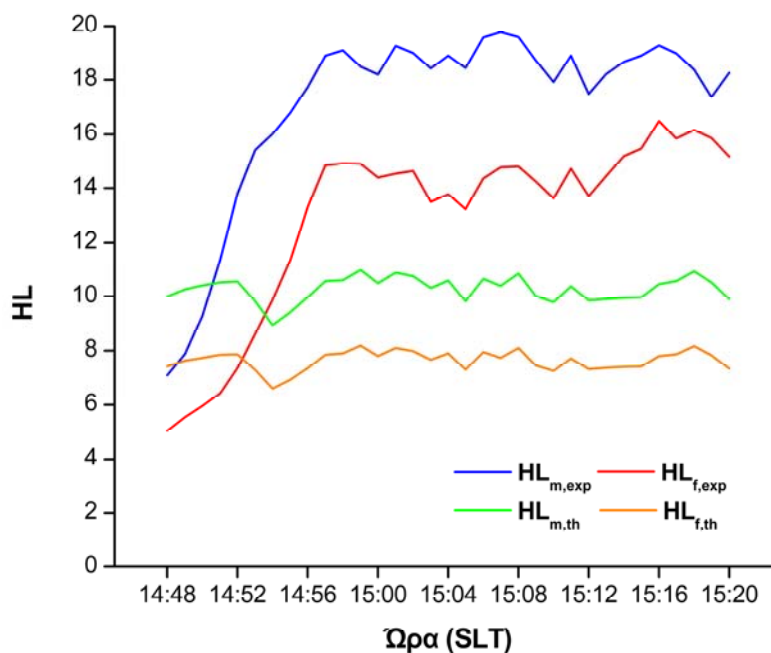
ΣΧΗΜΑ 4.12. Η καθαρή αποθηκευόμενη θερμότητα βάσει της θεωρητικής ($S_{m,th}$, $S_{f,th}$) και της πειραματικής ($S_{m,exp}$, $S_{f,exp}$) προσέγγισης για κάθε ομάδα μελέτης κατά μήκος της διαδρομής.

4.7 Θερμοφυσιολογικός δείκτης

Όπως ήδη έχουμε αναφέρει σε προηγούμενη παράγραφο, ο δείκτης Θερμικού Φορτίου (Heat Load, HL , αδιάστατο) αποτελεί βασικό μέτρο του φορτίου του θερμορυθμιστικού συστήματος του ανθρώπινου οργανισμού λόγω της έντασης των

διαδικασιών προσαρμογής. Έτσι, στο Σχήμα 4.13 απεικονίζεται ο δείκτης βάσει των αποτελεσμάτων της πειραματικής και θεωρητικής προσέγγισης του θερμικού ισοζυγίου.

Βάσει της πειραματικής προσέγγισης, ο δείκτης ($HL_{m,exp}$, $HL_{f,exp}$) ταξινομείται στη κλίμακα της έντονης θερμής επιβάρυνσης για την ομάδα μελέτης, με την τιμή του να διαμορφώνεται σε υψηλότερα επίπεδα για τον άνδρα (Sub1) καθ' όλη τη διαδρομή. Παράλληλα, μια έντονη βαθμίδα βρέθηκε στα πρώτα 10 min της διαδρομής, υποδεικνύοντας την απότομη αύξηση στο φορτίο του θερμορυθμιστικού συστήματος του ανθρώπινου οργανισμού, λόγω της έντασης των διαδικασιών προσαρμογής. Η χρονική εξέλιξη του HL_{exp} ακολουθεί παρόμοια πορεία με αυτή της μέσης πειραματικής θερμοκρασίας δέρματος ($T_{sk,exp}$), ενώ βρέθηκε ισχυρή συσχέτιση μεταξύ τους με συντελεστή 0.89 για το Sub1 και 0.94 για το Sub2, στατιστικά σημαντική στη στάθμη σημαντικότητας 0.025. Το αποτέλεσμα αυτό υποδεικνύει το σημαντικό ρόλο της κύμανσης της μέσης θερμοκρασίας δέρματος στο προσδιορισμό της θερμικής άνεσης (Katavoutas et al. 2009).



ΣΧΗΜΑ 4.13. Ο δείκτης Θερμικού Φορτίου βάσει της θεωρητικής ($HL_{m,th}$, $HL_{f,th}$) και της πειραματικής ($HL_{m,exp}$, $HL_{f,exp}$) προσέγγισης για κάθε ομάδα μελέτης κατά μήκος της διαδρομής.

Ο δείκτης ($HL_{m,th}$, $HL_{f,th}$), βάσει της θεωρητικής προσέγγισης, δεν παρουσιάζει σημαντική κύμανση κατά τη διάρκεια της διαδρομής, ενώ ταξινομείται στη κλίμακα της έντονης θερμής επιβάρυνσης. Αντίστοιχα με τη πειραματική προσέγγιση, οι τιμές του δείκτη κυμαίνονται σε υψηλότερα επίπεδα για τον άνδρα (Sub1) σε όλη διαδρομή.

Επιπλέον, τα επίπεδα τιμών στα οποία κυμαίνεται ο ($HL_{m,th}$) βρίσκονται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα των Theoharatos et al. (2010).

Από τα παραπάνω αποτελέσματα, φαίνεται ότι ο HL ταξινομείται στην ίδια κλίμακα, της έντονης θερμής επιβάρυνσης, για τις δυο προσεγγίσεις. Παρ' όλα αυτά η θεωρητική προσέγγιση δεν δύναται να προσδιορίσει το επίπεδο έντασης των διαδικασιών προσαρμογής στον ανθρώπινο οργανισμό, με αποτέλεσμα η χρονική εξέλιξη του HL_{th} να μην εμφανίζει ιδιαίτερη κύμανση. Πρέπει να τονιστεί ότι υψηλότερα επίπεδα τιμών του δείκτη προσδιορίζουν μεγαλύτερης έντασης διαδικασίες προσαρμογής, ανεξάρτητα με το αν ο δείκτης ταξινομείται στην ίδια κλίμακα της έντονης θερμής επιβάρυνσης. Επιπλέον, τα πρώτα 5 min οι τιμές του HL_{exp} κυμαίνονται σε χαμηλότερα επίπεδα συγκρινόμενες με τις αντίστοιχες τιμές της θεωρητικής προσέγγισης. Αντίθετα, μετά τα πρώτα 5 min οι τιμές του HL_{exp} διαμορφώνονται σε υψηλότερα επίπεδα, ενώ μετά τα πρώτα 10 min είναι σχεδόν διπλάσιες σε σύγκριση με τις αντίστοιχες θεωρητικές.

4.8 Σύνοψη και Συμπεράσματα

Στο κεφάλαιο αυτό μελετήθηκε η θερμική άνεση μέσω κατάλληλων θερμοφυσιολογικών και φυσιολογικών μετρήσεων στο πεδίο, καθώς και το θερμικό ισοζύγιο για την επιλεγμένη ομάδα ατόμων και για ένα μέσο τύπο ανθρώπου, σε ένα έντονα θερμό περιβάλλον άνευ προσαρμογής. Επιπρόσθετα, διερευνήθηκε η συνεισφορά των θερμοφυσιολογικών παραμέτρων στη διαμόρφωση του θερμικού ισοζυγίου και κατ' επέκταση στην εκτίμηση θερμοφυσιολογικών και βιομετεωρολογικών δεικτών.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα κυριότερα συμπεράσματα στα οποία οδήγησε η ανάλυση που προηγήθηκε στις προηγούμενες παραγράφους.

Βρέθηκε ότι οι θερμοφυσιολογικές παράμετροι όπως η μέση θερμοκρασία δέρματος και η παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό αποτελούν σημαντικές παραμέτρους του θερμικού ισοζυγίου. Ακόμη και για συγκεκριμένη δραστηριότητα στο ίδιο θερμικό περιβάλλον, το πλεόνασμα ή η απώλεια θερμότητας μέσω της ακτινοβολίας, της μεταφοράς, της εξάτμισης και της αναπνοής δύναται να διαφέρουν μεταξύ υγιών ατόμων.

Η χρονική εξέλιξη της μέσης πειραματικής θερμοκρασίας δέρματος κατά μήκος της διαδρομής εμφανίζει παρόμοια πορεία μεταξύ των ατόμων, με μια έντονη

αυξητική βαθμίδα τα πρώτα 10 min. Παρ' όλα αυτά εντοπίζονται διαφορές ιδιαίτερα στα πρώτα λεπτά της διαδρομής, οι οποίες σχετίζονται με τη διαφορετική θερμική κατάσταση του σώματος που διαμορφώθηκε στον εσωτερικά κλιματιζόμενο χώρο.

Η πορεία της παραγωγής θερμότητας από το μεταβολισμό μεταβάλλεται στην κλίμακα του 1 min με αποτέλεσμα η υπόθεση της σταθερής παραγωγής θερμότητας από το μεταβολισμό με κριτήριο μια επιλεγμένη δραστηριότητα να μην συνάδει με τις πραγματικές συνθήκες και να πραγματοποιείται στο πλαίσιο της απλοποίησης των υπολογισμών.

Μεταξύ των δυο προσεγγίσεων, της θεωρητικής και της πειραματικής, οι ροές του θερμικού ισοζυγίου διαμορφώθηκαν σε διαφορετικά επίπεδα τιμών, με εξαίρεση τη ροή της απορροφούμενης ηλιακής ακτινοβολίας, λόγω της ανεξαρτησίας της από θερμοφυσιολογικές παραμέτρους. Επιπρόσθετα, εντοπίστηκε απουσία κύμανσης για τις ροές βάσει της θεωρητικής προσέγγισης, ως αποτέλεσμα της υπόθεσης για σταθερή παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό και της σχεδόν σταθερής μέσης θερμοκρασίας δέρματος μέσω της εμπειρικής εξίσωσης του μοντέλου. Η διαφορά της πειραματικής από τη θεωρητική μέση θερμοκρασία δέρματος, υποδεικνύει την αδυναμία του μοντέλου να την προσδιορίσει μέσω μια εμπειρικής εξίσωσης, ιδιαίτερα για μη προσαρμοσμένους οργανισμούς.

Μια έντονη θερμή επιβάρυνση βρέθηκε για την ομάδα μελέτης κατά μήκος της διαδρομής, βάσει των αποτελεσμάτων του δείκτη Θερμικού Φορτίου για τη πειραματική προσέγγιση. Επιπλέον, το επίπεδο έντασης των διαδικασιών προσαρμογής στον ανθρώπινο οργανισμό αυξάνεται κατά τη διάρκεια της διαδρομής, με μια έντονη βαθμίδα να εντοπίζεται τα πρώτα 10 min. Σε αντίθεση, τα αποτελέσματα του δείκτη βάσει της θεωρητικής προσέγγισης εντοπίζουν μια έντονη θερμή επιβάρυνση, δεν μπορούν όμως να προσδιορίσουν το επίπεδο της έντασης των διαδικασιών προσαρμογής στον ανθρώπινο οργανισμό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ ΜΕ ΉΠΙΑ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΈΝΑ ΜΕΤΡΙΑ ΈΩΣ ΠΟΛΥ ΘΕΡΜΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

5.1 Εισαγωγή

Η δυναμική αλληλεπίδραση του ανθρώπινου σώματος με το περιβάλλον καθορίζει την ένταση στον οργανισμό, με στόχο τη διατήρηση μιας σταθερής κατάστασης. Στην περίπτωση του θερμικού ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος, η δυναμική αλληλεπίδραση οδηγεί σε θερμικές ανταλλαγές μεταξύ του ανθρώπινου σώματος και του περιβάλλοντος, καθορίζοντας πότε ένας οργανισμός είναι ή όχι σε θερμική άνεση (Parsons 2003). Διερευνώντας αυτό το πολύπλοκο θέμα, η θερμική αίσθηση δύναται να διερευνηθεί με όρους θερμικής ισορροπίας στο ανθρώπινο σώμα καθώς και με θερμοφυσιολογικές και ψυχολογικές αντιδράσεις, σχετίζοντας τη συνολική θερμική αίσθηση με το ερέθισμα από το θερμικό ατμοσφαιρικό περιβάλλον (Höppe 2002; Fergus 2003).

Η μελέτη της θερμικής άνεσης βασίζεται κυρίως στη θερμική ισορροπία του ανθρώπινου σώματος με στόχο τον υπολογισμό ενός δείκτη άνεσης (Mayer and Höppe 1987; Höppe 1999; Matzarakis et al. 1999; Johansson and Emmanuel 2006; Ali-Toudert and Mayer 2007), ενώ τελευταία πραγματοποιείται σύγκριση των περιβαλλοντικών συνθηκών με την υποκειμενική ανθρώπινη συμπεριφορά και αντίδραση (Nikolopoulou et al. 2001; Nikolopoulou and Steemers 2003; Spagnolo and deDear 2003; Thorsson et al. 2004; Oliveira and Andrade 2007; Knez et al. 2009).

Έχοντας μελετήσει τη συνεισφορά των θερμοφυσιολογικών προσεγγίσεων στο θερμικό ισοζύγιο του ανθρώπου, στο κεφάλαιο αυτό η προσομοίωση των ροών μεταξύ του ανθρώπινου σώματος και του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στηρίζεται αποκλειστικά στις πειραματικές μετρήσεις. Επιπλέον, έχοντας μελετήσει μια επιλεγμένη ομάδα ατόμων σε ένα έντονα θερμό περιβάλλον, άνευ προσαρμογής, το ερώτημα που τίθεται είναι τι συμβαίνει όταν προηγείται ήπια προσαρμογή σε ένα ατμοσφαιρικό περιβάλλον το οποίο χαρακτηρίζεται ως μέτρια έως πολύ θερμό.

Στο παρόν κεφάλαιο οι αντικειμενικοί στόχοι είναι η λεπτομερής αποτύπωση των πεδίων των θερμοφυσιολογικών παραμέτρων καθώς και των ροών θερμότητας από και προς το ανθρώπινο σώμα για την επιλεγμένη ομάδα μελέτης, για θερμοκρασίες αέρα μεταξύ 32 °C και 38 °C έχοντας προηγηθεί ήπια προσαρμογή, βάσει της πειραματικής διαδικασίας Β. Ταυτόχρονα πραγματοποιείται σύγκριση

τεσσάρων σημείων, (1) μεταξύ διαφορετικών συνθηκών ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος, (2) μεταξύ διαφορετικών επιπέδων δραστηριότητας, (3) μεταξύ διαφορετικών πεδίων ακτινοβολίας και (4) μεταξύ ατόμων διαφορετικού φύλου. Τέλος, διερευνώνται τα επίπεδα της θερμικής επιβάρυνσης καθώς και η απώλεια ύδατος μέσω της εξάτμισης του ιδρώτα κάθε ατόμου μέσω δυο θερμοφυσιολογικών δεικτών.

5.2 Στοιχεία Θεωρίας

Όπως αναφέρθηκε στη παράγραφο 4.2δ, μια άλλη έκφραση της επίδρασης της ακτινοβολίας στον ανθρώπινο οργανισμό είναι η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας (Mean radiant temperature, T_{mrt}). Ως μια σύνθετη μετεωρολογική παράμετρος, η T_{mrt} εμπεριέχει το σύνολο των ακτινοβολιών μεγάλου και μικρού μήκους κύματος, άμεσες και ανακλώμενες (Thorsson et al. 2007a). Η T_{mrt} έχει σημαντική επίδραση στο θερμικό ισοζύγιο του ανθρώπου και συμβάλλει καθοριστικά στη διαμόρφωση της θερμικής άνεσης (Fanger 1972), ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου (Winslow et al. 1936; Clark and Edholm 1985). Ως μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας, για ένα άτομο σε ένα συγκεκριμένο σημείο με δοσμένη στάση σώματος και ενδυμασίας, ορίζεται η ομοιόμορφη θερμοκρασία μιας υποθετικής επιφάνειας που περιβάλλει το ανθρώπινο σώμα, στην οποία η μεταφορά θερμότητας λόγω ακτινοβολίας από το ανθρώπινο σώμα θα ήταν ισοδύναμη με αυτή της πραγματικής κατάστασης.

Από τον παραπάνω ορισμό προκύπτει ότι για τον υπολογισμό της T_{mrt} , ο χώρος που περιβάλλει το ανθρώπινο σώμα διαιρείται σε n ισόθερμες επιφάνειες με θερμοκρασίες T_i ($i = 1$ έως n) και συντελεστές εκπομπής s_i , με το κλάσμα της στερεάς γωνίας F_i να προσδιορίζεται ως συντελεστής βαρύτητας. Από κάθε μια ισόθερμη επιφάνεια η οποία περιβάλλει το ανθρώπινο σώμα εκπέμπεται μεγάλου μήκους ($E_i = s_i \cdot \sigma \cdot T_i^4$) και διάχυτη μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία (D_i). Κατά συνέπεια η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας δίνεται από την εξίσωση (Fanger 1972; Jendritzky and Nübler 1981)

$$T_{mrt} = \left(\left(\frac{1}{\sigma} \right) \cdot \sum_{i=1}^n \left(E_i + \alpha_k \cdot \left(\frac{D_i}{s_h} \right) \right) \cdot F_i \right)^{0.25} \quad (5.1)$$

όπου σ είναι η σταθερά του Stefan-Boltzman ($=5.667 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^2\text{K}^{-4}$), s_h είναι ο συντελεστής εκπομπής του ανθρώπινου σώματος (αδιάστατο) και a_k είναι ο συντελεστής απορρόφησης της επιφάνειας του σώματος που ακτινοβολείται από τη μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία ($=0.7$, αδιάστατο). Εάν υπάρχει και άμεση ηλιακή ακτινοβολία η εξίσωση για τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας καθορίζεται ως (Fanger 1972)

$$T_{mrt}^* = \left(T_{mrt}^4 + \left(\frac{(f_p \cdot a_k \cdot I^*)}{(s_h \cdot \sigma)} \right) \right)^{0.25} \quad (5.2)$$

όπου I^* είναι η ένταση ακτινοβολίας του ήλιου σε μια επιφάνεια κάθετη στη κατεύθυνση της ακτινοβολίας (σε Wm^{-2}) και f_p είναι ο συντελεστής προβολικής επιφάνειας (αδιάστατο). Ο συντελεστής f_p εξαρτάται από την κατεύθυνση της ακτινοβολίας και τη στάση του σώματος (Fanger 1972, VDI 1998, 2001).

Στο κεφάλαιο αυτό, η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας προσομοιώθηκε μέσω του RayMan model (Matzarakis et al. 2007, 2010). Το μοντέλο προσομοιώνει τις ροές ακτινοβολίας, με δεδομένα εισόδου τις παραμέτρους του χρόνου (ημερομηνία και ώρα), της γεωγραφικής θέσης (γεωγραφικό πλάτος, γεωγραφικό μήκος και ζώνη ώρας), του υψομέτρου, της τοπογραφίας, της γεωμετρίας του χώρου (κτίρια και δένδρα), μετεωρολογικές, της λευκαύγειας, του Bowen-ratio και του λόγου της διάχυτης προς την ολική ηλιακή ακτινοβολία. Συγκεκριμένα, το μοντέλο διαιρεί το τρισδιάστατο περιβάλλον, ως προς ένα σημείο αναφοράς, σε άνω και κάτω ημισφαίριο και προσδιορίζει το συντελεστή θέασης του ουρανού (Sky view factor, f_{svf}) για κάθε ημισφαίριο. Ως συντελεστής θέασης του ουρανού ορίζεται η στερεά γωνία θέασης του ουράνιου θόλου από ένα σημείο αναφοράς. Ο συντελεστής f_{svf} είναι αδιάστατο μέγεθος, με τιμές μεταξύ 0 έως και 1. Η τιμή $f_{svf} = 1$ υποδηλώνει ανεμπόδιστη θέα του ουράνιου θόλου ενώ η τιμή $f_{svf} = 0$ υποδηλώνει ότι η θέα εμποδίζεται καθολικά. Συνήθως ο συντελεστής f_{svf} για το κάτω ημισφαίριο καλύπτεται από στερεές επιφάνειες. Έτσι, προσδιορίζοντας τη λευκαύγεια και την ικανότητα εκπομπής των στερεών επιφανειών και του εδάφους, το μοντέλο προσομοιώνει τη μικρού και μεγάλου μήκους κύματος ροή ακτινοβολίας για το κάτω ημισφαίριο (Matzarakis et al. 2010). Το άνω ημισφαίριο, βάσει της γεωμετρίας του χώρου και των στοιχείων του ουράνιου θόλου αποτυπώνεται σε ένα ψηφιακό χάρτη.

Για κάθε ψηφιακό στοιχείο ορίζεται το κλάσμα της στερεάς γωνίας F_i , και δίνεται από την εξίσωση

$$F_i = \left(\frac{1}{\pi N^2 / 4} \right) \cdot \left(\frac{\sin(\zeta_i)}{\zeta_i} \right) \quad (5.3)$$

όπου ζ_i είναι η ζενιθιακή γωνία και N είναι η διάσταση του ψηφιακού χάρτη ($N \times N$).

Η ζενιθιακή γωνία προσδιορίζεται από την εξίσωση

$$\zeta_i = (\Delta x_i^2 + \Delta y_i^2)^{1/2} \cdot \left(\frac{\pi}{N} \right) \quad (5.4)$$

όπου Δx_i και Δy_i είναι η απόσταση του ψηφιακού στοιχείου από το κέντρο του ψηφιακού χάρτη στις διευθύνσεις x και y, αντίστοιχα. Έτσι, ο συντελεστής θέασης του ουρανού (f_{svf}) για το άνω ημισφαίριο υπολογίζεται ως το άθροισμα των τιμών F_i για κάθε ψηφιακό στοιχείο (Matzarakis et al. 2010). Βάση των παραπάνω, το μοντέλο προσομοιώνει τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας μέσω των εξισώσεων 5.1 και 5.2.

Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας (T_{mrt} , σε °C) ως δεδομένο εισόδου στο μοντέλο MENEX, οδηγεί στη προσομοίωση της απορροφούμενης ηλιακής ακτινοβολίας (R , σε Wm^{-2}) από το μοντέλο SolMrt μέσω της εξίσωσης (Błażejczyk 2004)

$$R = \left(\left(s_h \cdot \sigma \cdot (273 + T_{mrt})^4 \right) - \left(s \cdot \sigma \cdot (273 + T_a)^4 \right) \right) \cdot I_{rc} \quad (5.5)$$

όπου I_{rc} είναι ο συντελεστής μείωσης της μετάδοσης θερμότητας από μεταφορά και ακτινοβολία λόγω του ρουχισμού (αδιάστατο), T_a είναι η θερμοκρασία του αέρα (σε °C), s_h είναι ο συντελεστής εκπομπής του ανθρώπινου σώματος (=0.95, αδιάστατο), s είναι ο συντελεστής εκπομπής για φυσικά αντικείμενα (=0.97, αδιάστατο) και σ είναι η σταθερά του Stefan-Boltzman ($=5.667 \cdot 10^{-8} Wm^{-2}K^{-4}$).

Όπως έχει αναφερθεί στη παράγραφο 4.2γ, η λανθάνουσα ροή θερμότητας λόγω εξάτμισης του ιδρώτα εξαρτάται τόσο από τις συνθήκες του περιβάλλοντος όσο και από τη δυνητική εξάτμιση στο ανθρώπινο σώμα. Μια άλλη έκφραση των δυνητικών τιμών της απώλειας θερμότητας λόγω εξάτμισης του ιδρώτα είναι ο δείκτης Water Loss (SW , σε gh^{-1}). Για δεδομένες συνθήκες περιβάλλοντος, η δυνητική απώλεια θερμότητας λόγω εξάτμισης (E_{pot}) υπολογίζεται βάσει της τυρβώδους ανταλλαγής λανθάνουσας θερμότητας (E), αντικαθιστώντας τη σχετική

υγρασία του περιβάλλοντος με την τιμή 5%. Η μαθηματική έκφραση του δείκτη SW δίνεται από την εξίσωση

$$SW = -2.6 \cdot E_{pot} \quad (5.6)$$

Τα όρια τιμών του δείκτη εξαρτώνται από το επίπεδο της ανθρώπινης δραστηριότητας και από το βαθμό εγκλιματισμού του οργανισμού (Πίνακας 5.1).

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1. Ταξινόμηση του δείκτη SW ανά δραστηριότητα και βαθμό εγκλιματισμού.

Όρια SW (gh^{-1})	Βαθμός εγκλιματισμού	Επίπεδο δραστηριότητας	
		$M \leq 70 \text{ Wm}^{-2}$	$M > 70 \text{ Wm}^{-2}$
	Εγκλιματισμένος οργανισμός		
	Όριο προειδοποίησης SW	520	780
	Όριο επικινδυνότητας SW	780	1040
	Μη εγκλιματισμένος οργανισμός		
	Όριο προειδοποίησης SW	260	520
	Όριο επικινδυνότητας SW	390	650

5.3 Δεδομένα-Μεθοδολογία

Για τον υπολογισμό των παραμέτρων που παρουσιάζονται σε αυτή την παράγραφο χρησιμοποιήθηκαν τα μετεωρολογικά δεδομένα από τον Αυτόματο Μετεωρολογικό Σταθμό (Μ.Σ.Π.Α) καθώς και από το Κινητό Μετεωρολογικό Σταθμό (Κ.Μ.Σ). Συγκεκριμένα, τα δεδομένα από το Μ.Σ.Π.Α είναι η ολική ηλιακή ακτινοβολία, η ατμοσφαιρική πίεση και η θερμοκρασία του εδάφους ενώ από το Κ.Μ.Σ είναι η μέση θερμοκρασία αέρα, η σχετική υγρασία και η οριζόντια ταχύτητα του ανέμου με βήμα λεπτού. Όλες οι μετεωρολογικές παράμετροι όπου χρησιμοποιήθηκαν πλην της θερμοκρασίας εδάφους μετρήθηκαν σε ύψος 2m από το έδαφος.

Στο προηγούμενο κεφάλαιο η ανάλυση αφορούσε μια επιλεγμένη ομάδα μελέτης σε ένα έντονα θερμό περιβάλλον, χωρίς να έχει προηγηθεί προσαρμογή σε αυτές τις συνθήκες. Στο παρόν κεφάλαιο, η ανάλυση που ακολουθεί αφορά στην πειραματική διαδικασία Β, βάσει της οποίας η επιλεγμένη ομάδα μελέτης πραγματοποιεί αρχικά ήπια προσαρμογή σε ένα μέτρια έως πολύ θερμό περιβάλλον. Η ομάδα μελέτης αποτελείται από πέντε άτομα (3 άνδρες και 2 γυναίκες) με τα ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά τους να περιγράφονται αναλυτικά στη παράγραφο 3.2.3. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφέρουμε ότι ο άνδρας Sub7 εξαιρέθηκε ορισμένες ημέρες από την πειραματική διαδικασία λόγω φαρμακευτικής αγωγής που ελάμβανε εκείνες τις ημέρες. Η πειραματική περίοδος αφορά τις ημέρες 15, 18, 21, 22

και 23 Ιουλίου του 2008, όπου η μέση θερμοκρασία αέρα κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας μετρήθηκε στα θερμοκρασιακά επίπεδα μεταξύ 32 °C και 38 °C.

Συγκεκριμένα, η πειραματική διαδικασία B αποτελείται από τρεις κύριες φάσεις, όπως έχει περιγραφεί αναλυτικά στη παράγραφο 3.4. Κατά τη πρώτη φάση, διάρκειας 30 min, η επιλεγμένη ομάδα μελέτης κάθεται άνετα στη σκιά ενός δένδρου, πραγματοποιώντας ήπια προσαρμογή στο περιβάλλον. Στη συνέχεια, κατά τη δεύτερη φάση η ομάδα μελέτης περπατά κατά μήκος μιας προκαθορισμένης κυκλικής διαδρομής, με συνεχή έκθεση στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία. Τέλος, με την επιστροφή στο αρχικό σημείο ξεκινά η τρίτη φάση με την ομάδα μελέτης να κάθεται άνετα στη σκιά του δένδρου για επιπλέον 30 min.

Για την αποτύπωση της θερμικής κατάστασης του ανθρώπινου σώματος αναλύθηκαν με βήμα λεπτού (1 min) οι παράμετροι της παράγωγης θερμότητας από το μεταβολισμό (M), της θερμοκρασίας του δέρματος στο τρικέφαλο του δεξιού βραχίονα (T_{arm}), της γαλβανικής αντίδρασης του δέρματος (GSR) καθώς και της ροής θερμότητας (HF) για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης, σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας B, μέσω του λογισμικού InnerView Research Professional 5.1 (BodyMedia, Inc., Pittsburgh, PA).

Επίσης, η μέση πειραματική θερμοκρασία δέρματος ($T_{sk,exp}$) υπολογίστηκε ως συνάρτηση της πειραματικής θερμοκρασίας δέρματος στο τρικέφαλο του δεξιού βραχίονα (T_{arm}) από την εξίσωση των Lund and Gisolfi (1974), βάσει της εξίσωσης 4.41.

Για τη διερεύνηση της επίδρασης της ακτινοβολίας στον ανθρώπινο οργανισμό, πραγματοποιήθηκε προσομοίωση της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας (T_{mrt}) για κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας B, μέσω του μοντέλου Rayman. Τα μετεωρολογικά δεδομένα εισόδου στο μοντέλο είναι η μέση θερμοκρασία αέρα, η σχετική υγρασία, η οριζόντια ταχύτητα του ανέμου και η ολική ηλιακή ακτινοβολία με βήμα 1 min. Επιπρόσθετα, ο λόγος της διάχυτης προς την ολική ηλιακή ακτινοβολία (diffuse fraction, k_d , αδιάστατο) προσδιορίστηκε με όρους εμπειρικής προσομοίωσης, όπως πρότειναν οι Jacovides et al. (2006). Ο λόγος της διάχυτης προς την ολική ηλιακή ακτινοβολία (k_d) σχετίζεται με το δείκτη καθαρότητας του ουρανού (clearness index, k_t , αδιάστατο) μέσω της εξίσωσης

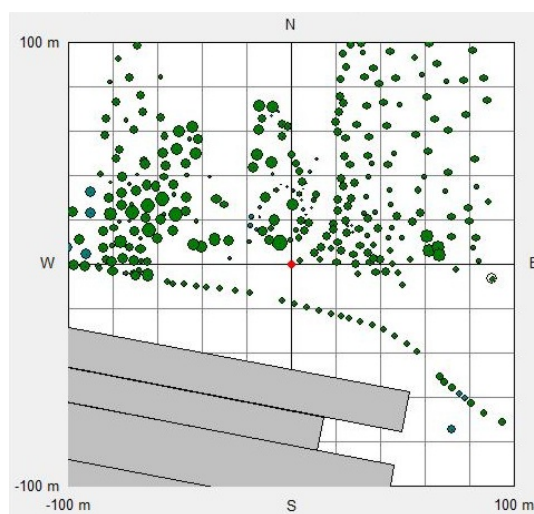
$$k_d = 0.94 + 0.93 \cdot k_t - 5.01 \cdot k_t^2 + 3.32 \cdot k_t^3 \quad (5.7)$$

Ως δείκτης καθαρότητας του ουρανού (k_t) ορίζεται ο λόγος της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας προς την εξωγήινη ακτινοβολία (extraterrestrial radiation). Η εξωγήινη ακτινοβολία προσδιορίστηκε με όρους εμπειρικής προσομοίωσης, βάσει της γεωγραφικής θέσης (γεωγραφικό πλάτος, γεωγραφικό μήκος) και του χρόνου (μήνας, ημέρα, ώρα). Κατόπιν, υπολογίστηκε ο δείκτης καθαρότητας του ουρανού (k_t) και ο λόγος της διάχυτης προς την ολική ηλιακή ακτινοβολία (k_d) για κάθε φάση της πειραματικής περιόδου. Τα αποτελέσματα του k_d ανά λεπτό υποδεικνύουν μικρές διακυμάνσεις, ως εκ τούτου για την προσομοίωση της T_{mrt} χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα εισόδου στο μοντέλο η μέση τιμή του k_d για κάθε φάση κάθε πειραματική ημέρα (Πίνακας 5.2).

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2. Ο όρος diffuse fraction (k_d) για κάθε φάση κάθε πειραματική ημέρα.

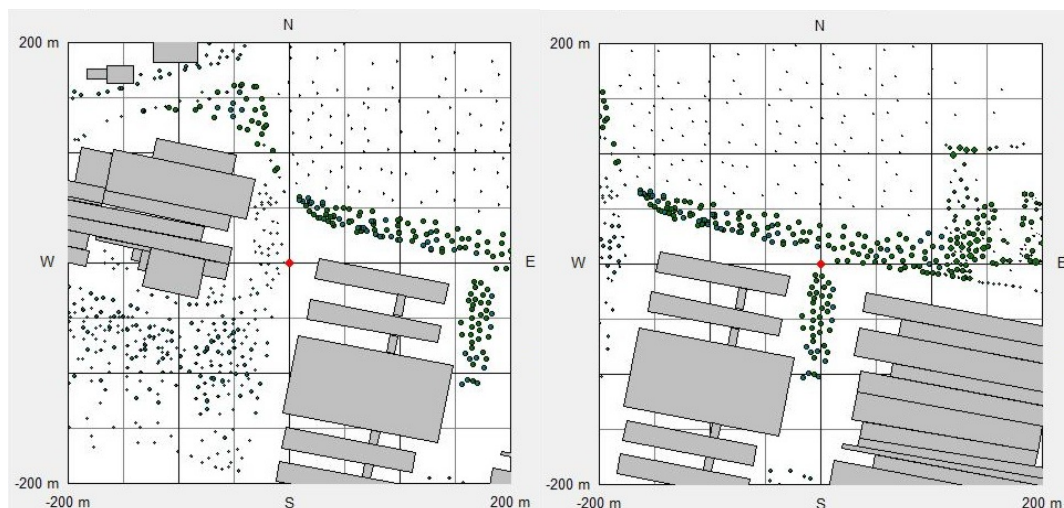
Πειραματική περίοδος	Diffuse fraction, k_d (αδιάστατο)		
	1 ^η φάση	2 ^η φάση	3 ^η φάση
15/7	0.2933	0.3197	0.3128
18/7	0.2498	0.2793	0.2737
21/7	0.2585	0.2778	0.2730
22/7	0.2908	0.3127	0.3178
23/7	0.2292	0.2527	0.2483

Με σκοπό να προσδιοριστεί το πειραματικό πεδίο η λευκαύγεια του εδάφους ορίστηκε στα 0.18 και το Bowen-ratio ορίστηκε στα 1.38 (Oke 1982; Arnfield 2003). Επιπρόσθετα, η τοπογραφία και η γεωμετρία του ευρύτερου πειραματικού πεδίου εισήχθη στο μοντέλο βάσει του τοπογραφικού χάρτη της περιοχής, ο οποίος παραχωρήθηκε από την Τεχνική Υπηρεσία του Πανεπιστημίου Αθηνών καθώς και από επιτόπιες μετρήσεις. Στο Σχήμα 5.1 απεικονίζεται ο τοπογραφικός χάρτης που εισήχθη στο μοντέλο Rayman κατά την 1^η και 3^η φάση της πειραματικής διαδικασίας.



ΣΧΗΜΑ 5.1. Ο τοπογραφικός χάρτης που εισήχθη στο μοντέλο Rayman κατά την 1^η και 3^η φάση της πειραματικής διαδικασίας.

Πρέπει να τονιστεί ότι κατά την προσομοίωση της T_{mrt} κατά μήκος της διαδρομής για τη 2^η φάση της πειραματικής διαδικασίας, η τοπογραφία και η γεωμετρία του χώρου μετατοπιζόταν με σημείο αναφοράς την ομάδα μελέτης. Στο Σχήμα 5.2 απεικονίζεται ο τοπογραφικός χάρτης για δυο από τα σημεία της διαδρομής κατά τη 2^η φάση.



ΣΧΗΜΑ 5.2. Ο τοπογραφικός χάρτης που εισήχθη στο μοντέλο Rayman για δυο από τα σημεία της διαδρομής κατά την 2^η φάση της πειραματικής διαδικασίας.

Με στόχο να διερευνηθούν οι δυναμικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ του ανθρώπινου σώματος και του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος, εξετάστηκε η ανά λεπτό εξέλιξη των ροών για την επιλεγμένη ομάδα μελέτης σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας Β, μέσω του μοντέλου MENEX, όπως αυτό περιγράφεται αναλυτικά στη παράγραφο 4.2. Συγκεκριμένα, υπολογίστηκαν η τυρβώδης ανταλλαγή αισθητής (C) και λανθάνουσας (E) θερμότητας από τις Εξ. 4.5 και 4.11, αντίστοιχα, η απώλεια θερμότητας μέσω αναπνοής (R_{es}) βάσει της Εξ. 4.32, το ισοζύγιο ακτινοβολιών (Q) από τις Εξ. 4.20, 4.21 και 5.5 και η καθαρή αποθηκευόμενη θερμότητα (S) βάσει της Εξ. 4.1, για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης.

Τα μετεωρολογικά δεδομένα εισόδου στο μοντέλο είναι η μέση θερμοκρασία αέρα, η σχετική υγρασία, η οριζόντια ταχύτητα του ανέμου, η ατμοσφαιρική πίεση, η θερμοκρασία εδάφους και η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας, ως αποτέλεσμα του μοντέλου Rayman. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφέρουμε ότι όταν η ταχύτητα του ανέμου μετρήθηκε μικρότερη από 0.25 ms^{-1} , η προσομοίωση των ροών πραγματοποιήθηκε με την τιμή 0.25 ms^{-1} μιας και στο πραγματικό ατμοσφαιρικό περιβάλλον δεν υφίστανται συνθήκες πλήρους άπνοιας. Η λευκαύγεια του εδάφους ορίστηκε στα 0.18, ώστε να χαρακτηρίζει το πειραματικό πεδίο (Oke 1982; Arfield

2003). Επιπρόσθετα, η ταχύτητα κίνησης για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης ορίστηκε στα 0.00 ms^{-1} για τη 1^η και 3^η φάση, όπου τα άτομα κάθονται, κάθε πειραματική ημέρα. Κατά τη διάρκεια της διαδρομής (2^η φάση) η ταχύτητα κίνησης ορίστηκε στα 1.11 ms^{-1} , 1.03 ms^{-1} , 1.17 ms^{-1} , 1.14 ms^{-1} και 1.14 ms^{-1} για τις πειραματικές ημέρες 15, 18, 21, 22 και 23 Ιουλίου, αντίστοιχα, ως η μέση ταχύτητα κίνησης για την ολοκλήρωση της διαδρομής, όπως έχει αναφερθεί στη παράγραφο 3.4. Η αντίσταση της συνολικής επιλεγμένης ενδυμασίας ως δεδομένο εισόδου στο μοντέλο ορίστηκε στα 0.41 clo, ενώ η μέση λευκαύγεια του δέρματος και της ενδυμασίας ορίστηκε στα 0.31 για κάθε άτομο της επιλεγμένης ομάδας μελέτης, κάθε πειραματική ημέρα, όπως έχουν αναλυτικά περιγράφει στη παράγραφο 3.2.4.

Έχοντας εντοπίσει από το προηγούμενο κεφάλαιο την αδυναμία του μοντέλου να προσομοιώσει τη μέση θερμοκρασία δέρματος καθώς και το γεγονός ότι η παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό μεταβάλλεται στην κλίμακα του 1 min με αποτέλεσμα η υπόθεση της σταθερής παραγωγής θερμότητας από το μεταβολισμό με κριτήριο μια επιλεγμένη δραστηριότητα να μην συνάδει με τις πραγματικές συνθήκες, τα θερμοφυσιολογικά δεδομένα εισόδου στο μοντέλο για την ομάδα μελέτης είναι η πειραματική παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό (M) και η αντίστοιχη μέση πειραματική θερμοκρασία δέρματος ($T_{sk,exp}$). Στη συνέχεια του κεφαλαίου, λόγω απουσίας θεωρητικής προσέγγισης στην εκτίμηση των θερμοφυσιολογικών παραμέτρων, η παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό (M) και η μέση θερμοκρασία δέρματος (T_{sk}) αναφέρονται αποκλειστικά σε πειραματικές μετρήσεις.

Τέλος, με στόχο να εξεταστεί η θερμική άνεση μέσω ενός θερμοφυσιολογικού ή βιομετεωρολογικού δείκτη, υπολογίστηκαν με βήμα 1 min οι δείκτες Θερμικού Φορτίου (Heat Load index, HL) από τις Εξ. 4.37 έως 4.40 και Απώλειας Ύδατος (Water loss index, SW) από την Εξ. 5.6, για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης, σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας.

Επίσης, υπολογίστηκε η επί τις εκατό συχνότητα κατανομής της θερμικής επιβάρυνσης βάσει της ταξινόμησης του δείκτη HL σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας B, για όλη τη πειραματική περίοδο.

5.4 Μετεωρολογικές συνθήκες

Η πειραματική διαδικασία B πραγματοποιήθηκε για μια σειρά ημερών όπου η μέση θερμοκρασία αέρα κυμάνθηκε μεταξύ $32 \text{ }^{\circ}\text{C}$ και $38 \text{ }^{\circ}\text{C}$, χαρακτηρίζοντας το

ατμοσφαιρικό περιβάλλον από μέτρια έως πολύ θερμό, αντίστοιχα. Στο Πίνακα 5.3 απεικονίζεται η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση για κάθε μετεωρολογική παράμετρο κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας κάθε πειραματική ημέρα.

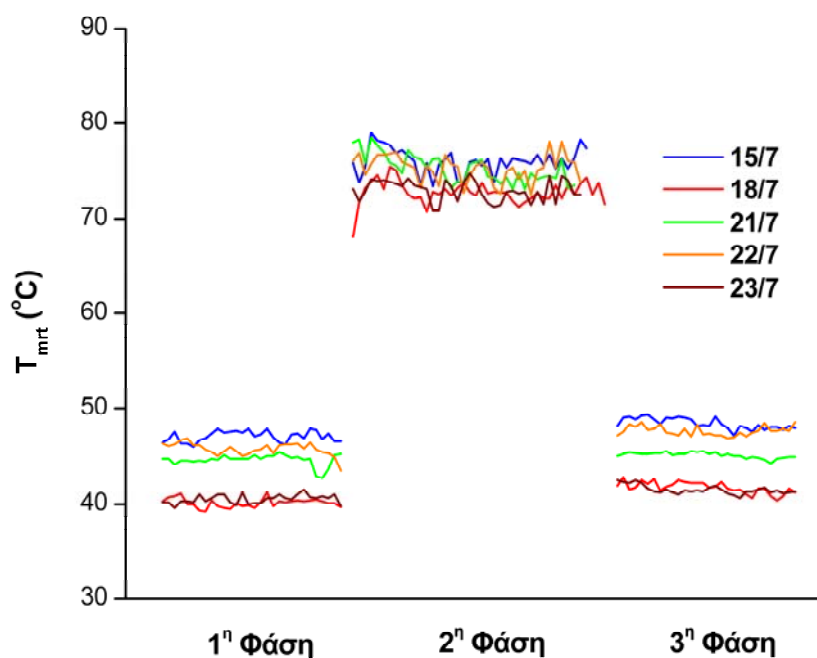
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.3. Μέση τιμή και τυπική απόκλιση για κάθε μετεωρολογική παράμετρο κατά την πειραματική διαδικασία κάθε πειραματική ημέρα.

Πειραματικές ημέρες	Μετεωρολογικές παράμετροι		
	Θερμοκρασία αέρα (T_{as} , °C)	Σχετική υγρασία (f , %)	Ταχύτητα ανέμου (v , ms ⁻¹)
15/7	37.5±0.4	15.7±0.6	1.8±1.9
18/7	32.1±0.4	27.4±1.3	1.8±1.2
21/7	36.4±0.4	21.0±0.9	2.1±1.3
22/7	35.8±0.4	24.4±0.8	2.0±1.8
23/7	34.1±0.4	19.8±2.0	2.1±1.4
Πειραματικές ημέρες	Μετεωρολογικές παράμετροι		
	Θερμοκρασία εδάφους (T_{gs} , °C)	Ολική ακτινοβολία (K_{glob} , Wm ⁻²)	Ατμοσφαιρική πίεση (p , hPa)
15/7	41.9±0.1	827.3±41.8	984.3±0.5
18/7	40.3±0.2	863.4±51.7	983.5±0.7
21/7	40.8±0.1	856.8±55.7	982.0±1.3
22/7	42.0±0.1	820.7±48.1	980.1±0.5
23/7	41.5±0.3	885.1±55.2	976.5±0.8

Η απολύτως ελάχιστη θερμοκρασία αέρα παρατηρείται στις 18/7 με 31.4 °C ενώ η απολύτως μέγιστη στις 15/7 με 38.9 °C. Αντίστοιχα, η σχετική υγρασία κυμαίνεται μεταξύ 15 και 30% για την εξεταζόμενη πειραματική περίοδο, με την απολύτως ελάχιστη τιμή να εντοπίζεται στις 15/7 με 14.5% και την απολύτως μέγιστη στις 18/7 με 29.9%. Η ανά λεπτό χρονική εξέλιξη της ταχύτητας του ανέμου παρουσιάζει έντονη κύμανση, με την απολύτως μέγιστη τιμή να παρατηρείται στις 22/7 με 12.0 ms⁻¹. Παράλληλα, η απολύτως μέγιστη θερμοκρασία εδάφους παρατηρείται στις 15/7 με 42.1 °C και η απολύτως ελάχιστη στις 18/7 με 40.1 °C. Η υψηλότερη ατμοσφαιρική πίεση καταγράφεται στις 15/7 με 985 hPa και η χαμηλότερη στις 23/7 με 975 hPa.

Η προσομοίωση της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας υποδεικνύει επίπεδα τιμών μεταξύ 40 και 50 °C στη σκιά του δένδρου (1^η και 3^η φάση) (Σχήμα 5.3). Αντιθέτως, κατά μήκος της διαδρομής (2^η φάση) όπου η ομάδα είναι εκτεθειμένη στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία τα επίπεδα τιμών της T_{mrt} διαμορφώνονται υψηλότερα, μεταξύ 70 και 80 °C. Επίσης, η T_{mrt} παρουσιάζει εντονότερη κύμανση κατά τη διάρκεια της 2^{ης} φάσης συγκρινόμενη με τις αντίστοιχες τιμές κατά τη διάρκεια της 1^{ης} και 3^{ης} φάσης, γεγονός το οποίο σχετίζεται εκτός της κύμανσης των ροών ακτινοβολίας και στην αλλαγή της τοπογραφίας και της γεωμετρίας του χώρου

κατά την κίνηση της ομάδας μελέτης κατά μήκος της προκαθορισμένης διαδρομής. Παράλληλα, οι υψηλότερες τιμές διαμορφώνονται στις 15/7 την πιο θερμή ημέρα της εξεταζόμενης περιόδου.



ΣΧΗΜΑ 5.3. Η ανά λεπτό χρονική εξέλιξη της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας (T_{mrt} , °C) σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας κάθε πειραματική ημέρα.

5.5 Μελέτη των πεδίων των θερμοφυσιολογικών παραμέτρων

Στο πλαίσιο της ευρύτερης διερεύνησης της θερμικής κατάστασης του ανθρώπινου σώματος, μελετήθηκαν τα πεδία των θερμοφυσιολογικών παραμέτρων, προκειμένου να εξεταστεί η χρονική εξέλιξη και τα επίπεδα τιμών αρχικά κατά τη παραμονή της ομάδας στη σκιά του δένδρου (1^η φάση), κατά μήκος της κυκλικής διαδρομής (2^η φάση) και τέλος κατά τη παραμονή της ομάδας στη σκιά του δένδρου (3^η φάση). Συγκεκριμένα, εξετάστηκαν τα πεδία της θερμοκρασίας του δέρματος στο τρικέφαλο του δεξιού βραχίονα, της μέσης θερμοκρασίας δέρματος, της παραγωγής θερμότητας από το μεταβολισμό, της ροής θερμότητας και της γαλβανικής αντίδρασης του δέρματος.

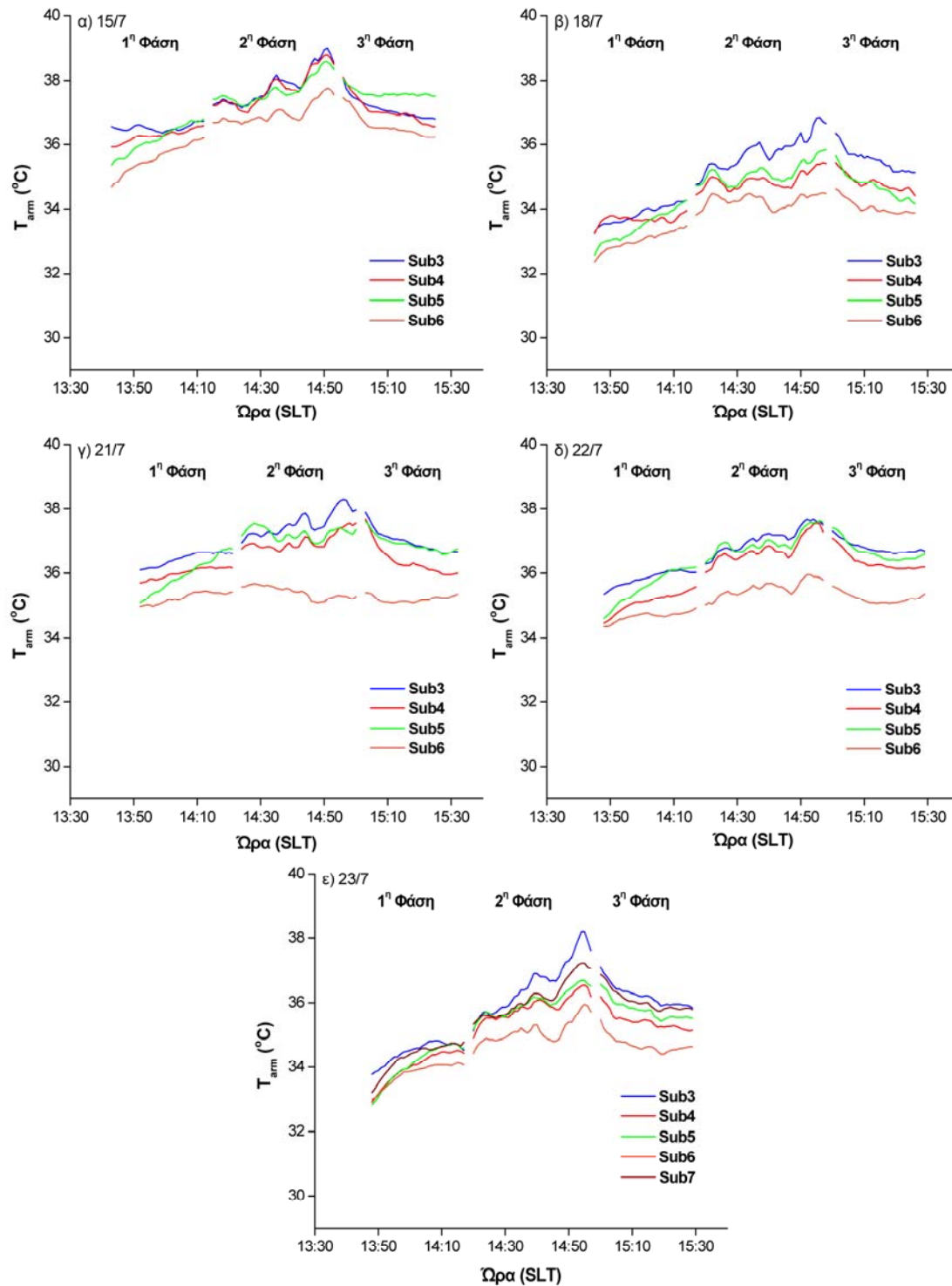
5.5.1 Θερμοκρασία δέρματος

Στο Σχήμα 5.4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της θερμοκρασίας δέρματος στο τρικέφαλο του δεξιού βραχίονα (T_{arm}) για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης, σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας, κάθε πειραματική ημέρα.

Κατά την 1^η φάση της πειραματικής διαδικασίας στις 15/7, παρατηρείται αυξητική πορεία της T_{arm} για όλα τα άτομα με εξαίρεση το Sub3 (Σχήμα 5.4α). Το γεγονός αυτό σχετίζεται με την σχετικά υψηλή T_{arm} (36.6 °C) του Sub3 η οποία διαμορφώθηκε το 1 min της παραμονής στη σκιά του δένδρου. Σε αντίθεση, την ίδια χρονική στιγμή η T_{arm} διαμορφώθηκε σε χαμηλότερα επίπεδα για το Sub4, Sub5 και Sub6 στους 35.9 °C, 35.4 °C και 34.7 °C αντίστοιχα, ενώ μετά από 30 min η T_{arm} διαμορφώθηκε στους 36.6 °C, 36.8 °C και 36.2 °C, αντίστοιχα. Κατά τη 2^η φάση, αρχικά παρατηρείται μια μικρή αυξητική τάση της T_{arm} και μια ισορροπία τιμών στη συνέχεια για τα πρώτα 17 min της διαδρομής για όλα τα άτομα (Σχήμα 5.4α). Η ισορροπία τιμών ουσιαστικά είναι αποτέλεσμα της προσαρμογής η οποία πραγματοποιήθηκε για 30 min πριν την έναρξη της διαδρομής σε ένα πολύ θερμό περιβάλλον, με τη μέση θερμοκρασία αέρα κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας να διαμορφώνετε στους 37.5 °C, όπως ήδη έχουμε αναφέρει για τις 15/7. Στη συνέχεια παρατηρείται μια αυξητική πορεία της T_{arm} , με ένα πρώτο μέγιστο μετά από 21 min διαδρομής και ένα δεύτερο μέγιστο μετά από 37 min. Συγκεκριμένα, η απολύτως μέγιστη τιμή της T_{arm} διαμορφώθηκε στους 38.9 °C, 38.8 °C, 38.6 °C και 37.8 °C για το Sub3, Sub4, Sub5 και Sub6, αντίστοιχα. Τέλος, κατά την 3^η φάση της πειραματικής διαδικασίας παρατηρείται μια πτωτική πορεία της T_{arm} για όλα τα άτομα, με την υψηλότερη βαθμίδα να διαμορφώνεται τα πρώτα 10 min της παραμονής στη σκιά του δένδρου, αποτέλεσμα το οποίο σχετίζεται με τη χαμηλή παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό και τη μη έκθεση στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία σε αυτή τη φάση (Σχήμα 5.4α). Στο τέλος της 3^{ης} φάσης, η T_{arm} διαμορφώνεται σε αντίστοιχα επίπεδα τιμών με τις τιμές κατά την ολοκλήρωση της 1^{ης} φάσης, για όλα τα άτομα με εξαίρεση το Sub5 και συγκεκριμένα στους 36.8 °C, 36.6 °C, 37.5 °C και 36.2 °C για το Sub3, Sub4, Sub5 και Sub6, αντίστοιχα.

Στις 18/7, ημέρα με μέση θερμοκρασία αέρα 32.1 °C, παρατηρείται μια αυξητική πορεία της T_{arm} για όλα τα άτομα κατά την 1^η φάση (Σχήμα 5.4β). Συγκεκριμένα, με την έναρξη της 1^{ης} φάσης η T_{arm} διαμορφώνεται στους 33.2 °C για το Sub3 και Sub4 και στους 32.6 °C για το Sub5 και στους 32.4 °C για το Sub6. Μετά από 30 min στη σκιά του δένδρου παρατηρείται αύξηση 1.0 °C, 0.7 °C, 1.7 °C και 1.1 °C για το Sub3, Sub4, Sub5 και Sub6, αντίστοιχα. Κατά τη διάρκεια της διαδρομής η T_{arm} ακολουθεί αυξητική πορεία για όλα τα άτομα της ομάδας μελέτης, με την υψηλότερη βαθμίδα να παρατηρείται για το Sub3 και τη χαμηλότερη για το Sub6 (Σχήμα 5.4β). Η υψηλότερη τιμή της T_{arm} διαμορφώθηκε τα τελευταία λεπτά της

διαδρομής με 36.8 °C για το Sub3, 35.4 °C για το Sub4, 35.8 °C για το Sub5 και 34.5 °C για το Sub6. Κατά τη διάρκεια της 3^{ης} φάσης παρατηρείται πτωτική πορεία της T_{arm} για όλα τα άτομα, με τη πτώση μετά από 30 min να διαμορφώνεται στους 1.3 °C, 0.9 °C, 1.5 °C και 0.8 °C για το Sub3, Sub4, Sub5 και Sub6, αντίστοιχα (Σχήμα 5.4β).



ΣΧΗΜΑ 5.4. Η θερμοκρασία δέρματος στο τρικέφαλο του δεξιού βραχίονα (T_{arm}) για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας για τις α) 15/7, β) 18/7, γ) 21/7, δ) 22/7 και ε) 23/7.

Η πειραματική διαδικασία στις 21/7, ημέρα με μέση θερμοκρασία αέρα 36.4 °C, καταδεικνύει για την 1^η φάση αυξητική πορεία της T_{arm} για όλα τα άτομα, με την υψηλότερη βαθμίδα να παρατηρείται για το Sub5 (Σχήμα 5.4γ). Στο 1 min παραμονής στη σκιά του δένδρου η T_{arm} διαμορφώνεται στους 36.1 °C, 35.7 °C, 35.1 °C και 35.0 °C για το Sub3, Sub4, Sub5 και Sub6, αντίστοιχα, ενώ με την ολοκλήρωση της 1^{ης} φάσης παρατηρείται αύξηση κατά 0.5 °C, 0.5 °C, 1.7 °C και 0.5 °C, αντίστοιχα. Κατά τη διάρκεια της διαδρομής (2^η φάση) παρατηρείται μια ελαφρά αυξητική πορεία της T_{arm} για το Sub3 και το Sub4, με την υψηλότερη βαθμίδα να διαμορφώνεται τα τελευταία 10 min (Σχήμα 5.4γ). Αυτό το χρονικό διάστημα παρατηρείται η μέγιστη τιμή της T_{arm} με 38.3 °C για το Sub3 και 37.5 °C για το Sub4. Σε αντίθεση, η χρονική εξέλιξη της T_{arm} για το Sub5 και Sub6 δεν παρουσιάζει ιδιαίτερη κύμανση και ισορροπεί στους 37.2 °C και 35.4 °C, αντίστοιχα, γεγονός το οποίο πρέπει να σχετίζεται με τη διαδικασία της εφίδρωσης στον οργανισμό. Τέλος, κατά την παραμονή στη σκιά του δένδρου (3^η φάση) η T_{arm} ακολουθεί πτωτική πορεία για όλα τα άτομα με εξαίρεση το Sub6 το οποίο ισορροπεί στα θερμοκρασιακά επίπεδα των 35.2 °C (Σχήμα 5.4γ). Συγκεκριμένα, το 1 min η T_{arm} διαμορφώνεται στους 37.9 °C, 37.7 °C, 37.6 °C και 34.4 °C για το Sub3, Sub4, Sub5 και Sub6, αντίστοιχα, ενώ μετά από 30 min παρατηρείται πτώση 1.2 °C, 1.7 °C, 0.8 °C και 0.04 °C, αντίστοιχα.

Στο Σχήμα 5.4δ, το οποίο παρουσιάζει τη χρονική εξέλιξη της T_{arm} στις 22/7, ημέρα με μέση θερμοκρασία αέρα 35.8 °C, φαίνεται χαρακτηριστικά η αυξητική πορεία της T_{arm} για την ομάδα μελέτης κατά την 1^η φάση. Η υψηλότερη βαθμίδα της T_{arm} παρατηρείται για το Sub4 και Sub5, με την αύξηση μετά από 30 min παραμονής στη σκιά του δένδρου να διαμορφώνεται στους 0.7 °C, 1.1 °C, 1.6 °C και 0.6 °C για το Sub3, Sub4, Sub5 και Sub6, αντίστοιχα. Στο 1 min της διαδρομής η T_{arm} διαμορφώνεται στους 36.3 °C για το Sub3, 36.0 °C για το Sub4, 36.3 °C για το Sub5 και 35.0 °C για το Sub6 (Σχήμα 5.4δ). Στη συνέχεια κατά μήκος της διαδρομής παρατηρείται αυξητική πορεία της T_{arm} , η οποία είναι εντονότερη τα τελευταία λεπτά, με τη μέγιστη τιμή αυτό το χρονικό διάστημα να διαμορφώνεται στους 37.7 °C, 37.5 °C, 37.6 °C και 36.0 °C για το Sub3, Sub4, Sub5 και Sub6, αντίστοιχα. Τέλος, κατά την 3^η φάση βρέθηκε πτωτική πορεία της T_{arm} για όλα τα άτομα, με την υψηλότερη βαθμίδα να παρατηρείται τα πρώτα 10 min (Σχήμα 5.4δ). Συγκεκριμένα, στο 1 min παραμονής στη σκιά του δένδρου η T_{arm} διαμορφώθηκε στους 37.3 °C για το Sub3, 37.1 °C για το Sub4, 37.4 °C για το Sub5 και 35.6 °C για το Sub6. Μετά από 30 min

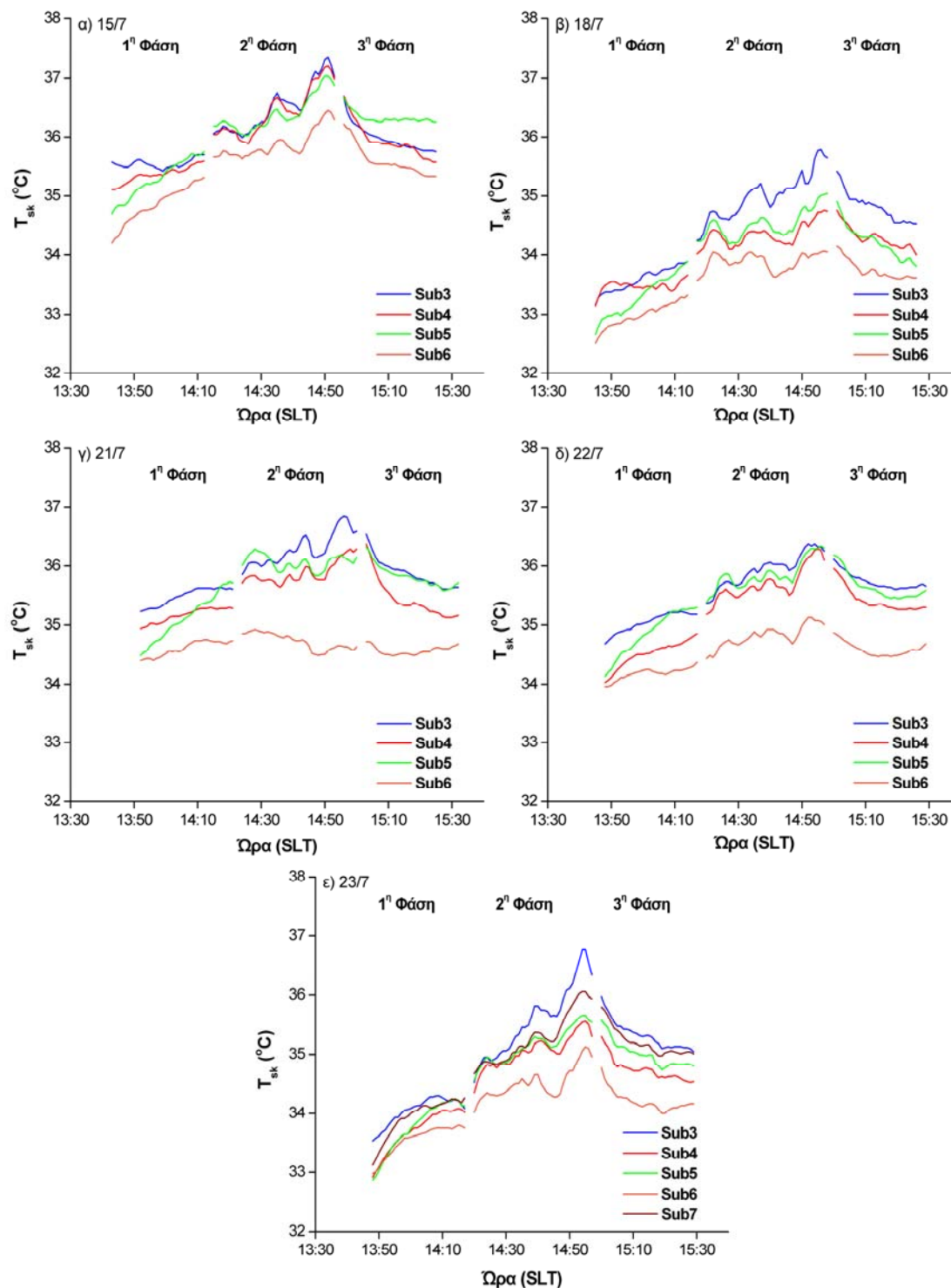
βρέθηκε πτώση της T_{arm} κατά 0.6°C , 0.9°C , 0.8°C και 0.3°C για το Sub3, Sub4, Sub5 και Sub6, αντίστοιχα.

Την τελευταία ημέρα της πειραματικής περιόδου, στις 23/7, ημέρα με μέση θερμοκρασία αέρα 34.1°C , η T_{arm} ακολουθεί αυξητική πορεία για όλα τα άτομα στα πρώτα 20 min της 1^{ης} φάσης (Σχήμα 5.4ε). Για τα αμέσως επόμενα 10 min παρατηρείται μια ισορροπία τιμών της T_{arm} , η οποία σχετίζεται με την προσαρμογή του οργανισμού στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον. Συγκριμένα, η χαμηλότερη τιμή της T_{arm} βρέθηκε το 1 min παραμονής στη σκιά του δένδρου με 33.8°C , 32.9°C , 32.9°C , 33.0°C και 33.2°C για το Sub3, Sub4, Sub5, Sub6 και Sub7, αντίστοιχα. Με την ολοκλήρωση της 1^{ης} φάσης παρατηρήθηκε αύξηση της T_{arm} κατά 0.7°C για το Sub3, 1.5°C για το Sub4, 1.7°C για το Sub5, 1.1°C για το Sub6 και 1.6°C για το Sub7. Κατά τη διάρκεια της 2^{ης} φάσης παρατηρείται αυξητική πορεία της T_{arm} για όλη την ομάδα μελέτης, με την βαθμίδα της T_{arm} να είναι εντονότερη τα τελευταία 10 min της διαδρομής (Σχήμα 5.4ε). Αυτό το χρονικό διάστημα διαμορφώθηκε η υψηλότερη τιμή της T_{arm} με 38.2°C , 36.5°C , 36.7°C , 36.0°C και 37.2°C για το Sub3, Sub4, Sub5, Sub6 και Sub7, αντίστοιχα. Τέλος, κατά την 3^η φάση παρατηρείται πτωτική πορεία της T_{arm} , ιδιαίτερα στα πρώτα 15 min, για όλα τα άτομα. Με την ολοκλήρωση της παραμονής στη σκιά του δένδρου, η πτώση της T_{arm} διαμορφώθηκε στους 1.3°C για το Sub3, 1.0°C για το Sub4, 1.0°C για το Sub5, 0.8°C για το Sub6 και 1.1°C για το Sub7.

Στο Σχήμα 5.5, το οποίο παρουσιάζει τη χρονική εξέλιξη της μέσης θερμοκρασίας δέρματος (T_{sk}) για την ομάδα μελέτης σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας κάθε πειραματική ημέρα, φαίνεται χαρακτηριστικά η ταυτόχρονη συμμεταβολή με την T_{arm} σε χαμηλότερα επίπεδα τιμών, ιδιαίτερα στις υψηλότερες θερμοκρασίες δέρματος.

Από την ανάλυση των παραπάνω αποτελεσμάτων, φαίνεται ότι συνολικά η T_{arm} (T_{sk}) κυμαίνεται σε υψηλότερα θερμοκρασιακά επίπεδα τις ημέρες όπου καταγράφεται υψηλότερη θερμοκρασία αέρα κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας. Συγκεκριμένα, η T_{arm} (T_{sk}) διαμορφώθηκε στα υψηλότερα επίπεδα στις 15/7, ημέρα με μέση θερμοκρασία αέρα 37.5°C , σε αντίθεση με τις χαμηλότερες τιμές της T_{arm} (T_{sk}) όπου βρέθηκαν για τις 18/7, ημέρα με μέση θερμοκρασία αέρα 32.1°C . Επιπρόσθετα, βρέθηκε ότι ακόμη και κατά τη διάρκεια υψηλής δραστηριότητας (2^η φάση) σε ένα μέτρια θερμό περιβάλλον (18/7), η T_{arm} (T_{sk}) δεν

προσεγγίζει τις αντίστοιχες τιμές που διαμορφώνονται κατά τη διάρκεια ανάπαυσης υπό σκιά σε ένα πολύ θερμό περιβάλλον (15/7).



ΣΧΗΜΑ 5.5. Η μέση θερμοκρασία δέρματος (T_{sk}) για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας για τις α) 15/7, β) 18/7, γ) 21/7, δ) 22/7 και ε) 23/7.

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων κατά τη διάρκεια της διαδρομής (2^η φάση), υποδεικνύεται συνολικά μια περαιτέρω αύξηση της T_{arm} (T_{sk}) η οποία είναι

αποτέλεσμα της υψηλής δραστηριότητας καθώς και της έκθεσης στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία. Η παρατηρούμενη μεταβολή για την T_{arm} κυμαίνεται κυρίως από 0.7°C έως 2.5°C ενώ για την T_{sk} μεταξύ 0.5°C και 1.8°C . Επίσης, πρέπει να σημειωθεί ότι λόγω της προσαρμογής όπου προηγήθηκε δεν παρατηρείται απότομη αύξηση της T_{arm} (T_{sk}) στα πρώτα λεπτά της διαδρομής όπως είχε παρατηρηθεί στο προηγούμενο κεφάλαιο, όπου η ομάδα μελέτης δεν είχε προσαρμοστεί (Σχήμα 4.3).

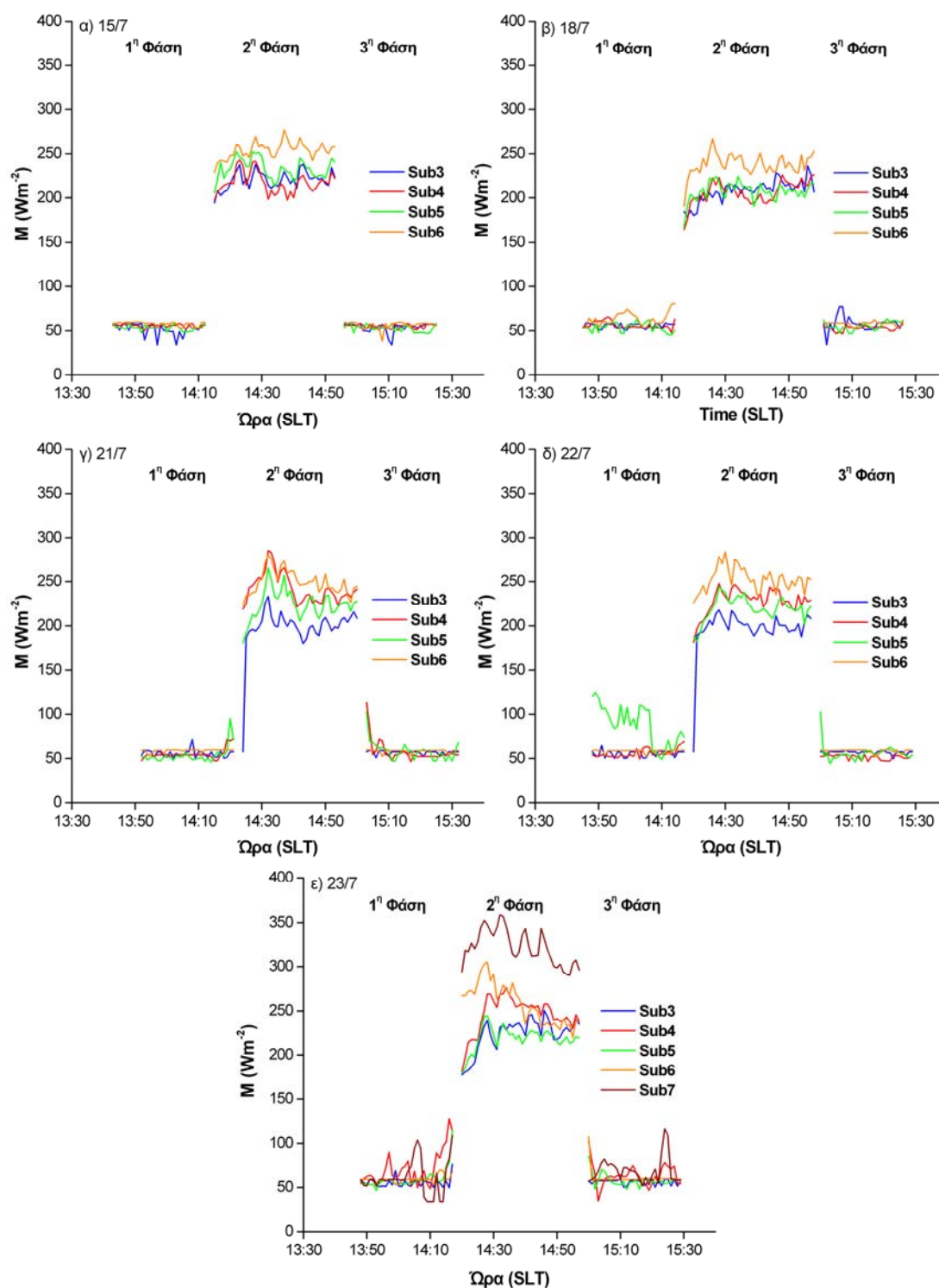
Επίσης, τα αποτελέσματα κατά την 3^η φάση της πειραματικής διαδικασίας υποδεικνύουν πτωτική πορεία της T_{arm} (T_{sk}), με την υψηλότερη βαθμίδα να παρατηρείται τα πρώτα 10 min, κάθε πειραματική ημέρα. Η παρατηρούμενη μεταβολή για την T_{arm} κυμαίνεται από 0.1°C έως 1.7°C ενώ για την T_{sk} μεταξύ 0.1°C και 1.2°C . Σε αντιστοιχία με την 1^η φάση, η χρονική εξέλιξη της T_{arm} (T_{sk}) εξαρτάται από τα θερμοκρασιακά επίπεδα όπου διαμορφώθηκε στο τέλος της διαδρομής καθώς και από το ατμοσφαιρικό περιβάλλον. Επιπρόσθετα, βρέθηκε ότι μετά από παραμονή 30 min στη σκιά του δένδρου, κατά την 3^η φάση, η T_{arm} (T_{sk}) προσεγγίζει την τιμή που διαμορφώθηκε κατά την ολοκλήρωση της 1^{ης} φάσης, με τη διαφορά για την T_{sk} να κυμαίνεται από -0.1°C έως 0.9°C και για την T_{arm} από -0.1°C έως 1.3°C .

Η συνολική σύγκριση των τιμών της T_{arm} (T_{sk}) μεταξύ των ατόμων, υποδεικνύει υψηλότερα επίπεδα τιμών για τους άνδρες Sub3 και Sub7, ενώ τα χαμηλότερα επίπεδα τιμών βρέθηκαν για τον άνδρα Sub6. Αντίθετα, φαίνεται ότι τα επίπεδα τιμών της T_{arm} (T_{sk}) για τις γυναίκες Sub4 και Sub5 κυμαίνονται μεταξύ των τιμών του Sub3 και του Sub6.

5.5.2 Παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό

Στο Σχήμα 5.6 απεικονίζεται η πορεία της παραγωγής θερμότητας από το μεταβολισμό (M), χαρακτηρίζοντας το επίπεδο δραστηριότητας σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης.

Κατά τη διάρκεια της 1^{ης} και 3^{ης} φάσης της πειραματικής διαδικασίας η μέση παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό κυμαίνεται από 52.0 Wm^{-2} έως 63.5 Wm^{-2} για την ομάδα μελέτης, χαρακτηρίζοντας τη δραστηριότητα ως καθιστική σύμφωνα με το Πίνακα 4.2 κατά ISO 8996 (2001). Εξαίρεση αποτελούν τα άτομα Sub5 και Sub4 κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης στις 22/7 και 23/7, με μέση παραγωγή θερμότητας στα 87.7 Wm^{-2} και 70.9 Wm^{-2} , αντίστοιχα, καθώς και το Sub7 κατά τη διάρκεια της 3^{ης} φάσης στις 23/7 με 69.1 Wm^{-2} , χαρακτηρίζοντας τη δραστηριότητα ως ήπια.



ΣΧΗΜΑ 5.6. Η παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό (M) για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας για τις α) 15/7, β) 18/7, γ) 21/7, δ) 22/7 και ε) 23/7.

Κατά μήκος της διαδρομής (2^η φάση), το υψηλότερο επίπεδο δραστηριότητας υποδεικνύει υψηλότερη παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό για την ομάδα μελέτης σε σύγκριση με τις αντίστοιχες τιμές που διαμορφώθηκαν κατά τη διάρκεια της ανάπαυσης στη 1^η και 3^η φάση. Συγκεκριμένα, βρέθηκε τετραπλάσια μέση

παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό κατά μήκος της διαδρομής σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές στις φάσεις της ανάπαυσης (Katavoutas et al. 2010). Κάθε πειραματική ημέρα, στα πρώτα 10 min της διαδρομής παρατηρείται μια σταδιακή αύξηση της M , ενώ η ανά λεπτό μεταβολή της εξαρτάται από την ταχύτητα κίνησης, από τις κλίσεις του εδάφους καθώς και από τη διαδοχή των κατά μήκος κλίσεων.

Συγκεκριμένα, βρέθηκε ότι η μέση παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό κυμάνθηκε για το Sub3 μεταξύ 197.1 έως 223.9 Wm^{-2} , για το Sub4 από 206.3 έως 245.8 Wm^{-2} , για το Sub5 μεταξύ 207.4 έως 232.8 Wm^{-2} , για το Sub6 από 238.1 έως 258.2 Wm^{-2} και για το Sub7 στα 321.7 Wm^{-2} , για τη 2^η φάση ολόκληρης της πειραματικής περιόδου. Η συνολική σύγκριση των τιμών της M μεταξύ των ατόμων, υποδεικνύει τα υψηλότερα επίπεδα για τους άνδρες, Sub6 και Sub7, ενώ τα χαμηλότερα επίπεδα διαμορφώθηκαν για τον άνδρα Sub3.

Η συνολική χρονική εξέλιξη της M εμφανίζει παρόμοια πορεία, παρόλα αυτά εντοπίζονται αποκλίσεις ανά λεπτό μεταξύ των ατόμων, η οποίες σχετίζονται με ένα σύνολο παραμέτρων όπως η στάση του σώματος, η ηλικία, το φύλο, το βάρος και το ύψος.

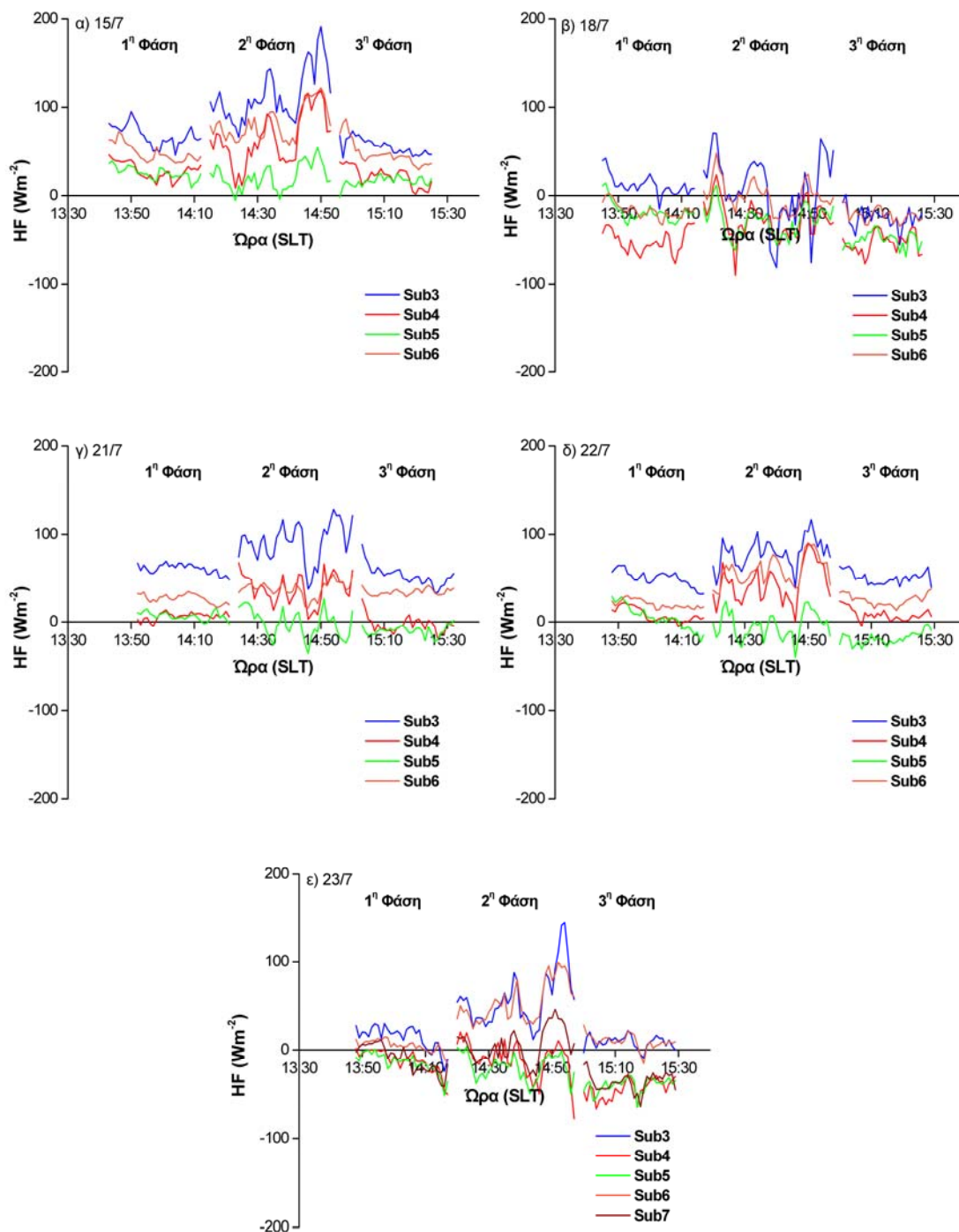
5.5.3 Ροή θερμότητας

Στο Σχήμα 5.7 απεικονίζεται η ροή θερμότητας (HF) για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης κάθε πειραματική ημέρα.

Σε ένα πολύ θερμό περιβάλλον όπως αυτό στις 15/7, με μέση θερμοκρασία αέρα 37.5 °C, όλα τα άτομα υφίστανται πλεόνασμα θερμότητας σε κάθε χρονικό βήμα ολόκληρης της πειραματικής διαδικασίας (Σχήμα 5.7α). Επιπλέον, κατά τη διάρκεια της διαδρομής παρατηρείται υψηλότερο πλεόνασμα θερμότητας σε σύγκριση με τις φάσεις παραμονής στη σκιά του δένδρου για όλα τα άτομα, με εξαίρεση το Sub5 του οποίου τα επίπεδα τιμών δεν διαφοροποιούνται σημαντικά. Αυτό το χρονικό διάστημα το υψηλότερο μέσο πλεόνασμα βρέθηκε για το Sub3 με $113.9 \pm 30.1 \text{ Wm}^{-2}$ ενώ το χαμηλότερο για το Sub5 με $21.1 \pm 14.5 \text{ Wm}^{-2}$.

Με τη πτώση της θερμοκρασίας του αέρα ανά πειραματική ημέρα παρατηρείται ελάττωση του πλεονάσματος θερμότητας και σταδιακή εμφάνιση απώλειας θερμότητας για την ομάδα μελέτης (Σχήματα 5.7 γ, δ, ε). Στις 21/7 (Σχήμα 5.7γ) και 22/7 (Σχήμα 5.7δ) μόνο το Sub5 και οριακά το Sub4 εμφανίζουν χρονικά διαστήματα με απώλεια θερμότητας κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας.

Αντιθέτως, στις 23/7 όλα τα άτομα με εξαίρεση το Sub3 και το Sub6 διαμορφώνουν απώλεια θερμότητας στο μεγαλύτερο διάστημα της διαδικασίας (Σχήμα 5.7ε).



ΣΧΗΜΑ 5.7. Η ροή θερμότητας (HF) για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας για τις α) 15/7, β) 18/7, γ) 21/7, δ) 22/7 και ε) 23/7.

Σε ένα μέτρια θερμό περιβάλλον όπως αυτό στις 18/7 με μέση θερμοκρασία αέρα 32.1 °C, παρατηρείται κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης απώλεια θερμότητας για όλα τα άτομα με εξαίρεση το Sub3 (Σχήμα 5.7β). Κατά μήκος της διαδρομής διαπιστώνεται εναλλαγή πλεονάσματος και απώλειας θερμότητας για τους άνδρες

(Sub3, Sub6) και απώλεια θερμότητας για τις γυναίκες (Sub4, Sub5). Τέλος, κατά τη διάρκεια της 3^{ης} φάσης όλα τα άτομα υφίστανται απώλεια θερμότητας.

5.5.4 Γαλβανική αντίδραση δέρματος

Στο Σχήμα 5.8 παρουσιάζεται η γαλβανική αντίδραση του δέρματος (*GSR*) η οποία αντιπροσωπεύει την περιεκτικότητα νερού στο δέρμα λόγω εφίδρωσης καθώς και τη διαστολή και συστολή των περιφερειακών αγγείων.

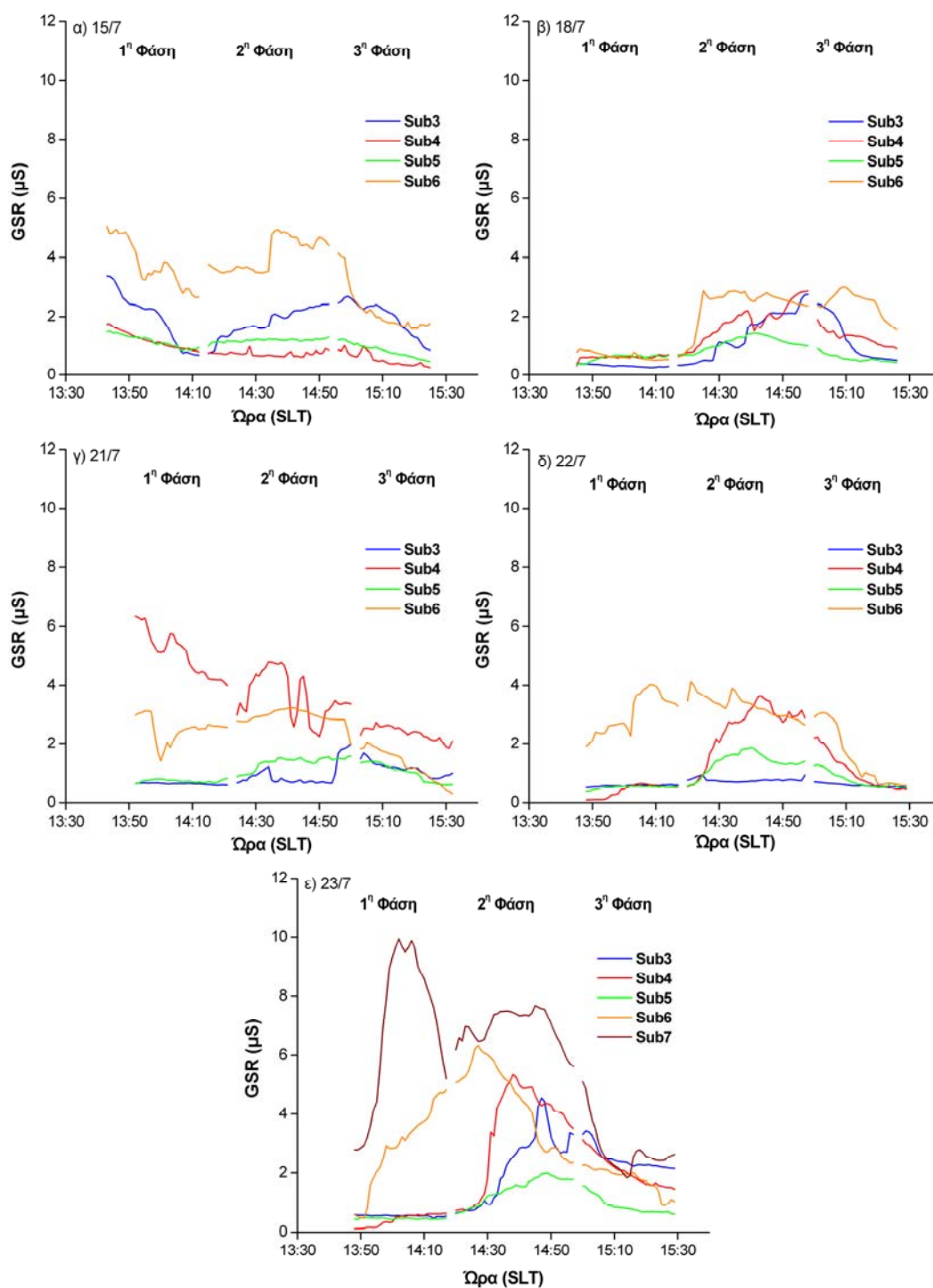
Στις 15/7, ημέρα με μέση θερμοκρασία αέρα 37.5 °C, κατά την παραμονή της ομάδας μελέτης στη σκιά του δένδρου (1^η φάση) παρατηρείται πτωτική πορεία της *GSR* για όλα τα άτομα (Σχήμα 5.8α). Αυτό το χρονικό διάστημα, η υψηλότερη τιμή της *GSR* καταγράφεται το 1 min με 3.4 μ S για το Sub3, με 1.8 μ S για το Sub4, με 1.5 μ S για το Sub5 και με 5.1 μ S για το Sub6. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει την προηγούμενη υψηλή θερμική κατάσταση του σώματος.

Αντιθέτως, σε ένα μέτρια θερμό περιβάλλον όπως αυτό στις 18/7, η *GSR* διαμορφώνεται σε χαμηλά επίπεδα τιμών χωρίς σημαντικές διακυμάνσεις στο διάστημα των 30 min παραμονής στη σκιά του δένδρου (1^η φάση) (Σχήμα 5.8β). Έτσι, η μέση *GSR* βρέθηκε στα 0.3 $\pm$ 0.1 μ S για το Sub3, στα 0.6 $\pm$ 0.1 μ S για τα Sub4 και Sub5 και στα 0.7 $\pm$ 0.1 μ S για το Sub7.

Κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης τις ημέρες με ενδιάμεση θερμοκρασία αέρα, η χρονική εξέλιξη της *GSR* διαφοροποιείται μεταξύ των ατόμων. Έτσι, στις 21/7 ημέρα με μέση θερμοκρασία αέρα 36.4 °C, η *GSR* κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα τιμών χωρίς σημαντικές διακυμάνσεις για τα Sub3 και Sub5. Αντιθέτως, υψηλά επίπεδα τιμών διαμορφώνονται για τα Sub4 και Sub6. Η πτωτική πορεία της *GSR* για το Sub4 οφείλεται στις ιδιαίτερα υψηλές τιμές που έχουν ήδη διαμορφωθεί από το 1 min της διαδικασίας. Στις 22/7 και 23/7, ημέρες με μέση θερμοκρασία αέρα 35.8 °C και 34.1 °C, αντίστοιχα, η *GSR* διαμορφώνεται σε χαμηλά επίπεδα τιμών για όλα τα άτομα με εξαίρεση το Sub6 και το Sub7. Η ιδιαίτερα υψηλές τιμές καθώς και η έντονη κύμανση της *GSR* για τον άνδρα Sub7 στις 23/7 ίσως να οφείλονται στη λήψη φαρμακευτικής αγωγής το προηγούμενο χρονικό διάστημα για το οποίο και είχε εξαιρεθεί από την πειραματική διαδικασία όπως ήδη έχουμε αναφέρει.

Η χρονική εξέλιξη της *GSR* κατά μήκος της διαδρομής (2^η φάση) διαφοροποιείται μεταξύ των ατόμων ενώ εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την περιεκτικότητα νερού στο δέρμα το αμέσως προηγούμενο χρονικό διάστημα. Συγκεκριμένα, όταν κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης η *GSR* κυμαίνεται σε χαμηλά

επίπεδα τιμών τότε κατά μήκος της διαδρομής ακολουθεί αυξητική πορεία, με τη βαθμίδα να διαφοροποιείται μεταξύ των ατόμων. Αντιθέτως, όταν τα επίπεδα τιμών της *GSR* είναι υψηλά κατά την παραμονή της ομάδας στη σκιά του δένδρου τότε κατά μήκος της διαδρομής δεν ακολουθεί αυξητική πορεία αλλά κυμαίνεται σε αντίστοιχα επίπεδα τιμών.



ΣΧΗΜΑ 5.8. Η γαλβανική αντίδραση του δέρματος (*GSR*) για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας για τις α) 15/7, β) 18/7, γ) 21/7, δ) 22/7 και ε) 23/7.

Τέλος, κατά τη διάρκεια της 3^{ης} φάσης κάθε πειραματική ημέρα παρατηρείται πτωτική πορεία της *GSR* για όλα τα άτομα, με τη βαθμίδα να διαφοροποιείται μεταξύ τους.

Η γαλβανική αντίδραση του δέρματος ως ένας ευαίσθητος δείκτης της περιεκτικότητας νερού στο δέρμα λόγω εφίδρωσης καθώς και της διαστολής και συστολής των περιφερειακών αγγείων διαφοροποιείται μεταξύ των ατόμων υποδεικνύοντας τη διαφορετική αντίδραση του κάθε οργανισμού στα ερεθίσματα από το ατμοσφαιρικό περιβάλλον.

5.6 Ροές θερμότητας από και προς το ανθρώπινο σώμα

Στις προηγούμενες παραγράφους μελετήθηκε η θερμική κατάσταση του ανθρώπινου σώματος κατά τη διάρκεια κάθε φάσης της πειραματικής διαδικασίας για διαφορετικές συνθήκες ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος. Με στόχο τη συγκριτική μελέτη των δυναμικών αλληλεπιδράσεων του ανθρώπου για διαφορετικές συνθήκες ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος, για διαφορετικά επίπεδα δραστηριότητας, για διαφορετικά πεδία ακτινοβολίας καθώς και μεταξύ ατόμων διαφορετικού φύλου, στην παράγραφο αυτή, θα διερευνηθεί η ανά λεπτό χρονική εξέλιξη των ροών θερμότητας από και προς το ανθρώπινο σώμα κατά τη διάρκεια κάθε φάσης της πειραματικής διαδικασίας.

5.6.1 Τυρβώδης ανταλλαγή αισθητής θερμότητας

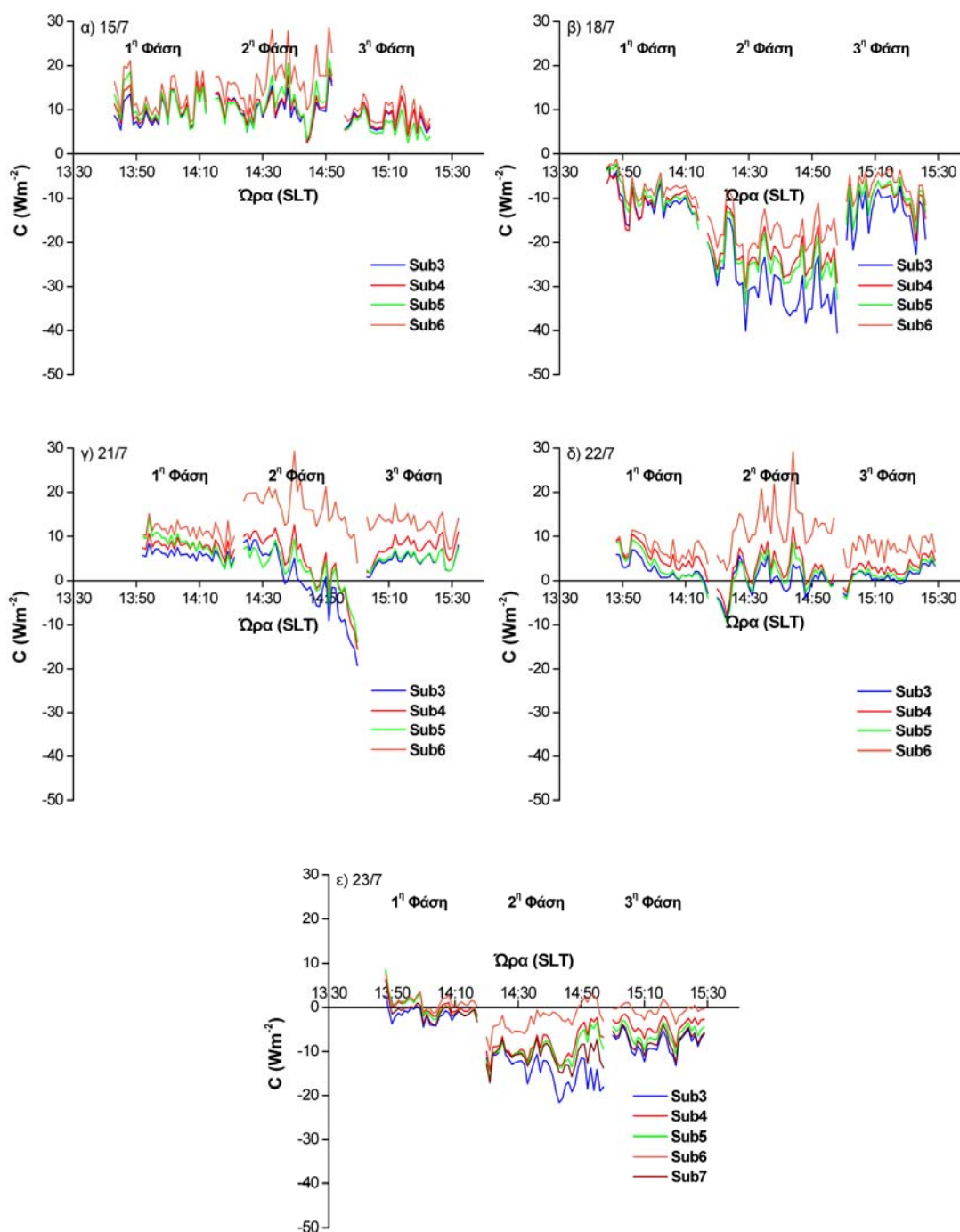
Στο Σχήμα 5.9 απεικονίζεται η ανά λεπτό χρονική εξέλιξη της τυρβώδους ανταλλαγής αισθητής θερμότητας (*C*) για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης κατά τη διάρκεια κάθε φάσης της πειραματικής διαδικασίας για την εξεταζόμενη περίοδο.

Στις 15/7, την πιο θερμή πειραματική ημέρα με μέση θερμοκρασία αέρα 37.5 °C, παρατηρείται ένα πλεόνασμα θερμότητας μέσω της *C* για όλα τα άτομα σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας (Σχήμα 5.9α). Το αποτέλεσμα αυτό σχετίζεται με την υψηλότερη θερμοκρασία αέρα σε σύγκριση με την, υψηλή μεν αλλά σε χαμηλότερα επίπεδα τιμών μέση θερμοκρασία δέρματος που διαμορφώνεται σε κάθε χρονικό βήμα. Αρχικά, κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης το υψηλότερο μέσο πλεόνασμα διαμορφώθηκε για το Sub6 με $13.1 \pm 4.1 \text{ Wm}^{-2}$ ενώ το χαμηλότερο παρατηρήθηκε για το Sub3 με $9.6 \pm 3.1 \text{ Wm}^{-2}$. Στη συνέχεια κατά μήκος της διαδρομής (2^η φάση) το πλεόνασμα θερμότητας της *C* διαμορφώθηκε σε ελαφρώς υψηλότερα επίπεδα τιμών για όλα τα άτομα. Συγκεκριμένα, το μέσο πλεόνασμα

βρέθηκε στα $10.5 \pm 3.4 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub3, στα $11.2 \pm 3.5 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub4, στα $11.7 \pm 4.1 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub5 και στα $17.3 \pm 5.0 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub6. Τέλος, κατά την παραμονή της ομάδας μελέτης στη σκιά του δένδρου για επιπλέον 30 min (3^η φάση) διαμορφώθηκαν ελαφρώς χαμηλότερα επίπεδα τιμών σε σύγκριση με τις αντίστοιχες τιμές κατά την 1^η φάση, με το υψηλότερο μέσο πλεόνασμα θερμότητας να καταγράφεται για το Sub6 με $9.3 \pm 2.7 \text{ Wm}^{-2}$ και το χαμηλότερο για το Sub5 με $6.0 \pm 2.1 \text{ Wm}^{-2}$.

Αντιθέτως, στις 18/7, την ημέρα με τη χαμηλότερη μέση θερμοκρασία αέρα της εξεταζόμενης πειραματικής περιόδου με $32.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$, βρέθηκε μια απώλεια θερμότητας μέσω της *C* για την ομάδα μελέτης σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας (Σχήμα 5.9β). Συγκεκριμένα, κατά τη διάρκεια της 1^{ης} και 3^{ης} φάσης η μέση απώλεια θερμότητας καταγράφεται στα επίπεδα των -10 Wm^{-2} , ενώ κατά μήκος της διαδρομής η μέση απώλεια διπλασιάζεται για όλα τα άτομα, με τη μέση τιμή να διαμορφώνεται στα $-29.7 \pm 6.3 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub3, στα $-22.8 \pm 4.4 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub4, στα $-24.6 \pm 4.6 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub5 και στα $-17.9 \pm 4.1 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub6.

Η πειραματική διαδικασία στις 21/7, ημέρα με μέση θερμοκρασία αέρα $36.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$, καταδεικνύει για την 1^η φάση ένα πλεόνασμα θερμότητας μέσω της *C* για όλα τα άτομα (Σχήμα 5.9γ). Το γεγονός αυτό είναι αποτέλεσμα της χαμηλότερης μέσης θερμοκρασίας δέρματος που διαμορφώθηκε κατά την παραμονή στη σκιά του δένδρου σε σύγκριση με την αντίστοιχη τιμή της θερμοκρασίας του αέρα. Συγκεκριμένα, το μέσο πλεόνασμα διαμορφώθηκε στα $5.8 \pm 1.2 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub3, στα $7.7 \pm 1.4 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub4, στα $8.0 \pm 2.5 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub5 και στα $11.2 \pm 1.9 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub6. Κατά μήκος της διαδρομής (2^η φάση) παρατηρείται μια πτωτική πορεία της *C*, ιδιαίτερα τα τελευταία 10 min, για όλα τα άτομα. Το αποτέλεσμα αυτό σχετίζεται με την αυξητική πορεία της μέσης θερμοκρασίας δέρματος για την ομάδα μελέτης κατά μήκος της διαδρομής καθώς και με την πτώση της θερμοκρασίας του αέρα που παρατηρείται τα τελευταία λεπτά. Τα παραπάνω διαμορφώνουν για τα Sub3, Sub4 και Sub5 ένα πλεόνασμα θερμότητας τα πρώτα 27 min και μια απώλεια θερμότητας στη συνέχεια, ενώ για το Sub6 βρέθηκε ένα πλεόνασμα θερμότητας καθ' όλη τη διάρκεια της διαδρομής. Τέλος, κατά την παραμονή στη σκιά του δένδρου (3^η φάση) η ομάδα μελέτης διαμορφώνει ένα πλεόνασμα θερμότητας μέσω της *C*, με την μέση τιμή να είναι στα $4.5 \pm 1.7 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub3, στα $7.3 \pm 2.3 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub4, στα $4.9 \pm 1.5 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub5 και στα $12.9 \pm 2.2 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub6.



ΣΧΗΜΑ 5.9. Η τυρβώδης ανταλλαγή αισθητής θερμότητας (C) για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας για τις α) 15/7, β) 18/7, γ) 21/7, δ) 22/7 και ε) 23/7.

Στο Σχήμα 5.9δ, το οποίο παρουσιάζει τη χρονική εξέλιξη της C στις 22/7, ημέρα με μέση θερμοκρασία αέρα 35.8°C , φαίνεται να διαμορφώνεται συνολικά ένα πλεόνασμα θερμότητας κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης για την ομάδα μελέτης. Η πτωτική πορεία της C σχετίζεται με την αντίστοιχη αύξηση της μέσης θερμοκρασίας δέρματος καθώς και με την πτώση της θερμοκρασίας του αέρα κατά την παραμονή της ομάδας στη σκιά του δένδρου, με αποτέλεσμα να παρατηρείται τα τελευταία 2

min μια απώλεια θερμότητας για τα Sub3 και Sub5. Συγκεκριμένα, το μέσο πλεόνασμα κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης διαμορφώθηκε στα $2.4 \pm 2.3 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub3, στα $5.4 \pm 2.6 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub4, στα $3.4 \pm 3.3 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub5 και στα $7.4 \pm 2.3 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub6. Κατά μήκος της διαδρομής (2^η φάση) το Sub6 διαμορφώνει ένα πλεόνασμα θερμότητας κάθε χρονική στιγμή, γεγονός το οποίο σχετίζεται με τη χαμηλή μέση θερμοκρασία δέρματος σε σύγκριση με την αντίστοιχη θερμοκρασία του αέρα. Σε αντίθεση, τα πρώτα 5 min της διαδρομής βρέθηκε μια απώλεια θερμότητας για τα Sub3, Sub4 και Sub5, ενώ στη συνέχεια διαμορφώνεται κυρίως ένα πλεόνασμα θερμότητας με χρονικά διαστήματα όπου παρατηρείται και απώλεια θερμότητας. Τέλος, κατά τη διάρκεια της 3^{ης} φάσης το συνολικό πλεόνασμα θερμότητας το οποίο διαμορφώνεται ακολουθεί αυξητική πορεία με το χρόνο, λόγω της αντίστοιχης πτώσης της T_{sk} , ενώ η μέση τιμή διαμορφώνεται στα $1.0 \pm 1.8 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub3, στα $2.8 \pm 2.1 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub4, στα $1.6 \pm 2.1 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub5 και στα $7.5 \pm 2.1 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub6.

Την τελευταία ημέρα της πειραματικής περιόδου, στις 23/7, ημέρα με μέση θερμοκρασία αέρα $34.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$, παρατηρείται κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης εναλλαγή πλεονάσματος και απώλειας θερμότητας μέσω της C για όλα τα άτομα της ομάδας μελέτης (Σχήμα 5.9ε). Συγκεκριμένα, διαμορφώνεται μια μέση απώλεια θερμότητας για το Sub3 και το Sub7 με $-1.7 \pm 1.5 \text{ Wm}^{-2}$ και $-0.9 \pm 2.0 \text{ Wm}^{-2}$, αντίστοιχα, ενώ βρέθηκε ένα μέσο πλεόνασμα θερμότητας στα $0.4 \pm 2.0 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub4, στα $0.1 \pm 2.4 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub5 και στα $1.3 \pm 1.7 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub6. Κατά τη διάρκεια της 2^{ης} φάσης παρατηρείται μια απώλεια θερμότητας για όλα τα άτομα, με εξαίρεση το Sub6, το οποίο διαμορφώνει ένα πλεόνασμα θερμότητας τα τελευταία λεπτά της διαδρομής. Έτσι, η μέση απώλεια θερμότητας κατά μήκος της διαδρομής βρέθηκε στα $-14.5 \pm 3.5 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub3, στα $-8.6 \pm 3.0 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub4, στα $-9.7 \pm 2.9 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub5, στα $-2.7 \pm 2.8 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub6 και στα $-11.1 \pm 2.5 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub7. Αυτό το χρονικό διάστημα, λόγω της υψηλής δραστηριότητας και της έκθεσης στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία, η μέση θερμοκρασία δέρματος διαμορφώθηκε σε υψηλότερα επίπεδα τιμών σε σύγκριση με τη θερμοκρασία του αέρα με αποτέλεσμα όλα τα άτομα να βιώνουν μια απώλεια θερμότητας μέσω της C . Τέλος, με την ολοκλήρωση της διαδρομής και την έναρξη της 3^{ης} φάσης διαμορφώνεται μια απώλεια θερμότητας για όλα τα άτομα, με εξαίρεση το Sub6 για το οποίο παρατηρείται μια εναλλαγή πλεονάσματος και απώλειας θερμότητας. Σε αυτή τη φάση λόγω της σταδιακής πτώσης της μέσης θερμοκρασίας δέρματος η απώλεια

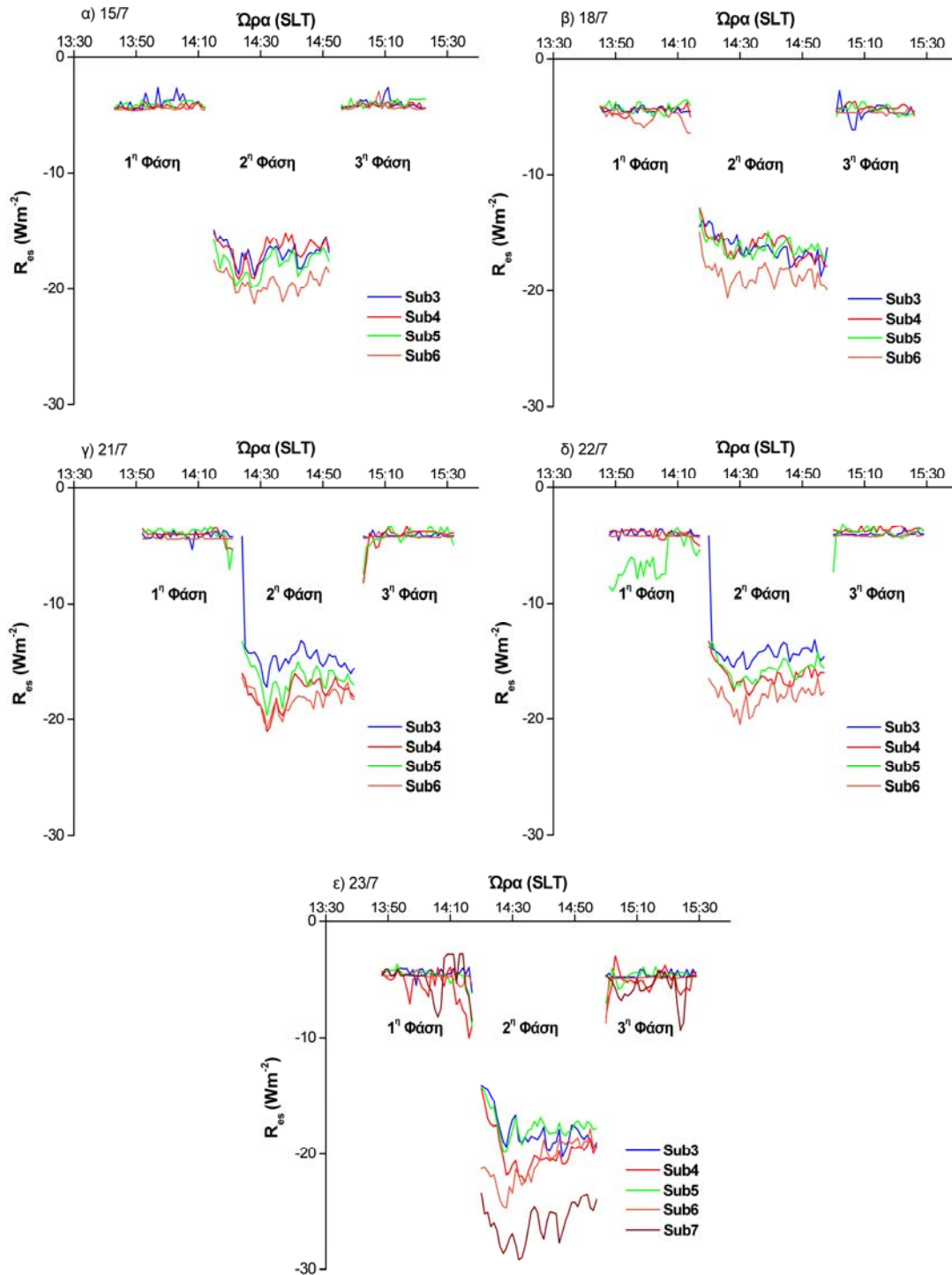
θερμότητας κυμάνθηκε σε χαμηλότερα επίπεδα τιμών συγκρινόμενη με την αντίστοιχη απώλεια κατά μήκος της διαδρομής. Συγκεκριμένα, η μέση απώλεια θερμότητας μέσω της C διαμορφώθηκε στα $-8.1 \pm 2.2 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub3, στα $-4.2 \pm 1.7 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub4, στα $-6.0 \pm 1.8 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub5, στα $-0.6 \pm 1.2 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub6 και στα $-7.3 \pm 2.0 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub7.

Τα παραπάνω αποτελέσματα υποδεικνύουν ένα πλεόνασμα θερμότητας μέσω της τυρβώδους ανταλλαγής αισθητής θερμότητας για όλα τα άτομα την πολύ θερμή ημέρα (15/7) ενώ αντίθετα απώλεια θερμότητας καταγράφεται τη μέτρια θερμή ημέρα (18/7) σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας. Το αποτέλεσμα αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα επίπεδα τιμών της θερμοκρασίας του αέρα είναι υψηλότερα από τις αντίστοιχες τιμές της μέσης θερμοκρασίας δέρματος, υποδεικνύοντας θετικό πρόσημο στις 15/7. Αντιθέτως, τα υψηλότερα επίπεδα τιμών της μέσης θερμοκρασίας δέρματος συγκρινόμενα με τη θερμοκρασία του αέρα υποδεικνύουν αρνητικό πρόσημο τη μέτρια θερμή ημέρα (18/7) (Katavoutas et al. 2010). Στα ενδιάμεσα θερμοκρασιακά επίπεδα, αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα συνοδεύεται από πλεόνασμα θερμότητας, μέσω της τυρβώδους ανταλλαγής αισθητής θερμότητας, ενώ μείωση της θερμοκρασίας του αέρα από απώλεια. Επιπρόσθετα, η υψηλότερη ανταλλαγή θερμότητας μέσω της C παρατηρείται κυρίως κατά τη διάρκεια της 2^{ης} φάσης, αποτέλεσμα το οποίο σχετίζεται με την υψηλότερη μέση θερμοκρασία δέρματος όπου διαμορφώνεται κατά μήκος της διαδρομής καθώς και από την ταχύτητα κίνησης της ομάδας μελέτης. Παράλληλα, όπου καταγράφονται υψηλότερα επίπεδα τιμών της ταχύτητας του ανέμου παρατηρούνται υψηλότερες ανταλλαγές θερμότητας μέσω της C ανεξάρτητα φάσης.

Η τυρβώδης ανταλλαγή αισθητής θερμότητας, σε κάθε χρονική στιγμή, διαφοροποιείται από άτομο σε άτομο λόγω της διαφορετικής μέσης θερμοκρασίας δέρματος του καθενός. Στις περιπτώσεις που παρατηρείται απώλεια θερμότητας μέσω της C , το άτομο με την υψηλότερη T_{sk} υφίσταται την υψηλότερη απώλεια, ενώ στις περιπτώσεις με πλεόνασμα θερμότητας το άτομο με την υψηλότερη T_{sk} παρουσιάζει το χαμηλότερο πλεόνασμα.

5.6.2 Απώλεια θερμότητας μέσω αναπνοής

Στο Σχήμα 5.10 παρουσιάζεται η χρονική εξέλιξη της απώλειας θερμότητας μέσω της αναπνοής (R_{es}) για την ομάδα μελέτης κάθε πειραματική ημέρα.



ΣΧΗΜΑ 5.10. Η απώλεια θερμότητας μέσω αναπνοής (R_{es}) για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας για τις α) 15/7, β) 18/7, γ) 21/7, δ) 22/7 και ε) 23/7.

Σε όλες τις περιπτώσεις παρατηρήθηκε μέση απώλεια θερμότητας μεταξύ $-4.0 Wm^{-2}$ και $-6.0 Wm^{-2}$ κατά τη διάρκεια της ανάπαυσης υπό σκιά (1^η & 3^η φάση). Αντιθέτως, κατά τη διάρκεια της διαδρομής (2^η φάση) βρέθηκε τετραπλάσια μέση απώλεια θερμότητας από ότι στις φάσεις 1 και 3 για όλα τα άτομα ως αποτέλεσμα της

υψηλής δραστηριότητας (Katavoutas et al. 2010). Έτσι, η μέση απώλεια μέσω της R_{es} κυμάνθηκε για το Sub3 μεταξύ -14.1 έως -18.0 Wm^{-2} , για το Sub4 από -16.1 έως -19.8 Wm^{-2} , για το Sub5 μεταξύ -15.7 έως -17.8 Wm^{-2} , για το Sub6 από -18.1 έως -20.8 Wm^{-2} και για το Sub7 στα -25.9 Wm^{-2} , για τη 2^η φάση ολόκληρης της πειραματικής περιόδου.

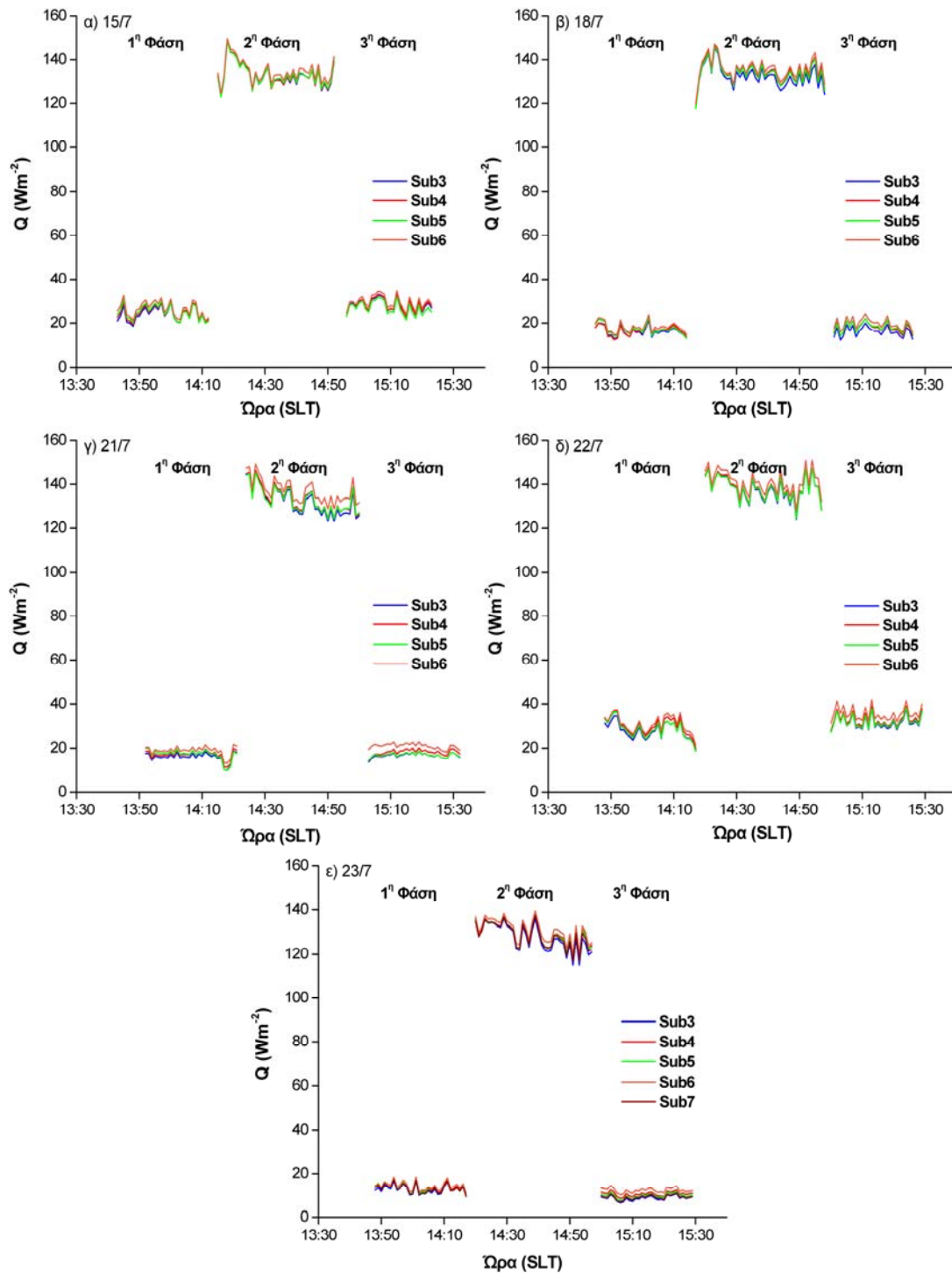
Τα παραπάνω υποδεικνύουν ότι η απώλεια θερμότητας μέσω της αναπνοής εξαρτάται κατά κύριο λόγο από το επίπεδο δραστηριότητας και κατ' επέκταση από την παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό και δευτερεύοντος από τις μεταβολές της θερμοκρασίας του αέρα, της σχετικής υγρασίας και της ατμοσφαιρικής πίεσης, μιας και δεν παρατηρούνται σημαντικές διακυμάνσεις της απώλειας θερμότητας στις μεταβολές αυτές.

Η απώλεια θερμότητας μέσω της R_{es} διαφοροποιείται από άτομο σε άτομο, ιδιαίτερα κατά μήκος της διαδρομής, με τα υψηλότερα επίπεδα απώλειας να παρατηρούνται για τους άνδρες, Sub6 και Sub7, ενώ τα χαμηλότερα βρέθηκαν για τον άνδρα Sub3, κατά αντιστοιχία με την παράγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό.

5.6.3 Ισοζύγιο ακτινοβολιών στον άνθρωπο

Το ισοζύγιο ακτινοβολιών στον άνθρωπο (Q) μέσω της απορροφούμενης και της μεγάλου μήκους κύματος ροή ακτινοβολίας απεικονίζεται στο Σχήμα 5.11 για κάθε πειραματική ημέρα. Βρέθηκε ότι όλα τα άτομα υφίστανται ένα πλεόνασμα θερμότητας κατά τη διάρκεια των φάσεων σε κάθε ατμοσφαιρικό περιβάλλον. Οι αποκλίσεις στο ισοζύγιο ακτινοβολιών μεταξύ των ατόμων απορρέει αποκλειστικά από τη ροή μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας, ενώ η μικρή διακύμανση οφείλεται στην ίδια απορροφούμενη ηλιακή ακτινοβολία από άτομο σε άτομο σε κάθε χρονικό βήμα, λόγω της ανεξαρτησίας της από τη μέση θερμοκρασία δέρματος και την παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό μιας και η αντίσταση της συνολικά επιλεγμένης ενδυμασίας είναι ίδια για την ομάδα μελέτης, όπως ήδη έχουμε αναφέρει στη παράγραφο 4.6.4.

Κατά τη διάρκεια της διαδρομής (2^η φάση) παρατηρείται υψηλότερο πλεόνασμα θερμότητας μέσω της Q σε σύγκριση με τις αντίστοιχες τιμές που διαμορφώνονται κατά τη παραμονή της ομάδας μελέτης στη σκιά του δένδρου (1^η & 3^η φάση). Το γεγονός αυτό σχετίζεται με την υψηλότερη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας κατά μήκος της διαδρομής, λόγω της έκθεσης των ατόμων στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία (Katavoutas et al. 2010).



ΣΧΗΜΑ 5.11. Το ισοζύγιο ακτινοβολίας (Q) για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας για τις α) 15/7, β) 18/7, γ) 21/7, δ) 22/7 και ε) 23/7.

Στις 15/7, την πιο θερμή πειραματική ημέρα με μέση θερμοκρασία αέρα $37.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Σχήμα 5.11α), το μέσο πλεόνασμα θερμότητας μέσω της Q υπό σκιά διαμορφώθηκε κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης στα $24.0 \pm 3.2\text{ Wm}^{-2}$ για το Sub3, στα $24.6 \pm 3.2\text{ Wm}^{-2}$ για το Sub4, στα $24.8 \pm 3.2\text{ Wm}^{-2}$ για το Sub5 και στα $26.3 \pm 3.4\text{ Wm}^{-2}$ για το Sub6, ενώ κατά τη διάρκεια της 3^{ης} φάσης στα $28.2 \pm 2.8\text{ Wm}^{-2}$ για το Sub3, στα

$28.3 \pm 2.9 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub4, στα $27.0 \pm 2.8 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub5 και στα $29.5 \pm 2.9 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub6. Κατά τη διάρκεια της διαδρομής το χαμηλότερο μέσο πλεόνασμα παρατηρείται για το Sub3 με $133.0 \pm 5.3 \text{ Wm}^{-2}$ ενώ το υψηλότερο βρέθηκε για το Sub6 με $134.9 \pm 5.1 \text{ Wm}^{-2}$.

Αντιθέτως, στις 18/7, την ημέρα με τη χαμηλότερη μέση θερμοκρασία αέρα με 32.1°C (Σχήμα 5.11β), το μέσο πλεόνασμα θερμότητας υπό σκιά κυμαίνεται σε χαμηλότερα επίπεδα τιμών σε σύγκριση με τα επίπεδα τιμών που διαμορφώθηκαν στις 15/7. Συγκεκριμένα, κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης το χαμηλότερο μέσο πλεόνασμα βρέθηκε για το Sub3 με $16.1 \pm 2.3 \text{ Wm}^{-2}$ ενώ το υψηλότερο βρέθηκε για το Sub6 με $18.1 \pm 2.4 \text{ Wm}^{-2}$. Ομοίως, κατά τη διάρκεια της 3^{ης} φάσης το χαμηλότερο μέσο πλεόνασμα βρέθηκε για το Sub3 με $16.0 \pm 2.3 \text{ Wm}^{-2}$ ενώ το υψηλότερο βρέθηκε για το Sub6 με $19.5 \pm 2.6 \text{ Wm}^{-2}$. Κατά μήκος της διαδρομής το μέσο πλεόνασμα διαμορφώθηκε σε αντίστοιχα επίπεδα τιμών για την ομάδα μελέτης με τα αποτελέσματα στις 15/7.

Στο Σχήμα 5.11γ, το οποίο παρουσιάζει το ισοζύγιο ακτινοβολίας στις 21/7, ημέρα με μέση θερμοκρασία αέρα 36.4°C , το μέσο πλεόνασμα κατά μήκος της διαδρομής βρέθηκε στα $132.1 \pm 6.4 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub3, στα $133.4 \pm 6.1 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub4, στα $132.9 \pm 5.8 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub5 και στα $137.0 \pm 5.6 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub6. Αντιθέτως, κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης το μέσο χαμηλότερο πλεόνασμα βρέθηκε για το Sub3 ενώ το μέσο υψηλότερο για το Sub6, με $16.0 \pm 2.1 \text{ Wm}^{-2}$ και $18.9 \pm 2.1 \text{ Wm}^{-2}$, αντίστοιχα. Τέλος, κατά τη διάρκεια της τελευταίας φάσης διαμορφώνονται αντίστοιχα επίπεδα τιμών με την 1^η φάση για όλα τα άτομα.

Η πειραματική διαδικασία στις 22/7, ημέρα με μέση θερμοκρασία αέρα 35.8°C , καταδεικνύει ελαφρώς υψηλότερα επίπεδα τιμών της Q για όλα τα άτομα σε σχέση με τις τιμές που διαμορφώνονται τις άλλες πειραματικές ημέρες σε κάθε φάση (Σχήμα 5.11δ). Το γεγονός αυτό σχετίζεται με τη σχετικά υψηλή μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας αλλά και με την μικρότερη απώλεια μέσω της μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας που υφίστανται όλα τα άτομα. Συγκεκριμένα, το μέσο πλεόνασμα υπό σκιά κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης κυμάνθηκε στα επίπεδα των 29.0 Wm^{-2} , ενώ κατά τη διάρκεια της 3^{ης} φάσης ελαφρώς υψηλότερα στα 32.0 Wm^{-2} για την ομάδα μελέτης. Κατά τη διάρκεια της διαδρομής το χαμηλότερο μέσο πλεόνασμα βρέθηκε για το Sub3 με $137.7 \pm 5.5 \text{ Wm}^{-2}$ ενώ το μέσο υψηλότερο για το Sub6 με $141.2 \pm 5.4 \text{ Wm}^{-2}$.

Την τελευταία πειραματική ημέρα, στις 23/7, με μέση θερμοκρασία αέρα 34.1 °C, βρέθηκε το χαμηλότερο πλεόνασμα θερμότητας για όλα τα άτομα ανά φάση σε σύγκριση με τα αποτελέσματα των άλλων πειραματικών ημερών (Σχήμα 5.11ε). Το αποτέλεσμα αυτό οφείλεται στη χαμηλή απορροφούμενη ροή ηλιακής ακτινοβολίας, λόγω της χαμηλής μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας. Συγκεκριμένα, κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης βρέθηκε ένα μέσο πλεόνασμα θερμότητας στα 12.7±2.0 Wm⁻² για το Sub3, στα 13.8±2.1 Wm⁻² για το Sub4, στα 13.6±2.2 Wm⁻² για το Sub5, στα 14.3±2.1 Wm⁻² για το Sub6 και στα 13.0±2.1 Wm⁻² για το Sub7, ενώ κατά τη διάρκεια της 3^{ης} φάσης κυμάνθηκε σε χαμηλότερα επίπεδα με 8.7±1.0 Wm⁻² για το Sub3, στα 10.6±1.0 Wm⁻² για το Sub4, στα 9.8±1.0 Wm⁻² για το Sub5, στα 12.3±1.1 Wm⁻² για το Sub6 και στα 9.1±1.0 Wm⁻² για το Sub7. Κατά μήκος της διαδρομής το χαμηλότερο μέσο πλεόνασμα διαμορφώθηκε στα 127.4±5.9 Wm⁻² για το Sub3 ενώ το υψηλότερο στα 130.7±5.1 Wm⁻² για το Sub6.

5.6.4 Τυρβώδης ανταλλαγή λανθάνουσας θερμότητας

Η τυρβώδης ανταλλαγή λανθάνουσας θερμότητας (E) μέσω της διάχυσης των υδρατμών και της εξάτμισης του ιδρώτα απεικονίζεται στο Σχήμα 5.12 για κάθε πειραματική ημέρα.

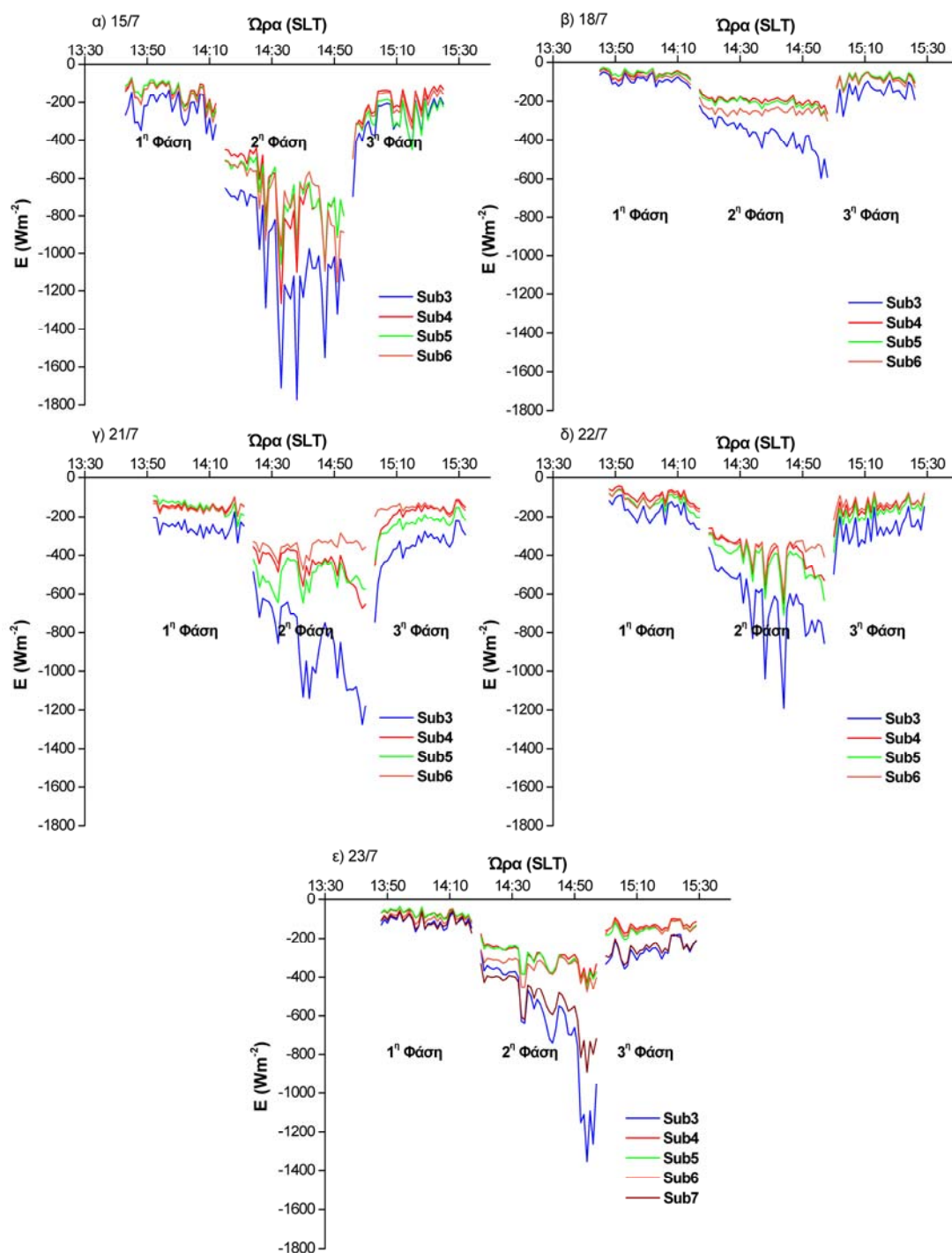
Στο πιο θερμό ατμοσφαιρικό περιβάλλον (Σχήμα 5.12α), όλα τα άτομα υφίστανται υψηλή απώλεια θερμότητας μέσω της E κατά την παραμονή τους στη σκιά του δένδρου. Το γεγονός αυτό απορρέει από την υψηλή μέση θερμοκρασία δέρματος (T_{sk}) που διαμορφώνεται για κάθε άτομο αυτό το χρονικό διάστημα. Έτσι, κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης η μέση απώλεια θερμότητας βρέθηκε στα -233.6±74.7 Wm⁻² για το Sub3, στα -147.0±48.7 Wm⁻² για το Sub4, στα -143.4±57.1 Wm⁻² για το Sub5 και στα -160.1±61.1 Wm⁻² για το Sub6. Κατά τη διάρκεια της 3^{ης} φάσης η ομάδα μελέτης υφίσταται υψηλότερη απώλεια θερμότητας από ότι κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης, ενώ παρατηρείται πτωτική πορεία με το χρόνο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η T_{sk} στην 3^η φάση κυμαίνεται σε υψηλότερα θερμοκρασιακά επίπεδα από ότι στη 1^η λόγω της έντονης δραστηριότητας που μεσολάβησε. Σε αυτό το χρονικό διάστημα η μέση απώλεια διαμορφώνεται στα -296.6±110.2 Wm⁻² για το Sub3, στα -205.4±85.0 Wm⁻² για το Sub4, στα -276.3±82.1 Wm⁻² για το Sub5 και στα -225.1±84.2 Wm⁻² για το Sub6. Κατά μήκος της διαδρομής παρατηρείται υψηλή απώλεια θερμότητας, κατά πολύ μεγαλύτερη από την αντίστοιχη της 1^{ης} και 3^{ης} φάσης, για όλα τα άτομα. Αυτό οφείλεται στην υψηλή

παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό (M), λόγω της έντονης δραστηριότητας, και στις υψηλότερες τιμές της T_{sk} . Η μέση τιμή της τυρβώδους ανταλλαγής λανθάνουσας θερμότητας για το Sub3 είναι $-1018.9 \pm 288.8 \text{ Wm}^{-2}$, για το Sub4 $-690.9 \pm 200.3 \text{ Wm}^{-2}$, για το Sub5 $-681.6 \pm 154.4 \text{ Wm}^{-2}$ και για το Sub6 $-701.1 \pm 170.3 \text{ Wm}^{-2}$.

Σε σύγκριση με τα παραπάνω, σε ένα μέτρια θερμό περιβάλλον η απώλεια θερμότητας μέσω της E κυμαίνεται σε ιδιαίτερος χαμηλότερα επίπεδα τιμών σε κάθε πειραματική φάση (Σχήμα 5.12β). Αρχικά, κατά την παραμονή της ομάδας στη σκιά του δένδρου, η χαμηλότερη μέση απώλεια βρέθηκε για το Sub5 ($-54.3 \pm 15.7 \text{ Wm}^{-2}$) και η υψηλότερη για το Sub3 ($-87.5 \pm 22.2 \text{ Wm}^{-2}$). Κατά μήκος της διαδρομής παρατηρείται μεγαλύτερη απώλεια θερμότητας από ότι στην προηγούμενη φάση, γεγονός που σχετίζεται με τη σταδιακή αύξηση της T_{sk} λόγω της έντονης δραστηριότητας. Η εντονότερη αυξητική βαθμίδα που παρατηρείται για το Sub3 ουσιαστικά οφείλεται στην αντίστοιχη απότομη αύξηση της T_{sk} . Αυτό το χρονικό διάστημα η μέση απώλεια θερμότητας βρέθηκε στα $-375.1 \pm 81.0 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub3, στα $-194.9 \pm 20.7 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub4, στα $-209.1 \pm 25.5 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub5 και στα $-249.5 \pm 19.9 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub6. Τέλος, με την επιστροφή της ομάδας μελέτης στη σκιά του δένδρου (3^η φάση) παρατηρείται μια σταδιακή πτώση της απώλειας θερμότητας, λόγω της αντίστοιχης σταδιακής πτώσης της T_{sk} . Επιπρόσθετα, αυτό το χρονικό διάστημα η απώλεια θερμότητας κυμαίνεται σε ελαφρώς υψηλότερα επίπεδα τιμών σε σύγκριση με τα αντίστοιχα επίπεδα τιμών κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης.

Η πειραματική διαδικασία στις 21/7, ημέρα με μέση θερμοκρασία αέρα 36.4°C , καταδεικνύει για την 1^η φάση μια απώλεια θερμότητας μέσω της E για όλα τα άτομα (Σχήμα 5.12γ). Έτσι, η υψηλότερη μέση απώλεια διαμορφώνεται για το Sub3 με $-258.7 \pm 36.3 \text{ Wm}^{-2}$ ενώ η χαμηλότερη παρατηρείται για το Sub4 με $-147.8 \pm 19.6 \text{ Wm}^{-2}$. Στη συνέχεια κατά μήκος της διαδρομής (2^η φάση) η απώλεια θερμότητας αυξάνεται για την ομάδα μελέτης λόγω της αύξησης τόσο της T_{sk} όσο και της M . Επιπλέον, η έντονη αυξητική βαθμίδα της E που παρατηρείται για το Sub3 είναι αποτέλεσμα της αντίστοιχης έντονης αυξητικής τάσης που παρουσιάζει η T_{sk} αυτό το χρονικό διάστημα. Συγκεκριμένα, η μέση απώλεια διαμορφώνεται στα $-864.1 \pm 203.6 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub3, στα $-457.5 \pm 83.0 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub4, στα $-508.1 \pm 65.0 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub5 και στα $-355.2 \pm 38.6 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub6. Τέλος, κατά την παραμονή στη σκιά του δένδρου (3^η φάση) παρατηρείται μια σταδιακή πτώση της απώλειας θερμότητας για την ομάδα μελέτης, με την εντονότερη βαθμίδα να εντοπίζεται τα

πρώτα 10 min για τα Sub3, Sub4 και Sub5. Επιπλέον, αυτό το χρονικό διάστημα σε συμφωνία με τις προηγούμενες πειραματικές ημέρες η απώλεια θερμότητας κυμαίνεται σε υψηλότερα επίπεδα τιμών σε σύγκριση με την 1^η φάση, με τη μέση τιμή να είναι στα $-357.4 \pm 100.7 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub3, στα $-187.0 \pm 68.2 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub4, στα $-236.9 \pm 52.6 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub5 και στα $-155.1 \pm 19.5 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub6.



ΣΧΗΜΑ 5.12. Η τυρβώδης ανταλλαγή λανθάνουσας θερμότητας (E) για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας για τις α) 15/7, β) 18/7, γ) 21/7, δ) 22/7 και ε) 23/7.

Στο Σχήμα 5.12δ, το οποίο παρουσιάζει τη χρονική εξέλιξη της E στις 22/7, ημέρα με μέση θερμοκρασία αέρα 35.8°C , φαίνεται να διαμορφώνεται συνολικά μια απώλεια θερμότητας κατά τη διάρκεια κάθε φάσης της πειραματικής διαδικασίας. Κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης η μέση απώλεια για το Sub3 είναι $-176.5 \pm 51.3 \text{ Wm}^{-2}$, για το Sub4 $-93.2 \pm 31.0 \text{ Wm}^{-2}$, για το Sub5 $-124.0 \pm 39.0 \text{ Wm}^{-2}$ και για το Sub6 $-112.8 \pm 33.5 \text{ Wm}^{-2}$. Στη συνέχεια κατά μήκος της διαδρομής παρατηρείται μια αυξητική πορεία της απώλειας θερμότητας με το χρόνο, γεγονός το οποίο σχετίζεται με την αντίστοιχη αυξητική πορεία της T_{sk} σε αυτό το χρονικό διάστημα. Οι τιμές της μέσης απώλειας θερμότητας είναι τουλάχιστον τριπλάσιες από τις αντίστοιχες της προηγούμενης φάσης για κάθε άτομο, με την υψηλότερη μέση απώλεια να παρατηρείται για το Sub3 με $-649.3 \pm 171.8 \text{ Wm}^{-2}$ και τη χαμηλότερη για το Sub6 με $-362.1 \pm 66.2 \text{ Wm}^{-2}$. Τέλος, με την ολοκλήρωση της διαδρομής και την επιστροφή της ομάδας μελέτης στη σκιά του δένδρου (3^η φάση) παρατηρείται σταδιακή πτώση της απώλειας θερμότητας, ως αποτέλεσμα της αντίστοιχης πτωτικής πορείας της T_{sk} . Παρ' όλα αυτά η T_{sk} αυτό το χρονικό διάστημα κυμαίνεται σε υψηλότερα επίπεδα από ότι στην 1^η φάση με συνέπεια η απώλεια θερμότητας να είναι υψηλότερη.

Την τελευταία πειραματική ημέρα, στις 23/7, με μέση θερμοκρασία αέρα 34.1°C (Σχήμα 5.12ε), η ομάδα μελέτης βιώνει μια απώλεια θερμότητας κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης με τη μέση τιμή να είναι στα $-112.6 \pm 27.7 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub3, στα $-72.2 \pm 18.3 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub4, στα $-71.2 \pm 19.5 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub5, στα $-91.5 \pm 21.4 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub6 και στα $-109.6 \pm 29.4 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub7. Κατά μήκος της διαδρομής η απώλεια θερμότητας κυμαίνεται σε υψηλότερα επίπεδα τιμών από ότι κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης, ενώ παρατηρείται μια έντονη αυξητική βαθμίδα για τα Sub3 και Sub7. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην αντίστοιχη αυξητική πορεία της T_{sk} ιδιαίτερα τα τελευταία 10 min της διαδρομής. Έτσι, κατά τη διάρκεια της 2^{ης} φάσης η μέση απώλεια θερμότητας βρέθηκε στα $-614.2 \pm 276.2 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub3, στα $-300.5 \pm 59.4 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub4, στα $-307.9 \pm 62.9 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub5, στα $-346.6 \pm 53.2 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub6 και στα $-527.1 \pm 136.5 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub7. Τέλος, κατά τη διάρκεια της 3^{ης} φάσης η απώλεια θερμότητας κυμαίνεται σε χαμηλότερα επίπεδα τιμών από ότι κατά μήκος της διαδρομής αλλά σε υψηλότερα επίπεδα τιμών σε σύγκριση με την 1^η φάση. Αυτό το χρονικό διάστημα η υψηλότερη μέση απώλεια παρατηρείται για το Sub3 με $-263.1 \pm 47.7 \text{ Wm}^{-2}$ ενώ η χαμηλότερη για το Sub4 με $-133.4 \pm 21.0 \text{ Wm}^{-2}$.

Από την ανάλυση των παραπάνω αποτελεσμάτων, φαίνεται ότι τα άτομα βιώνουν μια απώλεια θερμότητας μέσω της τυρβώδους ανταλλαγής λανθάνουσας

θερμότητας (E) κατά την διάρκεια κάθε φάσης σε κάθε ατμοσφαιρικό περιβάλλον. Παρ' όλα αυτά σε ένα πολύ θερμό ατμοσφαιρικό περιβάλλον (15/7) η απώλεια θερμότητας κυμαίνεται σε τριπλάσια επίπεδα τιμών από εκείνα σε ένα μέτρια θερμό περιβάλλον (18/7) αντίστοιχα για κάθε φάση (Katavoutas et al. 2010). Στα ενδιάμεσα θερμοκρασιακά επίπεδα, η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα συνοδεύεται από μεγαλύτερη απώλεια θερμότητας μέσω της E , λόγω των υψηλότερων τιμών της μέσης θερμοκρασίας δέρματος (T_{sk}).

Ανεξάρτητα από τις συνθήκες του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος, η ομάδα μελέτης βιώνει την υψηλότερη απώλεια θερμότητας μέσω της E κατά τη διάρκεια της 2^{ης} φάσης λόγω της υψηλής παραγωγής θερμότητας από το μεταβολισμό (M) η οποία οδηγεί με τη σειρά της σε σταδιακή αύξηση τη μέση θερμοκρασία δέρματος (T_{sk}).

Η έντονη δραστηριότητα κατά μήκος της διαδρομής (2^η φάση) οδηγεί σε υψηλότερα επίπεδα τιμών την T_{sk} κατά την παραμονή της ομάδας στη σκιά του δένδρου (3^η φάση), με αποτέλεσμα να παρατηρείται αντίστοιχα υψηλότερη απώλεια θερμότητας μέσω της E από ότι κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης. Συνεπώς η προηγούμενη υψηλή θερμική κατάσταση του σώματος διαδραματίζει πρωτεύοντα ρόλο στη διαμόρφωση της απώλειας θερμότητας μέσω της τυρβώδους ανταλλαγής λανθάνουσας θερμότητας στα επόμενα χρονικά βήματα (Katavoutas et al. 2010).

Οι έντονες διακυμάνσεις της απώλειας θερμότητας μέσω της E που παρατηρούνται ανά χρονικό βήμα για κάθε άτομο ουσιαστικά οφείλονται στις μεταβολές της ταχύτητας του ανέμου. Ταυτόχρονα, φαίνεται ότι αυξάνεται η απώλεια θερμότητας που βιώνουν τα άτομα σε υψηλότερες ταχύτητες ανέμου.

Η τυρβώδης ανταλλαγή λανθάνουσας θερμότητας, σε κάθε χρονική στιγμή, διαφοροποιείται από άτομο σε άτομο λόγω της διαφορετικής μέσης θερμοκρασίας δέρματος και της παραγωγής θερμότητας από το μεταβολισμό (M) του καθενός. Η υψηλότερη απώλεια παρατηρείται για τους άνδρες, Sub3 και Sub7, αποτέλεσμα το οποίο σχετίζεται τόσο με τις υψηλές τιμές της T_{sk} που διαμορφώνουν όσο και με την διαφορετική προσέγγιση του μοντέλου κατά την προσομοίωση της τυρβώδους ανταλλαγής λανθάνουσας θερμότητας μεταξύ των δυο φύλων, όπως ήδη έχουμε αναφέρει. Αντιθέτως, η χαμηλότερη απώλεια παρατηρείται για τις γυναίκες, Sub4 και Sub5, ενώ η απώλεια για τον άνδρα Sub6 κυμαίνεται σε αντίστοιχα επίπεδα τιμών με αυτά των γυναικών λόγω της χαμηλής T_{sk} που διαμορφώνει σε σύγκριση με τα υπόλοιπα άτομα της ομάδας.

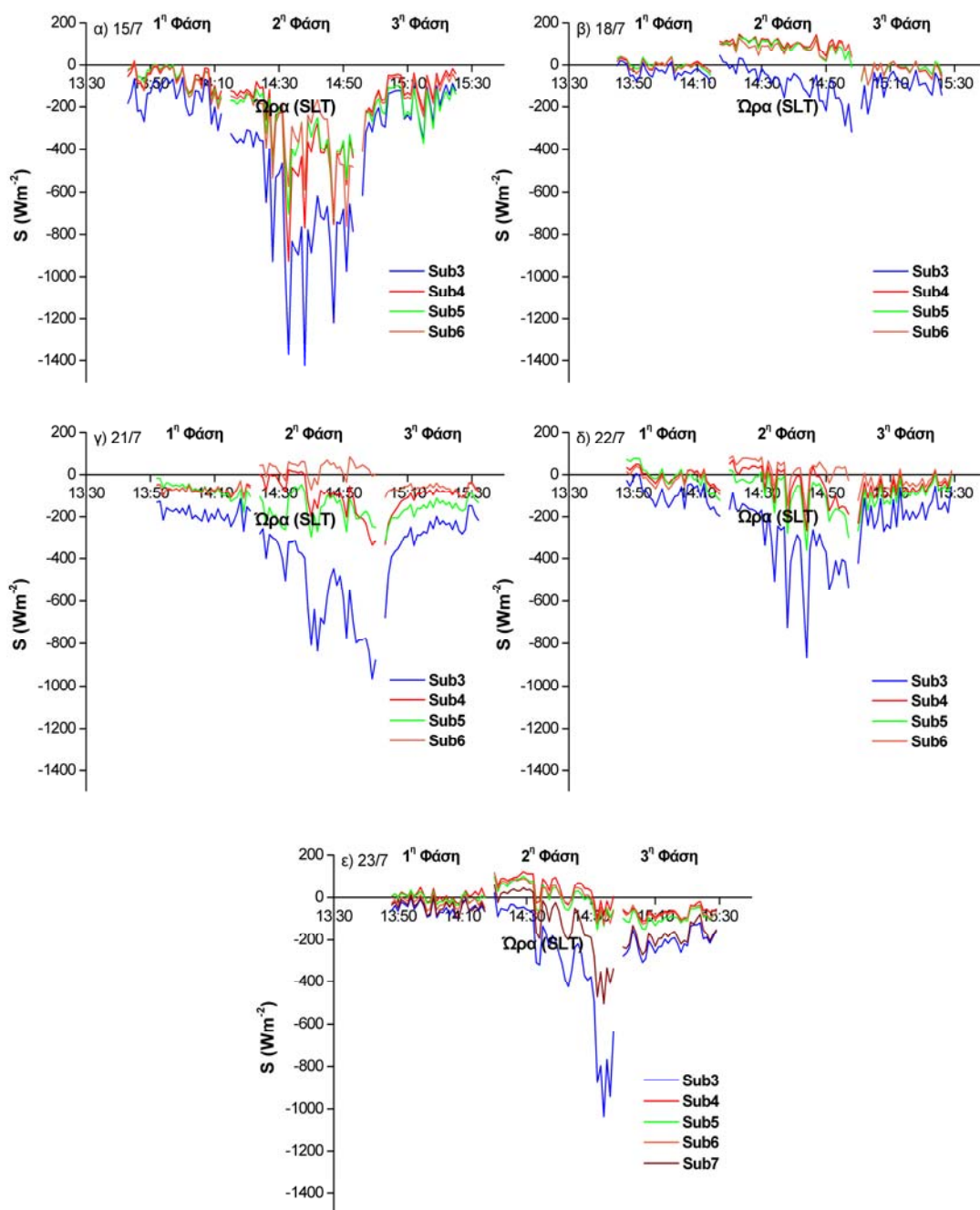
5.6.5 Καθαρή αποθηκευόμενη θερμότητα

Η καθαρή αποθηκευόμενη θερμότητα (S), ως βασικός δείκτης της εμμονής και της έντασης των μεταβολών στο θερμικό φορτίο του ανθρώπινου οργανισμού, απεικονίζεται στο Σχήμα 5.13 για κάθε πειραματική φάση σε κάθε ατμοσφαιρικό περιβάλλον.

Σε ένα πολύ θερμό περιβάλλον, όπως αυτό διαμορφώθηκε στις 15/7 με μέση θερμοκρασία αέρα $37.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, όλα τα άτομα βιώνουν απώλεια θερμότητας μέσω της S σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας (Σχήμα 5.13α). Συγκεκριμένα, κατά την παραμονή της ομάδας μελέτης στη σκιά του δένδρου (1^η φάση) η μέση απώλεια βρέθηκε στα $-151.8 \pm 74.6\text{ Wm}^{-2}$ για το Sub3, στα $-60.1 \pm 48.6\text{ Wm}^{-2}$ για το Sub4, στα $-57.9 \pm 57.1\text{ Wm}^{-2}$ για το Sub5 και στα $-67.1 \pm 61.3\text{ Wm}^{-2}$ για το Sub6. Κατά μήκος της διαδρομής (2^η φάση) φαίνεται μια αύξηση των τιμών της απώλειας θερμότητας ιδιαίτερα μετά τα πρώτα 10 min. Το γεγονός αυτό σχετίζεται με την αντίστοιχη αύξηση της απώλειας θερμότητας μέσω της τυρβώδους ανταλλαγής λανθάνουσας θερμότητας (E) το ίδιο χρονικό διάστημα. Έτσι, η μέση απώλεια διαμορφώνεται στα $-673.5 \pm 290.5\text{ Wm}^{-2}$ για το Sub3, στα $-347.7 \pm 207.3\text{ Wm}^{-2}$ για το Sub4, στα $-323.3 \pm 158.6\text{ Wm}^{-2}$ για το Sub5 και στα $-316.0 \pm 168.0\text{ Wm}^{-2}$ για το Sub6. Τέλος, με την ολοκλήρωση της διαδρομής και την επιστροφή της ομάδας μελέτης στη σκιά του δένδρου (3^η φάση) παρατηρείται πτωτική πορεία της απώλειας θερμότητας με το χρόνο. Αυτό το χρονικό διάστημα η υψηλότερη μέση απώλεια βρέθηκε για το Sub3 στα $-210.7 \pm 111.5\text{ Wm}^{-2}$ ενώ η χαμηλότερη για το Sub4 στα $-118.0 \pm 86.3\text{ Wm}^{-2}$.

Σε σύγκριση με τα παραπάνω, σε ένα μέτρια θερμό περιβάλλον όπως αυτό στις 18/7 με μέση θερμοκρασία αέρα $32.1\text{ }^{\circ}\text{C}$, παρατηρείται εναλλαγή πλεονάσματος και απώλειας θερμότητας μέσω της S για όλα τα άτομα κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης (Σχήμα 5.13β). Συγκεκριμένα, για το Sub3 προκύπτει μέση απώλεια με $-30.8 \pm 27.9\text{ Wm}^{-2}$ ενώ διαπιστώνεται οριακή μέση απώλεια για τα Sub4 και Sub6 με $-0.4 \pm 20.4\text{ Wm}^{-2}$ και $-1.5 \pm 22.0\text{ Wm}^{-2}$, αντίστοιχα. Αντιθέτως, παρατηρείται μέσο πλεόνασμα θερμότητας για το Sub5 με $3.3 \pm 21.7\text{ Wm}^{-2}$. Κατά μήκος της διαδρομής όλα τα άτομα διαμορφώνουν πλεόνασμα θερμότητας σε κάθε χρονικό βήμα με εξαίρεση το Sub3 για το οποίο διαπιστώνεται μια εναλλαγή πλεονάσματος και απώλειας θερμότητας στα πρώτα 10 min και μια απώλεια θερμότητας με αυξητική πορεία έως την ολοκλήρωση της διαδρομής. Έτσι, το μέσο πλεόνασμα διαμορφώνεται στα $104.4 \pm 24.5\text{ Wm}^{-2}$ για το Sub4, στα $88.8 \pm 32.7\text{ Wm}^{-2}$ για το Sub5

και στα $85.3 \pm 24.4 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub6 ενώ η μέση απώλεια για το Sub3 στα $-83.4 \pm 83.0 \text{ Wm}^{-2}$. Τέλος, κατά τη διάρκεια της 3^{ης} φάσης παρατηρείται απώλεια θερμότητας σε κάθε χρονικό βήμα για το Sub3 σε αντίθεση με τα υπόλοιπα άτομα για τα οποία διαπιστώνεται κυρίως απώλεια θερμότητας αλλά με οριακό πλεόνασμα σε κάποια χρονικά βήματα. Αυτό το χρονικό διάστημα η υψηλότερη μέση απώλεια διαμορφώνεται για το Sub3 με $-94.1 \pm 52.8 \text{ Wm}^{-2}$ ενώ η χαμηλότερη για το Sub5 με $-17.6 \pm 28.4 \text{ Wm}^{-2}$.



ΣΧΗΜΑ 5.13. Η καθαρή αποθηκευόμενη θερμότητα (S) για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας για τις α) 15/7, β) 18/7, γ) 21/7, δ) 22/7 και ε) 23/7.

Η πειραματική διαδικασία στις 21/7, ημέρα με μέση θερμοκρασία αέρα 36.4 °C, καταδεικνύει απώλεια θερμότητας μέσω της S για την ομάδα μελέτης σε κάθε χρονικό βήμα κατά τη διάρκεια της 1^{ης} και 3^{ης} φάσης (Σχήμα 5.13γ). Ταυτόχρονα διαπιστώνεται ότι η απώλεια κυμαίνεται σε παρόμοια επίπεδα τιμών με αυτά που διαμορφώθηκαν στις 15/7 (Σχήμα 5.13α) κατά την παραμονή της ομάδας στη σκιά του δένδρου (1^η & 3^η φάση). Κατά μήκος της διαδρομής παρατηρείται απώλεια θερμότητας για τα Sub3 και Sub5 σε κάθε χρονικό βήμα, με τη μέση απώλεια να είναι $-551.9 \pm 208.6 \text{ Wm}^{-2}$ και $-168.6 \pm 67.9 \text{ Wm}^{-2}$, αντίστοιχα. Αντιθέτως, για το Sub4 διαπιστώνεται εναλλαγή απώλειας και πλεονάσματος θερμότητας τα πρώτα 15 min ενώ στη συνέχεια παρατηρείται απώλεια θερμότητας μέχρι την ολοκλήρωση της διαδρομής, με τη μέση τιμή να διαμορφώνεται στα $-99.0 \pm 98.3 \text{ Wm}^{-2}$. Τέλος, για το Sub6 παρατηρείται εναλλαγή απώλειας και πλεονάσματος θερμότητας κατά τη διάρκεια όλης της διαδρομής με αποτέλεσμα να προκύπτει μέσο πλεόνασμα στα $26.6 \pm 35.5 \text{ Wm}^{-2}$.

Το Σχήμα 5.13δ, παρουσιάζει τη χρονική εξέλιξη της S στις 22/7, ημέρα με μέση θερμοκρασία αέρα 35.8 °C. Κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης μόνο το Sub3 διαμορφώνει απώλεια θερμότητας σε κάθε χρονικό βήμα, με τη μέση τιμή να είναι $-94.4 \pm 55.2 \text{ Wm}^{-2}$. Αντιθέτως, για τα υπόλοιπα άτομα της ομάδας μελέτης διαπιστώνεται πλεόνασμα θερμότητας στα πρώτα 7 min με εναλλαγή απώλειας και πλεονάσματος θερμότητας στη συνέχεια, ενώ τα τελευταία 5 min παρατηρείται απώλεια θερμότητας. Βάσει των παραπάνω προκύπτει μέση απώλεια θερμότητας στα $-6.2 \pm 33.1 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub4, στα $-10.8 \pm 53.7 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub5 και στα $-20.4 \pm 35.9 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub6. Ομοίως, κατά τη διάρκεια της διαδρομής παρατηρείται απώλεια θερμότητας μόνο για το Sub3 σε κάθε χρονικό βήμα, με τη μέση απώλεια να είναι $-331.5 \pm 172.1 \text{ Wm}^{-2}$. Στα πρώτα 2 min της διαδρομής διαπιστώνεται για το Sub5 οριακό πλεόνασμα θερμότητας ενώ στη συνέχεια και μέχρι την ολοκλήρωση της διαδρομής παρατηρείται αυξανόμενη απώλεια θερμότητας, με τη μέση απώλεια να διαμορφώνεται στα $-92.0 \pm 95.7 \text{ Wm}^{-2}$. Αντιθέτως, για τα Sub4 και Sub6 διαπιστώνεται πλεόνασμα θερμότητας τα πρώτα 11 min της διαδρομής ενώ στη συνέχεια παρατηρείται εναλλαγή απώλειας και πλεονάσματος θερμότητας. Έτσι, προκύπτει μέση απώλεια θερμότητας για το Sub4 με $-43.6 \pm 89.8 \text{ Wm}^{-2}$ και μέσο πλεόνασμα για το Sub6 με $23.0 \pm 62.0 \text{ Wm}^{-2}$. Κατά τη διάρκεια της 3^{ης} φάσης παρατηρείται φθίνουσα απώλεια θερμότητας με το χρόνο για την ομάδα μελέτης, με τη μέση απώλεια να διαμορφώνεται στα $-183.0 \pm 76.3 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub3, στα

$-66.8 \pm 48.3 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub4, στα $-92.5 \pm 56.1 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub5 και στα $-35.5 \pm 33.3 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub6.

Την τελευταία ημέρα της πειραματικής περιόδου, στις 23/7, ημέρα με μέση θερμοκρασία αέρα $34.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$, παρατηρείται κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης εναλλαγή πλεονάσματος και απώλειας θερμότητας μέσω της *S* για τα Sub4, Sub5 και Sub6 ενώ διαμορφώνεται απώλεια θερμότητας σε κάθε χρονικό βήμα για τα Sub3 και Sub7 (Σχήμα 5.13ε). Έτσι, προκύπτει μέση απώλεια θερμότητας για το Sub3 με $-50.6 \pm 27.8 \text{ Wm}^{-2}$, για το Sub6 με $-21.4 \pm 23.2 \text{ Wm}^{-2}$ και για το Sub7 με $-41.2 \pm 27.8 \text{ Wm}^{-2}$, οριακή μέση απώλεια για το Sub5 με $-2.8 \pm 20.4 \text{ Wm}^{-2}$ και μέσο πλεόνασμα θερμότητας για το Sub4 με $7.2 \pm 20.7 \text{ Wm}^{-2}$. Κατά μήκος της διαδρομής παρατηρείται για το Sub3 αυξανόμενη απώλεια θερμότητας με το χρόνο, με εξαίρεση το 1 min όπου διαπιστώνεται πλεόνασμα θερμότητας, με τη μέση απώλεια να είναι $-298.5 \pm 278.0 \text{ Wm}^{-2}$. Τα υπόλοιπα άτομα της ομάδας μελέτης διαμορφώνουν πλεόνασμα θερμότητας στα πρώτα 13 min της διαδρομής ενώ στη συνέχεια παρατηρείται εναλλαγή πλεονάσματος και απώλειας θερμότητας για τα Sub4, Sub5 και Sub6, και αυξανόμενη απώλεια για το Sub7. Συγκεκριμένα, διαμορφώνεται μέσο πλεόνασμα στα $42.9 \pm 61.0 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub4, στα $9.1 \pm 66.9 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub5 και στα $15.7 \pm 66.3 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub6 ενώ μέση απώλεια προκύπτει για το Sub7 με $-117.2 \pm 155.3 \text{ Wm}^{-2}$. Τέλος, κατά τη διάρκεια της 3^{ης} φάσης παρατηρείται φθίνουσα απώλεια θερμότητας μέσω της *S* για όλα τα άτομα, γεγονός το οποίο σχετίζεται με την αντίστοιχη πτωτική πορεία της τυρβώδους ανταλλαγής λανθάνουσας θερμότητας (*E*) το ίδιο χρονικό διάστημα. Η υψηλότερη μέση απώλεια διαμορφώνεται για το Sub3 με $-210.9 \pm 49.5 \text{ Wm}^{-2}$ ενώ η χαμηλότερη για το Sub4 με $-68.8 \pm 22.5 \text{ Wm}^{-2}$.

Η καθαρή αποθηκευόμενη θερμότητα (*S*), ως βασικός δείκτης της εμμονής και της έντασης των μεταβολών στο θερμικό φορτίο του ανθρώπου, υποδεικνύει απώλεια θερμότητας σε ένα πολύ θερμό περιβάλλον όπως αυτό στις 15/7 και ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια της δραστηριότητας. Το αποτέλεσμα αυτό σχετίζεται με την υψηλή απώλεια θερμότητας μέσω της τυρβώδους ανταλλαγής λανθάνουσας θερμότητας (*E*) που υφίσταται η ομάδα μελέτης. Με τη πτώση της θερμοκρασίας του αέρα διαπιστώνεται ελάττωση της απώλειας της καθαρής αποθηκευόμενης θερμότητας και σταδιακή εμφάνιση και πλεονάσματος θερμότητας για τα άτομα της ομάδας μελέτης. Ουσιαστικά, παρατηρείται εξισορρόπηση των ροών που υποδηλώνουν απώλεια θερμότητας με εκείνες που υποδεικνύουν πλεόνασμα θερμότητας στο ανθρώπινο

σώμα. Έτσι, σε ένα μέτρια θερμό περιβάλλον, όπως αυτό στις 18/7, παρατηρείται εναλλαγή απώλειας και πλεονάσματος της καθαρής αποθηκευόμενης θερμότητας.

Η καθαρή αποθηκευόμενη θερμότητα, σε κάθε χρονικό βήμα, διαφοροποιείται μεταξύ των ατόμων της ομάδας μελέτης λόγω της διαμόρφωσης σε διαφορετικά επίπεδα τιμών των ροών από και προς το ανθρώπινο σώμα τους.

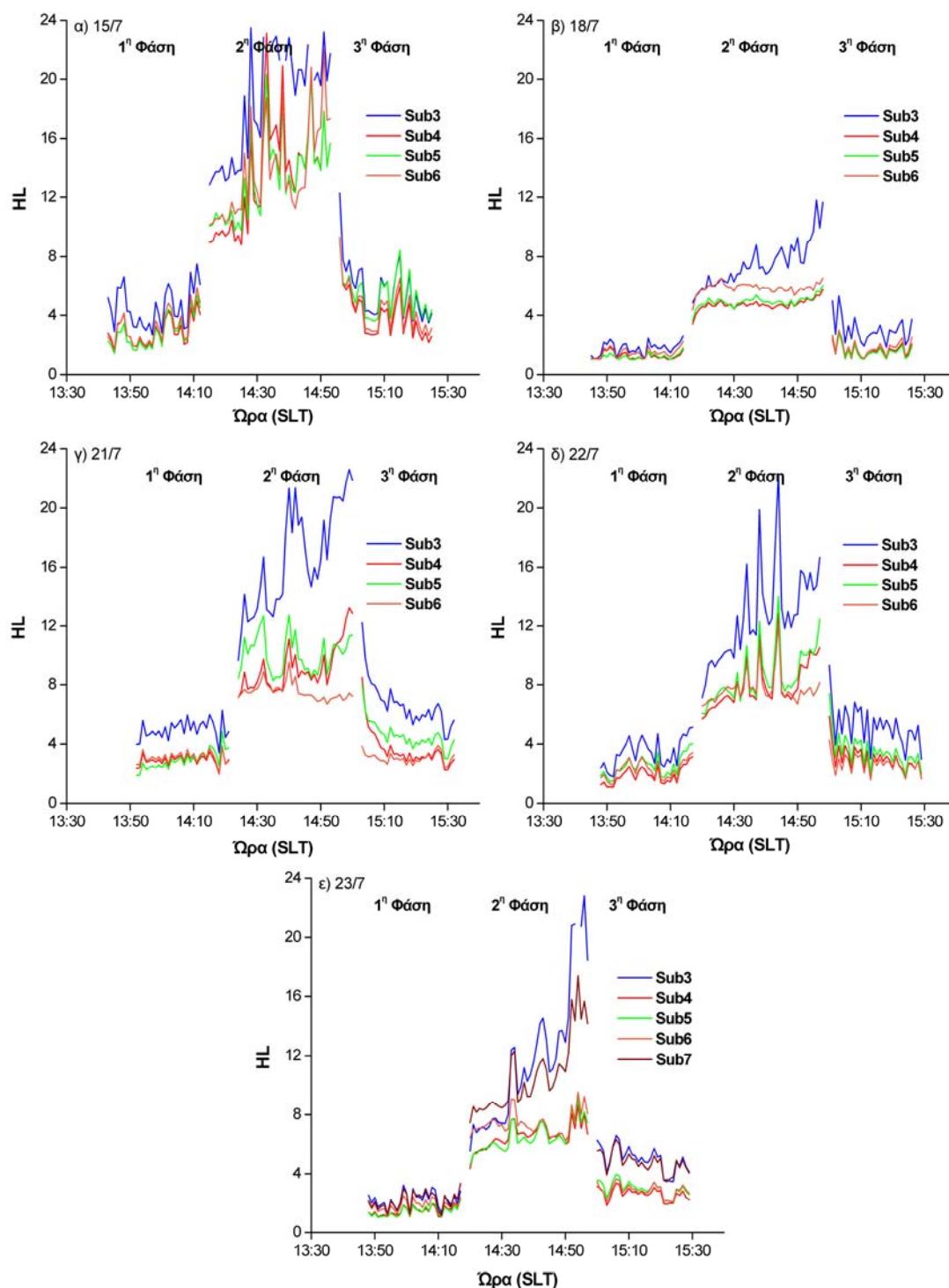
5.7 Θερμοφυσιολογικοί δείκτες

Έχοντας διερευνήσει τις ροές από και προς το ανθρώπινο σώμα για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης κατά την πειραματική διαδικασία B, στη παράγραφο αυτή, προσομοιώνεται ο δείκτης Θερμικού Φορτίου (Heat Load index, *HL*) και ο δείκτης Απώλειας Ύδατος (Water Loss index, *SW*) κάθε πειραματική ημέρα. Η χρονική εξέλιξη του δείκτη *HL* θα αποτυπώσει τη θερμική επιβάρυνση καθώς και την ένταση των διαδικασιών προσαρμογής κάθε ατόμου στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον. Επιπλέον, ο δείκτης *SW* θα υποδεικνύει τα επίπεδα της απώλειας ύδατος μέσω της εξάτμισης του ιδρώτα σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας.

5.7.1 Δείκτης Θερμικού Φορτίου

Στο Σχήμα 5.14 απεικονίζεται η πορεία του δείκτη *HL* ενώ στο Σχήμα 5.15 παρουσιάζεται η επί της εκατό συχνότητα κατανομής της θερμικής επιβάρυνσης του δείκτη για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης κάθε πειραματική ημέρα.

Στις 15/7, την πιο θερμή πειραματική ημέρα με μέση θερμοκρασία αέρα 37.5 °C, η συνολική χρονική εξέλιξη του δείκτη *HL* υποδεικνύει έντονη θερμή επιβάρυνση κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας (Σχήματα 5.14α, 5.15α). Ακόμη και υπό σκιά με χαμηλά επίπεδα δραστηριότητας (1^η φάση) ο δείκτης ταξινομείται στη κλίμακα της έντονης θερμής επιβάρυνσης σε ποσοστό 100% για το Sub3, 97% για το Sub4, 83% για το Sub5 και 97% για το Sub6. Κατά μήκος της διαδρομής ο δείκτης εμφανίζει έντονη αυξητική πορεία, ειδικά μετά τα πρώτα 11 min με ιδιαίτερα υψηλές απόλυτες τιμές. Το γεγονός αυτό σχετίζεται με το υψηλό φορτίο του θερμορυθμιστικού συστήματος του ανθρώπινου οργανισμού, λόγω της έντασης των διαδικασιών προσαρμογής, με τα άτομα να βιώνουν έντονη θερμή επιβάρυνση στο 100% των τιμών του *HL*. Κατά τη διάρκεια της 3^{ης} φάσης ο δείκτης *HL* παρουσιάζει πτωτική πορεία λόγω των χαμηλών επιπέδων δραστηριότητας καθώς και της έκθεσης σε χαμηλότερα επίπεδα ακτινοβολίας. Παρόλα αυτά οι τιμές του *HL* υποδεικνύουν έντονη θερμή επιβάρυνση για όλα τα άτομα της ομάδας μελέτης.



ΣΧΗΜΑ 5.14. Ο δείκτης Θερμικού Φορτίου (HL) για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας για τις α) 15/7, β) 18/7, γ) 21/7, δ) 22/7 και ε) 23/7.

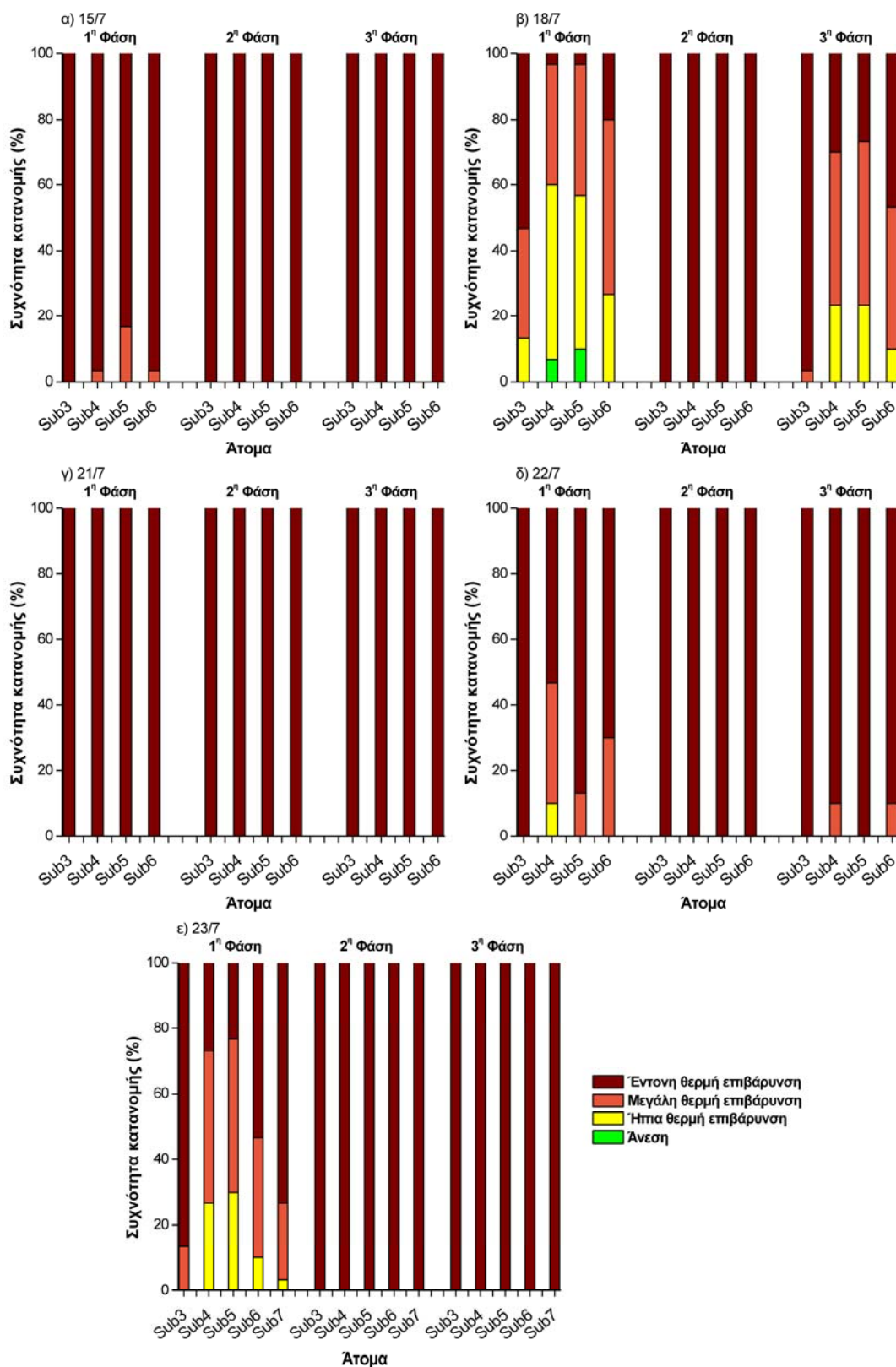
Αντιθέτως, σε ένα μέτρια θερμό περιβάλλον όπως αυτό στις 18/7 με μέση θερμοκρασία αέρα 32.1°C , ο δείκτης ταξινομείται μεταξύ ήπιας και έντονης θερμής επιβάρυνσης για τους άνδρες και μεταξύ άνεσης και έντονης θερμής επιβάρυνσης για τις γυναίκες κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης (Σχήμα 5.15β). Συγκεκριμένα, έντονη θερμή επιβάρυνση υποδεικνύεται στο 53%, 3%, 3% και 20% των τιμών του HL για

τα Sub3, Sub4, Sub5 και Sub6, αντίστοιχα. Το ίδιο χρονικό διάστημα μεγάλη θερμή επιβάρυνση εμφανίζεται στο 33% των τιμών του *HL* για το Sub3, στο 37% για το Sub4, στο 40% για το Sub5 και στο 53% για το Sub6. Οι γυναίκες παρουσιάζουν υψηλά ποσοστά ήπιας θερμής επιβάρυνσης με 53% (Sub4) και 47% (Sub5) σε αντίθεση με τους άνδρες με 14% (Sub3) και 27% (Sub6). Κατά μήκος της διαδρομής ο δείκτης παρουσιάζει αυξητική τάση υποδεικνύοντας έντονη θερμή επιβάρυνση για όλα τα άτομα (Σχήμα 5.14β). Παρόλα αυτά οι τιμές του δείκτη κυμαίνονται σε πολύ χαμηλά επίπεδα σε σύγκριση με τα αντίστοιχα επίπεδα τιμών την πολύ θερμή ημέρα στις 15/7. Το αποτέλεσμα αυτό καταδεικνύει μικρότερης έντασης διαδικασίες προσαρμογής στον οργανισμό του κάθε ατόμου. Κατά τη διάρκεια της 3^{ης} φάσης η συχνότητα κατανομής της έντονης και μεγάλης θερμής επιβάρυνσης αυξάνεται με αντίστοιχη μείωση της ήπιας θερμής επιβάρυνσης ενώ δεν εντοπίζονται τιμές που να ταξινομούνται στην άνεση σε σύγκριση με την κατανομή κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης.

Στις 21/7, ημέρα με μέση θερμοκρασία αέρα 36.4 °C, όλα τα άτομα υφίστανται έντονη θερμή επιβάρυνση σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας (Σχήμα 5.15γ). Τα υψηλότερα επίπεδα τιμών του δείκτη *HL* διαμορφώθηκαν κατά τη διάρκεια της διαδρομής, με το Sub3 να εμφανίζει τις υψηλότερες τιμές (Σχήμα 5.14γ). Συνολικά τα επίπεδα τιμών του δείκτη κυμαίνονται ελαφρώς χαμηλότερα σε σύγκριση με αυτά στις 15/7.

Στα Σχήματα 5.14δ και 5.15δ, τα οποία παρουσιάζουν τη χρονική εξέλιξη και την κατανομή του *HL* στις 22/7, ημέρα με μέση θερμοκρασία αέρα 35.8 °C, ο δείκτης ταξινομείται εξολοκλήρου στην έντονη θερμή επιβάρυνση για το Sub3, μεταξύ μεγάλης και έντονης θερμής επιβάρυνσης για τα Sub5 και Sub6 και μεταξύ ήπιας και έντονης θερμής επιβάρυνσης για το Sub4 κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης. Συγκεκριμένα, έντονη θερμή επιβάρυνση υποδεικνύεται στο 100%, 53%, 87% και 70% των τιμών του *HL* για τα Sub3, Sub4, Sub5 και Sub6, αντίστοιχα. Το ίδιο χρονικό διάστημα μεγάλη θερμή επιβάρυνση εμφανίζεται στο 37% των τιμών του *HL* για το Sub4, στο 13% για το Sub5 και στο 30% για το Sub6. Ήπια θερμή επιβάρυνση υφίσταται μόνο το Sub4 σε ποσοστό 10% των τιμών του δείκτη. Κατά τη διάρκεια της διαδρομής ο *HL* παρουσιάζει αυξητική πορεία υποδεικνύοντας έντονη θερμή επιβάρυνση στο 100% των τιμών του δείκτη για όλα τα άτομα. Με την ολοκλήρωση της διαδρομής και την επιστροφή της ομάδας στη σκιά του δένδρου (3^η φάση) παρατηρείται πτώση των τιμών του δείκτη. Παρόλα αυτά οι τιμές του *HL*

υποδεικνύουν έντονη θερμή επιβάρυνση για όλα τα άτομα, με εξαίρεση το Sub4 και το Sub6 όπου εμφανίζουν μεγάλη θερμή επιβάρυνση στο 10% των τιμών του δείκτη.



ΣΧΗΜΑ 5.15. Η επί της εκατό συχνότητα κατανομής της θερμικής επιβάρυνσης του δείκτη Θερμικού Φορτίου (HL) για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας για τις α) 15/7, β) 18/7, γ) 21/7, δ) 22/7 και ε) 23/7.

Στις 23/7, ημέρα με μέση θερμοκρασία αέρα 34.1 °C, κατά την παραμονή της ομάδας στη σκιά του δένδρου (1^η φάση) ο δείκτης ταξινομείται μεταξύ ήπιας και έντονης θερμής επιβάρυνσης για όλα τα άτομα με εξαίρεση το Sub3 (Σχήματα 5.14ε, 5.15ε). Έτσι, έντονη θερμή επιβάρυνση υποδεικνύεται στο 87%, 27%, 23%, 53% και 73% των τιμών του *HL* για τα Sub3, Sub4, Sub5, Sub6 και Sub7, αντίστοιχα. Αυτό το χρονικό διάστημα μεγάλη θερμή επιβάρυνση παρατηρείται στο 13% των τιμών του *HL* για το Sub3, στο 47% για τα Sub4 και Sub5, στο 37% για το Sub6 και στο 23% για το Sub7. Σχετικά υψηλά ποσοστά ήπιας θερμής επιβάρυνσης εμφανίζουν οι γυναίκες Sub4 (27%) και Sub5 (30%) σε αντίθεση με τους άνδρες Sub6 (10%) και Sub7 (3%). Κατά τη διάρκεια της 2^{ης} φάσης παρατηρείται αυξητική πορεία του *HL* για κάθε άτομο με την εντονότερη βαθμίδα να εντοπίζεται μετά τα πρώτα 10 min για τα Sub3 και Sub7. Όλα τα άτομα βιώνουν έντονη θερμή επιβάρυνση στο 100% των τιμών του *HL*. Κατά την παραμονή της ομάδας στη σκιά του δένδρου (3^η φάση) ο δείκτης εμφανίζει πτωτική πορεία παρόλα αυτά οι τιμές του υποδεικνύουν έντονη θερμή επιβάρυνση για όλα τα άτομα.

Από την ανάλυση των παραπάνω αποτελεσμάτων, φαίνεται ότι σε ένα πολύ θερμό περιβάλλον όπως αυτό στις 15/7 όλα τα άτομα υφίστανται έντονη θερμή επιβάρυνση ακόμη και κατά την παραμονή τους στη σκιά του δένδρου με χαμηλά επίπεδα δραστηριότητας. Εντονότερες διαδικασίες προσαρμογής στον ανθρώπινο οργανισμό παρατηρούνται κατά μήκος της διαδρομής, λόγω των υψηλών τιμών του δείκτη, γεγονός το οποίο σχετίζεται εκτός από το ατμοσφαιρικό περιβάλλον από τα υψηλά επίπεδα δραστηριότητας και ακτινοβολίας. Με την πτώση της θερμοκρασίας του αέρα από ημέρα σε ημέρα παρατηρείται αντίστοιχη ελάττωση των τιμών του δείκτη και σταδιακή εμφάνιση μεγάλης και ήπιας θερμής επιβάρυνσης, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης. Έτσι, σε ένα μέτρια θερμό περιβάλλον όπως αυτό στις 18/7 η ομάδα μελέτης υφίσταται κυρίως ήπια έως μεγάλη θερμή επιβάρυνση ενώ εμφανίζεται και μικρό ποσοστό άνεσης στις γυναίκες κατά την παραμονή στη σκιά του δένδρου. Κατά μήκος της διαδρομής η ομάδα βιώνει έντονη θερμή επιβάρυνση αλλά με μικρότερης έντασης διαδικασίες προσαρμογής σε σύγκριση με αυτές σε ένα πολύ θερμό περιβάλλον (15/7) (Katavoutas et al. 2010).

Επίσης, βρέθηκε ότι κατά την παραμονή της ομάδας στη σκιά του δένδρου μετά την ολοκλήρωση της διαδρομής (3^η φάση) ο δείκτης κυμαίνεται σε υψηλότερα επίπεδα τιμών σε σύγκριση με αυτά πριν την έναρξη της διαδρομής (1^η φάση). Το αποτέλεσμα αυτό υποδεικνύει τον πρωτεύοντα ρόλο της προηγούμενης θερμικής

κατάστασης του σώματος στην εκτίμηση της θερμικής επιβάρυνσης και άνεσης (Katavoutas et al. 2010).

Τα διαφορετικά επίπεδα τιμών του δείκτη μεταξύ των ατόμων υποδεικνύουν διαφορετικής έντασης διαδικασίες προσαρμογής στον κάθε οργανισμού, ανεξάρτητα με το αν ο δείκτης ταξινομείται στην ίδια κλίμακα ιδιαίτερα της έντονης θερμής επιβάρυνσης. Η συνολική σύγκριση των τιμών του *HL* μεταξύ των ατόμων, υποδεικνύει υψηλότερα επίπεδα τιμών για τους άνδρες Sub3 και Sub7, ενώ τα χαμηλότερα επίπεδα τιμών διαμορφώθηκαν για τις γυναίκες Sub4 και Sub5 και για τον άνδρα Sub6.

5.7.2 Δείκτης Απώλειας Ύδατος

Ο Πίνακας 5.4 παρουσιάζει τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση του δείκτη Απώλειας Ύδατος (*SW*) ανά άτομο κατά τη διάρκεια κάθε φάσης της εξεταζόμενης περιόδου. Τα όρια προειδοποίησης και επικινδυνότητας αναφέρονται σε εγκλιματισμένους οργανισμούς ανάλογα με το επίπεδο δραστηριότητας.

Βρέθηκε ότι κάθε πειραματική ημέρα κατά την παραμονή της ομάδας μελέτης στη σκιά του δένδρου (1^η φάση) η μέση τιμή του *SW* δεν υπερβαίνει το όριο προειδοποίησης, με εξαίρεση το Sub3. Παρόλα αυτά είναι εμφανές ότι υψηλότερες θερμοκρασίες αέρα οδηγούν το δείκτη *SW* σε υψηλότερα επίπεδα τιμών υποδεικνύοντας υψηλότερη απώλεια ύδατος λόγω της εξάτμισης του ιδρώτα.

Σε ένα πολύ θερμό περιβάλλον όπως αυτό στις 15/7, κατά τη διάρκεια της διαδρομής (2^η φάση) παρατηρείται υπέρβαση του ορίου επικινδυνότητας για όλα τα άτομα. Ομοίως υπέρβαση του ορίου επικινδυνότητας το ίδιο χρονικό διάστημα βρέθηκε για την ομάδα μελέτης στις 21/7 και 22/7 με τις τιμές του δείκτη όμως να κυμαίνονται σε χαμηλότερα επίπεδα σε σύγκριση με αυτά στις 15/7. Στις 23/7 ημέρα με μέση θερμοκρασία αέρα 34.1 °C, οι τιμές του δείκτη για τα Sub4, Sub5 και Sub6 υπερέβησαν το όριο προειδοποίησης όχι όμως και το όριο επικινδυνότητας. Αντιθέτως, σε ένα μέτρια θερμό περιβάλλον όπως αυτό στις 18/7 μόνο για το Sub3 παρατηρείται υπέρβαση του ορίου επικινδυνότητας ενώ για τα υπόλοιπα άτομα δεν παρατηρείται υπέρβαση ούτε του ορίου προειδοποίησης.

Τα επίπεδα τιμών του *SW* κατά τη διάρκεια της 3^{ης} φάσης διαμορφώνονται υψηλότερα σε σύγκριση με αυτά της 1^{ης} φάσης, σε συμφωνία με τα αντίστοιχα αποτελέσματα του δείκτη *HL*. Συγκεκριμένα, σε ένα πολύ θερμό περιβάλλον όπως αυτό στις 15/7 τα Sub3 και Sub5 υπερέβησαν το όριο επικινδυνότητας ενώ τα Sub4

και Sub6 το όριο προειδοποίησης κατά την παραμονή τους στη σκιά του δένδρου μετά την ολοκλήρωση της διαδρομής. Με την πτώση της θερμοκρασίας του αέρα ανά πειραματική ημέρα παρατηρείται σταδιακή ελάττωση των τιμών του δείκτη οδηγώντας σε μη υπέρβαση αρχικά του ορίου επικινδυνότητας και μη υπέρβαση του ορίου προειδοποίησης στη συνέχεια για την ομάδα μελέτης. Έτσι, σε ένα μέτρια θερμό περιβάλλον όπως αυτός στις 18/7, με μέση θερμοκρασία αέρα 32.1 °C, κανένα άτομο δεν υπερέβη το όριο προειδοποίησης κατά τη διάρκεια της 3^{ης} φάσης.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.4. Μέση τιμή και τυπική απόκλιση του δείκτη Απώλειας Ύδατος (*SW*) ανά άτομο σε κάθε φάση κάθε πειραματική ημέρα. Η έντονη γραφή υποδεικνύει υπέρβαση του ορίου επικινδυνότητας και η πλάγια υπέρβαση του ορίου προειδοποίησης για εγκλιματισμένους οργανισμούς.

Πειραματική ημέρα	Άτομα	SW (gh ⁻¹)		
		1 ^η φάση	2 ^η φάση	3 ^η φάση
15/7	Sub3	697.0±223.9	2974.3±845.3	885.7±326.5
	Sub4	439.0±146.0	2017.8±587.3	613.4±251.6
	Sub5	428.8±170.4	1990.3±454.6	822.4±245.5
	Sub6	480.6±183.3	2045.7±507.5	674.7±250.3
18/7	Sub3	296.3±73.5	1180.2±246.1	485.8±148.6
	Sub4	198.3±53.7	612.8±62.3	259.5±75.8
	Sub5	185.4±51.6	657.7±77.3	251.4±78.2
	Sub6	240.4±62.6	776.3±62.8	296.7±86.3
21/7	Sub3	810.5±112.4	2679.8±642.8	1132.9±311.0
	Sub4	465.3±61.1	1413.7±265.7	596.5±209.3
	Sub5	467.1±104.1	1571.7±204.2	751.6±161.6
	Sub6	496.6±64.4	1091.3±123.5	502.9±62.5
22/7	Sub3	586.8±169.0	2069.5±558.2	881.5±240.0
	Sub4	313.4±102.0	1249.7±296.3	496.9±148.7
	Sub5	406.6±128.9	1372.2±309.0	585.4±185.8
	Sub6	381.5±111.7	1140.6±219.8	446.2±105.5
23/7	Sub3	357.2±84.8	1810.0±791.7	790.1±136.7
	Sub4	227.7±54.8	885.1±169.3	402.8±61.6
	Sub5	226.0±58.6	909.9±178.9	459.3±74.4
	Sub6	292.1±66.3	1017.3±152.7	442.9±67.7
	Sub7	346.8±88.3	1540.9±390.2	745.9±115.8

Η απώλεια ύδατος μέσω της εξάτμισης του ιδρώτα (*SW*) διαφοροποιείται μεταξύ των ατόμων γεγονός το οποίο σχετίζεται με τη διαφορετική απώλεια θερμότητας μέσω της τυρβώδους ανταλλαγής λανθάνουσας θερμότητας (*E*) λόγω της διαφορετικής μέσης θερμοκρασίας δέρματος (*T_{sk}*) στον κάθε οργανισμό. Η υψηλότερη απώλεια ύδατος διαπιστώνεται για τους άνδρες Sub3 και Sub7 ενώ τα υπόλοιπα άτομα της ομάδας μελέτης διαμορφώνουν κατά κύριο λόγο αντίστοιχα επίπεδα τιμών με σχετικά μικρές αποκλίσεις.

5.8 Σύνοψη και Συμπεράσματα

Στο κεφάλαιο αυτό, διερευνήθηκε η επίδραση ενός μέτρια έως πολύ θερμού ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στη θερμική άνεση και συγκεκριμένα στις κατανομές των θερμοφυσιολογικών και φυσιολογικών παραμέτρων καθώς και στο θερμικό ισοζυγίου του ανθρώπου για μια επιλεγμένη ομάδα ατόμων. Ταυτόχρονα, οι παραπάνω παράμετροι μελετήθηκαν για την ομάδα μελέτης με διαδοχή πειραματικών φάσεων αρχικά υπό σκιά με χαμηλά επίπεδα δραστηριότητας, στη συνέχεια με έκθεση στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία και υψηλά επίπεδα δραστηριότητας και τέλος υπό σκιά με χαμηλή δραστηριότητα.

Από την μελέτη των θερμοφυσιολογικών και φυσιολογικών παραμέτρων που προσδιορίζουν τη θερμική κατάσταση του ανθρώπινου σώματος πρόέκυψαν τα ακόλουθα:

- Οι θερμοφυσιολογικές μετρήσεις στον ανθρώπινο οργανισμό υποδεικνύουν διαφορετικές φυσιολογικές αντιδράσεις κατά την προσαρμογή του οργανισμού και σχετίζονται όχι μόνο με το ατμοσφαιρικό περιβάλλον αλλά και με το επίπεδο δραστηριότητας, με το χρόνο έκθεσης σε κάθε φάση, με το πεδίο ακτινοβολίας καθώς και με την προηγούμενη θερμική κατάσταση του σώματος.
- Η θερμοκρασία δέρματος στο τρικέφαλο του δεξιού βραχίονα (T_{arm}) και κατ' επέκταση η μέση θερμοκρασία δέρματος (T_{sk}) κυμαίνονται σε υψηλότερα θερμοκρασιακά επίπεδα τις ημέρες όπου καταγράφεται υψηλότερη θερμοκρασία αέρα.
- Επίσης, βρέθηκε ότι ακόμη και κατά τη διάρκεια υψηλής δραστηριότητας σε ένα μέτρια θερμό περιβάλλον (32.1 °C), η T_{arm} (T_{sk}) δεν προσεγγίζει τις αντίστοιχες τιμές που διαμορφώνονται κατά τη διάρκεια ανάπαυσης υπό σκιά σε ένα πολύ θερμό περιβάλλον (37.5 °C).
- Κατά τη διάρκεια προσαρμογής στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον υπό σκιά (1^η φάση), η T_{arm} (T_{sk}) ακολουθεί γενικά αυξητική πορεία, με τη μεταβολή να κυμαίνεται από 0.2 °C έως 1.7 °C (0.1 °C έως 1.2 °C).
- Κατά τη διάρκεια υψηλής δραστηριότητας με έκθεση στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία (2^η φάση) παρατηρείται συνολικά περαιτέρω αύξηση της T_{arm} (T_{sk}), με τη μεταβολή να κυμαίνεται από 0.7 °C έως 2.5 °C (0.5 °C έως 1.8 °C).

- Κατά την διάρκεια προσαρμογής μετά από δραστηριότητα (3^η φάση) η T_{arm} (T_{sk}) ακολουθεί πτωτική πορεία, με την υψηλότερη βαθμίδα να παρατηρείται τα πρώτα 10 min, ενώ η μεταβολή κυμαίνεται από 0.1 °C έως 1.7 °C (0.1 °C έως 1.2 °C).
- Επίσης, βρέθηκε ότι μετά από παραμονή 30 min στη σκιά του δένδρου, κατά την 3^η φάση, η T_{arm} (T_{sk}) προσεγγίζει την τιμή που διαμορφώθηκε κατά την ολοκλήρωση της 1^{ης} φάσης, με τη διαφορά για την T_{sk} να κυμαίνεται από -0.1 °C έως 0.9 °C και για την T_{arm} από -0.1 °C έως 1.3 °C.
- Όταν προηγείται προσαρμογή στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον δεν παρατηρείται απότομη αύξηση της T_{arm} (T_{sk}) στα πρώτα λεπτά της διαδρομής.
- Η ροή θερμότητας (HF) υποδεικνύει πλεόνασμα θερμότητας σε ένα πολύ θερμό περιβάλλον (37.5 °C), ενώ η πτώση της θερμοκρασίας του αέρα οδηγεί σε ελάττωση του πλεονάσματος και σταδιακή εμφάνιση απώλειας θερμότητας στον ανθρώπινο οργανισμό.
- Σε ένα μέτρια θερμό περιβάλλον (32.1 °C) η γαλβανική αντίδραση του δέρματος (GSR) αυξάνεται βαθμιαία μόνο κατά τη διάρκεια έντονης δραστηριότητας (2^η φάση). Αντιθέτως, η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα οδηγεί σε υψηλότερα επίπεδα τιμών ακόμη και υπό σκιά με χαμηλή δραστηριότητα.

Από την μελέτη των ροών μεταξύ του ανθρώπινου σώματος και του περιβάλλοντος βρέθηκε ότι:

- Η ομάδα μελέτης υφίσταται πλεόνασμα θερμότητας μέσω της τυρβώδους ανταλλαγής αισθητής θερμότητας (C) σε ένα πολύ θερμό περιβάλλον (37.5 °C) και απώλεια θερμότητας σε ένα μέτρια θερμό περιβάλλον (32.1 °C). Στα ενδιάμεσα θερμοκρασιακά επίπεδα, αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα συνοδεύεται από πλεόνασμα θερμότητας ενώ μείωση της θερμοκρασίας του αέρα από απώλεια.
- Υψηλότερη ανταλλαγή θερμότητας μέσω της C παρατηρείται κατά τη διάρκεια της έντονης δραστηριότητας (2^η φάση), αποτέλεσμα το οποίο σχετίζεται με την υψηλότερη μέση θερμοκρασία δέρματος.
- Η απώλεια θερμότητας μέσω της αναπνοής (R_{es}) εξαρτάται κατά κύριο λόγο από το επίπεδο δραστηριότητας και κατ' επέκταση από την παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό και δευτερεύοντος από τις μεταβολές της θερμοκρασίας του αέρα,

της σχετικής υγρασίας και της ατμοσφαιρικής πίεσης, μιας και δεν παρατηρούνται σημαντικές διακυμάνσεις της απώλειας θερμότητας στις μεταβολές αυτές.

- Το ισοζύγιο ακτινοβολιών στον άνθρωπο (Q) υποδεικνύει πλεόνασμα θερμότητας σε κάθε ατμοσφαιρικό περιβάλλον.
- Η έκθεση στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία (2^η φάση) οδηγεί σε επταπλάσια επίπεδα τιμών το ισοζύγιο ακτινοβολιών στον άνθρωπο (Q) από εκείνα κατά την παραμονή υπό σκιά (1^η & 3^η φάση).
- Σε ένα πολύ θερμό ατμοσφαιρικό περιβάλλον (37.5 °C) η απώλεια θερμότητας μέσω της τυρβώδους ανταλλαγής λανθάνουσας θερμότητας (E) κυμαίνεται σε τριπλάσια επίπεδα τιμών από εκείνα σε ένα μέτρια θερμό περιβάλλον (32.1 °C).
- Ανεξάρτητα από τις συνθήκες του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος, η υψηλότερη απώλεια θερμότητας μέσω της E βρέθηκε κατά τη διάρκεια έντονης δραστηριότητας (2^η φάση) λόγω της υψηλής παραγωγής θερμότητας από το μεταβολισμό (M) η οποία οδηγεί με τη σειρά της σε σταδιακή αύξηση τη μέση θερμοκρασία δέρματος (T_{sk}).
- Βρέθηκε υψηλότερη απώλεια θερμότητας μέσω της E κατά τη διάρκεια της 3^{ης} φάσης σε σύγκριση με την 1^η φάση λόγω της έντονης δραστηριότητας που είχε προηγηθεί. Συνεπώς, η προηγούμενη υψηλή θερμική κατάσταση του σώματος διαδραματίζει πρωτεύοντα ρόλο στη διαμόρφωση της απώλειας θερμότητας μέσω της τυρβώδους ανταλλαγής λανθάνουσας θερμότητας στα επόμενα χρονικά βήματα.
- Η καθαρή αποθηκευόμενη θερμότητα (S), ως βασικός δείκτης της εμμονής και της έντασης των μεταβολών στο θερμικό φορτίο του ανθρώπου, υποδεικνύει απώλεια θερμότητας σε ένα πολύ θερμό περιβάλλον (37.5 °C) και εναλλαγή απώλειας και πλεονάσματος θερμότητας σε ένα μέτρια θερμό περιβάλλον (32.1 °C).

Από τη μελέτη των δεικτών Θερμικού Φορτίου (Heat Load index, HL) και Απώλειας Ύδατος (Water Loss index, SW) προέκυψαν τα εξής:

- Έντονη θερμή επιβάρυνση βρέθηκε για την ομάδα μελέτης σε ένα πολύ θερμό περιβάλλον (37.5 °C) ακόμη και κατά την παραμονή της στη σκιά του δένδρου με χαμηλά επίπεδα δραστηριότητας.

- Σε ένα μέτρια θερμό περιβάλλον (32.1 °C) η ομάδα μελέτης υφίσταται κυρίως ήπια έως μεγάλη θερμή επιβάρυνση ενώ εμφανίζεται και μικρό ποσοστό άνεσης κατά την παραμονή της στη σκιά του δένδρου.
- Σε ένα μέτρια θερμό περιβάλλον (32.1 °C) κατά μήκος της διαδρομής η ομάδα βιώνει έντονη θερμή επιβάρυνση αλλά με μικρότερης έντασης διαδικασίες προσαρμογής σε σύγκριση με αυτές σε ένα πολύ θερμό περιβάλλον (37.5 °C).
- Κατά την παραμονή της ομάδας στη σκιά του δένδρου μετά την ολοκλήρωση της διαδρομής (3^η φάση) ο δείκτης κυμαίνεται σε υψηλότερα επίπεδα τιμών σε σύγκριση με αυτά πριν την έναρξη της διαδρομής (1^η φάση). Το αποτέλεσμα αυτό υποδεικνύει τον πρωτεύοντα ρόλο της προηγούμενης θερμικής κατάστασης του σώματος στην εκτίμηση της θερμικής επιβάρυνσης και άνεσης.
- Κατά την παραμονή της ομάδας μελέτης στη σκιά του δένδρου (1^η φάση) η μέση τιμή του *SW* δεν υπερβαίνει το όριο προειδοποίησης, με εξαίρεση το Sub3. Παρόλα αυτά υψηλότερες θερμοκρασίες αέρα οδηγούν το δείκτη *SW* σε υψηλότερα επίπεδα τιμών υποδεικνύοντας υψηλότερη απώλεια ύδατος λόγω της εξάτμισης του ιδρώτα.
- Σε ένα πολύ θερμό περιβάλλον (37.5 °C), κατά τη διάρκεια της διαδρομής (2^η φάση) παρατηρείται υπέρβαση του ορίου επικινδυνότητας του δείκτη *SW* για όλα τα άτομα. Αντιθέτως, σε ένα μέτρια θερμό περιβάλλον (32.1 °C) μόνο για το Sub3 παρατηρείται υπέρβαση του ορίου επικινδυνότητας ενώ για τα υπόλοιπα άτομα δεν παρατηρείται υπέρβαση ούτε του ορίου προειδοποίησης.
- Τα επίπεδα τιμών του *SW* κατά τη διάρκεια της 3^{ης} φάσης διαμορφώνονται υψηλότερα σε σύγκριση με αυτά της 1^{ης} φάσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ ΜΕ ΉΠΙΑ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΈΝΑ ΉΠΙΑ ΘΕΡΜΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

6.1 Εισαγωγή

Έχοντας μελετήσει την επίδραση ενός μέτρια έως πολύ θερμού ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στη θερμική άνεση και συγκεκριμένα στις κατανομές των θερμοφυσιολογικών και φυσιολογικών παραμέτρων καθώς και στο θερμικό ισοζυγίου του ανθρώπου όταν έχει προηγηθεί ήπια προσαρμογή, το ερώτημα που τίθεται είναι τι συμβαίνει σε ένα ήπια θερμό περιβάλλον.

Το παρόν κεφάλαιο αποτελεί ουσιαστικά συνέχεια του προηγούμενου με αντικειμενικούς στόχους τη λεπτομερή αποτύπωση των πεδίων των θερμοφυσιολογικών παραμέτρων καθώς και των ροών θερμότητας από και προς το ανθρώπινο σώμα για την ίδια ομάδα μελέτης όπως και στο Κεφάλαιο 5, για θερμοκρασίες αέρα μεταξύ 28 °C και 32 °C έχοντας προηγηθεί ήπια προσαρμογή. Συγκεκριμένα, οι παραπάνω παράμετροι μελετώνται κατά τη διάρκεια διαδοχικών πειραματικών φάσεων αρχικά υπό σκιά με χαμηλά επίπεδα δραστηριότητας, στη συνέχεια με έκθεση στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία και υψηλά επίπεδα δραστηριότητας και τέλος υπό σκιά με χαμηλή δραστηριότητα, βάσει της πειραματικής διαδικασίας Β. Τέλος, διερευνώνται τα επίπεδα θερμικής επιβάρυνσης, το φορτίο του θερμορυθμιστικού συστήματος του ανθρώπινου οργανισμού λόγω της έντασης των διαδικασιών προσαρμογής καθώς και η απώλεια ύδατος μέσω της εξάτμισης του ιδρώτα μέσω δυο θερμοφυσιολογικών δεικτών. Τέλος, τα αποτελέσματα συγκρίνονται με τα αντίστοιχα του προηγούμενου κεφαλαίου.

6.2 Δεδομένα-Μεθοδολογία

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στο παρόν κεφάλαιο αφορούν μετεωρολογικές μετρήσεις από τον Αυτόματο Μετεωρολογικό Σταθμό (Μ.Σ.Π.Α) καθώς και από το Κινητό Μετεωρολογικό Σταθμό (Κ.Μ.Σ), με βήμα λεπτού (1 min) κατά αντιστοιχία με το προηγούμενο Κεφάλαιο 5.

Η ανάλυση που περιγράφεται στη συνέχεια αφορά τις πειραματικές ημέρες 16, 17, 24, 25 και 28 Ιουλίου του 2008. Αυτό το χρονικό διάστημα η μέση θερμοκρασία αέρα κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας κυμάνθηκε στα θερμοκρασιακά επίπεδα μεταξύ 28 °C και 32 °C, χαρακτηρίζοντας το ατμοσφαιρικό περιβάλλον ως

ήπια θερμό. Η ομάδα μελέτης αποτελείται από τα ίδια άτομα που μελετήθηκαν στο Κεφάλαιο 5, δηλαδή 3 άνδρες και 2 γυναίκες, με τα ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά τους και τους κωδικούς ονομασίας να περιγράφονται αναλυτικά στη παράγραφο 3.2.3. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφέρουμε ότι ο άνδρας Sub7 εξαιρέθηκε από την πειραματική διαδικασία στις 16/7 και 17/7 λόγω φαρμακευτικής αγωγής που ελάμβανε τις συγκεκριμένες ημέρες. Όπως ήδη έχουμε περιγράψει στη παράγραφο 3.4, η πειραματική διαδικασία B αποτελείται από τρεις κύριες φάσεις. Κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης η ομάδα μελέτης κάθεται άνετα στη σκιά ενός δένδρου για χρονικό διάστημα 30 min. Στη συνέχεια, κατά τη δεύτερη φάση η ομάδα μελέτης περπατά κατά μήκος μιας προκαθορισμένης κυκλικής διαδρομής, μήκους 2.6 km, με συνεχή έκθεση στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία. Τέλος, με την ολοκλήρωση της διαδρομής και την επιστροφή της ομάδας μελέτης στο αρχικό σημείο ξεκινά η τρίτη φάση της πειραματικής διαδικασίας κατά την οποία η ομάδα μελέτης κάθεται για επιπλέον 30 min στη σκιά του δένδρου.

Οι θερμοφυσιολογικές και φυσιολογικές μετρήσεις στον ανθρώπινο οργανισμό πραγματοποιήθηκαν με το όργανο SenseWear Pro II Armband (BodyMedia, Inc., Pittsburgh, PA) για την επιλεγμένη ομάδα μελέτης, όπως αναλυτικά έχουμε αναφέρει στη παράγραφο 3.5.1. Η ανάλυση και επεξεργασία των μετρήσεων πραγματοποιήθηκε με βήμα λεπτού (1 min) μέσω του λογισμικού InnerView Research Professional 5.1 (BodyMedia, Inc., 2006). Συγκεκριμένα, με βάση τα ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά του κάθε ατόμου ανιχνεύθηκε αρχικά το ευρύτερο πλαίσιο του κομιστή μέσω των σημάτων φυσιολογίας και θερμοφυσιολογίας των αισθητήρων και στη συνέχεια υπολογίστηκε η ενεργειακή δαπάνη. Έτσι, μέσω των ενσωματωμένων αλγορίθμων του λογισμικού αναλύθηκαν οι παράμετροι της παράγωγης θερμότητας από το μεταβολισμό (M), της θερμοκρασίας του δέρματος στο τρικέφαλο του δεξιού βραχίονα (T_{arm}), της γαλβανικής αντίδρασης του δέρματος (GSR) καθώς και της ροής θερμότητας (HF) για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης, σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας. Η μέθοδος αυτή επιτρέπει την έγκυρη και ακριβή μέτρηση της ενεργειακής δαπάνης και της παραγωγής θερμότητας από το μεταβολισμό σε μια ελεγχόμενη πειραματική διαδικασία στο πεδίο, βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας (Jakicic et al. 2004; Mignault et al. 2005; Wadsworth et al. 2005; De Feo et al. 2006; Malavolti et al. 2007).

Η μέση πειραματική θερμοκρασία δέρματος ($T_{sk,exp}$) υπολογίστηκε ως συνάρτηση της πειραματικής θερμοκρασίας δέρματος στο τρικέφαλο του δεξιού

βραχίονα (T_{arm}) από την εξίσωση των Lund and Gisolfi (1974), βάσει της εξίσωσης 4.41, όπως ήδη έχουμε περιγράψει στη παράγραφο 4.3.

Επίσης, παρουσιάζονται τα διαγράμματα διασποράς της μέσης πειραματικής θερμοκρασίας δέρματος με τη θερμοκρασία του αέρα ανά φάση, στο σύνολο των πειραματικών ημερών της πειραματικής διαδικασίας Β (15 έως 28/7). Ταυτόχρονα, μέσω της ανά βήμα γραμμικής παλινδρόμησης (stepwise linear regression) παρουσιάζονται οι συντελεστές συσχέτισης μεταξύ των θερμοφυσιολογικών και των μετεωρολογικών παραμέτρων.

Η προσομοίωση της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας (T_{mrt}) πραγματοποιήθηκε μέσω του μοντέλου Rayman, με την αρχή λειτουργίας να έχει περιγραφεί αναλυτικά στη παράγραφο 5.2. Εκτός των παραμέτρων του χρόνου (ημερομηνία και ώρα) και της γεωγραφικής θέσης (γεωγραφικό πλάτος, γεωγραφικό μήκος και ζώνη ώρας), τα μετεωρολογικά δεδομένα εισόδου στο μοντέλο είναι η μέση θερμοκρασία αέρα, η σχετική υγρασία, η οριζόντια ταχύτητα του ανέμου και η ολική ηλιακή ακτινοβολία με βήμα 1 min, όπως ακριβώς και στο προηγούμενο κεφάλαιο. Η παράμετρος του λόγου της διάχυτης προς την ολική ηλιακή ακτινοβολία (diffuse fraction, k_d , αδιάστατο) προσδιορίστηκε με όρους εμπειρικής προσομοίωσης (Jacovides et al. 2006), όπως έχουμε περιγράψει στη παράγραφο 5.3. Συγκεκριμένα, ο όρος k_d υπολογίστηκε ως συνάρτηση του δείκτη καθαρότητας του ουρανού (clearness index, k_t , αδιάστατο), βάσει της εξίσωσης 5.7. Ταυτόχρονα, ο δείκτης καθαρότητας του ουρανού (k_t) προσδιορίστηκε ως ο λόγος της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας προς την εξωγήινη ακτινοβολία (extraterrestrial radiation). Η εξωγήινη ακτινοβολία υπολογίστηκε με όρους εμπειρικής προσομοίωσης, βάσει της γεωγραφικής θέσης (γεωγραφικό πλάτος, γεωγραφικό μήκος) και του χρόνου (μήνας, ημέρα, ώρα). Όπως παρατηρήθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο οι τιμές του k_d ανά λεπτό υποδεικνύουν μικρές διακυμάνσεις, με εξαίρεση τα αποτελέσματα στις 28/7 όπου λόγω της επικρατούσας κατά διαστήματα νεφοκάλυψης η ολική ηλιακή ακτινοβολία μεταβάλλεται σημαντικά στη κλίμακα των λεπτών. Ως εκ τούτου για την προσομοίωση της T_{mrt} χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα εισόδου στο μοντέλο η μέση τιμή του k_d για κάθε φάση κάθε πειραματική ημέρα, με εξαίρεση την προσομοίωση στις 28/7 κατά την οποία χρησιμοποιήθηκαν τα ανά λεπτό αποτελέσματα του k_d (Πίνακας 6.1).

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1. Ο όρος diffuse fraction (k_d) για κάθε φάση κάθε πειραματική ημέρα.

Πειραματική περίοδος	Diffuse fraction, k_d (αδιάστατο)		
	1 ^η φάση	2 ^η φάση	3 ^η φάση
16/7	0.2295	0.2400	0.2371
17/7	0.2291	0.2541	0.2518
24/7	0.2382	0.2524	0.2484
25/7	0.2426	0.2551	0.2508
28/7	0.9571	0.7387	0.8673

Λαμβάνοντας υπόψη το ευρύτερο πειραματικό πεδίο στο οποίο πραγματοποιήθηκε η πειραματική διαδικασία η λευκαύγεια του εδάφους και το Bowen-ratio ορίστηκαν στα 0.18 και 1.38, αντίστοιχα (Oke 1982; Arnfield 2003). Ταυτόχρονα, η τοπογραφία και η γεωμετρία του ευρύτερου πειραματικού πεδίου εισήχθη στο μοντέλο Rayman βάσει επιτόπιων μετρήσεων, δορυφορικών εικόνων καθώς και από το τοπογραφικό χάρτη ο οποίος παραχωρήθηκε από την Τεχνική Υπηρεσία του Πανεπιστημίου Αθηνών. Λόγω του ότι το μοντέλο Rayman είναι σημειακό, κατά την προσομοίωση της T_{mrt} κατά μήκος της διαδρομής (2^η φάση), η τοπογραφία και η γεωμετρία του χώρου μετατοπιζόταν με σημείο αναφοράς την ομάδα μελέτης. Ο τοπογραφικός χάρτης ο οποίος εισήχθη στο μοντέλο κατά τη διάρκεια της 1^{ης} και 3^{ης} φάσης (Σχήμα 5.1) καθώς και οι αντίστοιχοι χάρτες κατά τη διάρκεια της 2^{ης} φάσης (Σχήμα 5.2) είναι ίδιοι με αυτούς που χρησιμοποιήθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο μιας και αποτελούν μέρος της πειραματικής διαδικασίας B.

Η ανά λεπτό προσομοίωση των ροών μεταξύ του ανθρώπινου σώματος και του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος πραγματοποιήθηκε για την επιλεγμένη ομάδα μελέτης σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας B, μέσω του μοντέλου MENEX, όπως αυτό περιγράφεται αναλυτικά στη παράγραφο 4.2.

Τα μετεωρολογικά δεδομένα εισόδου στο μοντέλο MENEX συνιστούν οι παράμετροι της μέσης θερμοκρασίας αέρα, της σχετικής υγρασίας, της οριζόντιας ταχύτητας του ανέμου, της ατμοσφαιρικής πίεσης, της θερμοκρασίας εδάφους και της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας, ως αποτέλεσμα του μοντέλου Rayman. Επίσης, πρέπει να τονιστεί ότι όταν η ταχύτητα του ανέμου μετρήθηκε μικρότερη από 0.25 ms^{-1} , η προσομοίωση των ροών πραγματοποιήθηκε με την τιμή 0.25 ms^{-1} μιας και στο πραγματικό ατμοσφαιρικό περιβάλλον δεν υφίστανται συνθήκες πλήρους άπνοιας. Όπως και στο μοντέλο Rayman, η λευκαύγεια του εδάφους ορίστηκε στα 0.18, ώστε να χαρακτηρίζει το πειραματικό πεδίο (Oke 1982; Arnfield 2003). Κατά τη διάρκεια της 1^{ης} και 3^{ης} φάσης η ταχύτητα κίνησης κάθε ατόμου ορίστηκε στα 0.00 ms^{-1} κάθε πειραματική ημέρα. Αντιθέτως, κατά τη διάρκεια της 2^{ης} φάσης η

ταχύτητα κίνησης ορίστηκε στα 1.06 ms^{-1} , 1.08 ms^{-1} , 1.14 ms^{-1} , 1.14 ms^{-1} και 1.17 ms^{-1} για τις πειραματικές ημέρες 16, 17, 24, 25 και 28 Ιουλίου, αντίστοιχα, ως η μέση ταχύτητα κίνησης για την ολοκλήρωση της διαδρομής. Βάσει της επιλεγμένης ενδυμασίας της ομάδας μελέτης κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας B, η αντίσταση της συνολικής ενδυμασίας ως δεδομένο εισόδου στο μοντέλο ορίστηκε στα 0.41 clo, ενώ η μέση λευκαύγεια του δέρματος και της ενδυμασίας ορίστηκε στα 0.31 για κάθε άτομο, όπως έχουν αναλυτικά περιγραφεί στη παράγραφο 3.2.4.

Τα θερμοφυσιολογικά δεδομένα εισόδου στο μοντέλο MENEX είναι η πειραματική παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό (M) και η αντίστοιχη μέση πειραματική θερμοκρασία δέρματος ($T_{sk,exp}$) για κάθε άτομο, όπως ακριβώς και στο προηγούμενο κεφάλαιο. Στη συνέχεια του κεφαλαίου, λόγω απουσίας θεωρητικής προσέγγισης στην εκτίμηση των θερμοφυσιολογικών παραμέτρων, η παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό (M) και η μέση θερμοκρασία δέρματος (T_{sk}) αναφέρονται αποκλειστικά σε πειραματικές μετρήσεις.

Τα επίπεδα της θερμικής άνεσης διερευνήθηκαν μέσω δυο θερμοφυσιολογικών δεικτών, του δείκτη Θερμικού Φορτίου (Heat Load index, HL) και Απώλειας Ύδατος (Water loss index, SW). Η προσομοίωση πραγματοποιήθηκε με βήμα 1 min από τις Εξ. 4.37 έως 4.40 για τον HL και από την Εξ. 5.6 για τον SW , για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης, σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας. Επιπρόσθετα, υπολογίστηκε η επί τις εκατό συχνότητα κατανομής της θερμικής επιβάρυνσης βάσει της ταξινόμησης του δείκτη HL σε κάθε πειραματική φάση.

6.3 Μετεωρολογικές συνθήκες

Στο παρόν κεφάλαιο, η σειρά των πειραματικών ημερών κατά τις οποίες πραγματοποιήθηκε η πειραματική διαδικασία B υποδεικνύουν μέση θερμοκρασία αέρα μεταξύ 28.4°C και 30.5°C , χαρακτηρίζοντας το ατμοσφαιρικό περιβάλλον ως ήπια θερμό. Στο Πίνακα 6.2 απεικονίζεται η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση κάθε μετεωρολογικής παραμέτρου για τη σειρά των πειραματικών ημερών. Αυτό το χρονικό διάστημα η μέση τιμή της σχετικής υγρασίας κυμαίνεται από 26.1% έως 41.2% ενώ η μέση τιμή της θερμοκρασίας εδάφους διαμορφώνεται μεταξύ 36.5°C και 39.5°C . Αντίστοιχα, η μέση ολική ηλιακή ακτινοβολία για την πειραματική περίοδο κυμαίνεται από 357.2 Wm^{-2} έως 900.1 Wm^{-2} . Τα χαμηλά επίπεδα τιμών της

ολικής ηλιακής ακτινοβολίας στις 28/7 σχετίζονται με την επικρατούσα κατά διαστήματα νεφοκάλυψη.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2. Μέση τιμή και τυπική απόκλιση για κάθε μετεωρολογική παράμετρο κατά την πειραματική διαδικασία κάθε πειραματική ημέρα.

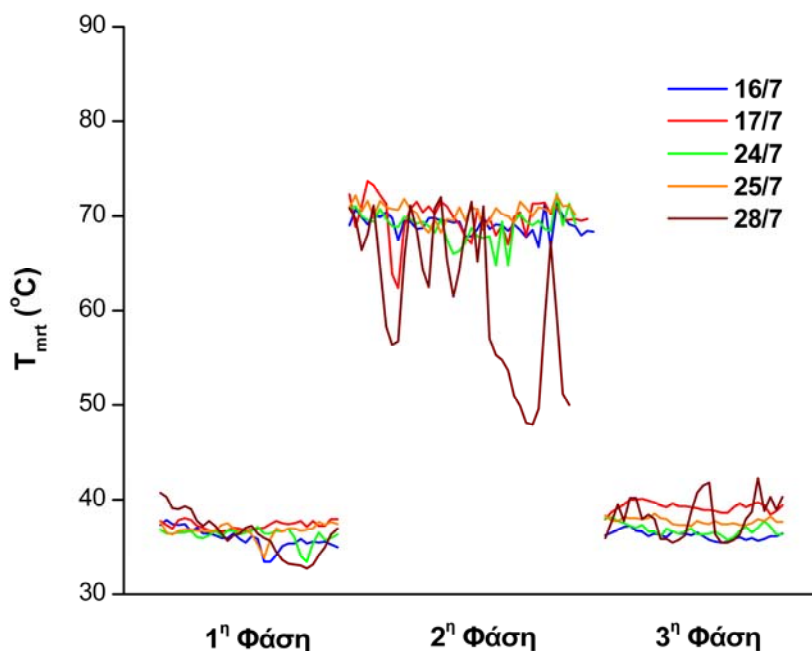
Πειραματικές ημέρες	Μετεωρολογικές παράμετροι		
	Θερμοκρασία αέρα (T_a , °C)	Σχετική υγρασία (f , %)	Ταχύτητα ανέμου (v , ms ⁻¹)
16/7	28.6±0.4	28.1±1.2	2.4±1.0
17/7	30.5±0.5	26.1±1.1	2.3±2.2
24/7	28.4±0.5	27.6±1.1	2.3±2.1
25/7	29.1±0.5	31.5±1.2	1.9±1.3
28/7	29.4±0.8	41.2±2.0	2.5±1.9

Πειραματικές ημέρες	Μετεωρολογικές παράμετροι		
	Θερμοκρασία εδάφους (T_g , °C)	Ολική ακτινοβολία (K_{glob} , Wm ⁻²)	Ατμοσφαιρική πίεση (p , hPa)
16/7	37.9±0.2	900.1±57.8	982.7±0.5
17/7	38.9±0.3	897.3±43.9	984.4±0.5
24/7	39.5±0.2	875.8±57.6	979.5±0.5
25/7	39.4±0.2	861.5±57.2	979.6±0.5
28/7	36.5±0.9	357.2±219.4	978.3±1.4

Η απολύτως μέγιστη θερμοκρασία του αέρα παρατηρείται στις 17/7 με 31.6 °C ενώ η απολύτως ελάχιστη στις 24/7 με 27.5 °C. Ταυτόχρονα, το μεγαλύτερο θερμοκρασιακό εύρος παρατηρείται στις 28/7, με το εύρος να διαμορφώνεται στους 3.3 °C κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας. Τα υψηλότερα επίπεδα της σχετικής υγρασίας διαμορφώνονται στις 28/7, με την απολύτως μέγιστη τιμή να είναι 45.3%. Αντίστοιχα, η απολύτως ελάχιστη σχετική υγρασία παρατηρείται στις 17/7 με 26.6%. Η απολύτως μέγιστη τιμή ταχύτητα του ανέμου παρατηρείται στις 17/7 με 9.9 ms⁻¹.

Η προσομοίωση της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της 1^{ης} και 3^{ης} φάσης κυμαίνεται μεταξύ 30 °C και 40 °C για τη σειρά των πειραματικών ημερών (Σχήμα 6.1). Σε ένα ήπια θερμό περιβάλλον, η T_{mrt} υπό σκιά (1^η & 3^η φάση) διαμορφώνεται σε χαμηλότερα επίπεδα τιμών συγκριτικά με τα αντίστοιχα θερμοκρασιακά επίπεδα των 40 °C έως 50 °C σε ένα μέτρια έως πολύ θερμό περιβάλλον (Σχήμα 5.3), όπως είδαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Κατά τη διάρκεια της διαδρομής όπου η ομάδα μελέτης είναι εκτεθειμένη στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία η T_{mrt} διαμορφώνεται στα θερμοκρασιακά επίπεδα μεταξύ 62 °C και 74 °C. Εξαιρέση αποτελούν τα αποτελέσματα στις 28/7 όπου λόγω της επικρατούσας νεφοκάλυψης και των αντίστοιχων χαμηλών επιπέδων της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας η T_{mrt} αυξομειώνεται κατά μήκος της διαδρομής και κυμαίνεται μεταξύ

47.9 °C και 72.0 °C. Συγκριτικά με τα αποτελέσματα του προηγούμενου κεφαλαίου η T_{mrt} διαμορφώνεται σε χαμηλότερα επίπεδα τιμών, με τη μέση διαφορά κατά τη διάρκεια της διαδρομής να κυμαίνεται από 2.3 °C έως 14.5 °C.



ΣΧΗΜΑ 6.1. Η ανά λεπτό χρονική εξέλιξη της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας (T_{mrt} , °C) σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας κάθε πειραματική ημέρα.

6.4 Μελέτη των πεδίων των θερμοφυσιολογικών παραμέτρων

Στην παράγραφο αυτή εξετάζεται η πορεία και τα επίπεδα τιμών των θερμοφυσιολογικών παραμέτρων κατά τη διάρκεια των τριών φάσεων της πειραματικής διαδικασίας Β. Συγκεκριμένα, μελετήθηκε η θερμοκρασία δέρματος, η παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό, η ροή θερμότητας και η γαλβανική αντίδραση του δέρματος κατά την παραμονή της ομάδας στη σκιά του δένδρου (1^η φάση), κατά μήκος της κυκλικής διαδρομής (2^η φάση) και τέλος κατά την παραμονή της ομάδας στη σκιά του δένδρου (3^η φάση).

6.4.1 Θερμοκρασία δέρματος

Στο Σχήμα 6.2 απεικονίζεται η χρονική εξέλιξη της θερμοκρασίας δέρματος στο τρικέφαλο του δεξιού βραχίονα (T_{arm}) για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης σε κάθε ατμοσφαιρικό περιβάλλον.

Κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης στις 16/7, ημέρα με μέση θερμοκρασία αέρα 28.6 °C, παρατηρείται ισορροπία τιμών της T_{arm} για τους άνδρες Sub3 και Sub6 στους 33.0 °C και 32.6 °C, αντίστοιχα (Σχήμα 6.2α). Αντιθέτως, σταδιακή αύξηση της T_{arm}

διαπιστώνεται για τις γυναίκες Sub4 και Sub5, με την αύξηση μετά από 30 min παραμονής στη σκιά του δένδρου να φτάνει τους 1.3 °C και 0.8 °C, αντίστοιχα. Με την έναρξη της 2^{ης} φάσης η T_{arm} διαμορφώνεται στους 33.2 °C για το Sub3, 34.1 °C για το Sub4, 33.4 °C για το Sub5 και 32.9 °C για το Sub6 (Σχήμα 6.2α) ενώ μικρή σταδιακή αύξηση παρατηρείται τα πρώτα 10 min της διαδρομής. Από αυτό το χρονικό σημείο και ύστερα διαπιστώνεται για το Sub6 ισορροπία τιμών με ελαφρά πτωτική πορεία έως την ολοκλήρωση της διαδρομής ενώ αυξομειώσεις προκύπτουν για τα υπόλοιπα άτομα, με μικρή περαιτέρω αύξηση στο τελευταίο τμήμα της διαδρομής κυρίως για το Sub3. Συνολικά κατά τη διάρκεια της διαδρομής προκύπτει αύξηση κατά 2.6 °C για το Sub3, 1.1 °C για το Sub4, 1.4 °C για το Sub5 και 0.4 °C για το Sub6. Με την έναρξη της 3^{ης} φάσης η T_{arm} διαμορφώνεται στους 35.7 °C, 35.1 °C, 34.5 °C και 33.3 °C για τα Sub3, Sub4, Sub5 και Sub6, αντίστοιχα. Τα επόμενα 30 min της παραμονής υπό σκιά η T_{arm} ακολουθεί πτωτική πορεία για όλα τα άτομα, με τη πτώση να φτάνει τους 1.9 °C, 1.2 °C, 1.2 °C και 0.8 °C για το Sub3, Sub4, Sub5 και Sub6, αντίστοιχα (Σχήμα 6.2α).

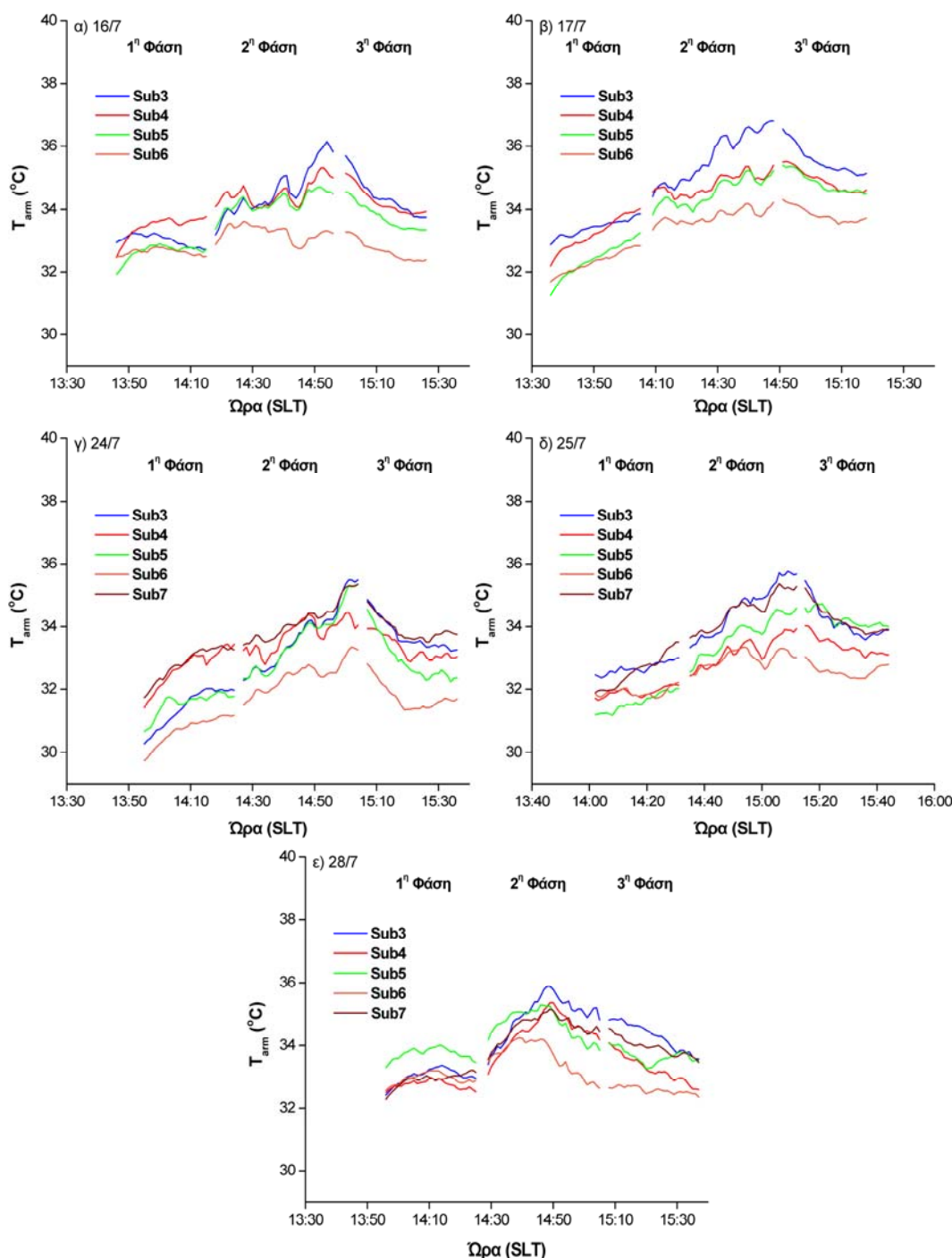
Η πειραματική διαδικασία στις 17/7, ημέρα με μέση θερμοκρασία αέρα 30.5 °C, καταδεικνύει για την 1^η φάση αυξητική πορεία της T_{arm} για όλα τα άτομα (Σχήμα 6.2β). Στο 1 min παραμονής στη σκιά του δένδρου η T_{arm} διαμορφώνεται στους 32.9 °C, 32.2 °C, 31.2 °C και 31.7 °C για το Sub3, Sub4, Sub5 και Sub6, αντίστοιχα, ενώ με την ολοκλήρωση της 1^{ης} φάσης παρατηρείται αύξηση κατά 1.0 °C, 1.8 °C, 2.0 °C και 1.1 °C, αντίστοιχα. Περαιτέρω σταδιακή αύξηση ακολουθεί η T_{arm} για όλα τα άτομα κατά μήκος της διαδρομής, με την υψηλότερη βαθμίδα να εντοπίζεται για το Sub3. Αυτό το χρονικό διάστημα η αύξηση φτάνει τους 2.4 °C για το Sub3, 0.9 °C για το Sub4, 1.4 °C για το Sub5 και 0.9 °C για το Sub6. Η υψηλότερη τιμή διαμορφώνεται στο τέλος της διαδρομής με 36.8 °C, 35.4 °C, 35.2 °C και 34.2 °C για το Sub3, Sub4, Sub5 και Sub6, αντίστοιχα. Αντιθέτως, με την επιστροφή της ομάδας μελέτης στη σκιά του δένδρου η T_{arm} ακολουθεί πτωτική πορεία, με τη πτώση μετά από 30 min παραμονής υπό σκιά να φτάνει τους 1.3 °C για το Sub3, 0.9 °C για το Sub4, 0.8 °C για το Sub5 και 0.5 °C για το Sub6.

Στις 24/7, ημέρα με τη χαμηλότερη μέση θερμοκρασία αέρα (28.4 °C) της εξεταζόμενης περιόδου, η T_{arm} κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα τιμών για όλα τα άτομα κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης (Σχήμα 6.2γ). Συγκεκριμένα, το 1 min παραμονής υπό σκιά η T_{arm} διαμορφώνεται στους 30.3 °C για το Sub3, 31.4 °C για το Sub4, 30.7 °C για το Sub5, 29.7 °C για το Sub6 και 31.7 °C για το Sub7. Σταδιακή αύξηση

παρατηρείται το αμέσως επόμενο χρονικό διάστημα ενώ ισορροπία τιμών διαπιστώνεται τα τελευταία 10 min της 1^{ης} φάσης. Η αύξηση που παρατηρείται τα 30 min παραμονής υπό σκιά φτάνει τους 1.7 °C, 2.0 °C, 1.1 °C, 1.4 °C και 1.5 °C για το Sub3, Sub4, Sub5, Sub6 και Sub7, αντίστοιχα. Περαιτέρω σταδιακή αύξηση ακολουθεί η T_{arm} κατά τη διάρκεια της διαδρομής (2^η φάση) με τη βαθμίδα να διαφοροποιείται μεταξύ των ατόμων (Σχήμα 6.2γ). Συγκεκριμένα, η μεγαλύτερη αυξητική βαθμίδα παρατηρείται για το Sub3 και το Sub5, με την αύξηση αυτό το χρονικό διάστημα να φτάνει τους 3.2 °C, 0.8 °C, 3.0 °C, 1.8 °C και 1.9 °C για το Sub3, Sub4, Sub5, Sub6 και Sub7, αντίστοιχα. Ταυτόχρονα, η T_{arm} δεν υπερβαίνει τους 35.5 °C σε κανένα χρονικό σημείο της διαδρομής για την ομάδα μελέτης. Τα πρώτα 15 min της 3^{ης} φάσης η T_{arm} ακολουθεί πτωτική πορεία ενώ ισορροπία τιμών παρατηρείται στη συνέχεια (Σχήμα 6.2γ). Με την ολοκλήρωση της 3^{ης} φάσης η T_{arm} διαμορφώνεται στους 33.3 °C για το Sub3, 33.0 °C για το Sub4, 32.4 °C για το Sub5, 31.7 °C για το Sub6 και 33.8 °C για το Sub7, υψηλότερη συγκριτικά με την αντίστοιχη τιμή κατά την ολοκλήρωση της 1^{ης} φάσης κατά 1.3 °C, 0.6 °C, 0.5 °C και 0.5 °C για το Sub3, Sub5, Sub6 και Sub7, αντίστοιχα, ενώ είναι χαμηλότερη κατά 0.4 °C για το Sub4.

Στο Σχήμα 6.2δ, το οποίο παρουσιάζει τη χρονική εξέλιξη της T_{arm} στις 25/7, ημέρα με μέση θερμοκρασία αέρα 29.1 °C, φαίνεται χαρακτηριστικά η αυξητική πορεία της T_{arm} για την ομάδα μελέτης κατά την 1^η φάση. Το πρώτο λεπτό παραμονής υπό σκιά η T_{arm} διαμορφώνεται στους 32.5 °C, 31.7 °C, 31.2 °C, 31.9 °C και 31.9 °C για το Sub3, Sub4, Sub5, Sub6 και Sub7, αντίστοιχα, με την αύξηση μετά από 30 min να φτάνει τους 0.6 °C, 0.4 °C, 0.8 °C, 0.4 °C και 1.6 °C, αντίστοιχα. Κατά μήκος της διαδρομής διαπιστώνεται περαιτέρω αύξηση της T_{arm} για όλα τα άτομα, σε συμφωνία με τα αποτελέσματα των προηγούμενων πειραματικών ημερών. Συγκεκριμένα, αυτό το χρονικό διάστημα η αύξηση φτάνει τους 2.4 °C για το Sub3, 1.5 °C για το Sub4, 2.0 °C για το Sub5, 0.6 °C για το Sub6 και 1.6 °C για το Sub7. Τα υψηλότερα επίπεδα τιμών διαμορφώνονται τα τελευταία 10 min της διαδρομής, με την απολύτως μέγιστη τιμή να φτάνει τους 35.8 °C, 33.9 °C, 34.6 °C και 35.4 °C για το Sub3, Sub4, Sub5 και Sub7, αντίστοιχα. Εξαίρεση αποτελεί το Sub6 του οποίου η υψηλότερη τιμή (33.3 °C) διαμορφώνεται στα μέσα της διαδρομής ενώ μέχρι την ολοκλήρωση της παρατηρείται αυξομείωση τιμών που δεν υπερβαίνει το παραπάνω όριο. Σταδιακή πτωτική πορεία ακολουθεί η T_{arm} κατά τη διάρκεια της 3^{ης} φάσης, με τη πτώση μετά από 30 min υπό σκιά να φτάνει τους 1.6 °C για το Sub3, 0.9 °C για το Sub4, 0.6 °C για το Sub5, 0.2 °C

για το Sub6 και 1.3°C για το Sub7. Είναι εμφανές ότι το Sub6 καταγράφει την μικρότερη πτώση λόγω της σχετικά χαμηλής T_{arm} που διαμόρφωσε στο τελευταίο τμήμα της διαδρομής συγκριτικά με τα υπόλοιπα άτομα. Παράλληλα φαίνεται ότι παρόλο που η T_{arm} αυτό το χρονικό διάστημα ακολουθεί πτωτική πορεία προσεγγίζοντας στο τελευταίο χρονικό βήμα την αντίστοιχη τιμή της 1^{ης} φάσης, υπολείπεται αυτής τουλάχιστον κατά 0.4°C ενώ φτάνει και τους 2.0°C .



ΣΧΗΜΑ 6.2. Η θερμοκρασία δέρματος στο τρικέφαλο του δεξιού βραχίονα (T_{arm}) για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας για τις α) 16/7, β) 17/7, γ) 24/7, δ) 25/7 και ε) 28/7.

Η χρονική εξέλιξη της T_{arm} στις 28/7, ημέρα με μέση θερμοκρασία αέρα 29.4 °C, διαφοροποιείται συγκριτικά με τα αποτελέσματα των προηγούμενων πειραματικών ημερών, ιδιαίτερα κατά μήκος της διαδρομής, γεγονός το οποίο πρέπει να οφείλεται στην επικρατούσα νεφοκάλυψη. Συγκεκριμένα, κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης παρατηρείται μικρή αύξηση της T_{arm} τα πρώτα 15 min και σταδιακή κάμψη των τιμών μέχρι την ολοκλήρωση της για όλα τα άτομα. Εξαίρεση αποτελεί η χρονική εξέλιξη της T_{arm} για το Sub7 η οποία παρουσιάζει σταδιακή αύξηση καθ' όλη τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης. Έτσι, μετά από 30 min παραμονής υπό σκιά η αύξηση δεν υπερβαίνει τους 0.5 °C για την ομάδα μελέτης ενώ μόνο για το Sub7 καταγράφεται υψηλότερη αύξηση που φτάνει τους 0.8 °C. Κατά τη διάρκεια της 2^{ης} φάσης η T_{arm} παρουσιάζει αυξητική πορεία στα πρώτα 20 min της διαδρομής και πτωτική πορεία στη συνέχεια για όλα τα άτομα, σε αντίθεση με τις προηγούμενες πειραματικές ημέρες. Η κάμψη των τιμών στο δεύτερο μισό της διαδρομής υποδηλώνει την επίδραση της απορροφούμενης ηλιακής ακτινοβολίας (R) και κατ' επέκταση του ισοζυγίου ακτινοβολίας (Q), όπως θα αναλυθεί σε επόμενη παράγραφο, στην T_{arm} και T_{sk} , παρόλο που η παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό κυμαίνεται σε υψηλά επίπεδα λόγω της δραστηριότητας αυτό το χρονικό διάστημα. Τα παραπάνω βρίσκονται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα των Błażejczyk et al. (2000), οι οποίοι έδειξαν την επίδραση της ακτινοβολίας στη θερμοκρασία δέρματος αλλά για όρθια στάση σώματος στην ανάπαυση. Έτσι, η μεταβολή της T_{arm} συνολικά κατά μήκος της διαδρομής οδηγεί σε αύξηση κατά 1.4 °C το Sub3, 1.1 °C το Sub4 και 0.9 °C το Sub7 και σε μείωση κατά 0.3 °C και 0.8 °C τα Sub5 και Sub6, αντίστοιχα. Ταυτόχρονα, φαίνεται ότι τα άτομα Sub3, Sub4 και Sub7 τα οποία παρουσίασαν θετική μεταβολή κατά μήκος της διαδρομής εμφανίζουν πτωτική πορεία κατά τη διάρκεια της 3^{ης} φάσης, σε αντίθεση με τα Sub5 και Sub6 των οποίων η T_{arm} φαίνεται να ισορροπεί στους 33.7 °C και 32.6 °C, αντίστοιχα.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα προκύπτει συνολικά αυξητική πορεία της T_{arm} κατά τη διάρκεια παραμονής υπό σκιά (1^η φάση), με τη βαθμίδα να διαφοροποιείται μεταξύ των ατόμων. Ουσιαστικά, αυτό το χρονικό διάστημα η πορεία της T_{arm} εξαρτάται από τη κύμανση των μετεωρολογικών παραμέτρων και τη στάση του σώματος (Błażejczyk 1999) αλλά και από την προηγούμενη θερμική κατάσταση του σώματος η οποία διαμορφώνει σε συνδυασμό με το ατμοσφαιρικό περιβάλλον την τιμή κατά το 1 min παραμονής στη σκιά του δένδρου. Χαρακτηριστικό παράδειγμα η πορεία της T_{arm} για τα Sub3 και Sub6 στις 16/7 όπου

φαίνεται να ισορροπεί σε αντίθεση με τα υπόλοιπα άτομα όπου παρουσιάζουν αυξητική πορεία. Επίσης, η μεταβολή της T_{arm} κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης βρέθηκε να κυμαίνεται κυρίως από 0.5 °C έως 1.5 °C ενώ σε κάποιες περιπτώσεις έφτασε έως και τους 2.0 °C.

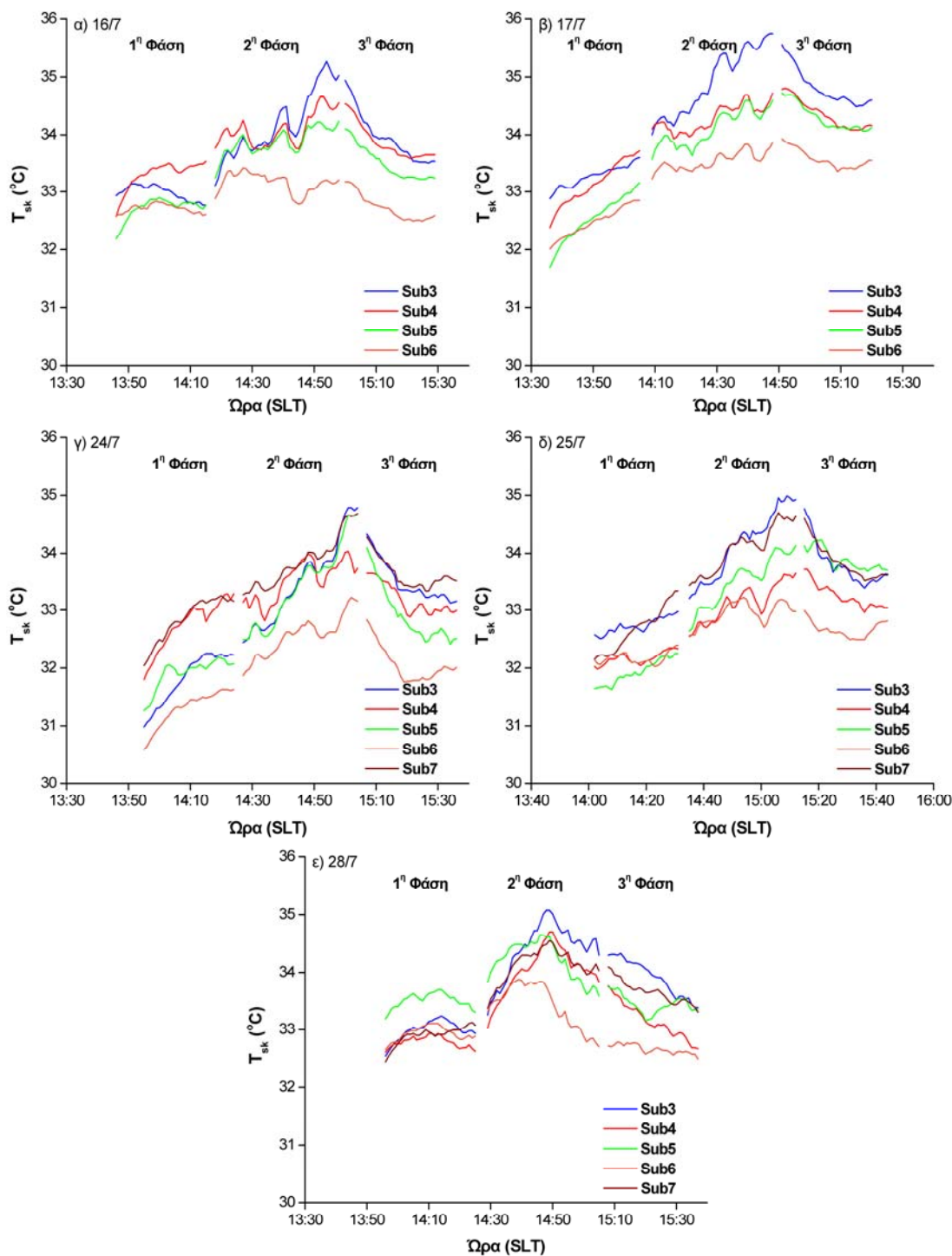
Κατά μήκος της διαδρομής παρατηρείται περαιτέρω σταδιακή αύξηση της T_{arm} η οποία είναι αποτέλεσμα της υψηλής δραστηριότητας και της έκθεσης στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία. Η αύξηση της απορροφούμενης ηλιακής ακτινοβολίας (R) και κατ' επέκταση του ισοζυγίου ακτινοβολίας (Q) στον ανθρώπινο οργανισμό κατά μήκος της διαδρομής εξηγεί τα υψηλότερα επίπεδα της T_{arm} συγκριτικά με τα επίπεδα τιμών της 1^{ης} φάσης. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των Błażejczyk (1999) και Błażejczyk et al. (1993) οι μεταβολές στην απορροφούμενη ηλιακή ακτινοβολία επηρεάζουν τη θερμοκρασία του δέρματος και δύναται να δικαιολογήσουν σχεδόν το 50% των μεταβολών της θερμοκρασίας του δέρματος για άτομα σε όρθια στάση σώματος στην ανάπαυση. Ταυτόχρονα, στις 28/7 ημέρα με επικρατούσα νεφοκάλυψη, η T_{arm} ακολουθεί πτωτική πορεία στο δεύτερο μισό της διαδρομής λόγω των αντίστοιχων χαμηλών επιπέδων της απορροφούμενης ηλιακής ακτινοβολίας και κατ' επέκταση του ισοζυγίου ακτινοβολίας (Q) στον ανθρώπινο οργανισμό, όπως θα αναλυθεί σε επόμενη παράγραφο.

Τέλος, τα αποτελέσματα κατά την 3^η φάση της πειραματικής διαδικασίας υποδεικνύουν πτωτική πορεία της T_{arm} για την ομάδα μελέτης σε κάθε ατμοσφαιρικό περιβάλλον, με τη βαθμίδα να διαφοροποιείται μεταξύ των ατόμων και ουσιαστικά να εξαρτάται από τα επίπεδα τιμών που διαμορφώθηκαν κατά μήκος της διαδρομής. Συνολικά αυτό το χρονικό διάστημα η T_{arm} κυμαίνεται σε υψηλότερα επίπεδα τιμών συγκριτικά με την 1^η φάση λόγω της προηγούμενης υψηλής θερμικής κατάστασης του σώματος. Συγκεκριμένα, βρέθηκε ότι μετά από παραμονή 30 min στη σκιά του δένδρου, κατά την 3^η φάση, η T_{arm} προσεγγίζει την τιμή που διαμορφώθηκε κατά την ολοκλήρωση της 1^{ης} φάσης, με τη διαφορά να κυμαίνεται από -0.5 °C έως 2.0 °C.

Στο Σχήμα 6.3 απεικονίζεται η πορεία της μέσης θερμοκρασίας δέρματος (T_{sk}) για την ομάδα μελέτης σε κάθε ατμοσφαιρικό περιβάλλον, από όπου φαίνεται η ταυτόχρονη συμμεταβολή με την T_{arm} σε χαμηλότερα επίπεδα τιμών, ιδιαίτερα στις υψηλότερες θερμοκρασίες δέρματος.

Συνολικά από τη μελέτη των πεδίων της T_{arm} και της T_{sk} σε ένα ήπια θερμό περιβάλλον (Σχήματα 6.2, 6.3) βρέθηκε ότι είναι μικρότερες κατά 2.7 °C και 2.0 °C, αντίστοιχα, κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης σε σύγκριση με τα επίπεδα τιμών σε ένα

μετρία έως πολύ θερμό περιβάλλον (Σχήματα 5.4, 5.5), όπως είδαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Συγκεκριμένα, σε ένα ήπια θερμό περιβάλλον η T_{arm} (T_{sk}) διαμορφώνεται μεταξύ 29.7 °C και 34.0 °C (30.6 °C - 33.7 °C) ενώ σε ένα μέτρια έως πολύ θερμό κυμαίνεται από 32.4 °C έως 36.8 °C (32.5 °C - 35.7 °C).



ΣΧΗΜΑ 6.3. Η μέση θερμοκρασία δέρματος (T_{sk}) για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας για τις α) 16/7, β) 17/7, γ) 24/7, δ) 25/7 και ε) 28/7.

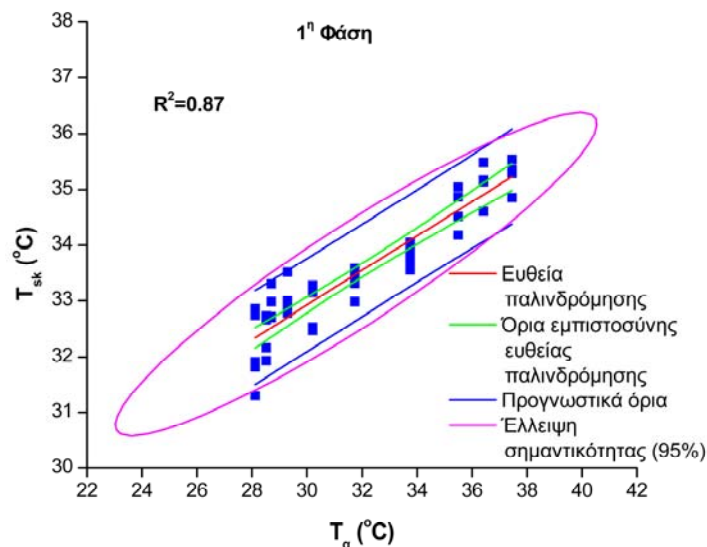
Κατά μήκος της διαδρομής (2^η φάση) σε ένα ήπια θερμό περιβάλλον η T_{arm} και T_{sk} υπολείπονται κατά 2.2 °C και 1.6 °C, αντίστοιχα, σε σύγκριση με τα επίπεδα τιμών σε ένα μέτρια έως πολύ θερμό περιβάλλον. Το εύρος τιμών της T_{arm} (T_{sk}) κυμαίνεται από 31.5 °C έως 36.8 °C (31.9 °C – 35.7 °C) σε ένα ήπια θερμό ενώ διαμορφώνεται μεταξύ 33.8 °C και 39.0 °C (33.6 °C – 37.3 °C) σε ένα μέτρια έως πολύ θερμό περιβάλλον.

Τέλος, κατά τη διάρκεια της 3^{ης} φάσης βρέθηκε ότι σε ένα ήπια θερμό περιβάλλον η T_{arm} είναι μικρότερη κατά 1.6 °C έως 2.5 °C από ότι σε ένα μέτρια έως πολύ θερμό, με το εύρος τιμών να κυμαίνεται από 31.3 °C έως 36.5 °C και από 33.8 °C έως 38.1 °C, αντίστοιχα. Το ίδιο χρονικό διάστημα η T_{sk} υπολείπεται κατά 1.2 °C έως 1.9 °C, με το εύρος τιμών να είναι σε ένα ήπια θερμό περιβάλλον από 31.7 °C έως 35.5 °C ενώ σε ένα μέτρια έως πολύ θερμό περιβάλλον από 33.6 °C έως 36.7 °C.

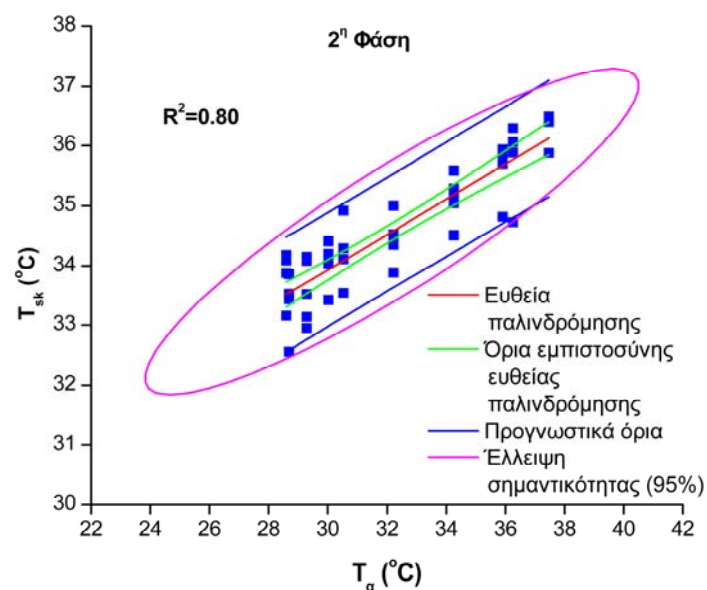
Προκειμένου να φανεί συνολικά η επίδραση της θερμοκρασίας του αέρα στη μέση θερμοκρασία δέρματος του κάθε ατόμου καθώς και οι διαφοροποιήσεις μεταξύ των φάσεων παρουσιάζονται τα διαγράμματα διασποράς (Σχήματα 6.4 έως 6.7) των μέσων τιμών της T_{sk} με την T_a για κάθε πειραματική φάση στο σύνολο της πειραματικής περιόδου (15 έως 28/7). Από την εξέταση των διαγραμμάτων διασποράς είναι εμφανές ότι η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα οδηγεί την T_{sk} σε υψηλότερα επίπεδα τιμών. Ωστόσο, κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης η συμπίκνωση των ζευγών T_a , T_{sk} γύρω από την ευθεία παλινδρόμησης είναι μεγαλύτερη από ότι στις άλλες δυο φάσεις, με το συντελεστή συσχέτισης να είναι 0.93 στη στάθμη σημαντικότητας 0.05 (Σχήμα 6.4). Ειδικότερα, για το θερμοκρασιακό εύρος το οποίο μελετάται βρέθηκε ότι αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα κατά 10 °C οδηγεί σε αύξηση κατά 2.8 °C την T_{sk} .

Αντιθέτως, κατά μήκος της διαδρομής (2^η φάση) παρατηρείται μετατόπιση της ευθείας παλινδρόμησης και κατ' επέκταση των ζευγών T_a , T_{sk} σε υψηλότερες τιμές ως προς τον άξονα T_{sk} , με τη μετατόπιση να είναι μεγαλύτερη στις χαμηλότερες θερμοκρασίες αέρα (1.2 °C) από ότι στις υψηλότερες (0.9 °C) (Σχήμα 6.5). Ταυτόχρονα, παρατηρείται μεγαλύτερη διασπορά τιμών με το συντελεστή συσχέτισης να είναι 0.89 στη στάθμη σημαντικότητας 0.05, ενώ η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα κατά 10 °C οδηγεί σε αύξηση την T_{sk} κατά 2.5 °C. Τα παραπάνω υποδεικνύουν την επίδραση περισσότερων παραμέτρων στην T_{sk} κατά μήκος της διαδρομής, εκτός της θερμοκρασίας του αέρα, όπως η άμεση ηλιακή ακτινοβολία και η υψηλή

παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό λόγω δραστηριότητας σε σύγκριση με την 1^η φάση.



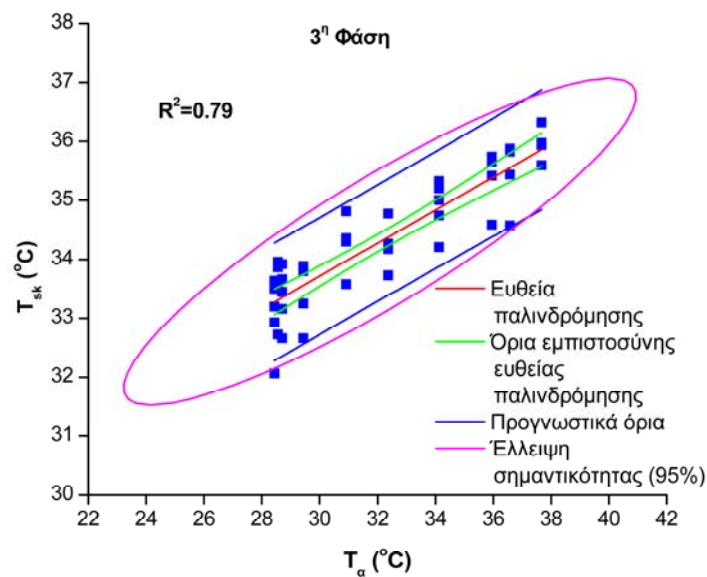
ΣΧΗΜΑ 6.4. Διασπορά των μέσων τιμών της μέσης θερμοκρασίας δέρματος (T_{sk}) σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία του αέρα (T_a) κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης για το σύνολο της πειραματικής περιόδου.



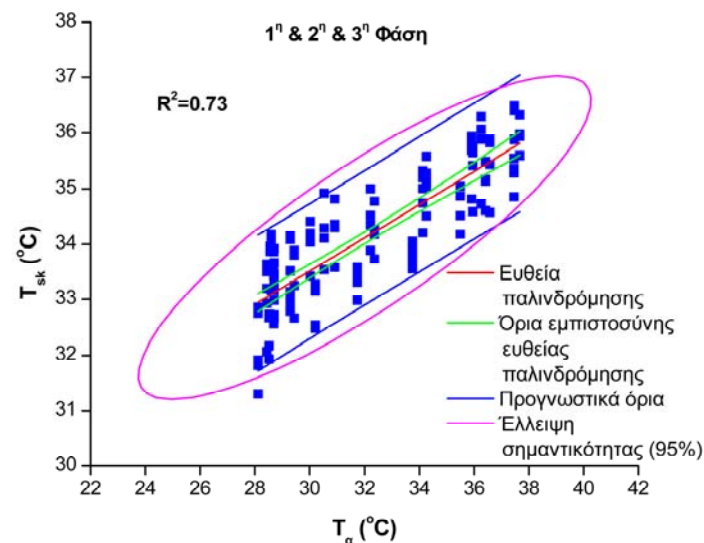
ΣΧΗΜΑ 6.5. Διασπορά των μέσων τιμών της μέσης θερμοκρασίας δέρματος (T_{sk}) σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία του αέρα (T_a) κατά τη διάρκεια της 2^{ης} φάσης για το σύνολο της πειραματικής περιόδου.

Τέλος, κατά τη διάρκεια της 3^{ης} φάσης η διασπορά τιμών γύρω από την ευθεία παλινδρόμησης είναι μεγαλύτερη από ότι της 1^{ης} φάσης και αντίστοιχη της 2^{ης} φάσης, παρόλο που αυτό το χρονικό διάστημα δεν υφίσταται η επίδραση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας ενώ και η παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό διαμορφώνεται σε χαμηλά επίπεδα (Σχήμα 6.6). Το γεγονός αυτό οφείλεται στην προηγούμενη υψηλή θερμική κατάσταση του σώματος λόγω της διαδρομής η οποία επηρεάζει την

T_{sk} στα επόμενα χρονικά βήματα. Ειδικότερα, η ευθεία παλινδρόμησης μετατοπίζεται σε χαμηλότερες τιμές ως προς τον άξονα T_{sk} συγκριτικά με τη 2^η φάση, με τη μετατόπιση να είναι ελαφρώς μεγαλύτερη στις χαμηλότερες θερμοκρασίες αέρα (0.3 °C) από ότι στις υψηλότερες (0.2 °C). Αντιθέτως, συγκριτικά με την 1^η φάση η μετατόπιση της ευθείας παλινδρόμησης σε υψηλότερες τιμές ως προς τον άξονα T_{sk} φτάνει τους 0.9 °C στις χαμηλότερες θερμοκρασίες αέρα και τους 0.7 °C στις υψηλότερες θερμοκρασίες αέρα. Ταυτόχρονα, ο συντελεστής συσχέτισης βρέθηκε να είναι 0.89 στη στάθμη σημαντικότητας 0.05, ενώ η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα κατά 10 °C οδηγεί σε αύξηση την T_{sk} κατά 2.6 °C.



ΣΧΗΜΑ 6.6. Διασπορά των μέσων τιμών της μέσης θερμοκρασίας δέρματος (T_{sk}) σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία του αέρα (T_a) κατά τη διάρκεια της 3^{ης} φάσης για το σύνολο της πειραματικής περιόδου.



ΣΧΗΜΑ 6.7. Διασπορά των μέσων τιμών της μέσης θερμοκρασίας δέρματος (T_{sk}) σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία του αέρα (T_a) κατά τη διάρκεια ολόκληρης της πειραματικής διαδικασίας για το σύνολο της πειραματικής περιόδου.

Κατά τη διάρκεια ολόκληρης της πειραματικής διαδικασίας για το σύνολο της πειραματικής περιόδου παρατηρείται μεγαλύτερη διασπορά τιμών με το συντελεστή συσχέτισης να είναι 0.85 στη στάθμη σημαντικότητας 0.05 (Σχήμα 6.7).

Στο Πίνακα 6.3 παρουσιάζονται οι συντελεστές συσχέτισης μέσω της ανά βήμα γραμμικής παλινδρόμησης (stepwise linear regression) της μέσης θερμοκρασίας δέρματος και διαφόρων μετεωρολογικών παραμέτρων κατά τη διάρκεια της 1^{ης} (n=300, $P \leq 0.05$), 2^{ης} (n=388, $P \leq 0.05$) και 3^{ης} (n=300, $P \leq 0.05$) φάσης της πειραματικής διαδικασίας, στο σύνολο της πειραματικής περιόδου (15 έως 28/7). Βρέθηκε στατιστικά σημαντική ισχυρή συσχέτιση (0.96, 0.95, 0.96) μεταξύ της μέσης θερμοκρασίας δέρματος και της θερμοκρασίας του αέρα σε κάθε πειραματική φάση. Ταυτόχρονα, μια θετική στατιστικά σημαντική συσχέτιση της τάξης του 0.55 (1^η φάση), 0.52 (2^η φάση) και 0.41 (3^η φάση) βρέθηκε μεταξύ της μέσης θερμοκρασίας δέρματος και της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας. Η χαμηλότερη τιμή του συντελεστή συσχέτισης κατά τη διάρκεια της 3^{ης} φάσης πιθανόν οφείλεται στην προηγούμενη υψηλή θερμική κατάσταση του σώματος λόγω της δραστηριότητας που προηγήθηκε κατά τη διάρκεια της 2^{ης} φάσης. Σε προηγούμενη μελέτη οι Błażejczyk et al. (1993) εντόπισαν σημαντική θετική συσχέτιση της τάξης του 0.7 μεταξύ της T_{sk} με τη θερμοκρασία του αέρα αλλά και με την ολική ηλιακή ακτινοβολία, για ομάδα μελέτης στην ανάπαυση εκτεθειμένη στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία με συνολική αντίσταση ενδυμασίας 1 clo. Αντιθέτως, μια αρνητική στατιστικά σημαντική συσχέτιση (-0.69, -0.71, -0.75) εντοπίστηκε μεταξύ της T_{sk} και της σχετικής υγρασίας σε κάθε πειραματική φάση, με την υψηλότερη συσχέτιση να παρατηρείται κατά τη διάρκεια της 3^{ης} φάσης.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.3. Ανά βήμα γραμμική παλινδρόμηση της μέσης θερμοκρασίας δέρματος (T_{sk}) με διάφορες μετεωρολογικές παραμέτρους κατά τη διάρκεια κάθε φάσης για το σύνολο της πειραματικής περιόδου (* μη στατιστικά σημαντική στη στάθμη σημαντικότητας 0.05).

Μετεωρολογικές παράμετροι	Συντελεστής συσχέτισης (R)		
	1 ^η Φάση	2 ^η Φάση	3 ^η Φάση
Θερμοκρασία αέρα (T_a)	0.96	0.95	0.96
Σχετική υγρασία (f)	-0.69	-0.71	-0.75
Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας (T_{mrt})	0.55	0.52	0.41
Ταχύτητα ανέμου (v)	-0.02*	-0.05*	-0.31

Τέλος, μια στατιστικά σημαντική, αλλά όχι ισχυρή αρνητική συσχέτιση (-0.31) βρέθηκε κατά τη διάρκεια της 3^{ης} φάσης μεταξύ της T_{sk} και της ταχύτητας του ανέμου, ενώ βρέθηκαν ασυσχέτιστοι κατά τη διάρκεια των άλλων δυο φάσεων. Η χαμηλή συσχέτιση πιθανόν οφείλεται στις χαμηλές ταχύτητες του ανέμου και στο γεγονός ότι

οι μετρήσεις της T_{sk} στην επιφάνεια του σώματος πραγματοποιήθηκαν σε ενδεδυμένα άτομα και βρίσκεται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα των Błażejczyk et al. (1993).

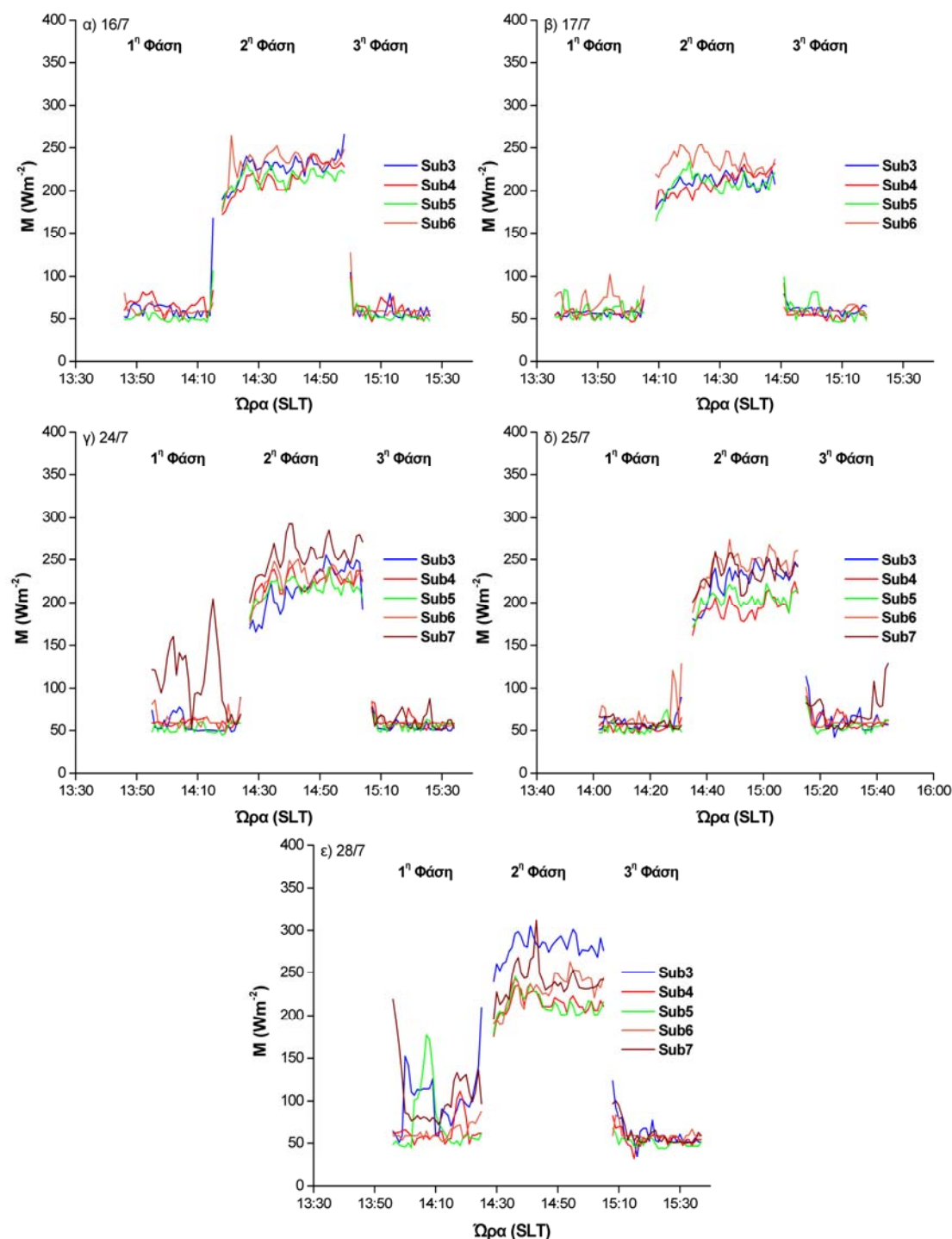
6.4.2 Παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό

Στο Σχήμα 6.8 παρουσιάζεται η χρονική εξέλιξη της παραγωγής θερμότητας από το μεταβολισμό (M), χαρακτηρίζοντας το επίπεδο δραστηριότητας για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης κάθε πειραματική ημέρα.

Συγκεκριμένα, βρέθηκε ότι κατά τη διάρκεια της 1^{ης} και 3^{ης} φάσης ολόκληρης της εξεταζόμενης περιόδου η μέση παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό κυμαίνεται μεταξύ 51.1 Wm⁻² και 68.0 Wm⁻² για την ομάδα μελέτης, χαρακτηρίζοντας τη δραστηριότητα ως καθιστική σύμφωνα με το Πίνακα 4.2 κατά ISO 8996 (2001). Εξαίρεση στο παραπάνω εύρος τιμών αποτελεί το Sub7 κατά τη διάρκεια της 3^{ης} φάσης στις 25/7 και το Sub5 κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης στις 28/7, με μέση παραγωγή θερμότητας στα 72.2 Wm⁻² και 74.3 Wm⁻², αντίστοιχα, χαρακτηρίζοντας τη δραστηριότητα ως ήπια. Επίσης, εξαίρεση αποτελούν κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης το Sub7 στις 24/7 με 112.0 Wm⁻² καθώς και τα άτομα Sub3 και Sub7 στις 28/7 με 100.7 Wm⁻² και 107.0 Wm⁻², αντίστοιχα, χαρακτηρίζοντας τη δραστηριότητα ως μέτρια.

Το υψηλότερο επίπεδο δραστηριότητας κατά τη διάρκεια της διαδρομής (2^η φάση) υποδεικνύει υψηλότερη παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό, με τη μέση τιμή να είναι σχεδόν τετραπλάσια σε σύγκριση με τα αντίστοιχα επίπεδα τιμών κατά τη διάρκεια της 1^{ης} και 3^{ης} φάσης (Katavoutas et al. 2010). Συγκεκριμένα, κατά μήκος της διαδρομής η μέση παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό κυμάνθηκε για το Sub3 από 209.0 έως 280.6 Wm⁻², για το Sub4 μεταξύ 194.4 και 224.0 Wm⁻², για το Sub5 από 203.4 έως 216.4 Wm⁻², για το Sub6 μεταξύ 228.5 και 243.1 Wm⁻² και για το Sub7 από 233.5 έως 255.3 Wm⁻² για ολόκληρη την εξεταζόμενη πειραματική περίοδο. Ειδικότερα, βρέθηκε ότι κατά μήκος της διαδρομής η απολύτως μέγιστη παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό φτάνει στα 305.7 Wm⁻² για το Sub3 στις 28/7, στα 242.4 Wm⁻² για το Sub4 στις 16/7, στα 245.7 Wm⁻² για το Sub5 στις 28/7, στα 274.1 Wm⁻² για το Sub6 στις 25/7 και στα 312.3 Wm⁻² για το Sub7 στις 28/7. Η σύγκριση της M μεταξύ των δυο φύλων καταδεικνύει υψηλότερα επίπεδα τιμών για τους άνδρες (Sub3, Sub6 και Sub7) σε σχέση με τις γυναίκες (Sub4 και Sub5) τόσο σε απόλυτες όσο και σε μέσες τιμές. Η ανά λεπτό μεταβολές της M εξαρτώνται από ένα

σύνολο παραμέτρων όπως η ταχύτητα κίνησης και οι κλίσεις του εδάφους στα διάφορα τμήματα της διαδρομής καθώς και από τη διαδοχή των κατά μήκος κλίσεων.



ΣΧΗΜΑ 6.8. Η παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό (M) για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας για τις α) 16/7, β) 17/7, γ) 24/7, δ) 25/7 και ε) 28/7.

Οι παρατηρούμενες αποκλίσεις της M μεταξύ των ατόμων, τόσο στο παρών όσο και στο προηγούμενο κεφάλαιο, ουσιαστικά οφείλονται στο γεγονός ότι η

παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό για δοσμένη δραστηριότητα παρουσιάζει ένα εύρος κύμανσης το οποίο εξαρτάται από το άτομο το οποίο πραγματοποιεί τη δραστηριότητα καθώς και από τις συνθήκες κάτω από τις οποίες πραγματοποιείται η επιλεγμένη δραστηριότητα (ASHRAE 1997, 2001).

6.4.3 Ροή θερμότητας

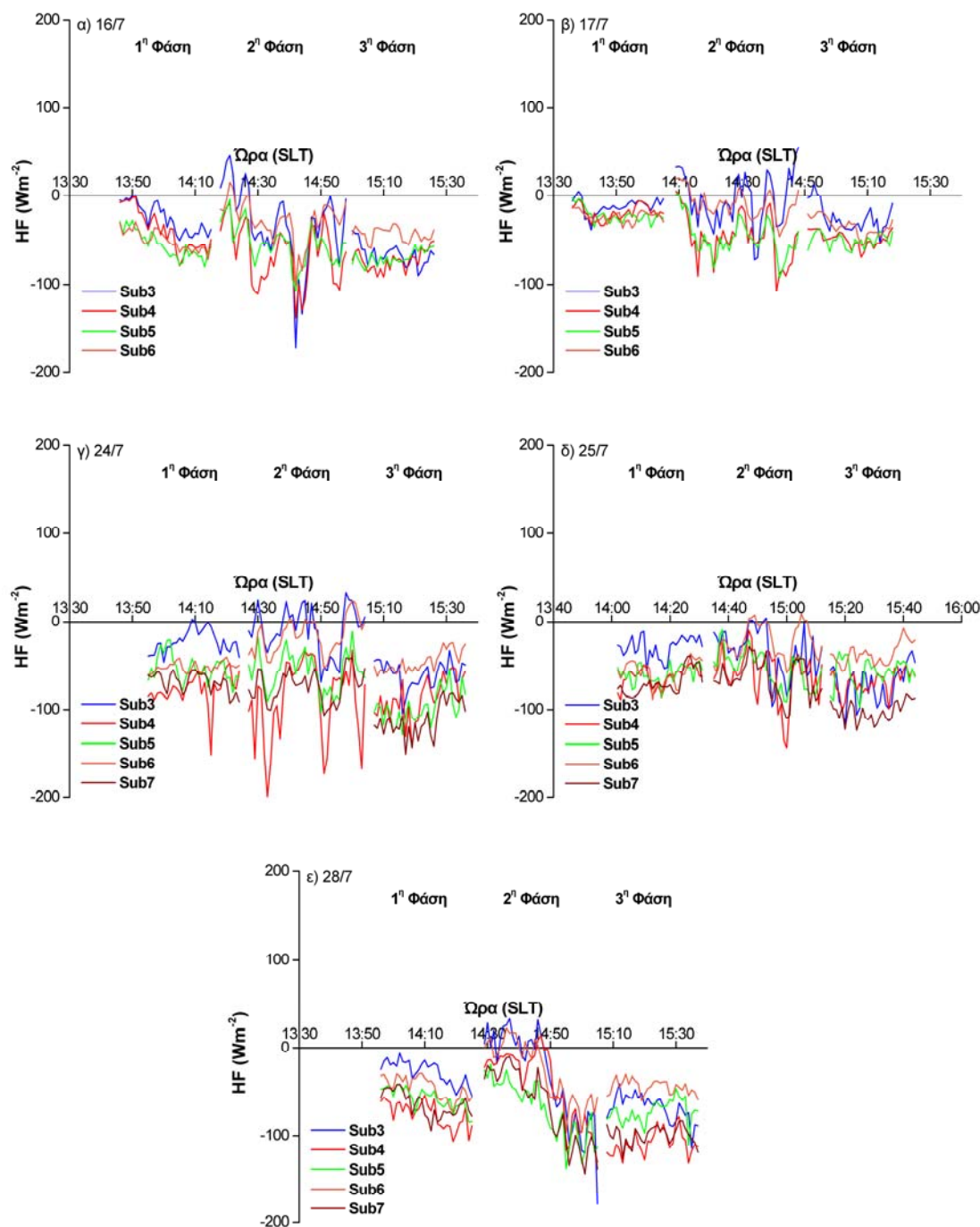
Στο Σχήμα 6.9 απεικονίζεται η ροή θερμότητας (HF) κατά τη διάρκεια κάθε φάσης της πειραματικής διαδικασίας, από όπου προκύπτει απώλεια θερμότητας για όλα τα άτομα της ομάδας μελέτης κάθε πειραματική ημέρα.

Κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης όλα τα άτομα υφίστανται απώλεια θερμότητας σε κάθε χρονικό βήμα, με εξαίρεση το Sub3 το οποίο διαμορφώνει οριακό πλεόνασμα σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές στις 16/7, 17/7 και 24/7. Συγκεκριμένα, η μέση απώλεια αυτό το χρονικό διάστημα κυμαίνεται για το Sub3 από -11.9 έως -28.9 Wm^{-2} , για το Sub4 μεταξύ -18.8 και -77.1 Wm^{-2} , για το Sub5 από -21.8 έως -59.6 Wm^{-2} , για το Sub6 μεταξύ -23.5 και -57.7 Wm^{-2} και για το Sub7 από -64.9 έως -70.0 Wm^{-2} για ολόκληρη την εξεταζόμενη πειραματική περίοδο.

Κατά μήκος της διαδρομής (2^η φάση) παρατηρείται μέση απώλεια θερμότητας με μεγαλύτερο εύρος τιμών για την ομάδα μελέτης σε σύγκριση με τη φάση παραμονής στη σκιά του δένδρου (1^η φάση). Επίσης, διαπιστώνονται μεμονωμένα χρονικά διαστήματα με οριακό πλεόνασμα θερμότητας κυρίως για τους άνδρες Sub3 και Sub6. Συγκεκριμένα, η μέση απώλεια κατά τη διάρκεια της διαδρομής κυμαίνεται για το Sub3 από -3.6 έως -34.4 Wm^{-2} , για το Sub4 μεταξύ -43.0 και -88.6 Wm^{-2} , για το Sub5 από -46.1 έως -70.4 Wm^{-2} , για το Sub6 μεταξύ -9.1 και -28.0 Wm^{-2} και για το Sub7 από -65.3 έως -73.5 Wm^{-2} για ολόκληρη την εξεταζόμενη πειραματική περίοδο. Αυτό το χρονικό διάστημα η ομάδα μελέτης υφίσταται την υψηλότερη απώλεια θερμότητας σε σύγκριση με τις φάσεις της ανάπαυσης (1^η και 3^η), με την απολύτως μεγίστη απώλεια να φτάνει στα -178.9 Wm^{-2} για το Sub3 στις 28/7, στα -199.5 Wm^{-2} για το Sub4 στις 24/7, στα -138.5 Wm^{-2} για το Sub5 στις 28/7, στα -101.3 Wm^{-2} για το Sub6 στις 16/7 και στα -143.9 Wm^{-2} για το Sub7 στις 28/7.

Τέλος, κατά τη διάρκεια της 3^{ης} φάσης όλα τα άτομα υφίστανται απώλεια θερμότητας σε κάθε χρονικό βήμα, ενώ η μέση απώλεια διαμορφώνεται σε υψηλότερα επίπεδα τιμών συγκριτικά με τη μέση απώλεια κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης. Έτσι, η μέση απώλεια αυτό το χρονικό διάστημα κυμαίνεται για το Sub3 από -22.9 έως -72.3 Wm^{-2} , για το Sub4 μεταξύ -48.0 και -108.6 Wm^{-2} , για το Sub5 από

-49.1 έως -97.9 Wm^{-2} , για το Sub6 μεταξύ -33.7 και -45.9 Wm^{-2} και για το Sub7 από -99.5 έως -111.7 Wm^{-2} για ολόκληρη την εξεταζόμενη πειραματική περίοδο.



ΣΧΗΜΑ 6.9. Η ροή θερμότητας (HF) για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας για τις α) 16/7, β) 17/7, γ) 24/7, δ) 25/7 και ε) 28/7.

Η σύγκριση της ροής θερμότητας μεταξύ των δυο φύλων, υποδεικνύει μεγαλύτερη μέση απώλεια θερμότητας για τις γυναίκες Sub4 και Sub5 ανά πειραματική φάση, ενώ η μικρότερη καταγράφεται για τους άνδρες Sub3 και Sub6.

Από την ανάλυση των παραπάνω αποτελεσμάτων, φαίνεται ότι σε ένα ήπια θερμό περιβάλλον η ομάδα μελέτης υφίσταται συνολικά απώλεια θερμότητας κατά τη διάρκεια κάθε πειραματικής φάσης, με τη μικρότερη απώλεια να διαμορφώνεται στις 17/7 (Σχήμα 6.9β), ημέρα με την υψηλότερη θερμοκρασία αέρα για την εξεταζόμενη περίοδο. Περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα θα οδηγήσει σε σταδιακή εμφάνιση πλεονάσματος θερμότητας για την ομάδα μελέτης, όπως ήδη έχουμε μελετήσει στο προηγούμενο κεφάλαιο (Σχήμα 5.7).

Για ολόκληρη την εξεταζόμενη πειραματική περίοδο σε ένα ήπια θερμό και σε ένα μέτρια έως πολύ θερμό περιβάλλον (15 έως 28/7), η ανά βήμα γραμμική παλινδρόμηση (stepwise linear regression) υποδεικνύει στατιστικά σημαντική υψηλή συσχέτιση μεταξύ της ροής θερμότητας με τη θερμοκρασία του αέρα και τη μέση θερμοκρασία δέρματος, σε κάθε πειραματική φάση (1^η & 3^η φάση: $n=300$, $P \leq 0.05$, 2^η φάση: $n=388$, $P \leq 0.05$) (Πίνακας 6.4). Αντιθέτως, μια αρνητική στατιστικά σημαντική συσχέτιση (-0.81, -0.73, -0.75) εντοπίστηκε μεταξύ της HF και της σχετικής υγρασίας σε κάθε πειραματική φάση, με την υψηλότερη συσχέτιση να παρατηρείται κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης. Μια στατιστικά σημαντική, αλλά όχι ισχυρή συσχέτιση (0.41, 0.38) βρέθηκε κατά τη διάρκεια της 1^{ης} και 3^{ης} φάσης μεταξύ της HF και της T_{mrt} , ενώ αντιθέτως βρέθηκε υψηλότερη συσχέτιση (0.61) κατά τη διάρκεια της 2^{ης} φάσης. Τέλος, μια αρνητική στατιστικά σημαντική συσχέτιση της τάξης του -0.30 βρέθηκε κατά τη διάρκεια της 3^{ης} φάσης μεταξύ της HF και της ταχύτητας του ανέμου, ενώ βρέθηκαν ασυσχέτιστοι κατά τη διάρκεια των άλλων δυο φάσεων. Το αποτέλεσμα της χαμηλής συσχέτισης της ταχύτητας του ανέμου με τη ροή θερμότητας πιθανόν να οφείλεται στο γεγονός ότι οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε ενδεδυμένα άτομα καθώς και στις χαμηλές ταχύτητες ανέμου, όπως ακριβώς παρατηρήθηκε και με τη μέση θερμοκρασία δέρματος.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.4. Ανά βήμα γραμμική παλινδρόμηση της ροής θερμότητας (HF) με διάφορες μετεωρολογικές παραμέτρους και τη μέση θερμοκρασία δέρματος κατά τη διάρκεια κάθε φάσης για το σύνολο της πειραματικής περιόδου (* μη στατιστικά σημαντική στη στάθμη σημαντικότητας 0.05).

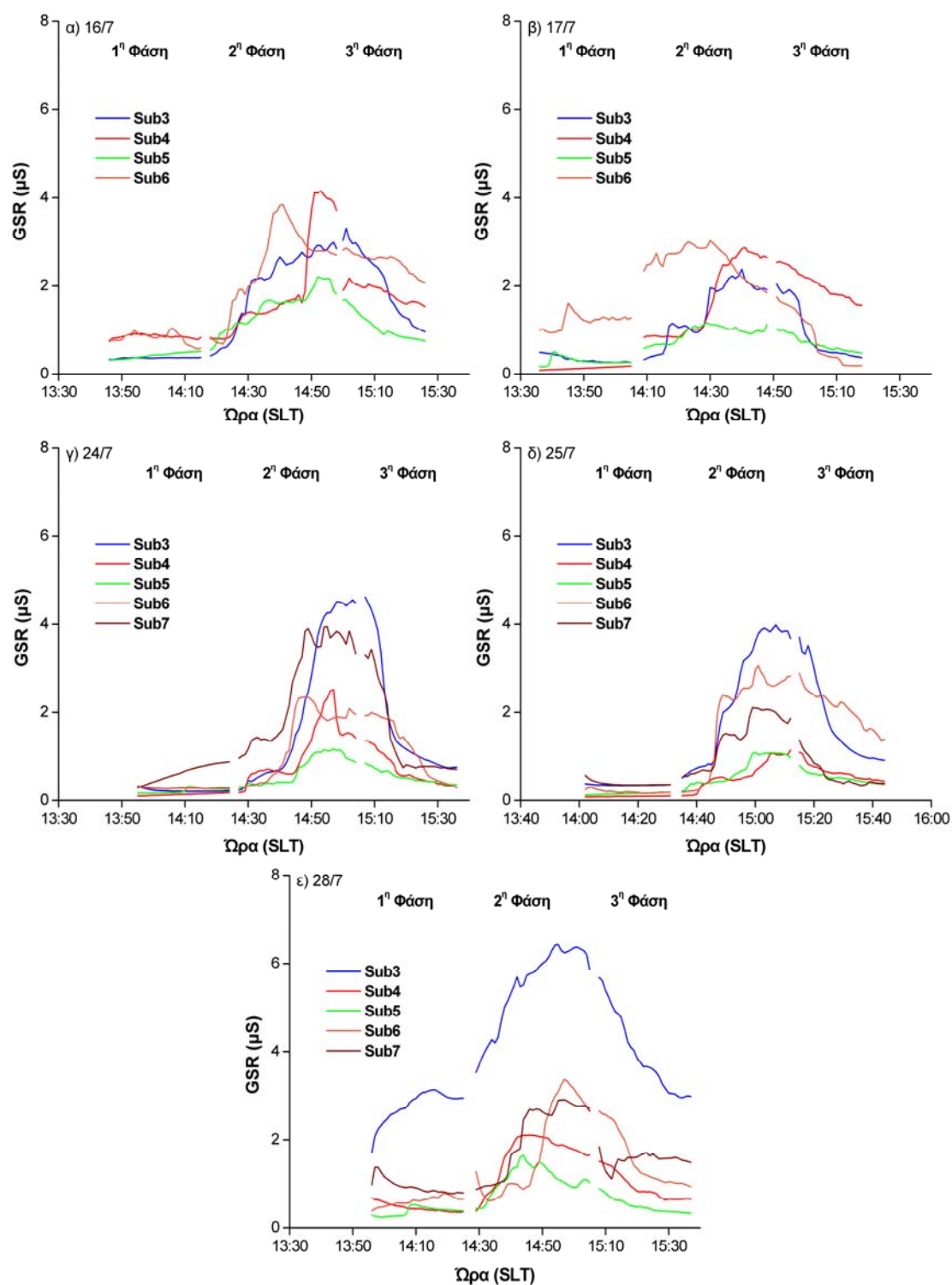
Μετεωρολογικές - Θερμοφυσιολογικές παραμέτρους	Συντελεστής συσχέτισης (R)		
	1 ^η Φάση	2 ^η Φάση	3 ^η Φάση
Θερμοκρασία αέρα (T_a)	0.95	0.89	0.96
Σχετική υγρασία (f)	-0.81	-0.73	-0.75
Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας (T_{mrt})	0.41	0.61	0.38
Ταχύτητα ανέμου (v)	-0.08*	-0.04*	-0.32
Μέση θερμοκρασία δέρματος (T_{sk})	0.88	0.86	0.95

6.4.4 Γαλβανική αντίδραση δέρματος

Στο Σχήμα 6.10 παρουσιάζεται η γαλβανική αντίδραση του δέρματος (*GSR*) σε κάθε φάση της εξεταζόμενης πειραματικής περιόδου, από όπου προκύπτει μια ομοιόμορφη ανά πειραματική φάση χρονική εξέλιξη της *GSR* σε κάθε ήπια θερμό περιβάλλον.

Κατά τη διάρκεια παραμονής στη σκιά του δένδρου (1^η φάση) η *GSR* διαμορφώνεται σε χαμηλά επίπεδα τιμών με μικρή διακύμανση για όλα τα άτομα, υποδηλώνοντας χαμηλή περιεκτικότητα νερού στο δέρμα λόγω εφίδρωσης καθώς και μικρή διαστολή και συστολή των περιφερειακών αγγείων. Εξαίρεση στα παραπάνω αποτελεί η *GSR* για το Sub3 στις 28/7 γεγονός το οποίο ουσιαστικά σχετίζεται με την υψηλή παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό το αντίστοιχο χρονικό διάστημα (Σχήμα 6.8ε). Συγκεκριμένα, κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης η μέση τιμή της *GSR* κυμαίνεται για το Sub3 μεταξύ 0.2 και 2.8 μS , για το Sub4 από 0.1 έως 0.9 μS , για το Sub5 μεταξύ 0.2 και 0.4 μS , για το Sub6 από 0.2 έως 1.2 μS και για το Sub7 μεταξύ 0.4 και 0.9 μS για ολόκληρη την εξεταζόμενη πειραματική περίοδο. Οι απολύτως μέγιστες τιμές αυτό το χρονικό διάστημα διαμορφώθηκαν στα 3.1 μS για το Sub3 στις 28/7, στα 0.9 μS για το Sub4 στις 16/7, στα 0.5 μS για το Sub5 στις 28/7, στα 1.6 μS για το Sub6 στις 17/7 και στα 1.4 μS για το Sub7 στις 28/7. Από τα παραπάνω υποδεικνύεται ότι στο διάστημα των 30 min παραμονής στη σκιά του δένδρου (1^η φάση) τα υψηλότερα επίπεδα τιμών της *GSR* διαμορφώθηκαν τις ημέρες όπου η παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό το αντίστοιχο χρονικό διάστημα είναι υψηλότερη ανεξάρτητα από τα θερμοκρασιακά επίπεδα του αέρα.

Αντίθετα, κατά μήκος της διαδρομής (2^η φάση) παρατηρείται μια αυξητική πορεία της *GSR* με τη βαθμίδα να διαφοροποιείται μεταξύ των ατόμων κάθε πειραματική ημέρα. Οι μεγαλύτερες τιμές της *GSR* αυτό το χρονικό διάστημα συνηγορούν στην υψηλή περιεκτικότητα νερού στο δέρμα λόγω εφίδρωσης. Η μέση τιμή της *GSR* κατά τη διάρκεια της 2^{ης} φάσης κυμαίνεται για το Sub3 μεταξύ 1.4 και 5.5 μS , για το Sub4 από 0.6 έως 1.9 μS , για το Sub5 μεταξύ 0.7 και 1.5 μS , για το Sub6 από 1.4 έως 2.6 μS και για το Sub7 μεταξύ 1.4 και 2.6 μS για ολόκληρη την εξεταζόμενη πειραματική περίοδο. Επιπλέον, οι απολύτως μέγιστες τιμές διαμορφώθηκαν στα 6.4 μS για το Sub3 στις 28/7, στα 4.1 μS για το Sub4 στις 16/7, στα 2.2 μS για το Sub5 στις 16/7, στα 3.8 μS για το Sub6 στις 16/7 και στα 3.9 μS για το Sub7 στις 24/7.



ΣΧΗΜΑ 6.10. Η γαλβανική αντίδραση του δέρματος (*GSR*) για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας για τις α) 16/7, β) 17/7, γ) 24/7, δ) 25/7 και ε) 28/7.

Τέλος, κατά τη διάρκεια της 3^{ης} φάσης η *GSR* ακολουθεί πτωτική πορεία για όλα τα άτομα, με την υψηλότερη βαθμίδα να παρατηρείται τα πρώτα 15 min. Είναι εμφανές ότι η *GSR* αυτό το χρονικό διάστημα κυμαίνεται σε υψηλότερα επίπεδα τιμών σε σύγκριση με τα αντίστοιχα επίπεδα κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης γεγονός

το οποίο σχετίζεται με τα υψηλά επίπεδα τιμών της *GSR* τα οποία διαμορφώθηκαν κατά τη διάρκεια της διαδρομής. Συγκεκριμένα, η μέση τιμή της *GSR* για ολόκληρη την εξεταζόμενη περίοδο κατά τη διάρκεια της 3^{ης} φάσης κυμαίνεται για το Sub3 από 0.9 έως 3.9 μS , για το Sub4 μεταξύ 0.6 και 2.0 μS , για το Sub5 από 0.5 έως 1.0 μS , για το Sub6 μεταξύ 0.8 και 2.5 μS και για το Sub7 από 0.6 έως 1.5 μS . Από τα παραπάνω υποδεικνύεται η επίδραση της προηγούμενης θερμικής κατάστασης του σώματος στη διαμόρφωση και εξέλιξη της περιεκτικότητας νερού στο δέρμα λόγω εφίδρωσης.

Η συνολική σύγκριση των τιμών της *GSR* μεταξύ των ατόμων σε ένα ήπια θερμό περιβάλλον, υποδεικνύει σημαντικές διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια της 2^{ης} και 3^{ης} φάσης, με τα υψηλότερα επίπεδα τιμών να καταγράφονται για τους άνδρες (Sub3, Sub6 και Sub7) σε σχέση με τις γυναίκες (Sub4 και Sub5). Το αποτέλεσμα αυτό πιθανόν να σχετίζεται με τους διαφορετικούς μηχανισμούς ορμονικής ρύθμισης καθώς και με τη μικρότερη πυκνότητα των ιδρωτοποιών αδένων στις γυναίκες (Wyndham et al. 1965; Höppe 1984; Höppe 1993).

Από την ανάλυση των παραπάνω αποτελεσμάτων, φαίνεται ότι συνολικά η χρονική εξέλιξη της *GSR* για την ομάδα μελέτης σε ένα ήπια θερμό περιβάλλον κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα τιμών κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης, ακολουθεί βαθμιαία αυξητική πορεία κατά μήκος της διαδρομής (2^η φάση) με το απολύτως μέγιστο να διαφοροποιείται μεταξύ των ατόμων και σταδιακή πτωτική πορεία κατά τη διάρκεια της 3^{ης} φάσης. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων σε ένα ήπια θερμό περιβάλλον με τα αντίστοιχα αποτελέσματα του προηγούμενου κεφαλαίου (Σχήμα 5.8), σε ένα μέτρια έως πολύ θερμό περιβάλλον, υποδεικνύει παρόμοια πορεία της *GSR* ιδιαίτερα κατά μήκος της διαδρομής (2^η φάση) και της 3^{ης} φάσης της πειραματικής διαδικασίας. Αντιθέτως, κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης η *GSR* φαίνεται να εμφανίζει υψηλότερα επίπεδα τιμών με μεγαλύτερη διακύμανση σε υψηλότερες θερμοκρασίες αέρα.

Στο Πίνακα 6.5 παρουσιάζονται οι συντελεστές συσχέτισης μέσω της ανά βήμα γραμμικής παλινδρόμησης (stepwise linear regression) της γαλβανικής αντίδρασης του δέρματος (*GSR*) και διαφόρων μετεωρολογικών και θερμοφυσιολογικών παραμέτρων κατά τη διάρκεια της 1^{ης} ($n=300$, $P\leq 0.05$), 2^{ης} ($n=388$, $P\leq 0.05$) και 3^{ης} ($n=300$, $P\leq 0.05$) φάσης της πειραματικής διαδικασίας, στο σύνολο της πειραματικής περιόδου (15 έως 28/7). Βρέθηκε στατιστικά σημαντική υψηλή θετική συσχέτιση μεταξύ της *GSR* και της T_{sk} (0.78), της T_a (0.77) και της *HF*

(0.68) κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης. Ωστόσο, κατά τη διάρκεια της 2^{ης} φάσης εντοπίστηκε στατιστικά σημαντική, αλλά όχι ισχυρή συσχέτιση μεταξύ τους (0.40, 0.28, 0.10), ενώ βρέθηκαν ασυσχέτιστοι κατά τη διάρκεια της 3^{ης} φάσης, με εξαίρεση την T_{sk} (0.18). Ταυτόχρονα, μια θετική στατιστικά σημαντική συσχέτιση της τάξης του 0.47 βρέθηκε κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης μεταξύ της GSR και της T_{mrt} , ενώ βρέθηκαν ασυσχέτιστοι κατά τη διάρκεια των άλλων δυο φάσεων. Ταυτόχρονα, μια στατιστικά σημαντική αρνητική συσχέτιση (-0.60) βρέθηκε κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης μεταξύ της GSR και της f , ενώ ασθενής συσχέτιση (-0.21) παρατηρείται κατά τη 2^η φάση. Τέλος, μια στατιστικά σημαντική, αλλά όχι ισχυρή θετική συσχέτιση (0.19) βρέθηκε κατά τη διάρκεια της 3^{ης} φάσης μεταξύ της GSR και της ταχύτητας του ανέμου, ενώ βρέθηκαν ασυσχέτιστοι κατά τη διάρκεια των άλλων δυο φάσεων. Η χαμηλή συσχέτιση της GSR με τη ταχύτητα του ανέμου πιθανόν να οφείλεται στο γεγονός ότι οι μετρήσεις στην επιφάνεια του σώματος πραγματοποιήθηκαν σε ενδεδυμένα άτομα καθώς και στις χαμηλές ταχύτητες του ανέμου, αποτέλεσμα το οποίο παρατηρήθηκε τόσο για τη μέση θερμοκρασία δέρματος όσο και για τη ροή θερμότητας. Από τα παραπάνω αποτελέσματα, μπορεί να θεωρηθεί ότι η GSR σχετίζεται, σε διαφορετικό βαθμό, με διάφορες μετεωρολογικές και θερμοφυσιολογικές παραμέτρους όταν η δραστηριότητα διαμορφώνεται σε χαμηλά επίπεδα τιμών υπό σκιά (1^η φάση), ενώ η σχέση αυτή εξασθενεί κατά τη διάρκεια υψηλής δραστηριότητας με έκθεση στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία (2^η φάση) καθώς και μετά τη δραστηριότητα (3^η φάση).

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.5. Ανά βήμα γραμμική παλινδρόμηση της γαλβανικής αντίδρασης του δέρματος (GSR) με διάφορες μετεωρολογικές και θερμοφυσιολογικές παραμέτρους κατά τη διάρκεια κάθε φάσης για το σύνολο της πειραματικής περιόδου (* μη στατιστικά σημαντική στη στάθμη σημαντικότητας 0.05).

Μετεωρολογικές - Θερμοφυσιολογικές παράμετροι	Συντελεστής συσχέτισης (R)		
	1 ^η Φάση	2 ^η Φάση	3 ^η Φάση
Θερμοκρασία αέρα (T_a)	0.77	0.28	0.01*
Σχετική υγρασία (f)	-0.60	-0.21	-0.03*
Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας (T_{mrt})	0.47	-0.08*	0.08*
Ταχύτητα ανέμου (v)	-0.04*	0.03*	0.19
Μέση θερμοκρασία δέρματος (T_{sk})	0.78	0.40	0.18
Ροή θερμότητας (HF)	0.68	0.10	-0.04*

6.5 Ροές θερμότητας από και προς το ανθρώπινο σώμα

Έχοντας μελετήσει τη θερμική κατάσταση του ανθρώπινου σώματος μέσω των θερμοφυσιολογικών παραμέτρων, στη παράγραφο αυτή θα διερευνηθεί η ανά λεπτό χρονική εξέλιξη των ροών θερμότητας από και προς το ανθρώπινο σώμα για διαφορετικά επίπεδα δραστηριότητας, για διαφορετικά πεδία ακτινοβολίας καθώς και μεταξύ ατόμων διαφορετικού φύλου.

6.5.1 Τυρβώδης ανταλλαγή αισθητής θερμότητας

Στο Σχήμα 6.11 παρουσιάζεται η χρονική εξέλιξη της τυρβώδους ανταλλαγής αισθητής θερμότητας (C) για όλα τα άτομα κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας κάθε πειραματική ημέρα.

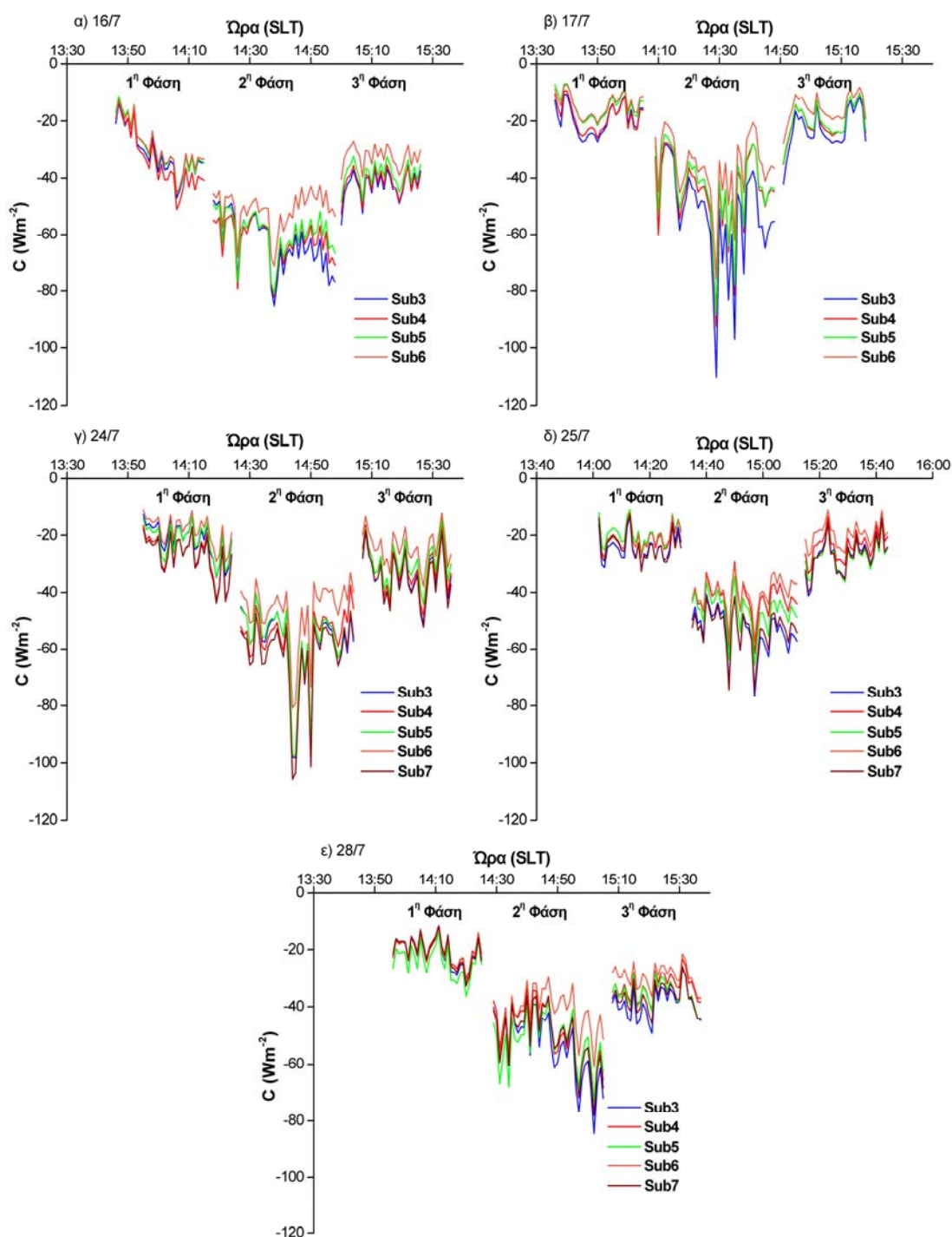
Βρέθηκε ότι κατά τη παραμονή της ομάδας μελέτης στη σκιά του δένδρου (1^η φάση) όλα τα άτομα υφίστανται απώλεια θερμότητας μέσω της C κάθε πειραματική ημέρα. Το γεγονός αυτό σχετίζεται με την υψηλότερη μέση θερμοκρασία δέρματος που διαμορφώνουν τα άτομα σε σύγκριση με τη θερμοκρασία του αέρα σε κάθε χρονικό βήμα. Συγκεκριμένα, η μέση απώλεια για ολόκληρη την εξεταζόμενη πειραματική περίοδο κυμαίνεται για το Sub3 από -19.4 έως -31.3 Wm^{-2} , για το Sub4 μεταξύ -18.5 και -33.9 Wm^{-2} , για το Sub5 από -14.7 έως -29.6 Wm^{-2} , για το Sub6 μεταξύ -14.3 και -29.3 Wm^{-2} και για το Sub7 από -20.6 έως -27.3 Wm^{-2} . Επιπλέον παρατηρείται ότι τα άτομα υφίστανται την μικρότερη μέση απώλεια θερμότητας στις 17/7, ημέρα με την υψηλότερη θερμοκρασία αέρα κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης της πειραματικής διαδικασίας (Σχήμα 6.11β).

Κατά τη διάρκεια της διαδρομής (2^η φάση), η ομάδα μελέτης υφίσταται μεγαλύτερη απώλεια θερμότητας μέσω της C λόγω της περαιτέρω αύξησης της μέσης θερμοκρασίας δέρματος αυτό το χρονικό διάστημα σε κάθε ατμοσφαιρικό περιβάλλον. Έτσι, η μέση απώλεια διαμορφώνεται για το Sub3 από -53.3 έως -63.0 Wm^{-2} , για το Sub4 μεταξύ -42.5 και -61.9 Wm^{-2} , για το Sub5 από -43.4 έως -59.5 Wm^{-2} , για το Sub6 μεταξύ -36.4 και -51.4 Wm^{-2} και για το Sub7 από -50.9 έως -62.3 Wm^{-2} για ολόκληρη την εξεταζόμενη περίοδο. Ταυτόχρονα, βρέθηκε ότι κατά μήκος της διαδρομής η απολύτως μέγιστη απώλεια θερμότητας μέσω της C φτάνει στα -110.5 Wm^{-2} για το Sub3 στις 17/7, στα -105.2 Wm^{-2} για το Sub4 στις 24/7, στα -97.3 Wm^{-2} για το Sub5 στις 24/7, στα -80.9 Wm^{-2} για το Sub6 στις 24/7 και στα -105.5 Wm^{-2} για το Sub7 στις 24/7. Η υψηλότερη μέση απώλεια θερμότητας παρατηρείται για την ομάδα μελέτης στις 16/7 (Σχήμα 6.11α) ενώ αντιθέτως η απολύτως μέγιστη

απώλεια, με εξαίρεση το Sub3, καταγράφεται στις 24/7 (Σχήμα 6.11γ). Τις ημέρες αυτές καταγράφεται η χαμηλότερη θερμοκρασία αέρα, παρ' όλα αυτά στις 24/7 κατά μήκος της διαδρομής η ταχύτητα του ανέμου είναι μεγαλύτερη επιδρώντας καθοριστικά στο συντελεστή μετάδοσης της θερμότητας από μεταφορά και ακτινοβολία (h_c) και στο συντελεστή μείωσης της μετάδοσης θερμότητας από μεταφορά και ακτινοβολία (I_{rc}) από την εφαρμοζόμενη επίδραση των ρούχων.

Τέλος, κατά τη διάρκεια της 3^{ης} φάσης η ομάδα μελέτης υφίσταται μικρότερη απώλεια θερμότητας μέσω της C από ότι κατά μήκος της διαδρομής (2^η φάση), μεγαλύτερη όμως από ότι κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης. Το γεγονός αυτό σχετίζεται με τη χρονική εξέλιξη της μέσης θερμοκρασίας δέρματος, η οποία παρ' όλο που ακολουθεί πτωτική πορεία κατά τη διάρκεια της 3^{ης} φάσης, κυμαίνεται σε υψηλότερα επίπεδα τιμών σε σύγκριση με τα επίπεδα τιμών της 1^{ης} φάσης. Συγκεκριμένα, η μέση απώλεια κυμαίνεται για το Sub3 από -22.5 έως -41.8 Wm⁻², για το Sub4 μεταξύ -19.9 και -41.1 Wm⁻², για το Sub5 από -19.5 έως -38.3 Wm⁻², για το Sub6 μεταξύ -15.3 και -32.3 Wm⁻² και για το Sub7 από -27.1 έως -36.9 Wm⁻² για την εξεταζόμενη περίοδο. Σε συμφωνία με τις άλλες δυο φάσεις, τα άτομα υφίστανται την μικρότερη μέση απώλεια θερμότητας στις 17/7, ημέρα με την υψηλότερη θερμοκρασία αέρα κατά τη διάρκεια της 3^{ης} φάσης της πειραματικής διαδικασίας (Σχήμα 6.11β).

Από τα παραπάνω αποτελέσματα προκύπτει απώλεια θερμότητας μέσω της τυρβώδους ανταλλαγής αισθητής θερμότητας σε ένα ήπια θερμό περιβάλλον τόσο κατά τη παραμονή της ομάδας μελέτης στη σκιά του δένδρου (1^η & 3^η φάση) όσο και κατά τη διάρκεια της διαδρομής (2^η φάση). Το αποτέλεσμα αυτό σχετίζεται με τα επίπεδα τιμών της μέσης θερμοκρασίας δέρματος τα οποία είναι υψηλότερα από τα αντίστοιχα επίπεδα τιμών της θερμοκρασίας του αέρα, υποδεικνύοντας αρνητικό πρόσημο σε κάθε χρονικό βήμα κάθε πειραματική ημέρα. Η υψηλότερη απώλεια παρατηρείται κατά μήκος της διαδρομής (2^η φάση) αποτέλεσμα το οποίο οφείλεται στην ακόμη υψηλότερη μέση θερμοκρασία δέρματος η οποία διαμορφώνεται αυτό το χρονικό διάστημα. Επιπλέον, η απώλεια θερμότητας μέσω της τυρβώδους ανταλλαγής αισθητής θερμότητας διαφοροποιείται μεταξύ των ατόμων λόγω της διαφορετικής μέσης θερμοκρασίας δέρματος του καθενός. Ταυτόχρονα, η ομάδα μελέτης υφίσταται μεγαλύτερη απώλεια θερμότητας τις χρονικές στιγμές όπου η ταχύτητα του ανέμου είναι μεγαλύτερη.



ΣΧΗΜΑ 6.11. Η τυρβώδης ανταλλαγή αισθητής θερμότητας (C) για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας για τις α) 16/7, β) 17/7, γ) 24/7, δ) 25/7 και ε) 28/7.

Συγκρίνοντας συνολικά τα παραπάνω αποτελέσματα με τα αντίστοιχα του προηγούμενου κεφαλαίου προκύπτει ότι όταν η μέση θερμοκρασία του αέρα είναι μικρότερη από $32.1^{\circ}C$ (μέτρια θερμό περιβάλλον, Σχήμα 5.9β) η ομάδα μελέτης υφίσταται απώλεια θερμότητας μέσω της C σε κάθε χρονικό βήμα ανά πειραματική φάση. Επιπλέον, στις 16/7 (Σχήμα 6.11α) και 24/7 (Σχήμα 6.11γ), ημέρες με τη

χαμηλότερη μέση θερμοκρασία αέρα η απώλεια θερμότητας κυμαίνεται σε υψηλότερα επίπεδα τιμών σε σύγκριση με τα αντίστοιχα επίπεδα απώλειας σε ένα μέτρια θερμό περιβάλλον (18/7, Σχήμα 5.9β), με τη μέση διάφορα να είναι τουλάχιστον 10 και 20 Wm^{-2} κατά τη διάρκεια της 1^{ης} και 3^{ης} φάσης, αντίστοιχα, ενώ υπερβαίνει τα 30 Wm^{-2} κατά τη διάρκεια της 2^{ης} φάσης (Katavoutas et al. 2010).

6.5.2 Απώλεια θερμότητας μέσω αναπνοής

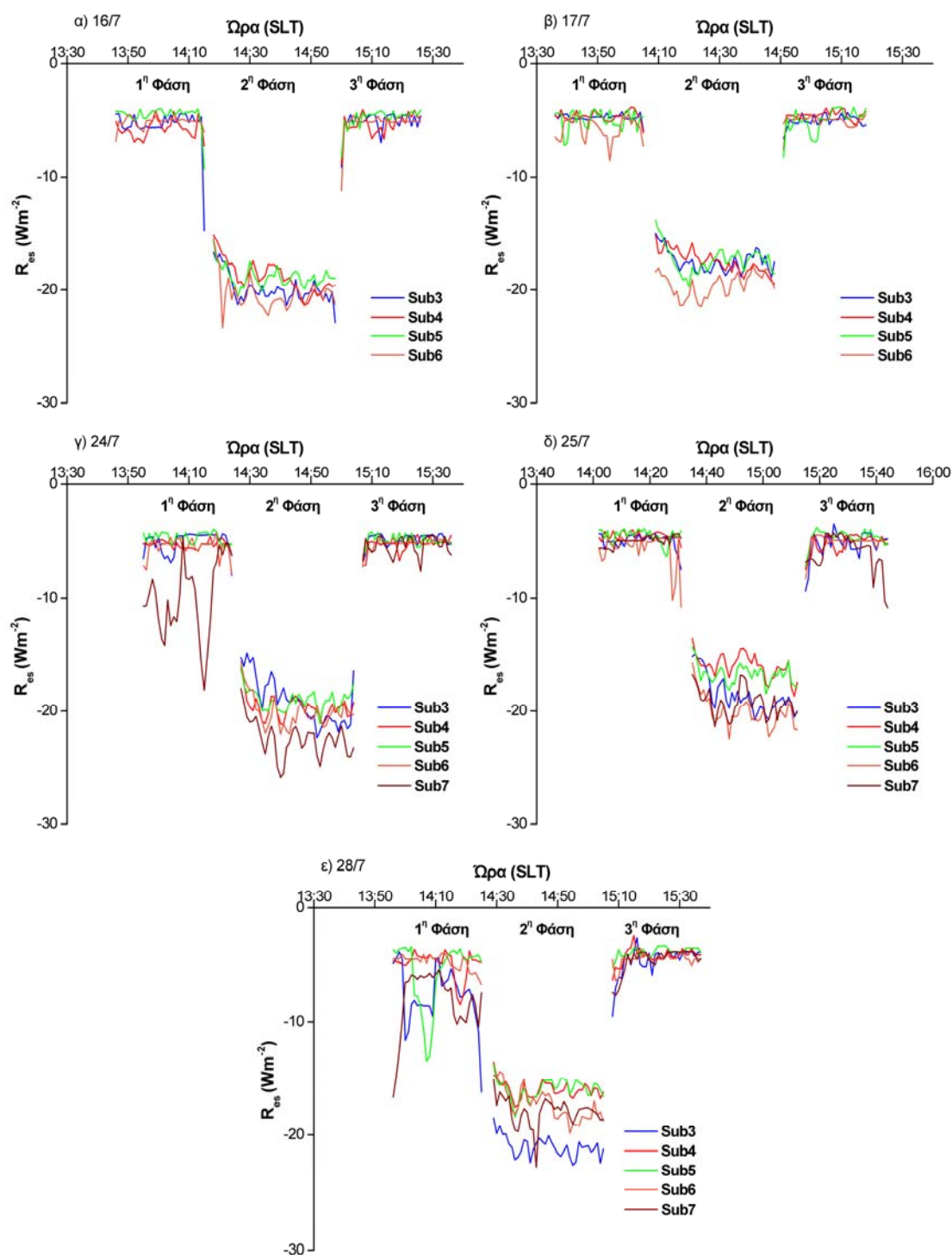
Στο Σχήμα 6.12 παρουσιάζεται η απώλεια θερμότητας μέσω αναπνοής (R_{es}) για την ομάδα μελέτης, όπου κατά μήκος της διαδρομής (2^η φάση) παρατηρείται η υψηλότερη απώλεια σε σχέση με τις φάσεις ανάπαυσης υπό σκιά (1^η και 3^η φάση) κάθε πειραματική ημέρα.

Συγκεκριμένα, κατά τη διάρκεια παραμονής στη σκιά του δένδρου (1^η και 3^η φάση) η μέση απώλεια για την ομάδα μελέτης κυμαίνεται μεταξύ -4.0 Wm^{-2} και -6.0 Wm^{-2} . Εξαίρεση στο παραπάνω εύρος τιμών αποτελεί στις 24/7 το Sub7 με -10.0 Wm^{-2} καθώς και τα Sub3 και Sub7 στις 28/7 με -7.7 και -8.2 Wm^{-2} , αντίστοιχα, κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης. Οι παραπάνω αποκλίσεις σχετίζονται με την υψηλότερη παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό τα αντίστοιχα χρονικά διαστήματα, όπως ήδη έχουμε αναφέρει σε προηγούμενη παράγραφο. Αντιθέτως, κατά μήκος της διαδρομής (2^η φάση) η ομάδα μελέτης υφίσταται μεγαλύτερη απώλεια θερμότητας μέσω της αναπνοής ενώ παρατηρείται μεγαλύτερη διακύμανση τιμών μεταξύ των ατόμων. Έτσι, η μέση απώλεια διαμορφώνεται για το Sub3 μεταξύ -17.5 έως -21.0 Wm^{-2} , για το Sub4 από -16.0 έως -19.7 Wm^{-2} , για το Sub5 μεταξύ -15.9 έως -19.0 Wm^{-2} , για το Sub6 από -17.3 έως -20.4 Wm^{-2} και για το Sub7 μεταξύ -18.0 και -22.4 Wm^{-2} για ολόκληρη την εξεταζόμενη πειραματική περίοδο. Είναι εμφανές ότι κατά τη διάρκεια της διαδρομής η ομάδα μελέτης υφίσταται σχεδόν τετραπλάσια απώλεια θερμότητας από ότι κατά τη διάρκεια των φάσεων ανάπαυσης υπό σκιά.

Από το παραπάνω φαίνεται ότι οι διακυμάνσεις της παραγωγής θερμότητας από το μεταβολισμό στη κλίμακα του λεπτού οδηγούν σε αντίστοιχες μεταβολές την απώλεια θερμότητας μέσω αναπνοής. Το γεγονός αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μην δύναται να εντοπιστούν μεταβολές οι οποίες να σχετίζονται με το ατμοσφαιρικό περιβάλλον, ούτε μεταξύ ήπια θερμών ημερών (Σχήμα 6.12), αλλά ούτε και μεταξύ αυτών με ημέρες μέτρια έως πολύ θερμές, όπως αυτές του προηγούμενου κεφαλαίου (Σχήμα 5.10). Ουσιαστικά, η επίδραση της παραγωγής θερμότητας από το

μεταβολισμό είναι καθοριστική και υπερκαλύπτει τυχόν μεταβολές λόγω της θερμοκρασίας του αέρα, της σχετικής υγρασίας και της ατμοσφαιρικής πίεσης.

Η σύγκριση της απώλειας θερμότητας μέσω της αναπνοής μεταξύ των ατόμων υποδεικνύει ελαφρώς μεγαλύτερη μέση απώλεια για τους άνδρες (Sub3, Sub6 και Sub7) σε σχέση με τις γυναίκες (Sub4, Sub5) κατά μήκος της διαδρομής (2^η φάση).



ΣΧΗΜΑ 6.12. Η απώλεια θερμότητας μέσω αναπνοής (R_{es}) για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας για τις α) 16/7, β) 17/7, γ) 24/7, δ) 25/7 και ε) 28/7.

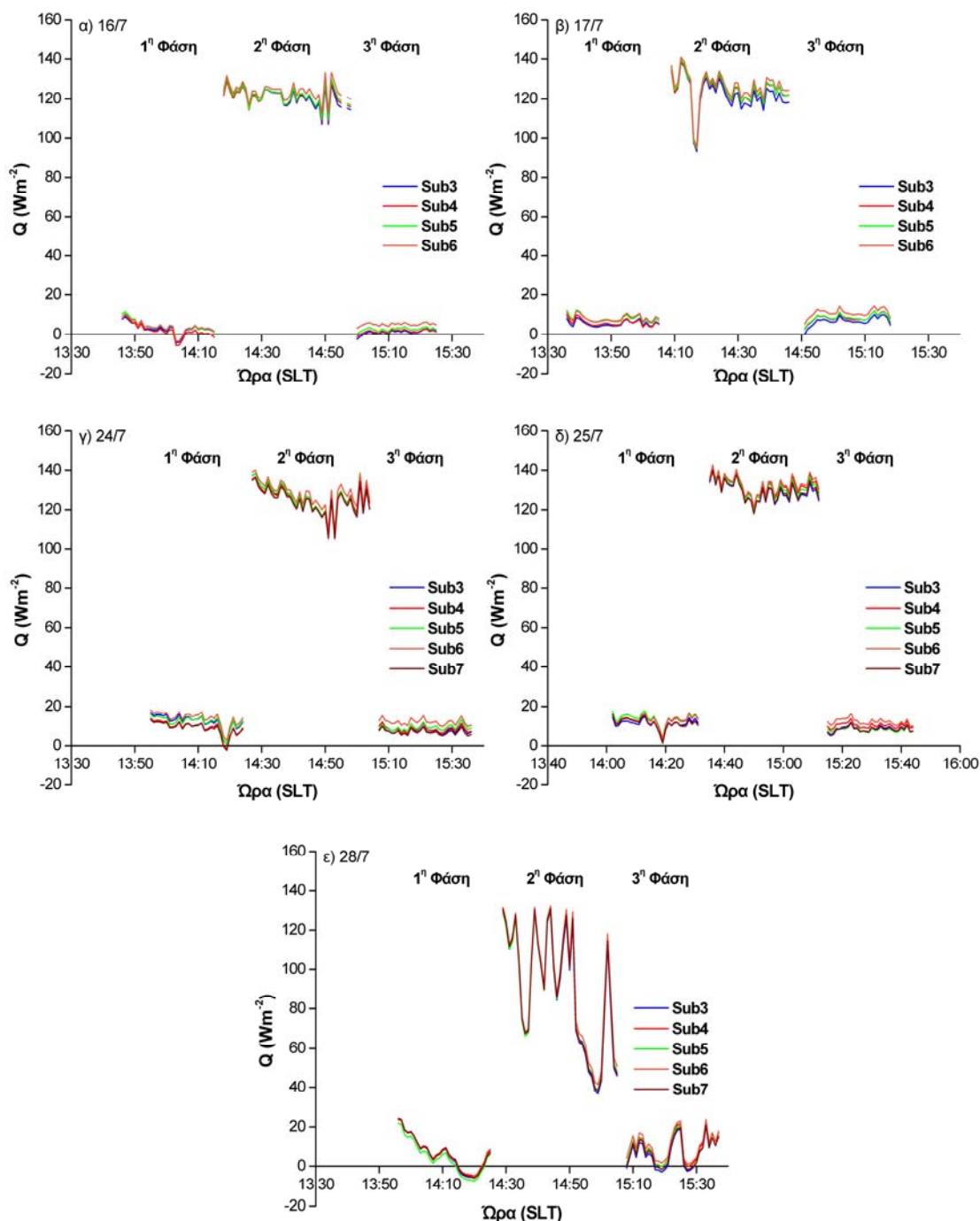
6.5.3 Ισοζύγιο ακτινοβολιών στον άνθρωπο

Στο Σχήμα 6.13 απεικονίζεται το ισοζύγιο ακτινοβολιών στον άνθρωπο (Q) μέσω της απορροφούμενης και της μεγάλου μήκους κύματος ροή ακτινοβολίας για κάθε πειραματική ημέρα.

Βρέθηκε ότι όλα τα άτομα υφίστανται πλεόνασμα θερμότητας κατά τη διάρκεια της διαδρομής (2^η φάση) σε κάθε χρονικό βήμα για κάθε ατμοσφαιρικό περιβάλλον. Αυτό το χρονικό διάστημα το μέσο πλεόνασμα κυμαίνεται για το Sub3 μεταξύ 88.9 έως 129.2 Wm⁻², για το Sub4 από 90.0 έως 132.2 Wm⁻², για το Sub5 μεταξύ 89.5 έως 131.1 Wm⁻², για το Sub6 από 91.9 έως 132.8 Wm⁻² και για το Sub7 μεταξύ 89.8 και 129.4 Wm⁻² για ολόκληρη την εξεταζόμενη πειραματική περίοδο. Το υψηλότερο πλεόνασμα, τόσο σε μέσες όσο και σε απόλυτες τιμές, παρατηρείται στις 25/7, αντιθέτως το χαμηλότερο στις 28/7. Οι έντονες διακυμάνσεις του Q στις 28/7 (Σχήμα 6.13ε) ουσιαστικά είναι αποτέλεσμα της αντίστοιχης έντονης κύμανσης της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας (T_{mrt}) λόγω της επικρατούσας νεφοκάλυψης. Ταυτόχρονα, τα χαμηλά επίπεδα τιμών της απορροφούμενης ηλιακής ακτινοβολίας (R) και κατ' επέκταση του Q τόσο σε μέσες όσο και σε απόλυτες τιμές κατά τουλάχιστον 30 Wm⁻² και 80 Wm⁻², αντίστοιχα, συγκριτικά με τις υπόλοιπες πειραματικές ημέρες οδηγούν σε πτωτική πορεία την T_{arm} και T_{sk} (Σχήματα 6.2ε, 6.3ε) στο δεύτερο μισό της διαδρομής, όπως ήδη έχουμε αναφέρει στην αντίστοιχη παράγραφο.

Κατά την παραμονή της ομάδας μελέτης στη σκιά του δένδρου (1^η & 3^η φάση) το ισοζύγιο ακτινοβολιών του κάθε ατόμου διαμορφώνεται σε ιδιαίτερα χαμηλά επίπεδα τιμών σε σύγκριση με τα αντίστοιχα κατά μήκος της διαδρομής (2^η φάση), με τη μέση διαφορά να κυμαίνεται από 80.0 έως 120.0 Wm⁻². Συγκεκριμένα, κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης όλα τα άτομα υφίστανται μέσο πλεόνασμα θερμότητας μέσω του Q το οποίο κυμαίνεται για το Sub3 μεταξύ 3.0 και 12.3 Wm⁻², για το Sub4 από 2.0 έως 13.1 Wm⁻², για το Sub5 μεταξύ 3.9 και 13.8 Wm⁻², για το Sub6 από 3.9 έως 14.0 Wm⁻² και για το Sub7 μεταξύ 6.3 και 11.4 Wm⁻² για την εξεταζόμενη πειραματική περίοδο. Αντίστοιχο μέσο πλεόνασμα θερμότητας διαμορφώνουν τα άτομα και κατά τη διάρκεια της 3^{ης} φάσης, με το μέσο Q να κυμαίνεται για το Sub3 μεταξύ 1.3 και 8.5 Wm⁻², για το Sub4 από 1.6 έως 10.3 Wm⁻², για το Sub5 μεταξύ 2.8 και 9.3 Wm⁻², για το Sub6 από 5.2 έως 12.2 Wm⁻² και για το Sub7 μεταξύ 7.0 και 8.3 Wm⁻². Παράλληλα, παρατηρείται οριακή απώλεια μέσω του Q για μικρά χρονικά διάστημα στις 16/7 και 24/7, ημέρες με τη χαμηλότερη θερμοκρασία αέρα καθώς και

στις 28/7, ημέρα με νεφοκάλυψη. Το γεγονός αυτό οφείλεται στα χαμηλότερα επίπεδα της απορροφούμενης ηλιακής ακτινοβολίας (R) συγκριτικά με τα επίπεδα της απώλειας θερμότητας μέσω της μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία (L), διαμορφώνοντας ουσιαστικά αρνητικό πρόσημο στο ισοζύγιο ακτινοβολιών του κάθε ατόμου.



ΣΧΗΜΑ 6.13. Το ισοζύγιο ακτινοβολίας (Q) για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας για τις α) 16/7, β) 17/7, γ) 24/7, δ) 25/7 και ε) 28/7.

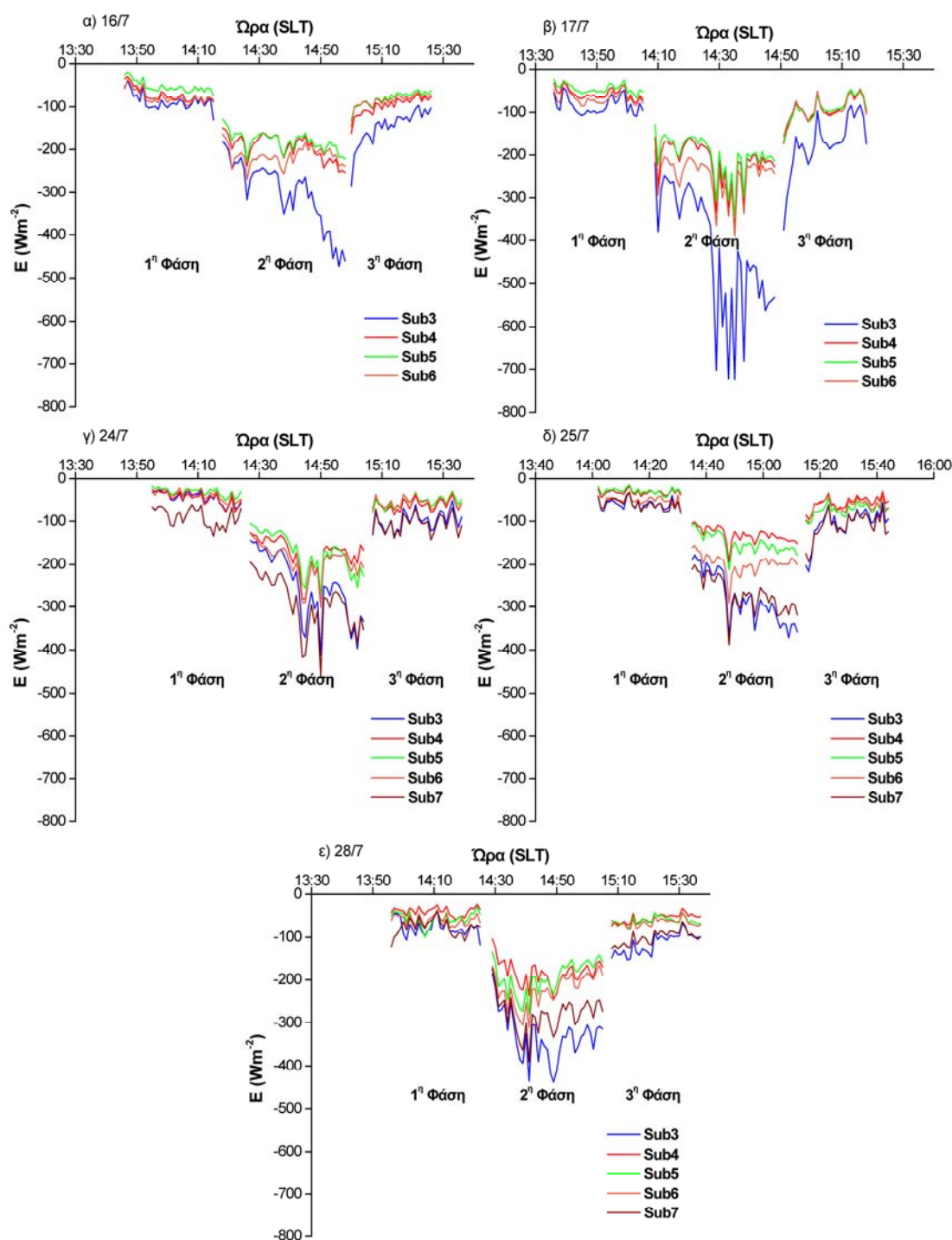
Από τα παραπάνω αποτελέσματα προκύπτουν μικρές αποκλίσεις τιμών του ισοζυγίου ακτινοβολιών μεταξύ των ατόμων, γεγονός το οποίο σχετίζεται με τη σταθερή απορροφούμενη ηλιακή ακτινοβολία ανά χρονικό βήμα λόγω της ανεξαρτησίας της από θερμοφυσιολογικές παραμέτρους καθώς και από την σταθερή αντίσταση της συνολικά επιλεγμένης ενδυμασίας για την ομάδα μελέτης. Ουσιαστικά οι αποκλίσεις οφείλονται στη ροή μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας (L), υποδεικνύοντας διαφοροποιήσεις στη μέση θερμοκρασία δέρματος (T_{sk}) μεταξύ των ατόμων.

Συγκρίνοντας τα παραπάνω αποτελέσματα, σε ένα ήπια θερμό περιβάλλον (Σχήμα 6.13), με τα αντίστοιχα του προηγούμενου κεφαλαίου, σε ένα μετρία έως πολύ θερμό περιβάλλον (Σχήμα 5.11), προκύπτει ότι το πλεόνασμα θερμότητας μέσω της απορροφούμενης και της μεγάλου μήκους κύματος ροή ακτινοβολίας για κάθε άτομο διαμορφώνεται σε αντίστοιχα επίπεδα τιμών κατά μήκος της διαδρομής. Εξαιρέση αποτελούν τα αποτελέσματα στις 28/7 (Σχήμα 6.13ε) λόγω της επικρατούσας νεφοκάλυψης. Αντιθέτως, κατά την παραμονή της ομάδα μελέτης υπό σκιά το πλεόνασμα θερμότητας διαμορφώνεται συνολικά σε χαμηλότερα επίπεδα τιμών σε ένα ήπια θερμό περιβάλλον, με τη μέση διαφορά να φτάνει έως τα 30 Wm^{-2} .

6.5.4 Τυρβώδης ανταλλαγή λανθάνουσας θερμότητας

Στο Σχήμα 6.14 παρουσιάζεται η τυρβώδης ανταλλαγή λανθάνουσας θερμότητας (E) μέσω της διάχυσης των υδρατμών και της εξάτμισης του ιδρώτα σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας κάθε πειραματική ημέρα.

Βρέθηκε ότι κατά την παραμονή στη σκιά του δένδρου (1^η φάση) η ομάδα μελέτης υφίσταται μικρή απώλεια θερμότητας μέσω της E , με τη μέση απώλεια να μην υπερβαίνει τα 100 Wm^{-2} . Ταυτόχρονα, η απολύτως υψηλότερη απώλεια σε ένα χρονικό βήμα δεν υπερβαίνει τα 130 Wm^{-2} για τους άνδρες (Sub3, Sub6, Sub7) και τα 100 Wm^{-2} για τις γυναίκες (Sub4, Sub5). Το γεγονός αυτό ουσιαστικά οφείλεται στα χαμηλά επίπεδα της μέσης θερμοκρασίας δέρματος και της παράγωγης θερμότητας από το μεταβολισμό αυτό το χρονικό διάστημα. Συγκεκριμένα, η μέση απώλεια για ολόκληρη την εξεταζόμενη πειραματική περίοδο κυμαίνεται για το Sub3 μεταξύ -44.5 έως -87.0 Wm^{-2} , για το Sub4 από -31.9 έως -71.6 Wm^{-2} , για το Sub5 μεταξύ -29.0 έως -56.5 Wm^{-2} , για το Sub6 από -38.0 έως -77.0 Wm^{-2} και για το Sub7 μεταξύ -59.2 και -90.2 Wm^{-2} .



ΣΧΗΜΑ 6.14. Η τυρβώδης ανταλλαγή λανθάνουσας θερμότητας (E) για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας για τις α) 16/7, β) 17/7, γ) 24/7, δ) 25/7 και ε) 28/7.

Περαιτέρω αύξηση της απώλειας θερμότητας παρατηρείται κατά μήκος της διαδρομής (2^η φάση) λόγω της υψηλής παραγωγής θερμότητας από το μεταβολισμό (M) καθώς και της σταδιακής αύξησης της μέσης θερμοκρασίας δέρματος (T_{sk}). Συγκεκριμένα, η μέση απώλεια αυτό το χρονικό διάστημα κυμαίνεται για το Sub3 μεταξύ -252.7 έως -423.3 Wm^{-2} , για το Sub4 από -131.5 έως -216.1 Wm^{-2} , για το

Sub5 μεταξύ -150.8 έως -202.6 Wm^{-2} , για το Sub6 από -193.5 έως -248.0 Wm^{-2} και για το Sub7 μεταξύ -272.2 και -291.7 Wm^{-2} . Ταυτόχρονα, η ομάδα μελέτης υφίσταται τα υψηλότερα επίπεδα απώλειας, τόσο σε μέσες όσο και σε απόλυτες τιμές, στις 17/7 (Σχήμα 6.14β), ημέρα με την υψηλότερη μέση θερμοκρασία αέρα ($30.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$) σε ένα ήπια θερμό περιβάλλον.

Τέλος, με την ολοκλήρωση της διαδρομής και την επιστροφή της ομάδας μελέτης στη σκιά του δένδρου (3^η φάση) παρατηρείται σταδιακή πτώση της απώλειας θερμότητας, ως αποτέλεσμα της αντίστοιχης πτωτικής πορείας της T_{sk} . Παρ' όλα αυτά η T_{sk} αυτό το χρονικό διάστημα κυμαίνεται σε υψηλότερα επίπεδα από ότι στην 1^η φάση λόγω της προηγούμενης υψηλής θερμικής κατάστασης του σώματος, με συνέπεια η απώλεια θερμότητας να είναι υψηλότερη (Katavoutas et al. 2010). Έτσι, η μέση απώλεια κατά τη διάρκεια της 3^{ης} φάσης κυμαίνεται για το Sub3 μεταξύ -97.8 έως -168.8 Wm^{-2} , για το Sub4 από -55.6 έως -95.3 Wm^{-2} , για το Sub5 μεταξύ -54.2 έως -88.6 Wm^{-2} , για το Sub6 από -55.3 έως -90.4 Wm^{-2} και για το Sub7 μεταξύ -101.1 και -110.8 Wm^{-2} για ολόκληρη την εξεταζόμενη πειραματική περίοδο.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα υποδεικνύεται υψηλότερη απώλεια θερμότητας για τους άνδρες, Sub3 και Sub7, αποτέλεσμα το οποίο σχετίζεται τόσο με τις υψηλές τιμές της T_{sk} που διαμορφώνουν όσο και με την διαφορετική προσέγγιση του μοντέλου κατά την προσομοίωση της τυρβώδους ανταλλαγής λανθάνουσας θερμότητας μεταξύ των δυο φύλων. Ταυτόχρονα, τα χαμηλότερα επίπεδα απώλειας εντοπίζονται για τις γυναίκες, Sub4 και Sub5, καθώς και για τον άνδρα Sub6 λόγω της χαμηλής T_{sk} που διαμορφώνει σε σύγκριση με τα υπόλοιπα άτομα της ομάδας.

Συνολικά από τη μελέτη της τυρβώδους ανταλλαγής λανθάνουσας θερμότητας (E) μέσω της διάχυσης των υδρατμών και της εξάτμισης του ιδρώτα, μπορούμε να πούμε ότι η υψηλή παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό (M) καθώς και η υψηλή μέση θερμοκρασία δέρματος (T_{sk}) κατά μήκος της διαδρομής οδηγεί την ομάδα μελέτης σε υψηλότερη απώλεια θερμότητας μέσω της E σε σύγκριση με τις φάσεις ανάπαυσης υπό σκιά. Ταυτόχρονα, η σύγκριση των παραπάνω αποτελεσμάτων με τα αντίστοιχα του προηγούμενου κεφαλαίου οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα συνοδεύεται από μεγαλύτερη απώλεια θερμότητας μέσω της E , λόγω των υψηλότερων τιμών της μέσης θερμοκρασίας δέρματος (T_{sk}). Για παράδειγμα, σε ένα πολύ θερμό ατμοσφαιρικό περιβάλλον (15/7, Σχήμα 5.12α) η μέση απώλεια θερμότητας κυμαίνεται σε τετραπλάσια επίπεδα τιμών από εκείνα σε ένα ήπια θερμό περιβάλλον (24/7, Σχήμα

6.14γ) αντίστοιχα για κάθε φάση. Παράλληλα, η μέση απώλεια κατά μήκος της διαδρομής σε ένα ήπια θερμό περιβάλλον (24/7) κυμαίνεται σε αντίστοιχα επίπεδα τιμών με εκείνα κατά την παραμονή της ομάδας μελέτης υπό σκιά σε ένα πολύ θερμό περιβάλλον (15/7) (Katavoutas et al. 2010).

6.5.5 Καθαρή αποθηκευόμενη θερμότητα

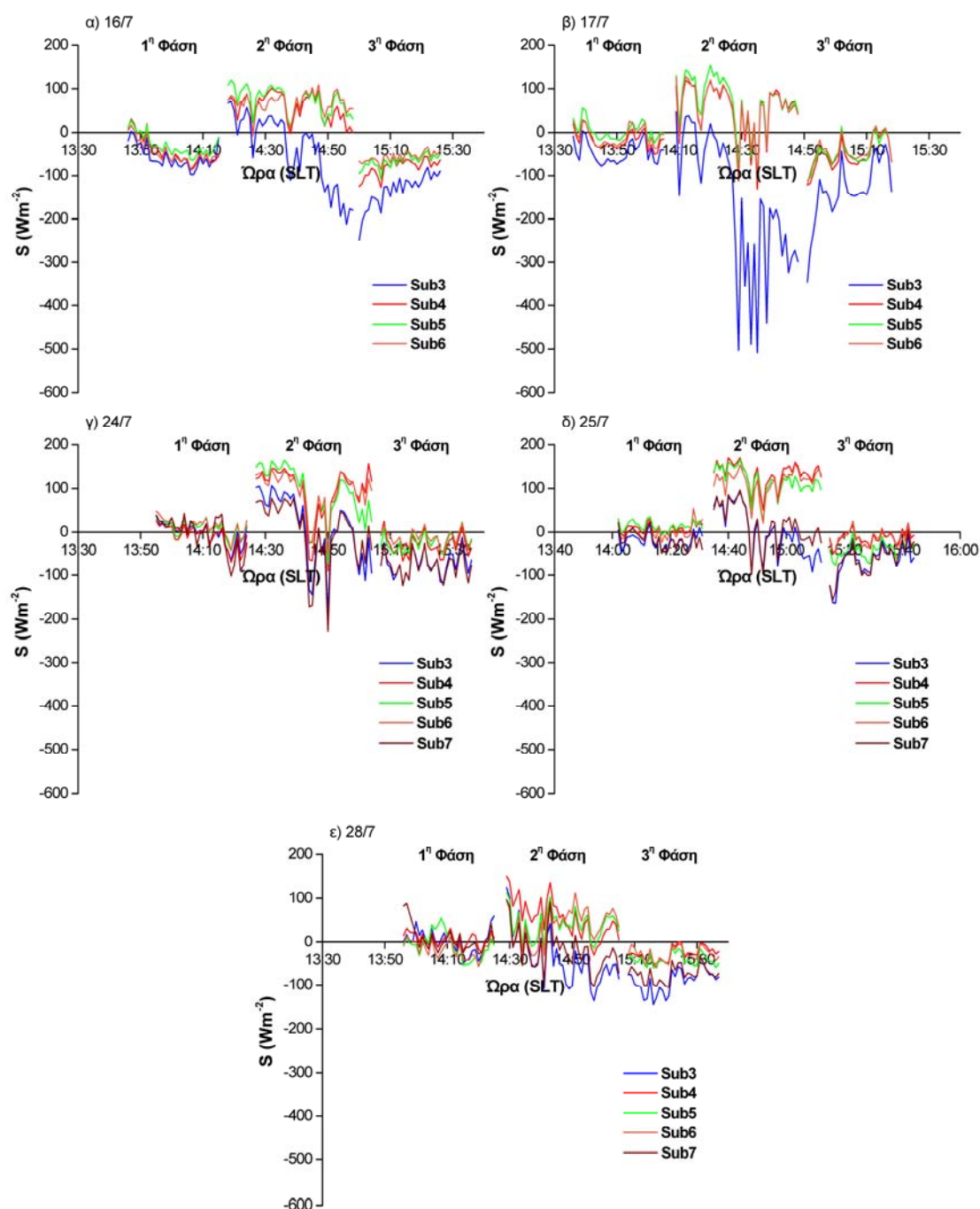
Στο Σχήμα 6.15 παρουσιάζεται η χρονική εξέλιξη της καθαρής αποθηκευόμενης θερμότητας (S), ως βασικός δείκτης της εμμονής και της έντασης των μεταβολών στο θερμικό φορτίο του ανθρώπινου οργανισμού κατά τη διάρκεια κάθε πειραματικής φάσης σε κάθε ατμοσφαιρικό περιβάλλον.

Στις 16/7, ημέρα με μέση θερμοκρασία αέρα 28.6 °C, διαπιστώνεται κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης οριακό πλεόνασμα θερμότητας τα πρώτα 5 min για τα Sub4, Sub5 και Sub6 ενώ στη συνέχεια παρατηρείται μια αυξανόμενη απώλεια θερμότητας (Σχήμα 6.15α). Αντιθέτως το Sub3 διαμορφώνει απώλεια θερμότητας σε κάθε χρονικό βήμα. Βάσει των παραπάνω προκύπτει μέση απώλεια θερμότητας στα $-57.6 \pm 27.2 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub3, στα $-42.6 \pm 31.7 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub4, στα $-29.8 \pm 24.9 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub5 και στα $-47.7 \pm 26.7 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub6. Κατά μήκος της διαδρομής το Sub3 διαμορφώνει τα πρώτα 20 min πλεόνασμα θερμότητας, με οριακή απώλεια σε κάποια χρονικά βήματα, ενώ στη συνέχεια και μέχρι την ολοκλήρωση της διαδρομής παρατηρείται απώλεια θερμότητας. Η αυξανόμενη απώλεια τα τελευταία 15 min σχετίζεται με την αντίστοιχη πορεία της τυρβώδους ανταλλαγής λανθάνουσας θερμότητας (E) το ίδιο χρονικό διάστημα. Έτσι, διαμορφώνεται μέση απώλεια θερμότητας στα $-41.5 \pm 82.6 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub3. Ταυτόχρονα, πλεόνασμα θερμότητας διαμορφώνουν σε κάθε χρονικό βήμα της διαδρομής τα άτομα Sub4, Sub5 και Sub6, με το μέσο πλεόνασμα να είναι $56.4 \pm 32.2 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub4, $73.8 \pm 30.1 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub5 και $66.2 \pm 24.0 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub6. Τέλος, κατά τη διάρκεια της 3^{ης} φάσης όλα τα άτομα υφίστανται απώλεια θερμότητας σε κάθε χρονικό βήμα, με την υψηλότερη μέση απώλεια να διαμορφώνεται για το Sub3 με $-130.3 \pm 39.5 \text{ Wm}^{-2}$ ενώ η χαμηλότερη για το Sub6 με $-55.9 \pm 12.0 \text{ Wm}^{-2}$.

Το Σχήμα 6.15β, παρουσιάζει τη χρονική εξέλιξη της S στις 17/7, ημέρα με την υψηλότερη μέση θερμοκρασία αέρα (30.5 °C) σε ένα ήπια θερμό περιβάλλον. Κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης διαπιστώνεται εναλλαγή πλεονάσματος και απώλειας θερμότητας για τα Sub4, Sub5 και Sub6, ενώ μόνο για το Sub3 παρατηρείται απώλεια θερμότητας σε κάθε χρονικό βήμα. Έτσι, προκύπτει μέση απώλεια θερμότητας για το

Sub3 με $-46.2 \pm 25.6 \text{ Wm}^{-2}$, για το Sub4 με $-17.6 \pm 21.2 \text{ Wm}^{-2}$, για το Sub6 με $-9.3 \pm 21.3 \text{ Wm}^{-2}$ και οριακό μέσο πλεόνασμα για το Sub5 με $2.6 \pm 20.1 \text{ Wm}^{-2}$. Στο μεγαλύτερο διάστημα της διαδρομής το Sub3 υφίσταται απώλεια θερμότητας, με τη μέση τιμή να διαμορφώνεται στα $-163.9 \pm 157.9 \text{ Wm}^{-2}$. Αντιθέτως, τα υπόλοιπα άτομα της ομάδας μελέτης εμφανίζουν πλεόνασμα θερμότητας στο μεγαλύτερο διάστημα της διαδρομής, με τη μέση τιμή να διαμορφώνεται στα $53.0 \pm 61.8 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub4, στα $67.9 \pm 62.3 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub5 και στα $55.4 \pm 58.3 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub6. Κατά τη διάρκεια της 3^{ης} φάσης παρατηρείται φθίνουσα απώλεια θερμότητας με το χρόνο για την ομάδα μελέτης, με τη μέση απώλεια να διαμορφώνεται στα $-129.4 \pm 70.8 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub3, στα $-51.2 \pm 35.6 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub4, στα $-44.8 \pm 31.8 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub5 και στα $-40.3 \pm 32.4 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub6.

Στις 24/7, ημέρα με μέση θερμοκρασία αέρα $28.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$, παρατηρείται κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης φθίνων πλεόνασμα θερμότητας τα πρώτα 20 min και απώλεια θερμότητας στη συνέχεια για όλα τα άτομα (Σχήμα 6.15γ). Αυτό το χρονικό διάστημα προκύπτει οριακή μέση απώλεια για τα Sub3, Sub4 και Sub7, με $-1.4 \pm 25.5 \text{ Wm}^{-2}$, $-8.9 \pm 25.4 \text{ Wm}^{-2}$ και $-6.0 \pm 41.4 \text{ Wm}^{-2}$, αντίστοιχα. Ταυτόχρονα, οριακό μέσο πλεόνασμα διαμορφώνεται για το Sub5 στα $7.6 \pm 18.6 \text{ Wm}^{-2}$ και για το Sub6 στα $14.1 \pm 20.3 \text{ Wm}^{-2}$. Στα πρώτα 15 min της διαδρομής (2^η φάση) όλα τα άτομα υφίστανται πλεόνασμα θερμότητας, με τα επίπεδα τιμών να διαφοροποιούνται μεταξύ των ατόμων. Στα επόμενα 10 min παρατηρείται φθίνον πλεόνασμα και σταδιακή εμφάνιση απώλειας θερμότητας για την ομάδα μελέτης. Από αυτό το χρονικό σημείο και μέχρι την ολοκλήρωση της διαδρομής τα Sub4, Sub5 και Sub6 εμφανίζουν αύξον πλεόνασμα θερμότητας ενώ για τα Sub3 και Sub7 διαπιστώνεται εναλλαγή πλεονάσματος και απώλειας θερμότητας. Συγκεκριμένα, διαμορφώνεται μέσο πλεόνασμα θερμότητας στα $92.3 \pm 60.3 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub4, στα $90.7 \pm 60.3 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub5 και στα $94.1 \pm 46.7 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub6 ενώ οριακό μέσο πλεόνασμα προκύπτει για τα Sub3 και Sub7, στα $10.0 \pm 77.9 \text{ Wm}^{-2}$ και στα $0.6 \pm 74.0 \text{ Wm}^{-2}$, αντίστοιχα. Τέλος, κατά τη διάρκεια της 3^{ης} φάσης οι άνδρες Sub3 και Sub7 εμφανίζουν απώλεια θερμότητας σε κάθε χρονικό βήμα ενώ για τα υπόλοιπα άτομα παρατηρείται απώλεια θερμότητας σε χαμηλότερα επίπεδα τιμών, με οριακό πλεόνασμα σε συγκεκριμένα χρονικά βήματα. Παρ' όλα αυτά μέση απώλεια θερμότητας διαμορφώνεται για όλα τα άτομα, με τη μέση τιμή να είναι $-73.5 \pm 28.9 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub3, $-29.6 \pm 22.8 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub4, $-23.4 \pm 19.7 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub5, $-13.7 \pm 17.7 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub6 και $-77.2 \pm 28.3 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub7.



ΣΧΗΜΑ 6.15. Η καθαρή αποθηκευόμενη θερμότητα (S) για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας για τις α) 16/7, β) 17/7, γ) 24/7, δ) 25/7 και ε) 28/7.

Το Σχήμα 6.15δ, παρουσιάζει τη χρονική εξέλιξη της S στις 25/7, ημέρα με μέση θερμοκρασία αέρα $29.1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Κατά την παραμονή υπό σκιά (1^η φάση) η ομάδα μελέτης υφίσταται εναλλαγή πλεονάσματος και απώλειας θερμότητας. Συγκεκριμένα, βρέθηκε μέση απώλεια θερμότητας για τους άνδρες Sub3 και Sub7, στα $-19.8 \pm 17.5\text{ Wm}^{-2}$ και $-17.9 \pm 20.3\text{ Wm}^{-2}$, αντίστοιχα, ενώ τα υπόλοιπα άτομα διαμορφώνουν μέσο πλεόνασμα θερμότητας στα $8.6 \pm 11.8\text{ Wm}^{-2}$ για το Sub4, $13.8 \pm 11.6\text{ Wm}^{-2}$ για το Sub5

και στα $2.1 \pm 17.8 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub6. Κατά τη διάρκεια της 2^{ης} φάσης οι γυναίκες (Sub4 και Sub5) και ο άνδρας Sub6 διαμορφώνουν πλεόνασμα θερμότητας σε κάθε χρονικό βήμα, με τη μέση τιμή να είναι $133.5 \pm 27.5 \text{ Wm}^{-2}$, $117.0 \pm 31.2 \text{ Wm}^{-2}$ και $114.1 \pm 30.1 \text{ Wm}^{-2}$, αντίστοιχα. Παράλληλα, οι άνδρες Sub3 και Sub7 διαμορφώνουν πλεόνασμα θερμότητας τα πρώτα 13 min της διαδρομής ενώ εναλλαγή πλεονάσματος και απώλειας θερμότητας παρατηρείται στη συνέχεια μέχρι την ολοκλήρωση της. Βάσει των παραπάνω προκύπτει οριακό μέσο πλεόνασμα για το Sub3 στα $0.1 \pm 56.2 \text{ Wm}^{-2}$ και $15.3 \pm 48.1 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub7. Κατά τη διάρκεια της 3^{ης} φάσης διαπιστώνεται φθίνουσα απώλεια θερμότητας για την ομάδα μελέτης, με την υψηλότερη βαθμίδα να παρατηρείται για τους άνδρες Sub3 και Sub7. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην αντίστοιχη πτωτική πορεία της τυρβώδους ανταλλαγής λανθάνουσας θερμότητας (E) το ίδιο χρονικό διάστημα. Η υψηλότερη μέση απώλεια διαμορφώνεται για το Sub3 με $-66.5 \pm 37.4 \text{ Wm}^{-2}$ ενώ η χαμηλότερη για το Sub4 με $-13.2 \pm 15.8 \text{ Wm}^{-2}$.

Την τελευταία ημέρα της εξεταζόμενης πειραματικής περιόδου (28/7), ημέρα με μέση θερμοκρασία αέρα $29.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$, παρατηρείται κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης εναλλαγή πλεονάσματος και απώλειας θερμότητας μέσω της S για όλα τα άτομα της ομάδας μελέτης (Σχήμα 6.15ε). Έτσι, προκύπτει οριακό μέσο πλεόνασμα για το Sub3 στα $1.1 \pm 27.4 \text{ Wm}^{-2}$, για το Sub4 στα $6.9 \pm 15.5 \text{ Wm}^{-2}$ και για το Sub7 στα $7.3 \pm 29.8 \text{ Wm}^{-2}$, ενώ οριακή μέση απώλεια διαμορφώνεται για το Sub5 στα $-7.7 \pm 30.8 \text{ Wm}^{-2}$ και για το Sub6 στα $-15.8 \pm 20.4 \text{ Wm}^{-2}$. Στο μεγαλύτερο διάστημα της διαδρομής τα Sub4, Sub5 και Sub6 διαμορφώνουν πλεόνασμα θερμότητας, με τη μέση τιμή να είναι $54.5 \pm 43.7 \text{ Wm}^{-2}$, $39.3 \pm 32.8 \text{ Wm}^{-2}$ και $40.3 \pm 38.4 \text{ Wm}^{-2}$, αντίστοιχα. Αντιθέτως, για τα Sub3 και Sub7 παρατηρείται φθίνον πλεόνασμα θερμότητας τα πρώτα 10 min της διαδρομής και σταδιακή εμφάνιση απώλειας θερμότητας στη συνέχεια. Έτσι, προκύπτει μέση απώλεια θερμότητας στα $-36.7 \pm 61.5 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub3 και στα $-20.4 \pm 47.8 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub7. Τέλος, κατά τη διάρκεια της 3^{ης} φάσης όλα τα άτομα διαμορφώνουν απώλεια θερμότητας σε κάθε χρονικό βήμα, με τη μέση τιμή να είναι $-90.9 \pm 27.7 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub3, $-28.4 \pm 16.9 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub4, $-41.7 \pm 13.6 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub5, $-29.3 \pm 15.7 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub6 και $-74.7 \pm 19.4 \text{ Wm}^{-2}$ για το Sub7.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα προκύπτει ότι κατά την παραμονή της ομάδας μελέτης υπό σκιά (1^η φάση) σε ένα ήπια θερμό περιβάλλον όλα τα άτομα υφίστανται εναλλαγή πλεονάσματος και απώλειας θερμότητας μέσω της καθαρής αποθηκευόμενης θερμότητας (S). Λαμβάνοντας υπόψη ότι η S περιγράφει την εμμόνη

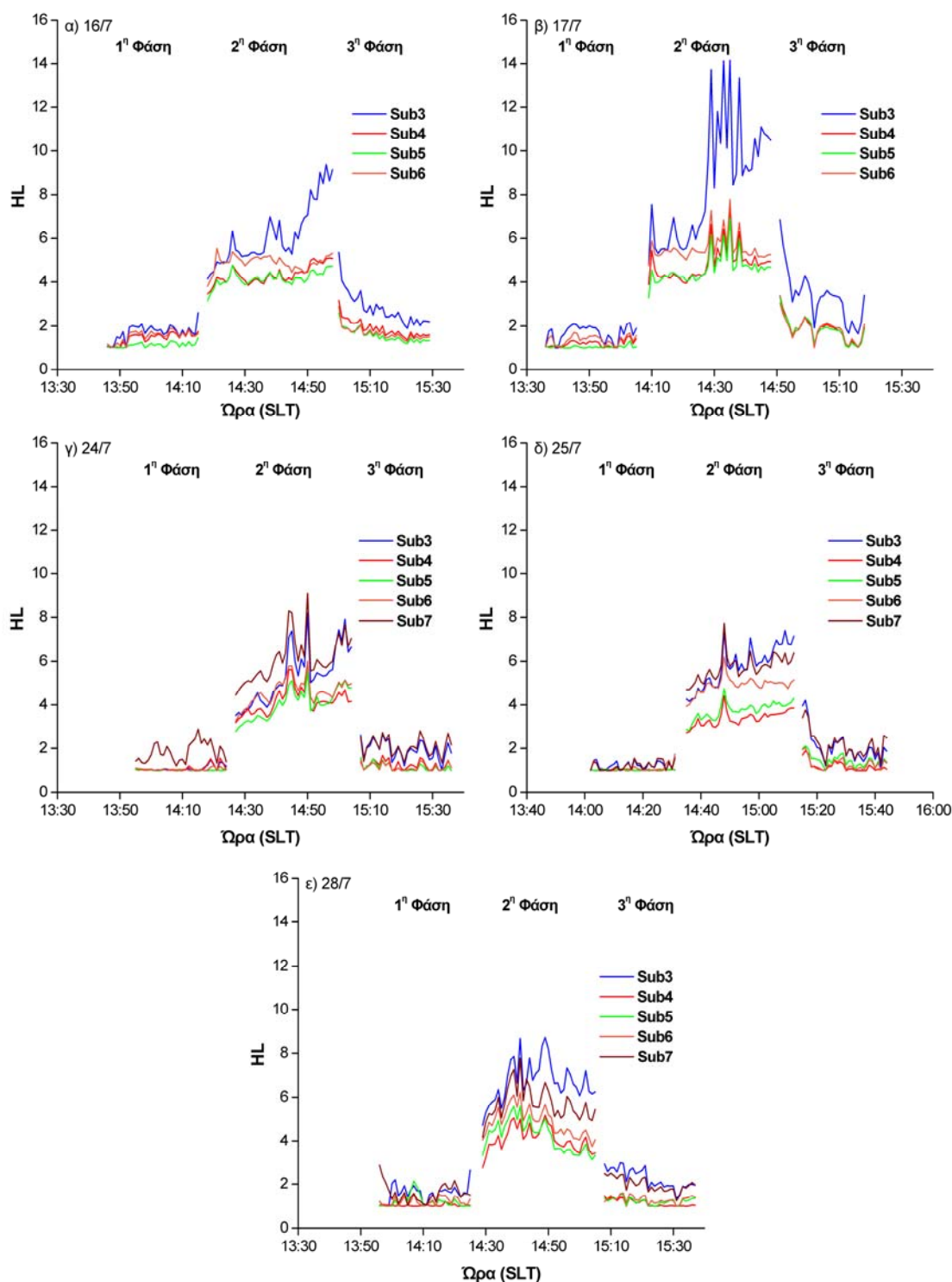
και την ένταση των μεταβολών στο θερμικό φορτίο του ανθρώπινου οργανισμού, τα παραπάνω υποδεικνύουν εξισορρόπηση των ροών που υποδηλώνουν απώλεια με εκείνες που υποδεικνύουν πλεόνασμα θερμότητας. Κατά μήκος της διαδρομής (2^η φάση), τα επίπεδα τιμών της καθαρής αποθηκευόμενης θερμότητας διαφοροποιούνται σημαντικά μεταξύ των ατόμων σε σχέση με την 1^η φάση. Το αποτέλεσμα αυτό σχετίζεται με τα διαφορετικά επίπεδα τιμών της μέσης θερμοκρασίας δέρματος (T_{sk}) και της παραγωγής θερμότητας από το μεταβολισμό (M) μεταξύ των ατόμων, οδηγώντας ουσιαστικά τις ροές από και προς το ανθρώπινο σώμα σε σημαντικές αποκλίσεις για την ομάδα μελέτης. Γενικά, στη φάση αυτή οι γυναίκες (Sub4, Sub5) και ο άνδρας Sub6 διαμορφώνουν το μεγαλύτερο διάστημα πλεόνασμα θερμότητας σε αντίθεση με τους άνδρες Sub3 και Sub7 όπου παρουσιάζουν απώλεια. Τέλος, κατά τη διάρκεια της 3^{ης} φάσης, βρέθηκε ότι η ομάδα μελέτης υφίσταται απώλεια θερμότητας κάθε πειραματική ημέρα, σε αντίθεση με την 1^η φάση. Το γεγονός αυτό σχετίζεται με τα υψηλότερα επίπεδα απώλειας μέσω της τυρβώδους ανταλλαγής λανθάνουσας θερμότητας σε σχέση με την 1^η φάση, λόγω της υψηλής μεν αλλά σε σταδιακή πτώση μέσης θερμοκρασίας δέρματος αυτό το χρονικό διάστημα εξαιτίας της δραστηριότητας που προηγήθηκε.

6.6 Θερμοφυσιολογικοί δείκτες

Αφού μελετήθηκαν οι ροές από και προς το ανθρώπινο σώμα για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης σε ένα ήπια θερμό περιβάλλον, απομένει να διερευνηθεί η θερμική επιβάρυνσης. Συγκεκριμένα, στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζεται η χρονική εξέλιξη και η επί τοις εκατό συχνότητα κατανομής του δείκτη Θερμικού Φορτίου (Heat Load index, HL), για την αποτύπωση της έντασης των διαδικασιών προσαρμογής και της θερμικής επιβάρυνσης της ομάδας μελέτης στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον. Ταυτόχρονα, ο δείκτης Απώλειας Ύδατος (Water Loss index, SW) θα υποδείξει τα επίπεδα της απώλειας ύδατος μέσω της εξάτμισης του ιδρώτα σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας.

6.6.1 Δείκτης Θερμικού Φορτίου

Στο Σχήμα 6.16 παρουσιάζεται η πορεία του δείκτη HL ενώ στο Σχήμα 6.17 απεικονίζεται η επί της εκατό συχνότητα κατανομής της θερμικής επιβάρυνσης του δείκτη για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης ανά πειραματική φάση σε κάθε ατμοσφαιρικό περιβάλλον.



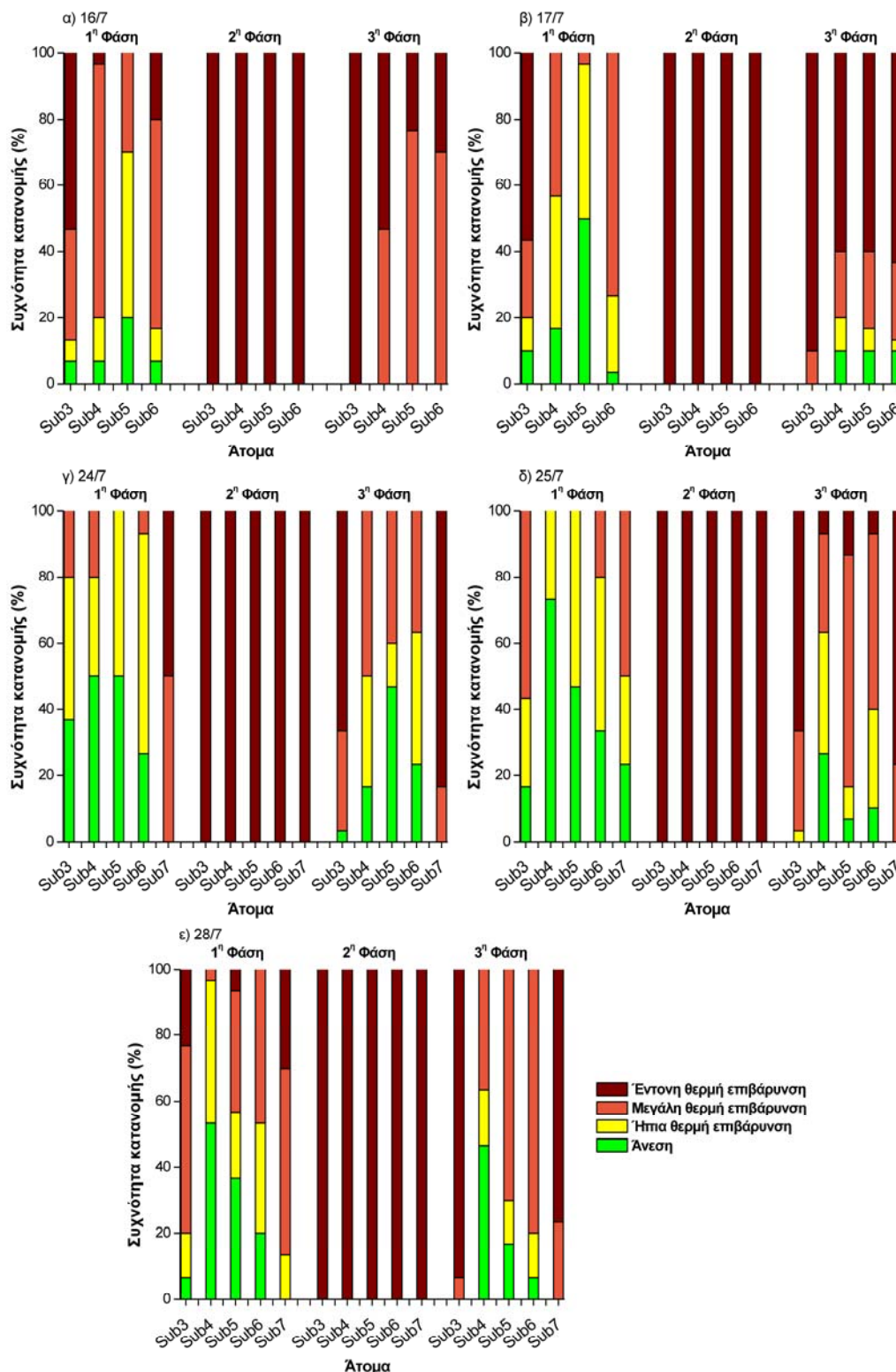
ΣΧΗΜΑ 6.16. Ο δείκτης Θερμικού Φορτίου (HL) για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας για τις α) 16/7, β) 17/7, γ) 24/7, δ) 25/7 και ε) 28/7.

Στις 16/7, ημέρα με μέση θερμοκρασία αέρα 28.6°C , η άνεση και η ήπια θερμή επιβάρυνση υποδεικνύεται σε ποσοστό έως 20% κατά την παραμονή της ομάδας μελέτης υπό σκιά (1^η φάση), με εξαίρεση το Sub5 όπου φτάνει το 70% (Σχήμα 6.17α). Το ίδιο χρονικό διάστημα μεγάλη θερμή επιβάρυνση εμφανίζεται στο 33.3% των τιμών του HL για το Sub3, στο 76.7% για το Sub4, στο 30% για το Sub5

και στο 63.3% για το Sub6. Έντονη θερμή επιβάρυνση υφίστανται κυρίως οι άνδρες Sub3 και Sub6 σε ποσοστό 53.3% και 20%, αντίστοιχα, ενώ από τις γυναίκες μόνο το Sub4 σε ποσοστό 3.3% των τιμών του δείκτη. Κατά μήκος της διαδρομής (2^η φάση) ο δείκτης διαμορφώνεται σε τουλάχιστον διπλασία επίπεδα τιμών σε σύγκριση με την 1^η φάση (Σχήμα 6.16α), υποδεικνύοντας έντονες διαδικασίες προσαρμογής για την ομάδα μελέτης και ιδιαίτερα για το Sub3 τα τελευταία 15 min. Ταυτόχρονα, έντονη θερμή επιβάρυνση παρατηρείται στο 100% των τιμών του *HL* για όλα τα άτομα (Σχήμα 6.17α). Με την ολοκλήρωση της διαδρομής και την επιστροφή της ομάδας στη σκιά του δένδρου (3^η φάση) ο δείκτης *HL* παρουσιάζει πτωτική πορεία. Παρ' όλα αυτά η επιβάρυνση ταξινομείται αποκλειστικά στην έντονη θερμή επιβάρυνση για το Sub3 ενώ για τα υπόλοιπα άτομα μεταξύ μεγάλης και έντονης θερμής επιβάρυνσης.

Στα Σχήματα 6.16β και 6.17β, τα οποία παρουσιάζουν τη χρονική εξέλιξη και την κατανομή του *HL* στις 17/7, ημέρα με μέση θερμοκρασία αέρα 30.5 °C, η επιβάρυνση ταξινομείται μεταξύ άνεσης και έντονης θερμής επιβάρυνσης για το Sub3 και μεταξύ άνεσης και μεγάλης θερμής επιβάρυνσης για τα υπόλοιπα άτομα κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης. Συγκεκριμένα, βρέθηκε ότι το ποσοστό άνεσης φτάνει στο 10% των τιμών του δείκτη για το Sub3, στο 16.7% για το Sub4, στο 50% για το Sub5 και στο 3.3% για το Sub6. Παράλληλα, ήπια θερμή επιβάρυνση υποδεικνύεται στο 10%, 40%, 46.7% και 23.3% των τιμών του *HL* για τα Sub3, Sub4, Sub5 και Sub6, αντίστοιχα. Υψηλά ποσοστά μεγάλης θερμής επιβάρυνσης παρουσιάζουν οι άνδρες με 23.3% (Sub3) και 73.3% (Sub6) καθώς και η γυναίκα Sub4 με 43.3% σε αντίθεση με το Sub5 (3.3%). Κατά μήκος της διαδρομής (2^η φάση) ο δείκτης *HL* διαμορφώνεται σε υψηλότερα επίπεδα τιμών σε σχέση με την 1^η φάση, γεγονός το οποίο σχετίζεται με την υψηλή παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό, την έκθεση στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία καθώς και την υψηλότερη μέση θερμοκρασία δέρματος αυτό το χρονικό διάστημα (Σχήμα 6.16β). Τα υψηλότερα επίπεδα τιμών του δείκτη για το Sub3, ιδιαίτερα μετά τα πρώτα 15 min της διαδρομής, οφείλονται στην υψηλότερη μέση θερμοκρασία δέρματος (Σχήμα 6.3β) που διαμορφώνει συγκριτικά με τα υπόλοιπα άτομα. Σύμφωνα με το Σχήμα 6.17β όλα τα άτομα κατά τη διάρκεια της 2^{ης} φάσης βιώνουν έντονη θερμή επιβάρυνση στο 100% των τιμών του *HL*. Παρ' όλα αυτά το Sub3 λόγω του υψηλού φορτίου του θερμορυθμιστικού συστήματος του οργανισμού υφίσταται εντονότερες διαδικασίες προσαρμογής. Κατά τη διάρκεια της 3^{ης} φάσης η συχνότητα κατανομής της έντονης και μεγάλης θερμής επιβάρυνσης αυξάνεται αντιπροσωπεύοντας τουλάχιστον το 80% των τιμών του δείκτη σε

σύγκριση με την 1^η φάση. Παρόλα αυτά εντοπίζονται ποσοστά άνεσης και ήπιας θερμής επιβάρυνσης κυρίως τα τελευταία λεπτά της 3^{ης} φάσης.



ΣΧΗΜΑ 6.17. Η επί της εκατό συχνότητα κατανομής της θερμικής επιβάρυνσης του δείκτη Θερμικού Φορτίου (*HL*) για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας για τις α) 16/7, β) 17/7, γ) 24/7, δ) 25/7 και ε) 28/7.

Στις 24/7, ημέρα με τη χαμηλότερη μέση θερμοκρασία αέρα κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας (28.4°C), η ομάδα μελέτης δεν υφίσταται έντονη θερμή επιβάρυνση κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης, με εξαίρεση το Sub7 σε ποσοστό 50% των τιμών του δείκτη (Σχήμα 6.17γ). Τα υψηλότερα επίπεδα τιμών του *HL* για το Sub7 (Σχήμα 6.16γ) σε σχέση με τα υπόλοιπα άτομα της ομάδας μελέτης σχετίζονται τόσο με την υψηλότερη μέση θερμοκρασία δέρματος (Σχήμα 6.3γ) όσο και με την υψηλότερη παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό (Σχήμα 6.8γ) αυτό το χρονικό διάστημα. Ουσιαστικά το Sub7 βιώνει υψηλότερη απώλεια μέσω της τυρβώδους ανταλλαγής λανθάνουσας θερμότητας (Σχήμα 6.14γ) με συνέπεια να υφίσταται εντονότερες διαδικασίες προσαρμογής. Υψηλά ποσοστά άνεσης παρουσιάζουν τα υπόλοιπα άτομα της ομάδας μελέτης, με 36.7% για το Sub3, 50% για τις γυναίκες (Sub4, Sub5) και 26.7% για το Sub6. Ταυτόχρονα, ήπια θερμή επιβάρυνση υποδεικνύεται στο 43.3%, 30%, 50% και 66.7% των τιμών του *HL* για τα Sub3, Sub4, Sub5 και Sub6, αντίστοιχα. Κατά τη διάρκεια της 2^{ης} φάσης ο δείκτης παρουσιάζει αυξητική πορεία με τη βαθμίδα να διαφοροποιείται μεταξύ των ατόμων (Σχήμα 6.16γ), ενώ υποδεικνύεται έντονη θερμή επιβάρυνση στο 100% των τιμών του δείκτη για όλα τα άτομα (Σχήμα 6.17γ). Τέλος, κατά τη διάρκεια της 3^{ης} φάσης μόνο οι άνδρες Sub3 και Sub7 υφίστανται έντονη θερμή επιβάρυνση σε ποσοστό 66.7% και 83.3% των τιμών του δείκτη, αντίστοιχα. Παράλληλα παρατηρείται αύξηση της συχνότητας κατανομής της μεγάλης θερμής επιβάρυνσης με αντίστοιχη μείωση των επιπέδων άνεσης και ήπιας θερμής επιβάρυνσης συγκριτικά με την κατανομή κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης. Παρ' όλα αυτά η άνεση και η ήπια θερμή επιβάρυνση αντιπροσωπεύει το 3.3%, 50%, 60% και 63.3% των τιμών του *HL* για τα Sub3, Sub4, Sub5 και Sub6, αντίστοιχα.

Στις 25/7, ημέρα με μέση θερμοκρασία αέρα 29.1°C , η ομάδα μελέτης δεν υφίσταται έντονη θερμή επιβάρυνση κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης, ενώ μόνο οι άνδρες (Sub3, Sub6, Sub7) βιώνουν μεγάλη θερμή επιβάρυνση (Σχήμα 6.17δ). Συγκεκριμένα, άνεση υποδεικνύεται στο 16.7%, 73.3%, 46.7%, 33.3% και 23.3% των τιμών του *HL* για τα Sub3, Sub4, Sub5, Sub6 και Sub7, αντίστοιχα. Παράλληλα, παρατηρούνται υψηλά ποσοστά ήπιας θερμής επιβάρυνσης, ερμηνεύοντας το 26.7% των τιμών του δείκτη για τα Sub3, Sub4 και Sub7 και το 53.3% και 46.7% για τα Sub5 και Sub6, αντίστοιχα. Κατά τη διάρκεια της διαδρομής (2^η φάση) ο δείκτης κυμαίνεται σε υψηλότερα επίπεδα τιμών σε σχέση με τη 1^η φάση παραμονής υπό σκιά, ενώ διαπιστώνεται αυξητική πορεία με το χρόνο, με τη βαθμίδα να διαφοροποιείται

μεταξύ των ατόμων (Σχήμα 6.16δ). Αυτό το χρονικό διάστημα η ομάδα μελέτης υφίσταται έντονη θερμή επιβάρυνση στο 100% των τιμών του *HL* (Σχήμα 6.17δ), με τους άνδρες (Sub3, Sub6, Sub7) να βιώνουν εντονότερες διαδικασίες προσαρμογής συγκριτικά με τις γυναίκες (Sub4, Sub5). Τέλος, κατά τη διάρκεια της 3^{ης} φάσης τα επίπεδα τιμών του *HL* κυμαίνονται χαμηλότερα σε σχέση με τη φάση της διαδρομής, υψηλότερα όμως συγκριτικά με τη 1^η φάση παραμονής της ομάδας μελέτης υπό σκιά (Σχήμα 6.16δ). Έτσι, προκύπτει αύξηση της συχνότητας κατανομής της έντονης και μεγάλης θερμής επιβάρυνσης με αντίστοιχη μείωση των επιπέδων άνεσης και ήπιας θερμής επιβάρυνσης σε σχέση με την κατανομή της 1^{ης} φάσης (Σχήμα 6.17δ). Συγκεκριμένα, η άνεση περιορίζεται στο 26.7% για το Sub4, στο 6.7% για το Sub5 και στο 10% για το Sub6, ενώ η ήπια θερμή επιβάρυνση στο 3.3%, 36.7%, 10% και 30% των τιμών του *HL* για τα Sub3, Sub4, Sub5 και Sub6, αντίστοιχα.

Την τελευταία ημέρα της εξεταζόμενης πειραματικής περιόδου (28/7), ημέρα με μέση θερμοκρασία αέρα 29.4 °C, η άνεση και η ήπια θερμή επιβάρυνση αντιπροσωπεύει το 20% των τιμών του δείκτη για το Sub3, το 96.6% για το Sub4, το 56.7% για το Sub5, το 53.3% για το Sub6 και το 13.3% για το Sub7 κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης (Σχήμα 6.17ε). Έντονη θερμή επιβάρυνση παρατηρείται μόνο για τα Sub3, Sub5 και Sub7, γεγονός το οποίο σχετίζεται με τη σχετικά υψηλή παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό, χαρακτηρίζοντας τη δραστηριότητα ως ήπια για το Sub5 και ως μέτρια για τα Sub3 και Sub7, όπως ήδη έχουμε αναφέρει στη παράγραφο 6.4.2. Ταυτόχρονα, η υψηλότερη μέση θερμοκρασία δέρματος που διαμορφώνει το Sub5 σε σύγκριση με τα υπόλοιπα άτομα παίζει καθοριστικό ρόλο στην εμφάνιση έντονης θερμής επιβάρυνσης, έστω και σε μικρό ποσοστό (6.7%). Κατά τη διάρκεια της διαδρομής ο *HL* παρουσιάζει αυξητική πορεία τα πρώτα 13 min και πτωτική πορεία μέχρι την ολοκλήρωση της διαδρομής, με τη βαθμίδα να διαφοροποιείται μεταξύ των ατόμων (Σχήμα 6.16ε). Το γεγονός αυτό ανακλά την αυξομείωση της μέσης θερμοκρασίας δέρματος, η οποία είναι πολύ πιθανό να σχετίζεται με την επικρατούσα νεφοκάλυψη. Παρ' όλα αυτά η ομάδα μελέτης υφίσταται έντονη θερμή επιβάρυνση στο 100% των τιμών του *HL* (Σχήμα 6.17ε), με τους άνδρες (Sub3, Sub6, Sub7) να βιώνουν εντονότερες διαδικασίες προσαρμογής συγκριτικά με τις γυναίκες (Sub4, Sub5). Τέλος, κατά τη διάρκεια της 3^{ης} φάσης η επιβάρυνση ταξινομείται μεταξύ μεγάλης και έντονης θερμής επιβάρυνσης για τους άνδρες Sub3 και Sub7, σε αντίθεση με τα υπόλοιπα άτομα όπου ταξινομείται μεταξύ άνεσης και μεγάλης

θερμής επιβάρυνσης. Έτσι, η άνεση και η ήπια θερμή επιβάρυνση περιορίζεται στο 63.4% για το Sub4, στο 30% για το Sub5 και στο 20% για το Sub6.

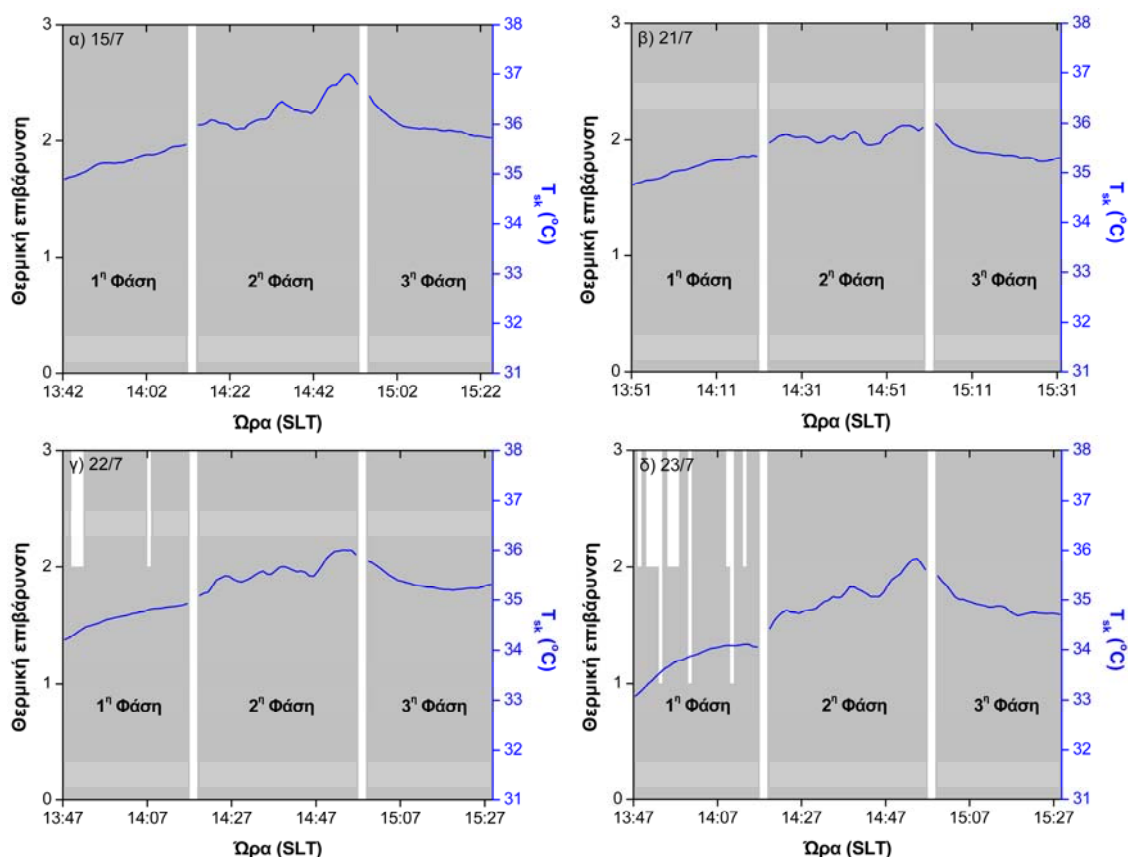
Συνολικά από τη μελέτη των πεδίων του δείκτη Θερμικού Φορτίου (*HL*), μπορούμε να πούμε ότι η πτώση της θερμοκρασίας του αέρα σε ένα ήπια θερμό περιβάλλον, κατά την 1^η φάση παραμονής της ομάδας μελέτης υπό σκιά ταξινομεί την επιβάρυνση κυρίως μεταξύ άνεσης και ήπιας θερμής επιβάρυνσης. Ωστόσο, η εμφάνιση μεγάλης και έντονης θερμής επιβάρυνσης οφείλεται κυρίως στα επίπεδα τιμών της μέσης θερμοκρασίας δέρματος και της παραγωγής θερμότητας από το μεταβολισμό. Αντιθέτως, κατά τη διάρκεια της διαδρομής όλα τα άτομα υφίστανται έντονη θερμή επιβάρυνση κάθε πειραματική ημέρα. Το αποτέλεσμα αυτό οφείλεται στην υψηλή παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό καθώς και στην υψηλή απορροφούμενη ηλιακή ακτινοβολία (Katavoutas et al. 2010). Κατά τη παραμονή της ομάδας στη σκιά του δένδρου μετά την ολοκλήρωση της διαδρομής (3^η φάση) βρέθηκε ότι ο δείκτης κυμαίνεται σε υψηλότερα επίπεδα τιμών σε σύγκριση με αυτά πριν την έναρξη της διαδρομής (1^η φάση), οδηγώντας σε αύξηση τη συχνότητα κατανομής της έντονης και μεγάλης θερμής επιβάρυνσης με αντίστοιχη μείωση της άνεσης και της ήπιας θερμής επιβάρυνσης. Το αποτέλεσμα αυτό σχετίζεται με την υψηλότερη μέση θερμοκρασία δέρματος λόγω της διαδρομής που προηγήθηκε, σε σχέση με την 1^η φάση, υποδεικνύοντας το καθοριστικό ρόλο της προηγούμενης θερμικής κατάστασης του σώματος στην εκτίμηση του δείκτη (Katavoutas et al. 2010).

Σε συμφωνία με τα αποτελέσματα του προηγούμενου κεφαλαίου η συνολική σύγκριση των τιμών του *HL* για την ομάδα μελέτης, υποδεικνύει υψηλότερα επίπεδα τιμών για τους άνδρες Sub3 και Sub7, ενώ τα χαμηλότερα επίπεδα τιμών διαμορφώθηκαν για τις γυναίκες Sub4 και Sub5.

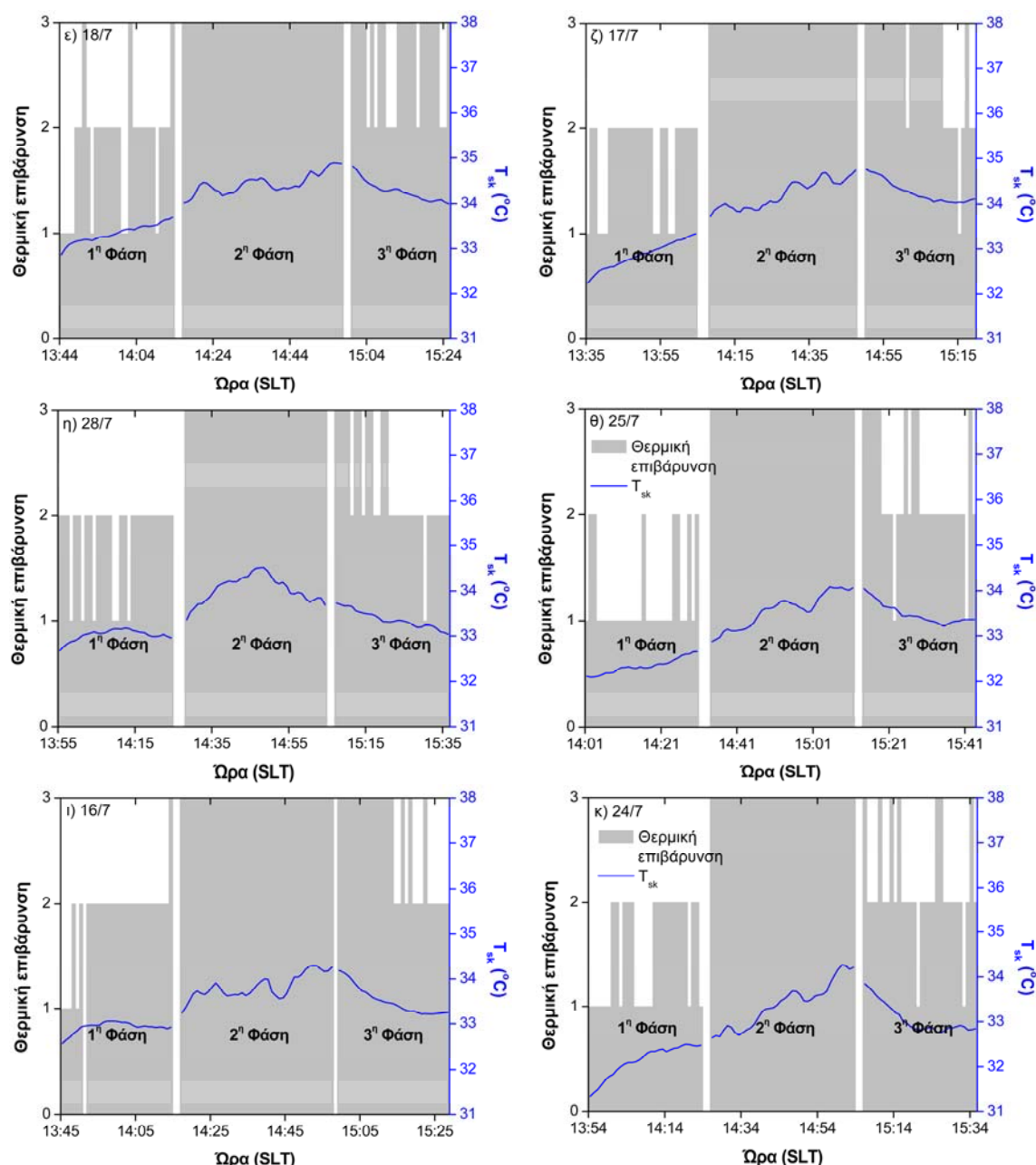
Συγκρίνοντας τα παραπάνω αποτελέσματα με τα αντίστοιχα του προηγούμενου κεφαλαίου διαπιστώνουμε χαμηλότερα επίπεδα τιμών του δείκτη *HL* τόσο κατά τη διάρκεια παραμονής της ομάδα μελέτης υπό σκιά όσο και κατά μήκος της διαδρομής σε ένα ήπια θερμό περιβάλλον. Παρόλο που κατά μήκος της διαδρομής η επιβάρυνση ταξινομείται εξολοκλήρου στην έντονη θερμή επιβάρυνση σε κάθε ατμοσφαιρικό περιβάλλον, πρέπει να τονιστεί ότι η ομάδα μελέτης υφίσταται μικρότερης έντασης διαδικασίες προσαρμογής σε ένα ήπια θερμό περιβάλλον σε σύγκριση με αυτές σε ένα μέτρια έως πολύ θερμό περιβάλλον. Ταυτόχρονα, πρέπει να σημειωθεί ότι η θερμική επιβάρυνση κατά τη διάρκεια της διαδρομής σε ένα ήπια

θερμό περιβάλλον όπως για παράδειγμα στις 24/7 (Σχήμα 6.16γ), με υψηλό επίπεδο δραστηριότητας και έκθεση στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία, κυμαίνεται σε αντίστοιχα επίπεδα επιβάρυνσης με εκείνα σε ένα πολύ θερμό περιβάλλον όπως για παράδειγμα στις 15/7 (Σχήμα 5.14α) υπό σκιά με χαμηλό επίπεδο δραστηριότητας (Katavoutas et al. 2010).

Προκειμένου να φανούν τα επίπεδα της θερμικής επιβάρυνσης ανεξάρτητα από το βαθμό έντασης, στο Σχήμα 6.18 παρουσιάζεται η μέση επιβάρυνση συνολικά για την ομάδα μελέτης και η αντίστοιχη πορεία της μέσης θερμοκρασίας δέρματος (T_{sk}) ανά λεπτό από τις υψηλότερες προς τις χαμηλότερες θερμοκρασίες αέρα ολόκληρης της πειραματικής περιόδου (15 έως 28/7). Φαίνεται ότι κατά τη διάρκεια των φάσεων παραμονής υπό σκιά (1^η & 3^η φάση) αύξηση της T_{sk} οδηγεί τη θερμική επιβάρυνση σε υψηλότερη κλίμακα. Αντιθέτως, κατά τη διάρκεια της διαδρομής δεν παρατηρείται μεταβολή στη κλίμακα της θερμικής επιβάρυνσης αλλά όπως ήδη έχουμε αναφέρει μεταβάλλεται το επίπεδο της έντασης.



ΣΧΗΜΑ 6.18. Μέση θερμική επιβάρυνση (0 - άνεση, 1 - ήπια θερμική επιβάρυνση, 2 - μεγάλη θερμική επιβάρυνση, 3 - έντονη θερμική επιβάρυνση) και μέση τιμή της μέσης θερμοκρασίας δέρματος (T_{sk}) για την ομάδα μελέτης από τις υψηλότερες προς τις χαμηλότερες θερμοκρασίες αέρα (T_a) ολόκληρης της πειραματικής περιόδου.



ΣΧΗΜΑ 6.18. (Συνέχεια).

6.6.2 Δείκτης Απώλειας Ύδατος

Στον Πίνακα 6.3 παρουσιάζονται η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση του δείκτη Απώλειας Ύδατος (SW) ανά άτομο σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας κάθε πειραματική ημέρα. Η έντονη γραφή υποδεικνύει υπέρβαση του ορίου επικινδυνότητας ενώ η πλάγια υπέρβαση του ορίου προειδοποίησης για εγκλιματισμένους οργανισμούς ανάλογα με το επίπεδο δραστηριότητας.

Είναι εμφανές ότι κατά την διάρκεια της 1^{ης} φάσης δεν παρατηρείται υπέρβαση τόσο του ορίου επικινδυνότητας όσο και του ορίου προειδοποίησης για κανένα άτομο της ομάδας μελέτης σε κάθε εξεταζόμενο ήπια θερμό περιβάλλον.

Ταυτόχρονα, μέσω της τυπικής απόκλισης δεν διαπιστώνεται ιδιαίτερα σημαντικό εύρος τιμών της απώλειας ύδατος κατά την παραμονή της ομάδας μελέτης στη σκιά του δένδρου (1^η φάση).

Αντιθέτως, κατά μήκος της διαδρομής (2^η φάση) παρατηρείται αύξηση της απώλειας ύδατος λόγω εξάτμισης του ιδρώτα η οποία ουσιαστικά οφείλεται στην υψηλότερη παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό καθώς και στα υψηλότερα επίπεδα τιμών της μέσης θερμοκρασίας δέρματος. Ωστόσο, δεν παρατηρείται υπέρβαση κανενός ορίου για τις γυναίκες Sub4 και Sub5 και για τον άνδρα Sub6 και ουσιαστικά οι υπερβάσεις περιορίζονται στους άνδρες Sub3 και Sub7. Συγκεκριμένα, υπέρβαση του ορίου επικινδυνότητας διαπιστώνεται μόνο για το Sub3 στις 17/7 και 28/7 ενώ υπέρβαση του ορίου προειδοποίησης παρατηρείται στις 16/7 για το Sub3, στις 24/7 για το Sub7, στις 25/7 για το Sub3 και το Sub7 και στις 28/7 για το Sub7.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.6. Μέση τιμή και τυπική απόκλιση του δείκτη Απώλειας Ύδατος (*SW*) ανά άτομο σε κάθε φάση κάθε πειραματική ημέρα. Η έντονη γραφή υποδεικνύει υπέρβαση του ορίου επικινδυνότητας και η πλάγια υπέρβαση του ορίου προειδοποίησης για εγκλιματισμένους οργανισμούς.

Πειραματική ημέρα	Άτομα	SW (gh ⁻¹)		
		1 ^η φάση	2 ^η φάση	3 ^η φάση
16/7	Sub3	283.1±58.5	912.0±238.6	455.1±117.9
	Sub4	230.7±54.2	588.3±88.5	302.4±58.2
	Sub5	173.9±41.9	545.3±68.8	254.6±47.6
	Sub6	252.5±49.8	642.6±63.6	272.6±43.9
17/7	Sub3	273.1±65.0	1298.4±443.9	527.3±199.6
	Sub4	181.8±44.2	662.2±158.2	285.3±91.4
	Sub5	146.0±34.7	620.7±148.5	279.2±87.3
	Sub6	213.2±49.8	753.4±144.6	288.5±80.8
24/7	Sub3	146.3±43.9	758.9±232.9	314.1±66.9
	Sub4	146.9±44.3	527.7±132.4	197.5±39.3
	Sub5	101.4±28.2	517.6±142.9	175.8±39.5
	Sub6	125.1±34.7	576.1±121.6	182.3±37.8
	Sub7	275.7±64.0	870.3±195.3	337.0±65.7
25/7	Sub3	202.7±38.6	878.0±183.9	347.5±118.1
	Sub4	110.6±20.9	415.3±55.3	189.9±47.9
	Sub5	101.5±22.4	475.7±70.6	240.1±49.5
	Sub6	173.3±33.9	613.9±74.9	214.5±48.4
	Sub7	200.2±41.6	853.4±130.3	361.7±97.9
28/7	Sub3	271.1±59.0	1108.2±194.0	426.6±80.4
	Sub4	149.6±31.7	626.9±103.2	213.8±35.7
	Sub5	205.9±50.1	665.8±131.1	235.7±31.0
	Sub6	224.0±42.3	752.6±135.2	254.9±32.5
	Sub7	270.0±57.9	949.9±143.6	379.1±56.2

Τέλος, κατά τη διάρκεια της 3^{ης} φάσης τα επίπεδα τιμών του *SW* διαμορφώνονται υψηλότερα σε σύγκριση με αυτά της 1^{ης} φάσης γεγονός το οποίο σχετίζεται με την προηγούμενη υψηλή θερμική κατάσταση του σώματος που

διαμορφώθηκε κατά μήκος της διαδρομής (2^η φάση). Ωστόσο, καμία πειραματική ημέρα δεν διαπιστώνεται υπέρβαση του ορίου επικινδυνότητας ενώ μόνο για το Sub3 παρατηρείται οριακή υπέρβαση του ορίου προειδοποίησης στις 17/7.

Τα παραπάνω οδηγούν στο συμπέρασμα ότι σε ένα ήπια θερμό περιβάλλον υπό σκιά και με χαμηλά επίπεδα δραστηριότητας (1^η φάση) η ομάδα μελέτης δεν υπερβαίνει τα όρια της απώλειας ύδατος λόγω της εξάτμισης του ιδρώτα ακόμη και εάν έχει προηγηθεί υψηλή δραστηριότητα (3^η φάση). Επιπλέον, μεμονωμένες υπερβάσεις των ορίων διαπιστώνονται για άτομα της ομάδα μελέτης κατά τη διάρκεια υψηλής δραστηριότητας και έκθεσης στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία (2^η φάση).

Από την ανάλυση των παραπάνω αποτελεσμάτων, φαίνεται ότι τα επίπεδα τιμών του SW σε ένα ήπια θερμό περιβάλλον κυμαίνονται χαμηλότερα σε σύγκριση με τα αντίστοιχα επίπεδα τιμών τα οποία διαμορφώνονται σε ένα μέτρια έως πολύ θερμό περιβάλλον και τα οποία παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο Κεφάλαιο 5 (Πίνακας 5.4). Ωστόσο, οι μεγαλύτερες αποκλίσεις διαπιστώνονται κατά τη διάρκεια της 2^{ης} φάσης όπου η ομάδα μελέτης διαμορφώνει υψηλά επίπεδα δραστηριότητας ενώ είναι εκτεθειμένη στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία.

6.7 Σύνοψη και Συμπεράσματα

Στο κεφάλαιο αυτό, έγινε αρχικά η μελέτη των πεδίων των θερμοφυσιολογικών παραμέτρων σε ένα ήπια θερμό περιβάλλον για μια επιλεγμένη ομάδα μελέτης. Επιπρόσθετα, μελετήθηκαν οι ροές από και προς το ανθρώπινο σώμα καθώς και τα επίπεδα θερμικής επιβάρυνσης. Τα παραπάνω διερευνήθηκαν για μια σειρά πειραματικών φάσεων, αρχικά υπό σκιά με χαμηλά επίπεδα δραστηριότητας, στη συνέχεια με έκθεση στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία και υψηλά επίπεδα δραστηριότητας και τέλος υπό σκιά με χαμηλή δραστηριότητα.

Από την μελέτη των θερμοφυσιολογικών και φυσιολογικών παραμέτρων οι οποίες προσδιορίζουν τη θερμική κατάσταση του ανθρώπινου σώματος πρόέκυψαν τα εξής σε ένα ήπια θερμό περιβάλλον:

- Κατά τη διάρκεια προσαρμογής στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον υπό σκιά (1^η φάση), η T_{arm} (T_{sk}) ακολουθεί γενικά αυξητική πορεία, με την μεταβολή να κυμαίνεται κυρίως από 0.5 °C έως 1.5 °C ενώ σε κάποιες περιπτώσεις έφτασε έως και τους 2.0 °C.

- Κατά τη διάρκεια υψηλής δραστηριότητας και έκθεσης στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία (2^η φάση) παρατηρείται συνολικά περαιτέρω αύξηση της T_{arm} (T_{sk}), με τη μεταβολή να κυμαίνεται από 0.4 °C έως 3.2 °C (0.3 °C έως 2.3 °C).
- Κατά την διάρκεια προσαρμογής μετά από δραστηριότητα υπό σκιά (3^η φάση) η T_{arm} (T_{sk}) ακολουθεί πτωτική πορεία, με την υψηλότερη βαθμίδα να παρατηρείται τα πρώτα 10 min, ενώ η μεταβολή κυμαίνεται από 0.2 °C έως 2.2 °C (0.2 °C έως 1.6 °C). Ταυτόχρονα, μετά από παραμονή 30 min στη σκιά του δένδρου, κατά την 3^η φάση, η T_{arm} (T_{sk}) προσεγγίζει την τιμή που διαμορφώθηκε κατά την ολοκλήρωση της 1^{ης} φάσης, με τη διαφορά για την T_{sk} να κυμαίνεται από -0.4 °C έως 1.4 °C και για την T_{arm} από -0.5 °C έως 2.0 °C.
- Υπό σκιά και με χαμηλά επίπεδα δραστηριότητας (1^η φάση) βρέθηκε ότι η T_{arm} και T_{sk} είναι μικρότερες κατά 2.7 °C και 2.0 °C, αντίστοιχα, σε σύγκριση με τα επίπεδα τιμών σε ένα μέτρια έως πολύ θερμό περιβάλλον.
- Με έκθεση στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία και υψηλά επίπεδα δραστηριότητας (2^η φάση) η T_{arm} και T_{sk} υπολείπονται κατά 2.2 °C και 1.6 °C, αντίστοιχα, σε σύγκριση με τα επίπεδα τιμών σε ένα μέτρια έως πολύ θερμό περιβάλλον.
- Κατά τη διάρκεια προσαρμογής μετά από δραστηριότητα υπό σκιά (3^η φάση) βρέθηκε ότι η T_{arm} (T_{sk}) είναι μικρότερη κατά 1.6 °C έως 2.5 °C (1.2 °C έως 1.9 °C) σε σύγκριση με τα αντίστοιχα επίπεδα τιμών σε ένα μέτρια έως πολύ θερμό περιβάλλον.
- Στατιστικά σημαντική υψηλή θετική συσχέτιση βρέθηκε μεταξύ της θερμοκρασίας του αέρα με την T_{sk} , με μεγαλύτερη διασπορά τιμών κατά τη διάρκεια της 2^{ης} και 3^{ης} φάσης. Ταυτόχρονα, η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα κατά 10 °C οδηγεί σε αύξηση τη μέση τιμή της T_{sk} κατά 2.8 °C, 2.5 °C, 2.6 °C κατά τη διάρκεια της 1^{ης}, 2^{ης} και 3^{ης} φάσης, αντίστοιχα.
- Θετική στατιστικά σημαντική συσχέτιση βρέθηκε μεταξύ της T_{sk} και της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας. Αντιθέτως, αρνητική στατιστικά σημαντική συσχέτιση εντοπίστηκε μεταξύ της T_{sk} και της σχετικής υγρασίας. Μια στατιστικά σημαντική, αλλά όχι ισχυρή αρνητική συσχέτιση βρέθηκε κατά τη διάρκεια της 3^{ης} φάσης μεταξύ της T_{sk} και της ταχύτητας του ανέμου, ενώ βρέθηκαν ασυσχέτιστοι κατά τη διάρκεια των άλλων δυο φάσεων.
- Η ροή θερμότητας (HF) υποδεικνύει απώλεια θερμότητας σε ένα ήπια θερμό περιβάλλον ενώ στατιστικά σημαντική υψηλή θετική συσχέτιση βρέθηκε με τη

θερμοκρασία του αέρα και τη μέση θερμοκρασία δέρματος, σε κάθε πειραματική φάση για το σύνολο της πειραματικής περιόδου.

- Η γαλβανική αντίδραση του δέρματος (*GSR*) σε ένα ήπια θερμό περιβάλλον κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα τιμών κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης, ακολουθεί βαθμιαία αυξητική πορεία κατά μήκος της διαδρομής (2^η φάση) με το απολύτως μέγιστο να διαφοροποιείται μεταξύ των ατόμων και σταδιακή πτωτική πορεία κατά τη διάρκεια της 3^{ης} φάσης.
- Η πορεία της *GSR* κατά μήκος της διαδρομής (2^η φάση) και της 3^{ης} φάσης της πειραματικής διαδικασίας είναι παρόμοια συγκριτικά με τη πορεία σε ένα μέτρια έως πολύ θερμό περιβάλλον. Αντιθέτως, κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης η *GSR* φαίνεται να εμφανίζει υψηλότερα επίπεδα τιμών με μεγαλύτερη διακύμανση σε υψηλότερες θερμοκρασίες αέρα.
- Η *GSR* σχετίζεται, σε διαφορετικό βαθμό, με διάφορες μετεωρολογικές και θερμοφυσιολογικές παραμέτρους όταν η δραστηριότητα διαμορφώνεται σε χαμηλά επίπεδα τιμών υπό σκιά (1^η φάση), ενώ η σχέση αυτή εξασθενεί κατά τη διάρκεια υψηλής δραστηριότητας με έκθεση στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία (2^η φάση) καθώς και μετά την δραστηριότητα υπό σκιά (3^η φάση).

Από την μελέτη των ροών μεταξύ του ανθρώπινου σώματος και του περιβάλλοντος βρέθηκε ότι:

- Η ομάδα μελέτης υφίσταται απώλεια θερμότητας μέσω της τυρβώδους ανταλλαγής αισθητής θερμότητας (*C*) σε ένα ήπια θερμό περιβάλλον τόσο κατά τη παραμονή υπό σκιά (1^η & 3^η φάση) όσο και κατά τη διάρκεια της διαδρομής (2^η φάση).
- Η υψηλότερη απώλεια μέσω της *C* παρατηρείται κατά μήκος της διαδρομής (2^η φάση), αποτέλεσμα το οποίο οφείλεται στην υψηλότερη μέση θερμοκρασία δέρματος, ενώ η ομάδα μελέτης υφίσταται ακόμη μεγαλύτερη απώλεια θερμότητας τις χρονικές στιγμές όπου η ταχύτητα του ανέμου είναι μεγαλύτερη.
- Οι διακυμάνσεις της παραγωγής θερμότητας από το μεταβολισμό στη κλίμακα του λεπτού οδηγούν σε αντίστοιχες μεταβολές την απώλεια θερμότητας μέσω αναπνοής (*R_{es}*). Η επίδραση της παραγωγής θερμότητας από το μεταβολισμό είναι καθοριστική και υπερκαλύπτει τυχόν μεταβολές λόγω της θερμοκρασίας του αέρα, της σχετικής υγρασίας και της ατμοσφαιρικής πίεσης.

- Κατά τη διάρκεια της διαδρομής η ομάδα μελέτης υφίσταται σχεδόν τετραπλάσια απώλεια θερμότητας μέσω αναπνοής (R_{es}) από ότι κατά τη διάρκεια των φάσεων ανάπαυσης υπό σκιά.
- Η υψηλή παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό (M) καθώς και η υψηλή μέση θερμοκρασία δέρματος (T_{sk}) κατά μήκος της διαδρομής οδηγεί την ομάδα μελέτης σε υψηλότερη απώλεια θερμότητας μέσω της τυρβώδους ανταλλαγής λανθάνουσας θερμότητας (E) σε σύγκριση με τις φάσεις ανάπαυσης υπό σκιά, ενώ ακόμη μεγαλύτερη απώλεια παρατηρείται τις χρονικές στιγμές όπου η ταχύτητα του ανέμου είναι μεγαλύτερη σε ένα ήπια θερμό περιβάλλον.
- Η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα συνοδεύεται από μεγαλύτερη απώλεια θερμότητας μέσω της E , λόγω των υψηλότερων τιμών της μέσης θερμοκρασίας δέρματος (T_{sk}).
- Σε ένα πολύ θερμό ατμοσφαιρικό περιβάλλον ($37.5\text{ }^{\circ}\text{C}$) η μέση απώλεια θερμότητας μέσω της τυρβώδους ανταλλαγής λανθάνουσας θερμότητας (E) κυμαίνεται σε τετραπλάσια επίπεδα τιμών από εκείνα σε ένα ήπια θερμό περιβάλλον ($28.4\text{ }^{\circ}\text{C}$), αντίστοιχα για κάθε φάση.
- Η μέση απώλεια μέσω της τυρβώδους ανταλλαγής λανθάνουσας θερμότητας (E) κατά μήκος της διαδρομής σε ένα ήπια θερμό περιβάλλον ($28.4\text{ }^{\circ}\text{C}$) κυμαίνεται σε αντίστοιχα επίπεδα τιμών με εκείνα κατά την παραμονή της ομάδας μελέτης υπό σκιά σε ένα πολύ θερμό περιβάλλον ($37.5\text{ }^{\circ}\text{C}$).
- Η καθαρή αποθηκευόμενη θερμότητα (S), ως βασικός δείκτης της εμμονής και της έντασης των μεταβολών στο θερμικό φορτίο του ανθρώπου, υποδεικνύει εναλλαγή πλεονάσματος και απώλειας θερμότητας κατά την παραμονή της ομάδας μελέτης υπό σκιά (1^η φάση) σε ένα ήπια θερμό περιβάλλον. Κατά μήκος της διαδρομής (2^η φάση) παρατηρείται κυρίως πλεόνασμα θερμότητας μέσω της S ενώ αντιθέτως μετά από δραστηριότητα υπό σκιά (3^η φάση) η ομάδα μελέτης υφίσταται απώλεια θερμότητας.

Από τη μελέτη των δεικτών Θερμικού Φορτίου (Heat Load index, HL) και Απώλειας Ύδατος (Water Loss index, SW) προέκυψαν τα ακόλουθα:

- Η πτώση της θερμοκρασίας του αέρα σε ένα ήπια θερμό περιβάλλον, ταξινομεί τη θερμική επιβάρυνση κυρίως μεταξύ άνεσης και ήπιας θερμής επιβάρυνσης κατά την παραμονή της ομάδας μελέτης υπό σκιά (1^η φάση).

- Κατά τη διάρκεια υψηλής δραστηριότητας με έκθεση στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία (2^η φάση) η θερμική επιβάρυνση ταξινομείται εξ' ολοκλήρου στην έντονη θερμή επιβάρυνση σε ένα ήπια θερμό περιβάλλον.
- Κατά τη παραμονή υπό σκιά μετά από δραστηριότητα (3^η φάση) παρατηρείται αύξηση της συχνότητας κατανομής της έντονης και μεγάλης θερμής επιβάρυνσης με αντίστοιχη μείωση της άνεσης και της ήπιας θερμής επιβάρυνσης σε σύγκριση με τη συχνότητα κατανομής πριν την έναρξη της δραστηριότητας (1^η φάση).
- Σε ένα ήπια θερμό περιβάλλον ο δείκτης *HL* κυμαίνεται σε χαμηλότερα επίπεδα τιμών τόσο κατά τη διάρκεια παραμονής της ομάδα μελέτης υπό σκιά (1^η & 3^η φάση) όσο και κατά τη διάρκεια υψηλής δραστηριότητας με έκθεση στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία (2^η φάση) σε σύγκριση με τα επίπεδα τιμών σε ένα μέτρια έως πολύ θερμό περιβάλλον.
- Η θερμική επιβάρυνση κατά μήκος της διαδρομής (2^η φάση) σε ένα ήπια θερμό περιβάλλον ταξινομείται εξολοκλήρου στην έντονη θερμή επιβάρυνση, παρόλα αυτά η ομάδα μελέτης υφίσταται μικρότερης έντασης διαδικασίες προσαρμογής σε σύγκριση με αυτές σε ένα μέτρια έως πολύ θερμό περιβάλλον.
- Η θερμική επιβάρυνση σε ένα ήπια θερμό περιβάλλον (28.4 °C) με υψηλό επίπεδο δραστηριότητας και έκθεση στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία κυμαίνεται σε αντίστοιχα επίπεδα επιβάρυνσης με εκείνα σε ένα πολύ θερμό περιβάλλον (37.5 °C) υπό σκιά με χαμηλά επίπεδα δραστηριότητας.
- Σε ένα ήπια θερμό περιβάλλον υπό σκιά και με χαμηλά επίπεδα δραστηριότητας (1^η φάση) η ομάδα μελέτης δεν υπερβαίνει τα όρια της απώλειας ύδατος (*SW*) λόγω της εξάτμισης του ιδρώτα ακόμη και εάν έχει προηγηθεί υψηλή δραστηριότητα (3^η φάση).
- Μεμονωμένες υπερβάσεις των ορίων του δείκτη *SW* διαπιστώνονται για άτομα της ομάδα μελέτης κατά τη διάρκεια υψηλής δραστηριότητας με έκθεση στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία (2^η φάση) σε ένα ήπια θερμό περιβάλλον.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ ΣΕ ΌΡΟΥΣ ΤΟΥ ΘΕΡΜΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ

7.1 Εισαγωγή

Η δυνητικά επιβλαβής επίδραση της αέριας ρύπανσης στον ανθρώπινο οργανισμό βασίζεται στα αποτελέσματα επιδημιολογικών και κλινικών μελετών σε παγκόσμιο επίπεδο. Η έκθεση σε αέριους ρυπαντές έχει συσχετιστεί με αύξηση των εισαγωγών στα νοσοκομεία και τη θνησιμότητα μιας και το κυριότερο σύστημα του ανθρώπινου οργανισμού που προσβάλλεται είναι το αναπνευστικό και το καρδιαγγειακό (Brunekreef and Holgate 2002). Οι επιδράσεις αυτές έχουν εντοπιστεί μέσα από μελέτες μικρής διάρκειας (short-term studies) οι οποίες συσχετίζουν τις ανά ημέρα διακυμάνσεις της αέριας ρύπανσης με την υγεία (Katsouyanni et al. 1995; Samet et al. 2000; Katsouyanni et al. 2001) και μελέτες μακράς διάρκειας (long-term studies) οι οποίες παρακολουθούν την έκθεση κοινωνικών ομάδων με το χρόνο (McDonnell et al. 1999; Peters et al. 1999; Gryparis et al. 2004).

Μικρότερης κλίμακας κλινικές μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί σε ομάδες εθελοντών με ελεγχόμενη έκθεση σε έναν ρυπαντή για την καταγραφή των άμεσων αντιδράσεων του οργανισμού. Τέτοιου τύπου κλινικές μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί για ρυπαντές όπως το όζον (Gong et al. 1998), τα αιωρούμενα σωματίδια (Salvi et al. 1999; Nightingale et al. 2000; Petrovic et al. 2000; Gong et al. 2003) καθώς και με συνδυασμό των δυο ρύπων (Brook et al. 2002; Urrutia et al. 2005).

Ένας από τους βασικότερους ατμοσφαιρικούς ρύπους και κύριο συστατικό του φωτοχημικού νέφους είναι το όζον (O_3). Το όζον είναι μια αλλοτροπική μορφή του οξυγόνου και σχηματίζεται στην κατώτερη ατμόσφαιρα ως αποτέλεσμα αλυσίδας χημικών αντιδράσεων μεταξύ του οξυγόνου, πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs) και οξειδίων του αζώτου (NO_x) υπό συνθήκες έντονης ηλιακής ακτινοβολίας και υψηλών θερμοκρασιών (WHO 2006). Είναι αέριο άχρωμο, ασταθές, ισχυρά τοξικό και οξειδωτικό με χαρακτηριστική οσμή. Σύμφωνα με το Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (World Health Organization, WHO) η έκθεση σε περιβάλλον όζοντος προκαλεί ερεθισμό στην αναπνευστική οδό, τη μύτη και τον φάρυγγα, διαταραχή της αναπνευστικής λειτουργίας και μείωση της χωρητικότητας των πνευμόνων, αίσθημα ξηρότητας στο λαιμό, πόνο στο στήθος, επιδείνωση του άσθματος, συριγμό και βήχα.

Ταυτόχρονα αυξάνεται η ευπάθεια σε αναπνευστικές ασθένειες όπως η πνευμονία και η βρογχίτιδα καθώς και οι εισαγωγές στα νοσοκομεία για πνευμονικές παθήσεις (WHO 2000, 2006).

Η εκτίμηση της ποιότητας του αέρα και η δυνητική επίδραση στον ανθρώπινο οργανισμό πραγματοποιείται με τη βοήθεια δεικτών ποιότητας αέρα (AQI, Air Quality Index). Τέτοιου τύπου δείκτες μετατρέπουν τις συγκεντρώσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων σε αριθμητικές τιμές και αυτές με τη σειρά τους αντιστοιχίζονται σε κατηγορίες ποιότητας της ατμόσφαιρας και επιπτώσεων στην υγεία (Kassomenos et al. 1999; Kyrkilis et al. 2007). Ωστόσο, η επίδραση του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης ως “διαδραστική” (WHO 1996; Patz and Balbus 2001), έχει οδηγήσει και σε μια συνδυασμένη προσέγγιση της επίδρασης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και του καιρού στην ανθρώπινη υγεία (Paliatsos and Nastos 1999; Smoyer et al. 2000; Grass and Cane 2008, Theoharatos et al. 2010).

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης διατριβής, η επίδραση του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στον ανθρώπινο οργανισμό, με έμφαση στη θερμική άνεση, οδήγησε στη διερεύνηση της πιθανής επίδρασης ενός επικίνδυνου για την υγεία ρυπαντή, όπως είναι το όζον (O_3), σε όρους του θερμικού ισοζυγίου του ανθρώπου και κατά συνέπεια στον υπολογισμό βιομετεωρολογικών δεικτών, μέσω των μεταβολών που παρατηρούνται άμεσα σε παραμέτρους της φυσιολογίας.

Σε συνεργασία με το Καθηγητή Henry Gong και την ομάδα του από το Τμήμα Ιατρικής του Rancho Los Amigos Medical Center στο Downey της California παραχωρήθηκαν πρωτογενή δεδομένα φυσιολογίας τα οποία προήλθαν από μια σειρά ελεγχόμενων πειραμάτων σε ανθρώπους κατά την έκθεση τους σε όζον (O_3). Τα πειραματικά δεδομένα αποτελούν τα αποτελέσματα της πρώτης κλινικής μελέτης άμεσων αντιδράσεων του οργανισμού κατά την έκθεση σε έναν ρυπαντή (Gong et al. 1998).

7.2 Πειραματική διαδικασία

7.2.1 Επιλογή ατόμων

Τα άτομα που συμμετείχαν ήταν εθελοντές οι οποίοι έλαβαν αμοιβή για τη συμμετοχή τους. Η πειραματική διαδικασία πραγματοποιήθηκε σε 6 υγιή και 10 υπερτασικά άτομα, εκ των οποίων όλοι ήταν άνδρες άνω των 40 ετών και μη

καπνιστές για τουλάχιστον 2 χρόνια (Πίνακας 7.1). Η ομάδα των υπερτασικών ατόμων είχε διαγνωσμένη σταθερή ιδιοπαθή υπέρταση, βάσει της οποίας είτε ακολουθούσαν φαρμακευτική αγωγή για τουλάχιστον 1 χρόνο είτε δεν ελάμβαναν καμία φαρμακευτική αγωγή. Σε κανένα από τα υπερτασικά άτομα δεν είχαν διαγνωστεί καρδιοπνευμονικά συμπτώματα, επιταχυνόμενη ή ανεξέλεγκτη υπέρταση, αριστερή κοιλιακή υπερτροφία, υπεραιμική καρδιακή ανεπάρκεια, έμφραγμα του μυοκαρδίου, καρδιακή δυσρυθμία, αναπνευστικό νόσημα και άσθμα. Τα υπερτασικά άτομα έτειναν να είναι μεγαλύτερα σε ηλικία, ψηλότερα και βαρύτερα σε αντίθεση με την υγιή ομάδα (Πίνακας 7.1) (Gong et al. 1998).

ΠΙΝΑΚΑΣ 7.1. Ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά των ατόμων.

Κωδικός δείγματος	Ηλικία (yr)	Βάρος (kg)	Ύψος (cm)	Φαρμακευτική αγωγή
Υγιείς				
683	44	80	167	Όχι
1082	40	77	168	Όχι
2270	46	93	173	Όχι
2276	41	76	183	Όχι
2277	42	88	176	Όχι
2278	49	77	171	Όχι
Μέση τιμή	44	82	173	
Τυπική απόκλιση	3	7	6	
Υπερτασικοί				
2261	47	88	175	Ναι
2263	78	77	165	Ναι
2271	47	86	189	Ναι
2272	61	72	169	Όχι
2275	51	129	184	Ναι
2284	42	81	167	Ναι
2313	52	119	181	Ναι
2314	48	83	187	Ναι
2315	53	95	166	Ναι
2316	51	113	178	Ναι
Μέση τιμή	53	94	176	
Τυπική απόκλιση	10	19	9	

Από τις δυο ομάδες εθελοντών είχε ζητηθεί να περιορίσουν τουλάχιστον για 7 ημέρες πριν και κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας τη κατανάλωση καφεΐνης και αλκοόλ, καθώς και τη λήψη αντιυπερτασικών και μη στεροειδών αντιφλεγμονωδών φαρμάκων και συμπληρωμάτων διατροφής. Επιπλέον ζητήθηκε να αποφύγουν περιβάλλοντες αναπνευστικές ερεθιστικές ουσίες πριν από τη πειραματική διαδικασία (Gong et al. 1998).

7.2.2 Περιγραφή πειραματικής διαδικασίας

Τα άτομα μελετήθηκαν ανά ένα για κάθε πειραματική ημέρα στα πλαίσια μιας κυκλικής πειραματικής διαδικασίας. Κάθε άτομο εισήχθη στο νοσοκομείο την 1^η πειραματική ημέρα, όπου υποβλήθηκε σε μια σειρά εξετάσεων και μετρήσεων φυσιολογίας στην ανάπαυση, σε κατάλληλα διαμορφωμένο χώρο δίπλα από το πειραματικό θάλαμο. Στη συνέχεια οδηγήθηκε στο πειραματικό θάλαμο, όπου υποβλήθηκε σε τρίωρη έκθεση σε φιλτραρισμένο αέρα (FA). Πριν την είσοδο του ατόμου στο θάλαμο παράχθηκαν παροδικά 0.05 ppm O₃, ώστε να προκληθεί η χαρακτηριστική οσμή. Με τη διαδικασία αυτή η κατανομή της έκθεσης είναι άγνωστη στο άτομο ώστε να μη διαφοροποιείται συνειδητά ή υποσυνείδητα η συμπεριφορά του (single-blind). Καθ' όλη τη διάρκεια της έκθεσης οι μεταβολές των δεδομένων της φυσιολογίας καταγράφονταν ανά 15 λεπτά στη διάρκεια δυο φάσεων, ανάπαυσης και άσκησης σε εργομετρικό ποδήλατο. Τη 2^η πειραματική ημέρα το άτομο υποβλήθηκε στην ίδια έκθεση και ακολουθία μετρήσεων με τη 1^η πειραματική ημέρα εκτός από τη προσθήκη 0.3 ppm O₃ στο πειραματικό θάλαμο.

7.2.3 Πειραματικές συνθήκες

Κατά τη διάρκεια της 3ωρης έκθεσης σε O₃ η μέση συγκέντρωση κυμάνθηκε από 0.294 έως 0.312 ppm. Η τυπική απόκλιση των επιπέδων O₃ δεν υπερέβη τα 0.027 ppm. Κατά τη διάρκεια έκθεσης σε φιλτραρισμένο αέρα τα επίπεδα O₃ δεν υπερέβησαν τα 0.02 ppm. Επιπλέον, η συνολική συγκέντρωση NO_x δεν υπερέβη τα 0.02 ppm. Καθ' όλη τη διάρκεια της 3ωρης έκθεσης η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία στο πειραματικό θάλαμο ρυθμίστηκαν στους 22 °C και 50 %, αντίστοιχα.

Η σταθμοί αέριας ρύπανσης κοντά στο νοσοκομείο κατέγραφαν μέγιστη ωριαία μέση συγκέντρωση 0.08 ppm τις ημέρες πριν και κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας για 13 από τα 16 άτομα. Για τα τρία δυνητικά πιο εκτεθειμένα άτομα η μέγιστη ωριαία μέση συγκέντρωση έκθεσης ήταν 0.11 έως 0.13 ppm (Gong et al. 1998).

7.3 Πειραματικά δεδομένα

Τα πρωτογενή πειραματικά δεδομένα φυσιολογίας που παραχωρήθηκαν αφορούσαν τη θερμοκρασία του πυρήνα, τους παλμούς της καρδιάς και τον όγκο του

αέρα που εισπνέεται για κάθε ακολουθία μετρήσεων καθώς και τα ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά των ατόμων.

Η θερμοκρασία του πυρήνα μετρήθηκε από ενσωματωμένη θερμική αντίσταση (thermistor) σε καθετήρα της πνευμονικής αρτηρίας. Στα πλαίσια ελέγχου της αναπνευστικής λειτουργίας, ο όγκος του αέρα που εισπνέεται μετρήθηκε κατά τη διάρκεια σπειρομέτρησης μέσω επιστόμιας βαλβίδας. Τέλος, οι παλμοί της καρδιάς μετρήθηκαν με ηλεκτροκαρδιογράφημα σε κατακόρυφη στάση (Gong et al. 1998).

7.4 Μεθοδολογία

Για την ανίχνευση πιθανής επίδρασης του όξοντος στο θερμικό ισοζύγιο του ανθρώπου διερευνήθηκαν η παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό, καθώς και οι αναπνευστικές ροές θερμότητας, οι οποίες περιγράφονται ως ξηρή και λανθάνουσα απώλεια θερμότητας από την αναπνοή, μέσω των μεταβολών που παρατηρούνται άμεσα σε παραμέτρους της φυσιολογίας, κατά την έκθεση σε φιλτραρισμένο αέρα και όζον.

Το ανθρώπινο σώμα με την διαδικασία της οξείδωσης των συστατικών των τροφών παράγει ενέργεια η οποία ορίζεται ως ρυθμός μεταβολισμού. Ανάλογα με το είδος της δραστηριότητας, το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας μετατρέπεται σε θερμότητα ενώ το υπόλοιπο μετατρέπεται σε εξωτερικό μηχανικό έργο. Η παραγωγή θερμότητας από τον μεταβολισμό (M^* , σε W) υπολογίστηκε βάσει των παλμών της καρδιάς μέσω της εξίσωσης (ISO 8996 1989)

$$HR = HR_o + RM \cdot (M^* - BM) \quad (7.1)$$

όπου HR είναι οι παλμοί της καρδιάς (σε bpm), HR_o είναι οι παλμοί της καρδιάς στην ανάπαυση (σε bpm), BM είναι ο βασικός ρυθμός μεταβολισμού (σε W), RM είναι η αύξηση των παλμών ανά μονάδα ρυθμού μεταβολισμού (σε bpm). Ο βασικός ρυθμός μεταβολισμού (BM^* , σε kcal day⁻¹) υπολογίστηκε μέσω της εξίσωσης των Harris και Benedict (1919)

για άνδρες

$$BM^* = 13.7516 \cdot \frac{m}{1kg} + 5.0033 \cdot \frac{h}{1cm} - 6.7550 \cdot \frac{a}{1year} + 66.4730 \quad (7.2)$$

για γυναίκες

$$BM^* = 9.5634 \cdot \frac{m}{1kg} + 1.8496 \cdot \frac{h}{1cm} - 4.6756 \cdot \frac{a}{1year} + 655.0955 \quad (7.3)$$

όπου m είναι το βάρος (σε kg), h είναι το ύψος (σε cm) και a είναι η ηλικία (σε year). Η διαφορά του βασικού ρυθμού μεταβολισμού μεταξύ ανδρών και γυναικών οφείλεται κυρίως στο σωματικό βάρος.

Οι ροές θερμότητας που σχετίζονται με την αναπνοή μεταφέρουν θερμότητα από την επιφάνεια της αναπνευστικής οδού (βλεννογόνοι υμένες) στον εισπνεόμενο αέρα, ο οποίος εκπνέεται σε υψηλότερες θερμοκρασίες εμπλουτισμένος με υδρατμούς σε σύγκριση με τον εισπνεόμενο αέρα.

Ο εισπνεόμενος αέρας από την στιγμή που φτάνει στο κατώτερο αναπνευστικό σύστημα θερμαίνεται στην εσωτερική θερμοκρασία του σώματος (θερμοκρασία πυρήνα) (Höppe 1993). Κατά τη διάρκεια της εκπνοής ένα μέρος της θερμότητας ανακτάται κατά την ψύξη στο ανώτερο αναπνευστικό σύστημα. Ως εκ τούτου η θερμοκρασία του εκπνεόμενου αέρα εξαρτάται από την θερμοκρασία του εισπνεόμενου αέρα (Höppe 1981). Η αντίστοιχη απώλεια θερμότητας περιγράφεται ως ξηρή απώλεια θερμότητας από την αναπνοή (E_{res}^* , σε W) λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ του εισπνεόμενου και εκπνεόμενου αέρα και υπολογίστηκε μέσω της εξίσωσης (Höppe 1984; Höppe 1993)

$$E_{res}^* = RTM \cdot c_p \cdot (T_a - T_{ex}) \quad (7.4)$$

όπου RTM είναι η μάζα του αέρα που εισπνέεται το δευτερόλεπτο (σε kg s⁻¹), c_p είναι η ειδική θερμότητα του αέρα (kcal kg⁻¹ °C⁻¹), T_a είναι η θερμοκρασία του αέρα (σε °C) και T_{ex} είναι η θερμοκρασία του εκπνεόμενου αέρα (σε °C). Η θερμοκρασία του εκπνεόμενου αέρα υπολογίστηκε μέσω της εξίσωσης

$$T_{ex} = 0.47 \cdot T_a + 21 \quad (7.5)$$

όπου T_a είναι η θερμοκρασία του αέρα (σε °C) και T_{ex} είναι η θερμοκρασία του εκπνεόμενου αέρα (σε °C).

Ο εισπνεόμενος αέρας φτάνοντας στους πνεύμονες καθίσταται κορεσμένος μέσω των υδρατμών. Η απαραίτητη ύγρανση του αέρα για να φτάσει σε αυτή την κατάσταση συνδυάζεται με αντίστοιχη απώλεια θερμότητας η οποία πραγματοποιείται στους βλεννογόνους υμένες του ανώτερου αναπνευστικού συστήματος. Κατά τη διάρκεια της εκπνοής ο αέρας ψύχεται ανακτώντας ένα μέρος των υδρατμών και της θερμότητας με αποτέλεσμα τη χρονική στιγμή που φεύγει από το σώμα να περιέχει περισσότερους υδρατμούς συγκρινόμενος με τον εισπνεόμενο

αέρα. Η αντίστοιχη απώλεια θερμότητας περιγράφεται ως λανθάνουσα απώλεια θερμότητας από την ύγρανση του εισπνεόμενου αέρα (E_{rel}^* , σε W) και υπολογίστηκε μέσω της εξίσωσης (Höppe 1984; Höppe 1993)

$$E_{rel}^* = RTM \cdot r \cdot (VP_a - SVP_{Tex}) \cdot P^{-1} \quad (7.6)$$

όπου RTM είναι η μάζα του αέρα που εισπνέεται το δευτερόλεπτο (σε kg s^{-1}), r είναι η θερμότητα εξάτμισης του νερού (kJ kg^{-1}), VP_a είναι η τάση ατμών στη θερμοκρασία του αέρα (σε mb), SVP_{Tex} είναι η κορεσμένη τάση ατμών στη θερμοκρασία εκπνοής (σε mb) και P είναι η ατμοσφαιρική πίεση (σε mb). Η κορεσμένη τάση ατμών στη θερμοκρασία εκπνοής υπολογίστηκε μέσω της εμπειρικής εξίσωσης του Bolton (1980), για εύροι θερμοκρασιών από $-30^\circ\text{C} \leq T \leq 35^\circ\text{C}$

$$SVP_{Tex} = 6.112 \exp\left(\frac{17.67 \cdot T_{ex}}{T_{ex} + 243.5}\right) \quad (7.7)$$

όπου T_{ex} είναι η θερμοκρασία του εκπνεόμενου αέρα (σε $^\circ\text{C}$) και SVP_{Tex} είναι η κορεσμένη τάση ατμών στη θερμοκρασία εκπνοής (σε mb). Η τάση ατμών στη θερμοκρασία του αέρα υπολογίστηκε ως συνάρτηση της σχετικής υγρασίας και της κορεσμένης τάσης ατμών στη θερμοκρασία του αέρα μέσω της εξίσωσης (Rogers and Yau 1989)

$$f = \frac{w}{w_s(p, T)} \approx \frac{e}{e_s} \quad (7.8)$$

όπου f είναι η σχετική υγρασία (σε %), w η αναλογία μίγματος και w_s η αναλογία μίγματος στον κορεσμό στην ίδια θερμοκρασία και πίεση.

Πρέπει να σημειωθεί, επίσης, ότι η παράγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό και η ξηρή και λανθάνουσα απώλεια θερμότητας από την αναπνοή περιγράφουν την ενέργεια ανά μονάδα χρόνο και ως εκ τούτου εκφράζονται με μονάδες ισχύος (W). Με σκοπό να ελαχιστοποιήσουμε την ατομική μεταβλητότητα για τα άτομα που μελετήθηκαν εκφράσαμε την παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό και τις απώλειες θερμότητας από την αναπνοή ως ενέργεια ανά μονάδα χρόνου και ανά μονάδα επιφάνειας του σώματος (W m^{-2}). Συγκεκριμένα, η επιφάνεια του σώματος ή μάζα σώματος (BSA , σε m^2) υπολογίστηκε μέσω της εξίσωσης των DuBois and DuBois (1916), ως συνάρτηση των ανθρωπομετρικών χαρακτηριστικών

$$BSA = 0.20247 \cdot h^{0.725} \cdot m^{0.425} \quad (7.9)$$

όπου h είναι το ύψος (σε cm) και m είναι το σωματικό βάρος (σε kg).

Για την ανίχνευση πιθανής επίδρασης του όζοντος σε όρους του θερμικού ισοζυγίου αρχικά υπολογίστηκαν η μεταβολική ροή θερμότητας και οι αναπνευστικές ροές θερμότητας για κάθε ένα από τα άτομα των 2 υπό μελέτη ομάδων κάθε πειραματική ημέρα. Η αποτύπωση των ροών αφορούσε κάθε χρονικό βήμα της 3ωρης έκθεσης τόσο στην ανάπαυση όσο και στην άσκηση. Επίσης, για κάθε ομάδα συνολικά υπολογίστηκαν η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση για κάθε πειραματική ημέρα τόσο στην ανάπαυση όσο και στην άσκηση.

Για την αποτύπωση των διαφορών που παρουσιάζονται μεταξύ της έκθεσης σε φιλτραρισμένο αέρα και σε όζον υπολογίστηκαν οι αντίστοιχες ποσοστιαίες μεταβολές των ροών, οι οποίες ορίζονται ως η επί τις εκατό διάφορα της μέσης ροής σε όζον και σε φιλτραρισμένο αέρα προς την μέση τιμή σε φιλτραρισμένο αέρα σε κάθε χρονικό βήμα της 3ωρης έκθεσης για κάθε πειραματική ημέρα.

Η στατιστική σημαντικότητα των διαφορών εξετάστηκε στη στάθμη σημαντικότητας 0.05 με την εφαρμογή του παραμετρικού t-ελέγχου Student για τον έλεγχο των διαφορών των μέσων τιμών δυο μη ανεξάρτητων δειγμάτων (ή έλεγχος κατά ζεύγη) (Kennedy and Neville 1986; Snedecor and Cochran 1989). Ο ισχυρότατος αυτός έλεγχος λαμβάνει υπόψη του τη μεταβλητότητα των διαφορών ανά ζεύγη του δείγματος (Λιώκη-Λειβαδά και Ασημακόπουλος 2007).

Για τη σύγκριση δυο δειγμάτων, ίσου μεγέθους N , θεωρείται το σύνολο των διαφορών $(x_{1,k} - x_{2,k})$, όπου $x_{1,k}$ και $x_{2,k}$ ορίζονται τα ζεύγη των δυο δειγμάτων ($k = 1, 2, \dots, N$). Ο έλεγχος ορίζεται για τις διαφορές $\mu_{1,k} - \mu_{2,k}$ του πληθυσμού των διαφορών με μέση τιμή μ_d (ή αντίστοιχα των διαφορών $x_{1,k} - x_{2,k}$). Ως εκ τούτου ορίζεται η μηδενική υπόθεση $H_0: \mu_d = 0$ έναντι της εναλλακτικής υπόθεσης $H_1: \mu_d \neq 0$. Η τυποποιημένη τιμή ορίζεται ως

$$t = \frac{(d - \mu_d)}{s_d} = \frac{d}{s_d} \quad (7.10)$$

όπου,

$$d = \sum_{k=1}^N \left(\frac{d_k}{N} \right) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{k=1}^N (x_{1,k} - x_{2,k}) \quad (7.11)$$

και

$$s_d = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^N (d_k - d)^2}{N \cdot (N-1)}} \quad (7.12)$$

όπου οι βαθμοί ελευθερίας είναι $\nu = N - 1$. Η μηδενική υπόθεση γίνεται αποδεκτή αν $t < t_{(a/2, \nu)}$. Τα όρια ως εκ τούτου μέσα στα οποία θα βρίσκεται η τιμή μ_d για να θεωρηθεί ίση με το μηδέν θα είναι

$$d - t_{(a/2, \nu)} \cdot s_d < \mu_d < d + t_{(a/2, \nu)} \cdot s_d \quad (7.13)$$

7.5 Επίδραση όζοντος στην παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό

Στο Πίνακα 7.2 παρουσιάζονται η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση της παραγωγής θερμότητας από το μεταβολισμό (M , σε Wm^{-2}) κατά τη διάρκεια της ανάπαυσης και της άσκησης σε φιλτραρισμένο αέρα (FA) και όζον (O_3) ανά χρονικό βήμα για τις 2 υπό μελέτη ομάδες, από όπου προκύπτει ότι τα υγιή και υπερτασικά άτομα εμφανίζονται να μην αντιδρούν παρόμοια στην έκθεση.

Τα υγιή άτομα κατά την έκθεση σε όζον εμφανίζουν τόσο στην ανάπαυση όσο και στην άσκηση υψηλότερες τιμές ρυθμού μεταβολισμού σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές σε φιλτραρισμένο αέρα (Katavoutas et al. 2008a). Η μέση μέγιστη διαφορά κατά την ανάπαυση φτάνει τα 35.4 Wm^{-2} ύστερα από 165 min έκθεσης σε όζον, ενώ η μέση διαφορά κατά την 3ωρη έκθεση φτάνει τα 13.9 Wm^{-2} . Παράλληλα, η μέγιστη παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό σε φιλτραρισμένο αέρα εντοπίζεται ύστερα από 105 min έκθεσης με 143.5 Wm^{-2} , ενώ κατά την έκθεση σε όζον εντοπίζεται μετά από 165 min με 169.7 Wm^{-2} . Η μεταβολή του ρυθμού μεταβολισμού με το χρόνο είναι αυξητική τόσο κατά την έκθεση σε φιλτραρισμένο αέρα όσο και σε όζον στη φάση της ανάπαυσης.

Κατά τη φάση της άσκησης η παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό για τα υγιή άτομα κυμαίνεται σε υψηλότερα επίπεδα συγκρινόμενη με τις αντίστοιχες τιμές κατά τη φάση της ανάπαυσης. Συγκεκριμένα, η μέση μεταβολή κατά την 3ωρη έκθεση φτάνει τα 10.9 Wm^{-2} , ενώ ανά χρονικό βήμα κυμαίνεται από 1.6 έως 17.7 Wm^{-2} . Οι μέγιστες τιμές παραγωγής θερμότητας από το μεταβολισμό παρατηρούνται το τελευταίο ημίωρο της έκθεσης τόσο κατά την έκθεση σε φιλτραρισμένο αέρα (233.1 Wm^{-2}) όσο και σε όζον (244.3 Wm^{-2}).

Σε αντίθεση, τα υπερτασικά άτομα βρέθηκε ότι εμφανίζουν πτώση του ρυθμού μεταβολισμού με το όζον. Συγκεκριμένα, κατά τη φάση της ανάπαυσης η μέση μέγιστη διαφορά φτάνει τα -26.6 Wm^{-2} μετά από 45 min έκθεσης ενώ η μέση διαφορά κατά την 3ωρη έκθεση βρέθηκε στα -12.5 Wm^{-2} . Κατά την διάρκεια της άσκησης η παραγωγή θερμότητας από τον μεταβολισμό για την ομάδα των υπερτασικών αυξάνεται σημαντικά συγκρινόμενη με τις αντίστοιχες τιμές κατά τη διάρκεια της ανάπαυσης. Βρέθηκε ότι η πτώση της παραγωγής θερμότητας από το μεταβολισμό με το όζον κυμαίνεται σε χαμηλότερα επίπεδα σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές κατά τη φάση της ανάπαυσης. Συγκεκριμένα, η μέση μέγιστη διαφορά φτάνει τα -9.8 Wm^{-2} ενώ η μέση διαφορά κατά την 3ωρη έκθεση βρέθηκε στα -1.7 Wm^{-2} .

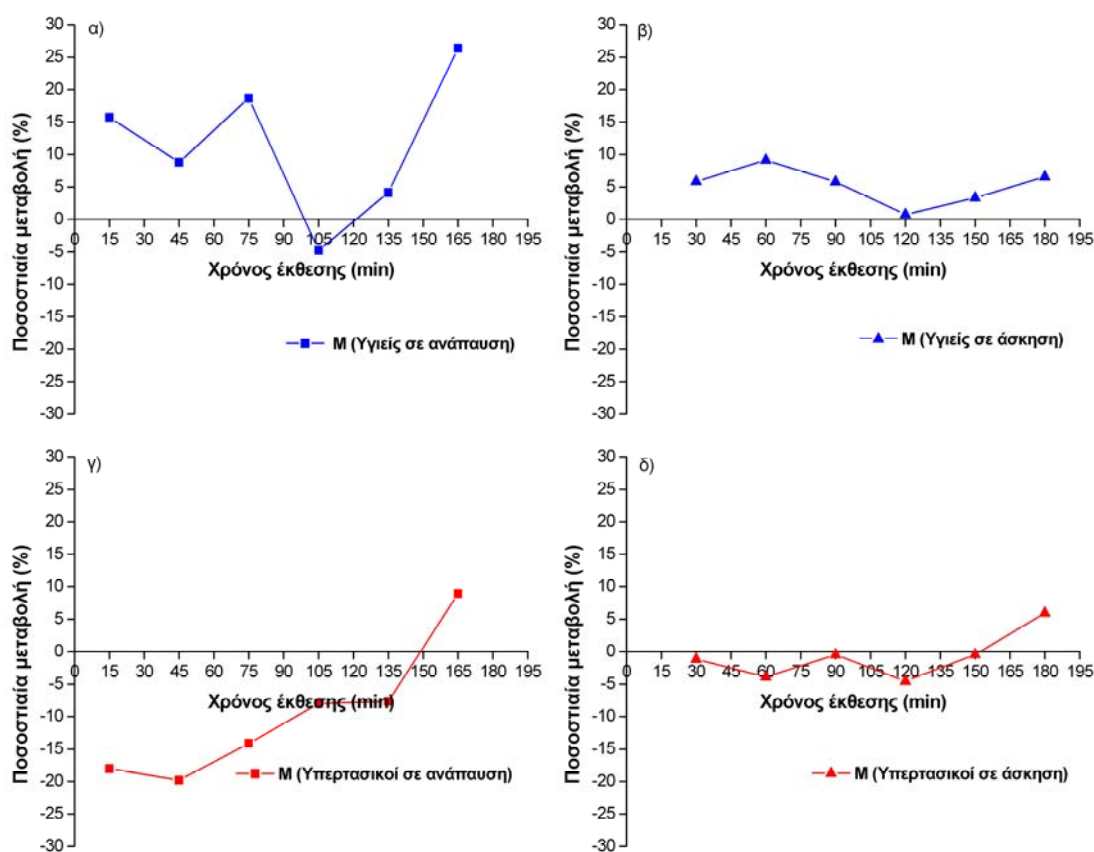
ΠΙΝΑΚΑΣ 7.2. Επίπεδα τιμών του ρυθμού μεταβολισμού σε φιλτραρισμένο αέρα (FA) και όζον (O_3).

No	$M (\text{Wm}^{-2})$ Υγιείς				$M (\text{Wm}^{-2})$ Υπερτασικοί			
	Σε ανάπαυση		Σε άσκηση		Σε ανάπαυση		Σε άσκηση	
	FA	O_3	FA	O_3	FA	O_3	FA	O_3
1	105.6	122.1	191.4	202.6	126.0	103.3	195.1	192.8
	(22.5)	(52.4)	(34.2)	(43.3)	(46.3)	(35.5)	(37.9)	(33.9)
2	123.4	134.3	194.6	212.3	134.3	107.7	208.6	200.4
	(39.5)	(55.8)	(25.8)	(43.6)	(47.2)	(23.9)	(38.4)	(40.4)
3	116.5	138.2	210.3	222.4	118.8	102.0	221.0	219.9
	(35.0)	(42.2)	(44.9)	(43.7)	(35.9)	(29.4)	(47.9)	(40.3)
4	143.5	136.7	219.1	220.7	119.9	110.3	215.5	205.7
	(35.5)	(43.6)	(23.5)	(46.5)	(50.2)	(34.7)	(44.7)	(37.6)
5	135.2	140.8	233.1	240.9	117.9	108.9	212.8	211.9
	(35.7)	(48.8)	(37.2)	(35.2)	(38.0)	(26.5)	(32.9)	(37.9)
6	134.3	169.7	229.3	244.3	107.5	117.1	208.8	221.2
	(39.2)	(48.6)	(47.9)	(48.0)	(31.5)	(35.2)	(34.9)	(47.1)
Μέση	126.4	140.3	213.0	223.9	120.7	108.2	210.3	208.7
τιμή	(34.6)	(48.6)	(35.6)	(43.4)	(41.5)	(30.9)	(39.5)	(39.5)

Στο Σχήμα 7.1 παρουσιάζεται η ποσοστιαία μεταβολή του ρυθμού μεταβολισμού κατά την 3ωρη έκθεση σε φιλτραρισμένο αέρα και όζον. Συγκεκριμένα, βρέθηκε ότι οι υψηλότερες ποσοστιαίες μεταβολές εντοπίζονται κατά την ανάπαυση με 26% για τους υγιείς και -20% για τους υπερτασικούς (Σχήμα 7.1α, 7.1γ). Επίσης, παρατηρείται υψηλότερη ποσοστιαία μεταβολή του ρυθμού μεταβολισμού για τους

υγιείς κατά την ανάπαυση με μέση μεταβολή 11.5%, ενώ η αντίστοιχη μεταβολή κατά την άσκηση κυμαίνεται στο 5.2% (Σχήμα 7.1α, 7.1β).

Για την ομάδα των υπερτασικών το πρώτο ημίωρο της ανάπαυσης παρατηρείται αρνητική ποσοστιαία μεταβολή της τάξης του -20%, ωστόσο με το χρόνο μειώνεται με αποτέλεσμα το τελευταίο χρονικό βήμα να αποκτά θετικό πρόσημο με μεταβολή της τάξης του 9% (Σχήμα 7.1γ). Συγκεκριμένα, η μέση ποσοστιαία μεταβολή κατά την 3ωρη έκθεση κυμαίνεται στο -10%. Παράλληλα, κατά τη διάρκεια της άσκησης η ομάδα των υπερτασικών εμφανίζει αρνητική ποσοστιαία μεταβολή που κυμαίνεται από -0.5 έως -4.5 %, ενώ το τελευταίο χρονικό βήμα αποκτά θετικό πρόσημο με μεταβολή της τάξης του 6%, όπως ακριβώς παρατηρήθηκε και κατά τη διάρκεια της ανάπαυσης (Σχήμα 7.1δ).

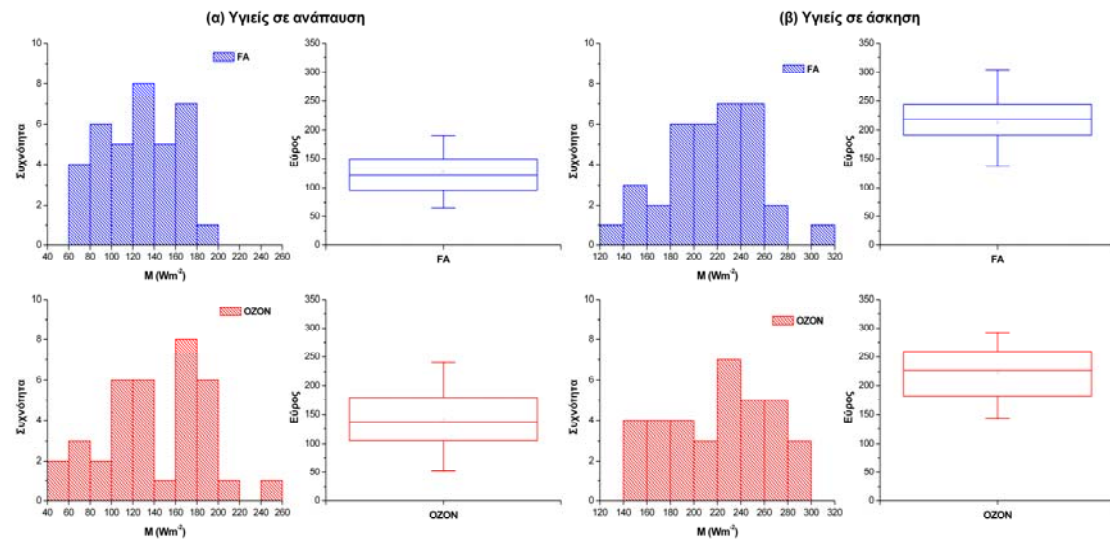


ΣΧΗΜΑ 7.1. Ποσοστιαία μεταβολή του ρυθμού μεταβολισμού (M) για δυο ομάδες εθελοντών κατά τη διάρκεια 3ωρης έκθεσης σε φιλτραρισμένο αέρα (FA) και όζον (O_3), στην ανάπαυση και σε άσκηση.

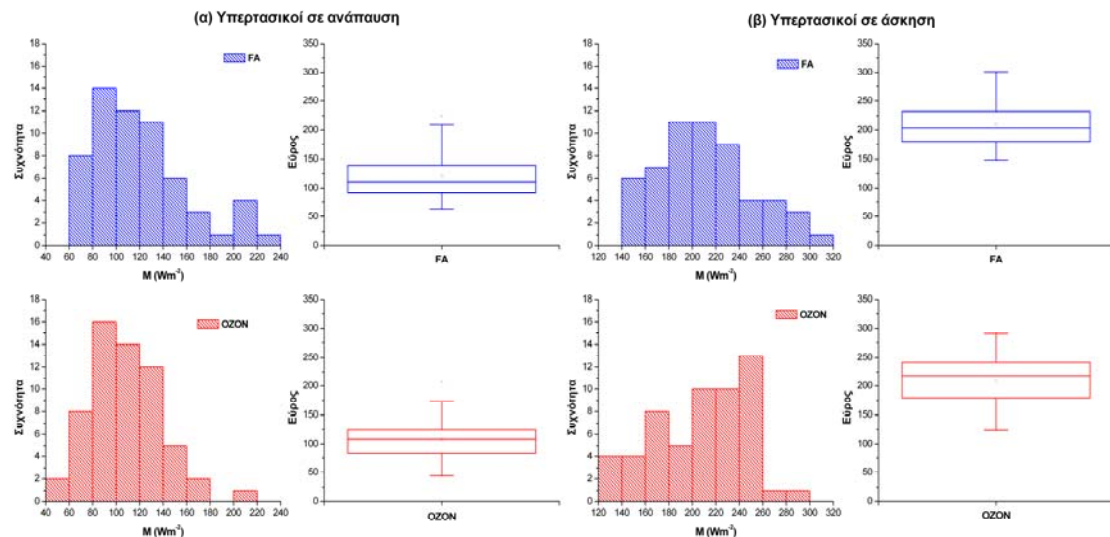
Συμπερασματικά, αναφέρουμε ότι ανεξάρτητα από τις φάσεις ανάπαυσης και άσκησης των υπό μελέτη ομάδων, την τελευταία ώρα της έκθεσης παρατηρείται μια τάση για αύξηση του ρυθμού μεταβολισμού με μεγαλύτερο βαθμό στο όζον σε σχέση

με τον φιλτραρισμένο αέρα και για τα 16 άτομα των δυο ομάδων (Katavoutas et al. 2008a).

Ο έλεγχος των διαφορών κατά την 3ωρη έκθεση σε φιλτραρισμένο αέρα και όζον υποδεικνύει στατιστικά σημαντικές ανωμαλίες για την παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό των υγιών ατόμων, με τη συχνότητα, το εύρος και το σφάλμα να απεικονίζεται στο Σχήμα 7.2 για τη φάση της ανάπαυσης και της άσκησης.



ΣΧΗΜΑ 7.2. Συχνότητα, εύρος και σφάλμα τιμών της παραγωγής θερμότητας από το μεταβολισμό για την ομάδα των υγιών ατόμων α) σε ανάπαυση και β) σε άσκηση.



ΣΧΗΜΑ 7.3. Συχνότητα, εύρος και σφάλμα τιμών της παραγωγής θερμότητας από το μεταβολισμό για την ομάδα των υπέρτασικών ατόμων α) σε ανάπαυση και β) σε άσκηση.

Αντιθέτως, για την ομάδα των υπέρτασικών ο έλεγχος των διαφορών υποδεικνύει στατιστικά σημαντική ανωμαλία κατά την ανάπαυση και μη στατιστικά

σημαντική ανωμαλία κατά την άσκηση με τη συχνότητα, το εύρος και το σφάλμα να απεικονίζεται στο Σχήμα 7.3.

7.6 Επίδραση όζοντος στη λανθάνουσα απώλεια θερμότητας από την αναπνοή

Στον Πίνακα 7.3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της λανθάνουσας απώλειας θερμότητας από την αναπνοή (E_{rel} , σε Wm^{-2}) κατά τη διάρκεια των φάσεων ανάπαυσης και άσκησης σε φιλτραρισμένο αέρα (FA) και όζον (O_3) ανά χρονικό βήμα για τις 2 υπό μελέτη ομάδες, από όπου προκύπτει ότι τα υπερτασικά άτομα εμφανίζουν συνολικά χαμηλότερα επίπεδα τιμών κατά την έκθεση σε όζον.

Συγκεκριμένα, η ομάδα των υγιών ατόμων κατά την ανάπαυση σε φιλτραρισμένο αέρα εμφανίζει μέση απώλεια θερμότητας $-12.2 Wm^{-2}$, η οποία ακολουθεί ελαφρώς πτωτική πορεία με το χρόνο. Σε αντίθεση, κατά την έκθεση σε όζον παρατηρείται υψηλότερη απώλεια θερμότητας με το χρόνο μετά το πρώτο ημίωρο, με τη μέση απώλεια κατά την 3ωρη έκθεση να διαμορφώνεται στα $-11.8 Wm^{-2}$. Η μέση μέγιστη διαφορά εντοπίστηκε το πρώτο ημίωρο της έκθεσης με $2.7 Wm^{-2}$, ενώ η μέση ελάχιστη στο τέλος της 3ωρης έκθεσης με $-1.1 Wm^{-2}$. Κατά τη διάρκεια της άσκησης η λανθάνουσα απώλεια θερμότητας από την αναπνοή για τα υγιή άτομα τριπλασιάστηκε τόσο κατά τη διάρκεια έκθεσης σε φιλτραρισμένο αέρα όσο και κατά την έκθεση σε όζον, ως αποτέλεσμα της αύξησης του όγκου του αέρα που εισπνέεται σε σύγκριση με τις αντίστοιχες τιμές κατά την φάση της ανάπαυσης (Katavoutas et al. 2008a). Συγκεκριμένα, η μέση απώλεια θερμότητας για όλο το διάστημα της 3ωρης έκθεσης φτάνει τα $-34.1 Wm^{-2}$ σε φιλτραρισμένο αέρα ενώ κατά την έκθεση σε όζον τα $-33.3 Wm^{-2}$. Επιπλέον, βρέθηκε ότι η απώλεια θερμότητας κατά την έκθεση σε όζον παρουσιάζει αυξητική πορεία με το χρόνο, όπως ακριβώς παρατηρήθηκε και κατά τη φάση της ανάπαυσης.

Αντίθετα, φαίνεται ότι για την ομάδα των υπερτασικών η λανθάνουσα απώλεια θερμότητας με την αναπνοή κυμαίνεται σε χαμηλότερα επίπεδα κατά την έκθεση σε όζον καθ' όλη την 3ωρη έκθεση τόσο κατά τη φάση της ανάπαυσης όσο και της άσκησης. Συγκεκριμένα, για τη φάση της ανάπαυσης βρέθηκε ότι η μέση μέγιστη διαφορά είναι $2.36 Wm^{-2}$, ενώ η μέση διαφορά κατά την 3ωρη έκθεση είναι $-1.1 Wm^{-2}$. Σε αντίθεση, κατά την άσκηση η μέση μέγιστη διαφορά είναι $3.2 Wm^{-2}$, ενώ η μέση διαφορά για την 3ωρη έκθεση είναι $2.2 Wm^{-2}$. Επιπλέον, τα υπερτασικά άτομα εμφανίζουν υψηλότερες απώλειες λανθάνουσας θερμότητας συγκρινόμενες με

τις αντίστοιχες τιμές των υγιών ατόμων τόσο κατά τη διάρκεια της ανάπαυσης όσο και τα διάρκεια της άσκησης.

ΠΙΝΑΚΑΣ 7.3. Επίπεδα τιμών της λανθάνουσας απώλειας θερμότητας από την αναπνοή σε φιλτραρισμένο αέρα (FA) και όζον (O₃).

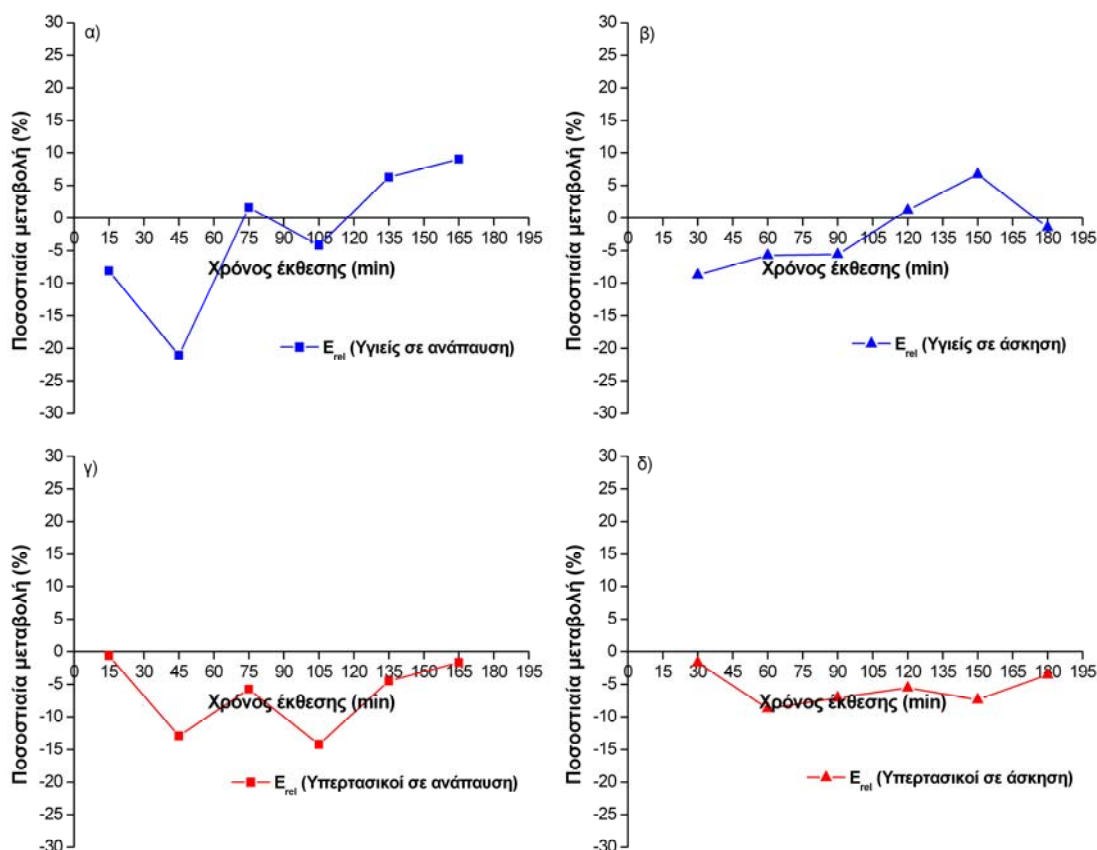
No	E_{rel} (Wm ⁻²) Υγιείς				E_{rel} (Wm ⁻²) Υπερτασικοί			
	Σε ανάπαυση		Σε άσκηση		Σε ανάπαυση		Σε άσκηση	
	FA	O ₃	FA	O ₃	FA	O ₃	FA	O ₃
1	-12.3	-11.3	-34.3	-31.3	-15.9	-15.8	-37.4	-36.8
	(1.7)	(2.1)	(6.5)	(4.9)	(4.3)	(4.4)	(7.9)	(4.4)
2	-13.0	-10.3	-33.8	-31.8	-16.6	-14.5	-37.0	-33.8
	(2.0)	(1.7)	(5.7)	(6.8)	(4.3)	(4.6)	(4.7)	(4.7)
3	-11.5	-11.7	-34.8	-32.9	-15.7	-14.8	-41.3	-38.4
	(1.6)	(2.4)	(7.7)	(7.4)	(3.2)	(3.1)	(7.2)	(6.4)
4	-12.8	-12.2	-33.4	-33.8	-16.6	-14.2	-39.1	-36.9
	(2.7)	(0.9)	(7.2)	(7.6)	(2.4)	(4.1)	(5.7)	(9.2)
5	-11.3	-12.0	-33.1	-35.3	-17.2	-16.4	-41.4	-38.3
	(1.0)	(2.1)	(7.1)	(6.5)	(5.8)	(3.1)	(5.2)	(6.6)
6	-12.4	-13.5	-35.3	-34.8	-17.9	-17.6	-40.9	-39.5
	(1.4)	(2.4)	(7.6)	(6.3)	(5.7)	(4.1)	(5.9)	(6.9)
Μέση	-12.2	-11.8	-34.1	-33.3	-16.6	-15.5	-39.5	-37.3
τιμή	(1.7)	(2.0)	(7.0)	(6.6)	(4.3)	(3.9)	(6.1)	(6.4)

Το σχήμα 7.4 απεικονίζει τις ποσοστιαίες μεταβολές της λανθάνουσας απώλειας θερμότητας από την αναπνοή κατά τη διάρκεια των δυο φάσεων για τις ομάδες εθελοντών. Είναι εμφανές ότι οι υψηλότερες ποσοστιαίες μεταβολές εντοπίζονται κατά την διάρκεια της ανάπαυσης και για τις δυο ομάδες όπως ακριβώς παρατηρήθηκε και για την παραγωγή θερμότητας από τον μεταβολισμό (Σχήμα 7.4α, Σχήμα 7.4γ). Συγκεκριμένα, το υψηλότερο ποσοστό μεταβολής βρέθηκε μετά το πρώτο ημίωρο για τους υγιείς με -21%, ενώ για τους υπερτασικούς εντοπίζεται μετά από 105 min έκθεσης με -14%.

Η ποσοστιαία μεταβολή της λανθάνουσας θερμότητας από την αναπνοή με το χρόνο εμφανίζει αυξητική πορεία για την υγιή ομάδα κατά την ανάπαυση, με αρνητική μεταβολή στην αρχή της έκθεσης και θετική μεταβολή στο τέλος (Σχήμα 7.4α). Το εύρος της μεταβολής κατά την 3ωρη έκθεση κυμαίνεται από -21% έως 9%. Παρόμοια αυξητική πορεία της ποσοστιαίας μεταβολής με το χρόνο παρατηρήθηκε

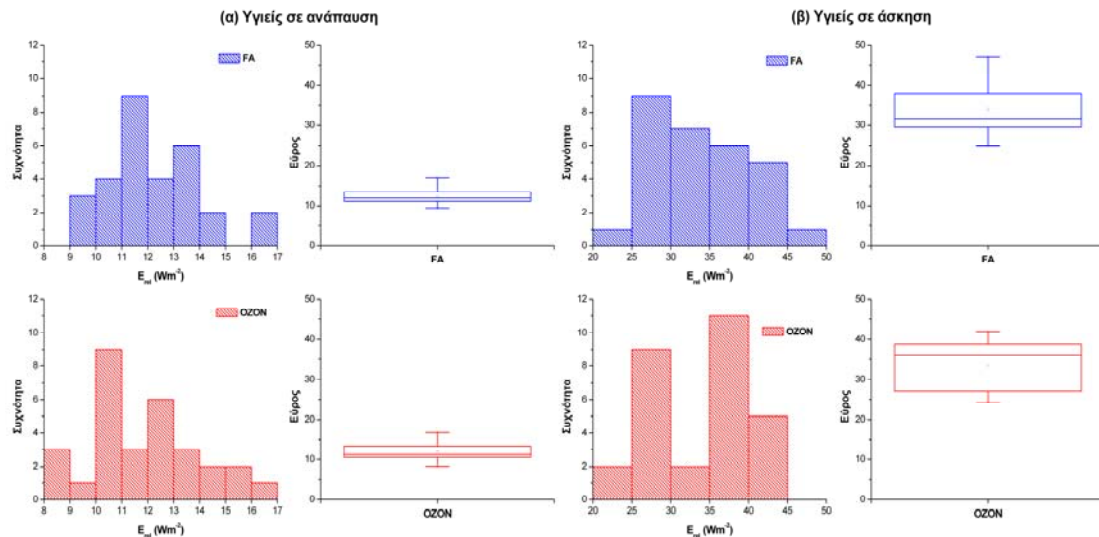
για τα υγιή άτομα κατά την άσκηση, με το εύρος να κυμαίνεται σε χαμηλότερα επίπεδα από -9% έως 7% (Σχήμα 7.4β).

Σε αντίθεση, για την ομάδα των υπερτασικών καθ' όλη την τριώρη έκθεση παρατηρείται αρνητική ποσοστιαία μεταβολή, η οποία κυμαίνεται από -0.6% έως -14% (Σχήμα 7.4γ). Αντίστοιχη πορεία ακολουθεί η ποσοστιαία μεταβολή με το χρόνο κατά τη διάρκεια της άσκησης, με την μεταβολή να διαμορφώνεται σε χαμηλότερα επίπεδα από -1.72% έως -8.7% (Σχήμα 7.4δ).

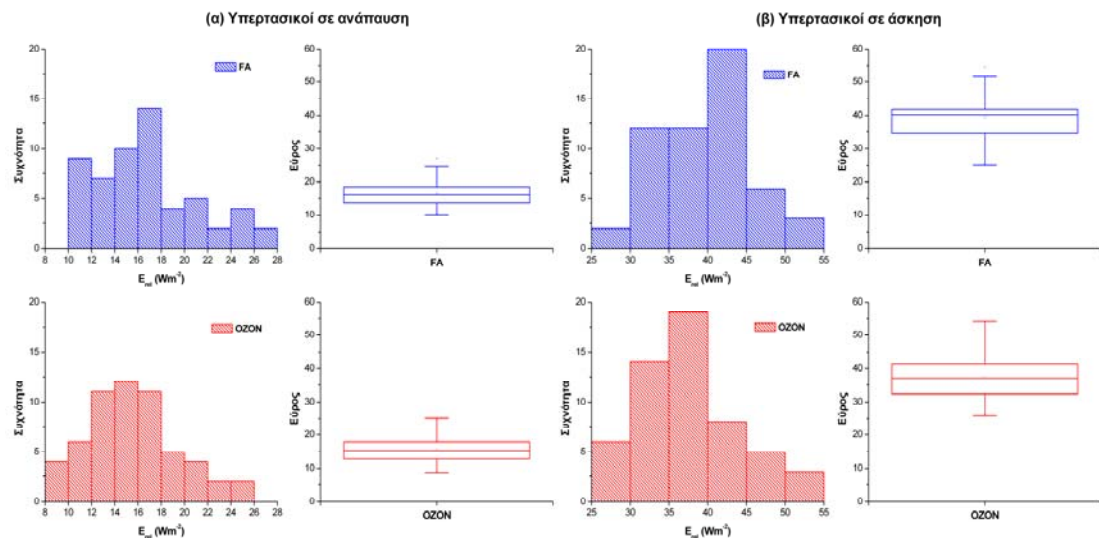


ΣΧΗΜΑ 7.4. Ποσοστιαία μεταβολή της απώλειας θερμότητας από την ύγρανση του εισπνεόμενου αέρα (E_{rel}) για δυο ομάδες εθελοντών κατά τη διάρκεια 3ωρης έκθεσης σε φιλτραρισμένο αέρα (FA) και όζον (O_3), στην ανάπαυση και σε άσκηση.

Ο έλεγχος κατά ζεύγη υποδεικνύει μη στατιστικά σημαντικές ανωμαλίες της απώλειας θερμότητας από την ύγρανση του εισπνεόμενου αέρα για την υγιή ομάδα κατά την 3ωρη έκθεση σε φιλτραρισμένο αέρα και όζον τόσο στην ανάπαυση όσο και στην άσκηση, με τη συχνότητα, το εύρος και το σφάλμα να απεικονίζονται στο Σχήμα 7.5. Αντιθέτως, για την ομάδα των υπερτασικών εντοπίστηκε μη στατιστικά σημαντική ανωμαλία της E_{rel} κατά την ανάπαυση και στατιστικά σημαντική ανωμαλία κατά την άσκηση (Σχήμα 7.6).



ΣΧΗΜΑ 7.5. Συχνότητα, εύρος και σφάλμα τιμών της λανθάνουσας απώλειας θερμότητας από την αναπνοή για την ομάδα των υγιών ατόμων α) σε ανάπαυση και β) σε άσκηση.



ΣΧΗΜΑ 7.6. Συχνότητα, εύρος και σφάλμα τιμών της λανθάνουσας απώλειας θερμότητας από την αναπνοή για την ομάδα των υπερτασικών ατόμων α) σε ανάπαυση και β) σε άσκηση.

7.7 Επίδραση όζοντος στη ξηρή απώλεια θερμότητας από την αναπνοή

Ο Πίνακας 7.4 απεικονίζει τα επίπεδα τιμών της ξηρής απώλειας θερμότητας από την αναπνοή (E_{res} , σε Wm^{-2}) κατά τη διάρκεια των δυο φάσεων δραστηριότητας κάθε πειραματική ημέρα για τις δυο ομάδες εθελοντών. Είναι εμφανές ότι τα επίπεδα τιμών της ροής E_{res} κυμαίνονται σε χαμηλότερα επίπεδα σε σύγκριση με την ροή E_{rel} , ενώ η υψηλότερη απώλεια παρατηρείται κατά τη διάρκεια της άσκησης σε σύγκριση με τις αντίστοιχες τιμές κατά τη φάση της ανάπαυσης.

Η μέση ξηρή απώλεια θερμότητας από την αναπνοή για την ομάδα των υγιών ατόμων στην ανάπαυση διαμορφώνεται στα $-1.05 Wm^{-2}$ κατά την έκθεση σε

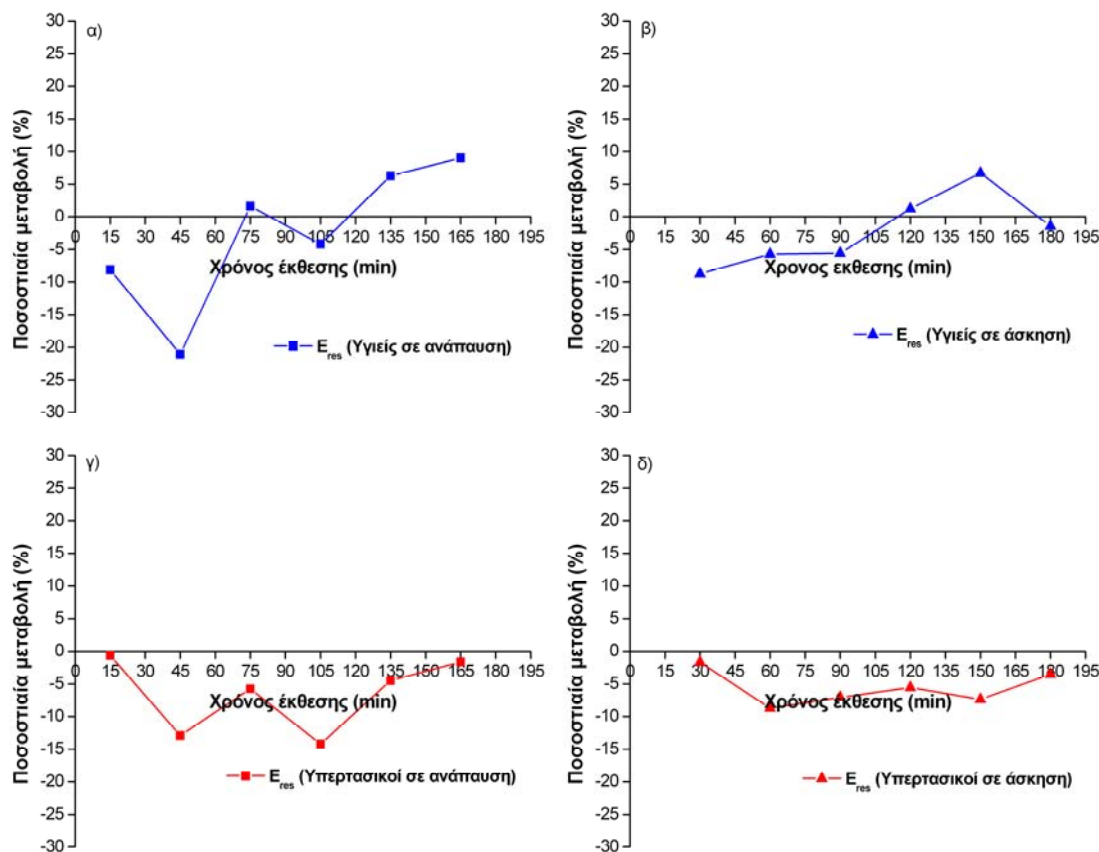
φιλτραρισμένο αέρα, ενώ κατά την έκθεση σε όζον παρατηρείται μικρή μείωση με -1.01 Wm^{-2} . Κατά την άσκηση, βρέθηκε ότι η μέση απώλεια θερμότητας για όλο το διάστημα της 3ωρης έκθεσης φτάνει τα -2.92 Wm^{-2} σε φιλτραρισμένο αέρα ενώ κατά την έκθεση σε όζον τα -2.85 Wm^{-2} . Επιπλέον, η ξηρή απώλεια θερμότητας κατά την έκθεση σε όζον παρουσιάζει αυξητική πορεία με το χρόνο τόσο κατά τη φάση της ανάπαυσης όσο και κατά τη φάση της άσκησης, όπως ακριβώς παρατηρήθηκε και για την λανθάνουσα απώλεια θερμότητας από την αναπνοή (Katavoutas et al. 2008a).

ΠΙΝΑΚΑΣ 7.4. Επίπεδα τιμών της ξηρής απώλειας θερμότητας από την αναπνοή σε φιλτραρισμένο αέρα (FA) και όζον (O_3).

No	$E_{res} (\text{Wm}^{-2})$ Υγιείς				$E_{res} (\text{Wm}^{-2})$ Υπερτασικοί			
	Σε ανάπαυση		Σε άσκηση		Σε ανάπαυση		Σε άσκηση	
	FA	O_3	FA	O_3	FA	O_3	FA	O_3
1	-1.05	-0.97	-2.94	-2.68	-1.36	-1.35	-3.20	-3.15
	(0.15)	(0.18)	(0.56)	(0.42)	(0.37)	(0.37)	(0.68)	(0.38)
2	-1.12	-0.88	-2.89	-2.72	-1.42	-1.24	-3.17	-2.89
	(0.17)	(0.15)	(0.49)	(0.59)	(0.37)	(0.39)	(0.40)	(0.40)
3	-0.99	-1.00	-2.98	-2.81	-1.34	-1.27	-3.54	-3.29
	(0.14)	(0.20)	(0.66)	(0.63)	(0.27)	(0.26)	(0.62)	(0.54)
4	-1.09	-1.05	-2.86	-2.89	-1.42	-1.22	-3.35	-3.16
	(0.23)	(0.08)	(0.62)	(0.65)	(0.21)	(0.35)	(0.49)	(0.79)
5	-0.97	-1.03	-2.84	-3.02	-1.47	-1.40	-3.54	-3.28
	(0.09)	(0.18)	(0.61)	(0.55)	(0.49)	(0.27)	(0.44)	(0.56)
6	-1.06	-1.16	-3.03	-2.98	-1.53	-1.51	-3.50	-3.38
	(0.12)	(0.20)	(0.65)	(0.54)	(0.49)	(0.35)	(0.50)	(0.59)
Μέση τιμή	-1.05	-1.01	-2.92	-2.85	-1.43	-1.33	-3.38	-3.19
	(0.15)	(0.17)	(0.60)	(0.56)	(0.37)	(0.33)	(0.52)	(0.54)

Η ομάδα των υπερτασικών σε κάθε χρονικό βήμα της έκθεσης σε όζον παρουσιάζει χαμηλότερη ξηρή απώλεια θερμότητας από την αναπνοή σε σχέση με τις αντίστοιχες απώλειες σε φιλτραρισμένο αέρα τόσο στην ανάπαυση όσο και στην άσκηση. Συγκεκριμένα, η μέγιστη διαφορά φτάνει την τιμή των -0.20 Wm^{-2} μετά από 90 min έκθεσης, ενώ η μέση διαφορά για την 3ωρη έκθεση φτάνει τα -0.10 Wm^{-2} κατά τη φάση της ανάπαυσης. Αντίστοιχα αποτελέσματα προκύπτουν και κατά τη φάση της άσκησης με τη μέγιστη διαφορά να εντοπίζεται το πρώτο ημίωρο με τιμή -0.27 Wm^{-2} ενώ η μέση διαφορά καθ' όλη την διάρκεια της έκθεσης να φτάνει τα -0.20 Wm^{-2} .

Στο σχήμα 7.7 απεικονίζονται οι ποσοστιαίες μεταβολές της ξηρής απώλειας θερμότητας από την αναπνοή κατά τη διάρκεια της έκθεσης, με τις υψηλότερες τιμές να εντοπίζονται κατά την διάρκεια της ανάπαυσης και για τις δυο ομάδες εθελοντών.



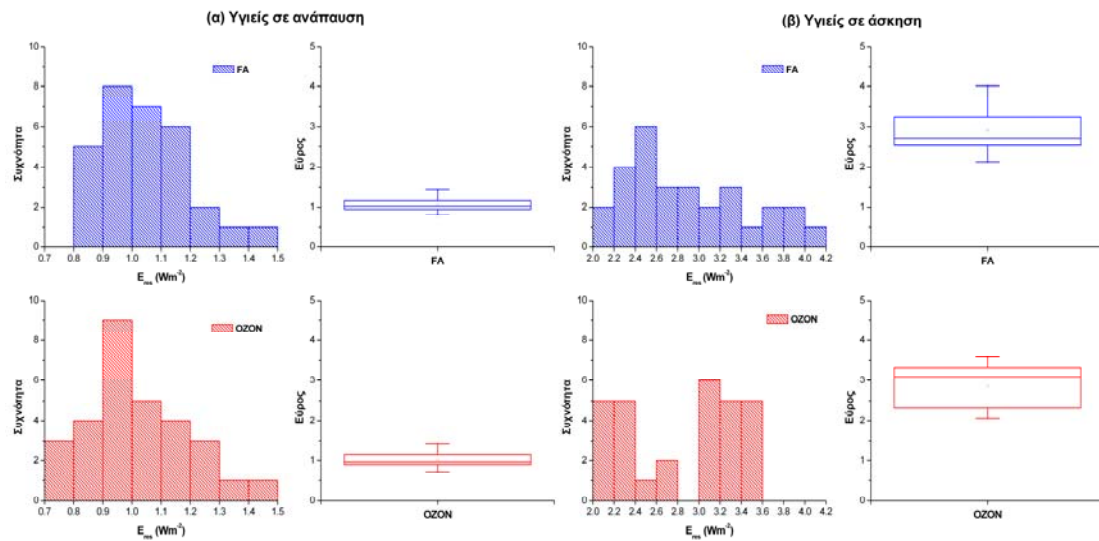
ΣΧΗΜΑ 7.7. Ποσοστιαία μεταβολή της ξηρής απώλειας θερμότητας από την αναπνοή (E_{res}) για δυο ομάδες εθελοντών κατά τη διάρκεια 3ωρης έκθεσης σε φιλτραρισμένο αέρα (FA) και όζον (O_3), στην ανάπαυση και σε άσκηση.

Αυξητική πορεία με το χρόνο παρουσιάζει η ποσοστιαία μεταβολή της E_{res} για την υγιή ομάδα κατά την ανάπαυση, με αρνητική μεταβολή το πρώτο ημίωρο και θετική μεταβολή το τελευταίο ημίωρο της έκθεσης (Σχήμα 7.7α). Αντίστοιχα αποτελέσματα συνάγονται και κατά την άσκηση, με τις μεταβολές να κυμαίνονται από -9% έως 7% (Σχήμα 7.7β).

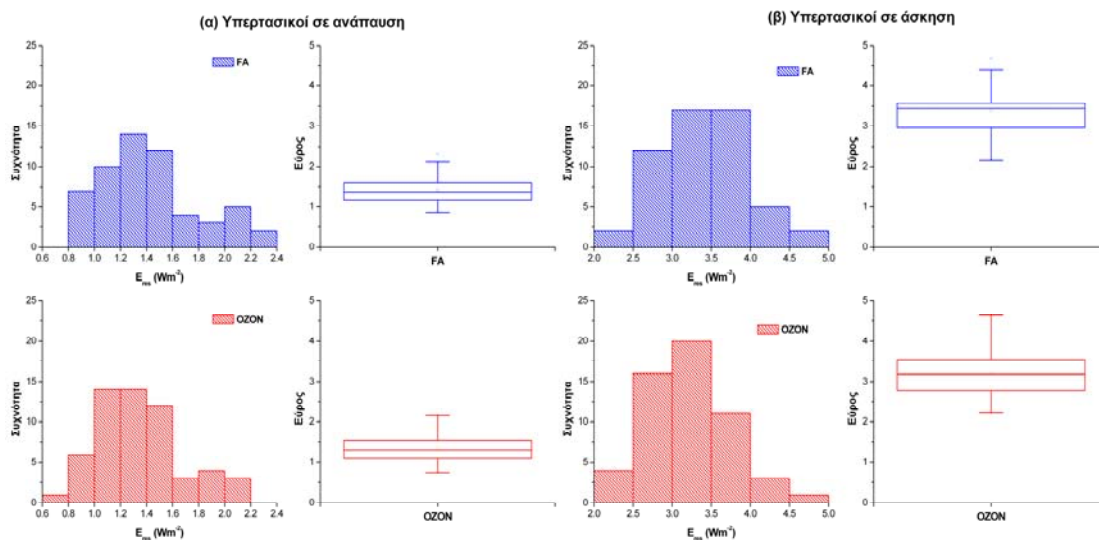
Η ομάδα των υπερτασικών παρουσιάζει αρνητική ποσοστιαία μεταβολή σε κάθε χρονικό βήμα της 3ωρης έκθεσης, με τις χαμηλότερες μεταβολές να εντοπίζονται κατά την φάση της ανάπαυσης (Σχήμα 7.7γ, 7.7δ). Συγκεκριμένα, η μέση μεταβολή είναι -6.63% κατά την ανάπαυση και -5.66% κατά την άσκηση.

Ο έλεγχος των διαφορών των μέσων τιμών των δυο μη ανεξάρτητων δειγμάτων σε φιλτραρισμένο αέρα και όζον υποδεικνύει μη στατιστικά σημαντικές ανωμαλίες για την ξηρή απώλεια θερμότητας από την αναπνοή τόσο στην ανάπαυση

όσο και στην άσκηση για την ομάδα των υγιών ατόμων με τη συχνότητα, το εύρος και το σφάλμα να απεικονίζονται στο Σχήμα 7.8.



ΣΧΗΜΑ 7.8. Συχνότητα, εύρος και σφάλμα τιμών της ξηρής απώλειας θερμότητας από την αναπνοή για την ομάδα των υγιών ατόμων α) σε ανάπαυση και β) σε άσκηση.



ΣΧΗΜΑ 7.9. Συχνότητα, εύρος και σφάλμα τιμών της λανθάνουσας απώλειας θερμότητας από την αναπνοή για την ομάδα των υπερτασικών ατόμων α) σε ανάπαυση και β) σε άσκηση.

Σε αντίθεση, οι ανωμαλίες της E_{res} για την ομάδα των υπερτασικών είναι στατιστικά μη σημαντικές κατά την ανάπαυση ενώ είναι στατιστικά σημαντικές κατά την άσκηση (Σχήμα 7.9).

7.8 Σύνοψη και Συμπεράσματα

Στο κεφάλαιο αυτό, διερευνήθηκε η πιθανή επίδραση ενός αέριου ρυπαντή όπως είναι το όζον σε όρους του θερμικού ισοζυγίου του ανθρώπου, όπως η ροή

θερμότητας από το μεταβολισμό και η λανθάνουσα και ξηρή απώλεια θερμότητας από την αναπνοή. Επιπρόσθετα, μελετήθηκε η πιθανή επίδραση για δυο ομάδες εθελοντών, υγιών και υπερτασικών, κατά τη διάρκεια ανάπαυσης και άσκησης. Αυτό έγινε με την παραχώρηση πρωτογενών δεδομένων φυσιολογίας από μια σειρά ελεγχόμενων πειραμάτων σε ανθρώπους κατά την έκθεση τους σε όζον (O_3), σε συνεργασία με τον Καθηγητή Henry Gong και την ομάδα του από το Τμήμα Ιατρικής του Rancho Los Amigos Medical Center στο Downey της California.

Βρέθηκε ότι το όζον επηρεάζει με διαφορετικό τρόπο την παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό των υγιών ατόμων, σε σχέση με την αντίστοιχη παραγωγή θερμότητας των υπερτασικών. Ειδικότερα, οι τιμές του μεταβολισμού για τα υγιή άτομα κυμαίνονται σε υψηλότερα επίπεδα κατά την έκθεση σε όζον, συγκρινόμενες με τις αντίστοιχες τιμές κατά την έκθεση σε φιλτραρισμένο αέρα, τόσο κατά τη φάση της ανάπαυσης, όσο και κατά τη φάση της άσκησης. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι ανωμαλίες για τις δυο φάσεις είναι στατιστικά σημαντικές, ωστόσο, φαίνονται να είναι εντονότερες κατά τη διάρκεια της ανάπαυσης. Σε αντίθεση, τα υπερτασικά άτομα εμφανίζονται να αντιδρούν διαφορετικά κατά την έκθεση σε όζον με χαμηλότερα επίπεδα τιμών τόσο στην ανάπαυση όσο και στην άσκηση. Ωστόσο, οι ανωμαλίες εμφανίζονται να είναι στατιστικά σημαντικές μόνο κατά τη διάρκεια της ανάπαυσης ενώ με το χρόνο έκθεσης οι μεταβολές παρουσιάζουν μείωση.

Οι όροι της αναπνοής, λανθάνουσα και ξηρή απώλεια θερμότητας, ακολουθούν παρόμοια πορεία κατά την 3ωρη έκθεση. Συνολικά παρατηρούνται μικρότερες απώλειες θερμότητας κατά την έκθεση σε όζον για τις δυο ομάδες τόσο κατά την ανάπαυση όσο και κατά την άσκηση και ιδιαίτερα για τα υπερτασικά άτομα. Πρέπει να σημειωθεί ότι η ομάδα των υγιών ατόμων εμφανίζει μικρότερες απώλειες κατά την έκθεση σε όζον το πρώτο ημίωρο της έκθεσης, ενώ το αντίθετο συμβαίνει στη συνέχεια της έκθεσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στη παρούσα διατριβή διερευνάται πειραματικά και θεωρητικά η θερμική άνεση στον άνθρωπο σε ένα θερμό εξωτερικό περιβάλλον, με έμφαση στις κατανομές των θερμοφυσιολογικών παραμέτρων, των ροών μεταξύ του ανθρώπινου σώματος και του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος καθώς και των θερμοφυσιολογικών δεικτών, για επιλεγμένες ομάδες ατόμων στο πεδίο, διαφοροποιώντας το βαθμό προσαρμογής, την έκθεση στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία καθώς και το επίπεδο της δραστηριότητας σε διάφορα θερμοκρασιακά επίπεδα. Τέλος, διερευνάται η πιθανή επίδραση ενός αέριου ρυπαντή, όπως είναι το όζον (O_3), σε όρους του θερμικού ισοζυγίου του ανθρώπου μέσω των μεταβολών που παρατηρούνται άμεσα σε παραμέτρους της φυσιολογίας.

Με στόχο τη διερεύνηση της συνεισφοράς των θερμοφυσιολογικών παραμέτρων στη διαμόρφωση της θερμικής ισορροπίας στο ανθρώπινο σώμα βρέθηκε ότι η μέση θερμοκρασία δέρματος και η παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό αποτελούν σημαντικές παραμέτρους του θερμικού ισοζυγίου. Ακόμη και για συγκεκριμένη δραστηριότητα στο ίδιο θερμικό περιβάλλον, το πλεόνασμα ή η απώλεια θερμότητας μέσω της ακτινοβολίας, της μεταφοράς, της εξάτμισης και της αναπνοής δύναται να διαφέρει μεταξύ υγιών ατόμων.

Συγκεκριμένα, η πορεία της παραγωγής θερμότητας από το μεταβολισμό μεταβάλλεται στην κλίμακα του 1 min με αποτέλεσμα η υπόθεση της σταθερής παραγωγής θερμότητας από το μεταβολισμό με κριτήριο μια επιλεγμένη δραστηριότητα να μην συνάδει με τις πραγματικές συνθήκες και να πραγματοποιείται στο πλαίσιο της απλοποίησης των υπολογισμών. Επίσης, η διαφορά της πειραματικής από τη θεωρητική μέση θερμοκρασία δέρματος, υποδεικνύει την αδυναμία του μοντέλου να την προσδιορίσει μέσω μια εμπειρικής εξίσωσης, ιδιαίτερα για μη προσαρμοσμένους οργανισμούς.

Η προσομοίωση των ροών του θερμικού ισοζυγίου βάσει των πειραματικών μετρήσεων της μέσης θερμοκρασίας δέρματος και της παραγωγής θερμότητας από το μεταβολισμό συγκριτικά με τις αντίστοιχες θεωρητικές τιμές υποδεικνύει διαφορετικά επίπεδα τιμών. Εξαίρεση αποτελεί η ροή της απορροφούμενης ηλιακής ακτινοβολίας, λόγω της ανεξαρτησίας της από θερμοφυσιολογικές παραμέτρους. Επιπρόσθετα, εντοπίστηκε απουσία κύμανσης για τις ροές βάσει της θεωρητικής

προσέγγισης, ως αποτέλεσμα της υπόθεσης για σταθερή παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό και της σχεδόν σταθερής μέσης θερμοκρασίας δέρματος μέσω της εμπειρικής εξίσωσης του μοντέλου.

Η πειραματική μέση θερμοκρασία δέρματος της ομάδας μελέτης σε ένα έντονα θερμό περιβάλλον άνευ προσαρμογής βρέθηκε να ακολουθεί έντονη αυξητική βαθμίδα τα πρώτα 10 min της διαδρομής και ισορροπία τιμών στη συνέχεια. Η χρονική εξέλιξη της εμφανίζει παρόμοια πορεία μεταξύ των ατόμων, παρ' όλα αυτά εντοπίζονται διαφορές ιδιαίτερα στα πρώτα λεπτά της διαδρομής, οι οποίες σχετίζονται με τη διαφορετική θερμική κατάσταση του σώματος που διαμορφώθηκε στον εσωτερικά κλιματιζόμενο χώρο.

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων του δείκτη Θερμικού Φορτίου (Heat Load, HL) προέκυψε έντονη θερμή επιβάρυνση για την ομάδα μελέτης, βάσει της πειραματικής προσέγγισης σε ένα έντονα θερμό περιβάλλον άνευ προσαρμογής. Επιπλέον, το επίπεδο έντασης των διαδικασιών προσαρμογής στον ανθρώπινο οργανισμό αυξάνεται κατά τη διάρκεια της διαδρομής, με μια έντονη βαθμίδα να εντοπίζεται τα πρώτα 10 min. Σε αντίθεση, τα αποτελέσματα βάσει της θεωρητικής προσέγγισης εντοπίζουν έντονη θερμή επιβάρυνση, δεν μπορούν όμως να προσδιορίσουν το επίπεδο της έντασης των διαδικασιών προσαρμογής στον ανθρώπινο οργανισμό.

Η μελέτη των θερμοφυσιολογικών και φυσιολογικών παραμέτρων στα θερμοκρασιακά επίπεδα από 27 °C έως 39 °C κατά τη διάρκεια διαδοχικών πειραματικών φάσεων, αρχικά υπό σκιά με χαμηλά επίπεδα δραστηριότητας (1^η φάση), στη συνέχεια με έκθεση στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία και υψηλά επίπεδα δραστηριότητας (2^η φάση) και τέλος υπό σκιά με χαμηλή δραστηριότητα (3^η φάση), υποδεικνύει διαφορετικές φυσιολογικές αντιδράσεις κατά την προσαρμογή του οργανισμού οι οποίες σχετίζονται όχι μόνο με το ατμοσφαιρικό περιβάλλον αλλά και με το επίπεδο δραστηριότητας, με το χρόνο έκθεσης σε κάθε φάση, με το πεδίο ακτινοβολίας καθώς και με την προηγούμενη θερμική κατάσταση του σώματος.

Συγκεκριμένα, κατά τη διάρκεια παραμονής υπό σκιά με χαμηλά επίπεδα δραστηριότητας, η μέση θερμοκρασία δέρματος (T_{sk}) και η θερμοκρασία δέρματος στο τρικέφαλο του δεξιού βραχίονα (T_{arm}) ακολουθούν γενικά αυξητική πορεία. Κατά τη διάρκεια υψηλής δραστηριότητας με ταυτόχρονη έκθεση στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία (2^η φάση) παρατηρείται συνολικά περαιτέρω αύξηση της T_{sk} (T_{arm}). Τέλος, μετά από δραστηριότητα υπό σκιά (3^η φάση) η T_{sk} (T_{arm}) ακολουθεί πτωτική

πορεία, με την υψηλότερη βαθμίδα να παρατηρείται τα πρώτα 10 min. Επιπλέον, βρέθηκε ότι όταν προηγείται προσαρμογή στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον δεν παρατηρείται απότομη αύξηση της T_{sk} (T_{arm}) στα πρώτα λεπτά της διαδρομής (2^η φάση).

Από τα διαγράμματα διασποράς μεταξύ της θερμοκρασίας του αέρα με τη μέση θερμοκρασία δέρματος (T_{sk}) πρόεκυψε στατιστικά σημαντική υψηλή θετική συσχέτιση, με μεγαλύτερη όμως διασπορά τιμών κατά τη διάρκεια έκθεσης στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία με υψηλά επίπεδα δραστηριότητας (2^η φάση) καθώς και μετά από δραστηριότητα υπό σκιά (3^η φάση) σε σύγκριση με την παραμονή υπό σκιά με χαμηλά επίπεδα δραστηριότητας (1^η φάση). Ταυτόχρονα, η μέση θερμοκρασία δέρματος (T_{sk}) κυμαίνεται σε υψηλότερα επίπεδα τιμών κατά τη διάρκεια έκθεσης στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία με υψηλά επίπεδα δραστηριότητας (2^η φάση) συγκριτικά με την παραμονή υπό σκιά τόσο πριν τη δραστηριότητα (1^η φάση) όσο και μετά από αυτή (3^η φάση), με τη μετατόπιση της ευθείας παλινδρόμησης να είναι μεγαλύτερη στις χαμηλότερες θερμοκρασίες αέρα από ότι στις υψηλότερες. Επίσης, η μέση θερμοκρασία δέρματος (T_{sk}) κυμαίνεται σε υψηλότερα επίπεδα τιμών κατά την παραμονή υπό σκιά μετά από δραστηριότητα (3^η φάση) σε σύγκριση με τα επίπεδα τιμών υπό σκιά πριν την έναρξη της δραστηριότητας (1^η φάση).

Η ανά βήμα γραμμική παλινδρόμηση (stepwise linear regression) υπέδειξε θετική στατιστικά σημαντική συσχέτιση της μέσης θερμοκρασίας δέρματος (T_{sk}) με τη θερμοκρασία του αέρα και τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας. Αντιθέτως, μια αρνητική στατιστικά σημαντική συσχέτιση εντοπίστηκε μεταξύ της μέσης θερμοκρασίας δέρματος (T_{sk}) και της σχετικής υγρασίας. Μια στατιστικά σημαντική, αλλά όχι ισχυρή αρνητική συσχέτιση βρέθηκε κατά τη διάρκεια παραμονής υπό σκιά μετά από δραστηριότητα (3^η φάση) μεταξύ της μέσης θερμοκρασίας δέρματος (T_{sk}) και της ταχύτητας του ανέμου, ενώ βρέθηκαν ασυσχέτιστοι κατά τη διάρκεια των άλλων δυο φάσεων.

Σε ένα ήπια θερμό περιβάλλον (28-32 °C) υπό σκιά και με χαμηλά επίπεδα δραστηριότητας (1^η φάση) βρέθηκε ότι η θερμοκρασία δέρματος στο τρικέφαλο του δεξιού βραχίονα (T_{arm}) και η μέση θερμοκρασία δέρματος (T_{sk}) είναι μικρότερες κατά 2.7 °C και 2.0 °C, αντίστοιχα, σε σύγκριση με τα επίπεδα τιμών σε ένα μέτρια έως πολύ θερμό περιβάλλον (32-38 °C). Ταυτόχρονα, με έκθεση στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία και υψηλά επίπεδα δραστηριότητας (2^η φάση) η T_{arm} και T_{sk} υπολείπονται κατά 2.2 °C και 1.6 °C, αντίστοιχα, σε σύγκριση με τα επίπεδα τιμών σε

ένα μέτρια έως πολύ θερμό περιβάλλον (32-38 °C). Επίσης, κατά τη διάρκεια προσαρμογής μετά από δραστηριότητα υπό σκιά (3^η φάση) σε ένα ήπια θερμό περιβάλλον (28-32 °C) βρέθηκε ότι η T_{arm} (T_{sk}) είναι μικρότερη κατά 1.6 °C έως 2.5 °C (1.2 °C έως 1.9 °C) σε σύγκριση με τα αντίστοιχα επίπεδα τιμών σε ένα μέτρια έως πολύ θερμό περιβάλλον (32-38 °C). Επίσης, πρέπει να σημειωθεί ότι κατά τη διάρκεια υψηλής δραστηριότητας σε ένα μέτρια θερμό περιβάλλον (32.1 °C), η μέση θερμοκρασία δέρματος (T_{sk}) και η θερμοκρασία δέρματος στο τρικέφαλο του δεξιού βραχίονα (T_{arm}) δεν προσεγγίζουν τις αντίστοιχες τιμές που διαμορφώνονται κατά τη διάρκεια ανάπαυσης υπό σκιά σε ένα πολύ θερμό περιβάλλον (37.5 °C).

Η ροή θερμότητας από το ανθρώπινο σώμα (HF) υποδεικνύει πλεόνασμα θερμότητας σε ένα πολύ θερμό περιβάλλον (37.5 °C), ενώ η πτώση της θερμοκρασίας του αέρα οδηγεί σε ελάττωση του πλεονάσματος και σταδιακή εμφάνιση απώλειας θερμότητας στον ανθρώπινο οργανισμό. Έτσι, σε ένα ήπια θερμό περιβάλλον (28-32 °C) παρατηρείται απώλεια θερμότητας. Η ανά βήμα γραμμική παλινδρόμηση (stepwise linear regression) της ροής θερμότητας από το ανθρώπινο σώμα (HF) υπέδειξε στατιστικά σημαντική υψηλή θετική συσχέτιση με τη μέση θερμοκρασία δέρματος (T_{sk}) και τη θερμοκρασία του αέρα τόσο κατά τη διάρκεια έκθεσης στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία με υψηλά επίπεδα δραστηριότητας (2^η φάση) όσο και κατά την παραμονή υπό σκιά πριν τη δραστηριότητα (1^η φάση) και μετά από αυτή (3^η φάση).

Η γαλβανική αντίδραση του δέρματος (GSR) ως δείκτης της περιεκτικότητας νερού στο δέρμα λόγω εφίδρωσης καθώς και της διαστολής και συστολής των περιφερειακών αγγείων υποδεικνύει χαμηλά επίπεδα τιμών σε ένα ήπια θερμό περιβάλλον (28-32 °C) κατά την παραμονή υπό σκιά με χαμηλά επίπεδα δραστηριότητας (1^η φάση). Αντιθέτως, ακολουθεί βαθμιαία αυξητική πορεία κατά τη διάρκεια έκθεσης στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία με υψηλά επίπεδα δραστηριότητας (2^η φάση) με το απολύτως μέγιστο να διαφοροποιείται μεταξύ των ατόμων ενώ ακολουθεί σταδιακή πτωτική πορεία κατά την παραμονή υπό σκιά μετά τη δραστηριότητα (3^η φάση). Η πορεία της GSR κατά τη διάρκεια έκθεσης στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία με υψηλά επίπεδα δραστηριότητας (2^η φάση) καθώς και κατά την παραμονή υπό σκιά μετά τη δραστηριότητα (3^η φάση) σε ένα ήπια θερμό περιβάλλον (28-32 °C) είναι παρόμοια συγκριτικά με την πορεία σε ένα μέτρια έως πολύ θερμό περιβάλλον (32-38 °C). Αντιθέτως, κατά την παραμονή υπό σκιά πριν τη δραστηριότητα (1^η φάση) η GSR φαίνεται να εμφανίζει υψηλότερα επίπεδα τιμών με

μεγαλύτερη διακύμανση σε υψηλότερες θερμοκρασίες αέρα. Η ανά βήμα γραμμική παλινδρόμηση (stepwise linear regression) της γαλβανικής αντίδρασης του δέρματος (*GSR*) υπέδειξε τη σχέση, σε διαφορετικό βαθμό, με διάφορες μετεωρολογικές και θερμοφυσιολογικές παραμέτρους όταν η δραστηριότητα διαμορφώνεται σε χαμηλά επίπεδα τιμών υπό σκιά (1^η φάση), ενώ η σχέση αυτή εξασθενεί κατά τη διάρκεια υψηλής δραστηριότητας με έκθεση στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία (2^η φάση) καθώς και μετά τη δραστηριότητα υπό σκιά (3^η φάση).

Η προσομοίωση των ροών μεταξύ του ανθρώπινου σώματος και του περιβάλλοντος, βάσει των πειραματικών τιμών της μέσης θερμοκρασίας δέρματος και της παραγωγής θερμότητας από το μεταβολισμό για την επιλεγμένη ομάδα μελέτης, υποδεικνύει πλεόνασμα θερμότητας μέσω της τυρβώδους ανταλλαγής αισθητής θερμότητας (*C*) σε ένα πολύ θερμό περιβάλλον (37.5 °C) και απώλεια θερμότητας σε ένα μέτρια θερμό περιβάλλον (32.1 °C). Στα ενδιάμεσα θερμοκρασιακά επίπεδα, αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα συνοδεύεται από πλεόνασμα θερμότητας ενώ μείωση της θερμοκρασίας του αέρα από απώλεια. Σε ένα ήπια θερμό περιβάλλον (28-32 °C) η ομάδα μελέτης υφίσταται απώλεια θερμότητας μέσω της τυρβώδους ανταλλαγής αισθητής θερμότητας (*C*) τόσο κατά την παραμονή υπό σκιά με χαμηλά επίπεδα δραστηριότητας (1^η & 3^η φάση) όσο και κατά τη διάρκεια υψηλής δραστηριότητας με έκθεση στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία (2^η φάση). Η υψηλότερη τυρβώδης ανταλλαγή αισθητής θερμότητας (*C*) παρατηρείται κατά τη διάρκεια έκθεσης στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία με υψηλά επίπεδα δραστηριότητας (2^η φάση), αποτέλεσμα το οποίο σχετίζεται με την υψηλότερη μέση θερμοκρασία δέρματος, την κίνηση των ατόμων καθώς και με την υψηλότερη ταχύτητα του ανέμου.

Η απώλεια θερμότητας μέσω της αναπνοής (*R_{es}*) εξαρτάται κατά κύριο λόγο από το επίπεδο δραστηριότητας και κατ' επέκταση από την παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό και δευτερεύοντος από τις μεταβολές της θερμοκρασίας του αέρα, της σχετικής υγρασίας και της ατμοσφαιρικής πίεσης, μιας και δεν παρατηρούνται σημαντικές διακυμάνσεις της απώλειας θερμότητας στις μεταβολές αυτές. Ανεξάρτητα από το ατμοσφαιρικό περιβάλλον η ομάδα μελέτης υφίσταται σχεδόν τετραπλάσια απώλεια θερμότητας μέσω της αναπνοής (*R_{es}*) κατά τη διάρκεια υψηλής δραστηριότητας με έκθεση στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία (2^η φάση) από ότι κατά τη διάρκεια των φάσεων ανάπαυσης υπό σκιά (1^η & 3^η φάση).

Η υψηλή παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό (*M*) καθώς και η υψηλή μέση θερμοκρασία δέρματος (*T_{sk}*) κατά τη διάρκεια έκθεσης στην άμεση ηλιακή

ακτινοβολία με υψηλά επίπεδα δραστηριότητας (2^η φάση) οδηγεί την ομάδα μελέτης σε υψηλότερη απώλεια θερμότητας μέσω της τυρβώδους ανταλλαγής λανθάνουσας θερμότητας (E) σε σύγκριση με τις φάσεις ανάπαυσης υπό σκιά (1^η & 3^η φάση), ενώ ακόμη μεγαλύτερη απώλεια παρατηρείται τις χρονικές στιγμές όπου η ταχύτητα του ανέμου είναι μεγαλύτερη. Ταυτόχρονα, βρέθηκε υψηλότερη απώλεια θερμότητας μέσω της τυρβώδους ανταλλαγής λανθάνουσας θερμότητας (E) κατά τη διάρκεια παραμονής υπό σκιά μετά τη δραστηριότητα (3^η φάση) συγκριτικά με την παραμονή υπό σκιά πριν τη δραστηριότητα (1^η φάση). Συνεπώς, η προηγούμενη υψηλή θερμική κατάσταση του σώματος διαδραματίζει πρωτεύοντα ρόλο στη διαμόρφωση της απώλειας θερμότητας μέσω της τυρβώδους ανταλλαγής λανθάνουσας θερμότητας (E) στα επόμενα χρονικά βήματα.

Επιπλέον, η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα συνοδεύεται από μεγαλύτερη απώλεια θερμότητας μέσω της τυρβώδους ανταλλαγής λανθάνουσας θερμότητας (E), λόγω των υψηλότερων τιμών της μέσης θερμοκρασίας δέρματος (T_{sk}). Ειδικότερα, σε ένα πολύ θερμό ατμοσφαιρικό περιβάλλον (37.5 °C) η απώλεια θερμότητας μέσω της τυρβώδους ανταλλαγής λανθάνουσας θερμότητας (E) κυμαίνεται σε τριπλάσια επίπεδα τιμών από εκείνα σε ένα μέτρια θερμό περιβάλλον (32.1 °C) και σε τετραπλάσια επίπεδα τιμών από εκείνα σε ένα ήπια θερμό περιβάλλον (28.4 °C), αντίστοιχα για κάθε φάση. Τέλος, βρέθηκε ότι η μέση απώλεια μέσω της τυρβώδους ανταλλαγής λανθάνουσας θερμότητας (E) κατά μήκος της διαδρομής σε ένα ήπια θερμό περιβάλλον (28.4 °C) κυμαίνεται σε αντίστοιχα επίπεδα τιμών με εκείνα κατά την παραμονή της ομάδας μελέτης υπό σκιά σε ένα πολύ θερμό περιβάλλον (37.5 °C).

Η καθαρή αποθηκευόμενη θερμότητα (S), ως βασικός δείκτης της εμμόνης και της έντασης των μεταβολών στο θερμικό φορτίο του ανθρώπου, υποδεικνύει απώλεια θερμότητας σε ένα πολύ θερμό περιβάλλον (37.5 °C) και εναλλαγή απώλειας και πλεονάσματος θερμότητας σε ένα μέτρια θερμό περιβάλλον (32.1 °C). Αντιθέτως, σε ένα ήπια θερμό περιβάλλον (28-32 °C) παρατηρείται εναλλαγή απώλειας και πλεονάσματος θερμότητας κατά την παραμονή της ομάδας μελέτης υπό σκιά (1^η φάση), ενώ βρέθηκε κυρίως πλεόνασμα θερμότητας κατά τη διάρκεια υψηλής δραστηριότητας με έκθεση στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία (2^η φάση). Τέλος, μετά από δραστηριότητα υπό σκιά (3^η φάση) η καθαρή αποθηκευόμενη θερμότητα (S) υποδεικνύει απώλεια θερμότητας.

Από την προσομοίωση των θερμοφυσιολογικών δεικτών, βάσει των πειραματικών τιμών της μέσης θερμοκρασίας δέρματος και της παραγωγής

θερμότητας από το μεταβολισμό, βρέθηκε ότι η ομάδα μελέτης υφίσταται έντονη θερμή επιβάρυνση σε ένα πολύ θερμό περιβάλλον (37.5 °C) ακόμη και κατά την παραμονή της υπό σκιά με χαμηλά επίπεδα δραστηριότητας (1^η & 3^η φάση). Ταυτόχρονα, βρέθηκε ότι η θερμική επιβάρυνση ταξινομείται εξ' ολοκλήρου στην έντονη θερμή επιβάρυνση κατά τη διάρκεια υψηλής δραστηριότητας με έκθεση στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία (2^η φάση) σε κάθε ατμοσφαιρικό περιβάλλον, παρόλα αυτά η ομάδα μελέτης υφίσταται μικρότερης έντασης διαδικασίες προσαρμογής σε ένα ήπια θερμό (28-32 °C) από ότι σε ένα μέτρια έως πολύ θερμό περιβάλλον (32-38 °C). Επιπρόσθετα, κατά την παραμονή υπό σκιά μετά από δραστηριότητα (3^η φάση) παρατηρείται αύξηση της συχνότητας κατανομής των υψηλότερων βαθμίδων επιβάρυνσης με αντίστοιχη μείωση των χαμηλότερων σε σύγκριση με τη συχνότητα κατανομής πριν την έναρξη της δραστηριότητας (1^η φάση) σε κάθε ατμοσφαιρικό περιβάλλον. Το γεγονός αυτό υποδεικνύει τον πρωτεύοντα ρόλο της προηγούμενης θερμικής κατάστασης του σώματος στην εκτίμηση της θερμικής επιβάρυνσης και της άνεσης. Τέλος, η θερμική επιβάρυνση σε ένα ήπια θερμό περιβάλλον (28.4 °C) κατά τη διάρκεια υψηλής δραστηριότητας με έκθεση στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία (2^η φάση) κυμαίνεται σε αντίστοιχα επίπεδα επιβάρυνσης με εκείνα σε ένα πολύ θερμό περιβάλλον (37.5 °C) υπό σκιά με χαμηλά επίπεδα δραστηριότητας (1^η & 3^η φάση).

Η απώλεια ύδατος λόγω της εξάτμισης του ιδρώτα (*SW*) δεν υπερβαίνει τα όρια σε ένα ήπια θερμό περιβάλλον (28-32 °C) υπό σκιά με χαμηλά επίπεδα δραστηριότητας (1^η φάση) ακόμη και εάν έχει προηγηθεί υψηλή δραστηριότητα (3^η φάση). Επιπλέον, μεμονωμένες υπερβάσεις των ορίων του δείκτη *SW* διαπιστώνονται κατά τη διάρκεια υψηλής δραστηριότητας με έκθεση στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία (2^η φάση). Σε υψηλότερα θερμοκρασιακά επίπεδα παρατηρείται μεγαλύτερη απώλεια ύδατος λόγω της εξάτμισης του ιδρώτα, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια υψηλής δραστηριότητας με έκθεση στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία (2^η φάση), όπου και παρατηρείται υπέρβαση του ορίου επικινδυνότητας σε ένα πολύ θερμό περιβάλλον (37.5 °C).

Τέλος, έγινε διερεύνηση της πιθανής επίδρασης ενός αέριου ρυπαντή όπως είναι το όζον σε όρους του θερμικού ισοζυγίου του ανθρώπου. Συγκεκριμένα, διερευνήθηκαν η ροή θερμότητας από το μεταβολισμό και η λανθάνουσα και ξηρή απώλεια θερμότητας από την αναπνοή, μέσω των μεταβολών που παρατηρούνται άμεσα σε παραμέτρους της φυσιολογίας βάσει της πρώτης κλινικής μελέτης άμεσων αντιδράσεων του οργανισμού κατά την έκθεση σε έναν ρυπαντή. Επιπρόσθετα,

μελετήθηκε η πιθανή επίδραση για δυο ομάδες εθελοντών, υγιών και υπερτασικών, κατά τη διάρκεια ανάπαυσης και άσκησης.

Βρέθηκε ότι το όζον επηρεάζει με διαφορετικό τρόπο την παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό των υγιών ατόμων, σε σχέση με την αντίστοιχη παραγωγή θερμότητας των υπερτασικών. Ειδικότερα, οι τιμές του μεταβολισμού για τα υγιή άτομα κυμαίνονται σε υψηλότερα επίπεδα κατά την έκθεση σε όζον, συγκρινόμενες με τις αντίστοιχες τιμές κατά την έκθεση σε φιλτραρισμένο αέρα, τόσο κατά τη φάση της ανάπαυσης, όσο και κατά τη φάση της άσκησης. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι ανωμαλίες για τις δυο φάσεις είναι στατιστικά σημαντικές, ωστόσο, φαίνονται να είναι εντονότερες κατά τη διάρκεια της ανάπαυσης. Σε αντίθεση, τα υπερτασικά άτομα εμφανίζονται να αντιδρούν διαφορετικά κατά την έκθεση σε όζον με χαμηλότερα επίπεδα τιμών τόσο στην ανάπαυση όσο και στην άσκηση. Ωστόσο, οι ανωμαλίες εμφανίζονται να είναι στατιστικά σημαντικές μόνο κατά τη διάρκεια της ανάπαυσης ενώ με το χρόνο έκθεσης οι μεταβολές παρουσιάζουν μείωση.

Οι όροι της αναπνοής, λανθάνουσα και ξηρή απώλεια θερμότητας, ακολουθούν παρόμοια πορεία κατά την 3ωρη έκθεση. Συνολικά παρατηρούνται μικρότερες απώλειες θερμότητας κατά την έκθεση σε όζον για τις δυο ομάδες τόσο κατά την ανάπαυση όσο και κατά την άσκηση και ιδιαίτερα για τα υπερτασικά άτομα. Πρέπει να σημειωθεί ότι η ομάδα των υγιών ατόμων εμφανίζει μικρότερες απώλειες κατά την έκθεση σε όζον το πρώτο ημίωρο της έκθεσης, ενώ το αντίθετο συμβαίνει στη συνέχεια της έκθεσης.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει, βέβαια, να τονιστεί ότι, τα αποτελέσματα της μελέτης για την πιθανή επίδραση ενός αέριου ρυπαντή όπως είναι το όζον στο ανθρώπινο θερμικό ισοζύγιο, αποτελούν μια πρώτη προσπάθεια ανίχνευσης της συμπεριφοράς συγκεκριμένων ροών υπό την επίδραση ενός ρυπαντή στο ίδιο θερμικό περιβάλλον, βασιζόμενη στη διαπιστωμένη επίδραση της αέριας ρύπανσης μακροπρόθεσμα στον ανθρώπινο οργανισμό. Ως εκ τούτου απαιτείται περαιτέρω πειραματική διερεύνηση αποκλειστικά προς αυτή την κατεύθυνση.

Στα πλαίσια της παρούσας διατριβής η επίδραση του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στη θερμική ισορροπία και στη θερμική άνεση για επιλεγμένες ομάδες ατόμων στο πεδίο έδωσε μια καλή εικόνα της χρονικής εξέλιξης και των κατανομών των θερμοφυσιολογικών παραμέτρων και του θερμικού ισοζυγίου του ανθρώπου καθώς και των παραμέτρων που διαδραματίζουν κυρίαρχο ρόλο σε ένα θερμό εξωτερικό περιβάλλον.

Εφ' όσον στην παρούσα διατριβή το ενδιαφέρον επικεντρώθηκε σε ένα θερμό περιβάλλον, θα ήταν χρήσιμο η μελέτη να επεκταθεί και σε χαμηλότερα θερμοκρασιακά επίπεδα, ακολουθώντας παρόμοια μεθοδολογία με αυτή που χρησιμοποιήθηκε στα Κεφάλαια 5 και 6. Επίσης, θα μπορούσε η μελέτη να πραγματοποιηθεί σε καθαρά αστικό ή υπαίθριο περιβάλλον και τα αποτελέσματα να συγκριθούν με αυτά της παρούσας μελέτης. Παράλληλα, θα μπορούσε να αυξηθεί τόσο ο αριθμός των συμμετεχόντων όσο και η καταγραφή των θερμοφυσιολογικών παραμέτρων. Τέλος, θα μπορούσε να σχεδιαστούν πειραματικές φάσεις με διαφορετικά κριτήρια και χρόνο έκθεσης στη κάθε μια καθώς και με διαφορετική αλληλουχία από αυτές της παρούσας διατριβής.

ΛΙΣΤΑ ΑΡΧΙΚΩΝ ΣΥΜΒΟΛΩΝ

α	Ηλικία	[year]
α_k	Συντελεστής απορρόφησης της επιφάνειας του σώματος που ακτινοβολείται από τη μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία	[0.7, αδιάστατο]
ac	Λευκαύγεια της ενδυμασίας	[αδιάστατο]
A_{ko}	Επιφάνεια επαφής	[m ²]
AEE	Ενεργητική ενεργειακή δαπάνη	[Wm ⁻²]
BM	Βασικός ρυθμός μεταβολισμού	[W]
BM^*	Βασικός ρυθμός μεταβολισμού	[kcal day ⁻¹]
BMR	Βασικός ρυθμός μεταβολισμού	[Wm ⁻²]
BSA	Επιφάνεια σώματος ή μάζα σώματος	[m ²]
c_p	Ειδική θερμότητα αέρα	[kcal kg ⁻¹ °C ⁻¹]
C	Τυρβώδης ανταλλαγή αισθητής θερμότητας	[Wm ⁻²]
D_i	Διάχυτη μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία	[Wm ⁻²]
e_a	Τάση ατμών στη θερμοκρασία του αέρα	[hPa]
$e_{s,a}$	Τάση ατμών στο κορεσμό στη θερμοκρασία του αέρα	[hPa]
$e_{s,ex}$	Τάση ατμών στο κορεσμό στη θερμοκρασία εκπνοής	[hPa]
$e_{s,sk}$	Τάση ατμών στο κορεσμό στη θερμοκρασία του δέρματος	[hPa]
E	Τυρβώδης ανταλλαγή λανθάνουσας θερμότητας	[Wm ⁻²]
E_d	Ανταλλαγή θερμότητας μέσω διάχυσης των υδρατμών	[Wm ⁻²]
E_i	Μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία	[Wm ⁻²]
E_{pot}	Δυνητική απώλεια θερμότητας λόγω εξάτμισης	[Wm ⁻²]
E_{rel}	Λανθάνουσα απώλεια θερμότητας από την ύγρανση του εισπνεόμενου αέρα	[Wm ⁻²]
E_{rel}^*	Λανθάνουσα απώλεια θερμότητας από την ύγρανση του εισπνεόμενου αέρα	[W]
E_{res}	Ξηρή απώλεια θερμότητας από την αναπνοή	[Wm ⁻²]
E_{res}^*	Ξηρή απώλεια θερμότητας από την αναπνοή	[W]
E_{sw}	Ανταλλαγή θερμότητας μέσω εξάτμισης του ιδρώτα	[Wm ⁻²]
f	Σχετική υγρασία	[%]
f_p	Συντελεστής προβολικής επιφάνειας	[αδιάστατο]
f_{svf}	Συντελεστής θέασης του ουρανού	[αδιάστατο]
F_i	Κλάσμα στερεάς γωνίας	[αδιάστατο]
GSR	Γαλβανική αντίδραση δέρματος	[μS]

h	Ύψος ανθρώπου	[cm]
h_c	Συντελεστής μετάδοσης της θερμότητας από μεταφορά και ακτινοβολία	[Wm ⁻² K ⁻¹]
h'_c	Συντελεστής μετάδοσης της θερμότητας μέσω του ρουχισμού	[Wm ⁻² K ⁻¹]
h_e	Συντελεστής μετάδοσης της θερμότητας μέσω εξάτμισης	[Wm ⁻² hPa ⁻¹]
h_k	Αγώγιμος αριθμός διάδοσης θερμότητας από την επιφάνεια του σώματος έως το στερεό σώμα	[Wm ⁻² K ⁻¹]
h_{Sl}	Ύψος ηλίου	[°]
H	Εσωτερική παραγωγή θερμότητας	[Wm ⁻²]
HF	Ροή θερμότητας	[Wm ⁻²]
HL	Δείκτης Θερμικού Φορτίου (Heat Load index)	[αδιάστατο]
HR	Παλμοί της καρδιάς	[bpm]
HRo	Παλμοί της καρδιάς στην ανάπαυση	[bpm]
I^*	Ένταση ακτινοβολίας του ήλιου σε μια επιφάνεια κάθετη στη κατεύθυνση της ακτινοβολίας	[Wm ⁻²]
I_{cl}	Αντίσταση ενδυμασίας	[clo]
I_e	Συντελεστής μείωσης της μετάδοσης θερμότητας από εξάτμιση λόγω του ρουχισμού	[αδιάστατο]
I_{rc}	Συντελεστής μείωσης της μετάδοσης θερμότητας από μεταφορά και ακτινοβολία λόγω του ρουχισμού	[αδιάστατο]
k_d	Ο λόγος της διάχυτης προς την ολική ηλιακή ακτινοβολία (diffuse fraction)	[αδιάστατο]
k_t	Δείκτης καθαρότητας του ουρανού (clearness index)	[αδιάστατο]
K_d	Ροή θερμότητας μέσω αγωγής	[Wm ⁻²]
K_d^*	Ροή θερμότητας μέσω αγωγής	[W]
K_{glob}	Ολική ηλιακή ακτινοβολία	[Wm ⁻²]
K_t	Δυναμικό πεδίο της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας κάτω από καθαρό ουρανό	[Wm ⁻²]
L	Ανταλλαγή θερμότητας μέσω μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία στον άνθρωπο	[Wm ⁻²]
L_a	Ανταλλαγή θερμότητας μέσω θερμικής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα	[Wm ⁻²]
L_g	Ανταλλαγή θερμότητας μέσω θερμικής ακτινοβολίας στο έδαφος	[Wm ⁻²]
L_s	Ανταλλαγή θερμότητας μέσω θερμικής ακτινοβολίας στον άνθρωπο	[Wm ⁻²]

m	Βάρος ανθρώπου	[kg]
M	Παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό	[Wm ⁻²]
M^*	Παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό	[W]
n	Αριθμός ισόθερμων επιφανειών	[αδιάστατο]
p	Ατμοσφαιρική πίεση	[hPa]
P	Ατμοσφαιρική πίεση	[mb]
Q	Ισοζύγιο ακτινοβολίας στον άνθρωπο	[Wm ⁻²]
r	Θερμότητα εξάτμισης του νερού	[kJ kg ⁻¹]
R	Απορροφούμενη ηλιακή ακτινοβολία στον άνθρωπο	[Wm ⁻²]
R_{es}	Απώλεια θερμότητας μέσω αναπνοής	[Wm ⁻²]
REE	Ενεργειακή δαπάνη στην ανάπαυση	[Wm ⁻²]
RM	Αύξηση των παλμών ανά μονάδα ρυθμού μεταβολισμού	[bpm]
RTM	Μάζα του αέρα που εισπνέεται	[kg s ⁻¹]
s	Συντελεστής εκπομπής για φυσικά αντικείμενα	[0.97, αδιάστατο]
s_h	Συντελεστής εκπομπής του ανθρώπινου σώματος	[0.95, αδιάστατο]
s_i	Συντελεστής εκπομπής επιφάνειας	[αδιάστατο]
sex	Συντελεστής φύλου	[αδιάστατο]
S	Καθαρή αποθηκευόμενη θερμότητα	[Wm ⁻²]
SVP_{Tex}	Τάση ατμών στο κορεσμό στη θερμοκρασία εκπνοής	[mb]
SW	Δείκτης Απώλειας Ύδατος (Water loss index)	[gh ⁻¹]
T_a	Θερμοκρασία αέρα	[°C]
T_a^*	Θερμοκρασία αέρα	[K]
$T_{arm}^{(1)}$	Θερμοκρασία δέρματος στο τρικέφαλο του δεξιού βραχίονα	[°C]
T_{ex}	Θερμοκρασία εκπνεόμενου αέρα	[°C]
T_g	Θερμοκρασία εδάφους	[°C]
T_i	Θερμοκρασία επιφάνειας	[K]
T_{mrt}	Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας	[°C]
T_{sk}	Μέση θερμοκρασία δέρματος	[°C]
T_{sk}^*	Μέση θερμοκρασία δέρματος	[K]
$T_{sk.exp}^{(1)}$	Μέση πειραματική θερμοκρασία δέρματος	[°C]
$T_{sk.th}^{(1)}$	Μέση θεωρητική θερμοκρασία δέρματος	[°C]
TEE	Συνολική ενεργειακή δαπάνη στον άνθρωπο	[Wm ⁻²]
v	Οριζόντια ταχύτητα ανέμου	[ms ⁻¹]
v'	Ταχύτητα κίνησης του ανθρώπου	[ms ⁻¹]
VP_a	Τάση ατμών στη θερμοκρασία του αέρα	[mb]
w	Αναλογία μείγματος	[αδιάστατο]

w_s	Αναλογία μείγματος στο κορεσμό	[αδιάστατο]
w_{sk}	Συντελεστής διαβροχής του δέρματος	[αδιάστατο]
W	Εξωτερικό μηχανικό έργο	[Wm ⁻²]
ΔT	Διαφορά θερμοκρασίας	[K]
ζ_i	Ζενιθιακή γωνία	[°]
η	Εξωτερική μηχανική ισχύς	[αδιάστατο]
σ	Σταθερά του Stefan-Boltzman	[5.667·10 ⁻⁸ Wm ⁻² K ⁻⁴]

⁽¹⁾ Οι συντελεστές m και f στη θερμοκρασία δέρματος στο τρικέφαλο του δεξιού βραχίονα (T_{arm}) και στη μέση πειραματική θερμοκρασία δέρματος ($T_{sk,exp}$) υποδεικνύουν τον άνδρα και τη γυναίκα της ομάδας μελέτης, αντίστοιχα, ενώ για τη μέση θεωρητική θερμοκρασία δέρματος ($T_{sk,th}$) υποδεικνύουν το μέσο άνδρα και τη μέση γυναίκα κατά ISO 8996 (2001).

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1. Θερμική αίσθηση και άνεση σε συνδυασμό με τη φυσιολογική ζώνη θερμικής επίδρασης και την αντίστοιχη επί της εκατό υγρότητα του δέρματος (πηγή: Epstein and Moran 2006). (σελ. 23)

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.2. Επιλεγμένοι εμπειρικοί δείκτες. (σελ. 25)

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.3. Επιλεγμένοι λογικοί δείκτες. (σελ. 26)

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.4. Επιλεγμένα μοντέλα θερμικής ισορροπίας. (σελ. 28)

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1. Ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά των ατόμων. (σελ. 39)

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2. Συμμετέχοντες ανά πειραματική διαδικασία. (σελ. 39)

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3. Επιλεγμένη αντίσταση ενδυμάτων για τις ομάδες μελέτης. (σελ. 40)

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4. Ανάλυση και ακρίβεια των αισθητήρων του SenseWear Pro II Armband. (σελ. 46)

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.5. Μετρούμενες μεταβλητές και τύπος αισθητήρων. (σελ. 53)

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1. Μέσος τύπος ανθρώπου κατά την εκτίμηση της παραγωγής θερμότητας από το μεταβολισμό κατά ISO 8996 (2001). (σελ. 58)

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. Παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό ανά συγκεκριμένη δραστηριότητα κατά ISO 8996 (2001). (σελ. 59)

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3. Ταξινόμηση του δείκτη Θερμικού Φορτίου (HL) ως προς τη θερμική επιβάρυνση. (σελ. 70)

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.4. Μετεωρολογικές παράμετροι κατά την πειραματική διαδικασία από 23 έως 25 Ιουλίου 2007. (σελ. 74)

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1. Ταξινόμηση του δείκτη SW ανά δραστηριότητα και βαθμό εγκλιματισμού. (σελ. 99)

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2. Ο όρος diffuse fraction (k_d) για κάθε φάση κάθε πειραματική ημέρα. (σελ. 101)

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.3. Μέση τιμή και τυπική απόκλιση για κάθε μετεωρολογική παράμετρο κατά την πειραματική διαδικασία κάθε πειραματική ημέρα. (σελ. 104)

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.4. Μέση τιμή και τυπική απόκλιση του δείκτη Απώλειας Ύδατος (SW) ανά άτομο σε κάθε φάση κάθε πειραματική ημέρα. Η έντονη γραφή υποδεικνύει υπέρβαση του ορίου επικινδυνότητας και η πλάγια υπέρβαση του ορίου προειδοποίησης για εγκλιματισμένους οργανισμούς. (σελ. 141)

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1. Ο όρος diffuse fraction (k_d) για κάθε φάση κάθε πειραματική ημέρα. (σελ. 150)

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2. Μέση τιμή και τυπική απόκλιση για κάθε μετεωρολογική παράμετρο κατά την πειραματική διαδικασία κάθε πειραματική ημέρα. (σελ. 152)

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.3. Ανά βήμα γραμμική παλινδρόμηση της μέσης θερμοκρασίας δέρματος (T_{sk}) με διάφορες μετεωρολογικές παραμέτρους κατά τη διάρκεια κάθε φάσης για το σύνολο της πειραματικής περιόδου (* μη στατιστικά σημαντική στη στάθμη σημαντικότητας 0.05). (σελ. 163)

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.4. Ανά βήμα γραμμική παλινδρόμηση της ροής θερμότητας (HF) με διάφορες μετεωρολογικές παραμέτρους και τη μέση θερμοκρασία δέρματος κατά τη διάρκεια κάθε φάσης για το σύνολο της πειραματικής περιόδου (* μη στατιστικά σημαντική στη στάθμη σημαντικότητας 0.05). (σελ. 168)

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.5. Ανά βήμα γραμμική παλινδρόμηση της γαλβανικής αντίδρασης του δέρματος (GSR) με διάφορες μετεωρολογικές και θερμοφυσιολογικές παραμέτρους κατά τη διάρκεια κάθε φάσης για το σύνολο της πειραματικής περιόδου (* μη στατιστικά σημαντική στη στάθμη σημαντικότητας 0.05). (σελ. 172)

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.6. Μέση τιμή και τυπική απόκλιση του δείκτη Απώλειας Ύδατος (SW) ανά άτομο σε κάθε φάση κάθε πειραματική ημέρα. Η έντονη γραφή υποδεικνύει υπέρβαση του ορίου επικινδυνότητας και η πλάγια υπέρβαση του ορίου προειδοποίησης για εγκλιματισμένους οργανισμούς. (σελ. 196)

ΠΙΝΑΚΑΣ 7.1. Ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά των ατόμων. (σελ. 205)

ΠΙΝΑΚΑΣ 7.2. Επίπεδα τιμών του ρυθμού μεταβολισμού σε φιλτραρισμένο αέρα (FA) και όζον (O_3). (σελ. 212)

ΠΙΝΑΚΑΣ 7.3. Επίπεδα τιμών της λανθάνουσας απώλειας θερμότητας από την αναπνοή σε φιλτραρισμένο αέρα (FA) και όζον (O_3). (σελ. 216)

ΠΙΝΑΚΑΣ 7.4. Επίπεδα τιμών της ξηρής απώλειας θερμότητας από την αναπνοή σε φιλτραρισμένο αέρα (FA) και όζον (O_3). (σελ. 219)

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

ΣΧΗΜΑ 2.1. Διαγραμματική απεικόνιση της αλληλεπίδρασης μεταξύ του εξωτερικού περιβάλλοντος και της διατήρησης της ομοιόστασης στον άνθρωπο (πηγή: Yousef 1987). (σελ. 19)

ΣΧΗΜΑ 2.2. Κατανομή των θερμοκρασιών στο ανθρώπινο σώμα κατά τη διάρκεια έκθεσης σε α) ψυχρό και β) θερμό περιβάλλον (πηγή: Wenger 2002). (σελ. 20)

ΣΧΗΜΑ 2.3. Ποσοστιαία συχνότητα κατανομής της θερμικής αίσθησης μέσω του δείκτη Predicted Mean Vote (*PMV*) και της θερμικής αίσθησης των ερωτώμενων (*ASV*) (πηγή: Thorsson et al. 2004). (σελ. 31)

ΣΧΗΜΑ 2.4. Ποσοστιαία συχνότητα κατανομής της θερμικής αντίληψης των ερωτώμενων και ο δείκτης Physiological Equivalent Temperature (*PET*) α) σε μια πλατεία και β) σε ένα αστικό πάρκο της πόλης Matsudo της Ιαπωνίας (πηγή: Thorsson et al. 2007b). (σελ. 32)

ΣΧΗΜΑ 2.5. Χρονική εξέλιξη της θερμοκρασίας του πυρήνα του σώματος και της μέσης θερμοκρασίας του δέρματος μετά την είσοδο α) σε ένα θερμό περιβάλλον ($T_a=30^{\circ}\text{C}$, $T_{mrt}=60^{\circ}\text{C}$, $VP_a=15\text{hPa}$, $v=0.5\text{ms}^{-1}$) από θερμικά ουδέτερες συνθήκες, β) σε ένα ψυχρό περιβάλλον ($T_a=T_{mrt}=0^{\circ}\text{C}$, $VP_a=5\text{hPa}$, $v=1\text{ms}^{-1}$) από θερμικά ουδέτερες συνθήκες και γ) σε ένα θερμό περιβάλλον ($T_a=30^{\circ}\text{C}$, $T_{mrt}=60^{\circ}\text{C}$, $VP_a=5\text{hPa}$, $v=1\text{ms}^{-1}$) εκτεθειμένος στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία προερχόμενος από σκιερό μέρος ($T_{mrt}=25^{\circ}\text{C}$) (πηγή: Höppe 2002). (σελ. 34)

ΣΧΗΜΑ 3.1. Πρόγνωση του SKIRON για τη θερμοκρασία του αέρα στις 1200 UTC το χρονικό διάστημα από 19 έως 25 Ιουλίου 2007. (σελ. 37)

ΣΧΗΜΑ 3.2. Τμήμα της Πανεπιστημιούπολης του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, όπου εντοπίζεται το πειραματικό πεδίο. (σελ. 38)

ΣΧΗΜΑ 3.3. Η προκαθορισμένη και ελεγχόμενη κυκλική διαδρομή, με το σημείο έναρξης Α. (σελ. 42)

ΣΧΗΜΑ 3.4. Μεταβολή υψομέτρου και κλίσης κατά μήκος της διαδρομής. (σελ. 42)

ΣΧΗΜΑ 3.5. Η προκαθορισμένη και ελεγχόμενη κυκλική διαδρομή, με το σημείο έναρξης Β. (σελ. 43)

ΣΧΗΜΑ 3.6. Πανοραμική άποψη του σημείου Β. (σελ. 44)

ΣΧΗΜΑ 3.7. Το όργανο πολλαπλών αισθητήρων SenseWear Pro II Armband. (σελ. 45)

ΣΧΗΜΑ 3.8. Ανάκτηση δεδομένων μέσω USB καλωδίου ή ασύρματου δέκτη. (σελ. 46)

ΣΧΗΜΑ 3.9. Εισαγωγή ανθρωπομετρικών χαρακτηριστικών και παραμέτρων του οργάνου. (σελ. 47)

ΣΧΗΜΑ 3.10. Εκτέλεση αλγορίθμων και ανάλυση δεδομένων. (σελ. 47)

ΣΧΗΜΑ 3.11. Όργανα Μετεωρολογικού Σταθμού Πανεπιστημίου Αθηνών α) Θερμόμετρο T351, β) Θερμόμετρο πλατίνας PT 100, γ) Υγρόμετρο MP100A, δ) Ανεμόμετρο A100L2, ε)

Αναλογικό βαρόμετρο PTB101B, ζ) Πυρανόμετρο CM3, η) Ραδιόμετρο CUV3 και θ) Πυργεόμετρο CG1. (σελ. 49)

ΣΧΗΜΑ 3.12. Όργανα Κινητού Μετεωρολογικού Σταθμού α) Θερμουγρόμετρο S3C03 και β) Ανεμόμετρο C3. (σελ. 50)

ΣΧΗΜΑ 3.13. Καταχωρητής δεδομένων (Data Logger) α) CR10X και β) CR200. (σελ. 51)

ΣΧΗΜΑ 4.1. Σχέση μεταξύ των φυσιολογικών και μετεωρολογικών παραμέτρων στο Man-ENvironment heat EXchange model (MENEX) (πηγή: Błażejczyk 2001). (σελ. 57)

ΣΧΗΜΑ 4.2. Η θερμοκρασία δέρματος στο τρικέφαλο του δεξιού βραχίονα για τον άνδρα (Sub1, $T_{arm,m}$) και τη γυναίκα (Sub2, $T_{arm,f}$) κατά τη διάρκεια α) παραμονής στον εσωτερικά κλιματιζόμενο χώρο και β) της διαδρομής. (σελ. 75)

ΣΧΗΜΑ 4.3. Η θερμοκρασία δέρματος στο τρικέφαλο του δεξιού βραχίονα (T_{arm}), η μέση πειραματική ($T_{sk,exp}$) και η μέση θεωρητική θερμοκρασία δέρματος ($T_{sk,th}$) για κάθε ομάδα μελέτης κατά τη διάρκεια της διαδρομής. (σελ. 76)

ΣΧΗΜΑ 4.4. Η παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό για τον άνδρα (Sub1, M_m) και τη γυναίκα (Sub2, M_f) κατά τη διάρκεια α) παραμονής στον εσωτερικά κλιματιζόμενο χώρο και β) της διαδρομής. (σελ. 78)

ΣΧΗΜΑ 4.5. Η ροή θερμότητας για τον άνδρα (Sub1, HF_m) και τη γυναίκα (Sub2, HF_f) κατά τη διάρκεια α) παραμονής στον εσωτερικά κλιματιζόμενο χώρο και β) της διαδρομής. (σελ. 80)

ΣΧΗΜΑ 4.6. Η γαλβανική αντίδραση του δέρματος για τον άνδρα (Sub1, GSR_m) και τη γυναίκα (Sub2, GSR_f) κατά τη διάρκεια α) παραμονής στον εσωτερικά κλιματιζόμενο χώρο και β) της διαδρομής. (σελ. 82)

ΣΧΗΜΑ 4.7. Η τυρβώδης ανταλλαγή αισθητής θερμότητας βάσει της θεωρητικής ($C_{m,th}$, $C_{f,th}$) και της πειραματικής ($C_{m,exp}$, $C_{f,exp}$) προσέγγισης για κάθε ομάδα μελέτης κατά μήκος της διαδρομής. (σελ. 84)

ΣΧΗΜΑ 4.8. Η απώλεια θερμότητας μέσω αναπνοής βάσει της θεωρητικής ($R_{es,m,th}$, $R_{es,f,th}$) και της πειραματικής ($R_{es,m,exp}$, $R_{es,f,exp}$) προσέγγισης για κάθε ομάδα μελέτης κατά μήκος της διαδρομής. (σελ. 85)

ΣΧΗΜΑ 4.9. Η ροή μέσω της μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία βάσει της θεωρητικής ($L_{m,th}$, $L_{f,th}$) και της πειραματικής ($L_{m,exp}$, $L_{f,exp}$) προσέγγισης για κάθε ομάδα μελέτης κατά μήκος της διαδρομής. (σελ. 86)

ΣΧΗΜΑ 4.10. Η απορροφούμενη ηλιακή ακτινοβολία βάσει της θεωρητικής ($R_{m,th}$, $R_{f,th}$) και της πειραματικής ($R_{m,exp}$, $R_{f,exp}$) προσέγγισης για κάθε ομάδα μελέτης κατά μήκος της διαδρομής. (σελ. 87)

ΣΧΗΜΑ 4.11. Η τυρβώδης ανταλλαγή λανθάνουσας θερμότητας βάσει της θεωρητικής ($E_{m,th}$, $E_{f,th}$) και της πειραματικής ($E_{m,exp}$, $E_{f,exp}$) προσέγγισης για κάθε ομάδα μελέτης κατά μήκος της διαδρομής. (σελ. 88)

ΣΧΗΜΑ 4.12. Η καθαρή αποθηκευόμενη θερμότητα βάσει της θεωρητικής ($S_{m,th}$, $S_{f,th}$) και της πειραματικής ($S_{m,exp}$, $S_{f,exp}$) προσέγγισης για κάθε ομάδα μελέτης κατά μήκος της διαδρομής. (σελ. 90)

ΣΧΗΜΑ 4.13. Ο δείκτης Θερμικού Φορτίου βάσει της θεωρητικής ($HL_{m,th}$, $HL_{f,th}$) και της πειραματικής ($HL_{m,exp}$, $HL_{f,exp}$) προσέγγισης για κάθε ομάδα μελέτης κατά μήκος της διαδρομής. (σελ. 91)

ΣΧΗΜΑ 5.1. Ο τοπογραφικός χάρτης που εισήχθη στο μοντέλο Rayman κατά την 1^η και 3^η φάση της πειραματικής διαδικασίας. (σελ. 101)

ΣΧΗΜΑ 5.2. Ο τοπογραφικός χάρτης που εισήχθη στο μοντέλο Rayman για δυο από τα σημεία της διαδρομής κατά την 2^η φάση της πειραματικής διαδικασίας. (σελ. 102)

ΣΧΗΜΑ 5.3. Η ανά λεπτό χρονική εξέλιξη της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας (T_{mrt} , °C) σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας κάθε πειραματική ημέρα. (σελ. 105)

ΣΧΗΜΑ 5.4. Η θερμοκρασία δέρματος στο τρικέφαλο του δεξιού βραχίονα (T_{arm}) για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας για τις α) 15/7, β) 18/7, γ) 21/7, δ) 22/7 και ε) 23/7. (σελ. 107)

ΣΧΗΜΑ 5.5. Η μέση θερμοκρασία δέρματος (T_{sk}) για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας για τις α) 15/7, β) 18/7, γ) 21/7, δ) 22/7 και ε) 23/7. (σελ. 110)

ΣΧΗΜΑ 5.6. Η παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό (M) για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας για τις α) 15/7, β) 18/7, γ) 21/7, δ) 22/7 και ε) 23/7. (σελ. 112)

ΣΧΗΜΑ 5.7. Η ροή θερμότητας (HF) για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας για τις α) 15/7, β) 18/7, γ) 21/7, δ) 22/7 και ε) 23/7. (σελ. 114)

ΣΧΗΜΑ 5.8. Η γαλβανική αντίδραση του δέρματος (GSR) για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας για τις α) 15/7, β) 18/7, γ) 21/7, δ) 22/7 και ε) 23/7. (σελ. 116)

ΣΧΗΜΑ 5.9. Η τυρβώδης ανταλλαγή αισθητής θερμότητας (C) για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας για τις α) 15/7, β) 18/7, γ) 21/7, δ) 22/7 και ε) 23/7. (σελ. 119)

ΣΧΗΜΑ 5.10. Η απώλεια θερμότητας μέσω αναπνοής (R_{es}) για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας για τις α) 15/7, β) 18/7, γ) 21/7, δ) 22/7 και ε) 23/7. (σελ. 122)

ΣΧΗΜΑ 5.11. Το ισοζύγιο ακτινοβολίας (Q) για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας για τις α) 15/7, β) 18/7, γ) 21/7, δ) 22/7 και ε) 23/7. (σελ. 124)

ΣΧΗΜΑ 5.12. Η τυρβώδης ανταλλαγή λανθάνουσας θερμότητας (E) για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας για τις α) 15/7, β) 18/7, γ) 21/7, δ) 22/7 και ε) 23/7. (σελ. 128)

ΣΧΗΜΑ 5.13. Η καθαρή αποθηκευόμενη θερμότητα (S) για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας για τις α) 15/7, β) 18/7, γ) 21/7, δ) 22/7 και ε) 23/7. (σελ. 132)

ΣΧΗΜΑ 5.14. Ο δείκτης Θερμικού Φορτίου (HL) για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας για τις α) 15/7, β) 18/7, γ) 21/7, δ) 22/7 και ε) 23/7. (σελ. 136)

ΣΧΗΜΑ 5.15. Η επί της εκατό συχνότητα κατανομής της θερμικής επιβάρυνσης του δείκτη Θερμικού Φορτίου (HL) για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας για τις α) 15/7, β) 18/7, γ) 21/7, δ) 22/7 και ε) 23/7. (σελ. 138)

ΣΧΗΜΑ 6.1. Η ανά λεπτό χρονική εξέλιξη της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας (T_{mrt} , °C) σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας κάθε πειραματική ημέρα. (σελ. 153)

ΣΧΗΜΑ 6.2. Η θερμοκρασία δέρματος στο τρικέφαλο του δεξιού βραχίονα (T_{arm}) για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας για τις α) 16/7, β) 17/7, γ) 24/7, δ) 25/7 και ε) 28/7. (σελ. 156)

ΣΧΗΜΑ 6.3. Η μέση θερμοκρασία δέρματος (T_{sk}) για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας για τις α) 16/7, β) 17/7, γ) 24/7, δ) 25/7 και ε) 28/7. (σελ. 159)

ΣΧΗΜΑ 6.4. Διασπορά των μέσων τιμών της μέσης θερμοκρασίας δέρματος (T_{sk}) σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία του αέρα (T_a) κατά τη διάρκεια της 1^{ης} φάσης για το σύνολο της πειραματικής περιόδου. (σελ. 161)

ΣΧΗΜΑ 6.5. Διασπορά των μέσων τιμών της μέσης θερμοκρασίας δέρματος (T_{sk}) σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία του αέρα (T_a) κατά τη διάρκεια της 2^{ης} φάσης για το σύνολο της πειραματικής περιόδου. (σελ. 161)

ΣΧΗΜΑ 6.6. Διασπορά των μέσων τιμών της μέσης θερμοκρασίας δέρματος (T_{sk}) σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία του αέρα (T_a) κατά τη διάρκεια της 3^{ης} φάσης για το σύνολο της πειραματικής περιόδου. (σελ. 162)

ΣΧΗΜΑ 6.7. Διασπορά των μέσων τιμών της μέσης θερμοκρασίας δέρματος (T_{sk}) σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία του αέρα (T_a) κατά τη διάρκεια ολόκληρης της πειραματικής διαδικασίας για το σύνολο της πειραματικής περιόδου. (σελ. 162)

ΣΧΗΜΑ 6.8. Η παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό (M) για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας για τις α) 16/7, β) 17/7, γ) 24/7, δ) 25/7 και ε) 28/7. (σελ. 165)

ΣΧΗΜΑ 6.9. Η ροή θερμότητας (HF) για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας για τις α) 16/7, β) 17/7, γ) 24/7, δ) 25/7 και ε) 28/7. (σελ. 167)

ΣΧΗΜΑ 6.10. Η γαλβανική αντίδραση του δέρματος (GSR) για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας για τις α) 16/7, β) 17/7, γ) 24/7, δ) 25/7 και ε) 28/7. (σελ. 170)

ΣΧΗΜΑ 6.11. Η τυρβώδης ανταλλαγή αισθητής θερμότητας (C) για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας για τις α) 16/7, β) 17/7, γ) 24/7, δ) 25/7 και ε) 28/7. (σελ. 175)

ΣΧΗΜΑ 6.12. Η απώλεια θερμότητας μέσω αναπνοής (R_{es}) για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας για τις α) 16/7, β) 17/7, γ) 24/7, δ) 25/7 και ε) 28/7. (σελ. 177)

ΣΧΗΜΑ 6.13. Το ισοζύγιο ακτινοβολίας (Q) για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας για τις α) 16/7, β) 17/7, γ) 24/7, δ) 25/7 και ε) 28/7. (σελ. 179)

ΣΧΗΜΑ 6.14. Η τυρβώδης ανταλλαγή λανθάνουσας θερμότητας (E) για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας για τις α) 16/7, β) 17/7, γ) 24/7, δ) 25/7 και ε) 28/7. (σελ. 181)

ΣΧΗΜΑ 6.15. Η καθαρή αποθηκευόμενη θερμότητα (S) για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας για τις α) 16/7, β) 17/7, γ) 24/7, δ) 25/7 και ε) 28/7. (σελ. 185)

ΣΧΗΜΑ 6.16. Ο δείκτης Θερμικού Φορτίου (HL) για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας για τις α) 16/7, β) 17/7, γ) 24/7, δ) 25/7 και ε) 28/7. (σελ. 188)

ΣΧΗΜΑ 6.17. Η επί της εκατό συχνότητα κατανομής της θερμικής επιβάρυνσης του δείκτη Θερμικού Φορτίου (HL) για κάθε άτομο της ομάδας μελέτης σε κάθε φάση της πειραματικής διαδικασίας για τις α) 16/7, β) 17/7, γ) 24/7, δ) 25/7 και ε) 28/7. (σελ. 190)

ΣΧΗΜΑ 6.18. Μέση θερμική επιβάρυνση (0 - άνεση, 1 - ήπια θερμή επιβάρυνση, 2 - μεγάλη θερμή επιβάρυνση, 3 - έντονη θερμή επιβάρυνση) και μέση τιμή της μέσης θερμοκρασίας δέρματος (T_{sk}) για την ομάδα μελέτης από τις υψηλότερες προς τις χαμηλότερες θερμοκρασίες αέρα (T_a) ολόκληρης της πειραματικής περιόδου. (σελ. 194-195)

ΣΧΗΜΑ 7.1. Ποσοστιαία μεταβολή του ρυθμού μεταβολισμού (M) για δυο ομάδες εθελοντών κατά τη διάρκεια 3ωρης έκθεσης σε φιλτραρισμένο αέρα (FA) και όζον (O_3), στην ανάπαυση και σε άσκηση. (σελ. 213)

ΣΧΗΜΑ 7.2. Συχνότητα, εύρος και σφάλμα τιμών της παραγωγής θερμότητας από το μεταβολισμό για την ομάδα των υγιών ατόμων α) σε ανάπαυση και β) σε άσκηση. (σελ. 214)

ΣΧΗΜΑ 7.3. Συχνότητα, εύρος και σφάλμα τιμών της παραγωγής θερμότητας από το μεταβολισμό για την ομάδα των υπερτασικών ατόμων α) σε ανάπαυση και β) σε άσκηση. (σελ. 214)

ΣΧΗΜΑ 7.4. Ποσοστιαία μεταβολή της απώλειας θερμότητας από την ύγρανση του εισπνεόμενου αέρα (E_{rel}) για δυο ομάδες εθελοντών κατά τη διάρκεια 3ωρης έκθεσης σε φιλτραρισμένο αέρα (FA) και όζον (O_3), στην ανάπαυση και σε άσκηση. (σελ. 217)

ΣΧΗΜΑ 7.5. Συχνότητα, εύρος και σφάλμα τιμών της λανθάνουσας απώλειας θερμότητας από την αναπνοή για την ομάδα των υγιών ατόμων α) σε ανάπαυση και β) σε άσκηση. (σελ. 218)

ΣΧΗΜΑ 7.6. Συχνότητα, εύρος και σφάλμα τιμών της λανθάνουσας απώλειας θερμότητας από την αναπνοή για την ομάδα των υπερτασικών ατόμων α) σε ανάπαυση και β) σε άσκηση. (σελ. 218)

ΣΧΗΜΑ 7.7. Ποσοστιαία μεταβολή της ξηρής απώλειας θερμότητας από την αναπνοή (E_{res}) για δυο ομάδες εθελοντών κατά τη διάρκεια 3ωρης έκθεσης σε φιλτραρισμένο αέρα (FA) και όζον (O_3), στην ανάπαυση και σε άσκηση. (σελ. 220)

ΣΧΗΜΑ 7.8. Συχνότητα, εύρος και σφάλμα τιμών της ξηρής απώλειας θερμότητας από την αναπνοή για την ομάδα των υγιών ατόμων α) σε ανάπαυση και β) σε άσκηση. (σελ. 221)

ΣΧΗΜΑ 7.9. Συχνότητα, εύρος και σφάλμα τιμών της λανθάνουσας απώλειας θερμότητας από την αναπνοή για την ομάδα των υπερτασικών ατόμων α) σε ανάπαυση και β) σε άσκηση. (σελ. 221)

BIBLIOGRAFIA

1. ACGIH, 2004: "TLVs and BELs. Threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices". ACGIH Signature Publications, Cincinnati, pp. 168-176.
2. Ali-Toudert F. and H. Mayer, 2007: "Thermal comfort in an east-west oriented street canyon in Freiburg (Germany) under hot summer conditions". *Theor. Appl. Climatol.*, **87**, 223-237.
3. Andrade H. and M.J. Alcoforado, 2008: "Microclimatic variation of thermal comfort in a district of Lisbon (Telheiras) at night". *Theor. Appl. Climatol.*, **92**, 225-237.
4. Arnfield J.A., 2003: "Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island". *Int. J. Climatol.*, **23**, 1-26.
5. ASHRAE, 1997: Handbook of Fundamentals: Physiological Principles, Comfort, Health. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. New York.
6. ASHRAE, 2001: "Physiological Principles and Thermal Comfort". In: Handbook of Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, pp. 8.1-29.
7. Bain A.R., Deren T.M. and O. Jay, 2011: "Describing individual variation in local sweating during exercise in a temperate environment". *Eur. J. Appl. Physiol.*, doi: 10.1007/s00421-010-1788-9.
8. Bassett D.R., Vachon J.A., Kirkland A.O., Howley E.T., Duncan G.E. and K.R. Johnson, 1997: "Energy cost of stair climbing and descending on the college alumnus questionnaire". *Med. Sci. Sports Exerc.*, **29**, 1250-1254.
9. Belding H.S. and T.F. Hatch, 1955: "Index for evaluating heat stress in terms of resulting physiological strain". *Heat Pip. Air Cond.*, **27**, 129-136.
10. Błażejczyk K., Nilsson H. and I. Holmer, 1993: "Solar heat load on man". *Int. J. Biometeorol.*, **37**, 125-132.
11. Błażejczyk K., 1994: "New climatological-and-physiological model of the human heat balance outdoor (MENEX) and its applications in bioclimatological studies in different scales". In: Błażejczyk K., Krawczyk B. (Eds), Bioclimatic research of the human heat balance, Zestyty IGiPZ PAN, pp. 27-58.

12. Błażejczyk K., 1999: "Influence of solar radiation on skin temperature in standing and walking subjects outdoors". In: Hodgdon J.A., Heaney J.H., Buono M.J. (Eds), Environmental ergonomics VIII, Int. Series on Environmental Ergonomics, vol. 1, Naval Health Research Center, San Diego State University, pp. 57-60.
13. Błażejczyk K., Tokura H., Bortkiewicz A., Kato M. and W. Szymczak, 1999: "Thermoregulatory and circulatory reactions in subjects exposed to the sun and wearing white and black clothing". In: Hodgdon J.A., Heaney J.H., Buono M.J. (Eds), Environmental ergonomics VIII, Int. Series on Environmental Ergonomics, vol. 1, Naval Health Research Center, San Diego State University, pp. 177-181.
14. Błażejczyk K., Tokura H., Bortkiewicz A. and W. Szymczak, 2000: "Solar radiation and thermal physiology in man". In: de Dear R.J., Kalma J.D., Oke T.R., Auliciems A. (Eds), Biometeorology and urban climatology at the turn of millennium, ICB-ICUC, WMO/TD No. 1026, pp. 267-271.
15. Błażejczyk K., 2000: "Absorption of solar radiation by man". In: Werner J., Hexamer M. (Eds), Environmental ergonomics IX, ICEE Ruhr, Medical Faculty, Ruhr-University Bochum, Germany, Aachen, Shaker Verlag, pp. 43-46.
16. Błażejczyk K., 2001: "Assessment of recreational potential of bioclimate based on the human heat balance". In: Matzarakis A., de Freitas C.R. (Eds), Proceedings of the first International Workshop on climate, tourism and recreation, International Society of Biometeorology, Commission on Climate Tourism and Recreation, pp. 133-152.
17. Błażejczyk K., 2004: "Radiation balance in man in various meteorological and geographical conditions". *Geographia Polonica*, **77(1)**, 63-76.
18. Błażejczyk K., 2005: "New Indices to Assess Thermal Risk Outdoors". In: Holmér I., Kuklane K., Gao Ch. (Eds), Environmental Ergonomics XI, Proceedings of the 11th International Conference, pp. 222-225.
19. Błażejczyk K., 2006: MENEX_2005-the revised version of Man-Environment Heat Exchange Model. <http://www.igipz.pan.pl/geoekoklimat/blaz/menex>.
20. Błażejczyk K. and A. Matzarakis, 2007: "Assessment of bioclimatic differentiation of Poland based on the human heat balance". *Geographia Polonica*, **80(1)**, 63-82.
21. BodyMedia Inc., 2006: "The development of the SenseWear armband, a revolutionary energy assessment device to assess physical activity and lifestyle". Pittsburgh, PA., pp. 19.
22. Bolton D., 1980: "The Computation of Equivalent Potential Temperature". *Mon. Wea. Rev.*, **108**, 1046-1053.

23. Brager G.S. and R.J. de Dear, 1998: "Thermal adaptation in the built environment: a literature review". *Energy Build.*, **27**, 83-96.
24. Bröde P., Fiala D., Błażejczyk K., Epstein Y., Holmér I., Jendritzky G., Kampmann B., Richards M., Rintamäki H., Shitzer A. and G. Havenith, 2009: "Calculating UTCI Equivalent Temperature". In: Castellani J.W., Endrusick T.L. (Eds), *Proceedings of the 13th International Conference on Environmental Ergonomics*, USARIEM, Natick, MA, pp. 5.
25. Brook R.D., Brook J.R., Urch B., Vincent R., Rajagopalan S. and F. Silverman, 2002: "Inhalation of fine particulate air pollution and ozone causes acute arterial vasoconstriction in healthy adults". *Circulation*, **105(13)**, 1534-1536.
26. Brown R. and T. Gillespie, 1986: "Estimating outdoor thermal comfort using a cylindrical radiation thermo-meter and an energy budget model". *Int. J. Biometeorol.*, **30(1)**, 43-52.
27. Brown R. and T. Gillespie, 1995: "Microclimatic landscape design". John Wiley and Sons, Inc., New York.
28. Brunekreef B. and S.T. Holgate, 2002: "Air pollution and health". *Lancet*, **360**, 1233-1242.
29. Büttner K., 1932: "Physikalisches zum Wärmehaushalt des Menschen". *Klin. Wochenschr.*, **36**, 1508-1509.
30. Büttner K., 1938: "Physikalische Bioklimatologie". Akademische Verlagsgesellschaft Leipzig.
31. Charalampopoulos I. and A. Chronopoulou-Sereli, 2005: "Mapping the urban green area influence on local climate under windless and light wind conditions. the case of western part of Athens, Greece". *Acta Climatologica et Chorologica, Universitatis Szegediensis*, **38-39**, 25-31.
32. Clark R.P. and O.G. Edholm, 1985: "Man and his thermal environment". Arnold, London.
33. De Feo P., Di Loreto C., Ranchelli A., Fatone C., Miccio M., Gambelunghe G. and P. Lucidi, 2006: "Alternative indicators of metabolic control". *Diabetes Res. Clin. Pract.*, **74**, S72-S76.
34. de Freitas C.R., 1985: "Assessment of human bioclimate based on thermal response". *Int. J. Biometeorol.*, **29**, 97-119.

35. Driscoll D., 1985: "Human health". In: Houghton D. (Ed), Handbook of applied meteorology. Wiley, New York, pp. 778–814.
36. DuBois D. and E. DuBois, 1916: "A formula to estimate the approximate surface area if height and weight be known". *Arch. Int. Med.*, **17**, 863-871.
37. Dufton A.F., 1929: "The eupatheostat". *J. Sci. Instrum.*, **6**, 249-251.
38. Epstein Y. and D.S. Moran, 2006: "Thermal comfort and the heat stress indices". *Ind. Health*, **44**, 388-398.
39. Fanger P.O., 1972: "Thermal comfort". McGraw Hill, New York, pp. 244.
40. Fergus N., 2003: "Thermal comfort". In: Santamouris M. (Ed), Solar thermal technologies for buildings. The state of the art, James & James, London.
41. Fiala D., Lomas K.J. and M. Stohrer, 2001: "Computer prediction of human thermoregulatory and temperature responses to a wide range of environmental conditions". *Int. J. Biometeorol.*, **45**, 143-159.
42. Gagge A.P., Stolwijk J.A.J. and Y. Nishi, 1971: "An effective temperature scale based on a simple model of human physiological regulatory response". *ASHRAE Trans.*, **77**, 247-257.
43. Gagge A.P., Fobelets A.P. and L.G. Berglund, 1986: "A standard predictive index of human response to the thermal environment". *ASHRAE Trans.*, **92**, 709-731.
44. Gagnon D., Jay O., Lemire B. and G.P. Kenny, 2008: "Sex-related differences in evaporative heat loss: the importance of metabolic heat production". *Eur. J. Appl. Physiol.*, **104**, 821-829.
45. Gaitani N., Mihalakakou G. and M. Santamouris, 2007: "On the use of bioclimatic architecture principles in order to improve thermal comfort conditions in outdoor spaces". *Build. Environ.*, **42**, 317–324.
46. Givoni B., 1976: "Man, Climate and Architecture". Applied Science Publishers, New York, pp. 483.
47. Gong H., Wong R., Sarma R., Linn W., Sullivan E., Shamoo D., Anderson K. and S. Prasad, 1998: "Cardiovascular effects of ozone exposure in human volunteers". *Am. J. Respir. Crit. Care Med.*, **158**, 538-546.
48. Gong H., Linn W., Sioutas K., Terrell S., Clark K., Anderson K. and L. Terrell, 2003: "Controlled exposures of healthy and asthmatic volunteers to concentrated ambient fine particles in Los Angeles". *Inhal. Toxicol.*, **15**, 305-325.

49. Grass D. and M. Cane, 2008: "The effects of weather and air pollution on cardiovascular and respiratory mortality in Santiago, Chile, during the winters of 1988-1996". *Int. J. Climatol.*, **28**, 1113-1126.
50. Grundstein A., Dowd J. and V. Meentemeyer, 2010: "Quantifying the heat-related hazard for children in motor vehicles". *B. Am. Meteorol. Soc.*, **91**, 1183-1191.
51. Gryparis A., Forsberg B., Katsouyanni K., Analitis A., Touloumi G., Schwartz J., Samoli E., Medina S., Anderson H.R., Niciou E.M., Wichmann H.E., Kriz B., Kosnik M., Skorkovsky J., Vonk J.M. and Z. Dörtbudak, 2004: "Acute effects of ozone on mortality from the 'Air pollution and health: A European approach' project". *Am. J. Respir. Crit. Care Med.*, **170**, 1080-1087.
52. Haldane J.S., 1905: "The influence of high air temperature". *J. Hyg.*, **5**, 494-513.
53. Hardy J.D. and E.F. DuBois, 1938: "Basal metabolism, radiation, convection and vaporization at temperatures of 22 to 35 °C". *J. Nutr.*, **15**, 477-497.
54. Harris J. and F. Benedict, 1919: "A biometric study of basal metabolism in man". Publication No 279. Washington D.C. Carnegie Institute of Washington.
55. Havenith G., Holmer I. and K. Parsons, 2002: "Personal factors in thermal comfort assessment: clothing properties and metabolic heat production". *Energ. Buildings*, **34**, 581-591.
56. Honjo T., 2009: "Thermal comfort in outdoor environment". *Global Environ. Res.*, **13**, 43-47.
57. Höppe P.R., 1981: "Temperatures of expired air under varying climatic conditions". *Int. J. Biometeorol.*, **25**, 127-132.
58. Höppe P.R., 1984: "Die Energiebilanz des Menschen". Wiss. Mitt. Meteorol. Inst. Univ. München, 49, pp. 201.
59. Höppe P.R., 1993: "Heat balance modelling". *Experientia*, **49**, 741-746.
60. Höppe P., 1999: "The physiological equivalent temperature-a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment". *Int. J. Biometeorol.*, **43**, 71-75.
61. Höppe P., 2002: "Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort". *Energy Build.*, **34**, 661-665.
62. Höppe P. and H.A.J Seidl, 1991: "Problems in the assessment of the bioclimate for vacationists at the seaside". *Int. J. Biometeorol.*, **35**, 107-110.

63. Huizenga C., Hui Z. and E. Arens, 2001: "A model of human physiology and comfort for assessing complex thermal environments". *Build. Environ.*, **36**, 691-699.
64. ISO 8996, 1989: "Ergonomics of thermal environments – Determination of metabolic heat production". Int. Org. Standard, Geneva.
65. ISO 8996, 2001: "Ergonomics of the thermal environments – Determination of metabolic heat production". Int. Org. Standard, Geneva.
66. Jacovides C.P., Tymvios F.S., Assimakopoulos V.D. and N.A. Kaltsounides, 2006: "Comparative study of various correlations in estimating hourly diffuse fraction of global solar radiation". *Renew. Energ.*, **31**, 2492-2504.
67. Jakicic J.M., Marcus M., Gallagher K.I., Randall C., Thomas E., Goss F.L. and R.J. Robertson, 2004: "Evaluation of the SenseWear Pro Armband to assess energy expenditure during exercise". *Med. Sci. Sports Exerc.*, **36**, 897-904.
68. Jendritzky G., Sönning W. and H.J. Swantes, 1979: "Ein objektives Bewertungsverfahren zur Beschreibung des thermischen Milieus in der Stadt- und Landschaftsplanung (Klima-Michel-Modell)". Beiträge der Akademie für Raumforschung und Landesplanung, 28. Hermann Schroedel, Hannover.
69. Jendritzky G. and W. Nübler, 1981: "A model analyzing the urban thermal environment in physiologically significant terms". *Arch. Meteorol. Geophys. Bioclimatol.*, **B29**, 313-326.
70. Jendritzky G., Menz G., Schmidt-Kessen W. and H. Schirmer, 1990: "Methodik zur räumlichen Bewertung der thermischen Komponente im Bioklima des Menschen". Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Hannover.
71. Jendritzky G., Havenith G., Weihs P., Batchvarova E. and R. de Dear, 2008: "The Universal Thermal Climate Index UTCI - Goal and State of COST Action 730 and ISB Commission 6". *Proceedings of the 18th International Congress Biometeorology*, ICB, September 22-26, Tokyo.
72. Johansson E. and R. Emmanuel, 2006: "The influence of urban design on outdoor thermal comfort in the hot, humid city of Colombo, Sri Lanka". *Int. J. Biometeorol.*, **51**, 119-133.
73. Kassomenos P., Skouloudis A.N., Lykoudis S. and H.A. Flocas, 1999: "Air quality indicators for uniform indexing of atmospheric pollution over large metropolitan areas". *Atmos. Environ.*, **33**, 1861-1879.
74. Katavoutas G., Theoharatos G., Flocas H.A. and H. Gong, 2008a: "Investigation of ozone effect in the terms of heat balance equation in human body". *Proceedings of the*

- 9th *International Conference of Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics*, 901-907.
75. Katavoutas G., Theoharatos G., Flocas H.A. and D.N. Asimakopoulos, 2008b: "On the human body's thermophysiological parameters adaption determined via theoretical and experimental considerations, during a heat wave event in Athens". *Proceedings of the 8th European Meteorological Society Annual Meeting, 7th European Conference on Applied Climatology*, **5**, EMS2008-A-00448.
 76. Katavoutas G., Theoharatos G., Flocas H.A. and D.N. Asimakopoulos, 2009: "Measuring the effects of heat wave episodes on the human body's thermal balance". *Int. J. Biometeorol.*, **53**, 177-187.
 77. Katavoutas G., Theoharatos G., Flocas H.A. and D.N. Asimakopoulos, 2010: "A field study of heat stress under different thermal and radiation conditions". *Proceedings of the 10th International Conference of Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics*, 486-494.
 78. Kato M., Ha M. and H. Tokura, 1996: "The effects of black and white garments on thermoregulation under warm conditions with sun radiation". In: Shapiro Y. et al. (Eds), *Environmental ergonomics, recent progress and new frontiers*, Freud Publ. House, London-Tel-Aviv, pp. 279-282.
 79. Katsouyanni K., Zmirou D., Spix C., Sunyer J., Schouten J.P., Pönkä A., Anderson H.R., Le Moullec Y., Wojtyniak B., Vigotti M.A. and L. Bacharova, 1995: "Short-term effects of air pollution on health: a European approach using epidemiological time-series data. The APHEA project: background, objectives, design". *Eur. Respir. J.*, **8**, 1030-1038.
 80. Katsouyanni K., Touloumi G., Samoli., Gryparis A., Le Tertre A., Monopolis Y., Rossi G., Zmirou D., Ballester F., Boumghar A., Anderson H.R., Wojtyniak B., Paldy A., Braunstein R., Pekkanen J., Schindler C. and J. Schwartz, 2001: "Confounding and effect modification in the short-term effects of ambient particles on total mortality: results from 29 European cities within the APHEA2 project". *Epidemiology*, **12**, 521-531.
 81. Kennedy J.B. and A.M. Neville, 1986: "Basic statistical methods for engineers and scientists". Harper and Row, New York, pp. 613.
 82. Kenny N.A., Warland J.S., Brown R.D. and T.G. Gillespie, 2008: "Estimating the radiation absorbed by a human". *Int. J. Biometeorol.*, **52**, 491-503.

83. Kenny N.A., Warland J.S., Brown R.D. and T.J. Gillespie, 2009a: "Part A: Assessing the performance of the COMFA outdoor thermal comfort model on subjects performing physical activity". *Int. J. Biometeorol.*, **53**, 415–428.
84. Kenny N.A., Warland J.S., Brown R.D. and T.J. Gillespie, 2009b: "Part B: Revisions to the COMFA outdoor thermal comfort model for application to subjects performing physical activity". *Int. J. Biometeorol.*, **53**, 429–441.
85. Kenny G.P., Gagnon D., Dorman L.E., Hardcastle S.G. and O. Jay, 2010: "Heat balance and cumulative heat storage during exercise performed in the heat in physically active younger and middle-aged men". *Eur. J. Appl. Physiol.*, **109**, 81-92.
86. Knez I., Thorsson S., Eliasson I. and F. Lindberg, 2009: "Psychological mechanisms in outdoor place and weather assessment: towards a conceptual model". *Int. J. Biometeorol.*, **53**, 101-111.
87. Kyrkilis G., Chaloulakou A. and P.A. Kassomenos, 2007: "Development of an aggregate Air Quality Index for an urban Mediterranean agglomeration: Relation to potential health effects". *Environ. Int.*, **33**, 670-676.
88. Lin B., Li X., Zhu Y. and Y. Qin, 2008: "Numerical simulation studies of the different vegetation patterns' effects on outdoor pedestrian thermal comfort". *J. Wind Eng. Ind. Aerod.*, **96**, 1707-1718.
89. Lund D.D. and C.V. Gisolfi, 1974: "Estimation of mean skin temperature during exercise". *J. Appl. Physiol.*, **36**, 625-628.
90. Malavolti M., Pietrobelli A., Dugoni M., Poli M., Romagnoli E, De Cristofaro P. and N.C. Battistini, 2007: "A new device for measuring resting energy expenditure (REE) in healthy subjects". *Nutr. Metab. Cardiovasc. Dis.*, **17**, 338-343.
91. Masterton J.M. and F.A. Richardson, 1979: "Humidex - A method of quantifying human discomfort due to excessive heat and humidity". Atmospheric Environment Service of Canada, CLI 1-79, pp. 1-45.
92. Matzarakis A., Mayer H. and M.G. Iziomon, 1999: "Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature". *Int. J. Biometeorol.*, **43**, 76-84.
93. Matzarakis A., Rutz F. and H. Mayer, 2000: "Estimation and calculation of the mean radiant temperature within urban structures". In: de Dear R.J., Kalma J.D., Oke T.R., Auliciems A. (Eds), *Biometeorology and urban climatology at the turn of the millennium*, WCASP-50, WMO/TD No. 1026, pp. 273-278.

94. Matzarakis A., Rutz F. and H. Mayer, 2007: "Modelling radiation fluxes in simple and complex environments-application of the RayMan model". *Int. J. Biometeorol.*, **51**, 323-334.
95. Matzarakis A. De Rocco M. and G. Najjar, 2009: "Thermal bioclimate in Strasbourg-the 2003 heat wave". *Theor. Appl. Climatol.*, **98**, 209-220.
96. Matzarakis A., Rutz F. and H. Mayer, 2010: "Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: basics of the Rayman model". *Int. J. Biometerol.*, **54**, 131-139.
97. Matzarakis A. and P. Nastos, 2011: "Human-biometeorological assessment of heat waves in Athens". *Theor. Appl. Climatol.*, doi: 10.1007/s00704-010-0379-3.
98. Mayer E., 1993: "Objective criteria for thermal comfort". *Build. Environ.*, **28**, 399-403.
99. Mayer H. and P. Höppe, 1987: "Thermal comfort of man in different urban environments". *Theor. Appl. Climatol.*, **38**, 43-49.
100. McDonnell W.F., Abbey D.E., Nishino N. and M.D. Lebowitz, 1999: "Long-term ambient ozone concentration and the incidence of asthma in nonsmoking adults: the AHSMOG Study". *Environ. Res.*, **80**, 110-121.
101. Mignault D., St-Onge M., Karelis A.D., Allison D.B. and R. Rabasa-Lhoret, 2005: "Evaluation of the portable Healthwear Armband". *Diabetes Care*, **28**, 225-227.
102. Miles L., 2007: "Physical activity and health". *Nutr. Bulletin*, **32**, 314-363.
103. Minetti A.E., Moia C., Roi G.S., Susta D. and G. Ferretti, 2002: "Energy cost of walking and running at extreme uphill and downhill slopes". *J. Appl. Physiol.*, **93**, 1039-1046.
104. Monteith J.L. and M.H. Unsworth, 2008: "Principles of environmental physics". Academic Press, USA, pp. 418.
105. Murakami S., Ooka R. Mochida R. Yoshida S. and S. Kim, 1999: "CFD analysis of wind climate from human to urban scale". *J. Wind Eng. Ind. Aerod.*, **81**, 57-81.
106. Nagara K., Shimoda Y. and M. Mizuno, 1996: "Evaluation of the thermal environment in an outdoor pedestrian space". *Atmos. Environ.*, **30**, 497-505.
107. Nastos P. and A. Matzarakis, 2006: "Weather impacts on respiratory infections in Athens, Greece". *Int. J. Biometerol.*, **50**, 358-369.
108. Nielsen R. and B. Nielsen, 1984: "Measurement of mean skin temperature of clothed persons in cool environments". *Eur. J. Appl. Physiol.*, **53**, 231-236.
109. Nielsen B., Kassow K. and F.E. Aschengreen, 1988: "heat balance during exercise in the sun". *Eur. J. Appl. Physiol.*, **58**, 189-196.

110. Nightingale J.A., Maggs R., Cullinan P., Donnelly L.E., Rogers D.F., Kinnersley R., Fan Chung K., Barnes P.J., Ashmore M. and A. Newman-Taylor, 2000: "Airway inflammation after controlled exposure to diesel exhaust particulates". *Am. J. Respir. Crit. Care Med.*, **162**, 161-166.
111. Nikolopoulou M., Baker N. and K. Steemers, 2001: "Thermal comfort in outdoor urban spaces: understanding the human parameter". *Sol. Energy*, **70**, 227-235.
112. Nikolopoulou M. and K. Steemers, 2003: "Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces". *Energ. Buildings*, **35**, 95-101.
113. Nishi Y. 1981: "Measurement of thermal balance of man". In: Cena K., J.A Clark (Eds), *Bioengineering, thermal physiology and comfort*, Elsevier, pp. 293.
114. Oke T.R., 1982: "The energetic basis of the urban heat island". *Quarterly J. Royal Meteorol. Soc.*, **108**, 1-24.
115. Oliveira S. and H. Andrade, 2007: "An initial assessment of the bioclimatic comfort in an outdoor public space in Lisbon". *Int. J. Biometeorol.*, **52**, 69-84.
116. Paliatsos A.G. and P.TH. Nastos, 1999: "Relation between air pollution episodes and discomfort index in the greater Athens area, Greece". *GNEST*, **1(2)**, 91-97.
117. Pantavou K., Theoharatos G., Nikolopoulos G., Katavoutas G. and D. Asimakopoulos, 2008: "Evaluation of thermal discomfort in Athens territory and its effect on the daily number of recorded patients at hospitals' emergency rooms". *Int. J. Biometeorol.*, **52**, 773-778.
118. Pantavou K., Theoharatos G., Mavrakakis A. and M. Santamouris, 2011: "Evaluating thermal comfort conditions and health responses during an extremely hot summer in Athens". *Build. Environ.*, **46**, 339-344.
119. Parsons K.C., 2003: "Human thermal environments: The Effects of Hot, Moderate and Cold Environments on Human Health, Comfort and Performance". Taylor and Francis, London, pp. 527.
120. Patz J.A. and J.M. Balbus, 2001: "Global climate change and air pollution: interactions and their effects on human health". In: Aron J.L., Patz J.A. (Eds), *Ecosystem Change and Public Health*, John Hopkins University Press, Baltimore, MD, pp. 379-408.
121. Peters A., Perz S. Döring A., Stieber J., Koenig W. and H.E. Wichmann, 1999: "Increases in heart rate during an air pollution episode". *Am. J. Epidemiol.*, **150**, 1094-1098.

122. Petrovic S., Urch B., Brook J., Datema J., Purdham J., Liu L., Lukic Z., Zimmerman B., Tofler G., Downar E., Corey P., Tarlo S., Broder I., Dales R. and F. Silverman, 2000: "Cardiorespiratory effects of concentrated ambient PM_{2.5}: A pilot study using controlled human exposures". *Inhal. Toxicol.*, **12**, 173-188.
123. Pickup J. and R. de Dear, 2000: "An outdoor thermal comfort index (OUT_SET*)-Part I-the model and its assumptions. In: de Dear R.J., Kalma J.D., Oke T.R., Auliciems A. (Eds), *Biometeorology and urban climatology at the turn of the millennium*, WCASP-50, WMO/TD No. 1026, pp. 279-283.
124. Prezerakos N.G., 1989: "A contribution to the study of the extreme heat wave over the south Balkans in July 1987". *Meteorol. Atmos. Phys.*, **41**, 261-271.
125. Rogers R.R. and M.K. Yau, 1989: "A short course in cloud physics". Pergamon Press, U.K, pp. 293.
126. Salvi S., Blomberg A., Rudell B., Kelly F., Sandström T., Holgate S.T. and A. Frew, 1999: "Acute inflammatory responses in the airways and peripheral blood after short-term exposure to diesel exhaust in healthy human volunteers". *Am. J. Respir. Crit. Care Med.*, **159**, 702-709.
127. Samet J.M., Dominici F., Curriero F.C., Coursac I. and S.L. Zeger, 2000: "Fine particulate air pollution and mortality in 20 U.S. cities, 1987-1994". *N. Engl. J. Med.*, **343**, 1742-1749.
128. Shimazaki Y., Yoshida A., Suzuki R., Kawabata T., Imai D. and S. Kinoshita, 2011: "Application of human thermal load into unsteady condition for improvement of outdoor thermal comfort". *Build. Environ.*, **46**, 1716-1724.
129. Smoyer K.E., Kalkstein L.S., Greene J.S. and H. Ye, 2000: "The impacts of weather and pollution on human mortality in Birmingham, Alabama and Philadelphia, Pennsylvania". *Int. J. Climatol.*, **20**, 881-897.
130. Snedecor G.W. and W.G. Cochran, 1989: "Statistical Methods". Iowa State University Press, pp. 503.
131. Soligo M.J., Irwin P.A. Williams C.J. and G.D. Schuyler, 1998: "A comprehensive assessment of pedestrian comfort including thermal effects". *J. Wind Eng. Ind. Aerod.*, **77-78**, 753-766.
132. Spagnolo J. and R. DeDear, 2003: "A field study of thermal comfort in outdoor and semi-outdoor environments in subtropical Sydney Australia". *Build. Environ.*, **38**, 721-738.

-
133. Stathopoulos T., 2006: "Pedestrian level winds and outdoor human comfort". *J. Wind Eng. Ind. Aerod.*, **94**, 769-780.
134. Steadman R.G., 1971: "Indices of windchill of clothed persons". *J. Appl. Meteorol.*, **10**, 674-683.
135. Steadman R.G. (1979): "The assessment of sultriness. Part I. A temperature-humidity index based on human physiology and clothing science". *J. Appl. Meteorol.*, **18**, 861-873.
136. Stolwijk J.A.J., 1971: "A mathematical model of physiological temperature regulation in man". NASA contractor report CR-1855. NASA, Washington DC.
137. Theoharatos G., Pantavou K., Mavrakis A., Spanou A., Katavoutas G., Efstathiou P., Mpekas P. and D. Asimakopoulos, 2010: "Heat waves observed in 2007 in Athens, Greece: synoptic conditions, bioclimatological assessment, air quality levels and health effects". *Environ. Res.*, **110**, 152-161.
138. Thom E.C., 1959: "The discomfort Index". *Weatherwise*, **12**, 57-60.
139. Thorsson S., Lindqvist M. and S. Lindqvist, 2004: "Thermal bioclimatic conditions and patterns of behaviour in an urban park in Göteborg, Sweden". *Int. J. Biometeorol.*, **48**, 149-156.
140. Thorsson S., Lindberg F., Eliasson I. and B. Holmer, 2007a: "Different methods for estimating the mean radiant temperature in an outdoor urban setting". *Int. J. Climatol.*, **27**, 1983-1993.
141. Thorsson S., Honjo T., Lindberg F., Eliasson I. and E. Lim, 2007b: "Thermal comfort and outdoor activity in Japanese urban public places". *Environ. Behav.*, **39**, 660-684.
142. Tolika K., Maheras P. and I. Tegoulas, 2009: "Extreme temperatures in Greece during 2007: Could this be a "return to the future"?" *Geophys. Res. Lett.*, **36**, L10813.
143. Tseliou A., Tsiros I.X., Lykoudis S. and M. Nikolopoulou, 2010: "An evaluation of three biometeorological indices for human thermal comfort in urban outdoor areas under real climatic conditions". *Build. Environ.*, **45**, 1346-1352.
144. Tuller S.E., 1997: "Climatic controls of the cool human thermal sensation in a summertime onshore wind". *Int. J. Biometeorol.*, **41**, 26-33.
145. Urch B., Silvermann F., Corey P., Brook J.R., Lukic K.Z., Rajagopalan S. and R.D. Brook, 2005: "Acute blood pressure responses in health adults during controlled air pollution exposures". *Environ. Health Perspect.*, **113**(8), 1052-1055.

146. Vanos J.K., Warland J.S., Gillespie T.J. and N.A. Kenny, 2010: "Review of the physiology of human thermal comfort while exercising in urban landscapes and implications for bioclimatic design". *Int. J. Biometeorol.*, **54**, 319-334.
147. VDI, 1998: VDI 3787, Part I: Environmental meteorology, Methods for the human biometeorological evaluation of climate and air quality for the urban and regional planning at regional level. Part I: Climate. Beuth, Berlin.
148. VDI, 2001: VDI 3789, Part 3: Environmental Meteorology, Interactions between atmosphere and surfaces; calculation of spectral irradiances in the solar wavelength range. Beuth, Berlin.
149. Wadsworth D.D., Howard T., Hallam J.S. and G. Blunt, 2005: "A validation study of a continuous Body-monitoring Device: Assessing energy expenditure at rest and during exercise". *Med. Sci. Sports Exerc.*, **37**, pS24.
150. Wenger C.B., 2002: "Human adaptation to hot environments" In: Pandolf K.B., Burr R.E., Wenger C.B., Pozos R.S. (Eds), Textbook of military medicine: Medical aspects of harsh environments, Department of the Army, Office of the Surgeon General, Borden Institute, Vol. 1, pp. 51-86.
151. WHO, 1996: "Heat, Cold and Air Pollution". In: McMichael A.J., Haines A., Sloof R., Kovats S. (Eds), Climate change and human health, Geneva, pp. 43-70.
152. WHO, 2000: "Air quality guidelines for Europe". World Health Organization Regional Publications, European Series, No 91, Copenhagen, pp. 273.
153. WHO, 2006: "Air quality guidelines. Global update 2005". World Health Organization Regional Publications, European Series, Copenhagen, pp. 484.
154. Winslow C.E.A., Herrington L.P. and A.P. Gagge, 1936: "A new method of particional calorimetry". *Am. J. Physiol.*, **116**, 641-655.
155. Wyndham C.H., Morrison J.F. and C.G. Williams, 1965: "Heat reactions of male and female Caucasians". *J. Appl. Physiol.*, **20**, 357-364.
156. Yaglou C.P., 1927: "Temperature, humidity and air movement in industries. The Effective Temperature Index". *J. Ind. Hyg.*, **9**, 297.
157. Yaglou C.P. and D. Minard, 1957: "Control of heat casualties at military training center". *Am. Med. Ass. Arch. Ind. Health*, **16**, 302-316.
158. Yao R., Li B. and J. Liu, 2009: "A theoretical adaptive model of thermal comfort- Adaptive Predicted Mean Vote (aPMV)". *Build. Environ.*, **44**, 2089-2096.

-
159. Yousef M.K., 1987: "Effects of climatic stresses on thermoregulatory processes in man". *Experientia*, **43**, 14-19.
160. Zarrugh M.Y., Todd F.N. and H.J. Ralston, 1974: "Optimization of energy expenditure during level walking". *Eur. J. Appl. Physiol.*, **33**, 293-306.
161. Λιώκη-Λειβαδά Η. και Δ.Ν. Ασημακόπουλος, 2007: "Εισαγωγή στην εφαρμοσμένη στατιστική". Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα, σελ. 416.
162. Μακρογιάννης Τ.Ι. και Χ.Σ. Σαχσαμάνογλου, 2004: "Μαθήματα Γενικής Μετεωρολογίας". Εκδόσεις Χάρις, Θεσ/νίκη, σελ. 414.