



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

**ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ  
ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ –  
ΒΙΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΣΤΗΝ ΑΘΗΝΑ ΚΑΤΑ  
ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 2012-2013**

**ΔΗΜΟΥ ΗΛΙΑ Α.Μ. 1114200800015  
ΖΟΥΓΑΝΕΛΗ ΧΡΥΣΟΥΛΑ Α.Μ. 1114200800110**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΝΑΣΤΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ**

**ΑΘΗΝΑ 2017**

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η διπλωματική αυτή εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών του τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών και πραγματεύεται την αξιολόγηση των βιοκλιματικών – βιομετεωρολογικών συνθηκών, στην περιοχή του κέντρου της Αθήνας και συγκεκριμένα στην Πλατεία Συντάγματος, την περίοδο των ετών 2012-2013.

Θα θέλαμε σε αυτό το σημείο να ευχαριστήσουμε θερμά, τον επιβλέποντα Καθηγητή κ. Παναγιώτη Νάστο, για την ανάθεση, την επίβλεψη, την ενθάρρυνση και την καθοδήγησή του, καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Επίσης θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τις οικογένειές μας, που είναι δίπλα μας σε κάθε βήμα της ζωής μας, μας ενθαρρύνουν και μας υποστηρίζουν σταθερά κατά τη διάρκεια των σπουδών μας.

Το αντικείμενο της εργασίας αυτής είναι η εκτίμηση των βιοκλιματικών συνθηκών στην περιοχή του κέντρου της Αθήνας, με τη χρήση μοντέλων, όπως το RayMan. Η ανάλυση των βιοκλιματικών συνθηκών έγινε, χρησιμοποιώντας το θερμικό δείκτη UTCI (Universal Thermal Climate Index), που βασίζεται στο πιο εξελιγμένο θερμοφυσιολογικό πρότυπο.

Κατά την περίοδο μελέτης, μετρήθηκαν οι κύριοι ατμοσφαιρικοί παράγοντες, δηλαδή, η θερμοκρασία, η ακτινοβολία, η σχετική υγρασία, η ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου. Μετά την εκτίμηση του θερμικού δείκτη UTCI, έγινε αξιολόγηση των βιομετεωρολογικών συνθηκών κατά τη διάρκεια της περιόδου των πειραματικών μετρήσεων.

Τα συμπεράσματα που βγήκαν δείχνουν ποια κλάση του θερμικού δείκτη UTCI (Universal Thermal Climate Index) εκφράζει τη μεγαλύτερη συχνότητα και για ποια ώρα της ημέρας, για κάθε μήνα των μετρήσεων.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	1
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	2
1. Εισαγωγή .....	3
1.1 Γενικά.....	3
1.2 Ιστορική εξέλιξη και αντικείμενο της Βιομετεωρολογίας – Βιοκλιματολογίας .....	4
1.3 Κλίμα Ελλάδας.....	7
1.4 Κύματα καύσωνα (Heat waves) .....	10
1.5 Κλιματική αλλαγή.....	12
2. Παράγοντες διαμόρφωσης βιομετεωρολογικών συνθηκών .....	17
2.1 Συνθήκες ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος .....	17
2.1.1. Ηλιακή ακτινοβολία .....	17
2.1.1.1. Ολική ηλιακή ακτινοβολία .....	21
2.1.1.2. Γήινη ακτινοβολία .....	23
2.1.2. Ηλιοφάνεια.....	24
2.1.3. Θερμοκρασία αέρα .....	25
2.1.4. Υγρασία αέρα .....	26
2.1.5. Άνεμος .....	31
3. Θερμική άνεση .....	33
3.1 Θερμική άνεση και άνθρωπος .....	33
3.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την θερμική άνεση .....	35
3.2.1. Θερμοκρασία αέρος.....	36
3.2.2. Θερμοκρασία ακτινοβολίας.....	37
3.2.3. Υγρασία.....	40
3.2.4. Ταχύτητα ανέμου .....	42
3.2.5. Ένδυση.....	44
3.2.6. Μεταβολισμός.....	47
4. Βιοκλιματικοί δείκτες .....	50
4.1 Εξέλιξη και κατηγοριοποίηση.....	50
4.2 Δείκτης UTCI .....	54
5. Πειραματικές μετρήσεις μετεωρολογικών παραμέτρων για τον υπολογισμό της θερμικής άνεσης στην Αθήνα.....	59
6. Συμπεράσματα .....	85
7. Βιβλιογραφία.....	86

# 1. Εισαγωγή

## 1.1 Γενικά

Μετεωρολογία είναι η επιστήμη η οποία μελετά την ατμόσφαιρα και τα φαινόμενα τα οποία συμβαίνουν μέσα σ' αυτήν. Πραγματεύεται, δηλαδή, τη μελέτη των συστημάτων καιρού και γενικότερα φαινομένων, των οποίων η κλίμακα χρόνου έχει ανώτερο όριο το χρόνο ζωής του ατμοσφαιρικού φαινομένου ή συστήματος. Πέρα από τον περιληπτικό αυτό ορισμό η Μετεωρολογία μπορεί με την ευρύτερη της έννοια να χαρακτηριστεί σαν η κατ' εξοχήν ατμοσφαιρική επιστήμη η οποία έχει σαν ερευνητικό της σκοπό τη μελέτη της φυσικής, χημικής και δυναμικής της ατμόσφαιρας και τις επιδράσεις των δυναμικών αιτίων στην επιφάνεια της γης.

Βασικός στόχος της Μετεωρολογίας είναι η απόλυτη κατανόηση και η ακριβής πρόβλεψη των ατμοσφαιρικών φαινομένων, τα οποία τελικά είναι υπεύθυνα για τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν σε κάθε σημείο του πλανήτη, οποιαδήποτε στιγμή της ημέρας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η έννοια του καιρού να εξαρτάται από έναν πολύπλοκο συνδυασμό ατμοσφαιρικών φαινομένων, τα οποία εκδηλώνονται σε έναν τόπο κατά τη διάρκεια μιας ημέρας ή και για μικρότερο χρονικό διάστημα.

Όπως είναι κατανοητό η κατανομή του καιρού σε ολόκληρο τον πλανήτη ή ακόμη και σε ένα μεγάλο τμήμα της γης, σε μια δεδομένη χρονική στιγμή δίνει μια ποικιλία καιρικών καταστάσεων. Εστιάζοντας όμως σε μια ορισμένη περιοχή οι καιρικές καταστάσεις εμφανίζουν μεταβολές από τη μια μέρα στην επόμενη ή τις επόμενες που ακολουθούν. Οι καιρικές αυτές καταστάσεις συνδέονται άμεσα με τη συνθήκη που επικρατεί στην αέρια μάζα, η οποία κυριαρχεί στην περιοχή και τις μεταβολές βραχείας διάρκειας στις συνθήκες της θερμότητας, της υγρασίας και της κίνησης του αέρα, οι οποίες εκδηλώνονται μέσα στην ίδια την αέρια μάζα και που είναι αισθητές στην επιφάνεια της γης.

Οι μεταβολές στις τιμές των διάφορων μετεωρολογικών παραμέτρων, για έναν ορισμένο τόπο έχουν το χαρακτηριστικό ότι κυμαίνονται περίξ μιας μέσης τιμής. Όταν η τιμή αυτή αναφέρεται σε μια αρκετά μεγάλη περίοδο παρατήρησης, ώστε να απαλείφονται τα σφάλματα και να εδραιώνονται οι στατιστικές παράμετροι, συνήθως λαμβάνονται τουλάχιστον τριάντα χρόνια, αν και για ορισμένα στοιχεία τα συμπεράσματα είναι ορθά και για μικρότερη περίοδο (10-15 χρόνια), τότε το μετεωρολογικό αυτό στοιχείο μπορεί να θεωρηθεί ως διακριτό και σταθερό χαρακτηριστικό γνώρισμα του τόπου. Ο συνδυασμός των μέσων τιμών των διάφορων μετεωρολογικών δεδομένων αποτελεί το χαρακτηριστικό για κάθε τόπο κλιματικό καθεστώς.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι καιρός είναι η φυσική κατάσταση της ατμόσφαιρας, όπως περιγράφεται από τα μετεωρολογικά στοιχεία, και η εξέλιξη αυτής σε μια ορισμένη χρονική περίοδο, ενώ η έννοια κλίμα αντιπροσωπεύει την στατιστική έκφραση των ημερήσιων, μηνιαίων ή εποχιακών καιρικών φαινομένων για μεγάλες χρονικές περιόδους, δηλαδή αποδίδει πολύ καλά το τελικό αποτέλεσμα του συνόλου των ατμοσφαιρικών διεργασιών, οι οποίες περιλαμβάνουν τη θερμότητα, την υγρασία και την κίνηση του αέρα σε προκαθορισμένες μεγάλες χρονικές περιόδους. Έτσι η επικρατούσα στο παρελθόν άποψη ότι το κλίμα είναι ο μέσος όρος των καιρικών συνθηκών (δηλαδή ο μέσος καιρός) θα πρέπει σήμερα να

αναθεωρηθεί, καθώς το κλίμα στην πραγματικότητα είναι πολύ πιο σύνθετο, από τον μέσο όρο.

Το κλίμα είναι ανεξάρτητο από τις στιγμιαίες καιρικές καταστάσεις όμως περιέχει στο πεδίο της μελέτης του και τις ακραίες εκδηλώσεις του καιρού, όπως οι καύσωνες κατά τους θερινούς μήνες και ο παγετός την περίοδο του χειμώνα που μπορεί να σημειωθούν σε μια συγκεκριμένη περιοχή, τις τάσεις μεταβολής των κλιματικών παραμέτρων, τις πιθανότητες εμφάνισης εξαιρετικών γεγονότων και άλλων φαινομένων, με την εφαρμογή σύγχρονων στατιστικών τεχνικών.

Είναι φανερό ότι το κλίμα εξαρτάται τελικά σε μεγάλο βαθμό από τον καιρό. Γι' αυτό πολλές φορές εσφαλμένα ταυτίζονται οι δύο αυτές έννοιες. Για την καλύτερη κατανόηση, μπορεί να παραλληλιστεί το μεν κλίμα με τον χαρακτήρα ενός ανθρώπου, ο δε καιρός με τη στιγμιαία συμπεριφορά του (Φλόκας 1997).

Η επιστήμη η οποία μελετά το κλίμα ονομάζεται Κλιματολογία, και βασικός στόχος της είναι να ερμηνεύσει τη συμπεριφορά των ατμοσφαιρικών φαινομένων, να περιγράψει και να εξηγήσει τη φύση του κλίματος και τις μεταβολές αυτού από τόπο σε τόπο και να προσδιορίσει τη σύνδεσή του με τα άλλα στοιχεία του φυσικού περιβάλλοντος και με τις ανθρώπινες δραστηριότητες.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, οι μέσες τιμές των μετεωρολογικών δεδομένων μπορούν να θεωρηθούν σταθερά και διακριτά χαρακτηριστικά γνωρίσματα του κλίματος ενός τόπου, και κατά συνέπεια η Κλιματολογία εντάσσεται στον ευρύ χώρο της Μετεωρολογίας. Παράλληλα όμως οι τιμές αυτές διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή λόγω της επίδρασης διάφορων παραγόντων όπως το γεωγραφικό πλάτος, η διανομή ξηράς και θάλασσας, το υψόμετρο, τα θαλάσσια ρεύματα, οι αέριες μάζες, το ανάγλυφο, το έδαφος και η φυτοκάλυψη, που επικρατούν σε διάφορες γεωγραφικές περιοχές της γης, με αποτέλεσμα η επιστήμη της Κλιματολογίας να αποκτά και γεωγραφικό χαρακτήρα.

## 1.2 Ιστορική εξέλιξη και αντικείμενο της Βιομετεωρολογίας – Βιοκλιματολογίας

Η διερεύνηση των κλιματικών συνθηκών που επικρατούν σε μια περιοχή δεν ενδιαφέρει μόνο τους κλάδους της επιστήμης που ασχολούνται με τη μελέτη της δημιουργίας και της εξέλιξης των αντίστοιχων φαινομένων, αλλά το σύνολο της κοινωνίας δεδομένου ότι το ατμοσφαιρικό περιβάλλον, ιδιαίτερα κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, επηρεάζει καθοριστικά τις συνθήκες διαβίωσης των φυτικών και των ζωικών οργανισμών. Έτσι, η επίδραση των ατμοσφαιρικών συνθηκών στον άνθρωπο και στις δραστηριότητές του, ήταν αντικείμενο μελέτης από την εποχή που οργάνωσε τις πρώτες κοινωνίες στον πλανήτη (Gornitz 2009).

Οι επιδράσεις είναι είτε άμεσες είτε έμμεσες και καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό τόσο τη γεωγραφική κατανομή των οργανισμών όσο και τη συμπεριφορά τους. Οι σχέσεις αυτές μπορεί να είναι αμφίδρομες, καθώς και οι ζωντανοί οργανισμοί είναι δυνατόν να επηρεάζουν με την παρουσία και τις δραστηριότητές τους τις τιμές των κλιματικών παραγόντων μιας περιοχής.

Οι φυτικοί και οι ζωικοί οργανισμοί, ανάλογα με τους μηχανισμούς άμυνας και προσαρμογής που διαθέτουν για την αντιμετώπιση των δυσμενών επιδράσεων του

ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος, μπορούν να επιβιώσουν σ' ένα εύρος τιμών περιβαλλοντικών παραμέτρων πέραν των οποίων η ζωή τους είναι επισφαλής. Το εύρος αυτό διαφοροποιείται ανάλογα με το είδος και την ποικιλία των φυτών ή το είδος και τις φυλές των ζώων. Κάποιοι οργανισμοί μπορούν να ανταπεξέλθουν σε εξαιρετικά αντίξοες συνθήκες ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος και επιβιώνουν κάτω από αυτές (για παράδειγμα, σε περιοχές όπου οι βροχοπτώσεις δεν είναι αρκετές επικρατούν φυτά τα οποία έχουν αναπτύξει ποικίλες προσαρμογές για την εξοικονόμηση νερού), κάποιοι άλλοι μετακινούνται προς αναζήτηση βελτιωμένων συνθηκών ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος και κάποιοι αδυνατώντας να προσαρμοστούν στις συνθήκες αυτές δεν επιβιώνουν, με συνέπεια την εξαφάνιση φυτικών ειδών και ζώων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την χωροταξική κατανομή των διαφορετικών φυτών και ζώων στον πλανήτη, η οποία καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τις κλιματικές συνθήκες, που επικρατούν κατά τη διάρκεια του έτους σε κάθε περιοχή (Χρονοπούλου-Σερέλη και Φλόκας 2010).

Οι κυριότεροι κλιματικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη γεωγραφική κατανομή και την παραγωγικότητα των φυτικών οργανισμών είναι η θερμοκρασία, η ακτινοβολία και η ατμοσφαιρική υγρασία (WMO 1954, Blennow and Persson 1998). Αυτοί οι παράγοντες επιδρούν άμεσα στη σύνθεση της χλωρίδας και επομένως στη γεωργική παραγωγή, αλλά επιδρούν και στην παραγωγικότητα των ζωικών οργανισμών.

Όπως είναι φυσικό το κλίμα επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό όχι μόνο τα φυτά και τα ζώα αλλά και τη γεωγραφική κατανομή των ανθρώπων και τις δραστηριότητες αυτών, τόσο άμεσα με την επιλογή των καλύτερων δυνατών κλιματικών συνθηκών, όσο και έμμεσα, μέσω της επίδρασής του στη χλωρίδα και στην πανίδα μιας περιοχής. Επομένως οι ατμοσφαιρικές συνθήκες, διαδραματίζουν ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στις συνθήκες διαβίωσης του ανθρώπινου οργανισμού, με αποτέλεσμα σε ορισμένες οριακές καταστάσεις να έχουν καθοριστική σημασία στην υγεία του και στην επιβίωσή του.

Ωστόσο, η επίδραση του κλίματος στον άνθρωπο είναι μικρότερη από εκείνη που ασκεί στους άλλους οργανισμούς, καθώς χάρη στη νοημοσύνη του και στην τεχνολογία, ο άνθρωπος έχει την ικανότητα να δημιουργεί ευνοϊκά μικροκλίματα σχεδόν σε οποιαδήποτε περιοχή της επιφάνειας της Γης. Έτσι, η γεωγραφική κατανομή του ανθρώπινου πληθυσμού δεν συνάδει πάντα με τη γεωγραφική κατανομή των βέλτιστων κλιματικών συνθηκών.

Η αλληλεπίδραση μεταξύ των ατμοσφαιρικών συνθηκών και των έμβιων οργανισμών αποτελεί το αντικείμενο μελέτης της Βιομετεωρολογίας και της Βιοκλιματολογίας που αποτελούν εφαρμοσμένους κλάδους τις Μετεωρολογίας και της Κλιματολογίας αντίστοιχα. Όπως προκύπτει και από τον ορισμό των λέξεων, η Βιομετεωρολογία εξετάζει τις πολύπλοκες σχέσεις μεταξύ των μετεωρολογικών συνθηκών (καιρός) και των βιολογικών διεργασιών ενώ η Βιοκλιματολογία είναι ο επιστημονικός κλάδος που μελετά την επίδραση των κλιματικών συνθηκών στους ζωντανούς οργανισμούς. Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι η διαφοροποίηση των δυο κλάδων στηρίζεται μόνο στη χρονική διάρκεια των απαιτούμενων δεδομένων των παραμέτρων του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η Βιοκλιματολογία και η Βιομετεωρολογία συχνά να ταυτίζονται καθώς τα βιολογικά φαινόμενα και οι διεργασίες ανταποκρίνονται γενικά με τον ίδιο τρόπο

στα ατμοσφαιρικά «ερεθίσματα», ανεξάρτητα της χρονικής τους διάρκειας. Εξαιρέση όμως αποτελεί η μελέτη ορισμένων μόνον αντικειμένων της Βιοκλιματολογίας, όπως είναι η πρόγνωση της συμπεριφοράς και του ρυθμού ανάπτυξης των οργανισμών, η εξέλιξη των οικοσυστημάτων σε διαφορετικά περιβαλλοντικά μέσα κ.ά., όπου απαιτείται μεγάλη χρονοσειρά δεδομένων των παραμέτρων του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος (Χρονοπούλου-Σερέλη και Χρονόπουλος, 2011).

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ο άνθρωπος έδειξε ενδιαφέρον για τις επιδράσεις των ατμοσφαιρικών συνθηκών στη διαβίωσή του αλλά και στην όποια δραστηριότητα του. Αυτό καθιστά την επιστήμη της Βιομετεωρολογίας-Βιοκλιματολογίας μια από τις παλαιότερες περιβαλλοντικές επιστήμες. Από διάφορες ενδείξεις φαίνεται ότι με την Μετεωρολογία και τα Μετεωρολογικά στοιχεία είχαν ασχοληθεί οι αρχαίοι Αιγύπτιοι (3.000 π.Χ.), οι Κινέζοι (1.500 π.Χ.) και οι αρχαίοι Έλληνες (Ησίοδος 800 π.Χ., Θαλής 600 π.Χ., κ.α.). Η επίσημη αρχή όμως της Κλιματολογίας ανάγεται στους αρχαίους Έλληνες, οι οποίοι μάλιστα έκαναν και την πρώτη κλιματική διαίρεση της γης σε ζώνες με βάση το απόλυτο γεωγραφικό πλάτος (Παρμενίδης, ηλιακό κλίμα). Έλληνες φιλόσοφοι, μεταξύ των οποίων ο Αριστοτέλης, ο οποίος το 340 π.Χ. έγραψε βιβλίο φυσικής φιλοσοφίας με τίτλο Μετεωρολογικά, ο Θεόφραστος και ο Πλίνιος, διαπίστωσαν την ιδιαίτερη σημασία που έχουν οι ατμοσφαιρικές συνθήκες στη ζωή του ανθρώπου και στις διεργασίες της φύσης (Taub 2003). Ο πρώτος όμως που επεσήμανε το σημαντικό ρόλο των μετεωρολογικών παραμέτρων στην υγιεινή κατάσταση του ανθρώπου ήταν ο Ιπποκράτης, στην πραγματεία του «Αέρας-Νερό-Γη».

Για μεγάλο χρονικό διάστημα οι περιβαλλοντικοί παράγοντες ήταν οι μόνοι που λαμβάνονταν υπόψη στην προσπάθεια εξήγησης της έξαρσης και της διάδοσης επιδημιών και άλλων ασθενειών του ανθρώπου. Τον 18ο και 19ο αιώνα τέθηκαν οι βάσεις της Βιομετεωρολογίας καθώς οι έρευνες και οι ανακαλύψεις μεγάλων βιολόγων (Pasteur κ.ά.) που ασχολήθηκαν με την επιστήμη της βακτηριολογίας και της μικροβιολογίας, σε συνδυασμό με την ανάπτυξη της μετεωρολογίας από σημαντικούς επιστήμονες (Lussac, von Humboldt, κ.α.), ανέδειξαν τη σπουδαιότητα της επιστήμης της Βιομετεωρολογίας-Βιοκλιματολογίας (WMO, 1954; AMS, 1959; Oliver, 2005; Allaby, 2007).

Γενικά ο ορισμός και η περιγραφή αυτής της επιστήμης υπέστη αναθεωρήσεις και εμπλουτίστηκε μέχρι να καταλήξει στη σημερινή του μορφή. Αρχικά η έννοια της Βιομετεωρολογίας - Βιοκλιματολογίας περιοριζόταν μόνο στην επίδραση του καιρού και του κλίματος στον ανθρώπινο οργανισμό. Σήμερα ως Βιομετεωρολογία - Βιοκλιματολογία χαρακτηρίζεται η επιστήμη που ασχολείται με τις άμεσες και έμμεσες σχέσεις και αλληλεπιδράσεις του γεωφυσικού και γεωχημικού περιβάλλοντος της ατμόσφαιρας και των ζώντων οργανισμών (Flach, 1957; WMO, 2004). Η επιστήμη αυτή βρίσκει σημαντικές εφαρμογές σε πολλά επιστημονικά πεδία.

### 1.3 Κλίμα Ελλάδας

Η Ελλάδα βρίσκεται στη βόρεια εύκρατη ζώνη της Γης και συγκεκριμένα στην ανατολική λεκάνη της Μεσογείου ( $34^{\circ}\text{B} < \varphi < 42^{\circ}\text{B}$  και  $19^{\circ}\text{A} < \lambda < 29^{\circ}\text{A}$ ). Όλες οι κλιματικές ταξινομήσεις την εντάσσουν στον μεσογειακό τύπο κλίματος, χαρακτηρίζεται δηλαδή από ήπιους και βροχερούς χειμώνες, σχετικώς θερμά και ξηρά καλοκαίρια και μεγάλη ηλιοφάνεια, όλο σχεδόν το χρόνο, ενώ οι κλιματικές ακρότητες είναι περιορισμένες σε σχέση με Βορειότερες και Νοτιότερες περιοχές.

Στην πραγματικότητα όμως η Ελλάδα δεν παρουσιάζει ενιαία κλιματική ενότητα, καθώς στις διάφορες περιοχές της παρουσιάζεται μια μεγάλη ποικιλία κλιματικών τύπων, πάντα στο πλαίσιο του Μεσογειακού κλίματος. Ο κύριος παράγοντας που είναι υπεύθυνος για αυτή τη διαφοροποίηση είναι ο γεωγραφικός. Πιο συγκεκριμένα, η τοπογραφική εικόνα της χώρας, με τις μεγάλες υψομετρικές διαφορές που δημιουργούν οι μεγάλες οροσειρές κατά μήκος της κεντρικής χώρας και οι άλλοι ορεινοί όγκοι και την εναλλαγή ξηράς και θάλασσας, συντελεί στην μεγάλη ποικιλία κλιματικών τύπων. Έτσι, το ξηρό κλίμα της Αττικής και της Ανατολικής Ελλάδας μεταπίπτει στο υγρό της Βόρειας και Δυτικής Ελλάδας. Τέτοιες κλιματικές διαφορές συναντώνται ακόμη και σε τόπους που βρίσκονται σε μικρή απόσταση μεταξύ τους, πράγμα που παρουσιάζεται σε λίγες μόνο χώρες σε όλο τον κόσμο.

Μέσα στο ημερολογιακό έτος, από κλιματολογικής πλευράς, διακρίνονται δύο χαρακτηριστικές περιόδοι/εποχές (βασικό γνώρισμα του μεσογειακού τύπου). Η χειμερινή που διαρκεί από τα μέσα Οκτωβρίου μέχρι το τέλος Μαρτίου και η θερινή που διαρκεί από τον Απρίλιο μέχρι τον Οκτώβριο. Η χειμερινή περίοδος είναι ψυχρή και βροχερή, ενώ η θερινή είναι θερμή και άνομβρη.

Οι βροχές δεν διαρκούν πολλές ημέρες και τα διαστήματα συννεφιάς είναι συνήθως μικρά, κάτι που σχετίζεται άμεσα με τα ποσά ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνουν στο έδαφος. Οι χειμερινές κακοκαιρίες διακόπτονται συχνά κατά τον Ιανουάριο και το πρώτο δεκαπενθήμερο του Φεβρουαρίου από ηλιόλουστες ημέρες, τις γνωστές από την αρχαιότητα ως “Αλκυονίδες ημέρες”. Γενικά, η χειμερινή εποχή είναι γλυκύτερη στα νησιά του Αιγαίου και του Ιονίου από ό,τι στη Βόρεια και Ανατολική Ελλάδα.

Το καλοκαίρι ο αίθριος καιρός διακόπτεται μερικές φορές από βροχές, οι οποίες είναι μικρής διάρκειας αλλά έντονες συνήθως. Σημαντικό ρόλο παίζει η δροσερή θαλάσσια αύρα που μετριάξει τις υψηλές θερμοκρασίες της καλοκαιρινής περιόδου στις παράκτιες περιοχές, και οι βόρειοι άνεμοι (ετησίες) που επικρατούν στο Αιγαίο πέλαγος.

Οι μήνες Οκτώβριος και Απρίλιος μπορούν να χαρακτηριστούν σαν μεταβατικοί, καθώς έχουν χαρακτηριστικά και από τις δυο βασικές περιόδους (χειμώνα/καλοκαίρι). Οι μήνες Ιανουάριος και Φεβρουάριος είναι οι ψυχρότεροι και βροχερότεροι μήνες, ενώ χαρακτηρίζονται και από χιονοπτώσεις. Κατά μέσον όρο η μέση ελάχιστη θερμοκρασία κυμαίνεται από  $5-10^{\circ}\text{C}$  στις παραθαλάσσιες περιοχές, από  $0 - 5^{\circ}\text{C}$  στις ηπειρωτικές περιοχές και με χαμηλότερες τιμές κάτω από το μηδέν στις βόρειες περιοχές. Αντίθετα το τελευταίο δεκαήμερο του Ιουλίου και το πρώτο του Αυγούστου είναι η θερμότερη και ξηρότερη περίοδος με τη μέση μέγιστη θερμοκρασία να κυμαίνεται από  $29^{\circ}\text{C}$  μέχρι  $35^{\circ}\text{C}$ . Ο Αύγουστος, μπορεί να

χαρακτηριστεί ως ο πιο αντιπροσωπευτικός μήνας του καλοκαιριού καθώς οι τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας είναι περίπου στο μέσο των ακραίων τιμών της θερινής περιόδου.

Η έλευση του χειμώνα είναι απότομη και μέσα στον Οκτώβριο σημειώνεται απότομη πτώση της θερμοκρασίας (~5 °C) με την έναρξη ψυχρών εισβολών και την εμφάνιση του πρώτου χιονιού στα ορεινά. Οι ενδιάμεσες εποχές διακρίνονται με σαφήνεια. Πιο συγκεκριμένα, η άνοιξη έχει μικρή διάρκεια διότι ο μεν Χειμώνας είναι όψιμος, το δε καλοκαίρι αρχίζει πρόωγα, ενώ το φθινόπωρο είναι μακρύ (πολλές φορές παρατείνεται στη Νότια Ελλάδα και μέχρι τα μισά του Δεκεμβρίου) και θερμότερο σε σχέση με την άνοιξη κατά 2-4 °C .

### 1.3.1 Αστικό κλίμα

Η δομή του περιβάλλοντος μιας πόλης σε μια περιοχή, διαμορφώνει το μικρόκλιμά της σε έναν ιδιαίτερο τύπο κλίματος, πολύ διαφορετικό από τον προβλεπόμενο τύπο κλίματος της συγκεκριμένης γεωγραφικής περιοχής, και προφανώς εντελώς διαφορετικό από αυτόν που συναντάται στις γειτνιάζουσες αγροτικές περιοχές, τον γνωστό ως αστικό τύπο κλίματος.

Τα αστικά κέντρα, χαρακτηρίζονται από υψηλές θερμοκρασίες αέρα, ιδιαίτερα χαρακτηριστικά ανεμομετρικών συνθηκών, καθώς και ρύπανση του αέρα που σε συνδυασμό με τα δομικά χαρακτηριστικά της πόλης, συνθέτουν, το αστικό μικρόκλιμα (urban microclimate) (Αριανούτσου κ.α., 1999).

Το φαινόμενο αυτό οφείλεται κυρίως στην μεγάλη αστική ανάπτυξη. Η ραγδαία αύξηση της αστικοποίησης προκάλεσε μεγάλη αλλοίωση στη μορφολογία του εδάφους. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία του φαινομένου της «θερμικής νησίδας».

Η θερμική νησίδα αποτελεί φαινόμενο όλων των σύγχρονων μεγάλων πόλεων. Η έντασή της όμως εξαρτάται από την πυκνότητα, το ύψος, την δομή και τον όγκο των κτηρίων καθώς και από την έκταση των ελεύθερων περιοχών μέσα στην πόλη (δασύλλια, πάρκα, άλση, κ.α.).

Το αποτέλεσμα του φαινομένου αυτού είναι ότι παρατηρείται αυξημένη θερμοκρασία στο κέντρο των μεγαλουπόλεων, σε σχέση με τις γειτνιάζουσες περιοχές. Στην πλήρη ανάπτυξή της η θερμική νησίδα έχει μια θερμοκρασία κατά μέσο όρο 5,5 °C. Ενώ σε αρκετές περιπτώσεις, με ευνοϊκές συνθήκες, το κέντρο της πόλης, όπου σημειώνεται η μεγαλύτερη θερμοκρασία, παρουσιάζει μια διαφορά θερμοκρασίας με την περιφέρεια, η οποία φτάνει ακόμα και τους 7-8 °C. Έτσι, η μέση ετήσια θερμοκρασία της πόλης μπορεί να αυξηθεί ανάλογα από 0,5 °C έως και 1 °C (Los Angeles 0,7 °C, Μόσχα 0,7 °C, Αθήνα 0,5 °C).

Η διαφορά της θερμοκρασίας είναι συνήθως μεγαλύτερη το βράδυ σε σχέση με τη μέρα και το χειμώνα παρά το καλοκαίρι και είναι εντονότερη όταν η ένταση του ανέμου έχει μικρότερες τιμές. Επιπρόσθετα κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού μπορεί να παρουσιαστούν διακυμάνσεις στη θερμοκρασία από "γειτονία σε γειτονία" μέσα στην ίδια πόλη, ειδικά τις βραδινές ώρες (στον αστικό ιστό, εντοπίζεται μια ποικιλία επιμέρους μικροκλιμάτων).

Το φαινόμενο της «θερμικής νησίδας» συντελεί σε ένα μεγάλο ποσοστό στην αύξηση των συγκεντρώσεων ρύπων. Η αύξηση της θερμοκρασίας στο κέντρο της πόλης δημιουργεί ανοδικά ρεύματα αέρα, τα οποία όταν φτάσουν σε ένα συγκεκριμένο ύψος μεταφέρονται προς τα προάστια, ενώ στα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, οι αέριες μάζες, μετακινούνται αντίστροφα από τα προάστια στο κέντρο της πόλης, για να αναπληρώσουν το κενό. Έτσι δημιουργείται μια κυκλοφοριακή 'κυψέλη' η οποία μεταφέρει τους ρύπους από το κέντρο προς τα προάστια και ξανά στο κέντρο (Μ.Πετράκης, 2000).

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

- Οι τοπογραφικές συνθήκες του περιβάλλοντος χώρου μιας πόλης μπορεί να δημιουργήσουν κλιματικές παραλλαγές. Αν δηλαδή μια περιοχή, είναι ορεινή ή πεδινή ή αν βρίσκεται κοντά σε ποτάμι ή θάλασσα.
- Το ανάγλυφο της αστικής περιοχής, για παράδειγμα η ύπαρξη ή μη λόφων μέσα σε μια πόλη. Παρατηρείται διαφορά στις κλιματικές συνθήκες στις προσήνεμες και υπήνεμες πλευρές των λόφων.
- Η εδαφολογική σύσταση της περιοχής. Αν δηλαδή το έδαφος είναι αργιλώδες παρουσιάζει μεγαλύτερη υδατοχωρητικότητα απ' ό τι το αμμώδες με αποτέλεσμα να συγκρατεί μεγαλύτερο ποσοστό υγρασίας και να παρουσιάζει σταθερότερη θερμοκρασία. Αυτή η επίδραση τείνει να εξαφανιστεί πλέον στις μεγάλες πόλεις λόγω του γεγονότος ότι όλο και περισσότερες επιφάνειες καλύπτονται από τσιμέντο και άσφαλτο.
- Η πυκνότητα της δόμησης μέσα στην πόλη επηρεάζει τη σκίαση των ακάλυπτων περιοχών μεταξύ των κτηρίων, με αποτέλεσμα να διαφοροποιούνται οι θερμομετρικές συνθήκες. Όταν η απόσταση μεταξύ των οικοδομών είναι ίση με το ύψος των κτηρίων το κάτω μέρος της πρόσοψης με νότιο προσανατολισμό σκιάζεται για πιο μεγάλο χρονικό διάστημα.
- Η τραχύτητα της επιφάνειας των πόλεων που διαμορφώνεται από το ύψος των κτηρίων. Σ' αυτή την τραχύτητα οφείλεται η μείωση της ταχύτητας του ανέμου μέσα στα αστικά κλίματα, αλλά και η δημιουργία έντονων στροβιλισμών του ανέμου.
- Η διάταξη του πρασίνου και η μορφή της βλάστησης. Η επίδραση του πρασίνου έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της θερμοκρασίας του γειτνιάζοντος αέρα, την αύξηση της σχετικής υγρασίας και την ελάττωση των θερμομετρικών διακυμάνσεων. Η επίδραση του πρασίνου στη διαμόρφωση του τοπικού κλίματος έχει έμμεση σχέση με την διεύθυνση και την ένταση του ανέμου.
- Η μορφή της εδαφοκάλυψης μιας περιοχής. Έχει αποδειχτεί ότι σε περιοχές που είναι καλυμμένες με άσφαλτο, καταγράφονται πολύ υψηλότερες τιμές θερμοκρασίας από ότι σε άλλες που καλύπτονται με φυτά ή άλλου είδους κάλυψη. Σύμφωνα με μελέτες που έχουν γίνει το 15% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας αντανακλάται ενώ το υπόλοιπο 85% απορροφάται από τον ιστό της πόλης (Oke 1987). Οι περισσότερες επιφάνειες που βρίσκονται στην πόλη έχουν υψηλή ικανότητα θερμικής εκπομπής, δηλαδή τα δομικά στοιχεία

αποβάλλουν τη θερμότητα που έχουν απορροφήσει και έτσι ψύχονται, θερμαίνοντας όμως τους υπαίθριους χώρους γύρω από αυτές.

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

#### 1.4 Κύματα καύσωνα (Heat waves)

Αυστηρός ορισμός του «καύσωνα» δεν υπάρχει, καθώς τα κριτήρια για τον ορισμό του διαφοροποιούνται ανάλογα με τη γεωγραφική θέση και τις κλιματικές συνθήκες μιας περιοχής. Για παράδειγμα, ενώ στις Σκανδιναβικές χώρες, τιμές της θερμοκρασίας περί τους 35 °C θεωρούνται ότι αγγίζουν τα όρια του «καύσωνα», για την Ελλάδα χαρακτηρίζονται ως «φυσιολογικές». Αντίθετα, τιμές περί τους 40 °C, ενώ για τους κατοίκους της Σαχάρας ή της Σαουδικής Αραβίας θεωρούνται μάλλον κανονικές, στον ελληνικό χώρο χαρακτηρίζονται ως τιμές «καύσωνα». Πάντως ο κατά λέξη ορισμός που χρησιμοποιείται για τον καύσωνα στη διεθνή μετεωρολογική κοινότητα είναι heat wave (κύμα ζέστης), και αναφέρεται σε μια περίοδο ασυνήθιστου και δυσάρεστου θερμού και υγρού καιρού. Αν και ως όρος μπορεί να γίνει εύκολα κατανοητός, ωστόσο μεταξύ των μετεωρολόγων επικρατεί σύγχυση για τα όρια και τα κατώφλια του καύσωνα. Σε γενικές γραμμές μια περίοδος χαρακτηρίζεται ως καύσωνας όταν η μέση ημερήσια θερμοκρασία είναι ανώτερη των 31°C και έχει διάρκεια πάνω από τρεις ημέρες (World Health Organization 2003). Στα μέσα και υψηλά γεωγραφικά πλάτη, τα κύματα καύσωνα εμφανίζονται το καλοκαίρι, ενώ στους τροπικούς είναι ενδημικά.

Σύμφωνα με την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία για να οριστεί μια περίοδος ως περίοδος καύσωνα στην Ελλάδα πρέπει να πληρούνται οι εξής προϋποθέσεις:

- Η μέγιστη θερμοκρασία σε συνοπτικούς ή αεροναυτικούς μετεωρολογικούς σταθμούς να είναι μεγαλύτερη ή ίση των 39 βαθμών Κελσίου.
- Η ελάχιστη θερμοκρασία να είναι μεγαλύτερη των 26 βαθμών Κελσίου.
- Να επικρατεί άπνοια ή ασθενείς άνεμοι και το θερμοκρασιακό εύρος να είναι μικρό.
- Οι υψηλές θερμοκρασίες να παρατηρούνται σε ευρεία γεωγραφική έκταση και η διάρκειά τους να υπερβαίνει τις τρεις ημέρες.

Οι κυριότεροι μετεωρολογικοί παράγοντες που είναι υπεύθυνοι για τη γένεση του καύσωνα στην Ελλάδα είναι οι εξής:

- Η πολύ ισχυρή θερμή μεταφορά σε όλη την ελεύθερη τροπόσφαιρα. Οι αέριες μάζες είναι τροπικές – ηπειρωτικές με προέλευση από τη Βόρεια Αφρική, αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις θερμές αέριες μάζες είναι δυνατόν να μεταφερθούν στη χώρα από τις ηπειρωτικές περιοχές του τριγώνου Ανατολικής Τουρκίας – Ιράκ – Συρίας.
- Οι μεγάλης κλίμακας κατολισθήσεις του αέρα σε μια εκτεταμένη περιοχή που περιλαμβάνει και τον ελληνικό χώρο και που οφείλονται στην αρνητική

μεταφορά στροβιλισμού λόγω της έντονα αντικυκλωνικής κυκλοφορίας στην Κεντρική Μεσόγειο, Νότια Ιταλία και Βαλκάνια.

- Η έντονη μη αδιαβατική θέρμανση λόγω της παρατεταμένης ηλιοφάνειας. Σε αρκετές περιπτώσεις καύσωνα η κατακόρυφη θερμοβαθμίδα στο στρώμα επιφάνεια – 850hPa είναι υπερξηροαδιαβατική και συχνά παρατηρούνται τιμές 12°C/1000m.

Αυτό που πρέπει να επισημανθεί είναι ότι σε περιόδους καύσωνα, στην Αθήνα αλλά και γενικότερα στις πόλεις, εντείνεται το φαινόμενο της «θερμικής νησίδας». Τα κτίρια λόγω της μεγάλης τους θερμοχωρητικότητας δεν μπορούν να αποβάλλουν τα ποσά της θερμότητας ακόμη και το βράδυ. Η δόμηση, η χρήση των κλιματιστικών, η ασφαλτος, τα τεράστια κτίρια, τονίζουν την επίδραση του καύσωνα στον ανθρώπινο οργανισμό και δημιουργούν ακόμα μεγαλύτερη δυσφορία.

Επιπλέον, η ζέστη και ο καύσωνας προκαλούν ένα αίσθημα δυσφορίας. Συνεχιζόμενη ζέστη αυξάνει τη δυσφορία και μπορεί να προκαλέσει δυσμενείς επιδράσεις στην υγεία, ιδιαίτερα σε συνδυασμό με υψηλά επίπεδα υγρασίας ή με επιδείνωση της φυσικής κατάστασης ενός ατόμου. Το αίσθημα δυσφορίας όχι μόνο αυξάνει με την αύξηση της απόκλισης από άνετες συνθήκες, αλλά και με το χρόνο διάρκειας τέτοιων συνθηκών.

Οι κυριότεροι κίνδυνοι που προκύπτουν από ένα κύμα καύσωνα είναι:

- αφυδάτωση,
- υπερθέρμανση, η οποία μπορεί να επιδεινώσει επιμέρους συμπτώματα σε άτομα που έχουν ήδη προβλήματα με την καρδιά ή την αναπνοή τους, και
- θερμοπληξία

Ενδεικτικά αναφέρονται κάποιες από τις ευάλωτες ομάδες που επηρεάζονται κατά τη διάρκεια ενός καύσωνα:

- Βρέφη και μικρά παιδιά.
- Όλα τα ηλικιωμένα άτομα (> 65 ετών).
- Άτομα που πάσχουν από χρόνια νοσήματα όπως καρδιοπάθειες, πνευμονοπάθειες, ηπατοπάθειες, σακχαρώδη διαβήτη προβλήματα κ.λ.π.
- Άτομα με κινητικά προβλήματα πχ ασθενείς με Πάρκινσον ή άτομα που έχουν υποστεί εγκεφαλικό επεισόδιο.
- Άτομα με σοβαρά προβλήματα ψυχικής υγείας.

Όπως γίνεται κατανοητό από τα παραπάνω ένα κύμα καύσωνα έχει σημαντικές επιπτώσεις στον άνθρωπο. Γι' αυτό οι αρμόδιες υπηρεσίες και οι τοπικές αρχές ενημερώνουν τους πολίτες και δίνουν οδηγίες με σκοπό την προφύλαξή τους.

Ο καύσωνας δεν είναι μόνο ένα καιρικό φαινόμενο αλλά έχει και κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις για τη χώρα και την περιοχή που δέχεται το κύμα αυτό. Στις περισσότερες χώρες οι αυξημένες θερμοκρασίες δεν θεωρούνται φυσικές καταστροφές (K.D.Sullivan et. al 1995; Pumadere et. al 2005) και γι' αυτό το λόγο παρατηρούνται πάρα πολλά θύματα κατά τη διάρκεια κυμάτων καύσωνα.

Για τον ελληνικό χώρο ο καύσωνας του Ιουλίου του 1987 χαρακτηρίστηκε ως η χειρότερη περίοδος καύσωνα των τελευταίων δεκαετιών, όπου από τις 19 ως και τις

27 του μηνός ο υδράργυρος ξεπέρασε σε πολλές περιοχές τους 39 βαθμούς και παρέμεινε για οκτώ ημέρες σε πολύ υψηλές τιμές και με μικρό ημερήσιο θερμοκρασιακό εύρος. Ανάλογο «θερμό επεισόδιο» επαναλήφθηκε στις αρχές Ιουλίου του 1988, με επίσης μεγάλη διάρκεια θερμών ημερών - έξι τον αριθμό.

Στο Σικάγο, σύμφωνα με τις αναφορές στα επίσημα δεδομένα των δυο αεροδρομίων της πόλης, οι θερμοκρασίες που σημειώθηκαν το 1995 ήταν οι υψηλότερες μέσες θερμοκρασίες τα 123 χρόνια που γίνονται επίσημες καταγραφές. Ένα ακόμη χαρακτηριστικό του καύσωνα αυτού ήταν η πολύ υψηλή υγρασία του αέρα που έφτανε πάνω από το 90% τις απογευματινές ώρες. Αυτό οφείλεται σε γενικότερα υψηλή υγρασία της αέριας μάζας αλλά και από τοπικούς παράγοντες όπως λίμνες, δάση και υψηλές συγκεντρώσεις αστικοποίησης που όξυναν το φαινόμενο (K.D.Sullivan et al., 1995). Οι κοινωνικές επιπτώσεις από το κύμα καύσωνα ήταν καταστροφικές καθώς χάθηκαν πάνω από 580 άτομα μόνο στη πόλη του Σικάγο (S.A.Changnon et al., 1996). Σημαντική ήταν και η επίδραση στον τομέα της ενέργειας, στην κτηνοτροφία και στις καλλιέργειες, αλλά και στον τομέα των μεταφορών, που επηρεάζεται στο επίπεδο των υποδομών αλλά και των μεταφορικών μέσων-προϊόντων.

Το 2003 ήταν το θερμότερο καλοκαίρι που έχει περάσει η Ευρώπη από την εποχή που ξεκίνησαν οι μετεωρολογικές καταγραφές. Ο καύσωνας του 2003 ήταν ο πιο καταστροφικός για όλες τις χώρες της Ευρώπης και ιδιαίτερα για τις μεγαλουπόλεις. Έπληξε το σύνολο σχεδόν της ευρωπαϊκής ηπείρου και προκάλεσε πάνω από 100.000 θύματα σε όλες τις χώρες. Στο Παρίσι και μόνο σημειώθηκαν 1.854 θύματα κατά τη διάρκεια του δεκαήμερου καύσωνα. Τα θύματα αυτά ξεπέρασαν την προσδοκώμενη θνησιμότητα για τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο κατά 142% (Picard P. et al., 2005). Η θερμή εισβολή έγινε λόγω του αντικυκλώνα του ατλαντικού που εξαπλώθηκε και εγκαταστάθηκε πάνω από την δυτική ηπειρωτική Ευρώπη. Η εξάπλωση αυτή διήρκεσε από τις αρχές Ιουνίου ως τα τέλη Αυγούστου (Εγκυκλοπαίδεια Britannica). Οι θερμοκρασίες που καταγράφηκαν ήταν οι υψηλότερες στην Ευρώπη από το 1500 (Pumadere M., et al., 2005).

## 1.5 Κλιματική αλλαγή

Οι κλιματικές συνθήκες στη Γη καθορίζονται από μια συνεχή ροή ενέργειας από τον ήλιο. Η θερμική ενέργεια του ήλιου, διαπερνά την ατμόσφαιρα της Γης και θερμαίνει την επιφάνεια της. Όσο αυξάνει η θερμοκρασία της επιφάνειας, η Γη στέλνει, υπό τη μορφή υπέρυθρης ακτινοβολίας, θερμική ενέργεια πίσω στην ατμόσφαιρα. Ένα μέρος αυτής της ενέργειας απορροφάται από αέρια (τα γνωστά 'αέρια του θερμοκηπίου'), όπως το διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο, υποξείδιο του αζώτου και υδρατμοί, παγιδεύοντας έτσι την ενέργεια και διατηρώντας τη μέση θερμοκρασία της Γης στους περίπου 15°C. Αυτά τα επίπεδα θερμοκρασίας είναι απαραίτητα για τη διατήρηση της ζωής για ανθρώπους, φυτά και ζώα. Δίχως αυτά τα αέρια, η θερμοκρασία της Γης θα έφτανε στους -18°C, 'παγώνοντας' τις περισσότερες μορφές ζωής. Το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) είναι το πιο σημαντικό από τα αέρια που διατηρούν τα επιθυμητά επίπεδα θερμοκρασίας στη Γη. Οι διεργασίες εκπομπής και απορρόφησης CO<sub>2</sub> που προκύπτουν στη φύση αποτελούν

τον φυσικό κύκλο του αερίου και είναι υπεύθυνες για τη διατήρηση της ισορροπημένης συγκέντρωσης του CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα. Μέσω της αποσύνθεσης φυτών, ηφαιστειακών εκρήξεων, της αναπνοής ζωικών οργανισμών, ελευθερώνεται CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα το οποίο απορροφάται εκ νέου μέσω της φωτοσύνθεσης και της διάλυσής του στο νερό (π.χ. στους ωκεανούς). Η φύση έχει προνοήσει για την σχεδόν τέλεια διατήρηση της ισορροπίας του εκπεμπόμενου CO<sub>2</sub> και της αντίστοιχης ποσότητας που απορροφάται. Ακόμα, όμως, και μικρές αλλαγές οφειλόμενες σε ανθρώπινες δραστηριότητες είναι δυνατό να επηρεάσουν αυτήν την εύθραυστη ισορροπία.

Το κλίμα θεωρείται η μέση κατάσταση του καιρού. Χωρίς αυτό να σημαίνει ότι παραμένει ένα σταθερό και μη μεταβαλλόμενο φαινόμενο. Αντίθετα, το κλιματικό σύστημα χαρακτηρίζεται από σταθερή αλλαγή. Οι κλιματικές μεταβολές οδηγούν σε τροποποιήσεις των μέσων όρων, της μεταβλητότητας και της συχνότητας των ακραίων τιμών της θερμοκρασίας, του υετού, της πίεσης και άλλων μετεωρολογικών μεταβλητών. Τέτοιες αλλαγές, που μπορεί να συμβούν σε όλες τις κλίμακες χρόνου και χώρου, πέραν των μεμονωμένων καιρικών συμβάντων, ορίζονται ως κλιματική μεταβλητότητα (IPCC, 2007). Κατά τη διάρκεια της ιστορίας της Γης το κλίμα υπέστη πολλές μεταβολές και διακυμάνσεις (Μαχαίρας & Πιτσούλης, 1991). Οι κλιματικές συνθήκες μεταβάλλονταν μαζί με τις γεωλογικές μεταβολές που συνέβαιναν στον στερεό φλοιό της.

Αντίστοιχα, στατιστικά σημαντικές αλλαγές στη μέση κατάσταση του κλίματος ή στην αναμενόμενη μεταβλητότητα, όπως προκύπτουν από μια σειρά συνεχών παρατηρήσεων με διάρκεια συνήθως δεκαετιών ή περισσότερο, αναφέρονται ως κλιματική αλλαγή (IPCC, 2001). Ο όρος αυτός αναφέρεται σε οποιαδήποτε αλλαγή στο κλίμα κατά την πάροδο του χρόνου που είτε οφείλεται σε φυσική μεταβλητότητα είτε είναι αποτέλεσμα της ανθρώπινης δραστηριότητας. Αυτή η έννοια της κλιματικής αλλαγής διαφέρει από αυτήν που διατυπώθηκε στο Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (UNFCCC), όπου η κλιματική αλλαγή αναφέρεται σε μια κατάσταση του κλίματος η οποία αποδίδεται άμεσα ή έμμεσα στην ανθρώπινη δραστηριότητα που μεταβάλλει τη σύνθεση της παγκόσμιας ατμόσφαιρας. Η αλλαγή αυτή της σύνθεσης της ατμόσφαιρας και η κλιματική αλλαγή λειτουργούν σαν ένα πρόσθετο στοιχείο στη φυσική κλιματική μεταβλητότητα.

Στην πραγματικότητα οι παράγοντες που επηρεάζουν την κατάσταση και την εξέλιξη του κλίματος είναι πολλοί και αλληλεπιδρούν μεταξύ τους.

Έτσι, οι αιτίες της κλιματικής μεταβλητότητας και αλλαγής περιλαμβάνουν: (1) τις φυσικές εσωτερικές διαδικασίες, όπως δυναμικές και θερμοδυναμικές αλληλοεπιδράσεις μεταξύ ατμόσφαιρας και ωκεανών, ορογένεση και αλλαγές στην επιφάνεια της Γης που επιδρούν στην αντανάκλαση της ηλιακής ακτινοβολίας και ηφαιστειακή δραστηριότητα, (2) τις εξωτερικές αλλαγές (εξωγήινα συστήματα), όπως για παράδειγμα η αλλαγή της ηλιακής δραστηριότητας, η οποία θα οδηγούσε στη διαφοροποίηση της ποσότητας της ηλιακής ακτινοβολίας που λαμβάνεται από την ατμόσφαιρα και την επιφάνεια της Γης και (3) τις ανθρώπινες δραστηριότητες που επιδρούν στις αλλαγές της δομής και της σύστασης της ατμόσφαιρας με μεταβολές των συγκεντρώσεων των αερίων που περιέχει αλλά επηρεάζουν και με τις αλλαγές στις χρήσεις γης.

Όποια κι αν είναι τα πραγματικά αίτια για τις κλιματικές μεταβολές, οι βασικοί μηχανισμοί της δημιουργίας τους φαίνεται ότι έχουν σχέση με τις μεταβολές στο ενεργειακό ισοζύγιο στην επιφάνεια της Γης και στη γενική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας (Μαχαίρας & Μπαλαφούτης, 1984).

Με βάση όλα τα παραπάνω, γίνεται κατανοητό ότι η κλιματική αλλαγή έχει σοβαρές επιπτώσεις (άμεσες ή έμμεσες) στο φυσικό περιβάλλον αλλά και σε κάθε ανθρώπινη δραστηριότητα. Επιγραμματικά αναφέρονται:

- Έντονες μεταβολές θερμοκρασίας.
- Ακραία καιρικά φαινόμενα (ξηρασία, βροχοπτώσεις, χιονοπτώσεις)
- Τήξη πάγων
- Ανύψωση της στάθμης της θάλασσας.
- Δασικές πυρκαγιές
- Μεταβολή της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας
- Αλλαγές στα οικοσυστήματα και στη βιοποικιλότητα (χλωρίδα, πανίδα, ποτάμια, λίμνες κ.α.)
- Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία

Μια από τις πιο σημαντικές παραμέτρους για την κλιματική αλλαγή είναι οι αλλαγές στη συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα από ανθρώπινες δραστηριότητες. Αυτό οφείλεται κυρίως στην υπερβολική χρήση ορυκτών πόρων, όπως είναι ο άνθρακας και ο λιγνίτης, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, η καύση των οποίων απελευθερώνει τεράστιες ποσότητες CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα. Με αυτό τον τρόπο η ‘κουβέρτα’ των αερίων του θερμοκηπίου που καλύπτει τη Γη συγκρατεί ολοένα και περισσότερη ενέργεια η οποία, με τη σειρά της, αυξάνει την μέση θερμοκρασία του πλανήτη. Η ανθρώπινη παρέμβαση στον φυσικό κύκλο του CO<sub>2</sub> τα τελευταία 150 χρόνια έχει υπάρξει καθοριστική. Η απερισκεπτη καύση ορυκτών καυσίμων αλλά και οι κτηνοτροφικές δραστηριότητες που συμβάλουν στην εκπομπή μεθανίου, σε συνδυασμό με την αποψίλωση των δασών τα οποία απορροφούν τα αέρια του θερμοκηπίου, έχουν διαταράξει ανεπανόρθωτα τις ισορροπίες στον κύκλο του CO<sub>2</sub>. Η μεγάλη ποσότητα CO<sub>2</sub> που πλέον συγκεντρώνεται στην ατμόσφαιρα, έχει συμβάλει στην αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη, ενώ η ταχύτητα με την οποία συντελείται αυτή η αύξηση είναι σημαντικά μεγαλύτερη από οποιαδήποτε φυσική διεργασία. Το αποτέλεσμα είναι η αδυναμία των φυσικών συστημάτων να προσαρμοστούν στα νέα δεδομένα. Είναι σαφές πως η αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας δε σημαίνει απαραίτητα πιο ζεστό κλίμα για όλους, σε όλες τις περιοχές του κόσμου. Καθώς ο πλανήτης θερμαίνεται το κλιματικό σύστημα μεταβάλλεται συμβάλλοντας στην αύξηση εμφάνισης ακραίων και απρόβλεπτων καιρικών φαινομένων. Αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα άλλες περιοχές να είναι πιο ζεστές, άλλες πιο κρύες, ενώ ανάλογα θα επηρεαστούν και τα επίπεδα υγρασίας του πλανήτη – άλλοτε δημιουργώντας συνθήκες ξηρασίας, άλλοτε υπερβολικά μεγάλες ποσότητες βροχόπτωσης.

Το 1988 ιδρύθηκε η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC) από τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό και το Πρόγραμμα Περιβάλλοντος υπό την αιγίδα του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών η οποία εξετάζει τις επιστημονικές αποδείξεις για την υπερθέρμανση του πλανήτη που προκαλείται από τα βλαβερά αέρια τα οποία

εκλύονται στην ατμόσφαιρα. Ο σκοπός της επιτροπής είναι η αξιολόγηση της επιστημονικής γνωστικής βάσης και των ερευνών που διεξάγονται για τη μελέτη των κλιματικών αλλαγών. Η επιτροπή αξιολογεί επίσης τις συνέπειες των κλιματικών μεταβολών που προέρχονται από ανθρώπινη δραστηριότητα, μελετώντας πιθανές πολιτικές και δράσεις για την αντιμετώπιση των ενδεχόμενων κινδύνων. Η επιτροπή συνέρχεται μία φορά ετησίως, προκειμένου να καθοριστούν η εσωτερική λειτουργία, οι αρχές και το πρόγραμμα εργασίας της ή να εγκριθούν οι εκθέσεις της.

Στο πλαίσιο του περιορισμού των φαινομένων της κλιματικής αλλαγής που οφείλονται σε ανθρώπινες δραστηριότητες, τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει πολλές διεθνείς διασκέψεις που ο βασικός στόχος τους ήταν η ανάπτυξη συμφωνιών μεταξύ των συμμετεχόντων χωρών για τη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου. Ενδεικτικά αναφέρονται:

- Ρίο Ντε Τζανέιρο, 1992, όπου ο γενικός στόχος του συνεδρίου ήταν η σταθεροποίηση των συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα σε επίπεδα τέτοια ώστε να προληφθούν επικίνδυνες επιπτώσεις στο κλίμα από ανθρώπινες δραστηριότητες.
- Κιότο, 1997, σκοπός ήταν η ανάπτυξη νομικού εργαλείου για τον έλεγχο των εκπομπών, γνωστό ως «Πρωτόκολλο του Κιότο» και δέσμευση των βιομηχανικά ανεπτυγμένων χωρών να μειώσουν τις εκπομπές έξι αερίων του θερμοκηπίου την περίοδο 2008-2012 σε ποσοστό 5,2% σε σχέση με τα επίπεδα του 1990.
- Χάγη, 2000, στόχος ήταν η αποσαφήνιση των εργαλείων με τα οποία θα γίνει εφικτή η υλοποίηση των υποσχέσεων του Κιότο. Όμως οι διαπραγματεύσεις απέτυχαν καθώς ΗΠΑ, Ιαπωνία, Αυστραλία και Καναδάς, στη μείωση των εκπομπών, αντιπροτείνουν τη δημιουργία δασών για κατακράτηση του άνθρακα.
- Νέο Δελχί, 2002, όπου πραγματοποιήθηκε η 8<sup>η</sup> Σύνοδος των Μελών στη συνθήκη Πλαίσιο των Η.Ε. για τις κλιματικές αλλαγές που αποτελεί ορόσημο στη διαδικασία των διαπραγματεύσεων "Η Διακήρυξη του Δελχί" που τελικά υπογράφηκε από τους εκπροσώπους των 185 χωρών που συμμετείχαν στη συνάντηση, ωστόσο δεν υπήρξε καμία πρόοδος.
- Παρίσι, 2015, μακροπρόθεσμος στόχος της συμφωνίας είναι οι κυβερνήσεις να συγκρατήσουν την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη αρκετά κάτω από τους 2°C πάνω από τα προβιομηχανικά επίπεδα και να συνεχίσουν τις προσπάθειες να την περιορίσουν σε 1,5°C.

Ο περιορισμός της αύξησης της θερμοκρασίας στους 2°C, έχει αναγνωριστεί από το σύνολο της επιστημονικής κοινότητας, αλλά και από την Ευρωπαϊκή Ένωση, ως απαραίτητη προϋπόθεση για να αποφευχθούν οι χειρότερες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Ήδη παρατηρούνται σοβαρές αρνητικές επιπτώσεις στα οικοσυστήματα και στους ανθρώπινους πληθυσμούς – όπως η τήξη των θαλάσσιων πάγων στην Αρκτική – ακόμα και με τη σημερινή αύξηση της θερμοκρασίας στους 0,8°C σε σύγκριση με τα προβιομηχανικά επίπεδα. Αυτές θα μπορούσαν να προκαλέσουν θετικές ανατροφοδοτήσεις που θα επιφέρουν ακόμα μεγαλύτερη αύξηση της θερμοκρασίας και περαιτέρω δραματικές επιπτώσεις στα οικοσυστήματα του πλανήτη.

Η 4<sup>η</sup> Έκθεση Αξιολόγησης (AR4) της IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) προβλέπει επιπλέον:

- Μέσα στις επόμενες δεκαετίες, τα αποθέματα νερού που είναι αποθηκευμένα στους παγετώνες και στις χιονισμένες περιοχές θα μειωθούν προκαλώντας ελλείψεις νερού σε περισσότερο από 1 δις ανθρώπους.
- Το 20% με 30% όλων των ζωντανών οργανισμών στον πλανήτη θα αντιμετωπίζουν αυξημένο κίνδυνο εξαφάνισης, αν η άνοδος της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας ξεπεράσει τους 1,5-2,5°C.
- Σε χαμηλότερα γεωγραφικά πλάτη, και κυρίως σε ξηρές και τροπικές περιοχές, ακόμα και μικρές αυξήσεις της θερμοκρασίας της τάξης των 1°C - 2°C, αναμένεται να αυξήσουν τον κίνδυνο λιμών.
- Μετά το 2080 πολλά εκατομμύρια ανθρώπων αναμένεται να επηρεαστούν από πλημμύρες στα σπίτια και τις επιχειρήσεις τους εξαιτίας της ανόδου της στάθμης της θάλασσας κάθε χρόνο. Σε ιδιαίτερο κίνδυνο βρίσκονται πυκνοκατοικημένες περιοχές, καθώς και περιοχές που βρίσκονται σε χαμηλό υψόμετρο με περιορισμένες ικανότητες προσαρμογής.

Διάφορες πρωτοβουλίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης στοχεύουν στον περιορισμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Αφότου πέτυχε τους στόχους της στο πλαίσιο του Πρωτοκόλλου του Κιότο για την περίοδο 2008-2012, η Ε.Ε. υιοθέτησε τον στόχο να μειώσει μέχρι το 2020 τις εκπομπές της όσον αφορά τα αέρια του θερμοκηπίου κατά 20 % σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990. Για να επιτευχθεί αυτό — ένας από τους κύριους στόχους της στρατηγικής Ευρώπη 2020 — έχει θεσπιστεί ένα ανώτατο όριο για το σύστημα εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπών (ΣΕΔΕ) της Ε.Ε. σε επίπεδο Ένωσης, ενώ επιμέρους εθνικοί στόχοι για τις εκπομπές σε τομείς που δεν καλύπτονται από το ΣΕΔΕ θεσπίστηκαν στο πλαίσιο της απόφασης για τον επιμερισμό των προσπαθειών. Παράλληλα, η Ε.Ε. έχει εκδώσει νομοθεσία για την ενίσχυση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, όπως η αιολική, η ηλιακή, η υδροηλεκτρική και η ενέργεια από βιομάζα, καθώς και για τη βελτίωση της ενεργειακής αποτελεσματικότητας μιας σειράς εξοπλισμών και οικιακών συσκευών. Η Ε.Ε. στοχεύει επίσης στη στήριξη της ανάπτυξης των τεχνολογιών δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα για την παγίδευση και την αποθήκευση του CO<sub>2</sub> που εκπέμπεται από σταθμούς παραγωγής και άλλες μεγάλες εγκαταστάσεις. Στο πλαίσιο των πολιτικών για το κλίμα και την ενέργεια, η Ε.Ε. έχει δεσμευτεί να μειώσει μέχρι το 2030 τις εκπομπές στην επικράτειά της κατά τουλάχιστον 40% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990. Η Ευρωπαϊκή Ενεργειακή Ένωση, σκοπός της οποίας είναι να διασφαλίσει ότι η Ευρώπη διαθέτει ασφαλή, οικονομικά προσιτή και φιλική προς το περιβάλλον ενέργεια, έχει τον ίδιο στόχο.

Η Ελλάδα απ' την άλλη, δεν έχει σχεδιάσει μέχρι στιγμής κάποια εθνική στρατηγική για τη προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή, αν και γεωγραφικά ανήκει σε μια από τις πιο ευπαθείς περιοχές της Μεσογείου. Σημειώνεται ότι στη λεκάνη της Μεσογείου έχουν ήδη διαπιστωθεί, διαχρονική μείωση των βροχοπτώσεων (της τάξης του 20%), αύξηση της θερμοκρασίας και έξαρση των ακραίων φαινομένων (κυρίως ξηρασίας, καύσωνα, δασικών πυρκαγιών). Το γεγονός αυτό καθιστά αναγκαία την προσαρμογή της Ελλάδας και τη λήψη άμεσων μέτρων αντιμετώπισης.

## 2. Παράγοντες διαμόρφωσης βιομετεωρολογικών συνθηκών

Όπως ήδη αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο οι βιοκλιματικές – βιομετεωρολογικές συνθήκες επιδρούν σημαντικά στους έμβιους οργανισμούς και ιδιαίτερα στη ζωή του ανθρώπου. Οι παράγοντες που επηρεάζουν άμεσα και διαμορφώνουν τις συνθήκες αυτές, είναι οι παράμετροι του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος, η τοπογραφία, η γεωγραφία και η γεωμετρία του περιβάλλοντος χώρου.

### 2.1 Συνθήκες ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος

Το ατμοσφαιρικό περιβάλλον, αποτελεί τον σημαντικότερο παράγοντα των βιοκλιματικών - βιομετεωρολογικών συνθηκών, καθώς έχει άμεσες και ιδιαίτερα σημαντικές επιδράσεις στους έμβιους οργανισμούς. Οι κύριες παράμετροι οι οποίες συμβάλλουν στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον είναι η ακτινοβολία, η θερμοκρασία, η υγρασία καθώς και η ένταση και διεύθυνση του ανέμου. Αυτές οι παράμετροι έχουν ιδιαίτερη βαρύτητα, αφού υπεισέρχονται στην πλειονότητα των βιομετεωρολογικών – βιοκλιματικών δεικτών με σκοπό την εκτίμηση της θερμικής αίσθησης των ζωικών οργανισμών και ιδιαίτερα του ανθρώπου.

#### 2.1.1. Ηλιακή ακτινοβολία

Με τον όρο ακτινοβολία εννοούμε την εκπομπή και διάδοση ενέργειας με ηλεκτρομαγνητικά κύματα, είτε στο κενό, είτε μέσα σε διαπερατό από την ακτινοβολία μέσο. Ο ήλιος είναι η μόνη κύρια και σημαντική πηγή της ενέργειας που είναι διαθέσιμη στα επιφανειακά στρώματα της γης και της ατμόσφαιρας αν και το ποσοστό της αντιπροσωπεύει μόλις τα δύο δεσεκατομμυριοστά της συνολικής ενέργειας που εκπέμπει ο ήλιος στο πλανητικό διάστημα. Η ηλιακή ενέργεια που φτάνει στη Γη από τον Ήλιο, ονομάζεται **ηλιακή ακτινοβολία**. Στο μεγαλύτερο μέρος της, περίπου 99%, είναι ηλεκτρομαγνητικής φύσεως και κατά το υπόλοιπο σωματιδιακής.

Η ηλιακή ακτινοβολία είναι ο κυριότερος παράγοντας για τις κατά τόπους διαφορές στο κλίμα, στην επιφάνεια της Γης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα ποσά της ηλιακής ενέργειας φτάνουν στις διάφορες περιοχές της Γης με διαφορετικό τρόπο, είτε λόγω του σχήματος της, οπότε ποικίλουν σημαντικά σε σχέση με το γεωγραφικό πλάτος (διαφορά θέρμανσης μεταξύ πόλων και ισημερινού), είτε λόγω της ιδιάζουσας τροχιάς της περί τον ήλιο και περί τον άξονά της (διακύμανση θερμοκρασίας μεταξύ ημέρας και νύχτας, εποχών, κ.λπ.), είτε λόγω διαφορετικού αναγλύφου (διαφορετική θέρμανση μεταξύ ξηράς και θάλασσας, ορέων και πεδιάδων, κ.λ.π.).

Η ηλιακή ενέργεια είναι παρούσα στην πορεία όλων των φυσικών και χημικών διεργασιών, καθώς και των φαινομένων που συμβαίνουν στη φύση. Οι ηλιακές ακτίνες κατά την πορεία τους μέσα στην ατμόσφαιρα της γης προκαλούν μια σειρά

από φαινόμενα (π.χ. το μπλε χρώμα του ουρανού, το διάχυτο φως, το ουράνιο τόξο, κ.α.). Επίσης είναι αιτία δημιουργίας των ατμοσφαιρικών κινήσεων. Με την άνιση θέρμανση που προκαλεί στα διάφορα τμήματα της επιφάνειας της Γης, καθώς και στον παρακείμενο αέρα, συντελεί στη δημιουργία των ανέμων και στη γενική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας. Τέλος, σημαντικό παράδειγμα της δράσης της ηλιακής ακτινοβολίας είναι η εξάτμιση τεράστιων μαζών νερού, που οδηγεί στη δημιουργία των νεφών και της βροχόπτωσης.

Η ακτινοβολία που εκπέμπεται από τον Ήλιο, φθάνει στην ατμόσφαιρα της Γης και αποτελεί στην ουσία την μοναδική πηγή ενέργειας για κάθε είδους και μορφή ζωής στον πλανήτη. Άλλες μορφές ενέργειας, θεωρούνται ασήμαντες σε σχέση με την ηλιακή και δεν διαδραματίζουν κανένα ρόλο στις θερμοκρασιακές διεργασίες που συμβαίνουν στον πλανήτη μας.

Η ηλιακή ακτινοβολία κατά τη διαδρομή της μέσα στην ατμόσφαιρα, απορροφάται, ανακλάται ή σκεδάζεται από τους υδρατμούς, τις υδροσταγόνες, τη σκόνη κ.λπ., σε βαθμό που εξαρτάται από την πυκνότητα της ατμόσφαιρας και τη διαδρομή των ακτίνων μέσα σε αυτή. Αυτή η διαδρομή εξαρτάται από το ύψος του ήλιου, δηλαδή τη γωνία που σχηματίζουν οι ακτίνες του ήλιου με το οριζόντιο επίπεδο. Η κατανομή της ηλιακής ενέργειας σε αυτή την περίπτωση δίνεται από την εξίσωση του νόμου του Lambert ( $I=I_0 \cos\theta$ ), όπου  $I$  είναι το ποσό της ηλιακής ενέργειας που φτάνει σε μια τυχαία επί της Γης επιφάνεια,  $I_0$  είναι η **ηλιακή σταθερά**, δηλαδή η ποσότητα της ηλιακής ενέργειας που δέχεται η μονάδα της επιφάνειας της κάθετης στις ηλιακές ακτίνες στη μέση απόσταση Γης - Ήλιου στο όριο της ατμόσφαιρας μέσα σε ένα λεπτό ( $I_0 \approx \text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$ ) και  $\theta$  η γωνία μεταξύ της ηλιακής δέσμης και του μεγίστου ενός τόπου. Από δορυφορικές μετρήσεις που έχουν γίνει η τιμή της ηλιακής σταθεράς είναι  $1.373 \text{Wm}^{-2}$ . Ενώ η μέση απόσταση του ήλιου από την γη είναι  $149,5 \cdot 10^6$  χιλιόμετρα.

Ο Ήλιος εκπέμπει ηλεκτρομαγνητικά κύματα σε πολύ μεγάλο εύρος. Έτσι η ηλιακή ακτινοβολία συντίθεται από διάφορα μήκη κύματος, τα οποία συνιστούν το **ηλιακό φάσμα** και αντιστοιχούν σε επίσης μεγάλο εύρος συχνοτήτων. Τα μικρού μήκους κύματα χαρακτηρίζονται από μεγάλη συχνότητα και τα μεγάλου μήκους κύματα από χαμηλή συχνότητα σύμφωνα με τη σχέση:

$$c = \lambda \nu$$

όπου,  $c$  = η ταχύτητα του φωτός  $299.800 \text{ Km/sec}$

$\nu$  = η συχνότητα του κύματος και

$\lambda$  = το μήκος κύματος

Το κατώτερο άκρο του φάσματος χαρακτηρίζεται από την κοσμική ακτινοβολία, η οποία έχει μήκος κύματος περίπου  $10^{-14} \text{ cm}$ , ενώ στο ανώτερο άκρο του φάσματος βρίσκεται η ακτινοβολία που προκαλούν οι αγωγοί ηλεκτρικού ρεύματος με μήκος κύματος περίπου  $10^{14} \text{ cm}$ . Μεταξύ των δύο αυτών ορίων τοποθετούνται οι ακτίνες X, το υπεριώδες φως, το ορατό φως, η υπέρυθρη ακτινοβολία και τα ραδιοκύματα.

Η ηλιακή ακτινοβολία που περνάει μέσα από την ατμόσφαιρα μπορεί να διαχωριστεί σε τρία βασικά μέρη: την **υπεριώδη** (UV), την **ορατή** και την **υπέρυθρη** (IR). Η ορατή ακτινοβολία, παρόλο που καταλαμβάνει πολύ μικρό μέρος του

φάσματος, «περιέχει» το 45% της εκπεμπόμενης ενέργειας, η υπεριώδης το 5% και η υπέρυθη το 50%.

Η υπεριώδης ζώνη (0.10-0.37 μm) διαιρείται σε τρεις κατηγορίες:

- UV-C (υπεριώδης μικρού μήκους κύματος) 0.10 - 0.28 μm
- UV-B (υπεριώδης μεσαίου μήκους κύματος) 0.28 - 0.315 μm
- UV-A (υπεριώδης μεγάλου μήκους κύματος) 0.315 - 0.37 μm

Οι ακτίνες αυτής της ζώνης είναι αόρατες από το ανθρώπινο μάτι και ασκούν σημαντική επίδραση στις βιοχημικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στους διάφορους οργανισμούς. Τα φασματικά μήκη προσδιορίστηκαν με βάση, κατά κύριο λόγο, τις βιολογικές επιπτώσεις.

Έτσι, η υπεριώδης μικρού μήκους κύματος (UV-C) ακτινοβολία είναι δυνητικά επιβλαβής, όμως το όζον στη στρατόσφαιρα απορροφά όλη την υπεριώδη ακτινοβολία με μήκη κύματος μικρότερα από 0.29 μm. Με αυτό τον τρόπο το κατώτερο όριο της UV-C στην βιόσφαιρα ορίζεται στα 0.29 μm.

Η δεύτερη κατηγορία, υπεριώδης μεσαίου μήκους κύματος (UV-B) ακτινοβολία, θεωρείται υπεύθυνη για τη δημιουργία ερυθήματος στο δέρμα (καρκίνος του δέρματος) από παρατεταμένη παραμονή στον ήλιο.

Το μέγιστο της αντιβακτηριδιακής δράσης της υπεριώδους ακτινοβολίας συναντάται στο φάσμα της UV-C, στα 0.25-0.27 μm, δηλαδή κάτω από το κατώτερο όριο του ηλιακού φάσματος στην επιφάνεια της Γης. Όμως σημαντικές επιδράσεις αυτού του τύπου της ακτινοβολίας συναντώνται ακόμη στο κάτω άκρο της UV-B (0.28-0.30 μm).

Τέλος, η τρίτη κατηγορία, UV-A ακτινοβολία, χαρακτηρίζεται ως πιο «μαλακή» ακτινοβολία καθώς η δράση της είναι πολύ πιο ήπια, εξαιτίας του μεγαλύτερου μήκους κύματος, και θεωρείται υπεύθυνη για το μαύρισμα κατά την έκθεση στον ήλιο.

Η δεύτερη ζώνη του ηλιακού φάσματος, χαρακτηρίζεται σαν **ορατό φάσμα** και όπως είναι κατανοητό και από τον ορισμό, είναι η ακτινοβολία που γίνεται αντιληπτή από το ανθρώπινο μάτι. Η ζώνη αυτή περιλαμβάνει μήκη κύματος από 0.38 μm έως 0.77 μm και είναι η γνωστή ζώνη των **φωτεινών κυμάτων**, που δίνει τον φωτισμό. Τέλος, περιλαμβάνει όλα τα χρώματα της Ίριδας, από το εγγύς υπεριώδες μέχρι το εγγύς υπέρυθρο.

Η τρίτη ζώνη αποτελείται από τις **υπέρυθρες** ακτίνες οι οποίες έχουν μήκη κύματος μεγαλύτερα των 0.77 μm. Οι ακτίνες αυτές είναι αόρατες από τον άνθρωπο ενώ προκαλούν το αίσθημα της θερμότητας. Η υπέρυθη ακτινοβολία, επίσης διαιρείται σε τρεις ομάδες:

- IR-A (υπέρυθη μικρού μήκους κύματος) 0.78 - 1.4 μm
- IR-B (υπέρυθη μέσου μήκους κύματος) 1.4 - 3 μm
- IR-C (υπέρυθη μεγάλου μήκους κύματος) 3 - 100 μm

Χαρακτηριστικές επιπτώσεις της υπέρυθρης ακτινοβολίας στον ανθρώπινο οργανισμό δεν έχουν καταγραφεί, καθώς εκ φύσεως δεν είναι δυνατόν να προκαλέσει φωτοχημικές επιδράσεις. Το κύριο χαρακτηριστικό της υπέρυθρης ακτινοβολίας είναι ένα περισσότερο ή λιγότερο ακαθόριστο θερμικό αποτέλεσμα, που μπορεί και αυτό

να προκαλέσει ένα ερύθημα το οποίο είναι γνωστό σαν «θερμικό ερύθημα». Αυτό εμφανίζεται σχεδόν μαζί με την ακτινοβολία και εξαφανίζεται μόλις παύσει αυτή. Επίσης έχει σημαντικές φωτομορφογενετικές επιδράσεις στα φυτά.

Η κατανομή της ενέργειας μέσα στα όρια αυτά αντιστοιχεί κατά προσέγγιση με εκείνη του μέλανος σώματος. Ο Ήλιος και η Γη έχει δειχθεί ότι κατά προσέγγιση συμπεριφέρονται σαν «μέλανα» σώματα, δηλαδή εκπέμπουν ακτινοβολία με τον μέγιστο ρυθμό που επιτρέπει η θερμοκρασία τους. Με αυτή την παραδοχή είναι εφικτό να υπολογιστεί η θερμοκρασία του Ήλιου, αφού προσδιοριστεί η **ροή της ακτινοβολίας** στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, δηλαδή το ποσό της ενέργειας που διαπερνά μια δεδομένη επιφάνεια σε ορισμένο χρόνο. Στην περίπτωση του Ήλιου εκφράζεται από την **ηλιακή σταθερά**, που έχει αναλυθεί προηγουμένως.

Για την ακτινοβολία του μέλανος σώματος, ο ρυθμός εκπομπής (F) είναι ανάλογος με την τέταρτη δύναμη της απόλυτης θερμοκρασίας του σώματος:

$$F = \sigma \cdot T^4 \text{ (νόμος του Stefan)}$$

Όπου,  $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$  (συντελεστής Stefan-Boltzmann)

$$\sigma \cdot T^4 = 3.88 \cdot (10^{26}/4\pi r^2), \text{ όπου } r = 6.69 \cdot 10^8 \text{ m.}$$

Τελικά, υπολογίζεται η θερμοκρασία του ήλιου που είναι  $T = 5.778^\circ\text{K}$ .

Αντίστροφα, από τη θερμοκρασία μιας περιοχής μπορεί να υπολογιστεί κατά προσέγγιση το ποσό και τα μήκη κύματος της ακτινοβολίας που εκπέμπει, καθώς και το μήκος κύματος που έχει τη μέγιστη ένταση ακτινοβολίας. Η ατμόσφαιρα της γης έχει θερμοκρασία περίπου  $300^\circ\text{K}$  επομένως σύμφωνα με τα παραπάνω, εκπέμπει ακτινοβολία κυρίως στην περιοχή των μεγάλων μηκών κύματος, 4-100μm, με μέγιστη ένταση στα 10μm.

Όπως προκύπτει και από τους υπολογισμούς, η ηλιακή ακτινοβολία έχει φάσμα σε πολύ μικρότερα μήκη κύματος από την επίγεια εκπομπή, όπου οι θερμοκρασίες είναι πολύ χαμηλότερες από εκείνες του ήλιου. Αυτό περιγράφει και ο νόμος του Wien: 'Όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία της επιφάνειας ενός αντικειμένου τόσο μικρότερο είναι το μήκος κύματος της ακτινοβολίας που εκπέμπεται'.

Η ροή της ενέργειας είναι μια συνεχής διαδικασία. Η ενέργεια από τον ήλιο εισέρχεται στο σύστημα γης-ατμόσφαιρας και τελικά εξέρχεται προς το διάστημα. Για να παραμείνει το σύστημα σε θερμοκρασιακή σταθερότητα πρέπει να υπάρχει εξισορρόπηση εισερχόμενης - εξερχόμενης ενέργειας, η οποία ονομάζεται ισοζύγιο της ακτινοβολίας.

Η εισερχόμενη από τον ήλιο ακτινοβολία μετατρέπεται σε άλλες μορφές ενέργειας κοντά στην επιφάνεια της Γης, με αποτέλεσμα στο εσωτερικό της ατμόσφαιρας να υπάρχει ολόκληρο σύστημα ακτινοβολιών διαφορετικών φασματικών τύπων και διευθύνσεων, το οποίο διαδραματίζει ένα ουσιαστικό γεωφυσικό και βιοκλιματικό ρόλο από άποψη ενεργειακού ισοζυγίου στην ατμόσφαιρα, στο έδαφος αλλά και στον άνθρωπο καθώς επηρεάζει τις συνθήκες θερμικής άνεσης, ανάπτυξης και διαβίωσης των ζώντων οργανισμών. Για το λόγο αυτό, η μελέτη αυτού του συστήματος ακτινοβολιών αποτελεί αντικείμενο ενδιαφέροντος για την Βιομετεωρολογία-Βιοκλιματολογία.

Έχουν προσδιοριστεί έξι όροι ακτινοβολίας οι οποίες σχετίζονται με τις θερμικές αντιδράσεις του ανθρώπινου σώματος (Santee και Γκονζάλες 1988):

- **Άμεση** ηλιακή ακτινοβολία (direct solar radiation) που είναι το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει απευθείας στην επιφάνεια της γης με τις ηλιακές ακτίνες, χωρίς να υποστεί καμία εκτροπή από την ευθύγραμμη διάδοση. Αυτή η ακτινοβολία παρουσιάζει τις υψηλότερες τιμές της κατά τις ανέφελες ημέρες του θέρους και τις χαμηλότερες κατά τις νεφοσκεπείς του χειμώνα.
- **Διάχυτη** ηλιακή ακτινοβολία (difussed solar radiation) που είναι το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που διαχέεται από την ατμόσφαιρα και φτάνει στην επιφάνεια του εδάφους από όλα τα σημεία του ουρανού. Αντίθετα με την άμεση ακτινοβολία είναι υψηλότερη κατά τις νεφοσκεπείς ημέρες και χαμηλότερη κατά τις ανέφελες.
- **Ολική** ηλιακή ακτινοβολία (global solar radiation) που είναι το άθροισμα της άμεσης και της διάχυτης ακτινοβολίας πάνω σε μια επίπεδη επιφάνεια.
- **Ανακλώμενη** ηλιακή ακτινοβολία (reflected radiation) ονομάζεται το ποσοστό της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας που ανακλάται από το έδαφος και επιστρέφει στην ατμόσφαιρα από όπου και πάλι επιστρέφει στην επιφάνεια του εδάφους, με τον ίδιο τρόπο.
- Η **γήινη** ακτινοβολία (terrestrial radiation) προκύπτει με την θέρμανση της γήινης επιφάνειας από την ηλιακή ακτινοβολία, με αποτέλεσμα να εκπέμπει και εκείνη με τη σειρά της, ακτινοβολία προς την ατμόσφαιρα.
- **Ατμοσφαιρική** ακτινοβολία ή Ακτινοβολία της ατμόσφαιρας (atmospherial radiation) είναι η εκπεμπόμενη προς κάθε κατεύθυνση, από την ατμόσφαιρα ακτινοβολία, μετά την θέρμανσή της.

Από μελέτες που έχουν γίνει (Nielsen et al. 1988, Nielsen 1990, Blazejezyk 1994) έχει αποδειχτεί ότι η ηλιακή ακτινοβολία και κυρίως η άμεση έχει πολύ σημαντική επίδραση στη θερμορύθμιση των ζωικών οργανισμών και στη θερμική άνεση του ανθρώπου. Όταν οι συνθήκες είναι θερμές, η ηλιακή ακτινοβολία μειώνει τη θερμική άνεση του ανθρώπου και διαμορφώνει δυσχερείς βιομετεωρολογικές συνθήκες (Rohles and Wallis 1979, Parsons 1993) . Αντιθέτως, σε ψυχρές συνθήκες μπορεί να διαμορφώσει ευνοϊκές για τον άνθρωπο περιβαλλοντικές συνθήκες.

#### 2.1.1.1. Ολική ηλιακή ακτινοβολία

Όπως ήδη έχει αναφερθεί ο ήλιος είναι η κύρια πηγή της ενέργειας της Γης, αυτό καθιστά την ολική ηλιακή ενέργεια ως την σπουδαιότερη ρυθμιστική παράμετρο της θερμικής κατάστασης της Γης. Ως ολική ηλιακή ακτινοβολία ορίζεται το άθροισμα της άμεσης και διάχυτης ακτινοβολίας και όπως είναι φυσικό εξαρτάται από το άθροισμα των παραγόντων που επηρεάζουν την άμεση και τη διάχυτη ακτινοβολία. Οι σπουδαιότεροι αυτών των παραγόντων είναι η τιμή της ηλιακής σταθεράς, το ύψος του ήλιου, το γεωγραφικό πλάτος, η εποχή, το υψόμετρο, ο προσανατολισμός και η κλίση της επιφάνειας πρόσπτωσης, η απορρόφηση και η διάχυση της ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα καθώς επίσης και η νέφωση, το είδος των νεφών αλλά και η διάταξή τους στον ουράνιο θόλο σε σχέση με τη θέση του Ήλιου.

Από προηγούμενο κεφάλαιο έχει γίνει γνωστό ότι ως ηλιακή σταθερά ορίζεται το ποσό της ολοφασματικής ηλιακής ενέργειας που δέχεται η μονάδα της επιφάνειας

που είναι κάθετη στις ηλιακές ακτίνες στη μέση απόσταση Γης - Ήλιου στο όριο της ατμόσφαιρας μέσα σε ένα λεπτό. Όπως φαίνεται από τον ορισμό η ηλιακή σταθερά εξαρτάται από την απόσταση Γης και Ήλιου, η οποία όμως είναι μεταβαλλόμενη στις διαφορετικές εποχές του έτους, αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να παίρνει τη μέγιστη τιμή της τον Ιανουάριο (περιήλιο) και την ελάχιστη τον Ιούλιο (αφήλιο), όπου σημειώνεται και η μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ Γης και Ήλιου.

Το χρονικό διάστημα παραμονής του Ήλιου πάνω από τον ορίζοντα ενός τόπου (θεωρητική ηλιοφάνεια) καθώς και το ύψος του Ήλιου (που καθορίζει τη γωνία μεταξύ των ηλιακών ακτίνων και του ορίζοντα στον τόπο αυτό), εξαρτώνται από την περιστροφή της Γης γύρω από τον Ήλιο αλλά και από την περιστροφή της γύρω από τον εαυτό της. Έτσι, ανάλογα με την εποχή του έτους και το γεωγραφικό πλάτος της κάθε περιοχής, διαμορφώνονται διαφορετικές τιμές έντασης ηλιακής ακτινοβολίας και κατ' επέκτασιν υπάρχει μια συνεχής μεταβολή του μήκους της ημέρας από τόπο σε τόπο.

Σαν αποτέλεσμα των παραπάνω, σε περιοχές του Ισημερινού, δηλαδή σε γεωγραφικό πλάτος  $0^\circ$ , όπου η διάρκεια της ημέρας είναι σταθερή μέσα στο έτος και μεταβάλλεται μόνο το ύψος του Ήλιου από μήνα σε μήνα παρατηρείται διπλή κύμανση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας. Τα δυο ελάχιστα εμφανίζονται την  $21^{\text{η}}$  Ιουνίου, την ημέρα που ο Ήλιος βρίσκεται στο υψηλότερο σημείο του βορείου ημισφαιρίου (θερινό ηλιοστάσιο) και την  $22^{\text{η}}$  Δεκεμβρίου, που στο βόρειο ημισφαίριο ο Ήλιος βρίσκεται στο χαμηλότερο σημείο του ορίζοντα και σημειώνεται η μικρότερη ημέρα του έτους (χειμερινό ηλιοστάσιο). Ενώ τα δυο μέγιστα εμφανίζονται στις 23 Σεπτεμβρίου (φθινοπωρινή ισημερία) και την  $21^{\text{η}}$  Μαρτίου (εαρινή ισημερία) που ο Ήλιος βρίσκεται ακριβώς επάνω από τον Ισημερινό και η διάρκεια της ημέρας και της νύχτας είναι ίση. Όταν όμως αυξάνει το γεωγραφικό πλάτος, παρατηρείται απλή κύμανση της ετήσιας πορείας της ηλιακής ακτινοβολίας, καθώς τα δυο μέγιστα συγκλίνουν σε ένα. Έτσι, σε γεωγραφικό πλάτος  $45^\circ$  παρατηρείται η μέγιστη τιμή την περίοδο Ιουνίου – Ιουλίου και η ελάχιστη την περίοδο Δεκεμβρίου – Ιανουαρίου.

Επίσης σημαντικοί παράγοντες, για τη διαμόρφωση του εκάστοτε θερμικού καθεστώτος είναι η μεταβλητότητα του υψομέτρου, των κλίσεων και του προσανατολισμού των διάφορων θέσεων, καθώς επηρεάζουν ιδιαίτερα το ποσό της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας το οποίο προσλαμβάνεται σε κάθε περιοχή. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να παρατηρούνται διαφορές στα ποσά ενέργειας ακόμα και σε θέσεις που έχουν μικρή απόσταση μεταξύ τους.

Η παρουσία της ατμόσφαιρας αλλοιώνει την ηλιακή ακτινοβολία, η οποία διέρχεται μέσα από αυτήν, με αποτέλεσμα τα πραγματικά ποσά της ηλιακής ενέργειας να διαφέρουν από τα θεωρητικά. Τα συστατικά της ατμόσφαιρας έχουν την ικανότητα να απορροφούν ή να σκεδάζουν (διαχέουν) προς όλες τις κατευθύνσεις, μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που διασχίζει την ατμόσφαιρα, ενώ ένα τμήμα αυτής ανακλάται πίσω στο διάστημα.

Οι κύριες ουσίες οι οποίες απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία σε ειδικές περιοχές του ηλιακού φάσματος είναι το όζον, το οξυγόνο, το διοξείδιο του άνθρακα, οι υδρατμοί και η σκόνη. Οι επικίνδυνες υπεριώδεις ακτινοβολίες, με μήκη κύματος μικρότερα των  $0,29\mu$ , υφίστανται εκλεκτική απορρόφηση από το όζον και το οξυγόνο, με αποτέλεσμα τα ποσά που φτάνουν στην επιφάνεια της Γης, να είναι

αμελητέα. Το υπέρυθρο άκρο του φάσματος αραιώνεται από την απορρόφηση των υδρατμών και του διοξειδίου του άνθρακα της ατμόσφαιρας. Από την άλλη, το διοξείδιο του άνθρακα, αν και είναι διαπερατό για μήκη κύματος μέχρι 1,46μ, είναι ένας πολύ ισχυρός απορροφητής του ηλιακού φωτός για μεγαλύτερα μήκη κύματος. Επίσης, οι υδρατμοί απορροφούν και στο ορατό μέρος του ηλιακού φάσματος και, επομένως, αποτελούν και αυτοί έναν ισχυρό απορροφητή της ηλιακής ενέργειας. Τέλος, το οξυγόνο εκτός από την ισχυρή απορροφητική του δράση στα μικρότερα μήκη κύματος (υπεριώδες, ιώδες, κυανό) απορροφά και στην ερυθρή περιοχή του ορατού φάσματος (0,69 - 0,76μ).

Εκτός από την απώλεια εξαιτίας της απορρόφησης, η ηλιακή ενέργεια εξασθενεί και από τη διάχυση και την ανάκλαση. Η εξασθένιση της ηλιακής ακτινοβολίας εξαιτίας της διάχυτης ανάκλασης και του σκεδασμού, που υφίσταται από τα μόρια του αέρα, είναι αντιστρόφως ανάλογη της τετάρτης δύναμης του μήκους κύματος της εκπεμπόμενης δέσμης. Έτσι, το φως με μικρό μήκος κύματος ανακλάται πολύ περισσότερο από φως μεγάλου μήκους κύματος. Όταν όμως τα σωματίδια είναι αρκετά μεγάλα (κυρίως σκόνη, υδροσταγονίδια και παγοκρυστάλλια), η εξασθένιση καθίσταται ανεξάρτητη του μήκους κύματος.

#### 2.1.1.2. Γήινη ακτινοβολία

Όπως προαναφέρθηκε, η Γη συμπεριφέρεται, κατά προσέγγιση, σαν μέλαν σώμα, δηλαδή εκπέμπει ακτινοβολία που το μήκος κύματος εξαρτάται από τη θερμοκρασία της. Έτσι, η Γη με μια μέση επιφανειακή θερμοκρασία του αέρα περίπου 300°K, εκπέμπει σε πολύ μεγαλύτερα μήκη κύματος σε σχέση με τον Ήλιο που έχει θερμοκρασίες περίπου 6.000°K. Το σύνολο της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από την επιφάνεια της Γης και την ατμόσφαιρά της προς το διάστημα είναι γνωστή ως γήινη ή δευτερογενής ακτινοβολία ή ακτινοβολία μεγάλου μήκους ή υπέρυθρη ακτινοβολία. Το μήκος κύματος αυτής της ακτινοβολίας κυμαίνεται από 4,0 έως 100 μm, και βρίσκεται στο υπέρυθρο μέρος του φάσματος.

Ενώ ένα μέρος της γήινης ακτινοβολίας (περίπου 10%), διαφεύγει άμεσα προς το διάστημα, ένα μεγάλο ποσοστό αυτής (το υπόλοιπο 90%) δεσμεύεται από τα αέρια της ατμόσφαιρας με αποτέλεσμα να θερμαίνεται ο ατμοσφαιρικός αέρας, ο οποίος με τη σειρά του εκπέμπει δευτερογενή ακτινοβολία τόσο προς το διάστημα όσο και προς την επιφάνεια της Γης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να παρατηρούνται μεγαλύτερες θερμοκρασίες από αυτές που θα διαμορφώνονταν αν δεν υπήρχε η ατμόσφαιρα, όπου η μέση θερμοκρασία του πλανήτη θα ήταν μικρότερη κατά 30-40°C, γεγονός που δεν θα επέτρεπε την εμφάνιση της ζωής στη Γη, τουλάχιστον με τη σημερινή μορφή.

Τα αέρια που δεσμεύουν επιλεκτικά την γήινη ακτινοβολία είναι κυρίως οι υδρατμοί και το διοξείδιο του άνθρακα. Άλλα αέρια που χαρακτηρίζονται ως απορροφητήρες της γήινης ακτινοβολίας είναι τα οξείδια του αζώτου, το μεθάνιο και το όζον της τροπόσφαιρας. Τα αέρια αυτά λόγω της απορροφητικής ιδιότητάς τους είναι ιδιαίτερα σημαντικά στη ρύθμιση της θερμοοικονομίας του πλανήτη, καθώς ενεργούν σαν παγίδα θερμότητας μεταξύ του εδάφους και των υπερκείμενων ατμοσφαιρικών στρωμάτων. Δηλαδή συμπεριφέρονται όπως το περιβλήμα ενός θερμοκηπίου, γι' αυτό το λόγο τα αέρια αυτά χαρακτηρίζονται και ως θερμοκηπικά

αέρια, ενώ το φαινόμενο που προκαλούν είναι το γνωστό φαινόμενο του θερμοκηπίου ή ατμοσφαιρική επίδραση του θερμοκηπίου.

### 2.1.2. Ηλιοφάνεια

Κατά την ετήσια περιφορά της Γης γύρω από τον Ήλιο παρατηρείται μια συνεχής μεταβολή στη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας εντός του εικοσιτετραώρου. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην κλίση που παρουσιάζει ο άξονας της Γης ως προς το επίπεδο της εκλειπτικής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο χρόνος της ημέρας, σε έναν τόπο να αυξάνεται και να μειώνεται από εποχή σε εποχή. Το ίδιο ισχύει και για περιοχές με διαφορετικό γεωγραφικό πλάτος. Κατά τους θερινούς μήνες, η διάρκεια της ημέρας αυξάνει από τον Ισημερινό προς τον θερινό πόλο, όπου φτάνει και τους έξι μήνες.

Το χρονικό διάστημα κατά το οποίο η άμεση ηλιακή ακτινοβολία φτάνει μέχρι την επιφάνεια του εδάφους ανεμπόδιστα, χαρακτηρίζεται ως **ηλιοφάνεια** ή **διάρκεια ηλιοφάνειας** και εκφράζεται σε ώρες και εκατοστά της ώρας.

Στην ιδανική περίπτωση που δεν παρεμβάλλονται φυσικά και τεχνητά εμπόδια και αν δεν υπήρχε η καθημερινά και εποχιακά μεταβαλλόμενη νέφωση, ο χρόνος από την ανατολή μέχρι τη δύση του ηλίου, θα ήταν ίδιος για μια συγκεκριμένη ημέρα σε όλες τις περιοχές του ίδιου γεωγραφικού πλάτους. Η παραδοχή αυτή χαρακτηρίζεται ως **θεωρητική ηλιοφάνεια**.

Στην πραγματικότητα όμως δεν ισχύει αυτή η ιδανική κατάσταση, καθώς η τοπογραφία επηρεάζει σημαντικά και η παρουσία νέφωσης ελαττώνει τον χρόνο που ο ήλιος είναι ορατός σε ένα τόπο, με αποτέλεσμα η **πραγματική ηλιοφάνεια** (οι μετρούμενες τιμές της διάρκειας της ηλιοφάνειας) να είναι πάντα μικρότερη από την αντίστοιχη θεωρητική.

Όπως είναι κατανοητό τα μεγέθη αυτά ποικίλουν ανάλογα με την εποχή του έτους, άλλα και με το γεωγραφικό πλάτος, έτσι για να είναι δυνατή η σύγκριση των τιμών της ηλιοφάνειας των διάφορων περιοχών εισάγεται μια βασική έννοια, η οποία ονομάζεται κλάσμα της ηλιοφάνειας ( $K$ ).

Το κλάσμα αυτό εκφράζεται από το λόγο της πραγματικής διάρκειας της ηλιοφάνειας ( $H_{\pi}$ ) προς την αντίστοιχη θεωρητική ηλιοφάνεια ( $H_{\theta}$ ) για μια συγκεκριμένη περιοχή και είναι πάντοτε μικρότερος της μονάδας.

$$K = H_{\pi} / H_{\theta}$$

Όπως ήδη αναφέρθηκε η πραγματική ηλιοφάνεια εκφράζει τις μετρούμενες τιμές της διάρκειας της ηλιοφάνειας και οι μετρήσεις αυτές γίνονται από ειδικά όργανα που ονομάζονται ηλιογράφοι. Ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας χωρίζονται σε δύο κύριους τύπους οργάνων. Ο πρώτος βασίζεται στη θερμαντική ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας ως αποτέλεσμα της εστίασης των ηλιακών ακτίνων (ηλιογράφος Campbell-Stokes) ενώ ο δεύτερος αξιοποιεί τη χημική δράση της ορατής και υπεριώδους ακτινοβολίας όπως οι τύπου Jordan και Pers. Στους αυτόματους μετεωρολογικούς σταθμούς οι μετρήσεις της ηλιοφάνειας γίνονται με ηλεκτρονικά όργανα, χρησιμοποιούν κυρίως φωτοηλεκτρικούς ανιχνευτές που η λειτουργία τους βασίζεται στο όριο της διάχυσης. Έτσι είναι δυνατός ο προσδιορισμός της άμεσης, της διάχυτης και της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ παράλληλα προσδιορίζεται και η διάρκεια της πραγματικής ηλιοφάνειας. Όταν δεν

υπάρχει η κατάλληλη υποδομή οργάνων μέτρησης της ηλιοφάνειας, τότε αυτή μπορεί να υπολογιστεί έμμεσα με τη βοήθεια ορισμένων παραμέτρων.

Οι παράμετροι της ηλιοφάνειας έχουν ευρύτατη εφαρμογή στην εφαρμοσμένη Κλιματολογία (γεωργία, αρχιτεκτονική, τουρισμός, εναλλακτικές μορφές ενέργειας και αλλού).

### 2.1.3. Θερμοκρασία αέρα

Με τον όρο θερμοκρασία εκφράζεται ο βαθμός της μοριακής δράσης ή της ποσότητας της θερμότητας που περικλείει ένα υλικό. Ως θερμότητα χαρακτηρίζεται η μορφή της ενέργειας που εξαρτάται από τη δομή της ύλης και η οποία είναι δυνατόν να μεταδοθεί σε διάφορα συστήματα ή σώματα με διάφορους τρόπους ή να μετατραπεί σε άλλες μορφές ενέργειας (Χρονοπούλου-Σερέλη και Φλόκας 2010). Μια από τις αρχές της θερμοδυναμικής είναι πως η ενέργεια μεταφέρεται από τα σώματα με υψηλή θερμοκρασία προς τα σώματα με χαμηλότερη θερμοκρασία. Έτσι, εάν σε δύο παρακείμενα σώματα Α και Β η θερμότητα ρέει από το σώμα Α προς το σώμα Β, τότε θεωρείται ότι το πρώτο σώμα βρίσκεται σε μεγαλύτερη θερμοκρασία από το δεύτερο. Ενώ, αν δεν υπάρχει καθαρή ροή θερμότητας μεταξύ των δυο σωμάτων, τότε θεωρείται ότι αυτά έχουν την ίδια θερμοκρασία.

Η κύρια πηγή θερμότητας της Γης είναι ο Ήλιος, επομένως η ηλιακή ακτινοβολία είναι εκείνη που ρυθμίζει άμεσα και έμμεσα την θερμοκρασία της ατμόσφαιρας και ιδιαίτερα των κατώτερων στρωμάτων αυτής.

Η μεταφορά της θερμότητας μέσα στην ατμόσφαιρα και ιδιαίτερα στα κατώτερα στρώματά της γίνεται με αγωγιμότητα, με μεταφορά και με ακτινοβολία. Με αυτό τον τρόπο οι αέριες μάζες που βρίσκονται πάνω από το έδαφος, θερμαίνονται ανομοιόμορφα, λόγω της διαφοροποίησης του αναγλύφου, των μορφών της εδαφοκάλυψης και άλλων παραμέτρων, με αποτέλεσμα τη μετακίνησή τους. Έτσι, η ηλιακή ακτινοβολία προκαλεί θέρμανση των εφαπτόμενων στην εδαφική επιφάνεια αέριων μαζών, με αποτέλεσμα να καθίστανται αραιότερες – ελαφρύτερες και τελικά να ανέρχονται προς τα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας μεταφέροντας ποσά θερμότητας. Ενώ οι ψυχρές αέριες μάζες των ανώτερων στρωμάτων της ατμόσφαιρας, ως βαρύτερες κατέρχονται προς την επιφάνεια του εδάφους, όπου θερμαίνονται με την ίδια διαδικασία. Με αυτό τον τρόπο διατηρείται σε συνεχή δράση η τεράστια θερμική μηχανή γης-ατμόσφαιρας.

Η θερμοκρασία λοιπόν είναι κυρίως αποτέλεσμα του συνδυασμού της ηλιακής και της γήινης ακτινοβολίας. Η μέτρηση της θερμοκρασίας γίνεται με ειδικά όργανα, τα θερμομέτρα και η συνεχής καταγραφή αυτής επιτυγχάνεται με ειδικά καταγραφικά όργανα, τους θερμογράφους.

Οι κυριότεροι όροι που εκφράζουν τα χαρακτηριστικά και τη συμπεριφορά της θερμοκρασίας είναι οι εξής:

- Μέση ημερήσια θερμοκρασία: η μέση τιμή των είκοσι τεσσάρων ωριαίων τιμών, που γενικά λαμβάνεται ως η μέση τιμή της μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας.
- Μέση μηνιαία μέγιστη: η μέση τιμή όλων των ημερήσιων μέγιστων του μήνα.
- Μέση μηνιαία ελάχιστη: η μέση τιμή όλων των ημερήσιων ελάχιστων του μήνα.

- Μέση μηνιαία θερμοκρασία: η μέση τιμή όλων των ημερήσιων μέσων τιμών του μήνα.
- Ημερήσιο εύρος: η διαφορά της ελάχιστης από τη μέγιστη θερμοκρασία της ημέρας.
- Ετήσιο εύρος: η διαφορά των μέσων μηνιαίων τιμών μεταξύ του θερμότερου και ψυχρότερου μήνα του έτους.
- Διημερήσια μεταβολή: η διαφορά των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών δύο συνεχών ημερών.

Η θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα είναι ένα εξαιρετικά σημαντικό κλιματικό στοιχείο και αποτελεί βασική παράμετρο σε όλες τις κλιματικές κατατάξεις. Η σπουδαιότητά της έγκειται στο γεγονός ότι διέπει τη φυσική εξάτμιση του νερού και τη διαπνοή των φυτών, καθορίζοντας με τον τρόπο αυτό το υδατικό ισοζύγιο του πλανήτη, ενώ η άνιση κατανομή της στην επιφάνεια της Γης αφενός ελέγχει την εξάπλωση των φυτικών και ζωικών οργανισμών στη Γη και αφετέρου καθορίζει τελικά την κίνηση του αέρα στην ατμόσφαιρα της Γης (Ντάφης, 1986).

Με βάση τα παραπάνω γίνεται κατανοητό ότι η θερμοκρασία αέρος λειτουργεί ως ρυθμιστική παράμετρος εξέλιξης και πολλές φορές ολοκλήρωσης του βιολογικού κύκλου όλων των ζωντανών οργανισμών. Γι' αυτό το λόγο και η επιστήμη της Βιομετεωρολογίας και της Βιοκλιματολογίας ενδιαφέρονται για την θερμοκρασία του αέρα, τόσο κοντά στην επιφάνεια του εδάφους αλλά και σε μεγαλύτερα υψόμετρα μέσα στην ατμόσφαιρα.

#### 2.1.4. Υγρασία αέρα

Όπως είναι γνωστό το νερό αποτελεί ένα πολύ σημαντικό συστατικό για την ύπαρξη της ζωής στη γη. Επίσης η γεωγραφία του νερού διαδραματίζει ουσιαστικό ρόλο στη διαμόρφωση της μορφολογίας της επιφάνειας της γης και στην κατανομή των εδαφών, της βλάστησης και κατ' επέκταση των ζωικών οργανισμών.

Ο όρος υγρασία αναφέρεται στην παρουσία υδρατμών, δηλαδή του νερού σε αέρια φάση, στην ατμόσφαιρα. Οι υδρατμοί στην ατμόσφαιρα δεν έχουν σταθερή συγκέντρωση, όμως έχουν μεγάλη σημασία και ιδιαίτερα οι υδρατμοί στο κατώτερο τμήμα της, καθώς αποτελούν την προϋπόθεση για τη δημιουργία των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων (βροχή, χαλάζι, χιόνι κ.α.) και υδροαποβλήτων (δρόσος, πάχνη).

Όταν σε μια ορισμένη θερμοκρασία οι υδρατμοί σε μια αέρια μάζα βρίσκονται σε κατάσταση κορεσμού (saturation), αυτό σημαίνει ότι ο αέρας εμπεριέχει την μέγιστη δυνατή ποσότητα υδρατμών που μπορεί να συγκρατήσει (κορεσμένος αέρας). Σε περίπτωση που ξεπεραστεί αυτή η οριακή τιμή των υδρατμών, η περίσσεια ποσότητα των υδρατμών που έχουν εισέλθει στην αέρια μάζα, συμπυκνώνεται (condensation).

Η υγρασία, δηλαδή η ποσότητα των υδρατμών, που περιέχεται στην ατμόσφαιρα, εκφράζεται με πολλές διαφορετικές μεταβλητές, οι οποίες γενικά είναι δυο τύπων:

- Μεταβλητές που αποτελούν ένα απόλυτο μέτρο της υγρασίας, οι οποίες εξαρτώνται μόνο από την περιεκτικότητα του αέρα σε υγρασία.

- Μεταβλητές που αποτελούν ένα σχετικό μέτρο της υγρασίας, οι οποίες εξαρτώνται τόσο από την περιεκτικότητα σε υγρασία όσο και τη θερμοκρασία του αέρα.

Πιο συγκεκριμένα, οι υγρομετρικές παράμετροι είναι οι εξής:

### I. Πραγματική τάση των ατμών (e)

Τα αέρια της ατμόσφαιρας συμμετέχουν στη διαμόρφωση της ατμοσφαιρικής επιφανειακής πίεσης και το καθένα από αυτά ασκεί κάποια επιμέρους πίεση, η οποία είναι γνωστή ως μερική πίεση των αερίων.

Οι υδρατμοί που παρουσιάζουν μεταβλητές συγκεντρώσεις στην ατμόσφαιρα, όπως έχει ήδη αναφερθεί, εμφανίζουν μερικές πιέσεις από 4 έως και 32 hPa. Η μερική αυτή πίεση των υδρατμών ονομάζεται πραγματική τάση των ατμών και συμβολίζεται διεθνώς με το e και υπολογίζεται σε μονάδες πίεσης, hPa, mb ή mmHg. Το μέγεθος αυτό μεταβάλλεται, μόνον εφόσον μεταβληθεί η συγκέντρωση των υδρατμών στην ατμόσφαιρα και γι' αυτό αποτελεί απόλυτο μέγεθος εκτίμησης των υδρατμών. Αν υπάρχει αφθονία υδρατμών που τροφοδοτούν συνέχεια την ατμόσφαιρα, τότε σε κάθε τιμή της θερμοκρασίας του αέρα αντιστοιχεί και μια μέγιστη ποσότητα υδρατμών που μπορεί να συγκρατηθεί στην αέρια φάση. Η ποσότητα αυτή ονομάζεται μέγιστη τάση ή τάση των κορεσμένων ατμών ( $e_s$ ) και καθορίζει τη μέγιστη πίεση που μπορούν να ασκήσουν οι υδρατμοί στη συγκεκριμένη θερμοκρασία. Η παράμετρος αυτή αποτελεί σχετικό μέγεθος, αφού καθορίζεται και από τη θερμοκρασία του αέρα.

Η πραγματική τάση των υδρατμών υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$e = e_s(t_w) - \frac{C_{pa}}{0.622 L_u} (t - t_w)P$$

Όπου, t: η θερμοκρασία ξηρού θερμομέτρου

$t_w$ : η θερμοκρασία του υγρού θερμομέτρου

P: η ατμοσφαιρική πίεση

$e_s(t_w)$ : η μέγιστη τάση των υδρατμών, στη θερμοκρασία του υγρού θερμομέτρου

$C_{pa}$ : η ειδική θερμότητα του ξηρού αέρα, σε σταθερή πίεση

$L_u$ : η λανθάνουσα θερμότητα εξαέρωσης του νερού

Η διαφορά μεταξύ της τάσης των υδρατμών του αέρα (e) και της μέγιστης τάσης των υδρατμών του αέρα ( $e_s$ ), στην ίδια θερμοκρασία χαρακτηρίζεται ως έλλειμμα κόρου (SD) ή ως κοροπλήρωμα:  $SD = e_s - e$ . Η τιμή αυτή, βοηθάει ώστε να αξιολογηθεί εάν μια αέρια μάζα τείνει σε κορεσμό ή όχι.

### II. Απόλυτη υγρασία (ρ)

Η απόλυτη υγρασία ( $\rho$ ) ορίζει τη μάζα των υδρατμών ή την πυκνότητα αυτών (M) που περιέχονται σε ορισμένο όγκο αέρα (V), συνήθως εκφράζεται σε γραμμάρια υδρατμών που είναι συγκεντρωμένοι σε ένα κυβικό μέτρο αέρα ( $g/m^3$ ). Μαθηματικά, εκφράζεται με τον τύπο:

$$\rho = \frac{M}{V}$$

Η μάζα των υδρατμών είναι ανάλογη προς τη μερική τους πίεση η οποία εκφράζεται σε μονάδες mmHg. Έτσι αν είναι γνωστή η μερική πίεση (e) σε θερμοκρασία (t), μπορεί να υπολογιστεί η απόλυτη υγρασία, από τη σχέση:

$$\rho = \frac{1.0599}{1 + 0.00367 t} \cdot e$$

Όπως είναι γνωστό, ο όγκος του αέρα αλλάζει σύμφωνα με την ατμοσφαιρική πίεση, αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η απόλυτη υγρασία να μην αποτελεί ενδεδειγμένο μέτρο έκφρασης της υγρασίας, καθώς κάτω από διαφορετικές συνθήκες πίεσης δίνει διαφορετικό μέγεθος.

Σε κάθε τιμή της θερμοκρασίας του αέρα αντιστοιχεί μια μέγιστη ποσότητα υδρατμών που μπορούν να συγκρατηθούν από αυτόν και η συνθήκη αυτή εκφράζεται με τη μέγιστη απόλυτη υγρασία ( $\rho_s$ ).

### III. Ειδική υγρασία (q)

Η ειδική υγρασία q ορίζεται ως ο λόγος της μάζας των υδρατμών  $M_v$  (σε gr/kg) που εμπεριέχονται σε ένα δείγμα υγρού ατμοσφαιρικού αέρα προς την ολική μάζα του δείγματος M.

$$q = \frac{M_v}{M}$$

Συμβολίζοντας λοιπόν την ειδική υγρασία με q και λαμβάνοντας υπόψη ότι υδρατμοί και ξηρός αέρας καταλαμβάνουν τον ίδιο όγκο, η ειδική υγρασία μπορεί να υπολογιστεί συναρτήσει των μερικών πυκνοτήτων του ξηρού αέρα και των υδρατμών, από τη σχέση:

$$q = \frac{M_v}{M} = \frac{M_v}{M_x + M_v} = \frac{M_v/V}{(M_x/V) + (M_v/V)} = \frac{\rho_v}{\rho_x + \rho_v}$$

Η ειδική υγρασία συνδέεται με την τάση και με την μέγιστη τάση των υδρατμών, οι οποίες μετρούνται ευκολότερα σε σχέση με τις μερικές πυκνότητες. Έτσι για την περίπτωση του ακόρεστου δείγματος υπολογίζεται από τη σχέση:

$$q = 0.622 \frac{e}{P - 0.378e}$$

Ενώ στην περίπτωση του κορεσμένου δείγματος χρησιμοποιείται ο τύπος:

$$q_s = 0.622 \frac{e_s}{P - 0.378e_s}$$

όπου, P: η ατμοσφαιρική πίεση, e: η τάση των ατμών σε mmHg και  $e_s$ : η μέγιστη τάση των υδρατμών.

#### IV. Αναλογία μίγματος (r):

Ως αναλογία μίγματος (mixing ratio) ορίζεται ο λόγος της μάζας των υδρατμών που περιέχονται στον υγρό αέρα  $M_v$ , προς τη μάζα του ξηρού αέρα  $M_\xi$  που επίσης περιέχεται σε ένα θεωρούμενο δείγμα αέρα και εκφράζεται σε γραμμάρια υδρατμών ανά γραμμάριο μάζας ξηρού αέρα ή σε γραμμάρια ανά χιλιόγραμμο ξηρού αέρα.

$$r = \frac{M_v}{M_\xi}$$

Η αναλογία μίγματος, σχετιζόμενη με την τάση και με την μέγιστη τάση των υδρατμών υπολογίζεται από τον τύπο:

$$r = 0.622 \frac{e}{P - e}$$

Αντίστοιχα σε κατάσταση κόρου υπολογίζεται από τη σχέση:

$$r_s = 0.622 \frac{e_s}{P - e_s}$$

όπου, P: η ατμοσφαιρική πίεση, e: η τάση των υδρατμών σε mmHg και  $e_s$ : η μέγιστη τάση των υδρατμών.

Η αναλογία μίγματος διαφέρει από την ειδική υγρασία κατά το ότι η μάζα των υδρατμών συγκρίνεται με τη μάζα του ξηρού και όχι με τη ολική μάζα του υγρού αέρα (υδρατμών και ξηρού αέρα). Έτσι, λαμβάνοντας υπόψη τον ορισμό της ειδικής υγρασίας, προκύπτει ότι η αναλογία μίγματος r και η ειδική υγρασία q σχετίζονται, ως:

$$q = \frac{\rho_v}{\rho_\xi + \rho_v} = \frac{(\rho_v/\rho_\xi)}{1 + (\rho_v/\rho_\xi)} = \frac{r}{1 + r} \approx r$$

Όπου η προσέγγιση  $q \approx r$  οφείλεται στο ότι η διαφορά της αναλογίας μίγματος και ειδικής υγρασίας στην ατμόσφαιρα σπάνια υπερβαίνει το 2%, συνεπώς η ειδική υγρασία και η αναλογία μίγματος είναι περίπου ίσες, δηλαδή αποτελούν ισοδύναμα μεγέθη.

#### V. Σχετική υγρασία (RH)

Η σχετική υγρασία ορίζεται ως ο λόγος της μάζας των υδρατμών, που περιέχονται σε δεδομένο όγκο υγρού αέρα ( $M_v$ ), προς τη μάζα των υδρατμών που θα περιείχε ο ίδιος όγκος αν ήταν κορεσμένος σε υδρατμούς ( $M_{vs}$ ), κάτω από τις ίδιες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας.

$$RH = \frac{M_v}{M_{vs}}$$

Με βάση λοιπόν τους προηγούμενους ορισμούς, η σχετική υγρασία μπορεί να εκφραστεί και ως ο λόγος της αναλογίας μίγματος υγρού αέρα προς την αναλογία μίγματος κόρου στην ίδια θερμοκρασία και πίεση. Η σχετική υγρασία εκφράζεται επί της εκατό (%) και γράφεται:

$$RH = 100 \frac{r}{r_s}$$

Εναλλακτικά, η σχετική υγρασία γράφεται:

$$RH = 100 \frac{\rho_v}{\rho_{vs}} = 100 \frac{e}{e_s} \%$$

όπου,  $\rho_v$ : η μερική πυκνότητα των υδρατμών,  $\rho_{vs}$ : η πυκνότητα των υδρατμών σε κατάσταση κόρου,  $e$ : η τάση των υδρατμών και  $e_s$ : η μέγιστη τάση των υδρατμών, σε δεδομένη θερμοκρασία.

Δηλαδή, η σχετική υγρασία εκφράζεται ως εκατοστιαίο ποσοστό του λόγου των μερικών πυκνοτήτων, ή των μερικών τάσεων, υδρατμών ως προς τις αντίστοιχες τιμές πυκνοτήτων και τάσεων κόρου, αντίστοιχα.

## VI. Θερμοκρασία του σημείου δρόσου ( $T_d$ )

Η θερμοκρασία του σημείου δρόσου εκφράζει εκείνη την τιμή της θερμοκρασίας στην οποία θα παρουσιαστεί συμπύκνωση των υδρατμών όταν η ατμόσφαιρα θα αρχίσει να ψύχεται κάτω από σταθερή πίεση. Αυτή η υγρομετρική παράμετρος, αποδίδει την καλύτερη εκτίμηση του ποσού των υδρατμών που πράγματι περιέχει ο ατμοσφαιρικός αέρας, με αποτέλεσμα να έχει ευρύτατη χρήση στη Μετεωρολογία καθώς αποτελεί ουσιαστικό στοιχείο για τον προσδιορισμό του ποσού της βροχόπτωσης. Το σημείο δρόσου εξαρτάται κατά κύριο λόγο από την περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε υδρατμούς. Μια ξηρή ατμόσφαιρα σε μια δεδομένη θερμοκρασία θα έχει πολύ μικρότερη τιμή της θερμοκρασίας του σημείου δρόσου σε σχέση με μια υγρή ατμόσφαιρα. Το σημείο δρόσου μπορεί να λάβει μεγαλύτερες τιμές σε θερμές εποχές ή θερμές περιοχές παρά σε ψυχρές, γιατί η θερμότερη αέρια μάζα επιτρέπει τη συγκράτηση περισσότερων υδρατμών στη μονάδα του όγκου του αέρα.

## VII. Θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου ( $T_w$ )

Θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου ονομάζουμε τη θερμοκρασία που αποκτά ο ατμοσφαιρικός αέρας υπό σταθερή πίεση, όταν μέσα σε αυτόν γίνεται συνεχής εξάτμιση νερού, μέχρι να καταστεί κορεσμένος, χωρίς ανταλλαγή θερμότητας με το περιβάλλον.

Με τη βοήθεια του ψυχομέτρου, το οποίο φέρει ζεύγος θερμομέτρων (το ξηρό και το υγρό), προσδιορίζεται η θερμοκρασία του αέρα ( $T$ ) από το ξηρό θερμομέτρο και η θερμοκρασία του υγρού θερμομέτρου ( $T_w$ ) από το υγρό θερμομέτρο.

Από τον ορισμό προκύπτει ότι:

A) για τον ακόρεστο ατμοσφαιρικό αέρα ισχύει:  $T > T_w > T_d$

B) για τον κορεσμένο ατμοσφαιρικό αέρα ισχύει:  $T - T_w = T_d$

Η θερμοκρασία του υγρού θερμομέτρου που είναι μικρότερη από τη θερμοκρασία του αέρα και σε συνδυασμό με αυτήν χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των διαφόρων υγρομετρικών παραμέτρων.

Καταλήγοντας, το ποσό της υγρασίας που περιέχει ο ατμοσφαιρικός αέρας ασκεί μεγάλη επίδραση σε όλες τις διαδικασίες συμμετοχής του νερού στη φύση και αποτελεί ουσιαστικό παράγοντα στο ενεργειακό ισοζύγιο. Όπως είναι φυσικό η κύρια πηγή υδρατμών στην ατμόσφαιρα είναι η επιφάνεια της γης μέσω της εξάτμισης. Η μέγιστη ποσότητα υδρατμών που μπορεί να κατακρατηθεί από μια αέρια μάζα αυξάνει με τη θερμοκρασία. Έτσι η ποσότητα των υδρατμών αυξάνει με ταχύ ρυθμό όσο αυξάνεται η θερμοκρασία.

### 2.1.5. Άνεμος

Άνεμος ονομάζεται η κίνηση του αέρα σε σχέση με την επιφάνεια της γης. Αυτού του είδους οι κινήσεις τείνουν να εξισορροπήσουν τις αντιθέσεις στη θερμοκρασία, την υγρασία και την πίεση που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα. Όπως είναι φυσικό στην πραγματικότητα, η εξισορρόπηση αυτή δεν μπορεί ποτέ να επιτευχθεί, καθώς νέες αντιθέσεις εμφανίζονται στην ατμόσφαιρα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο άνεμος να είναι ένας πολύ σημαντικός ρυθμιστής στην ατμόσφαιρα.

Ο άνεμος είναι ένα τρισδιάστατο διάνυσμα. Αν και οι κατακόρυφες κινήσεις ενός όγκου αέρα που ονομάζονται κατακόρυφα ρεύματα, είναι σημαντικές στον σχηματισμό των νεφών και της βροχόπτωσης, η ποσότητα του αέρα που κινείται κατακόρυφα είναι ασήμαντη, αν συγκριθεί με τις ποσότητες αέρα που κινούνται οριζόντια ή σχεδόν οριζόντια. Έτσι ο όρος άνεμος χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά για να δηλώσει τον οριζόντιο άνεμο, ενώ ο κατακόρυφος άνεμος αναφέρεται συνήθως με το πλήρες όνομά του. Αίτιο δημιουργίας του ανέμου είναι η χωρική διαφοροποίηση της ατμοσφαιρικής πίεσης που οφείλεται στην ανομοιομορφη απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της Γης.

Όπως ήδη έχει αναφερθεί ο άνεμος είναι διανυσματικό μέγεθος και για τον προσδιορισμό του, εκτός από την διεύθυνσή του χρειάζεται να είναι γνωστό και το μέγεθος (ένταση) αυτού, δηλαδή η ταχύτητα ανέμου. Η διεύθυνση του ανέμου ορίζει το σημείο του ορίζοντα από το οποίο έρχεται ο αέρας και μετριέται σε μοίρες (από 0 έως 360 μοίρες), με ειδικά όργανα, τους ανεμοδείκτες (Μπαλτάς, 2010). Η ταχύτητα του ανέμου προσδιορίζεται με μεγάλη ακρίβεια με ειδικά επίσης όργανα, τα ανεμόμετρα. Υπάρχουν αρκετοί τύποι οργάνων αυτής της κατηγορίας, που χρησιμοποιούνται ανάλογα με τους επιδιωκόμενους σκοπούς. Η ταχύτητα του ανέμου εκφράζεται σε διάφορες μονάδες. Οι πιο κοινές είναι το m/sec, το km/h, το mi/h, οι κόμβοι (knots, ναυτικά μίλια ανά ώρα), που χρησιμοποιούνται στη μέτρηση του αέρα στην ξηρά και ιδίως στην ελεύθερη ατμόσφαιρα, και η εμπειρική κλίμακα Beaufort, η οποία συνήθως χρησιμοποιείται στη ναυτιλία που δίνεται με διαβαθμίσεις της έντασης του ανέμου επίσης σε κόμβους.

Η ημερήσια πορεία της ταχύτητας του επιφανειακού ανέμου συνήθως παρουσιάζει μέγιστο κατά τη διάρκεια της ημέρας, όταν δηλαδή είναι εντονότερες οι διαφοροποιήσεις της ατμοσφαιρικής πίεσης και θερμοκρασίας.

Είναι γνωστό ότι ο άνεμος μεταβάλλεται με το ύψος. Κοντά στην επιφάνεια της γης τα διάφορα φυσικά ή τεχνητά εμπόδια τροποποιούν τόσο τη διεύθυνση όσο και την ένταση του ανέμου. Αντίθετα πάνω από τους ωκεανούς ο επιφανειακός άνεμος δεν συναντά εμπόδια με αποτέλεσμα να εμφανίζει μεγαλύτερες εντάσεις από ότι πάνω από τις ηπείρους.

Η γεωγραφική κλίμακα της κίνησης του αέρα είναι έντονα μεταβλητή, αφού περιλαμβάνει ανέμους με καθαρά τοπικό χαρακτήρα και με πολύ μικρή περιοχή δράσης μέχρι ανέμους που έχουν πλανητική δράση.

Οι σπουδαιότεροι παράγοντες που ελέγχουν την κίνηση του αέρα στα κατώτερα επίπεδα της ατμόσφαιρας, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται άνεμοι, είναι οι εξής:

- Δύναμη βαροβαθμίδας: Προκύπτει όταν υπάρχει οριζόντια μεταβολή της πίεσης, και λειτουργεί από τις υψηλές (H) προς τις χαμηλές (L) πιέσεις

- Δύναμη Coriolis: είναι η εκτροπτική δύναμη, η οποία προκαλείται από την περιστροφή της Γης γύρω από τον άξονά της και αποτελεί τον βασικό λόγο αλλαγής της διεύθυνσης πνοής του αέρα.
- Κυκλοστροφική δύναμη: Εμφανίζεται όταν ο άνεμος στρέφεται γύρω από ένα κέντρο είτε χαμηλής είτε υψηλής πίεσης.
- Η δύναμη της επιφανειακής τριβής: αναπτύσσεται λόγω των ανωμαλιών του αναγλύφου και συντελεί στην επιβράδυνση της κίνησης του αέρα οδηγώντας τον σε ακανόνιστη κίνηση και σε απότομες αλλαγές στη διεύθυνση και την ταχύτητά του.

### 3. Θερμική άνεση

#### 3.1 Θερμική άνεση και άνθρωπος

Ως θερμική άνεση (thermal comfort) ορίζεται, σύμφωνα με τα πρότυπα του Διεθνούς Οργανισμού Τυποποίησης (ISO, International Organization for Standardization) και της Αμερικανικής Επιστημονικής Εταιρείας Θέρμανσης, Ψύξης και Κλιματισμού (ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating Air-Conditioning Engineers), η κατάσταση κατά την οποία ο εγκέφαλος ενός ατόμου, εκφράζει ικανοποίηση σε σχέση με το θερμικό περιβάλλον, δηλαδή το άτομο αυτό δεν επιθυμεί καμία θερμική αλλαγή του περιβάλλοντος, διότι δεν αισθάνεται ούτε ανεπιθύμητη ζέστη ούτε ανεπιθύμητο κρύο, και εκφράζει ικανοποίηση με τις επικρατούσες θερμικές συνθήκες.

Ο ορισμός αυτός είναι υποκειμενικός και τονίζει ότι η απόφαση της άνεσης είναι μια γνωστική διαδικασία που περιλαμβάνει πολλά δεδομένα, τα οποία επηρεάζονται από φυσιολογικές, σωματικές, ψυχολογικές και άλλες διεργασίες (ASHRAE, 2009).

Έτσι, σε ίδιες περιβαλλοντικές συνθήκες είναι δυνατόν κάποια άτομα να εκφράζουν ικανοποίηση για τις θερμικές συνθήκες, ενώ κάποια άλλα άτομα να εκφράζουν δυσανεξία. Από την άλλη, είναι δυνατόν άτομα που επηρεάζονται από εντελώς διαφορετικές θερμικές συνθήκες, δηλαδή βρίσκονται σε διαφορετικά περιβάλλοντα, να νιώθουν θερμικά άνετα. Αυτή η πολυπλοκότητα και ιδιαιτερότητα της αξιολόγησης της θερμικής άνεσης αποτυπώνεται και στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 3.1. Απεικόνιση της θερμικής άνεσης δύο ανθρώπων σε διαφορετικά θερμικά περιβάλλοντα (INNOVA, 2002).

Για τον ορισμό της θερμικής άνεσης υπάρχουν δύο ακόμα διαφορετικές προσεγγίσεις:

- Η θερμοφυσιολογική προσέγγιση, βασίζεται στην ενεργοποίηση των θερμικών αισθητήρων στο δέρμα και τον υποθάλαμο του εγκεφάλου και ορίζεται ως ο ελάχιστος ρυθμός των νευρικών σημάτων από αυτούς.
- Ενώ, σύμφωνα με τον ενεργειακό ορισμό, η κατάσταση της θερμικής άνεσης επιτυγχάνεται όταν η θερμότητα που ρέει από και προς το ανθρώπινο σώμα είναι ισοσταθμισμένη και η θερμοκρασία του δέρματος και ο ρυθμός εφίδρωσης κυμαίνονται μέσα σε κλίμακα άνεσης που εξαρτάται από τον μεταβολισμό.

Στους δυο τελευταίους ορισμούς, όπως φαίνεται, καθοριστικό ρόλο διαδραματίζει η μέση θερμοκρασία του δέρματος.

Με βάση τη βιολογία του ανθρώπινου οργανισμού, η θερμική άνεση επιτυγχάνεται όταν η θερμότητα που παράγεται από τον άνθρωπο, ισούται με την θερμότητα που απορρίπτεται και μεταφέρεται προς το περιβάλλον, διατηρώντας σταθερή θερμοκρασία σώματος στους 37°C.

Στην περίπτωση που η θερμοκρασία του σώματος αρχίσει να μεταβάλλεται (αύξηση ή μείωση της θερμοκρασίας), είτε λόγω κλιματολογικών συνθηκών είτε λόγω δραστηριότητας, οι μηχανισμοί αυτορρύθμισης της θερμοκρασίας του οργανισμού ενεργοποιούνται, με σκοπό την επαναφορά και διατήρηση της θερμοκρασίας σε φυσιολογικά επίπεδα (37°C).

Έτσι, σε θερμό περιβάλλον, όπου η απόρριψη θερμότητας από τον οργανισμό προς το περιβάλλον με μεταφορά, αγωγή και ακτινοβολία είναι μικρότερη από αυτή που πρέπει, με αποτέλεσμα να αυξάνει η θερμοκρασία του σώματος, ενεργοποιούνται δυο μηχανισμοί για την ελάττωσή της. Αρχικά, διαστέλλονται τα αιμοφόρα αγγεία και η ροή του αίματος στο δέρμα, με αποτέλεσμα να αυξάνονται οι απώλειες θερμότητας μέσω αγωγής και ακτινοβολίας. Επιπλέον, αρχίζει η λειτουργία της εφίδρωσης, όπου ο οργανισμός απορρίπτει θερμότητα μέσω των υδρατμών από τους πόρους του δέρματος, με αποτέλεσμα να γίνεται ψύξη του δέρματος μέσω εξάτμισης. Αυτός είναι και ο σημαντικότερος μηχανισμός για την μείωση της θερμοκρασίας.

Αντίθετα, σε πολύ κρύο περιβάλλον, απορρίπτεται από τον οργανισμό περισσότερη θερμότητα από αυτή που χρειάζεται, με αποτέλεσμα να μειώνεται η θερμοκρασία του σώματος. Για να μειωθεί αυτή η ροή θερμότητας προς το περιβάλλον τα αιμοφόρα αγγεία συστέλλονται, μειώνοντας την κυκλοφορία του αίματος, με στόχο να μειωθεί η απώλεια θερμότητας μέσω αγωγής και ακτινοβολίας. Παράλληλα, αυξάνονται οι εσωτερικές καύσεις, ενεργοποιούνται οι μύες και εμφανίζεται ρίγος. Αυτή η διαδικασία της κίνησης των μυών, αυξάνει τις καύσεις και τελικά την παραγωγή θερμότητας από το σώμα.

Το σύστημα ρύθμισης της θερμοκρασίας του σώματος λαμβάνει υπόψη εκτός από τα αισθητήρια όργανα του δέρματος και τα αισθητήρια όργανα του υποθαλάμου. Αυτά τα αισθητήρια όργανα στέλνοντας ερεθίσματα στον εγκέφαλο είναι υπεύθυνα για την ενεργοποίηση των μηχανισμών ψύξης του σώματος, όταν η θερμοκρασία του ξεπεράσει τους 37°C. Ομοίως, όταν η θερμοκρασία του σώματος μειωθεί κάτω από τους 34°C, ο αισθητήρας θερμότητας στον υποθάλαμο στέλνει ερεθίσματα, ώστε να ενεργοποιηθούν οι αμυντικοί μηχανισμοί του σώματος.

Τελικά, τα αποτελέσματα της επίδρασης των περιβαλλοντικών παραγόντων γίνονται αισθητά από τις μεταβολές της θερμοκρασίας του δέρματος καθώς και το είδος των σημάτων που λαμβάνει ο εγκέφαλος από τα αισθητήρια όργανα. Έτσι, ένα περιβάλλον μπορεί να θεωρηθεί, από τον άνθρωπο ως θερμικά άνετο εφόσον δεν υπάρχει κάποιο σήμα από τα αισθητήρια όργανα για μείωση ή αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος, δηλαδή το άτομο δεν αισθάνεται ούτε κρύο ούτε ζέστη. Η κατάσταση αυτή περιγράφεται ως **θερμική ισορροπία**.

Η θερμική ισορροπία του σώματος είναι μια δυναμική κατάσταση μεταξύ της παραγόμενης θερμότητας από τον ανθρώπινο οργανισμό και της θερμότητας που μεταδίδεται με μεταφορά, αγωγή, ακτινοβολία και εξάτμιση από ή προς το περιβάλλον. Το θερμικό ισοζύγιο ανάμεσα στο ανθρώπινο σώμα και το περιβάλλον,

το οποίο βασίζεται στην αρχή διατήρησης της ενέργειας, δίνεται από τη σχέση (ISO, 1993; ASHRAE, 2005):

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

όπου :

M : ρυθμός μεταβολισμού ( $W/m^2$ )

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

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

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

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

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

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

S : ρυθμός αποθήκευσης θερμότητας στο σώμα. Στην κατάσταση της θερμικής ισορροπίας, μηδενίζεται.

Η παραπάνω σχέση είναι ένα εργαλείο υπολογισμού της θερμικής άνεσης που μπορεί να επιτευχθεί σε ένα χώρο, γνωρίζοντας τις φυσικές παραμέτρους που επηρεάζουν τη θερμική άνεση.

### 3.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την θερμική άνεση

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμική άνεση χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

- i. Φυσικές παράμετροι
  - Θερμοκρασία του αέρα
  - Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας των επιφανειών
  - Υγρασία και σχετική υγρασία του αέρα
  - Ταχύτητα του αέρα
  - Ατμοσφαιρική πίεση
- ii. Βιολογικές παράμετροι
  - Φύλο ατόμου
  - Ηλικία ατόμου
  - Φυλετικά χαρακτηριστικά ατόμου
- iii. Εξωτερικές παράμετροι
  - Επίπεδο δραστηριότητας (μεταβολισμός)
  - Τύπος ρουχισμού (θερμική αντίσταση)

Η θερμοκρασία αέρα, η θερμοκρασία ακτινοβολίας, η υγρασία καθώς και η ταχύτητα του ανέμου, αποτελούν τις βασικές φυσικές, περιβαλλοντικές παραμέτρους που επηρεάζουν τον άνθρωπο στα διάφορα θερμικά περιβάλλοντα (Parsons 1993). Αν

σε αυτές τις παραμέτρους προστεθούν οι εξωτερικές, δηλαδή ο μεταβολισμός που εξαρτάται από το επίπεδο δραστηριότητας και το είδος και ο βαθμός της ένδυσης που καθορίζει τη θερμική αντίσταση προκύπτουν οι έξι θεμελιώδεις παράγοντες που ορίζουν το ανθρώπινο θερμικό περιβάλλον. Η θερμική άνεση μπορεί να επιτευχθεί μεταβάλλοντας μία ή περισσότερες από τις παραπάνω παραμέτρους.

### 3.2.1. Θερμοκρασία αέρα

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύθηκε η έννοια και ο καθοριστικός ρόλος της θερμοκρασίας ως βιοκλιματικός παράγοντας, όμως η θερμοκρασία του αέρα είναι ιδιαίτερα σημαντική παράμετρος και για τη θερμική άνεση του ανθρώπου καθώς την επηρεάζει με πολλούς τρόπους, ενώ σε συνδυασμό με άλλους παράγοντες αποτελεί τον βασικό συντελεστή για το ανθρώπινο ενεργειακό ισοζύγιο, την αίσθηση του θερμικού περιβάλλοντος, την άνεση, τη δυσφορία και την αίσθηση της ποιότητας του αέρα.

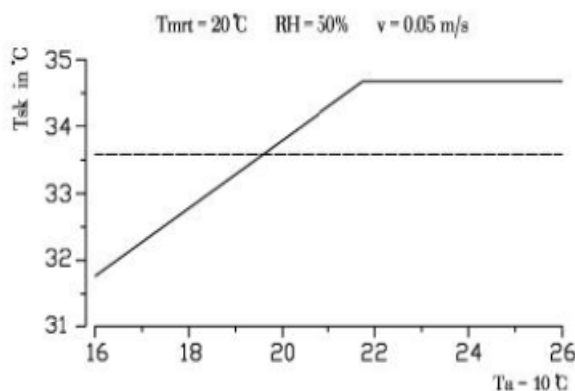
Η θερμοκρασία ως παράγοντας της θερμικής άνεσης εξαρτάται άμεσα ή έμμεσα από άλλους παράγοντες, όπως παραδείγματος χάριν την ακτινοβολία. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην υπάρχει μια συγκεκριμένη τιμή θερμοκρασίας που να αποτελεί και τη βέλτιστη λύση ώστε να υπάρχουν συνθήκες άνεσης, αλλά ένα πεδίο τιμών αυτής που είναι συνάρτηση των παραγόντων που την επηρεάζουν.

Η θερμοκρασία του αέρα ορίζεται ως η θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα που περιβάλλει το ανθρώπινο σώμα, καθώς η θερμοκρασία του αέρα που βρίσκεται μακριά από αυτό δεν επιδρά στη διαμόρφωση της θερμικής αίσθησης γιατί δεν επηρεάζει ουσιαστικά την ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ του σώματος και του περιβάλλοντος. Από την άλλη, η θερμοκρασία του αέρα παρά πολύ κοντά σε ένα ενδεδυμένο ή μη σώμα δεν θεωρείται αντιπροσωπευτική διότι επηρεάζεται σημαντικά από τις οριακές συνθήκες.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το ανθρώπινο σώμα αντιλαμβάνεται τις παραμέτρους του θερμικού περιβάλλοντος και επομένως και τη θερμοκρασία του αέρα από τα αισθητήρια όργανα του δέρματος και του υποθαλάμου ρυθμίζοντας τη θερμοκρασία του, καθώς ο ανθρώπινος οργανισμός επιδιώκει τη διατήρηση της εσωτερικής θερμοκρασίας του σώματος περίπου στους 37°C, ενώ έστω και μια απόκλιση των μερικών βαθμών από αυτή την τιμή, μπορεί να έχει σοβαρές επιπτώσεις για τον άνθρωπο.

Η θερμοκρασία λοιπόν επηρεάζει σημαντικά το ανθρώπινο σώμα και τις λειτουργίες ανταλλαγής ενέργειας υπό τη μορφή θερμότητας με το περιβάλλον. Πιο συγκεκριμένα, όταν η θερμοκρασία του αέρα αυξάνεται οι απώλειες θερμότητας με αγωγή και ακτινοβολία μειώνονται αλλά παράλληλα αυξάνονται οι απώλειες θερμότητας λόγω εφίδρωσης που ενεργοποιείται από τον οργανισμό. Επίσης, η θερμοκρασία του αέρα επηρεάζει και τη μέση θερμοκρασία του δέρματος. Το φυσικό αυτό μέγεθος έχει εισαχθεί για την πληρέστερη αξιολόγηση της θερμικής άνεσης.

Έρευνες που πραγματοποιήθηκαν από τον P. Horpe με τη βοήθεια του μαθηματικού μοντέλου M.E.M.I., κατέληξαν στη συσχέτιση της θερμοκρασίας του αέρα και της μέσης θερμοκρασίας του δέρματος.



Συνθήκες μετρήσεων:  
 άνδρας 35 ετών, ένδυση=1  
 clo, καθιστική εργασία,  
 μεταβολικός ρυθμός=60W,  
 μέση θερμοκρασία  
 ακτινοβολίας  $T_{mrt}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  
 σχετική υγρασία  $RH=50\%$ ,  
 ταχύτητα ανέμου= $0,05\text{ m/s}$   
 Πηγή: Peter Höppe, 1988

**Εικόνα 3.2. Διάγραμμα μεταβολής της θερμοκρασίας του αέρα  $T_a$  και της μέσης θερμοκρασίας του δέρματος  $T_{sk}$ .**

Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα της εικόνας 3.2 η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα, έως και τους  $21^{\circ}\text{C}$  οδηγεί σε συνεχόμενη μεταβολή της μέσης θερμοκρασίας του δέρματος. Με περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα ενεργοποιείται ο μηχανισμός της εφίδρωσης με αποτέλεσμα την ψύξη του σώματος και γι' αυτό το λόγο η κλίση της ευθείας του διαγράμματος μειώνεται σημαντικά μετά τους  $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Η μέση θερμοκρασία του δέρματος που θεωρείται ως φυσιολογική σε αντιστοιχία με τη θερμική ισορροπία του ανθρώπινου σώματος στους  $37^{\circ}\text{C}$ , είναι κοντά στους  $33,5^{\circ}\text{C}$  όπως φαίνεται και από την οριζόντια γραμμή του διαγράμματος. Για τη διατήρηση της μέσης αυτής θερμοκρασίας θα πρέπει η θερμοκρασία του αέρα να είναι κοντά στους  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Με βάση όλα τα παραπάνω γίνεται κατανοητό ότι δεν είναι εύκολο να οριστεί μια συγκεκριμένη θερμοκρασία άνεσης εξαιτίας του μεγάλου αριθμού παραγόντων που την επηρεάζουν. Είναι όμως κοινώς αποδεκτό ότι για να αισθάνεται ένα άτομο θερμική άνεση, η θερμοκρασία του αέρα πρέπει να είναι κατάλληλη ώστε να διευκολύνεται η απόρριψη θερμότητας από τον άνθρωπο με ελεύθερη μεταφορά. Οι περισσότεροι άνθρωποι νιώθουν άνετα όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος κυμαίνεται μεταξύ  $22^{\circ}\text{C}$  και  $27^{\circ}\text{C}$ . Τέλος, η θερμοκρασία εξαρτάται επίσης, από την εποχή, το ρουχισμό, το φύλο, την ηλικία και τη δραστηριότητα των ατόμων.

### 3.2.2. Θερμοκρασία ακτινοβολίας

Η θερμοκρασία ακτινοβολίας είναι μια ακόμα παράμετρος που επηρεάζει σημαντικά τη ρύθμιση της θερμοκρασίας του ανθρώπινου σώματος. Αυτό οφείλεται στην ανταλλαγή ακτινοβολίας μεταξύ των διαφόρων σωμάτων, δηλαδή του ανθρώπινου σώματος και των διαφόρων αντικειμένων που το περιβάλλουν, με αποτέλεσμα να γίνεται μεταφορά θερμότητας. Έχει αποδειχθεί ότι η ηλιακή ακτινοβολία μειώνει τη θερμική άνεση του ανθρώπου και διαμορφώνει δυσχερείς βιομετεωρολογικές συνθήκες όταν οι συνθήκες είναι θερμές (Rohles nad Wallis 1979; Madsen et al. 1992; Parsons 1993). Μπορεί επίσης να προκαλέσει δυσφορία σε

άτομα που βρίσκονται εντός κτηρίων, κοντά σε παράθυρα ή άλλα ανοίγματα αλλά και σε υπαίθριους χώρους (Hodder and Parsons 2007).

Σημειώνεται ότι, κατά την περίοδο του χειμώνα, ο άνθρωπος έχει απώλειες θερμότητας, η οποία μεταφέρεται προς τις ψυχρές επιφάνειες, ενώ το καλοκαίρι ο άνθρωπος δέχεται με ακτινοβολία ποσά θερμότητας από τις θερμές επιφάνειες που τον περιβάλλουν. Γενικά υπάρχει ασυμμετρία ακτινοβολίας θερμότητας από και προς τον άνθρωπο λόγω της διαφορετικής θέρμανσης των εσωτερικών επιφανειών και των διαφορετικών υλικών και χρωματισμών αυτών. Για να υπάρχει αίσθηση θερμικής άνεσης, θα πρέπει η θερμοκρασία των εσωτερικών επιφανειών του χώρου να πλησιάζει όσο το δυνατόν τη θερμοκρασία αέρα του χώρου, δηλαδή η διαφορά τους να μην ξεπερνά τους 3-4 °C.

Η θερμοκρασία ακτινοβολίας είναι μέρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που περιλαμβάνει ακτινοβολίες μικρού και μεγάλου μήκους κύματος (τις ακτίνες X καθώς και το φως και τα ραδιοκύματα, αντίστοιχα).

Όπως φαίνεται και από τα παραπάνω η θερμοκρασία ακτινοβολίας έχει ιδιαίτερη εφαρμογή στην εκτίμηση της θερμικής αίσθησης του ανθρώπου. Όμως, για την περιγραφή και την ποσοτικοποίηση της θερμικής ακτινοβολίας του περιβάλλοντος χρησιμοποιείται κυρίως η παράμετρος Μέση Θερμοκρασία Ακτινοβολίας (mean radiant temperature,  $T_{mrt}$ ), η οποία εφαρμόζεται πιο συχνά στις μελέτες Βιοκλιματολογίας - Βιομετεωρολογίας (Parsons 1993, Ματζαράκης 1995).

Ως μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας ορίζεται η ομοιόμορφη θερμοκρασία επιφάνειας ενός φανταστικού μαύρου θαλάμου στον οποίο ένας άνθρωπος θα ανταλλάσει το ίδιο ποσό της θερμικής ακτινοβολίας, όπως και στον πραγματικό μη ομοιόμορφο χώρο (ANSI/ASHRAE, 2004). Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας ενός ανθρώπου με συγκεκριμένο τύπο ενδυμασίας και στάση σώματος αντιστοιχεί στη μέση θερμοκρασία εκπομπής μέλανος σώματος που έχει τα ίδια οφέλη και απώλειες ακτινοβολίας κάτω από τις ίδιες συνθήκες περιβάλλοντος (Gonzales et al. 1974, ASHRAE 1992)

Η εξίσωση υπολογισμού της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας είναι:

$$T_{mrt} = \sqrt[4]{\sum_n F_{p-i} \times (T_i + 273)^4} - 273$$

Όπου:  $T_i$  είναι η θερμοκρασία επιφάνειας  $i$  και  $F_{p-i}$  είναι ο συντελεστής που εξαρτάται από τη θέση του ανθρώπου στο χώρο και της γωνίας του με την επιφάνεια  $i$  (σημειώνεται ότι:  $\sum F_{p-i} = 1$ )

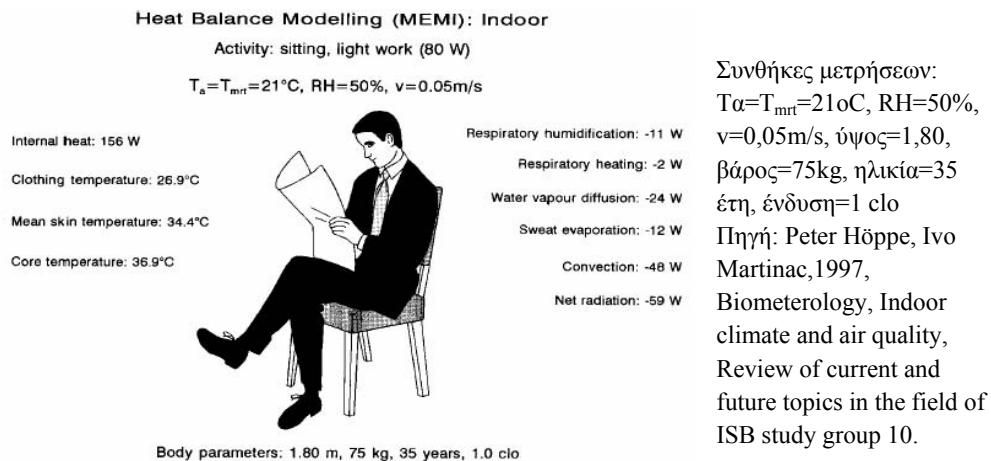
Όπως φαίνεται και από την παραπάνω σχέση, η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας είναι η επίδραση της ροής ακτινοβολίας μιας επιφάνειας στο περιβάλλον που βρίσκεται. Για να γίνει υπολογισμός της  $T_{mrt}$ , από τη σχέση αυτή θα πρέπει να μετρηθούν οι θερμοκρασίες όλων των επιφανειών που βρίσκονται στο συγκεκριμένο χώρο καθώς επίσης και οι συντελεστές γωνίας μεταξύ αυτών των επιφανειών και του ανθρώπου, γεγονός που καθιστά την εφαρμογή αυτού του τύπου

δύσχρηστη, αφού απαιτεί σημαντικό χρόνο, ειδικά όταν πρόκειται για σύνθετα περιβάλλοντα.

Εκτός από την παραπάνω σχέση, έχουν χρησιμοποιηθεί και άλλοι τρόποι (τύποι) για τον υπολογισμό της  $T_{mrt}$ , που όμως δεν δίνουν πάντα ικανοποιητικά αποτελέσματα. Οι καλύτερες μέθοδοι για τον υπολογισμό της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας είναι δύο. Είτε να εκτιμηθεί με τη βοήθεια οργάνων, τα οποία έχουν τη δυνατότητα μέτρησης της ακτινοβολίας προς όλες τις κατευθύνσεις και υπό διαφορετικές γωνίες. Η μέθοδος όμως αυτή αν και είναι ακριβής είναι και αρκετά δαπανηρή, διότι προϋποθέτει κατάλληλο εξοπλισμό (VDI 1994, Iziomon et al. 2001, Spagnolo and de Dear 2003, Ali- Toudert et al. 2005, Matzarakis et al. 2007). Είτε με χρήση υπολογιστικού λογισμικού [όπως το ENVI-met, το Townscoro και το RayMan (Bruse and Fleer 1998, Teller and Azar 2001, Matzarakis et al. 2007, Thorsson et al. 2007, Matzarakis et al. 2009, Matzarakis et al. 2010)] που θεωρείται η πλέον διαδεδομένη μέθοδος καθώς είναι εξαιρετικά απλή, οικονομική και δίνει άμεσα αποτελέσματα. Επίσης έχει τη δυνατότητα να κάνει προσομοίωση της  $T_{mrt}$  σε σενάρια διαφορετικών συνθηκών.

Γενικά, για να είναι εφικτός ο υπολογισμός της  $T_{mrt}$ , θα πρέπει να είναι γνωστά τα χαρακτηριστικά και οι διαστάσεις των επιφανειών που ακτινοβολούν γύρω από το σώμα που μελετάται καθώς επίσης θα πρέπει να ληφθούν υπόψη ο προσανατολισμός του ατόμου σε σχέση με τις πηγές ακτινοβολίας και το ορατό μέρος του ουράνιου θόλου. Όσο πιο μεγάλη είναι η επιφάνεια και όσο πιο κοντά βρίσκεται στο εξεταζόμενο περιβάλλον τόσο μεγαλύτερη είναι η επίδραση που έχει στη θερμοκρασία αυτού. Έτσι όταν ένα άτομο κινείται μέσα σε ένα χώρο, η τιμή της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας αλλάζει, ανάλογα με τη θέση του στο χώρο. Όσο πιο κοντά είναι σε μια μεγάλη θερμή ή κρύα επιφάνεια τόσο μεγαλύτερη επίδραση έχει η επιφάνεια πάνω στο άτομο και τόσο υψηλότερη ή χαμηλότερη είναι η  $T_{mrt}$  στο συγκεκριμένο σημείο. Τέλος, στον υπολογισμό του  $T_{mrt}$  σημαντικό ρόλο παίζει ο τρόπος με τον οποίο η άμεση ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει στον άνθρωπο, η λευκαύγεια (Albedo), το πάχος της ενδυμασίας και το χρώμα του δέρματος.

Στην εικόνα 3.3 γίνεται σαφές ότι η μεγαλύτερη ροή θερμότητας από το ανθρώπινο σώμα σε τυπικές κλιματικές συνθήκες (χωρίς κλιματισμό του αέρα) οφείλεται στην ακτινοβολία.



Εικόνα 3.3. Ροές θερμότητας από το ανθρώπινο σώμα προς το περιβάλλον.

Καταλήγοντας, πρέπει να σημειωθεί ότι η θερμοκρασία ακτινοβολίας χαρακτηρίζεται ως η πιο σημαντική για τον υπολογισμό του θερμικού ισοζυγίου του ανθρώπου, ιδιαίτερα όταν αναφερόμαστε σε άκρως δυσμενείς θερμικές συνθήκες (Matzarakis,1995).

### 3.2.3. Υγρασία

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στο δεύτερο κεφάλαιο, η υγρασία εκφράζει το ποσό των υδρατμών που υπάρχει στον ατμοσφαιρικό αέρα. Ενώ, η σχετική υγρασία, που χρησιμοποιείται κυρίως στην αξιολόγηση της θερμικής άνεσης, εκφράζεται ως ο λόγος του ποσού των υδρατμών που περιέχει ο αέρας προς το μέγιστο ποσό υδρατμών που μπορεί να περιέχει. Η σχετική υγρασία επηρεάζει σημαντικά την εξάτμιση του νερού από την επιδερμίδα με αποτέλεσμα να μεταβάλλεται η θερμοκρασία του δέρματος και τελικά να επηρεάζεται το θερμικό ισοζύγιο του σώματος. Συνοπτικά, η υγρασία του αέρα επενεργεί στους εξής τρεις μηχανισμούς του ανθρώπινου σώματος:

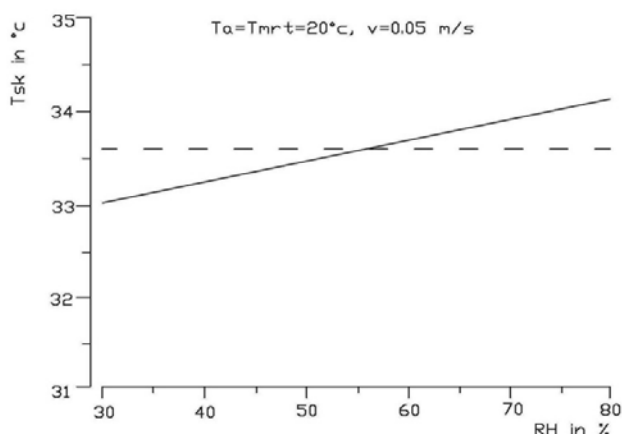
- στο μηχανισμό διάχυσης των υγρών υπό τη μορφή αερίων του ανθρώπινου σώματος μέσω του δέρματος,
- στο μηχανισμό εξάτμισης του ιδρώτα από την επιφάνεια του δέρματος και
- στο μηχανισμό ύγρανσης του εισπνεόμενου αέρα.

Οι μηχανισμοί της διάχυσης και της εξάτμισης εξαρτώνται άμεσα από τη σχετική υγρασία του αέρα.

Σε περιβάλλον όπου ο αέρας έχει υψηλή περιεκτικότητα σε υδρατμούς (σχετική υγρασία > 60 – 70%) και η θερμοκρασία είναι επίσης υψηλή, ο ανθρώπινος οργανισμός ενεργοποιεί τον μηχανισμό της εφίδρωσης. Ωστόσο, η υψηλή σχετική υγρασία επιβραδύνει την απόρριψη θερμότητας με εξάτμιση καθιστώντας την πολλές φορές αδύνατη με αποτέλεσμα ο ιδρώτας να παραμένει στο δέρμα και να το διαβρέχει. Το γεγονός αυτό κάνει τον άνθρωπο να αισθάνεται την θερμοκρασία του αέρα υψηλότερη από την πραγματική και την ατμόσφαιρα ‘πυκνότερη’ (αποπνικτική), δημιουργώντας αίσθηση δυσανεξίας.

Στην αντίθετη περίπτωση όπου το περιεχόμενο του αέρα σε υδρατμούς είναι πολύ μικρό (σχετική υγρασία < 30%), πραγματοποιείται εξάτμιση μεγάλου ποσοστού ιδρώτα από το δέρμα δημιουργώντας την αίσθηση ψύχους και ξήρανσης της επιδερμίδας, με αποτέλεσμα ο άνθρωπος να νιώθει δυσφορία. Σε συνθήκες όπου το δέρμα δεν υγραίνεται επαρκώς, μειώνεται η ανοσοποιητική ικανότητα του δέρματος.

Το παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζει τη μέση θερμοκρασία του δέρματος σε σχέση με τη μεταβολή της σχετικής υγρασίας. Όπως φαίνεται η επίδραση της σχετικής υγρασίας στη μέση θερμοκρασία του δέρματος είναι μικρή (50% μεταβολή σχετικής υγρασίας, επιφέρει μεταβολή 1.2 – 1.3°C της μέσης θερμοκρασίας δέρματος).



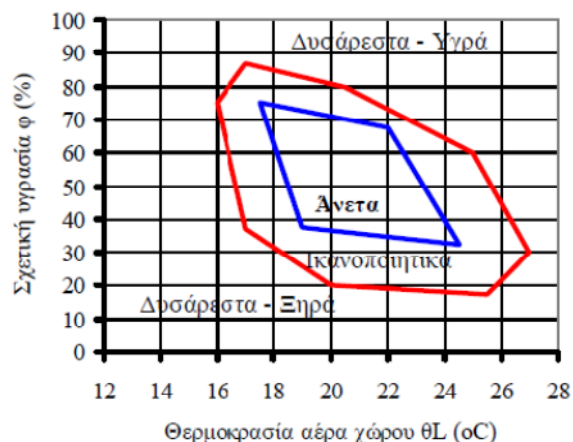
Συνθήκες μετρήσεων:  
 άνδρας 35 ετών, τύπος  
 ρουχισμού=1 clo, καθιστική  
 εργασία, μεταβολικός  
 ρυθμός=60W, μέση  
 θερμοκρασία ακτινοβολίας  
 $t_{m}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ = θερμοκρασία  
 αέρα τα, ταχύτητα αέρα  
 $v=0,05\text{ m/s}$ .

Πηγή: Peter Höppe, 1988,  
 Comfort Requirements in  
 Indoor Climate

**Εικόνα 3.4. Διάγραμμα μεταβολής της σχετικής υγρασίας του αέρα και της μέσης θερμοκρασίας του δέρματος tsk.**

Σε γενικές γραμμές οι περισσότεροι άνθρωποι προτιμούν μια σχετική υγρασία μεταξύ 40% και 60% με ακραία όρια το 30% και το 70%. Στους εσωτερικούς χώρους η μείωση της σχετικής υγρασίας σε χαμηλά επίπεδα, μπορεί να δημιουργήσει ακόμα και προβλήματα στην υγεία του ανθρώπου. Αξίζει να σημειωθεί ότι, η μείωση της σχετικής υγρασίας κάτω από 20% μπορεί να προκαλέσει ξηρότητα των βλεννογόνων αδένων του αναπνευστικού συστήματος και μείωση της ικανότητας καθαρισμού και ρύθμισης της θερμοκρασίας του αέρα αλλά και προβλήματα όρασης. Απ' την άλλη μεριά το αίσθημα της δυσανεξίας εμφανίζεται όταν το δέρμα είναι έντονα βρεγμένο, υπό την παρουσία υψηλών θερμοκρασιών, υψηλής σχετικής υγρασίας και δραστηριότητας εντονότερης της καθιστικής.

Από τα παραπάνω έχει γίνει σαφές ότι η θερμοκρασία του αέρα έχει καθοριστική σημασία για τον προσδιορισμό της αποδεκτής σχετικής υγρασίας. Στο παρακάτω διάγραμμα θερμικής άνεσης σχετικής υγρασίας - θερμοκρασίας αέρα οριοθετείται το πεδίο θερμικής άνεσης και προσδιορίζεται το κατάλληλο ζεύγος τιμών θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας (Παπαδόπουλος, 2006).



**Εικόνα 3.5. Διάγραμμα θερμικής άνεσης θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας (Παπαδόπουλος, 2006).**

Καταλήγοντας, σημειώνεται ότι τα αποδεκτά όρια της σχετικής υγρασίας για την επίτευξη της θερμικής άνεσης εξαρτώνται από συνδυασμό παραμέτρων με αποτέλεσμα να μην είναι ιδιαίτερα σαφή. Ο βασικός παράγοντας που επηρεάζει την σχετική υγρασία ώστε να δημιουργείται αίσθηση θερμικής άνεσης είναι η θερμοκρασία του αέρα.

### 3.2.4. Ταχύτητα ανέμου

Η κίνηση των αέριων μαζών γύρω από τον άνθρωπο μπορεί να επηρεάσει τη ροή θερμότητας από και προς το ανθρώπινο σώμα και κατά συνέπεια να επηρεάσει την θερμοκρασία αυτού. Το γεγονός αυτό καθιστά την κίνηση του αέρα έναν βασικό παράγοντα για τη διαμόρφωση της θερμικής άνεσης του ανθρώπου.

Η κίνηση του αέρα συνδέεται με δύο παραμέτρους:

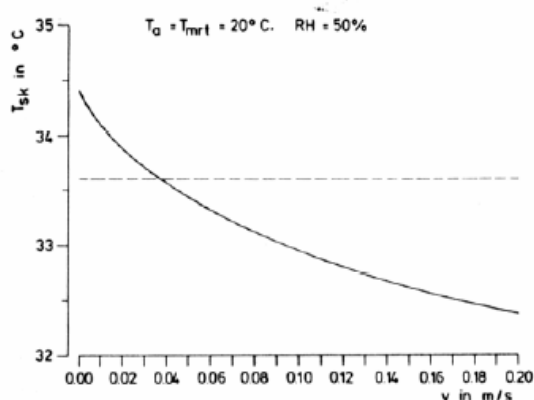
- Την ταχύτητα του ανέμου και
- Τη μορφή της ροής του αέρα, αν είναι στρωτή ή τυρβώδης.

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

Σε συνθήκες περιβάλλοντος όπου η θερμοκρασία αέρος είναι υψηλότερη από την αντίστοιχη του ανθρώπινου σώματος και η σχετική υγρασία είναι επίσης υψηλή, η αύξηση της ταχύτητας του αέρα αυξάνει τις απώλειες θερμότητας, δεδομένου ότι αυξάνεται η εξάτμιση των υγρών επιφανειών του σώματος του ανθρώπου από την εφίδρωση που παρατηρείται στις συνθήκες αυτές, με αποτέλεσμα να δημιουργείται αίσθηση δροσισμού (πιο ισορροπημένο θερμικό ισοζύγιο).

Σε αντίθετη περίπτωση, όταν δηλαδή η θερμοκρασία του αέρα είναι χαμηλότερη από αυτήν του ανθρώπινου σώματος, η αυξημένη ταχύτητα αέρα επιταχύνει τις απώλειες θερμότητας από το σώμα, με αποτέλεσμα να δημιουργείται αίσθηση ψύχους και δυσφορίας εντονότερη απ' ό,τι σε συνθήκες νηνεμίας.

Στο διάγραμμα της εικόνας 3.6. φαίνεται η σχέση που συνδέει την ταχύτητα του αέρα και τη μέση θερμοκρασία δέρματος. Στις χαμηλές ταχύτητες, μικρές μεταβολές της ταχύτητας προκαλούν μεγαλύτερες απώλειες θερμότητας σε σχέση με τις μικρές μεταβολές ταχύτητας σε υψηλότερες ταχύτητες αέρα.

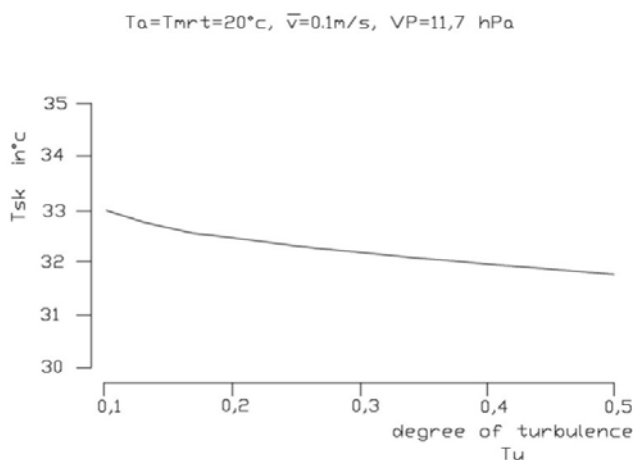


Συνθήκες μετρήσεων: άνδρας 35 ετών, τύπος ρουχισμού=1 clo, καθιστική εργασία, μεταβολικός ρυθμός = 60W, μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας  $t_{ra}=20^{\circ}\text{C}$  = θερμοκρασία αέρα  $t_a$ , σχετική υγρασία RH=50%

Πηγή: Peter Höpfe, Ivo Martinac, 1997, Biometeorology, Indoor climate and air quality

**Εικόνα 3.6. Διάγραμμα επίδρασης της ταχύτητας του αέρα  $v$  στη θερμοκρασία του δέρματος  $T_{sk}$ .**

Επίσης σημαντική είναι και η δεύτερη παράμετρος, ο τύπος της ροής του αέρα, καθώς επηρεάζει και αυτή τις απώλειες θερμότητας από το ανθρώπινο σώμα. Πιο συγκεκριμένα, η ροή που μεταβάλλεται περιοδικά προκαλεί ενοχλήσεις σε σχέση με τη στρωτή ροή. Η θερμοκρασία του δέρματος επηρεάζεται ιδιαίτερα από τον βαθμό της τύρβης ακόμα και όταν η μέση ταχύτητα του αέρα είναι σταθερή. Έτσι, οι άνθρωποι φαίνεται να μην προτιμούν μεταβολές στην ταχύτητα του αέρα που προσομοιώνουν την τυρβώδη ροή, καθώς σε υψηλά ποσοστά τύρβης το ποσοστό των δυσαρεστημένων ατόμων είναι μεγάλο (Parsons,1993). Στο διάγραμμα της εικόνας 3.7. αποτυπώνεται η επίδραση του τύπου της ροής με σταθερή μέση ταχύτητα  $\bar{v} = 0,1$  m/s στη θερμοκρασία του δέρματος  $T_{sk}$ .



Συνθήκες μετρήσεων: άνδρας 35 ετών, τύπος ρουχισμού = 1 clo, καθιστική εργασία, μεταβολικός ρυθμός = 60W, μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας  $t_{ra}=20^{\circ}\text{C}$  = θερμοκρασία αέρα  $t_a$ , μέση ταχύτητα αέρα  $v_a=0,1$  m/s, σχετική υγρασία RH=50%.

Πηγή: Peter Höpfe, 1988, Comfort Requirements in Indoor Climate

**Εικόνα 3.7. Διάγραμμα επίδρασης της τυρβώδους ροής  $T_u$  στη θερμοκρασία του δέρματος  $T_{sk}$ .**

### 3.2.5. Ένδυση

Η ένδυση λειτουργεί ως θερμική αντίσταση στην αποβολή θερμότητας από την επιφάνεια του ανθρώπινου σώματος προς το περιβάλλον. Η θερμότητα μεταφέρεται με αγωγή από το δέρμα στα ρούχα και στη συνέχεια με ακτινοβολία και μεταφορά προς το περιβάλλον. Επιπλέον, η ένδυση μειώνει την ταχύτητα εξάτμισης του ιδρώτα από το σώμα. Η αντίσταση της εξάτμισης είναι μέτρο της διαπερατότητας της υγρασίας η οποία επιδρά στη μεταφορά της λανθάνουσας θερμότητας από το δέρμα στη στρώση της ένδυσης και επηρεάζει την απώλεια θερμότητας εξαιτίας της εξάτμισης από το δέρμα στο περιβάλλον (Franger, 1972).

Επομένως, ο ρουχισμός μπορεί να χαρακτηριστεί ως θερμική μόνωση μεταξύ της επιδερμίδας και του περιβάλλοντος. Ο άνθρωπος μπορεί να προσαρμόζει την ενδυμασία του ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στο περιβάλλον που κινείται, ώστε να αισθάνεται θερμικά άνετα. Έτσι, σε ζεστό περιβάλλον ο άνθρωπος προτιμά ‘ελαφριά’ ρούχα που έχουν μικρή αντίσταση και δεν απορροφούν την ακτινοβολία, ενώ σε κρύο περιβάλλον, χρησιμοποιούνται ρούχα με μεγαλύτερη θερμομονωτική δράση.

Η μονάδα της θερμικής αντίστασης λόγω ρουχισμού ονομάζεται clo και χρησιμοποιείται για να εκφράσει τη θερμική μόνωση που παρέχουν τα ενδύματα και τα σύνολα ρουχισμού, και ισοδυναμεί με  $0,155\text{m}^2\text{K/W}$  (ASHRAE, 1992). Η μονάδα αυτή εισήχθη ώστε να διευκολύνει την έκφραση της παραμέτρου της ενδυμασίας. Το 1 clo ορίστηκε σαν η μόνωση που παρέχει η ένδυση ενός μέσου άνδρα, ο οποίος βρίσκεται σε ανάπαυση καθιστός, σε ένα φυσικά αεριζόμενο χώρο (ταχύτητα αέρα  $0,1\text{ m/s}$ ), με θερμοκρασία αέρα  $21\text{ }^\circ\text{C}$  και σχετική υγρασία μικρότερη από 50%. Κατά προσέγγιση το 1 clo αντιστοιχεί στη θερμική αντίσταση ενός χειμερινού κουστουμιού.



Εικόνα 3.8. Απεικόνιση του τύπου ρουχισμού και της τιμής του σε clo (INNOVA, 2002).

Ο υπολογισμός της θερμικής μόνωσης λόγω ένδυσης γίνεται με τη βοήθεια πινάκων, στους οποίους υπάρχουν οι τιμές είτε μεμονωμένων ενδυμάτων ( $I_{\text{clo}}$ ) είτε συνόλων ένδυσης. Στον παρακάτω πίνακα της ASHRAE, δίνεται αναλυτικά για κάθε ρούχο η θερμική αντίσταση σε clo.

Πίνακας 3.1. Τιμές θερμικής μόνωσης σε σχέση με το είδος της ένδυσης (ASHRAE, 2009).

Περιγραφή ενδύματος	I <sub>cl,u</sub> σε c1o
Γυναικείο εσώρουχο	0,03
Ανδρικό εσώρουχο	0,04
Μπλουζάκι μακό	0,08
Αθλητικές κάλτσες ως τον αστράγαλο	0,02
Αθλητικές κάλτσες ως τη γάμπα	0,03
Αθλητικές κάλτσες ως το γόνατο	0,06
Καλσόν	0,02
Σανδάλια/δερμάτινα σανδάλια	0,02
Παντόφλες	0,03
Μπότες	0,10
Αμάνικη, ανοιχτή στο λαιμό μπλούζα	0,12
Κοντομάνικο επίσημο πουκάμισο	0,19
Μακρυμάνικο επίσημο πουκάμισο	0,25
Μακρυμάνικο φανελένιο πουκάμισο	0,34
Κοντομάνικο πλεκτό σπορ πουκάμισο	0,17
Μακρυμάνικη βαμβακερή μπλούζα	0,34
Κοντό σορτς	0,06
Βερμούδα	0,08
Παντελόνι (λεπτό)	0,15
Παντελόνι (χονδρό)	0,24
Φόρμα	0,30
Ολόσωμη φόρμα	0,49
Μονόπετο σακάκι (λεπτό)	0,36
Μονόπετο σακάκι (χονδρό)	0,44
Αμάνικο γιλέκο (λεπτό)	0,10
Αμάνικο γιλέκο (χονδρό)	0,17
Πουλόβερ αμάνικο γιλέκο (λεπτό)	0,13
Πουλόβερ αμάνικο γιλέκο (χονδρό)	0,22

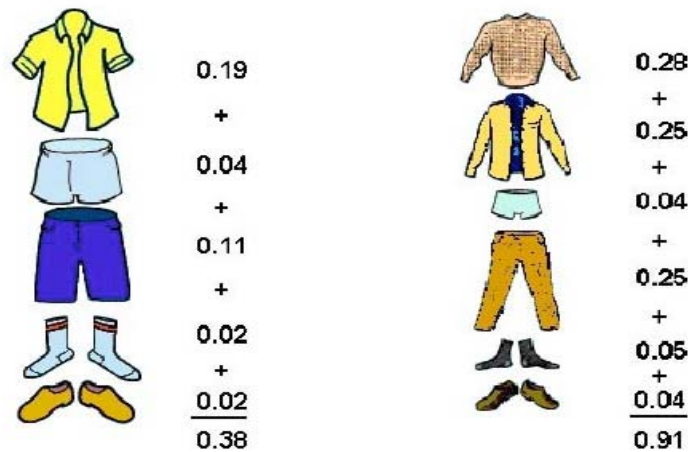
Πουλόβερ μακρυμάνικο (λεπτό)	0,25
Πουλόβερ μακρυμάνικο (χονδρό)	0,36
Φούστα (λεπτή)	0,14
Φούστα (χονδρή)	0,23
Μακρυμάνικο φόρεμα (λεπτό)	0,33
Μακρυμάνικο φόρεμα (χονδρό)	0,47
Κοντομάνικο φόρεμα (λεπτό)	0,29
Αμάνικο κοντό νυχτικό (λεπτό)	0,18
Αμάνικο μακρύ νυχτικό (λεπτό)	0,20
Μακρυμάνικο μακρύ νυχτικό (χονδρό)	0,46
Μακρυμάνικες πιτζάμες (χονδρές)	0,57
Κοντομάνικες πιτζάμες (λεπτές)	0,42
Μακρυμάνικη μακριά ρόμπα (χονδρή)	0,69
Μακρυμάνικη κοντή ρόμπα (χονδρή)	0,48
Κοντομάνικη κοντή ρόμπα (λεπτή)	0,34

**Πίνακας 3.2. Τιμές θερμικής μόνωσης για κάποιους συγκεκριμένους συνδυασμούς ρουχισμού.**

Ένδυση	m <sup>2</sup> K/W	clo
Κοντό παντελόνι (σορτς)	0,015	0,1
Εσώρουχο, κοντό παντελόνι, πουκάμισο κοντομάνικο, ανοιχτά παπούτσια	0,045	0,3
Καλοκαιρινή ενδυμασία: εσώρουχο, πουκάμισο κοντομάνικο, μακρύ ελαφρύ παντελόνι, ελαφριές κάλτσες, παπούτσια	0,08	0,5
Ενδυμασία για ελαφριά εργασία: εσώρουχο, πουκάμισο βαμβακερό με μακρύ μανίκι, παντελόνι εργασίας, μάλλινες κάλτσες, παπούτσια	0,11	0,7
Χειμερινή εσωτερική εργασία: εσώρουχα, πουκάμισο με μακρύ μανίκι ή πουλόβερ, χοντρές κάλτσες, παπούτσια	0,16	1,0
Χειμωνιάτικο επαγγελματικό κοστούμι: βαμβακερά μακριά εσώρουχα, παντελόνι, σακάκι, πουκάμισο, γιλέκο ή πουλόβερ, μάλλινες κάλτσες, παπούτσια	0,23	1,5

Στην περίπτωση που απαιτούνται πιο ακριβείς υπολογισμοί, και κανένας από τους συνδυασμούς ενδυμάτων δεν προσεγγίζει την ένδυση του ατόμου που μελετάται, τότε προβλέπεται για τον υπολογισμό της μια διαδικασία άθροισης των τιμών θερμικής μόνωσης των ενδυμάτων. Η άθροιση για τον υπολογισμό της  $I_{cl}$  από τις τιμές θερμικής μόνωσης των επιμέρους ενδυμάτων ( $I_{clu}$ ) είναι (ISO 9920, 1995; Parsons, 1999) :

$$I_{cl} = \sum I_{clu} \quad \text{σε clo.}$$



Εικόνα 3.9. Παραδείγματα ρουχισμού και υπολογισμός της αντίστασής τους (clo).

### 3.2.6. Μεταβολισμός

Μεταβολισμός είναι το σύνολο των χημικών αντιδράσεων που πραγματοποιούνται στο ανθρώπινο σώμα με αποτέλεσμα να παράγεται έργο και θερμότητα.

Ο ρυθμός παραγωγής θερμότητας μεταβολισμού διαφοροποιείται έντονα στον ανθρώπινο οργανισμό, δεδομένου ότι είναι συνάρτηση των φυσιολογικών δραστηριοτήτων του ατόμου (πέψη, κυοφορία κ.α.), της ηλικίας και του φύλου αλλά και της θερμοκρασίας του αέρα που τον περιβάλλει, κυρίως όμως εξαρτάται από το επίπεδο δραστηριότητας του ατόμου.

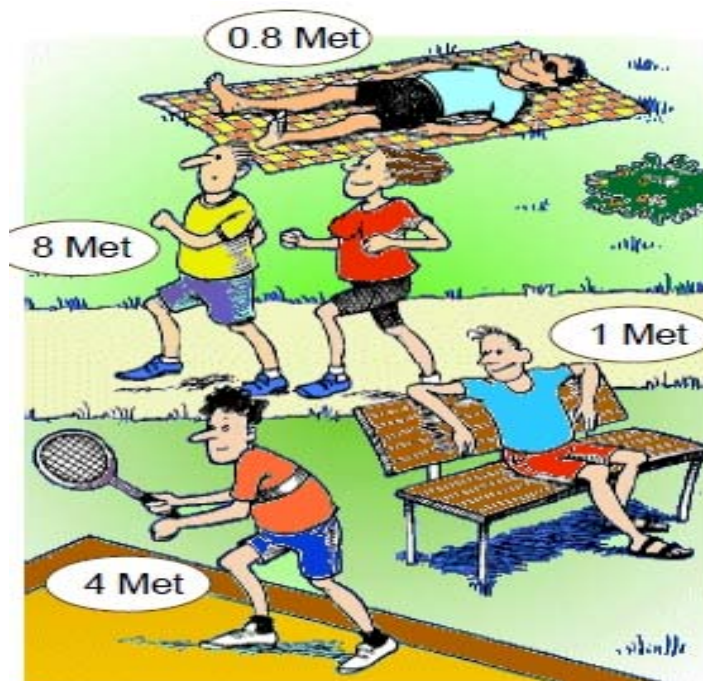
Όσο μεγαλύτερη είναι η φυσική δραστηριότητα του ατόμου, τόσο μεγαλύτερη θερμότητα παράγεται και τόσο μεγαλύτερη είναι η ανάγκη να αποβάλει αυτή τη θερμότητα για να μην υπερθερμανθεί το σώμα. Σκοπός είναι να διατηρείται το σώμα σε μια σταθερή εσωτερική θερμοκρασία περίπου στους 37 °C. Επειδή όμως η θερμοκρασία του σώματος είναι συνήθως υψηλότερη από αυτή του περιβάλλοντα χώρου, οι αντιδράσεις του μεταβολισμού πραγματοποιούνται συνεχώς προκειμένου να αντισταθμίσουν τις απώλειες θερμότητας προς το περιβάλλον.

Η θερμότητα που παράγεται αποβάλλεται προς το περιβάλλον μέσω του δέρματος. Έτσι έχει επικρατήσει ο ρυθμός μεταβολισμού (M) να εκφράζεται σε

μονάδες met, οι οποίες αντιστοιχούν σε Watts ανά μονάδα επιφάνειας σώματος ( $m^2$ ). Αν θεωρηθεί ότι ένας μέσος άνθρωπος έχει μέση επιφάνεια σώματος  $1,8 m^2$  τότε ο μεταβολισμός του την ώρα που αναπαύεται, ισοδυναμεί με  $58,15W/m^2$  ή  $50 kcal/(h \cdot m^2)$  ή, διαφορετικά, ισούται με 1met (ASHRAE, 1992).

Ο ρυθμός μεταβολισμού, όπως ήδη αναφέρθηκε αυξάνεται με τη δραστηριότητα του ανθρώπου. Έτσι, όταν αυτός βρίσκεται σε κατάκλιση παρατηρούνται οι μικρότερες τιμές met, οι οποίες διπλασιάζονται σχεδόν όταν βρίσκεται σε όρθια στάση και εκτελεί ελαφριά εργασία σε εργοστάσιο, εργοτάξιο κ.α. και υπερτριπλασιάζονται όταν εκτελεί βαριά εργασία.

Όταν υπολογίζεται ο μεταβολικός ρυθμός ενός ατόμου, είναι σημαντικό να χρησιμοποιείται μια μέση τιμή για τις δραστηριότητές του την τελευταία ώρα, καθώς η θερμοχωρητικότητα του σώματος επηρεάζει τη ροή θερμότητας με βάση το επίπεδο δραστηριότητας της τελευταίας μίας ώρας. Σε κάθε περίπτωση οι δραστηριότητες των τελευταίων 15 λεπτών έχουν μεγαλύτερη βαρύτητα (INNOVA, 2002). Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι το ανθρώπινο σώμα χρειάζεται 15 λεπτά ώστε να μεταβεί θερμικά από μια κατάσταση σε μια άλλη.



Εικόνα 3.10. Απεικόνιση μεταβολικών δραστηριοτήτων του ανθρώπου και η τιμή τους σε met (INNOVA, 2002).

Τιμές μεταβολικών ρυθμών παραγωγής θερμότητας, για διάφορες δραστηριότητες, παρουσιάζονται σε πίνακες που έχουν διαμορφωθεί από διάφορα ινστιτούτα και οργανισμούς. Ένας τέτοιος πίνακας είναι και ο παρακάτω.

**Πίνακας 3.3. Μεταβολικός ρυθμός παραγωγής θερμότητας για συνήθειες ανθρώπινες δραστηριότητες.**

Δραστηριότητα		W/m <sup>2</sup>	met
Ανάπαυση	Ύπνος	40	0.7
	Χαλάρωση σε καθιστή στάση	60	1.0
	Χαλάρωση σε όρθια στάση	70	1.2
Περπάτημα (σε οριζόντιο επίπεδο)	Αργό περπάτημα	115	2.0
	Μέσο περπάτημα	150	2.6
	Έντονο – Γρήγορο περπάτημα	220	3.8
Εργασία γραφείου, καταστήματος	Ανάγνωση	55	1.0
	Δακτυλογράφηση	65	1,1
	Πακετάρισμα	120	2,1
	Υπάλληλος καταστήματος, πωλητής	104-128	1,8-2,2
Εργασία εργοστασίου, εργοταξίου κλπ.	Ελαφρά εργασία	93	1,6
	Μέση εργασία	115-140	2,0-2,4
	Έντονη εργασία	175-235	3,0-4,0
	Σκάψιμο	250-280	4,3-4,8
Οδήγηση	Ελαφρύ όχημα, δίκυκλο, επιβατικό όχημα	100-115	1,7-2,0
	Βαρύ όχημα	175-200	3,0-3,4
Οικιακές εργασίες	Καθαριότητα	110-200	1,9-3,4
	Μαγείρεμα	95-115	1,6-2,0
	Σήκωμα βαρών- Μετακίνηση αντικειμένων	163-235	2,8-4,0
Διασκέδαση, Άθληση	Χορός	140-255	2,4-4,4
	Ψώνια	93	1,6
	Κοινωνικές εκδηλώσεις	81-250	1,4-4,3
	Ελαφρά γυμναστική	170-270	2,9-4,7
	Πολύ έντονη γυμναστική	380-500	6,5-8,6
	Ομαδικά αθλήματα (μπάσκετ, ποδόσφαιρο)	300-450	5,2-7,7

## 4. Βιοκλιματικοί δείκτες

### 4.1 Εξέλιξη και κατηγοριοποίηση

Η επίδραση των μετεωρολογικών συνθηκών στη δημόσια υγεία μελετάται από την αρχαιότητα. Ο ιατρός και φιλόσοφος Ιπποκράτης το 480 π.Χ., σε ένα από τα κείμενα του «περί αέρων, υδάτων και τόπων», τεκμηριώνει τη σχέση που έχουν οι καιρικές συνθήκες με την κατάσταση της υγείας του πληθυσμού. Στο ίδιο κείμενο, υποστηρίζει ότι οι νότιοι άνεμοι αυξάνουν τη νοσηρότητα και συνδέονται με μία σειρά προβλημάτων υγείας των ανθρώπων.

Για τη διευκόλυνση των επιστημόνων στη μελέτη της θερμικής άνεσης – δυσφορίας του πληθυσμού έχει προταθεί ένας μεγάλος αριθμός βιοκλιματικών δεικτών (Νάστος κ.α. 2006). Ανατρέχοντας ιστορικά το 1938 ο Buttner αναγνώρισε την ανάγκη μελέτης των θερμικών μεταβλητών και στη συνέχεια πολλοί ερευνητές πρότειναν και βελτίωσαν βιοκλιματικούς δείκτες.

Οι βιομετεωρολογικοί - βιοκλιματικοί δείκτες λοιπόν αναπτύχθηκαν με σκοπό την πρόγνωση, την ποσοτικοποίηση και την έκφραση της θερμικής άνεσης του ανθρώπου όπως αυτή διαμορφώνεται από τις περιβαλλοντικές - ατμοσφαιρικές συνθήκες.

Τα πρώτα μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν ως δείκτες θερμικού περιβάλλοντος, ήταν εμπειρικά βασισμένα σε μεμονωμένες μετεωρολογικές παραμέτρους ή σε συνδυασμό αυτών. Αργότερα, έγινε η προσομοίωση του ανθρώπινου θερμικού ισοζυγίου και στην δεκαετία του 1970 αναπτύχθηκαν οι σχετικοί με την ανθρώπινη φυσιολογία δείκτες (Knez and Thorsson, 2006). Τις τελευταίες δεκαετίες έχουν προταθεί και μελετηθεί πολλοί δείκτες που περιγράφουν τόσο την εσωτερική όσο και την εξωτερική θερμική άνεση του πληθυσμού.

**Πίνακας 4.1. Βιομετεωρολογικοί – βιοκλιματικοί δείκτες (κατά Epstein and Moran, 2006, συμπληρωμένο)**

Έτος	Δείκτες	Συγγραφείς
1905	Wet bulb temperature ( $T_w$ )	Haldane
1916	Katathermometer	Hill et al.
1923	Effective temperature (ET)	Houghton & Yaglou
1929	Equivalent temperature ( $T_{eq}$ )	Dufton
1932	Corrected effective temperature (CET)	Vernon & Warner
1937	Operative temperature (OpT)	Winslow et al.
1945	Thermal acceptance ratio (TAR)	Ionides et al.
1945	Index of physiological effect ( $E_p$ )	Robinson et al.

1946	Corrected effective temperature (CET)	Bedford
1947	Predicted 4-h sweat rate (P4SR)	Mc Ardel et al.
1948	Resultant temperature (RT)	Missenard et al.
1950	Craig index (I)	Craig
1955	Heat stress index (HIS)	Belding & Hatch
1957	Wet-bulb globe temperature (WBGT)	Yaglou & Minard
1957	Oxford index (WD)	Lind & Hellon
1957	Discomfort index (DI)	Thom
1958	Thermal strain index (TSI)	Lee & Henschel
1959	Discomfort index (DI)	Tennenbaum et al.
1960	Cummulative discomfort index (CumDI)	Tennenbaum et al.
1960	Index of physiological strain ( $I_s$ )	Hall & Polte
1962	Index of thermal stress (ITS)	Givoni
1966	Heat strain index (corrected) (HIS)	Mc Karns & Brief
1966	Prediction of heart rate (HR)	Fuller & Brouha
1967	Effective radiant field (ERF)	Gagge et al.
1970	Predicted mean vote (PMV)	Fänger
1970	Prescriptive zone	Lind
1971	New effective temperature (ET*)	Gagge et al.
1971	Wet globe temperature (WGT)	Botsford
1971	Humid operative temperature	Nishi & Gagge
1972	Predicted body core temperature	Givoni & Goldman
1972	Skin wettedness	Kerslake
1973	Standard effective temperature (SET)	Gagge et al.
1973	Predicted heart rate	Givoni & Goldman
1978	Skin wettedness	Gonzales et al.

1979	Fighter index of thermal stress (FITS)	Nunneley & Stribley
1981	Effective heart strain index (EHSI)	Kamon & Ryan
1982	Predicted sweat loss ( $m_{sw}$ )	Shapiro et al.
1985	Requires sweating ( $SW_{req}$ )	ISO 7933
1986	Predicted mean vote (modified) (PMV*)	Gagge et al.
1996	Cummulative heart strain index (CHSI)	Frank et al.
1998	Physiological strain index (PSI)	Moran et al.
1999	Modified discomfort index (MDI)	Moran et al.
1999	Physiological equivalent temperature (PET)	Höppe
2000	Standard effective temperature (modified) (SET*)	Pickup and De Dear
2001	Environmental stress index (ESI)	Moran et al.
2005	Wet-bulb dry temperature (WBDDT)	Wallace et al.
2005	Relative humidity dry temperature (RHDDT)	Wallace et al.
2009	Universal Thermal Climate Index (UTCI)	Bröde et al.

Όπως φαίνεται και στον πίνακα 4.1., έχει αναπτυχθεί ένας μεγάλος αριθμός βιομετεωρολογικών δεικτών, γεγονός που μπορεί να προκαλέσει κάποια σύγχυση. Γενικά, έχουν γίνει πολλές προσπάθειες για να συνδυαστούν όλοι οι παράγοντες σε ένα μόνο δείκτη, ούτως ώστε να ορισθεί το επίπεδο της θερμικής άνεσης και να είναι αυτό μια μέτρηση γύρω από την ποιότητα του περιβάλλοντος. Οι διάφοροι δείκτες που έχουν αναπτυχθεί, διαφέρουν μεταξύ τους ως προς την προσέγγιση του προβλήματος, στην περιοχή των συνθηκών εφαρμογής, στο ενδιαφέρον που αποδίδεται σε καθέναν από τους παράγοντες και στις προσεγγιστικές εκφράσεις που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των ανταλλαγών θερμότητας. Στην πραγματικότητα όμως, πολλοί από αυτούς τους δείκτες μοιράζονται αρκετούς κοινούς χαρακτήρες, με αποτέλεσμα να μπορούν να χωριστούν σε κατηγορίες (Givoni, 1976, Houghton, 1985, ASHRAE, 2001a)

Μια κατηγοριοποίηση των βιοκλιματικών δεικτών μπορεί να γίνει με βάση τις θερμοκρασιακές συνθήκες (Ματζαράκης, 1995) και διακρίνονται σε:

- Δείκτες που αναφέρονται σε ψυχρό περιβάλλον, όπου συνδυάζεται η θερμοκρασία του αέρα και η ταχύτητα του ανέμου, όπως οι δείκτες απόψυξης, οι

οποίοι χρησιμοποιούνται για την περιγραφή της στροβιλώδους μεταφοράς αισθητής θερμότητας.

- Δείκτες που αναφέρονται σε θερμό περιβάλλον, όπου γίνεται συνδυασμός της θερμοκρασίας του αέρα με διάφορους δείκτες υγρασίας για τη μελέτη της εξάτμισης, που προκαλείται από το ανθρώπινο σώμα.

Επίσης, ανάλογα με τη λογική της εφαρμογής τους, οι δείκτες μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις γενικές κατηγορίες: «λογικοί δείκτες», «εμπειρικοί δείκτες» και «άμεσοι δείκτες».

Οι δείκτες που περιλαμβάνονται στην πρώτη κατηγορία, βασίζονται στο ενεργειακό ισοζύγιο. Στην δεύτερη κατηγορία, ανήκουν οι δείκτες που βασίζονται στην αντικειμενική και υποκειμενική εκτίμηση της θερμικής καταπόνησης, όπως αυτή βιώνεται ή γίνεται αισθητή από τον άνθρωπο. Αυτές οι δύο πρώτες ομάδες αποτελούνται από δείκτες οι οποίοι είναι πολύπλοκοι καθώς ενσωματώνουν περιβαλλοντικές και φυσιολογικές μεταβλητές. Το γεγονός αυτό καθιστά τη χρήση αυτών των δεικτών δυσχερή. Αυτή η πολυπλοκότητα και η δυσκολία, αντισταθμίζεται με τη χρήση των «άμεσων δεικτών», οι οποίοι προκύπτουν από μετρήσεις των βασικών περιβαλλοντικών μεταβλητών και είναι περισσότερο προσιτοί και εφαρμόσιμοι. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν δυο δείκτες, που είναι εν χρήσει για περισσότερο από τέσσερις δεκαετίες, αυτοί είναι: ο δείκτης «θερμοκρασίας σφαίρας υγρού βολβού» (WBGT) και ο «δείκτης δυσφορίας» (DI) (Erstein and Moran, 2006).

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

- Στην πρώτη κατηγορία, η οποία αποτελείται από τους βιομετεωρολογικούς δείκτες (όπως είναι: Heat Index, PET, UTCI κ.α.), αξιοποιούνται τα μετεωρολογικά δεδομένα για την περιγραφή της επίδρασης των κλιματικών συνθηκών στον άνθρωπο. Δηλαδή, τα δεδομένα είναι η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία, η ηλιακή ακτινοβολία και η ταχύτητα ανέμου. Το βασικό πλεονέκτημα αυτής της κατηγορίας είναι η απλότητα που χαρακτηρίζει τους δείκτες. Επί πλέον οι δείκτες αυτοί λαμβάνουν υπόψη το ανθρώπινο θερμικό ισοζύγιο, ορίζουν έναν «τυπικό άνθρωπο» (συγκεκριμένο ύψος, βάρος, μεταβολισμό, ένδυση κλπ) και το εισάγουν στο μοντέλο μαζί με τα μετεωρολογικά δεδομένα.
- Από την άλλη, στους θερμοφυσιολογικούς δείκτες, η εκτίμηση της επίδρασης του κλίματος στον ανθρώπινο οργανισμό, γίνεται με τη συγκριτική θεώρηση του συνόλου των θερμικών παραγόντων. Με τη χρήση αυτών των δεικτών γίνεται μοντελοποίηση του ανθρώπινου ισοζυγίου θερμότητας. Στην κατηγορία αυτή ως δεδομένα εισόδου θεωρούνται και τα χαρακτηριστικά της ανθρώπινης φυσιολογίας (ηλικία, φύλο, ένταση εργασίας κ.τ.λ.). Στους δείκτες αυτής της κατηγορίας τα μετεωρολογικά δεδομένα κρατούνται σταθερά και μεταβάλλονται τα δεδομένα της φυσιολογίας του ανθρώπου.

Στην προσπάθεια να γίνει εκτίμηση της θερμικής αίσθησης των ανθρώπων στο εξωτερικό περιβάλλον, έχουν χρησιμοποιηθεί σε αρκετές περιπτώσεις βιομετεωρολογικοί - βιοκλιματικοί δείκτες οι οποίοι έχουν αναπτυχθεί για εσωτερικούς χώρους, όπως είναι οι PMV, ET και SET. Οι δείκτες αυτοί βασίζονται

σε εξισώσεις, που περιγράφουν το θερμικό ισοζύγιο του ανθρώπινου σώματος σε σταθερή κατάσταση.

Η υπόθεση αυτή έρχεται σε αντίθεση με τις πραγματικές συνθήκες που επικρατούν στους εξωτερικούς χώρους όπου σημειώνεται υψηλή χρονική και χωρική διαφοροποίηση των περιβαλλοντικών συνθηκών. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να προκύψουν αποκλίσεις στην εκτίμηση της θερμικής αίσθησης από τις αντίστοιχες, που προκύπτουν από τους δείκτες ή τα μοντέλα, πράγμα που οφείλεται στο γεγονός ότι οι συνθήκες του εξωτερικού περιβάλλοντος, η κύρια δραστηριότητα του ατόμου σε αυτές, ο χρόνος παραμονής του και η προηγούμενη θερμική του κατάσταση μπορεί να διαφοροποιήσουν τα όρια της θερμικής του αίσθησης και να καταστήσουν το άτομο περισσότερο ή λιγότερο ανεκτικό σε θερμικά δυσμενείς συνθήκες. Για το λόγο αυτό, έχει δημιουργηθεί έντονος προβληματισμός για το αν μπορούν αυτοί οι δείκτες να αποδώσουν με ακρίβεια τη θερμική αίσθηση του ανθρώπου και σε εξωτερικές συνθήκες.

Έτσι έχουν προταθεί καινούργια μοντέλα, όπως ο OUT SET (που αποτελεί τροποποίηση του SET) και ο PET που είναι σχεδιασμένοι για εφαρμογές σε εξωτερικό περιβάλλον και βασίζονται επίσης στο θερμικό ισοζύγιο του ανθρώπου.

Αν και έχει αποδειχθεί ότι οι δείκτες PMV, ET και SET έχουν σε ορισμένες περιπτώσεις περιορισμένη δυνατότητα εφαρμογών σε εξωτερικούς χώρους, λαμβάνουν υπόψη τις τέσσερις βασικές περιβαλλοντικές παραμέτρους που επηρεάζουν τη θερμική άνεση, ενώ οι PMV και SET περιλαμβάνουν επιπλέον τη μόνωση που προκύπτει από την ενδυμασία και το επίπεδο της ανθρώπινης δραστηριότητας (Spagnolo and de Dear 2003).

Για την εκτίμηση της θερμικής αίσθησης στους ελεύθερους κοινόχρηστους χώρους έχει ιδιαίτερη σημασία η σωστή επιλογή του δείκτη ώστε να επιτευχθεί η μεγαλύτερη προσέγγιση της πραγματικής θερμικής αίσθησης των επισκεπτών στους χώρους αυτούς. Από τη χωρική κατανομή της βιομετεωρολογικής αυτής παραμέτρου είναι δυνατόν να επισημανθούν θέσεις με ευνοϊκές ή δυσμενείς συνθήκες θερμικής αίσθησης, να συσχετισθούν με τη διαμόρφωση του χώρου και στη συνέχεια να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα για πιθανές παρεμβάσεις, βελτιώνοντας έτσι τις βιομετεωρολογικές του συνθήκες (Χρονοπούλου-Σερέλη και Χρονόπουλος, 2011).

## 4.2 Δείκτης UTCI

Στο προηγούμενο κεφάλαιο αναφέρθηκαν οι βιομετεωρολογικοί – βιοκλιματικοί δείκτες που ως τελικό στόχο έχουν την έκφραση της θερμικής άνεσης του ανθρώπου. Όμως οι δείκτες αυτοί πολλές φορές παρουσιάζουν ελλείψεις ή είναι κατάλληλοι μόνο για την αξιολόγηση συγκεκριμένων περιβαλλόντων με αποτέλεσμα κανένας από αυτούς να μην είναι αποδεκτός ως θεμελιώδης.

Η Διεθνής Ένωση Βιομετεωρολογίας (ISB) αναγνώρισε αυτές τις αδυναμίες στους θερμικούς δείκτες και το 1999 καθιέρωσε μια επιτροπή σχετικά με την ανάπτυξη ενός Παγκόσμιου Θερμικού Κλιματικού δείκτη του UTCI (Universal Thermal Climate Index) (Jendritzky et al. 2002). Ο στόχος αυτού του προγράμματος ήταν να δημιουργηθεί ένα διεθνές πρότυπο βασισμένο στο πιο εξελιγμένο θερμοφυσιολογικό πρότυπο.

Από το 2005, οι προσπάθειες αυτές ενισχύθηκαν από την Ευρωπαϊκή COST (Cooperation in Science and Technical Development) Action 730, η οποία συγκέντρωσε κορυφαίους επιστήμονες, όχι μόνον από την Ευρώπη αλλά και από άλλες χώρες (Αυστραλία, Καναδά, Ισραήλ και Νέα Ζηλανδία), στους τομείς της ανθρώπινης θερμοφυσιολογίας, της θερμοφυσιολογικής μοντελοποίησης, της μετεωρολογίας και της κλιματολογίας με σκοπό την συνεργασία τους για την ανάπτυξη του δείκτη UTCI. Έτσι το 2009 η COST Action 730 κατάφερε να δημιουργήσει τον δείκτη UTCI (Blazejczyk et al., 2013).

Ο όρος «Universal» (γενικός/ καθολικός) δίνει την έμφαση στο ότι αυτός ο δείκτης είναι κατάλληλος για όλες τις εκτιμήσεις των υπαίθριων θερμικών συνθηκών στις σημαντικές ανθρώπινες βιομετεωρολογικές εφαρμογές, όπως οι καθημερινές προβλέψεις και οι προειδοποιήσεις ακραίων καιρικών συνθηκών, η βιοκλιματική χαρτογράφηση, ο αστικός και περιφερειακός σχεδιασμός, η περιβαλλοντική επιδημιολογία και η έρευνα για τις επιδράσεις του κλίματος. Αυτό καλύπτει τους τομείς της μετεωρολογικής υπηρεσίας, του συστήματος δημόσιας υγείας, του προληπτικού σχεδιασμού και της έρευνας για τον αντίκτυπο του κλίματος στον τομέα της υγείας.

Ο δείκτης UTCI αναπτύχθηκε με σκοπό να καλύψει τους εξής στόχους (Blazejczyk et al., 2013) :

- Να είναι θερμο-φυσιολογικά σημαντικός σε όλο το εύρος της ανταλλαγής θερμότητας.
- Να είναι εφαρμόσιμος σε υπολογισμούς για ολόκληρο το σώμα, αλλά και για την τοπική ψύξη του δέρματος (π.χ. κρουπαγήματα).
- Να ισχύει για όλα τα κλίματα, τις εποχές και τις κλίμακες.
- Να είναι χρήσιμος σε βασικές εφαρμογές στην ανθρώπινη βιομετεωρολογία, όπως αναφέρθηκαν παραπάνω (π.χ στην Μετεωρολογική Υπηρεσία, Υπηρεσία Δημόσιας Υγείας κ.α.)
- Να αντιπροσωπεύει ένα δείκτη θερμοκρασιακής κλίμακας.

Ο δείκτης UTCI ορίζεται ως η ισοδύναμη θερμοκρασία περιβάλλοντος ( $^{\circ}\text{C}$ ) ενός περιβάλλοντος αναφοράς, που προκαλεί την ίδια φυσιολογική απόκριση ενός προσώπου αναφοράς με το πραγματικό περιβάλλον (Weihs et al., 2012).

Οι μετεωρολογικές και οι μη μετεωρολογικές (μεταβολικός ρυθμός και θερμική μόνωση ενδυμασίας) παράμετροι αναφοράς που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση του δείκτη ορίζονται ως εξής (Blazejczyk et al., 2010) :

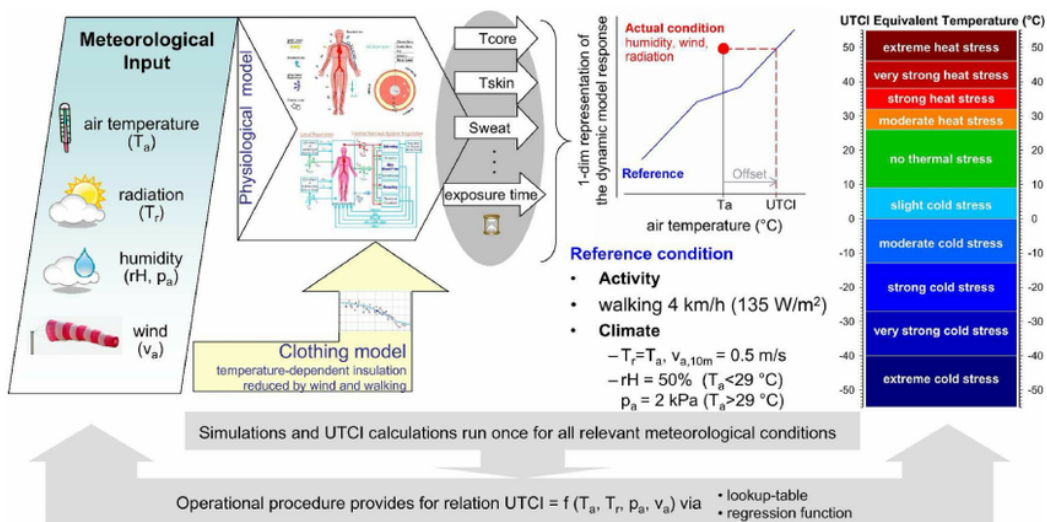
- ταχύτητα ανέμου 0,5m/s σε ύψος 10m (περίπου 0,3m/s σε 1,1m)
- μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας ( $T_{\text{mrt}}$ ) ίση με τη θερμοκρασία του αέρα
- πίεση των υδρατμών που αντιστοιχεί σε σχετική υγρασία ίση με 50%. Σε υψηλές θερμοκρασίες αέρα ( $\geq 29^{\circ}\text{C}$ ) η υγρασία αναφοράς λαμβάνεται σταθερή στα 20hPa.
- Η αντιπροσωπευτική δραστηριότητα είναι αυτή κατά την οποία ένα άτομο περπατά με ταχύτητα 4km/h (1,1m/s). Αυτή παρέχει μεταβολικό ρυθμό ίσο με 2,3met (135 W/m<sup>2</sup>).

Επιπλέον, η προσαρμογή της μόνωσης του ρουχισμού είναι μία ισχυρή συμπεριφοριστική απόκριση του ατόμου στις μεταβαλλόμενες κλιματικές συνθήκες. Η φιλοσοφία του UTCI ήταν να εξετάσει τις εποχιακές ενδυματολογικές συνήθειες των Ευρωπαίων με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία από έρευνες πεδίου, προκειμένου να επιτευχθεί μία ρεαλιστική απεικόνιση αυτής της αντίδρασης που επηρεάζει, σημαντικά την ανθρώπινη αντίληψη σε σχέση με τις εξωτερικές κλιματικές συνθήκες.

Ο δείκτης UTCI βασίζεται στο μοντέλο Fiala, στο οποίο εισάγονται οι παραπάνω παράγοντες. Το μοντέλο αυτό είναι ένα από τα πιο προηγμένα θερμοφυσιολογικά μοντέλα πολλαπλών κόμβων και έχει τη δυνατότητα πρόβλεψης τόσο των θερμικών επιδράσεων σε ολόκληρο το σώμα (υποθερμία και υπερθερμία, θερμή και ψυχρή δυσφορία) όσο και των τοπικών επιδράσεων (ψύξη προσώπου, χεριών, ποδιών και κρυοπαγήματα).

Στο μοντέλο αυτό, ο ανθρώπινος οργανισμός διαχωρίζεται σε δύο αλληλεπιδρώντα συστήματα: (1) το ενεργητικό σύστημα που περιλαμβάνει τις θερμορυθμιστικές αποκρίσεις του ρίγους, της έκκρισης ιδρώτα και της δερματικής αγγειοκίνησης, και (2) το παθητικό σύστημα που ασχολείται με την ανατομία του ανθρώπινου σώματος και τη μεταφορά θερμότητας μεταξύ αυτού και της επιφανείας του (δέρμα).

Στην πραγματικότητα ο δείκτης UTCI έχει σκοπό την ανάπτυξη μιας μονοδιάστατης ποσότητας, που θα μπορεί να αποδώσει επαρκώς την πραγματική ανθρώπινη φυσιολογική αντίδραση σε μια πολυδιάστατη θερμική κατάσταση. Όπως φαίνεται στην εικόνα 4.1., η τιμή του δείκτη θα πρέπει να υπολογίζεται σε συνάρτηση με τις πολλές μεταβλητές του συγκεκριμένου μοντέλου Fiala σε συνδυασμό με ένα μοντέλο που λαμβάνει υπόψη το είδος του ρουχισμού.



Εικόνα 4.1. Σχηματική αναπαράσταση του ανθρώπινου θερμοφυσιολογικού μοντέλου UTCI-Fiala (Fiala et al., 2012), σε συνδυασμό με ένα μοντέλο για ένδυση (Havenith et al., 2012).

Ο χαρακτηρισμός της ανταπόκρισης του μοντέλου θα πρέπει να είναι ενδεικτικός για τις φυσιολογικές και τις θερμορυθμιστικές διεργασίες όπως αποτυπώνονται στον πίνακα 4.2., οι οποίες είναι σημαντικές για την ανθρώπινη αντίδραση σε ουδέτερες, μέτριες και ακραίες συνθήκες (Blazejczyk et al., 2013, Bröde et al. 2012, Kampmann et al., 2008).

**Πίνακας 4.2. Μεταβλητές που προκύπτουν από το θερμοφυσιολογικό μοντέλο μετά από χρόνο έκθεσης 30 και 120 λεπτά (Blazejczyk et al., 2013).**

Variable	Abbreviation	Unit
Rectal temperature	Tre	°C
Mean skin temperature	Tskm	°C
Face skin temperature	Tskfc	°C
Sweat production	Mskdot	g/min
Heat generated by shivering	Shiv	W
Skin wettedness	wettA	%of body area
Skin blood flow	VblSk	% of basal value

Η κλίμακα αξιολόγησης του UTCI περιλαμβάνει δέκα κατηγορίες που χαρακτηρίζονται υπό όρους θερμικού στρες. Δηλαδή ο διαχωρισμός των κλάσεων βασίζεται στην ένταση των αντικειμενικών φυσιολογικών αντιδράσεων στην περιβαλλοντική θερμική καταπόνηση σε μεγάλο εύρος καιρικών και κλιματικών συνθηκών. Η κατηγοριοποίηση των τιμών του δείκτη UTCI σε σχέση με τη θερμική καταπόνηση παρουσιάζεται στον πίνακα 4.3. που ακολουθεί.

**Πίνακας 4.3. Κατηγοριοποίηση των τιμών του δείκτη UTCI σε σχέση με τη θερμική καταπόνηση (Nastos and Matzarakis, 2012).**

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

## 5. Πειραματικές μετρήσεις μετεωρολογικών παραμέτρων για τον υπολογισμό της θερμικής άνεσης στην Αθήνα

Οι πειραματικές μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε συγκεκριμένες ημερομηνίες κατά τη χρονική περίοδο Απρίλιος 2012 - Δεκέμβριος 2013, από ομάδα προπτυχιακών σπουδαστών του τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών υπό την καθοδήγηση του Καθηγητή κ. Παναγιώτη Νάστου. Η θέση των πειραματικών μετρήσεων ήταν πάνω στην Πλατεία Συντάγματος που βρίσκεται στο κέντρο της Αθήνας, περιβάλλεται από δημόσια κτήρια καθώς και από κτήρια που στεγάζουν κάθε είδους επιχειρήσεις και αποτελεί συγκοινωνιακό κόμβο, σημείο διέλευσης πλήθους εργαζομένων και επισκεπτών αλλά και χώρο διοργάνωσης διαφόρων πολιτιστικών, εμπορικών, πολιτικών και αθλητικών εκδηλώσεων.



**Εικόνα 5.1.** Εντοπισμός της θέσης των πειραματικών μετρήσεων στην Πλατεία Συντάγματος πάνω στην ορθοεικόνα (VLSO) της ΕΚΧΑ Α.Ε..

Για τις μετρήσεις των ατμοσφαιρικών παραγόντων που επηρεάζουν τη θερμική άνεση μεταφέρονταν από το Εργαστήριο Κλιματολογίας και Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος στην Πλατεία Συντάγματος τα ειδικά όργανα, Kestrel 4000 NV Pocket Weather Tracker που είναι ένας υψηλής τεχνολογίας μετρητής καιρού ο οποίος χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις της θερμοκρασίας, της σχετικής υγρασίας, της ταχύτητας και της διεύθυνσης του αέρα και το πυρανόμετρο Skye που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας.



Εικόνα 5.2. Ο φορητός μετεωρολογικός σταθμός Kestrel 4000 NV Pocket Weather Tracker.



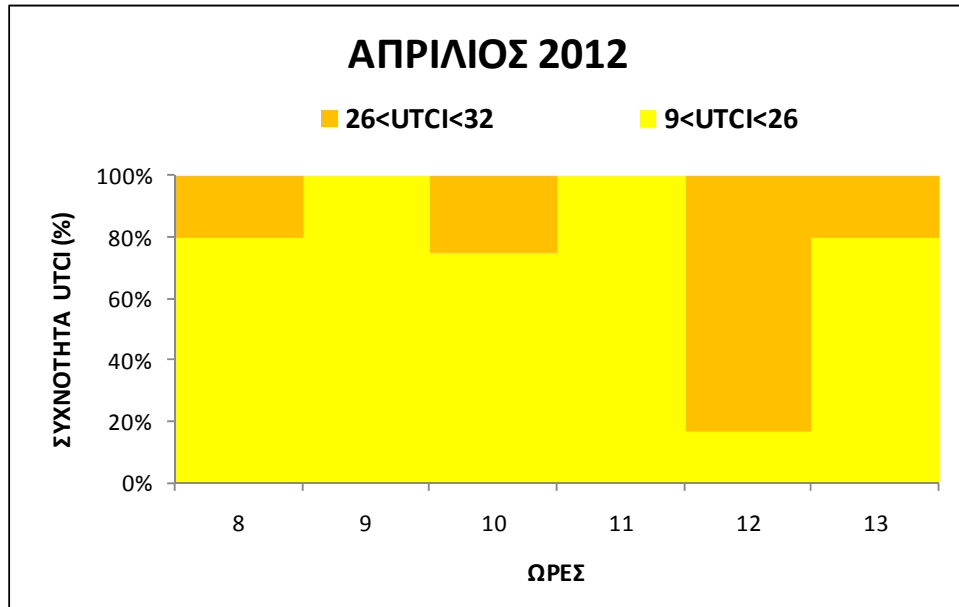
Εικόνα 5.3. Το πυρανόμετρο Skye.

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η εκτίμηση του θερμικού δείκτη UTCI (Universal Thermal Climate Index) με χρήση του βιομετεωρολογικού μοντέλου Ray-Man και η αξιολόγηση των βιομετεωρολογικών συνθηκών κατά το χρονικό διάστημα που πραγματοποιήθηκαν οι πειραματικές μετρήσεις.

Οι μετρήσεις των τιμών των ατμοσφαιρικών παραγόντων ξεκινούσε συνήθως στις 8 το πρωί και διαρκούσε μέχρι τις 6 ή και τις 7 το απόγευμα ανάλογα με την εποχή του έτους.

Ιδανικό θα ήταν να είχε ληφθεί τουλάχιστον μια μέτρηση σε κάθε μήνα του κάθε έτους, ώστε να γίνει ακριβέστερη σύγκριση των αποτελεσμάτων. Αυτό όμως δεν ήταν πάντα εφικτό λόγω των καιρικών συνθηκών και των περιορισμών του Πανεπιστημίου.

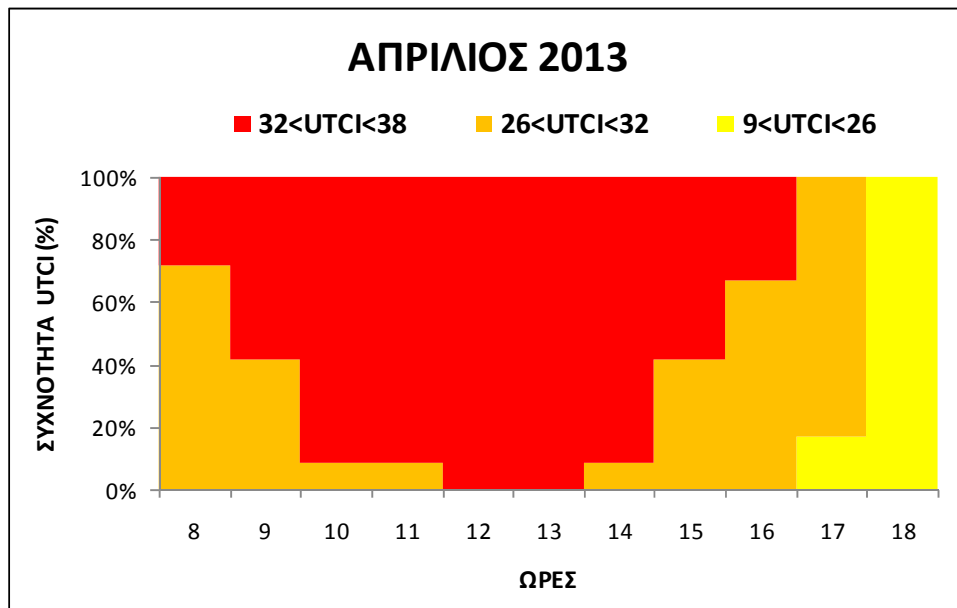
Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα βιομετεωρολογικά διαγράμματα που συντάχθηκαν βάσει των μετρήσεων για κάθε μήνα του έτους. Όπου οι θερμο-ανθρωποβιοκλιματικές συνθήκες παρουσιάζονται σαν ποσοστά των κλάσεων του δείκτη UTCI όπως αυτές έχουν διαχωριστεί με βάση τον πίνακα 4.3 (προηγούμενο κεφάλαιο).



**Εικόνα 5.4. Βιομετεωρολογικό διάγραμμα: Συχνότητα (%) εμφάνισης των κλάσεων του θερμικού δείκτη UTCI για κάθε ώρα της 9<sup>ης</sup> Απριλίου 2012.**

Λαμβάνοντας υπόψη το διάγραμμα που αναφέρεται στην 9<sup>η</sup> Απριλίου 2012 καθώς και την κατηγοριοποίηση της θερμικής επιβάρυνσης του θερμικού δείκτη UTCI συμπεραίνονται τα ακόλουθα:

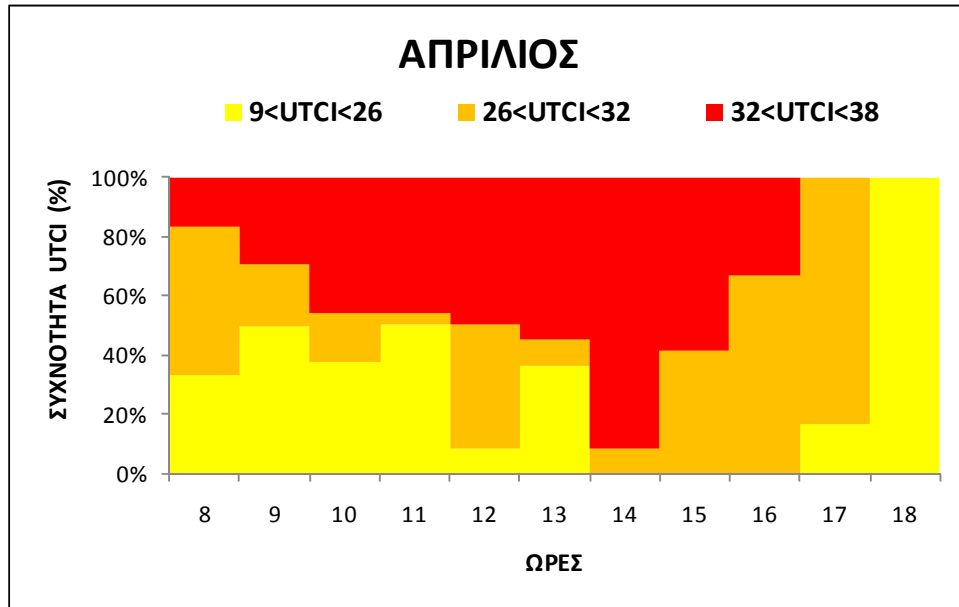
- Στις 8 το πρωί, το 80% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση, ενώ το 20% σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση.
- Στις 9 και στις 11 το πρωί, η κλάση ‘θερμικά ουδέτερο’ φτάνει το ποσοστό 100%.
- Στις 10 το πρωί, το 75% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση και το 25% αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση.
- Στις 12 το μεσημέρι, το 16,7% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση ενώ το υπόλοιπο 83,3% αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση.
- Στη 1 το μεσημέρι, το 80% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση και το 20% αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική καταπόνηση.



**Εικόνα 5.5. Βιομετεωρολογικό διάγραμμα: Συχνότητα (%) εμφάνισης των κλάσεων του θερμικού δείκτη UTCI για κάθε ώρα της 29<sup>ης</sup> Απριλίου 2013.**

Στο διάγραμμα για τον ίδιο μήνα της επόμενης χρονιάς και συγκεκριμένα για τις 29 Απριλίου του 2013, παρατηρούνται τα εξής:

- Στις 8 το πρωί, το 71,4% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση και το υπόλοιπο 28,6% αντιστοιχεί σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Την επόμενη ώρα της ίδιας ημέρας, το 41,7% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση και το 58,3% σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Στις 10 και στις 11 το πρωί, το 8,3% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική καταπόνηση και το 91,7% σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Στις 12 και στη 1 το μεσημέρι, η κλάση της ισχυρής θερμικής καταπόνησης φτάνει το 100%.
- Στις 2 το μεσημέρι, το 8,3% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση, ενώ το υπόλοιπο 91,7% αντιστοιχεί σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Στις 3 το μεσημέρι, το 41,7% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση, ενώ το υπόλοιπο 58,3%, αντιστοιχεί σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Στις 4 το απόγευμα, το 66,7% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση και το 33,3% αντιστοιχεί σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Στις 5 το απόγευμα, το 16,7% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση και το 83,3% σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση.
- Την τελευταία ώρα των μετρήσεων, δηλαδή στις 6 το απόγευμα φαίνεται ότι το 100% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση.

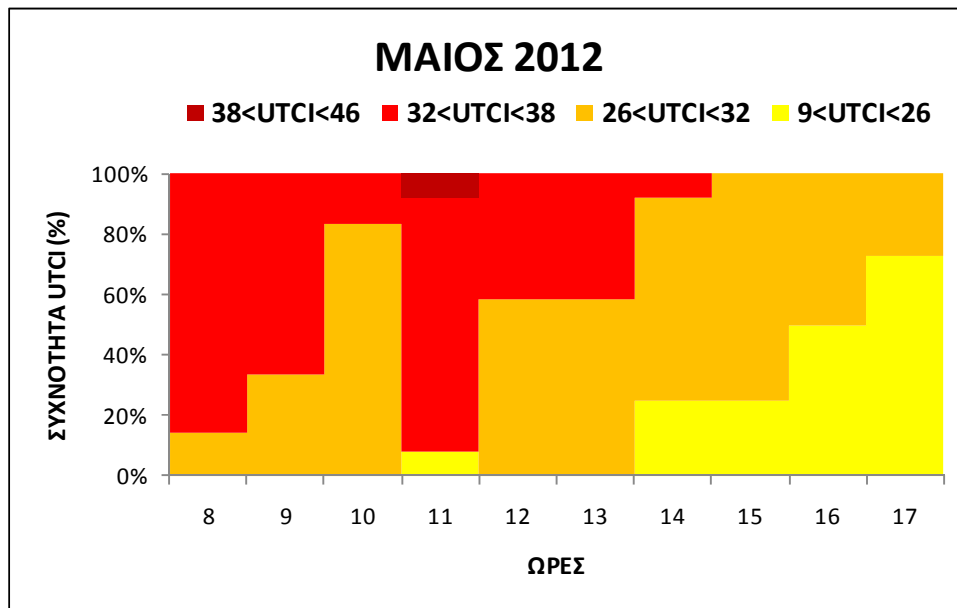


**Εικόνα 5.6. Μέσο βιομετεωρολογικό διάγραμμα: Συχνότητα (%) εμφάνισης των κλάσεων του θερμοκινητικού δείκτη UTCI για κάθε ώρα των δύο ημερών (2012 και 2013) του μήνα Απριλίου.**

Στο παραπάνω διάγραμμα (μέσο βιομετεωρολογικό διάγραμμα) αποτυπώνονται τα αποτελέσματα για τον μήνα Απρίλιο και για τις δυο χρονιές της μελέτης (2012-2013). Στο διάγραμμα λοιπόν παρατηρούνται τα εξής:

- Στις 8 το πρωί, το 33,3% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση, το 50% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση, και το υπόλοιπο 16,7% αντιστοιχεί σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Στις 9 το πρωί, το 50% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση, το 20,8% σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση και το υπόλοιπο 29,2% αντιστοιχεί σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Στις 10 το πρωί, το 37,5% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση, το 16,7% αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση και το 45,8% σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Στις 11 το πρωί, το 50% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση, το 4,2% σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση και το 45,8% αντιστοιχεί σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Στις 12 το μεσημέρι το 8,3% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση, το 41,7% αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση, ενώ το υπόλοιπο 50% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Στη 1 μετά το μεσημέρι, το 36,4% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση, το 9,1% σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση και το 54,5% σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Στις 2 μετά το μεσημέρι, το 8,3% των τιμών αντιπροσωπεύει την κλάση 'ελαφρά θερμική επιβάρυνση' και το υπόλοιπο 91,7% την κλάση 'ισχυρή θερμική επιβάρυνση'.

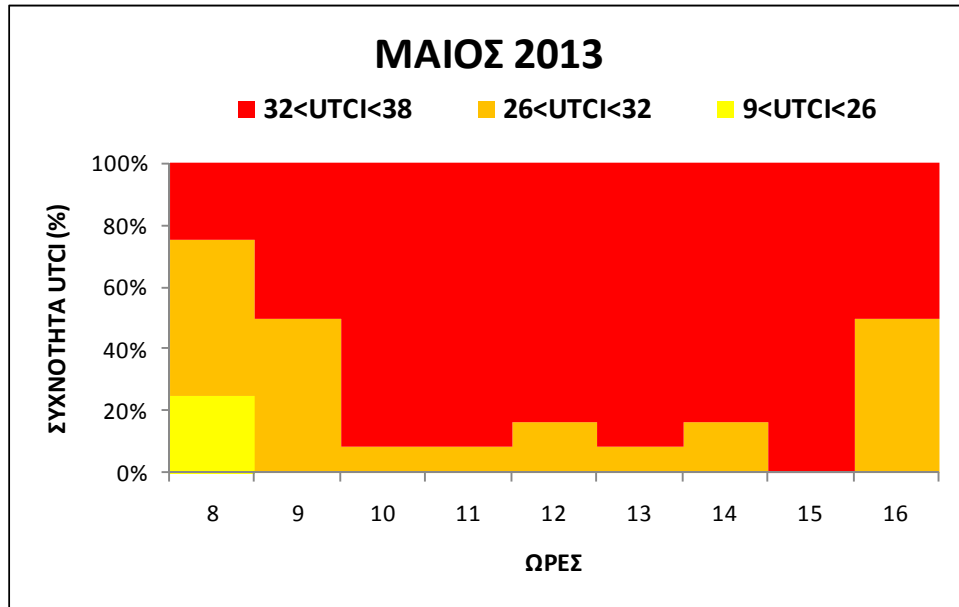
- Στις 3 μετά το μεσημέρι, το 41,7% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση, ενώ το υπόλοιπο 58,3% αντιστοιχεί σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Στις 4 μετά το μεσημέρι, το 66,7% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση και το 33,3% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Στις 5 μετά το μεσημέρι, το 16,7% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση, ενώ το 83,3% αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση.
- Τέλος, στις 6 μετά το μεσημέρι, το σύνολο των τιμών (100%) αντιστοιχεί σε θερμική άνεση.



**Εικόνα 5.7. Βιομετεωρολογικό διάγραμμα: Συχνότητα (%) εμφάνισης των κλάσεων του θερμικού δείκτη UTCI για κάθε ώρα της 23<sup>ης</sup> Μαΐου 2012.**

Στο διάγραμμα της παραπάνω εικόνας όπου αποτυπώνονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της 23<sup>ης</sup> Μαΐου 2012 παρατηρείται ότι:

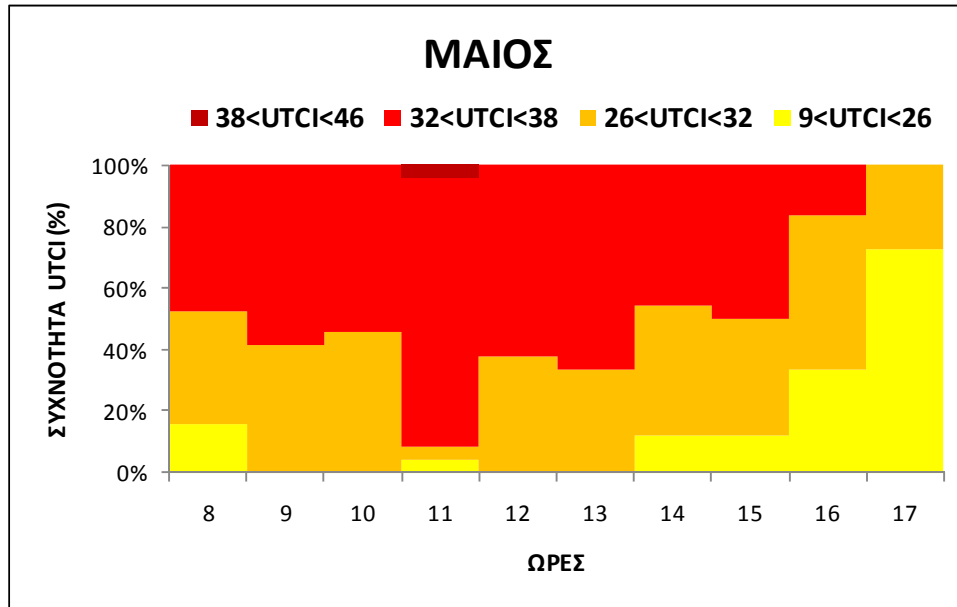
- Στις 8 το πρωί, 14,3% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση και το υπόλοιπο 85,7% σε ισχυρή θερμική καταπόνηση.
- Στις 9 το πρωί, το 33,3% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση και το 66,7% αντιστοιχεί σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Στις 10 το πρωί, το 83,3% των τιμών αντιπροσωπεύει την κλάση ‘ελαφρά θερμική επιβάρυνση’, ενώ το υπόλοιπο 16,7% αντιπροσωπεύει την κλάση της ισχυρής θερμικής επιβάρυνσης.
- Στις 11 το πρωί, το 8,3% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση, το 83,3% αντιστοιχεί σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση και το υπόλοιπο 8,4% των τιμών αντιστοιχεί σε πολύ ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Στις 12 και στη 1 το μεσημέρι, το 58,3% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση και το υπόλοιπο 41,7% σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Στις 2 το μεσημέρι, το 25% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση, το 66,7% αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση και το υπόλοιπο 8,3% αντιστοιχεί σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Στις 3 το μεσημέρι, το 25% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση, ενώ το υπόλοιπο 75% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση.
- Στις 4 το απόγευμα, το 50% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση και το υπόλοιπο 50% αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση.
- Στις 5 το απόγευμα, το 72,7% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση και το 27,3% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση.



**Εικόνα 5.8. Βιομετεωρολογικό διάγραμμα: Συχνότητα (%) εμφάνισης των κλάσεων του θερμικού δείκτη UTCI για κάθε ώρα της 31<sup>ης</sup> Μαΐου 2013.**

Στο διάγραμμα της εικόνας 5.8 όπου παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της 31<sup>ης</sup> Μαΐου 2013 παρατηρείται ότι:

- Στις 8 το πρωί, το 25% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση, το 50% σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση και το υπόλοιπο 25% αντιστοιχεί σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Στις 9 το πρωί, το 50% των τιμών αντιπροσωπεύει την κλάση της ελαφρά θερμικής επιβάρυνσης, ενώ το υπόλοιπο 50% αντιπροσωπεύει την κλάση της ισχυρής θερμικής επιβάρυνσης.
- Στις 10 και 11 το πρωί, το 8,3% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση και το 91,7% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Στις 12 το μεσημέρι, το 16,7% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση, ενώ το υπόλοιπο 83,3% σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Στη 1 το μεσημέρι, φαίνεται ότι οι συνθήκες είναι ίδιες με αυτές που επικρατούν στις 10 και 11 το πρωί. Δηλαδή, το 8,3% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση και το 91,7% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Στις 2 το μεσημέρι, το 16,7% των τιμών αντιπροσωπεύει την κλάση της ελαφρά θερμικής επιβάρυνσης και το υπόλοιπο 83,3% αντιπροσωπεύει την κλάση της ισχυρής θερμικής καταπόνησης.
- Στις 3 το μεσημέρι, το σύνολο των τιμών (100%) αντιστοιχεί σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Τέλος, στις 4 το απόγευμα, το 50% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση και το υπόλοιπο 50% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση.

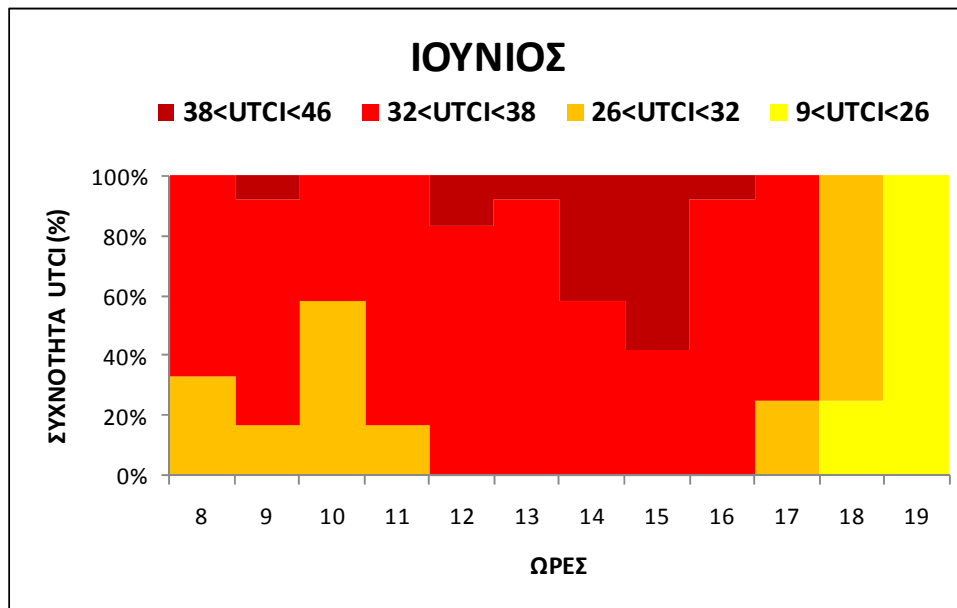


**Εικόνα 5.9. Μέσο βιομετεωρολογικό διάγραμμα: Συχνότητα (%) εμφάνισης των κλάσεων του θερμοκινητικού δείκτη UTCI για κάθε ώρα των δύο ημερών (2012 και 2013) του μήνα Μαΐου.**

Σύμφωνα με το παραπάνω μέσο βιομετεωρολογικό διάγραμμα του Μαΐου παρατηρείται πως κυριαρχούν οι τιμές της ισχυρής θερμικής επιβάρυνσης και στη συνέχεια της ελαφρά θερμικής επιβάρυνσης. Επίσης, υπάρχουν τιμές ουδέτερης θερμικής επιβάρυνσης και μόλις ένα μικρό ποσοστό πολύ ισχυρής θερμικής επιβάρυνσης. Πιο αναλυτικά, φαίνεται ότι:

- Στις 8 το πρωί, το 15,8% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση, το 36,8% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση και το υπόλοιπο 47,4% σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Στις 9 το πρωί, το 41,7% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση, ενώ το υπόλοιπο 58,3% αντιστοιχεί σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Στις 10 το πρωί, το 45,8% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση και το 54,2% σε ισχυρή θερμική καταπόνηση.
- Στις 11 το πρωί, το 4,2% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση, άλλο ένα ποσοστό 4,2% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση, το 87,5% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση και τέλος, το υπόλοιπο 4,1% αντιστοιχεί σε πολύ ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Στις 12 το μεσημέρι, το 37,5% των τιμών αντιπροσωπεύει την κλάση της ελαφρά θερμικής επιβάρυνσης και το υπόλοιπο 62,5% την κλάση της ισχυρής θερμικής επιβάρυνσης.
- Στη 1 μετά μεσημβρία, το 33,3% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση και το 66,7% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση,
- Στις 2 μετά μεσημβρία, το 12,5% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση, το 41,7% αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση και το υπόλοιπο 45,8% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση.

- Στις 3 μετά μεσημβρία, το 12,5% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση, το 37,5% σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση και το υπόλοιπο 50% αντιστοιχεί σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Στις 4 μετά μεσημβρία το 33,3% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση, το 50% αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση και το υπόλοιπο 16,7% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Στις 5 μετά μεσημβρία, το 72,7% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση και το 27,3% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση.

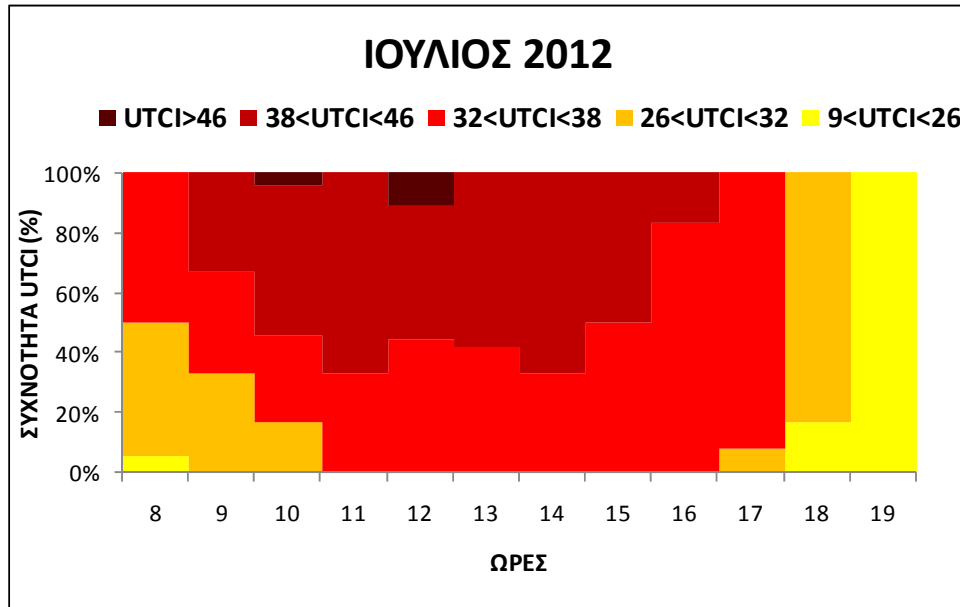


**Εικόνα 5.10. Βιομετεωρολογικό διάγραμμα: Συχνότητα (%) εμφάνισης των κλάσεων του θερμοκικού δείκτη UTCI για κάθε ώρα της 29<sup>ης</sup> Ιουνίου 2013.**

Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα διαπιστώνεται πως το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα της 29<sup>ης</sup> Ιουνίου 2013, το μεγαλύτερο ποσοστό των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση. Σημαντικά είναι επίσης τα ποσοστά τόσο της ελαφρά όσο και της πολύ ισχυρής θερμικής επιβάρυνσης. Η κλάση ‘Θερμικά ουδέτερο’ παρατηρείται μόνο μεταξύ 6 και 7 το απόγευμα. Πιο αναλυτικά:

- Στις 8 το πρωί, το 33,3% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση και το 66,7% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Στις 9 το πρωί, το 16,7% των τιμών αντιπροσωπεύει την κλάση ‘ελαφρά θερμική επιβάρυνση’, το 75% την κλάση ‘ισχυρή θερμική επιβάρυνση’ και το 8,3% αντιπροσωπεύει την κλάση ‘πολύ ισχυρή θερμική επιβάρυνση’.
- Στις 10 το πρωί, το 58,3% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση και το υπόλοιπο 41,7% αντιστοιχεί σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Στις 11 το πρωί, το 16,7% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση και το 83,3% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Στις 12 το μεσημέρι, το 83,3% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση και το υπόλοιπο 16,7% σε πολύ ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Στη 1 το μεσημέρι, το 91,7% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση, ενώ το 8,3% των τιμών αντιστοιχεί σε πολύ ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Στις 2 το μεσημέρι, το 58,3% των τιμών αντιπροσωπεύει την κλάση της ισχυρής θερμικής επιβάρυνσης και το υπόλοιπο 41,7% αντιπροσωπεύει την κλάση της πολύ ισχυρής θερμικής επιβάρυνσης.
- Στις 3 το μεσημέρι, το 41,7 των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση και το 58,3% των τιμών αντιστοιχεί σε πολύ ισχυρή θερμική καταπόνηση.

- Στις 4 το απόγευμα, το 91,7% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση και το υπόλοιπο 8,3% σε πολύ ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Στις 5 το απόγευμα το 25% των τιμών αντιπροσωπεύει την κλάση της ελαφρά θερμικής επιβάρυνσης και το υπόλοιπο 75% την κλάση της ισχυρής θερμικής επιβάρυνσης.
- Στις 6 το απόγευμα το 25% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση και το υπόλοιπο 75% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση.
- Στις 7 το απόγευμα, που ήταν και η τελευταία ώρα των μετρήσεων για την συγκεκριμένη ημέρα, το σύνολο των τιμών (100%) αντιστοιχεί σε θερμική άνεση.

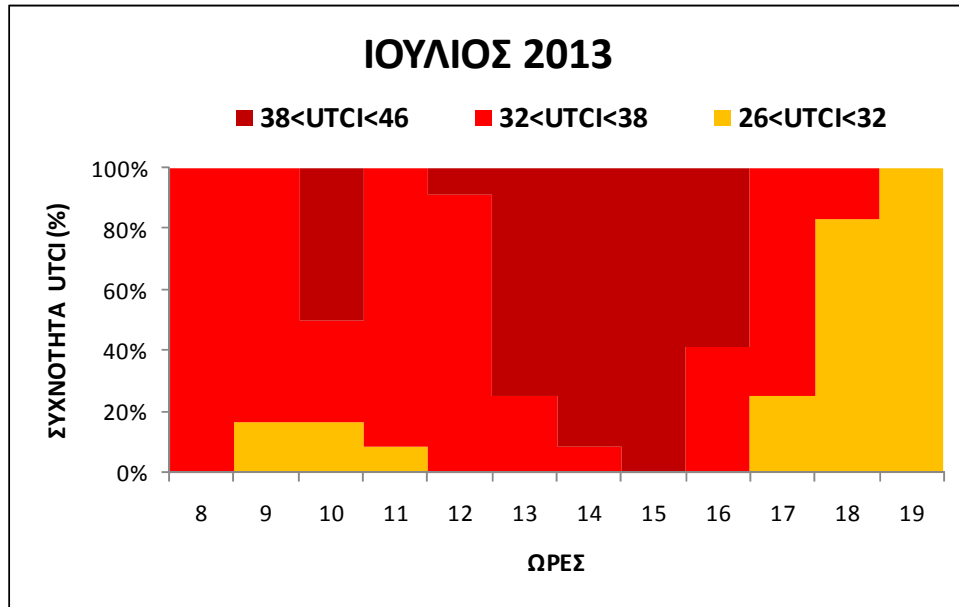


**Εικόνα 5.11. Βιομετεωρολογικό διάγραμμα: Συχνότητα (%) εμφάνισης των κλάσεων του θερμοκινητικού δείκτη UTCI για κάθε ώρα της 3<sup>ης</sup> Ιουλίου 2012.**

Στο διάγραμμα της εικόνας 5.11. το οποίο αναφέρεται στην 3<sup>η</sup> Ιουλίου 2012, παρατηρείται ότι:

- Στις 8 το πρωί, 5,5% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση, το 44,4% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση και το υπόλοιπο 50% σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Στις 9 το πρωί, το 33,4% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση, το 33,3% σε ισχυρή επιβάρυνση και το υπόλοιπο 33,3% των τιμών αντιστοιχεί σε πολύ ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Στις 10 το πρωί, το 16,6% αντιπροσωπεύει την κλάση της ελαφρά θερμικής επιβάρυνσης, το 29,2% την κλάση της ισχυρής θερμικής επιβάρυνσης, το 50% την κλάση της πολύ ισχυρής θερμικής επιβάρυνσης και το υπόλοιπο 4,2% την κλάση της ακραίας θερμικής επιβάρυνσης.
- Στις 11 το πρωί, το 33,3% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση και το 66,7% των τιμών αντιστοιχεί σε πολύ ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Στις 12 το μεσημέρι, το 44,4% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση, ενώ το 44,5% αντιστοιχεί σε πολύ ισχυρή θερμική επιβάρυνση και το υπόλοιπο 11,1% των τιμών αντιστοιχεί σε ακραία θερμική επιβάρυνση.
- Στη 1 μετά το μεσημέρι, το 41,7% αντιπροσωπεύει την κλάση ‘ισχυρή θερμική επιβάρυνση’ και το 58,3% αντιπροσωπεύει την κλάση ‘πολύ ισχυρή θερμική επιβάρυνση’.
- Στις 2 μετά το μεσημέρι, το 33,3% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση και το 66,7% σε πολύ ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Στις 3 μετά το μεσημέρι, το 50% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση, ενώ το υπόλοιπο 50% των τιμών αντιστοιχεί σε πολύ ισχυρή θερμική καταπόνηση.

- Στις 4 μετά το μεσημέρι, το 83,3% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση και το 16,7% σε πολύ ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Στις 5 μετά το μεσημέρι, το 8,3% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση και το 91,7% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Στις 6 μετά το μεσημέρι, το 16,7% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση και το 83,3% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση.
- Τέλος, στις 7 μετά το μεσημέρι, το σύνολο των τιμών (100%) αντιπροσωπεύει την κλάση της θερμικής άνεσης.

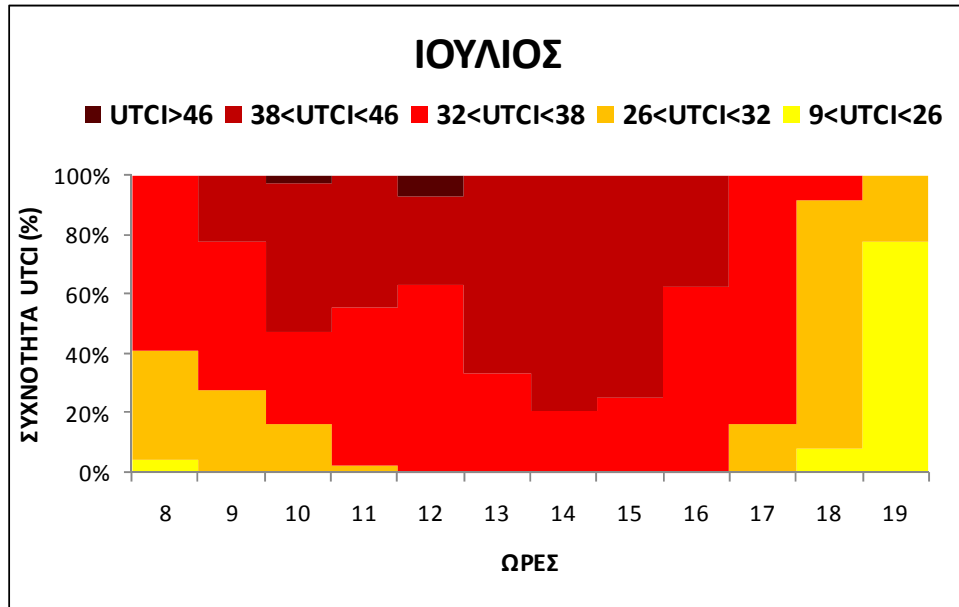


**Εικόνα 5.12. Βιομετεωρολογικό διάγραμμα: Συχνότητα (%) εμφάνισης των κλάσεων του θερμοκτικού δείκτη UTCI για κάθε ώρα της 10<sup>ης</sup> Ιουλίου 2013.**

Το διάγραμμα της εικόνας 5.12. αναφέρεται στην 10<sup>η</sup> Ιουλίου 2013. Στο διάγραμμα αυτό παρατηρείται ότι:

- Στις 8 το πρωί, το 100% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Στις 9 το πρωί, το 16,7% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση και το υπόλοιπο 83,3% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Στις 10 το πρωί, το 16,7% αντιπροσωπεύει την κλάση της ελαφρά θερμικής επιβάρυνσης, ενώ το 33,3% την κλάση της ισχυρής θερμικής επιβάρυνσης και το υπόλοιπο 50% αντιπροσωπεύει την κλάση της πολύ ισχυρής θερμικής επιβάρυνσης.
- Στις 11 το πρωί, το 8,3% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση και το 91,7% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Στις 12 το μεσημέρι, το 91,7% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση, ενώ το 8,3% σε πολύ ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Στη 1 μετά μεσημβρία το 25% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση και το 75% σε πολύ ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Στις 2 μετά μεσημβρία το 8,3% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση και το 91,7% των τιμών αντιστοιχεί σε πολύ ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Στις 3 μετά μεσημβρία, το 100% των τιμών αντιστοιχεί σε πολύ ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Στις 4 μετά μεσημβρία, το 41,7% των τιμών αντιπροσωπεύει την κλάση της ισχυρής θερμικής επιβάρυνσης και το 58,3% των τιμών αντιπροσωπεύει την κλάση της πολύ ισχυρής θερμικής επιβάρυνσης.
- Στις 5 μετά μεσημβρία, το 25% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση και το υπόλοιπο 75% αντιστοιχεί σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση.

- Στις 6 μετά μεσημβρία, το 83,3% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση και το υπόλοιπο 16,7% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Τέλος, στις 7 μετά μεσημβρία, το σύνολο των τιμών (100%) αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση.

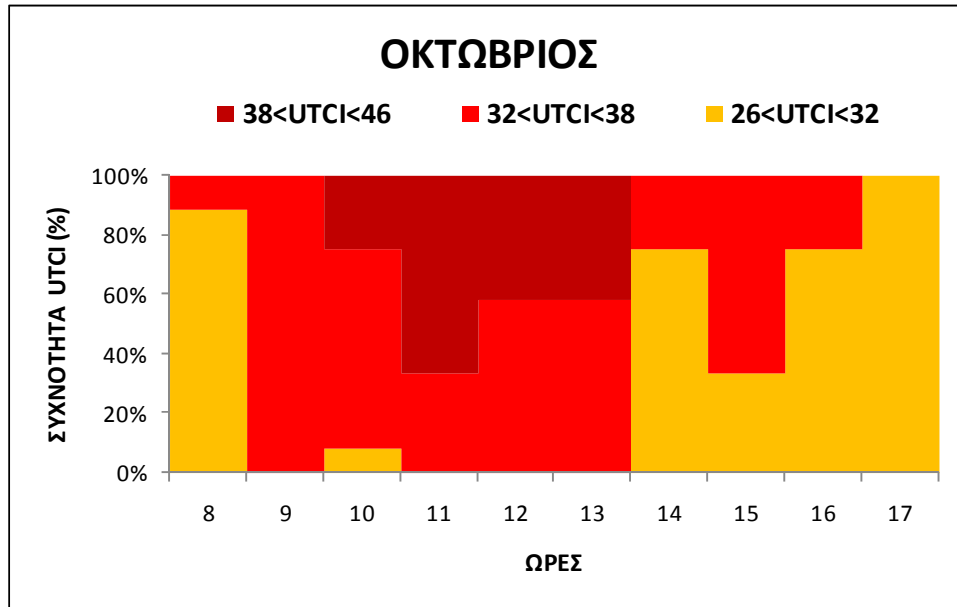


**Εικόνα 5.13. Μέσο βιομετεωρολογικό διάγραμμα: Συχνότητα (%) εμφάνισης των κλάσεων του θερμικού δείκτη UTCI για κάθε ώρα των δύο ημερών (2012 και 2013) του μήνα Ιουλίου.**

Από το μέσο βιομετεωρολογικό διάγραμμα συχνότητας του θερμικού δείκτη UTCI για τον μήνα Ιούλιο, παρατηρείται πως τα μεγαλύτερα ποσοστά καταγράφηκαν στην κλάση της ισχυρής θερμικής επιβάρυνσης από την 8<sup>η</sup> πρωινή ώρα έως και την 6<sup>η</sup> απογευματινή. Επίσης, εμφανίζεται ένα μικρό ποσοστό ακραίας θερμικής επιβάρυνσης κατά την 10<sup>η</sup> πρωινή ώρα καθώς και στις 12 το μεσημέρι. Πιο αναλυτικά:

- Στις 8 το πρωί, το 4,5% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση, το 36,4% σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση και το υπόλοιπο 59,1% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή επιβάρυνση.
- Στις 9 το πρωί, το 27,8% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση, το 50% σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση και το 22,2% σε πολύ ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Στις 10 το πρωί, το 16,7% των τιμών αντιπροσωπεύει την κλάση της ελαφρά θερμικής επιβάρυνσης, το 30,5% την κλάση της ισχυρής θερμικής επιβάρυνσης, το 50% την κλάση της πολύ ισχυρής θερμικής επιβάρυνσης και το υπόλοιπο 2,8% αντιπροσωπεύει την κλάση της ακραίας θερμικής επιβάρυνσης.
- Στις 11 το πρωί το 2,8% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση, το 52,8% σε ισχυρή και το 44,4% σε πολύ ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Στις 12 το μεσημέρι, το 63,3% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση, το 30% αντιστοιχεί σε πολύ ισχυρή θερμική επιβάρυνση και το υπόλοιπο 6,7% των τιμών αντιστοιχεί σε ακραία θερμική επιβάρυνση.
- Στη 1 το μεσημέρι, το 33,3% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση και το υπόλοιπο 66,7% σε πολύ ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Στις 2 το μεσημέρι, το 20,8% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση και το υπόλοιπο 79,2% των τιμών αντιστοιχεί σε πολύ ισχυρή θερμική επιβάρυνση.

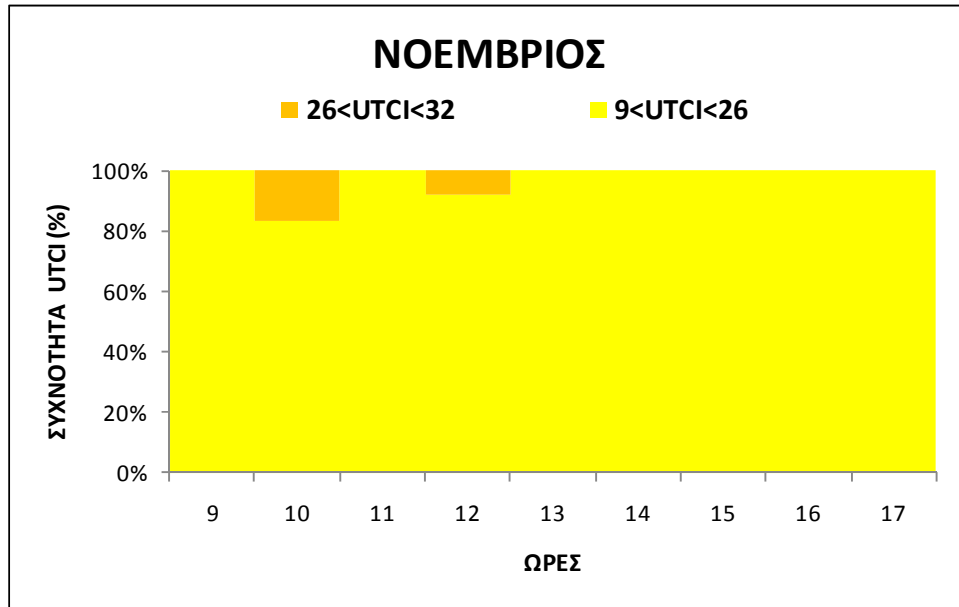
- Στις 3 το μεσημέρι, το 25% των τιμών αντιπροσωπεύει την κλάση της ισχυρής θερμικής επιβάρυνσης, ενώ το 75% αντιπροσωπεύει την κλάση της πολύ ισχυρής θερμικής επιβάρυνσης.
- Στις 4 το μεσημέρι, το 62,5% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση και το 37,5% σε πολύ ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Στις 5 το απόγευμα, το 16,7% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση και το 83,3% σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Στις 6 το απόγευμα, το 8,3% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση, το 83,4% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση και το υπόλοιπο 8,3% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Τέλος, στις 7 το απόγευμα, το 77,8% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση και το 22,2% αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση.



**Εικόνα 5.14. Βιομετεωρολογικό διάγραμμα: Συχνότητα (%) εμφάνισης των κλάσεων του θερμοκτικού δείκτη UTCI για κάθε ώρα της 17<sup>ης</sup> Οκτωβρίου 2012.**

Από το βιομετεωρολογικό διάγραμμα της 17<sup>ης</sup> Οκτωβρίου 2012 παρατηρείται ότι επικρατεί κατά κύριο λόγο ελαφρά και ισχυρή θερμική επιβάρυνση. Παρ' όλα αυτά, από τις 10 το πρωί μέχρι και τη 1 μετά το μεσημέρι επικρατούν τιμές πολύ ισχυρής θερμικής επιβάρυνσης. Πιο συγκεκριμένα:

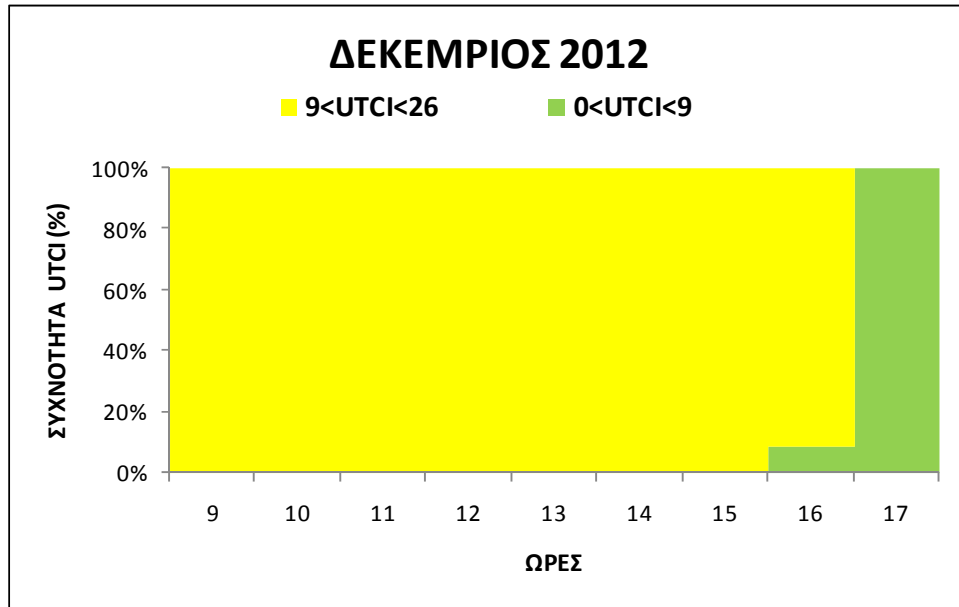
- Στις 8 το πρωί, το 88,9% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση και το 11,1% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Στις 9 το πρωί, το 100% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Στις 10 το πρωί, το 8,3% των τιμών αντιπροσωπεύει την κλάση της ελαφρά θερμικής επιβάρυνσης, το 66,7% την κλάση της ισχυρής θερμικής επιβάρυνσης και το υπόλοιπο 25% αντιπροσωπεύει την κλάση της πολύ ισχυρής θερμικής επιβάρυνσης.
- Στις 11 το πρωί, το 33,3% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση, ενώ το 66,7% των τιμών αντιστοιχεί σε πολύ ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Στις 12 αλλά και στη 1 το μεσημέρι, το 58,3% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση και το 41,7% σε πολύ ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Στις 2 το μεσημέρι, το 75% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση και το 25% σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Στις 3 το μεσημέρι, το 33,3% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση, ενώ το υπόλοιπο 66,7% σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Στις 4 το απόγευμα, το 75% των τιμών αντιπροσωπεύει την κλάση 'ελαφρά θερμική επιβάρυνση' και το υπόλοιπο 25% αντιπροσωπεύει την κλάση 'ισχυρή θερμική επιβάρυνση'.
- Στις 5 το απόγευμα που πραγματοποιήθηκε η τελευταία μέτρηση το 100% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση.



**Εικόνα 5.15. Βιομετεωρολογικό διάγραμμα: Συχνότητα (%) εμφάνισης των κλάσεων του θερμικού δείκτη UTCI για κάθε ώρα της 23<sup>ης</sup> Νοεμβρίου 2012.**

Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα της 23<sup>ης</sup> Νοεμβρίου 2012, τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης έχει η κλάση της θερμικής άνεσης. Πιο συγκεκριμένα:

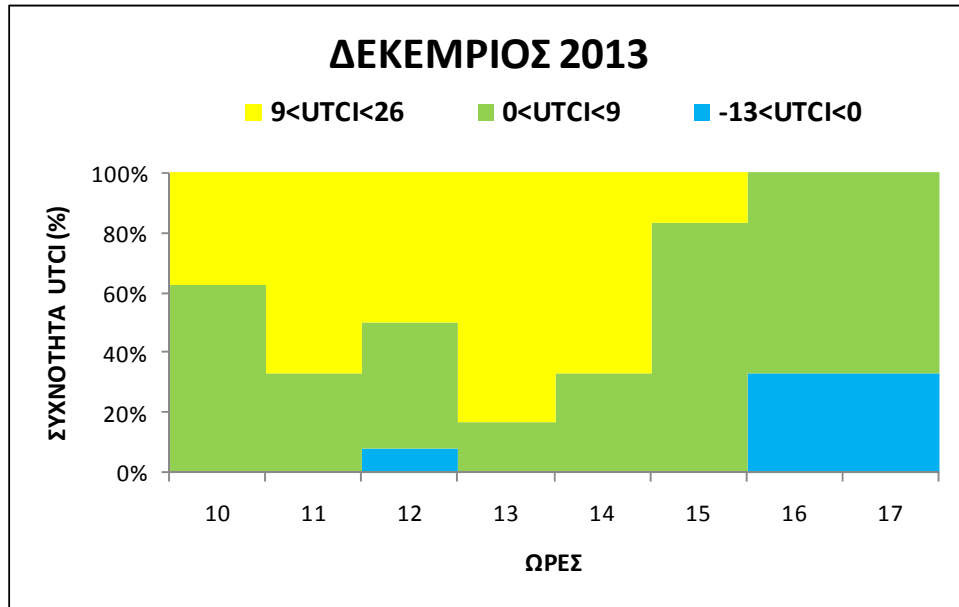
- Στις 9 και στις 11 το πρωί το 100% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση. Οι ίδιες συνθήκες φαίνεται να επικρατούν και από τη 1 το μεσημέρι μέχρι και τις 5 το απόγευμα.
- Στις 10 το πρωί το 83,3% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση, δεν ενώ το 16,7% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση.
- Αντίστοιχα, στις 12 το μεσημέρι το 91,7% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση και το υπόλοιπο 8,3% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση.



**Εικόνα 5.16. Βιομετεωρολογικό διάγραμμα: Συχνότητα (%) εμφάνισης των κλάσεων του θερμικού δείκτη UTCI για κάθε ώρα της 21<sup>ης</sup> Δεκεμβρίου 2012.**

Παρατηρώντας το βιομετεωρολογικό διάγραμμα της 21<sup>ης</sup> Δεκεμβρίου 2012, παρατηρείται ότι:

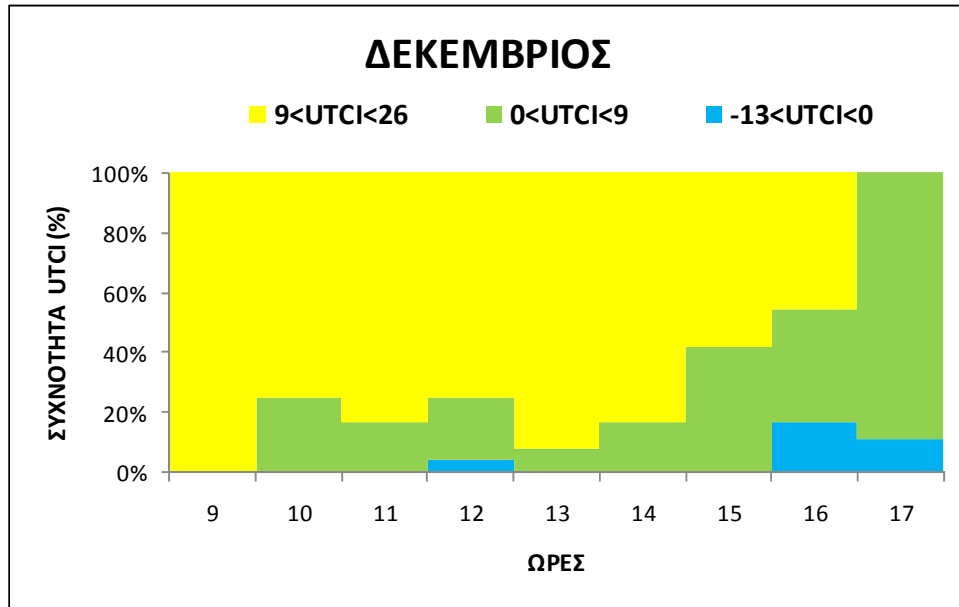
- Από τις 9 το πρωί μέχρι και τις 3 το μεσημέρι το 100% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση.
- Στις 4 μετά μεσημβρία, το 8,3% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά ψυχρή επιβάρυνση και το 91,7% των τιμών αντιστοιχεί θερμική άνεση.
- Στις 5 το απόγευμα, το 100% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά ψυχρή επιβάρυνση.



**Εικόνα 5.17. Βιομετεωρολογικό διάγραμμα: Συχνότητα (%) εμφάνισης των κλάσεων του θερμοκού δείκτη UTCI για κάθε ώρα της 11<sup>ης</sup> Δεκεμβρίου 2013.**

Στο αντίστοιχο διάγραμμα για την επόμενη χρονιά και συγκεκριμένα για την 11<sup>η</sup> Δεκεμβρίου 2013, παρατηρείται ότι:

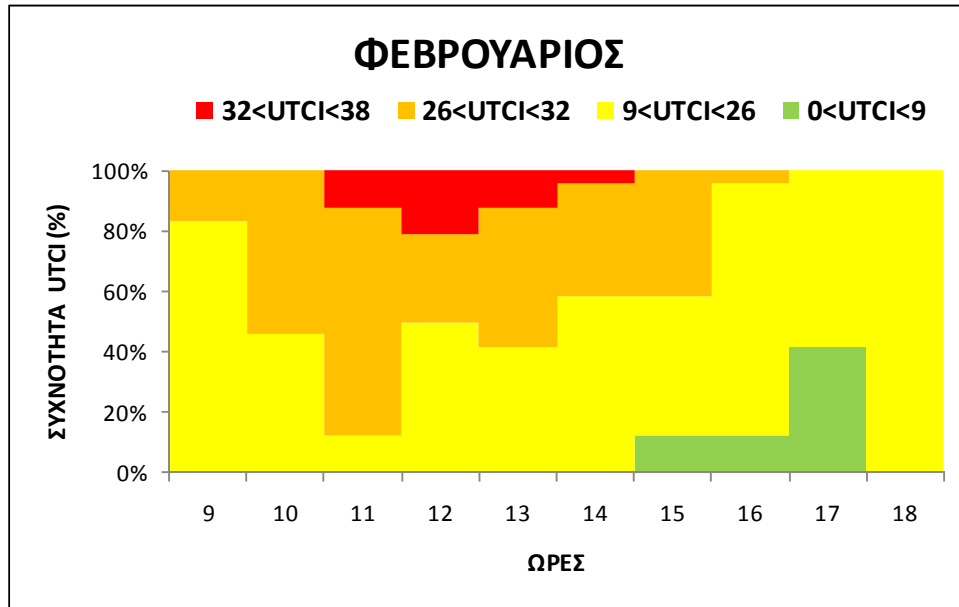
- Στις 10 το πρωί, το 62,5% των τιμών αντιπροσωπεύει την κλάση της ελαφρά ψυχρής επιβάρυνσης και το 37,5% την κλάση της θερμικής άνεσης.
- Στις 11 το πρωί, το 33,3% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά ψυχρή επιβάρυνση και το 66,7% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση.
- Στις 12 το μεσημέρι, το 8,3% των τιμών αντιστοιχεί σε μέτρια ψυχρή επιβάρυνση, το 41,7% σε ελαφρά ψυχρή επιβάρυνση και το υπόλοιπο 50% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση.
- Στη 1 μετά το μεσημέρι, το 16,7% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά ψυχρή επιβάρυνση και το 83,3% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση.
- Στις 2 μετά το μεσημέρι, το 33,3% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά ψυχρή επιβάρυνση, ενώ το 66,7% σε θερμική άνεση.
- Στις 3 μετά το μεσημέρι, το 83,3% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά ψυχρή επιβάρυνση και το 16,7% των τιμών σε θερμική άνεση.
- Στις 4 και 5 μετά το μεσημέρι, το 33,3% των τιμών αντιστοιχεί σε μέτρια ψυχρή επιβάρυνση και το 66,7% αντιστοιχεί σε ελαφρά ψυχρή επιβάρυνση.



**Εικόνα 5.18. Μέσο βιομετεωρολογικό διάγραμμα: Συχνότητα (%) εμφάνισης των κλάσεων του θερμοκινητικού δείκτη UTCI για κάθε ώρα των δύο ημερών (2012 και 2013) του μήνα Δεκεμβρίου.**

Από το μέσο διάγραμμα για τον μήνα Δεκέμβριο παρατηρούνται πολύ μικρά ποσοστά τιμών με μέτρια ψυχρή επιβάρυνση. Μεγαλύτερο είναι το ποσοστό της ελαφρά ψυχρής επιβάρυνσης, ενώ κατά κύριο λόγο επικρατούν τιμές θερμικά ουδέτερης επιβάρυνσης. Πιο συγκεκριμένα:

- Στις 9 το πρωί, το 100% των τιμών αντιστοιχούν σε θερμική άνεση.
- Στις 10 το πρωί, το 25% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά ψυχρή επιβάρυνση και το 75% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση.
- Στις 11 το πρωί, το 16,7% των τιμών αντιπροσωπεύει την κλάση της ελαφρά ψυχρής επιβάρυνσης και το 83,3% την κλάση της θερμικής άνεσης.
- Στις 12 το μεσημέρι, το 4,2% αντιστοιχεί σε μέτρια ψυχρή επιβάρυνση, το 20,8% αντιστοιχεί σε ελαφρά ψυχρή επιβάρυνση και το υπόλοιπο 75% αντιστοιχεί σε θερμική άνεση.
- Στη 1 μετά το μεσημέρι, το 8,3% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά ψυχρή επιβάρυνση και το 91,7% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση.
- Στις 2 μετά το μεσημέρι, το 16,7% των τιμών αντιπροσωπεύει την κλάση της ελαφρά ψυχρής επιβάρυνσης και το υπόλοιπο 83,3% των τιμών αντιπροσωπεύει την κλάση της θερμικής άνεσης.
- Στις 3 μετά το μεσημέρι, το 41,7% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά ψυχρή επιβάρυνση και το 58,3% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση.
- Στις 4 μετά το μεσημέρι, το 16,7% των τιμών αντιστοιχεί σε μέτρια ψυχρή επιβάρυνση, ενώ το 37,5% σε ελαφρά ψυχρή επιβάρυνση και το υπόλοιπο 45,8% αντιστοιχεί σε θερμική άνεση.
- Στις 5 μετά το μεσημέρι, το 11,1% των τιμών αντιστοιχεί σε μέτρια ψυχρή επιβάρυνση και το υπόλοιπο 88,9% σε ελαφρά ψυχρή επιβάρυνση.

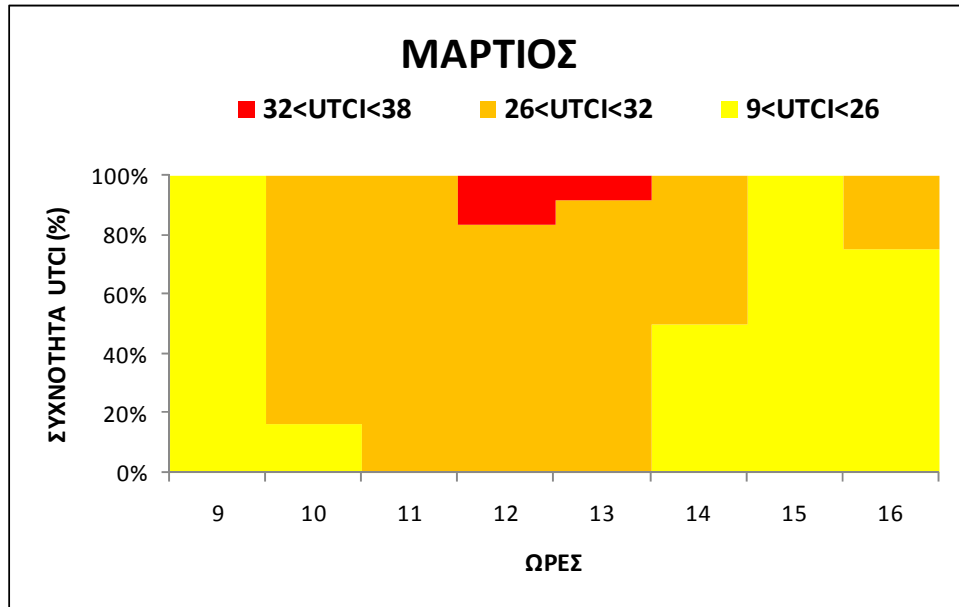


**Εικόνα 5.19. Βιομετεωρολογικό διάγραμμα: Συχνότητα (%) εμφάνισης των κλάσεων του θερμικού δείκτη UTCI για κάθε ώρα της 26<sup>ης</sup> Φεβρουαρίου 2013.**

Στο διάγραμμα της εικόνας 5.19. που αναφέρεται στην 26<sup>η</sup> Φεβρουαρίου 2013, παρατηρούνται μέγιστες τιμές θερμικής επιβάρυνσης από τις 11 το πρωί μέχρι και τις 2 μετά το μεσημέρι, ενώ παρατηρούνται και ελάχιστες τιμές μεταξύ 3 μετά μεσημβρίας και 5 το απόγευμα. Η υπόλοιπη ημέρα θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως θερμικά ουδέτερη.

- Στις 9 το πρωί, το 83,3% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση, ενώ το υπόλοιπο 16,7% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση.
- Στις 10 το πρωί, το 45,8% των τιμών αντιστοιχούν σε θερμική άνεση και το 54,2% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση.
- Στις 11 το πρωί, το 12,5% των τιμών αντιπροσωπεύει την κλάση της θερμικής άνεσης, το 75% την κλάση της ελαφρά θερμικής επιβάρυνσης και το υπόλοιπο 12,5% αντιπροσωπεύει την κλάση της ισχυρής θερμικής επιβάρυνσης.
- Στις 12 το μεσημέρι, το 50% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση, το 29,2% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση και το 20,8% σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Στη 1 μετά το μεσημέρι, το 41,7% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση, το 45,8% αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση και το υπόλοιπο 12,5% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Στις 2 μετά το μεσημέρι, το 58,3% των τιμών αντιπροσωπεύει την κλάση της θερμικής άνεσης, το 37,5% την κλάση της ελαφρά θερμικής επιβάρυνσης και το υπόλοιπο 4,2% αντιπροσωπεύει την κλάση της ισχυρής θερμικής επιβάρυνσης.
- Στις 3 μετά το μεσημέρι, το 12,5% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά ψυχρή επιβάρυνση, το 45,8% σε θερμική άνεση και το 41,7% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση.

- Στις 4 μετά το μεσημέρι, το 12,5% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά ψυχρή επιβάρυνση, το 83,3% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση και το υπόλοιπο 4,2% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμή επιβάρυνση.
- Στις 5 μετά το μεσημέρι, το 41,7% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά ψυχρή επιβάρυνση, ενώ το υπόλοιπο 58,3% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση.
- Στην τελευταία μέτρηση στις 6 μετά το μεσημέρι, το 100% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση.



**Εικόνα 5.20. Βιομετεωρολογικό διάγραμμα: Συχνότητα (%) εμφάνισης των κλάσεων του θερμικού δείκτη UTCI για κάθε ώρα της 29<sup>ης</sup> Μαρτίου 2013.**

Στο παραπάνω διάγραμμα που αποτυπώνεται η επί τοις εκατό συχνότητα εμφάνισης των κλάσεων του δείκτη UTCI για κάθε ώρα του μήνα Μαρτίου και συγκεκριμένα της 29<sup>ης</sup> Μαρτίου 2013, παρατηρείται ότι:

- Στις 9 το πρωί, το σύνολο (100%) των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση.
- Στις 10 το πρωί, το 16,7% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση και το υπόλοιπο 83,3% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση.
- Στις 11 το πρωί, το 100% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση.
- Στις 12 το μεσημέρι, το 83,3% των τιμών αντιπροσωπεύει την κλάση της ελαφρά θερμικής επιβάρυνσης και το υπόλοιπο 16,7% αντιπροσωπεύει την κλάση της ισχυρής θερμικής επιβάρυνσης.
- Στη 1 μετά το μεσημέρι, το 91,7% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση, ενώ το υπόλοιπο 8,3% των τιμών αντιστοιχεί σε ισχυρή θερμική επιβάρυνση.
- Στις 2 μετά το μεσημέρι, το 50% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση και το υπόλοιπο 50% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση.
- Στις 3 μετά το μεσημέρι, το 100% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση.
- Στις 4 μετά το μεσημέρι, το 75% των τιμών αντιστοιχεί σε θερμική άνεση και το 25% των τιμών αντιστοιχεί σε ελαφρά θερμική επιβάρυνση.

## 6. Συμπεράσματα

Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης των βιομετεωρολογικών συνθηκών στην Αθήνα και ειδικότερα στην Πλατεία Συντάγματος για την περίοδο Απρίλιος 2012 - Δεκέμβριος 2013 έδειξε ότι :

Τον Απρίλιο η κλάση «θερμικά ουδέτερο» του θερμικού δείκτη UTCI, εκφράζει τη μεγαλύτερη συχνότητα (100%), στις 6 το απόγευμα.

Τον Μάιο η κλάση που εκφράζει τη μεγαλύτερη συχνότητα (87,5%) είναι η «ισχυρή θερμική επιβάρυνση», στις 11 το πρωί.

Τον Ιούνιο η κλάση «θερμικά ουδέτερο» του θερμικού δείκτη UTCI εκφράζει τη μεγαλύτερη συχνότητα (100%), στις 7 το απόγευμα.

Τον Ιούλιο, η κλάση «ισχυρή θερμική επιβάρυνση» του θερμικού δείκτη UTCI εκφράζει τη μεγαλύτερη συχνότητα (83,3%) στις 5 το απόγευμα, ενώ μετά από μία ώρα, στις 6 το απόγευμα, η κλάση «ελαφρά θερμική επιβάρυνση» έχει το ίδιο ποσοστό (83,3%).

Τον Οκτώβριο οι κλάσεις «ισχυρή θερμική επιβάρυνση», στις 9 το πρωί, και «ελαφρά θερμική επιβάρυνση», στις 5 το απόγευμα, εμφανίζουν τη μέγιστη συχνότητα (100%).

Τον Νοέμβριο, η κλάση «θερμικά ουδέτερο» του θερμικού δείκτη UTCI εκφράζει τη μεγαλύτερη συχνότητα (100%) στις 9 και στις 11 το πρωί καθώς και για το διάστημα από τη 1 μετά το μεσημέρι μέχρι και τις 5 το απόγευμα.

Τον Δεκέμβριο η κλάση «θερμικά ουδέτερο» του θερμικού δείκτη UTCI εκφράζει τη μεγαλύτερη συχνότητα (100%) στις 9 το πρωί.

Τον Φεβρουάριο, η κλάση που εκφράζει τη μεγαλύτερη συχνότητα (100%) είναι η «θερμικά ουδέτερο», στις 6 το απόγευμα.

Τέλος τον Μάρτιο, οι κλάσεις του θερμικού δείκτη UTCI που εκφράζουν τη μεγαλύτερη συχνότητα (100%) είναι η «θερμικά ουδέτερο» στις 9 η ώρα το πρωί και στις 3 το μεσημέρι, καθώς επίσης και η «ελαφρά θερμική επιβάρυνση» στις 11 το πρωί.

## 7. Βιβλιογραφία

### Ελληνική

- Αργυράκη Μ. 2008. Βιοκλιματικός σχεδιασμός, ηλιακά παθητικά συστήματα και άλλες τεχνικές εξοικονόμησης ενέργειας στον κτηριακό τομέα. Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Γεωργίου Κ. 2008 Αξιολόγηση των συνθηκών θερμικής άνεσης σε φυσικό και σε τεχνητό αίθριο με την εφαρμογή γεωστατικής μεθόδου και τη χρήση του λογισμικού-μοντέλου RayMan. Πτυχιακή εργασία, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Γιαννούτσου Ε., Γαλάνης Κ. 2012. Εφαρμογή του μοντέλου RayMan για τον υπολογισμό των βιοκλιματικών συνθηκών στο ΤΕΙ Πειραιά. Πτυχιακή εργασία, ΤΕΙ Πειραιά.
- Δαλέζιος Ν. Αγρομετεωρολογία : Ανάλυση και Προσομοίωση, εκδόσεις Κάλλιπος, ημερομηνία μεταφόρτωσης 16/1/2016 .
- Ζιακόπουλος Δ., Φραγκούλη Π. Το εγχειρίδιο του Μετεωρολόγου – Προγνώστη. Ηλεκτρονική έκδοση, Αύγουστος 2015.
- Καμπίτσης Κ. 2010. Θερμική άνεση σε κτήρια γραφείων. Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Κανελλοπούλου Ε. 2007. Εφαρμοσμένη Κλιματολογία. Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.
- Κατσαφάδος Π., Μαυροματίδης Η. 2010. Αρχές Μετεωρολογίας – Κλιματολογίας. Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα.
- Κατσαφάδος Π., Μαυροματίδης Η. Εισαγωγή στη φυσική της ατμόσφαιρας και την κλιματική αλλαγή. Εκδόσεις Κάλλιπος, ημερομηνία μεταφόρτωσης 27/1/2016.
- Κοτσίρης Γ. 2007. Θερμική Άνεση. Εκδόσεις Ίων, Αθήνα.
- Λέκκας Δ., Ηλιοπούλου Α. 2014. Υπολογισμός ωριαίων τιμών του βιοκλιματικού δείκτη PET για την ευρύτερη περιοχή των Αθηνών με τη χρήση του μοντέλου RayMan. Πτυχιακή εργασία, ΤΕΙ Πειραιά.
- Λιάπης Χ. 2008. Σύγχρονη τεχνολογία συστημάτων μετρήσεως περιβαλλοντικών παραμέτρων. Διπλωματική εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Ματζαράκης Α. 1995. Ανθρωποβιομετεωρολογική Εκτίμηση του Κλίματος της Ελλάδος. Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Μουσιόπουλος Ν., Ντζιαχρήστος Λ., Σλίνη Θ. Τεχνική προστασίας περιβάλλοντος – Αρχές αειφορίας. Εκδόσεις Κάλλιπος, ημερομηνία μεταφόρτωσης 12/1/2016)
- Μπατάς Ε. 2006. Εφαρμοσμένη Μετεωρολογία. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
- Μπατιστάτος Π. 2011. Οικολογία – Περιβάλλον – Οικονομία. Πτυχιακή εργασία, Αλεξάνδρειο ΤΕΙ Θεσσαλονίκης.
- Μπέρκοβιτς Α. 2012. Κλιματική αλλαγή και τοπική αυτοδιοίκηση. Αρμοδιότητες και Ενέργειες. Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Αιγαίου.
- Νικολάκης Δ. 2002. Κλιματολογία, μια σύγχρονη επιστήμη του περιβάλλοντος. Αθήνα.

- Παπαδόπουλος Α. 2006. Η Οδηγία 2002/91/EC για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων, Θερμική Άνεση στα Κτίρια, Νέα Πρότυπα και Βελτίωση Θερμικής Άνεσης στα Κτίρια, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Παπαδοπούλου Γ., Γεωργίου Ε., Μαμάσης Ν. και Μιμίκου Μ. 2010. Εκτίμηση χωρικής κατανομής κλιματικών και βιοκλιματικών δεικτών στην περιοχή της Αττικής με χρήση δεδομένων του Δικτύου METEONET. Τεχνικά Χρονικά, Επιστημονική Έκδοση ΤΕΕ, τόμος 1: τεύχος 1.
- Παπανδρουπούλου Ε., Φατούρου Ε. 2016. Ποσοτική και ποιοτική αξιολόγηση των βιομετεωρολογικών συνθηκών στην Αθήνα κατά την περίοδο 2012-2013. Διπλωματική εργασία, Εθνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Πολυχρόνη Η. 2014. Μελέτη μικρο-βιοκλιματικών συνθηκών στην Πανεπιστημιούπολη Αθηνών: Πειραματικές μετρήσεις και μοντελοποίηση. Διπλωματική εργασία, Εθνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Ρίγκας Χ. 2011. Μέτρα & δράσεις κατά της κλιματικής αλλαγής. Ο ρόλος της τοπικής αυτοδιοίκησης. Πτυχιακή εργασία, Α.Τ.Ε.Ι. Καλαμάτας.
- Στάθης Δ. Μαθήματα δασικής Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας. Εκδόσεις Κάλλιπος.
- Συροπούλου Π.Μ. 2013. Επίδραση του δείκτη ποιότητας του αέρα και του δείκτη θερμικής άνεσης στην υγεία. Διπλωματική εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Τσέλιου Α. 2009. Συνβολή στην ανάπτυξη και εφαρμογή βιοκλιματικών δεικτών για την εκτίμηση της επίδρασης κλιματικών αλλαγών στη χρήση ανοιχτών χώρων εντός του αστικού περιβάλλοντος. Μεταπτυχιακή εργασία, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Τσιμπάνος Π. 2008. Επίδραση ηλιακής ακτινοβολίας στην εσωτερική θερμική άνεση κτιρίων. Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Φλόκας Α. 1997. Μαθήματα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
- Φραγγής Φ. 2011. Θερμική άνεση σε κτήρια γραφείων. Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Χαλδούπης Χ. Εισαγωγή στην Ατμοσφαιρική Φυσική. Εκδόσεις Κάλλιπος, ημερομηνία μεταφόρτωσης 31/5/2016).
- Χαραλαμπίδου Ι. 2009. Ανάπτυξη μεθοδολογίας και εφαρμογές για την αξιολόγηση των βιοκλιματικών συνθηκών υπαίθριων χώρων με διαφορετική διαμόρφωση. Διδακτορική διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Χρονοπούλου - Σερέλη Α. και Φλόκας Α. 2010. Μαθήματα Γεωργικής Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
- Αικατερίνη Χρονοπούλου-Σερέλη, Ιωάννης Κ. Χρονόπουλος 2011. Βιομετεωρολογία – Βιοκλιματολογία (Εφαρμογές στην διαμόρφωση υπαίθριων χώρων). Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

## Ξενογλώσση

- Ali - Toudert F. 2005. Dependence of the outdoor thermal on street design in hot and dry climate. *Berichte des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg*.
- Ali - Toudert F. and Mayer H. 2006. Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate. *Building and Environment*, 41: 94-108.
- Ali - Toudert F. and Mayer H. 2007. Thermal comfort in an east-west oriented street canyon in Freiburg (Germany) under hot summer conditions. *Theoretical and Applied Climatology*, 87: 223-237.
- Ali - Toudert F., Djenane M., Bensalem R. and Mayer H. 2005. Outdoor thermal comfort in the old desert city of Beni-Isguen, Algeria. *Climate Research*, 28: 243-256.
- Allaby M. 2007. *Encyclopedia of Weather and Climate*. Facts on File.
- Almeida S.P., Casimiro E. and Calheiros J. 2010. Effects of apparent temperature on daily mortality in Lisbon and Oporto, Portugal. *Environmental Health*, 9: 12.
- American Meteorology Society (AMS). 1959. *Glossary of Meteorology*. Huschke R.E. (Ed.). Boston, Massachusetts.
- Analitis A., Katsouyanni K., Biggeri A., Baccini M., Forsberg B., Bisanti L., Kirchmayer U., Ballester F., Cadum E., Goodman P.G., Hojs A., Sunyer J., Tiittanen P. and Michelozzi P. 2008. Effects of cold weather on mortality: results from 15 European cities within the PHEWE project. *American Journal of Epidemiology*, 168(12): 1397–1408.
- Andrade H., Alcoforado M.J. and Oliveira S. 2011. Perceptions of temperature and wind by users of public outdoor spaces: relationships with weather parameters and personal characteristics. *International Journal of Biometeorology*, 55: 665-680.
- ANSI/ASHRAE. 2004. Standard 55. *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. American Society of Heating, Refrigerating and Air - conditioning Engineers, Atlanta, GA.
- ASHRAE. 1992. Standard 55. *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. American Society of Heating, Refrigerating and Air - conditioning Engineers, Atlanta, GA.
- ASHRAE. 2005. *Handbook Fundamentals (SI ed.)* American Society of Heating, Refrigerating and Air - conditioning Engineers, Atlanta, GA.
- ASHRAE. 2009. *Handbook Fundamentals (IP ed.)* American Society of Heating, Refrigerating and Air - conditioning Engineers, Atlanta, GA.
- Atmaca I. and Yigit A. 2006. Predicting the effect of relative humidity on skin temperature and skin wettidness. *Journal of Thermal Biology*, 31: 442-452.
- Aynsley R. and Spruil M. 1990. Thermal comfort models for outdoor thermal comfort in warm humid climates and probabilities of low wind speeds. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 36: 481-488.
- Baccini M., Biggeri A., Accetta G., Kosatsky T., Katsouyanni K., Analitis A., Anderson H.R., Bisanti L., D'Ippoliti D., Danova J., Forsberg B., Medina S., Paldy A., Rabczenko D., Schindler C. and Michelozzi P. 2008. Heat effects on mortality in 15 European cities. *Epidemiology*, 19(5): 711–719.

- Balaras C., Tselepidaki M., Santamouris M., Asimakopoulos D. 1993. Calculations and statistical analysis of the environmental cooling power index for Athens, Greece. *Energy Conversion and Management*, 34: 139–146.
- Bauche J.P., Grigorieva E.A. and Matzarakis A. 2013. Human-Biometeorological Assessment of Urban Structures in Extreme Climate Conditions : The Example of Birobidzhan, Russian Far East. *Advances in Meteorology*, volume 2013, Article ID 749270, 10 pages.
- Blazejczyk K. 2001. Assessment of recreational potential of bioclimate based on the human heat balance. In : A. Matzarakis and C.R. De Freitas (Eds.), *Proceedings of the First International Workshop on Climate, Tourism and Recreation*, Neos Marmaras, Halkidiki, Greece.
- Blazejczyk K., Epstein Y., Jendritzky G., Staiger H. and Tinz B. 2012. Comparison of UTCI to selected thermal indices. *International Journal of Biometeorology*, 56: 515-535.
- Blazejczyk K., Bröde P., Fiala D., Havenith G., Holmér I., Jendritzky G., Kampmann B. and Kunert A. 2010. Principles of the new Universal Thermal Climate Index (UTCI) and its application to bioclimatic research in European scale. *Miscellanea Geographica*, 14: 91-102.
- Blazejczyk K., Jendritzky G., Bröde P., Fiala D., Havenith G., Epstein Y., Psikuta A. and Kampmann B. 2013. An introduction to the Universal Thermal Climate Index (UTCI). *Geographia Polonica*, 86(1): 5-10.
- Bleta A., Nastos P. T. and Matzarakis A. 2014. Assessment of bioclimatic conditions on Crete Island, Greece. *Regional Environmental Change*, 14: 1967-1981.
- Bouyer J., Vinet J., Delpéch P. and Carré S. 2007. Thermal comfort assessment in semi-outdoor environments: Application to comfort study in stadia. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 95: 963-976.
- Bröde P., Fiala D., Blazejczyk K., Holmér I., Jendritzky G., Kampmann B., Tinz B. and Havenith G. 2012. Deriving the operational procedure for the Universal Thermal Climate Index (UTCI). *International Journal of Biometeorology*, 56(3): 481-494.
- Bruse M. and Fleer H. 1998. Simulating surface - plant - air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. *Environmental Modelling and Software*, 13: 373-384.
- Burton I., Ebi K. L. and G. McGregor. 2009. *Biometeorology for Adaptation to Climate Variability and Change*. In: *Biometeorology I. Biometeorology for Adaptation to Climate Variability and Change*. Springer.
- Carmona M., Heath T., Oc T. and Tiesdell S. 2003. *Public places-urban spaces: the dimensions of urban design*. Architectural Press, Elsevier, Burlington.
- Charalampopoulos I. and Chronopoulou - Sereli A. 2005. Mapping the urban green area influence on the local climate under windless and light wind conditions. The case of western part of Athens, Greece. *Acta Climatologica et Chorologica*, 38-39:25-31.
- Charalampopoulos I., Tsiros I., Chronopoulou-Sereli A. and Matzarakis A. 2013. Analysis of thermal bioclimate in various urban configurations in Athens, Greece. *Urban Ecosystems*, 16: 217-233.

- Collins K.J. 1983. Hypothermia - The facts. Oxford University Press, New York.
- Curriero F.C., Heiner K.S., Samet J.M., Zeger S.L., Strug L. and Patz J.A. 2002. Temperature and mortality in 11 cities of eastern United States. *American Journal of Epidemiology*, 155: 80–87.
- De Freitas C.R. 2003. Tourism climatology: evaluating environmental information for decision making and business planning in the recreation and tourism sector. *International Journal of Biometeorology*, 4: 45–54.
- Didaskalou E. and Nastos P. 2003. The role of climatic and bioclimatic conditions in the development of health tourism product. *Anatolia*, 14(2): 107–126.
- Epstein Y. and Moran D. S. 2006. Thermal comfort and the heat stress indices. *Industrial Health*, 44: 388-398.
- Fänger P.O. 1972. *Thermal Comfort : analysis and applications in environmental engineering*. McGraw-Hill Book Company, New York.
- Fiala D., Havenith G., Bröde P., Kampmann B. and Jendritzky G. 2012. UTCI - Fiala multi-node model of human heat transfer and temperature regulation. *International Journal of Biometeorology*, 56(3): 429-441.
- Flach E. 1957. *Grundbegriffe und Grundtatsachen der Bioklimatologie*. In: *Linkes Meteorologisches Taschenbuch, neue Ausgabe III*, Leipzig : Akademischer Verlag.
- Gulyás Á. and Matzarakis A. 2007. Selected examples of bioclimatic analysis applying the physiologically equivalent temperature in Hungary. *Acta Climatologica Et Chorologica, Universitatis Szegediensis*, tomus 40-41: 37-46.
- Gulyás Á., Unger J. and Matzarakis A. 2006. Assessment of the microclimatic and thermal comfort conditions in a complex urban environment: modelling and measurements. *Building and Environment*, 41: 1713-1722.
- Hajat S. and Kosatky T. 2010. Heat-related mortality: a review and exploration of heterogeneity. *Journal of Epidemiology & Community Health*, 64: 753–760.
- Hamilton J.M. and Lau M.A. 2005. The role of climate information in tourist destination choice decision-making. *Proceedings of the 17th international congress of biometeorology*, pp 608–611.
- Harlan S. L., Brazel A. J., Prashad L., Stefanow W.L. and Larsen L. 2006. Neighborhood micro-climates and vulnerability to heat stress. *Social Science and Medicine*, 63: 2847-2863.
- Havenith G., Fiala D., Blazejczyk K., Richards M., Bröde P., Holmér I., Rintamaki H., Benschabat Y. and Jendritzky G. 2012. The UTCI-clothing model. *International Journal of Biometeorology*, 56(3): 461-470.
- Höppe P. 1992. A new method to determine the mean radiant temperature outdoors. *Wetter und Leben*, 44: 147-151.
- Höppe P. 1993. Heat balance modelling. *Experientia*, 49: 741-746.
- Höppe P. 1999. The physiological equivalent temperature - a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environmental. *International Journal of Biometeorology*, 43: 71-75.
- Höppe P. and Seidl H. 1991. Problems in the assessment of the bioclimate for vacationists at the seaside. *International Journal of Biometeorology*, 35: 107-110.
- Höppe P. und Mayer H. 1987. Planungsrelevante Bewertung der thermischen Komponente des Stadtklimas. *Landschaft und Stadt*, 19: 22-29.

- INNOVA. 2002. Thermal Comfort. Innova AirTech Instruments. Ballerup, Denmark.
- ISO 9920. 1995. Ergonomics of the thermal environment - estimation of the thermal insulation and evaporative resistance of clothing ensemble. International Standardization Organization, Geneva, Switzerland.
- ISO. 1985. ISO Standard 7726. Thermal environments – Instruments and methods for measuring physical quantities. International Standardization Organization, Geneva, Switzerland.
- ISO. 1993. Evaluation of cold environments - determination of required clothing insulation (IREQ). ISO Technical Report TR 11079. International Standardization Organization, Geneva, Switzerland.
- ISO. 1998. ISO Standard 7726. Ergonomics of the thermal environments – Instruments for measuring physical quantities. International Standardization Organization, Geneva, Switzerland.
- Johansson E. and Rohinton E. 2006. The influence of urban design on outdoor thermal comfort in the hot, humid city of Colombo, Sri Lanka. *International Journal of Biometeorology*, 51: 119-133.
- Kampmann B., Bröde P., Havenith G. and Jendritzky G. 2008. Der Entwicklungsstand des klimatischen Belastungs-Index UTCI. [in:] *Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, Produkt und Produktions-Ergonomie – Aufgabe für Entwickler und Planer*, vol. 54, Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, Dortmund: GfA Press, pp.243-246.
- Kántor N., Égerházi L. and Unger J. 2012 a. Subjective estimation of thermal environment in recreational urban spaces—Part 1: investigations in Szeged, Hungary. *International Journal of Biometeorology*, 56: 1075–1088.
- Kántor N., Unger J. and Gulyás Á. 2012b. Subjective estimations of thermal environment in recreational urban spaces—Part 2: international comparison. *International Journal of Biometeorology*, 56: 1089-1101.
- Karapiperis P. 1961. The Variability of Climatic Temperature in Rome and Athens. *Geophysica*, 8: 63–70.
- Katsoulis B. 1987. Indications of change of climate from analysis of air temperature time series in Athens, Greece. *Climatic Change*, 10: 67–79.
- Knez I. and Throsson S. 2006. Influences of culture and environmental attitude on thermal, emotional and perceptual evaluations of a public square. *International Journal of Biometeorology*, 50: 258-268.
- Kuttler W. 2000. Stadtklima. In: *Handbuch der Umweltveränderungen und Ökotoxologie, Band 1B: Atmosphäre* (Hrsg.) Guderian R, Springer, New York.
- Lee H., Holst J. and Mayer H. 2013. Modification of human-biometeorologically significant radiant flux densities by shading as local method to mitigate heat stress in summer within urban street canyons. *Advances in Meteorology*, 06/2013: 1-13.
- Lin T.P., Hwang C.C. and Cheng H.Y. 2006. The influence of climate information on travel arrangements. In: *Proceedings of the 8th leisure, recreation and tourism research symposium, Taipei, 7 October 2006*. Outdoor Recreation Association, Taipei, pp 120–126.
- Lindberg F. and Grimmond C.S.B. 2011. The influence of vegetation and building morphology on shadow patterns and mean radiant temperatures in urban

- areas: model development and evaluation. *Theoretical Applied Climatology*, 105: 311–323.
- Lindberg F., Holmer B. and Thorsson S. 2008. SOLWEIG 1.0 - Modelling spatial variations of 3D radiant fluxes and mean radiant temperature in complex urban setting. *International Journal of Biometeorology*, 52: 697-713.
  - Matzarakis A. and Mayer H. 1996. Another kind of environmental stress: thermal stress. *NEWSLETTERS* no. 18, WHO Collaborating Centre for Air Quality Management and Air Pollution Control. pp 7–10.
  - Matzarakis A. and Nastos P.T. 2011. Analysis of tourism potential for Crete Island, Greece. *Global NEST Journal*, 13: 141–149.
  - Matzarakis A. and Rutz F. 2005. Application of RayMan for tourism and climate investigations. *Annalen der Meteorologie*, 41(2): 631-636.
  - Matzarakis A. and Rutz F. 2007. RayMan: A tool for tourism and applied climatology. In: A. Matzarakis, C. R. de Freitas, D. Scott (Eds.). *Developments in Tourism Climatology*, pp. 129-138.
  - Matzarakis A., De Rocco M. and Najjar G. 2009. Thermal bioclimate in Strasburg – The 2003 heat wave . *Theoretical Applied Climatology*, 98: 209-220.
  - Matzarakis A., Endler C. and Nastos P.T. 2014. Quantification of climate-tourism potential for Athens, Greece - recent and future climate simulations. *Global NEST Journal*, 16(1): 43-51.
  - Matzarakis A., Matuschek O., Neumcke R., Rutz F., Zalloom M. and Endler C. 2008. Tools for biometeorological and climatological studies. *Proceedings 18th International Congress on Biometeorology Tokio*.
  - Matzarakis A., Mayer H. and Iziomon M.G. 1999. Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. *International Journal of Biometeorology*, 43: 76-84.
  - Matzarakis A., Rutz F. and Mayer H. 2007. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: application of the RayMan model. *International Journal of Biometeorology*, 51: 323-334.
  - Matzarakis A., Rutz F. and Mayer H. 2010. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments - Basics of the RayMan model. *International Journal of Biometeorology*, 54: 131-139.
  - Mayer H. and Höppe P. 1987. Thermal Comfort of man in different urban environments. *Theoretical and Applied Climatology*, 38:43-49
  - Michelozzi P., Kirchmayer U., Katsouyanni K., Biggeri A., McGregor G., Menne B., Kassomenos P., Anderson H.R., Baccini M., Accetta G., Analytis A. and Kosatsky T. 2007. Assessment and prevention of acute health effects of weather conditions in Europe, the PHEWE project: background, objectives, design. *Environmental Health*, 6: 12.
  - Mochida A. and Lun I.Y.F. 2008. Prediction of wind environment and thermal comfort at pedestrian level in urban area. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 96: 1498-1527.
  - Moustris K.P., Nastos P.T., Larissi I.K. and Paliatsos A.G. 2014. Assessment of biometeorological conditions within the greater Athens area. In: Kanakidou M., Mihalopoulos N. and Nastos P. (Eds), *Abstracts and e-contributions of 12th*

- International Conference of Meteorology, Climatology and Physics of the Atmosphere, Heraklion 28-31 May, vol. 2, pp.272-276. Crete University Press.
- Nastos P. and Zerefos C. 2009. Spatial and temporal variability of consecutive dry and wet days in Greece. *Atmospheric Research*, 94: 616–628.
  - Nastos P.T. and Matzarakis A. 2006. Weather impacts on respiratory infections in Athens, Greece. *International Journal of Biometeorology*, 50: 358–369.
  - Nastos P.T. and Matzarakis A. 2008a. Bioclimatic conditions, trends and variability at the University Campus of Athens, In: *Proceedings of the 9th Conference of Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics*, Department of Meteorology-Climatology, School of Geology, Aristotle University of Thessaloniki (Ed.) in collaboration with the Hellenic Meteorological Society, Thessaloniki, Greece 28-31 May 2008, 925-932 (in Greek).
  - Nastos P.T. and Matzarakis A. 2008b. Variability of tropical days over Greece within the second half of the twentieth century. *Theoretical and Applied Climatology*, 93: 75-89.
  - Nastos P.T. and Matzarakis A. 2012. The effect of air temperature and human thermal indices on mortality in Athens. *Theoretical and Applied Climatology*, 108: 591–599.
  - Nastos P.T. and Matzarakis A. 2013. Human Bioclimatic Conditions, Trends, and Variability in the Athens University Campus, Greece. *Advances in Meteorology*, volume 2013, Article ID 976510, 8 pages.
  - Nastos P.T., Eleftheroudis K.A., Chalkias C. and Matzarakis A. 2012. Application of urban micro models for assessment of bioclimatic conditions within the wider Athens area, Greece. *EMS Annual Meeting Abstracts*, vol.9
  - Németh A. 2011. Changing thermal bioclimate in some Hungarian cities. *Acta Climatologica et Chorologica, Universitatis Szegediensis*, tomus 44-45: 93-101.
  - Nikolopoulou M. and Lykoudis S. 2006. Thermal comfort in outdoor urban spaces: analysis across different European countries. *Building and Environment*, 41: 1455–1470.
  - Nikolopoulou M. and Steemers K. 2003. Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces. *Energy and Buildings*, 35: 95–101.
  - Oliveira S. and Andrade H. 2007. An initial assessment of the bioclimatic comfort in an outdoor public space in Lisbon. *International Journal of Biometeorology*, 52: 69-84.
  - Oliver J. E. 2005. *Encyclopedia of World Climatology*. Springer.
  - Parsons K.C. 1993. *Human Thermal Environments*. London Taylor and Francis.
  - Parsons K.C. 1999. International Standards for the Assessment of the Risk of Thermal Strain on Clothed Workers in Hot Environments. *The Annals of Occupational Hygiene*, 43 (5): 297-308.
  - Philandras C. M., Metaxas D.A. and Nastos P.T. 1999. Climate variability and Urbanization in Athens. *Theoretical and Applied Climatology*, 63: 65-72.
  - Schwartz J., Samet J. and Patz J. 2004. Hospital admissions for heart disease: the effects of temperature and humidity. *Epidemiology*, 15:755–761.

- Shashua-Bar L., Tsiros I. and Hoffman M. 2012. Passive cooling design options to ameliorate thermal comfort in urban streets of a Mediterranean climate (Athens) under hot summer conditions. *Building and Environment*, 57: 110-119.
- Svensson M.K. and Eliasson I. 2002. Diurnal air temperatures in built-up areas in relation to urban planning. *Landscape and Urban Planning*, 61: 37-54.
- Taffé P. 1997. A qualitative response model of thermal comfort. *Building and Environment*, 32: 115-121.
- Thorsson S., Lindberg F., Eliasson I. and Holmer B. 2007a. Different methods for estimating the mean radiant temperature in an outdoor urban setting. *International Journal of Climatology*, 27: 1983-1993.
- Thorsson S., Honjo T., Lindberg F., Eliasson I. and Lim E. 2007b. Thermal comfort and outdoor activity in Japanese Urban Public Places. *Environment Behaviour*, 39: 1-25.
- Thorsson S., Lindqvist M. and Lindqvist S. 2004. Thermal bioclimatic conditions and patterns of behaviour in an urban park in Göteborg, Sweden. *International Journal of Biometeorology*, 48: 149-156.
- Tuller S. 1997. Climatic controls of the cool human thermal sensation in a summertime on shore wind. *International Journal of Biometeorology*, 41: 26-33.
- VDI. 1994. VDI guideline 3789. Part 2: Environmental Meteorology, Interactions between Atmosphere and Surfaces; Calculation of the short- and long wave radiation. Beuth, Berlin.
- VDI. 1998. VDI guideline 3787, Part I: Environmental Meteorology, Methods for the human biometeorological evaluation of climate and air quality for the urban and regional planning at regional level. Part I: Climate. Beuth, Berlin.
- Walton D., Dravitzky V. and Donn M. 2007. The relative influence of wind, sunlight and temperature on user comfort in urban outdoor spaces. *Building and Environment*, 42:3166-3175.
- World Meteorological Organisation (WMO). 1954. Meteorological Monographs, In: Sargent F. and R.G. Stone (Eds.), *Recent studies in Bioclimatology : A Group of Contributions*.
- World Meteorological Organisation (WMO). 2004. Guidelines on Biometeorology and Air Quality forecasts. TD 1184. Series Geneva, Switzerland.
- Tsuyoshi HONJO 2009. Thermal Comfort in Outdoor Environment. Faculty of Horticulture, Chiba University of Japan.
- Chirag Deb., Ramachandraiah A. 2010. The significance of Physiological Equivalent Temperature (PET) in outdoor thermalcomfort studies. *International Journal of Engineering Science and Technology* Vol. 2, India.
- K.C.Parsons 2003. *Human Thermal Enviroments (The effects of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort and performance)*. Taylor & Francis Group, LONDON AND NEW YORK.

## **Ιστότοποι**

- <http://demo.openeclass.org/modules/document/index.php?course=DEMO-A1351&download=/51370a961vlw/516969deojpl.pptx>
- [www.wwf.gr](http://www.wwf.gr)
- [www.meteo.noa.gr](http://www.meteo.noa.gr)
- [www.hnms.gr](http://www.hnms.gr)
- [www.uoa.gr](http://www.uoa.gr)