

ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΜΗΧΑΝΟΓΙΑΣ



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ
ΠΕΙΡΑΙΑ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**« ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ RAYMAN ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΩΝ
ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΣΤΟ ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ »**

Γ ΙΑΝΝΟΥΤΣΟΥ ΕΙΡΗΝΗ
Γ ΑΛΑΝΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΔΡ. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Π. ΜΟΥΣΤΡΗΣ

ΑΙΓΑΛΕΩ, ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2012

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ – ABSTRACTΣΕΛ 5

ΕΙΣΑΓΩΓΗΣΕΛ 6

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο « ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ ΚΑΙ ΔΕΙΚΤΩΝ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ»

.....ΣΕΛ 9

1.1 « ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ »ΣΕΛ 9

1.2 « ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ »ΣΕΛ 9

1.3 « ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ »ΣΕΛ 13

1.3.1 « ΕΞΩΤΕΡΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ »ΣΕΛ 14

1.3.2 « ΑΤΟΜΙΚΕΣ – ΠΡΟΣΩΠΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ »ΣΕΛ 16

1.3.3 « ΕΞΙΣΩΣΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ »ΣΕΛ 17

1.4 « ΔΕΙΚΤΕΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ »ΣΕΛ 18

1.4.1 « ΔΕΙΚΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΔΥΣΦΟΡΙΑΣ ΔΙ ΤΟΥ ΤΗΘΜ »ΣΕΛ 20

1.4.2 « ΔΕΙΚΤΗΣ ΨΥΚΤΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ »ΣΕΛ 21

1.4.3 « ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΑ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (ΡΕΤ) ».....ΣΕΛ 22

1.4.4 «ΠΡΟΒΛΕΠΟΜΕΝΗ ΜΕΣΗ ΨΗΦΟΣ (ΡΜΝ) »ΣΕΛ 23

1.4.5 « ΚΑΘΟΡΙΣΜΕΝΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (SET) »

.....ΣΕΛ 27

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο « ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΜΟΝΤΕΛΟΥ RayMan »ΣΕΛ 29

2.1 « ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ »ΣΕΛ 29

2.2 « ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ »ΣΕΛ 30

2.2.1 « ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ »ΣΕΛ 30

2.2.2 « ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΡΟΩΝ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΘΡΩΠΟ –
ΒΙΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ »ΣΕΛ 31

2.2.3 « ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΟΛΙΚΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΟ
ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΕΠΙΠΕΔΟ »ΣΕΛ 33

2.2.4 « ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ »...ΣΕΛ 34

2.2.5	« ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΜΕΓΑΛΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΠΟΥ ΕΚΠΕΜΠΕΤΑΙ ΑΠΟ ΣΤΙΣ ΣΤΕΡΕΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ »	ΣΕΛ 34
2.2.6	« ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΟΡΑΣΗΣ ΟΥΡΑΝΟΥ (SVF) »	ΣΕΛ 35
2.3	« ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ RayMan »	ΣΕΛ 38
2.3.1	« ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ (T_{mrt}) »	ΣΕΛ 38
2.3.2	« ΔΕΙΚΤΕΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ »	ΣΕΛ 39
2.4	« Η ΕΓΚΥΡΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ RayMan »	ΣΕΛ 40
2.5	« ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ RayMan »	ΣΕΛ 40
2.6	« ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ RayMan »	ΣΕΛ 41
2.7	« ΓΕΝΙΚΕΣ ΣΥΖΗΤΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ »	ΣΕΛ 41
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο « ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ RayMan »		
3.1	« ΕΙΣΑΓΩΓΗ »	ΣΕΛ 43
3.2	« ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑΣ ΚΑΙ ΩΡΑΣ (DATE AND TIME)»	ΣΕΛ 44
3.3	« ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (GEOGRAPHIC DATA) »	ΣΕΛ 44
3.4	« ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΤΡΕΧΟΝΤΩΝ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (CURRENT DATA) »	ΣΕΛ 45
3.5	« ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΠΡΟΣΩΠΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΟΥ ΑΦΟΡΟΥΝ ΤΗΝ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ (PERSONAL DATA) »	ΣΕΛ 46
3.6	« ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΙΚΤΩΝ ΡΟΥΧΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ (CLOTHING AND ACTIVITY) »	ΣΕΛ 47
3.7	« ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΕΙΚΤΩΝ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ »	ΣΕΛ 48
3.8	« ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΓΡΑΜΜΗΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ RayMan »	ΣΕΛ 49
3.8.1	« ΕΝΤΟΛΗ ΑΡΧΕΙΟ (FILE) »	ΣΕΛ 49
3.8.2	« ΕΝΤΟΛΗ ΕΙΣΑΓΩΓΗ (INPUT) »	ΣΕΛ 50
3.8.3	« ΕΝΤΟΛΗ ΕΞΑΓΩΓΗ (OUTPUT) »	ΣΕΛ 57

3.8.4	« ΕΝΤΟΛΗ ΠΙΝΑΚΑΣ (TABLE) »ΣΕΛ 58
3.8.5	« ΕΝΤΟΛΗ ΓΛΩΣΣΑ (LANGUAGE) »ΣΕΛ 59
3.8.6	« ΒΟΗΘΕΙΑ – ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΧΡΗΣΗΣ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ »ΣΕΛ 60

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο « ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ RayMan ΣΤΟ ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ ».....ΣΕΛ 61

4.1	« ΕΙΣΑΓΩΓΗ »ΣΕΛ 61
------------	---------------------	-------------

4.2	« ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΤΙΜΩΝ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΡΕΤ »ΣΕΛ 62
------------	--	-------------

4.3	«ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΤΙΜΩΝ ΤΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΡΜΝ ΚΑΙ ΡΡΔ »ΣΕΛ 65
------------	--	-------------

4.4	« ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ »ΣΕΛ 72
------------	--	-------------

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣΕΛ 73

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία γίνεται προσπάθεια δημιουργίας εγχειριδίου χρήσης του λογισμικού RayMan. Το μοντέλο RayMan εξετάζει τις βιοκλιματικές συνθήκες μιας περιοχής και είναι κατάλληλο τοποθετημένο για να υπολογίσει ροές ακτινοβολίας, την μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας αλλά και τον δείκτη θερμικής άνεσης PET (φυσιολογική ισοδύναμη θερμοκρασία). Λαμβάνει υπόψη κάποια μετεωρολογικά δεδομένα όπως θερμοκρασία αέρα, υγρασία αέρα, νέφωση καθώς και χρονικά δεδομένα και την ταχύτητα του ανέμου. Επιπλέον, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των κτιρίων και η βλάστηση της υπό μελέτη περιοχής είναι βασικά δεδομένα εισαγωγής για το λογισμικό. Το συγκεκριμένο λογισμικό δίνεται ελεύθερα στους χρήστες μετά από σχετικό αίτημα στο Πανεπιστήμιο του Freiburg στην Γερμανία και συγκεκριμένα μετά από έγκριση του καθηγητή κυρίου Α. Ματζαράκη. Το εν λόγω λογισμικό δεν διαθέτει αναλυτικό εγχειρίδιο χρήσης και ειδικότερα στα ελληνικά. Η παρούσα πτυχιακή εργασία δίνει τη δυνατότητα να βοηθήσει μελλοντικούς χρήστες του μοντέλου RayMan για να εξοικειωθούν στην χρήση του ταχύτερα και ασφαλέστερα.

ABSTRACT

In this dissertation an effort is made in order to create a manual of RayMan software. The RayMan model examines the bioclimatic conditions of an area and it is perfectly suitable for the calculation of the radiation flows, the Mean Radiant Temperature (T_{mrt}) and also the indicator of thermal comfort PET (Physiologically Equivalent Temperature). It takes into consideration certain meteorological data such as the air temperature, the air humidity, the cloud cover and also time data and the wind velocity are required. Additionally, the geometric data of the buildings and the greenery of the study area are basic input data for this software. This specific software is free of charge for the users but they have to apply to the University of Freiburg, Germany and Professor's Mr. A. Matzarakis approval is required. This software does not include a detailed manual and especially in Greek. This dissertation gives also the opportunity to help the future users of RayMan model in order to get accustomed to its use as far as the fastest and the safest way is concerned.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

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

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

Θα μπορούσαμε να πούμε γενικά, ότι η ατμόσφαιρα είναι τμήμα του περιβάλλοντος το οποίο ο άνθρωπος αντιμετωπίζει καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής του, αφού αυτό εμπλέκεται σχεδόν στο σύνολο των βασικών βιολογικών του λειτουργιών. Οι αντιδράσεις του οργανισμού μπορούν να θεωρηθούν αποτέλεσμα της προσπάθειας του ανθρώπου να ανταπεξέλθει στις όποιες μεταβολές της ατμόσφαιρας, είτε είναι φυσικές είτε χημικές. Για να γίνει κατανοητή η επίδραση των ατμοσφαιρικών συνθηκών στην ανθρώπινη υγεία και την ευζωία, θα πρέπει να <<μεταφραστεί>> η βασική μετεωρολογική πληροφορία σε έννοιες σχετιζόμενες με την βιολογία του ανθρώπου. Για να γίνει εφικτό το παραπάνω, η επίδραση της ατμόσφαιρας στον άνθρωπο διαχωρίστηκε σε τρεις βασικούς τομείς. Ο **τομέας του θερμικού περιβάλλοντος**, δηλαδή των συνθηκών που επιδρούν στην ανταλλαγή θερμότητας στο σύστημα άνθρωπος-περιβάλλον. Ο **τομέας της άμεσης βιολογικής επίδρασής της ηλιακής**

ακτινοβολίας και τέλος ο **τομέας της επίδρασης της αέριας ρύπανσης** συμπεριλαμβανομένης και των αλλεργιογόνων ουσιών όπως γύρη κ.α. (Lowry 1969, Fanger 1972 , WNO 2004, Allaby 2007).

Για να είναι εφικτή η ποσοτικοποίηση και έκφραση της θερμικής άνεσης του ανθρώπου, έχουν επινοηθεί διάφοροι δείκτες. Αυτοί οι δείκτες, γνωστοί ως **βιομετεωρολογικοί-βιοκλιματικοί δείκτες**, προκύπτουν από τον μαθηματικό συνδυασμό διάφορων μετεωρολογικών παραμέτρων. Σε κάποιους από τους δείκτες αυτούς εισάγονται και γεωμετρικά χαρακτηριστικά περιβάλλοντα χώρου όπως και δεδομένα που αφορούν στα άτομα που δέχονται την επίδραση των περιβαλλοντικών συνθηκών (Ματζαράκης 1995).

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

Τέλος, σημαντικές είναι οι ιδιότητες των υλικών που συνθέτουν το χώρο, όπως η θερμοχωρητικότητα, η ανακλαστικότητα και η θερμική αγωγιμότητα, το σύνολο των οποίων καθορίζει τόσο την θερμική συμπεριφορά αυτού όσο και τις βιοκλιματικές συνθήκες που επικρατούν σε αυτόν. Οι φυτοκαλυμμένες επιφάνειες γενικά αυξάνουν την υγρασία του αέρα, χαρακτηριστικό που να έχει κατά περίπτωση θετική ή αρνητική επίδραση στις βιοκλιματικές συνθήκες. Για παράδειγμα, η αύξηση της υγρασίας του ατμοσφαιρικού αέρα σε μια τροπική αστική περιοχή έχει διαφορετική επίδραση στις διαμορφούμενες κλιματικές συνθήκες σε σχέση με μία μεσογειακή αστική περιοχή ή

άλλη θερμή και ξηρή περιοχή. Γενικότερα, η υποβάθμιση των βιοκλιματικών συνθηκών, παρατηρείται εκεί όπου υπάρχει σημαντική τροποποίηση του φυσικού περιβάλλοντος λόγω της οικιστικής δραστηριότητας και των συνακόλουθων ανθρωπογενών δράσεων με αποτέλεσμα τη διαμόρφωση κυρίως δυσμενέστερων θερμικών συνθηκών. Έχει παρατηρηθεί όμως, ότι η διαμόρφωση του περιβάλλοντα χώρου αποτελεί κυρίαρχο παράγοντα στη δημιουργία ιδιαίτερων κατά περίπτωση βιοκλιματικών συνθηκών. Να σημειωθεί ότι ως διαμόρφωση περιβάλλοντος, εννοείται στις μελέτες που εστιάζουν στις βιοκλιματικές συνθήκες, η γεωμετρία και τα υλικά που συγκροτούν το χώρο καθώς και η γεωγραφική του θέση.

Άρα, όσο αφορά στη θερμική αίσθηση του ανθρώπου έχει αποδειχθεί ότι το άμεσο περιβάλλον επιδρά καθοριστικά και για το λόγο αυτό πολλές μελέτες έχουν εστιάσει στην ανάλυση των συνθηκών θερμικής άνεσης σε διάφορα μικροπεριβάλλοντα. Τελικά οι βιοκλιματικές συνθήκες, δεν είναι οι μόνες στις οποίες υπόκειται ένας χώρος και οι άνθρωποι που βρίσκονται σε αυτόν.

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία πρόκειται να περιγράψουμε το μοντέλο βιοκλιματικών συνθηκών RayMan καθώς και να παρουσιάσουμε αναλυτικά τις χρήσεις του. Επιπρόσθετα θα κάνουμε γνωστό τον τρόπο λειτουργίας του και θα παρουσιάσουμε εκτενέστερα όλα τα στοιχεία που το απαρτίζουν και όλα αυτά που μας βοηθούν να κατανοήσουμε σε μέγιστο βαθμό τη χρησιμότητά του.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο

«ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ ΚΑΙ ΔΕΙΚΤΩΝ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ»

1.1 Εισαγωγικά στοιχεία

Ως θερμική άνεση, ορίζεται η κατάσταση εκείνη κατά την οποία ο εγκέφαλος εκφράζει ικανοποίηση όσον αφορά στο θερμικό περιβάλλον. Διαφορετικά, θα μπορούσαμε να πούμε ότι σε συνθήκες καλής θερμικής άνεσης το άτομο δεν επιθυμεί καμία θερμική αλλαγή στο περιβάλλον του, διότι δεν αισθάνεται ανεπιθύμητη ζέση, ούτε ανεπιθύμητο κρύο. Η εσωτερική θερμοκρασία του ανθρώπινου σώματος είναι σταθερή και κάθε θερμότητα που δημιουργείται από αυτό, πρέπει να αποβάλλεται. Για το λόγο αυτό, συνθήκες βέλτιστης θερμικής άνεσης έχουμε όταν η παραγωγή εσωτερικής θερμοκρασίας εξισώνεται με τις θερμικές απώλειες του σώματος. Η ισορροπία μεταξύ αυτών των παραμέτρων καθορίζει τις συνθήκες θερμικής άνεσης η οποία εξαρτάται από ένα συνδυασμό φυσικών, οργανικών και περιβαλλοντικών παραμέτρων. Εξαιτίας των διαφορών μεταξύ των ανθρώπων και την υποκειμενικότητα του συναισθήματος της θερμικής άνεσης τα διαγράμματα και οι συνθήκες άνεσης που έχουν ορισθεί, ικανοποιούν την πλειοψηφία του πληθυσμού και μάλιστα ένα ποσοστό 80% του πληθυσμού.

1.2 Θερμοκρασία ανθρώπινου σώματος

Η θερμοκρασία του ανθρώπινου σώματος διατηρείται σταθερή, εντός στενών ορίων, ανεξάρτητα της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος και του ρυθμού παραγωγής θερμότητας στο σώμα. Για ένα άτομο στην όρθια στάση και κατά την ηρεμία, η θερμοκρασία του σώματός του κυμαίνεται από 36.4°C έως 37.4 °C (Χατζημηνάς 1972). Η θερμορυθμιστική λειτουργία ή θερμορύθμιση είναι το σύνολο των μηχανισμών με τους οποίους επιτυγχάνεται η διατήρηση του ισοζυγίου θερμότητας κατά τέτοιο τρόπο ώστε να παραμένει σταθερή η θερμοκρασία του σώματος. Οι μηχανισμοί αυτοί αφορούν τη διευκόλυνση ή τη δυσχέρεια αποβολής θερμότητας από το σώμα προς το περιβάλλον.

Γενικά μπορούμε να πούμε ότι η λειτουργία της θερμορύθμισης είναι η μεταβολή της κυκλοφορίας του αίματος διαμέσου των αγγείων του δέρματος, η λειτουργία των ιδρωτοποιών αδένων, των μυών και μέρους των ενδοκρινών αδένων, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η σταθερότητα της θερμοκρασίας του ανθρώπινου σώματος.

Για την κατανόηση των θερμορυθμιστικών μηχανισμών απαιτείται η γνώση των μηχανισμών παραγωγής θερμότητας στο ανθρώπινο σώμα και των μηχανισμών αποβολής θερμότητας από το ανθρώπινο σώμα προς το περιβάλλον του. Η θερμότητα παράγεται στο ανθρώπινο σώμα μέσω των διεργασιών του μεταβολισμού. Η αποβολή δε θερμότητας από το ανθρώπινο σώμα προς το περιβάλλον γίνεται μέσω τριών διαφορετικών μηχανισμών: μέσω αγωγής και μεταφοράς, με ακτινοβολία και τέλος με την εξάτμιση νερού (Χατζημηνάς 1972).

Με αγωγή, αποβάλλεται ποσό θερμότητας από την επιφάνεια του σώματος, προς το ψυχρότερο περιβάλλον. Ο ρυθμός αποβολής θερμότητας από το σώμα εξαρτάται από τη διαφορά θερμοκρασίας του με τον ψυχρότερο, σε σχέση με αυτό, περιβάλλοντα αέρα. Όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος αέρα εξισωθεί με τη θερμοκρασία του ανθρώπινου σώματος, τότε σταματάει η αποβολή θερμότητας από το σώμα προς το περιβάλλον. Όταν δε η θερμοκρασία του περιβάλλοντος αέρα γίνει μεγαλύτερη από αυτή του σώματος, τότε με αγωγή μεταφέρεται θερμότητα από το περιβάλλον προς το σώμα.

Με μεταφορά αποβάλλεται ποσό θερμότητας από το σώμα προς το περιβάλλον με τη μετακίνηση του στρώματος αέρα που είναι ήδη σε επαφή με το σώμα (ίδιας θερμοκρασίας με αυτή του σώματος) και αντικατάστασής του με άλλο στρώμα ψυχρότερου αέρα. Ο ρυθμός αποβολής θερμότητας στην περίπτωση αυτή εξαρτάται και πάλι από τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του ανθρώπινου σώματος και του περιβάλλοντος αυτό αέρα, αλλά και από το ρυθμό εναλλαγής των στρωμάτων αέρα που περιβάλλουν και είναι σε επαφή με το ανθρώπινο σώμα. Ο ρυθμός εναλλαγής των στρωμάτων του αέρα που περιβάλλουν το ανθρώπινο σώμα εμποδίζεται από τα ρούχα. Αυξάνεται δε όταν ο άνθρωπος βρίσκεται μέσα σε ρεύμα αέρα. Για παράδειγμα, όταν ο άνθρωπος βρίσκεται εντός νερού θερμοκρασίας μικρότερης του δέρματος, η αποβολή θερμότητας από το σώμα είναι δεκαπλάσια

περίπου της αντίστοιχης αποβολής θερμότητας από ότι όταν βρίσκεται μέσα σε αέρα της ίδιας θερμοκρασίας με αυτή του νερού. Η διαφορά αυτή οφείλεται στη μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα του νερού.

Με ακτινοβολία αποβάλλεται θερμότητα από το σώμα προς το περιβάλλον με τη μορφή εκπομπής υπέρυθρης ακτινοβολίας. Για να συμβεί αυτό πρέπει βέβαια η θερμοκρασία του σώματος και συγκεκριμένα της επιφάνειας του δέρματος, να είναι μεγαλύτερη της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος. Η συσπείρωση του σώματος έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της αποβολής θερμότητας ενώ η έκταση του σώματος και των άκρων διευκολύνει την αποβολή θερμότητας προς το περιβάλλον.

Τέλος, με την εξάτμιση νερού, αποβάλλεται θερμότητα τόσο μέσω της αναπνευστικής οδού όσο και μέσω του δέρματος, ακόμα και αν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του δέρματος. Η εξάτμιση νερού διαμέσου της αναπνευστικής οδού εξαρτάται από την υγρασία, τη θερμοκρασία αλλά και την ποσότητα του εισπνεόμενου αέρα. Η εξάτμιση νερού από το δέρμα γίνεται με δύο διαφορετικούς τρόπους: α) **Άδηλος διαπνοή**: Η άδηλος διαπνοή είναι η εξάτμιση νερού από τα κύτταρα της επιδερμίδας. Εξαρτάται από τη θερμοκρασία του δέρματος, τη θερμοκρασία και την υγρασία του περιβάλλοντος αέρα και του ρυθμού ανανέωσης του στρώματος αέρα που είναι σε επαφή με το δέρμα, δηλαδή εξαρτάται και από το ρουχισμό. β) **Εφίδρωση**: Είναι η εξάτμιση του εκκρινόμενου από τους ιδρωτοποιούς αδένες ιδρώτα. Η αποβαλλόμενη από το σώμα προς το περιβάλλον θερμότητα, με τον τρόπο αυτό, είναι ανάλογη του ποσού του ιδρώτα. Το ποσό του ιδρώτα μπορεί να υπερβαίνει τα 2 λίτρα/ώρα και μπορεί να φτάσει, για μικρό βέβαια χρονικό διάστημα, τα 4 λίτρα/ώρα (Χατζημηνάς 1972). Απαραίτητη προϋπόθεση βέβαια είναι το άτομο να προσλαμβάνει την ανάλογη ποσότητα νερού και αλατιού (NaCl). Τέλος, ο ρυθμός εξάτμισης του εκκρινόμενου ιδρώτα από το σώμα, που έχει ως αποτέλεσμα την ψύξη του, εξαρτάται από τη θερμοκρασία και κυρίως την υγρασία του αέρα, καθώς επίσης και από το ρυθμό εναλλαγής του αέρα που περιβάλλει το σώμα.

Σύμφωνα με τα παραπάνω είναι εύκολα αντιληπτό πως όταν η θερμοκρασία του αέρα είναι μεγαλύτερη από αυτή του σώματος και συνδυάζεται με σχετικά υψηλή υγρασία του αέρα, τότε μειώνεται η ικανότητα του σώματος να αποβάλλει

προς το περιβάλλον του ποσά θερμότητας. Αυτό έχει ως άμεσο αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος και τη δημιουργία του αισθήματος της θερμικής δυσφορίας που μπορεί να καταλήξει σε θερμοπληξία.

Τα συμπτώματα που ακολουθούν τη θερμοπληξία, κατά κύριο λόγο είναι:

1. Ζάλη, εμετός, παραλήρημα και διανοητική σύγχυση, σπασμοί και καμιά φορά πλήρης απώλεια αισθήσεων. Ο άνθρωπος που έχει υποστεί θερμοπληξία μπορεί να έχει σκοτοδίνη και να μη μπορεί να σταθεί όρθιος.
2. Το δέρμα είναι καυτό, ερυθρό και ξηρό. Ο πυρετός φτάνει και ξεπερνάει τους 41°C. Η αναπνοή είναι γρήγορη ενώ ο σφυγμός εξασθενεί προοδευτικά.

Αν ο ασθενής παραμείνει ως έχει, γρήγορα παθαίνει μαζική καταστροφή των μυών, νεφρική και αναπνευστική ανεπάρκεια που εκδηλώνονται με αναστολή της αποβολής ούρων και με πνευμονικό οίδημα. Οι αρρυθμίες από την καρδιά είναι παρούσες ενώ βλάπτεται και η πήξη του αίματος. Ο θάνατος κάτω από αυτές τις συνθήκες είναι αναπόφευκτος.

Θα πρέπει να διακρίνουμε τη θερμοπληξία από τη θερμική εξάντληση. Η τελευταία οφείλεται σε μεγάλη απώλεια υγρών από τη ζέστη και δεν απουσιάζει η εφίδρωση ενώ ο πυρετός είναι χαμηλός ή απών. Τα συμπτώματα και η όλη εικόνα της θερμικής εξάντλησης είναι λιγότερο δραματικά.

Για να συμβεί θερμοπληξία σε κάποιον άνθρωπο θα πρέπει εκτός του συνδυασμού της υψηλής θερμοκρασίας και υγρασίας του αέρα να υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που προδιαθέτουν στη θερμοπληξία.

Μερικοί από αυτούς τους παράγοντες είναι:

1. Ηλικία άνω των 65 ετών.
2. Παιδική ηλικία και κυρίως τα βρέφη.
3. Καρδιακή ανεπάρκεια, αναπνευστικά προβλήματα, χρόνια ασθένεια των νεφρών ή του ήπατος (συκώτι).
4. Χρήση αλκοόλ και άλλων κατασταλτικών φαρμάκων.
5. Χρήση αντικαταθλιπτικών φαρμάκων, φαινοθειαζινών, αντιπαρκινσονικών, ορισμένων αντιαλλεργικών κ.λπ.
6. Ιστορικό παλαιότερης θερμοπληξίας.
7. Μοναχικά εξασθενημένα άτομα.

8. Υπέρβαρα άτομα.

9. Ερασιτέχνες απροπόνητοι αθλητές σε κοπιώδεις αθλητικές δραστηριότητες (πχ. σε μαραθώνιο).

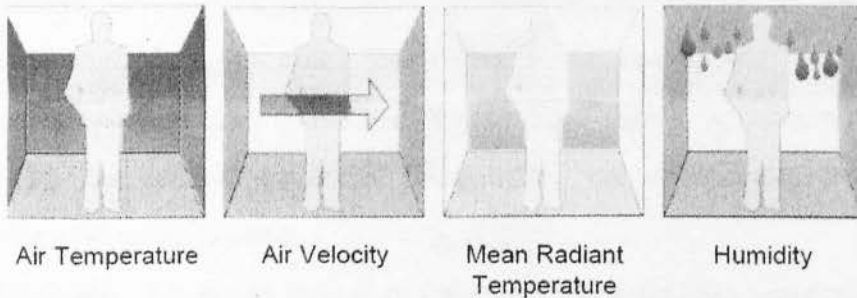
10. Εργασία κάτω από πολύ υψηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Η θερμοπληξία είναι βαριά και επείγουσα κατάσταση που μπορεί να οδηγήσει σε σοκ. Η άμεση θερμική βλάβη του μυοκαρδίου συνεπάγεται ελαττωμένη καρδιακή παροχή και αρρυθμίες, ενώ συνήθεις είναι οι εκδηλώσεις από τον εγκέφαλο. Πόνοι στους μυς, αγγειακά επεισόδια και φλεγμονώδεις εξεργασίες συνοδεύουν τις κλινικές εκδηλώσεις (Μουντοκαλάκης 2002).

Εάν βρεθούμε αντιμέτωποι με περίπτωση θερμοπληξίας, θα πρέπει να γίνουν τα ακόλουθα μέχρι να φτάσει γιατρός ή να μεταφερθεί ο ασθενής σε νοσοκομείο (ΕΚΑΒ 2008):

- Ο θεرمόπληκτος, χωρίς καθυστέρηση, θα πρέπει να μεταφερθεί σε σκιερό, δροσερό και αν είναι δυνατόν αεριζόμενο μέρος.
- Να ξαπλώσει ανάσκελα και να απομακρυνθούν όλοι όσοι από περιέργεια ή ενδιαφέρον τού εμποδίζουν τον αερισμό.
- Να τροφοδοτείται με αέρα χρησιμοποιώντας κάθε πρόχειρο μέσο (βεντάλιες, χαρτόνια κ.λπ.).
- Να αφαιρούνται τα βαριά ρούχα, να τοποθετούνται ψυχρά επιθέματα και να βρέχεται με κρύο νερό όλο του το σώμα.
- Αν μπορεί εκείνη τη στιγμή ο θεرمόπληκτος να πει υγρά, αξιοποιούμε αυτή τη δυνατότητα.

1.3 Παράμετροι θερμικής άνεσης



Σχήμα 1. Παράμετροι θερμικής άνεσης.

Εξωτερικοί Παράγοντες	Προσωπικοί Παράγοντες
Θερμοκρασία χώρου ($^{\circ}\text{C}$)	Βάρος (Kg)
Θερμοκρασία ακτινοβολίας ($^{\circ}\text{C}$)	Εμβαδόν επιφάνειας σώματος (m^2)
Βαρομετρική πίεση (hPa)	Αντίσταση ένδυσης (clo)
Πίεση ατμών H_2O (hPa)	Μεταβολικός Ρυθμός (W m^{-2})
Σχετική υγρασία (%)	Ρυθμός μηχανικού έργου (W m^{-2})
Ταχύτητα αέρα χώρου (m s^{-1})	Χρόνος έκθεσης (min)

Πίνακας 1: Εξωτερικοί και προσωπικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμική άνεση (*dspace.lib.ntua.gr, Αργυράκη Μ. Ιούλιος 2008*)

1.3.1 Εξωτερικές παράμετροι

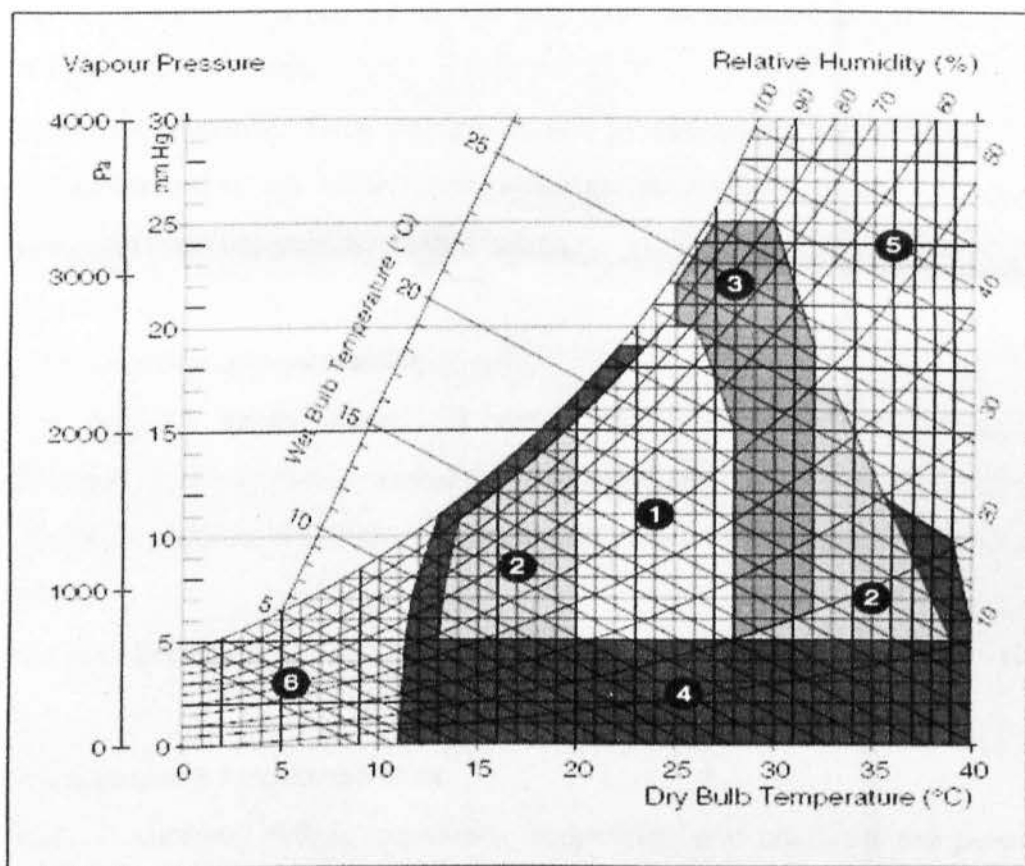
- **Θερμοκρασία αέρα χώρου:** Πρόκειται για τη θερμοκρασία ξηρού βολβού του αέρα του χώρου, στον οποίο βρίσκεται το άτομο και είναι ιδιαίτερα σημαντική, διότι το μεγαλύτερο ποσοστό της θερμότητας που χάνεται από το ανθρώπινο σώμα μεταφέρεται στον αέρα. Αξιοσημείωτο είναι ότι η μέγιστη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του επιπέδου του πατώματος και του ταβανιού (δηλαδή η διαφορά θερμοκρασίας που αντιλαμβάνεται το άτομο μεταξύ των ποδιών και του κεφαλιού του αντίστοιχα) πρέπει να είναι μέχρι 3°C . Η δε θερμοκρασία δαπέδου συνίσταται να κυμαίνεται μεταξύ $19-29^{\circ}\text{C}$.
- **Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας των εσωτερικών επιφανειών:** Αναφέρεται στην θερμότητα που ακτινοβολείται από τις θερμές επιφάνειες του εσωτερικού χώρου. Είναι πολύ σημαντική παράμετρος, διότι επηρεάζει τη θερμότητα που χάνεται με ακτινοβολία και με αγωγιμότητα (σε περίπτωση επαφής) από το σώμα προς τις επιφάνειες. Το δέρμα απορροφά μεγάλα ποσά από αυτή τη θερμότητα, πράγμα που μπορεί, ωστόσο, να μειωθεί λόγω της ανακλαστικότητας των ρούχων. Ένα καλά μονωμένο κτήριο εξασφαλίζει θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας των εξωτερικών τοίχων πολύ κοντά στη θερμοκρασία χώρου, περιορίζοντας έτσι τις απώλειες της ακτινοβολουμένης θερμότητας, με αποτέλεσμα την επίτευξη καλύτερης θερμικής άνεσης.
- **Ταχύτητα αέρα:** Μέσα στα κτήρια, οι ταχύτητες του αέρα είναι μικρότερες από 0.2 m/s . Η σχετική όμως ταχύτητα του αέρα που οφείλεται στη δραστηριότητα του

ατόμου ποικίλει από 0-0,1 για δουλειά γραφείου, έως 0.5-2 m/s, για πιο έντονες δραστηριότητες.

- **Σχετική υγρασία:** Όταν το νερό θερμαίνεται και εξατμίζεται στο περιβάλλοντα χώρο, παρέχει ως αποτέλεσμα υγρασία στον αέρα του χώρου. Σχετική υγρασία είναι ο λόγος του ποσού της υγρασίας στον αέρα προς την υγρασία που θα περιείχε, αν ήταν κορεσμένος στην ίδια θερμοκρασία και πίεση. Σχετική υγρασία ποσοστού 40% έως 70%, δεν έχει ιδιαίτερη επίδραση στη θερμική άνεση. Σε κάθε περίπτωση, η σχετική υγρασία πρέπει να είναι πάνω από 20% ώστε να εμποδίζεται η αποξήρανση των βλεννογόνων και κάτω από 80% για την αποφυγή σχηματισμού μούχλας στο κτήριο.

Συνθήκες	Σχετική Υγρασία	Αποδεκτή Θερμοκρασία Χώρου (°C)
Καλοκαίρι (ελαφριά ένδυση)	30%	24,5-28
	60%	23-25,5
Χειμώνας (ζεστός ρουχισμός)	30%	20,5-25,5
	60%	20-24

Πίνακας 2 : Σχέση θερμοκρασίας- σχετικής υγρασίας για θερμική άνεση (ASHRAE 55-2004)



Σχήμα 2: Ένδειξης θερμικής άνεσης σε συνθήκες εσωτερικού χώρου. 1. Ζώνη θερμικής άνεσης, 2. Ζώνη εφαρμογής παθητικών συστημάτων θέρμανσης, 3. Ζώνη ανάγκης αερισμού, 4. Ζώνη επίδρασης στους χρήστες, 5. Ζώνη ανάγκης μηχανικής ψύξης, 6. Ζώνη ανάγκης θέρμανσης. (dspace.lib.ntua.gr, Αργυράκη Μ. Ιούλιος 2008).

1.3.2 Ατομικές-Προσωπικές Παράμετροι

- **Μεταβολισμός:** Περιγράφει τη θερμότητα που παράγεται στο σώμα μας, ως αποτέλεσμα χημικών αντιδράσεων. 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 θερμοκρασία 36.7 °C. Ωστόσο, η θερμοκρασία του σώματος είναι συνήθως υψηλότερη από αυτή του περιβάλλοντος. Συνεπώς, οι αντιδράσεις μεταβολισμού συμβαίνουν συνεχώς για να αντισταθμίσουν την απώλεια θερμότητας προς το περιβάλλον.
- **Ένδυση:** Παρεμβαίνει στην ιδιότητα μας να αποβάλλουμε θερμότητα προς το περιβάλλον, για αυτό είναι πολύ σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει τη θερμική άνεση. Η θερμική αντίσταση στην ανταλλαγή θερμότητας, μεταξύ της επιφάνειας του

δέρματος και της γύρω ατμόσφαιρας, που οφείλεται στο ρουχισμό, μετριέται σε clo, όπου $1 \text{ clo} = 0.155 \text{ m}^2 \text{ K/watt}$.

- **Θερμοκρασία δέρματος:** Είναι συνάρτηση του μεταβολισμού, της ένδυσης, της θερμοκρασίας χώρου και άλλων παραγόντων και σε αντίθεση με την εσωτερική θερμοκρασία σώματος, αυτή δεν είναι σταθερή.

1.3.3 Εξίσωση θερμικής ισορροπίας

Η θερμική άνεση μπορεί να επιτευχθεί με πολλούς διαφορετικούς συνδυασμούς των παραπάνω παραμέτρων. Το ζητούμενο είναι να υπάρχει πάντα μια θερμική ισορροπία του σώματος, όπως μπορεί να περιγραφεί από την παρακάτω εξίσωση:

$$\mathbf{M-W=R+C+E+L+K+S} \quad (1)$$

όπου:

Ρυθμός παραγωγής θερμότητας=**M-W**

M: είναι ο συνολικός ρυθμός παραγωγής θερμότητας που οφείλεται στο ρυθμό κατανάλωσης οξυγόνου ($1 \text{ litre O}_2 = 5 \text{ kcal} = 20.000 \text{ joules}$)

W: ο ρυθμός παραγωγής μηχανικού έργου που παράγεται από το ανθρώπινο σώμα
Ρυθμός απωλειών θερμότητας= $R+C+E+L+K+S$

R: η ακτινοβολία θερμότητας μεταξύ του δέρματος ή της επιφάνειας ρουχισμού και των περιβαλλουσών επιφανειών (π.χ. τοίχοι). Σε κατάσταση ξεκούρασης και σε θερμοκρασία χώρου $21 \text{ }^\circ\text{C}$, το 60% των θερμικών απωλειών από το σώμα οφείλεται στη μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία.

C: απώλεια θερμότητας δια συναγωγής (ο αέρας κοντά στο σώμα απορροφάει θερμότητα), που σε κατάσταση ξεκούρασης του ατόμου συμβάλλει κατά 18% στις συνολικές απώλειες θερμότητας.

E: πρόκειται για τις απώλειες θερμότητας από το σώμα λόγω εξάτμισης του νερού δια μέσου των εξωτερικών στρωμάτων της επιδερμίδας ή εξάτμισης του ιδρώτα που βρίσκεται στην επιφάνεια της επιδερμίδας.

L: αναφέρεται στην θέρμανση και ύγρανση του αέρα που εισπνέεται και έπειτα εκπνέεται.

K: απώλεια θερμότητας με συναγωγή, μέσω της αμέσου επαφής του δέρματος με τις επιφάνειες (π.χ. όταν κάθεται κανείς σε κρύα επιφάνεια). Σε κατάσταση ξεκούρασης του ατόμου και σε θερμοκρασία χώρου 21 °C ο παράγοντας αυτός είναι υπεύθυνος για το 3% των συνολικών απωλειών.

S: ο ρυθμός αποθήκευσης της θερμότητας στο σώμα. Ιδανικά, όταν υπάρχει θερμική ισορροπία, ο παράγοντας αυτός πρέπει να λαμβάνει την τιμή μηδέν (0), δηλαδή:

Ρυθμός παραγωγή θερμότητας= Ρυθμός απωλειών θερμότητας χωρίς αποθήκευση

Άλλη έκφραση της θερμικής ισορροπίας, παρόμοια με την προαναφερθείσα είναι η εξής:

$$M-W=(C+R+E_{sk})+(C_{res}+E_{res})+(S_{sk}+S_{cr}) \quad (2)$$

όπου:

C+R: είναι οι απώλειες θερμότητας από το δέρμα λόγω συναγωγής και ακτινοβολίας

E_{sk}: πρόκειται για τις απώλειες θερμότητας από το δέρμα λόγω εξάτμισης

C_{res}: απώλειες θερμότητας λόγω συναγωγή κατά την αναπνοή

E_{res}: είναι οι απώλειες θερμότητας λόγω εξάτμισης κατά την διαδικασία της αναπνοής

S_{sk}: είναι η αποθήκευση θερμότητας στο δέρμα

S_{cr}: η αποθήκευση θερμότητας στο εσωτερικό του σώματος

1.4 Δείκτες θερμικής άνεσης

Η επίδραση των περιβαλλοντικών συνθηκών στη δημόσια υγεία έχει εκτενώς μελετηθεί ακόμα και κατά την αρχαιότητα στην Ελλάδα. Σε ένα από τα κείμενα του «περί αέρων, υδάτων και τόπων», το 480 π.Χ. ο Ιπποκράτης τεκμηριώνει τη σχέση που έχουν οι καιρικές συνθήκες με την κατάσταση της υγείας του πληθυσμού. Στο ίδιο κείμενο, αναφέρεται ειδικά στους νότιους ανέμους και στο πώς αυτοί αυξάνουν τη νοσηρότητα και συνδέονται με μία σειρά προβλημάτων υγείας.

Για τη διευκόλυνση των επιστημόνων στη μελέτη της θερμικής άνεσης-δυσφορίας του πληθυσμού έχει προταθεί ένας μεγάλος αριθμός βιοκλιματικών δεικτών (Nastos κ.α. 2006). Τις τελευταίες δεκαετίες έχουν προταθεί και μελετηθεί πολλοί δείκτες που περιγράφουν τόσο την εσωτερική όσο και την εξωτερική θερμική άνεση του πληθυσμού. Με έναν σχετικά απλό τρόπο θα μπορούσαμε να ταξινομήσουμε τους δείκτες αυτούς σε τέσσερις κατηγορίες (Scudo 2002):

- 1) Εμπειρικοί δείκτες θερμικής άνεσης-δυσφορίας που συνδυάζουν μερικές μόνο παραμέτρους και μπορούν να έχουν εφαρμογή σε συγκεκριμένες κλιματικές περιοχές.
- 2) Ψυχο-κοινωνικοί κλιματικοί δείκτες οι οποίοι συσχετίζουν την υποκειμενική αντίληψη του ατόμου ως προς τη θερμική άνεση ή δυσφορία με μικροκλιματικές παραμέτρους.
- 3) Δείκτες που υπολογίζονται από εξισώσεις ενεργειακού ισοζυγίου που βασίζονται σε μοντέλα δύο κόμβων για το ανθρώπινο σώμα καθώς επίσης και στον υπολογισμό των θερμικών εμπλεκόμενων κλιματικών παραμέτρων.
- 4) Δείκτες που υπολογίζονται από εξισώσεις ενεργειακού ισοζυγίου που βασίζονται σε μοντέλα ενός κόμβου για το ανθρώπινο σώμα.

Το 1938 ο Buttner (Buttner 1938) αναφέρει ότι για τη μελέτη της θερμικής επίδρασης του περιβάλλοντος στο ανθρώπινο σώμα πρέπει να ληφθούν υπόψη όλες οι θερμικές παράμετροι που έχουν σχέση με το πρόβλημα αυτό. Από τότε και μέχρι σήμερα έχουν χρησιμοποιηθεί αρκετοί δείκτες θερμικής άνεσης-δυσφορίας. Ο δείκτης του Lee (Lee 1958) ο οποίος είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας και της υγρασίας του αέρα καθώς επίσης και της ταχύτητας του ανέμου. Ο δείκτης των Siple και Passel (Siple και Passel 1945) που είναι γνωστός και ως δείκτης ψυκτικής ισχύος (Cooling Power) και είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας του αέρα και της ταχύτητας του ανέμου. Ο δείκτης θερμικής δυσφορίας του Thom (Thom 1959, Giles κ.α. 1990, Tzenkova κ.α. 2003) που είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας του αέρα και της σχετικής υγρασίας. Ο δείκτης του Kawamura (Kawamura 1965) που είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας του αέρα και του σημείου δρόσου. Ο δείκτης της αποτελεσματικής θερμοκρασίας (Effective Temperature Index) που συνδυάζει τις μέσες μηνιαίες τιμές της θερμοκρασίας και της υγρασίας του αέρα (Gregorczyk και Cena 1967). Ο ξηρός δείκτης ψυκτικής ισχύος που προτάθηκε από τον Vinje (Landsberg 1972) και είναι συνάρτηση της ταχύτητας του αέρα και της θερμοκρασίας του. Ο βιοκλιματικός δείκτης της Φυσιολογικά Ισοδύναμης Θερμοκρασίας (Hörpe 1984, 1999, VDI 1998, Matzarakis κ.α. 2007) γνωστός και ως PET (Physiologically Equivalent Temperature) που βασίζεται στο ανθρώπινο ενεργειακό ισοζύγιο και περιγράφει τη συνδυασμένη επίδραση του θερμικού περιβάλλοντος στο ανθρώπινο σώμα (Nastos και Matzarakis

2008). Ο δείκτης PMV (Predicted Mean Vote) που είναι ένας πιο σύνθετος δείκτης θερμικής άνεσης-δυσφορίας (Fagner 1972, Jendritzky κ.α. 1979, Jendritzky και Nübler 1981, Mayer και Höpffe 1987) και λαμβάνει υπόψη του πολλές παραμέτρους.

Στη συνέχεια δίνονται αναλυτικότερα πληροφορίες για τους δείκτες που χρησιμοποιούνται στη πτυχιακή, οι οποίοι περιγράφουν τη θερμική άνεση-δυσφορία. Πρόκειται για τους πιο συχνά αναφερόμενους και χρησιμοποιούμενους δείκτες στη διεθνή βιβλιογραφία.

1.4.1 Δείκτης θερμικής δυσφορίας DI του Thom

Ο δείκτης θερμικής δυσφορίας DI (Discomfort Index) του Thom (Thom 1959) αναφέρεται σε συνθήκες κλωβού, δηλαδή συνθήκες σκίασης απουσία ανέμου. Επίσης, προϋποθέτει ότι το άτομο βρίσκεται σε κατάσταση χαλάρωσης χωρίς έντονη σωματική δράση και με ελαφρύ ρουχισμό (Moustris κ.α. 2008). Μπορεί να αποδώσει τη θερμική άνεση-δυσφορία των ατόμων σε εσωτερικούς χώρους και σε ωριαία βάση. Για τον υπολογισμό των τιμών του δείκτη DI χρησιμοποιούνται τιμές της θερμοκρασίας του αέρα ($^{\circ}\text{C}$) και οι αντίστοιχες τιμές της σχετικής υγρασίας (%) του αέρα. Η εξίσωση υπολογισμού των τιμών του δείκτη DI είναι η παρακάτω (Giles κ.α. 1990, Tzenkova κ.α. 2003):

$$DI = T - (0.55 - 0.0055 \times RH) \times (T - 14.5) \quad \text{σε } ^{\circ}\text{C} \quad (3)$$

όπου T η θερμοκρασία του αέρα σε $^{\circ}\text{C}$ και RH η σχετική υγρασία (%) του ατμοσφαιρικού αέρα.

Είναι γενικά ένας εύχρηστος και εύκολα υπολογιζόμενος δείκτης. Χρησιμοποιείται και έχει εφαρμογή μόνο για την περιγραφή της θερμικής άνεσης-δυσφορίας στη διάρκεια της θερμής περιόδου του έτους ενώ δεν μπορεί να περιγράψει με σαφήνεια τη δυσφορία του ατόμου κάτω από χαμηλές θερμοκρασίες, δηλαδή την ψυχρή περίοδο του έτους. Η ταξινόμηση των τιμών του δείκτη DI και το αντίστοιχο αίσθημα θερμικής άνεσης-δυσφορίας που δημιουργείται στον πληθυσμό, φαίνονται στον Πίνακα 3 (Giles κ.α. 1990).

DI (°C)	Αίσθημα που δημιουργείται
DI<21	Καμία δυσφορία δεν παρατηρείται στον πληθυσμό
21≤DI<24	Ποσοστό μικρότερο του 50% του πληθυσμού αισθάνεται δυσφορία
24≤DI<27	Ποσοστό μεγαλύτερο του 50% του πληθυσμού αισθάνεται δυσφορία
27≤DI<29	Το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού αισθάνεται δυσφορία
29≤DI<32	Όλος ο πληθυσμός αισθάνεται δυσφορία
DI≥32	Κατάσταση επικινδυνότητας. Ανάγκη επιβολής ιατρικών και άλλων μέτρων

Πίνακας 3: Ταξινόμηση των τιμών δείκτη DI του Thom (Giles κ.α. 1990).

1.4.2 Δείκτης ψυκτικής ισχύος

Ο δείκτης ψυκτικής ισχύος CP (Cooling Power) προτάθηκε από τους Siple και Passel (Siple και Passel 1945) και είναι και αυτός ένας εύχρηστος και εύκολα υπολογιζόμενος δείκτης που μπορεί να περιγράψει αρκετά ικανοποιητικά τη θερμική άνεση-δυσφορία του πληθυσμού. Προϋποθέτει και αυτός ότι το άτομο βρίσκεται σε σχετική ηρεμία χωρίς έντονη σωματική δράση και απουσία ηλιακής ακτινοβολίας. Έχει ως μονάδα μέτρησης το W/m^2 και ουσιαστικά εκφράζει το ποσό θερμότητας που μπορεί να αποβάλει το σώμα προς το περιβάλλον στη μονάδα του χρόνου και ανά μονάδα επιφάνειας, ώστε να ψυχθεί. Όταν ο δείκτης CP παίρνει μεγάλες τιμές, σημαίνει πρακτικά πως το σώμα διώχνει προς το περιβάλλον του μεγάλα ποσά θερμότητας και ψύχεται. Αντίστοιχα, όταν ο δείκτης CP παίρνει μικρές τιμές, τότε το σώμα αποβάλλει προς το περιβάλλον του μικρά ποσά θερμότητας με αποτέλεσμα να δημιουργείται ένα αίσθημα θερμικής δυσφορίας. Όταν δε οι τιμές του δείκτη είναι αρνητικές, πρακτικά σημαίνει ότι το σώμα δέχεται πλέον ποσά θερμότητας από το περιβάλλον του και έτσι δεν μπορεί να ψυχθεί αλλά αντιθέτως υπερθερμαίνεται. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία έντονου αισθήματος θερμικής δυσφορίας. Ο δείκτης CP υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση (Bensancenot κ.α. 1978, Tzenkova κ.α. 2003):

$$CP = 1.163 \times (10.45 + 10 \times \sqrt{V} - V) \times (33 - T) \quad \text{σε } W/m^2 \quad (4)$$

όπου V η ταχύτητα του αέρα σε m/sec και T η θερμοκρασία του αέρα σε °C.

Η ταξινόμηση των τιμών του δείκτη CP καθώς επίσης και το αντίστοιχο αίσθημα που δημιουργείται στον πληθυσμό, φαίνονται στον Πίνακα 4 (Bensancenot κ.α. 1978):

CP (W/ m ²)	Αίσθημα που δημιουργείται
CP<0	Πολύ ισχυρή δυσφορία του πληθυσμού λόγω ζέστης
0<CP≤174	Ισχυρή δυσφορία του πληθυσμού λόγω ζέστης
175≤CP≤349	Μερική δυσφορία του πληθυσμού λόγω ζέστης
350≤CP≤699	Αίσθημα θερμικής άνεσης στον πληθυσμό
700≤CP≤1049	Μερική δυσφορία του πληθυσμού λόγω ψύχους
CP≥1050	Πολύ ισχυρή δυσφορία του πληθυσμού λόγω ψύχους

Πίνακας 4: Ταξινόμηση των τιμών δείκτη CP (Bensapcenot κ.α. 1978).

Ο δείκτης CP μπορεί να περιγράψει εξίσου ικανοποιητικά τη θερμική άνεση-δυσφορία του πληθυσμού τόσο κατά τη θερμή όσο και κατά την ψυχρή περίοδο του έτους.

1.4.3 Φυσιολογικά ισοδύναμη θερμοκρασία (PET)

Ο θερμικός δείκτης της φυσιολογικά ισοδύναμης θερμοκρασίας, γνωστός και ως PET (Physiologically Equivalent Temperature) βασίζεται στο ενεργειακό ισοζύγιο του ανθρώπινου σώματος και περιγράφει το συνδυασμό της επίδρασης του περιβάλλοντος στον άνθρωπο. (Hörpe 1999, Matzarakis κ.α. 1999, Matzarakis και Rutz 2005, Nastos και Matzarakis 2006). Είναι ένας σύνθετος δείκτης που για τον υπολογισμό του είναι αναγκαία η γνώση πολλών παραμέτρων. Κατά καιρούς έχουν προταθεί διάφορα μοντέλα υπολογισμού των τιμών του δείκτη PET. Ένα από αυτά είναι και το μοντέλο RayMan (Matzarakis κ.α. 2007). Με εφαρμογή του μοντέλου RayMan μπορούν να υπολογιστούν οι ωριαίες τιμές του δείκτη PET σε °C.

Στον Πίνακα 5 εμφανίζονται οι τιμές της φυσιολογικά ισοδύναμης θερμοκρασίας PET και το αντίστοιχο αίσθημα θερμικής άνεσης-δυσφορίας που προκαλείται στον πληθυσμό (Matzarakis κ.α. 1999).



ΡΕΤ (°C)	Θερμική αίσθηση	Βαθμός θερμο-φυσιολογικής επιβάρυνσης
4	Πολύ κρύο	Ακραία ψυχρή επιβάρυνση
8	Κρύο	Ισχυρή ψυχρή επιβάρυνση
13	Δροσερό	Μέτρια ψυχρή επιβάρυνση
18	Ελαφρά δροσερό	Ελαφρά ψυχρή επιβάρυνση
23	Θερμικά ουδέτερο (θερμική άνεση)	Δεν υπάρχει θερμική επιβάρυνση
29	Ελαφρά θερμό	Ελαφρά θερμική επιβάρυνση
35	Θερμό	Μέτρια θερμική επιβάρυνση
41	Πολύ ζεστό	Ισχυρή θερμική επιβάρυνση
>41	Πάρα πολύ ζεστό	Ακραία θερμική επιβάρυνση

Πίνακας 5: Κατώφλια της φυσιολογικά ισοδύναμης θερμοκρασίας (ΡΕΤ) για διάφορους βαθμούς του θερμικού αισθήματος από τους ανθρώπους (Matzarakis κ.α. 1999).

1.4.4 Προβλεπόμενη μέση ψήφος (PMV)

Η θερμική άνεση του ανθρώπου σχετίζεται κυρίως με το σύνολο του θερμικού ισοζυγίου του σώματός του. Το θερμικό αυτό ισοζύγιο επηρεάζεται κατά κύριο λόγο από δύο ειδών παράγοντες. Τους προσωπικούς-υποκειμενικούς και τους κλιματικούς παράγοντες. Στους προσωπικούς-υποκειμενικούς παράγοντες θα μπορούσαμε να αναφέρουμε τη σωματική δραστηριότητα του ατόμου και το είδος και το ποσό του ρουχισμού του. Στους κλιματικούς παράγοντες κατατάσσονται η θερμοκρασία του περιβάλλοντος αέρα, η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας, η ταχύτητα και η υγρασία του αέρα. Όταν οι προσωπικοί παράγοντες έχουν καλώς προσδιορισθεί και οι κλιματικοί παράγοντες έχουν σωστά μετρηθεί, το αίσθημα δυσφορίας για το ανθρώπινο σώμα (θερμική άνεση-δυσφορία) μπορεί να προσδιορισθεί με τον υπολογισμό του δείκτη της προβλεπόμενης μέσης ψήφου, γνωστού και ως PMV (Predicted Mean Vote).

Έτσι ο δείκτης PMV περικλείει την επίδραση έξι παραμέτρων θερμικής άνεσης, της θερμοκρασίας αέρα, της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας, της ταχύτητας αέρα, της υγρασίας, της δραστηριότητας και του ρουχισμού.

Μια διαπίστωση που έχει γίνει είναι ότι ένας αριθμός ανθρώπων που βρίσκεται στον ίδιο χώρο, με τις ίδιες συνθήκες, εκτελώντας την ίδια δραστηριότητα και ακόμα και αν φορά τα ίδια ρούχα, θα έχει διαφορετική αντίληψη περί της θερμικής άνεσης. Οπότε οι τιμές ψήφων των ατόμων θα διαφέρουν μεταξύ τους και κυμαίνονται γύρω από τη μέση τιμή. Πρέπει να ληφθεί υπόψη ακόμα και το γεγονός ότι υπάρχει ανομοιομορφία συνθηκών σε ένα χώρο, όπως αυτή που παρατηρείται κοντά σε παράθυρα, στα αέρια ρεύματα που τυχόν υπάρχουν ή δημιουργούνται σε ένα χώρο, στις θερμοκρασιακές διαφορές που υπάρχουν από το πάτωμα έως την οροφή, και γενικά σε ότι αφορά τις τοπικές συνθήκες άνεσης.

Ο δείκτης PMV βασίζεται στο θερμικό ισοζύγιο του ανθρώπινου σώματος και υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση (Markov, 2002):

$$PMV = (0.028 + 0.303 \times e^{(-0.036M)}) \times [(M - W) - H - E - C_{res} - E_{res}] \quad (5)$$

όπου:

M: ο ρυθμός μεταβολισμού του ατόμου σε (W/m^2)

W: ο ρυθμός παραγωγής μηχανικού έργου από το άτομο εξαιτίας της σωματικής του δραστηριότητας σε (W/m^2)

H: ο ρυθμός με τον οποίο αποβάλλει το σώμα προς το περιβάλλον θερμότητα με αγωγή, ακτινοβολία και μεταφορά σε (W/m^2)

E: το ποσό θερμότητας που απάγεται λόγω εξάτμισης σε κατάσταση θερμικής ισορροπίας σε (W/m^2)

C_{res}: ο ρυθμός με τον οποίο ανταλλάσσεται με το περιβάλλον θερμότητα με αγωγή μέσω της αναπνοής σε (W/m^2)

E_{res}: ο ρυθμός με τον οποίο ανταλλάσσεται με το περιβάλλον θερμότητα με εξάτμιση μέσω πάλι της αναπνευστικής οδού σε (W/m^2).

Ο δείκτης PMV δίνει ουσιαστικά τη μέση τιμή της ψήφου-γνώμης από ένα μεγάλο σύνολο ανθρώπων που βρίσκονται στις ίδιες συνθήκες σε ότι αφορά τη θερμική τους άνεση-δυσφορία και γι' αυτό καλείται και προβλεπόμενη μέση ψήφος. Στον Πίνακα 6 εμφανίζονται οι τιμές του δείκτη PMV καθώς επίσης και το αντίστοιχο αίσθημα θερμικής άνεσης-δυσφορίας (Markov 2002).

PMV	Θερμική αίσθηση
-3	Ισχυρή ψυχρή επιβάρυνση
-2	Μέτρια ψυχρή επιβάρυνση
-1	Ελαφρά ψυχρή επιβάρυνση
0	Θερμική ουδετερότητα
1	Ελαφρά θερμική επιβάρυνση
2	Μέτρια θερμική επιβάρυνση
3	Ισχυρή θερμική επιβάρυνση

Πίνακας 6: Τιμές του δείκτη PMV και το αντίστοιχο αίσθημα θερμικής άνεσης-δυσφορίας (Markon 2002).

Σύμφωνα με το ISO 7730 (1994) ο δείκτης PMV μπορεί να χρησιμοποιείται μόνον όταν παίρνει τιμές από -2 έως και 2 και ταυτόχρονα οι 6 βασικές παράμετροι, που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του, έχουν τιμές μέσα στα όρια που φαίνονται στον Πίνακα 7.

Μέγεθος-Παράμετρος	Τιμές-Όρια
M	Από 46 έως 232 W/m ² (Από 0.8 met έως 4.0 met)
I _{cl}	Από 0 έως 0.31 m ² °K/W (Από 0 clo έως 2 clo)
t _a	Από 10 °C έως 30 °C
\bar{t}_r	Από 10 °C έως 40 °C
v _{ar}	Από 0 m/s έως 1 m/s
p _a	Από 0 Pa έως 2700 Pa (η σχετική υγρασία του αέρα πρέπει να κυμαίνεται από 30% έως 70%)

Πίνακας 7: Όρια τιμών των 6 βασικών παραμέτρων για τον υπολογισμό του δείκτη PMV (ISO 7730 1994, Markon 2002).

Με βάση το ISO 7730 (1994) και τις τιμές του Πίνακα 7 ο δείκτης PMV μπορεί πλέον να υπολογιστεί σύμφωνα με τη σχέση (Markon 2002):

$$PMV = (0.303 \times e^{-0.036M} + 0.028) \times \left\{ \begin{array}{l} (M - W) - 3.05 \times 10^{-3} \times [5733 - 6.99 \times (M - W) - p_a] - \\ - 0.42 \times [(M - W) - 5815] - 1.7 \times 10^{-5} \times \\ \times M \times (5867 - p_a) - 0.0014 \times M \times (34 - t_a) - \\ - 3.96 \times 10^{-8} \times f_{cl} \times [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] - \\ - f_{cl} \times h_c \times (t_{cl} - t_a) \end{array} \right\} \quad (6)$$

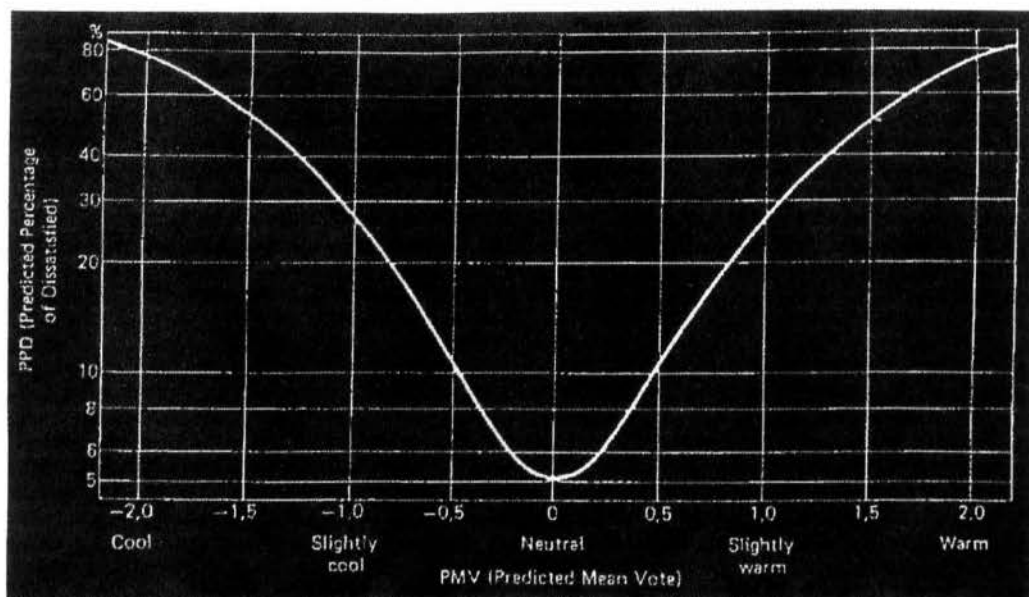
όπου f_{cl} το κλάσμα της επιφάνειας του σώματος που είναι καλυμμένο με ρούχα σε σχέση με αυτό που είναι ακάλυπτο χωρίς ρουχισμό (γυμνό), t_a η θερμοκρασία του αέρα σε °C, \bar{t}_r η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας σε °C, v_{ar} η σχετική ταχύτητα του αέρα ως προς το ανθρώπινο σώμα σε m/s, p_a η μερική πίεση των υδρατμών σε Pa, h_c ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας σε W/(m² K) και t_{cl} η θερμοκρασία της επιφάνειας του ρουχισμού σε °C.

Σύμφωνα με την παραπάνω σχέση, ο υπολογισμός του δείκτη PMV μπορεί πλέον να γίνει για διαφορετικούς συνδυασμούς του ρυθμού μεταβολής του ατόμου, του ρουχισμού του, της θερμοκρασίας, της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας, της ταχύτητας και της υγρασίας του αέρα.

Επειδή ο δείκτης PMV εκφράζει τη μέση ψήφο-γνώμη ενός συνόλου ατόμων που βρίσκονται στις ίδιες συνθήκες περιβάλλοντος, εντούτοις οι ατομικοί ψήφοι-γνώμες θα βρίσκονται γύρω από αυτή τη μέση τιμή. Για το λόγο αυτό κρίνεται σκόπιμο ο υπολογισμός του αριθμού των ανθρώπων που αισθάνονται δυσφορία λόγω ψύχους ή ζέστης, ως ποσοστό επί τοις εκατό. Αυτό ακριβώς το ποσοστό δίνει ο δείκτης που καλείται και προβλεπόμενο επί τοις εκατό ποσοστό δυσφορίας, γνωστός και ως PPD (Predicted Percentage Dissatisfied). Ο δείκτης PPD υπολογίζεται ως συνάρτηση του δείκτη PMV σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση (Markon 2002):

$$PPD = 100 - 95 \times e^{-(0.03353 \times PMV^4 + 0.2179 \times PMV^2)} \quad (7)$$

Στο Σχήμα 3 δίνεται η απεικόνιση τιμών του δείκτη PPD όπως αυτός υπολογίζεται σε σχέση με τις τιμές του δείκτη PMV και σύμφωνα πάντα με παραπάνω σχέση.



Σχήμα 3: Προβλεπόμενο ποσοστό (%) δυσφορίας (PPD) ως συνάρτηση του δείκτη PMV (Markov 2002).

1.4.5 Καθορισμένη αποτελεσματική θερμοκρασία (SET)

Ο δείκτης SET είναι ίσως από τις πιο σημαντικές παραμέτρους στην έρευνα στον τομέα των δεικτών θερμικής άνεσης. Είναι σημαντικός καθώς συσχετίζει όλες τις περιβαλλοντολογικές σταθερές με την θερμική άνεση ενός ατόμου. Έχει προφανώς ανοίξει μία καινούργια εποχή για λειτουργικά συστήματα καινοτόμα αφού περιβαλλοντολογικοί παράγοντες, όπως η ταχύτητα του αέρα μπορεί να οδηγήσει ισάξια σε ένα καλό επίπεδο θερμοκρασίας και υγρασίας στο ανθρώπινο σώμα. Πρακτικά, όμως ο υπολογισμός του SET συναντάει εμπόδια, γιατί υπάρχει μεγάλος όγκος δεδομένων τα οποία εμπλέκονται και περιλαμβάνουν όλες τις περιβαλλοντολογικές παραμέτρους:

- Θερμοκρασία αέρα
- Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας
- Υγρασία αέρα
- Ταχύτητα αέρα
- Προσωπικές παραμέτρους (επίπεδο δραστηριότητας, ενδυμασία).

Αυτή η άποψη είναι και το πιο σημαντικό εμπόδιο στην πρακτική εφαρμογή του SET σε θερμικά περιβάλλοντα.

Με απλά λόγια ο SET ορίζεται ως η θερμοκρασία ενός φανταστικού περιβάλλοντος με μία προκαθορισμένη μεταφορά συστατικών κατά την οποία η ολική ανταλλαγή της θερμότητας από την επιφάνεια του δέρματος θα μπορούσε να είναι η ίδια με αυτή ενός πραγματικού περιβάλλοντος. Ο δείκτης αυτός, ο οποίος αναπτύχθηκε αρχικά από μία απλή θεωρία φυσικής και αξιολογήθηκε ως έγκυρος μέσω μιας φυσιολογικής βάσης, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως ένας βιομετεωρολογικός δείκτης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο

« ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΜΟΝΤΕΛΟΥ RayMan »

2.1 Εισαγωγικά στοιχεία

Υπάρχει μια μεγάλη απαίτηση στον τομέα των εφαρμοσμένων επιστημών όπως η αρχιτεκτονική, η γεωπονία, η φαρμακευτική κα. για κλιματικές και βιοκλιματικές μεθόδους και τρόπους υπολογισμού, οι οποίες είναι εύκολα κατανοητές. Το μοντέλο RayMan (Matzarakis κα., 2007) «συναντά» αυτή την απαίτηση. Παρόλη την απλότητά του, το μοντέλο RayMan παρέχει καλά αποτελέσματα για πυκνότητες ροής ακτινοβολίας και υψηλής σημασίας θερμοφυσιολογικούς δείκτες. Τα αποτελέσματα της χρήσης του μοντέλου RayMan στις εφαρμοσμένες επιστήμες έχουν πολλαπλά πλεονεκτήματα (Mayer 1993, VDI 1998, Thorsson κα., 2004, Johansson και Emmanuel 2006, Matzarakis κα., 2007)

Η ανθρώπινη ενεργειακή ισορροπία μπορεί να εφαρμοστεί στην αξιολόγηση της επίδρασης του θερμικού περιβάλλοντος στους ανθρώπους. Αυτή η μέθοδος έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλές έρευνες. Κάτω υπό καθαρές συνθήκες ουρανού το καλοκαίρι, μικρού μήκους κύματος πυκνότητες ροής ακτινοβολίας εκθέτουν την περισσότερη ποικιλία ανάμεσα σε μετεωρολογικούς παράγοντες ιδιαιτέρως σε αστικές περιοχές. Η ανθρώπινη- βιομετεωρολογική επιρροή των μικρού και μεγάλου μήκους κύματος πυκνοτήτων ροής ακτινοβολίας μπορούν να μεταφερθούν σε μία σύνθετη παράμετρο, την μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας T_{mrt} (Jedritzky κα., 1990, Horpe 1993, Mayer 1993, VDI 1998).

Το κλίμα και η ποιότητα του αέρα πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν στον αστικό σχεδιασμό καθώς είναι αλληλένδετα με την ανθρώπινη υγεία και ευεξία. Αυτή η αποστολή συμβάλλει με τον τομέα της ανθρώπινης βιομετεωρολογίας η οποία αντιμετωπίζει τις επιδράσεις των καιρικών συνθηκών, του κλίματος και της ποιότητας του αέρα στους ανθρώπους.

Συνδέοντας την ανθρώπινη βιομετεωρολογία και τον αστικό σχεδιασμό απαιτείται να καθοριστούν οι βιομετεωρολογικοί παράγοντες που είναι σημαντικοί για την διαδικασία του σχεδιασμού. Η ανθρώπινη βιομετεωρολογική αξιολόγηση του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παράδειγμα για

να συγκεκριμενοποιησει εάν τα όργανα του αστικού σχεδιασμού είναι διαθέσιμα για να διατηρηθεί και να βελτιωθεί η κατάσταση του ανθρώπου μέσα στον αστικό σχεδιασμό ή όχι και σε περίπτωση που είναι να επιλέξει ποια είναι τα κατάλληλα για χρήση (VDI 1998, Matzarakis 2001).

Γενικά το μοντέλο RayMan είναι ένα μοντέλο, το οποίο αναπτύχθηκε στο μετεωρολογικό ινστιτούτο του πανεπιστημίου του Freiburg στην Γερμανία. Είναι κατάλληλα τοποθετημένο για να υπολογίσει ροές ακτινοβολίας αλλά και την μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας καθώς και τον δείκτη θερμικής άνεσης PET (φυσιολογική ισοδύναμη θερμοκρασία). Είναι συμβατό με λογισμικό Windows και μπορεί να αναλύσει σύνθετες αστικές δομές και άλλα περιβάλλοντα.

Το μοντέλο αναπτύχθηκε βάσει των κατευθυντήριων οδηγιών της Γερμανικής Μηχανικής Κοινότητας (German Engineering Society) και απαιτεί μόνο κάποια βασικά μετεωρολογικά δεδομένα (θερμοκρασία αέρα, υγρασία αέρα, νέφωση, χρονικά δεδομένα και ταχύτητα ανέμου) για τον υπολογισμό πυκνοτήτων ροής ακτινοβολίας και κοινών δεικτών θερμικής άνεσης για το θερμικό βιοκλίμα. Επιπλέον, άλλοι παράγοντες όπως τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των κτηρίων και η βλάστηση πρέπει οπωσδήποτε να ληφθούν υπ' όψιν στο συγκεκριμένο μοντέλο.

2.2 Επιστημονικό Υπόβαθρο και Μέθοδοι

2.2.1 Ατμοσφαιρικό περιβάλλον

Είναι κοινώς αποδεκτό ότι η επίδραση των σχέσεων μεταξύ του περιβάλλοντος της ατμόσφαιρας και της υγείας του ανθρώπου ή της ανθρώπινης άνεσης μπορεί να αναλυθεί από μία ανθρώπινη βιομετεωρολογική ταξινόμηση (McKerslake 1972, ISO 1983, Jendritzky κα., 1990, Matzarakis και Mayer 1996, VDI 1998). Τα θερμικά συστατικά είναι ένας σημαντικός παράγοντας και μπορούν να περιγραφούν και να ποσοτικοποιηθούν από θερμικούς δείκτες. Τα θερμικά συστατικά περιλαμβάνουν μετεωρολογικές παραμέτρους όπως η θερμοκρασία του αέρα, η υγρασία του αέρα, η ταχύτητα του ανέμου και επίσης οι μικρού μήκους κύματος και μεγάλου μήκους κύματος ροές της ακτινοβολίας οι οποίες θερμοφυσιολογικά επηρεάζουν τους ανθρώπους εσωτερικά και εξωτερικά. Αυτά τα συστατικά είναι συνδεδεμένα με την ανθρώπινη υγεία εξαιτίας της στενής σχέσης

μεταξύ του μηχανισμού της θερμοκρασίας του σώματος και του κυκλοφοριακού του συστήματος.

Ανθρωπο-βιομετεωρολογικές έρευνες έχουν γίνει σε τακτά χρονικά διαστήματα. Στο παρελθόν, οι θερμικοί δείκτες συχνά χρησιμοποιούνταν για να υπολογιστεί το θερμικό περιβάλλον. Αυτοί οι δείκτες ωστόσο, ήταν βασισμένοι σε απλές ή σύνθετες μετεωρολογικές παραμέτρους όπως η ισοδύναμη θερμοκρασία (Thom 1959, Steadman 1971, ISO 1982).

Κατά την διάρκεια της δεκαετίας των '70, πολλοί επιστήμονες άρχισαν να χρησιμοποιούν δείκτες σχετικούς με την ψυχολογία οι οποίοι είχαν προέλθει από την ανθρώπινη ενεργειακή ισορροπία για τον προσδιορισμό των θερμικών συστατικών (Horpe 1984, 1993). Ένα κοινό μοντέλο για την ανθρώπινη ενεργειακή ισορροπία είναι το MEMI (Munich Energy Balance for Individuals) και ο θερμικός δείκτης που προέρχεται από αυτό είναι ο δείκτης της φυσιολογικής ισοδύναμης θερμοκρασίας PET. Αυτός ο δείκτης σε συνδυασμό με τους δείκτες SET και PMV είναι βασικά στοιχεία του μοντέλου RayMan. Όλοι προαπαιτούν την μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας σαν είσοδο. Επιπλέον, αυτοί οι δείκτες διευκολύνουν την φυσιολογική κατανομή των θερμικών συνθηκών του εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος του αέρα.

2.2.2 Σημασία των ροών ακτινοβολίας στις ανθρωπο-βιομετεωρολογικές μελέτες.

Για την εκτίμηση των θερμικών δεικτών, κοινά μετεωρολογικά δεδομένα όπως η θερμοκρασία του αέρα, η υγρασία του αέρα και η ταχύτητα του ανέμου απαιτούνται. Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας (Mean Radiant Temperature) T_{mrt} είναι η πιο σημαντική μετεωρολογική παράμετρος του μοντέλου προς μελέτη σε αυτή την πτυχιακή εργασία. Η σημασία της έγκειται στο ότι μέσω αυτής αποκτάται η ανθρώπινη ενεργειακή ισορροπία κατά την διάρκεια του καλοκαιριού (Winslow κα. 1936, Clark και Edholm 1985). Γι αυτό το λόγο, η T_{mrt} έχει ιδιαίζουσα σημασία και επιρροή στους υπόλοιπους θερμοφυσιολογικούς δείκτες PET και PMV. Η διαδικασία προσδιορισμού της T_{mrt} πειραματικά είναι πολύ σύνθετη, χρονοβόρα και εξαιρετικά ακριβή. Ευτυχώς όμως το μοντέλο RayMan απλοποιεί την διαδικασία και προσφέρει τα καλύτερα αποτελέσματα.

Η μετρούμενες ροές ακτινοβολίας πρέπει να πολλαπλασιαστούν με παράγοντες βάρους για το ανθρώπινο σώμα. Για έναν καθιστό άνθρωπο, οι εισερχόμενες ροές ακτινοβολίας πρέπει να είναι γνωστές στα τέσσερα σημεία του ορίζοντα. Το πλεονέκτημα της συγκεκριμένης μεθόδου είναι το ότι είναι αναπόσπαστη για τον υπολογισμό της μικρού μήκους κύματος και μεγάλου μήκους κύματος ροής ακτινοβολίας. Το μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε μακροπρόθεσμες πειραματικές έρευνες και μελέτες.

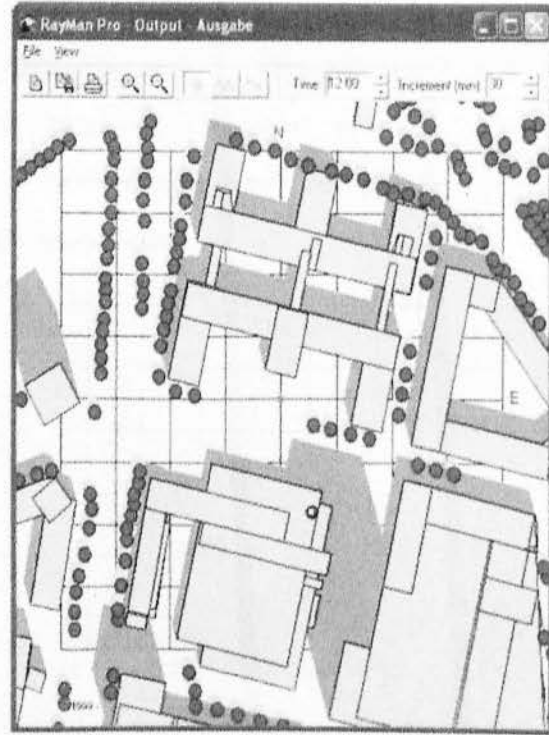
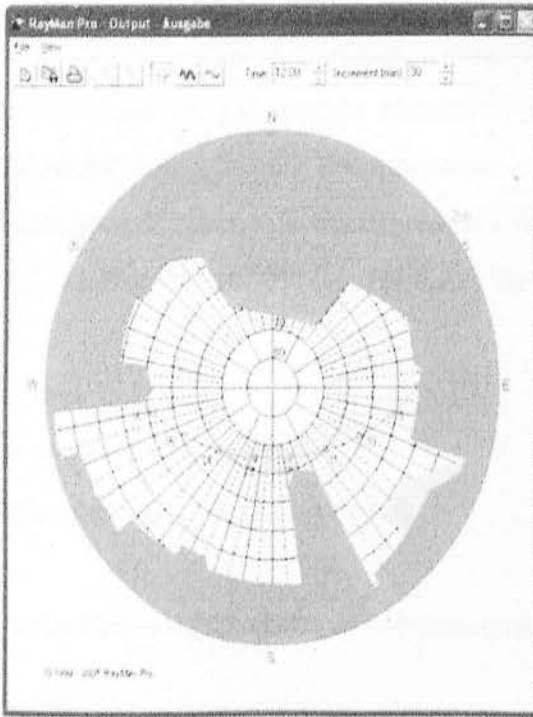
Για το μοντέλο RayMan για να μπορεί να εφαρμοστεί και σε απλές καταστάσεις οι παρακάτω ατμοσφαιρικοί παράγοντες απαιτούνται:

- Άμεση ακτινοβολία ηλίου
- Η διαδιδόμενη ακτινοβολία ηλίου
- Η αντικατοπτρισμένη μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία
- Η αντικατοπτρισμένη ακτινοβολία (μεγάλου μήκους κύματος)
- Η μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία από τις στερεές επιφάνειες.

Προκειμένου να υπολογίσει τις ροές ακτινοβολίας, το μοντέλο RayMan διαιρεί το τριών διαστάσεων περιβάλλον σε ένα ανώτερο και σε ένα χαμηλότερο ημισφαίριο. Συνήθως, το χαμηλότερο ημισφαίριο έχει ένα SVF (Sky View Factor) το οποίο καλύπτεται από στερεές επιφάνειες. Γι αυτό , για το χαμηλότερο ημισφαίριο η προσαρμογή των στερεών ιδιοτήτων είναι ευκολότερη από αυτή στο υψηλότερο ημισφαίριο. Για το χαμηλότερο ημισφαίριο, η εκπομπή των ροών πρέπει να ληφθεί υπ όψιν με σκοπό να προσδιορίσει τις μικρού μήκους κύματος και μεγάλου μήκους κύματος ροές ακτινοβολίας. Η περιοχή ανάμεσα στα δυο ημισφαίρια είναι περίπου 1.1 m και αντιπροσωπεύει το κέντρο βάρους του ανθρώπινου σώματος.

Η κατανομή των στοιχείων του στερεού και ελεύθερου ουρανού και η ποσότητα τους στο ανώτερο ημισφαίριο απαιτείται για την εκτίμηση της πυκνότητας της ροής ακτινοβολίας σε αυτό το ημισφαίριο. Αυτά τα στοιχεία μπορούν να προστεθούν σε ένα χάρτη ή σε μία fish-eye φωτογραφία σαν αυτή που φαίνεται παρακάτω.

Οι παράμετροι που επηρεάζουν το περιβάλλον του ανθρώπινου σώματος και έχουν αναλυθεί παραπάνω είναι επίσης σημαντικοί και έχουν εξαιρετική σημασία στο επιστημονικό υπόβαθρο του μοντέλου RayMan.



Σχήμα 4: Υποδειγματική fish eye φωτογραφία και χάρτης μιας δεδομένης υπό μελέτης περιοχής. (Int. J. Biometeorol 2007)

2.2.3 Εκτίμηση της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο.

Η ολική ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο G_0 για τις κανονικές συνθήκες (ελεύθερος ορίζοντας και καθόλου νέφωση) ορίζεται ως :

$$G_0 = 0.84 \cdot I_0 \cos \zeta \cdot \exp (-0.027 \cdot \rho / \rho_0 \cdot T_L / \cos \zeta) \quad (8)$$

όπου:

I_0 = πυκνότητα της ροής της ηλιακής ακτινοβολίας σε W / m^2

ζ = αζιμουθιακή γωνία ήλιου ($^\circ$)

ρ = τοπική ατμοσφαιρική πίεση (hPa)

ρ_0 = τυπική πίεση 1.013 hPa στο επίπεδο της θάλασσας

T_L = παράγοντας Linke

Το μειονέκτημα όμως που παρουσιάζεται είναι ότι αυτή η προσέγγιση είναι σχεδόν αβέβαιη. Μία καλύτερη προσέγγιση για την παγκόσμια ακτινοβολία G είναι το σύνολο της άμεσης και έμμεσης ηλιακής ακτινοβολίας I και D , οι οποίες παίρνουν τους περιορισμούς του ορίζοντα και της νέφωσης υπ' όψιν.

2.2.4 Εκτίμηση της ατμοσφαιρική ακτινοβολίας.

Για την μεγάλο μήκους κύματος ατμοσφαιρική ακτινοβολία, χρησιμοποιήθηκε η φόρμουλα Angstrom γιατί περιλαμβάνει μόνο γενικές ατμοσφαιρικές παραμέτρους (θερμοκρασία αέρα, πίεση ατμού) και την μέση κάλυψη νέφους. Ο τύπος που την περιγράφει είναι ο ακόλουθος:

$$A = \sigma \cdot T_a^4 \cdot (0.82 - 0.25 \cdot 10^{-0.0945 \cdot V_p}) \cdot [1 + 0.21 \cdot (N/8)^{2.5}] \quad (9)$$

όπου:

Η θερμοκρασία T_a σε Κ

Η πίεση του ατμού V_p σε hPa

Ο βαθμός νέφωσης N σε όγδοα (octal).

Οι τρεις παραπάνω τιμές είναι και οι βασικές τιμές για την εξίσωση.

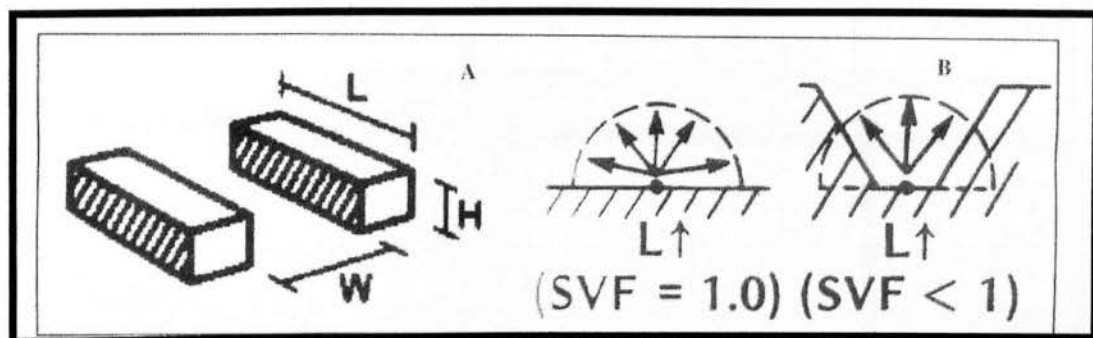
2.2.5 Εκτίμηση της πυκνότητας της μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας που εκπέμπεται από τις στερεές επιφάνειες.

Η μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία E που εκπέμπεται από στερεές επιφάνειες μπορεί να εκφραστεί ως :

$$E = \epsilon \cdot \sigma \cdot T_s^4 + (1 - \epsilon) \cdot A \quad (10)$$

Το πρώτο μέρος του αθροίσματος αντιπροσωπεύει την θερμότητα που εκπέμπεται από μία επιφάνεια με θερμοκρασία T_s (Κ). Το δεύτερο κομμάτι είναι το μη απορροφούμενο (αλλά ανακλώμενο) κλάσμα της συνεπαγόμενης μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας, η οποία υπερτερεί από την ατμοσφαιρική ακτινοβολία A .

2.2.6 Παράγοντας όρασης ουρανού (SVF)



Σχήμα 5: Α) Σχηματική απεικόνιση των H και W , ύψους και απόστασης αντίστοιχα των κτηρίων. Β) Σχηματική απεικόνιση του συντελεστή θέασης ουράνιου θόλου SVF . (Oke 1981).

Ο παράγοντας όρασης ουρανού (sky view factor SVF) είναι μία μη διαστασιολογημένη παράμετρος με τιμές μεταξύ μηδέν και ένα. Αντιπροσωπεύει το εμπόδιο του ορατού ουρανού σε ένα ημισφαίριο το οποίο παραμένει τοποθετημένο στο κέντρο της υπό ανάλυση τοποθεσίας.

Διάφοροι παράγοντες όρασης ουρανού (SVF) απαιτούν διάφορα ποσά ακτινοβολίας και προφανώς διάφορα ποσά ενέργειας. Για παράδειγμα, για ένα σημείο που δίνει τιμή $SVF=1$ (όλος ο ουρανός είναι ορατός), είναι δυνατόν να εισέρχεται είτε αντικατοπτρισμένη μεγάλου μήκους κύματος είτε μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία. Εάν, σε αντίθεση η υπό ανάλυση τοποθεσία βρίσκεται για παράδειγμα, σε μία κοιλάδα ή σε ένα στενό δρόμο, το ποσό της ακτινοβολίας και της ενέργειας τροποποιούνται από ανακλάσεις και έτσι μία μείωση υπάρχει στην εξερχόμενη μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία. Όμως, συμβαίνει μία αύξηση στην εισερχόμενη μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία που εκπέμπεται από τις επιφάνειες που εμποδίζουν τον ήλιο. Ο SVF λοιπόν παίζει καθοριστικό ρόλο για παράδειγμα στην αστική κλιματολογία (Oke 1987), στην δασική κλιματολογία (Holmér κ.α. 2001), στην ανθρώπινη βιομετεωρολογία (VDI 1998, Matzarakis 2001, Lin κ.α. 2010). Είναι ευρέως χρησιμοποιημένος σαν μία σημαντική παράμετρος στην μοντελοποίηση θερμικών φαινομένων. Επιπλέον, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μία ποικιλία νέων επιστημονικών τομέων, όμως οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Richert 2010) και στον αστικό σχεδιασμό (Lin κ.α. 2010).

Πολλά αριθμητικά μοντέλα έχουν χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του SVF και πολλές μέθοδοι για την αξιολόγησή του έχουν αναπτυχθεί. Ο υπολογισμός του SVF μέσω του μοντέλου RayMan επιτυγχάνεται με εύκολο και αξιόπιστο τρόπο.

Γενικά, θα μπορούσαμε να πούμε ότι τα καλύτερα αποτελέσματα θα έδινε μία πόλη η οποία θα ήταν τελείως επίπεδη. Έτσι δεν θα υπήρχε κάποιο εμπόδιο και η εισαγωγή των τοπογραφικών δεδομένων θα γινόταν στον ελάχιστο χρόνο. Όμως επειδή τα πράγματα δεν είναι ιδανικά βρέθηκε τρόπος για να έχουμε σωστά αποτελέσματα σε κάθε περίπτωση.

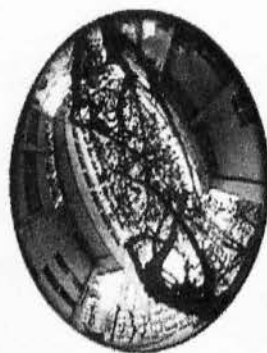
Το παραπάνω επιτυγχάνεται με την λήψη ειδικών φωτογραφιών (fish eye image) όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



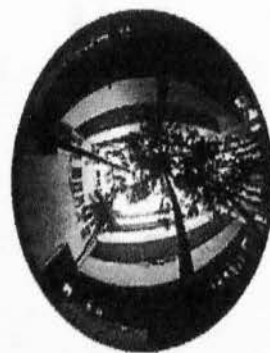
Σχήμα 6: Όργανο λήψης fish eye εικόνων.(Hammerle, Gal, Unger, Matzarakis 2011)



A



B



C

Σχήμα 7: Ενδεικτικές fish eye εικόνες για ορισμένες τοποθεσίες. (T.-P. Lin κ.α. / *Building and Environment* 45 (2010) 213-221).

Αυτές οι εικόνες λαμβάνονται με πανοραμικό φακό, ο οποίος είναι ενσωματωμένος στην κάμερα και η κάμερα στηρίζεται σε τρίποδο στο επίπεδο του εδάφους. Είναι σχετικά απλή μέθοδος και πρακτική, αφού μπορεί να μετακινηθεί το σύστημα αυτό γρήγορα και εύκολα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να λαμβάνουμε περισσότερες εικόνες και άρα να αποτυπώνονται καλύτερα σε αυτές τα εμπόδια και η βλάστηση. Εξάλλου σε αυτές τις φωτογραφίες βλέπουμε για κάθε υπό ανάλυση σημείο το ποσοστό του ελεύθερου ουρανού σε συνδυασμό με φυσικά και τεχνητά εμπόδια (βλάστηση, κτίρια κλπ.). Μετά την εισαγωγή των εικόνων, το μοντέλο που εξετάζεται σε αυτή την πτυχιακή εργασία (RayMan) τις ψηφιοποιεί και υπολογίζει την τιμή του SVF συσχετίζοντας το ποσοστό του ουρανού με το σύνολο της εικόνας.

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

Πίνακας 8: Η σχέση της τιμής του SVF και του ρυθμού νυχτερινής ψύξης. (Urmanis 1998).

2.3 Υπολογισμοί του μοντέλου RayMan

2.3.1 Μέση θερμοκρασία Ακτινοβολίας (T_{mrt})

Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας ορίζεται ως η ενιαία θερμοκρασία μιας υποτιθέμενης εσώκλειστης περιοχής στην οποία η ακτινοβολούμενη ζέστη του ανθρώπινου σώματος είναι ισοδύναμη με την ακτινοβολούμενη ζέστη που μεταφέρεται στην πραγματική μη-ενιαία εσώκλειστη περιοχή. Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας είναι μία ιδέα που προκύπτει από την πραγματικότητα του ότι η ανταλλαγή του δικτύου της ακτινοβολούμενης ενέργειας μεταξύ δύο αντικειμένων είναι περίπου ίσα καταμερισμένη με την θερμοκρασιακή διαφορά τους πολλαπλασιασμένη με την ικανότητά τους να εκπέμπουν και να απορροφούν ζέστη. Με απλά λόγια, η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας είναι η θερμοκρασία κατά μέσο όρο όλων των μερών που αποτελούν το ανθρώπινο σώμα. Αυτό είναι έγκυρο καθώς η απόλυτη τιμή των θερμοκρασιών των μερών του ανθρώπινου σώματος είναι μεγαλύτερη, συγκρίνοντας την με τις θερμοκρασιακές διαφορές, επιτρέποντας την γραμμικότητα του νόμου Stefan-Boltzmann σε σχετικό επίπεδο θερμοκρασίας.

Γενικά, θα μπορούσε να ειπωθεί ότι είναι η πιο σημαντική παράμετρος που «κυβερνά» την ανθρώπινη ενεργειακή ισορροπία, ειδικότερα τις ζεστές ηλιόλουστες ημέρες. Έχει επίσης δυνατή επίδραση στους θερμοφυσιολογικούς

δείκτες άνεσης όπως ο PET (φυσιολογική ισοδύναμη θερμοκρασία) και PMV (προβλεπόμενη μέση ψήφος).

Ότι εμπειρίες παίρνουμε και αισθανόμαστε σχετικά με την θερμική άνεση σε ένα κτήριο σχετίζεται άμεσα στην επιρροή της θερμοκρασίας της επιφάνειας και της θερμοκρασίας του ξηρού αέρα. Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας εκφράζεται ως η θερμοκρασία της επιφάνειας και ελέγχεται από εσώκλειστες διαδικασίες. Όσο η ποιότητα της τοιχοποιίας αυξάνεται, ο τοίχος είναι επίσης ζεστός και επομένως οι τιμές της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας είναι μεγαλύτερες. Άρα, όσο πιο υψηλή θερμοκρασία ακτινοβολίας έχουμε, τόσο μεγαλύτερη δυσφορία θερμικά υπάρχει στο υπό ανάλυση θερμικό περιβάλλον. Διατηρώντας την ισορροπία μεταξύ της λειτουργικής θερμοκρασίας (operative temperature) και της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας, είναι γεγονός πως μπορούμε να δημιουργήσουμε ένα πιο άνετο θερμικό περιβάλλον.

2.3.2 Δείκτες θερμικής άνεσης

Το μοντέλο RayMan υπολογίζει τους παρακάτω δείκτες θερμικής άνεσης, οι οποίοι έχουν αναλυθεί στο προηγούμενο κεφάλαιο (Κεφάλαιο 1) και είναι επιγραμματικά οι εξής :

- Φυσιολογικά ισοδύναμη θερμοκρασία (PET – Physiologically equivalent temperature)
- Προβλεπόμενη μέση ψήφος (PMV – Predicted mean vote)
- Συντελεστής θέασης ουράνιου θόλου (SVF- Sky view factor)
- Καθορισμένη αποτελεσματική θερμοκρασία (SET – Standard effective temperature)

2.4 Η εγκυρότητα του μοντέλου RayMan.

Το μοντέλο RayMan πρέπει είναι έγκυρο συγκρίνοντας μετρήσεις σε διάφορα σημεία. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν εντάσσονται στο τοπικό κλίμα και στο αστικό περιεχόμενο κάθε περιοχής υπό μελέτη. Από τότε που η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας T_{mrt} , είναι ένας ολοκληρωμένος θερμικός δείκτης που αντιπροσωπεύει τον συνδυασμό των T_a , v και τις μικρού μήκους κύματος και μεγάλου μήκους κύματος ροές ακτινοβολίας και μπορεί να προσδιοριστεί από εξίσου από πειραματικές μετρήσεις και θεωρητικές προσεγγίσεις, η αλληλουχία μεταξύ πειραματικών και θεωρητικών τιμών της T_{mrt} χρησιμοποιείται σαν κριτήριο στην εγκυρότητα του μοντέλου RayMan.

Σημαντικό ρόλο επίσης στην εγκυρότητα παίζει η αξιοπιστία των δεδομένων που εισάγουμε στο μοντέλο κάθε φορά ανάλογα με την περιοχή υπό μελέτη φυσικά αλλά και οι «fish-eye» φωτογραφίες που βοηθούν στην κατανόηση του μεγέθους του παράγοντα όσο αφορά τον ουρανό (SVF) αλλά και στην κατανόηση της υπό μελέτης περιοχής ειδικότερα και λεπτομερέστερα.

2.5 Πλεονεκτήματα μοντέλου RayMan

Το κύριο πλεονέκτημα του μοντέλου RayMan είναι ότι διευκολύνει τον αξιόπιστο καθορισμό των μικροκλιματολογικών τροποποιήσεων από διαφορετικά αστικά περιβάλλοντα -αφού το μοντέλο θεωρεί σημαντικές τις επιδράσεις των τροποποιήσεων της ακτινοβολίας των σύνθετων δομών επιφάνειας (κτήρια, δέντρα)- με ακριβή τρόπο.

Επίσης σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι εκτός από τις μετεωρολογικές παραμέτρους, το μοντέλο απαιτεί να εισαχθούν δεδομένα μορφολογικά όσο αφορά τις επιφάνειες προς εξέταση αλλά και προσωπικές παραμέτρους, γεγονός που προσφέρει αξιόπιστα αποτελέσματα και σε πολύ ικανοποιητικό βαθμό όσο αφορά την ακρίβεια τους και άρα την αποδοχή τους.

Επιπρόσθετα στα πλεονεκτήματα του μοντέλου κατατάσσεται το γεγονός ότι δεν υπολογίζει μόνο την μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας αλλά και τα ακόλουθα:

- Διαστήματα ήλιου για κάθε μέρα του χρόνου, για τα οποία δίνεται και η δυνατότητα να παρουσιαστούν με γραφήματα.

- Σκίαση από αστικά και φυσικά εμπόδια για κάθε μέρα του χρόνου και για κάθε συγκεκριμένη περίοδο της ημέρας με σκοπό να ποσοτικοποιηθούν οι περιοχές στις οποίες η σκίαση επηρεάζει τις ροές ακτινοβολίας.
- Υπολογισμός της διάρκειας ηλιοφάνειας (με και χωρίς περιορισμό στα σημεία του ορίζοντα) σε καθημερινή βάση. Μπορεί να υπολογιστεί για κάθε απλό και σύνθετο περιβάλλον. Ο υπολογισμός του ωριαίου, καθημερινού και μηνιαίου μέσου όρου των μικρού μήκους κύματος και μεγάλου μήκους κύματος ρών ακτινοβολίας είναι εξίσου πιθανός.
- Υπολογισμός των δεικτών θερμικής άνεσης PMV, PET και SET.
- Ένας πλήρης προσδιορισμός του θερμικού βιοκλίματος για κάθε τύπο περιοχής ή αστικής δομής είναι επίσης πιθανός βασισμένος στα δεδομένα εξόδου του μοντέλου RayMan.

2.6 Μειονεκτήματα μοντέλου RayMan

Το κυριότερο μειονέκτημα του μοντέλου είναι ότι υπολογίζει τις βιοκλιματικές συνθήκες σε ένα συγκεκριμένο σημείο του χώρου και για μια συγκεκριμένη στιγμή. Για να μπορέσει κανείς να αποτυπώσει τις βιοκλιματικές συνθήκες μιας ευρύτερης περιοχής, απαιτεί την χρήση δεδομένων από πολλά διαφορετικά σημεία της περιοχής την ίδια χρονική στιγμή ώστε να είναι δυνατή η χωρική αποτύπωση της κατανομής των βιοκλιματικών συνθηκών της εξεταζόμενης περιοχής.

2.7 Γενικές συζητήσεις και συμπεράσματα για το μοντέλο.

Είναι δύσκολο για τους αστικούς σχεδιαστές να σχεδιάσουν άνετα αστικά περιβάλλοντα σε πόλεις ή περιοχές ιδανικές θερμικά, διότι οι παράμετροι του τοπικού κλίματος αλλάζουν συνεχώς λόγω της τροποποίησης της επίδρασης της ακτινοβολίας στα επίπεδα με γεωμετρία τριών διαστάσεων στις εκάστοτε ανεπτυγμένες περιοχές. Αυτή η πραγματικότητα είναι περισσότερο έκδηλη κατά την διάρκεια του καλοκαιριού, όταν μετά από υψηλή ακτινοβολία την ημέρα, το μπλοκάρισμα ή η παρεμπόδιση της εξερχόμενης μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας δημιουργεί ένα φαινόμενο (heat island phenomenon), το οποίο συχνά

δεν επιτρέπει την μείωση της έντασης της ζέστης σε ένα άνετο επίπεδο κατά την διάρκεια της νύχτας. Τα αποτελέσματα γενικότερα αποδεικνύουν το όφελος της βλάστησης και ιδιαιτέρως των δέντρων. Εξάλλου, όπως αναφέρθηκε παραπάνω στο κεφάλαιο των δεδομένων εισαγωγής, στο κομμάτι της βλάστησης δίνεται ιδιαίτερη προσοχή και τα δέντρα ανάλογα με το φύλλωμα και τον κορμό κατηγοριοποιούνται.

Επιπλέον, έχει αποδειχθεί από μελέτες ότι μικρού μήκους κύματος ροές ακτινοβολίας σε σύνθετα περιβάλλοντα είναι υψηλά επηρεασμένες από την αντανάκλαση των εμποδίων. Αυτές οι επιδράσεις μπορεί να είναι εύκολα αντιληπτές τις πρωινές ώρες και μερικές φορές κατά την διάρκεια του μεσημεριού σε ημι-ανοιχτούς χώρους. Από την άλλη όμως, τα θεωρητικά αποτελέσματα της παγκόσμιας ακτινοβολίας αλλά και της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας (T_{mrt}) μοιάζουν πολύ με τα πειραματικά (τόσο για απλά όσο και για σύνθετα περιβάλλοντα με ιδιαίτερη έμφαση στις ιδιότητες της παγκόσμιας ακτινοβολίας).

Βάσει των συγκρίσεων που έχουν προκύψει μέχρι στιγμής μπορεί να επισημανθεί επίσης και το γεγονός του ότι το μοντέλο που εξετάζεται στην παρούσα πτυχιακή εργασία (RayMan) είναι ένα κατάλληλο εργαλείο για υπολογισμό των ροών ακτινοβολίας αλλά και της μέσης θερμοκρασίας αυτών (T_{mrt}), τα οποία είναι προαπαιτούμενα για την περαιτέρω έρευνα όσο αφορά την θερμική άνεση. Ένα άλλο πλεονέκτημα που εμφανίζει το μοντέλο είναι ο σύντομος χρόνος που χρειάζεται σε σύγκριση με άλλα μοντέλα. Να σημειωθεί επίσης, ότι σε ημι-ανοιχτές τοποθεσίες, οι διαφορές μεταξύ πειραματικών και μετρούμενων τιμών είναι μικρότερες εάν τα περιβάλλοντα είναι βασισμένα σε πραγματικά γεωμετρικές ιδιότητες.

Γενικά, υπάρχει μια μεγάλη ζήτηση σε ανθρωπο-βιομετεωρολογικά και αστικά μοντέλα όχι μόνο όσο αφορά καθαρά την έρευνα αλλά και σε ποιο πρακτικά ζητήματα. Αυτή τη ζήτηση ήρθε να καλύψει το μοντέλο RayMan και τα μέχρι στιγμής αποτελέσματα δείχνουν ότι είναι πολύ φιλικό στην χρήση από κάθε χρήστη και συγχρόνως παρέχει αξιόπιστα αποτελέσματα.

«ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ RayMan»

3.1 Εισαγωγή

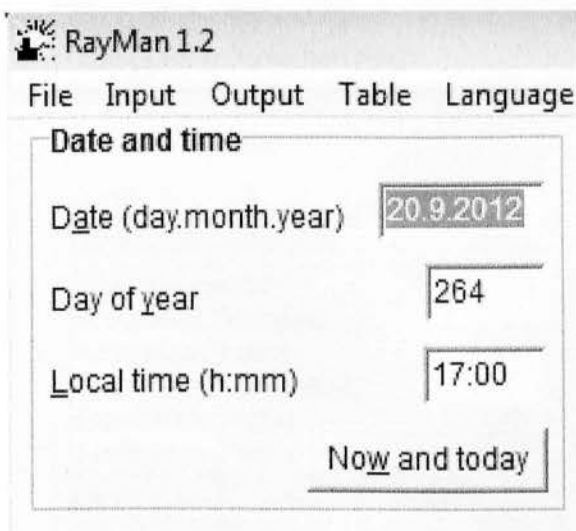
Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα αναλύσουμε τον τρόπο λειτουργίας του λογισμικού του προγράμματος RayMan και θα παραθέσουμε εκτενείς λεπτομέρειες σχετικά με τον τρόπο εισαγωγής των δεδομένων σε αυτό. Η αναλυτική αυτή περιγραφή θα επιτευχθεί με μια σειρά σχημάτων που θα επεξηγούν τον τρόπο που εισάγουμε τα αριθμητικά δεδομένα αλλά και το πώς αυτά εμφανίζονται στον χρήστη του προγράμματος. Επιπλέον, θα χρησιμοποιήσουμε υποδειγματικά δεδομένα για να γίνει πιο κατανοητή η γενικότερη χρήση του προγράμματος από τον οποιονδήποτε χρήστη. Επίσης, θα καλύψουμε με επεξηγηματικά σχόλια κάθε επιλογή που επιτρέπει το πρόγραμμα να επιλέξει ο χρήστης.

The screenshot shows the RayMan 1.2 software interface. The window title is "RayMan 1.2" and the menu bar includes "File", "Input", "Output", "Table", "Language", and "?". The interface is divided into several sections:

- Date and time:** Date (day.month.year) is 1.10.2012, Day of year is 275, Local time (h:mm) is 16:34. A "Now and today" button is present.
- Geographic data:** Location is "1st location - erster Ort". Buttons for "Add location" and "Remove location" are available. Geogr. longitude (°.. ' E) is 7°51', Geogr. latitude (°.. ' N) is 48°0', Altitude (m) is 323, and time zone (UTC + h) is 1.0.
- Current data:** Air temperature Ta (°C) is 20.0, Vapour pressure VP (hPa) is 12.5, Rel. Humidity RH (%) is 53.5, Wind velocity v (m/s) is 1.0, Cloud cover C (octas) is 0, Global radiation G (W/m²) is empty, and Mean radiant temp. Tmrt (°C) is empty.
- Personal data:** Height (m) is 1.75, Weight (kg) is 75.0, Age (a) is 35, and Sex is m.
- Clothing and activity:** Clothing (clo) is 0.9 and Activity (W) is 80.0.
- Thermal indices:** Checkboxes for PMV, PET, and SET* are all checked.
- Calculation:** A "New" button is visible.
- Close:** A "Close" button is in the bottom right corner.

Σχήμα 8: Γενικό παράθυρο λογισμικού RayMan (RayMan 1.2)

3.2 Εισαγωγή δεδομένων ημερομηνίας ώρας(Date and time)



RayMan 1.2

File Input Output Table Language

Date and time

Date (day.month.year) 20.9.2012

Day of year 264

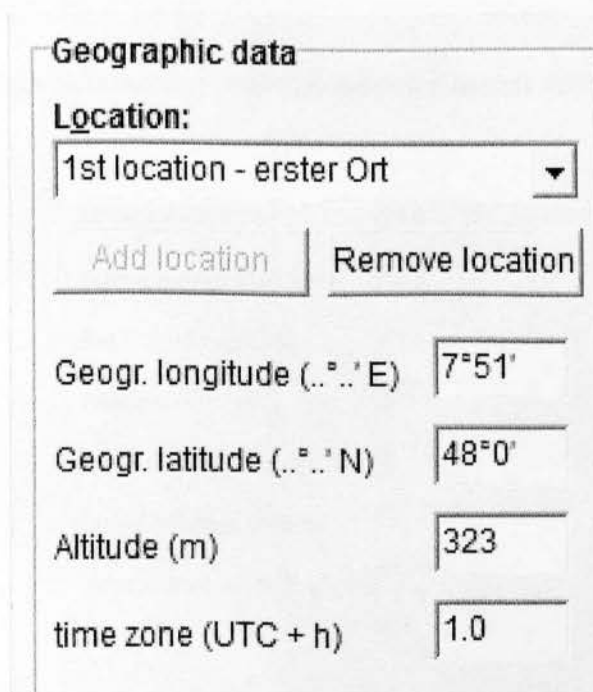
Local time (h:mm) 17:00

Now and today

Σχήμα 9: Εισαγωγή ημερομηνίας και ώρας (RayMan 1.2)

Αρχικά βάζουμε την ημερομηνία με μορφή « ημέρα.μήνας.έτος», στη συνέχεια την ημερολογιακή ημέρα που υπολογίζεται από 1 έως 365 και τέλος την τοπική ώρα με την μορφή ώρα:λεπτά.

3.3 Εισαγωγή γεωγραφικών δεδομένων (Geographic data)



Geographic data

Location:

1st location - erster Ort

Add location Remove location

Geogr. longitude (..°.' E) 7°51'

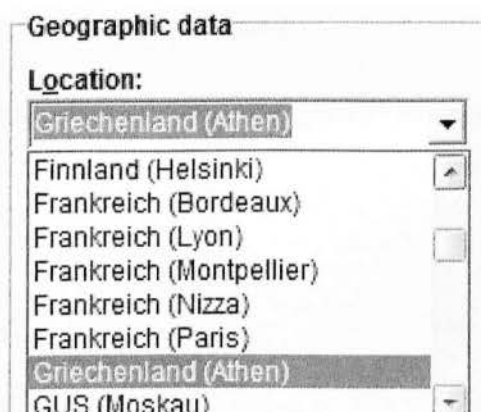
Geogr. latitude (..°.' N) 48°0'

Altitude (m) 323

time zone (UTC + h) 1.0

Σχήμα 10: Περιβάλλον εισαγωγής γεωγραφικών δεδομένων (RayMan 1.2)

Εδώ εισάγουμε σε πρώτο στάδιο την τοποθεσία (χώρα) πατώντας το βελάκι δεξιά και επιλέγουμε την χώρα που επιθυμούμε όπως υποδεικνύει το παρακάτω σχήμα. Ενδεικτικά έχουμε επιλέξει την Ελλάδα (Griechenland).



Σχήμα 11: Επιλογή τοποθεσίας (RayMan 1.2)

Μπορούμε ανά πάσα στιγμή να βγάλουμε την τοποθεσία που έχουμε επιλέξει και να βάλουμε οποιαδήποτε άλλη από την λίστα επιλογής πατώντας το κουμπί με ένδειξη «Remove Location». Ακολούθως εισάγουμε τις συντεταγμένες του γεωγραφικού μήκους (Geographic longitude) και του γεωγραφικού πλάτους (Geographic latitude). Στη συνέχεια εισάγουμε το υψόμετρο της υπό μελέτη περιοχής και την ζώνη ώρας έχοντας ως αναφορά το UTC.

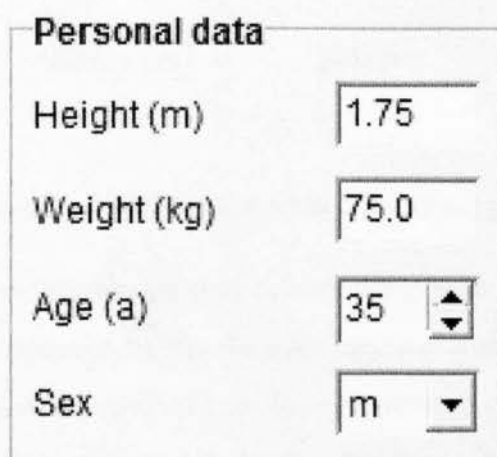
3.4 Εισαγωγή τρεχόντων μετεωρολογικών δεδομένων (Current data)

Current data	
Air temperature T_a (°C)	20.0
Vapour pressure VP (hPa)	12.5
Rel. Humidity RH (%)	53.5
Wind velocity v (m/s)	1.0
Cloud cover C (octas)	0
Global radiation G (W/m^2)	
Mean radiant temp. T_{mrt} (°C)	

Σχήμα 12: Εισαγωγή τρεχόντων δεδομένων (RayMan 1.2)

Σαν πρώτη επιλογή έχουμε την θερμοκρασία του αέρα σε °C (Air temperature), στη συνέχεια την πίεση του αέρα σε hPa (Varour pressure) και την σχετική υγρασία % (Relative humidity). Ακολουθως εισάγουμε την ταχύτητα του ανέμου σε m/s (Wind velocity), την κάλυψη της νέφωσης σε octas (Cloud cover), την ολική ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο σε W/m² (Global radiation) και την μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας σε °C (Mean radiant temperature).

3.5 Εισαγωγή προσωπικών δεδομένων που αφορούν την φυσιολογία του ανθρώπου (Personal data).

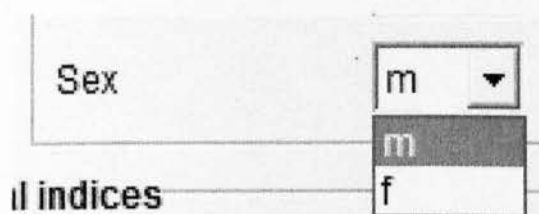


Personal data	
Height (m)	1.75
Weight (kg)	75.0
Age (a)	35
Sex	m

Σχήμα 13: Εισαγωγή προσωπικών δεδομένων (RayMan 1.2)

Σε αυτή την ενότητα του προγράμματος εισάγουμε τα προσωπικά στοιχεία του ατόμου, την θερμική άνεση του οποίου πρόκειται να εκτιμήσουμε. Τα στοιχεία αυτά έχουν ως εξής:

- Ύψος σε m (Height)
- Βάρος σε kg (Weight)
- Ηλικία σε έτη (Age)
- Φύλο (Sex), (όπου m:άνρρεν, f:θήλυ)



Σχήμα 14: Τρόπος επιλογής φύλου (RayMan 1.2)

Ενδεικτικά και προς την καλύτερη επεξήγηση του τρόπου λειτουργίας του προγράμματος όσο αφορά την συγκεκριμένη ενότητα, έχουμε επιλέξει άτομο αρσενικού φύλου (m) με ύψος 1.75 m, βάρος 75 kg και ηλικία 35 έτη.

3.6 Εισαγωγή δεικτών ρουχισμού και δραστηριότητας (Clothing and activity)

Clothing and activity	
Clothing (clo)	0.9
Activity (W)	80.0

Σχήμα 15: Εισαγωγή δεικτών ρουχισμού και δραστηριότητας (RayMan 1.2)

Σε αυτό το σημείο εισάγουμε τους δείκτες ρουχισμού και δραστηριότητας του προς μελέτη ατόμου αναφορικά με την θερμική του άνεση καθότι τόσο ο ρουχισμός όσο και η οποιαδήποτε δραστηριότητα παίζουν σημαντικό ρόλο για το πώς νιώθει θερμικά κάθε άτομο. Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται ξεκάθαρα ο συντελεστής ρουχισμού clo ξεχωριστά για τους άνδρες και τις γυναίκες .

Men		Women	
Clothing	clo	Clothing	clo
Underwear		Underwear	
Sleeveless	0.06	Circle	0.04
T-shirt	0.09	Bra and panties	0.05
Briefs	0.05	Half slip	0.13
Long underwear, upper	0.10	Full slip	0.19
Long underwear, lower	0.10	Long underwear, upper	0.10
		Long underwear, lower	0.10
Shirt		Blouse	
Light, short sleeve	0.14	Light, long sleeve	0.20
Long sleeve	0.22	Heavy, long sleeve	0.29
Heavy, short sleeve	0.25	Dress, light	0.22
Long sleeve	0.29	Dress, heavy	0.70
(Plus 5% for tie or ruffleneck)			
Vest, light	0.15	Skirt, light	0.10
Vest, heavy	0.29	Skirt, heavy	0.22
Trousers, light	0.26	Slacks, light	0.10
Trousers, heavy	0.32	Slacks, heavy	0.44
		Sweater	
Sweater, light	0.20	Light, sleeveless	0.17
Sweater, heavy	0.37	Heavy, long sleeve	0.57
Jacket, light	0.22	Jacket, light	0.17
Jacket, heavy	0.49	Jacket, heavy	0.57
Socks		Stockings	
Ankle length, thin	0.03	Any length	0.01
thick	0.04	Party hose	0.01
Knee high	0.10		
Shoes		Shoes	
Sandals	0.02	Sandals	0.02
Oxfords	0.04	Pumps	0.04
Boots	0.08	Boots	0.08
Hat and overcoat	2.00	Hat and overcoat	2.00

Πίνακας 9: Συντελεστής ρουχισμού clo για άνδρες και γυναίκες (*Human comfort and health requirements*, <http://courses.washington.edu>)

3.7 Παρουσίαση δεδομένων εισαγωγής και δεικτών θερμικής άνεσης

Αφού εισάγουμε τα δεδομένα στο μοντέλο υπάρχει η δυνατότητα να υπολογιστούν οι δείκτες θερμικής άνεσης και να παρουσιαστούν στο χρήστη συγκεντρωμένα όλα τα δεδομένα. Αφού επιλέξουμε την εντολή «New» εμφανίζεται το αριστερό παράθυρο όπως χαρακτηριστικά δείχνει το σχήμα.



RayMan 1.2 © 2000
 Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany
 place: Griechenland (Athen)
 Horizon limitation: 0.0% sky view factor: 1.000
 geogr. longitude: 23°44' latitude: 38°0' timezone: UTC +2.0 h
 personal data: height: 1.75 m weight: 75.0 kg age: 35 a sex: m

date	day of year	time h:mm	sun rise	sun set	Gact W/m2	Sact W/m2	Dact W/m2
21.9.2012	265	17:50	6:19	18:15	0	1	-1



Calculation:

New

New computat

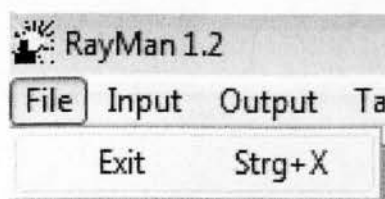
Σχήμα 16: Παράθυρο παρουσίασης υπολογισμών και δεδομένων (RayMan 1.2)

Από το συγκεκριμένο σχήμα πληροφορούμαστε ότι η προς μελέτη περιοχή είναι η Αθήνα. Επίσης είναι προφανείς οι συντεταγμένες της περιοχής, δηλαδή το γεωγραφικό μήκος και πλάτος της, η ζώνη ώρας και ο συντελεστής θέασης ουράνιου θόλου. Συνακόλουθα βλέπουμε τα προσωπικά στοιχεία του υπό μελέτη ατόμου (ύψος, βάρος, ηλικία, φύλο) καθώς επίσης την ημερομηνία, την ημερολογιακή ημέρα, την τοπική ώρα και την ώρα ανατολής και δύσης του ηλίου για την συγκεκριμένη ημέρα.

3.8 Αναλυτική περιγραφή γραμμής εργασιών λογισμικού RayMan

Σε αυτή την ενότητα θα αναλύσουμε όλες εκείνες τις εντολές-λειτουργίες που μας καθιστά το πρόγραμμα δυνατές να πραγματοποιήσουμε.

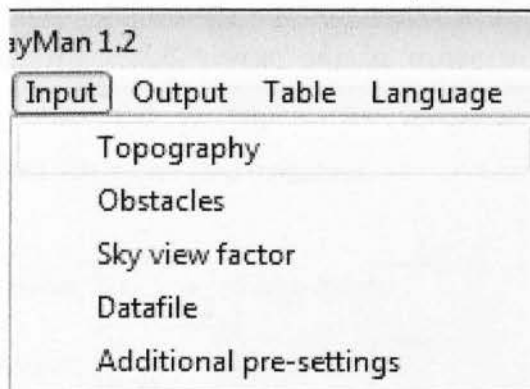
3.8.1 Εντολή αρχείο «File»



Σχήμα 17: Περιγραφή εντολής «File» (RayMan 1.2)

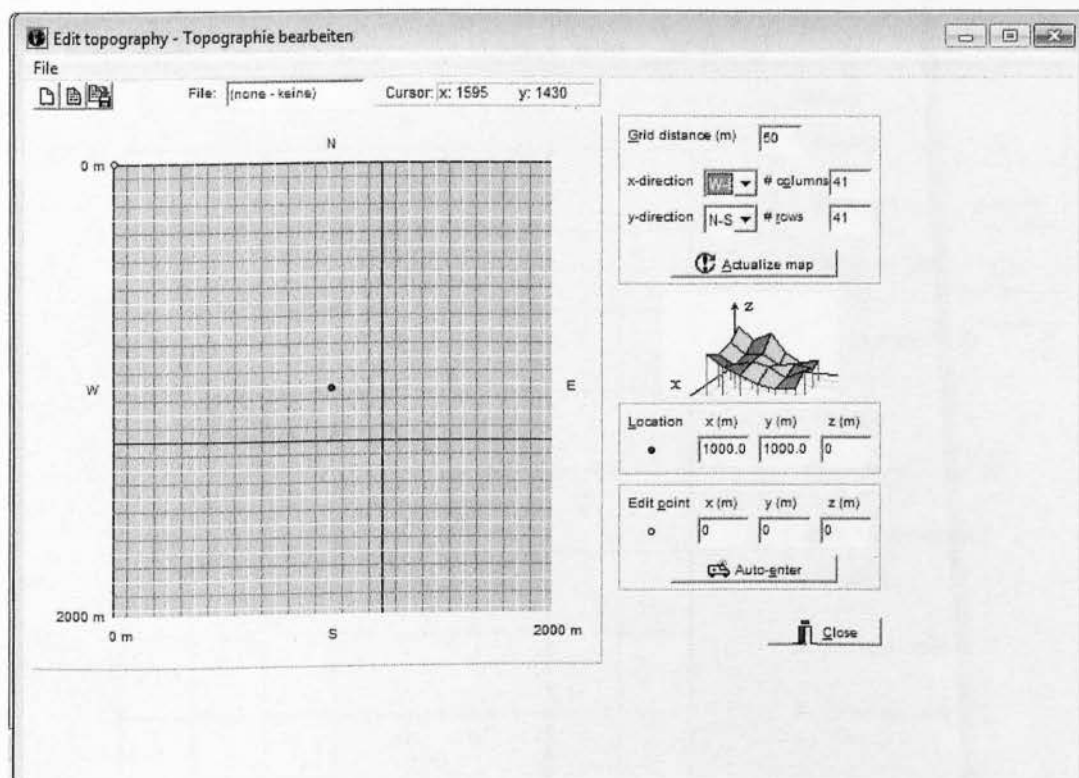
Όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα αν επιλέξουμε την εντολή «File» μπορούμε να κάνουμε έξοδο από το πρόγραμμα πατώντας την εντολή «Exit».

3.8.2 Εντολή εισαγωγής «Input»



Σχήμα 18: Περιγραφή εντολής «Input» (RayMan 1.2)

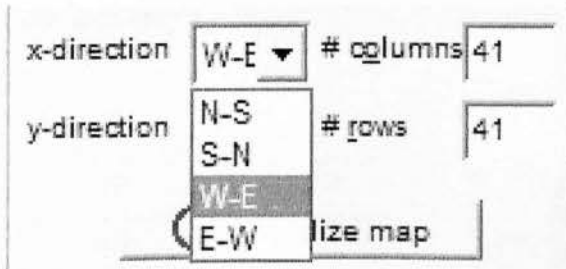
Στην ενότητα της εισαγωγής όπως χαρακτηριστικά φαίνεται στο σχήμα μπορούμε να εισάγουμε στοιχεία τοπογραφίας (Topography, βλ. σχήμα 18), στοιχεία που αφορούν τυχόν εμπόδια (Obstacles, βλ. σχήμα 19), τον συντελεστή θέασης ουράνιου θόλου (Sky View Factor, βλ. σχήμα 20), τα αρχεία δεδομένων (Datafile, βλ. σχήμα 21) και τέλος επιπρόσθετες ρυθμίσεις (Additional pre-settings, βλ. σχήμα 22).



Σχήμα 19: Επεξεργασία εντολής «Topography» (RayMan 1.2)

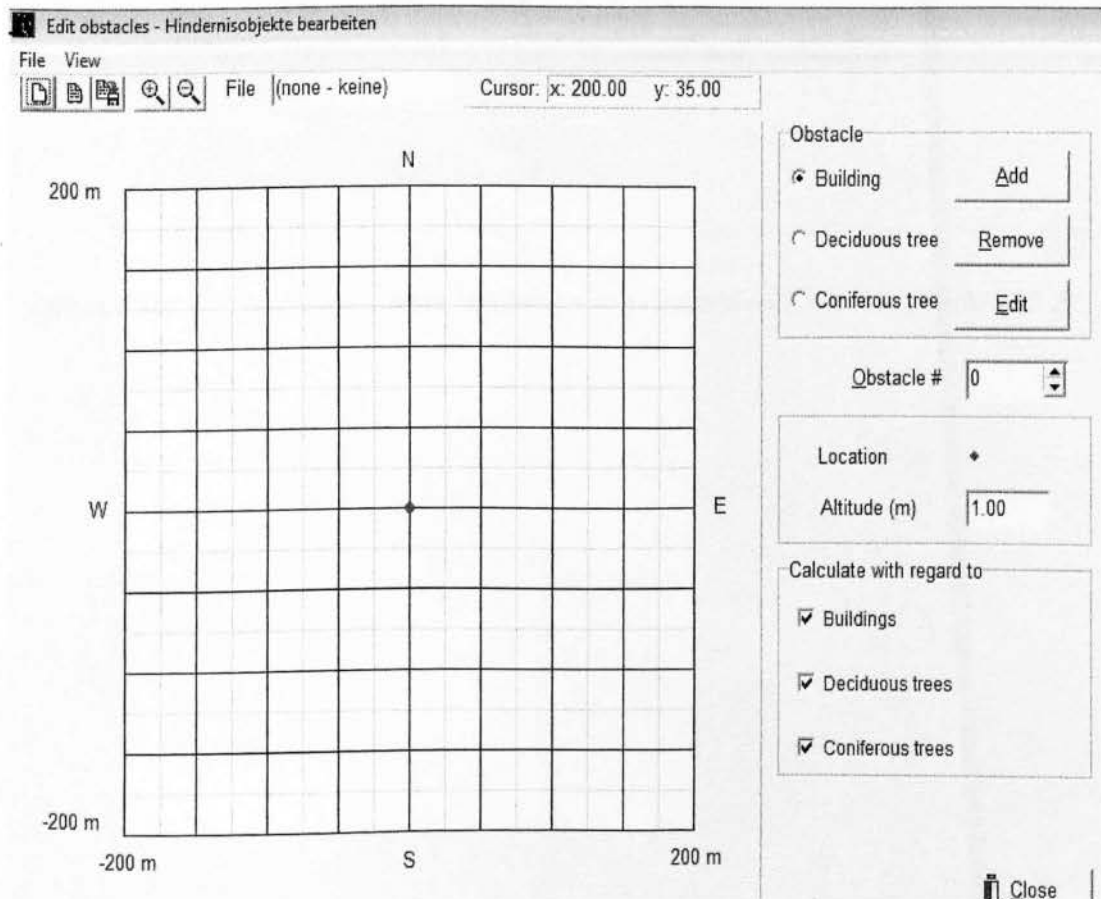
ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ

Με αυτή την εντολή εισάγουμε γραφικά την υπό μελέτη περιοχή. Μπορούμε να επιλέξουμε έτοιμο αρχείο τοπογραφικού από την υποεντολή «File» ή να ορίσουμε μία συγκεκριμένη περιοχή τοποθετώντας σημεία στους x και y άξονες και να επιλέξουμε την διεύθυνση ανά τα σημεία του ορίζοντα. Αυτά τα σημεία θα εμφανιστούν στον καμβά του παραπάνω σχήματος.



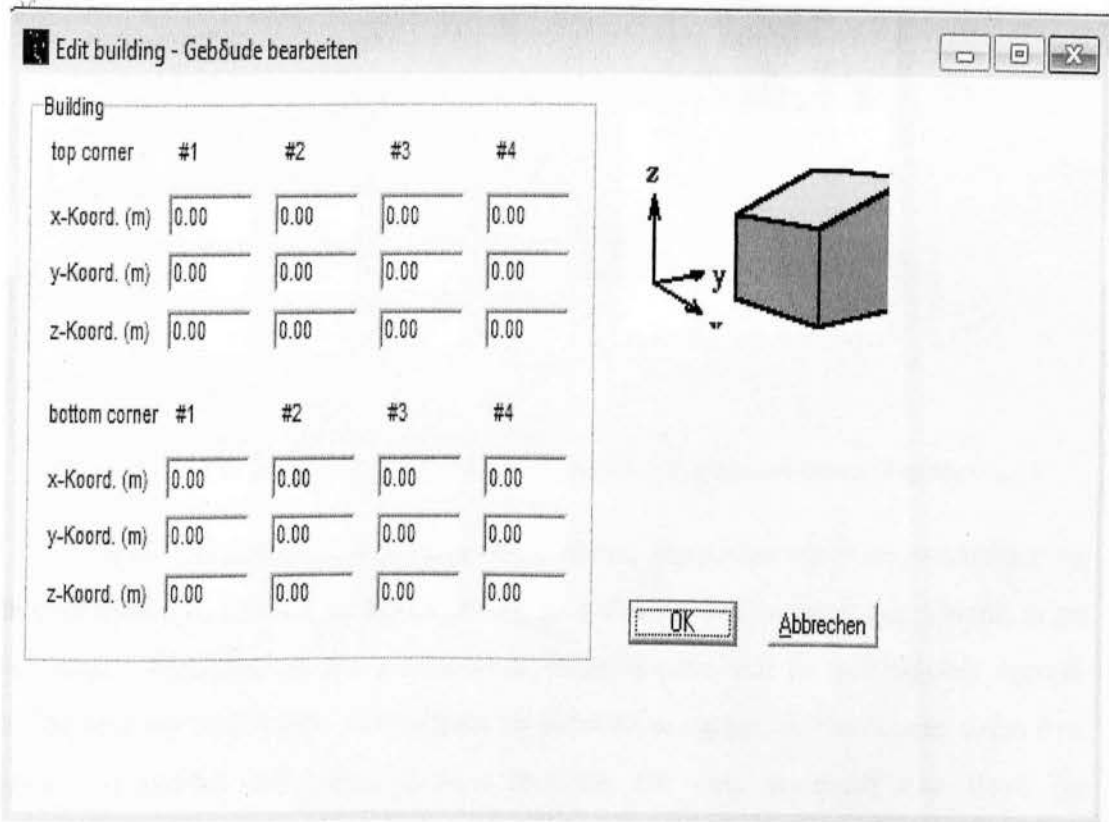
Σχήμα 19.α: Επιλογή διεύθυνσης στους x και y άξονες (RayMan 1.2)

Πριν προχωρήσουμε, πρέπει να ορίσουμε στο πρόγραμμα τα τυχόν εμπόδια φυσικά ή τεχνητά (δέντρα ή κτίρια αντίστοιχα) τα οποία επίσης θα εμφανιστούν σαν σημεία στον καμβά του σχήματος που ακολουθεί.

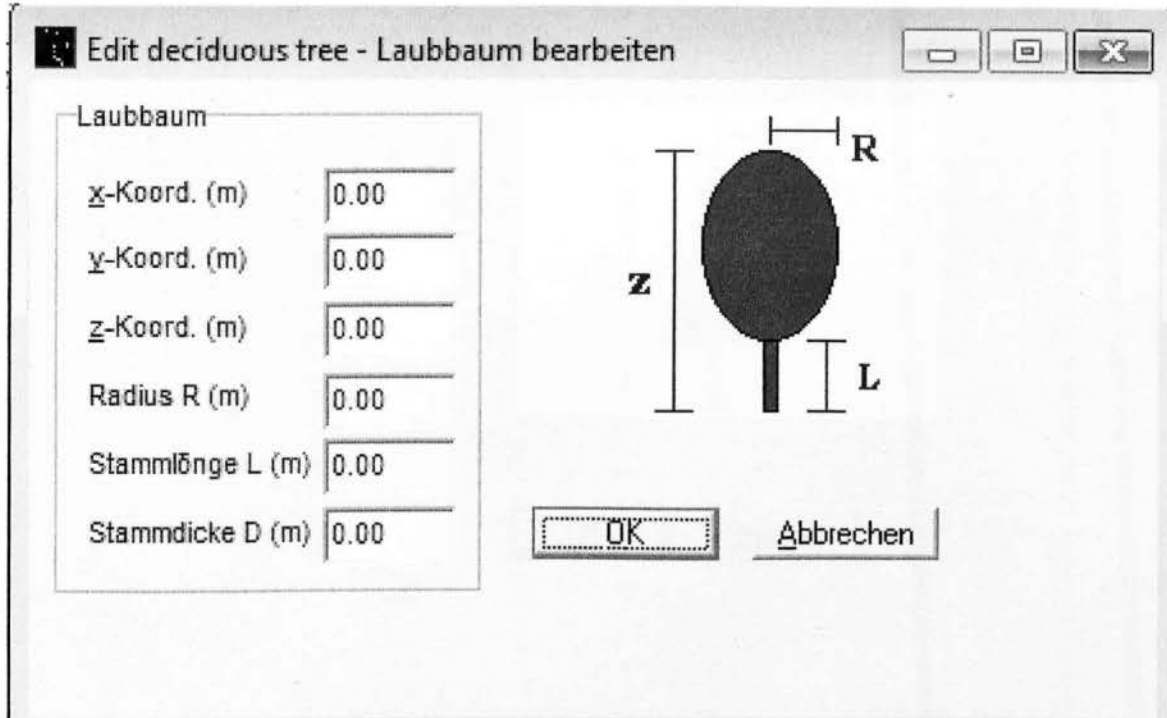


Σχήμα 20: Περιγραφή εντολής «Obstacles» (RayMan 1.2)

Ενδεικτικά, για τα τεχνητά εμπόδια τα κτίρια δηλαδή, εισάγουμε τις διαστάσεις του χώρου που καταλαμβάνουν σε μέτρα (m) και στους τρεις άξονες (x,y,z) όπως χαρακτηριστικά μας πληροφορεί το παρακάτω σχήμα.



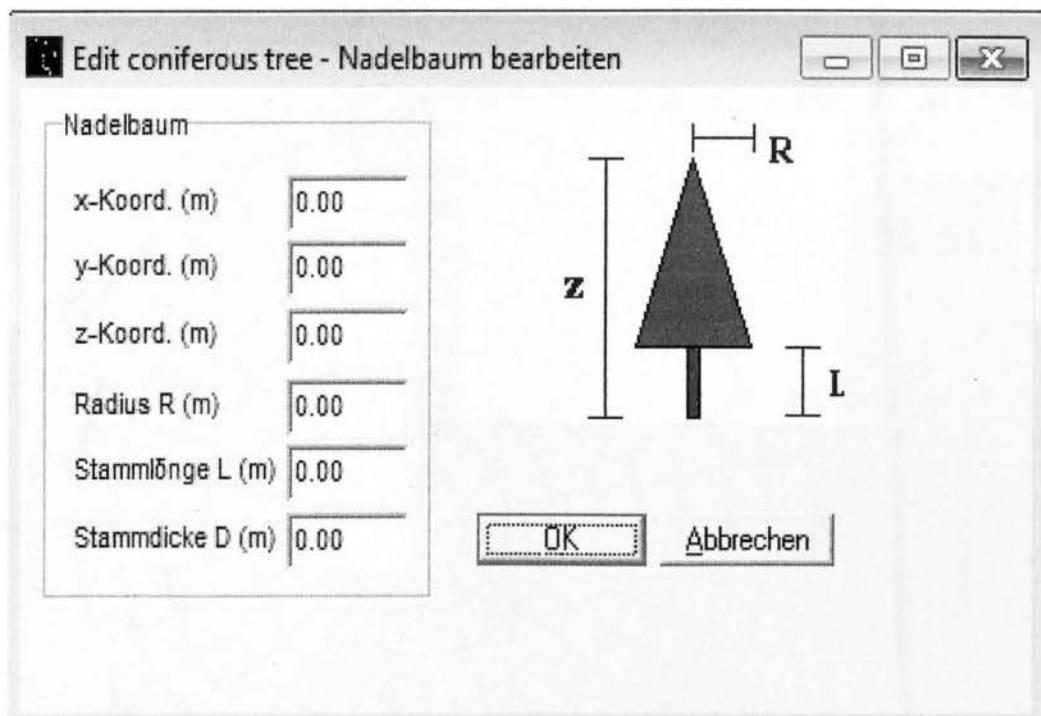
Σχήμα 20.α: Επεξεργασία κτιρίων «Building» στην εντολή «Obstacles» (RayMan 1.2)



Σχήμα 20.6: Επεξεργασία φυλλοβόλων δέντρων «Deciduous tree» (RayMan 1.2)

Αφού επιλέξουμε την εντολή «obstacles», μπορούμε να επεξεργαστούμε τα φυσικά εμπόδια, δηλαδή τα δέντρα που έχει η υπό μελέτη περιοχή, χωρίζοντας τα σε κατηγορίες φυλλοβόλων και κωνοφόρων. Συγκεκριμένα για τα φυλλοβόλα, έχουμε αυτήν εδώ την περίπτωση που δείχνει το παραπάνω σχήμα. Φαίνεται στα δεξιά ένα γενικό προσχέδιο ενός φυλλοβόλου δέντρου και στα αριστερά μία λίστα με διαστάσεις τις οποίες και εισάγουμε με την εξής σειρά:

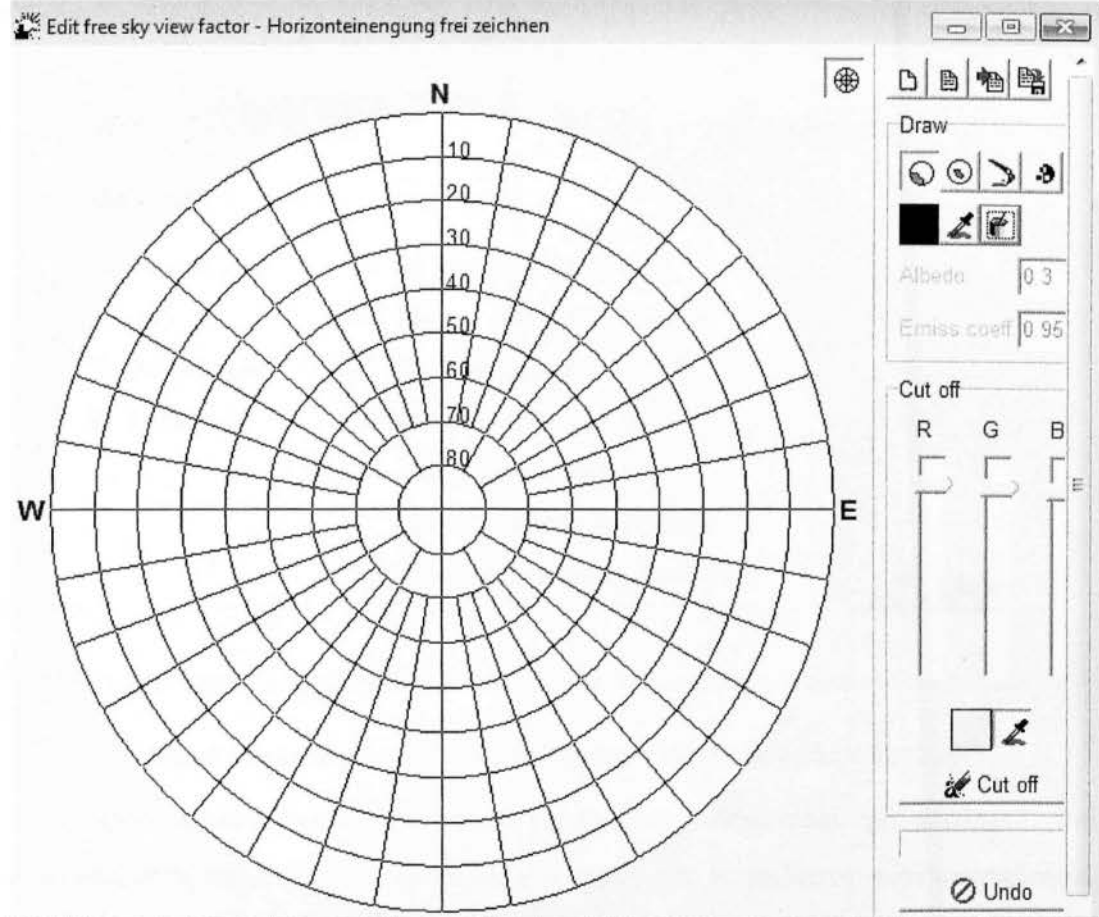
- Άξονας x σε m , το μήκος του δέντρου που καταλαμβάνει στο οριζοντιώδες επίπεδο
- Άξονας y σε m , το πλάτος του δέντρου που καταλαμβάνει στο οριζοντιώδες επίπεδο
- Άξονας z σε m , το ύψος του δέντρου μαζί με τον κορμό
- Ακτίνα φυλλώματος (radius) σε m
- Ύψος κορμού (L) σε m
- Διάμετρος κορμού (D) σε m



Σχήμα 20.γ: Επεξεργασία κωνοφόρων δέντρων «Coniferous tree» (RayMan 1.2)

Στην περίπτωση που έχουμε κωνοφόρα δέντρα στην υπό μελέτη περιοχή, επιλέγουμε την εντολή Coniferous tree και στη συνέχεια Add και εμφανίζεται το παράθυρο του σχήματος 19.γ. Και σε αυτή την περίπτωση μας δίνεται γενικό προσχέδιο του δέντρου με τις διαστάσεις καθώς και η λίστα εισαγωγής. Να αναφερθεί ότι η λίστα των διαστάσεων είναι ακριβώς ίδια με αυτή των φυλλοβόλων δέντρων που προαναφέρθηκε. Αφού λοιπόν εισάγουμε τις διαστάσεις που μας ζητούνται εμφανίζεται στο κεντρικό παράθυρο της εντολής σχηματικά ο χώρος που καταλαμβάνει το εκάστοτε δέντρο – εμπόδιο.

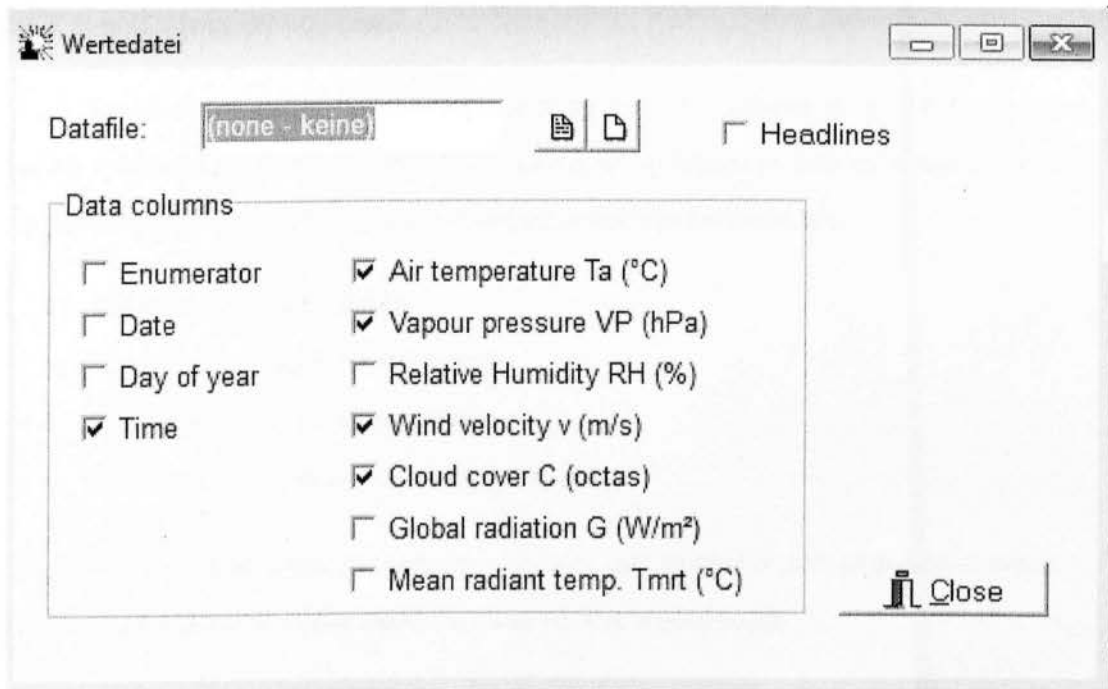
Στη συνέχεια μπορούμε να εισάγουμε τον συντελεστή θέασης ουράνιου θόλου (SVF) και αφού επιλέξουμε την αντίστοιχη εντολή, εμφανίζεται το παράθυρο που μας δείχνει το σχήμα 20 και είναι το εξής:



Σχήμα 20: Επεξεργασία συντελεστή θέασης ουράνιου θόλου «Sky View Factor» (RayMan 1.2)

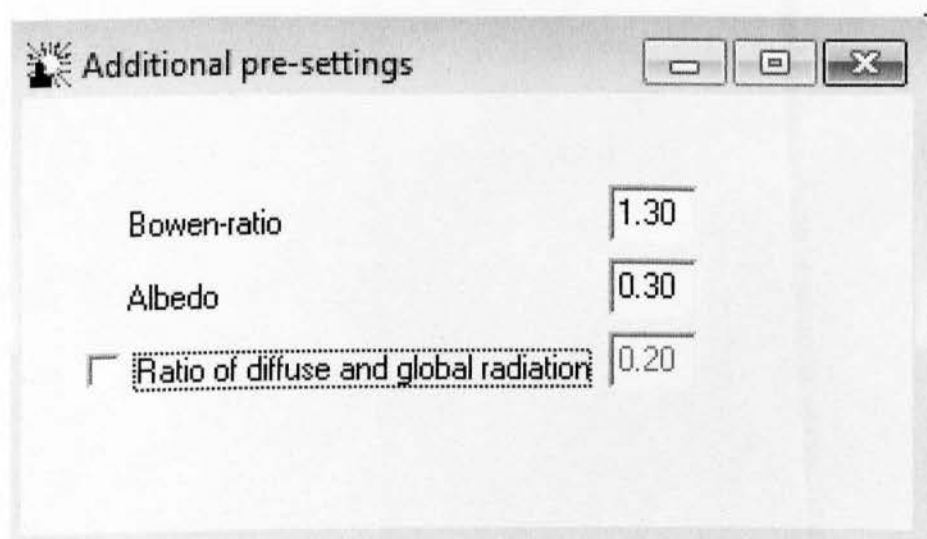
Εδώ μπορούμε να εισάγουμε το αρχείο της fish eye φωτογραφίας που έχουμε λάβει από την ειδική φωτογραφική μηχανή ή να σχεδιάσουμε με τα ειδικά εργαλεία που μας δίνει το πρόγραμμα (βλ. Draw στο σχήμα 20) τη θέαση του ουράνιου θόλου στην υπό μελέτη περιοχή.

Επιπλέον, έχουμε την δυνατότητα ανά πάσα στιγμή να εισάγουμε αρχείο δεδομένων χωρίς να πρέπει να τα εισάγουμε χειροκίνητα. Μπορούμε επίσης να επιλέξουμε τι θα περιέχει αυτό το αρχείο από τη λίστα που φαίνεται παρακάτω.



Σχήμα 21: Εισαγωγή αρχείου δεδομένων «Datafile» (RayMan 1.2)

Όσο αφορά τις επιπρόσθετες ρυθμίσεις «Additional pre-settings» του προγράμματος είναι δυνατό να επεξεργαστούμε τον συντελεστή ανακλαστικότητας «albedo». Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι η τιμή 0.30 που δείχνει το παρακάτω σχήμα είναι το ποσοστό της ανακλώμενης ακτινοβολίας από την επιφάνεια και επειδή ακριβώς ο συντελεστής ανακλαστικότητας εκφράζει ένα ποσοστό, η μέγιστη τιμή που μπορεί να πάρει είναι 1.



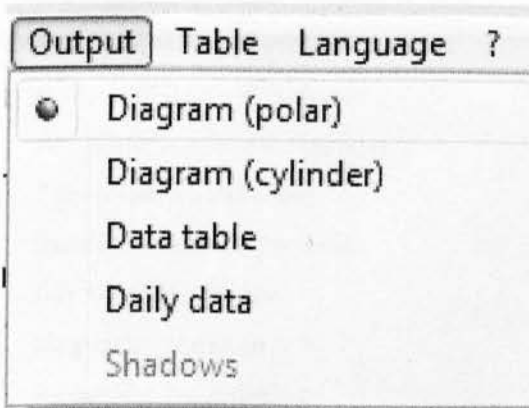
Σχήμα 22: Εισαγωγή επιπρόσθετων ρυθμίσεων «Additional pre-settings» (RayMan 1.2)

3.8.3 Εντολή εξαγωγή «Output»

Επιλέγοντας αυτή την εντολή, είναι εφικτό στο χρήστη να επιλέξει με ποια μορφή επιθυμεί να παρουσιαστούν τα τελικά αποτελέσματα από το πρόγραμμα. Το λογισμικό RayMan δίνει τις εξής επιλογές για αυτή την διαδικασία :

- Πολικό διάγραμμα (polar)
- Κυλινδρικό διάγραμμα (cylinder)
- Πίνακα δεδομένων (data table)
- Δεδομένα σε καθημερινή βάση (daily data)

Οι προαναφερθείσες επιλογές για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων φαίνεται και στο σχήμα που ακολουθεί, όπως ακριβώς είναι και στο πρόγραμμα.



Σχήμα 23: Εντολή εξαγωγή «Output» (RayMan 1.2)

3.8.4 Εντολή πίνακα «Table»

Table	Language	?
	Date	
	Day of year	
✓	Time	
	Sunrise	
	Sunset	
	Max. duration of sunshine	
	Act. duration of sunshine	
	Max. global radiation	
	Max. direct radiation	
	Max. diffuse radiation	
	Act. global radiation	
	Act. direct radiation	
	Act. diffuse radiation	
	Atmospheric radiation	
	Thermal radiation	
	Surface temperature	
	Air temperature	
	Vapour pressure	
	Relative humidity	
	Wind velocity	
	Cloud cover	
	Mean radiant temperature	

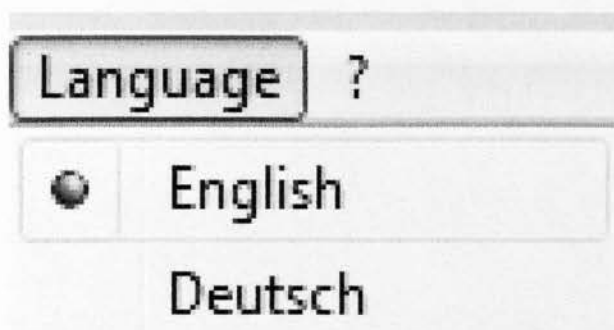
Σχήμα 24: Εντολή Πίνακα «Table» (RayMan 1.2)

Σε αυτή την εντολή μας δίνεται η δυνατότητα να παρουσιαστούν τα αποτελέσματα σε έναν πίνακα αλλά αφού έχει επιλέξει ο χρήστης ποια από αυτά επιθυμεί να φαίνονται στον πίνακα. Η επιλογή αυτή γίνεται από τη λίστα που δείχνει το παραπάνω σχήμα. Οι επιλογές που έχει στη διάθεσή του να επιλέξει ο χρήστης είναι οι εξής:

- Ημερομηνία
- Ημερολογιακή ημέρα
- Τοπική ώρα
- Ώρα ανατολής του ηλίου

- Ώρα δύσης του ηλίου
- Μέγιστη διάρκεια ηλιοφάνειας
- Πραγματική διάρκεια ηλιοφάνειας
- Μέγιστη ολική ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο
- Μέγιστη άμεση ακτινοβολία
- Μέγιστη διάχυτη ακτινοβολία
- Πραγματική ολική ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο
- Πραγματική άμεση ακτινοβολία
- Πραγματική διάχυτη ακτινοβολία
- Ατμοσφαιρική ακτινοβολία
- Θερμική ακτινοβολία
- Θερμοκρασία επιφάνειας
- Θερμοκρασία αέρα
- Πίεση ατμού
- Σχετική υγρασία
- Ταχύτητα ανέμου
- Κάλυψη νέφωσης
- Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας

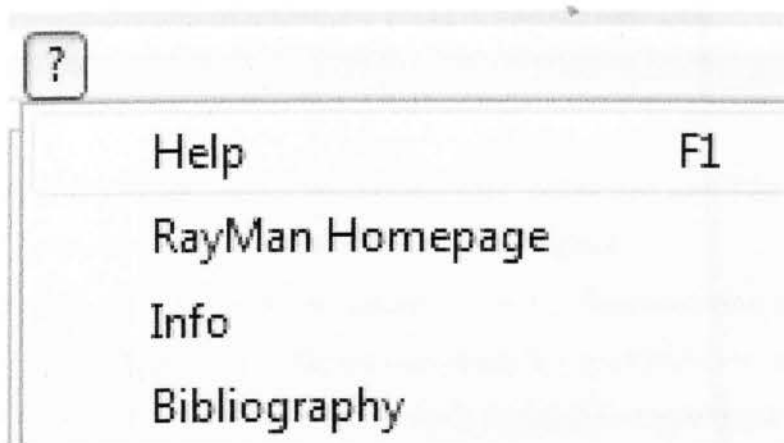
3.8.5 Εντολή Γλώσσα «Language»



Σχήμα 26: Εντολή Γλώσσα «Language» (RayMan 1.2)

Σε αυτή την εντολή μπορεί να επιλέξει ο χρήστης σε ποια γλώσσα επιθυμεί να χειριστεί το λογισμικό. Οι επιλογές που υπάρχουν είναι τα Αγγλικά (English) και τα Γερμανικά (Deutsch).

3.8.6 Βοήθεια-πληροφορίες χρήσης λογισμικού



Σχήμα 27: Βοήθεια-πληροφορίες χρήσης λογισμικού (RayMan 1.2)

Αν ο χρήστης αντιμετωπίσει οποιαδήποτε δυσκολία στη χρήση του προγράμματος, μπορεί να επιλέξει αυτή την εντολή. Εκεί έχει την δυνατότητα είτε να επιλέξει την εντολή «Help» και να βρει κάποια πιθανή λύση στην δυσκολία του, είτε να μεταβεί στην ιστοσελίδα του προγράμματος στο διαδίκτυο μέσω της εντολής «RayMan Homepage». Τέλος, είναι δυνατό να πληροφορηθούμε για το πρόγραμμα «Info» και την βιβλιογραφία του «Bibliography».

«ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ RayMan ΣΤΟ ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ»

4.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό, γίνεται μια εφαρμογή (case study) του μοντέλου RayMan για την περίοδο 01/05/2009 έως και 31/08/2009 στο ΤΕΙ Πειραιά.

Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν ωριαίες τιμές της θερμοκρασίας του αέρα ($^{\circ}\text{C}$), της σχετικής υγρασίας του αέρα (%), της ταχύτητας του αέρα (m/s) και της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο (W/m^2). Τα δεδομένα αυτά καλύπτουν τη χρονική περίοδο από 01/05/2009 έως και 31/08/2009 (123 ημέρες-2952 ώρες) και έχουν καταγραφεί από τον αυτόματο μετεωρολογικό σταθμό που ανήκει στο εργαστήριο περιβάλλοντος του Τμήματος Ηλεκτρονικών Υπολογιστικών Συστημάτων του ΤΕΙ Πειραιά. Ο σταθμός αυτός βρίσκεται στην ταράτσα του κτηρίου του συγκεκριμένου Τμήματος (γεωγραφικό μήκος $23^{\circ}40'29''$, γεωγραφικό πλάτος $37^{\circ}58'44''$) και σε ύψος 35 από την επιφάνεια της θάλασσας.

Με βάση τα παραπάνω μετεωρολογικά δεδομένα, υπολογίστηκαν για την εξεταζόμενη χρονική περίοδο, οι τιμές των βιοκλιματικών δεικτών της φυσιολογικά ισοδύναμης θερμοκρασίας (Physiologically Equivalent Temperature-PET), της προβλεπόμενης μέσης ψήφου (Predicted Mean Vote -PMV) και το προβλεπόμενο επί τοις εκατό ποσοστό δυσφορίας, (Predicted Percentage Dissatisfied -PPD) το οποίο υπολογίζεται με βάση τις τιμές του δείκτη PMV.

Για τον υπολογισμό των βιοκλιματικών δεικτών χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο RayMan. Οι παραδοχές που έγιναν στους υπολογισμούς είναι ότι η θέση του αυτόματου μετεωρολογικού σταθμού είναι τέτοια που δεν σκιάζεται σε όλη τη διάρκεια της ημέρας. Έτσι, ο παράγοντας όρασης ουρανού (sky view factor) θεωρήθηκε ser όλους του υπολογισμούς ίσος με τη μονάδα. Επίσης, ο υπολογισμός αναφέρεται σε έναν άνδρα, ηλικίας 35 ετών, ύψους 1.75m, βάρους 75.0kg, ο οποίος έχει μια μικρή δραστηριότητα (activity=80.0Watt) και φοράει ελαφριά τυπικά καλοκαιρινά ρούχα (clo=0.9).

Μετά τον υπολογισμό των παραπάνω βιοκλιματικών δεικτών, έγινε μια σύντομη στατιστική επεξεργασία της διαχρονικής εξέλιξης των τιμών τους, η οποία και παρουσιάζεται στη συνέχεια αυτού του κεφαλαίου.

4.2 Στατιστική επεξεργασία των τιμών του δείκτη PET.

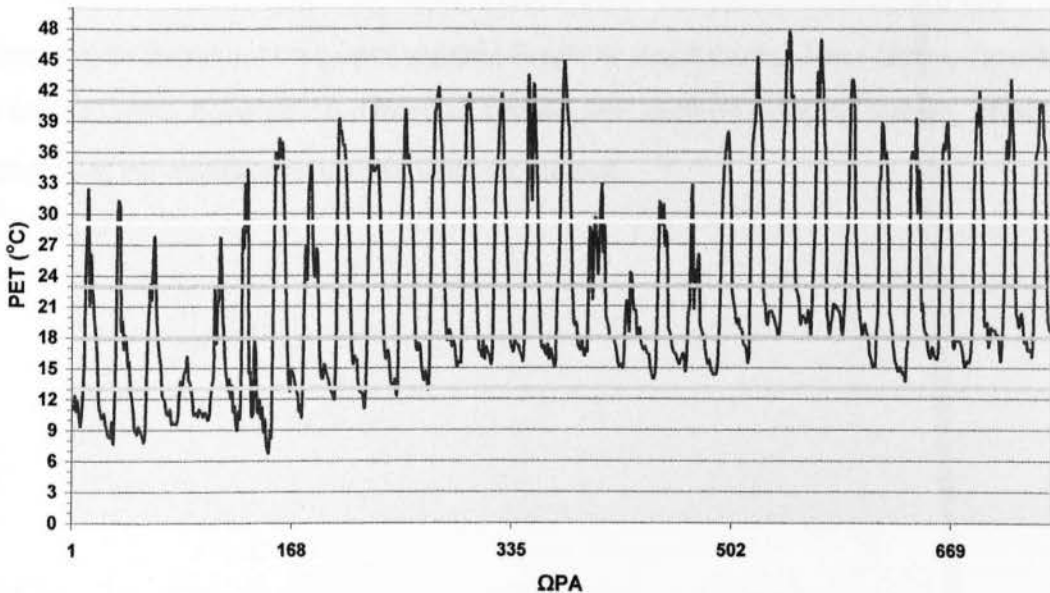
Στην παράγραφο αυτή γίνεται μια παρουσίαση των αποτελεσμάτων της στατιστικής επεξεργασίας των τιμών του δείκτη PET για την εξεταζόμενη χρονική περίοδο. Στον Πίνακα που ακολουθεί, παρουσιάζεται το αίσθημα θερμικής άνεσης με βάση τις τιμές του δείκτη PET.

PET (°C)	Θερμική αίσθηση	Βαθμός θερμο-φυσιολογικής επιβάρυνσης
4	Πολύ κρύο	Ακραία ψυχρή επιβάρυνση
8	Κρύο	Ισχυρή ψυχρή επιβάρυνση
13	Δροσερό	Μέτρια ψυχρή επιβάρυνση
18	Ελαφρά δροσερό	Ελαφρά ψυχρή επιβάρυνση
23	Θερμικά ουδέτερο (θερμική άνεση)	Δεν υπάρχει θερμική επιβάρυνση
29	Ελαφρά ζεστό	Ελαφρά θερμική επιβάρυνση
35	Θερμό	Μέτρια θερμική επιβάρυνση
41	Πολύ ζεστό	Ισχυρή θερμική επιβάρυνση
>41	Πάρα πολύ ζεστό	Ακραία θερμική επιβάρυνση

Πίνακας 10: Κατώφλια της φυσιολογικά ισοδύναμης θερμοκρασίας (PET) για διάφορους βαθμούς του θερμικού αισθήματος από τους ανθρώπους (Matzarakis κ.α. 1999)

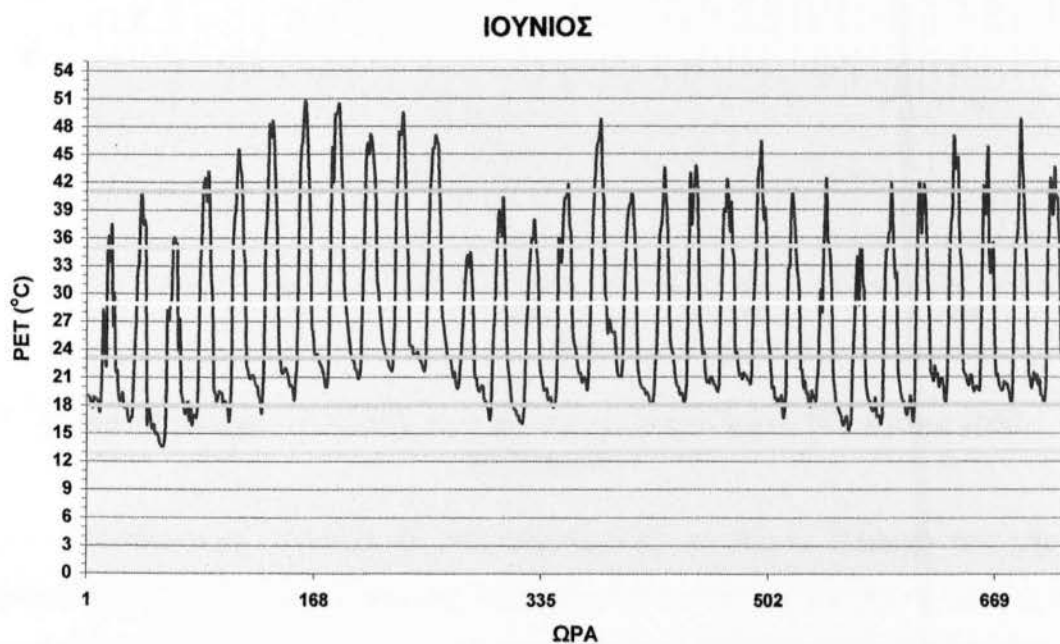
Στα σχήματα που ακολουθούν, παρουσιάζεται για κάθε μήνα (Μάιο-Αύγουστο) του έτους 2009, η ωριαία πορεία των τιμών του δείκτη PET.

ΜΑΪΟΣ



Σχήμα 28: Διαχρονική εξέλιξη των ωριαίων τιμών του δείκτη PET. Μάιος 2009. ΤΕΙ Πειραιά.

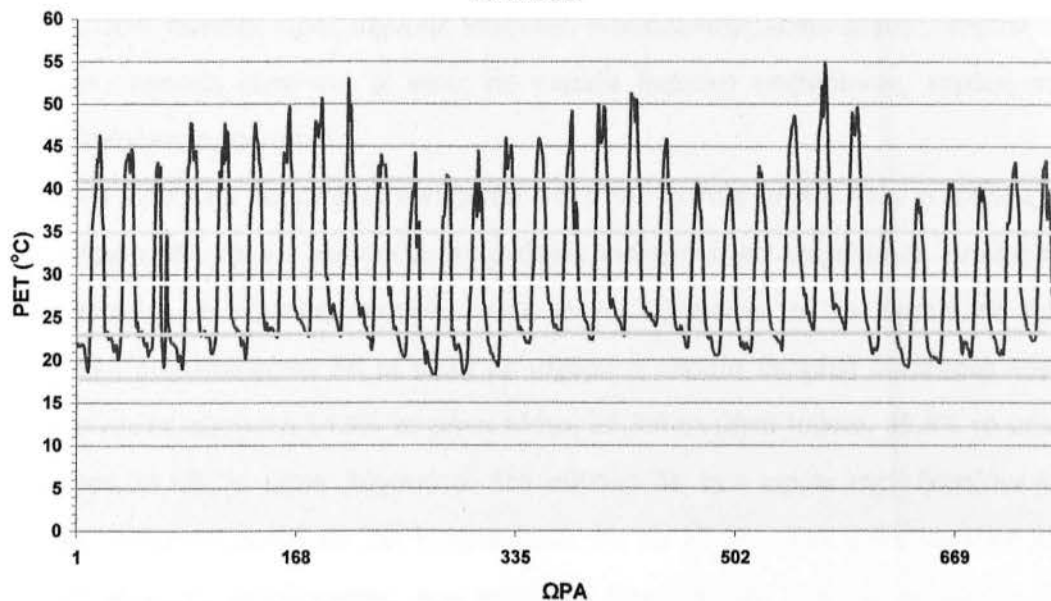
Σύμφωνα με το Σχήμα 28, παρατηρούμε ότι την πρώτη εβδομάδα του Μαΐου 2009, το αίσθημα θερμικής άνεσης ήταν στην περιοχή της θερμικής άνεσης έως δροσερό κυρίως τις βραδινές ώρες. Από το δεύτερο δεκαπενθήμερο του μήνα, εμφανίζονται ώρες με ισχυρή θερμική επιβάρυνση λόγω ζέστης και μερικές μα ακραία θερμική επιβάρυνση λόγω ζέστης.



Σχήμα 29: Διαχρονική εξέλιξη των ωριαίων τιμών του δείκτη PET. Ιούνιος 2009. ΤΕΙ Πειραιά.

Σύμφωνα με το Σχήμα 29, παρατηρούμε ότι σε όλη σχεδόν τη διάρκεια του μήνα, εμφανίζονται αρκετές ώρες ισχυρής θερμικής επιβάρυνσης λόγω ζέστης. Γενικά, σε όλο τον μήνα, φαίνεται ότι η θερμική επιβάρυνση κατά τις ώρες της ημέρας, είναι ισχυρή έως και ακραία για αρκετές ώρες τις ημέρας.

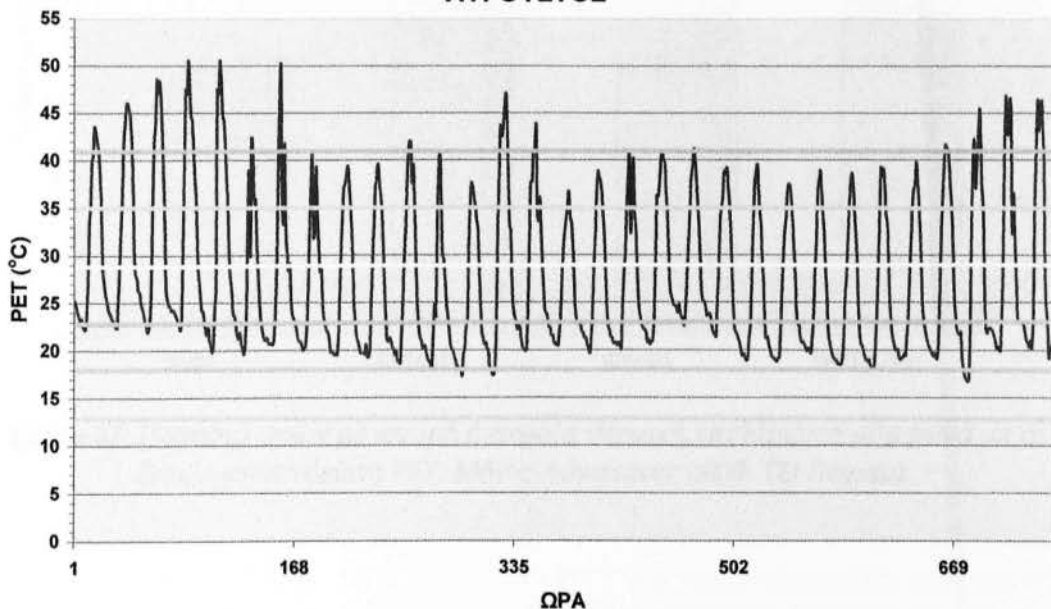
ΙΟΥΛΙΟΣ



Σχήμα 30: Διαχρονική εξέλιξη των ωριαίων τιμών του δείκτη PET. Ιούλιος 2009. ΤΕΙ Πειραιά.

Σύμφωνα με το Σχήμα 30, παρατηρούμε ότι σε όλη τη διάρκεια του μήνα, εμφανίζονται αρκετές ώρες ισχυρής θερμικής επιβάρυνσης λόγω ζέστης, κυρίως το μεσημέρι. Επίσης αρκετές είναι οι ώρες με ακραία θερμική επιβάρυνση λόγω ζέστης.

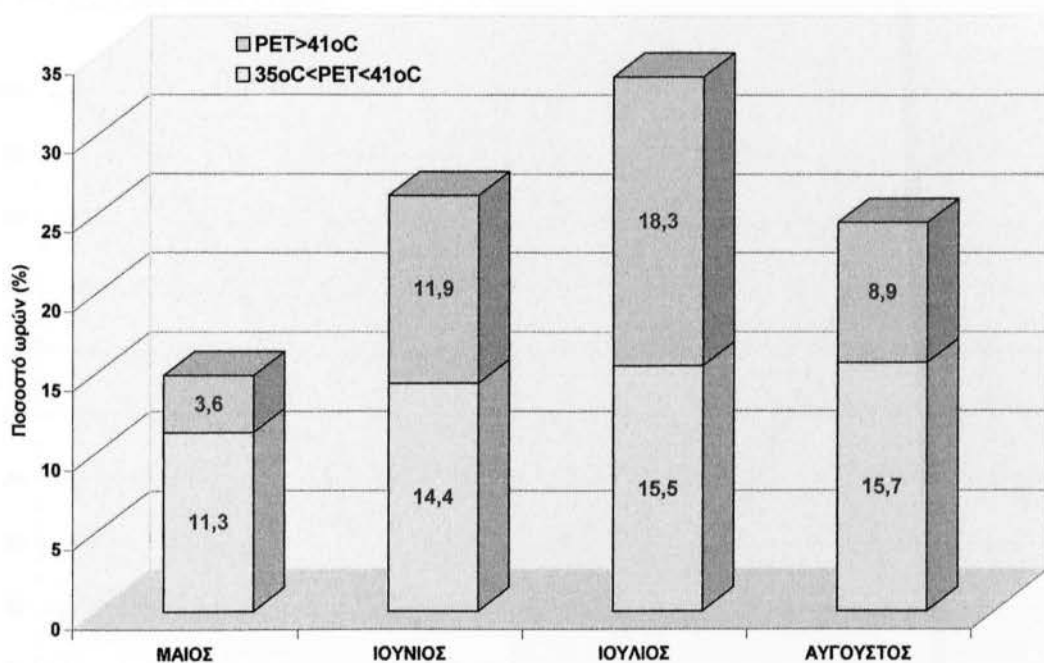
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ



Σχήμα 31: Διαχρονική εξέλιξη των ωριαίων τιμών του δείκτη PET. Αύγουστος 2009. ΤΕΙ Πειραιά.

Σύμφωνα με το Σχήμα 31, παρατηρούμε ότι σε όλη τη διάρκεια του μήνα, εμφανίζονται αρκετές ώρες ισχυρής θερμικής επιβάρυνσης λόγω ζέστης, κυρίως το μεσημέρι. Αρκετές είναι και οι ώρες με ακραία θερμική επιβάρυνση, κυρίως στο πρώτο δεκαήμερο του μήνα.

Με βάση τα παραπάνω προκύπτει ότι ο πιο ζεστός μήνας ήταν ο Ιούλιος, ο οποίος εμφανίζει και τις περισσότερες ανάγκες ενέργειας για κλιματισμό, κυρίως τις μεσημεριανές και πρώτες απογευματινές ώρες. Σύμφωνα με το Σχήμα ΧΧ που ακολουθεί, διαπιστώνεται ότι οι ώρες με ισχυρή ή ακραία θερμική δυσφορία λόγω ζέστης είναι σε ποσοστό 14.9% το μήνα Μάιο, 26.3% το μήνα Ιούνιο, 33.8% το μήνα Ιούλιο και 24.6% το μήνα Αύγουστο. Στο σύνολο δε των ωρών της εξεταζόμενης περιόδου Μαΐου-Αυγούστου 2009, προκύπτει ότι το 25.0% ήταν ώρες ισχυρής και ακραίας θερμικής επιβάρυνσης, που πρακτικά σημαίνει ότι ήταν ώρες απαίτησης κατανάλωσης ενέργειας για ψύξη-κλιματισμό.



Σχήμα 32: Ποσοστό ωρών με ισχυρή ή ακραία θερμική επιβάρυνση σύμφωνα με το βιοκλιματικό δείκτη PET. Μάιος-Αύγουστος 2009. ΤΕΙ Πειραιά.

4.3 Στατιστική επεξεργασία των τιμών των δεικτών PMV και PPD.

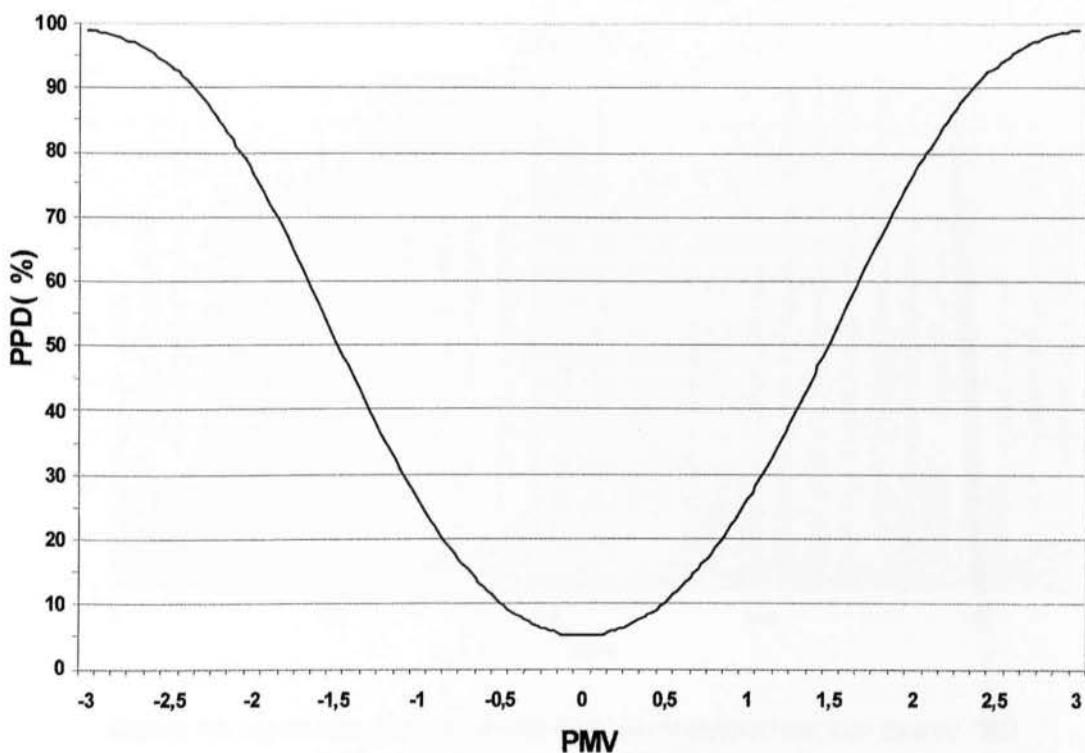
Στην παράγραφο αυτή γίνεται μια παρουσίαση των αποτελεσμάτων της στατιστικής επεξεργασίας των τιμών των δεικτών PMV και PPD, για την εξεταζόμενη

χρονική περίοδο Μάιο-Αύγουστο 2009, στο ΤΕΙ Πειραιά. Στον Πίνακα που ακολουθεί, παρουσιάζεται το αίσθημα θερμικής άνεσης με βάση τις τιμές του δείκτη PMV.

PMV	Θερμική αίσθηση
-3	Ισχυρή ψυχρή επιβάρυνση
-2	Μέτρια ψυχρή επιβάρυνση
-1	Ελαφρά ψυχρή επιβάρυνση
0	Θερμική ουδετερότητα
1	Ελαφρά θερμική επιβάρυνση
2	Μέτρια θερμική επιβάρυνση
3	Ισχυρή θερμική επιβάρυνση

Πίνακας 11: Τιμές του δείκτη PMV και το αντίστοιχο αίσθημα θερμικής άνεσης-δυσφορίας (Markov 2002).

Στο Σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται το ποσοστό των ανθρώπων που εκφράζουν αίσθημα θερμικής δυσφορίας (PPD), λόγω ψύχους ή ζέστης, σε συνάρτηση με την τιμή του δείκτη PMV.

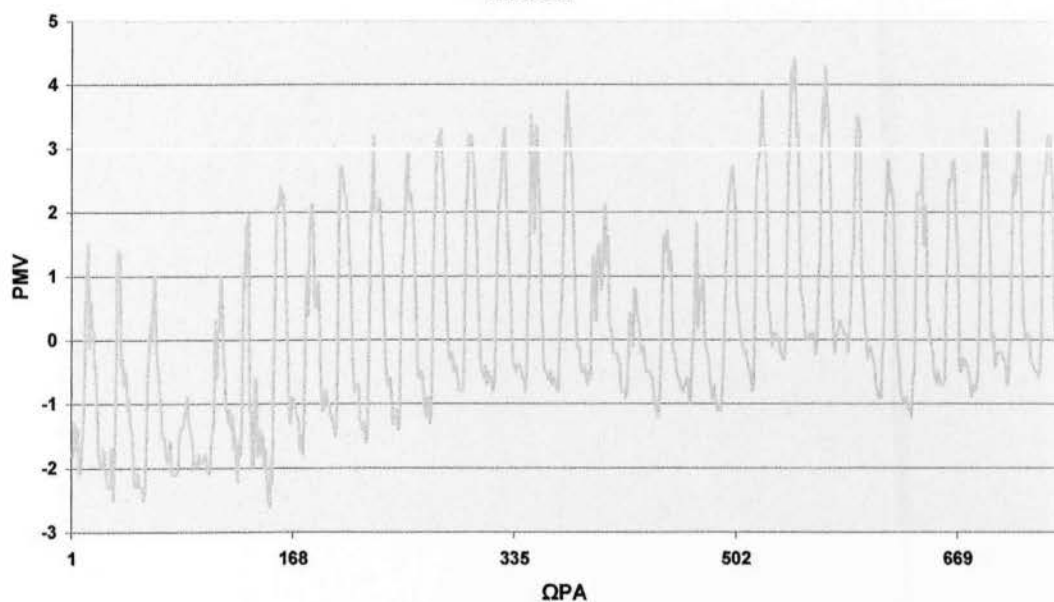


Σχήμα 33: Προβλεπόμενο ποσοστό (%) δυσφορίας (PPD) ως συνάρτηση του δείκτη PMV (Markov 2002).

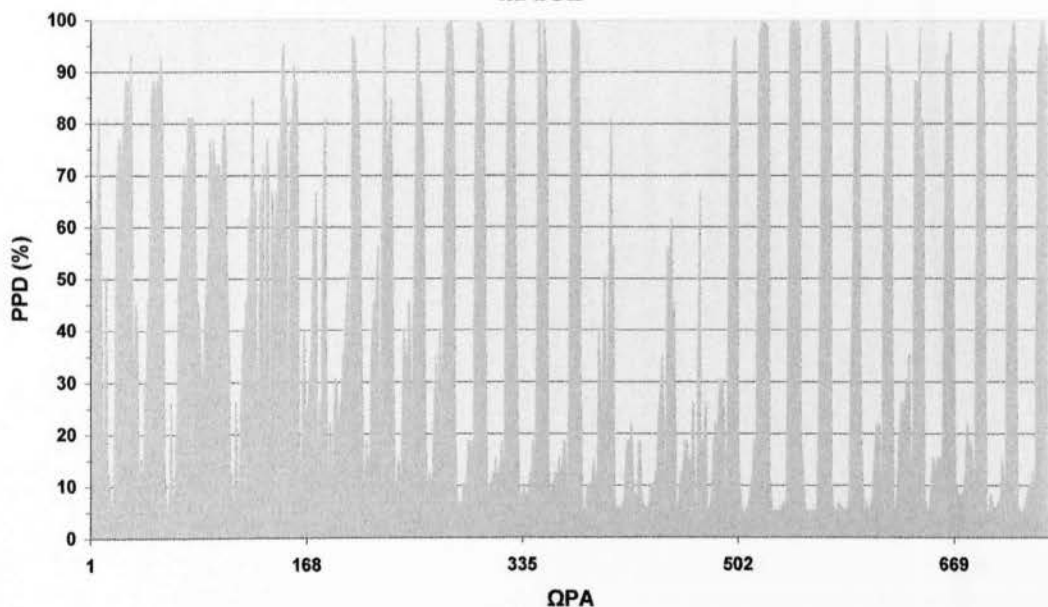
Στο Σχήμα 34 που ακολουθεί, παρουσιάζεται η ωραία πορεία των τιμών του δείκτη PMV (άνω σχήμα) καθώς επίσης και οι αντίστοιχες τιμές του δείκτη PPD

(ποσοστό % των ανθρώπων που εκφράζουν το αίσθημα της θερμικής δυσφορίας) για το μήνα Μάιο, 2009.

ΜΑΪΟΣ



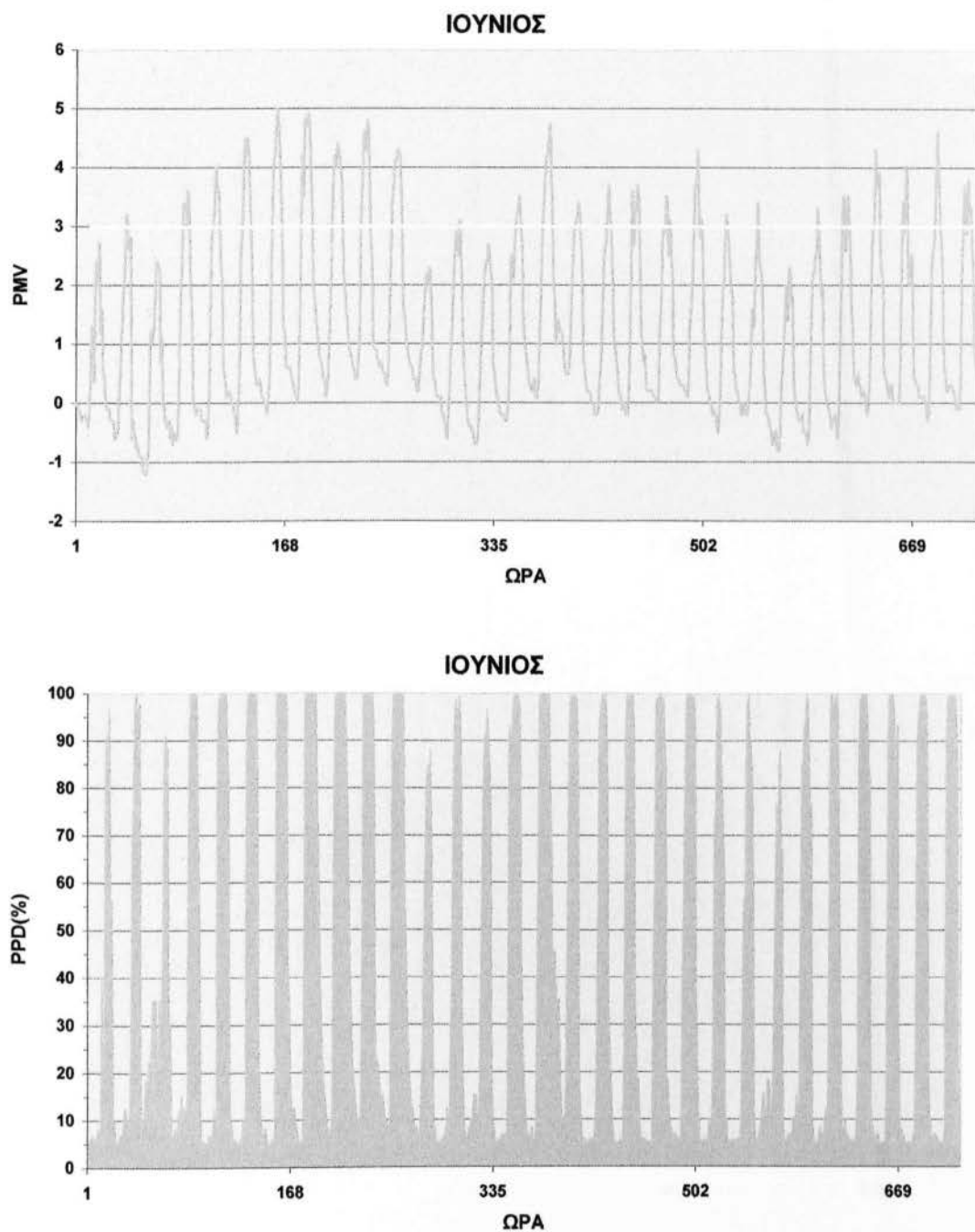
ΜΑΪΟΣ



Σχήμα 34: Ωριαίες τιμές του δείκτη PMV (άνω σχήμα) και του δείκτη PPD (κάτω σχήμα). Μάιος 2009. ΤΕΙ Πειραιά.

Σύμφωνα με το Σχήμα 34, φαίνεται ότι οι ώρες με ισχυρή-ακραία θερμική επιβάρυνση κατά το μήνα Μάιο του έτους 2009, είναι λίγες και εμφανίστηκαν κατά το δεύτερο δεκαπενθήμερο του μήνα και κυρίως τις μεσημεριανές ώρες της ημέρας. Αντίστοιχα είναι και τα ποσοστά δυσφορίας του πληθυσμού (PPD), όπου το δεύτερο

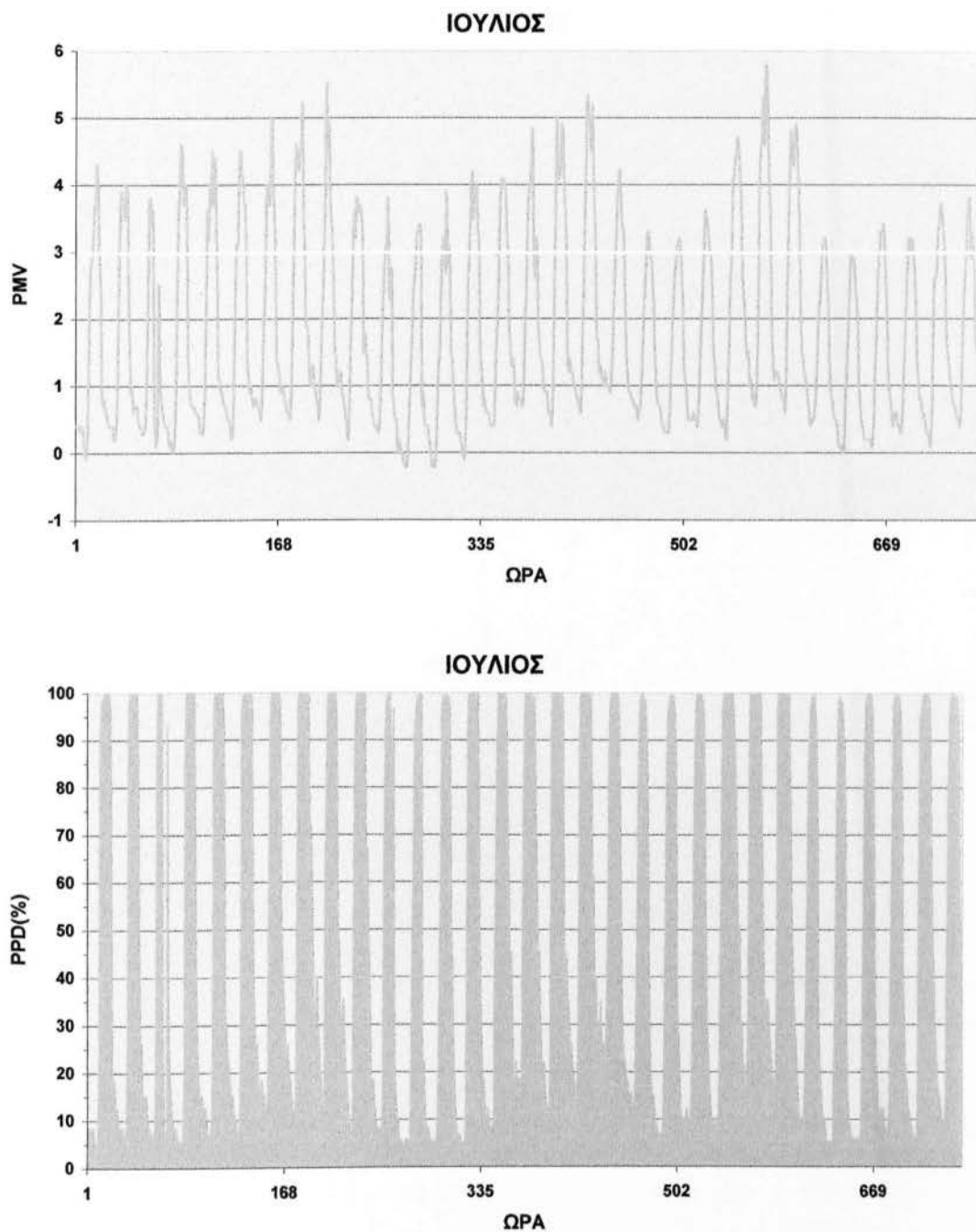
δεκαπενθήμερο του μήνα εμφανίζονται ποσοστά δυσφορίας του πληθυσμού λόγω ζέστης, μεγαλύτερα του 90.0%, κυρίως τις μεσημεριανές ώρες.



Σχήμα 35: Ωριαίες τιμές του δείκτη PMV (άνω σχήμα) και του δείκτη PPD (κάτω σχήμα). Ιούνιος 2009. ΤΕΙ Πειραιά.

Σύμφωνα με το Σχήμα 35, φαίνεται ότι οι ώρες με ισχυρή-ακραία θερμική επιβάρυνση κατά το μήνα Ιούνιο του έτους 2009, είναι πολλές και εμφανίστηκαν σε όλη τη διάρκεια του μήνα και κυρίως τις μεσημεριανές ώρες της ημέρας. Αντίστοιχα είναι και τα ποσοστά δυσφορίας του πληθυσμού (PPD), όπου σε όλη τη διάρκεια του

μήνα εμφανίζονται ποσοστά δυσφορίας του πληθυσμού λόγω ζέστης, μεγαλύτερα του 90.0%, κυρίως τις μεσημεριανές ώρες.

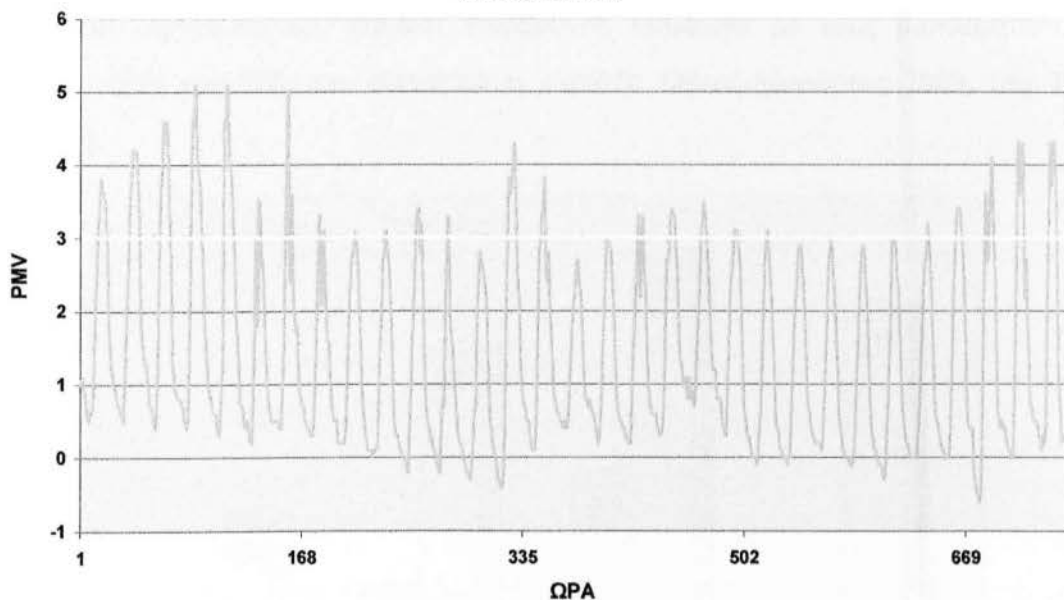


Σχήμα 36: Ωριαίες τιμές του δείκτη PMV (άνω σχήμα) και του δείκτη PPD (κάτω σχήμα). Ιούλιος 2009. ΤΕΙ Πειραιά.

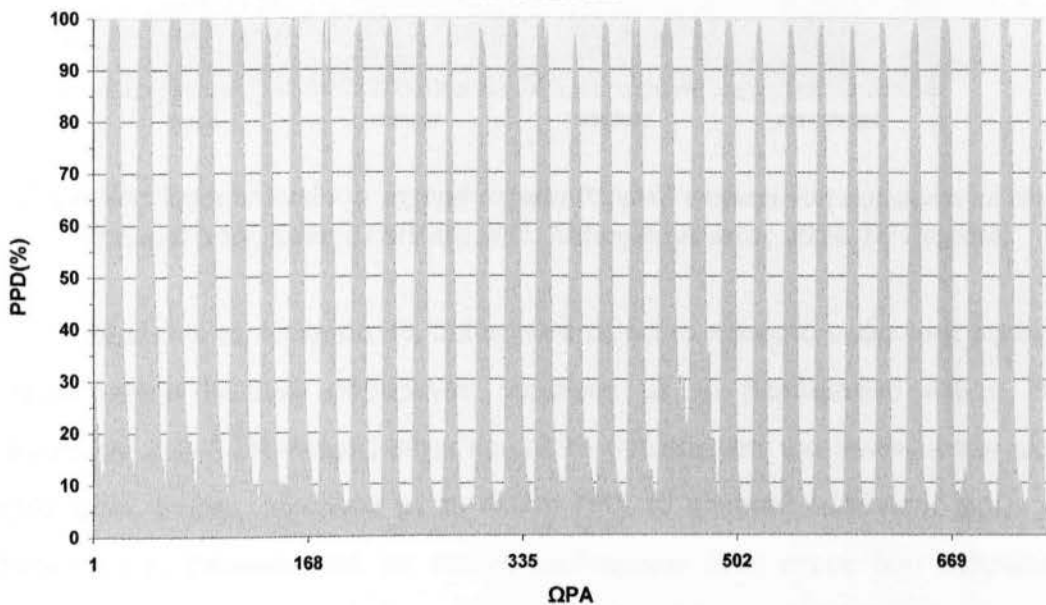
Σύμφωνα με το Σχήμα 36, φαίνεται ότι οι ώρες με ισχυρή-ακραία θερμική επιβάρυνση κατά το μήνα Ιούλιο του έτους 2009, είναι πάρα πολλές και εμφανίστηκαν σε όλη τη διάρκεια του μήνα και κυρίως τις μεσημεριανές ώρες της ημέρας. Αντίστοιχα είναι και τα ποσοστά δυσφορίας του πληθυσμού (PPD), όπου σε όλη τη

διάρκεια του μήνα εμφανίζονται ποσοστά δυσφορίας του πληθυσμού λόγω ζέστης, μεγαλύτερα του 90.0%, κυρίως τις μεσημεριανές και τις πρώτες απογευματινές ώρες.

ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ



ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ

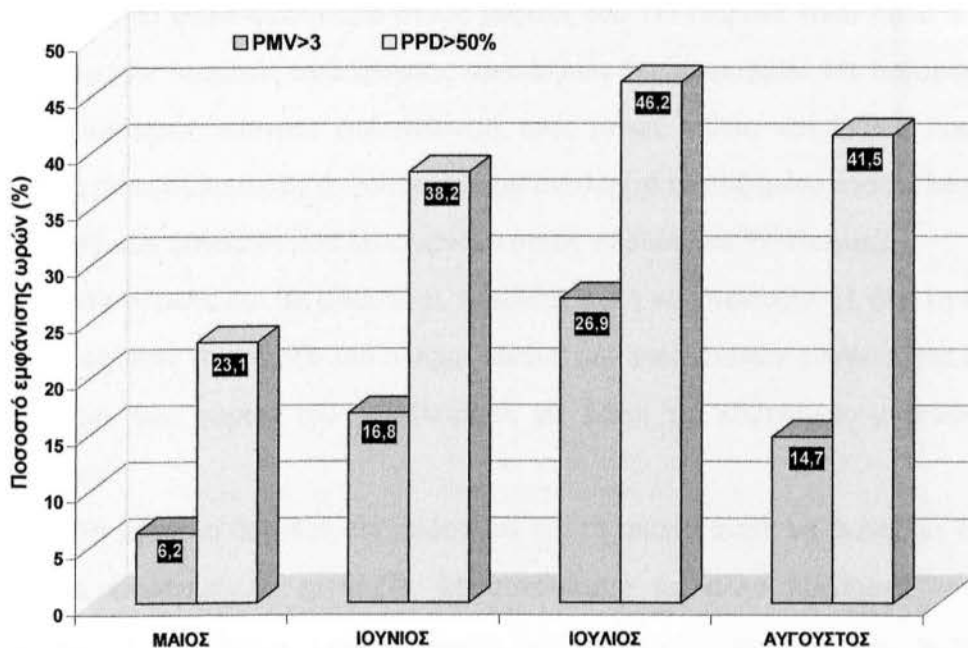


Σχήμα 37: Ωριαίες τιμές του δείκτη PMV (άνω σχήμα) και του δείκτη PPD (κάτω σχήμα). Αύγουστος 2009. ΤΕΙ Πειραιά.

Σύμφωνα με το Σχήμα 37, φαίνεται ότι οι ώρες με ισχυρή-ακραία θερμική επιβάρυνση κατά το μήνα Αύγουστο του έτους 2009, είναι πολλές και εμφανίστηκαν σε όλη τη διάρκεια του μήνα και κυρίως τις μεσημεριανές ώρες της ημέρας. Αντίστοιχα είναι και τα ποσοστά δυσφορίας του πληθυσμού (PPD), όπου σε όλη τη

διάρκεια του μήνα εμφανίζονται ποσοστά δυσφορίας του πληθυσμού λόγω ζέστης, μεγαλύτερα του 90.0%, κυρίως τις μεσημεριανές ώρες.

Στο Σχήμα 38 που ακολουθεί, παρουσιάζονται τα ποσοστά (%) εμφάνισης ωρών με ισχυρή-ακραία θερμική επιβάρυνση σύμφωνα με τους βιοκλιματικούς δείκτες PMV και PPD, την εξεταζόμενη περίοδο Μάιος-Αύγουστος 2009, στο ΤΕΙ Πειραιά.



Σχήμα 38: Ποσοστό ωρών με ισχυρή-ακραία θερμική επιβάρυνση σύμφωνα με τους βιοκλιματικούς δείκτες PMV και PPD. Μάιος-Αύγουστος 2009. ΤΕΙ Πειραιά.

Σύμφωνα με το Σχήμα 38, διαπιστώνεται ότι το ποσοστό εμφάνισης ωρών με ισχυρή-ακραία θερμική επιβάρυνση σύμφωνα με το βιοκλιματικό δείκτη PMV κυμαίνεται από 6.2% (Μάιος) μέχρι και 26.9% (Ιούλιος) επί του συνόλου των ωρών κάθε μήνα. Επίσης, σύμφωνα με το δείκτη PPD, το ποσοστό εμφάνισης ωρών στη διάρκεια του 24ωρου κατά τις οποίες τουλάχιστον ένας στους δύο ανθρώπους εκφράζει το αίσθημα της θερμικής δυσφορίας λόγω υψηλών θερμοκρασιών, κυμαίνεται από 23.1% (Μάιος) μέχρι και 46.2% (Ιούλιος).

Όλα τα παραπάνω οδηγούν στο συμπέρασμα, ότι κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών, οι ανάγκες κατανάλωσης ενέργειας για ψύξη-κλιματισμό στους χώρους του ΤΕΙ Πειραιά είναι πολύ αυξημένη, λόγω ισχυρής θερμικής επιβάρυνσης και υψηλών θερμοκρασιών. Με δεδομένο δε ότι οι περισσότερες ανάγκες εμφανίζονται τους μήνες Ιούνιο και Ιούλιο που το ΤΕΙ Πειραιά είναι σε λειτουργία,

γίνεται άμεσα αντιληπτό το αυξημένο κόστος λειτουργίας των ψυκτικών μονάδων που λειτουργούν στους χώρους του ΤΕΙ Πειραιά.

4.4 Γενικά Συμπεράσματα-Προτάσεις

Όλη η παραπάνω στατιστική επεξεργασία και ανάλυση οδηγεί στο συμπέρασμα, ότι κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών, οι ανάγκες κατανάλωσης ενέργειας για ψύξη-κλιματισμό στους χώρους του ΤΕΙ Πειραιά είναι πολύ αυξημένη, λόγω ισχυρής θερμικής επιβάρυνσης και υψηλών θερμοκρασιών. Με δεδομένο δε ότι οι περισσότερες ανάγκες εμφανίζονται τους μήνες Ιούνιο και Ιούλιο που το ΤΕΙ Πειραιά είναι σε λειτουργία, γίνεται άμεσα αντιληπτό το αυξημένο κόστος λειτουργίας των ψυκτικών μονάδων που λειτουργούν στους χώρους του ΤΕΙ Πειραιά.

Θα έπρεπε και θα μπορούσε η μελέτη αυτή να επεκταθεί σε όλη τη διάρκεια του έτους ώστε να υπάρξει μια πλήρης εικόνα των ενεργειακών αναγκών για ψύξη και θέρμανση των χώρων του ΤΕΙ Πειραιά, με βάση τις εξωτερικές μετεωρολογικές συνθήκες.

Το μοντέλο RayMan, θα μπορούσε για το σκοπό αυτό, να φανεί ως ένα πολύ χρήσιμο επιστημονικό εργαλείο. Σε συνδυασμό με άλλα λογισμικά και με τη συνεργασία και άλλων επιστημονικών τεχνολογικών και τεχνικών ομάδων και ειδικοτήτων, θα μπορούσε να μελετηθεί σε όλη του την έκταση ο χώρος του ΤΕΙ Πειραιά, έτσι ώστε να ληφθούν όλα εκείνα τα απαραίτητα μέτρα με στόχο την προστασία των Εκπαιδευτικών, των Διοικητικών και άλλων Υπαλλήλων αλλά και των Σπουδαστών από την εμφάνιση συμπτωμάτων θερμικής καταπόνησης-δυσφορίας που έχουν ως αποτέλεσμα τη μειωμένη απόδοση αλλά ακόμα και την προσβολή της υγείας τους. Επίσης, θα μπορούσε να μειωθεί σημαντικά το κόστος λειτουργίας των μονάδων ψύξης και θέρμανσης των χώρων του ΤΕΙ Πειραιά.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ASHRAE Standard Project Committee 55.Cognizant TC: TC 2.1, Physiology and Human Environment. SPLS Liaison: Frank E. Jakob. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: [http://c0131231.cdn.cloudfiles.rackspacecloud.com/ASHRAE Thermal Comfort Standard.pdf](http://c0131231.cdn.cloudfiles.rackspacecloud.com/ASHRAE_Thermal_Comfort_Standard.pdf)
- Gulyas A., Unger J., Matzarakis A., 2006. Assessment of the microclimatic and human comfort conditions in a complex urban environment : Modelling and measurements. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://www.sciencedirect.com>
- Hammerle M., Gal T., Unger J., Matzarakis A ., 2011. Comparison of models calculating the sky view factor used for urban climate investigations.
- Herrmann J., Matzarakis A., 2012. Mean radiant temperature in idealized urban canyons-examples from Freiburg, Germany.
- Human comfort and health requirements. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://courses.washington.edu>
- Hwang R., Lin T., Matzarakis A., 2011. Seasonal effects of urban street shading on long-term outdoor thermal comfort. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://www.elsevier.com/locate/buildenv>
- Lin T., Matzarakis A., Hwang R., 2010. Shading effect on long-term outdoor thermal comfort. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://www.elsevier.com/locate/buildenv>
- Matzarakis A., Matuschek O., 2011. Sky view factor as a parameter in applied climatology-rapid estimation by the SkyHelios model, Stuttgart.
- Matzarakis A., Rudel E., Zygmontowski M., Koch E., 2010. Bioclimatic maps for tourism purposes. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://www.elsevier.com/locate/pce>
- Matzarakis A., Rutz F., Mayer H., 2007. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments-application of the RayMan model.
- Matzarakis A., Rutz F., Mayer H., 2010. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: basics of the RayMan model.
- Mean radiant temperature. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://www.wikipedia.org>
- Tzenkova A.S., Kandjov I.M., Ivancheva J.N., 2003. Some biometeorological aspects of urban climate in Sofia. Proceedings of Fifth International Conference on Urban Climate, Lodz, Poland, Vol. 2, pp 103-106.

- Viotti P., Liuti G . and Di Genova P., 2002. Atmospheric urban pollution: applications of an artificial neural network (ANN) to the city of Perugia. *Ecological Modeling* 148(1), pp.27-46.
- Αργυράκη Μ., 2008. Βιοκλιματικός σχεδιασμός, ηλιακά παθητικά συστήματα και άλλες τεχνικές εξοικονόμησης ενέργειας στον κτηριακό τομέα, Αθήνα. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα :
http://dspace.lib.ntua.gr/bitstream/123456789/2693/3/argyrakim_bioclimatic.pdf
- Χαραλαμπόπουλος Ι.Ν., 2009. Ανάπτυξη μεθοδολογίας και εφαρμογές για την αξιολόγηση των βιοκλιματικών συνθηκών υπαίθριων χώρων με διαφορετική διαμόρφωση, Αθήνα.
- Χατζημηνάς Ι.Σ., 1972. Επίτομος Φυσιολογία. Εκδόσεις Γ.Κ. Παρισιανός, έκδοση πρώτη, Αθήνα.