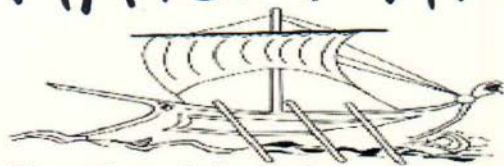


ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΜΗΧ/ΓΙΑΣ



Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα
Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ

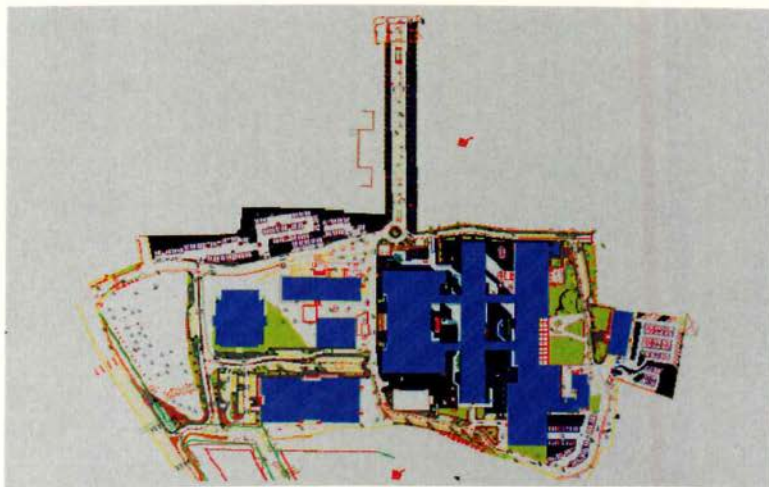
743
Μ/Χ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΔΕΙΚΤΩΝ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ ΣΤΟΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ ΧΩΡΟ ΤΟΥ Α.Τ.Ε.Ι ΠΕΙΡΑΙΑ.

**(“NUMERICAL STUDY OF THERMAL COMFORT INDICES ON THE TEI PIRAEUS
CAMPUS”)**



ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

ΑΣΗΜΙΑΔΗΣ ΕΥΣΤΑΘΙΟΣ-ΡΗΓΟΥΤΣΟΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ

ΝΙΚΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ-ΣΤΕΦΑΝΟΣ

ΠΕΙΡΑΙΑΣ 2013

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ
ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη.....	σελ.3
Κεφάλαιο1.εισαγωγή.....	σελ.4
Κεφάλαιο2.παράμετροι θερμικής άνεσης, θερμική άνεση και ισορροπία, υπολογισμός θερμικής άνεσης,PMV-PPD	σελ.6
Κεφάλαιο3.παράγοντες θερμικής άνεσης.....	σελ.12
Κεφάλαιο4.εφαρμογή-μελέτη δεικτών θερμικής άνεσης.....	σελ.32
Κεφάλαιο5.συμπεράσματα παρατηρήσεις.....	σελ.48
Βιβλιογραφία.....	σελ.49

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει ως στόχο, αρχικά, την ανάλυση και επεξήγηση των παραμέτρων και των δεικτών που επηρεάζουν την θερμική άνεση σε ένα χώρο. Εν συνεχεία, παρουσιάζονται οι αριθμητικές μεταβολές σε ορισμένους δείκτες, μέσω της αριθμητικής προσομοίωσης των συνθηκών που επηρεάζουν τη θερμική άνεση. Οι μεταβολές αυτές έχουν προκύψει από προτεινόμενες κατασκευαστικές επεμβάσεις στον περιβάλλοντα χώρο του Τ.Ε.Ι ΠΕΙΡΑΙΑ.

ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ

Θερμική άνεση, δείκτες, Υπολογιστική Ρυστοδυναμική, Fluent, Gambit

SUMMARY

The present study aims, firstly, to analyse and explain the parameters and indicators that affect thermal comfort to a space. It then presents the numerical changes in some indicators through numerical simulation of conditions that affect thermal comfort. These changes have resulted from proposed construction operations in the surroundings of TEIPiraeus.

KEY-WORDS

Thermal comfort, indices, Computational Fluid Dynamics, Fluent, Gambit

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

[1.1] Εισαγωγή

Η θερμική άνεση αποτελεί αντικείμενο μελέτης της βιομετεωρολογίας, του κλάδου δηλαδή εκείνου της μετεωρολογίας που ασχολείται με τις επιδράσεις του καιρού και του κλίματος στα έμβια όντα.

Η θερμική άνεση ορίζεται σύμφωνα με το Βρετανικό Κριτήριο BS EN ISO 730 ως εκείνη η κατάσταση του μυαλού που αντιπροσωπεύει την ικανοποίηση του ατόμου ως προς το θερμικό περιβάλλον του.

Με άλλα λόγια, ο όρος "θερμική άνεση" χρησιμοποιείται για την περιγραφή της ψυχοσωματικής κατάστασης ενός ατόμου, ενώ συνηθέστερα εκλαμβάνεται ως το αίσθημα του πόσο ζέστη ή κρύο αισθάνεται το άτομο. Η σημασία της θερμικής άνεσης για τον άνθρωπο γίνεται άμεσα αντιληπτή εάν σκεφτούμε τις δραματικές συνέπειες του εξαιρετικά ισχυρού κύματος καύσωνα που έπληξε την Κεντρική Ευρώπη το έτος 2003. Αρκεί να αναφέρουμε πως κατά τη διάρκεια του κύματος αυτού και μέσα σε μόλις 15 ημέρες, έχασαν την ζωή τους δεκάδες χιλιάδες άνθρωποι μόνο στην Γαλλία.

Ο ολοκληρωμένος σχεδιασμός ενός κτιρίου θα πρέπει να έχει ως στόχο τη βελτιστοποίηση των περιβαλλοντολογικών παραμέτρων στο εσωτερικό του. Οι παράμετροι που θα μας απασχολήσουν σε αυτή την εισήγηση οριοθετούν τη θερμική άνεση στο εσωτερικό του κτιρίου. Σύμφωνα με την Αμερικανική Επιστημονική Εταιρία Θέρμανσης, Ψύξης και Κλιματισμού (ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning), ως θερμική άνεση ορίζεται η κατάσταση του μυαλού κατά την οποία ένα άτομο δεν επιθυμεί καμία θερμική αλλαγή του εσωτερικού περιβάλλοντος και εκφράζει ικανοποίηση με τις επικρατούσες θερμικές συνθήκες.

Όπως είναι προφανές η κατάσταση στην οποία ένα άτομο αισθάνεται θερμικά άνετα έχει υποκειμενικό χαρακτήρα. Έτσι στον ίδιο χώρο είναι δυνατόν κάποιο άτομο να εκφράζει την ικανοποίησή του για τις θερμικές συνθήκες, ενώ κάποιο

άλλο άτομο τη δυσαρέσκειά του. Η λέξη άνεση εμπεριέχει ένα μεγάλο αριθμό παραγόντων που την ορίζουν κάθε φορά για κάθε άτομο. Πέρα από τους παράγοντες που συνδέονται με την κοινωνική και ψυχολογική κατάσταση του ατόμου, προκειμένου να αξιολογηθεί επιστημονικά η θερμική άνεση και επομένως να αποκτήσει και αντικειμενικό χαρακτήρα, ορίστηκαν οι φυσικές παράμετροι οι οποίες και την επηρεάζουν.

[1.2] Διάρθρωση εργασίας

Κεφάλαιο 1:Εισαγωγή-Διάρθρωση εργασίας

Κεφάλαιο 2:Θερμική άνεση και ισορροπία-υπολογισμός θερμικής άνεσης-PMV,PPD

Κεφάλαιο 3: Παράγοντες θερμικής άνεσης(Θερμοκρασία, Υγρασία, Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας, Ταχύτητα αέρα)

Κεφάλαιο 4: Εισαγωγή στο Fluent,εφαρμογή

Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα-παρατηρήσεις

[2.1] Παράμετροι θερμικής άνεσης

Αναφορικά με τις παραμέτρους που επηρεάζουν την θερμική άνεση μπορούμε να τις κατηγοριοποιήσουμε σε τρεις κατηγορίες. Αυτές είναι:

ΦΥΣΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

- Θερμοκρασία αέρα [$^{\circ}\text{C}$]
- Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας των εσωτερικών επιφανειών [$^{\circ}\text{C}$]
- Η υγρασία και η σχετική υγρασία του αέρα [Pa]
- Η ταχύτητα του εσωτερικού αέρα [m/s]
- Χωροταξική κατανομή των παραπάνω μεγεθών.

ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

- Το φύλλο των χρηστών του χώρου
- Η ηλικία των χρηστών του χώρου
- Οι συνήθειες των χρηστών του χώρου

ΕΞΩΤΕΡΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

- Το είδος των δραστηριοτήτων των χρηστών του χώρου [met] ($1\text{met}=58,15\text{W}/\text{m}^2$)
- Ο τύπος του ρουχισμού των χρηστών του χώρου [clo] ($1\text{clo} = 0,155\text{m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{W}$)

Όλες οι παραπάνω παράμετροι, και κυρίως οι φυσικές, επηρεάζουν τη ροή ενέργειας υπό τη μορφή θερμότητας από τον άνθρωπο προς το περιβάλλον. Ο άνθρωπος διαθέτει μηχανισμούς οι οποίοι ως στόχο έχουν να διατηρούν τη θερμική κατάσταση του σώματος σταθερή και να την προσαρμόζουν στις συνθήκες του περιβάλλοντος. Εξισορροπώντας τα θερμικά κέρδη και τις απώλειες θερμότητας (αυτομείωση των καύσεων, εφίδρωση), το σώμα μας καθορίζει την αναφερθείσα ροή θερμότητας.

[2.2] Θερμική άνεση και ισορροπία

Το ανθρώπινο σώμα διαθέτει ένα αποτελεσματικό σύστημα ρύθμισης της θερμοκρασίας, η οποία διατηρείται περίπου στους 37 °C. Όταν η θερμοκρασία του σώματος αρχίσει να αυξάνεται, είτε λόγω κλιματολογικών συνθηκών είτε λόγω έντονης δραστηριότητας, δύο μηχανισμοί ενεργοποιούνται για την ελάττωσή της. Πρώτον, τα αιμοφόρα αγγεία διαστέλλονται, αυξάνοντας τη ροή του αίματος στο δέρμα, ώστε να αυξηθούν οι απώλειες μέσω αγωγής και ακτινοβολίας και δευτερευόντως αρχίζει η λειτουργία της εφίδρωσης. Η εφίδρωση και το αποτέλεσμά της, η ψύξη μέσω εξάτμισης, είναι ο βασικός μηχανισμός ψύξης του δέρματος. Αύξηση ενός βαθμού στη θερμοκρασία του πυρήνα του σώματος, μπορεί να ενεργοποιήσει το μηχανισμό της εφίδρωσης που τετραπλασιάζει τη μετάδοση θερμότητας από το ανθρώπινο σώμα προς το περιβάλλον.

Όταν η θερμοκρασία του ανθρώπινου σώματος αρχίσει να μειώνεται, τα αιμοφόρα αγγεία συστέλλονται, μειώνοντας τη ροή του αίματος στο δέρμα, ώστε να μειωθεί η απώλεια θερμότητας μέσω αγωγής και ακτινοβολίας. Στη συνέχεια, η θερμοκρασία του πυρήνα του σώματος αυξάνεται με την αύξηση των εσωτερικών καύσεων, την ενεργοποίηση των μυών και την εμφάνιση ρίγους. Η κίνηση αυτή των μυών αυξάνει τις καύσεις, άρα και την παραγόμενη από το σώμα θερμότητα. Το σύστημα ρύθμισης της θερμοκρασίας του σώματος λαμβάνει υπόψη εκτός από τα αισθητήρια όργανα του δέρματος και τα αισθητήρια όργανα του υποθαλάμου. Τα αισθητήρια όργανα του υποθαλάμου είναι υπεύθυνα για την ενεργοποίηση των μηχανισμών ψύξης του σώματος, όταν η θερμοκρασία του ξεπεράσει τους 37°C. Τα αισθητήρια όργανα του δέρματος ενεργοποιούν τους αμυντικούς μηχανισμούς του σώματος, όταν η θερμοκρασία του μειωθεί κάτω από τους 34°C. Τα αποτελέσματα λοιπόν της επίδρασης των περιβαλλοντικών παραγόντων γίνονται αισθητά από τις μεταβολές της θερμοκρασίας του δέρματος και το είδος των σημάτων που λαμβάνει ο εγκέφαλος από τα αισθητήρια όργανα του δέρματος. Ο άνθρωπος θεωρεί το περιβάλλον του ως θερμικά άνετο όταν δεν υπάρχει κάποιο σήμα από τα αισθητήρια όργανα για πτώση ή άνοδο της θερμοκρασίας του σώματος. Αυτή η κατάσταση μπορεί να περιγραφεί ως θερμική ισορροπία (Σχήμα [2.2.1]). Έτσι, σε μια τέτοια κατάσταση ένα άτομο δεν αισθάνεται ούτε κρύο ούτε ζέστη.



Σχήμα 2.1: Απεικόνιση της θέσης που έχουν η θερμική άνεση και ισορροπία σε σχέση με την αίσθηση κρύου και ζέστης.

Σύμφωνα με τη φυσιολογία, η θερμοκρασία του δέρματος είναι ο κατάλληλος δείκτης για τη θερμική αίσθηση του περιβάλλοντος. Η θερμική άνεση όμως είναι μια ολοκληρωτική μονάδα και απεικονίζει τη συνολική θερμική κατάσταση του σώματος. Συμπληρωματικά, έχει προταθεί η εισαγωγή και άλλων φυσικών παραμέτρων για την αξιολόγηση της θερμικής άνεσης όπως:

- Μέση θερμοκρασία σώματος
- Ρυθμός εφίδρωσης
- Ξηρότητα του δέρματος

[2.3] Υπολογισμός θερμικής άνεσης

Η θερμική ισορροπία του σώματος είναι μια δυναμική κατάσταση μεταξύ της παραγόμενης θερμότητας (ως αποτέλεσμα του ανθρώπινου μεταβολισμού) και της θερμότητας που μεταδίδεται με μεταφορά, αγωγή, ακτινοβολία και εξάτμιση από ή προς το περιβάλλον. Το θερμικό ισοζύγιο ανάμεσα στο ανθρώπινο σώμα και το περιβάλλον ρυθμίζεται από τη Σχέση [2.1].

$$M-W=H+E_c+C_{res}+E_{res} \quad [2.1]$$

Όπου :

M: ρυθμός μετατροπής της χημικής ενέργειας σε θερμότητα και μηχανικό έργο, μέσω αερόβιων και αναερόβιων διεργασιών μέσα στο σώμα [W/m²]

W: το ωφέλιμο μηχανικό έργο [W/m^2]

H: οι απώλειες ενέργειας υπό την μορφή θερμότητας από την επιφάνεια του σώματος μέσω αγωγής, συναγωγής και ακτινοβολίας [W/m^2]

EC: το ποσό της θερμότητας που απάγεται λόγω εξάτμισης σε κατάσταση θερμικής ισορροπίας [W/m^2]

Cres: το ποσό της θερμότητας που απάγεται με αγωγή κατά την αναπνοή [Wm^2]

Eres: το ποσό της θερμότητας που απάγεται λόγω εξάτμισης κατά την αναπνοή [W/m^2]

Η Σχέση [2.1] είναι ένα εργαλείο υπολογισμού της θερμικής άνεσης που μπορεί να επιτευχθεί σε ένα χώρο, μετρώντας ή γνωρίζοντας τις φυσικές παραμέτρους που αναφέρθηκαν. Ο υπολογισμός της θερμικής άνεσης με βάση αυτή την εξίσωση ανήκει στον P.O. Fanger (1970) και θεωρείται ο πρόδρομος και άλλων εξισώσεων ή μοντέλων υπολογισμού της θερμικής άνεσης.

[2.4] PMV-PPD

Η ικανοποίηση της εξίσωσης θερμικής άνεσης είναι μία συνθήκη για την επίτευξη θερμικής ευεξίας. Ωστόσο, η εξίσωση παρέχει μόνο πληροφορίες για το πως οι παράμετροι πρέπει να συνδυαστούν ώστε να δημιουργηθούν συνθήκες θερμικής ευεξίας στο εσωκλίμα. Ως εκ τούτου, δεν είναι κατάλληλη άμεσα για την εξακρίβωση της αίσθησης ενός τυχαίου θερμικού περιβάλλοντος από τους χρήστες των κτιρίων όπου οι παράμετροι δεν ικανοποιούν την εξίσωση θερμικής άνεσης.

Για τον παραπάνω λόγο, ο P.O. Fanger ακολούθησε μια πειραματική διαδικασία με στόχο τη δημιουργία ενός απλού δείκτη για τον χαρακτηρισμό των θερμικών συνθηκών ενός χώρου. Συγκεκριμένα, ανέπτυξε το δείκτη της μέσης προβλεπόμενης τιμής ψηφοφορίας PMV (Predicted Mean Vote), και το δείκτη δυσαρέσκειας των ανθρώπων ή αλλιώς δείκτη PPD (Predicted Percent of Dissatisfied people).

Οι δύο αυτοί δείκτες, ως συνέχεια της θεωρίας του P.O. Fanger, κάνουν εύκολη την εξαγωγή συμπερασμάτων για την αίσθηση του θερμικού περιβάλλοντος που

επικρατεί σε έναν χώρο. Οι δύο αυτοί δείκτες είναι σύνθετες μαθηματικές σχέσεις που λαμβάνουν υπόψη ένα πλήθος παραμέτρων.

Ο δείκτης PMV είναι μια κλίμακα 7 σημείων και αποτελεί τη μέση τιμή εκτίμησης της θερμικής άνεσης από τα άτομα που βρίσκονται μέσα σε ένα χώρο με δεδομένες συνθήκες. Η μηδενική τιμή είναι η τιμή στην οποία το άτομο αισθάνεται άνετα με τις θερμικές συνθήκες.

Η Σχέση [2.2] δίνει τον υπολογισμό του δείκτη PMV σύμφωνα με τα μεγέθη που εισήχθησαν στην εξίσωση θερμικής άνεσης.

$$PMV=(0,303*e^{-0,036M}+0,028)*[(M-W)-H-EC-CRES-ERES] \quad [2.2]$$

Ο δείκτης PMV χρησιμοποιείται ταυτόχρονα με το δείκτη PPD (%), δηλαδή του ποσοστού των ατόμων που βρίσκονται σε ένα χώρο και δηλώνουν ότι δεν αισθάνονται θερμικά άνετα, σε σχέση με το συνολικό αριθμό των ατόμων που βρίσκονται στον χώρο αυτό.

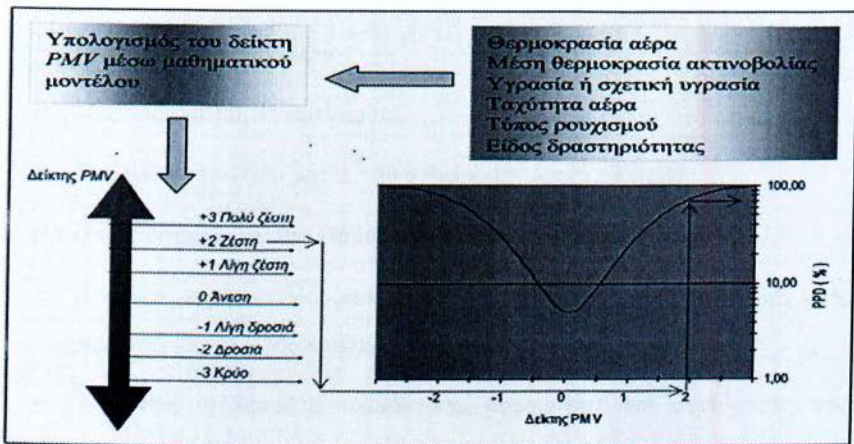
Υπολογίζοντας το δείκτη PMV σύμφωνα με τη Σχέση [2.2] μπορούμε μέσω του διαγράμματος PPD και με βάση τον τρόπο υπολογισμού που φαίνεται στο Σχήμα [2.2] να βρούμε το ποσοστό των δυσαρεστημένων, με τις θερμικές συνθήκες, ατόμων σε έναν χώρο. Σύμφωνα με το διάγραμμα PPD φαίνεται ότι ακόμη και αν ο δείκτης PMV = 0 και άρα βρισκόμαστε σε κατάσταση θερμικής άνεσης, θα υπάρχει πάντα ένα ποσοστό PPD = 5% των ατόμων του εξεταζόμενου χώρου που θα είναι δυσαρεστημένοι με τις θερμικές συνθήκες.

Επίσης, στις ακραίες τιμές, που είναι PMV = +3 ή -3, ο δείκτης PPD = 99,12%, που σημαίνει ότι ακόμη και σε συνθήκες πολύ ζέστης ή κρύου θα υπάρχει πάντα ένα ποσοστό ατόμων, περίπου 1%, που θα είναι ικανοποιημένοι με τις θερμικές συνθήκες. Σε πολλές χώρες όπου έχει γίνει αποδεκτή η θεωρία του Fanger, θεωρείται ότι η κατάσταση που θα επικρατεί σε έναν χώρο θα είναι ικανοποιητική, όταν το ποσοστό των δυσαρεστημένων (PPD) δεν θα ξεπερνά το 10%. Η μαθηματική σχέση που συνδέει τους δύο δείκτες είναι:

$$PPM=100-95*e^{-(0,03353*PMV^4+0,2179*PMV^2)} \quad [2.3]$$

Η θεωρία του Fanger και εξισώσεις των PMV και PPD έχουν περιληφθεί σε πολλά πρότυπα που προσδιορίζουν τις παραμέτρους που επηρεάζουν τη θερμική άνεση. Έτσι, παρουσιάζεται στα παρακάτω πρότυπα:

- Αμερικανική Επιστημονική Εταιρία Θέρμανσης Ψύξης και Κλιματισμού, ASHRAE, American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning.
- Γαλλικό Πρότυπο AFNOR.
- Ελβετικό Πρότυπο SIA 180
- Διεθνές Πρότυπο ISO 7730.



Σχήμα [2.3]: Ολοκληρωμένο σχήμα υπολογισμού του ποσοστού των δυσαρεστημένων PPD.

Η θεωρία του Fanger για τον υπολογισμό ή καλύτερα τη μοντελοποίηση της θερμικής αίσθησης των ατόμων, δεν είναι η μόνη. Οι εξελίξεις τα τελευταία χρόνια έχουν αναδείξει και άλλα μοντέλα υπολογισμού της θερμικής άνεσης ως συνέπεια της κριτικής που έχει δεχθεί η θεωρία του Fanger.

Κεφάλαιο 3^ο ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ

3.1 Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία του αέρα είναι αναμφισβήτητα καθοριστική παράμετρος όταν αναφερόμαστε στο εσωτερικό περιβάλλον του κτιρίου. Επηρεάζει την άνεση με πολλούς τρόπους και σε συνδυασμό με άλλους παράγοντες αποτελεί το κλειδί για το ενεργειακό ισοζύγιο μας, την αίσθηση του θερμικού περιβάλλοντος, την άνεση, τη δυσφορία και την αίσθηση της ποιότητας εσωτερικού αέρα. Οι παράμετροι που επηρεάζουν τη θερμοκρασία στο εσωτερικό των κτιρίων μπορούν να ενταχθούν σε τρεις κατηγορίες: το εξωτερικό περιβάλλον, το σχεδιασμό του κτιρίου και το σύστημα θέρμανσης, ψύξης και αερισμού

Παράμετροι που επηρεάζουν τη θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό ενός κτιρίου

- Το εξωτερικό περιβάλλον
- Ο προσανατολισμός του κτιρίου
- Τα υλικά κατασκευής και τα υλικά θερμομόνωσης του κτιρίου
- Ο τρόπος αερισμού του κτιρίου (μηχανικός ή φυσικός)
- Ο τρόπος σχεδιασμού, κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης ενός μηχανικά αεριζόμενου κτιρίου
- Ο τρόπος σχεδιασμού, κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης του συστήματος θέρμανσης και του συστήματος ψύξης του κτιρίου
- Ο τύπος και ο αριθμός των ηλεκτρικών συσκευών, μηχανημάτων ή εξοπλισμού γραφείων που υπάρχουν στο κτίριο και παράγουν θερμότητα (π.χ. οθόνες Η/Υ)
- Ο τρόπος λειτουργίας του κτιρίου και των συστημάτων αερισμού, θέρμανσης και ψύξης από τους χρήστες του κτιρίου

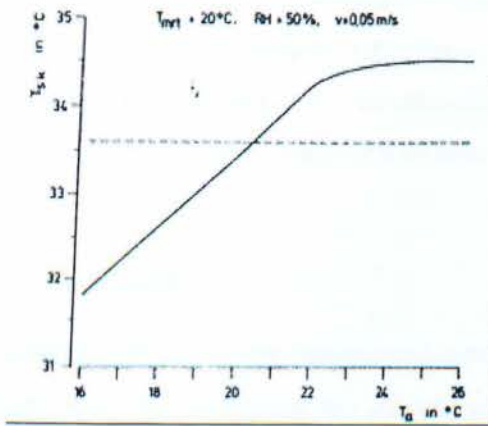
Το πρόβλημα που εντοπίζεται στη μελέτη της θερμοκρασίας ως παραμέτρου της θερμικής άνεσης έγκειται στο γεγονός ότι δεν υπάρχει μια τιμή της θερμοκρασίας

που να αποτελεί τη βέλτιστη λύση, αλλά ένα πεδίο τιμών της ως συνάρτηση και άλλων παραγόντων. Το σώμα μας αντιλαμβάνεται τη θερμοκρασία του αέρα (και των άλλων παραμέτρων του θερμικού περιβάλλοντος) από τα αισθητήρια όργανα του δέρματος και του υποθαλάμου ρυθμίζοντας τη θερμοκρασία του.

Πιο αναλυτικά, η θερμοκρασία επηρεάζει το ανθρώπινο σώμα και τις λειτουργίες ανταλλαγής ενέργειας υπό τη μορφή θερμότητας με το περιβάλλον. Η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα τείνει να μειώσει τις απώλειες θερμότητας με αγωγή και ακτινοβολία, ενώ αυξάνονται οι απώλειες θερμότητας λόγω εφίδρωσης.

Η θερμοκρασία του αέρα επηρεάζει και τη μέση θερμοκρασία του δέρματος. Το φυσικό αυτό μέγεθος έχει εισαχθεί για την πληρέστερη αξιολόγηση της θερμικής άνεσης. Έρευνες του P. Horpe που πραγματοποιήθηκαν με τη βοήθεια του μαθηματικού μοντέλου M.E.M.I., κατέληξαν στη συσχέτιση της θερμοκρασίας του αέρα και της μέσης θερμοκρασίας του δέρματος. Όπως παρατηρούμε από το σχήμα [3.1], η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα τα οδηγεί σε συνεχόμενη αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του δέρματος έως και τους 21 °C. Η περαιτέρω αύξηση της τα ενεργοποιεί το μηχανισμό της εφίδρωσης με άμεση συνέπεια την ψύξη του δέρματος και γι' αυτό το λόγο η κλίση της ευθείας του σχήματος [3.1] μειώνεται σημαντικά μετά τους 21°C. Η μέση θερμοκρασία δέρματος που θεωρείται ως φυσιολογική, σε αντιστοιχία με τη θερμοκρασία ισορροπίας του σώματός μας στους 37,6°C, είναι κοντά στους 33,5°C, όπως φαίνεται και από την οριζόντια γραμμή του σχήματος [3. 1].

Για τη διατήρηση αυτής της μέσης θερμοκρασίας δέρματος η θερμοκρασία του αέρα θα πρέπει να είναι κοντά στους 20°C.



Συνθήκες μετρήσεων: άνδρας 35 ετών, τύπος ρουχισμού = 1 clo, καθιστική εργασία, μεταβολικός ρυθμός = 60W, μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας $t_m = 20\text{ }^\circ\text{C}$, σχετική υγρασία RH = 50%, ταχύτητα αέρα $v = 0,05\text{ m/s}$.

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

Σχήμα [3.1]: Μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα, t_a , και της μέσης θερμοκρασίας του δέρματος, t_{sk} .

Δύο μεγέθη που επηρεάζουν επίσης ισχυρά τη θερμοκρασία άνεσης είναι ο τύπος του ρουχισμού και η μεταβολική δραστηριότητα. Στον πίνακα [3.1] φαίνεται η μεταβολή της θερμοκρασία άνεσης καθώς μεταβάλλονται τα παραπάνω μεγέθη. Το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε για τους υπολογισμούς είναι το MEMI.

Πίνακας [3.1]: Θερμοκρασία άνεσης αέρα σε σχέση με τη μεταβολική δραστηριότητα και τον τύπο του ρουχισμού

Εργασία	Μεταβολική δραστηριότητα [W]	Ρουχισμός [clo]	Θερμοκρασία άνεσης $T_a(\text{comf})$ [$^\circ\text{C}$]	Συνθήκες μετρήσεων: θερμοκρασία αέρα = μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας, πίεση ατμών = 10 hPa, ταχύτητα αέρα = 0.1 m/s.
Ηρεμία	0	0,5	31	Πηγή: Peter Höppe, Ivo Martinac, 1998, Biometeorology, Indoor Climate and Air Quality.
	0	1,0	29	
Καθιστική εργασία	43	0,5	27	
	43	1,0	23	
Ελαφριά εργασία	100	0,5	22	
	100	1,0	16	
Έντονη εργασία	20	0,5	12	

Η προδιαγραφή της θερμοκρασίας άνεσης γενικότερα είναι δύσκολη εξαιτίας κυρίως του μεγάλου αριθμού παραγόντων που επηρεάζουν τη διατήρηση μιας θερμοκρασίας σ' ένα χώρο και των παραγόντων που επηρεάζουν την 'καταγραφή' αυτής της θερμοκρασίας ως άνετης ή όχι από το σώμα μας.

3.2 Υγρασία

Η υγρασία, μαζί με τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας, αποτελούν τα δυσκολότερα μεγέθη κατά την αξιολόγηση του εσωκλίματος και εκφράζεται με σχετικούς και απόλυτους όρους. **Ως ορισμός η υγρασία είναι το ποσό των υδρατμών που υπάρχει στον αέρα.** Η σχετική υγρασία, που χρησιμοποιείται συχνότατα στην αξιολόγηση της θερμικής άνεσης, εκφράζεται ως ποσοστό του κορεσμένου αέρα σε υδρατμούς. Η σχετική υγρασία επενεργεί στην εξάτμιση του νερού από την επιδερμίδα μεταβάλλοντας τη θερμοκρασία του δέρματος και επηρεάζοντας το θερμικό ισοζύγιο του σώματος. Συνοπτικά, η υγρασία του αέρα επηρεάζει τους εξής τρεις μηχανισμούς του σώματός μας:

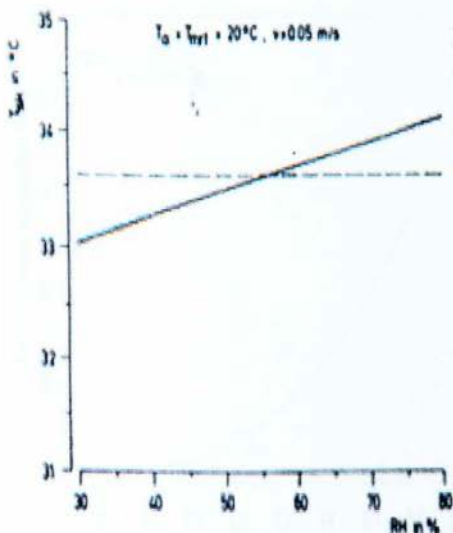
- το μηχανισμό διάχυσης των υγρών υπό τη μορφή αερίων του σώματός μας μέσω του δέρματος,
- το μηχανισμό εξάτμισης του ιδρώτα από την επιφάνεια του δέρματος και
- το μηχανισμό ύγρανσης του εισπνεόμενου αέρα.

Οι μηχανισμοί της διάχυσης και της εξάτμισης εξαρτώνται άμεσα από τη σχετική υγρασία του αέρα. Αν το περιεχόμενο του αέρα είναι υψηλό σε υδρατμούς (σχετική υγρασία > 60 – 70%) και η θερμοκρασία του αέρα υψηλή, το σώμα μας ενεργοποιεί το μηχανισμό της εφίδρωσης. Ωστόσο, η εξάτμιση του ιδρώτα είναι αδύνατη σε αέρα με υψηλό περιεχόμενο υδρατμών, και έτσι ο ιδρώτας παραμένει στο δέρμα διαβρέχοντάς το. Η κατάσταση αυτή οδηγεί το σώμα μας να αισθάνεται τον αέρα πιο ζεστό απ' όσο πραγματικά είναι και η ατμόσφαιρα μοιάζει να είναι κολλώδης.

Αντίθετα, το μικρό περιεχόμενο υδρατμών του αέρα (σχετική υγρασία < 30%) καθιστά εφικτή την εξάτμιση μεγάλων ποσοτήτων υγρών, άρα και του ιδρώτα του δέρματος.

Πέρα από τις παραπάνω επιδράσεις της υγρασίας, περαιτέρω έρευνες έχουν γίνει για τη σχέση των τιμών της σχετικής υγρασίας με το δέρμα και την αναπνευστική οδό. Το σχήμα [3.2] παρουσιάζει τη μέση θερμοκρασία του δέρματος σε σχέση με τη μεταβολή της σχετικής υγρασίας. Στο διάγραμμα φαίνεται καθαρά η μικρή επίδραση της σχετικής υγρασίας στη μέση θερμοκρασία του δέρματος (50% μεταβολή σχετικής υγρασίας, επιφέρει μεταβολή 1.2 – 1.3°C της μέσης θερμοκρασίας δέρματος).

Σε γενικές γραμμές, η ανοσοποιητική ικανότητα του δέρματος μειώνεται όταν το δέρμα δεν υγραίνεται επαρκώς. Απ' την άλλη μεριά το αίσθημα της δυσaréσκειας εμφανίζεται όταν το δέρμα είναι έντονα βρεγμένο, υπό την παρουσία υψηλών θερμοκρασιών, υψηλής σχετικής υγρασίας και δραστηριότητας εντονότερης της καθιστικής.



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

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

Σχήμα [3.2]: Μεταβολή της σχετικής υγρασίας του αέρα και της μέσης θερμοκρασίας του δέρματος t_{sk} .

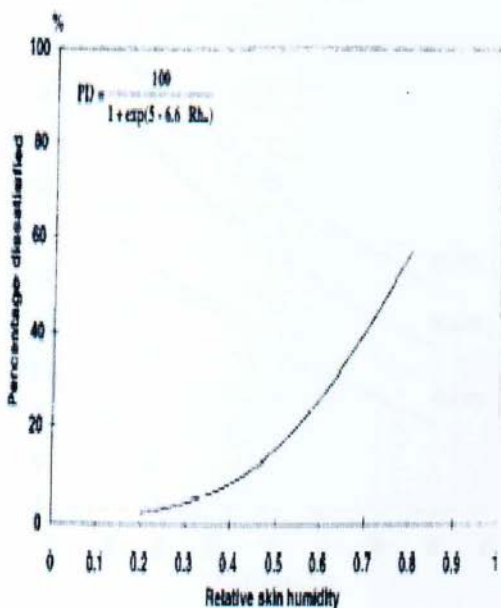
Η έννοια της διαβροχής του δέρματος μελετάται από το 1937, χρόνια όπου ο Gagge έδωσε το παρακάτω ορισμό: 'η διαβροχή του δέρματος είναι η διαφορά μεταξύ της

πραγματικής απώλειας θερμότητας λόγω εξάτμισης του ιδρώτα, προς τη μέγιστη που μπορεί να επιτευχθεί υπό τις ίδιες περιβαλλοντικές συνθήκες.

Εναλλακτικά, η διαβροχή του δέρματος μπορεί να οριστεί λαμβάνοντας υπόψη την επιφάνεια του σώματος που είναι καλυμμένο με ιδρώτα λόγω εφίδρωσης. Η διαβροχή του δέρματος δηλώνει την ένταση που επιβάλλεται στο θερμορυθμιστικό σύστημα του σώματος και αποτελεί πολύ καλό δείκτη δυσανεξίας.

Οι παραπάνω μηχανισμοί και μεγέθη μελετήθηκαν από τους John Toftum et al. Για με στόχο τον προσδιορισμό του ορίου διαβροχής του δέρματος και των άνω ορίων σχετικής υγρασίας, ώστε να αποφευχθεί το αίσθημα της δυσανεξίας.

Τα αποτελέσματα της παραπάνω μελέτης απέδειξαν ότι η κατάσταση του δέρματος είναι λιγότερη αποδεκτή καθώς αυξάνεται η σχετική υγρασία του δέρματος. Το σχήμα [3.3] αναπαριστά ακριβώς αυτό το συμπέρασμα.

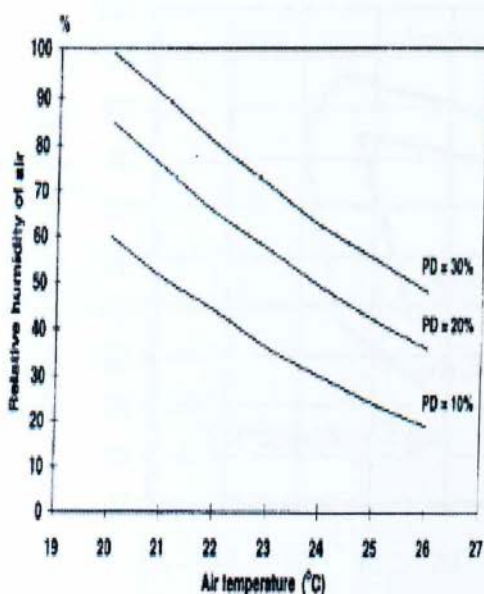


Πηγή: Jorn Toftum, Anette S. Jorgensen, P.O. Fanger, 1997, Upper limits for indoor air humidity to avoid uncomfortably humid skin

Σχήμα[3.3]: Ποσοστό δυσαρεστημένων χρηστών, σε σχέση με τη σχετική υγρασία του δέρματος

Η επίδραση της υγρασίας του αέρα στην αναπνευστική οδό λαμβάνει χώρα για δύο λόγους. Πρώτον, οι βλεννώδεις μεμβράνες της αναπνευστικής οδού ψύχονται κατά την εισπνοή του αέρα. Η ψύξη αυτή παίζει κυρίαρχο ρόλο στην αντίληψη του θερμικού περιβάλλοντος. Δεύτερον, η αναπνευστική οδός δρα ως ένα σύστημα κλιματισμού που ρυθμίζει την υγρασία και τη θερμοκρασία του εισπνεόμενου αέρα, πριν αυτός φτάσει στους πνεύμονες. Το σημείο της αναπνευστικής οδού στο οποίο γίνεται ο κλιματισμός του αέρα, εξαρτάται από τη θερμοκρασία και το περιεχόμενο σε υδατμούς του εισπνεόμενου αέρα.

Σε χαμηλούς ρυθμούς αναπνοής και τυπικές τιμές θερμοκρασίας και υγρασίας, ο κλιματισμός του αέρα γίνεται στο άνω μέρος της αναπνευστικής οδού. Να σημειωθεί ότι ο μηχανισμός της ψύξης μέσω του εισπνεόμενου αέρα είναι ένας πολύπλοκος μηχανισμός, όπου έχουμε ανταλλαγή ενέργειας υπό τη μορφή θερμότητας μέσω εξάτμισης και μεταφοράς.

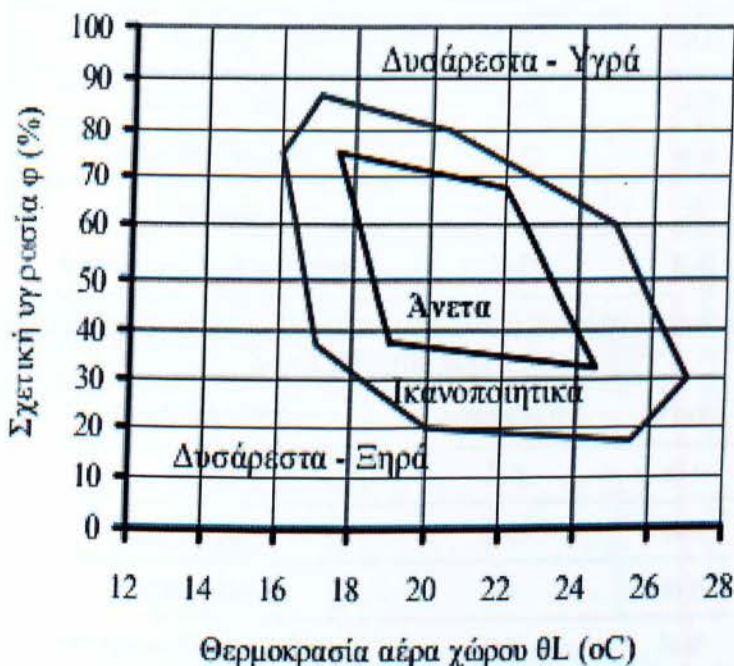


Πηγή: Jørn Toftum, Anette S. Jørgensen, P.O. Fanger, 1997, Upper Limits for indoor air humidity to avoid warm respiratory

Σχήμα [3.4]: Σχέση που συνδέει τη θερμοκρασία του αέρα, τη σχετική του υγρασία και το ποσοστό των δυσανεγιόμενων χρηστών που συνδέεται με την αίσθηση του αέρα στην αναπνευστική οδό

Σε υψηλή θερμοκρασία και υγρασία η ικανότητα της αναπνευστικής οδού για ψύξη του εισπνεόμενου αέρα μειώνεται και ο αέρας μοιάζει να είναι αποπνικτικός και θερμότερος απ' όσο πραγματικά είναι. Στην περίπτωση όπου η υγρασία του αέρα είναι πολύ χαμηλή, ο κίνδυνος να ξηραθούν οι βλεννώδεις μεμβράνες είναι μεγάλος. Η ξηρότητα των μεμβρανών μειώνει την προστατευτική τους ισχύ και ο καθαρισμός του αέρα, μαζί με τον κλιματισμό του πριν αυτός φτάσει στους πνεύμονες, που γίνεται στην αναπνευστική οδό δεν είναι δυνατός.

Στο σχήμα [3.4] παρουσιάζεται η σχέση μεταξύ υγρασίας και θερμοκρασίας αέρα σε σχέση με το 10, 20, 30% των δυσανεκτικότερων χρηστών. Η δυσανεκτικότητα αφορά σ' αυτή την περίπτωση μόνο την αίσθηση που προκαλεί ο αέρας στην αναπνευστική οδό. Το σχήμα [3.4] επιβεβαιώνει πλήρως τη σχέση μεταξύ υγρασίας, θερμοκρασίας και της θερμικής αίσθησης του αέρα κατά την αναπνοή.



Σχήμα [3.5]: Διάγραμμα θερμικής άνεσης θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας.

Τα αποδεκτά όρια σχετικής υγρασίας του αέρα είναι λιγότερο σαφή από αυτά της θερμοκρασίας και το ανώτερο επιτρεπτό επίπεδο της εξακολουθεί ακόμη να

βρίσκεται υπό μελέτη. Ωστόσο, όπως και στην περίπτωση της θερμοκρασίας του αέρα, τα αποδεκτά όρια της σχετικής υγρασίας για την επίτευξη θερμικής άνεσης εξαρτώνται από συνδυασμό παραμέτρων.

Το ζήτημα της θερμικής άνεσης είναι λοιπόν πολυπαραγοντικό με τη θερμοκρασία του αέρα, ιδιαίτερα, να παίζει κρίσιμο ρόλο στον προσδιορισμό της αποδεκτής σχετικής υγρασίας.

Πίνακας [3.2]: Συνιστώμενες συνθήκες σχεδιασμού για κλιματιζόμενους χώρους σύμφωνα με την οδηγία 2425/86 του ΤΕΕ

ΣΥΝΙΣΤΩΜΕΝΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ ΚΛΙΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ ΤΟ ΧΕΙΜΩΝΑ (ΤΟΤΕΕ 2425/86)			
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΧΩΡΟΥ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	ΥΓΡΑΣΙΑ	
Κατοικίες	22	30-50	
Κτίρια γραφείων	21-23	30-35	
Βιβλιοθήκες - Μουσεία	20-22	40-50	
Νοσοκομεία	24	30	
Εστιατόρια και Κέντρα διασκέδασης	21-23	30-40	
ΣΥΝΙΣΤΩΜΕΝΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ ΚΛΙΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ ΤΟ ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ (ΤΟΤΕΕ 2425/86)			
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΧΩΡΟΥ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	ΥΓΡΑΣΙΑ	
Κατοικίες	25-26	40-50	
Κτίρια γραφείων	25-26	40-50	
Βιβλιοθήκες - Μουσεία	22	40-55	
Εστιατόρια και Κέντρα διασκέδασης	23-26	50-60	
Εκπαιδευτικά κτίρια	26	45-50	
Νοσοκομεία	Αίθουσες	24	45-50
	Χειρουργεία	20-24	50-60
	Αναρρωτήρια	24	50-60

Ως αποτέλεσμα του παραπάνω γεγονότος τα διαγράμματα θερμικής άνεσης όπως αυτά της σχετικής υγρασίας σε συνάρτηση της θερμοκρασίας σχήμα [3.5] οριοθετούν το πεδίο θερμικής ευεξίας και προσδιορίζουν το κατάλληλο ζεύγος τιμών θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας.

Με βάση τη θεωρία της θερμικής άνεσης πολλοί οργανισμοί έχουν εκδώσει οδηγίες και κανονισμούς για τα επιτρεπτά επίπεδα των τιμών θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας. Στη χώρα μας, το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας (ΤΕΕ) με την τεχνική οδηγία 2425/86 προτείνει ως συνιστώμενες συνθήκες σχεδιασμού για κλιματιζόμενους χώρους, τις τιμές που παρουσιάζονται στον Πίνακα [3.2].

3.3 Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας

Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας ενός χώρου ορίζεται ως εκείνη η θερμοκρασία μιας συμπαγούς μαύρης επιφάνειας για την οποία παρατηρείται η ίδια απώλεια θερμότητας μέσω ακτινοβολίας, σε σχέση με την εξεταζόμενη επιφάνεια. Η εξίσωση υπολογισμού της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας είναι:

$$t_{\text{m}} = \sqrt[4]{\sum_n F_p - i * (t_i + 273)^4} - 273$$

όπου $F_p - i$: ο συντελεστής γωνίας μεταξύ του ατόμου και της επιφάνειας i .

Σημειώνουμε ότι: $\sum F_p - i = 1$

όπου t_i : Η θερμοκρασία επιφάνειας της επιφάνειας i [°C].

Ο υπολογισμός της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας είναι ιδιαίτερα επίπονος (απαιτείται ο πλήρης υπολογισμός του συντελεστή γωνίας μεταξύ του ατόμου και της εξεταζόμενης επιφάνειας) και απαιτείται προσφυγή στην χρήση Η/Υ και πινάκων των προτύπων ASHRAE 55 – 92 και ISO 7730 για τους συντελεστές γωνίας.

Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας παίζει κυρίαρχο ρόλο στην ανταλλαγή θερμότητας λόγω ακτινοβολίας μεταξύ του σώματος και του περιβάλλοντος. Η θερμική επίδραση στο ανθρώπινο σώμα του μεγέθους t_{m} είναι παρόμοια με αυτή της θερμοκρασίας του αέρα. Σε χαμηλές ταχύτητες αέρα κοντά στα 0,1 m/s, η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα κατά 1°C προκαλεί το ίδιο θερμικό αποτέλεσμα με την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας κατά 1°C.

Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας διαφοροποιείται από τη θερμοκρασία του αέρα, γιατί είναι πρωτίστως υπεύθυνη για τις χωροταξικές διαφορές της θερμοκρασίας σε ένα χώρο και τη δημιουργία τοπικής δυσφορίας.

Στο σχήμα [3.6] φαίνεται καθαρά ότι η μεγαλύτερη ροή θερμότητας από το σώμα σε τυπικές κλιματικές συνθήκες (χωρίς κλιματισμό του αέρα) οφείλεται στην ακτινοβολία.

Heat Balance Modelling (MEMI): Indoor

Activity: sitting, light work (80 W)

$$T_a = T_{mn} = 21^\circ\text{C}, \text{RH} = 50\%, v = 0.05\text{m/s}$$

Internal heat: 156 W

Clothing temperature: 26.9°C

Mean skin temperature: 34.4°C

Core temperature: 35.9°C



Respiratory humidification: -11 W

Respiratory heating: -2 W

Water vapour diffusion: -24 W

Sweat evaporation: -12 W

Convection: -48 W

Net radiation: -59 W

Body parameters: 1.80 m, 75 kg, 35 years, 1.0 clo

Σχήμα [3.6]: Ροές θερμότητας από το ανθρώπινο σώμα προς το περιβάλλον.

3.4 Ταχύτητα αέρα

Η κίνηση του αέρα συνδέεται με δύο παραμέτρους:

1. Την ταχύτητα του αέρα.
2. Τη μορφή της ροής του αέρα, αν είναι στρωτή ή τυρβώδης.

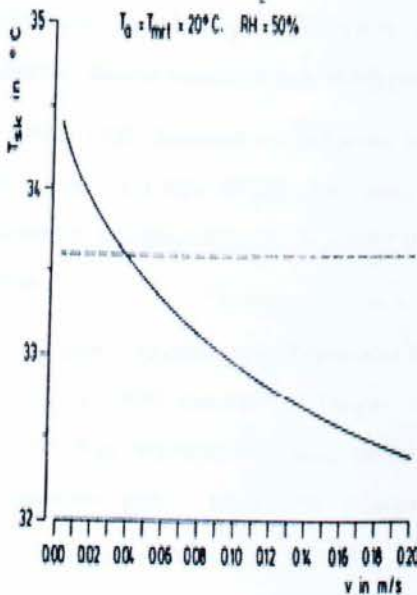
Το ανθρώπινο σώμα δε διαθέτει ειδικά αισθητήρια για την ταχύτητα του αέρα. Αυτή προσδιορίζεται έμμεσα από τον ανθρώπινο εγκέφαλο, από τις μεταβολές τις

θερμοκρασίες στο δέρμα. Είναι προφανές ότι η ταχύτητα του αέρα μεταβάλλει τις απώλειες θερμότητας του σώματος. Σε συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών και υψηλής σχετικής υγρασίας, η αύξηση της ταχύτητας του αέρα προσφέρει αυξημένες απώλειες θερμότητας με αποτέλεσμα ισορροπημένο θερμικό ισοζύγιο.

Σε αντίθετη περίπτωση χαμηλής θερμοκρασίας, η αυξημένη ταχύτητα αέρα επιταχύνει τις απώλειες θερμότητας από το σώμα, σε σημείο που να προκαλεί την δυσφορία.

Οι μεταβολές στη θερμοκρασία του σώματος από την ταχύτητα του αέρα είναι μάλλον απότομες, καθώς ο συντελεστής μετάδοσης θερμότητας δεν είναι γραμμικός.

Στο σχήμα [3.7] φαίνεται η σχέση που συνδέει την ταχύτητα του αέρα και τη μέση θερμοκρασία δέρματος. Στις μικρές ταχύτητες, μικρές μεταβολές της ταχύτητας προκαλούν μεγαλύτερες απώλειες θερμότητας σε σχέση με τις ίδιες μικρές μεταβολές ταχύτητας σε υψηλότερες ταχύτητες αέρα.



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

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

Σχήμα[3.7]: Σχέση μεταξύ της ταχύτητας του αέρα, v , και της μέσης θερμοκρασίας του δέρματος, tsk .

Η ταχύτητα του αέρα σε φυσικά αεριζόμενα κτίρια είναι κοντά στα 0,1 m/s, ενώ στους χώρους όπου διατηρούν μηχανικό αερισμό η ταχύτητα του αέρα εμφανίζεται μεγαλύτερη από τις ταχύτητες του σχήμα [3.7].

Στο πρότυπο ASHRAE 55 – 92 καθορίζεται η τιμή της ταχύτητας του αέρα για το καλοκαίρι και το χειμώνα (Πίνακας [3.3]).

Πίνακας [3.3]: Τιμές της ταχύτητας του αέρα σε m/s κατά ASHRAE 55-92

Περίοδος	Τιμή ταχύτητας αέρα [m/s]	Σχόλια
Χειμώνα	< 0,15	
Καλοκαίρι	< 0,25	
	< 0,275 m/s ανά 10C	Για θερμοκρασία αέρα > 26 ⁰ C
	< 0,8	Για θερμοκρασία αέρα 28 ⁰ C

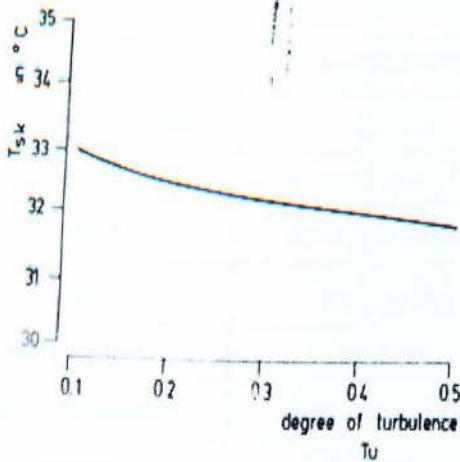
Η δεύτερη παράμετρος που επηρεάζει καθολικά τις απώλειες θερμότητας από το σώμα είναι ο τύπος της ροής του αέρα. Στα κεντρικά κλιματιζόμενα κτίρια η ροή του αέρα δεν είναι στρωτή καθώς η ταχύτητα του αέρα μεταβάλλεται με κάποια συχνότητα. Η περιοδικά μεταβαλλόμενη ροή του αέρα προκαλεί συναισθήματα δυσφορίας, συγκρινόμενη με τη στρωτή ροή.

Στο σχήμα [3.8] φαίνεται η επίδραση του τύπου της ροής με σταθερή μέση ταχύτητα $v_m = 0,1$ m/s. Ο τύπος της ροής και συγκεκριμένα ο βαθμός της τύρβης επηρεάζει τη θερμοκρασία του δέρματος ακόμη και με τη μέση ταχύτητα του αέρα σταθερή.

Νεότερη έρευνα έρχεται να επιβεβαιώσει μια υπόθεση που είχε γίνει στα τέλη της δεκαετίας του 1970 από τον P.O. Fanger: οι άνθρωποι φαίνεται να μην προτιμούν μεταβολές στην ταχύτητα του αέρα, μεταβολές που όπως είπαμε προσομοιώνουν την τυρβώδη ροή, καθώς σε υψηλά ποσοστά τύρβης το ποσοστό των δυσαρεστημένων ατόμων είναι μεγάλο.

Το σχήμα [3.8] αναπαριστά το ποσοστό των δυσαρεστημένων ανθρώπων που προέκυψαν σε σχέση με την ταχύτητα του αέρα και το βαθμό της τύρβης.

$T_a = T_{mrt} = 20.0^\circ\text{C}$, $\bar{v} = 0.10 \text{ m/s}$, $VP = 11.7 \text{ hPa}$



Συνθήκες μετρήσεων: άνδρας 35 ετών, τύπος ρουχισμού = 1 clo, καθιστική εργασία, μεταβολικός ρυθμός = 60W, μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας $t_{ra} = 20^\circ\text{C}$ = θερμοκρασία αέρα t_a , μέση ταχύτητα αέρα $v_m = 0.1 \text{ m/s}$, σχετική υγρασία $RH = 50\%$.

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

Σχήμα [3.8]: Σχέση μεταξύ του βαθμού της τυρβώδους ροής T_u και της μέσης θερμοκρασίας του δέρματος t_{sk} .

Σε ότι αφορά τις οδηγίες και κανονισμούς σχετικά με την ταχύτητα αέρα έχουν υιοθετηθεί δύο προσεγγίσεις. Στα φυσικά αεριζόμενα κτίρια χρησιμοποιείται μια μονάδα που δε σχετίζεται άμεσα με την ταχύτητα του αέρα αλλά με τον αριθμό αλλαγών του αέρα ενός χώρου. Η μονάδα αυτή πρακτικά προδιαγράφει πόσες φορές της ημέρας είναι απαραίτητο να ανανεωθεί πλήρως ο αέρας ενός χώρου. Ο αριθμός των αλλαγών του αέρα εξαρτάται από κάποιες παραμέτρους οι οποίες είναι:

- Ο αριθμός των ατόμων ενός χώρου
- Το μέγεθος ενός χώρου σε m^2
- Η ταχύτητα του αέρα, η οποία εξαρτάται από το είδος και το μέγεθος των ανοιγμάτων του χώρου και από τον τρόπο που ο χρήστης του χώρου τα χειρίζεται

Πίνακας [3.4]: Ενδεικνυόμενες τιμές αερισμού χώρων (TOTEE 2423/86)

ΕΙΔΟΣ ΧΩΡΟΥ	ΚΑΠΝΙΖΟΝΤΕΣ	(m³/h)άτομο
Διαμερίσματα συνήθη	Μερικοί	8,5
Διαμερίσματα πολυτελή	Μερικοί	8,5
Κουρεία	Σημαντικός αριθμός	17,0
Μπάρ	Πάρα πολλοί	25,5
Καταστήματα	Κανένας	8,5
Γραφεία διευθυντών	Εκτάκτως πολλοί	25,5
Εργοστάσια	Κανένας	8,5
Νοσοκομεία χειρουργεία	Κανένας	Ειδικός κλιματισμός
Νοσοκομεία θάλαμοι ασθενών	Κανένας	25,5
Νοσοκομεία χώροι προσωπικού	Κανένας	17,0
Δωμάτια ξενοδοχείων	Πάρα πολλοί	25,5
Εργαστήρια	Μερικοί	8,5
Χώροι συγκεντρώσεων	Εκτάκτως πολλοί	25,5
Γραφεία συλλογικά	Μερικοί	8,5
Γραφεία προσωπικά	Κανένας	8,5
Γραφεία προσωπικά	Σημαντικός αριθμός	25,5
Καφέ-Μπάρ	Σημαντικός αριθμός	17,0
Εστιατόρια	Σημαντικός αριθμός	17,0
Σχολεία-Αίθουσες διδασκαλίας	Κανένας	17,0
Θέατρα	Κανένας	8,5
Τουαλέτες-Εξαερισμός		36m ³ /m ² δαπέδου

Για τα φυσικά αεριζόμενα κτίρια, λοιπόν, δίνεται η προτεινόμενη τιμή σε σχέση με τον αριθμό των χρηστών και το μέγεθος του χώρου (Πίνακας[3.4]). Αντίθετα, στα μηχανικά αεριζόμενα κτίρια η ταχύτητα του αέρα μετράται σε m/s (Πίνακας [3.5]).

Πίνακας [3.5]: Ενδεικνυόμενες τιμές για την ταχύτητα του αέρα σε κλειστούς χώρους

ΕΝΔΕΙΚΝΥΟΜΕΝΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΑΕΡΑ ΣΕ ΚΛΕΙΣΤΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ* (ΤΟΤΕΕ 2423/86)		
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΕΡΑ (m/s)	ΕΠΙΔΡΑΣΗ	ΣΥΝΙΣΤΩΜΕΝΗ ΧΡΗΣΗ
0÷0,08	Παράπονα για έλλειψη κίνησης του αέρα	
0,125	Ιδανική κατάσταση	
0,125÷0,25	Πολύ ικανοποιητική κατάσταση αλλά η ταχύτητα των 0,25 m/s πλησιάζει τη μέγιστη	
0,325	Όχι ικανοποιητική για χώρους γραφείων. Ο αέρας παρασύρει ελαφριά χαρτιά από τα γραφεία	
0,375	Μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα για άτομα που κινούνται	Εμπορικά καταστήματα
0,375÷1,5		Επιτρεπόμενη μόνο για βιομηχανικές εφαρμογές
* Οι παραπάνω ταχύτητες αναφέρονται στη ζώνη διαμονής ατόμων κάθε χώρου (από το δάπεδο μέχρι 2 m ύψος περίπου)		

[3.5] ΑΝΑΘΕΩΡΗΣΗ ΙΣΧΥΟΝΤΩΝ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ

Τα υπάρχοντα πρότυπα θερμικής άνεσης διακρίνονται από τα εξής δύο βασικά τους χαρακτηριστικά:

1. Την στατική τους μορφή
2. Την καθολική τους ισχύ

Θεωρώντας το κτίριο ως ένα σύστημα, το οποίο αλληλεπιδρά με εξωτερικά και εσωτερικά στοιχεία, τα υπάρχοντα πρότυπα θερμικής άνεσης προδιαγράφουν τις 'ιδανικές' συνθήκες θερμικής άνεσης, βασισμένες σε ένα μοντέλο ανταλλαγής θερμότητας του σώματος με το περιβάλλον και δεν εισάγουν καμία ανάδραση στο σύστημα γεγονός που τα καθιστά στατικά. Ωστόσο, η προσέγγιση αυτή απέχει πολύ από τη δυναμική κατάσταση ενός πραγματικού κτιρίου. Είναι σαφές ότι η εφαρμογή ενός προτύπου που αναπτύχθηκε σε ερευνητικό περιβάλλον, άρα και ελεγχόμενο, δεν μπορεί να ανταποκριθεί αξιόπιστα στις πραγματικές συνθήκες ενός δυναμικού εσωτερικού περιβάλλοντος, όπως αυτό των κτιρίων.

Τα σημερινά πρότυπα θερμικής άνεσης ISO 7730 και ASHRAE 55 βασίζονται στο στατικό μοντέλο θερμικής άνεσης σύμφωνα με το οποίο ο άνθρωπος θεωρείται ως παθητικός αποδέκτης θερμικών ερεθισμάτων και η αλληλεπίδρασή του με το θερμικό περιβάλλον διαμορφώνεται αποκλειστικά με τους νόμους της φυσικής που περιγράφουν το φαινόμενο της μετάδοσης θερμότητας. Η διεθνής εφαρμογή των προτύπων του ASHRAE 55 – 92 και του ISO 7730, ανεξαρτήτως του κλίματος, του γεωγραφικού πληθυσμού και του τύπου του κτιρίου, έχει αναγνωριστεί ως προβληματική ή αυστηρότερα ως λανθασμένη. Έτσι, σήμερα εκφράζονται μεγάλες διαφωνίες από μια μεγάλη μερίδα ερευνητών για την καθολική ισχύ των *υπαρχόντων*.

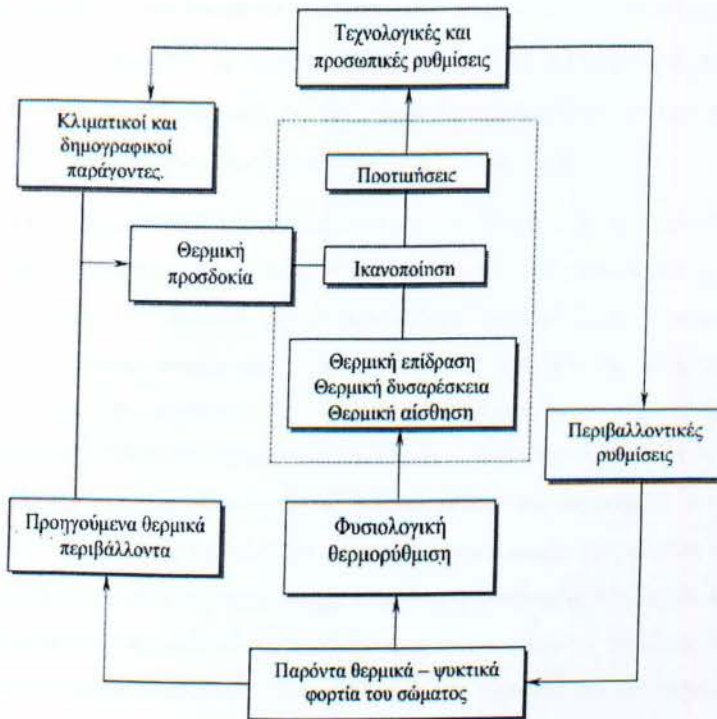
προτύπων θερμικής άνεσης. Ενώ, τα πρότυπα λοιπόν είχαν αναπτυχθεί για κτίρια με κεντρικά συστήματα κλιματισμού, η χρήση τους έχει λάβει γενικό χαρακτήρα και εφαρμόζονται σε όλων των τύπων κτιρίων, υπό οποιοδήποτε κλίμα και για οποιοδήποτε πληθυσμό.

Ωστόσο τα τελευταία χρόνια αναπτύχθηκε η δυναμική θεωρία της θερμικής άνεσης που συμπληρώνει την κλασική αναγνωρίζοντας την ικανότητα του ανθρώπου να προσαρμόζεται στις επικρατούσες κλιματικές συνθήκες και μάλιστα με μηχανισμούς που ξεπερνούν τη φυσική ή τη φυσιολογία και επεκτείνονται και στην ανθρώπινη ψυχολογία (μοντέλο προσαρμογής).

Η διαφορετική προσέγγιση από τη μέχρι τώρα συμβατική θεωρία της θερμικής άνεσης, εισάγει καινούργιους παράγοντες πέρα από τη φυσική και τη φυσιολογία που επηρεάζουν τη θερμική αίσθηση και άρα τα αποτελέσματα του προτύπου. Οι παράγοντες αυτοί είναι:

1. **Δημογραφικοί παράγοντες.** Σε αυτούς τους παράγοντες αναφέρουμε το φύλλο, την ηλικία, την οικονομική κατάσταση, το μορφωτικό επίπεδο.
2. **Παράγοντες συναφείς με το περιβάλλον τόσο το εξωτερικό όσο και το εσωτερικό.** Σε αυτούς τους παράγοντες αναφέρουμε το εξωτερικό κλίμα, το τρίπτυχο σχεδιασμός – κατασκευή – λειτουργία του κτιρίου, εποχή του χρόνου, θέση του κτιρίου.

3. Παράγοντες συναφείς με τους χρήστες. Σε αυτούς του παράγοντες αναφέρουμε τον τρόπο με τον οποίο οι χρήστες αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον, τον τρόπο με τον οποίο μεταβάλλουν τη συμπεριφορά τους (μεταβάλλοντας το ρουχισμό ή τη δραστηριότητά τους) ή τέλος τη σταδιακή προσαρμογή των θερμικών τους προσδοκιών, ώστε να εναρμονίζονται με τα δεδομένα του θερμικού τους περιβάλλοντος.



Σχήμα [3.9] Γενικό θερμικό μοντέλο προσαρμογής ως δυναμικό σύστημα

Ο γενικός όρος της προσαρμογής στις θερμικές συνθήκες, μεταφράζεται ως η σταδιακή υποβάθμιση των αποκρίσεων του οργανισμού στα συνεχή θερμικά ερεθίσματα του περιβάλλοντος και περιλαμβάνει όλες τις ενέργειες στις οποίες καταφεύγει ο χρήστης ενός χώρου, με τις οποίες το εσωτερικό κλίμα προσαρμόζεται στις προσωπικές προτιμήσεις του χρήστη ή συλλογικές προτιμήσεις μιας ομάδας χρηστών ή ως οι αντιδράσεις ή ενέργειες των χρηστών ενός κτιρίου, που εξυπηρετούν την επαναφορά της άνεσης μετά από την αλλαγή οποιασδήποτε παραμέτρου προς τέτοια κατεύθυνση, που να προκαλεί δυσφορία ή

δυσαρέσκεια. Στην διεθνή βιβλιογραφία παρουσιάζονται τρεις κατηγορίες προσαρμογής:

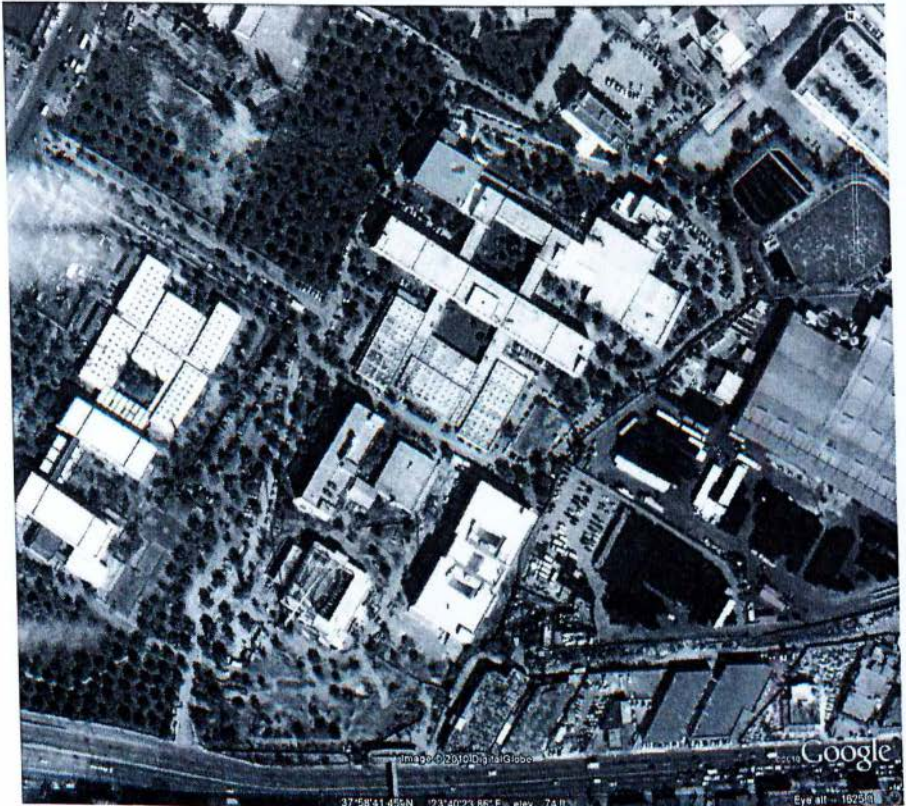
1. Ρυθμίσεις συμπεριφοράς
2. Φυσιολογικές ρυθμίσεις
3. Ψυχολογικές ρυθμίσεις

Η βασική υπόθεση της θεωρίας προσαρμογής είναι η εξής: η θερμοκρασία και η άνεση που προσδοκούν οι χρήστες του κτιρίου θα μετακινηθεί προς τέτοια κατεύθυνση, που ορίζεται από τις μέσες συνθήκες που βιώνουν οι χρήστες στην καθημερινή τους ζωή μέσα και έξω από το κτίριο σχήμα [3.9].

Η φιλοσοφία στον σχεδιασμό των κτιρίων έγκειται στην ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας δίχως να θυσιάζεται η επίτευξη θερμικής άνεσης και ικανοποιητικής ποιότητας εσωτερικού αέρα. Η θερμική άνεση καθορίζεται κυρίως από τέσσερις φυσικές παραμέτρους: τη θερμοκρασία του αέρα, την υγρασία του αέρα, τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας και την ταχύτητα του αέρα. Ωστόσο, υπάρχει ένας σημαντικός αριθμός παραγόντων που επιδρά στη θερμική άνεση στον εσωτερικό των κτιρίων οι οποίοι συχνά δεν είναι ανεξάρτητοι μεταξύ τους αλλά αλληλεπιδρούν στη δημιουργία του θερμικού περιβάλλοντος στα κτίρια. Ως εκ τούτου, ο ορθός σχεδιασμός των κτιρίων οφείλει να λαμβάνει υπόψη του όλες τις παραμέτρους που διαμορφώνουν το εσωτερικό περιβάλλον και την διασύνδεσή τους ώστε να επιτυγχάνονται οι στόχοι τόσο της θερμικής άνεσης όσο και της ικανοποιητικής ποιότητας εσωτερικού αέρα. Το εργαλείο για τον ορθό σχεδιασμό των κτιρίων σε σχέση με την επίτευξη θερμικής ευεξίας πρέπει να αναζητηθεί στα πρότυπα θερμικής άνεσης. Σήμερα η καθολική ισχύς και εφαρμογή των προτύπων αυτών, που στηρίζονται στη στατική θεωρία της θερμικής άνεσης, βρίσκονται υπό συζήτηση με την δυναμική θεωρία της θερμικής άνεσης να κερδίζει έδαφος, όχι όμως με στόχο την ανατροπή της κλασικής θεωρίας αλλά την συμπλήρωσή της.

Κεφάλαιο 4^ο

ΕΦΑΡΜΟΓΗ - ΜΕΛΕΤΗ ΔΕΙΚΤΩΝ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ ΣΤΟΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ ΧΩΡΟ ΤΟΥ ΤΕΙ.



Σχήμα [4. 1]: Κάτοψη περιβάλλοντα χώρου ΑΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ

Η προσομοίωση αφορά την μελέτη δεικτών θερμικής άνεσης στον περιβάλλοντα χώρο του ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ πριν και κατόπιν ορισμένων επεμβάσεων.

[4.1] Εισαγωγή στο Fluent

Με την πάροδο του χρόνου, τα διάφορα εμπορικά λογισμικά προγράμματα έχουν βοηθήσει και φυσικά εξακολουθούν να βοηθούν ακόμη τις περισσότερες εταιρίες (βιομηχανικές,

κατασκευαστικές, ιατρικές κ.α.) στην εξέλιξη των διάφορων αυτών τομέων, καθώς αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της έρευνας και της μελέτης τους. Ένας από τους κυριότερους εκπροσώπους των εμπορικών λογισμικών αυτών προγραμμάτων είναι το FLUENT, του οποίου οι δυνατότητες καθιστούν εφικτές τις λύσεις αλλά και την λήψη χρήσιμων συμπερασμάτων και αποτελεσμάτων (κατόπιν αμέτρητων υπολογισμών), σε αρκετές εφαρμογές προσομοίωσης σε περιβάλλον κανονικών συνθηκών και φυσικά σε ικανοποιητικό χρονικό διάστημα.

Το Fluent είναι ένα λογισμικό με τη βοήθεια του οποίου μπορούμε ορίζοντας παραμέτρους να αναπαραστήσουμε πραγματικές συνθήκες και να επιλύσουμε ένα πρόβλημα ρευστομηχανικής, μετάδοσης θερμότητας & μάζας, χημικών αντιδράσεων και άλλων σχετικών φαινομένων. Αξιοσημείωτες εφαρμογές του σήμερα είναι : εσωτερικές & εξωτερικές ροές αυτοκινήτων, αεροδυναμική υψηλών ταχυτήτων, ροές πυραύλων, στροβιλομηχανές, δοχεία αντίδρασης, κυκλώνες, στήλες φυσαλίδων, δοχεία ανάμιξης, ρευστοποιημένες κλίβες.

[4.2] Αρχή λειτουργίας

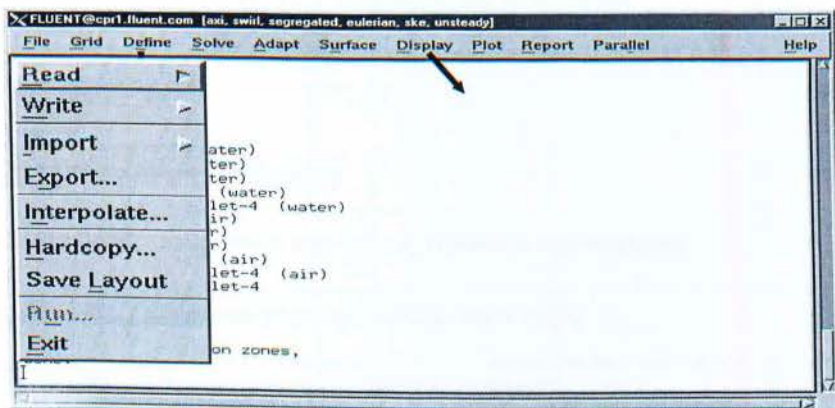
Η βασική αρχή λειτουργίας του λογισμικού είναι η μέθοδος των πεπερασμένων όγκων. Το πεδίο του ρευστού του αγωγού χωρίζεται σε πεπερασμένο αριθμό όγκων ελέγχου ή στοιχείων / κελιών (υπολογιστικό πλέγμα). Η γενική εξίσωση διατήρησης και μεταφοράς της μάζας, ορμής, ενέργειας διακριτοποιείται πάνω στο πλέγμα και παίρνει τη μορφή συστήματος αλγεβρικών εξισώσεων. Όλες οι εξισώσεις επιλύονται για την εύρεση της λύσης. Η γενική εξίσωση διατήρησης και μεταφοράς της μάζας, ορμής, ενέργειας διακριτοποιείται πάνω στο πλέγμα και παίρνει τη μορφή συστήματος αλγεβρικών εξισώσεων. Όλες οι εξισώσεις επιλύονται για την εύρεση της λύσης.

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho \phi dV + \oint_A \rho \phi \mathbf{V} \cdot d\mathbf{A} = \oint_A \Gamma \nabla \phi \cdot d\mathbf{A} + \int_V S_\phi dV$$

[4.3] Μεθοδολογία επίλυσης προβλήματος

Στο Fluent αρχικά ξεκινάμε έχουμε την επιλογή να διαλέξουμε προσομοίωση δισδιάστατη, δισδιάστατη δυπλάσιας ακρίβειας, τρισδιάστατη και τρισδιάστατη δυπλάσιας ακρίβειας.

Έπειτα μπαίνουμε στο γραφικό περιβάλλον του προγράμματος:



Σχήμα [4.2]: Περιβάλλον εργασίας Fluent

- Εδώ καθορίζεται το είδος των αποτελεσμάτων που θέλουμε, ορίζονται τα μαθηματικά μοντέλα της ανάλυσης, η ακρίβεια και το πόσο γρήγορα χρειαζόμαστε τα αποτελέσματα.
- Ορίζονται οι οριακές συνθήκες και τα όρια του υπό εξέταση συστήματος, βλέπουμε αν μπορεί να απλοποιηθεί σε δυο διαστάσεις και αν έχουμε ροϊκή και γεωμετρική συμμετρία.
- Ανάλογα με την γεωμετρία ορίζεται η μορφή των στοιχειωδών στερεών του πλέγματος για να μην υπάρχουν ασυνέχειες δομής σε εξαεδρικό / τετραπλευρικό ή τεραεδρικό / τριγωνικό πλέγμα, υβριδικό, μη συμβατό πλέγμα. Ελέγχεται η ανάλυση και η προσαρμογή του πλέγματος και κατά συνέπεια η υπολογιστική ισχύς.
- Οι αλγεβρικές διακριτοποιημένες λύσεις λύνονται επαναληπτικά μέχρι να έχουμε σύγκλιση. Η σύγκλιση επιτυγχάνεται όταν μεταξύ των επαναλήψεων υπάρχουν μικρές αριθμητικές αλλαγές. Η ακρίβεια των αποτελεσμάτων εξαρτάται από την καταλληλότητα των μαθηματικών μοντέλων και τον σωστό ορισμό του πλέγματος.
- Βασικό πλεονέκτημα είναι η οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων σε όλα τα σημεία το οποίο μας δίνει πληροφορίες για την μορφή της ροής, τις αποκλίσεις, βλέπουμε αν έχουμε κρουστικά κύματα, διατμητικές στοιβάδες και άλλα φαινόμενα, διαπιστώνουμε αν έχουμε κατάλληλες οριακές συνθήκες και μαθηματικά μοντέλα.
- Γίνεται θεώρηση των μετατροπών στο μοντέλο, ελέγχεται αν είναι τα μαθηματικά μοντέλα κατάλληλα, για παράδειγμα αν έχουμε τυρβώδη ή στρωτή ροή.
- Ελέγχονται οι οριακές συνθήκες για παράδειγμα αν τα όρια του πεδίου είναι αρκετά μεγάλα, αν οι συνθήκες είναι κατάλληλες και ρεαλιστικές

- Τέλος ελέγχεται το πλέγμα για την βελτίωση του αν απαιτείται.

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία χρησιμοποιήθηκε η έκδοση FLUENT 12.0.16.

[4.4] Χώροι επεμβάσεων

Στους χώρους επεμβάσεων έχει δοθεί η παρακάτω ονοματολογία:

P1	Επιφάνεια χώρου στάθμευσης από Π. Ράλλη
P2	Επιφάνεια χώρου στάθμευσης Διοίκησης
P3	Επιφάνεια χώρου στάθμευσης φοιτητών (πίσω από το εστιατόριο)
K1	Επιφάνεια χώρου προσπέλασης πεζών από Θηβών
K2	Επιφάνεια χώρου προσπέλασης Νοτιοδυτικά του Κτιρίου Γ
S1	Επιφάνεια χώρου εκτόνωσης ΒΑ-ΝΑ των κτηρίων Α,Β,Γ (μπάσκετ, κυλικείο)
S2	Επιφάνεια χώρου εκτόνωσης ΒΔ των κτηρίων Α,Β
S3	Επιφάνεια χώρου εκτόνωσης ΝΔ των κτηρίων Β,Γ
S4	Επιφάνεια αιθρίου μεταξύ κτηρίων Α,Β
S5	Επιφάνεια αιθρίου μεταξύ Β και Γ

Οι επεμβάσεις είναι οι ακόλουθες:

Στους χώρους στάθμευσης αλλάζει η ασφαλτος (λευκές επιφάνειες) σε νέα με συντελεστή ανακλαστικότητας: 0.37 και συντελεστής εκπομπής IR: 0.89, τοποθετούνται σκίαστρα (μπλε διακεκομμένες γραμμές), και αλλάζει και η πλακόστρωση του πεζοδρομίου του χώρου στάθμευσης στην είσοδο από Π. Ράλλη σε πλάκες πεζοδρομίου (ανακλαστικότητα: 0.68, συντελεστής εκπομπής IR: 0.92).

Αποκλειστικά για τους υπόλοιπους χώρους παρέμβασης:

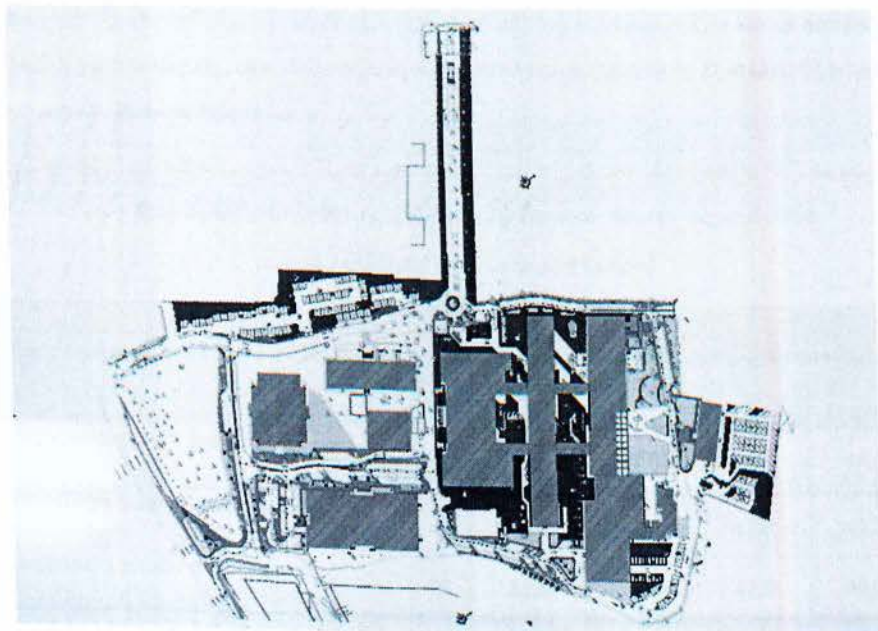
- Όπου υπάρχει λευκή επιφάνεια τοποθετείται τσιμεντοειδές κονίαμα με συντελεστή ανακλαστικότητας: 0.37 και συντελεστή εκπομπής IR: 0.89.
- Όπου υπάρχει διαγράμμιση με πλέγμα (τετραγωνάκια) αφορά αντικατάσταση με πλάκες πεζοδρομίου (ανακλαστικότητα: 0.68, συντελεστής εκπομπής IR: 0.92).
- Όπου υπάρχει μπλε σκιασμένη επιφάνεια αφορά τοποθέτηση σκιάστρων
- Όπου υπάρχει διαγράμμιση με τριγωνάκια αφορά αντικατάσταση με κυβόλιθους (ανακλαστικότητα: 0.67, συντελεστής εκπομπής IR: 0.89)
- Όπου υπάρχει γκρι σκιασμένη επιφάνεια αφορά τοποθέτηση πρασίνου Στο χώρο του κυλικείου και στο αίθριο μεταξύ Α και Β κτηρίου έχουν τοποθετηθεί δεξαμενές νερού.
- Αλλάζει και το πεζοδρόμιο των κτηρίων Α, Β από την πλευρά της Θηβών με πλάκες πεζοδρομίου.
- Στο χώρο του κυλικείου και στο χώρο S2 (μπροστά από το αμφιθέατρο Α011, θα τοποθετηθούν γεωεναλλάκτες που θα ψύχουν τους χώρους με παροχή 2500m³/h και θερμοκρασία εξόδου σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία εισόδου ως εξής:

Max. inlet air Temp. of EHX: 34.0 °C

Max. outlet air Temp. of EHX: 24.2 °C

Min. inlet air Temp. of EHX: 24.4 °C

Min. outlet air Temp. of EHX: 21.4 °C



Πίνακας [4. 1]: Κατώφλια της φυσιολογικά ισοδύναμης θερμοκρασίας (PET) για διάφορους βαθμούς του θερμικού αισθήματος από τους ανθρώπους

PET (°C)	Θερμική αίσθηση	Βαθμός θερμικής επιβάρυνσης
PET <4	Πολύ κρύο	Ακραία ψυχρή επιβάρυνση
4≤PET<8	Κρύο	Ισχυρή ψυχρή επιβάρυνση
8≤PET<13	Δροσερά	Μέτρια ψυχρή επιβάρυνση
13≤PET<18	Ελαφρά δροσερά	Ελαφρά ψυχρή επιβάρυνση
18≤PET<23	Θερμικά ουδέτερη άνεση	Δεν υπάρχει θερμική επιβάρυνση
23≤PET<29	Ελαφρά θερμό	Ελαφρά θερμική επιβάρυνση
29≤PET<35	Θερμό	Μέτρια θερμική επιβάρυνση
35≤PET<41	Πολύ ζεστό	Ισχυρή θερμική επιβάρυνση
PET≥41	Πάρα πολύ ζεστό	Ακραία θερμική επιβάρυνση

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του Πίνακα 4.2, φαίνεται ότι με τα σημερινά δεδομένα παρατηρείται από το πρωί (10:00πμ) μια ελαφρά και μέτρια θερμική επιβάρυνση των ανθρώπων που χρησιμοποιούν τους εξωτερικούς χώρους του ΤΕΙ Πειραιά. Η επιβάρυνση

αυτή γίνεται ισχυρή μέχρι το μεσημέρι (13:00μμ) και στη συνέχεια, μέχρι και το απόγευμα (18:00) γίνεται ακραία, κάτι που καθιστά επικίνδυνη την παραμονή σε εξωτερικούς χώρους για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Πίνακας [4.2]: Μέσες χωρικές τιμές του δείκτη θερμικής άνεσης-δυσφορίας PET, σε ύψος

$h=1.80m$, στους υπό μελέτη χώρους του ΤΕΙ Πειραιά, πριν τις παρεμβάσεις.

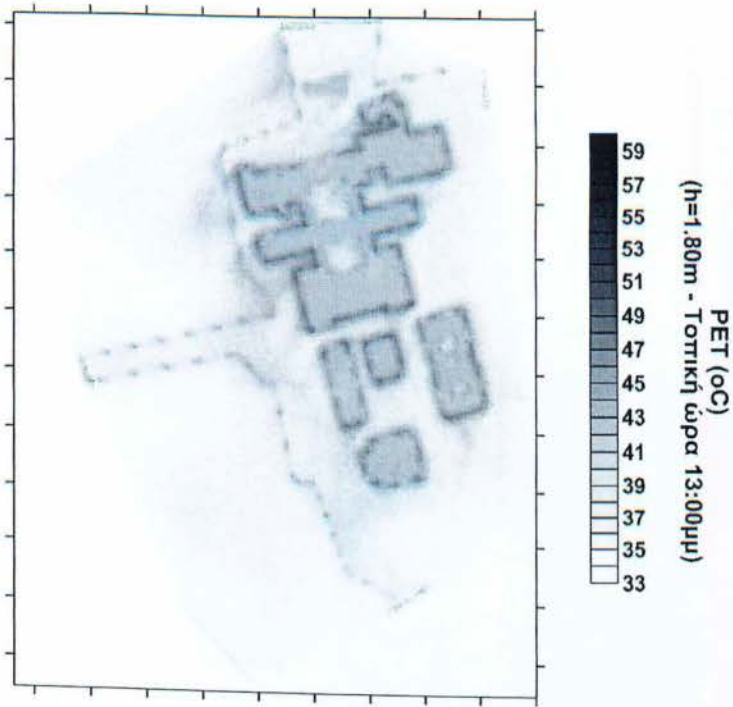
Ημέρα 24/7/2009 (τυπική θερινή ημέρα).

Περιγραφή χώρου		Μέση χωρική τιμή του δείκτη θερμικής άνεσης-δυσφορίας PET ($^{\circ}C$) πριν τις παρεμβάσεις			
		10:00πμ	13:00μμ	16:00μμ	18:00μμ
Επιφάνεια χώρου στάθμευσης από Π. Ράλλη	P1	29.5	37.6	45.1	44.3
Επιφάνεια χώρου στάθμευσης Διοίκησης	P2	28.0	35.7	42.5	41.5
Επιφάνεια χώρου στάθμευσης φοιτητών (πίσω από το εστιατόριο)	P3	27.7	35.2	41.9	41.0
Επιφάνεια χώρου προσπέλασης πεζών από Θηβών	K1	28.8	36.7	44.0	42.9
Επιφάνεια χώρου προσπέλασης Νοτιοδυτικά του Κτιρίου Γ	K2	32.0	40.8	48.8	47.1
Επιφάνεια χώρου εκτόνωσης ΒΑ-ΝΑ των κτηρίων Α,Β,Γ (μπάσκετ, κυλικείο)	S1	29.6 κυλικείο	37.7 κυλικείο	46.6 κυλικείο	45.3 κυλικείο
		28.8 μπάσκετ	37.4 μπάσκετ	46.0 μπάσκετ	44.9 μπάσκετ
Επιφάνεια χώρου εκτόνωσης ΒΔ των κτηρίων Α,Β	S2	30.4	38.7	46.3	45.0
Επιφάνεια χώρου εκτόνωσης ΝΔ των κτηρίων Β,Γ	S3	32.9	42.0	52.3	50.7
Επιφάνεια αιθρίου μεταξύ κτηρίων Α,Β	S4	32.0	40.8	49.1	47.4
Επιφάνεια αιθρίου μεταξύ Β και Γ	S5	31.7	40.4	48.1	46.9

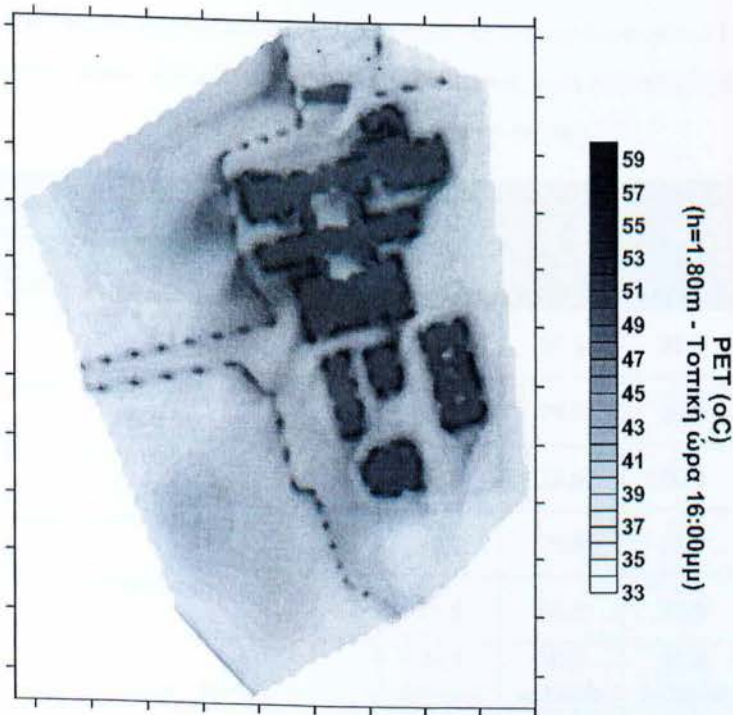
Αντίστοιχα και μετά τις παρεμβάσεις στους εξωτερικούς χώρους, παρατηρείται μια μετατόπιση του αισθήματος θερμικής δυσφορίας, σε χαμηλότερες τιμές (Πίνακας 4.2).

[4.6] Χωρικές κατανομές δείκτη PET

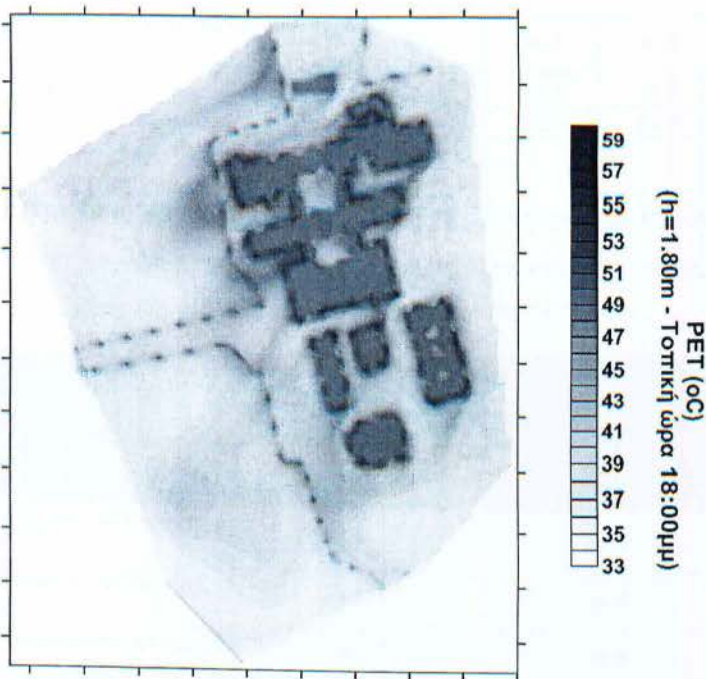
Στις ακόλουθες κατόψεις του ιδρύματος παρατηρούμε έντονες θερμικές επιβαρύνσεις. Ιδιαίτερα δε τις μεσημεριανές ώρες παρατηρούμε σχεδόν σε όλους τους υπό εξέταση χώρους του ιδρύματος ακραίες θερμικές επιβαρύνσεις όπου ο δείκτης PET ανιχνεύεται ανώτερος των $41^{\circ}C$.



Σχήμα [4.3]: Χωρική κατανομή της τιμών του δείκτη θερμικής άνεσης-δυσφορίας PET σε ύψος $h=1.80m$, στους υπό μελέτη χώρους του ΤΕΙ Πειραιά. Ημέρα 24/7/2009. Ώρα 13:00 μμ



Σχήμα [4.4]: Χωρική κατανομή της τιμών του δείκτη θερμικής άνεσης-δυσφορίας PET σε ύψος $h=1.80m$, στους υπό μελέτη χώρους του ΤΕΙ Πειραιά. Ημέρα 24/7/2009. Ώρα 16:00 μμ.



Σχήμα [4.5]: Χωρική κατανομή της τιμών του δείκτη θερμικής άνεσης-δυσφορίας PET σε ύψος $h=1.80m$, στους υπό μελέτη χώρους του ΤΕΙ Πειραιά. Ημέρα 24/7/2009. Ώρα 18:00 μμ.

Πίνακας [4.3]: Μέσες χωρικές τιμές του δείκτη θερμικής άνεσης-δυσφορίας PET, σε ύψος $h=1.80m$, στους υπό μελέτη χώρους του ΤΕΙ Πειραιά, μετά τις παρεμβάσεις. Ημέρα 24/7/2009 (τυπική θερινή ημέρα).

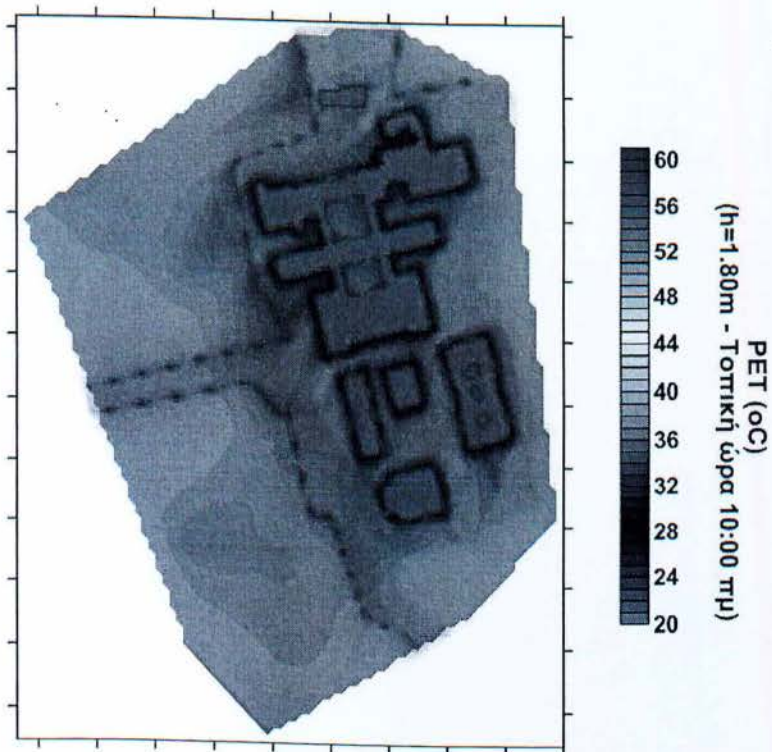
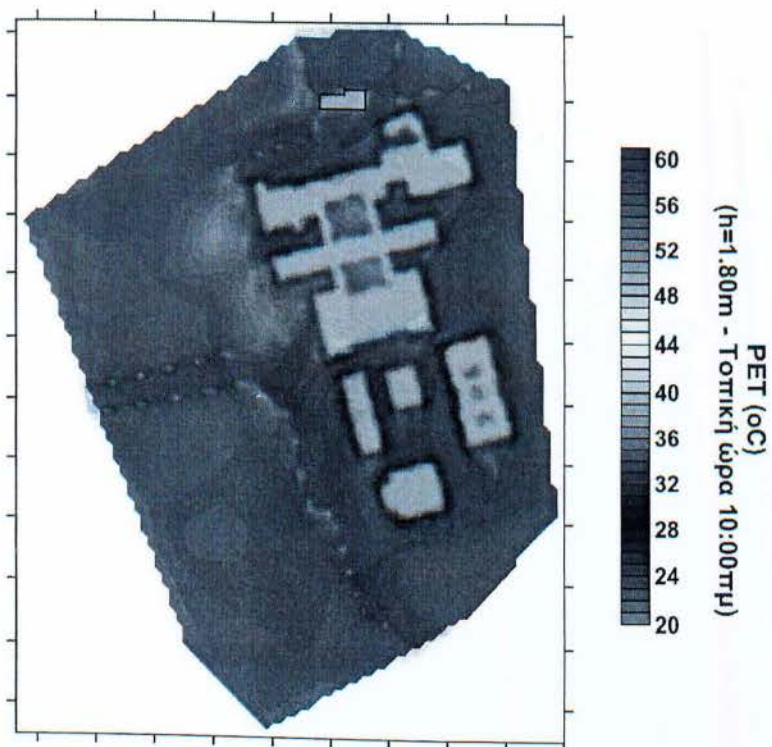
Περιγραφή χώρου		Μέση χωρική τιμή του δείκτη θερμικής άνεσης-δυσφορίας PET ($^{\circ}C$) μετά τις παρεμβάσεις			
		10:00πμ	13:00μμ	16:00μμ	18:00μμ
Επιφάνεια χώρου στάθμευσης από Π. Ράλλη	P1	24.6	30.6	32.7	35.2
Επιφάνεια χώρου στάθμευσης Διοίκησης	P2	23.3	29.0	30.9	33.3
Επιφάνεια χώρου στάθμευσης φοιτητών (πίσω από το εστιατόριο)	P3	23.0	28.6	30.4	32.4
Επιφάνεια χώρου προσπέλασης πεζών από Θηβών	K1	24.0	29.9	32.0	34.2
Επιφάνεια χώρου προσπέλασης Νοτιοδυτικά του Κτιρίου Γ	K2	26.6	33.1	35.4	37.4
Επιφάνεια χώρου εκτόνωσης ΒΑ-ΝΑ των κτηρίων Α,Β,Γ (μπάσκετ, κυλικείο)	S1	24.6	30.6	33.8	35.9
		κυλικείο	κυλικείο	κυλικείο	κυλικείο
		24.9	33.2	39.1	39.1
Επιφάνεια χώρου εκτόνωσης ΒΔ των κτηρίων Α,Β	S2	μπάσκετ	μπάσκετ	μπάσκετ	μπάσκετ
		25.3	31.4	33.6	35.8

Επιφάνεια χώρου εκτόνωσης ΝΔ των κτηρίων Β,Γ	S3	27.4	34.1	38.0	40.3
Επιφάνεια αιθρίου μεταξύ κτηρίων Α,Β	S4	26.7	33.1	35.6	37.6
Επιφάνεια αιθρίου μεταξύ Β και Γ	S5	26.4	32.9	34.9	37.3

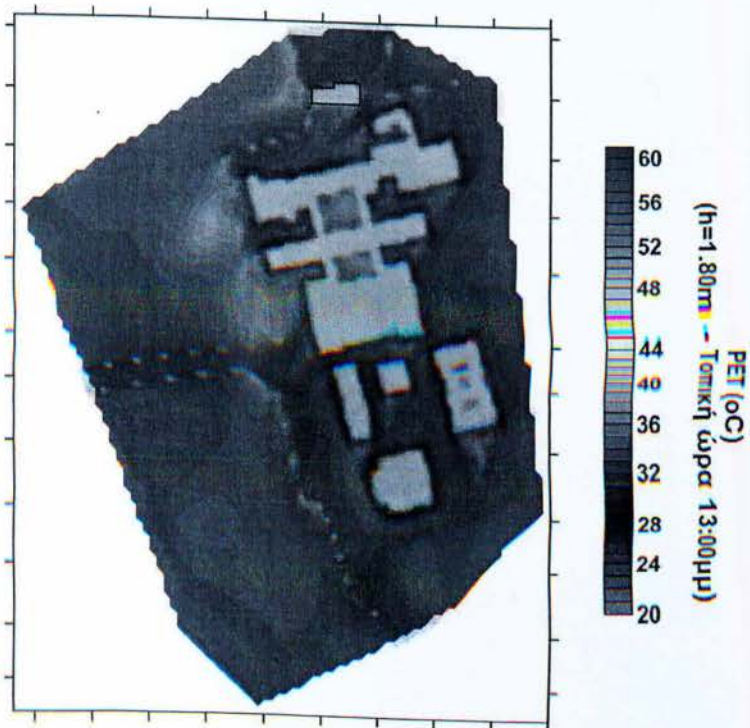
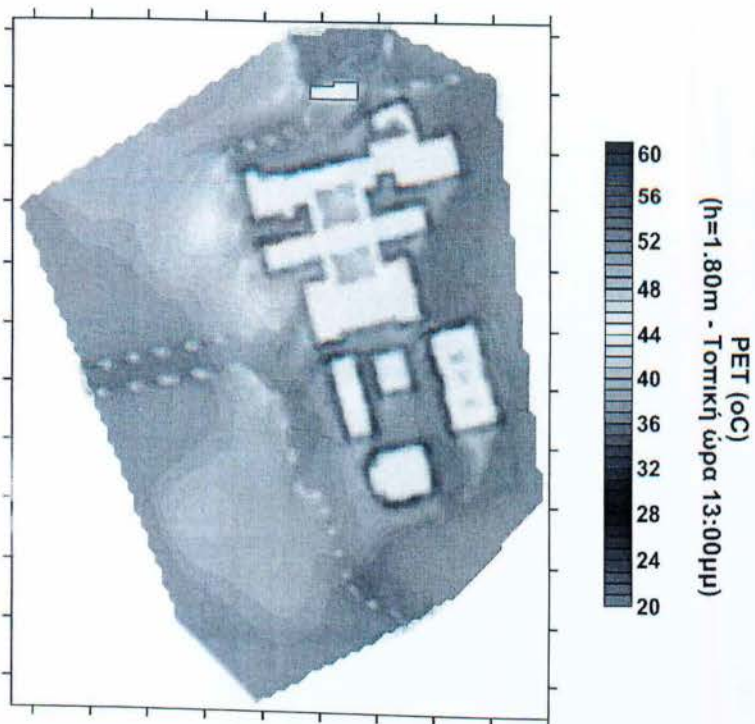
Πίνακας [4.4] Ποσοστό μεταβολής των μέσων χωρικών τιμών του δείκτη θερμικής άνεσης-δυσφορίας PET, σε ύψος $h=1.80m$, στους υπό μελέτη χώρους του ΤΕΙ Πειραιά, μετά τις παρεμβάσεις. Ημέρα 24/7/2009 (τυπική θερινή ημέρα).

Περιγραφή χώρου		Ποσοστό μεταβολής (%) της μέσης χωρικής τιμής του δείκτη θερμικής άνεσης-δυσφορίας PET ($^{\circ}C$) μετά τις παρεμβάσεις
		10:00πμ-18:00μμ
Επιφάνεια χώρου στάθμευσης από Π. Ράλλη	P1	-20.8
Επιφάνεια χώρου στάθμευσης Διοίκησης	P2	-20.9
Επιφάνεια χώρου στάθμευσης φοιτητών (πίσω από το εστιατόριο)	P3	-20.9
Επιφάνεια χώρου προσπέλασης πεζών από Θηβών	K1	-21.1
Επιφάνεια χώρου προσπέλασης Νοτιοδυτικά του Κτιρίου Γ	K2	-21.4
Επιφάνεια χώρου εκτόνωσης ΒΑ-ΝΑ των κτηρίων Α,Β,Γ (μπάσκετ, κυλικείο)	S1	-21.3 κυλικείο
		-13.2 μπάσκετ
Επιφάνεια χώρου εκτόνωσης ΒΔ των κτηρίων Α,Β	S2	-20.8
Επιφάνεια χώρου εκτόνωσης ΝΔ των κτηρίων Β,Γ	S3	-21.5
Επιφάνεια αιθρίου μεταξύ κτηρίων Α,Β	S4	-20.9
Επιφάνεια αιθρίου μεταξύ Β και Γ	S5	-20.6

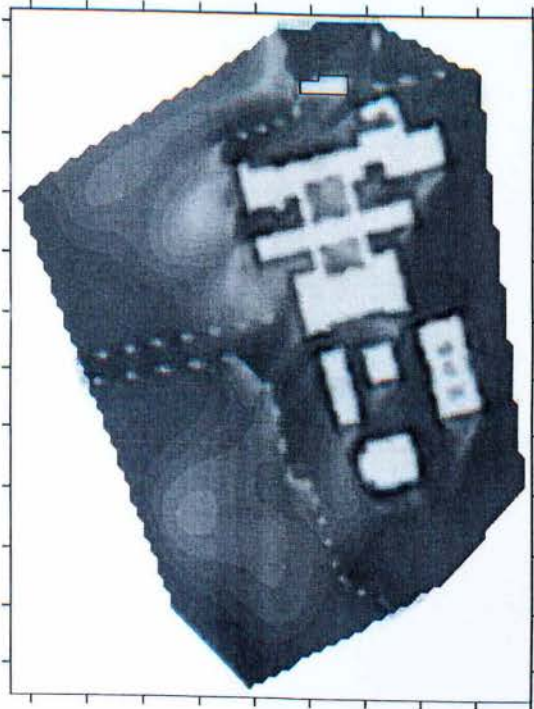
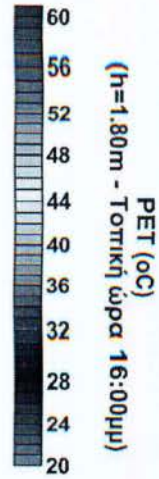
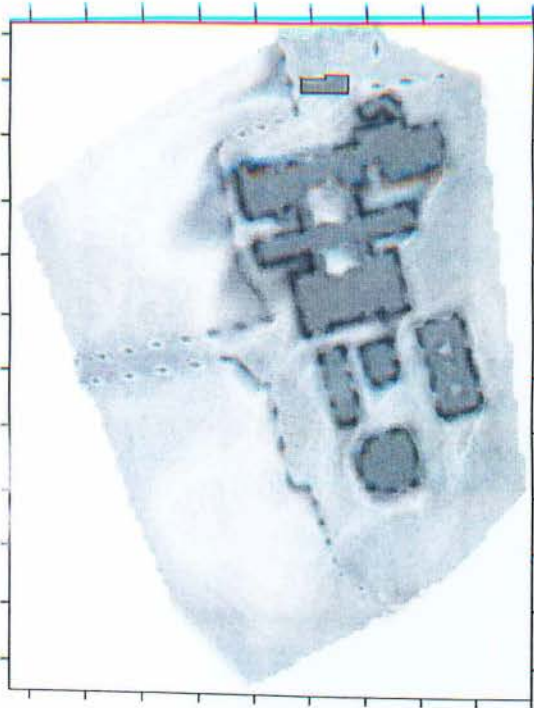
Στις κατόψεις που ακολουθούν παρατηρούμε ραγδαία μείωση του δείκτη PET σε όλους τους χώρους του ιδρύματος κατόπιν των επεμβάσεων.



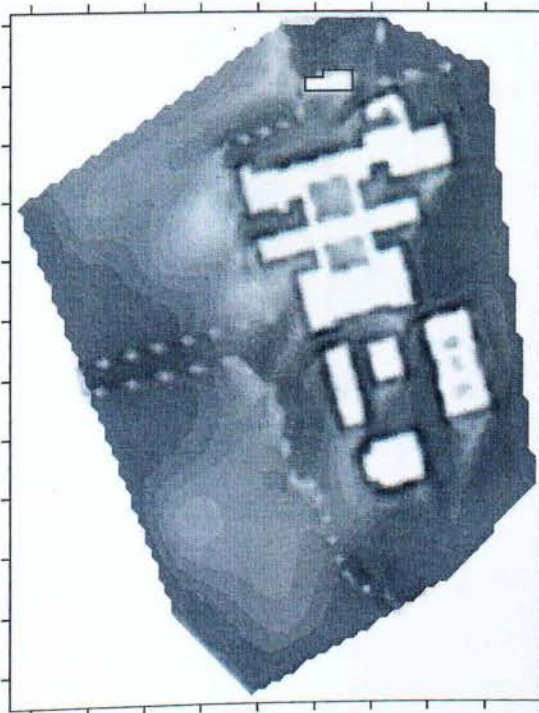
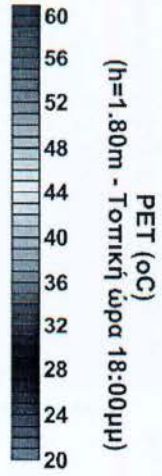
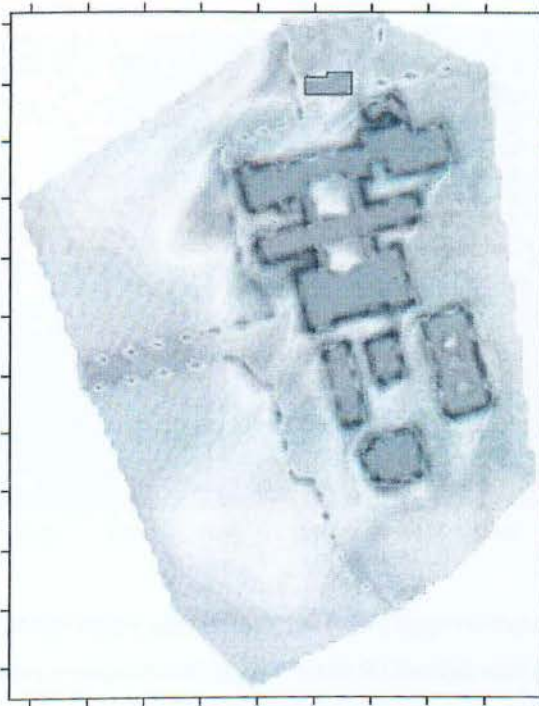
Σχήμα [4.6]: Χωρική κατανομή των τιμών του δείκτη θερμικής άνεσης-δυσφορίας PET σε ύψος $h=1.80m$, στους υπό μελέτη χώρους του ΤΕΙ Πειραιά, πριν (α) και μετά (β) τις παρεμβάσεις. Ημέρα 24/7/2009. Ώρα 10:00 μμ.



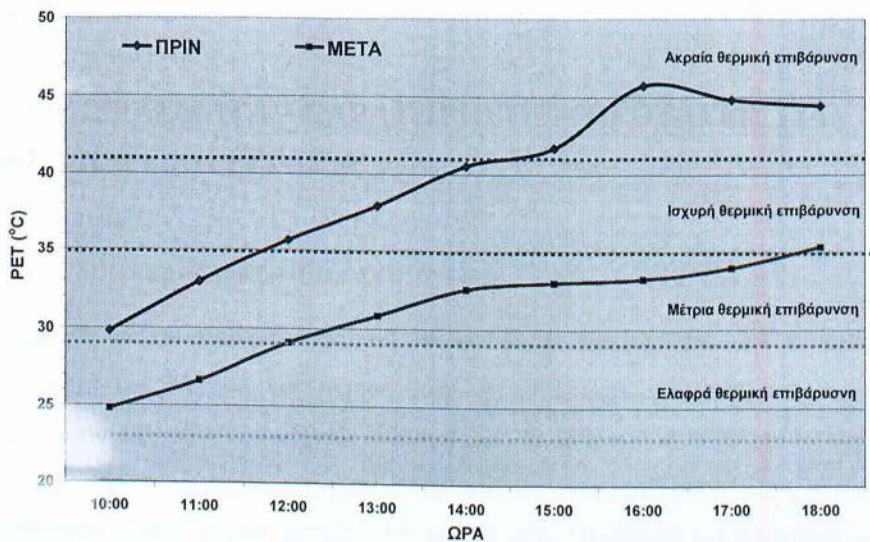
Σχήμα [4.7]: Χωρική κατανομή των τιμών του δείκτη θερμικής άνεσης-δυσφορίας PET σε ύψος $h=1.80m$, στους υπό μελέτη χώρους του ΤΕΙ Πειραιά, πριν (α) και μετά (β) τις παρεμβάσεις. Ημέρα 24/7/2009. Ώρα 13:00 μμ.



Σχήμα [4.8]: Χωρική κατανομή των τιμών του δείκτη θερμικής άνεσης-δυσφορίας PET σε ύψος $h=1.80m$, στους υπό μελέτη χώρους του ΤΕΙ Πειραιά, πριν (α) και μετά (β) τις παρεμβάσεις. Ημέρα 24/7/2009. Ώρα 16:00 μμ.



Σχήμα [4.9]: Χωρική κατανομή των τιμών του δείκτη θερμικής άνεσης-δυσφορίας PET σε ύψος $h=1.80m$, στους υπό μελέτη χώρους του ΤΕΙ Πειραιά, πριν (α) και μετά (β) τις παρεμβάσεις. Ημέρα 24/7/2009. Ώρα 18:00 μμ.



Σχήμα [4.10]: Μέσες ωριαίες τιμές του δείκτη θερμικής άνεσης-δυσφορίας PET σε ύψος $h=1.80m$, στους υπό μελέτη χώρους του ΤΕΙ Πειραιά, πριν και μετά τις παρεμβάσεις.
 Ημέρα 24/7/2009. Χρονική περίοδος 10:00πμ-18:00 μμ.

Κεφάλαιο 5^ο

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

5.1 Συμπεράσματα-Παρατηρήσεις

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του Πίνακα [4.2], παρατηρείται από το πρωί (10:00πμ) μια ελαφρά και μέτρια θερμική επιβάρυνση των ανθρώπων που χρησιμοποιούν τους εξωτερικούς χώρους του ΤΕΙ Πειραιά. Η επιβάρυνση αυτή γίνεται ισχυρή μέχρι το μεσημέρι (13:00μμ) και στη συνέχεια, μέχρι και το απόγευμα (18:00) γίνεται ακραία, κάτι που καθιστά επικίνδυνη την παραμονή σε εξωτερικούς χώρους για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Αντίστοιχα, μετά τις παρεμβάσεις στους εξωτερικούς χώρους, παρατηρείται μια μετατόπιση του αισθήματος θερμικής δυσφορίας, σε χαμηλότερες τιμές (Πίνακας [4.3]). Η μετατόπιση αυτή παρατηρείται και στις μέσες τιμές της θερμικής άνεσης-δυσφορίας. Τα ποσοστά μείωσης των επιπέδων της θερμικής άνεσης, κυμαίνονται μεταξύ του 13.2% και 21.5% (Πίνακας [4.4]). Η περίπτωση της περιοχής S1 (μπάσκετ) είναι μια ιδιαίτερη περίπτωση, αφού παρουσιάζει μείωση της τάξης του 13.2% (<15.0%). Προφανώς, οφείλεται στο γεγονός ότι στο σημείο αυτό γίνεται αλλαγή μόνο του εδάφους από το σημερινό τσιμέντο-άσφαλτος σε ειδικό πλαστικό ταρτάν. Έτσι, δεν μπορεί να γίνει δυνατή η μεγαλύτερη μείωση των συνθηκών θερμικής επιβάρυνσης.

5.2 Προτάσεις για μελλοντική εργασία

Στα πλαίσια της εξέλιξης της επιστήμης της θερμικής άνεσης η παρούσα πτυχιακή εργασία θα μπορούσε να συνεισφέρει, ως προς τον τρόπο προσέγγισης της «πρόκλησης» για μείωση 15% των επιπέδων θερμικής άνεσης, στην περαιτέρω επέμβαση ακόμα και εντός του ιδρύματος, ούτως ώστε να επιτευχθεί ακόμα πιο άνετο κλίμα εντός των χώρων του ιδρύματος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Θερμική άνεση Περιβαλλοντικός Σχεδιασμός Ι: Ορισμοί, δείκτες και μοντέλα εκτίμησης, διεθνή πρότυπα, μεθοδολογία-μελέτη περίπτωσης **Γεώργιος Α. Κοτσίρης**
- **THERMALCOMFORT**, <http://www.hse.gov.uk/temperature/thermal/explained.htm>
VISUALIZING THERMAL COMFORT,
- http://www.design.asu.edu/radiant/01_thermalComfort/comfortC_01variables.htm
HUMAN HEAT BALANCE CALCULATION, Macquarie University, Sydney,
- Australia, <http://atmos.es.mq.edu.au/~rdedear/pmv/>
PREDICTION OF THERMAL COMFORT,
- <http://personal.cityu.edu.hk/~bsapplec/newpage315.htm>

