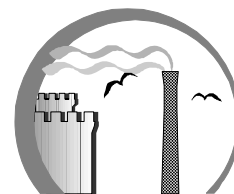




ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ-ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΔΟΝΤΗΣ: ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΜΟΥΣΙΟΠΟΥΛΟΣ



Η Οδηγία 2002/91/ΕC
για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων

Θερμική Άνεση στα Κτίρια.
Νέα Πρότυπα και
Βελτίωση Θερμικής Άνεσης στα Κτίρια

Αν. Καθηγητής Άγισ Μ. Παπαδόπουλος

Ιωάννινα, 15 Μαΐου 2006

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή	3
2. Θερμική άνεση.....	3
3. Η φυσιολογία της θερμικής άνεσης.....	4
4. Μοντέλα υπολογισμού της θερμικής άνεσης.....	5
5. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμική άνεση	8
5.1. Θερμοκρασία.....	8
5.2. Υγρασία	10
5.3. Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας.....	14
5.4. Ταχύτητα αέρα.....	15
6. Προς την αναθεώρηση των ισχυόντων προτύπων θερμικής άνεσης;	19
7. Επίλογος.....	21
8. Πηγές	22

1. Εισαγωγή

Η ύπαρξη των κτιρίων, είτε αυτά εξυπηρετούν ως χώροι διαβίωσης ή ως χώροι εργασίας, έχει ως στόχο να υποβοηθήσει την ανθρώπινη δραστηριότητα, καθώς και να παρέχει προστασία από τις εξωτερικές καιρικές συνθήκες. Ωστόσο, συχνά στο εσωτερικό των κτιρίων εμφανίζονται προβλήματα όσον αφορά στις θερμικές συνθήκες που επικρατούν. Τα αποτελέσματα του προβλήματος έχουν άμεσο αντίκτυπο τόσο στις συνθήκες άνετης διαβίωσης μέσα στα κτίρια όσο και στην υγεία των χρηστών τους. Καθίσταται λοιπόν προφανές ότι η εμφάνιση φαινομένων θερμικής δυσaráσκειας των χρηστών των κτιρίων είναι εξ ορισμού αντίθετη με τον λόγο ύπαρξης τους.

Εξετάζοντας το εκάστοτε κτίριο ως ένα ξεχωριστό υποσύστημα του εξωτερικού περιβάλλοντος και με δεδομένη τη μεταξύ τους αλληλεπίδραση, η έννοια των συνθηκών του εσωκλίματος είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τα χαρακτηριστικά κατασκευής και λειτουργίας του κτιρίου. Η γενικότερη θεώρηση του προβλήματος αφορά στο εσωτερικό περιβάλλον συνολικά. Εκτός από την αξιολόγηση των θερμικών συνθηκών, αξιολογούνται και άλλοι παράγοντες όπως είναι η ποιότητα εσωτερικού αέρα, ο θόρυβος και ο φωτισμός. Οι συμπληρωματικοί παράγοντες που εισάγονται με τη γενικότερη αυτή θεώρηση επηρεάζουν την υγεία, την άνεση και την απόδοση των κατοίκων του κτιρίου.

Η πολυπλοκότητα και το βάθος των προβλημάτων που σχετίζονται με τη θερμική άνεση αυξάνεται, αν εισαγάγουμε και τον παράγοντα του κόστους. Τα κτίρια αποτελούν επενδύσεις εντάσεως κεφαλαίου, με υψηλό αρχικό κόστος και με μεγάλη διάρκεια ζωής. Υπό την έννοια αυτή δεσμευόμαστε να πληρώνουμε το αντίτιμο για οποιαδήποτε παράλειψη, αμέλεια ή αστοχία του σχεδιασμού και της κατασκευής επί δεκαετίες ολόκληρες.

Τέλος, το ζήτημα της θερμικής άνεσης και γενικότερα του εσωκλίματος εξαρτάται από τον ανθρώπινο παράγοντα. Η χρήση του κτιρίου από τους κατοίκους του, μπορεί να οδηγήσει είτε σε βελτίωση του εσωτερικού περιβάλλοντος είτε σε υποβάθμισή του. Στην αξιολόγηση του εσωκλίματος και ιδιαίτερα όσον αφορά στις συνθήκες άνεσης, υποκειμενικά κριτήρια επηρεάζουν το αποτέλεσμα της αξιολόγησης. Οποιαδήποτε μελέτη γύρω από το εσωτερικό περιβάλλον ενός κτιρίου πρέπει να λαμβάνει υπόψη της τους χρήστες, οι οποίοι αντιλαμβάνονται διαφορετικά ο καθένας το εσωκλίμα. Επομένως το ζήτημα της θερμικής άνεσης λαμβάνει και την ανθρώπινη συνιστώσα, ως προς την αξιολόγηση και τη λύση, με ότι αυτό μπορεί να συνεπάγεται για την ευκολία ή δυσκολία αντιμετώπισής του.

2. Θερμική άνεση

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 (Πίνακας 1).

Πίνακας 1. Παράμετροι που επηρεάζουν τη θερμική άνεση.

1. Φυσικές παράμετροι
<ul style="list-style-type: none">○ Θερμοκρασία του 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
2. Βιολογικές παράμετροι
<ul style="list-style-type: none">○ Το φύλλο των χρηστών του χώρου○ Η ηλικία των χρηστών του χώρου○ Οι συνήθειες των χρηστών του χώρου
3. Εξωτερικές παράμετροι.
<ul style="list-style-type: none">○ Το είδος των δραστηριοτήτων των χρηστών του χώρου [met] ($1 \text{ met} = 58,15 \text{ W/m}^2$)○ Ο τύπος του ρουχισμού των χρηστών του χώρου [clo] ($1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$)

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 (αυξομείωση των καύσεων, εφίδρωση), το σώμα μας καθορίζει την αναφερθείσα ροή θερμότητας.

3. Η φυσιολογία της θερμικής άνεσης

Το ανθρώπινο σώμα διαθέτει ένα αποτελεσματικό σύστημα ρύθμισης της θερμοκρασίας, η οποία διατηρείται περίπου στους $37 \text{ }^{\circ}\text{C}$. 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 αποτέλεσμα 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 ανθρωπίνου 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 1). Έτσι, σε μια τέτοια κατάσταση ένα άτομο δεν αισθάνεται ούτε κρύο ούτε ζέστη.



Σχήμα 1. Κατάσταση θερμικής ισορροπίας.

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 δέρματος.
- Ρυθμός εφίδρωσης.
- Ξηρότητα του δέρματος.

4. Μοντέλα υπολογισμού της 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 1.

$$M - W = H + E_C + C_{res} + E_{res} \quad [1]$$

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/m²].

H: οι απώλειες ενέργειας υπό την μορφή θερμότητας από την επιφάνεια του σώματος μέσω αγωγής, συναγωγής και ακτινοβολίας [W/m²].

E_C: το ποσό της θερμότητας που απάγεται λόγω εξάτμισης σε κατάσταση θερμικής ισορροπίας [W/m²].

C_{res}: το πόσο της θερμότητας που απάγεται με αγωγή κατά την αναπνοή [W/m²].

E_{res}: το ποσό της θερμότητας που απάγεται λόγω εξάτμισης κατά την αναπνοή [W/m²].

Η Σχέση 1 είναι ένα εργαλείο υπολογισμού της θερμικής άνεσης που μπορεί να επιτευχθεί σε ένα χώρο, μετρώντας ή γνωρίζοντας τις φυσικές παραμέτρους του Πίνακα 1. 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.

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 δίνει τον υπολογισμό του δείκτη PMV σύμφωνα με τα μεγέθη που εισήχθησαν στην εξίσωση θερμικής άνεσης.

$$PMV = (0,303 * e^{-0,036M} + 0,028) * [(M - W) - H - E_C - C_{res} - E_{res}] \quad [2]$$

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.

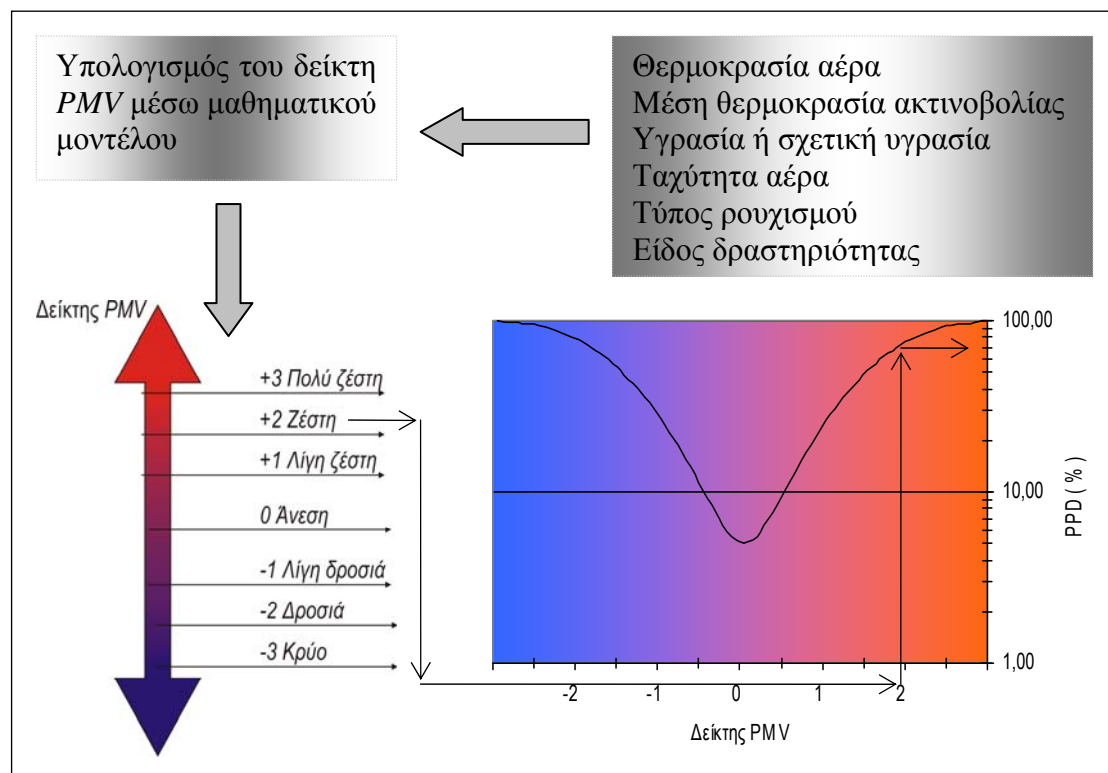
Υπολογίζοντας το δείκτη PMV σύμφωνα με τη Σχέση 2, μπορούμε μέσω του διαγράμματος PPD και με βάση τον τρόπο υπολογισμού που φαίνεται στο Σχήμα 2, να βρούμε το ποσοστό των δυσαρεστημένων, με τις θερμικές συνθήκες, ατόμων σε έναν χώρο. Σύμφωνα με το διάγραμμα PPD φαίνεται ότι ακόμη και αν ο δείκτης

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:

$$PPM = 100 - 95 * e^{-(0,03353 * PMV^4 + 0,2179 * PMV^2)} \quad [3]$$

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. 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

αναδειξει και άλλα μοντέλα υπολογισμού της θερμικής άνεσης ως συνέπεια της κριτικής που έχει δεχθεί η θεωρία του Fanger.

5. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμική άνεση

5.1. 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 (Πίνακας 2) μπορούν να ενταχθούν σε τρεις κατηγορίες: το εξωτερικό περιβάλλον, το σχεδιασμό του κτιρίου και το σύστημα θέρμανσης, ψύξης και αερισμού

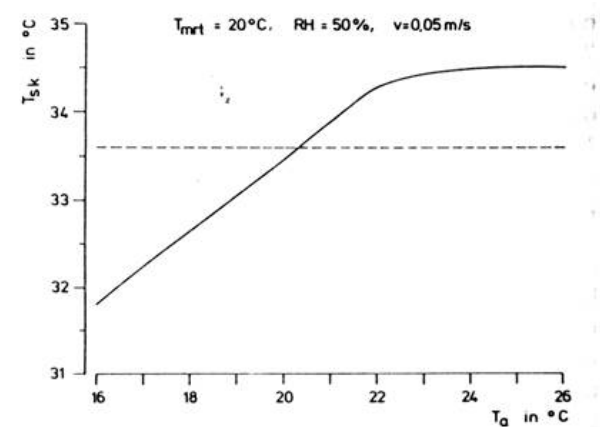
Πίνακας 2. Παράμετροι που επηρεάζουν τη θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό ενός κτιρίου

-
- 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 ενός φυσικά 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 H/Y)
 - 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 Διάγραμμα 1, η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα t_a οδηγεί σε συνεχόμενη αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του δέρματος έως και τους 21 °C. Η περαιτέρω αύξηση της t_a ενεργοποιεί το μηχανισμό της εφίδρωσης με άμεση συνέπεια την ψύξη του δέρματος και γι' αυτό το λόγο η κλίση της ευθείας του Διαγράμματος 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 Διαγράμματος 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 $t_{m} = 20$ °C, σχετική υγρασία $RH = 50\%$, ταχύτητα αέρα $v = 0,05$ m/s.

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

Διάγραμμα 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 φαίνεται η μεταβολή της θερμοκρασία άνεσης καθώς μεταβάλλονται τα παραπάνω μεγέθη. Το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε για τους υπολογισμούς είναι το MEMI.

Πίνακας 3. Θερμοκρασία άνεσης αέρα σε σχέση με τη μεταβολική δραστηριότητα και τον τύπο του ρουχισμού

Εργασία	Μεταβολική δραστηριότητα [W]	Ρουχισμός [clo]	Θερμοκρασία άνεσης $T_a(\text{comf})$ [°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.

5.2. 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:

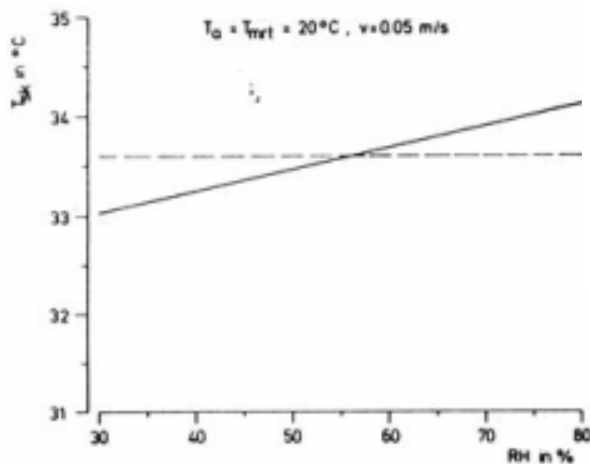
- ο το μηχανισμό διάχυσης των υγρών υπό τη μορφή αερίων του σώματός μας μέσω του δέρματος,
- ο το μηχανισμό εξάτμισης του ιδρώτα από την επιφάνεια του δέρματος και
- ο το μηχανισμό ύγρανσης του εισπνεόμενου αέρα.

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 Διάγραμμα 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 δυσαρέσκειας εμφανίζεται όταν το δέρμα είναι έντονα βρεγμένο, υπό την παρουσία υψηλών θερμοκρασιών, υψηλής σχετικής υγρασίας και δραστηριότητας εντονότερης της καθιστικής. 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.

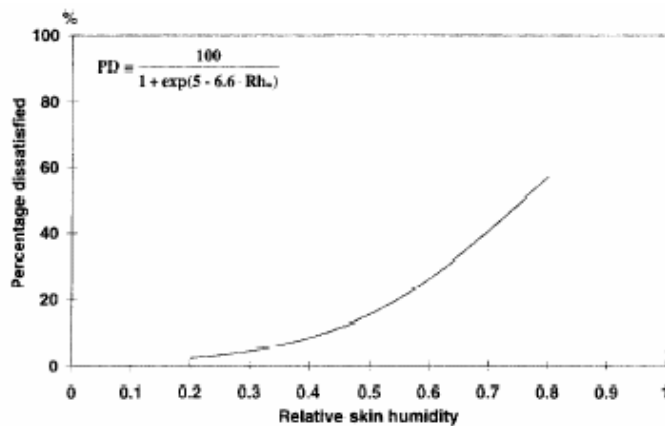


Συνθήκες μετρήσεων: άνδρας 35 ετών, τύπος ρουχισμού=1 clo, καθιστική εργασία, μεταβολικός ρυθμός=60W, μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας $t_{ra}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ = θερμοκρασία αέρα t_a , ταχύτητα αέρα $v=0,05\text{ m/s}$.

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

Διάγραμμα 2. Μεταβολή της σχετικής υγρασίας του αέρα και της μέσης θερμοκρασίας του δέρματος t_{sk}

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 Διάγραμμα 3 αναπαριστά ακριβώς αυτό το συμπέρασμα.



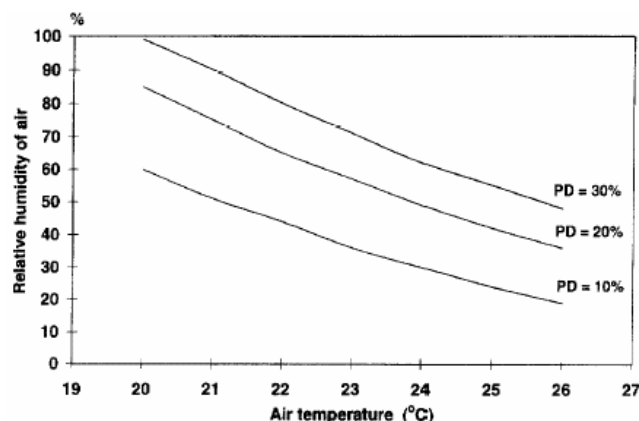
Πηγή: Jorn Toftum, Anette S. Jorgensen, P.O. Fanger, 1997, Upper limits for indoor air humidity to avoid uncomfortably humid skin

Διάγραμμα 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 υδρατμούς του εισπνεόμενου αέρα. Σε χαμηλούς ρυθμούς αναπνοής και τυπικές τιμές θερμοκρασίας και υγρασίας, ο κλιματισμός του αέρα γίνεται στο άνω μέρος της

αναπνευστική 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. 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 Διάγραμμα 4 παρουσιάζεται η σχέση μεταξύ υγρασίας και θερμοκρασίας αέρα σε σχέση με το 10, 20, 30% των δυσαρεστημένων χρηστών. Η δυσαρέσκεια αφορά σ' αυτή την περίπτωση μόνο την αίσθηση που προκαλεί ο αέρας στην αναπνευστική οδό. Το Διάγραμμα 4 επιβεβαιώνει πλήρως τη σχέση μεταξύ υγρασίας, θερμοκρασίας και της θερμικής αίσθησης του αέρα κατά την αναπνοή.

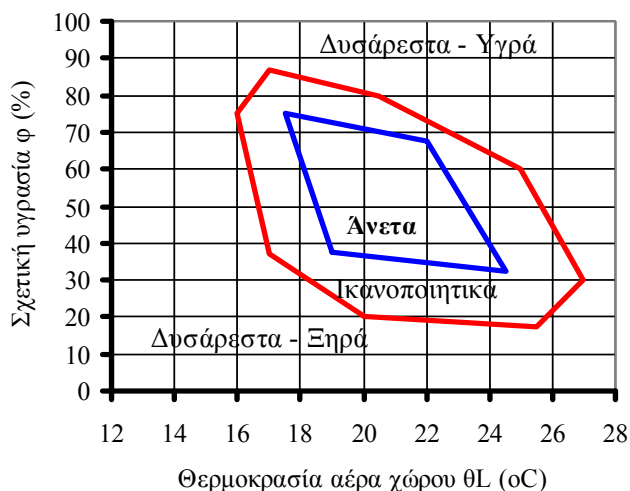


Πηγή: Jorn Toftum, Anette S. Jorgensen, P.O. Fanger, 1997, Upper Limits for indoor air humidity to avoid warm respiratory

Διάγραμμα 4. Σχέση που συνδέει τη θερμοκρασία του αέρα, τη σχετική του υγρασία και το ποσοστό των δυσαρεστημένων χρηστών που συνδέεται με την αίσθηση του αέρα στην αναπνευστική οδό

Τα αποδεκτά όρια σχετικής υγρασίας του αέρα είναι λιγότερο σαφή από αυτά της θερμοκρασίας και το ανώτερο επιτρεπτό επίπεδό 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. Ως αποτέλεσμα του παραπάνω γεγονότος τα διαγράμματα θερμικής άνεσης όπως αυτά της σχετικής υγρασίας σε συνάρτηση της θερμοκρασίας (Διάγραμμα 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 4.



Διάγραμμα 5. Διάγραμμα θερμικής άνεσης θερμοκρασίας και σχετικής

Πίνακας 4. συνιστώμενες συνθήκες σχεδιασμού για κλιματιζόμενους χώρους σύμφωνα με την τεχνική 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

5.3. 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:

$$t_{r\mu} = \sqrt[4]{\sum_n F_{p-i} \times (t_i + 273)^4} - 273$$

όπου F_{p-i} : Ο συντελεστής γωνίας μεταξύ του ατόμου και της επιφάνειας i .

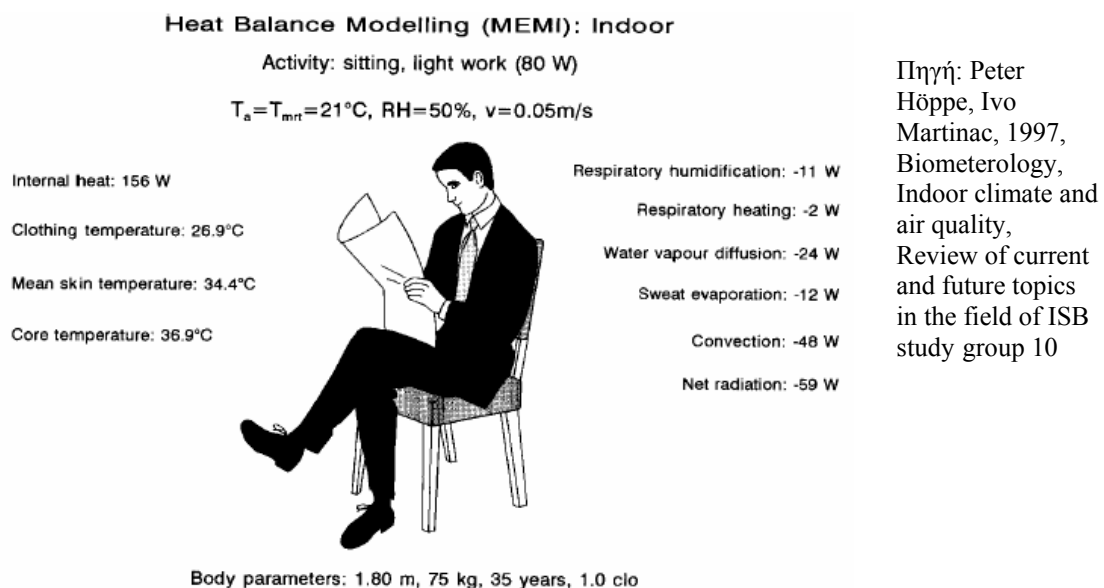
Σημειώνουμε ότι: $\sum F_{p-i} = 1$

όπου t_i : Η θερμοκρασία επιφανείας της επιφάνειας i [$^{\circ}\text{C}$].

Ο υπολογισμός της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας είναι ιδιαίτερα επίπονος (απαιτείται ο πλήρης υπολογισμός του συντελεστή γωνίας μεταξύ του ατόμου και της εξεταζόμενης επιφάνειας) και προσφυγή στην χρήση H/Y 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 $t_{r\mu}$ 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 $^{\circ}\text{C}$ προκαλεί το ίδιο θερμικό αποτέλεσμα με την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας κατά 1 $^{\circ}\text{C}$. 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 φαίνεται καθαρά ότι η μεγαλύτερη ροή θερμότητας από το σώμα σε τυπικές κλιματικές συνθήκες (χωρίς κλιματισμό του αέρα) οφείλεται στην ακτινοβολία.



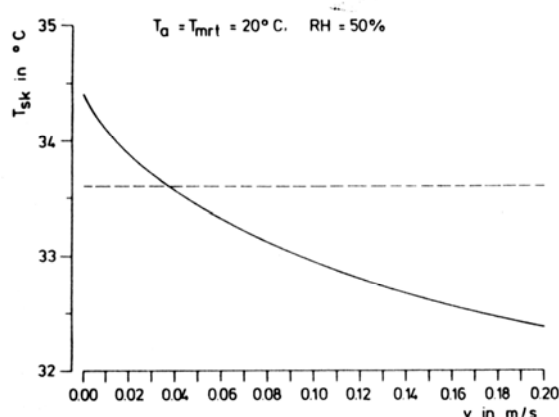
Σχήμα 3. Ροές θερμότητας από το ανθρώπινο σώμα προς το περιβάλλον.

5.4. 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 απ' 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 Διάγραμμα 6 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 $t_{\mu}=20^{\circ}\text{C}$ = θερμοκρασία αέρα t_a , σχετική υγρασία RH=50%

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

Διάγραμμα 6. Σχέση μεταξύ της ταχύτητας του αέρα v και της μέσης θερμοκρασίας του δέρματος t_{sk}

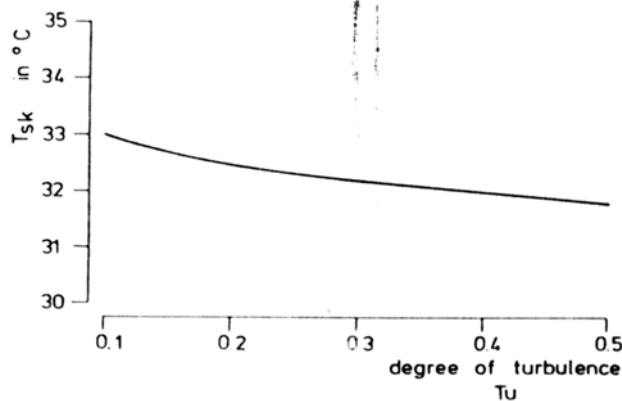
Η ταχύτητα του αέρα σε φυσικά αεριζόμενα κτίρια είναι κοντά στα 0,1 m/s. Ενώ στους χώρους όπου διατηρούν μηχανικό αερισμό η ταχύτητα του αέρα εμφανίζεται μεγαλύτερη από τις ταχύτητες του Διαγράμματος 6. Στο πρότυπο ASHRAE 55 – 92 καθορίζεται η τιμή της ταχύτητας του αέρα για το καλοκαίρι και το χειμώνα (Πίνακας 5).

Πίνακας 5. 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 Διάγραμμα 7 φαίνεται η επίδραση του τύπου της ροής με σταθερή μέση ταχύτητα $v_{\mu} = 0,1 \text{ m/s}$. Ο τύπος της ροής και συγκεκριμένα ο βαθμός της τύρβης επηρεάζει τη θερμοκρασία του δέρματος ακόμη και με τη μέση ταχύτητα του αέρα σταθερή.

$T_a = T_{mrt} = 20,0 \text{ }^\circ\text{C}$, $\bar{v} = 0,10 \text{ m/s}$, $VP = 11,7 \text{ hPa}$



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

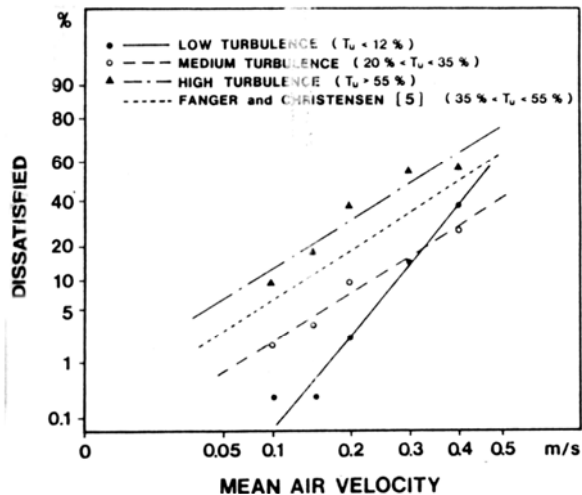
Πηγή: Peter Höpfe, 1988, Comfort Requirements in Indoor Climate

Διάγραμμα 7. Σχέση μεταξύ του βαθμού της τυρβώδους ροής T_u και της μέσης θερμοκρασίας του δέρματος t_{sk} .

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 Διάγραμμα 8 αναπαριστά το ποσοστό των δυσαρεστημένων ανθρώπων που προέκυψαν σε σχέση με την ταχύτητα του αέρα και το βαθμό της τύρβης.

Τα παραπάνω συμπεράσματα οδηγούν στη δημιουργία συστημάτων μηχανισμού αερισμού που να παρέχουν τη ροή του αέρα στη ζώνη χρήσης των χώρων με χαμηλές τιμές τύρβης. Αυτή η απαίτηση έρχεται σε σύγκρουση με την απαίτηση επαρκούς ανάμιξης του εξωτερικού αέρα με τον εσωτερικό ώστε να επιτευχθεί αραίωση των ρύπων και ομοιογενή εσωτερική ατμόσφαιρα διότι η στρωτή ροή δεν έχει τα επιθυμητά χαρακτηριστικά ανάμιξης, σε αντίθεση με την τυρβώδη ροή.

Είναι φανερό ότι για επιτύχουμε ένα συμβιβασμό σε αυτές τις δύο απαιτήσεις, χρειάζεται περαιτέρω μελέτη παραμέτρων και συνδυασμού τους στις οποίες περιλαμβάνονται: η ταχύτητα εξόδου του αέρα από την παροχή του μηχανικού συστήματος, το μέγεθος των παροχών του αέρα του μηχανικού συστήματος και η απόσταση των παροχών του αέρα από τη ζώνη χρήσης των χώρων. Ωστόσο ο αερισμός εκτόπισης (displacement ventilation) φαίνεται να ικανοποιεί τις δύο παραπάνω συνθήκες.



Πηγή: P.O. Fanger, A.K. Melikov, H. Hanzawa, J. Ring, 1988, Air Turbulence and Sensation of Draught

Διάγραμμα 8. Ποσοστό των δυσαρεστημένων χρηστών, ως αποτέλεσμα της αίσθησης ρεύματος αέρα στη περιοχή του κεφαλιού, σε σχέση με τη ταχύτητα του αέρα και τρεις περιοχές τύρβης

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 παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.

Πίνακας 6. Παράμετροι που επηρεάζουν τον αριθμό αλλαγών του αέρα σ' ένα χώρο.

- 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

Για τα φυσικά αεριζόμενα κτίρια, λοιπόν, δίνεται η προτεινόμενη τιμή σε σχέση με τον αριθμό των χρηστών και το μέγεθος του χώρου (Πίνακας 7). Αντίθετα, στα μηχανικά αεριζόμενα κτίρια η ταχύτητα του αέρα μετράται σε m/s (Πίνακας 8).

Πίνακας 7. Ενδεικνυόμενες τιμές αερισμού χώρων (TOTEE 2423/86)

ΕΝΔΕΙΚΝΥΟΜΕΝΕΣ ΠΟΙΟΤΗΤΕΣ ΑΕΡΑ ΓΙΑ ΑΕΡΙΣΜΟ ΧΩΡΩΝ (TOTEE 2423/86)		
ΕΙΔΟΣ ΧΩΡΟΥ	ΚΑΠΝΙΖΟΝΤΕΣ	($m^3/h \cdot \text{άτομο}$)
Διαμερίσματα συνήθη	Μερικοί	8,5
Διαμερίσματα πολυτελή	Μερικοί	8,5
Κουρέια	Σημαντικός αριθμός	17,0
Μπαρ	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 - Μπαρ	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

Πίνακας 8. 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)		

6. Προς την αναθεώρηση των ισχυόντων προτύπων θερμικής άνεσης;

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

1. Τη 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:

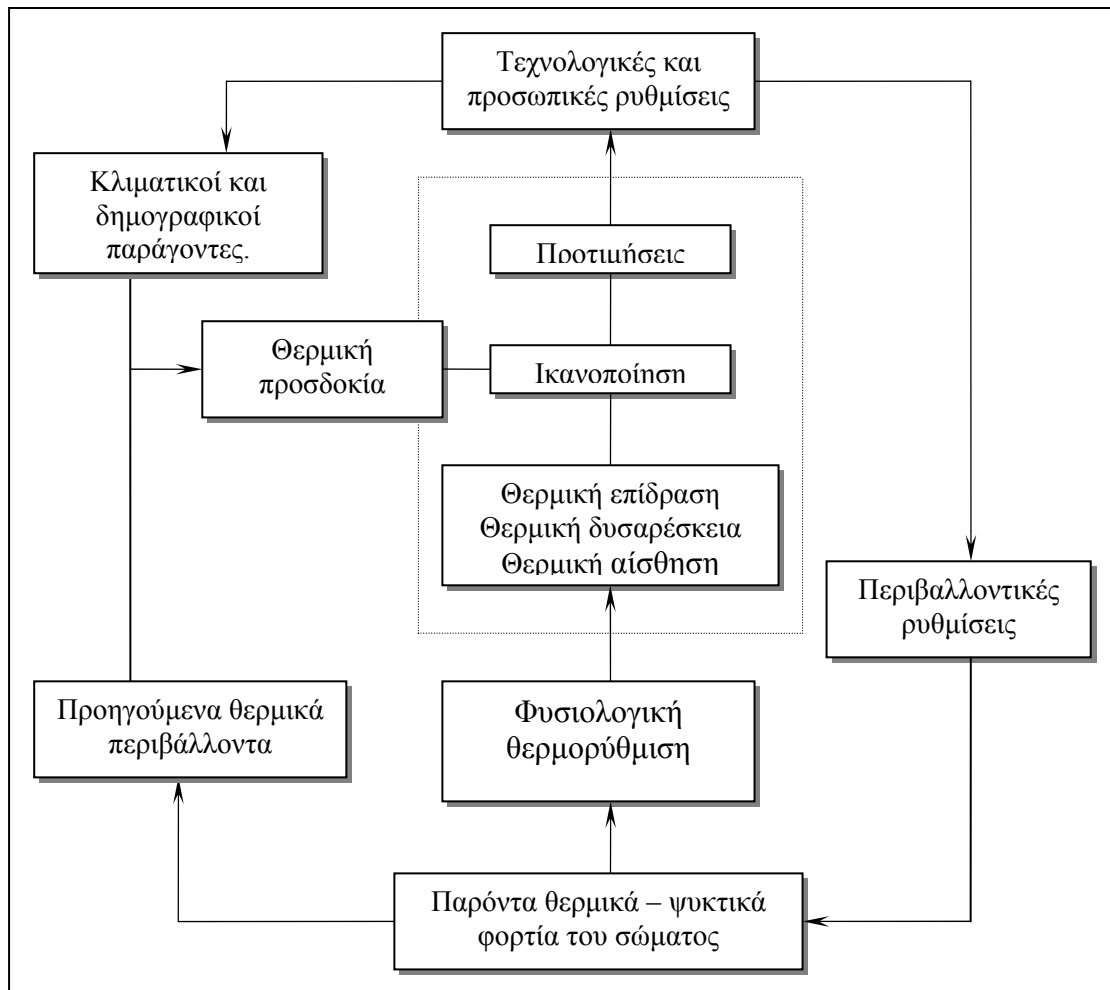
- 1. Δημογραφικοί παράγοντες.** Σε αυτούς τους παράγοντες αναφέρουμε το φύλλο, την ηλικία, την οικονομική κατάσταση, το μορφωτικό επίπεδο.
- 2. Παράγοντες συναφείς με το περιβάλλον τόσο το εξωτερικό όσο και το εσωτερικό.** Σε αυτούς τους παράγοντες αναφέρουμε το εξωτερικό κλίμα, το τρίπτυχο σχεδιασμός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

Ο γενικός όρος της προσαρμογής στις θερμικές συνθήκες, μεταφράζεται ως η σταδιακή υποβάθμιση των αποκρίσεων του οργανισμού στα συνεχή θερμικά ερεθίσματα του περιβάλλοντος και περικλείει 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 (Διάγραμμα 9).



Διάγραμμα 9. Το γενικό θερμικό μοντέλο προσαρμογής ως δυναμικό σύστημα.
 Πηγή: Richard De Dear, Gail Brager, Donna Cooper, March 1997, Developing an adaptive model of thermal comfort and preference

7. Επίλογος

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 στο εσωτερικό των κτιρίων οι οποίοι συχνά δεν είναι ανεξάρτητοι μεταξύ τους αλλά ο 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.

8. Πηγές

1. ASHRAE Standard 55 (1981), Thermal environmental conditions for human occupancy. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta, USA.
2. Brager G. and de Dear R. (1998), Thermal adaptation in the built environment: literature review, *Energy and Buildings*, **17**, 83-96.
3. de Dear R. and Brager G.S. (2001), The adaptive model of thermal comfort and energy conservation in the built environment, *International Journal of Biometeorology*, **45**, 100-108.
4. Δελλής Ν. και Τραγουδάρας Δ. (2002), Ενεργειακοί έλεγχοι, ποιότητα εσωτερικού αέρα και θερμική άνεση σε κτίρια γραφείων, Διπλωματική εργασία, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΑΠΘ, Οκτώβριος
5. Fanger P.O., Melikov A.K., Hanzawa H. and Ring J. (1988), Air turbulence and sensation of draught, *Energy and Building*, **12**, 21-39.
6. Fanger P.O. (1972), *Thermal comfort*, McGraw-Hill, New York.
7. Höppe P. (1988), Comfort requirements in indoor climate, *Energy and Buildings*, **11**, 249-257.
8. Höppe P. and Martinac I. (1998), Indoor climate and air quality: review of current and future topics in the field of ISB study group 10, *International Journal of Biometeorology*, **42**, 1-7.
9. Höppe P. (1999), The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment, *International Journal of Biometeorology*, **43**, 71-75.
10. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Τεχνική οδηγία 2423/86
11. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Τεχνική οδηγία 2425/86
12. Toftum J., Jorgensen A.S. and Fanger P.O. (1998), Upper limits of indoor air humidity to avoid uncomfortably humid skin, *Energy and Buildings*, **28**, 1-13.
13. Toftum J., Jorgensen A.S. and Fanger P.O. (1998), Upper limits of air humidity for preventing warm respiratory discomfort, *Energy and Buildings*, **28**, 15-23.

Βιολογικοί ρύποι εσωτερικών χώρων

Δημήτρης Ματθόπουλος

Τμήμα Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων
Πανεπιστημίου Ιωαννίνων

Καθένας μας αποτελεί αναπόσπαστο μέρος του γενικότερου συνόλου που καλείται περιβάλλον. Σε αυτό δραστηριοποιούμαστε ατομικά αλλά και συλλογικά. Ο χώρος της δραστηριότητάς μας αποτελείται από δύο συνιστώσες. Την βιοτική και την αβιοτική που βρίσκονται κάτω από μια συνεχή αλληλεξάρτηση και με βάση την οποία έχει αναπτυχθεί μια ισορροπία η οποία παρέχει τα εχέγγυα της φυσιολογικής εξέλιξης και ανάπτυξης της βιοτικής συνιστώσας.

Από την εμφάνισή του στη γη, ο άνθρωπος περνούσε το μεγαλύτερο μέρος της ζωής του στο ελεύθερο περιβάλλον. Από την εποχή όμως της βιομηχανικής επανάστασης και εφεξής, ο άνθρωπος αυξάνει συνεχώς εκείνο το χρονικό διάστημα της ζωής του που το περνά στους καλούμενους εσωτερικούς κτιριακούς χώρους. Η μεταβολή αυτή είχε ως αποτέλεσμα μια ριζική αλλαγή της αντιμετώπισης του οργανισμού ως προς τις προκλήσεις του περιβάλλοντος. Όπως κάθε οργανισμός έτσι και ο άνθρωπος στην μακράιωνη εξελικτική πορεία του, μια πορεία που έχει διαρκέσει περίπου πέντε εκατομμύρια χρόνια, είχε αναπτύξει αμυντικούς μηχανισμούς με βάση τους οποίους ανταποκρινόταν στις εκάστοτε προκλήσεις του περιβάλλοντός του.

Μέσα σε ένα χρονικό διάστημα περίπου τριών αιώνων η τεχνολογική εξέλιξη του ανθρώπου είχε σαν αποτέλεσμα την άρδην μεταβολή των συνθηκών κάτω από τις οποίες είχε προσαρμοστεί. Η μεταβολή αυτή χρονολογικά υπήρξε μικρή και δεν έχει δώσει τον απαιτούμενο χρόνο στη φυσική διαδικασία να επιληφθεί ώστε να αναπροσαρμοστεί το αμυντικό σύστημα του ανθρώπινου οργανισμού για να αντιμετωπίσει την νέα κατάσταση που έχει δημιουργηθεί. Το γεγονός αυτό έχει επιφέρει σημαντική αναστάτωση στον τρόπο με τον οποίο αντιμετωπίζει ο

ανθρώπινος οργανισμός το περιβάλλον και στην ισορροπία που είχε αναπτυχθεί.

Στο ελεύθερο περιβάλλον συναντά κάθε οργανισμός μια πληθώρα άλλων οργανισμών με τους οποίους σταδιακά αναπτύσσει σχέσεις επικοινωνίας και αντιμετώπισης. Η μεταβολή των συνθηκών του περιβάλλοντος ενός οργανισμού έχει ως αποτέλεσμα την αλλοίωση των φυσιολογικών συνθηκών κάτω από τις οποίες αναπτύσσεται και εξελίσσεται. Για παράδειγμα, μέσα σε πολύ ελάχιστο χρονικό διάστημα ο άνθρωπος περιόρισε τον εαυτόν του από το ελεύθερο απεριόριστων διαστάσεων περιβάλλον στη φύση σε πολύ στενά όρια κτιριακών εγκαταστάσεων. Το περιβάλλον του πλέον δεν είναι απεριόριστο. Έχει καταστεί πεπερασμένο. Συνήθως τέσσαρις τοίχοι αποτελούν τον ζωτικό χώρο μέσα στον οποίο κινείται κατά το μεγαλύτερο μέρος της καθημερινής ζωής του.

Οι συνθήκες του χώρου αυτού απέχουν πλέον κατά πολύ από το φυσικό περιβάλλον μέσα στο οποίο εξελίχθηκε ο άνθρωπος. Το περιβάλλον στο οποίο είχε εξελιχθεί παρείχε μια συνεχή διακίνηση κάθε οργανισμού, μικρού ή μεγάλου, με αποτέλεσμα ο ένας οργανισμός να έρχεται αντιμέτωπος με κάθε άλλον κατά διαστήματα. Σε αυτά τα χρονικά διαστήματα κάθε οργανισμός ανέπτυξε σχέσεις αναγνώρισης, αλληλεπίδρασης και αντιμετώπισης. Από την εποχή κατά την οποία ο άνθρωπος μετέβαλε τα όρια του περιβάλλοντός του άλλαξαν και οι σχέσεις αναγνώρισης, αλληλεπίδρασης και αντιμετώπισης που είχε αναπτύξει με το σύνολο των οργανισμών με τους οποίους είχε στο παρελθόν έλθει σε επαφή. Οι σχέσεις αυτές μεταβλήθηκαν για ορισμένους λόγους, όπως, μεταβολή των ορίων του περιβάλλοντος, της σύστασης του περιβάλλοντος, των συνθηκών του περιβάλλοντος, καθώς και της συγκέντρωσης του πληθυσμού των άλλων οργανισμών όπως και του ίδιου του ανθρώπου στα όρια του περιβάλλοντος. Όλοι αυτοί οι παράγοντες αποτέλεσαν την απαρχή μιας σειράς δεινών για τα οποία απαιτείται πολύς κόπος από μέρους του ανθρώπου για να τα αναπροσαρμόσει.

Ας έλθουμε τώρα να δούμε πως οι διάφοροι αυτοί παράγοντες συμβάλουν στην αλλαγή των σχέσεων ανθρώπου και περιβάλλοντος.

1. Όρια περιβάλλοντος. Σήμερα ο άνθρωπος περνά το μεγαλύτερο μέρος του εικοσιτετραώρου εντός τεσσάρων τοίχων. Η εκβιομηχάνιση της παραγωγής είχε ως αποτέλεσμα το μεγαλύτερο μέρος των ανθρώπινων δραστηριοτήτων να γίνονται σε κλειστούς χώρους, είτε αυτοί είναι χώροι εργασίας, είναι χώροι διασκέδασης είτε ακόμη και αυτό τούτο το σπίτι του. Στο ελεύθερο περιβάλλον, στο οποίο κατά το παρελθόν ζούσε και είχε αναπτύξει τις σχέσεις του με τους υπόλοιπους οργανισμούς, μόνο μικρό μέρος όλης της ζωής του βρίσκεται.
2. Σύσταση περιβάλλοντος. Εντός των τεσσάρων πλέον τοίχων το περιβάλλον απέχει κατά πολύ από τις συνθήκες του ελεύθερου περιβάλλοντος. Εάν εξαιρέσουμε τον αέρα κάθε άλλη έννοια περιβαλλοντικών συστατικών έχει μεταβληθεί άρδην. Το έδαφος είναι κατά βάση στερεό και από διαφορετικά υλικά. Δεν υπάρχει χώμα. Επικρατούν τα τεχνικά και συνθετικά συστατικά. Μπετόν, αμμοκονιάματα κάθε είδους, ξύλινα πατώματα, συνθετικά επιστρώματα. Το νερό απαντάται κυρίως ως υγρασία. Ο αέρας ενώ κατά βάση παραμένει της αυτής αερίου σύστασης είναι σχεδόν ακίνητος με αποτέλεσμα να διαφέρει σημαντικά από τον αέρα του ελεύθερου περιβάλλοντος.
3. Συνθήκες περιβάλλοντος. Ο αέρας πλέον σπάνια ανανεώνεται. Σημαντικός αριθμός από νέες τεχνολογικά προερχόμενες ουσίες διαχέονται και συσσωρεύονται σε αυτόν. Η υγρασία του έχει σημαντικά μεταβληθεί. Υπάρχουν περιοχές του εσωτερικού περιβάλλοντος όπου συγκεντρώνεται υγρασία σε υψηλά ποσοστά και συγχρόνως στα σημεία αυτά κατακρατούνται και άλλα υλικά που συμβάλουν στην υποβάθμιση του κλειστού χώρου.
4. Συγκέντρωση οργανισμών. Με δεδομένο ότι οι συνθήκες του περιβάλλοντος σε έναν εσωτερικό χώρο είναι κατά πολύ διαφορετικές από αυτές του φυσικού περιβάλλοντος είναι δεδομένο ότι και οι οργανισμοί που παραβρίσκονται σε αυτό θα είναι όχι μόνο διαφορετικοί σε αριθμό αλλά και σε είδη. Συστατικοί οργανισμοί που στο ελεύθερο περιβάλλον καθόλου ή πολύ σπάνια θα έρχονταν σε επαφή με τον άνθρωπο τώρα πλέον βρίσκονται σε άμεση επαφή με αυτόν.

5. Συγκέντρωση ανθρώπων. Στο ελεύθερο περιβάλλον των αχανών εκτάσεων όσο και μεγάλος να είναι ο πληθυσμός ενός οργανισμού κατανέμεται τυχαία. Σε πολύ λίγες περιπτώσεις είναι δυνατόν να βρεθούν συγκεντρωμένοι πολύ οργανισμοί μαζί ώστε να δημιουργήσουν συνθήκες όχι ευχάριστες. Ακόμη και αν κατανέμουμε το σύνολο του ανθρώπινου πληθυσμού που σήμερα βρίσκεται επί της γης σε όλη την επιφάνειά της θα διαπιστώσουμε ότι ανά μονάδα χώρου αναλογούν λίγοι. Ας έλθουμε τώρα μέσα σε ένα εργασιακό χώρο ή ακόμη και σε ένα χώρο διασκέδασης τότε διαπιστώνουμε ότι η συγκέντρωση των παρευρισκομένων ανά μονάδα χώρου είναι πολλαπλάσια. Αυτή η αύξηση της συγκέντρωσης ανθρώπων ανά μονάδα χώρου συντελεί ώστε οι συνθήκες του εσωτερικού χώρου να μην αποτελούν πλέον ένα ευχάριστο περιβάλλον.

Τι είναι λοιπόν αυτό που καθιστά το εσωτερικό περιβάλλον όχι ευχάριστο; Η απάντηση στο ερώτημα αυτό είναι πολυπαραγοντική. Ένας από τους παράγοντες αυτούς είναι και η συγκέντρωση, σε ποσοστό μεγαλύτερο του φυσιολογικού, οργανισμών που δεν θα έπρεπε να παρευρίσκονται στους χώρους αυτούς. Το γεγονός είναι ότι οι οργανισμοί για τους οποίους θα αναφερθούμε απαντώνται στο ελεύθερο περιβάλλον χωρίς εκεί να είναι πολύ επιζήμιοι για την ασφαλή διαβίωση του ανθρώπου.

Οι οργανισμοί που παρευρισκόμενοι σε εσωτερικούς χώρους καθίστανται επικίνδυνοι για την υγεία του ανθρώπου συνεκδοχικά καλούνται βιολογικοί ρύποι. Στην κατηγορία των οργανισμών αυτών διακρίνουμε διάφορες ομάδες. Μία από τις ομάδες την αποτελούν οι δυνητικά παθογόνοι, οι παθογόνοι και οι αλλεργιογόνοι οργανισμοί. Μία άλλη ομάδα αποτελείται από τους φυτικής και ζωικής προελεύσεως οργανισμούς καθώς και από τους ιούς. Μία άλλη ομάδα διακρίνεται σε μικροοργανισμούς, σε πιο μεγαλύτερους οργανισμούς καθώς και σε μέρη ή υπολείμματα οργανισμών.

A. Στην πρώτη ομάδα οργανισμών βασικά χαρακτηριστικά είναι τα ακόλουθα:

1. Παθογόνοι οργανισμοί. Είναι οργανισμοί που ανεξάρτητα από την συγκέντρωσή τους ανά μονάδα χώρου είναι σε θέση να προκαλέσουν σοβαρές επιπλοκές στην ανθρώπινη υγεία.

2. Δυνητικά παθογόνοι οργανισμοί. Είναι οργανισμοί που κάτω από ορισμένες συνθήκες δυνατόν να προκαλέσουν σοβαρές επιπλοκές στην ανθρώπινη υγεία.
3. Αλλεργιογόνοι οργανισμοί. Είναι οργανισμοί που ενώ δεν είναι παθογόνοι ή δυνητικά παθογόνοι έχουν την ικανότητα να διεγείρουν ψευδώς και απότομα το ανοσοποιητικό σύστημα του ανθρώπου. Αποτέλεσμα αυτής της διέγερσης είναι ο οργανισμός να εκκρίνει διάφορες ουσίες που τελικά εναντιώνονται στον ίδιο τον οργανισμό. Σε αυτές τις περιπτώσεις μιλάμε για αλλεργικές αντιδράσεις. Από τη στιγμή κατά την οποία ένα άτομο ευαισθητοποιηθεί αλλεργικά ως προς κάποιον παράγοντα θα τον αντιμετωπίζει για πάντα ως αλλεργιογόνο. Για κάθε ξεχωριστό άτομο είναι δυνατόν να υπάρξουν περισσότερα του ενός αλλεργιογόνα. Επίσης ένα αλλεργιογόνο δεν σημαίνει ότι αντιμετωπίζεται ως τέτοιο από όλους τους άλλους οργανισμούς. Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι κάτι που εγείρει αλλεργική αντίδραση σε ένα άτομο μπορεί να αποτελεί τελείως αθώο δεδομένο για κάποιο άλλο τρίτο άτομο. Υπάρχει μια γενικότερη αντίληψη σήμερα που αποδέχεται ότι υπάρχουν άτομα δεκτικά και άτομα μη δεκτικά σε αλλεργικές ενεργοποιήσεις. Το γεγονός αυτό υποβόσκει γενετική προδιάθεση. Αν αυτό είναι αληθές ή όχι μέλει να προσδιοριστεί μετά από έρευνες που βρίσκονται σε εξέλιξη εδώ και λίγα χρόνια.

Στη δεύτερη ομάδα οργανισμών βασικά χαρακτηριστικά είναι τα ακόλουθα:

1. Φυτικής προέλευσης οργανισμοί. Στην ομάδα αυτή υπάγονται τόσο φωτοσυνθέτοντες μικροοργανισμοί που κυρίως συγκεντρώνονται σε σημεία που κατακρατούν υγρασία όσο και ανώτεροι φυτικοί οργανισμοί ή και μέρη φυτικών οργανισμών.
2. Ζωικής προέλευσης οργανισμοί. Στην ομάδα αυτή υπάγονται τόσο μικροοργανισμοί όσο και μικροσκοπικού μεγέθους έντομα.
3. Ιοί. Αποτελούν μια ιδιαίτερη κατηγορία παθογόνων που εξελικτικά βρίσκονται μεταξύ ζώσας και μη ζώσας ύλης. Αποτελούν πολύ επικίνδυνες καταστάσεις για κάθε ζωντανό οργανισμό ανεξαρτήτως μεγέθους ή εξελικτικής κατάστασης.

Στην τρίτη ομάδα οργανισμών βασικά χαρακτηριστικά είναι τα ακόλουθα:

1. Μικροοργανισμοί. Υπομικροσκοπικού και μικροσκοπικού μεγέθους οργανισμοί και μη, βλέπε για παράδειγμα οι ιοί. Απαντώνται παντού γύρω μας και είναι ικανοί να προκαλέσουν σοβαρές βλάβες εφόσον βρεθούν στις κατάλληλες συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας. Οι οργανισμοί αυτοί μπορεί να είναι φυτικής ή ζωικής προέλευσης αλλά ακόμη και μύκητες που βρίσκονται μεταξύ φυτικών και ζωικών οργανισμών. Για τους ιούς μόλις πριν από λίγο αναφερθήκαμε.
2. Ευμεγέθεις οργανισμοί. Στην ομάδα αυτή υπάγονται κυρίως μικρού μεγέθους έντομα που τα συναντάμε πάνω είτε σε καλλωπιστικά φυτά είτε στα ενδύματά μας, αλλά και εγκατεστημένα είτε στα διάφορα αφρώδη υλικά των επιπλώσεων, είτε στα επικαλύμματα των επιπλώσεων και των δαπέδων.
3. Μέρη οργανισμών. Στην ομάδα αυτή των βιολογικών ρύπων συγκαταλέγονται τμήματα αυτοτελή ή μη ευμεγεθών οργανισμών. Για παράδειγμα μπορεί να αναφέρουμε τη γύρη των φυτών, τρίχες διαφόρων οργανισμών αλλά και ακόμη απολεπίσεις φυτικής ή και ζωικής προέλευσης οργανισμών.

Στο σημείο αυτό θα μπορούσα να παρέμβω και να επιστήσω την προσοχή σας σε μια άλλη κατηγορία οργανισμών που κάποιος θα μπορούσε να την συμπεριλάβει στους βιολογικούς ρύπους των εσωτερικών χώρων. Οι οργανισμοί αυτοί δεν έχουν εξελιχθεί στη φύση για να εποίκισουν, αν μπορούμε να αναφέρουμε αυτόν τον όρο, τους εσωτερικούς χώρους που εμείς οι άνθρωποι δημιουργούμε για τη δική μας διευκόλυνση. Οι οργανισμοί αυτοί είναι τόσο τα καλλωπιστικά μας φυτά όσο και τα κατοικίδια ζώα που πολλοί από εμάς με το πρόσχημα της συντροφικότητας τα φέρουμε στους χώρους διαμονής, εργασίας ή ακόμη και διασκέδασης. Οι οργανισμοί αυτοί αποτελούν πηγές σημαντικής βιολογικής ρύπανσης των χώρων αυτών.

Θα πρέπει να γίνει σαφές ότι σε όλες τις ομάδες που προαναφέραμε μπορούμε να συναντήσουμε οργανισμούς ή και μέρη οργανισμών ανεξαρτήτως μεγέθους ή εξελικτικής προέλευσης.

Τα σημαντικότερα ερωτήματα που τίθενται πλέον είναι:

- I) Κάτω από πιες συνθήκες οι οργανισμοί αυτοί που αποκαλούνται βιολογικοί ρύποι παρευρίσκονται στους εσωτερικούς χώρους;
- II) Πως είναι δυνατόν να αποφύγουμε τη συγκέντρωσή τους στους χώρους αυτούς;
- III) Τι επιπτώσεις μπορεί να έχουν στον άνθρωπο;

Στο πρώτο ερώτημα από αυτά που μόλις παρουσιάστηκαν η απάντηση δεν είναι απλή. Βιολογικοί ρύποι μπορεί να παρευρεθούν σε ένα εσωτερικό χώρο κάτω από μια σειρά διαδικασιών.

- Πρώτα απ' όλα η συγκέντρωση πολλών ατόμων σε ένα κλειστό χώρο από μόνη της αποτελεί παράγοντα φόρτισης του χώρο με κάθε λογής βιολογικούς ρύπους. Ρύποι που προέρχονται από την αναπνοή μας, από τα ρούχα που φοράμε, από τα υλικά με τα οποία εργαζόμαστε και άλλοι.
- Στη συνέχεια ένας άλλος παράγοντας είναι ο κακός αερισμός του κλειστού χώρου που μπορεί να αποτελέσει παράγοντα τόσο συσσώρευσης αερίων και βιολογικών ρύπων όσο και υγρασίας που συντείνει στην επιβάρυνση του χώρου με βιολογικούς ρύπους.
- Επίσης ένας άλλος παράγοντας είναι η αυξημένη υγρασία ενός εσωτερικού χώρου που μπορεί να προκύψει από διάφορους λόγους.
- Ένας τέταρτος παράγοντας είναι η ύπαρξη στον χώρο τροφίμων κάτω από όχι ελεγχόμενες συνθήκες καθώς και καλλωπιστικών φυτών ή κατοικίδιων ζώων.
- Ένας ακόμη παράγοντας που συντελεί στην επιβάρυνση του χώρου με βιολογικής προέλευσης ρύπους είναι και η κακή περιποίηση του χώρου από πλευράς καθαριότητας.
- Σαφώς και αυτές οι διαδικασίες δεν είναι οι μόνες. Πολλές άλλες είναι δυνατόν να αναφερθούν αλλά θα χρειαζόταν αρκετός χρόνος για να αναλύσουμε κάθε μια από αυτές.

Στο δεύτερο ερώτημα η απάντηση είναι πιο εύκολη. Λίγες διαδικασίες είναι αρκετές για να βελτιώσουν την ποιότητα του εσωτερικού χώρου σε σχέση με τους ρύπους βιολογικής προέλευσης. Οι διαδικασίες αυτές διακρίνονται σε κατασκευαστικές και λειτουργικές.

Οι κατασκευαστικές διαδικασίες διακρίνονται στις προβλεπτικές και στις επισκευαστικές. Οι προβλεπτικές είναι διαδικασίες που δεν απαιτούν ιδιαίτερο χρόνο και χρήμα, ενώ οι επισκευαστικές απαιτούν την μηχανική παρέμβαση, μερικές φορές είναι χρονοβόρες, αλλά πολλές φορές έχουν και υψηλό κόστος παρέμβασης. Στις κατασκευαστικές βασικό στοιχείο είναι η πρόβλεψη από μέρους των κατασκευαστών ώστε το κτίριο να έχει το σωστό προσανατολισμό, τα κατάλληλα ανοίγματα για εύκολο αερισμό, καλά κατασκευαστικά υλικά και προσεχτικά μελετημένη κατασκευή ώστε να αποφεύγονται διαρροές νερού ή και συγκέντρωση υγρασίας καθώς και σωστά μελετημένη τοποθέτηση του κτιρίου στον περιβάλλοντα χώρο.

Οι λειτουργικές διαδικασίες αποσκοπούν στη μείωση του φόρτου των βιολογικών ρύπων, αλλά συγχρόνως συμβάλουν και στη βελτίωση της όλης ποιότητας του αέρα στους εσωτερικούς χώρους έναντι και άλλων ειδών ρύπων. Οι διαδικασίες αυτές δεν είναι τίποτε άλλο από τον τακτικό και καλό αερισμό, τη σχολαστική καθαριότητα καθώς και τη ρύθμιση της εσωτερικής θερμοκρασίας και υγρασίας για να μην δημιουργούνται καλές συνθήκες ανάπτυξης διαφόρων μικροοργανισμών ή και την παροχή πρόσφορου εδάφους για την εγκατάσταση διαφόρων άλλων ρύπων βιολογικής προέλευσης.

Ερχόμαστε πλέον να αντιμετωπίσουμε το τρίτο ερώτημα που τέθηκε ενωρίτερα, δηλαδή τι είδους επιπτώσεις μπορεί να έχουν οι βιολογικοί ρύποι γενικότερα στους ανθρώπους που παραβρίσκονται σε τέτοιου είδους περιβάλλοντα για μεγάλα χρονικά διαστήματα.

Οι επιπτώσεις είναι πολυποίκιλες. Πρώτα απ' όλα υπάρχουν επιπτώσεις στην υγεία των παρευρισκομένων μέσα στο κτίριο, στη συνέχεια υπάρχουν σημαντικές επιπτώσεις για τα οικονομικά στοιχεία των υπευθύνων που κατέχουν ένα βεβαρημένο με βιολογικούς ρύπους κτίριο και τέλος υπάρχουν επιπτώσεις και σε αυτούς που εκμεταλλεύονται το κτίριο.

Οι επιπτώσεις σε αυτούς που κατέχουν το κτίριο λογικό είναι ότι εστιάζονται μόνο στο παρεμβατικό κόστος για την επισκευή του κτιρίου εφόσον απαιτείται να γίνει.

Οι επιπτώσεις σε αυτούς που εκμεταλλεύονται το κτίριο είναι κατά βάση οικονομικές προερχόμενες από δύο ενέργειες. Η πρώτη έχει να κάνει με

παρεμβατικές διαδικασίες για τη βελτίωση των συνθηκών του κτιρίου. Η δεύτερη έχει να κάνει με την απώλεια των εργατωρών από το χρόνο εργασίας των εργαζομένων στο κτίριο.

Οι πλέον σημαντικές όμως επιπτώσεις έχουν να κάνουν με την υγεία των παρευρισκομένων στο κτίριο είτε για μικρότερα είτε για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα. Τέτοιου είδους επιπτώσεις μπορεί να είναι από απλής μορφής μικροβιολογικής προέλευσης λοιμώξεις ή και απλές αλλεργικές καταστάσεις, μέχρι πολύ επικίνδυνες ιογενείς ασθένειες ή καρκινογενέσεις έως και αυτόν τούτο τον θάνατο.

Από τους πλέον επικίνδυνους βιολογικούς ρύπους είναι οι διάφοροι ιοί που προκαλούν διάφορες μολυσματικές ασθένειες ή ακόμη και καρκινικές εξεργασίες αλλά και διάφοροι αλλεργιογόνοι ρύποι που μπορούν να προκαλέσουν πολύ έντονες αλλεργικές αντιδράσεις από τις οποίες μερικές φορές μπορεί και να επέλθει θάνατος. Οι πλέον συνήθεις επιπτώσεις είναι διάφορες μικροβιακές μολύνσεις και απλές αλλεργικές αντιδράσεις με τις γνωστές σε όλους μας συνέπειες. Λίγο ή πολύ καθένας από εμάς διάφορες εποχές έχουμε αντιμετωπίσει τέτοιες απλές καταστάσεις τις οποίες αντιμετωπίσαμε με απλές ιατρικές παρεμβάσεις. Ορισμένες όμως φορές και ανάλογα με τις διαφορετικές μολύνσεις που υπέστημεν απαιτήθηκε και πλέον εξειδικευμένη ιατρική και φαρμακευτική παρέμβαση.

Με δεδομένο πλέον το γεγονός ότι η επιβάρυνση των διαφόρων κτιρίων με σημαντικό ποσοστό και είδος βιολογικών ρύπων η παρέμβασή μας για τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα στο εσωτερικό των κτιρίων είναι επιβεβλημένη. Η πλέον απλή και εύκολη παρέμβαση που ενέχει και το μικρότερο οικονομικό κόστος είναι φροντίδα για την καλύτερη κατά το δυνατόν καθαριότητα του χώρου, η φροντίδα για την όσο το δυνατόν αποφυγή συσσώρευσης υγρασίας και ο τακτικός και σχολαστικός αερισμός του κτιρίου. Για όλες αυτές τις απλές παρεμβάσεις μπορούμε να φροντίσουμε από μόνοι μας και μάλιστα με σχετικά μικρό κόστος σε σχέση με την οικονομική επιβάρυνση που συνεπάγεται από την μη παρέμβαση αυτού του είδους.

**Εισαγωγή στην ορθή συντήρηση εγκαταστάσεων θέρμανσης και ψύξης, στην
εξοικονομηση ενέργειας και στην μείωση των ρυπών του φαινομένου του
θερμοκηπιού**

Ι. Πιτσιλός, διπλ. Χημικός Μηχανικός, μέλος Τ.Ε.Ε

Το φαινόμενο του θερμοκηπιού και η δραματική επιβαρυνση του περιβάλλοντος λόγω των των συνεχώς υψηλότερων απαιτησεων σε ενεργεια, θέρμανση και ψύξη είναι συνεχώς στο προσκήνιο διεθνώς σήμερα.

Οι εναλλακτικές μορφές ενέργειας όπως η αιολική, η ηλιακή και η γεωθερμική ενέργεια συνεχώς κερδίζουν έδαφος..

Ακόμα και οι συμβατικοί λεβητες με συνεχείς τροποποιήσεις και βελτιώσεις γίνεται προσπάθεια να λειτουργούν με ηπιότερα καύσιμα όπως το φυσικό αέριο αντικαθιστώντας τα στερεά και υγρά καύσιμα και με μεγαλύτερη απόδοση με στόχο την μικρότερη δυνατή εκπομπή αερίων ρυπών, τύπου διοξειδίου του άνθρακος.

Οι εγκαταστάσεις θέρμανσης και ψύξης και οι εναλλακτικές θερμοτήτας είναι μονάδες κατανάλωσης ενέργειας είτε άμεσα με την καύση καυσίμων είτε έμμεσα με την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία με την σειρά της κυρίως ακόμη και σήμερα προέρχεται από την καύση καυσίμων στους μεγάλους σταθμούς παραγωγής ενέργειας.

Οι λεβητες και οι εκπεμπομενοι ρυποι.



Σε ολο τον κοσμο οι λεβητες που υπαρχουν ειτε για παραγωγη ηλεκτρικης ενεργειας ειτε για παραγωγη ατμου ειτε για θερμανση αποτελουν το μεγαλυτερο ποσοστο (ανω του 80%) στην καταναλωση ενεργειας, στην ρυπανση της ατμοσφαιρας και στην επιδεινωση του κλιματος.

Ενα σημαντικοτατο ποσοστο της ενεργειας και των ρυπων προερχεται απο τα κτιρια των πολεων και τις μικρες επιχειρησεις.

Οι λεβητες παρουσιαζονται με διαφορες μορφες και μεγεθη, αλλα ολοι εχουν ενα σκοπο, να παραγουν θερμοτητα στην μορφη ειτε ατμου, ειτε θερμου νερου θερμανσης κτιριων, βιμηχανικων κατεργαιων και παραγωγη ηλεκτρικης ενεργειας.. Σημερα ομως με την συνεχη αυξηση της τιμης των καυσιμων και του αγωνιας δια την καταστροφη του περιβαλλοντος και την επιβαρυνση του κλιματος, ο μοναδικος στοχος ειναι καθε θερμιδα που καταναλωνεται να προκαλει την μικροτερη δυνατη εκπομη ρυπων θερμοκηπιου.

Η πλειονότητα των υπαρχοντων λεβητων ειναι συμβατικου τυπου. Ειναι προδιαγεγραμμενοι να λειτουργουν με αποδοση 75-85%. Αυτο σημαινει οτι σε καθε μοναδα καυσιμου μονο το 75-85% μετατρεπεται σε θερμιδες ενω το υπολοιπο μεταφερεται και επιβαρυνει την ατμοσφαιρα με τα παραγομενα καυσαερια.

Οι επιστημονες και οι μηχανικοι ασχολουνται με την αντικατασταση των συμβατικων λεβητων με λεβητες αποδοσης κατα το δυνατον 100% και με λειτουργια αυτων σε αποδοση 100% που επιτυγχανεται μονο με συνεχη προληπτικη συντηρηση και με μηδαμινες απωλειες ενεργειας..

Παρακατω θα παρατεθουν μερικα παραδειγματα κακης συντηρησης, που εχουν σκοπο να αποδειξουν οτι παντα υπαρχουν δυνατοτητες βελτιωσης καλυτερης συντηρησης και δυνατοτητες να μην κατασπαταλαται ουτε μια θερμιδα ενεργειας.

Παραδείγματα κακης συντηρησης

Καθε αμελεια στην συντηρηση των λεβητων με τα κατωτερω παραδειγματα αποδεικνυεται οτι στοιχιζει δραματικα και στον προυπολογισμο και στην επιβαρυνση της ατμοσφαιρας και στον καθενα πολιτη ξεχωριστα και στο κρατος και η κοινωνια συνολικα θα υποστει τις συνεπειες και τις ποινες των διεθνων υποχρεώσεων βασει του πρωτοκολου KYOTO.

(1) Το πρόβλημα του λεβητολιθου και αιθαλης στους λεβητες, η απωλεια ενεργειας, η αυξηση του κοστους καυσιμου και η αυξηση των εκπομπων διοξειδιου του ανθρακα στην ατμοσφαιρα.

(FOULING OF HEAT TRANSFER SURFACES)



0.5 mm (1/64 inches)	παχος λεβητολιθου δημιουργει απωλεια εως και 4%
1.0 mm (1/32 inches)	παχος λεβητολιθου δημιουργει απωλεια7%
2.0 mm (1/16 inches)	παχος λεβητολιθου δημιουργει απωλεια11%
3.65 mm (1/8 inches)	παχος λεβητολιθου δημιουργει απωλεια18%
6.25 mm (1/4 inches)	παχος λεβητολιθου δημιουργει απωλεια38%
12.7 mm (1/2 inches)	παχος λεβητολιθου δημιουργει απωλεια60%
19.5 mm (3/4 inches)	παχος λεβητολιθου δημιουργει απωλεια80%

Ενας κοινος λεβητας μεγαλου κτιριου σε νορμαλ κατασταση καιει ετησιως (8 μηνες) 100.000 λιτρα πετρελαιου και εκπεμπει 300.000 κιλα CO₂ ετησιως., Ο ιδιος λεβητας εαν εχει παχος λεβητολιθου και αιθαλης 0.5 χιλιοστα (1/64 inches) εχει απωλλειες 4% και υποχρεουται να καιει επιπλεον 4000 λιτρα πετρελαιου που στοιχιζουν επιπλεον 2000.EURO και εκπεμπουν στη ατμοσφαιρα επιπλεον 12.000 κιλα CO₂ .

Ο ιδιος λεβητας εαν εχει παχος λεβητολιθου και αιθαλης 3.65 χιλιοστα (1/8 inches), πραγμα πολυ συνηθισμενο στην Ελλαδα, εχει απωλλειες 18% και υποχρεουται να καιει επιπλεον 18000 λιτρα πετρελαιου που στοιχιζουν επιπλεον 9000.EURO και εκπεμπουν στη ατμοσφαιρα επιπλεον 54.000 κιλα CO₂ ετησιως.

Ας φανταστούμε ενα παχος αποθεσεων 12.7 mm (1/2 inches)- 19.5 mm (3/4 inches) και την δραματικη επιβαρυνση σε κοστος καυσιμου και της ατμοσφαιρας σε ρυπους κατα 60-80% περαν των κανονικων αριθμων..

Η λυση του προβληματος των αποθεσεων λεβητολιθου και αιθαλης επιτυγχανεται με ορθη προληπτικη συντηρηση, με χρηση αποσκληρημενου νερου, με σωστο προγραμμα

χημικής επεξεργασίας του υδατος και με μεθόδους χημικού ή μηχανικού καθαρισμού των λεβητών.

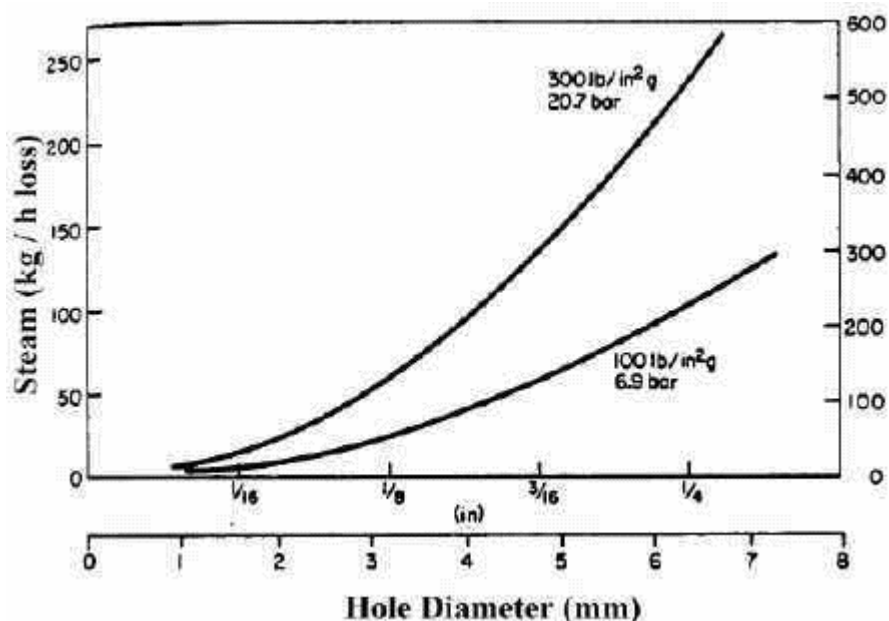
(2) Το πρόβλημα της κακής μονώσης.(DISTRIBUTION LINES)

1 μέτρο σωληνώσης 10 ιντσών χωρίς μονώση, η οποία μεταφέρει ατμό υπό πίεση υποχρεώνει ένα λεβητά να καύσει επιπλέον 3000 λίτρων πετρελαίου τον χρόνο και αποδίδει επιπλέον 9000 κιλών διοξειδίου τον χρόνο.

Από την εμπειρία του συντακτή της εισαγωγής αυτής και σίγουρα των περισσότερων μηχανικών είναι γνωστό το φαινόμενο της ελλείψης ή κατεστραμμένης μονώσης σωληνώσεων ατμού ή θερμού υδατος, λεβητών, εναλλακτών θερμοτήτας. Τεραστικές ποσότητες ενέργειας σπαταλώνται που επιβαρύνουν τον προϋπολογισμό επιχειρήσεων, κτιρίων, εργοστασίων. Όμως εξίσου τεραστικές ποσότητες καυσίμου απαιτούνται για να συμπληρώσουν τις ανωτέρω απολλείες και ακόμη ολό και περισσότεροι ρυποί θερμοκηπίου επιβαρύνουν την ατμόσφαιρα.

(3) Το πρόβλημα των διαρροών ατμού (steam leaks).

Επίσης είναι γνωστό το φαινόμενο των μικρών διαρροών ατμού από φθαρμένες σωληνώσεις, φλαντζές, επιστομια, κλπ. Αθροίζομενες αυτές οι μικροδιαρροές συνιστούν εκ νέου τεραστικά σπατάλη ενέργειας, μεγαλύτερη καταναλώση καυσίμων και μεγαλύτερη εκπομπή ρυπών.



(4) Το πρόβλημα των κακής συντήρησης των καυστήρων.

(Combustion efficiency)

Στην χώρα μας αρκούμεστε μόνο στην φιλοτιμη προσπάθεια των τεχνιτών καυστήρων οι οποίοι καλούνται μια φορά τον χρόνο να ελεγχουν και να ρυθμίσουν τους καυστήρες.

Αρκει όμως αυτό? Τι γίνεται ολοκληρω το υπολοιπο ετος? Γινεται καταγραφη των αεριων, καταγραφη του εκπεμπομενου οξυγονου? Γινεται καταγραφη της θερμοκρασιας των καυσαεριων? Και ομως η αξιοποιηση ολων αυτων των δεδομενων αποδεικνυει την κατασταση της καυσης, την κατασταση των λεβητων, την αποδοση και την ποιουτητα και την ποσοτητα των εξερχομενων αεριων σε συγκριση με τις προδιαγραφες του λεβητα. Τα δεδομενα αυτα μπορουν να αποτελεσουν την ακριβη διαγνωση του λεβητα και να υποδειξουν ποιες επεμβασεις και βελτιωσεις πρεπει να γινουν.

Ολοκληρωνοντας την συντομη αυτη εισαγωγη τονιζουμε οτι παρομοια αναπτυξη μπορει να γινει για τις μοναδες ψθκης των κτιριων και των μικρων επιχειρησεων, τους πυργους ψυξεως, τους εναλλακτες θερμοτητας, τις μοναδες κλιματισμου, τους αεροσυμπιεστες.

Με σωδο προγραμμα προληπτικης συντηρησης τεραστιες ποσοτητες ενεργειας μπορουν να εξοικονομηθουν και σημαντικοτατη μειωση των εκπεμπομενων ρυπων μπορει να επιτευχθει.

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ

Κωνσταντίνος Ιωαννίδης, Διπλ. Μηχ., MSc
Αχ. Παράσχου 32, 11473 Αθήνα, Τηλ. 210 6427678

Είναι πλέον ευρέως γνωστά τα συμπτώματα δυσφορίας και τα παράπονα που εκφράζονται από εργαζόμενους σε σχετικά νεόδμητα κτίρια γραφείων με κεντρικές κλιματιστικές μονάδες, όπου δεν ανοίγουν παράθυρα και δεν υπάρχει δυνατότητα ιδιαίτερης ρύθμισης των παραμέτρων κλιματισμού σε κάθε γραφείο ή χώρο εργασίας (sick building syndrome). Θερμική δυσφορία, ερεθισμένα μάτια και βλενογόνοι, αίσθημα κούρασης και υπνηλίας είναι μερικά από τα συμπτώματα που μειώνουν την ευεξία και την απόδοση των εργαζομένων. Οι αιτίες μεταξύ άλλων είναι:

- η συσσώρευση διοξειδίου του άνθρακα από τις ανθρώπινες εκπνοές σε επίπεδα άνω των 600-1.000 ppm (μέρη ανά εκατομμύριο) σε αντίθεση με την συγκέντρωση περίπου 350 ppm στο περιβάλλον. Συνήθως προκύπτει λόγω λανθασμένης ρύθμισης της ανακυκλοφορίας.
- η συσσώρευση τοξικών ουσιών (μονοξειδίου του άνθρακα, μικρομετρικά σωματίδια, όζον, φορμαλδεΰδη) από πηγές όπως καπνιστές, συσκευές γραφείου, έπιπλα. Προκύπτει από την λάθος ρύθμιση της ανακυκλοφορίας, διαρροές στο δίκτυο ή την κακή συντήρηση των φίλτρων με συνέπεια να εισέρχονται ρυπαντές από το εξωτερικό περιβάλλον.
- η αυξημένη θερμοκρασία ή/και χαμηλή σχετική υγρασία λόγω ανεπαρκούς ρύθμισης των κεντρικών κλιματιστικών μονάδων και των παροχών στους επιμέρους αεραγωγούς και τα στόμια εισόδου/εξόδου αέρα ή λόγω παράλειψης / κακής λειτουργίας βαθμίδας ύγρανσης του ψυχρού και ξηρού φρέσκου αέρα.

Αν η μελέτη και η κατασκευή του συστήματος κλιματισμού (κεντρική μονάδα, αεραγωγοί, στόμια) είναι επιτυχής, μία σαφής βελτίωση των συνθηκών άνεσης μπορεί εύκολα να επιτευχθεί με τις κατάλληλες ρυθμίσεις. Η υδραυλική αντιστάθμιση των επιμέρους παροχών των κλάδων και των στομιών, ώστε να επιτευχθεί σε κάθε στόμιο η πτώση πίεσης και παροχή σχεδιασμού, η ρύθμιση του τρόπου λειτουργίας της κεντρικής μονάδας (ύγρανση/αφύγρανση, ψύξη-θέρμανση, ανακυκλοφορία) και των ανεξάρτητων κλάδων, απαιτούν επιμέλεια και τεχνική επάρκεια. Για να προσδιορισθεί το πρόβλημα και να αναζητηθεί η λύση, το πρώτο βήμα σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να είναι η μέτρηση των παραγόντων θερμικής άνεσης και στην συνέχεια ο έλεγχος για ενδεχόμενη παρουσία τοξικών/επιβλαβών ουσιών.

Οι συσκευές που υποστηρίζουν όλες τις σχετικές μετρήσεις είναι πλέον φορητές, ιδιαίτερα εύχρηστες και σχετικά χαμηλού κόστους. Εφόσον χρησιμοποιούνται σωστά, αποτελούν ένα απαραίτητο εργαλείο για τον έλεγχο και την ρύθμιση των συστημάτων κλιματισμού.

Ένα βασικό πρόγραμμα μετρήσεων περιλαμβάνει με σειρά προτεραιότητας:

1. Μέτρηση θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας σε κάθε κλιματιζόμενο χώρο και σύγκριση με τα όρια θερμικής άνεσης που παρατίθενται σε όλα τα εγχειρίδια κλιματισμού και ισχύουν για διαφορετικά είδη εργασίας και ρουχισμού. Πρακτικά τα όρια είναι περίπου:

Χειμώνας :	Θερμοκρασία 20-24°C	Σχετική υγρασία 35 – 65%
Καλοκαίρι :	Θερμοκρασία 23-26°C	Σχετική υγρασία 25 – 55%

Εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθούν εμπειρικοί τύποι θερμικής άνεσης [1], π.χ.:

$$Y = 0.243 t + 0.278 p - 6.802,$$

όπου t η θερμοκρασία [$^{\circ}\text{C}$], p η πίεση υδρατμών [kPa]

Ο συντελεστής Y πρέπει να τείνει στο 0.

Για μεγαλύτερη ακρίβεια οι επίσης εμπειρικοί δείκτες PMV, ISO 7730 (Predicted Mean Vote – 3...0...+3), PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied 0 – 100%), που εξαρτώνται από:

- Ανθρώπινες παραμέτρους: Δραστηριότητα και ένδυση
- Μετρούμενες παραμέτρους: Θερμοκρασία αέρα, υγρασία, ταχύτητα αέρα, θερμική ακτινοβολία

Οι βασικές μετρήσεις σε εσωτερικούς χώρους (θερμοκρασία – υγρασία) γίνονται γρήγορα και απλά με ένα υγρασιοθερμόμετρο με βραχύ χρόνο απόκρισης. Επισημαίνεται ότι ακόμη και μικρές αποκλίσεις από τα συνιστώμενα όρια προκαλεί δυσφορία σε μεγάλο ποσοστό ανθρώπων.



Μέτρηση παροχής στομιού

κλιματιζόμενους χώρους.

2. Μέτρηση ενδεχόμενων, δυσάρεστων ρευμάτων αέρα στους χώρους εργασίας και μέτρηση της παροχής σε κανάλια κλιματισμού, ώστε να διαπιστωθεί αν αυτή επαρκεί για τον κλιματισμό/ αερισμό. Ρεύματα αέρα της τάξης των 0,2 - 0,4 m/s στον χώρο εργασίας γραφείου μπορούν να προκαλέσουν δυσαρέσκεια. Και οι δύο μετρήσεις μπορούν να γίνουν εύκολα με ένα θερμικό ανεμόμετρο, που διαθέτει ιδιαίτερα ακριβές αισθητήριο μικρών διαστάσεων. Το θερμικό ανεμόμετρο μετρά την θερμοκρασία περιβάλλοντος και την θερμοκρασία μίας θερμαινόμενης αντίστασης που είναι εκτεθειμένη στην ροή του αέρα και αντιστοιχεί τις μετρήσεις σε μία ταχύτητα αέρα. Λόγω αρχής μέτρησης έχει πολύ καλή απόκριση και σε χαμηλές ταχύτητες αέρα 0 - 1 m/s που απαντώνται σε

3. Μέτρηση του διοξειδίου του άνθρακα στους χώρους εργασίας και στον αέρα προσαγωγής. Για την μέτρηση αυτή χρησιμοποιούνται φορητά ψηφιακά όργανα, άμεσης ένδειξης, που βασίζονται στην απορρόφηση υπέρυθρης ακτίνας και έχουν πλέον πολύ χαμηλό κόστος. Το συνιστώμενο ανώτατο όριο για εσωτερικούς χώρους γραφείων κυμαίνεται μεταξύ 600 και 1.000 ppm (με περίπου 360 ppm στην ατμόσφαιρα).

4. Μέτρηση της παροχής των στομιών εξαερισμού/ κλιματισμού, ένα προς ένα, για να διαπιστωθεί αν προσάγουν/απάγουν την προβλεπόμενη ποσότητα αέρα κλιματισμού. Η μέτρηση μπορεί να γίνει απόλυτα αξιόπιστα με ειδικές φορητές συσκευές (μπαλόμετρα) που προσαρμόζονται εύκολα στα στόμια και μετρούν άμεσα και αξιόπιστα την παροχή, χωρίς να προκαλούν επιπλέον αντίθλιψη.



Μέτρηση t , RH, CO₂ σε στόμιο προσαγωγής

5. Μέτρηση συγκέντρωσης τοξικών αερίων όπως το μονοξείδιο του άνθρακα, οι αλδεύδες και άλλες πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs). Για την μέτρηση αυτών των παραμέτρων, χωρίς υπερβολικό κόστος, χρησιμοποιούνται παθητικοί δειγματολήπτες που τοποθετούνται για μερικές ώρες στους χώρους και αλλάζουν χρώμα ανάλογα με την συγκέντρωση της προς μέτρηση ουσίας (όπως π.χ. το πεχαμετρικό χαρτί στα υγρά).
6. Μέτρηση συγκέντρωσης σωματιδίων που πιθανόν εκπέμπονται από καπνιστές, φωτοαντιγραφικά, διαρροές από καμινάδες και άλλες πηγές, με ψηφιακές συσκευές άμεσης ένδειξης, σχετικά υψηλού κόστους. Πολλές φορές τα φορτία πολύ μικρών σωματιδίων (διαμέτρου < 1 μm), μπορούν να προκαλέσουν ιδιαίτερες ενοχλήσεις σε βλεννογόνους και στα μάτια.
7. Μέτρηση βιοαεροζόλ (μικρόβια, μύκητες, βακτηρίδια) με ενεργητικούς δειγματολήπτες. Καλλιέργεια, ταυτοποίηση και καταμέτρηση στο εργαστήριο
8. Μέτρηση εξειδικευμένων παραμέτρων θερμικής άνεσης (ασύμμετρη ακτινοβολία, θερμικές απώλειες, θερμοκρασία επιφανειών) με ειδικό επιστημονικό εξοπλισμό.

Επιπρόσθετα μπορούν να μετρηθούν τα επίπεδα φωτισμού (με ένα απλό φωτόμετρο) και ηλεκτρομαγνητικών ακτινοβολιών από μετασχηματιστές, ηλεκτρικές συσκευές κ.λπ. (με απλές φορητές συσκευές που λειτουργούν σε διάφορες συχνότητες), ραδονίου και ραδιενέργειας (κυρίως σε υπόγειους χώρους) καθώς και η στάθμη θορύβου, παράγοντες που επίσης επηρεάζουν την ευεξία και την υγεία των εργαζομένων.

Για όλες τις παραπάνω παραμέτρους υπάρχουν συνιστώμενα όρια, μέσα στα οποία εξασφαλίζεται η αίσθηση άνεσης και η προστασία της υγείας των εργαζομένων σε χώρους εργασίας - γραφεία.

Παράμετρος	Συνιστώμενη οριακή τιμή	Παράμετρος	Συνιστώμενη οριακή τιμή
CO ₂	< 1.000 ppm	Όζον	0,08 ppm
CO	9 ppm	Ίνες αμιάντου	0,1 ίνες ανά cm ³ < 0,000004 / cm ³ (EPA cancer risk)
Φορμαλδεΐδη	0,1-0,4 ppm	Φωτισμός	>500 lux για εργασία γραφείου και ανάλογα με την θέση
VOCs	1-10 ppm	Σωματίδια	50 μg/m ³
Προσαγωγή φρέσκου αέρα	25-100 m ³ /h/person	Θόρυβος	45 dB(A)

ΠΙΝΑΚΑΣ 1 : Συνιστώμενες τιμές για διάφορους χημικούς και φυσικούς παράγοντες σε χώρους γραφείων και κατοικίας.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων θα βοηθήσουν τον εξειδικευμένο τεχνικό να προσδιορίσει επακριβώς το πρόβλημα και να δώσει την λύση. Η βελτίωση θα τεκμηριωθεί με ένα δεύτερο σετ των ίδιων μετρήσεων μετά την τεχνική λύση.

Κων/νος Ιωαννίδης
kioannidis@enco.gr

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers Inc. (1989)
“ASHRAE HANDBOOK”

Ο Κώστας Ιωαννίδης είναι Διπλωματούχος Μηχανολόγος Μηχανικός, MSc Έλεγχος Ρύπανσης. Από το 1991 είναι εταίρος και τεχνικός διευθυντής της ENCO ΕΠΕ (ISO 9001 certified), η οποία δραστηριοποιείται στην Ελλάδα και το εξωτερικό στον τομέα των μετρήσεων ρύπανσης, ακτινοβολιών, ποιότητας εσωτερικών χώρων, θορύβου κ.λπ.

Ο Κ. Ιωαννίδης έχει σχεδιάσει, επιβλέψει/κατασκευάσει και θέσει σε λειτουργία δεκάδες εγκαταστάσεις αντιρρύπανσης και σύνθετες μετρητικές διατάξεις αέριων εκπομπών. Έχει επίσης συμμετάσχει σε σχετικά επενδυτικά/βιομηχανικά προγράμματα ως μελετητής και αξιολογητής, έχει αρθρογραφήσει και διδάξει σε τεχνικά σεμινάρια.

**ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ ΚΑΙ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ
ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΥΠΑΡΧΟΝΤΩΝ ΣΧΟΛΙΚΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ
ΛΕΚΑΝΟΠΕΔΙΟΥ ΑΤΤΙΚΗΣ**

Παναγιώτα Μιχαλακάκου
Τμήμα Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων, Πανεπιστήμιο
Ιωαννίνων, Γ. Σεφέρη 2, 30100 Αγρίνιο.

Σύντομη Περιγραφή των 10 Σχολικών Κτιρίων

Οι ερευνητικές μελέτες πραγματοποιήθηκαν για τα ακόλουθα 10 υπάρχοντα σχολικά κτίρια στους δήμους Αθηναίων, Περιστερίου, Καλλιθέας και Πειραιά:

- ✚ 13^ο Δημοτικό Σχολείο : βρίσκεται επί των οδών Στίλπωνος και Μουσούρου στο κέντρο της Αθήνας
- ✚ 16^ο γυμνάσιο και λύκειο ; βρίσκεται μεταξύ των οδών Πανόρμου, Λαρίσης, Καρύστου και Μαιανδρουπόλεως, στην περιοχή Αμπελοκήπων.
- ✚ 20^ο γυμνάσιο : βρίσκεται μεταξύ των οδών Ζυμπρακάκη, Ζερβουδάκη και Τερτίπη στον Δήμο Αθηναίων.
- ✚ 64^ο δημοτικό : βρίσκεται στην οδό Μεγάλου Αλεξάνδρου 63 στην περιοχή του Μεταξουργείου του Δήμου Αθηναίων.
- ✚ 59^ο γυμνάσιο : βρίσκεται στην οδό Σεκούνδου 10 στην περιοχή άνω Πατήσια του Δήμου Αθηναίων.
- ✚ 71^ο δημοτικό : βρίσκεται μεταξύ των οδών Κολοκοτρώνη, Ματρόζου, και Καλλιρόης του Δήμου Αθηναίων.
- ✚ 99^ο δημοτικό : βρίσκεται στην οδό Υγείας 11^Α στην περιοχή κάτω Πατήσια.
- ✚ 15^ο δημοτικό : βρίσκεται επί των οδών Σωκράτους και Σπάρτης στην περιοχή Καλλιθέας.
- ✚ 11^ο δημοτικό : βρίσκεται επί της οδού Θεσσαλονίκης στον Δήμο Πειραιώς.
- ✚ 4^ο γυμνάσιο Περιστερίου : βρίσκεται στο οικοδομικό τετράγωνο μεταξύ των οδών Ικαρίας, Νυμφασίας, Κλειτόρος και Διαδόχου Παύλου στην περιοχή Περιστερίου.

Στον Πίνακα 1 φαίνεται μία συνοπτική περιγραφή των 10 σχολείων που μελετήθηκαν.

Δήμος	A/A	Σχολείο	Διεύθυνση	Αριθμός λειτουργικών αιθουσών	Χρονολογία κατασκευής	Αρ. μαθητών	Ωράριο λειτουργίας
Αθήνας	1	71° Δημ. Αθήνας	Γ. Κολοκοτρώνη 25-27	20	1980	100	08.00-20.00
	2	13° Δημ. Αθήνας	Στίλπωνος 38	11	1981	215	08.00-16.00
	3	64ο Δημ. Αθήνας	Μ. Αλεξάνδρου 63	7	1980		08.00-20.00
	4	20° Γυμν. Αθήνας	Ζουμπρακάκη 46-48	12	1980	260	08.00-22.00
	5	59° Γυμν. Αθήνας	Σεκούδου 10	12	1989	297	08.00-14.00
	6	16° Γυμν. Αθήνας	Λαρίσης 47-Πανόρμου	13	1980	210	08.00-17.30
	7	99° Δημ. Αθήνας	Υγείας 11Α	11	1979	218	08.00-19.00
Καλλιθέα	8	15° Δημ. Καλλιθέας	Σπάρτης 19-27	7	1985	280	08.00-16.00
Περιστερίου	9	4° Γυμν. Περιστερίου	Απ. Παύλου 47 – Κλείτορος	19	1982 & 1996	340	08.00-14.00 & 18.30-23.30
Πειραιά	10	11ο Δημ. Πειραιά	Θεσσαλονίκης 71	6	1980	140	08.00-16.00

Πίνακας 1 : Βασικά χαρακτηριστικά των 10 σχολικών κτιρίων του λεκανοπεδίου Αττικής

Α' Φάση του έργου

Κατά την πρώτη φάση της μελέτης που πραγματοποιήθηκε από την Ομάδα Μελετών Κτιριακού Περιβάλλοντος του Τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Αθηνών, πραγματοποιήθηκε ενεργειακή και περιβαλλοντική αξιολόγηση των ανωτέρω 10 σχολικών κτιρίων του Νομού Αττικής. Η έρευνα αυτή περιλαμβάνει τα ακόλουθα στοιχεία:

- ✚ αξιολόγηση της κατάστασης του κτιριακού κελύφους,
- ✚ καταγραφή των ενεργειακών συστημάτων,
- ✚ καταγραφή των συστημάτων αερισμού, φωτισμού και γενικά όλων των συστημάτων που επηρεάζουν την ενεργειακή απόδοση του κτιρίου
- ✚ μέτρηση της ποιότητας αέρα.

Για την ενεργειακή και περιβαλλοντική αξιολόγηση των κτιρίων πραγματοποιήθηκαν οι παρακάτω μετρήσεις:

- ✚ της επιφανειακής θερμοκρασίας με κάμερα υπέρυθρων,
- ✚ της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας του εσωτερικού αέρα με ηλεκτρονικό καταγραφικό θερμόμετρο – υγρόμετρο,
- ✚ της θερμοκρασίας σφαιρικού θερμομέτρου,
- ✚ της ταχύτητας ανέμου με ανεμογράφο υπέρθερμου σύρματος,
- ✚ των επιπέδων φωτισμού (φυσικού ή / και τεχνητού) με τη χρήση φωτομέτρων,

- ✚ των επιπέδων διεύθυνσης του αέρα σε τυπικές αίθουσες με την μέθοδο των αερίων δεικτών (tracer – gas method),
- ✚ των επιπέδων του φυσικού αερισμού σε τυπικές αίθουσες με την μέθοδο των αερίων δεικτών (tracer – gas method),
- ✚ της συγκέντρωσης του CO₂,
- ✚ της συγκέντρωσης του CO,
- ✚ της συγκέντρωσης των VOC's.

Ακόμα έγινε καταγραφή:

- ✚ των συστημάτων φωτισμού,
- ✚ των συστημάτων αερισμού,
- ✚ των μηχανημάτων – συσκευών,
- ✚ του συστήματος θέρμανσης.

Αποτελέσματα των μετρήσεων

Από τις ανωτέρω μετρήσεις εξήχθησαν τα ακόλουθα συγκεντρωτικά αποτελέσματα:

Ενεργειακές Καταναλώσεις

Στους Πίνακες 2 και 3 φαίνονται οι ετήσιες καταναλώσεις ηλεκτρισμού και πετρελαίου ανά σχολικό κτίριο ανά έτος, (σε €) αντίστοιχα. Ακόμα στους πίνακες 4 και 5 φαίνονται οι ετήσιες καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας και πετρελαίου αντίστοιχα, σε kWh/m². Στους παρακάτω πίνακες με σκούρο χρώμα σημειώνονται οι τιμές που δεν δόθηκαν από την διοίκηση του κάθε σχολείου.

Ηλεκτρισμός	2003	2002	2001	2000	1999
11 ^ο ΔΣ Πειραιά					
13 ^ο ΔΣ Αθήνας					
15 ^ο ΔΣ Καλλιθέας	2.587 €	2.297 €	1.743 €	1.925 €	2.027 €
16 ^ο Γυμν. Αθήνας	1.319 €				
20 ^ο Γυμν. Αθήνας	5.007 €	3.328 €			
4 ^ο Γυμν. Περιστερίου	5.060 €	4.610 €	3.683 €	3.355 €	
64 ^ο ΔΣ Αθήνας	815 €	1.031 €	1.490 €	1.530 €	1.580 €
59 ^ο ΔΣ Αθήνας					
71 ^ο ΔΣ Αθήνας	1.406 €	1.876 €	2.097 €	2.035 €	
99 ^ο ΔΣ Αθήνας	3.268 €	3.140 €	3.389 €	3.324 €	

Πίνακας 2: Ετήσια κατανάλωση ηλεκτρισμού ανά σχολικό κτίριο ανά έτος σε €.

Πετρέλαιο	2003	2002	2001	2000	1999
11ο ΔΣ Πειραιά					
13ο ΔΣ Αθήνας					

15ο ΔΣ Καλλιθέας	2.184 €	1.610 €	2.103 €	1.742 €	1.309 €
16ο Γυμν. Αθήνας	3.547 €				
20 ^ο Γυμν. Αθήνας	2.617 €	1.892 €			
4 ^ο Γυμν. Περιστερίου	4.258 €	1.653 €	2.702 €	2.660 €	
64ο ΔΣ Αθήνας	2.502 €	1.700 €	1.278 €	1.178 €	1.215 €
59ο ΔΣ Αθήνας					
71ο ΔΣ Αθήνας	3.542 €	2.587 €	1.654 €	2.812 €	
99ο ΔΣ Αθήνας	3.190 €	1.812 €	3.120 €	3.023 €	

Πίνακας 3: Ετήσια κατανάλωση πετρελαίου ανά σχολικό κτίριο ανά έτος σε €.

Ηλεκτρισμός (kWh/m ²)	2003	2002	2001	2000	1999
11 ^ο ΔΣ Πειραιά					
13 ^ο ΔΣ Αθήνας					
15 ^ο ΔΣ Καλλιθέας	12.21	10.84	8.23	9.09	9.57
16 ^ο Γυμν. Αθήνας	5.59				
20 ^ο Γυμν. Αθήνας	23.64	15.71			
4 ^ο Γυμν. Περιστερίου	16.21	14.77	11.80	10.75	
64 ^ο ΔΣ Αθήνας	7.94	10.04	14.51	14.90	15.39
59 ^ο ΔΣ Αθήνας					
71 ^ο ΔΣ Αθήνας					
99 ^ο ΔΣ Αθήνας	21.39	20.55	22.18	21.75	

Πίνακας 4: Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά τετραγωνικό μέτρο (kWh/m²)

Πετρέλαιο (kWh/m ²)	2003	2002	2001	2000	1999
11 ^ο ΔΣ Πειραιά					
13 ^ο ΔΣ Αθήνας					
15 ^ο ΔΣ Καλλιθέας	31.89	26.86	40.94	29.07	25.47
16 ^ο Γυμν. Αθήνας	46.48				
20 ^ο Γυμν. Αθήνας	38.21	31.57			
4 ^ο Γυμν. Περιστερίου	42.19	18.72	35.69	30.12	
64 ^ο ΔΣ Αθήνας	75.36	58.52	51.33	40.55	48.80
59 ^ο ΔΣ Αθήνας					
71 ^ο ΔΣ Αθήνας					
99 ^ο ΔΣ Αθήνας	64.55	41.91	84.18	69.91	

Πίνακας 5 : Κατανάλωση πετρελαίου ανά τετραγωνικό μέτρο (kWh/m²)

Όπως προκύπτει από τις τιμές της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και πετρελαίου οι διαφορές ανάμεσα στα κτίρια σχολείων σε αρκετές περιπτώσεις ξεπερνούν το 100% για το ίδιο έτος. Ακόμα οι διαφορές στην κατανάλωση τόσο ηλεκτρικής ενέργειας όσο και πετρελαίου μεταξύ των ίδιων σχολείων μεταβάλλεται σημαντικά από έτος σε έτος.

Καταγραφή των εσωτερικών κερδών

Στα υπό μελέτη σχολικά κτίρια έγινε καταγραφή των εσωτερικών κερδών δηλαδή του αριθμού μαθητών και διδακτικού προσωπικού, των υπολογιστών, των φωτιστικών σωμάτων και άλλων συστημάτων ή συσκευών. Τα συνολικά στοιχεία για κάθε σχολείο δίνονται στον Πίνακα 6.

Διδακτήριο	Αριθμός ατόμων	Εγκατεστημένη ισχύς φωτιστικών σωμάτων (Watt)	Ηλεκτρικές συσκευές
11 ^ο ΔΣ Πειραιά	139	11060	1 φούρνος, 1 ψυγείο, 6 ανεμιστήρες οροφής, 3 εκτυπωτές, 13 Η/Υ, 1 τηλεόραση
13 ^ο ΔΣ Αθήνας	216	14834	1 φούρνος, 1 φούρνος μικροκυμάτων, 2 ψυγεία, 10 ανεμιστήρες οροφής, 1 εκτυπωτής, 1 Η/Υ, 2 φωτοτυπικά, 1 κλιματιστικό, 1 φαξ
15 ^ο ΔΣ Καλλιθέας	131	10502	1 φούρνος, 1 ψυγείο, 18 ανεμιστήρες οροφής, 1 εκτυπωτής, 9 Η/Υ, 1 ηλεκτρονικός σαρωτής
16 ^ο Γυμνάσιο Αθήνας	246	18898	1 φούρνος, 2 ψυγεία, 16 ανεμιστήρες οροφής, 3 εκτυπωτές, 14 Η/Υ, 3 τηλεοράσεις, 3 φωτοτυπικά, 4 κλιματιστικά, 2 φαξ, 1 ηλεκτρονικός σαρωτής, 1 βίντεο, 1 ηλεκτρικό θερμαντικό σώμα
20 ^ο Γυμνάσιο Αθήνας	117	12264	1 φούρνος, 1 ψυγείο, 7 ανεμιστήρες οροφής, 2 κλιματιστικά, 1 τοστιέρα, 1 καφετιέρα, 1 ηλεκτρικός θερμοσίφωνας
4 ^ο Γυμνάσιο Περιστερίου	123	16364	2 φούρνοι, 3 ψυγεία, 2 ανεμιστήρες οροφής, 2 εκτυπωτές, 13 Η/Υ, 1 τηλεόραση, 2 μηχανήματα προβολής, 3 φωτοτυπικά, 4 κλιματιστικά, 1 φαξ, 1 ηλεκτρονικός σαρωτής, 1 ηλεκτρικό θερμαντικό σώμα, 1 τοστιέρα, 1 βραστήρας, 1 ανεμιστήρας
64 ^ο ΔΣ Αθήνας	102	9796	1 φούρνος, 2 ψυγεία, 1 εκτυπωτής, 2 Η/Υ, 1 τηλεόραση, 1 φωτοτυπικά, 1 φαξ, 1 τοστιέρα
59 ^ο ΔΣ Αθήνας	198	17508	2 φούρνοι, 3 ψυγεία, 1 καταψύκτης, 7 ανεμιστήρες οροφής, 2 εκτυπωτές, 5 Η/Υ, 1 τηλεόραση, 2 φωτοτυπικά, 2 φαξ, 1 ηλεκτρονικός σαρωτής, 1 UPS, 1 ηλεκτρικό θερμαντικό σώμα, 1 τοστιέρα

71° ΔΣ Αθήνας	103	18336	1 φούρνος, 2 ψυγεία, 19 ανεμιστήρες οροφής, 1 τηλεόραση, 2 φωτοτυπικά, 1 ηλεκτρικό θερμαντικό σώμα, 1 τοστιέρα
99° ΔΣ Αθήνας	142	9180	1 ψυγείο, 3 εκτυπωτές, 4 Η/Υ, 1 τηλεόραση, 1 προβολέας, 3 φωτοτυπικά, 1 κλιματιστικό, 3 φαξ, 2 ηλεκτρονικοί σαρωτές, 1 βραστήρας, 1 κασετόφωνο

Πίνακας 6 : Αριθμός ατόμων, εγκατεστημένη ισχύς λαμπτήρων και συσκευές που καταγράφηκαν κατά την διάρκεια των μετρήσεων.

Όπως προκύπτει από την καταγραφή το σύστημα φωτισμού είναι κύρια υπεύθυνο για την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η εγκατεστημένη ισχύς των λαμπτήρων κυμαίνεται από 5.85Watt/m² (15° ΔΣ Καλλιθέας) έως 11.26Watt/m² (64° ΔΣ Αθήνας).

Φωτισμός

Σε όλα τα σχολικά κτίρια πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις των επιπέδων φωτισμού με τη χρήση φωτομέτρων. Οι μετρήσεις έγιναν πάνω στην επιφάνεια εργασίας σε κεντρικά σημεία των χώρων.

Στον Πίνακα 7 δίνονται τα μέγιστα, μέσα και ελάχιστα επίπεδα φυσικού και τεχνητού φωτισμού ανά σχολείο. Ο φωτισμός κρίνεται ως επαρκής όταν είναι πάνω από 500Lux.

Συγκέντρωση ρύπων	Φυσικός φωτισμός (lux)				Τεχνητός φωτισμός (lux)			
	Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή	Αρ. αιθουσών και ποσοστό όπου ο φυσικός φωτισμός είναι ανεπαρκής, επί του συνόλου	Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή	Αρ. αιθουσών και ποσοστό όπου ο τεχνητός φωτισμός είναι ανεπαρκής, επί του συνόλου
11° ΔΣ Πειραιά	70	247	390	7/7 (100%)	210	285	340	6/6 (100%)
13° ΔΣ Αθήνας	62	293	1280	8/9 (89%)	190	553	1500	6/9 (67%)
15° ΔΣ Καλλιθέας	140	140	140	1/1 (100%)	82	509	888	3/7 (43%)
16° Γυμν. Αθήνας	20	367	1095	9/14 (64%)	195	559	1266	8/14 (57%)
20° Γυμν. Αθήνας	157	367	770	4/5 (80%)	580	745	973	0/5 (0%)
4° Γυμν. Περιστερίου	117	359	493	3/3 (100%)	398	613	1011	3/8 (38%)
64° ΔΣ Αθήνας	141	356	500	6/7 (86%)	376	540	700	2/7 (29%)
59° ΔΣ Αθήνας	448	722	995	1/2 (50%)	288	666	999	1/8 (13%)
71° ΔΣ Αθήνας	171	121 9	3310	3/7 (43%)	270	1562	3500	2/6 (33%)

99° ΔΣ Αθήνας	40	208	810	6/7 (86%)	230	437	1100	5/7 (71%)
Σύνολο αιθουσών				48/62 (77%)				36/77 (47%)

Πίνακας 7: Επίπεδα φυσικού και τεχνητού φωτισμού ανά σχολικό κτίριο.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των μετρήσεων ο φυσικός φωτισμός των αιθουσών κρίνεται σε μεγάλο ποσοστό (77%) ανεπαρκής. Αυτό έχει σαν συνέπεια την αυξημένη ενεργειακή κατανάλωση για φωτισμό. Ακόμα όμως και με την χρήση τεχνητού φωτισμού σε αρκετές περιπτώσεις (47%) δεν καλύπτεται η απαίτηση των 500Lux στην επιφάνεια εργασίας.

Μετρήσεις θερμοκρασίας και υγρασίας

Σε συγκεκριμένους χώρους των σχολικών κτιρίων πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας του εσωτερικού αέρα. Στους Πίνακες 8 και 9 που ακολουθούν, δίνονται οι ελάχιστες, οι μέγιστες και οι μέσες τιμές της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας του εσωτερικού αέρα που μετρήθηκαν. Ακόμη δίνεται σε κάθε περίπτωση η θερμοκρασία και υγρασία περιβάλλοντος.

Θερμοκρασία αέρα (°C)	Ελάχιστη	Μέση	Μέγιστη	Θερμοκρασία περιβάλλοντος
11° ΔΣ Πειραιά	23,00	24,45	26,50	23,00
13° ΔΣ Αθήνας	19,50	20,22	21,00	19,00
15° ΔΣ Καλλιθέας	22,00	24,74	25,70	25,70
16° Γυμν. Αθήνας	19,30	22,71	24,30	21,10
20° Γυμν. Αθήνας	22,00	24,38	26,10	23,50
4° Γυμν. Περιστερίου	23,30	26,01	27,80	26,90
64° ΔΣ Αθήνας	20,10	21,93	23,00	17,50
59° ΔΣ Αθήνας	22,60	25,33	27,10	26,70
71° ΔΣ Αθήνας	23,00	25,75	27,20	27,50
99° ΔΣ Αθήνας	17,30	19,40	21,10	19,00

Πίνακας 8: Ελάχιστη, μέση και μέγιστη μετρηθείσα τιμή της θερμοκρασίας του αέρα ανά σχολικό κτίριο.

Υγρασία (%)	Ελάχιστη	Μέση	Μέγιστη	Υγρασία Περιβάλλοντος
11° ΔΣ Πειραιά	54	60	70	59
13° ΔΣ Αθήνας	40	43	48	24
15° ΔΣ Καλλιθέας	60	68	86	52
16° Γυμν. Αθήνας	61	66	75	63
20° Γυμν. Αθήνας	56	65	70	59
4° Γυμν. Περιστερίου	50	53	57	48
64° ΔΣ Αθήνας	51	53	56	49
59° ΔΣ Αθήνας	47	57	66	42
71° ΔΣ Αθήνας	60	66	76	57

Πίνακας 9: Ελάχιστη, μέση και μέγιστη μετρηθείσα τιμή της σχετικής υγρασίας του αέρα ανά σχολικό κτίριο.

Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων προκύπτει ότι η μέση τιμή τόσο της θερμοκρασίας, όσο και της σχετικής υγρασίας δεν διαφέρουν σημαντικά από τις αντίστοιχες του περιβάλλοντος. Αντίθετα οι μέγιστες τιμές της σχετικής υγρασίας σε κάποιες περιπτώσεις είναι σημαντικά υψηλότερες από αυτές του περιβάλλοντος, ενώ συχνά είναι μεγαλύτερες από 65%, οριακή τιμή για την επίτευξη θερμικής άνεσης. Οι υψηλές τιμές της σχετικής υγρασίας συσχετίζονται και με την ύπαρξη συμπυκνώσεων στο κτιριακό κέλυφος.

Μετρήσεις ταχύτητας ανέμου

Η ταχύτητα ανέμου μετρήθηκε σε κάθε εξεταζόμενο χώρο υπό τις υπάρχουσες συνθήκες με τον ανεμογράφο υπέρθερμου σύρματος. Η λειτουργία του ανεμογράφου στηρίζεται στην αρχή ότι ο ρυθμός απώλειας θερμότητας από ένα σώμα όταν αυτό θερμαίνεται συνεχώς, εξαρτάται από την ένταση του πνέοντος ανέμου. Ο ανεμογράφος μετράει μικρές ταχύτητες ανέμου με μεγάλη αξιοπιστία. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων δίνονται στον Πίνακα 10, όπου αναφέρονται η ελάχιστη, μέση και μέγιστη τιμή της ταχύτητας του αέρα ανά σχολείο.

Ταχύτητα ανέμου (m/sec)	Ελάχιστη	Μέση	Μέγιστη
11° ΔΣ Πειραιά	0,07	0,12	0,20
13° ΔΣ Αθήνας	0,05	0,15	0,31
15° ΔΣ Καλλιθέας	0,00	0,12	0,31
16° Γυμν. Αθήνας	0,01	0,09	0,30
20° Γυμν. Αθήνας	0,05	0,07	0,10
4° Γυμν. Περιστερίου	0,05	0,13	0,23
64° ΔΣ Αθήνας	0,07	0,10	0,17
59° ΔΣ Αθήνας	0,05	0,09	0,20
71° ΔΣ Αθήνας	0,07	0,18	0,60
99° ΔΣ Αθήνας	0,03	0,10	0,25

Πίνακας 10: Ελάχιστη, μέση και μέγιστη μετρηθείσα τιμή της ταχύτητας του ανέμου ανά σχολικό κτίριο.

Οι μέσες τιμές της ταχύτητας του αέρα που μετρήθηκαν κρίνονται αποδεκτές. Όσον αφορά τις μέγιστες τιμές, σε αρκετές περιπτώσεις κρίνονται ως υψηλές και δεν συνεισφέρουν στην επίτευξη θερμικής άνεσης την ψυχρή περίοδο.

Μετρήσεις συγκέντρωσης ρύπων

Σε κάθε εξεταζόμενο χώρο πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις των συγκεντρώσεων των κυριότερων ρύπων που βρίσκονται στον εσωτερικό αέρα. Συγκεκριμένα μετρήθηκαν οι συγκεντρώσεις του μονοξειδίου του άνθρακα (CO), διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και των οργανικών πτητικών ενώσεων (VOC's).

Στον Πίνακα 11 που ακολουθεί δίνονται η ελάχιστη, μέση και μέγιστη στιγμιαία τιμή συγκέντρωσης των παραπάνω ρύπων ανά σχολικό κτίριο. Επίσης δίνεται ο αριθμός αιθουσών επί του συνόλου των αιθουσών που έγιναν μετρήσεις, ανά σχολικό κτίριο, στις οποίες οι συγκεντρώσεις ξεπερνούν τα όρια.

Όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα των μετρήσεων οι τιμές της συγκέντρωσης των CO₂ και VOC σε αρκετές ξεπερνάει τα όρια. Αυτό θεωρείται ότι οφείλεται στον ανεπαρκή αερισμό και τη χρήση ακατάλληλων υλικών.

Συγκέντρωση ρύπων	CO (ppm)				CO ₂ (ppm)				VOC (ppm)				Αρ. αιθουσών και ποσοστό που ξεπερνιέται τουλάχιστον ένα όριο, επί του συνόλου
	Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή	Αρ. αιθουσών και ποσοστό που ξεπερνούν τα όρια, επί του συνόλου	Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή	Αρ. αιθουσών και ποσοστό που ξεπερνούν τα όρια ¹ , επί του συνόλου	Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή	Αρ. αιθουσών και ποσοστό που ξεπερνούν τα όρια ² , επί του συνόλου	
11° ΔΣ Πειραιά	0,28	0,67	1,05	0/8 (0%)	413	675	1298	4/8 (50%)	0,14	0,40	0,78	8/8 (100%)	8/8 (100%)
13° ΔΣ Αθήνας	0,74	1,42	2,67	0/9 (0%)	867	1258	1628	9/9 (100%)	0,00	0,60	1,32	8/9 (89%)	9/9 (100%)
15° ΔΣ Καλλιθέας	0,30	1,09	3,10	0/8 (0%)	424	813	1664	5/8 (63%)	0,23	1,34	3,62	8/8 (100%)	8/8 (100%)
16° Γυμν. Αθήνας	0,52	0,92	1,45	0/12 (0%)	105	661	1133	6/12 (50%)	0,01	0,76	1,53	11/12 (92%)	11/12 (92%)
20° Γυμν. Αθήνας	0,25	0,36	0,44	0/3 (0%)	367	602	1040	1/3 (33%)	0,24	0,93	2,15	3/3 (100%)	3/3 (100%)
4° Γυμν. Περιστερίου	0,14	0,57	1,15	0/11 (0%)	396	598	846	5/11 (45%)	0,05	0,60	1,68	11/11 (100%)	11/11 (100%)
64° ΔΣ Αθήνας	0,28	0,88	1,70	0/7 (0%)	446	833	1373	4/7 (57%)	0,02	0,74	2,55	4/7 (57%)	5/7 (71%)
59° ΔΣ Αθήνας	0,19	0,32	0,61	0/10 (0%)	363	576	786	7/10 (70%)	0,02	0,08	0,21	9/10 (90%)	9/10 (90%)
71° ΔΣ Αθήνας	1,27	1,70	2,25	0/8 (0%)	408	600	1246	3/8 (38%)	0,58	1,28	2,29	8/8 (100%)	8/8 (100%)
99° ΔΣ Αθήνας	3,80	4,08	4,47	0/7 (0%)	772	1070	1873	7/7 (100%)	1,42	2,45	5,34	7/7 (100%)	7/7 (100%)
Σύνολο αιθουσών				0/83 (0%)				51/83 (61%)				77/83 (93%)	79/83 (95%)

Πίνακας 11: Ελάχιστη, μέση και μέγιστη μετρηθείσα τιμή συγκέντρωσης CO, CO₂ και VOC's ανά σχολικό κτίριο, αρ. αιθουσών και ποσοστό που ξεπερνούν τα όρια συγκέντρωσης.

Αερισμός

Από τις μετρήσεις υπολογίζονται οι αλλαγές όγκου αέρα ανά ώρα (ACH) για τους συγκεκριμένους χώρους του κάθε κτιρίου. Οι τιμές αφορούν τον συνολικό αριθμό αλλαγών αέρα και δίνονται στον Πίνακα 12 που ακολουθεί. Με έντονα γράμματα είναι σημειωμένες οι τιμές εκείνες που δεν θεωρούνται αποδεκτές. Για τον φυσικό αερισμό αυτό ισχύει όταν οι εναλλαγές του αέρα ανά ώρα είναι λιγότερες από 5, ενώ αποδεκτή θεωρείται η διείσδυση νωπού αέρα από χαραμάδες και σχισμές όταν δεν υπερβαίνει την 0,6 εναλλαγή ανά ώρα.

Οι τιμές της διείσδυσης του αέρα που μετρήθηκαν σε αρκετές περιπτώσεις (33%) ήταν υψηλές με αποτέλεσμα τον ανεξέλεγκτο αερισμό των αιθουσών και αυξημένη κατανάλωση για θέρμανση.

Όσον αφορά τις τιμές του φυσικού αερισμού που μετρήθηκαν σε αρκετές περιπτώσεις (56%) ήταν μικρότερες από 5ACH με αποτέλεσμα τον μη επαρκή αερισμό των αιθουσών και την υψηλή συγκέντρωση ρύπων.

Σχολείο	Διείσδυση (ACH)	Διείσδυση & φυσικός αερισμός (ACH)
11° ΔΣ Πειραιά		
ΑΙΘΟΥΣΑ 1	1,32	5,95
ΑΙΘΟΥΣΑ 2	6,19	11,72
13° ΔΣ Αθήνας		
ΑΙΘΟΥΣΑ 1	0,4	9
15° ΔΣ Καλλιθέας		
ΑΙΘΟΥΣΑ 1	0,4	1,3
ΑΙΘΟΥΣΑ 2	0,4	1,4
16° Γυμν. Αθήνας		
ΑΙΘΟΥΣΑ 1	0,88	7,27
ΑΙΘΟΥΣΑ 2	0,25	2,4
20° Γυμν. Αθήνας		
ΑΙΘΟΥΣΑ 1	0,1	7,4
4° Γυμν. Περιστερίου		
ΑΙΘΟΥΣΑ 1	0,3	2,0
ΑΙΘΟΥΣΑ 2	0,2	4,8
64° ΔΣ Αθήνας		
ΑΙΘΟΥΣΑ 1	1,2	4,6
ΑΙΘΟΥΣΑ 2	1,9	6,9
59° ΔΣ Αθήνας		
ΑΙΘΟΥΣΑ 1	0,2	1,7
ΑΙΘΟΥΣΑ 2	0,3	3,8
71° ΔΣ Αθήνας		
ΑΙΘΟΥΣΑ 1	0,1	3,5
ΑΙΘΟΥΣΑ 2	0,2	2,8
99° ΔΣ Αθήνας		
ΑΙΘΟΥΣΑ 1	0,45	12,1
ΑΙΘΟΥΣΑ 2	0,88	10,2

Πίνακας 12: Μετρήσεις ρυθμού ανανέωσης του αέρα και διείσδυσης νοπού αέρα από χαραμάδες και σχισμές (ACH)

Θερμική άνεση

Από τις μετρήσεις προκύπτει ότι τα άτομα στα εξεταζόμενα σχολικά κτίρια δεν υφίστανται θερμική καταπόνηση. Ακόμα όσον αφορά την θερμική άνεση, οι μετρηθείσες τιμές θερμικής άνεσης στα σχολικά κτίρια κυμαίνονται από ενοχλητικά θερμό περιβάλλον μέχρι ανεκτά ψυχρό περιβάλλον, με τις περισσότερες μέσες τιμές να βρίσκονται στην κλίμακα ανεκτά θερμό περιβάλλον.

Συμπεράσματα Α' Φάσης

Από την ενεργειακή και περιβαλλοντική αξιολόγηση των 10 σχολικών κτιρίων προκύπτουν συνοπτικά τα εξής:

- ✚ Η απουσία ή η ελλιπής θερμομόνωση του κελύφους γίνεται εμφανής στις μετρήσεις με την θερμοκάμερα. Σε πολλά σημεία εμφανίζονται θερμογέφυρες και συμπυκνώματα που αυξάνουν σημαντικά τον συντελεστή θερμοδιαφυγής του κελύφους.
- ✚ Οι μέγιστες τιμές της σχετικής υγρασίας σε αρκετές περιπτώσεις ξεπερνούν το 65%, τιμή η οποία σε συνδυασμό με χαμηλές θερμοκρασίες μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία συμπυκνώσεων. Σύμφωνα με τον Πίνακα 4.8 σε τουλάχιστον οκτώ (8) αίθουσες η σχετική υγρασία που μετρήθηκε ήταν μεγαλύτερη από 65%.
- ✚ Ο φυσικός φωτισμός είναι ανεπαρκής σε 48 από τις 62 εξεταζόμενες αίθουσες (ποσοστό 77%). Αντίστοιχα, είναι ανεπαρκής ο τεχνητός φωτισμός σε 36 από τις 77 εξεταζόμενες αίθουσες (ποσοστό 47%).
- ✚ Η διείσδυση του αέρα από χαραμάδες και σχισμές θεωρείται ως μη αποδεκτή σε 6 από τις 18 αίθουσες όπου έγιναν οι μετρήσεις (ποσοστό 33%).
- ✚ Ο φυσικός αερισμός σε 10 από τις 18 αίθουσες που έγιναν μετρήσεις (ποσοστό 56%) κρίνεται ως ανεπαρκής.
- ✚ Η συγκέντρωση CO δεν ξεπερνάει σε καμία περίπτωση τα θεσμοθετημένα όρια. Αντίθετα σε 51 από τις 83 αίθουσες όπου έγιναν μετρήσεις, η συγκέντρωση υπερβαίνει το όριο για το CO₂ (ποσοστό 61%). Ακόμα, σε 77 από τις 83 αυτές αίθουσες σχολικών κτιρίων υπερβαίνεται το κατώτερο όριο συγκέντρωσης οργανικών πτητικών ενώσεων (VOC's) που θεωρείται ότι μπορεί να έχει συνέπειες / ενοχλήσεις στην υγεία των παρευρισκομένων στον χώρο (ποσοστό 93%). Συνολικά, σε 79 από τις 83 αίθουσες διδασκαλίας μετρήθηκε υπέρβαση κάποιου ορίου συγκέντρωσης ενός ή περισσότερων ρύπων (ποσοστό 95%).
- ✚ Η κατανάλωση ενέργειας για ηλεκτρισμό κυμαίνεται από 5.6kWh/m² έως 23.6kWh/m², ενώ η μέση κατανάλωση είναι 14.7kWh/m². Η κατανάλωση για ηλεκτρισμό κρίνεται υψηλή και δεν δείχνει να σχετίζεται με τον τύπο του κτιρίου, ενώ για το ίδιο σχολείο μεταβάλλεται σημαντικά από έτος σε έτος.
- ✚ Η κατανάλωση ενέργειας για πετρέλαιο κυμαίνεται από 31.9kWh/m² έως 75.4kWh/m², ενώ η μέση κατανάλωση ενέργειας είναι 46.1kWh/m². Η

κατανάλωση για πετρέλαιο θεωρείται υψηλή, δεδομένου του περιορισμένου ωραρίου των σχολείων. Η σημασία της θερμομόνωσης του κελύφους γίνεται εμφανής από τις χαμηλές καταναλώσεις πετρελαίου των διδακτηρίων του 15^{ου} ΔΣ Καλλιθέας και 20^{ου} Γυμνασίου Περιστερίου. Τα δύο διδακτήρια είναι του ίδιου τύπου, μονωμένα με διαφορετικό προσανατολισμό.

- ✚ Τα άτομα που βρίσκονται μέσα στα εξεταζόμενα σχολικά κτίρια, δεν υφίστανται σε καμία περίπτωση θερμική καταπόνηση. Όσον αφορά στη θερμική άνεση, οι μετρηθείσες τιμές στα σχολικά κτίρια κυμαίνονται από ενοχλητικά θερμό περιβάλλον μέχρι ανεκτά ψυχρό περιβάλλον, με τις περισσότερες μέσες τιμές να βρίσκονται στην κλίμακα ανεκτά θερμό περιβάλλον.

Β' Φάση του έργου

Η δεύτερη φάση της μελέτης περιλαμβάνει τα αποτελέσματα της θερμικής μελέτης των δέκα σχολικών κτιρίων.

Σκοπός της μελέτης αυτής είναι αφενός η ενεργειακή αξιολόγηση των κτιρίων στην υπάρχουσα κατάστασή τους και αφετέρου η βελτίωση της θερμικής άνεσης και η ελαχιστοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης τους, κυρίως κατά τη χειμερινή περίοδο αφού τους μήνες του καλοκαιριού τα σχολικά κτίρια δεν λειτουργούν.

Η θερμική μελέτη εκπονήθηκε με χρήση του ακριβούς υπολογιστικού προγράμματος προσομοίωσης TRNSYS, το οποίο επιτρέπει τον ακριβή υπολογισμό των ενεργειακών και θερμοκρασιακών επιπέδων κάθε χώρου. Οι όλοι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας κλιματολογικά δεδομένα της περιοχής της Αθήνας, για ένα πλήρες ημερολογιακό έτος.

Αρχικά, παρατίθενται τα κυριότερα συμπεράσματα από την θερμική μελέτη των σχολικών κτιρίων στην υπάρχουσα κατάστασή τους.

71ο Δημοτικό Σχολείο Αθηνών

Τα κυριότερα συμπεράσματα της θερμικής μελέτης του ανωτέρω σχολείου συνοψίζονται ως ακολούθως:

- ✚ Οι θερμικές ζώνες ΝΔ προσανατολισμού εμφανίζουν υψηλές θερμοκρασίες, ιδιαίτερα τις μεσημεριανές ώρες.
- ✚ Τον Μάιο, οι γραφειακοί χώροι των διδασκόντων εμφανίζουν τις μεγαλύτερες μέσες ωριαίες τιμές θερμοκρασιών. Αυτό πιθανότατα οφείλεται στα υψηλά εσωτερικά κέρδη σε συνδυασμό με το γεγονός ότι η έκταση των γραφείων είναι περιορισμένη (40 m²).
- ✚ Τα ετήσια φορτία θέρμανσης, έτσι όπως υπολογίστηκαν από τις θερμικές προσομοιώσεις, είναι 22.25 kWh / m² και τα ετήσια φορτία δροσίσιμου είναι 14.67 kWh / m².
- ✚ Σύμφωνα με τις μετρήσεις ο φωτισμός είναι ανεπαρκής και κακής ποιότητας (θάμβωση).

13^ο Δημοτικό Σχολείο Αθηνών

Τα κυριότερα συμπεράσματα της θερμικής μελέτης του ανωτέρω σχολείου συνοψίζονται ως ακολούθως:

- ✚ Οι αίθουσες διδασκαλίας του Δημοτικού σχολείου που στεγάζεται στο κτίριο είναι ΝΔ και ΒΑ προσανατολισμού. Οι αίθουσες διδασκαλίας είναι θερμότερες από τους διαδρόμους κυκλοφορίας. Επίσης, οι θερμικές ζώνες του 2^{ου} ορόφου εμφανίζουν χαμηλότερες θερμοκρασίες από αυτές του 1^{ου}
- ✚ Γενικά οι μέσες ωριαίες τιμές θερμοκρασιών των θερμικών ζωνών του κτιρίου εμφανίζουν ομοιογένεια.
- ✚ Τα ετήσια φορτία θέρμανσης, έτσι όπως υπολογίστηκαν από τις θερμικές προσομοιώσεις, είναι 44 kWh / m² και τα ετήσια φορτία δροσισμού είναι 7 kWh / m².
- ✚ Σύμφωνα με τις μετρήσεις ο φωτισμός είναι ανεπαρκής και κακής ποιότητας (θάμβωση).

64^ο Δημοτικό Σχολείο Αθηνών

Τα κυριότερα συμπεράσματα της θερμικής μελέτης του ανωτέρω σχολείου συνοψίζονται ως ακολούθως:

- ✚ Οι αίθουσες διδασκαλίας είναι ΒΔ και ΒΑ προσανατολισμού. Οι αίθουσες που βρίσκονται στον 2^ο όροφο είναι αρκετά ψυχρότερες από αυτές που βρίσκονται στον 1^ο όροφο.
- ✚ Γενικά οι μέσες ωριαίες τιμές θερμοκρασιών των ζωνών του κτιρίου εμφανίζουν ομοιογένεια.
- ✚ Τα ετήσια φορτία θέρμανσης, έτσι όπως υπολογίστηκαν από τις θερμικές προσομοιώσεις, είναι 50.70 kWh / m² και τα ετήσια φορτία δροσισμού είναι 7.37 kWh / m².
- ✚ Σύμφωνα με τις μετρήσεις ο φωτισμός είναι σε ορισμένες αίθουσες ανεπαρκής.

20^ο Γυμνάσιο Αθηνών

- ✚ Οι αίθουσες διδασκαλίας του 20^{ου} Γυμνασίου και του 20^{ου} Λυκείου Αθηνών είναι ΒΑ και ΝΔ προσανατολισμού. Οι θερμικές ζώνες ΝΔ προσανατολισμού είναι γενικά θερμότερες από τις ζώνες ΒΑ προσανατολισμού. Οι αίθουσες που βρίσκονται στον 2^ο όροφο είναι αρκετά ψυχρότερες από αυτές που βρίσκονται στον 1^ο όροφο.
- ✚ Γενικά οι μέσες ωριαίες τιμές θερμοκρασιών των ζωνών του κτιρίου εμφανίζουν ομοιογένεια. Πιο συγκεκριμένα, το Φεβρουάριο και τον Οκτώβριο, παρατηρείται μία στρωματοποίηση των θερμοκρασιών ανάλογα με τον όροφο. Υψηλότερες μέσες ωριαίες τιμές θερμοκρασιών εμφανίζουν οι θερμικές ζώνες του ισόγειου ενώ χαμηλότερες οι ζώνες του 2^{ου} ορόφου.
- ✚ Τα ετήσια φορτία θέρμανσης, έτσι όπως υπολογίστηκαν από τις θερμικές προσομοιώσεις, είναι 26.86 kWh / m² και τα ετήσια φορτία δροσισμού είναι 18.36 kWh / m².

- ✚ Σύμφωνα με τις μετρήσεις ο φωτισμός σε ορισμένες αίθουσες, είναι ανεπαρκής και κακής ποιότητας (θάμβωση). και να γίνει αντικατάσταση των ήδη υπαρχόντων λαμπτήρων με

59^ο Γυμνάσιο Αθηνών

- ✚ Οι αίθουσες διδασκαλίας του 59^{ου} Γυμνασίου διαφόρων προσανατολισμών. Ιδιαίτερα χαμηλές θερμοκρασίες εμφανίζουν οι αίθουσες που βρίσκονται στο 2^ο όροφο, σε σχέση με τις αίθουσες των άλλων ορόφων.
- ✚ Γενικά οι μέσες ωριαίες τιμές θερμοκρασιών των θερμικών ζωνών του κτιρίου εμφανίζουν ομοιογένεια, ιδιαίτερα τον Οκτώβριο.
- ✚ Τα ετήσια φορτία θέρμανσης, έτσι όπως υπολογίστηκαν από τις θερμικές προσομοιώσεις, είναι 25 kWh / m² και τα ετήσια φορτία δροσισμού είναι 6 kWh / m².
- ✚ Σύμφωνα με τις μετρήσεις ο φωτισμός είναι ανεπαρκής και κακής ποιότητας (θάμβωση).

16^ο Γυμνάσιο Αθηνών

- ✚ Οι αίθουσες διδασκαλίας του 16^{ου} Γυμνασίου Αθηνών που βρίσκονται στο κτίριο είναι ΝΑ και ΒΑ προσανατολισμού. Οι ΝΑ θερμικές ζώνες έχουν υψηλότερες μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασιών από τις ΒΑ, το Φεβρουάριο και τον Οκτώβριο. Επισημαίνεται ότι δεν παρατηρείται στρωματοποίηση των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών σε σχέση με τον όροφο.
- ✚ Τα ετήσια φορτία θέρμανσης, έτσι όπως υπολογίστηκαν από τις θερμικές προσομοιώσεις, είναι 27.9 kWh / m² και τα ετήσια φορτία δροσισμού είναι 14.87 kWh / m².
- ✚ Σύμφωνα με τις μετρήσεις ο φωτισμός είναι ανεπαρκής και κακής ποιότητας (θάμβωση).

99^ο Δημοτικό Σχολείο Αθηνών

- ✚ Οι αίθουσες διδασκαλίας των δύο Δημοτικών σχολείων και των νηπιαγωγείων που στεγάζονται στο κτίριο είναι ΒΔ και ΒΑ προσανατολισμού.
- ✚ Γενικά οι μέσες ωριαίες τιμές θερμοκρασιών των ζωνών του κτιρίου εμφανίζουν ομοιογένεια.
- ✚ Τα ετήσια φορτία θέρμανσης, έτσι όπως υπολογίστηκαν από τις θερμικές προσομοιώσεις, είναι 49.82 kWh / m² και τα ετήσια φορτία δροσισμού είναι 11.99 kWh / m².
- ✚ Σύμφωνα με τις μετρήσεις ο φωτισμός είναι ανεπαρκής και κακής ποιότητας (θάμβωση).

15^ο Δημοτικό Σχολείο Καλλιθέας

- ✚ Οι αίθουσες διδασκαλίας του 15^{ου} Δημοτικού Σχολείου Καλλιθέας είναι ΒΑ και ΝΔ προσανατολισμού. Οι θερμικές ζώνες ΝΔ προσανατολισμού είναι γενικά θερμότερες από τις ζώνες ΒΑ προσανατολισμού. Οι αίθουσες που βρίσκονται στον 2^ο όροφο είναι αρκετά ψυχρότερες από αυτές που βρίσκονται στον 1^ο όροφο.
- ✚ Γενικά οι μέσες ωριαίες τιμές θερμοκρασιών των ζωνών του κτιρίου εμφανίζουν ομοιογένεια. Πιο συγκεκριμένα, το Φεβρουάριο και τον Οκτώβριο, παρατηρείται μία στρωματοποίηση των θερμοκρασιών ανάλογα με τον όροφο. Υψηλότερες μέσες ωριαίες τιμές θερμοκρασιών εμφανίζουν οι θερμικές ζώνες του ισογείου ενώ χαμηλότερες οι ζώνες του 2^{ου} ορόφου.
- ✚ Τα ετήσια φορτία θέρμανσης, έτσι όπως υπολογίστηκαν από τις θερμικές προσομοιώσεις, είναι 22.30 kWh / m² και τα ετήσια φορτία δροσισμού είναι 19.97 kWh / m².
- ✚ Σύμφωνα με τις μετρήσεις ο φωτισμός σε ορισμένες αίθουσες, είναι ανεπαρκής και κακής ποιότητας (θάμβωση).

4^ο Γυμνάσιο Περιστερίου

- ✚ Οι αίθουσες διδασκαλίας του 4^{ου} Γυμνασίου Περιστερίου που στεγάζεται στο κτίριο είναι Β και Ν προσανατολισμού. Οι θερμικές ζώνες Βορείου προσανατολισμού είναι ψυχρότερες από εκείνες Νοτίου προσανατολισμού. Επίσης, οι θερμικές ζώνες Νοτίου προσανατολισμού που βρίσκονται στο 2^ο όροφο εμφανίζουν χαμηλότερες θερμοκρασίες από τις αντίστοιχες του 1^{ου} ορόφου.
- ✚ Γενικά οι μέσες ωριαίες τιμές θερμοκρασιών των ζωνών του κτιρίου εμφανίζουν ομοιογένεια, ιδιαίτερα το Μάιο. Επισημαίνεται όμως, ότι οι θερμικές ζώνες Βορείου προσανατολισμού εμφανίζουν αισθητά χαμηλότερες μέσες ωριαίες τιμές θερμοκρασιών κατά τις πρωινές ώρες, το Φεβρουάριο και τον Οκτώβριο.
- ✚ Τα ετήσια φορτία θέρμανσης, έτσι όπως υπολογίστηκαν από τις θερμικές προσομοιώσεις, είναι 35.27 kWh / m² και τα ετήσια φορτία δροσισμού είναι 8.66 kWh / m².
- ✚ Σύμφωνα με τις μετρήσεις ο φωτισμός είναι ανεπαρκής και κακής ποιότητας (θάμβωση).

11^ο Δημοτικό Σχολείο Πειραιά

- ✚ Οι αίθουσες διδασκαλίας του Δημοτικού σχολείου που στεγάζεται στο κτίριο είναι Ν προσανατολισμού. Οι αίθουσες διδασκαλίας είναι θερμότερες από τους διαδρόμους κυκλοφορίας των δύο ορόφων που είναι Β προσανατολισμού. Επίσης, οι θερμικές ζώνες του 2^{ου} ορόφου εμφανίζουν χαμηλότερες θερμοκρασίες από αυτές του 1^{ου}.
- ✚ Γενικά οι μέσες ωριαίες τιμές θερμοκρασιών των θερμικών ζωνών του κτιρίου εμφανίζουν ομοιογένεια.

- ✚ Τα ετήσια φορτία θέρμανσης, έτσι όπως υπολογίστηκαν από τις θερμικές προσομοιώσεις, είναι 39.80 kWh / m^2 και τα ετήσια φορτία δροσισμού είναι 7.60 kWh / m^2 .
- ✚ Σύμφωνα με τις μετρήσεις ο φωτισμός είναι ανεπαρκής και κακής ποιότητας (θάμβωση).

