



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

**“ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ
ΔΕΙΚΤΩΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ”**

Διπλωματική Εργασία

ΑΝΤΩΝΙΟΥ ΙΩΑΝΝΑ

A.M.:2010050010



ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΚΟΛΟΚΟΤΣΑ ΔΙΟΝΥΣΙΑ (ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ)

ΛΑΖΑΡΙΔΗΣ ΜΙΧΑΛΗΣ

ΤΣΟΥΤΣΟΣ ΘΕΟΧΑΡΗΣ

Χανιά 2015

Ευχαριστίες

Πρώτα από όλα θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην επιβλέπουσα καθηγήτρια κυρία Διονυσία Κολοκοτσά για την καθοδήγηση, υποστήριξη και βοήθεια που μου προσέφερε σε όλη τη διάρκεια συγγραφής της Διπλωματικής Εργασίας μου.

Δε θα μπορούσα να ξεχάσω να ευχαριστήσω και τον κύριο Κωνσταντίνο Γομπάκη για την αμέριστη βοήθειά του και τη συνεργασία που είχαμε.

Ευχαριστίες οφείλω και στα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, τον κύριο Θεοχάρη Τσούτσο και τον κύριο Μιχάλη Λαζαρίδη, για το χρόνο που αφιέρωσαν, τόσο για τη συγγραφή όσο και για την παρουσίαση της διπλωματικής εργασίας.

Θα ήθελα, επίσης, να ευχαριστήσω και να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου και στην οικογένειά μου, για την αμέριστη υποστήριξή της όλα αυτά τα πέντε χρόνια των σπουδών μου.

Τέλος, θα ήθελα να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ σε όσους, γνωστούς και φίλους, πίστεψαν σε μένα και με τον τρόπο τους με βοήθησαν.

Αφιέρωση,
στους γονείς μου, και
την αδελφή μου Χριστίνα

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	7
ABSTRACT	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	11
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
1.1. Ενεργειακός σχεδιασμός κτιρίων και ενεργειακή κατανάλωση.....	12
1.2. Ιστορική ανασκόπηση και καθιέρωση στη σημερινή εποχή.....	14
1.3. Συσχέτιση ενεργειακών απαιτήσεων και ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος.....	16
1.4. Παράμετροι Επίδρασης στην Ποιότητα Εσωτερικού Περιβάλλοντος	19
1.4.1. Παράγοντες επίδρασης προερχόμενοι από το εξωτερικό περιβάλλον	20
1.4.2. Παράγοντες επίδρασης προερχόμενοι από το εσωτερικό περιβάλλον	23
1.5. Ενεργειακό Ισοζύγιο Κτιρίου	26
1.5.1. Ενεργειακό Ισοζύγιο για περίοδο Θέρμανσης	26
1.5.2. Ενεργειακό Ισοζύγιο κατά τη περίοδο Ψύξης	27
1.6. Σύνδρομο άρρωστου κτιρίου-Sick Building Syndrome (SBS)	28
1.6.2. Συμπτώματα Άρρωστου Κτιρίου	29
1.6.3. Παράμετροι εμφάνισης συνδρόμου	31
1.6.3.1. Σύστημα εξαερισμού- ψύξης -θέρμανσης	31
1.6.3.2. Εσωτερικοί μολυσματικοί παράγοντες.....	32
1.6.3.3. Υπαίθριοι μολυσματικοί παράγοντες	32
1.6.3.4. Βιολογικοί μολυσματικοί παράγοντες.....	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	34
ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΑΕΡΑ.....	34
2.1. Εισαγωγή	35
2.2. Αέριοι Ρύποι στους Εσωτερικούς Χώρους	37
2.3. Αερισμός	44
2.4. Οδηγίες και κανονισμοί ποιότητας εσωτερικού αέρα	47
2.4.1 Οδηγίες και Πρότυπα Θερμικής Άνεσης	49
2.4.2. Οδηγίες και πρότυπα φωτισμού	59
2.4.3. Οδηγίες και πρότυπα ρύπων εσωτερικών χώρων.....	61
2.4.4. Οδηγίες CO ₂	69
2.4.5. Πρότυπα αερισμού κτιρίων	69

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	74
ΘΕΡΜΙΚΗ ΚΑΙ ΟΠΤΙΚΗ ΑΝΕΣΗ.....	74
3.1. Βασικές έννοιες Θερμικής Άνεσης	75
3.2. Βασικοί Παράγοντες επίδρασης θερμικής άνεσης.....	76
3.2.1 Περιβαλλοντικοί παράγοντες	78
3.2.1.1. Θερμοκρασία του αέρα	78
3.2.1.2. Σχετική υγρασία ατμοσφαιρικού αέρα.....	82
3.2.1.3. Μέση ακτινοβολούμενη θερμοκρασία	87
3.2.1.4. Ταχύτητα αέρα.....	88
3.2.2. Προσωπικοί Παράγοντες	89
3.2.2.1. Μεταβολικός Ρυθμός	89
3.2.2.2. Ένδυση-Βαθμός Ένδυσης.....	90
3.3. Ανθρώπινο Θερμικό Ισοζύγιο	92
3.4. Δείκτες Θερμικής Άνεσης	94
3.4.1. Δείκτης PMV-Predicted Mean Vote (Δείκτης της μέσης προβλεπόμενης τιμής ψηφοφορίας) και.....	94
Δείκτης PPD- Predicted Percent of Dissatisfied People (Δείκτης δυσαρέσκειας των ανθρώπων)	94
3.4.1.α. Δείκτης PMV-Predicted Mean Vote (Δείκτης της μέσης προβλεπόμενης τιμής ψηφοφορίας)	95
3.4.1.β. Δείκτης PPD- Predicted Percent of Dissatisfied People (Δείκτης δυσαρέσκειας των ανθρώπων).....	97
3.4.2 Δείκτης Humidex.....	99
3.4.3 Δείκτης Heat Index	99
3.4.4 Δείκτης Discomfort Index (DI).....	100
3.5 Οπτική Άνεση	100
3.6. Ακουστική Άνεση - Θόρυβος.....	103
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4:	106
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	106
4.1 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	107
4.2 ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	108
4.2.1 HD46 της DELTA OHM	108
4.2.2 HOBOR U12 Temp/RH/Light/External Data Logger.....	111
4.3 ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ	112
4.4 ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΝΕΣΗΣ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ.....	116

4.4.1 Δείκτης μέσης προβλεπόμενης τιμής ψηφοφορίας PMV	116
4.4.2 Δείκτης δυσaráσκείας των ανθρώπων PPD	117
4.4.3 Δείκτης Humidex.....	118
4.4.4 Δείκτης Heat Index	119
4.4.5 Δείκτης Discomfort Index (DI).....	120
4.5 Δείκτης εξωτερικού περιβάλλοντος.....	121
Δείκτης Wind Chill	121
Κεφάλαιο 5:	122
Παρουσίαση Αποτελεσμάτων.....	122
5.1. Αξιολόγηση Δεικτών Θερμικής Άνεσης	123
5.1.1 Δείκτης Θερμικής Άνεσης PMV	123
5.1.2 Δείκτης Θερμικής Άνεσης PPD.....	129
5.1.3 Δείκτης Θερμικής Άνεσης Humidex Index	134
5.1.4 Δείκτης Θερμικής Άνεσης Heat Index	140
5.1.5 Δείκτης Θερμικής Άνεσης Discomfort Index.....	147
5.2 Μετρήσεις Ποιότητας Αέρα- CO ₂	155
5.3 Μετρήσεις Οπτικής Άνεσης- Φωτισμού.....	161
5.4 Εξωτερικό περιβάλλον	168
5.5 Σύγκριση Δεικτών Θερμικής Άνεσης.....	169
Κεφάλαιο 6	174
Συμπεράσματα-	174
Μελλοντικές Προεκτάσεις.....	174
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	180
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	183

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος των κτιρίων και η ποιότητα του εσωτερικού αέρα αποτελούν, τη σημερινή εποχή, κύρια θέματα προς επίλυση, καθώς επηρεάζουν την υγεία του ανθρώπου σε πολύ μεγάλο βαθμό, αφού περνάει το μεγαλύτερο μέρος της μέρας του μέσα σε εσωτερικούς χώρους.

Αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η σύγκριση των δεικτών ποιότητας εσωτερικών χώρων με αυτούς του εξωτερικού περιβάλλοντος, ώστε να φανεί κατά πόσο οι τελευταίοι μπορούν να παρέχουν αξιόπιστα αποτελέσματα για την ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος των κτιρίων. Η μελέτη επικεντρώθηκε στους δείκτες θερμικής άνεσης, ενώ έδωσε και χρήσιμες πληροφορίες για το φωτισμό και τον αερισμό των υπό μελέτη κτιρίων. Επιλέχθηκε η εξέταση του συγκεκριμένου θέματος, καθώς οι δείκτες εξωτερικού περιβάλλοντος εξαρτώνται συνήθως από την θερμοκρασία και την υγρασία του αέρα, οι οποίοι αποτελούν τους πιο σημαντικούς παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος και εσωτερικού αέρα. Επιπλέον, θα ήταν χρήσιμο για τους μηχανικούς και τους μελετητές να μπορούν να εξάγουν αξιόπιστα αποτελέσματα, χωρίς να χρειάζονται δεδομένα για όλους τους παράγοντες, όπως συμβαίνει με τους δείκτες εσωτερικών χώρων PMV και PPD, που χρησιμοποιούνται κυρίως.

Για τη διεξαγωγή των αποτελεσμάτων εξετάστηκαν οι συνθήκες των αιθουσών K1.107, K1.112, K1.101, K2.108 και K2.114 των κτιρίων K1 και K2 αντίστοιχα, της σχολής Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης στα Χανιά. Οι δείκτες του εξωτερικού περιβάλλοντος που εξετάστηκαν είναι ο Humidex Index, ο Heat Index και ο Discomfort Index και συγκρίθηκαν με τα αποτελέσματα των δεικτών PMV και PPD, που θεωρούνται οι πιο αξιόπιστοι δείκτες εσωτερικού περιβάλλοντος, δεδομένου ότι χρησιμοποιούνται στα περισσότερα πρότυπα και οδηγίες. Για τον

υπολογισμό όλων των δεικτών πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις κατά την καλοκαιρινή περίοδο του έτους 2014.

Για τον προσδιορισμό των δεικτών χρησιμοποιήθηκε το υπολογιστικό φύλο excel, επειδή δεν υπήρχε ανάγκη για κάποιο άλλο πολυπλοκότερο πρόγραμμα, όπως φαίνεται και στο κεφάλαιο της Μεθοδολογίας. Από την παρούσα εργασία προκύπτει ότι ο δείκτης Discomfort Index πρωτίστως, αλλά και ο δείκτης Heat Index μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διεξαγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων, ενώ ο δείκτης Humidex Index είναι προτιμότερο να αποφεύγεται.

ABSTRACT

Nowadays, the quality of the indoor environment of buildings and indoor air quality are the main issues to be resolved, as they affect the human health to a great extent because of the fact that a person spends most of his day inside buildings.

The subject of this thesis is the comparison of indexes of indoor quality with those of the outside environment in order to observe whether the latter can provide reliable results for the quality of the indoor environment of buildings. The study focused on thermal comfort indices and gave useful information for lighting and ventilation of the studied buildings. Has been chosen to examine this issue, as the outdoor environment indexes usually depend on the temperature and air humidity, which are the most important factors affecting the quality of the indoor environment and indoor air. It would also be useful for engineers and researchers to export reliable results without the need for data on all factors, like the indoor indices PMV and PPD, which are mainly used.

In order to conduct results the condition of the rooms K1.107, K1.112, K1.101, K2.108 and K2.114 of the buildings K1 and K2 respectively, which belong to the Environmental Engineering School of the Technical University of Crete in Chania, were examined. The indices of the outside environment which were examined are the Humidex Index, the Heat Index and the Discomfort Index and they compared with the results of the PMV and PPD indices, which are considered the most reliable indoor environment indexes, as they used in most of the standards. The data for the calculation of all of the indexes, came from measurements which were made during the summer period of the year 2014.

The program which was used to identify the indexes was excel, as there was no need for another more complex program, as shown in the Methodology chapter.

The present thesis shows that the index Discomfort Index primarily, but also the index Heat Index can be used to conduct reliable results, while the index Humidex Index is better to avoid.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Ενεργειακός σχεδιασμός κτιρίων και ενεργειακή κατανάλωση

Το τέλος της προηγούμενης χιλιετίας χαρακτηρίστηκε από τη ραγδαία αύξηση του πληθυσμού στις πόλεις αλλά και την επέκταση και διόγκωση των αστικών κέντρων, τα οποία συγκέντρωναν το 50% του ανθρώπινου πληθυσμού. Αυτό, και σε συνδυασμό με τις ανθρώπινες δραστηριότητες, είχε ως αποτέλεσμα την εμφάνιση σοβαρών προβλημάτων, όχι μόνο δημογραφικών και κοινωνικών, αλλά και οικονομικών και περιβαλλοντικών. Φαινόμενα όπως αυτό του θερμοκηπίου, της όξινης βροχής, της αστικής νησίδας και χαράδρας, αλλά και προβλήματα όπως η υπερκατανάλωση των φυσικών πόρων, ιδίως της ενέργειας, η υψηλή ατμοσφαιρική ρύπανση και θερμοκρασία, η ηχορύπανση, η τεράστια ποσότητα αστικών αποβλήτων, όχι μόνο δημιουργήθηκαν αλλά και διογκώθηκαν.

Είναι γεγονός αναμφισβήτητο ότι οι ανθρώπινες δραστηριότητες και η κοινωνική ευημερία είναι στενά συνδεδεμένες με την παραγωγή και κατανάλωση ενέργειας. Η ανάπτυξη του βιοτικού επιπέδου βασιζόταν στην αλόγιστη χρήση φθινών ενεργειακών, μη ανανεώσιμων φυσικών πόρων, ενώ οι απαιτήσεις σε ενέργεια συνεχώς αυξανόταν. Ο συνδυασμός αυτός γρήγορα εμφάνισε προβλήματα, αφενός μεν σχετικά με τη διαθεσιμότητα των φυσικών πόρων αφετέρου δε και με την ισορροπία του περιβάλλοντος.

Τη δεκαετία του '70 έλαβαν χώρα δύο πετρελαϊκές κρίσεις. Οι κρίσεις αυτές αφύπνισαν τόσο την επιστημονική κοινότητα όσο και ορισμένες πολιτικές ηγεσίες με σκοπό την προστασία του περιβάλλοντος και την εξοικονόμηση φυσικών πόρων. Έτσι ξεκίνησε η προσπάθεια μείωσης της ενέργειας που καταναλώνουν τα κτίρια, δεδομένου ότι ο κτιριακός τομέας αποτελεί το βασικότερο χρήστη ενέργειας και παράλληλα από τις κύριες πηγές εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα. Τα μέτρα, όμως,

που εφαρμόστηκαν τότε, μείωσαν μεν την καταναλισκόμενη ενέργεια των κτιρίων οδήγησαν δε στην υποβάθμιση του εσωτερικού τους περιβάλλοντος. Έπρεπε, λοιπόν, να αντιμετωπιστούν τα νέα προβλήματα που εμφανίστηκαν, όπως ο ανεπαρκής αερισμός των εσωτερικών χώρων, η υψηλή συγκέντρωση ρύπων στο εσωτερικό περιβάλλον και η επικράτηση δυσμενών συνθηκών διαβίωσης στους χώρους κατοικίας και εργασίας. Κατέστη λοιπόν απαραίτητος ένας νέος σχεδιασμός των κτιρίων, λειτουργικός και συγχρόνως φιλικός προς το περιβάλλον, με παράλληλη μείωση των ενεργειακών τους αναγκών για την όσο το δυνατό μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν προς την κατεύθυνση αυτή, της βελτίωσης της ενεργειακής συμπεριφοράς των κτιρίων, απετέλεσαν τη βάση των αρχών που διέπουν τον ενεργειακό ή βιοκλιματικό σχεδιασμό των κτιρίων. Με βάση τα παραπάνω και σε συνδυασμό με τις υπάρχουσες μελέτες, που καταδεικνύουν τον κτιριακό τομέα της Ευρώπης ως υπεύθυνο για την κατανάλωση του 40% των συνολικών ποσών ενέργειας, γίνεται φανερό γιατί η Ευρωπαϊκή Ένωση θεωρεί αναγκαίο το βιοκλιματικό σχεδιασμό των κτιρίων και την εφαρμογή συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε αυτά.

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί το οικονομικό κόστος που απορρέει από τη μη σωστή διαχείριση της ενέργειας και την αλόγιστη κατανάλωσή της. Τόσο οι πολίτες όσο και οι χώρες πληρώνουν δυσβάσταχτα ποσά για τις ενεργειακές υπηρεσίες. Σε παγκόσμιο επίπεδο επικρατεί μια διαρκής αναταραχή στον τομέα της ενέργειας, οι τιμές της είναι υψηλές και οι εισαγωγές ενέργειας, όχι μόνον ευθύνονται για το εξωτερικό χρέος αρκετών χωρών, αλλά δημιουργούν και μια συνεχώς αυξανόμενη εξάρτηση, με πιθανές κάποιες γεωπολιτικές επιπτώσεις από αυτήν την ενεργειακή εξάρτηση. Στις αναπτυσσόμενες χώρες οι πολίτες ξοδεύουν πάνω από το 12% του εισοδήματός τους για τις ενεργειακές υπηρεσίες, ενώ υπάρχουν εκτιμήσεις

ότι η παγκόσμια κοινότητα θα δαπανήσει πάνω από 2 τρισεκατομμύρια δολάρια τα επόμενα 30 χρόνια προκειμένου να καλύψει τις ενεργειακές της ανάγκες.

Από τα παραπάνω γίνεται εύκολα κατανοητή η ανάγκη εξοικονόμησης ενέργειας στον κτιριακό τομέα. Ο σχεδιασμός του πρέπει να αποβλέπει στην επίτευξη ικανοποιητικών συνθηκών διαβίωσης στο εσωτερικό των κτιρίων αλλά και στην ταυτόχρονη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Το μέγεθος του οικονομικού και περιβαλλοντικού οφέλους που θα προκύψει από τη βελτίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς των κτιρίων θα φανεί καλύτερα μακροπρόθεσμα, μιας και απαιτείται χρόνος για να μεταβληθεί το κτιριακό απόθεμα.

1.2. Ιστορική ανασκόπηση και καθιέρωση στη σημερινή εποχή

Ο άνθρωπος, σε βάθος χρόνου χιλιάδων ετών, εξέλιξε διάφορες λύσεις κατασκευής κτιρίων, λαμβάνοντας υπόψη τις τοπικές κλιματικές συνθήκες, τα διαθέσιμα κάθε φορά κατασκευαστικά υλικά και τις πρώτες ύλες, καθώς και διάφορες πολιτισμικές και πολιτιστικές παραμέτρους, με σκοπό να πετύχει συνθήκες άνεσης στους ενοίκους τους, ανεξάρτητα από τις επικρατούσες εξωτερικές συνθήκες.

Η κατασκευή των κτιρίων, είτε χρησιμοποιούνται ως χώροι διαβίωσης είτε ως χώροι εργασίας, στοχεύει στο να υποβοηθήσει την ανθρώπινη δραστηριότητα, καθώς και να παρέχει προστασία από τις εξωτερικές καιρικές συνθήκες.

Μετά το 2ο Παγκόσμιο πόλεμο και ειδικότερα μετά την πετρελαϊκή κρίση του 1973, παρατηρήθηκε μαζική συσσώρευση και αστικοποίηση στα μεγάλα αστικά κέντρα. Η οικοδόμηση στις αστικές περιοχές ήταν σε μεγάλη έξαρση, αλλά, κατά το σχεδιασμό των κτιρίων δεν λαμβανόταν σοβαρά υπόψη η προστασία του περιβάλλοντος και η εξοικονόμηση ενέργειας. Άρχισαν, λοιπόν, να δημιουργούνται τα πρώτα διλλήματα σχετικά με την εξοικονόμηση ενέργειας και την εξάντληση των πλουτοπαραγωγικών πόρων της γης. Η αλόγιστη σπατάλη των καυσίμων και

ειδικότερα του πετρελαίου οδήγησε στην ενεργειακή κρίση του 1974, ενώ παράλληλα, οι φωνές της επιστημονικής κοινότητας άρχισαν να πληθαίνουν, σχετικά με την προσεκτικότερη και καλύτερη διαχείριση των ενεργειακών αποθεμάτων, προς αποφυγή μελλοντικών ελλείψεων. Ο καλαίσθητος και εντυπωσιακός σχεδιασμός, καθώς και η λειτουργικότητα των χώρων σε ένα κτίριο, που μέχρι τότε ήταν οι κύριες παράμετροι στο σχεδιασμό του, αναθεωρήθηκαν και σαν κύριοι στόχοι τέθηκαν η επίτευξη της ελάττωσης των ενεργειακών απαιτήσεων και καταναλώσεων στα νέα κτίρια.

Οι ενέργειες που ακολούθησαν αποσκοπούσαν στην ελάττωση της καταναλισκόμενης ενέργειας και βασίστηκαν αφενός στις προϋπάρχουσες γνώσεις και αφετέρου στην επιλογή νέων υλικών. Μέχρι τότε, το κόστος θέρμανσης και ψύξης του φρέσκου αέρα που εισερχόταν στο εσωτερικό των κτιρίων ήταν υψηλό. Κρίθηκε, λοιπόν, αναγκαίο, ως πρώτο βήμα εξοικονόμησης ενέργειας, η μείωση του ρυθμού ανανέωσης φρέσκου αέρα στο χώρο, με την κατασκευή κτιρίων που αερίζονταν μηχανικά. Ο συνδυασμός τεχνογνωσίας και επιτευγμάτων της τεχνολογίας συνετέλεσαν στη εφαρμογή πιο πολύπλοκων τεχνικών, κυρίως στα ηλεκτρολογικά συστήματα, (καθυστερημένη έναρξη ή πρόωρη λήξη λειτουργίας των μηχανημάτων ψύξης, θέρμανσης και αερισμού κατά τη διάρκεια της ημέρας) και στην εισαγωγή μηχανικών συστημάτων μεταβλητής παροχής όγκου αέρα, περισσότερο αποδοτικών ενεργειακά. Τα συστήματα αυτά, όταν λειτουργούν υπό μερικό φορτίο, μειώνεται η παροχή αέρα μέσω του συστήματος διανομής του. Παράλληλα, αυξήθηκε η στεγανότητα των νεόδμητων κτιρίων προκειμένου να είναι ενεργειακά αποδοτικότερα.

Στα τέλη της δεκαετίας του '80, οι παραπάνω εφαρμογές και παρεμβάσεις στην κατασκευή των κτιρίων συνέβαλαν τα πλείστα σε πολύ σημαντικές μειώσεις ενέργειας για τη λειτουργία τους. Παράλληλα, όμως, έφεραν στην επιφάνεια ένα άλλο

σοβαρό πρόβλημα, ήδη γνωστό, αλλά ήσσονος σημασίας, από τα τέλη της δεκαετίας του '60, αυτό της υποβάθμισης της ποιότητας του εσωτερικού αέρα και στην παράλληλη μεγάλη μείωση της θερμικής άνεσης στο εσωτερικό των κτιρίων.

Το εσωκλίμα των κτιρίων συνδέθηκε άμεσα με την εμφάνιση ασθενειών και προβλημάτων υγείας στους ενοίκους και χρήστες των κτιρίων. Το 1984, ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας, λαμβάνοντας υπόψη διάφορες μελέτες, προέβλεψε ότι το 30% των νεόδμητων, εκείνης της εποχής, κτιρίων θα τύχουν καταγγελιών από τους χρήστες τους, για την εμφάνιση πλήθους συνδρόμων και ασθενειών, που σχετίζονται με τη λειτουργία των κτιρίων, πρόβλεψη, η οποία επιβεβαιώθηκε τη δεκαετία του '90. (WHO, 1984). Γνωστότερο όλων είναι το Σύνδρομο του Άρρωστου Κτιρίου (Sick Building Syndrome).

Το αποτέλεσμα των παραπάνω, ήταν να γίνουν παγκοσμίως αποδεκτές από την πανεπιστημιακή κοινότητα επεμβάσεις στον κτιριακό τομέα, τέτοιες ώστε, να εξασφαλίζονται συνθήκες θερμικής άνεσης στον εσωτερικό χώρο, με σωστή συμπεριφορά του κτιρίου κατά τη διάρκεια όλου του έτους, κάνοντας ταυτόχρονα ορθολογική χρήση της ενέργειας. Με αυτόν τον τρόπο, εκτός από την ελάττωση της καταναλισκόμενης ενέργειας, παράλληλα βελτιώνεται το εσωκλίμα του κτιρίου και διασφαλίζεται η ποιότητα του εσωτερικού αέρα και η θερμική άνεση εντός των κτιρίων, για ένα υγιεινό και ευχάριστο περιβάλλον εργασίας και κατοίκησης.

1.3. Συσχέτιση ενεργειακών απαιτήσεων και ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος.

Σύμφωνα με τους P. Borer και C. Harris (Borer & Harris, 1998) θερμική άνεση είναι η αίσθηση της απόλυτης φυσικής και πνευματικής ευημερίας. Είναι αναφαίρετο δικαίωμα όλων όσων ζουν και δραστηριοποιούνται σε ένα κτίριο, δημόσιο (σχολείο, νοσοκομείο, αθλητικό κέντρο, αίθουσα εστίασης κτλ) ή ιδιωτικό (κατοικία, εργασιακός

χώρος), η επίτευξη συνθηκών άνεσης και ενός ικανοποιητικού επιπέδου ποιότητας εσωτερικού αέρα.

Η εξασφάλιση, όμως, αυτών των συνθηκών είναι άμεσα συνδεδεμένη με την κατανάλωση ενέργειας.

Μια σημαντική παράμετρος που χαρακτηρίζει το εσωτερικό περιβάλλον ενός κτιρίου είναι η εσωτερική ατμοσφαιρική ποιότητα, η οποία σχετίζεται με την υγεία των ανθρώπων και εξασφαλίζεται κυρίως με τον αερισμό των χώρων. Με τον αερισμό διασφαλίζονται υψηλά ποιοτικά επίπεδα του εσωτερικού των κτιρίων. Ο εισερχόμενος καθαρός σε ένα χώρο αέρας, όχι μόνο εξασφαλίζει στον άνθρωπο και τα λοιπά έμβια όντα (φυτά, κατοικίδια ζώα) το απαραίτητο για τις μεταβολικές τους λειτουργίες οξυγόνο, αλλά, παρέχει οξυγόνο για τη θέρμανση και την ψύξη των εσωτερικών χώρων και, με τη μείωση της συγκέντρωσης ή την απομάκρυνση των εσωτερικών ρύπων, συμβάλλει στη διατήρηση της ποιότητας του αέρα. Μάλιστα, όσο μεγαλύτερος είναι ο ρυθμός αερισμού, τόσο μεγαλύτερη είναι η απομάκρυνση των ρύπων.

Η παραπάνω σχέση αερισμού και συγκέντρωσης ρύπων στο εσωτερικό ενός χώρου συνδέεται και με την κατανάλωση ενέργειας, δεδομένου ότι το μηχανικό σύστημα θέρμανσης, ψύξης και αερισμού θα πρέπει να λειτουργήσει περισσότερο, προκειμένου να διασφαλιστούν οι επιθυμητές τιμές θερμοκρασίας και υγρασίας και να επιτευχθούν επίπεδα θερμικής άνεσης. Υπάρχει, επομένως, αλληλεπίδραση της ποιότητας του εσωτερικού αέρα και της ενέργειας που καταναλώνεται. Ο Orme, το 2001, (Orme, 2001) αναφέρει ότι, σε έρευνα που έγινε σε μη βιομηχανικά κτίρια 13 χωρών, η συνολική ετήσια απώλεια θερμικής ενέργειας λόγω του αερισμού αντιπροσωπεύει το 48% της διανεμόμενης ενέργειας κλιματισμού. Έρευνες που ακολούθησαν σε Ευρωπαϊκό και διεθνές επίπεδο, κατέδειξαν το μέγεθος του

προβλήματος. Για παράδειγμα, η αγορά θέρμανσης, ψύξης και αερισμού στην Ευρώπη κοστολογείται στα 8000 εκατομμύρια ευρώ, ενώ στις Ηνωμένες πολιτείες οι ενεργειακές απαιτήσεις των κτιρίων με εγκατεστημένα συστήματα ψύξης, θέρμανσης και αερισμού είναι της τάξεως των 250 TWh το χρόνο. Σύμφωνα με τα σημερινά πρότυπα και οδηγίες υπάρχει ένα ελάχιστο επιτρεπόμενο όριο του ρυθμού αερισμού. Νεότερες μελέτες έδειξαν ότι αύξηση του ρυθμού αερισμού, όχι μόνο βελτιώνει τον δείκτη άνεσης και ωφελεί την υγεία των εργαζόμενων, αλλά αυξάνει συγχρόνως και την παραγωγικότητα των ατόμων. Κάτι τέτοιο, όμως, όπως είναι φυσικό, συνεπάγεται μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας. Οι σημερινοί ισχύοντες κανονισμοί αποδέχονται ως ικανοποιητικά τα επίπεδα της ποιότητας του εσωτερικού αέρα αν το ποσοστό των διαμαρτυρόμενων ατόμων δεν ξεπερνά το 20% του συνόλου των ατόμων στο χώρο. Για να μειωθεί το ποσοστό αυτό κάτω από 1%, θα πρέπει να βελτιωθεί η ποιότητα του εσωτερικού αέρα τουλάχιστον κατά 20 φορές, προσπάθεια με υπερβολικό κόστος και ενεργειακή κατανάλωση, δεδομένου ότι απαιτείται τεράστια αύξηση του ρυθμού αερισμού. Στο πλαίσιο του προγράμματος European TIP-Vent, υπολογίστηκε ότι, σε μια περιοχή με κλίμα σαν αυτό του Βελγίου, σε ένα μικρό κτίριο με γραφεία, μια αλλαγή του ρυθμού αερισμού της τάξεως από 1l/s.m² σε 5l/s.m², είναι ικανή να επιφέρει αύξηση της ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας, για τη θέρμανση, ψύξη και λειτουργία των ανεμιστήρων, έως και τρεις φορές (Προβατά, 2012). Παρά, όμως, το οικονομικό και ενεργειακό κόστος, ο αερισμός αποτελεί βασικό στοιχείο του σχεδιασμού των κτιρίων, δεδομένου ότι τις περισσότερες φορές είναι ο μόνος τρόπος για να αντιμετωπιστεί η ρύπανση του εσωτερικού αέρα των κτιρίων. Προκειμένου να ελεγχθεί η συγκέντρωση των ρύπων στο εσωτερικό περιβάλλον ακολουθούνται με τη σειρά τρία βασικά βήματα:

- απομάκρυνση των πηγών εκπομπής των ρύπων

- τοπικός εξαερισμός
- αερισμός

Είναι γνωστό ότι η κύρια πηγή εκπομπής ρύπων στο εσωτερικό περιβάλλον ενός κτιρίου είναι οι ίδιοι οι χρήστες του. Επιπλέον, τις περισσότερες των περιπτώσεων, ο τοπικός εξαερισμός, τόσο λειτουργικά όσο και σχεδιαστικά, είναι αδύνατος. Επομένως, η μόνη επιλογή, για τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα, είναι ο αερισμός. Από τα παραπάνω, συμπεραίνει κανείς την αναγκαιότητα ύπαρξης του αερισμού σε ένα χώρο, παρά την υψηλή ενεργειακή του απαίτηση.

1.4. Παράμετροι Επίδρασης στην Ποιότητα Εσωτερικού Περιβάλλοντος

Ο σύγχρονος άνθρωπος περνά όλο και περισσότερο χρόνο σε εσωτερικούς χώρους, είτε πρόκειται για την κατοικία του, είτε για το χώρο εργασίας του, είτε για επισκέψιμους χώρους (μουσεία), είτε για τα μέσα μεταφοράς που χρησιμοποιεί. Είναι λογικό, λοιπόν, να αυξηθεί το ενδιαφέρον του για τον έλεγχο της ποιότητας του αέρα των εσωτερικών χώρων, η οποία επηρεάζεται, τόσο από την ποιότητα του αέρα που περιβάλλει εξωτερικά το κτίριο, όσο και από τους ρύπους που εκπέμπονται από το εσωτερικό περιβάλλον του. Μελέτες που έγιναν σε διάφορους εσωτερικούς χώρους κατέδειξαν ότι η ποιότητα του αέρα σε αυτούς μπορεί να έχει περισσότερη ρύπανση από ότι έξω από τα κτίρια (Drakou, et al., 2000). Ο λόγος είναι ότι οι ρύποι, που επηρεάζουν την ποιότητα του εσωτερικού αέρα ενός κτιρίου, μπορούν να προέρχονται είτε από το εξωτερικό περιβάλλον και αποτελούν ρύπους οι οποίοι εισέρχονται στο εσωτερικό του κτιρίου κυρίως μέσω του μηχανισμού του αερισμού, είτε από το εσωτερικό περιβάλλον του κτιρίου και οφείλονται στα νέα συνθετικά υλικά κατασκευής, στα υλικά για καθαρισμό και συντήρηση του χώρου, στα υλικά επιπλώσεων, τη λειτουργία ηλεκτρονικών συσκευών κ.λπ.. Λόγω της ανάγκης

εξοικονόμησης ενέργειας, τα κτίρια κατασκευάζονται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να μειώνεται η δυνατότητα φυσικού αερισμού και να ελαχιστοποιούνται οι θερμικές απώλειες προς το περιβάλλον. Τα δομικά υλικά που χρησιμοποιούνται είναι προϊόντα επεξεργασίας και βιομηχανοποίησης, με αποτέλεσμα την αύξηση των εκπεμπόμενων από αυτά ρύπων. Αρκετά υψηλές συγκεντρώσεις αυτών των ρύπων μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα στην υγεία των χρηστών του κτιρίου, προκαλώντας συμπτώματα ή ασθένειες, φαινόμενο γνωστό και ως σύνδρομο του «άρρωστου κτιρίου» (Synnefa, et al., 2003).

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι, λόγω του διαφορετικού σχεδιασμού, αλλά και των διαφορετικών οικοδομικών υλικών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του κάθε κτιρίου, δεν συναντώνται πάντα οι ίδιες τιμές συγκεντρώσεων των ρύπων αλλά διαφέρουν αρκετά από κτίριο σε κτίριο.

Στις επόμενες δύο ενότητες ακολουθεί ο διαχωρισμός των προαναφερθέντων ρύπων.

1.4.1. Παράγοντες επίδρασης προερχόμενοι από το εξωτερικό περιβάλλον

Στις μεγάλες πόλεις παρατηρείται αύξηση των εκπομπών ρύπων από τις ανθρώπινες δραστηριότητες, δεδομένου ότι εκεί είναι συσσωρευμένες οι περισσότερες ενεργοβόρες δραστηριότητες των ανθρώπων. Λόγω, λοιπόν, του προβλήματος της ρύπανσης του ατμοσφαιρικού αέρα που υπάρχει, υποβαθμίζεται η ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος, καθώς μέσω του αερισμού των κτιρίων, είτε αυτός είναι φυσικός είτε μηχανικός, εισάγεται ρυπασμένος αέρας στο εσωτερικό του κτιρίου. Οι κυριότερες πηγές ρύπανσης από το εξωτερικό περιβάλλον είναι:

I. Βιομηχανικές εκπομπές

Τις τελευταίες δεκαετίες παρατηρήθηκε ιδιαίτερη ανάπτυξη της βιομηχανικής δραστηριότητας και αύξηση στη χρήση των μηχανών καύσεως με αποτέλεσμα την έμφαση των βιομηχανικών εκπομπών στην ατμόσφαιρα. Οι εκπομπές αυτές, είτε είναι τοπικές είτε προέρχονται από κάπου μακρύτερα, ευθύνονται σε μεγάλο βαθμό για τις υψηλές συγκεντρώσεις ρύπων στην ατμόσφαιρα. Τέτοιοι ρύποι είναι τα διοξείδια του αζώτου, το μονοξείδιο του άνθρακα, το όζον, ο καπνός, ο μόλυβδος, οι πτητικές οργανικές ενώσεις κ.ά.

Οι ρύποι αυτοί εισέρχονται μέσα στο κτίριο μέσω του μηχανισμού αερισμού, είτε αυτός γίνεται με φυσικό τρόπο (άνοιγμα παραθύρων), είτε γίνεται μέσω των μηχανικών συστημάτων αερισμού.

Σε αστικά κέντρα, με μεγάλες συγκεντρώσεις βιομηχανικών ρύπων στην ατμόσφαιρα, το πρόβλημα γίνεται εντονότερο όταν συνδυάζονται με το φαινόμενο των θερμικών νησίδων αλλά και της διανομής ροής αέρα γύρω από τα κτίρια.

II. Ρύπανση λόγω κίνησης οχημάτων

Η ρύπανση λόγω της κίνησης των οχημάτων αποτελεί μια από τις κύριες πηγές ρύπανσης του εσωτερικού ενός κτιρίου από εξωτερικό παράγοντα. Οι συγκεντρώσεις των ρύπων που προέρχονται από αυτήν την πηγή αυξάνονται στα αστικά κέντρα και ειδικότερα στις μεγαλουπόλεις, όπου το πρόβλημα της κυκλοφοριακής συμφόρησης είναι εντονότερο. Τέτοιοι ρύποι είναι τα οξείδια του αζώτου, τα μονοξείδια και διοξείδια του άνθρακα, τα αιωρούμενα σωματίδια, ο μόλυβδος κλπ.

III. Κοντινές πηγές εκπομπής ρύπων

Με τον όρο «κοντινές πηγές εκπομπής ρύπων» εννοούνται πηγές ρύπανσης από την καύση απορριμμάτων ή και από εκπομπές συστημάτων αερισμού άλλων κτιρίων που βρίσκονται κοντά στο υπό μελέτη κτίριο.

IV. Από το έδαφος

Πρόκειται για ρύπους που προέρχονται από κοντινές στο κτίριο πηγές ρύπων που είναι σκεπασμένες με χώμα. Ο κύριος ρύπος που προέρχεται από το έδαφος είναι το ραδόνιο, το οποίο εμφανίζεται στη φύση ως ραδιενεργό αέριο. Είναι ένα αόρατο και άγευστο ευγενές αέριο, που δεν ανιχνεύεται από τις ανθρώπινες αισθήσεις. Συσσωρεύεται σε χώρους που εφάπτονται με το έδαφος και δεν αερίζονται επαρκώς και ενοχοποιείται ακόμα και για καρκινογενέσεις. Άλλους τέτοιους ρύπους αποτελούν το μεθάνιο, που προέρχεται από τις διεργασίες της οργανικής αποσύνθεσης, αλλά και η υγρασία.

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί η ιδιαίτερη σημασία του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας (urban heat island effect), ιδίως κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, στη δημιουργία ρύπων. Το φαινόμενο αυτό συνίσταται στη διαφορά θερμοκρασίας, έως και 10° C υψηλότερες, που παρατηρείται μεταξύ των αστικών περιοχών και των κοντινών τους περιαστικών ή αγροτικών περιοχών. Το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας θεωρείται συνήθως υπεύθυνο για τη δημιουργία φωτοχημικών ρύπων αλλά και στη δημιουργία αιθαλομίχλης και στην αύξηση των επιπέδων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

1.4.2. Παράγοντες επίδρασης προερχόμενοι από το εσωτερικό περιβάλλον

Τα κτίρια, είτε εξυπηρετούν ως χώροι διαβίωσης είτε ως χώροι εργασίας, έχουν ως στόχο να βοηθήσουν την ανθρώπινη δραστηριότητα. Για το λόγο αυτό, η ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα στο εσωτερικό των κτιρίων είναι πολύ σημαντική και πολύ στενά συνδεδεμένη με την άνεση και την υγεία των ανθρώπων που τα χρησιμοποιούν.

Αν και δεν είναι ευρέως γνωστό και κατανοητό, η χρήση και το περιεχόμενο ενός κτιρίου ευθύνονται για τα υψηλά επίπεδα συγκέντρωσης ρύπων στο εσωτερικό του. Τα οικοδομικά υλικά, τα έπιπλα, οι διαλύτες και τα χρώματα εκπέμπουν συνεχώς ρύπους ενώ το κάπνισμα, η χρήση προϊόντων καθαρισμού κλπ εκπέμπουν σταδιακά. Ακόμα και οι βιολογικές λειτουργίες των οργανισμών και των χρηστών του κτιρίου, καθώς επίσης και οι δραστηριότητες των τελευταίων, επηρεάζουν την ποιότητα του περιβάλλοντος του κτιρίου (Synnefa, et al., 2003). Οι κυριότερες κατηγορίες πηγών ρύπανσης από το εσωτερικό περιβάλλον είναι:

I. Ανθρώπινος και Ζωικός μεταβολισμός

Όπως είναι γνωστό ο ανθρώπινος αλλά και κάθε ζωικός οργανισμός εκτελεί ένα μεγάλο αριθμό λειτουργιών προκειμένου να καλύψει τις ανάγκες του. Μία από αυτές είναι και η αναπνοή κατά την οποία καταναλώνει οξυγόνο και παράγει CO₂, το οποίο απελευθερώνει στο περιβάλλον. Από το μεταβολισμό, είτε τον ανθρώπινο είτε το ζωικό, έχει αποδειχθεί ότι εκτός από CO₂ παράγονται και πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs). Είναι σημαντικό, όμως, να αναφερθεί ότι οι ενώσεις αυτές προκαλούν προβλήματα υγείας μόνο όταν υπάρχουν σε υψηλές συγκεντρώσεις ρύπων, ενώ σε χαμηλές συγκεντρώσεις μπορεί να επηρεάσουν την ποιότητα του εσωτερικού αέρα.

II. Δραστηριότητες χρηστών

Η ποιότητα του αέρα ενός κτιρίου επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τις δραστηριότητες των χρηστών και τον τρόπο λειτουργίας του χώρου. Το κάπνισμα, το οποίο ευθύνεται για τη συγκέντρωση πολλών αερίων ρύπων στο χώρο, το μαγείρεμα, με την παραγωγή υδρατμών και οσμών, ή η χρήση εντομοκτόνων και απορρυπαντικών, για τον καθαρισμό του, είναι μερικές από τις ενέργειες και δραστηριότητες των ανθρώπων, που λαμβάνουν χώρα σε ένα χώρο για κάποιο μικρό ή μεγάλο χρονικό διάστημα, και έχουν άμεσες επιπτώσεις στην ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος του κτιρίου, καθώς συμβάλλουν στην αύξηση της συγκέντρωσης των διαφόρων ρύπων.

III. Οικοδομικά υλικά και εξοπλισμός

Τόσο τα οικοδομικά υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή ενός κτιρίου όσο και ο εξοπλισμός που υπάρχει, για να εξυπηρετήσει τις ανάγκες των ανθρώπων, αποτελούν σημαντικές πηγές ρύπων. Τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί ότι ορισμένα οικοδομικά υλικά, λόγω της σύστασής τους αλλά και των τεχνολογιών που χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή τους, ευθύνονται για τη δημιουργία τοξικών και οικοτοξικών ρύπων, καθώς και για μεταβολές στο περιβάλλον που οφείλονται στη χημική ρύπανση. Αναφορικά με τον εξοπλισμό του κτιρίου, χρώματα, βερνίκια, αντικείμενα από PVC, πατώματα, χαλιά, έπιπλα, λόγω της σύνθεσής τους, εκπέμπουν ρύπους ικανούς να ρυθμίσουν σε μεγάλο βαθμό τα επίπεδα της εσωτερικής ρύπανσης. Επιπλέον, μηχανήματα που χρησιμοποιούνται σχεδόν σε καθημερινή βάση, όπως κινητά τηλέφωνα, ηλεκτρικές οικιακές συσκευές, εκτυπωτές, φωτοτυπικά, φαξ και υπολογιστές εκπέμπουν ρύπους, η συγκέντρωση των οποίων εξαρτάται από τη συχνότητα χρήσης τους. Τέλος, ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται στους ρύπους που παράγονται από το φυσικό αέριο, που είναι κυρίως

οξείδια του άνθρακα και του αζώτου (μονοξείδιο και διοξείδιο αντίστοιχα) καθώς και μοριακά υπολείμματα.

Σήμερα, μετά από πολλές μακροχρόνιες μελέτες και καταγραφές της επίδρασης υψηλών συγκεντρώσεων τέτοιων ρύπων στην υγεία των χρηστών των κτιρίων, έχουν θεσπιστεί αυστηρά μέτρα, που αφορούν την κατασκευή των κτιρίων και των υλικών που χρησιμοποιούνται, που είναι, κατά προτίμηση, υλικά χαμηλής εκπομπής και αποσκοπούν, τόσο στη διατήρηση της ποιότητας του εσωτερικού αέρα, όσο και στην εξοικονόμηση ενέργειας.

IV. Συστήματα κλιματισμού, θέρμανσης και αερισμού

Η χρήση των συστημάτων θέρμανσης, ψύξης και αερισμού σκοπεύει στην κάλυψη των επιβαρύνσεων που δημιουργούνται από τις απαιτήσεις των ανθρώπων εντός των κτιρίων. Ο όρος HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning Systems) χρησιμοποιείται για να περιγράψει τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται για τη θέρμανση, την ψύξη και τον αερισμό του κτιρίου, ώστε να διατηρούνται οι συνθήκες θερμικής άνεσης σ' αυτό. Τα συστήματα Ψύξης, Θέρμανσης και Αερισμού, σχεδιάζονται πλέον κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να απομονώνουν και να αφαιρούν τυχόν ρυπογόνους παράγοντες και οσμές από το εσωτερικό περιβάλλον του κτιρίου. Αυτό το επιτυγχάνουν μέσω του ελέγχου πίεσης και του φιλτραρίσματος του αέρα.

Δε χρησιμοποιούνται, όμως, σε όλα τα κτίρια τα τελευταίας τεχνολογίας συστήματα HVAC και έτσι, αρκετές φορές, τα συστήματα αυτά, αντί να βοηθούν στη μείωση της ρύπανσης του εσωτερικού αέρα την αυξάνουν, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει στην εμφάνιση προβλημάτων στην υγεία των χρηστών του κτιρίου.

1.5. Ενεργειακό Ισοζύγιο Κτιρίου

Ένα κτίριο μοιάζει με έναν πολύπλοκο οργανισμό που λειτουργεί απαιτώντας ενέργεια, μετατρέποντας και καταναλώνοντας ενέργεια και απορρίπτοντας τα παράγωγα αυτών των διεργασιών.

Όπως είναι ευρέως γνωστό από το θερμοδυναμικό νόμο, η ροή θερμότητας έχει κατεύθυνση από υψηλό δυναμικό σε χαμηλότερο. Στην περίπτωση της θερμοκρασίας, κάθε περιοχή, χώρος ή αντικείμενο με υψηλή θερμοκρασία έχει την τάση να μεταφέρει θερμότητα σε περιοχή, χώρο ή αντικείμενο χαμηλότερης θερμοκρασίας.

Στην περίπτωση των κτιρίων, το ενεργειακό ισοζύγιο προσδιορίζεται από τη ροή θερμότητας από και προς το εσωτερικό του, αλλά και από την παραγωγή και απορρόφηση θερμότητας που συντελείται στο εσωτερικό του. Πιο συγκεκριμένα, το καλοκαίρι οι τιμές της εξωτερικής θερμοκρασίας είναι υψηλότερες από την εσωτερική, με αποτέλεσμα την εισροή θερμότητας στο κτίριο, εν αντιθέσει με το χειμώνα που η ροή θερμότητας έχει κατεύθυνση από το υψηλότερης θερμοκρασίας εσωτερικό προς το ψυχρό εξωτερικό περιβάλλον. Δημιουργούνται με αυτό τον τρόπο δύο ξεχωριστά ενεργειακά ισοζύγια, ένα για την περίοδο θέρμανσης του κτιρίου (χειμώνας) και ένα για την περίοδο ψύξης (καλοκαίρι).

Το ενεργειακό ισοζύγιο χαρακτηρίζεται και στις δύο περιπτώσεις από τις θερμικές ροές προς και από το χώρο οι οποίες διακρίνονται σε θερμικά κέρδη ή εισροές και σε θερμικές απώλειες ή εκροές. Οι αναλυτικές εξισώσεις για τις δύο περιπτώσεις παρουσιάζονται στη συνέχεια.

1.5.1. Ενεργειακό Ισοζύγιο για περίοδο Θέρμανσης

Η μαθηματική σχέση που εκφράζει το ισοζύγιο είναι η ακόλουθη :

$$Q_h + Q_i + Q_s = Q_T + Q_V \text{ (Εξίσωση 1.1)}$$

Όπου:

Q_h : το ποσό της ενέργειας που καταναλώνεται από το σύστημα θέρμανσης και παραγωγής ζεστού νερού χρήσης [J]

Q_i : τα εσωτερικά θερμικά κέρδη από ηλεκτρικές / ηλεκτρονικές συσκευές, φωτισμό, ανθρώπους και κατοικίδια ζώα [J]

Q_s : τα ηλιακά θερμικά κέρδη από ανοίγματα και παθητικά ηλιακά συστήματα [J]

Q_T : οι θερμικές απώλειες λόγω μετάδοσης της θερμότητας με αγωγιμότητα και ακτινοβολία, μέσα από το κέλυφος και τα ανοίγματα του κτιρίου [J]

Q_V : οι θερμικές απώλειες λόγω μηχανικού και φυσικού αερισμού και διαφυγών αέρα από τις χαραμάδες [J]

1.5.2. Ενεργειακό Ισοζύγιο κατά τη περίοδο Ψύξης

Η αντίστοιχη μαθηματική έκφραση για αυτήν την περίπτωση είναι :

$$Q_i + Q_s + Q_{TH} + Q_{VH} = Q_C + Q_{TN} + Q_{VN} \text{ (Εξίσωση 1.2)}$$

Όπου:

Q_i : τα εσωτερικά θερμικά κέρδη από ηλεκτρικές / ηλεκτρονικές συσκευές, φωτισμό, ανθρώπους και κατοικίδια ζώα [J]

Q_s : τα ηλιακά θερμικά κέρδη από ανοίγματα και παθητικά ηλιακά συστήματα [J]

Q_{TH} : τα θερμικά κέρδη λόγω μετάδοσης της θερμότητας με αγωγιμότητα και ακτινοβολία, μέσα από το κέλυφος και τα ανοίγματα του κτιρίου κατά τη διάρκεια της ημέρας [J]

Q_{VH} : τα θερμικά κέρδη λόγω μηχανικού και φυσικού αερισμού και διαφυγών αέρα από τις χαραμάδες κατά τη διάρκεια της ημέρας [J]

Q_C : η ενεργειακή απαίτηση του συστήματος ψύξης [J]

Q_{TN} : οι θερμικές απώλειες λόγω μετάδοσης θερμότητας με ακτινοβολία και αγωγιμότητα μέσα από το κέλυφος και τα ανοίγματα του κτιρίου κατά τη διάρκεια της νύχτας [J]

Q_{VN} : οι θερμικές απώλειες λόγω μηχανικού και φυσικού αερισμού και διαφυγών αέρα από τις χαραμάδες κατά τη διάρκεια της νύχτας [J]

1.6. Σύνδρομο άρρωστου κτιρίου-Sick Building Syndrome (SBS)

1.6.1. Ορισμός

Τα προβλήματα της ποιότητας του αέρα των εσωτερικών χώρων συγκεντρώνουν όλο και περισσότερο το ενδιαφέρον, τόσο των ανθρώπων όσο και των ειδικών επιστημόνων, δεδομένου ότι ο σύγχρονος τρόπος ζωής αναγκάζει όλο και περισσότερους να περνούν μεγάλο μέρος της ημέρας μέσα σε ένα κτίριο. Πολλοί από αυτούς διαμαρτύρονται για έντονα συμπτώματα, για τα οποία υπεύθυνη θεωρείται η εσωτερική ρύπανση των κτιρίων, μιας και αυτά εξαφανίζονται με την απομάκρυνση από το κτίριο, το δε κτίριο χαρακτηρίζεται «άρρωστο».

Με τον όρο “Σύνδρομο Άρρωστου Κτιρίου- Sick Building Syndrome (SBS)” εννοείται ένας συνδυασμός από νοσηρές καταστάσεις και συμπτώματα που παρουσιάζουν οι χρήστες ενός κτιρίου ή μιας κατοικίας, σε ποσοστό τουλάχιστον 50% και που σχετίζονται άμεσα με την ποιότητα του εσωτερικού αέρα. Τα συμπτώματα αυτά συνδέονται με το χρόνο τον οποίο περνάνε οι ένοικοι μέσα στο κτίριο, ενώ την ίδια στιγμή δεν αποδίδονται σε κάποια ασθένεια με την ίδια συμπτωματολογία ή άλλη αιτία πρόκλησής τους. Οι καταγγελίες αυτών των συμπτωμάτων από τους χρήστες του κτιρίου μπορεί, είτε να αναφέρονται για κάποιο συγκεκριμένο χώρο του κτιρίου ή να κατανέμονται σε όλο το κτίριο. Αιτίες που μπορεί

να ευθύνονται γι αυτό το φαινόμενο είναι τα συστήματα θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού, αλλά, και ουσίες που περιέχονται στα υλικά του κτιρίου, διάφορες αιωρούμενες οργανικές ενώσεις, μύκητες ή ελαφριάς μορφής χημικά που χρησιμοποιούνται μέσα στο χώρο. Η εσωτερική ρύπανση μπορεί να οφείλεται και στην εισαγωγή αέρα από τον εξωτερικό χώρο που δε φιλτράρεται κατάλληλα.

Όταν τα συμπτώματα μιας ασθένειας μπορούν να προσδιοριστούν και να αποδοθούν στους αερομεταφερόμενους ρύπους του κτιρίου, τότε ο όρος που χρησιμοποιείται είναι «Ασθένεια Σχετική με το Κτίριο- Building Related Illness (BRI)».

Όπως αναφέρεται χαρακτηριστικά από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας, τα άτομα που περνούν μεγάλο μέρος της ημέρας τους σε κτίρια στεγανά και βιώνουν αυτό το σύνδρομο, *«κοστίζουν στην κοινωνία περισσότερο από όσο αυτή κερδίζει από τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας»* .

1.6.2.Συμπτώματα Άρρωστου Κτιρίου

Η επίδραση της χαμηλής ποιότητας του εσωτερικού αέρα των κτιρίων στην υγεία των ανθρώπων γίνεται αντιληπτή από ένα πλήθος συμπτωμάτων, οξέων ή χρόνιων, που συνήθως, εντοπίζονται σε «παράπονα» των ανθρώπων που βρίσκονται μέσα στον χώρο. Άλλωστε, δεν υπάρχει καμιά επαρκής θεωρία που να προσδιορίζει με σαφήνεια ποια είναι τα κλινικά συμπτώματα του συνδρόμου του αρρώστου κτιρίου ούτε είναι εύκολο να διαπιστωθεί η αιτιολογία τους. Παρόλα αυτά, υπάρχουν κάποια κοινά συμπτώματα του συνδρόμου, τα οποία όμως μπορούν να ποικίλουν από κτίριο σε κτίριο, λόγω των διαφορετικών πηγών ρύπανσης.

Τα πιο γνωστά και κοινά συμπτώματα είναι η ενόχληση των ματιών, της μύτης και του λαιμού (τσούξιμο και διάφορες άλλες ενοχλήσεις), προβλήματα υγείας νευρολογικής φύσης, η έλλειψη συγκέντρωσης, ο ερεθισμός του δέρματος με την εμφάνιση εξανθημάτων, οι περίεργες και ασυνήθιστες αισθήσεις στην όσφρηση και τη

γεύση, ο πονοκέφαλος και οι τάσεις υπνηλίας. Είναι σημαντικό, όμως, να αναφερθεί ότι ο βαθμός, στον οποίο συναντιούνται τα συμπτώματα αυτά, διαφέρει από άτομα σε άτομα, ακόμα, και αν αυτά βρίσκονται στο ίδιο κτίριο και χώρο, εξαιτίας των διαφορετικών συνθηκών που μπορεί να επικρατούν ή και της διαφορετικής ευαισθησίας που χαρακτηρίζει το κάθε άτομο. Τέλος, τα εν λόγω συμπτώματα παρουσιάζονται όσο τα άτομα βρίσκονται κοντά ή μέσα στο κτίριο, ενώ ελαχιστοποιούνται ή και παύουν να ισχύουν όταν οι χρήστες απομακρύνονται από αυτό. Στον Πίνακα 1.1 παρουσιάζονται τα κοινά συμπτώματα του συνδρόμου αυτού.

Πίνακας 1.1 Κοινά συμπτώματα του συνδρόμου SBS

Δερματικά συμπτώματα	Συμπτώματα στα μάτια	Ρινικά συμπτώματα	Συμπτώματα φάρυγγα	Γενικά συμπτώματα
<ul style="list-style-type: none"> Αναφυλαξία προσώπου Αναφυλαξία χεριών Εκζέματα 	<ul style="list-style-type: none"> Ερεθισμός ματιών Πρήξιμο βλεφάρων 	<ul style="list-style-type: none"> Ρινική καταρροή Ρινική συμφόρηση 	<ul style="list-style-type: none"> Ξηρός λαιμός Πόνος στο λαιμό Βήχας 	<ul style="list-style-type: none"> Πονοκέφαλος Κόπωση Υπνηλία

Στην περίπτωση της Ασθένειας Σχετική με το Κτίριο, στην οποία οι αερομεταφερόμενοι ρύποι μέσα στο κτίριο ενοχοποιούνται για την εμφάνιση μιας ασθένειας από τους χρήστες του κτιρίου, τα συμπτώματα είναι εντονότερα, μπορούν να καθοριστούν κλινικά και οι παραπονούμενοι ένοικοι μπορεί να χρειαστούν

περισσότερο χρονικό διάστημα ανάρρωσης μετά την απομάκρυνσή τους από το κτίριο.

1.6.3. Παράμετροι εμφάνισης συνδρόμου

Πολλές φορές, τα συμπτώματα που εμφανίζονται στους χρήστες ενός «άρρωστου» κτιρίου οφείλονται στην καταστρατήγηση των προκαθορισμένων λειτουργικών διαδικασιών ή και του αρχικού σχεδιασμού του κτιρίου, ενώ άλλες φορές οφείλονται στις δραστηριότητες των χρηστών ή στο φτωχό σχεδιασμό του. Παρόλο που η κυριότερη αιτία για την εμφάνιση του συνδρόμου του άρρωστου κτιρίου είναι ο ανεπαρκής ή ο ακατάλληλος αερισμός, οι παράγοντες που, συνήθως, προκαλούν ή συμβάλλουν στην εμφάνιση του Συνδρόμου του Άρρωστου Κτιρίου διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

- Σύστημα εξαερισμού ψύξης -θέρμανσης
- Χημικοί και άλλοι παράγοντες προερχόμενοι από το εσωτερικό
- Υπαίθριοι μολυσματικοί παράγοντες
- Βιολογικοί μολυσματικοί παράγοντες

1.6.3.1.Σύστημα εξαερισμού- ψύξης -θέρμανσης

Η ποιότητα του αέρα στο εσωτερικό ενός κτιρίου εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποσότητα και ποιότητα αέρα που εισέρχεται σε αυτό από το εξωτερικό περιβάλλον, μέσω του συστήματος εξαερισμού. Όταν η ποσότητα αυτή είναι μικρή δε μπορεί να επαρκέσει για την ανανέωση του αέρα σε όλο το κτίριο, ώστε να διατηρηθεί σε καλά επίπεδα η ποιότητα του, που συμβάλλει καθοριστικά στην υγεία και την άνεση των χρηστών του κτιρίου. Επιπλέον, τα συστήματα θερμοκρασίας, ψύξης και αερισμού- HVAC αποτελούν και αυτά με την σειρά τους έναν ακόμα παράγοντα που

συμβάλει στην εμφάνιση του συνδρόμου του αρρώστου κτιρίου, μέσω της διανομής αέρα μέσα στο κτίριο. Εάν σε ένα κτίριο υπάρχουν χώροι όπου ο αέρας που εισέρχεται από το σύστημα εξαερισμού δε μπορεί να φτάσει, τότε οι χώροι αυτοί θα έχουν σημαντικά προβλήματα στην ποιότητα του αέρα.

1.6.3.2. Χημικοί και άλλοι παράγοντες προερχόμενοι από το εσωτερικό

Στην κατηγορία των εσωτερικών μολυσματικών παραγόντων συγκαταλέγονται οι ατμοσφαιρικοί ρύποι που προέρχονται από πηγές εντός του κτιρίου. Τέτοιοι ρύποι είναι οι πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs), συμπεριλαμβανομένης και της φορμαλδεΐδης, οι οποίες εμπεριέχονται σε διάφορα προϊόντα, (κόλλες, τάπητες, ταπετσαρίες, ξύλινες κατασκευές, φωτοτυπικά μηχανήματα και διάφορα άλλα), ως διαλύτες και εξαερώνονται με τη θέρμανση των εσωτερικών χώρων. Ακόμα, ο καπνός από το τσιγάρο προκαλεί την αύξηση των επιπέδων των VOCs, αλλά, και άλλων τοξικών ενώσεων. Είναι σημαντικό, επίσης, να αναφερθεί ότι οι υψηλές συγκεντρώσεις των VOCs είναι δυνατόν να προκαλέσουν χρόνιες και οξείες επιπτώσεις στην υγεία των χρηστών του κτιρίου και μάλιστα κάποιες από αυτές είναι καρκινογόνες. Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι η κηροζίνη, αλλά και οι διάφορες θερμάστρες και σόμπες χώρου, εκπέμπουν μονοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του αζώτου και άλλα αναπνεύσιμα μόρια, που είναι προϊόντα καύσης.

1.6.3.3. Υπαίθριοι μολυσματικοί παράγοντες

Μέσω του συστήματος εξαερισμού εισάγεται υπαίθριος αέρας μέσα στο κτίριο, ώστε να ανανεωθεί ο ήδη υπάρχων αέρας στο εσωτερικό του κτιρίου και να βελτιστοποιηθεί η ποιότητα του αέρα. Αφού όμως στον εξωτερικό αέρα υπάρχουν ρύποι, μεταφέρονται με αυτόν τον τρόπο στο εσωτερικό του κτιρίου και το σύστημα

εξαερισμού λειτουργεί ως πηγή εσωτερικών ρύπων. Επίσης οι ρύποι εισέρχονται στο εσωτερικό του κτιρίου και από τυχόν άλλα ανοίγματα, όπως φεγγίτες και παράθυρα.

1.6.3.4. Βιολογικοί μολυσματικοί παράγοντες

Στην κατηγορία των βιολογικών μολυσματικών παραγόντων περιλαμβάνονται τα βακτηρίδια, οι μύκητες, η γύρη και οι ιοί. Οι βιολογικοί αυτοί ρυπαντές, προέρχονται κυρίως από ανθρώπους και ζώα, καθώς και από κλιματιστικά συστήματα με πύργους ψύξης. Γενικά, μπορούν να αναπτυχθούν και αναπαραχθούν όπου έχει συσσωρευτεί στάσιμο νερό ή υγρασία, στους αγωγούς, στους υγραντές αλλά και στους τάπητες και στα υλικά μόνωσης. Επίσης, πρέπει να αναφερθεί ότι σε αυτήν την κατηγορία πηγής ρύπων εντάσσονται τα έντομα, καθώς επίσης και οι εκκρίσεις των πουλιών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΑΕΡΑ

2.1. Εισαγωγή

Στην εποχή μας, με δεδομένο ότι ο άνθρωπος ξοδεύει όλο και περισσότερο χρόνο σε ένα κλειστό χώρο, (σπίτια, σχολεία, κτίρια υπηρεσιών και δημόσια), το ζήτημα της ποιότητας του εσωτερικού αέρα και, ειδικότερα της υποβάθμισής του, απασχολεί και συγκεντρώνει το ενδιαφέρον πολιτών και επιστημόνων. Περιπτώσεις προβλημάτων υγείας, μείωσης της παραγωγικότητας και της ευεξίας των χρηστών των κτιρίων, εξαιτίας της ποιότητας του αέρα σε διάφορους εσωτερικούς χώρους, έγιναν οι αφορμή για να πραγματοποιηθούν έρευνες και μελέτες, με αντικείμενο την παρουσία διάφορων ουσιών σε εσωτερικούς χώρους, την επικινδυνότητα των ουσιών αυτών, τη σχέση δόσης-αντίδρασης στις ουσίες και τα αποτελέσματα έκθεσης σε συγκεκριμένες συνθήκες ή ρύπους ή μίγματα αυτών (Κολοκοτσά, 2007) Στα αποτελέσματα των μελετών αυτών στηρίχθηκαν οι οδηγίες και τα πρότυπα που σήμερα καθορίζουν, σε εθνικό και διεθνές επίπεδο, τις συγκεντρώσεις των συστατικών του αέρα, οι οποίες είναι αποδεκτές από τον πληθυσμό και καθορίζουν την ποιότητα του εσωτερικού αέρα. Σε έρευνα το 1990, αναφέρεται η ρύπανση του εσωτερικού αέρα ως ένας από τους πέντε σημαντικότερους περιβαλλοντικούς παράγοντες που επηρεάζουν τη δημόσια υγεία (Προβατά, 2012). Αρκεί να σκεφτεί κανείς, ότι ορισμένοι ατμοσφαιρικοί ρύποι απαντώνται σε μεγαλύτερη συγκέντρωση στο εσωτερικό από το εξωτερικό περιβάλλον ενός κτιρίου, ενώ κάποιες πληθυσμιακές ομάδες (ηλικιωμένοι, οικοκυρές, ασθενείς, παιδιά, ΑΜΕΑ) περνούν το σύνολο σχεδόν του χρόνου τους μέσα σε ένα κτίριο.

Ο όρος «ποιότητα του εσωτερικού αέρα» αναφέρεται στον αέρα ενός εσωτερικού περιβάλλοντος και στο βαθμό ρύπανσής του που επηρεάζει την υγεία, την απόδοση, την αποτελεσματικότητα και την παραγωγικότητα των χρηστών του κτιρίου. Ο όρος μπορεί να περιλαμβάνει και τις θερμικές συνθήκες ενός κτιρίου,

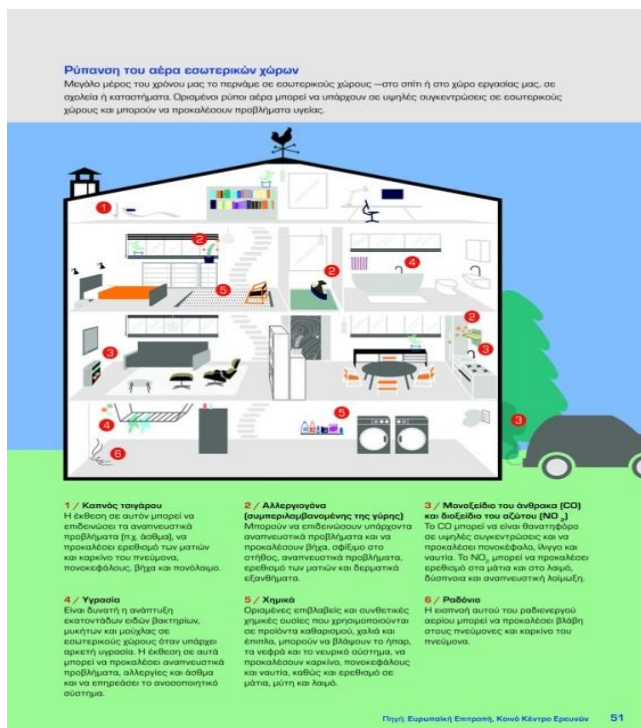
παρόλο που αυτές σχετίζονται με τη θερμική άνεση παρά με την ποιότητα του αέρα. Η ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους, (θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα, υγρασία, ταχύτητα του αέρα, θόρυβος και φωτισμός), οι οποίες είναι αλληλένδετες και καθορίζουν τη θερμική, την οπτική και την ακουστική άνεση και την ποιότητα του εσωτερικού αέρα, που είναι συνάρτηση των εσωτερικών ρύπων και του αερισμού του χώρου. (Santamouris, 2004)

Παρόλα αυτά, το εσωτερικό περιβάλλον επηρεάζεται έμμεσα και από την ποιότητα του εξωτερικού περιβάλλοντος. Επομένως, όταν η ποιότητα του εξωτερικού περιβάλλοντος είναι χαμηλή, θα υποβαθμίζεται και η ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος. Μερικοί ακόμα παράγοντες που επηρεάζουν το εσωτερικό περιβάλλον και ειδικότερα μέσα στις πόλεις, είναι η ηχορύπανση και τα υψηλά επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης. (Larssen, et al., 2003)

Τα τελευταία χρόνια, διεθνώς, έχουν θεσπιστεί οδηγίες και πρότυπα, για τον καθορισμό της επιτρεπόμενης ανώτερης συγκέντρωσης των ρύπων και, την εν γένει βελτίωση της ποιότητας τους εσωτερικού περιβάλλοντος και αποτελούν βασική παράμετρο του σύγχρονου σχεδιασμού των κτιρίων και της λειτουργίας τους.

2.2. Αέριοι Ρύποι στους Εσωτερικούς Χώρους

Εσωτερικοί ατμοσφαιρικοί ρύποι



Εικόνα 2.1: Μερικοί από τους βασικούς εσωτερικούς ατμοσφαιρικούς ρύπους και οι πηγές τους σε έναν εσωτερικό χώρο, π.χ. ένα σπίτι (ΠΗΓΗ: Ευρωπαϊκή Επιτροπή, Κοινό Κέντρο Ερευνών)

αέρια. Επίσης, πολλά από τα αντικείμενα, που βρίσκονται στα κτίρια ή χρησιμοποιούνται από τους ενοίκους τους, εκλύουν διάφορες ουσίες. Λόγω του σύγχρονου τρόπου ζωής, πολλοί άνθρωποι μπορεί να περνάνε έως και το 90% της ημέρας τους σε εσωτερικούς χώρους, στο σπίτι, τη δουλειά ή το σχολείο. Επιπλέον, έχει διαπιστωθεί ότι οι ρύποι του εσωτερικού περιβάλλοντος προκαλούν μια μεγάλη ποικιλία σοβαρών ασθενειών. Έχουν, λοιπόν, ιδιαίτερη σημασία, για την ποιότητα του αέρα που αναπνέουν οι χρήστες στους εσωτερικούς χώρους, οι συγκεντρώσεις των ρύπων. Στην Εικόνα 2.1 παρουσιάζονται μερικοί από τους βασικούς ατμοσφαιρικούς ρύπους εσωτερικών χώρων καθώς και κάποιες από τις πιθανές πηγές τους σε ένα σπίτι. Όταν οι ρύποι αυτοί ξεπερνούν τα όρια, που είναι ανεκτά για την υγεία,

αρχίζουν να εμφανίζονται προβλήματα υγείας που επηρεάζουν δυσμενώς την ικανότητα, την απόδοση, και τη συμπεριφορά τους.

Οι σημαντικότεροι ρύποι του αέρα εσωτερικών χώρων (Νικολάου, et al., 2007) είναι οι ακόλουθοι:

1. Το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)

Το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) σχετίζεται κυρίως με τις συσκευές καύσης και θέρμανσης, γιατί είναι το προϊόν καύσης υλικών που περιέχουν άνθρακα, καθώς, και με την ανθρώπινη παρουσία μέσα σε ένα κτίριο, ως κύριο προϊόν του μεταβολισμού. Ένας άνθρωπος, μη καπνιστής, εκπέμπει 0.025 m³/h CO₂. Δεν είναι τοξική ουσία, αλλά, σε μεγάλες συγκεντρώσεις μπορεί να έχει επιπτώσεις στην αναπνευστική λειτουργία και να προκαλέσει λήθαργο, ναυτία ή και ασφυξία.

Στον Πίνακα 2.1 υποδεικνύονται για τις διαφορετικές δραστηριότητες το μεταβολικό ποσοστό και το ποσοστό παραγωγής του CO₂.

Πίνακας 2.1: Ποσοστό παραγωγής CO₂ για της διάφορες εργασίες (AIVC)

Δραστηριότητα	Μεταβολικό ποσοστό [W]	Ποσοστό παραγωγής του CO ₂ [l/s]
Στατική εργασία	100	0.004
Ελαφριά εργασία	150-300	0.006-0.012
Μέτρια εργασία	300-500	0.012-0.020
Βαριά εργασία	500-650	0.020-0.026
Πολύ βαριά εργασία	650-800	0.026-0.032

2. Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO)

Πρόκειται για ένα άχρωμο, άγευστο και άοσμο αέριο, ιδιαίτερα τοξικό και μη ανιχνεύσιμο. Παράγεται κατά την ατελή καύση ενώσεων του άνθρακα και στις κύριες πηγές μονοξειδίου του άνθρακα περιλαμβάνονται οι συσκευές θέρμανσης, οι εκπομπές μηχανοκίνητων οχημάτων και ο καπνός του τσιγάρου. Έχει την ικανότητα να συμπλέκεται ισχυρά με την αιμοσφαιρίνη του αίματος, σχηματίζοντας ανθρακο-οξυαιμοσφαιρίνη (COHb), περίπου 220-250 φορές ισχυρότερα από ότι συμπλέκεται το οξυγόνο μαζί της. Η ικανότητα αυτή του μονοξειδίου του άνθρακα έχει ως αποτέλεσμα να μειώνονται αισθητά τα επίπεδα οξυαιμοσφαιρίνης στο αίμα, να εμποδίζεται η μεταφορά του οξυγόνου στα κύτταρα, να το καθιστά πολύ επικίνδυνο σε υψηλές συγκεντρώσεις και η έκθεση σε αυτό να δημιουργεί διάφορες παθολογικές καταστάσεις, πονοκεφάλους, κούραση, δύσπνοια, ταχυκαρδία, απώλεια μνήμης, αίσθημα πανικού, κατάθλιψη ακόμα και το θάνατο.

3. Ο περιβαλλοντικός καπνός τσιγάρου (Environmental Tobacco Smoke- ETS)

Ως περιβαλλοντικός καπνός τσιγάρου (ETS) έχει οριστεί διεθνώς η ύλη που ρυπαίνει τον αέρα των εσωτερικών, μη καλά αεριζόμενων, χώρων και προέρχεται από τον καπνό των τσιγάρων, των πούρων ή των πιπών και σε μικρότερο ποσοστό από τον αέρα που εκπνέουν οι καπνιστές. Αυτός ο καπνός αποτελείται από μια μεγάλη ποικιλία συστατικών, πάνω από 4000, εκ των οποίων 40 θεωρούνται πολύ επικίνδυνες ουσίες και υπεύθυνες για την εμφάνιση αναπνευστικών, πνευμονικών και καρδιολογικών παθήσεων καθώς και μορφών καρκίνου. Μερικές από τις χημικές ενώσεις του καπνού, που προκαλούν εθισμό και είναι τοξικές σε μεγάλες

συγκεντρώσεις, είναι η πίσσα, η νικοτίνη, η αμμωνία, η φορμαλδεΐδη, το αρσενικό, το μεθάνιο, το κυανιούχο άλας, το κάδμιο, τα οξείδια του αζώτου, η νικοτίνη, το CO κλπ.

4. Η Φορμαλδεΐδη

Η φορμαλδεΐδη (HCH=O) ήταν από τους πρώτους ρύπους που ενοχοποιήθηκαν για διάφορα προβλήματα υγείας που παρουσίασαν χρήστες εσωτερικών χώρων και αποτέλεσε την αφορμή ώστε οι επιστήμονες να στρέψουν το ενδιαφέρον τους στη ρύπανση των χώρων αυτών. Σε κανονική πίεση και θερμοκρασία, είναι ένα άχρωμο αέριο, με οξεία χαρακτηριστική οσμή, διαλυτό στο νερό. Προκαλεί ερεθισμούς στα μάτια και στο λαιμό, αίσθηση καψίματος στο δέρμα, ναυτία, βήχα και σε μερικές περιπτώσεις δυσκολία στην αναπνοή και προβλήματα άσθματος, ενώ η Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας την έχει κατατάξει στις ουσίες που μπορεί να προκαλέσουν καρκίνο. Οι κύριες πηγές εκπομπής φορμαλδεΐδης, ως ρύπου εσωτερικού αέρα, θεωρούνται τα οικοδομικά και μονωτικά υλικά, συγκολλημένα και επεξεργασμένα με ρητίνη ουρίας-φορμαλδεΐδης, τα έπιπλα από κόντρα πλακέ, τα συνθετικά υφάσματα και οι μοκέτες, ο καπνός του τσιγάρου, κάποια οικιακά προϊόντα καθαρισμού και οι συσκευές καύσης αερίων.

5. Η Υγρασία

Ως υγρασία ορίζεται το ποσό των υδρατμών που υπάρχει στον αέρα. Στους εσωτερικούς χώρους η υγρασία παράγεται κυρίως από τις δραστηριότητες των ενοίκων, όπως είναι το μαγείρεμα, το πλύσιμο και στέγνωμα ρούχων στον κατοικημένο τομέα, εργασίες καθαριότητας κλπ. Η υγρασία ως ρύπος σχετίζεται με τη θερμική άνεση των ανθρώπων. Επίσης, η συμπύκνωση του ατμού μπορεί να προκαλέσει ζημία στο κτίριο.

6. Οι οσμές

Στο περιβάλλον γύρω μας παράγονται διάφορες ουσίες με χαρακτηριστική και ενίοτε δυσάρεστη οσμή. Οι μυρωδιές που βρίσκονται εντός ενός κτιρίου, μπορεί να έχουν εισβάλλει από το εξωτερικό περιβάλλον, αλλά, προέρχονται επίσης είτε από τις δραστηριότητες και τις μεταβολικές λειτουργίες των οργανισμών, είτε από τα έπιπλα και τα υφάσματα ή και από τα απορρυπαντικά που χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό του κτιρίου. Οι οσμές μπορεί να προκαλέσουν από μια απλή ενόχληση στη διάθεση των χρηστών έως σοβαρότερα συμπτώματα, όπως ερεθισμό των ματιών, της αναπνευστικής οδού κλπ. Παρόλο που η συγκέντρωση μιας μυρωδιάς είναι μετρήσιμη εντούτοις συχνά αποτελεί υποκειμενική έννοια, επηρεαζόμενη από πλήθος παραγόντων (διάθεση, ψυχολογία ή δραστηριότητα του ατόμου). Οι μυρωδιές είναι ένας ακόμα λόγος όπου ο εξαερισμός είναι απαραίτητος σε ένα κτίριο.

7. Το όζον

Το όζον αποτελεί βασικό συστατικό της αστικής αιθαλομίχλης και δημιουργείται με χημικές αντιδράσεις, παρουσία φωτός, μεταξύ των οξειδίων του αζώτου, των πτητικών οργανικών ενώσεων και του CO. Εσωτερικές πηγές όζοντος αποτελούν τα μηχανήματα γραφείου, τα φωτοτυπικά μηχανήματα, οι εκτυπωτές λέιζερ κλπ, γι' αυτό και η τοποθέτησή τους συνιστάται να γίνεται σε καλά αεριζόμενους χώρους. Εισπνεόμενο μπορεί να προκαλέσει αναπνευστικές δυσκολίες. Το όζον μπορεί, επίσης, να παραχθεί στον υπαίθριο αέρα από βιομηχανικές δραστηριότητες, όπως οι εγκαταστάσεις παραγωγής θερμικής ενέργειας. Με κατάλληλες συνθήκες αερισμού, θερμοκρασίας και φωτισμού οι συγκεντρώσεις του σε εσωτερικούς χώρους είναι μικρότερες γιατί το όζον προσροφάται από τις επιφάνειες και στο εσωτερικό δεν υπάρχουν πολλές πηγές παραγωγής του.

8. Τα αιωρούμενα σωματίδια

Απαντώνται σε μη αεριζόμενους κλειστούς χώρους και αποτελούν το τελικό προϊόν στις εκφυλιστικές διαδικασίες των υλικών. Πηγές τους αποτελούν τα τζάκια και οι συσκευές καύσης και θέρμανσης. Τα επίπεδα τοξικότητας της σκόνης, των οργανικών σωματιδίων, των ινών και των αιωρούμενων σωματιδίων καπνού ποικίλουν, ανάλογα με τον τύπο και το μέγεθός τους. Οι μακροπρόθεσμες εκθέσεις μπορούν να προκαλέσουν ερεθισμό στο ρινικό σύστημα και στα μάτια, καθώς επίσης βρογχίτιδα και καρκίνο του πνεύμονα. Έχει παρατηρηθεί ότι σε χώρους μη καπνιζόντων τα επίπεδα τους είναι χαμηλότερα. Επιπλέον, για τον περιορισμό τους προτείνεται συχνή αλλαγή των φίλτρων των κλιματιστικών και καλή συντήρηση των πηγών εκπομπής τους.

9. Οι πτητικές οργανικές ενώσεις (Volatile Organic Compounds - VOCs).

Πρόκειται για οργανικές ενώσεις, κυρίως αλειφατικοί και αρωματικοί υδρογονάνθρακες, με τάση ατμών σε συνθήκες περιβάλλοντος πίεσης και θερμοκρασίας, γι' αυτό ονομάζονται πτητικές. Τέτοιες ενώσεις είναι η φορμαλδεΐδη, οι διοξίνες, το χλωροαιθυλένιο, το χλωροφόρμιο, το βενζόλιο, οι χλωροφθοράνθρακες, το στυρένιο, κ.ά. Απαντώνται ως συστατικά σε πάρα πολλά προϊόντα ευρείας χρήσης, όπως χρώματα, διαλύτες, βερνίκια, κόλλες, καλλυντικά, εντομοκτόνα, απορρυπαντικά, καύσιμα κλπ. Συνήθως, η παραγωγή τους σχετίζεται με τη χρήση και την κατανάλωσή τους. Υπάρχουν μελέτες που αναφέρουν ότι η συγκέντρωση των VOCs μπορεί να είναι έως και δέκα φορές μεγαλύτερη στους εσωτερικούς χώρους από ότι στην ύπαιθρο. Έκθεση των ατόμων σε αυτές τις ουσίες μπορεί να προκαλέσει πονοκεφάλους, δερματικούς ερεθισμούς, δύσπνοια, παθήσεις

του ήπατος και διάφορες μορφές καρκίνου. Στον Πίνακα 2.2 παρουσιάζονται τα είδη ρύπων του εσωτερικού αέρα καθώς και οι πηγές αυτών.

Πίνακας 2.2: Πηγές και είδη ρύπων του εσωτερικού αέρα

ΠΗΓΕΣ	ΡΥΠΟΙ
Εξωτερικές	
Σταθερές	SO ₂ , O ₃ , σωματίδια, CO, HC
Κινητές	CO, Pb, NO _x
Έδαφος	Rn, μικροοργανισμοί, Ca, Cd, Pb
Εσωτερικές	
<u>Δομικά υλικά</u>	
Τσιμέντο, πέτρα	Rn
Προϊόντα ξύλου (μοριοσανίδες, καπλαμάς)	HCHO
Μονωτικά	HCHO, ίνες υάλου
Υλικά πυροπροστασίας	Ίνες αμιάντου
Χρώματα	Pb, Cd, VOCs
<u>Εξοπλισμός κτιρίων</u>	
Συσκευές θέρμανσης-μαγειρέματος	CO, NO _x , HCHO, σωματίδια
Φωτοτυπικά μηχανήματα	O ₃
Υδραυλικές εγκαταστάσεις	Rn
<u>Ανθρώπινη παρουσία</u>	
Μεταβολική δραστηριότητα	CO ₂ , H ₂ O, οσμές
Βιολογική δραστηριότητα	Μικροοργανισμοί
<u>Ανθρώπινες δραστηριότητες</u>	
Κάπνισμα	CO, HCHO, PAHs, σωματίδια, οσμές, Pb, Cd, As, Hg, VOCs
Οικιακή & προσωπική φροντίδα	VOCs, As, οσμές

Οι επιπτώσεις αυτές εξαρτώνται από τις συγκεντρώσεις των ενώσεων, την τοξικότητά τους αλλά και την κατάσταση της υγείας των εκτιθέμενων ατόμων, καθώς και από το χρόνο που τα άτομα αυτά εκτίθενται στις VOCs, γι' αυτό θα πρέπει να γίνεται με μέτρο η χρήση τους ή, αν είναι δυνατόν, να αποφεύγεται.

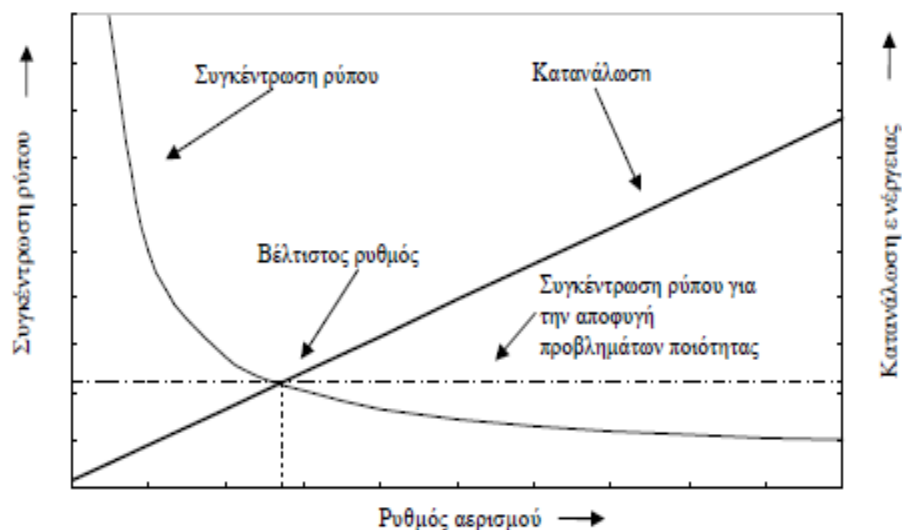
2.3. Αερισμός

Μια παράμετρος χαρακτηριστική του εσωτερικού περιβάλλοντος και παράλληλα απόλυτα σχετική με την υγεία των χρηστών ενός κτιρίου είναι η ποιότητα του εσωτερικού αέρα. Εκτός από τη συγκέντρωση των ρύπων, μια διεργασία καθοριστική για τα επίπεδα των ρύπων στους εσωτερικούς χώρους είναι ο αερισμός.

Ο αερισμός ενός κτιρίου είναι, ίσως, ο σημαντικότερος παράγοντας που επηρεάζει την ποιότητα του αέρα εσωτερικών χώρων, επιδρώντας ευεργετικά στις συνθήκες του εσωτερικού περιβάλλοντος. Συμβάλλει στην επίτευξη και διατήρηση ικανοποιητικών επιπέδων και συνθηκών θερμικής άνεσης, απομακρύνοντας τη σκόνη, την υγρασία, τον καπνό, τις δυσάρεστες οσμές, τους εσωτερικούς ρύπους και τη θερμότητα το καλοκαίρι. Αντίθετα, όταν ο αερισμός είναι ανεπαρκής επηρεάζει αρνητικά την υγεία των χρηστών του κτιρίου συμβάλλοντας ακόμα και στην εμφάνιση των συμπτωμάτων διαφόρων συνδρόμων, όπως για παράδειγμα του άρρωστου κτιρίου. Ο αερισμός είναι ουσιαστικά η συνεχής ανανέωση του αέρα του εσωτερικού των κτιρίων, μέσω της εισαγωγής νέου αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον. Επιπλέον, έχει ως στόχο την ικανοποίηση των αναγκών των χρηστών του κτιρίου σε οξυγόνο.

Η επίτευξη της ποιότητας του αέρα, που να ικανοποιεί τους χρήστες του κτιρίου, εξαρτάται από τον απαιτούμενο ρυθμό αερισμού. Ο νεοεισερχόμενος αέρας πρέπει να καλύπτει τις απαιτήσεις του εσωτερικού χώρου, κατά τέτοιο τρόπο, ώστε η μεγαλύτερη συγκέντρωση κάθε ρύπου να είναι μικρότερη από τη μεγαλύτερη αποδεκτή από τον οργανισμό τιμή. Επομένως, για να προσδιοριστεί σωστά ο απαιτούμενος ρυθμός αερισμού, πρέπει να εξετάζονται οι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται, όπως η ποσότητα και η φύση και ο αριθμός των ρύπων που υπάρχουν στο χώρο, καθώς επίσης οι πηγές που τους παράγουν. Άρα,

συμπεραίνεται ότι ο απαιτούμενος ρυθμός αερισμού εξαρτάται κυρίως από την ποσότητα αερισμού που είναι αναγκαία για τον έλεγχο και την απομάκρυνση του επικρατέστερου ρύπου.



Διάγραμμα 2.1: Στρατηγική για τον έλεγχο του επικρατέστερου ρύπου και τη βελτίωση της κατανάλωσης ενέργειας (Liddament, 1996)

Στο Διάγραμμα 2.1 παρατηρείται ότι η αύξηση του ρυθμού αερισμού του χώρου οδηγεί στη μείωση της συγκέντρωσης του ρύπου. (Liddament, 1996) Αυτό, βέβαια, οδηγεί με τη σειρά του σε αύξηση της κατανάλωσης της ενέργειας που απαιτείται για τη διαχείριση της αύξησης του ρυθμού αερισμού. Απεναντίας, έχει παρατηρηθεί ότι η μείωση του ρυθμού του αερισμού ενός κτιρίου προκαλεί την αύξηση της παρουσίας των συμπτωμάτων του συνδρόμου του άρρωστου κτιρίου.

Αν και ο αερισμός, αυτός καθ' αυτός, δεν επηρεάζει άμεσα την ανθρώπινη υγεία, είναι αναγκαίο να προσδιορίζεται, να ελέγχεται και να εξετάζεται, τόσο κατά το σχεδιασμό όσο και κατά τη λειτουργία ενός κτιρίου, καθώς επηρεάζει τους παράγοντες που προσδιορίζουν την ποιότητα του εσωτερικού αέρα (Liddament, 1996). Γι' αυτό το λόγο υπάρχουν οδηγίες και πρότυπα, τα οποία καθορίζουν τα

επιθυμητά όρια του ρυθμού αερισμού ανά χρήστη του κτιρίου, για τη διασφάλιση της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος.

Ο αερισμός των κτιρίων μπορεί να γίνει είτε με φυσικό τρόπο είτε με μηχανικό.

Ο αερισμός με φυσικό τρόπο γίνεται λόγω της ταχύτητας και πυκνότητας του ανέμου αλλά και της θερμοκρασιακής διαφοράς που υπάρχει από το εσωτερικό του κτιρίου στο εξωτερικό περιβάλλον, μέσω των ανοιγμάτων, των ανοιχτών παραθύρων και των αρμών του κελύφους, ενώ παράλληλα δε γίνεται χρήση κάποιου μηχανικού μέσου για ψύξη, κλιματισμό ή κυκλοφορία του αέρα στους διάφορους χώρους του κτιρίου. Ο φυσικός αερισμός μπορεί να είναι διαμπερής ή όχι και εφαρμόζεται είτε κατά τη διάρκεια της μέρας είτε κατά τη διάρκεια της νύχτας. Όταν εφαρμόζεται τη μέρα, όπου και λειτουργεί το κτίριο, στοχεύει στην απομάκρυνση των ρύπων και των θερμικών κερδών. Όταν από την άλλη εφαρμόζεται τη νύχτα στοχεύει στη ψύξη του κτιρίου, λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας του ψυχρού αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον με το εσωτερικό του κτιρίου, καθώς επίσης και στην αποβολή των ρύπων. Ακόμα, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι ο διαμπερής αερισμός, αν και είναι πιο αποτελεσματικός από το μη διαμπερή, δεν εφαρμόζεται συχνά γιατί τα περισσότερα κτίρια δε διαθέτουν παραπάνω από μία όψη τους εκτεθειμένη στο εξωτερικό περιβάλλον. Στην Ελλάδα και σε άλλες χώρες με ήπιο κτίριο επιλέγεται αυτός ο τρόπος αερισμού των κτιρίων δεδομένου ότι τα περισσότερα κτίρια δε διαθέτουν συστήματα αερισμού και είναι δύσκολη η εγκατάσταση μηχανικών συστημάτων, είτε λόγω σχεδιασμού είτε λόγω κόστους.

Απεναντίας, ο αερισμός κτιρίων με χρήση μηχανικών συστημάτων πραγματοποιείται με τη χρήση διάφορων συστημάτων και τεχνικών, όπως η προσαγωγή αέρα, ο εξαερισμός, ο αερισμός εκτόπισης, ο αερισμός ανάμιξης και ο έλεγχος απαιτούμενου αερισμού. Η επιλογή των συστημάτων που χρησιμοποιούνται

στο κάθε κτίριο γίνεται βάση οικονομικών, ενεργειακών, κλιματικών και κατασκευαστικών κριτηρίων. Παρόλα αυτά παρατηρούνται αυξημένα συμπτώματα κακής υγείας στα κτίρια με μηχανικό αερισμό, παρά στα κτίρια με φυσικό, καθώς επίσης, και χειρότερες συνθήκες ποιότητας εσωτερικού αέρα και περιβάλλοντος. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα συστήματα αυτά μπορεί να είναι, είτε από μόνα τους πηγές ρύπων και να ρυπαίνουν τον αέρα που τα διαπερνάει, είτε απλά να μεταφέρουν τους ρύπους από το εξωτερικό περιβάλλον στο εσωτερικό του κτιρίου ή και μέσα στο ίδιο το κτίριο από ένα χώρο υψηλότερης συγκέντρωσης ρύπου σε έναν άλλο με χαμηλότερη. Τα μηχανικά συστήματα δεν προκαλούν άμεσα προβλήματα στην υγεία του ανθρώπου αλλά μπορεί να συμβάλλουν στην έκθεση του ανθρώπινου οργανισμού σε ρύπους που να του προκαλούν προβλήματα.

Τα τελευταία χρόνια, ωστόσο, χρησιμοποιείται ο υβριδικός τρόπος αερισμού κτιρίων, ο οποίος δεν είναι τίποτα περισσότερο από το συνδυασμό του φυσικού και του μηχανικού τρόπου αερισμού. Ο συνδυασμός αυτών των δύο γίνεται χωρίς να αλλάζει κάτι στον τρόπο λειτουργίας τους, απλά χρησιμοποιούνται σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα, ανάλογα με τις ανάγκες για αερισμό του κτιρίου. Η εναλλαγή ανάμεσα στο φυσικό και στο μηχανικό αερισμό γίνεται μέσα από διατάξεις ελέγχου οι οποίες είναι υπεύθυνες για την εξασφάλιση της ποιότητας της ποιότητας του εσωτερικού αέρα και παράλληλα την εξοικονόμηση ενέργειας.

2.4. Οδηγίες και κανονισμοί ποιότητας εσωτερικού αέρα

Οι οδηγίες αποτελούν μια βάση πληροφοριών σχετικά με τον καθορισμό του επιπέδου έκθεσης του πληθυσμού στο ρύπο, τον προσδιορισμό του κινδύνου από το ρύπο, τον προσδιορισμό αποδοτικών στρατηγικών ελέγχου, την ανάλυση των σχέσεων μεταξύ των επιπέδων της χημικής έκθεσης, των δόσεων και των αποτελεσμάτων των αναλύσεων γύρω από τους ρύπους. Η βάση αυτή των

πληροφοριών χρησιμοποιείται από τις κυβερνήσεις για τη λήψη αποφάσεων σε διοικητικό, κοινοτικό και περιφερειακό επίπεδο, για τον καθορισμό των προτύπων και για τον προγραμματισμό διαδικασιών. Ακόμα, παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με ερευνητές και επιστήμονες που ασχολούνται με την ατμοσφαιρική ρύπανση και την ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος. Υπάρχουν επίσης και οι “αριθμητικές οδηγίες”, οι οποίες παρέχουν πληροφορίες για την πιθανότητα εμφάνισης καρκίνου και άλλων ασθενειών από ουσίες που είναι ήδη αποδεδειγμένα καρκινογόνες, καθώς επίσης και πληροφορίες για τα επίπεδα τιμών, συναρτήσεων των χρόνων έκθεσης, όπου δεν αναμένεται καμία συνέπεια στην ανθρώπινη υγεία. Παρόλα αυτά, τίποτα δεν εγγυάται ότι δεν θα υπάρξουν συνέπειες, ακόμα και με την τήρηση των τιμών των ορίων που δίνονται από τις οδηγίες, καθώς, για παράδειγμα, δεν είναι εύκολο να ελεγχθεί ο τρόπος αντίδρασης των ευπαθών κοινωνικών ομάδων, που είναι πιο ευαίσθητες στην έκθεση σε ρύπους και άλλα.

Τα πρότυπα βασίζονται στα συμπεράσματα πολύχρονων σχετικών επιστημονικών ερευνών και προκύπτουν λαμβάνοντας υπόψη τις αντίστοιχες οδηγίες, είναι δε αναγκαίο να ακολουθηθούν από όλους, καθώς αποτελούν θεσμοθετημένα νομικά πλαίσια. Στον καθορισμό των προτύπων λαμβάνονται υπόψη διάφοροι γενικοί παράγοντες, οι οποίοι μπορεί και να διαφοροποιούνται στις διάφορες χώρες, όπως η σχέση της έκθεσης και της συνέπειας από την έκθεση σε ένα ρύπο, οι δυσμενείς επιπτώσεις του στον άνθρωπο, η αξιολόγηση του κινδύνου γενικά, καθώς και οι διάφορες ευπαθείς ομάδες (παιδιά, ασθενείς κλπ.). Τα πρότυπα, δηλαδή, δεν αποτελούν αντιγραφή των αντίστοιχων οδηγιών για τον καθορισμό των ορίων της ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος, αλλά απεναντίας, οι οδηγίες που αναφέρονται σε διεθνές επίπεδο προσαρμόζονται σε εθνικό, εξετάζοντας τα χαρακτηριστικά του πληθυσμού της κάθε χώρας και του αντίστοιχου περιβάλλοντος.

Επειδή, όπως προαναφέρθηκε, οι οδηγίες αποτελούν συστάσεις, πολλές φορές, αν οι κυβερνήσεις το επιθυμούν, μετασχηματίζονται σε θεσμοθετημένα πρότυπα, προσαρμοσμένα στις ανάγκες και τις απαιτήσεις της κάθε περιοχής, ώστε να εφαρμοστούν. Για να γίνει σωστά ο μετασχηματισμός μιας οδηγίας σε πρότυπο πρέπει να ληφθούν υπόψη και να εξεταστούν οι παρακάτω παράγοντες:

- Η σύσταση των ατμοσφαιρικών ρύπων
- Οι τρέχουσες συγκεντρώσεις ρύπων
- Τα επίπεδα έκθεσης των ανθρώπων στους ρύπους
- Οι κοινωνικοπολιτικές και οικονομικές συνθήκες και οι διεθνείς συμφωνίες.

Υπάρχει μεγάλος αριθμός προτύπων και οδηγιών, σε εθνικό και διεθνές επίπεδο, σχετικών με την ανθρώπινη δημόσια υγεία και την έκθεση σε περιβαλλοντικούς ρύπους. Είναι, όμως, σαφώς λιγότερα αυτά που αφορούν τους παράγοντες που προσδιορίζουν την ποιότητα των εσωτερικών χώρων και την έκθεση σε μη βιομηχανικούς ρύπους. Στις παρακάτω παραγράφους περιγράφονται μερικά από τα πιο συνηθισμένα πρότυπα και οδηγίες για τη θερμική και οπτική άνεση, για τους ρύπους των εσωτερικών χώρων και τον αερισμό των κτιρίων.

2.4.1 Οδηγίες και Πρότυπα Θερμικής Άνεσης

Η θερμική άνεση που αισθάνεται ένας άνθρωπος στο εσωτερικό ενός κτιρίου είναι αποτέλεσμα της ανταλλαγής θερμότητας ανάμεσα στο ανθρώπινο σώμα και το περιβάλλον αλλά και της δραστηριότητας του ανθρώπου στο κτίριο. Η ανταλλαγή θερμότητας από τον άνθρωπο στο περιβάλλον και αντίστροφα εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, που είναι αλληλένδετοι μεταξύ τους. Από τους παράγοντες αυτούς οι κυριότεροι είναι:

- Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος

- Η υγρασία του περιβάλλοντος
- Η θερμοκρασία ακτινοβολίας
- Η κίνηση του αέρα
- Ο ρουχισμός του ανθρώπου
- Η δραστηριότητα του ανθρώπου στο κτίριο

Οι παράγοντες αυτοί περιγράφονται αναλυτικότερα στο Κεφάλαιο 3.

Τις τελευταίες δεκαετίες έχουν γίνει αρκετές έρευνες σχετικά με τη θερμική άνεση στα κτίρια και των συνθηκών που πρέπει να επικρατούν σε αυτά για ένα ποιοτικό εσωτερικό περιβάλλον. Οι έρευνες αυτές, βασισμένες στις βασικές αρχές θερμικής άνεσης, κατέληξαν σε πρότυπα με διεθνή χαρακτήρα και αποτελούν θεσμοθετημένα νομικά πλαίσια. Οι οδηγίες που εκδίδονται από τις διάφορες χώρες, παρόλο που στηρίζονται σε επιστημονικά δεδομένα, περιορίζονται απλώς σε συστάσεις για την προστασία της δημόσιας υγείας από την εσωτερική ρύπανση των κτιρίων. Οι οδηγίες και τα πρότυπα τα οποία λαμβάνονται υπόψη για τον προσδιορισμό της θερμικής άνεσης σε ένα κτίριο στην Ελλάδα είναι:

1. Διεθνές Πρότυπο ISO 7730

Το βασικό πρότυπο θερμικής άνεσης είναι το διεθνές πρότυπο ISO 7730 (ISO7730, 2005) το οποίο συντάχθηκε από το Διεθνή Οργανισμό Προτύπων (International Standards Organization-ISO), ο οποίος ιδρύθηκε το 1947 και αριθμεί ως μέλη πάνω από 130 χώρες. Το πρότυπο ISO 7730 στηρίζεται, κατά κύριο λόγο, στο δείκτη μέσης προβλεπόμενης τιμής ψηφοφορίας-PMV (Predicted Mean Vote) και στο δείκτη δυσαρέσκειας των ανθρώπων-PPD (Predicted Percent of Dissatisfied people), οι οποίοι αναλύονται λεπτομερώς στο Κεφάλαιο 3 της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Στο πρότυπο ISO 7730 περιγράφονται λεπτομερώς οι δύο

προαναφερθέντες δείκτες, καθώς επίσης, και οι αποδεκτές συνθήκες θερμικής άνεσης. Άλλο ένα κριτήριο, για τη χρήση του προτύπου αυτού, είναι ότι οι συνθήκες που επικρατούν στο υπό μελέτη εσωτερικό περιβάλλον θα πρέπει να είναι είτε σταθερές είτε μέτρια μεταβαλλόμενες. Σύμφωνα με τον Olesen (Olesen & Parsons, 2002), τα κριτήρια ενός αποδεκτού εσωτερικού περιβάλλοντος, συγκριτικά με τη θερμική άνεση στο πρότυπο αυτό, καθορίζονται από την επανέκδοση του EN ISO 7730 ως απαιτήσεις:

- Για τη γενική θερμική άνεση εξετάζονται οι δείκτες PMV/PPD, η θερμοκρασία λειτουργίας, η ταχύτητα του αέρα και η υγρασία.
- Ενώ, για την τοπική θερμική δυσανεξία εξετάζονται τα ρεύματα του αέρα, οι κατακόρυφες θερμοκρασιακές διαφορές, η ασυμμετρία της θερμοκρασίας εξαιτίας της ακτινοβολίας και η επιφανειακή θερμοκρασία δαπέδου.

Οι τιμές των ορίων των παραπάνω απαιτήσεων παρουσιάζονται στη συνέχεια στους Πίνακες 2.3 και 2.4.

Πίνακας 2.3: Τρεις κατηγορίες Θερμικού περιβάλλοντος, ποσοστό δυσανεξίας λόγω γενικών συνθηκών και τοπική όχλησης (**Olesen & Parsons, 2002**)

Κατηγορία	Θερμική Κατάσταση Σώματος		Τοπική Θερμική ενόχληση			
	PPD (%)	PMV	Draught Rate, DR(%)	Κατακόρυφη διαφορά θερμοκρασίας αέρα (%)	Θερμό ή ψυχρό δάπεδο (%)	Ασυμμετρία της θερμοκρασίας λόγω ακτινοβολίας (%)
A	<6	-.0,2<PMV<+0,2	<15	<3	<10	<5
B	<10	-.0,5<PMV<+0,5	<20	<5	<10	<5
Γ	<15	-.0,7<PMV<+0,7	<25	<10	<15	<10

Πίνακας 2.4: Θερμοκρασία και μέση ταχύτητα αέρα για τυπικούς εσωτερικούς χώρους (**CEN-CR1752, 1998**)

Τύπος κτιρίου/ χώρου	Ρουχισμός clo (καλοκαίρι)	Ρουχισμός clo (χειμώνας)	Δραστηριότητα met	Κατηγορία	Θερμοκρασία (καλοκαίρι) C	Θερμοκρασία (χειμώνας) C	μέση ταχύτητα αέρα καλοκαίρι m/s	μέση ταχύτητα αέρα χειμώνας m/s
Γραφείο	0,5	1	1,2	A	24,5+0,5	22,0+-1,0	0,18	0,15
				B	24,5+-1,5	22,0+-2,0	0,22	0,18
				Γ	24,5+-2,5	22,0+-1,0	0,25	0,21
Cafeteria/ εστιατόριο	0,5	1	1,4	A	23,5+-1,0	20,0+-1,0	0,16	0,13
				B	23,5+-2,0	20,0+-2,5	0,2	0,16
				Γ	23,5+-2,5	20,0+-3,5	0,24	0,19
Διαμέρισμα/ κατάστημα	0,5	1	1,6	A	23,0+-1,0	19,0+-1,5	0,16	0,13
				B	23,0+-2,0	19,0+-3,0	0,2	0,15
				Γ	23,0+-3,0	19,0+-4,0	0,23	0,18

2. ANSI/ASHRAE Πρότυπο 55-2004 για συνθήκες θερμικής άνεσης

Μέσα από το Πρότυπο ANSI/ASHRAE 55-2004, (ASHRAE55-2004, 2004), καθορίζονται οι συνθήκες στις οποίες ένα συγκεκριμένο ποσοστό των ανθρώπων, που βρίσκονται και χρησιμοποιούν το κτίριο, δεν αισθάνεται κάποια δυσφορία και τις θεωρεί ικανοποιητικές. Το συγκεκριμένο πρότυπο είναι η αναθεώρηση του ASHRAE 55-1992. Στο σύγχρονο πρότυπο έχει συμπεριληφθεί και ο τρόπος προσδιορισμού και υπολογισμού της θερμικής άνεσης, μέσα από τους δείκτες PMV/PPD, ενώ

συνυπολογίζει και τους παράγοντες που καθορίζουν τη θερμική άνεση. Οι παράγοντες αυτοί είναι:

- Η θερμοκρασία του αέρα
- Η υγρασία
- Η θερμοκρασία ακτινοβολίας
- Η ταχύτητα του αέρα
- Ο ανθρώπινος μεταβολισμός
- Το είδος ρουχισμού του χρήστη του κτιρίου

Το πρότυπο αυτό εφαρμόζεται για τον προσδιορισμό της θερμικής άνεσης εσωτερικών χώρων και είναι σύμφωνο με το πρότυπο ISO 7730. Τα κριτήρια σύμφωνα με τα οποία ισχύει το πρότυπο και μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι:

- Το επίπεδο της δραστηριότητας των χρηστών ή αλλιώς του ανθρώπινου μεταβολισμού πρέπει να κυμαίνεται από 1,0met έως 2,0met.
- Ο παράγοντας του ρουχισμού να είναι μικρότερος του 1,5clo.
- Ο λόγος της υγρασίας να είναι μικρότερος του 0,012

Στον Πίνακα 2.5 παρουσιάζονται τα όρια θερμικής άνεσης των δεικτών PMV/PPD.

Πίνακας 2.5: Τιμές PPD και PMV για γενικά θερμικά αποδεκτό εσωτερικό περιβάλλον (**ASHRAE55-2004, 2004**)

PPD	PMV
<10	.-0,5<PMV<0,5

Επιπλέον, στο πρότυπο ANSI/ASHRAE 55-2004 γίνεται αναφορά για το φαινόμενο της τοπικής θερμικής δυσφορίας. Το φαινόμενο αυτό πηγάζει από την κατακόρυφη διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στα πόδια και το κεφάλι του χρήστη του κτιρίου, που παρατηρείται, ενίοτε, σε μεμονωμένα σημεία του κτιρίου. Οι λόγοι, οι

οποίοι ευθύνονται για την εμφάνιση του φαινομένου αυτού, είναι η θερμοκρασία του δαπέδου, η ύπαρξη ενός ψυχρού ρεύματος ή η τοπική θέρμανση λόγω ακτινοβολίας. Στους Πίνακες 2.6, 2.7, 2.8 και 2.9 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά όρια αυτών των παραγόντων.

Πίνακας 2.6: Ποσοστό δυσaráσκειας λόγω τοπικής δυσφορίας (ASHRAE55-2004, 2004)

Λόγω ρεύμα αέρα	Λόγω κατακόρυφης διαφοράς θερμοκρασία ς	Λόγω θερμού ή ψυχρού δαπέδου	Λόγω σύμμετρης ακτινοβολίας
<20%	<5%	<10%	<5%

Πίνακας 2.7: Επιτρεπόμενη συμμετρία θερμοκρασίας λόγω ακτινοβολίας (ASHRAE55-2004, 2004)

Ασυμμετρία θερμοκρασίας λόγω ακτινοβολίας (F)			
Θερμή οροφή	ψυχρός τοίχος	ψυχρή οροφή	θερμός τοίχος
<5(9)	<10(18)	<14(25,2)	<23(41,4)

Πίνακας 2.8: Επιτρεπόμενη κατακόρυφη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ κεφαλιού και αγκώνων του χρήστη του κτιρίου (ASHRAE55-2004, 2004)

Κατακόρυφη διαφορά θερμοκρασίας C (F)
<3 (<5,4)

Πίνακας 2.9: Επιτρεπόμενη επιφανειακή θερμοκρασία δαπέδου

επιφανειακή θερμοκρασία δαπέδου C (F)
9-29 (66,2-84,2)

3. Πρότυπο prEN 15251:2006

Το πρότυπο prEN 15251:2006, (CEN-PRen15251:2006, 2006), έχει τίτλο «Κριτήρια για το εσωτερικό περιβάλλον, θερμική άνεση, ποιότητα εσωτερικού αέρα,

φωτισμός και θόρυβος» («Criteria for the indoor environment including thermal, indoor air quality, light and noise») και αναπτύχθηκε από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Τυποποίησης (Centre European de Normalisation-CEN). Στο πρότυπο prEN 15251:2006 παραθέτονται οι ελάχιστες τιμές του αερισμού και του φωτισμού και η ελάχιστη και μέγιστη τιμή θερμοκρασίας, δηλαδή παραθέτονται οι προαπαιτούμενες τιμές των παραγόντων αυτών για τη βελτίωση της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος (Olesen, et al., 2006). Τα δεδομένα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ακόμα και για τον προσδιορισμό του ενεργειακού υπολογισμού, της ενεργειακής αξιολόγησης, καθώς επίσης, και της έκδοσης ενεργειακής και περιβαλλοντικής ταυτότητας του κάθε κτιρίου.

Η διαφορά ανάμεσα σε αυτό το πρότυπο και το πρότυπο ISO 7730 είναι στη μεθοδολογία από την οποία εξάγονται τα κριτήρια για τη θερμική άνεση. Σε αυτό το πρότυπο, τα κτίρια διαφοροποιούνται σε δύο κατηγορίες, αυτής των κτιρίων με μηχανικά συστήματα υποστήριξης και σε αυτή με φυσικό αερισμό ή κλιματισμό, ώστε να εξετάζονται ξεχωριστά οι τιμές θερμικής άνεσης των χρηστών των κτιρίων, σε αντίθεση με τα άλλα πρότυπα, τα οποία λαμβάνουν μέτρα για τη διαστασιολόγηση των συστημάτων θέρμανσης, ψύξης και αερισμού.

Για τα κτίρια με μηχανικά συστήματα θέρμανσης και ψύξης θέτονται όρια για την ελάχιστη θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα, για την περίοδο του χειμώνα και τη μέγιστη, για την περίοδο του καλοκαιριού. Αντίθετα, για τα κτίρια χωρίς συστήματα ψύξης εξετάζονται οι κλιματικές συνθήκες του εξωτερικού περιβάλλοντος και παράλληλα εξετάζεται ο τρόπος με τον οποίο συμβάλλει στη διατήρηση των ευνοϊκών συνθηκών η χρήση σκιάστρων, η αύξηση της θερμομόνωσης, η μείωση των ανοιγμάτων και η ψύξη με φυσικό αερισμό.

Στο πρότυπο prEN 15251:2006 υπάρχουν τέσσερις κατηγορίες θερμικής άνεσης. Η κατηγορία I είναι εκείνη η οποία αντιπροσωπεύει τις συνθήκες θερμικής άνεσης κατάλληλες για τις ευπαθείς ομάδες του πληθυσμού και έχει υψηλές προσδοκίες θερμικής άνεσης. Η κατηγορία II αντιπροσωπεύει τις συνθήκες θερμικής άνεσης για τα καινούργια ή ανακαινισμένα κτίρια και έχει κανονικά επίπεδα προσδοκιών άνεσης. Οι συνθήκες θερμικής άνεσης για τα είδη υπάρχοντα κτίρια αντιπροσωπεύονται από την κατηγορία III, η οποία έχει αποδεκτά επίπεδα προσδοκιών θερμικής άνεσης. Τέλος η κατηγορία IV, η οποία δε χρησιμοποιείται και πολύ συχνά, αντιπροσωπεύει τις συνθήκες εκείνες, οι οποίες δεν συμπεριλαμβάνονται σε καμία από τις προηγούμενες τρεις κατηγορίες και δεν συνιστάται για μεγάλο χρονικό διάστημα μέσα σε ένα χρόνο. Στον Πίνακα 2.10 παρουσιάζονται οι θερμοκρασιακές λειτουργίες για τη χειμερινή και την καλοκαιρινή περίοδο για κτίρια με μηχανικά συστήματα θέρμανσης και ψύξης.

Πίνακας 2.10: Θερμοκρασίες λειτουργίας την χειμερινή και θερινή περίοδο για κτίρια με μηχανικά συστήματα θέρμανσης και ψύξης (CEN-PRen15251:2006, 2006)

τύπος κτιρίου	κατηγορίε ς	Θερμοκρασία λειτουργίας (°C)- ελάχιστες τιμές για θέρμανση (χειμερινή περίοδος)-1,0clo	Θερμοκρασία λειτουργίας (°C)- μέγιστες τιμές για ψύξη (θερινή περιόδους)-0,5clo
Κατοικίες: χώροι διαμονής (υπνοδωμάτια, κουζίνα κλπ) καθιστική εργασία- 1,2met	I	21,0	25,5
	II	20,0	26,0
	III	18,0	27,0
Κατοικίες: λοιποί χώροι (αποθήκη, διάδρομοι) Όρθιοι ή σε κίνηση-1,6met	I	18,0	
	II	16,0	
	III	14,0	
Γραφεία (τύπος κελί) Καθιστική εργασία-	I	21,0	25,5
	II	20,0	26,0

1,2met	III	19,0	27,0
Γραφεία (ανοιχτού τύπου) Καθιστική εργασία-1,2met	I	21,0	25,5
	II	20,0	26,0
	III	19,0	27,0
Χώροι συντηρήσεων Καθιστική εργασία-1,2met	I	21,0	25,5
	II	20,0	26,0
	III	19,0	27,0
Αμφιθέατρα Καθιστική εργασία-1,2met	I	21,0	25,5
	II	20,0	26,0
	III	19,0	27,0
Cafeteria/Εστιατορία Καθιστική εργασία-1,2met	I	21,0	25,5
	II	20,0	26,0
	III	19,0	27,0
Αίθουσες μαθημάτων Καθιστική εργασία-1,2met	I	21,0	25,0
	II	20,0	26,0
	III	19,0	27,0
Παιδικοί σταθμοί, σε κίνηση-1,4met	I	19,0	24,5
	II	17,5	25,5
	III	16,5	26,0
Πολυκαταστήματα Όρθιοι, σε κίνηση-1,6met	I	17,5	24,0
	II	16,0	25,0
	III	15,0	26,0

4. Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 2425/86

Ο οδηγία που προσαρμόζει τα πρότυπα και τις οδηγίες από τους διεθνείς οργανισμούς στα ελληνικά δεδομένα είναι η Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 2425/86 (TOTEE2425/86, 1986) ή, αλλιώς, η Τεχνική Οδηγία του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος 2425/86. Ο ακριβής τίτλος της είναι «Εγκαταστάσεις σε κτίρια, στοιχεία υπολογισμού φορτίων κλιματισμού κτιριακών χώρων» και επικεντρώνεται στη μελέτη της θερμοκρασίας και της υγρασίας, καθώς και στον τρόπο που αυτές επηρεάζουν τις συνθήκες θερμικής άνεσης μόνες τους και σε συνδυασμό, σύμφωνα με τα ελληνικά δεδομένα.

Από τους Πίνακες 2.11 και 2.12, που παρουσιάζονται παρακάτω, φαίνονται οι τιμές των παραγόντων αυτών για το χειμώνα και το καλοκαίρι και προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Η θερμοκρασία των 15°C είναι επαρκής για το σχεδιασμό χώρων, όπως διάδρομοι και είσοδοι, ώστε να μπορεί να προσαρμόζεται ο άνθρωπος καθώς μεταβαίνει από το εξωτερικό στο εσωτερικό περιβάλλον και αντίστροφα.
- Η κατάλληλη θερμοκρασία σχεδιασμού για χώρους όπου οι άνθρωποι είναι ελαφρά ντυμένοι είναι η θερμοκρασία των 22 °C με 24 °C.
- Η θερμοκρασία σχεδιασμού χώρων, όπως είναι τα αμφιθέατρα και τα γυμναστήρια, δηλαδή χώροι στους οποίους συχνάζουν πολλοί άνθρωποι, είναι οι 16°C με 18 °C.

Πίνακας 2.11: Συνιστώμενες συνθήκες σχεδιασμού για κλιματισμένους χώρους το χειμώνα (TOTEE2425/86, 1986)

Κατηγορία χώρου	Θερμοκρασία C	σχετική Υγρασία %
Κατοικία	22	30-35
Κτίρια Γραφείων	21-23	30-35
Βιβλιοθήκες-Μουσεία	20-22	40-50
Νοσοκομεία	24	30
Εστιατόρια, κέντρα διασκέδασης	21-23	43-40

Πίνακας 2.12: Συνθήκες σχεδιασμού κλιματιζόμενων χώρων το καλοκαίρι (TOTEE2425/86, 1986)

Τύπος κτιρίου	Θερμοκρασία (C)	Σχετική Υγρασία (%)
---------------	------------------	---------------------

Κατοικίες	22-26	40-50
Κτίρια Γραφείων	25-26	40-50
Βιβλιοθήκες- Μουσεία	22	40-50
Εστιατόρια, 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

2.4.2. Οδηγίες και πρότυπα φωτισμού

Για το φωτισμό δεν υπάρχουν πολλά πρότυπα και οδηγίες. Το πρότυπο που χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο, στο πλείστον των περιπτώσεων, είναι το πρότυπο του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Τυποποίησης CEN και μάλιστα η έκδοση EN 12464-1:2002 του CEN 2002 (CEN-EN12464-1:2002, 2002) που έχει την ονομασία «Φως και Φωτισμός, Φωτισμός στο χώρο εργασίας, Φωτισμός στο εσωτερικό περιβάλλον» (Light and lighting. Lighting of work places. Indoor work places). Με τη χρήση του προτύπου αυτού προσδιορίζονται τα όρια του φωτισμού, ώστε να μπορούν οι χρήστες του κτιρίου να πραγματοποιούν τις δραστηριότητές τους χωρίς τον κίνδυνο να εμφανιστούν συνέπειες στην όρασή τους, όπως π.χ. είναι η θάμβωση και η τύφλωση.

Ο φωτισμός μπορεί να είναι είτε φυσικός, είτε τεχνητός ή ακόμα και η χρήση των δύο μαζί συνδυαστικά, αν και συνήθως δίνεται προτεραιότητα στο φυσικό

φωτισμό. Ο τρόπος με τον οποίο επιτυγχάνεται ο σωστός φωτισμός ενός κτιρίου εξαρτάται κυρίως από τις ώρες λειτουργίας του και την τοποθεσία στην οποία βρίσκεται. Το είδος του φωτισμού που επιλέγεται για το κάθε κτίριο πρέπει να γίνεται προσεκτικά, καθώς τα μικρά ανοίγματα, για παράδειγμα, εμποδίζουν την απόδοση του φυσικού φωτισμού, αφού μειώνουν τη διείσδυση του φυσικού φωτός στο εσωτερικό του κτιρίου, ενώ τα μεγάλα ανοίγματα στους τοίχους του κτιρίου προκαλούν υπερθέρμανση του χώρου.

Στον Πίνακα 2.13 παρουσιάζονται τα προτεινόμενα όρια φωτισμού που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της οπτικής άνεσης σε εσωτερικούς χώρους.

Πίνακας 2.13: Προτεινόμενα όρια φωτισμού (CEN-EN12464-1:2002, 2002)

Τύπος κτιρίου	Χώροι	επίπεδα φωτισμού E m στην επιφάνεια εργασίας (lx)	UGR	Ra	παρατηρήσεις
κτίρια γραφείων	απλά γραφεία	500	19	80	στα 0,8 m
	γραφεία ανοιχτού τύπου	500	19	80	στα 0,8 m
	χώροι συνεδριάσεων	500	19	80	στα 0,8 m
εκπαιδευτικά κτίρια	αίθουσες μαθημάτων	300	19	80	στα 0,8 m
	αίθουσες μαθημάτων για ενήλικες	500	19	80	στα 0,8 m
	χώροι διαλέξεων	500	19	80	στα 0,8 m
νοσοκομεία	Φωτισμός θαλάμων General ward lighting	100	19	80	στα 0,8 m
	Φωτισμός σε χώρους εξέτασης η	300	19	80	στα 0,8 m

	φωτισμός σε χώρους εξέτασης και θεραπείας	1000	19	90	στα 0,8 m
Ξενοδοχεία και εστιατόρια		-	-	80	στα 0,8 m
αθλητικά κέντρα sport facilities	χώροι άθλησης	300	22	80	στα 0,1 m
πολυκαταστήματα	χώροι πώλησης	300	22	80	στα 0,8 m
	ταμεία	500	19	80	στα 0,8 m
χώροι κυκλοφορίας	διάδρομοι	100	28	40	στα 0,1 m
	σκάλες	150	25	40	στα 0,1 m

2.4.3. Οδηγίες και πρότυπα ρύπων εσωτερικών χώρων

Ι. Διεθνή πρότυπα ρύπων εσωτερικών χώρων

Οι φορείς που καθορίζουν τα επιτρεπτά όρια των ρύπων του εσωτερικού αέρα είναι αρκετά λιγότεροι από αυτούς που καθορίζουν τα όρια των περιβαλλοντικών και βιομηχανικών ρύπων. Οι φορείς αυτοί καθορίζουν τα εθνικά και διεθνή πρότυπα και θεωρούν του ίδιους ρύπους ως πιθανούς αίτιους πρόκλησης βλαβών στην υγεία των χρηστών ενός κτιρίου. Παρόλο που υπάρχουν πολλοί ρύποι, που επηρεάζουν την ποιότητα του εσωτερικού αέρα, έξι από αυτούς θεωρούνται πιο επικίνδυνοι από όλους, αποτελούν τους δείκτες ελέγχου της ποιότητας του και είναι το μονοξείδιο του άνθρακα, το διοξείδιο του αζώτου, το όζον, ο μόλυβδος, τα αιωρούμενα σωματίδια και το διοξείδιο του θείου. Οι σημαντικότεροι και πιο γνωστοί διεθνείς οργανισμοί που ορίζουν τα σημαντικότερα πρότυπα και τα όρια για την εκτίμηση της ποιότητας του εσωτερικού αέρα (Spengler, et al., 2001) είναι:

- WHO (World Health Organization): Καθορίζει τα όρια μη-βιομηχανικών ρύπων και, παρόλο που αναφέρεται σε ατμοσφαιρικούς ρύπους του περιβάλλοντος,

πολλές είναι οι χώρες που χρησιμοποιούν τα όρια αυτά και για εσωτερικούς χώρους.

- US EPA (Environmental Protection Agency): Ο οργανισμός αυτός καθορίζει τα κριτήρια NAAQS (National Ambient Air Quality Standards) για τον ατμοσφαιρικό αέρα. Τα κριτήρια αυτά πρέπει να αναθεωρούνται κάθε πέντε χρόνια, ενώ αναφέρονται για τις ευαίσθητες κοινωνικές ομάδες ανθρώπων. Ακόμα είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι τα όρια αυτά αλλάζουν ανάλογα με τη διάρκεια έκθεσης του ανθρώπου στους ρύπους αυτούς.
- NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health): Επικεντρώνεται στον προσδιορισμό των ανώτατων επιπέδων έκθεσης του ανθρώπου σε ρύπους μέσα σε βιομηχανικούς χώρους, χωρίς να λαμβάνει υπόψη τη δυσaráσκεια των ατόμων στον καθορισμό των ορίων. Τα όρια αυτά δε μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό των ορίων που αντιπροσωπεύουν τις ευαίσθητες ομάδες ατόμων.
- OSHA (Occupational Safety and Health Administration): Προσδιορίζει τα απαραίτητα όρια ρύπων εσωτερικών βιομηχανικών χώρων, χωρίς να λαμβάνει, επίσης, υπόψη τη δυσaráσκεια των ατόμων στον καθορισμό των ορίων και οι τιμές των ορίων αυτών αλλάζουν μόνο μετά από αλλαγή της νομοθεσίας. Τα όρια αυτά δε χρησιμοποιούνται όταν πρόκειται να γίνει προσδιορισμός ή σύγκριση ορίων που αναφέρονται σε ευαίσθητες ομάδες ανθρώπων.
- ACGIH (American Council of Governmental Industrial Hygienist): Ο οργανισμός αυτός αναφέρεται επίσης σε εσωτερικούς βιομηχανικούς χώρους και καθορίζει τα όρια των ρύπων, διαφέρει, όμως, των προηγουμένων γιατί αναφέρεται σε συγκεκριμένη χρονική διάρκεια έκθεσης του ανθρώπου στους

ρύπους. Η διάρκεια αυτή είναι στις 40h την εβδομάδα. Επίσης, και τα όρια αυτά δεν αναφέρονται σε ευαίσθητες ομάδες ατόμων.

- ΜΑΚ: Πραγματεύονται τις συνιστώμενες μέγιστες εκθέσεις του ανθρώπου στους ρύπους σε βιομηχανικό χώρο. Τα πρότυπα αυτά είναι προϊόν ενός γερμανικού οργανισμού, του Deutsche Forschungs Gemeinschaft και γι' αυτό το λόγο ισχύουν μόνο στη Γερμανία. Τα όρια αυτών των προτύπων ανανεώνονται με ετήσιες αναφορές.

Στον Πίνακα 2.4 παρουσιάζονται τα όρια των έξι αυτών ρύπων σύμφωνα με κάθε διεθνές πρότυπο.

Πίνακας 2.14: Διεθνή όρια για τους σημαντικότερους εσωτερικούς ρύπους (ASHRAE62.1-2004, 2004)

	Εκτελεστέα ή νομοθετικά επίπεδα			Μη υποχρεωτικές οδηγίες και επίπεδα αναφοράς			
	NAAQS/EPA	OSHA	MAK	Canadian	WHO/europe	NIOSH	AGGIH
Διοξ. άνθρακα		5000 ppm	5000 ppm 10000 ppm [1h]	3500 ppm [L]		5,000ppm 30,000ppm [15min]	5,000ppm 30,000ppm [15min]
Μον. άνθρακα	9ppm ¹ 35ppm[1h]	50ppm	30 ppm 60ppm [30min]	11ppm[8h] 25 ppm[1h]	90ppm[15min] 50ppm[30min] 25ppm [1h] 10 ppm [8h]	35ppm 200ppm[C]	25ppm
Φορμαλδεϋδη		0.75ppm 2ppm [15m]	0.3ppm [30m] 1ppm	0.1ppm[L] 0.05ppm[L]	0.1 mg/m ³ 0.081ppm [30min]	0.016ppm 0.1ppm [15min]	0.3ppm[C]
Μόλυβδος	1.5μg/ m ³ [3months]	0.05 mg/m ³	0.1 mg/m ³ 0.5-1.0mg/m ³ [30min]	Ελαχιστοποίηση έκθεσης	0.5μg/m ³ [1y]	0.1mg/m ³ [10h]	0.05 mg/m ³
Διοξ. αζώτου	0.05ppm[1y]	5ppm[C]	5ppm 10ppm [5 min]	0.05ppm 0.25ppm[1h]	0.1ppm[1h] 0.004ppm[1y]	1ppm [15min]	3ppm 5ppm [15min]
Οζόν	0.12ppm[1h] ¹ 0.08ppm	0.1ppm ²	³	0.12ppm[1h]	0.064ppm 120μg/m ³ [8h]	0.1ppm[C]	0.05ppm ⁴ 0.08ppm ⁵ 0.1ppm ⁶ 0.2ppm ⁷
Αιωρούμενα σωματίδια < 2.5 μm MMAD ⁸	15μg/m ³ [1y] 65 μg/m ³ [24h]	5mg/m ³ [1h]	1.5mg/m ³ [1h] για < 4μm	0.1mg/m ³ [1h] 0.04mg/m ³ [L]			3 mg/m ³
Αιωρούμενα σωματίδια <10 μm MMAD ⁸	50μg/m ³ [1y] 150 μg/m ³ [24h]		4 mg/m ³ [L]				10 mg/m ³
Συνολικά αιωρούμενα σωματίδια		15 mg/m ³					
Διοξ. θείου	0.03ppm[1y] 0.14ppm[24h]	5ppm	0.5ppm1ppm ²	0.38ppm [5min] 0.019ppm	0.048ppm[24h] 0.012ppm[1y]	2ppm 5ppm[15min]	2ppm 5ppm[15min]
Ραδόνιο					2.7pCi/L[1y]		

¹ Τα επίπεδα δεν πρέπει να υπερβαίνουν αυτή την τιμή για περισσότερο από μία φορά το χρόνο.
² Τα επίπεδα δεν πρέπει ποτέ να υπερβαίνουν αυτή την τιμή.
³ Καρκινογόνο, δεν έχει μέγιστα επιτρεπτά όρια
⁴ TLV για βαριά εργασία
⁵ TLV για μέση εργασία
⁶ TLV για ελαφρά εργασία
⁷ TLV για οποιαδήποτε εργασία=2 h
⁸ MMAD: mass median aerodynamic diameter, μέση αεροδυναμική διάμετρος των σωματιδίων σε μm

II. Όρια του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας-WHO (World Health Organization)

Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας- WHO με την οδηγία αυτή, (WHO, 2000)

επικεντρώνεται στα όρια των έξι κύριων ρύπων του εσωτερικού αέρα. Οι ρύποι αυτοί είναι:

- Το μονοξειδίο του άνθρακα

- Το διοξείδιο του αζώτου
- Το όζον
- Ο μόλυβδος
- Τα αιωρούμενα σωματίδια
- Το διοξείδιο του θείου

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι στις Ηνωμένες Πολιτείες οι έξι αυτοί ρύποι παρατίθενται και στα Εθνικά Περιβαλλοντικά Πρότυπα Ατμοσφαιρικής Ποιότητας-NAAQS (National Ambient Air Quality Standards).

Για τον καθορισμό ορίων των ρύπων αυτών, ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας- WHO εξετάζει κάποια κριτήρια-παραμέτρους, τα οποία είναι:

- συγκεντρώσεις των καρκινογόνων και μη- καρκινογόνων ουσιών.
- Κριτήρια επιπτώσεων πέραν της καρκινογένεσης, όπως είναι το επίπεδο καμίας παρατηρούμενης επίδρασης (NOAEL -No-observed adverse effect level) και το επίπεδο χαμηλής παρατηρούμενης επίδρασης (LOAEL -lowest observed adverse effect level). Τα κριτήρια αυτά καθορίζουν τα όρια της υψηλότερης συγκέντρωσης ρύπου, ώστε να μην παρουσιαστεί καμία δυσμενής επίδραση σε οργανισμό, ή της μικρότερης συγκέντρωσης για την εμφάνιση δυσμενών συνεπειών για την υγεία, αντίστοιχα. Εξετάζονται, επίσης, κριτήρια για την επιλογή της δυσμενούς συνέπειας, δηλαδή της λειτουργικής εξασθένισης ή των παθολογικών βλαβών του ανθρώπινου οργανισμού, ως συνέπεια της έκθεσής του σε συγκεκριμένη συγκέντρωση ενός ρύπου. Στην κατηγορία αυτή συμπεριλαμβάνεται και ο έλεγχος της προσέγγισης της συγκριτικής μέτρησης επιδόσεων, δηλαδή ο προσδιορισμός του ελάχιστου ορίου συγκέντρωσης ενός ρύπου που συνεπάγεται μια δεδομένη αύξηση στο επίπεδο μιας επίδρασης.

- Τα κριτήρια αξιολόγησης του κινδύνου καρκινογόνων επιπτώσεων. Αυτό πραγματοποιείται σε δύο στάδια. Πρώτα πραγματοποιείται η ποιοτική αξιολόγηση του ρύπου, δηλαδή ελέγχεται η πιθανότητα ο ρύπος αυτός να αποτελεί καρκινογόνο ουσία και δεύτερον γίνεται η ποσοτική αξιολόγηση του κινδύνου εμφάνισης καρκινογόνων επιπτώσεων, δηλαδή εξετάζεται η πιθανότητα να εμφανιστεί καρκίνος στον άνθρωπο μετά από συγκεκριμένα επίπεδα και διάρκεια έκθεσης αυτού στην υπό εξέταση ουσία.

Στους Πίνακες 2.15 και 2.16 παρουσιάζονται οι τιμές των ορίων των ρύπων που προαναφέρθηκαν σύμφωνα με τον WHO και τα NAAQS.

Πίνακας 2.15: Τιμές οδηγίας WHO για τα κριτήρια των ατμοσφαιρικών ρύπων (WHO, 2000)

Ένωση	Ετήσια συγκέντρωση ατμοσφαιρικού αέρα (μg/m ³)	Κρίσιμο σημείο για την ανθρώπινη υγεία	Επίπεδο που παρατηρείται η επίδραση (μg/m ³)	Τιμή οδηγίας (μg/m ³)	Υπολογισμός μέσου όρου του χρόνου
μονοξείδιο του άνθρακα	500-700	κρίσιμο επίπεδο COHb<2,5% (COHb: Καρβομονοξυαιμοσφαιρίνη	-	100.000	15λ
				60.000	30min
				30.000	1 ώρα
				10.000	8 ώρες
μόλυβδος	0,01-2	κρίσιμο επίπεδο του PB στο αίμα <PB 100-150μg	-	0,5	1 έτος
διοξείδιο του αζώτου	10-150	μικρές επιδράσεις στους πάσχοντες από άσθμα	365-565	120	1h
όζον	10-100	αντιδράσεις αναπνευστικής λειτουργίας	-	120	8ώρες
διοξείδιο του θείου	5-400	επιδράσεις στους πασχοντες από άσθμα. Επιδεινώσεις των αναπνευστικών συμπτωμάτων στα ευαίσθητα άτομα	1000	500	10min
			250	125	24ώρες
			100	50	1 έτος

Πίνακας 2.16: US-Environmental Protection Agency, NAAQS πρότυπα ποιότητας περιβαλλοντικού αέρα για τα κριτήρια ατμοσφαιρικών ρύπων

Ρύπος	Τιμή Προτύπου	Υπολογισμός μέσου όρου του χρόνου
μονοξείδιο άνθρακα (CO)	9ppm (10mg/m ³)	οκτώ ώρες μέσος όρος
	35ppm (40mg/m ³)	μία ώρα μέσος όρος
Διοξείδιο του αζώτου(NO₂)	0,053ppm (100mg/m ³)	ετήσιος αριθμητικός μέσος όρος
όζον (O₃)	0,12ppm (235μg/m ³)	μία ώρα μέσος όρος
	0,08ppm (157μg/m ³)	οκτώ ώρες μέσος όρος
μόλυβδος (Pb)	1,5μg/m ³	τρεις μήνες μέσος όρος
αιωρούμενα σωματίδια (PM₁₀) (με διάμετρο 10μm ή λιγότερο)	50μg/m ³	ετήσιος αριθμητικός μέσος όρος
	150μg/m ³	εικοσιτετράωρος μέσος όρος
αιωρούμενα σωματίδια (PM_{2,5}) (με διάμετρο 2,5μm ή λιγότερο)	15μg/m ³	ετήσιος αριθμητικός μέσος όρος
	65μg/m ³	εικοσιτετράωρος μέσος όρος
διοξείδιο του θείου (S₂)	0,03ppm (80μg/m ³)	ετήσιος αριθμητικός μέσος όρος
	0,14ppm (365μg/m ³)	εικοσιτετράωρος μέσος όρος
	0,50ppm (1300μg/m ³)	τριών ωρών μέσος όρος

2.4.4. Οδηγίες CO₂

Κάθε οργανισμός, επομένως και ο ανθρώπινος, βρίσκεται σε συνεχή λειτουργία, με διαρκείς τις μεταβολικές διεργασίες, με αποτέλεσμα τη συνεχή παραγωγή CO₂. Αυτός είναι ο λόγος που καθιστά το CO₂ ως το σημαντικότερο ρύπο του εσωτερικού περιβάλλοντος και αποτελεί ένδειξη για την αξιολόγηση του αέρα ενός κλειστού χώρου. Θα συνεχίσει να παράγεται μέσα στο κτίριο, παρόλα τα μέτρα απομάκρυνσης των ρύπων, αλλά και των πηγών τους, που τυχόν να έχουν παρθεί.

Ο έλεγχος του CO₂, ως παράμετρος για τον έλεγχο της ποιότητας του εσωτερικού αέρα, απασχόλησε τους ειδικούς από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα.

Στον Πίνακα 2.17 παρουσιάζονται οι κλάσεις διαχωρισμού, συναρτήσει του δείκτη PPD, ανάλογα με τη συγκέντρωση του CO₂.

Πίνακας 2.17: Διαχωρισμός κλάσεων των εσωτερικών χώρων με βάση την συγκέντρωση CO₂

Κλάση	Συγκέντρωση CO ₂ [ppm]	PPD [%]
I	460	15
II	660	20
III	1190	30

2.4.5. Πρότυπα αερισμού κτιρίων

Πρότυπο ANSI/ASHRAE 62.1-2004

Το πρότυπο ANSI/ASHRAE 62.1-2004, (ASHRAE62.1-2004, 2004), με την ονομασία «Αερισμός για αποδεκτή ποιότητα εσωτερικού αέρα», αποτελεί την αναθεώρηση του πρότυπου 62 και παρέχει πληροφορίες σχετικά με τις μέγιστες και τις ελάχιστες τιμές που συνιστάται να γίνεται ο ρυθμός εναλλαγής αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον του κτιρίου στους εσωτερικούς του χώρους, ώστε να

επιτυγχάνεται η επιθυμητή εσωτερική ποιότητα αέρα. Παρέχει όρια και για τα νέα κτίρια αλλά και για τις προσθήκες που είναι δυνατόν να γίνουν στα είδη υπάρχοντα. Το πρότυπο ASHRAE 62.1-2004 επικεντρώνεται και στους χημικούς, βιολογικούς και φυσικούς παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα εσωτερικού αέρα.

Σύμφωνα με το πρότυπο, οι διαδικασίες με τις οποίες επιτυγχάνεται η επιθυμητή ποιότητα εσωτερικού αέρα είναι:

- Εναλλαγή αέρα με εξωτερικό αέρα. Με αυτή τη διαδικασία εισέρχεται στο κτίριο αέρας συγκεκριμένης ποσότητας και ποιότητας από το εξωτερικό περιβάλλον του κτιρίου, για να επιτευχθεί η επιθυμητή ποιότητα εσωτερικού αέρα. Η διαδικασία αυτή στηρίζεται στον αποδεκτό εξωτερικό αέρα, στην επεξεργασία του εξωτερικού αέρα και στις απαιτήσεις αερισμού του κτιρίου.
- Ποιότητα εσωτερικού αέρα. Η διαδικασία επίτευξης της επιθυμητής ποιότητας εσωτερικού αέρα επιτυγχάνεται με τον έλεγχο των ήδη γνωστών ρυπογόνων παραγόντων, όπως είναι οι μικροοργανισμοί, τα διάφορα αέρια και ο καπνός.

Στον Πίνακα 2.18 παρουσιάζονται τα όρια των συγκεντρώσεων των ρύπων του εξωτερικού αέρα, από τις οποίες κρίνεται αν είναι αποδεκτός ή όχι, καθώς, αν οι συγκεντρώσεις των ρύπων υπερβαίνουν τα όρια, πρέπει να επεξεργαστεί ο αέρας του εξωτερικού περιβάλλοντος για να γίνει αποδεκτός.

Πίνακας 2.18: Πρότυπα για την εκτίμηση της ποιότητας του εξωτερικού αέρα για χρήση σε εσωτερικούς χώρους (**ASHRAE62.1-2004, 2004**)

Ρυπαντής	μεγάλο χρονικό διάστημα	μικρό χρονικό διάστημα
	μέση συγκέντρωση	μέση συγκέντρωση

	mg/m3	ppm		mg/m3	ppm	
Διοξ. Θείου	80	0,03	1 έτος	365(α)	0,14 (α)	24 ώρες
Σωματίδια (PM10)	50(β)	-	1 έτος	150(α)	-	24 ώρες
μονοξ. Άνθρακα	-	-	-	40.000(α)	35(α)	1 ώρα
μονοξ. Άνθρακα	-	-	-	10.000(α)	9 (α)	8 ώρες
όζον	-	-	-	235(α)	0,12(γ)	1 ώρα
διοξ. Αζώτου	100	0,005	1 έτος	-	-	-
μόλυβδος	1,5	-	3 μήνες	-	-	-

Συνιστώμενος αερισμός για την Ελλάδα Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 2425/86

Σύμφωνα με το πρότυπο Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 2425/86 (ΤΟΤΕΕ2425/86, 1986) που ισχύει στην Ελλάδα, η ποσότητα του φρέσκου αέρα που πρέπει να παρέχεται από το σύστημα αερισμού, για την επίτευξη της επιθυμητής ποιότητας εσωτερικού αέρα και περιβάλλοντος μέσα στα κτίρια, επιτυγχάνεται όταν εφαρμόζονται τα παρακάτω κριτήρια:

- Ωριαία αντικατάσταση εσωτερικού αέρα με νεοεισερχόμενο.
- Απαιτούμενη ποσότητα αέρα ανά άτομο, όταν πρόκειται για χώρους όπου συγκεντρώνονται πολλοί άνθρωποι.
- Υπολογισμός απαιτούμενης ποσότητας αέρα σύμφωνα με τη ρύπανση του αέρα. Υπολογίζεται από την σχέση: $V = \frac{K}{MAC=Ka} (m^3/h)$ όπου:

K : είναι η παραγόμενη ποσότητα επιβλαβούς αερίου για την ανθρώπινη υγεία.

Ka : η αναλογία επιβλαβούς αερίου/προσαγώμενου αέρα, και

MAC : η μέγιστη επιτρεπόμενη συγκέντρωση ανθυγιεινής ουσίας στον χώρο, η οποία είναι διαφορετική για κάθε ουσία και δίνεται σε κατάλληλο πίνακα μέσα στο πρότυπο.

Στον Πίνακα 2.19 παρουσιάζονται τα όρια της ωριαίας εναλλαγής αέρα για τα διάφορα είδη χώρων.

Πίνακας 2.19: Ωριαία εναλλαγή του αέρα για διάφορα είδη χώρων (ΤΟΤΕΕ2425/86, 1986)

Είδος χώρου	Ωριαία εναλλαγή αέρα
λουτρά	5-8 φορές
βιβλιοθήκες	4-5 φορές
γραφεία	4-8 φορές
χώροι επισκεπτών	5-10 φορές
αμφιθέατρα	8-10 φορές
εμπορικά καταστήματα	4-6 φορές
κινηματογράφοι, θέατρα	4-6 φορές
καταστήματα	6-8 φορές
αίθουσες χειρουργείων	15-20 φορές
κολυμβητήρια	3-4 φορές
αίθουσες συνεδριάσεων	6-8 φορές
αποδυτήρια	8-10 φορές
χώροι πωλήσεων	4-8 φορές
χώροι συγκεντρώσεων	5-10 φορές
συνεργεία χωρίς ιδιαίτερη παραγωγή ρυπαντών	3-6 φορές

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΘΕΡΜΙΚΗ ΚΑΙ ΟΠΤΙΚΗ ΑΝΕΣΗ

3.1. Βασικές έννοιες Θερμικής Άνεσης

Ως κλίμα ορίζεται το σύνολο μιας σειράς περιβαλλοντικών παραμέτρων ή στοιχείων, όπως είναι η θερμοκρασία, η υγρασία, η ταχύτητα και η κατεύθυνση του αέρα και σύνθεση του αέρα (αναλογία αερίων, ύπαρξη προσμείξεων και ατμών, παρουσία στερεών ή υγρών αιωρημάτων κλπ). Επομένως, ανά πάσα στιγμή, κάθε περιοχή ή κάθε χώρος έχουν το κλίμα τους. Το κλίμα του εξωτερικού (ανοιχτού και ελεύθερου από τοιχώματα) περιβάλλοντος ονομάζεται συνήθως εξωκλίμα και το κλίμα των προστατευμένων ή κλειστών χώρων εσωκλίμα (Πέρδιος, 2006).

Μια σειρά πολύπλοκων παραγόντων καθορίζουν το βαθμό επίδρασης και εξάρτησης του εσωκλίματος από το εξωκλίμα.

Οι βασικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν το εσωκλίμα είναι:

- Οι εξωτερικές συνθήκες που επικρατούν (εξωκλίμα), η θέση και η μορφή του κτιρίου, στην οποία περιλαμβάνονται ο προσανατολισμός, ο θόρυβος και οι αποστάσεις από γειτονικά κτίρια, αλλά και η αμεσότητα έκθεσης του κτιρίου στις περιβαλλοντικές μεταβολές.
- Το κέλυφος του κτιρίου, στο οποίο συγκαταλέγονται τα δομικά και αρχιτεκτονικά στοιχεία (τοιχώματα, κουφώματα, μονώσεις, ανοίγματα, διάφορες κατασκευές) καθώς και ο βαθμός απομόνωσης του χώρου (θερμομονωτική, θερμοαπορροφητική, θερμοαποθηκευτική ικανότητα).
- Το περιεχόμενο και η χρήση του κτιρίου, όπως η παρουσία και ο αριθμός ζωντανών οργανισμών, μέσω των βιολογικών τους λειτουργιών και την αναπτυσσόμενη δραστηριότητάς τους, τα έπιπλα, τα υλικά, ο φωτισμός, οι συσκευές και τα μηχανήματα.

Η ανθρώπινη παρουσία σε ένα κτίριο κρίνει απαραίτητη την άμεση εξασφάλιση της ποιότητας του εσωτερικού αέρα. Ως θερμική άνεση στο εσωτερικό ενός χώρου

ορίζεται η κατάσταση του ανθρώπινου οργανισμού στην οποία δεν χρειάζεται να καταναλωθεί ενέργεια για τη διατήρηση του θερμικού ισοζυγίου του ανθρώπου (Πέρδιος, 2006) ή αλλιώς όταν ένας άνθρωπος αισθάνεται ικανοποιημένος με τις θερμικές συνθήκες που επικρατούν και δεν επιθυμεί καμία θερμική αλλαγή στο εσωτερικό περιβάλλον. (ASHRAE55-2004, 2004).

Η θερμική άνεση του ανθρώπου επιτυγχάνεται όταν η θερμορύθμισή του είναι η ελάχιστη δυνατή. Θερμορύθμιση είναι η διαδικασία με την οποία το ανθρώπινο σώμα διατηρεί τη θερμοκρασία του σε ανεκτά όρια, καταναλώνοντας την ελάχιστη δυνατή ενέργεια (Πέρδιος, 2006). Επομένως, οι παράμετροι που απαρτίζουν το εσωκλίμα, όπως και οι παράγοντες που το επηρεάζουν, θα πρέπει να ελέγχονται, όχι μόνο κατά το σχεδιασμό και την κατασκευή του κτιρίου, αλλά και καθόλη τη διάρκεια χρήσης του, γιατί η θερμική άνεση που είναι απαραίτητη στους χρήστες του κτιρίου επιτυγχάνεται όταν οι παράγοντες του εσωκλίματος εξισορροπούν τις μεταβολές του εξωκλίματος.

3.2. Βασικοί Παράγοντες επίδρασης θερμικής άνεσης

Όπως αναφέρθηκε, ο όρος θερμική άνεση αναφέρεται στην αίσθηση φυσικής και πνευματικής ευεξίας που αισθάνεται ένας άνθρωπος σε ένα χώρο και δεν επιθυμεί καμία θερμική αλλαγή. Η θερμική άνεση είναι ένα υποκειμενικό αίσθημα που είναι διαφορετικό για κάθε άνθρωπο. Αυτό σημαίνει ότι ένας άνθρωπος μπορεί να είναι ικανοποιημένος με τις θερμικές συνθήκες που επικρατούν, ενώ ένας άλλος να μην είναι, να αισθάνεται δυσφορία και να θέλει να αλλάξουν. Οι συνθήκες θερμικής άνεσης ποικίλουν από κτίριο σε κτίριο και πολλές φορές είναι διαφορετικές ακόμα και σε εσωτερικούς χώρους του ίδιου κτιρίου. Η θερμική άνεση επηρεάζεται, θετικά ή αρνητικά, από περιβαλλοντικούς αλλά και προσωπικούς παράγοντες, οι οποίοι κατηγοριοποιούνται σε φυσικές, βιολογικές και εξωτερικές παραμέτρους, όπως

φαίνεται παρακάτω. (Κουτσούκος, 2012) Επομένως, για να γίνει εφικτή μία αντικειμενική αποτίμηση της θερμικής άνεσης θα πρέπει να προσδιοριστούν οι παράμετροι αυτοί.

Οι παράμετροι που επηρεάζουν την θερμική άνεση είναι:

Φυσικοί παράμετροι

- Η Θερμοκρασία του αέρα [$^{\circ}\text{C}$]
- Η Μέση Θερμοκρασία Ακτινοβολίας των εσωτερικών επιφανειών [$^{\circ}\text{C}$]
- Η Υγρασία και σχετική υγρασία του αέρα [Pa]
- Η Ταχύτητα του εσωτερικού αέρα [m/s]
- Η Χωροταξική κατανομή των παραπάνω μεγεθών

Βιολογικές παράμετροι

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

Εξωτερικές παράμετροι

- Το είδος των δραστηριοτήτων των χρηστών του χώρου [met] (1met= 58,15W/m)
- Ο τύπος του ρουχισμού των χρηστών του χώρου [clo] (1clo= 0,155m²⁰C/W)

Οι βασικότερες από αυτές τις παραμέτρους, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν και στην παρούσα Διπλωματική Εργασία, αναλύονται στις επόμενες παραγράφους αυτού του κεφαλαίου.

3.2.1 Περιβαλλοντικοί παράγοντες

3.2.1.1. Θερμοκρασία του αέρα

Η θερμοκρασία του αέρα αποτελεί μία από τις σπουδαιότερες παραμέτρους που επηρεάζουν τη θερμική άνεση, καθώς, μαζί με τον παράγοντα της σχετικής υγρασίας, καθορίζουν τη θερμική άνεση σε εσωτερικούς χώρους και είναι οι κύριοι παράγοντες που χρησιμοποιούν οι περισσότεροι δείκτες θερμικής άνεσης. Η θερμοκρασία του αέρα δε δρα ανεξάρτητα, αλλά επηρεάζεται από πλήθος παραμέτρων, οι οποίοι κατηγοριοποιούνται στο εξωτερικό περιβάλλον, στο σχεδιασμό του κτιρίου και στο σύστημα θέρμανσης και ψύξης. Αναλυτικότερα οι παράμετροι αυτοί είναι:

- Εξωτερικό περιβάλλον
- Προσανατολισμός κτιρίου
- Υλικά κατασκευής και θερμομόνωσης κτιρίου
- Τρόπος αερισμού κτιρίου (φυσικός ή μηχανικός)
- Τρόπος σχεδιασμού, κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης ενός μηχανικά αεριζόμενου κτιρίου
- Τρόπος σχεδιασμού ενός φυσικά αεριζόμενου κτιρίου
- Τρόπος σχεδιασμού, κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης του κτιρίου
- Αριθμός και τύπος ηλεκτρικών συσκευών, μηχανημάτων ή εξοπλισμού γραφείων που παράγουν θερμότητα όπως οι οθόνες Η/Υ
- Τρόπος λειτουργίας του κτιρίου και των συστημάτων αερισμού, θέρμανσης και ψύξης από τους χρήστες του

Το πρόβλημα που συναντάται κατά τον προσδιορισμό της θερμοκρασίας του αέρα σε εσωτερικούς χώρους είναι ότι δεν υπάρχει μία βέλτιστη τιμή, αλλά ένα εύρος

τιμών, όπου για παράδειγμα, σύμφωνα με την ASHRAE (American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditions Engineers), κυμαίνεται από τους 21,5°C έως και τους 25°C, όταν η σχετική υγρασία είναι στο 50% και το εύρος αυτό αντιστοιχεί στο 80% των χρηστών του κτιρίου (ASHRAE/Standard55-1992, 1992). Επομένως, στην Ελλάδα είναι πιο εύκολο να προσαρμοστεί η θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα στις τιμές αυτές, καθώς λόγω της γεωγραφικής θέσης της Ελλάδας και του κλίματός της, έχει θερμοκρασίες εξωτερικού περιβάλλοντος πιο κοντά σε αυτό το εύρος τιμών, από ότι άλλες χώρες, στις οποίες κυριαρχούν είτε πολύ χαμηλές είτε πολύ υψηλές τιμές θερμοκρασίας.

Επιπλέον, η θερμοκρασία άνεσης, δηλαδή η θερμοκρασία στην οποία αισθάνεται άνετα ένας άνθρωπος, μπορεί να επηρεαστεί και από διάφορες ενέργειες των χρηστών ενός κτιρίου. Για παράδειγμα, ο ρουχισμός αλλά και ο μεταβολισμός μπορούν να διαμορφώσουν το δείκτη θερμικής άνεσης. Αυτό σημαίνει ότι ανάλογα με τον ρουχισμό, (βαρύς ή ελαφρύς), και ανάλογα με την εργασία, (έντονη ή καθιστική), απαιτείται και πιο χαμηλή ή αυξημένη θερμοκρασία το καλοκαίρι και το χειμώνα αντίστοιχα. Στον Πίνακα 3.1 παρουσιάζονται χαρακτηριστικές τιμές θερμικής άνεσης ανάλογα με την εργασία (μεταβολισμό) των χρηστών του κτιρίου και το ρουχισμό, όπως αυτές προέκυψαν από το μοντέλο MEMI (Munich Energy Balance Model for Individuals) σε συνθήκες μετρήσεων, όπου η θερμοκρασία του αέρα είναι ίση με τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας, η πίεση ατμών ισούται με 10hPa και η ταχύτητα του αέρα ισούται με 0,1 m/s.

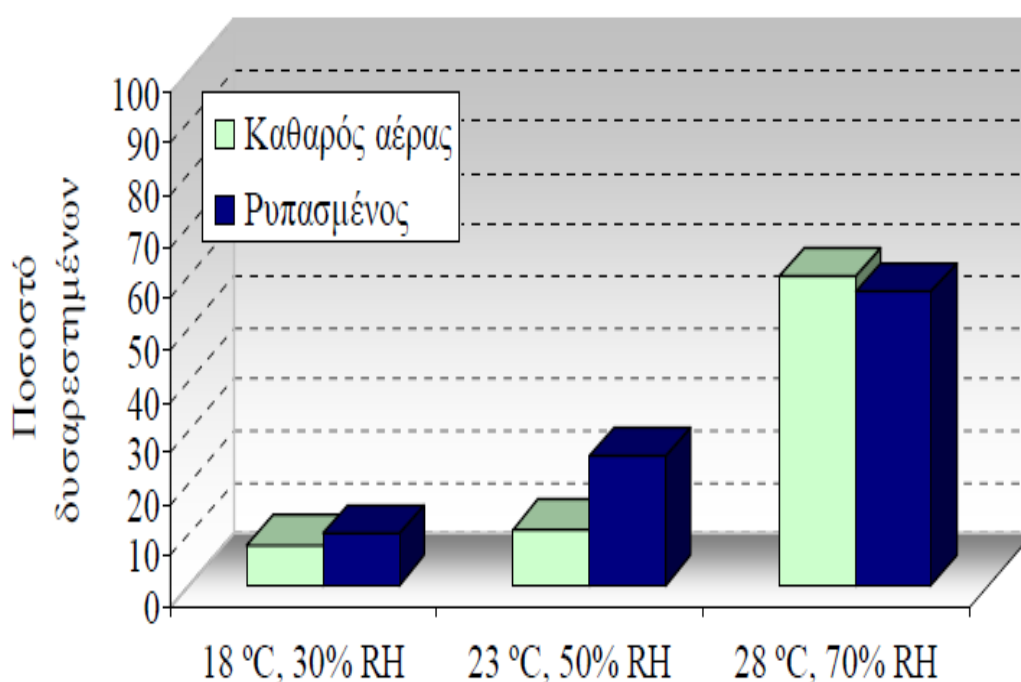
Πίνακας 3.1:Θερμοκρασία αέρα άνεσης σε σχέση με το μεταβολισμό και τον τύπο του ρουχισμού συναρτήσει της εργασίας (Hoppe & Martinac, 1998)

Εργασία	Μεταβολισμός [W]	Ρουχισμός [clo]	Θερμοκρασία άνεσης [Ta(comf), °C]
Ηρεμία	0/0	0,5/1,0	31/29
Καθιστική εργασία	43/43	0,5/1,0	27/23
Ελαφριά εργασία	100/100	0,5/1,0	22/16
Έντονη εργασία	20	0,5/1,0	12

Είναι πολλοί οι παράγοντες που επηρεάζουν τη διατήρηση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό ενός κτιρίου και γι' αυτό είναι δύσκολο να προσδιοριστεί η θερμοκρασία που εξασφαλίζει τη θερμική άνεση.

Έχει αποδειχθεί ότι η θερμοκρασία του αέρα, εκτός των άλλων, επιτείνει και πολλά από τα συμπτώματα του συνδρόμου του άρρωστου κτιρίου, όπως το αίσθημα της ξηρασίας και του ερεθισμού των ματιών. Έρευνες που έγιναν παλαιότερα κατέδειξαν τη σχέση μεταξύ της αίσθησης της ποιότητας αέρα εσωτερικού χώρου με τη θερμοκρασία, καθώς και με τη σχετική υγρασία. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι, σύμφωνα με διάφορες άλλες μελέτες, έχει αποδειχθεί ότι η μεταβολή ενός παράγοντα επίδρασης της θερμικής άνεσης επιφέρει μεταβολές στην αίσθηση των άλλων, με κύρια συσχέτιση μεταβολών παραγόντων αυτή ανάμεσα στην ποιότητα του εσωτερικού αέρα και την θερμοκρασία του. (Αυγελής & Παπαδόπουλος, 2007). Επομένως, οι όποιες αλλαγές πραγματοποιούνται στη θερμοκρασία του αέρα ή στη σχετική υγρασία δεν επιφέρουν αλλαγές μόνο στην αισθανόμενη θερμοκρασία,

δηλαδή στη θερμική άνεση, αλλά και στην αίσθηση της ποιότητας του αέρα από τους χρήστες του κτιρίου και αντίστροφα. Τέτοιες χαρακτηριστικές μελέτες είναι για παράδειγμα οι μελέτες του Fang που πραγματοποιήθηκαν το 1998 (Fang, et al., 1998) και απέδειξαν αυτό ακριβώς το πράγμα, ότι, δηλαδή, αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα και της σχετικής υγρασίας έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της αποδοχής της ποιότητας του αέρα από τους χρήστες του κτιρίου, όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα 3.1.



Διάγραμμα 3.1: Σύγκριση του ποσοστού των δυσαρεστημένων ανθρώπων σχετικά με την αίσθηση του αέρα (καθαρού και με ρύπους) για τα τρία ζεύγη τιμών θερμοκρασίας αέρα και σχετικής υγρασίας: 18°C και 30%, 23°C και 50%, 28°C και 70% αντίστοιχα. (Fang, et al., 1998)

Στο διάγραμμα αυτό, γίνεται η παρουσίαση του ποσοστού των χρηστών του κτιρίου που δυσαρεστούνται με την αίσθηση του αέρα (καθαρού ή με ρύπους) για τρεις περιπτώσεις συνδυασμού θερμοκρασίας και υγρασίας, 18°C και 30% υγρασία, 23°C και 50% υγρασία και 28°C και 70% υγρασία. Φαίνεται ξεκάθαρα ότι μείωση της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας του αέρα συνεπάγεται ελάττωση του αριθμού των δυσαρεστημένων ατόμων.

Επίσης έχει παρατηρηθεί ότι οι τιμές θερμοκρασίας του αέρα, στις οποίες ένας άνθρωπος αισθάνεται θερμική άνεση, εξαρτώνται και από το φύλο του χρήστη. Στον Πίνακα 3.2 παρουσιάζονται ενδεικτικές τιμές θερμοκρασίας θερμικής άνεσης για άτομα διαφόρων ηλικιών και φύλου για το χειμώνα και το καλοκαίρι. Από τον Πίνακα 3.2 συμπεραίνεται ότι οι γυναίκες προτιμούν κατά $0,5^{\circ}\text{C}$ υψηλότερες θερμοκρασίες, ότι με την αύξηση της ηλικίας, άνδρες και γυναίκες, προτιμούν αυξημένες και πάλι κατά $0,5^{\circ}\text{C}$ περίπου τιμές θερμοκρασίας και ότι μόνο κατά την περίοδο της ηλικίας των 40 ετών υπάρχει ταύτιση θερμοκρασιακών προτιμήσεων ανάμεσα στα δύο φύλα.

Πίνακας 3.2: Ενδεικτικές θερμοκρασίες θερμικής άνεσης για άτομα διαφόρων ηλικιών και φύλου (Πέρδιος, 2006)

Εποχή	Φύλο	Ηλικία ατόμων (H)	Επιθυμητή θερμοκρασία (C0		
χειμώνας	άνδρες και γυναίκες	H=40 ετών	20	20,5	21
		H<40	19,5	20	20,5
	άνδρες	H>40	20	20,5	21
		H<40	20	20,5	21
	γυναίκες	H>40	20,5	21	21,5
		H<40	21	21,5	22
καλοκαίρι	άνδρες και γυναίκες	H=40	21	21,5	22
		H<40	20,5	21	21,5
	άνδρες	H>40	21	21,5	22
		H<40	21	21,5	22
	γυναίκες	H>40	21,5	21	23
		H<40	21,5	21	23

3.2.1.2. Σχετική υγρασία ατμοσφαιρικού αέρα

Η υγρασία καθώς επίσης και η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας είναι τα δύο μεγέθη τα οποία παρουσιάζουν τις περισσότερες δυσκολίες κατά τον προσδιορισμό του εσωκλίματος. Ως υγρασία ορίζεται το ποσό των υδρατμών που υπάρχει στον αέρα και εκφράζεται με σχετικούς και απόλυτους όρους. Για τον προσδιορισμό,

όμως, της θερμικής άνεσης χρησιμοποιείται η σχετική υγρασία, που αποτελεί το % ποσοστό του κορεσμένου αέρα σε υδρατμούς, δηλαδή δίνεται από το λόγο της υγρασίας στον αέρα προς την υγρασία που θα περιείχε αν ήταν κορεσμένος, σε ίδιες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας. Η σχετική υγρασία επηρεάζει το θερμικό ισοζύγιο του σώματος μέσω της μεταβολής της θερμοκρασίας του δέρματος, την οποία επιτυγχάνει λόγω της εξάτμισης του νερού από την επιδερμίδα. Έτσι οι τρεις μηχανισμοί του ανθρώπινου σώματος που επηρεάζονται από την υγρασία του αέρα είναι:

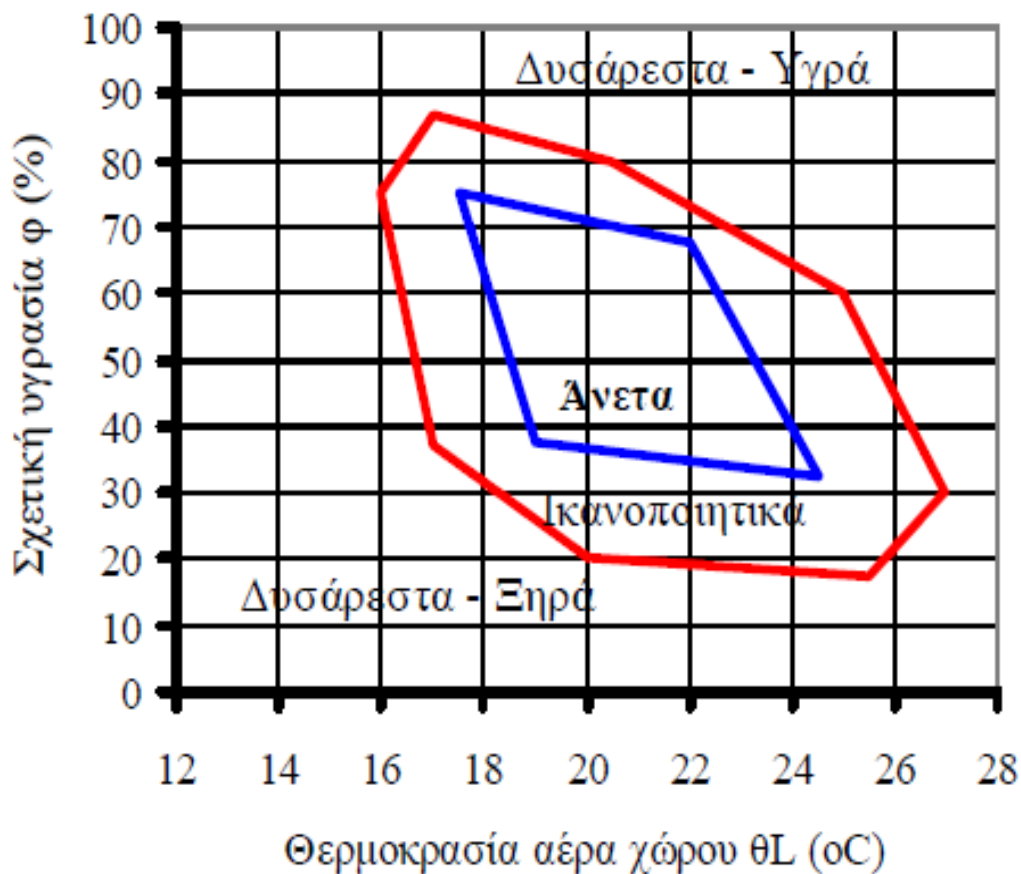
- Μηχανισμός διάχυσης υγρών σώματος σε αέρια μορφή μέσω του δέρματος
- Μηχανισμός εξάτμισης ιδρώτα από την επιφάνεια του δέρματος
- Μηχανισμός ύγρυνσης εισπνεόμενου αέρα

Το ποσό της υγρασίας στον αέρα επηρεάζει τις συνθήκες θερμικής άνεσης σε ένα χώρο. Η υγρασία γίνεται αισθητή από τον άνθρωπο όταν η θερμοκρασία του αέρα είναι μικρότερη από 20°C ή μεγαλύτερη από 25°C. Το εσωκλίμα μπορεί να χαρακτηριστεί ως ξηρό, υγρό ή πολύ υγρό όταν η θερμοκρασία του αέρα είναι ανάμεσα στους 18°C και τους 20°C και η σχετική υγρασία είναι ανάμεσα στο 50- 60%, 60-75% και μεγαλύτερη από 75%, αντίστοιχα. Οι δύο πρώτοι μηχανισμοί επηρεασμού του ανθρώπινου σώματος από τη σχετική υγρασία εξαρτώνται άμεσα από αυτήν, είτε υπάρχουν υψηλά είτε χαμηλά ποσοστά σχετικής υγρασίας. Για παράδειγμα, όταν το ποσοστό της σχετικής υγρασίας είναι μεγαλύτερο της τάξης του 60-70% και ταυτόχρονα η θερμοκρασία του αέρα έχει υψηλές τιμές, τίθεται σε λειτουργία ο μηχανισμός της εφίδρωσης, όπου λόγω του υψηλού ποσοστού της υγρασίας δεν είναι δυνατή η εξάτμιση του ιδρώτα και παραμένει πάνω στην επιφάνεια του δέρματος. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ένας άνθρωπος να αισθάνεται πιο ζεστό τον ατμοσφαιρικό αέρα, από ότι είναι στην πραγματικότητα και το περιβάλλον

κολλώδες. Στην περίπτωση, όμως, που το ποσοστό της υγρασίας είναι μικρότερο του 30% τότε πραγματοποιείται η εξάτμιση μεγάλων ποσοτήτων υγρών και μαζί με αυτά και ο ιδρώτας.

Όταν η θερμοκρασία είναι στους 25°C και η σχετική υγρασία στο 20% προκαλούνται προβλήματα αναπνευστικής δυσφορίας. Είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι προκαλείται θερμική δυσφορία έχοντας οποιοδήποτε συνδυασμό υψηλής θερμοκρασία και υψηλής υγρασίας. Επομένως, είναι εύκολο να συμπεραθεί η σχέση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα με τη σχετική υγρασία και το πώς αυτή επηρεάζει τον ανθρώπινο οργανισμό μέσω της αναπνευστικής οδού. Δύο είναι οι τρόποι με τους οποίους η υγρασία επηρεάζει τον ανθρώπινο οργανισμό αλλά και την αντίληψη της ποιότητας του αέρα. Πρώτον, κατά την αναπνοή και συγκεκριμένα κατά την εισπνοή του αέρα, οι βλεννώδεις μεμβράνες που βρίσκονται στην αναπνευστική οδό ψύχονται με αποτέλεσμα να επηρεάζεται η αντίληψη του θερμικού περιβάλλοντος και δεύτερον, μέσω της αναπνευστικής οδού ρυθμίζεται η υγρασία και η θερμοκρασία του αέρα που εισπνέεται πριν αυτός φτάσει στους πνεύμονες.

Παρά τις τόσες μελέτες και έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί δεν είναι ακόμα δυνατόν να οριοθετηθούν τα όρια της σχετικής υγρασίας μέσα στα οποία επιτυγχάνεται θερμική άνεση και βρίσκονται ακόμα στο στάδιο της διερεύνησης, καθώς εξαρτώνται από πολλές παραμέτρους. Μέχρι στιγμής έχει επιτευχθεί ο προσδιορισμός ζευγών τιμών σχετικής υγρασίας και θερμοκρασίας του αέρα για τον προσδιορισμό της θερμικής άνεσης που παρουσιάζονται σε διαγράμματα, τα οποία ονομάζονται διαγράμματα θερμικής άνεσης και καθορίζουν τα όρια ευεξίας, όπως το Διάγραμμα 3.2 παρακάτω.



Διάγραμμα 3.2: Διάγραμμα θερμικής άνεσης, θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας (Νικολάου.Μ.Sc, n.d.)

Επιπρόσθετα, έχει παρατηρηθεί ότι τα επίπεδα θερμικής άνεσης και, κατά συνέπεια τα αποδεκτά όρια θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας, εξαρτώνται από το φύλο, την ηλικία και τη δραστηριότητα των χρηστών του κτιρίου. Στους Πίνακες 3.3 και 3.4 παρουσιάζονται οι συνιστώμενες συνθήκες θερμικής άνεσης για το χειμώνα και το καλοκαίρι αντίστοιχα.

Πίνακας 3.3: Συνιστώμενες συνθήκες θερμικής άνεσης για το χειμώνα (Πέρδιος, 2006)

περιοχή εφαρμογής	με ύγρανση	επιτρεπτή διακύμανση θερμ/σίας	χωρίς υγρασία	επιτρεπτή διακύμανση θερμ/σίας
-------------------	------------	--------------------------------	---------------	--------------------------------

	θερμ/σια ξηρού θερ/τρου (C)	σχετική υγρασία (%)		θερμ/σια ξηρού θερ/τρου (C)	
κατοικίες, γραφεία, ξενοδοχεία, νοσοκομεία, σχολεία	23-24,5	35-30	.-1,5+2	24-25	.-2
τράπεζες, πολυκαταστήματα, κουρείς, κομμωτήρια	22-23	35-30	.-1,5+2	23-24	.-2
θέατρα, κινηματογράφοι, μπαρ, εκκλησίες, εστιατόρια, κουζίνες	22-23	40-35	.-1+1,5	23,5-24,5	.-2
μηχανοστάσια, χώροι βιομηχανικής εργασία	20-22	35-30	.-2+3	21-23,5	, -3

Πίνακας 3.4: Συνιστώμενες συνθήκες θερμικής άνεσης για το καλοκαίρι (Πέρδιος, 2006)

περιοχή εφαρμογής	"ιδανικές συνθήκες"		συνηθισμένες κατασκευές		επιτρεπτή διακύμανση θερμ/σίας
	θερμ/σια ξηρού θερ/τρου (C)	σχετική υγρασία (%)	θερμ/σια ξηρού θερ/τρου (C)	σχετική υγρασία (%)	
κατοικίες, γραφεία, ξενοδοχεία, νοσοκομεία, σχολεία	23-24,5	50-45	25-25	50-45	1-Φεβ
τράπεζες, πολυκαταστήματα, κουρέια, κομμωτήρια	24,5-25,5	50-45	25,5-26,5	50-45	1-Φεβ
θέατρα, κινηματογράφοι, μπαρ, εκκλησίες, εστιατόρια, κουζίνες	24,5-25,5	55-50	25,5-26,5	60-50	0,5-1
μηχανοστάσια, χώροι βιομηχανικής εργασία	25-26,5	55-45	26,5-29,5	60-50	1,5-3

Τέλος, όταν η θερμοκρασία είναι στους 20⁰C και η σχετική υγρασία στο 80% δημιουργούνται προβλήματα μούχλας, με αποτέλεσμα το σχηματισμό και την ανάπτυξη μικροοργανισμών που μπορούν να επηρεάσουν την υγεία του ανθρώπου και με αυτόν τον τρόπο η σχετική υγρασία επηρεάζει και την ποιότητα του αέρα.

3.2.1.3. Μέση ακτινοβολούμενη θερμοκρασία

Ως μέση ακτινοβολούμενη θερμοκρασία ορίζεται ο μέσος όρος των επιφανειακών θερμοκρασιών των τοίχων που περικλείουν ένα χώρο του υπό μελέτη κτιρίου. Η αρχιτεκτονική του κτιρίου θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε η θερμοκρασία του αέρα και η μέση ακτινοβολούμενη θερμοκρασία να διαφέρουν το πολύ κατά 4°C. Η παράμετρος αυτή δεν επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την θερμική άνεση ενός ανθρώπου καθώς, σύμφωνα με την ASHRAE, όταν η διαφορά ανάμεσα στην

θερμοκρασία του αέρα και την μέση ακτινοβολούμενη θερμοκρασία είναι $0,55^{\circ}\text{C}$ η αισθητή θερμοκρασία μεταβάλλεται κατά $0,28^{\circ}\text{C}$, όπου αισθητή θερμοκρασία είναι η ενδεικτική τιμή θερμοκρασίας η οποία χαρακτηρίζει τη συνδυασμένη επίδραση της θερμοκρασίας και της υγρασίας ενός χώρου στο αίσθημα της άνεσης (Πέρδιος, 2006).

3.2.1.4. Ταχύτητα αέρα

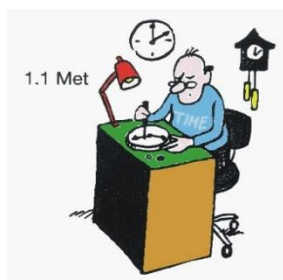
Η κίνηση του αέρα βοηθά στην απομάκρυνση του θερμού και υγρού αέρα που είναι κοντά στην επιδερμίδα του ανθρώπου και επομένως, με τη μεταφορά και την εξάτμιση συμβάλλει στην απώλεια θερμότητας. Η αίσθηση της κίνησης αυτής εξαρτάται από τη θερμοκρασία του αέρα. Η ταχύτητα του αέρα, σε συνδυασμό με τη θερμοκρασία του σώματος προκαλεί είτε την αίσθηση του ψύχους είτε την αίσθηση του δροσισμού και ζέστης. Αίσθημα ψύχους προκαλείται από την αύξηση της ταχύτητας του αέρα όταν η θερμοκρασία του σώματος είναι μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του αέρα, και, αντίθετα, όταν η θερμοκρασία του σώματος είναι μικρότερη από τη θερμοκρασία του αέρα προκαλείται αίσθημα δροσισμού και ζέστης. Το αίσθημα δροσισμού είναι μεγαλύτερο από το αίσθημα της ζέστης όταν η θερμοκρασία του αέρα φτάνει μέχρι τους 40°C το μέγιστο. Στον Πίνακα 3.5, που παρατίθεται στη συνέχεια, φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο η ταχύτητα του αέρα επηρεάζει το αίσθημα του ψύχους στο ανθρώπινο σώμα.

Πίνακας 3.5: Αίσθηση ψύχους στο ανθρώπινο σώμα (Πέρδιος, 2006)

ταχύτητα αέρα (m/s)	θερμοκρασία αέρα ($^{\circ}\text{C}$)			
	4,4	1,6	-1,1	-4
2,2	-2,8	0	-2,2	-6,1
4,5	-5,6	-6,1	-8,9	-12,2
6,7	-7,8	-9,4	-12,2	-16,7
8,9	-9,4	-11,7	-15,8	-19,4
11,2	-11,1	-13,9	-17,8	-21,6

3.2.2. Προσωπικοί Παράγοντες

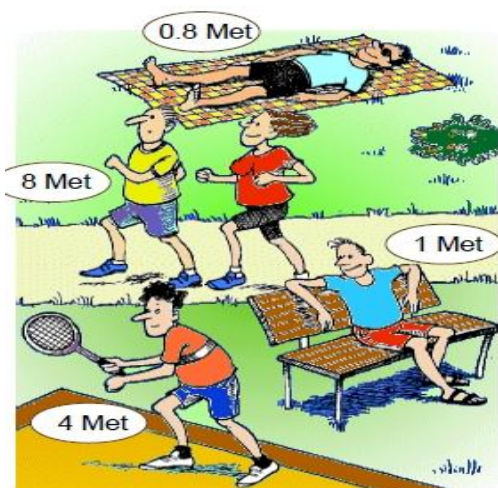
3.2.2.1. Μεταβολικός Ρυθμός



Εικόνα 3.1: Τιμή μεταβολικού ρυθμού σε εργασία γραφείου (ΠΗΓΗ: (Παπαδόπουλος, 2005))

Ένας από τους προσωπικούς παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμική άνεση είναι ο μεταβολικός ρυθμός. Με τον όρο «μεταβολικός ρυθμός» εννοούμε την ενέργεια που καταναλώνεται από τον οργανισμό του ανθρώπου για τις βασικές λειτουργίες του,

όπως είναι η καρδιακή λειτουργία, η λειτουργία της αναπνοής, της πέψης και των υπολοίπων οργανικών συστημάτων, αλλά και για τη



Εικόνα 3.2: Διάφορες τιμές μεταβολικού ρυθμού ανάλογα με την ανθρώπινη δραστηριότητα (ΠΗΓΗ: (Παπαδόπουλος, 2005))

διατήρηση της θερμοκρασίας του σε φυσιολογικά και ανεκτά επίπεδα. Στις Εικόνες 3.1 και 3.2 παρουσιάζονται με παραστατικό τρόπο διάφορες τιμές μεταβολικού ρυθμού σε σχέση με την δραστηριότητα του ανθρώπου, ώστε να γίνει ευκολότερα αντιληπτό το κατά πόσο επηρεάζει το μεταβολικό ρυθμό η ανθρώπινη δραστηριότητα.

Διάφοροι παράγοντες επηρεάζουν σημαντικά

το μεταβολικό ρυθμό, μερικοί από τους οποίους είναι

η ηλικία, το φύλο, η δραστηριότητα και η σωματική διάπλαση. Αυτή η επίδραση στο μεταβολικό ρυθμό εκφράζεται με έκλυση ενέργειας, υπό μορφή θερμότητας, η οποία με τη σειρά της επιδρά στην ποιότητα του αέρα ενός κλειστού χώρου. Για παράδειγμα, όσο πιο έντονη δραστηριότητα έχει ένας χρήστης του κτιρίου τόσο περισσότερη ενέργεια απελευθερώνει, αισθάνεται τη θερμοκρασία του αέρα μεγαλύτερη, από ότι είναι στην

πραγματικότητα και κατά συνέπεια, με αυτόν τον τρόπο, επηρεάζει και τη θερμική άνεση (Moore, 1993).

Στον Πίνακα 3.6 παρουσιάζονται ενδεικτικές τιμές μεταβολικού ρυθμού και ενέργειας, προερχόμενες από έρευνες για τη σύνταξη του προτύπου EN-ISO 7730, ανάλογα με την δραστηριότητα του χρήστη του κτιρίου. Οι καταγραφόμενες μετρήσεις αφορούν ένα άτομο ύψους 1,7m και βάρους 69kg, με έκταση σώματος 1,8 m² και ο μεταβολικός ρυθμός υπολογίζεται σε φυσικές μονάδες και μονάδες μεταβολισμού (met). Ειδικότερα, 1 met ισούται με 58 W/m² εκπομπή θερμότητας ανά έκταση σώματος.












Πίνακας 3.6: : Βασικός μεταβολικός ρυθμός για διάφορες δραστηριότητες (ISO7730, 2005)

Δραστηριότητα	Εκπομπή Θερμότητας		
	(met)	(W/m ²)	(W/άτομο)
Ανάπαυση	0,8	46	83
Ακίνησία, Καθιστική στάση	1,0	58	104
Καθιστική δραστηριότητα (γραφείο, σχολείο, εργαστήριο)	1,2	70	126
Ελαφριά δραστηριότητα	1,6	93	167
Μεσαία δραστηριότητα	2,0	116	209
Περπάτημα με 4 km/h	2,8	162	292

3.2.2.2. Ένδυση-Βαθμός Ένδυσης

Ο ρουχισμός, ή αλλιώς ο βαθμός ένδυσης, είναι ο δεύτερος προσωπικός παράγοντας που επηρεάζει τη θερμική άνεση. Αποτελεί τη μόνωση μεταξύ του περιβάλλοντος και της επιδερμίδας. Η μεταφορά θερμότητας επηρεάζεται από τα ρούχα μέσω της μεταγωγής, (εγκλωβίζοντας τον αέρα μεταξύ του σώματος και του περιβάλλοντος), της εξάτμισης, (μειώνεται η κίνηση του αέρα κατά μήκος του δέρματος και ο ιδρώτας ή θα απομακρυνθεί ή θα εγκλωβιστεί) και της ακτινοβολίας (η

εκπεμπόμενη από το σώμα θερμότητα εμποδίζεται να ακτινοβοληθεί προς τις εξωτερικές επιφάνειες). Για παράδειγμα, όταν επικρατούν χαμηλές θερμοκρασίες και ο χρήστης του κτιρίου είναι ντυμένος με ελαφρύ ρουχισμό τότε υπάρχουν απώλειες θερμότητας από το ανθρώπινο σώμα, με αποτέλεσμα ο χρήστης του κτιρίου να κρυώνει ακόμα και στην περίπτωση όπου το σύστημα θέρμανσης βρίσκεται σε λειτουργία. Αντίστοιχα, όταν ο χρήστης του κτιρίου φοράει βαρύ ρουχισμό ή και σκουρόχρωμα ενδύματα και ταυτόχρονα επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες, τότε απορροφάται περισσότερη ακτινοβολία και τα ρούχα συγκρατούν περισσότερη θερμότητα σώματος, με αποτέλεσμα ο χρήστης του κτιρίου να αισθάνεται δυσφορία γιατί θα νοιώθει την θερμοκρασία υψηλότερη από ότι πραγματικά είναι.

	0.19		0.28
+		+	
	0.04		0.25
+		+	
	0.11		0.04
+		+	
	0.02		0.25
+		+	
	0.02		0.05
		+	
	0.38		0.04
			0.91

Εικόνα 3.3: Απεικόνιση τιμών ρουχισμού ανάλογα με το είδος ένδυσης (ΠΗΓΗ: (Παπαδόπουλος, 2005))

Στις Εικόνες 3.3 και 3.4 παρουσιάζονται με παραστατικό τρόπο οι τιμές ρουχισμού κάποιων ειδών ένδυσης, ώστε να γίνει ευκολότερα αντιληπτή η διαφορά με την οποία επηρεάζει τη θερμική άνεση το κάθε είδος ένδυσης.

Για τον υπολογισμό της θερμικής άνεσης, μέσω δεικτών θερμικής άνεσης, ο ρουχισμός προσδιορίζεται ως η συνολική αντίσταση της θερμικής αγωγιμότητας των ενδυμάτων και εκφράζεται σε μονάδες ρουχισμού (clo), από την αγγλική λέξη clothing. Για τον υπολογισμό των δεικτών θερμικής άνεσης ισχύει η αντιστοιχία ότι 1clo ισούται σε $0,15 \text{ m}^2\text{K/W}$, δηλαδή είναι περίπου όσο η θερμική αντίσταση ενός χειμερινού ενδύματος.



Εικόνα

3.4: Απεικόνιση τιμών ρουχισμού ανάλογα με το είδος ένδυσης (Παπαδόπουλος, 2005)

Στον Πίνακα 3.7 παραθέτονται ενδεικτικές τιμές για διάφορα είδη ρουχισμού.

Πίνακας 3.7: Θερμική αντίσταση βασικού ρουχισμού εκφρασμένη σε φυσικές μονάδες και μονάδες ρουχισμού

Ρουχισμός	(clo)	(m ² /K/W)
Χωρίς ρουχισμό	0,0	0,0
Μαγιό, κοντό παντελόνι	0,1	0,015
Καλοκαιρινά ρούχα, ελαφριά υφάσματα, παπούτσια, κάλτσες	0,5	0,08
Εσώρουχα, κάλτσες, παπούτσια	0,7	0,11
Παντελόνια, φούστες, φορέματα, πουκάμισα, σακάκια	1,0	0,15
Εσωθερμικά εσώρουχα, τζίν, παντελόνια από χοντρό ύφασμα, παλτό	1,5	0,23

3.3. Ανθρώπινο Θερμικό Ισοζύγιο



Εικόνα 3.5: Η θερμότητα που παράγεται στον ανθρώπινο οργανισμό ισούται με την θερμότητα που χάνεται (ΠΗΓΗ: (Παπαδόπουλος, 2005))

Όπως φαίνεται και από την Εικόνα 3.5, ο άνθρωπος είναι ομοιόθερμος οργανισμός. Διατηρεί, δηλαδή, τη θερμοκρασία του σώματός του σταθερή, ιδιαίτερα ορισμένων οργάνων, που για τη λειτουργία τους δεν επιδέχονται

θερμικές αλλαγές, χάρη στους μηχανισμούς θερμοαποβολής και θερμογένεσης που διαθέτει.

Η δημιουργία και διατήρηση συνθηκών θερμικής άνεσης είναι μια πολύπλοκη διαδικασία καθώς, όπως αναφέρθηκε στις προηγούμενες παραγράφους αυτού του κεφαλαίου, η θερμική άνεση εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, οι οποίοι μάλιστα αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Ακόμα, η θερμική άνεση εξαρτάται και από τις προσωπικές θερμοκρασιακές προτιμήσεις των χρηστών του κτιρίου, οι οποίες είναι πάρα πολύ δύσκολο να συμπίπτουν για όλους τους χρήστες. Επομένως, για να γίνει πιο κατανοητό και να καταλάβει κανείς τι ακριβώς εννοείται με την έννοια «συνθήκες θερμικής άνεσης» πρέπει να κατανοεί το θερμικό μοντέλο του ανθρώπινου σώματος και τους παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται. Η θερμική ισορροπία του ανθρώπινου σώματος είναι μια δυναμική κατάσταση και όχι στατική, καθώς εξαρτάται από την αλληλεπίδραση ανάμεσα στη θερμότητα που παράγει το ανθρώπινο σώμα, μέσω του ανθρώπινου μεταβολισμού και τη θερμότητα από ή προς το περιβάλλον, που μεταδίδεται μέσω της μεταφοράς, της αγωγής, της ακτινοβολίας και της εξάτμισης. Με άλλα λόγια, το θερμικό ισοζύγιο του ανθρώπινου σώματος εξισορροπεί τη λειτουργία του ανθρώπου με τη συμπεριφορά του χώρου.

Η εξίσωση που περιγράφει το θερμικό ισοζύγιο, όπως το διατύπωσε ο Fanger το 1982 (Fanger, 1982), είναι η ακόλουθη:

$$M - W = H + E_C + C_{RES} + E_{RES} \quad (Εξίσωση 3.1)$$

όπου:

M : ο ρυθμός μετατροπής της χημικής ενέργειας σε θερμότητα και μηχανικό έργο, μέσω αερόβιων και αναερόβιων διεργασιών μέσα στο σώμα [W/m^2].

W : το ωφέλιμο μηχανικό έργο [W/m^2].

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

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

C_{RES} : το ποσό της θερμότητας που απάγεται με αγωγή κατά την αναπνοή [W/m^2].

E_{RES} : το ποσό της θερμότητας που απάγεται λόγω εξάτμισης κατά την αναπνοή [W/m^2].

Η εξίσωση αυτή κάνει γνωστό μόνο τον τρόπο με τον οποίο μπορεί να γίνει ο συνδυασμός των παραμέτρων αυτών, ώστε να προκληθούν οι συνθήκες θερμικής άνεσης εντός συγκεκριμένου χώρου, αλλά δεν προσδιορίζει το τι αισθάνεται ο χρήστης ενός κτιρίου σε διάφορα θερμικά περιβάλλοντα. Για το λόγο αυτό δημιουργήθηκαν οι δείκτες θερμικής άνεσης, μερικοί από τους οποίους περιγράφονται στην παρακάτω παράγραφο του κεφαλαίου.

3.4. Δείκτες Θερμικής Άνεσης

3.4.1. Δείκτης PMV-Predicted Mean Vote (Δείκτης της μέσης

προβλεπόμενης τιμής ψηφοφορίας) και

Δείκτης PPD- Predicted Percent of Dissatisfied People (Δείκτης

δυσανεξίας των ανθρώπων)

Ο δείκτης προβλεπόμενης τιμής ψηφοφορίας PMV (Predicted Mean Vote) μαζί με τον δείκτη δυσανεξίας των ανθρώπων – PPD (Predicted Percent of Dissatisfied People) είναι οι δύο δείκτες θερμικής άνεσης που δημιουργήθηκαν από τον ίδιο τον Fanger, (Fanger, 1982), για τον υπολογισμό της θερμικής άνεσης, μετά από μια σειρά πειραματικών διαδικασιών. Ο πρώτος δείκτης ονομάστηκε έτσι γιατί δε στηρίζεται σε

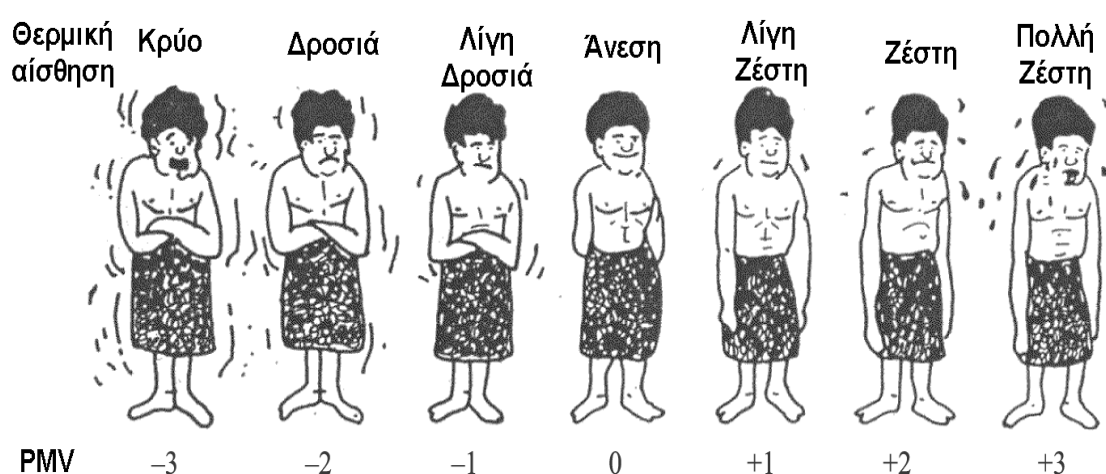
ακριβείς μετρήσεις κάποιων παραμέτρων με όργανα, αλλά στο αποτέλεσμα ψηφοφορίας μεταξύ των χρηστών αναφορικά με κάποια παράμετρο που τους προκαλεί δυσανεμία. Ο δεύτερος δείκτης αναφέρεται στο ποσοστό των ατόμων που εκφράζουν δυσανεμία για τις συνθήκες θερμικής άνεσης που επικρατούν σε ένα χώρο, συγκριτικά με το σύνολο των ατόμων που βρίσκονται σε αυτόν. Οι δύο αυτοί δείκτες χρησιμοποιούνται πάντα μαζί για τον προσδιορισμό της θερμικής άνεσης ενός χώρου, καθώς ο δείκτης PPD εξαρτάται από τον δείκτη PMV και εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται μέχρι και σήμερα από τα περισσότερα πρότυπα, δεδομένου ότι θεωρούνται ως οι πιο αξιόπιστοι δείκτες για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων. Οι παράμετροι που επηρεάζουν τους δείκτες αυτούς, βάσει των ερωτήσεων που τίθενται στους χρήστες ενός κτιρίου και των απαντήσεων που λαμβάνονται, είναι η θερμοκρασία του αέρα, η σχετική υγρασία, η ταχύτητα του αέρα, ο μεταβολισμός και ο ρουχισμός των χρηστών. Το μειονέκτημα τους είναι ότι εξαρτώνται από τόσες πολλές παραμέτρους, σε αντίθεση με άλλους, όπως θα φανεί στη συνέχεια του κεφαλαίου αυτού, που εξαρτώνται από λιγότερες.

Η θεωρία του Fanger και οι δείκτες υπολογισμού της θερμικής άνεσης έχουν γίνει αποδεκτές από πολλές χώρες. Σε αυτές τις χώρες θεωρούν ως ικανοποιητική την κατάσταση θερμικής άνεσης που επικρατεί σ' ένα χώρο, αν το πολύ το 10% των χρηστών είναι δυσαρεστημένοι.

3.4.1.α. Δείκτης PMV-Predicted Mean Vote (Δείκτης της μέσης προβλεπόμενης τιμής ψηφοφορίας)

Ο δείκτης PMV βασίζεται σε στατιστική ανάλυση της συμπεριφοράς ενός μεγάλου δείγματος ανθρώπων και των δύο φύλων και διαφόρων ηλικιών. Αποτελεί τη μέση τιμή θερμικής άνεσης, όπως αυτή εκτιμάται από τους χρήστες ενός κτιρίου, σε

συγκεκριμένες συνθήκες. Ο δείκτης αυτός, που με μια μαθηματική σχέση συνδέει παραμέτρους του περιβάλλοντος χώρου και τα επίπεδα ένδυσης και δραστηριότητας του ατόμου, αποτελείται από μία εφταβάθμια κλίμακα, στην οποία το 0 αντιστοιχεί στις συνθήκες θερμικής άνεσης που η συντριπτική πλειοψηφία των ατόμων ενός χώρου, περίπου το 95%, είναι ικανοποιημένη με το θερμικό περιβάλλον. Στην Εικόνα 3.6 και στον Πίνακα 3.8 παρουσιάζεται η εφταβάθμια κλίμακα του δείκτη PMV.



Εικόνα 3.6: Εφταβάθμια κλίμακα δείκτη θερμικής άνεσης PMV (ΠΗΓΗ: (Παπαδόπουλος, 2005))

Πίνακας 3.8: Δείκτης Θερμικής άνεσης EN-ISO 7730

Δείκτης Θερμικής Άνεσης		
Δείκτης PMV	Αίσθηση θερμικού περιβάλλοντος	
-3	Κρύο	Αίσθηση Ψύχους
-2	Κρύο	
-1	Ελαφρύ κρύο	Άνεση
0	Άνεση	
1	Ελαφριά ζέστη	
2	Ζέστη	Αίσθηση Καύσωνα
3	Καύσωνας	

Συσχέτιση του δείκτη PMV και των παραμέτρων που τον επηρεάζουν έδειξαν ότι υπάρχει σχέση αναλογίας μεταξύ του δείκτη και των μεταβολών θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας του περιβάλλοντος. Όταν συνδυάζονται χαμηλές θερμοκρασίες και μεγάλη ταχύτητα του ανέμου ο δείκτης είναι μειωμένος, ενώ, σε χαμηλές θερμοκρασίες η θερμική άνεση έχει ως αποτέλεσμα αύξηση του ρουχισμού. Τέλος, όταν έχουμε υψηλό ρυθμό μεταβολισμού και έντονη δραστηριότητα ο δείκτης λαμβάνει υψηλές τιμές και η θερμική άνεση επιτυγχάνεται με ελάττωση της θερμοκρασίας του χώρου.

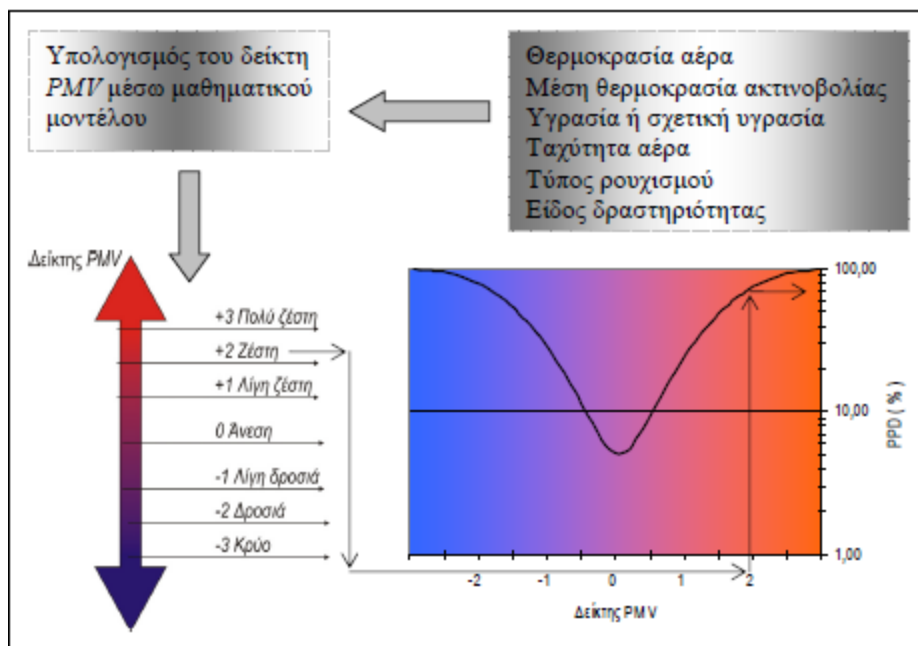
Ο δείκτης PMV δε λαμβάνει υπόψη του κάποιες ιδιαίτερες συνθήκες, (υψηλή θερμοκρασία εδάφους, απότομη και μεγάλη αύξηση ή μείωση της θερμοκρασίας), που μπορεί να επιφέρουν δυσφορία στο χρήστη του κτιρίου και αυτό αποτελεί μειονέκτημά του.

Η εξίσωση με την οποία υπολογίζεται ο δείκτης PMV βρίσκεται στην παράγραφο 4.4.1.

3.4.1.β. Δείκτης PPD- Predicted Percent of Dissatisfied People (Δείκτης δυσαρέσκειας των ανθρώπων)

Ο δείκτης PPD είναι ο δείκτης για την έκφραση της δυσαρέσκειας των χρηστών, σε σχέση με το σύνολο των χρηστών του κτιρίου, που προκαλείται όταν στο χώρο λαμβάνουν χώρα ξαφνικές και μη αναμενόμενες αλλαγές στις περιβαλλοντικές συνθήκες και στις προσωπικές παραμέτρους για θερμική άνεση. Σε σχέση με τις παραμέτρους της θερμοκρασίας και τις υγρασίας έχει καταδειχθεί ότι το ποσοστό δυσαρέσκειας αυξάνεται σχεδόν γραμμικά με την ταυτόχρονη αύξηση των τιμών των παραμέτρων αυτών. Αναφορικά με τον υπολογισμό του δείκτη PPD αξίζει

να σημειωθεί ότι ο υπολογισμός του γίνεται συναρτήσει της αντίστοιχης τιμής του δείκτη PMV, μέσω του Διαγράμματος PMV-PPD (Διάγραμμα 3.3.).



Διάγραμμα 3.3 Διάγραμμα PMV-PPD (Νικολάου.Μ.Sc, n.d.)

Τα όρια των δεικτών αυτών, μέσα στα οποία θεωρείται ότι επικρατούν συνθήκες θερμικής άνεσης, παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 3.3. και φαίνεται ότι για το δείκτη PMV είναι από -0,5 έως 0,5, ενώ για το δείκτη PPD είναι μέχρι το 10%.

Η εξίσωση με την οποία υπολογίζεται ο δείκτης PPD βρίσκεται στην παράγραφο 4.4.1.

Από το διάγραμμα γίνεται εμφανές ότι η τιμή του δείκτη PPD αυξάνει όσο η τιμή του δείκτη PMV απομακρύνεται από τη μηδενική ουδέτερη τιμή και, επομένως, αυξάνεται και η δυσaráσκεια για το θερμικό περιβάλλον.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι ακόμα και στην περίπτωση όπου επικρατούν συνθήκες θερμικής άνεσης, δηλαδή ο δείκτης PMV θα έχει τιμή 0, θα υπάρχει πάντα ένα ποσοστό χρηστών του κτιρίου, περίπου στο 5%, όπου θα δηλώνει ότι αισθάνεται δυσφορία. Αυτό συμβαίνει γιατί, όπως έχει προαναφερθεί, η θερμική άνεση εξαρτάται

από πολλούς παράγοντες και κάποιοι από αυτούς είναι προσωπικοί και είναι πολύ δύσκολο να καλυφτούν για όλους του χρήστες του κτιρίου ταυτόχρονα.

3.4.2 Δείκτης Humidex

Ο δείκτης Humidex είναι ένας δείκτης θερμικής άνεσης που χρησιμοποιείται από τους μετεωρολόγους του Καναδά από το 1965, ενώ η τρέχουσα φόρμουλα αναπτύχθηκε από τους J. M. Masterton και F. A. Richardson της Καναδικής υπηρεσίας ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος (Canada's Atmospheric Environment Service) το 1979. Ο δείκτης Humidex προσδιορίζει τη θερμοκρασία που αισθάνεται ένας άνθρωπος, ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν. Υπολογίζεται σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία του αέρα και το σημείο δρόσου. (www.wikipedia.com, n.d.) Η εξίσωση με την οποία υπολογίζεται καθώς και τα όρια αυτού του δείκτη βρίσκονται στην παράγραφο 4.4.3.

3.4.3 Δείκτης Heat Index

Ο δείκτης Heat Index αναπτύχθηκε το 1978 από τον George Winterling και υιοθετήθηκε ένα χρόνο αργότερα από την Εθνική Υπηρεσία Καιρού των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής (USA's National Weather Service). Είναι και αυτός ένας δείκτης θερμικής άνεσης που προσδιορίζει τη θερμοκρασία που αντιλαμβάνεται ένας άνθρωπος συνδυάζοντας την θερμοκρασία του αέρα και τη σχετική υγρασία. Ο δείκτης Heat Index υπολογίζεται σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία του αέρα. (www.wikipedia.com, n.d.) Η εξίσωση με την οποία ο δείκτης αυτός υπολογίζεται καθώς και τα όριά του βρίσκονται στην παράγραφο 4.4.4.

3.4.4 Δείκτης Discomfort Index (DI)

Ο δείκτης Discomfort Index είναι άλλος ένας δείκτης που εξαρτάται από τη θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία του αέρα. (www.keisanOnlineCalculator.com, n.d.) Η εξίσωση με την οποία υπολογίζεται καθώς και τα όριά του βρίσκονται στην παράγραφο 4.4.5.

3.5 Οπτική Άνεση

Η οπτική άνεση στους εσωτερικούς χώρους ενός κτιρίου είναι συνυφασμένη με τις λειτουργικές απαιτήσεις και τις χρηστικές ανάγκες των ανθρώπων που ζουν και χρησιμοποιούν τους χώρους, ανάγκες και απαιτήσεις που καθορίζουν την ένταση του φωτισμού, καθώς και την κατανομή της λαμπρότητας στο χώρο και τη θάμβωση. Αποτελεί έναν ακόμα σημαντικό παράγοντα που προσδιορίζει σε μεγάλο βαθμό την ποιότητα των συνθηκών στο εσωτερικό ενός κτιρίου. Η οπτική άνεση σε ένα χώρο, σε γενικές γραμμές, εξαρτάται από την ποσότητα του φυσικού φωτισμού και την κατανομή του στο χώρο, καθώς και από την ύπαρξη ή την απουσία του φαινομένου της θάμβωσης. Θάμβωση ονομάζεται η αδυναμία του ματιού, όταν υποφέρει, να ανταποκριθεί σε υψηλές τιμές και μεγάλες διαφορές λαμπρότητας. Ωστόσο η επιλογή του είδους του φωτισμού που χρησιμοποιείται εξαρτάται από το είδος της χρήσης του κτιρίου, τις ώρες λειτουργίας του και φυσικά το κόστος εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης, εξασφαλίζοντας πάντα στους χρήστες οπτική άνεση, μέσα σ' ένα περιβάλλον με ποσότητα και ποιότητα φωτισμού τέτοια, ώστε η εκτέλεση των εργασιών να είναι άνετη. Ο φωτισμός μπορεί να γίνεται είτε με φυσικά μέσα (ηλιακό φως) είτε με τεχνητά. Για την επιλογή του σωστού φωτισμού υπάρχουν πολλά συστήματα, διατάξεις και συσκευές, ο συνδυασμός των οποίων βοηθάει στην αύξηση της απόδοσης και του φυσικού και του τεχνητού φωτισμού. Παράλληλα έχουν αναπτυχθεί πολλά λογισμικά, τα οποία προσδιορίζουν τις ανάγκες φωτισμού του υπό

μελέτη κτιρίου, ώστε ο χρήστης να μπορεί να διεκπεραιώνει άνετα και αποδοτικά την εργασία του, και τον τρόπο για να καλυφθούν στο καλύτερο δυνατό κόστος. (Μπουρίκας & Κοσμόπουλος, 2008)

Πρέπει να τονιστεί ότι αν και γίνεται μεγάλη προσπάθεια για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας του τεχνητού φωτισμού, χωρίς βέβαια να επηρεάζεται η απόδοσή του, μέσω της χρήσης ολοένα και περισσότερο του φυσικού φωτισμού, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα προβλήματα που μπορεί να προκύψουν από αυτό. Για παράδειγμα, η μεγάλη εισροή του ηλιακού φωτός μέσα στο κτίριο θα οδηγήσει σε αύξηση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του κτιρίου, με αποτέλεσμα να υπάρχει δυσφορία από μεγάλο μέρος των χρηστών και, επομένως, να γίνεται αναγκαία η χρήση των συστημάτων ψύξης σε μεγαλύτερο βαθμό. Για να επιτευχθεί ο σωστός σχεδιασμός και λειτουργία των διατάξεων και συστημάτων φωτισμού που θα χρησιμοποιηθούν, πρέπει ο μελετητής να γνωρίζει τον τρόπο λειτουργίας της όρασης του ανθρώπου αλλά και τον τρόπο με τον οποίο η ακτινοβολία θα διεγείρει το οπτικό νεύρο, ώστε να μη δημιουργηθούν προβλήματα στην όραση των χρηστών του κτιρίου. Όταν διαταράσσονται οι συνθήκες οπτικής άνεσης προκαλείται στους χρήστες κόπωση ή και οπτική δυσφορία, η οποία συνηθέστερα εμφανίζεται ως θάμβωση ή αντίθεση. Η αντίθεση είναι ένα φαινόμενο που έχει σχέση με την ανακλαστικότητα των επιφανειών και το μάτι δυσκολεύεται να αντιληφθεί τη διαφορά μεταξύ ενός αντικειμένου και του βάθους πίσω από αυτό.

Η οπτική άνεση σ' έναν εσωτερικό χώρο ή ολόκληρο κτίριο εξασφαλίζεται από το συνδυασμό φυσικού και τεχνικού φωτισμού. Άλλωστε, ένα κτίριο δε μπορεί να λειτουργήσει σωστά χρησιμοποιώντας μόνο ένα από τα δύο είδη φωτισμού. Αυτό συμβαίνει γιατί τη νύχτα, για παράδειγμα, είναι αναγκαίος ο τεχνητός φωτισμός, ενώ την ημέρα δε μπορεί να χρησιμοποιείται μόνο τεχνητός φωτισμός, όχι μόνο λόγω του

κόστους, αλλά και γιατί ο φυσικός φωτισμός παράγει περισσότερα μήκη κύματος, από αυτά που παράγει ο τεχνητός, και κάποια από αυτά είναι αρκετά σημαντικά και επηρεάζουν την υγεία του ανθρώπου. Για αυτό το λόγο, μαζί και με το γεγονός ότι πλέον οι άνθρωποι περνάνε τον περισσότερο χρόνο τους, περίπου το 70% με 90% της μέρας, μέσα σε κτίρια πρέπει να επιλέγεται ο φυσικός φωτισμός όσο το δυνατόν περισσότερο.

Επίσης πρέπει να αναφερθεί ότι η ποιότητα του φωτός είναι σημαντικότερη από την ποσότητά του. Η χρήση του άμεσου ηλιακού φωτός μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στο κτίριο, όπως υπερθέρμανση και αλλοίωση των υλικών, ενώ το φως που προέρχεται από διάχυση δεν είναι τόσο δραστικό. Είναι απαραίτητο να υπάρχει ισορροπία ανάμεσα στα είδη φωτισμού ενός κτιρίου, καθώς επηρεάζει τη σωματική και πνευματική υγεία του ανθρώπου, αλλά και την κοινωνική του κατάσταση, δηλαδή τη διάθεσή του. Καλό θα ήταν ένα κτίριο να έχει κατάλληλο φωτισμό στους χώρους του, που θα ελέγχεται από διακόπτη-ροοστάτη αυξομείωσης έντασης, για να διατηρείται στα σωστά επίπεδα, αλλά και επειδή σε σημεία και χώρους, όπως τα γραφεία και άλλους χώρους που παράγεται έργο θα πρέπει να υπάρχει επιπλέον φωτισμός, τον οποίο θα μπορεί να ρυθμίσει ο χρήστης του κτιρίου μόνος του.

Όπως προαναφέρθηκε, ο τεχνητός φωτισμός είναι αναγκαίος ακόμα και στο καλύτερα σχεδιασμένο για την αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού κτίριο, τουλάχιστον τη νύχτα, όπου η χρήση του φυσικού φωτισμού είναι αδύνατη. Με τον όρο τεχνητός φωτισμός εννοείται ο ηλεκτροφωτισμός, αν και παλαιότερα είχε ξεκινήσει με τις λάμπες λαδιού και ασετιλίνης που υπήρχαν στους δρόμους. Τώρα χρησιμοποιούνται λαμπτήρες. Υπάρχουν χιλιάδες διαφορετικοί λαμπτήρες, ανάλογα με τις ανάγκες και τη χρήση, οι οποίοι επιπλέον, όσο περνάνε τα χρόνια, γίνονται και πιο φιλικόι προς το περιβάλλον καθώς και πιο οικονομικοί.

Η οπτική άνεση είναι, λοιπόν, ένας από τους παράγοντες που προσδιορίζουν και επηρεάζουν τη διαμόρφωση της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος των κτιρίων επηρεάζοντας την παραγωγικότητα του ανθρώπου, την ψυχολογική του διάθεση, ενώ παράλληλα τον προστατεύει από τυχόν ατυχήματα και λάθη. Οι απαιτήσεις και ανάγκες σε φωτισμό ενός χώρου διαφοροποιούνται ανάλογα με τη χρήση του, ενώ το επίπεδο της οπτικής άνεσης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις ποσοτικές και ποιοτικές ανάγκες του χώρου και του κτιρίου σε φωτισμό, τη χρήση του και τις λειτουργικές απαιτήσεις του.

3.6. Ακουστική Άνεση - Θόρυβος

Ένας ακόμα παράγοντας που επηρεάζει τη θερμική άνεση είναι και ο θόρυβος. Ως θόρυβος θεωρείται ο οποιοσδήποτε ήχος που προκαλεί όχληση, ενοχλεί και είναι ανεπιθύμητος από τους χρήστες του κτιρίου. Για να θεωρηθεί ένας ήχος ως θόρυβος εξετάζονται η συχνότητα και η προέλευσή του. Οι πηγές θορύβου μπορεί να είναι είτε εσωτερικές, όπου τέτοιες πηγές θεωρούνται κυρίως τα συστήματα θέρμανσης, ψύξης και αερισμού, η ομιλία και ο εξοπλισμός των χώρων, είτε εξωτερικές, όπως είναι τα αυτοκίνητα, οι μηχανές, τα αεροπλάνα και διάφορες ηχογόνες ανθρώπινες δραστηριότητες. Ένας θόρυβος μπορεί να είναι είτε ασυνεχής είτε συνεχής, αφού το εύρος συχνοτήτων ποικίλει, καθώς κάποιες πηγές θορύβου, όπως τα συστήματα θέρμανσης, ψύξης και αερισμού, παράγουν ήχους θορύβου σε χαμηλή συχνότητα, που βρίσκεται στην υποηχητική περιοχή, ενώ κάποιες άλλες παράγουν ήχους υψηλότερων συχνοτήτων.

Ο θόρυβος προκαλεί προβλήματα στην επικοινωνία και την κατανόηση του λόγου αλλά και στην παραγωγικότητα και την απόδοση του ανθρώπου, αν και μερικές φορές, ανάλογα με το θόρυβο και το είδος της εργασίας που κάνει ο χρήστης του κτιρίου, μπορεί να επιφέρει θετικά αποτελέσματα. Ανάλογα με την περιοχή εκπομπής

της συχνότητας του ήχου προκύπτουν και τα ανάλογα συμπτώματα όχλησης. Οι ήχοι που εκπέμπουν σε συχνότητες στην υποηχητική περιοχή προκαλούν κόπωση, ίλιγγο, όχληση, ναυτία, αλλεργίες καθώς και νευρική κόπωση. Αντίθετα, οι ήχοι που εκπέμπονται σε υψηλότερες συχνότητες προκαλούν οχλήσεις μεγέθους υποκειμενικού χαρακτήρα και αυξανόμενου με την πάροδο του χρόνου, αφού ο χρήστης του κτιρίου δεν προλαβαίνει ή δεν μπορεί να προσαρμοστεί. Σύμφωνα με τον Spengler, (Spengler, et al., 2001) οι οχλήσεις που προκαλούνται από το θόρυβο ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες:

- Υποκειμενική όχληση συναισθημάτων και διατάραξης ησυχίας
- Παρεμβολή ή διακοπή δραστηριότητας
- Έντονη όχληση που προκαλεί άγχος, πονοκέφαλο, κούραση, ερεθιστικότητα και χαμηλό ηθικό

Εκτός από τα παραπάνω, ο θόρυβος επηρεάζει και την ποιότητα του εσωτερικού αέρα. Ο τρόπος με τον οποίο την επηρεάζει είναι έμμεσος και οφείλεται στον αερισμό του κτιρίου, είτε φυσικό είτε μηχανικό. Στην περίπτωση του φυσικού αερισμού ο εξωτερικά προερχόμενος θόρυβος επηρεάζει την ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος μέσω της διάρκειας και της συχνότητας με την οποία οι χρήστες του κτιρίου ανοίγουν τα παράθυρα. Σε περιπτώσεις όπου ο θόρυβος ο προερχόμενος από το εξωτερικό περιβάλλον του κτιρίου είναι έντονος, οι χρήστες του κτιρίου δεν ανοίγουν τα παράθυρα για να μην ενοχλούνται, με αποτέλεσμα να μειώνεται ο ρυθμός αερισμού του κτιρίου και να υποβαθμίζεται η ποιότητα του εσωτερικού αέρα. Αντίθετα, όταν ένα κτίριο αερίζεται με μηχανικό τρόπο ο θόρυβος προέρχεται από τα συστήματα θέρμανσης, ψύξης και αερισμού και, ανάλογα με την κατασκευή τους και τον τρόπο λειτουργίας τους, προκαλούν πιο ήπιο ή πιο έντονο θόρυβο. Και στην περίπτωση του μηχανικού αερισμού δε θα πρέπει να μειωθεί ο

ρυθμός του αερισμού καθώς και σε αυτήν την περίπτωση θα υπάρξει υποβάθμιση στην ποιότητα του εσωτερικού αέρα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4:

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

4.1 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Για την αξιολόγηση των δεικτών της θερμικής άνεσης και της ποιότητας του αέρα εσωτερικού περιβάλλοντος ήταν απαραίτητη η καταγραφή μετρήσεων των παραγόντων που επηρεάζουν την ποιότητα των εσωτερικών χώρων.

Οι παράγοντες αυτοί είναι:

- η θερμοκρασία του αέρα,
- η σχετική υγρασία του ατμοσφαιρικού αέρα,
- η μέση ακτινοβολούμενη θερμοκρασία,
- η ταχύτητα του αέρα,
- ο θόρυβος,
- ο φωτισμός,
- ο ρουχισμός,
- ο μεταβολικός ρυθμός,
- η συγκέντρωση CO₂ και
- το σημείο δρόσου

Από τους παράγοντες αυτούς, πραγματοποιήσαμε μετρήσεις μόνο για τη θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία του ατμοσφαιρικού αέρα, το φωτισμό και τη συγκέντρωση CO₂. Αντίθετα, για τις τιμές του ρουχισμού, του μεταβολικού ρυθμού και της ταχύτητας του αέρα χρησιμοποιήσαμε κατάλληλους πίνακες, όπως περιγράφεται παρακάτω, ενώ τη μέση ακτινοβολούμενη θερμοκρασία τη θεωρήσαμε ίση με τη θερμοκρασία του αέρα μείον 2°C και το σημείο δρόσου υπολογίστηκε συναρτήσει της σχετικής υγρασίας. Στη συγκεκριμένη εργασία δεν ασχοληθήκαμε με τον παράγοντα του θορύβου γι' αυτό και δεν προβήκαμε στην καταγραφή δεδομένων.

Η καταγραφή των δεδομένων για τη θερμοκρασία του αέρα, τη σχετική υγρασία του ατμοσφαιρικού αέρα, το φωτισμό και τη συγκέντρωση CO₂ έγινε σε

πέντε αίθουσες των κτιρίων K1 και K2, που ανήκουν στη σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος στο Πολυτεχνείο Κρήτης στα Χανιά και οι οποίες είναι οι K1.112, K2.108, K2.104, K1.101 και K1.107. Οι θέσεις και ο προσανατολισμός των αιθουσών στα συγκεκριμένα κτίρια φαίνονται στις κατόψεις των κτιρίων στο παράρτημα. Επιλέχθηκαν αίθουσες από δύο διαφορετικά κτίρια ώστε, να αποκλειστεί το ενδεχόμενο, τα αποτελέσματά μας να οφείλονται στις συνθήκες ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος που ισχύουν σε ένα μόνο κτίριο.

Πιο συγκεκριμένα, η καταγραφή των μετρήσεων γινόταν ανά δέκα λεπτά και πραγματοποιήθηκε τους καλοκαιρινούς και φθινοπωρινούς μήνες του 2014. Αναλυτικότερα, το χρονικό διάστημα καταγραφής δεδομένων είναι από 26/06/2014 έως 15/10/2014 για την αίθουσα K1.112, από 25/06/2014 έως 15/10/2014 για την αίθουσα K2.108, από 04/07/2014 έως 15/10/2014 για την αίθουσα K2.104, από 27/06/2014 έως 16/09/2014 για την αίθουσα K1.101 και από 01/08/2014 έως 15/10/2014 για την αίθουσα K1.107.

4.2 ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Προκειμένου να πραγματοποιηθούν οι μετρήσεις για τη θερμοκρασία του αέρα, τη σχετική υγρασία του ατμοσφαιρικού αέρα, το φωτισμό και τη συγκέντρωση CO₂ χρησιμοποιήθηκαν τα όργανα HD46 της DELTA OHM και το HOBO^R U12 Temp/RH/Light/External Data Logger.

4.2.1 HD46 της DELTA OHM

Η σειρά οργάνων HD46 (DELTA-OHM, n.d.)είναι κατάλληλη για την παρακολούθηση και την εξέταση της ποιότητας του αέρα σε εσωτερικούς χώρους, όπως κτίρια με κόσμο και εργασιακούς χώρους, με σκοπό τη βελτιστοποίηση της

άνεσης, καθώς επίσης και για την παρακολούθηση τυχόν μικρών απωλειών CO, το οποίο μπορεί να προκαλέσει εκρήξεις και φωτιά. Επιπλέον, το όργανο αυτό επιτρέπει την προσαρμογή της χρήσης του air condition και του αερισμού, ώστε να επιτυγχάνεται η όσο το δυνατόν καλύτερη ποιότητα αέρα, σύμφωνα με το ASHRAE και τα IMC standards, καθώς και η εξοικονόμηση ενέργειας.

Το όργανο μέτρησης τοποθετείται στον τοίχο και οι αισθητήρες για την καταγραφή των δεδομένων βρίσκονται μέσα στο περίβλημά του. Ειδικότερα, με έναν υψηλής ακρίβειας NTC αισθητήρα που διαθέτει γίνεται η μέτρηση για τη θερμοκρασία του αέρα, ενώ η μέτρηση της σχετικής υγρασίας του ατμοσφαιρικού αέρα γίνεται μέσω ειδικού χωρητικού αισθητήρα. Στο συγκεκριμένο μοντέλο, οι αισθητήρες για τη σχετική υγρασία και τη θερμοκρασία του αέρα, καθώς και η βαθμονόμησή τους περιέχονται σε ένα θαλαμίσκο, ο οποίος μπορεί να αντικατασταθεί. Το HD46 μπορεί ακόμα να πραγματοποιήσει και τον υπολογισμό του σημείου δρόσου, κάτι που δεν έγινε, όμως, κατά τη διάρκεια της καταγραφής των δεδομένων της συγκεκριμένης εργασίας. Η μέτρηση για τη συγκέντρωση CO₂ γίνεται με έναν ειδικό αισθητήρα με υπέρυθρες (NDIR Technology: Non Dispersive Infrared Technology), ο οποίος με το διπλό φίλτρο που διαθέτει και την τεχνική μετρήματος που χρησιμοποιεί διασφαλίζει ακριβείς και σταθερές μετρήσεις στην πάροδο του χρόνου. Επίσης, η προστατευτική μεμβράνη που υπάρχει προστατεύει τον αισθητήρα από τη σκόνη.

Το όργανο μέτρησης HD46 έχει τη δυνατότητα σύνδεσης του με ηλεκτρονικό υπολογιστή ώστε να επιτυγχάνεται, αφενός μεν, η καταγραφή των μετρήσεων που κάνει και αφετέρου, να εκδίδει τα δεδομένα σε συμβατά και εύκολα για χρήση αρχεία.

Το HD46 είναι το όργανο μέτρησης που χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή των δεδομένων για τη θερμοκρασία του αέρα, τη σχετική υγρασία του ατμοσφαιρικού αέρα και τη συγκέντρωση CO₂.

Στην Εικόνα 4.1 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά του οργάνου μέτρησης καθώς και το επίπεδο σφάλματός του.

Relative humidity RH (for models HD45 17..., HD46 17... and HD46 17B...)	
Sensor	Capacitive
Measuring range	0...100 % RH -40...+85°C Dew point Td
Working range of the sensor	-40...+80°C
Accuracy	±1.5%RH (0..90%RH) ±2%RH (elsewhere) for T=15...35°C ±(1.5+1.5% of the measure)%RH for T=40...+80°C For the dew point please see the relevant table
Resolution	0,1%
Temperature dependence	2% on the whole temperature range
Hysteresis and repeatability	1%RH
Response time (T ₉₀)	<20 sec. (air speed = 2m/sec and stable temperature)
Long-term stability	1%/year


Temperature T (for models HD45 17..., HD45 7B..., HD46 17... and HD46 17B...)	
Sensor type	NTC 10kΩ
Measuring range	-30...+85°C (-22...+185°F)
Accuracy (except for models with current outputs)	±0.2°C ±0.15% of the measured value within 0...70°C ±0.3°C ±0.15% of the measured value within -30...0°C and 70...85°C
Accuracy (for models with 4÷20mA)	±0.5°C ±0.15% of the measured value within -30°C...+85°C
Resolution	0,1°C
Response time (T ₉₀)	<30 sec. (air speed = 2m/sec)
Long-term stability	0.1°C/year

Carbon dioxide CO₂ (for models HD45 7B..., HD45 B...and HD46 17B...)	
Sensor	Dual wavelength NDIR
Measuring range	0...5000 ppm
Working range of the sensor	0...50°C
Accuracy	±(50ppm+3% of the measured value) @ 20°C and 1013hPa
Resolution	1ppm
Temperature dependence	0,1%f.s./°C
Response time (T ₉₀)	<120 sec. (air speed = 2m/sec and stable temperature)
Long-term stability	5% of the measured value /5years

Εικόνα 14.1: Χαρακτηριστικά του μετρητή HD46

4.2.2 HOBOR U12 Temp/RH/Light/External Data Logger

Η καταγραφή των μετρήσεων του φωτισμού έγινε με τη χρήση του οργάνου HOBO^R U12 Temp/RH/Light/External Data Logger (HOBOR-U12-Temp/RH/Light/External-Data-Logger, n.d.) το οποίο έχει τη δυνατότητα να καταγράφει δεδομένα για τη θερμοκρασία, τη σχετική υγρασία και το φωτισμό. Το HOBO Logger είναι ένα όργανο μέτρησης δεδομένων τεσσάρων προγραμμάτων με ανάλυση 12 bit και που μπορεί να καταγράψει μέχρι 43.000 δεδομένα. Στην Εικόνα 4.2 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά του οργάνου μέτρησης καθώς και το επίπεδο σφάλματός του.

Measurement range	Temperature: -20° to 70°C (-4° to 158°F) RH: 5% to 95% RH Light intensity: 1 to 3000 footcandles (lumens/ft ²) typical; maximum value varies from 1500 to 4500 footcandles (lumens/ft ²) External input channel (see sensor manual): 0 to 2.5 VDC; 0 to 5 VDC (with CABLE-ADAP5) and 0 to 10 VDC (with CABLE-ADAP10)
Accuracy	Temperature: $\pm 0.35^{\circ}\text{C}$ from 0° to 50°C ($\pm 0.63^{\circ}\text{F}$ from 32° to 122°F), see Plot A RH: $\pm 2.5\%$ from 10% to 90% RH (typical), to a maximum of $\pm 3.5\%$. See Plot B. Light intensity: Designed for indoor measurement of relative light levels, see Plot D for light wavelength response External input channel (see sensor manual): $\pm 2\text{ mV} \pm 2.5\%$ of absolute reading
Resolution	Temperature: 0.03°C at 25°C (0.05°F at 77°F), see Plot A. RH: 0.03% RH External Input Channels: 0.6 mV
Drift	Temperature: 0.1°C/year (0.2°F/year) RH: <1% per year typical; RH hysteresis 1%
Response time in airflow of 1 m/s (2.2 mph)	Temperature: 6 minutes, typical to 90% RH: 1 minute, typical to 90%
Time accuracy	± 1 minute per month at 25°C (77°F), see Plot C
Operating temperature	Logging: -20° to 70°C (-4° to 158°F) Launch/readout: 0° to 50°C (32° to 122°F), per USB specification
Battery life	1 year typical use
Memory	64K bytes (43,000 12-bit measurements)
Weight	46 g (1.6 oz)
Dimensions	58 x 74 x 22 mm (2.3 x 2.9 x 0.9 inches)
	The CE Marking identifies this product as complying with all relevant directives in the European Union (EU).

Εικόνα 4.2: Χαρακτηριστικά μετρητή HOBO^R U12 Temp/RH/Light/External Data Logger

4.3 ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ

Όπως αναφέρθηκε και στην αρχή του κεφαλαίου, για τον υπολογισμό των δεικτών άνεσης και ποιότητας αέρα χρειάστηκαν και κάποια άλλα δεδομένα, πέραν των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν, όπως ο ρουχισμός, ο μεταβολικός ρυθμός και το σημείο δρόσου.

Ο ρουχισμός υπολογίστηκε προσθέτοντας την αξία σε clo του κάθε ρούχου που μπορεί να φοράει ένας άνθρωπος το χρονικό διάστημα καταγραφής των δεδομένων, δηλαδή για την παρούσα εργασία τους καλοκαιρινούς και φθινοπωρινούς μήνες του 2014. Η τιμή που χρησιμοποιήθηκε στην προκειμένη περίπτωση είναι 0,33

clo και αποτελεί το άθροισμα της αξίας των ρούχων που φοράει ένας άνθρωπος κατά μέσο όρο το καλοκαίρι και το φθινόπωρο, σύμφωνα με Πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1: Τιμές διαφόρων ενδυμάτων (www.EngineeringToolBox.com, n.d.)

Clothing	Insulation	Clo	m2K/W
Nude	-	0	0
Underwear – pants	Pantyhose	0,02	0,003
	Panties	0,03	0,005
	Briefs	0,04	0,006
	Pants 1/2 long legs made of wool	0,06	0,009
	Pants long legs	0,1	0,016
Underwear – shirts	Bra	0,01	0,002
	Shirt sleeveless	0,06	0,009
	T-shirt	0,09	0,014
	Shirt with long sleeves	0,12	0,019
	Half-slip in nylon	0,14	0,022
Shirts	Tube top	0,06	0,009
	Short sleeve	0,09	0,029
	Light blouse with long sleeves	0,15	0,023
	Light shirt with long sleeves	0,2	0,031
	Normal with long sleeves	0,25	0,039
	Flannel shirt with long sleeves	0,3	0,047
	Long sleeves with turtleneck blouse	0,34	0,053
Trousers	Shorts	0,06	0,009
	Walking shorts	0,11	0,017
	Light trousers	0,2	0,031
	Normal trousers	0,25	0,039
	Flannel trousers	0,28	0,043
	Overalls	0,28	0,043
Coveralls	Daily wear, belted	0,49	0,076
	Work	0,5	0,078
Highly-insulating coveralls	Multi-component with filling	1,03	0,16
	Fiber-pelt	1,13	0,175
Sweaters	Sleeveless vest	0,12	0,019
	Thin sweater	0,2	0,031
	Long thin sleeves with turtleneck	0,26	0,04
	Thick sweater	0,35	0,054
	Long thick sleeves with turtleneck	0,37	0,057
Jacket	Vest	0,13	0,02
	Light summer jacket	0,25	0,039
	Smock	0,3	0,047

	Jacket	0,35	0,054
Coats and overjackets and overtrousers	Overalls multi-component	0,52	0,081
	Down jacket	0,55	0,085
	Coat	0,6	0,093
	Parka	0,7	0,109
Sundries	Socks	0,02	0,003
	Thin soled shoes	0,02	0,003
	Quilted fleece slippers	0,03	0,005
	Thick soled shoes	0,04	0,006
	Thick ankle socks	0,05	0,008
	Boots	0,05	0,008
	Thick long socks	0,1	0,016
Skirts, dresses	Light skirt 15 cm, above knee	0,01	0,016
	Light skirt 15 cm, below knee	0,18	0,028
	Heavy skirt knee-length	0,25	0,039
	Light dress sleeveless	0,25	0,039
	Winter dress long sleeves	0,4	0,062
Sleepwear	Under shorts	0,1	0,016
	Short gown thin strap	0,15	0,023
	Long gown long sleeve	0,3	0,047
	Hospital gown	0,31	0,048
	long pajamas with long sleeve	0,5	0,078
	Body sleep with feet	0,72	0,112
Robes	Long sleeve, wrap, short	0,41	0,064
	Long sleeve, wrap, long	0,53	0,082

Για τον μεταβολικό ρυθμό επιλέχθηκε η τιμή 1,2met που αντιστοιχεί σε δουλειά γραφείου σύμφωνα με τον Πίνακα 4.2.

Πίνακας 4.2: Διάφορες τιμές μεταβολικού ρυθμού ανάλογα με την εργασία (www.EngineeringToolBox.com, n.d.)

Activity	W/m2	W1)	Btu/hr1)	Met
Reclining/Sleeping	46	83	282	0,8
Seated relaxed	58	104	356	1
Standing at rest	70	126	430	1,2
Sedentary activity (office, dwelling, school, laboratory)	70	126	430	1,2
Car driving	80	144	491	1,4

Graphic profession - Book Binder	85	153	522	1,5
Standing, light activity (shopping, laboratory, light industry)	93	167	571	1,6
Teacher	95	171	583	1,6
Domestic work -shaving, washing and dressing	100	180	614	1,7
Walking on the level, 2 km/h	110	198	675	1,9
Standing, medium activity (shop assistant,domestic work)	116	209	712	2
Building industry - Brick laying (Block of 15.3 kg)	125	225	768	2,2
Washing dishes standing	145	261	890	2,5
Domestic work - raking leaves on the lawn	170	306	1043	2,9
Domestic work - washing by hand and ironing (120-220 W)	170	306	1043	2,9
Iron and steel - ramming the mould with a pneumatic ammer	175	315	1075	3
Building industry -forming the mould	180	324	1105	3,1
Walking on the level, 5 km/h	200	360	1228	3,4
Forestry -cutting across the grain with a one-man power saw	205	369	1259	3,5
Volleyball /Bicycling (15 km/h)	232	418	1424	4
Calisthenics	261	470	1602	4,5
Building industry - loading a wheelbarrow with stones and mortar	275	495	1688	4,7
Golf/Softball	290	522	1780	5
Gymnastics	319	574	1959	5,5
Aerobic Dancing/Swimming	348	624	2137	6
Sports - Ice skating, 18 km/h / Bicycling (20 km/h)	360	648	2210	6,2
Agriculture - digging with a spade (24 lifts/min.)	380	674	2333	6,5
Skiing on level, good snow, 9 km/h/Backpacking/Skating ice or roller/Basketball/Tennis	405	729	2487	7
Handball/Hockey/Racquetball/Cross County Skiing/				
Soccer	464	835	2848	8
Running 12 min/mile /Forestry - working with an axe (weight 2 kg. 33 blows/min.)	500	900	3070	8,5
Sports - Running in 15 km/h	550	990	3377	9,5

Το σημείο δρόσου υπολογίστηκε σε συνάρτηση με τη σχετική υγρασία του ατμοσφαιρικού αέρα σύμφωνα με τον τύπο:

$$T_d = \frac{243,5 \cdot (\ln(RH) + \frac{17,67 \cdot T}{243,5 + T})}{17,67 - \ln(RH) - \frac{17,67 \cdot T}{243,5 + T}} \quad (\text{Εξίσωση 4.1})$$

Όπου T_d = σημείο δρόσου (°C)

RH = σχετική υγρασία ατμοσφαιρικού αέρα (%)

T = θερμοκρασία αέρα (°C)

4.4 ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΝΕΣΗΣ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ

Οι δείκτες που εξετάστηκαν στην παρούσα εργασία για την ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος είναι:

- Ο δείκτης μέσης προβλεπόμενης τιμής ψηφοφορίας PMV
- Ο δείκτης δυσaráσκείας των ανθρώπων PPD
- Ο δείκτης Humidex
- Ο δείκτης Heat Index
- Ο δείκτης Discomfort Index (DI)

Ενώ για το εξωτερικό περιβάλλον υπολογίστηκε ο δείκτης Wind Chill.

4.4.1 Δείκτης μέσης προβλεπόμενης τιμής ψηφοφορίας PMV

Η εξίσωση βάσει της οποίας υπολογίζεται ο δείκτης PMV (Fanger, 1982) είναι:

$$PMV = (0,303e^{-0,036M} + 0,028)[(M - W) - H - E_c - C_{RES} - E_{RES}] \quad (\text{Εξίσωση 4.2})$$

Όπου:

Η παράμετρος M αντιστοιχεί στην ειδική μεταβολική δραστηριότητα [W/m^2].

Η διαφορά $M - W$ εκφράζει το θερμικό ισοζύγιο που ορίζεται ως η διαφορά μεταξύ εσωτερικά παραγόμενης θερμότητας και των απωλειών προς το περιβάλλον.

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

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

C_{RES} : το ποσό της θερμότητας που απάγεται με αγωγή κατά την αναπνοή [W/m^2].

E_{RES} : το ποσό της θερμότητας που απάγεται λόγω εξάτμισης κατά την αναπνοή [W/m^2].

Στην συγκεκριμένη εργασία θεωρήθηκαν ως όρια του δείκτη PMV οι τιμές -1 και +1.

Όμως στην παρούσα Διπλωματική εργασία για τον υπολογισμό του δείκτη PMV καθώς και του δείκτη PPD που ακολουθεί στην επόμενη παράγραφο

χρησιμοποιήθηκε ο τρόπος υπολογισμούς τους σύμφωνα με το Takahiro SATO, Tanabe Lab., Waseda Univ, 18 Δεκεμβρίου 2002.

4.4.2 Δείκτης δυσaréσκειας των ανθρώπων PPD

Η μαθηματική σχέση που συνδέει τους δύο αυτούς δείκτες και από την οποία υπολογίζεται ο δείκτης PPD (Fanger, 1982) είναι:

$$PPD = 100 - 95 \cdot e^{-(0,03353 \cdot PMV^4 + 0,2179 \cdot PMV^2)} \quad (Εξίσωση 4.3)$$

Τα όρια των δεικτών αυτών, μέσα στα οποία θεωρείται ότι επικρατούν συνθήκες θερμικής άνεσης, παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 3.3.

Στη συγκεκριμένη εργασία θεωρήθηκε σαν όριο του δείκτη PPD το 20%.

4.4.3 Δείκτης Humidex

Ο δείκτης Humidex είναι ένας δείκτης θερμικής άνεσης που χρησιμοποιείται από τους μετεωρολόγους του Καναδά από το 1965, ενώ η τρέχουσα φόρμουλα αναπτύχθηκε από τους J. M. Masterton και F. A. Richardson της Καναδικής υπηρεσίας ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος (Canada's Atmospheric Environment Service) το 1979. Ο δείκτης Humidex προσδιορίζει την θερμοκρασία που αισθάνεται ένας άνθρωπος ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν. Υπολογίζεται σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία του αέρα και το σημείο δρόσου (www.physLink.com, n.d.) σύμφωνα με την εξίσωση:

$$T_{Humidex} = T + 0,5555 \cdot \left(6,11 \cdot e^{5417,7530 \left(\frac{1}{273,16} - \frac{1}{T_d} \right)} - 10 \right) \quad (\text{Εξίσωση 4.4})$$

Όπου $T_{Humidex}$ σε °C

T=η θερμοκρασία του αέρα σε °C

T_d = το σημείο δρόσου σε °C

Ανάλογα με την τιμή της αισθανόμενης θερμοκρασίας που προκύπτει από την εξίσωση προσδιορισμού του δείκτη Humidex είναι δυνατή η κατηγοριοποίηση των επικρατούντων συνθηκών του περιβάλλοντος σε 5 κατηγορίες οι οποίες φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4.3: όρια δείκτη Humidex Index

Αισθανόμενη θερμοκρασία	Κατηγορίες
<29 °C	(Όχι δυσφορία) No discomfort

30-39 °C	(Λίγη δυσφορία)Some discomfort
40-45 °C	Μεγάλη δυσφορία, αποφύγετε την άσκηση(Great discomfort, avoid exertion)
Above 45 °C	Επικίνδυνα (Dangerous)
Above 54 °C	Επικείμενη θερμοπληξία (Heat stroke imminent)

4.4.4 Δείκτης Heat Index

Ο δείκτης Heat Index αναπτύχθηκε το 1978 από τον George Winterling και υιοθετήθηκε ένα χρόνο αργότερα από την Εθνική Υπηρεσία Καιρού των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής (USA's National Weather Service) είναι και αυτός ένας δείκτης θερμικής άνεσης που προσδιορίζει την θερμοκρασία που αντιλαμβάνεται ένας άνθρωπος συνδυάζοντας την θερμοκρασία του αέρα και την σχετική υγρασία. Ο δείκτης Heat Index υπολογίζεται σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία του αέρα (www.had2know.com, n.d.) σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$T_{Heat\ Index} = 2,049 \cdot T + 10,143 \cdot H - 42379 - 0,225 \cdot T \cdot H - 0,00684 \cdot T^2 - 0,0548 \cdot H^2 + 0,00123 \cdot T^2 \cdot H + 0,000853 \cdot T \cdot H^2 - 0,00000199 \cdot T^2 \cdot H^2 \quad (Εξίσωση\ 4.5)$$

Όπου $T_{Heat\ Index}$ σε (°F)

T=η θερμοκρασία του αέρα σε °F (°F=°C·1,8+32)

H=η σχετική υγρασία του ατμοσφαιρικού αέρα (%)

Ανάλογα με την αντιλαμβανόμενη από τον άνθρωπο θερμοκρασία, που προκύπτει από την εξίσωση προσδιορισμού του δείκτη Heat Index, είναι δυνατόν η κατηγοριοποίηση των επικρατουσών συνθηκών του περιβάλλοντος σε 4 κατηγορίες, οι οποίες φαίνονται στον Πίνακα 4.4.

Πίνακας 4.4: όρια δείκτη Heat Index

Αντιλαμβανόμενη θερμοκρασία	Κατηγορίες
80 -89 °F	Πολύ ζεστό (Very Warm)
90-104 °F	Καυτό (Hot)
105 -129 °F	Πολύ καυτό (Very Hot)
≥130 °F	Υπερβολικά καυτό (Extremely Hot)

4.4.5 Δείκτης Discomfort Index (DI)

Ο δείκτης Discomfort Index είναι άλλος ένας δείκτης που εξαρτάται από τη θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία του αέρα. (www.keisanOnlineCalculator.com, n.d.) Υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$DI(^{\circ}C) = T - 0,55 \cdot (1 - 0,01 \cdot H) \cdot (T - 14,5) \quad (\text{Εξίσωση 4.6})$$

Όπου:

T=η θερμοκρασία του αέρα σε °C

H=η σχετική υγρασία του ατμοσφαιρικού αέρα (%)

Όπως και οι προηγούμενοι δείκτες έτσι και ο Discomfort Index κατηγοριοποιεί τις επικρατούσες συνθήκες του περιβάλλοντος, ανάλογα με την αισθανόμενη θερμοκρασία που προκύπτει από τον υπολογισμό του, σε 6 κατηγορίες, οι οποίες παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.5.

Πίνακας 4.5: όρια δείκτη Discomfort Index

Αισθανόμενη θερμοκρασία	Κατηγορίες
≤21 °C	Όχι δυσφορία (No Discomfort)
≤24 °C	Κάτω από το 50% του πληθυσμού νοιώθει δυσφορία(Under 50% of population feels discomfort)

$\leq 27\text{ }^{\circ}\text{C}$	Πάνω από το 50% του πληθυσμού νοιώθει δυσφορία (Most 50% of population feels discomfort)
$\leq 29\text{ }^{\circ}\text{C}$	Το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού υποφέρει από δυσφορία (Most of population suffers discomfort)
$\leq 32\text{ }^{\circ}\text{C}$	Όλοι νοιώθουν σοβαρό stress (Everyone feels severe stress)
$> 32\text{ }^{\circ}\text{C}$	Κατάσταση ιατρικής ανάγκης (State of medical emergency)

4.5 Δείκτης εξωτερικού περιβάλλοντος

Δείκτης Wind Chill

Ο δείκτης Wind Chill είναι ο δείκτης που προσδιορίζει την μείωση της θερμοκρασίας του αέρα που αισθάνεται ο άνθρωπος λόγω της ροής του αέρα ή αλλιώς δείχνει το πόσο γρήγορα θα παγώσει. Ο δείκτης Wind Chill χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό της ποιότητας του εξωτερικού περιβάλλοντος. Ο προσδιορισμός του εξαρτάται από τη θερμοκρασία και την ταχύτητα του ατμοσφαιρικού αέρα (www.physLink.com, n.d.) και υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$T_{WC} = 13,12 + 0,6215 \cdot T - 11,37 \cdot V^{0,16} + 0,3965 \cdot T \cdot V^{0,16} \quad (\text{Εξίσωση 4.7})$$

Όπου T_{WC} σε $^{\circ}\text{C}$

T =η θερμοκρασία του αέρα σε $^{\circ}\text{C}$ και,

V =η ταχύτητα του ανέμου σε Km/h

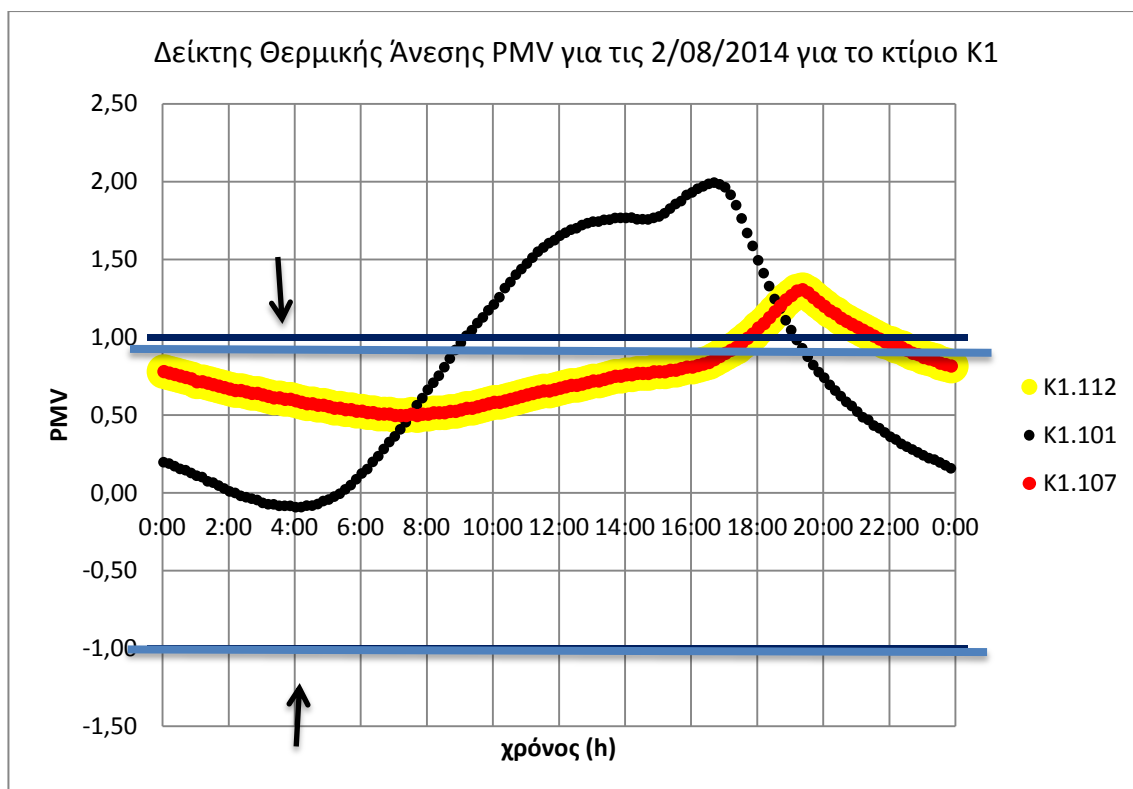
Κεφάλαιο 5:

Παρουσίαση Αποτελεσμάτων

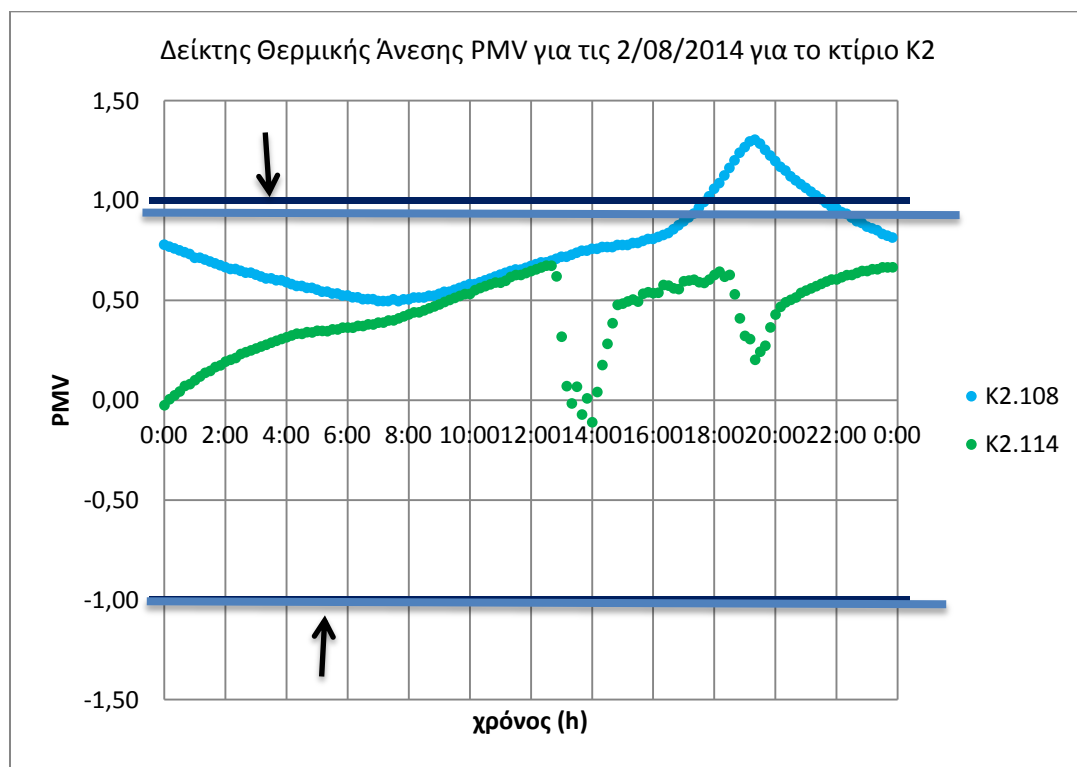
5.1. Αξιολόγηση Δεικτών Θερμικής Άνεσης

5.1.1 Δείκτης Θερμικής Άνεσης PMV

Από τα διαγράμματα 5.1 και 5.2 του δείκτη PMV για τις 2/08/2014 επισημαίνεται ότι μόνο η καμπύλη της αίθουσας K2.114 είναι ολόκληρη μέσα στα επιτρεπτά όρια -1 με 1, με ελάχιστη τιμή -0,11 στις 14:00 και μέγιστη 0,64 στις 12:40 και 23:40. Παρατηρούμε ακόμα ότι οι αντίστοιχες καμπύλες των K1.112, K1.107 και K2.108 ταυτίζονται και, με εξαίρεση το χρονικό διάστημα μεταξύ 17:40 με 21:40, βρίσκονται μέσα στο επιθυμητό εύρος τιμών του δείκτη αυτού. Από την καμπύλη των αιθουσών αυτών φαίνεται ότι ή μέγιστη τιμή που παίρνει ο δείκτης PMV φτάνει το 1,3 στις 19:20 και η ελάχιστη το 0,50 στις 7:22. Η καμπύλη της αίθουσας K1.101 βρίσκεται όλη μέσα στο διάστημα -1 με 1, εκτός από το χρονικό διάστημα μεταξύ 9:10 με 19:10, το οποίο είναι κατά πολύ μεγαλύτερο από αυτό των K1.112, K1.107 και K2.108 και, μάλιστα, η μέγιστη τιμή του δείκτη PMV φτάνει και το 2 στις 16:40 ενώ η ελάχιστή του το -0,09 στις 4:11.

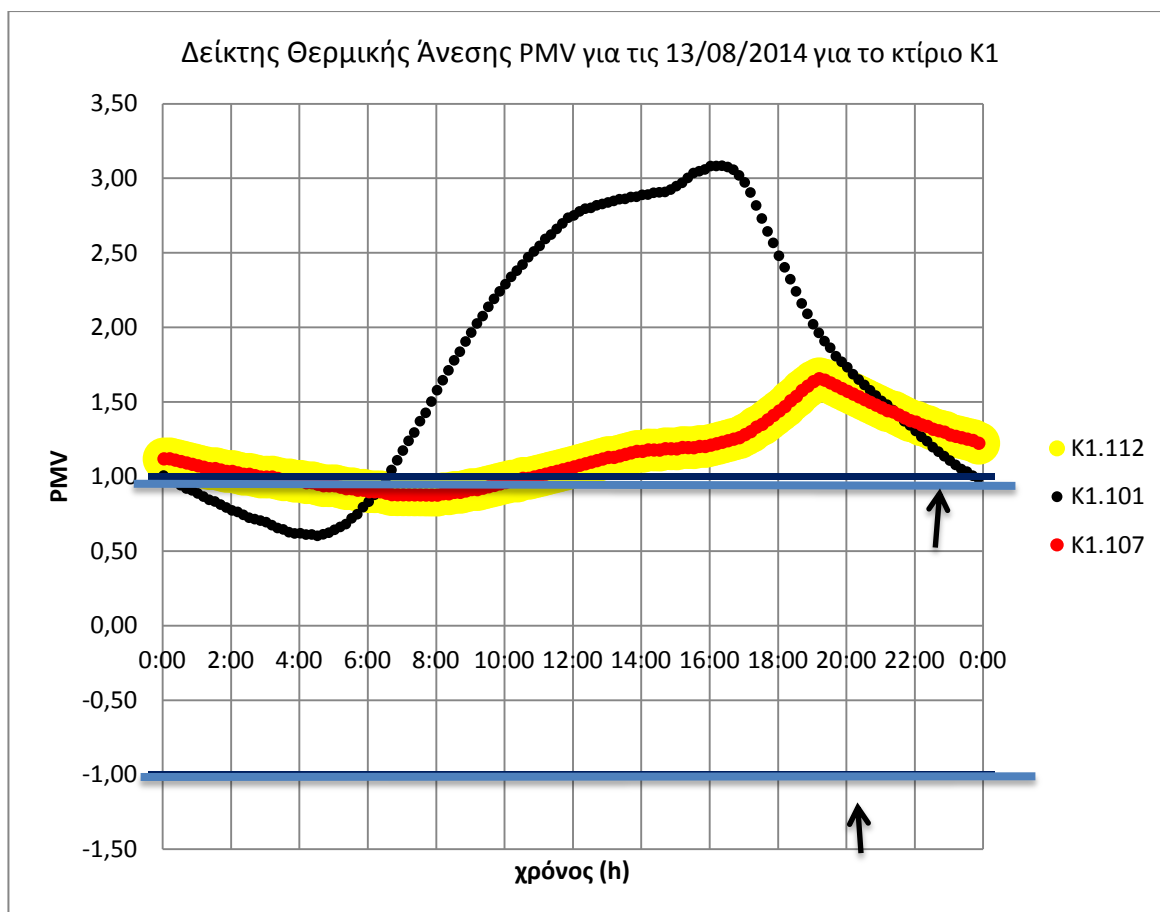


Διάγραμμα 4.1 Διάγραμμα δείκτη PMV για τις 2/08/2014 για το κτίριο K1

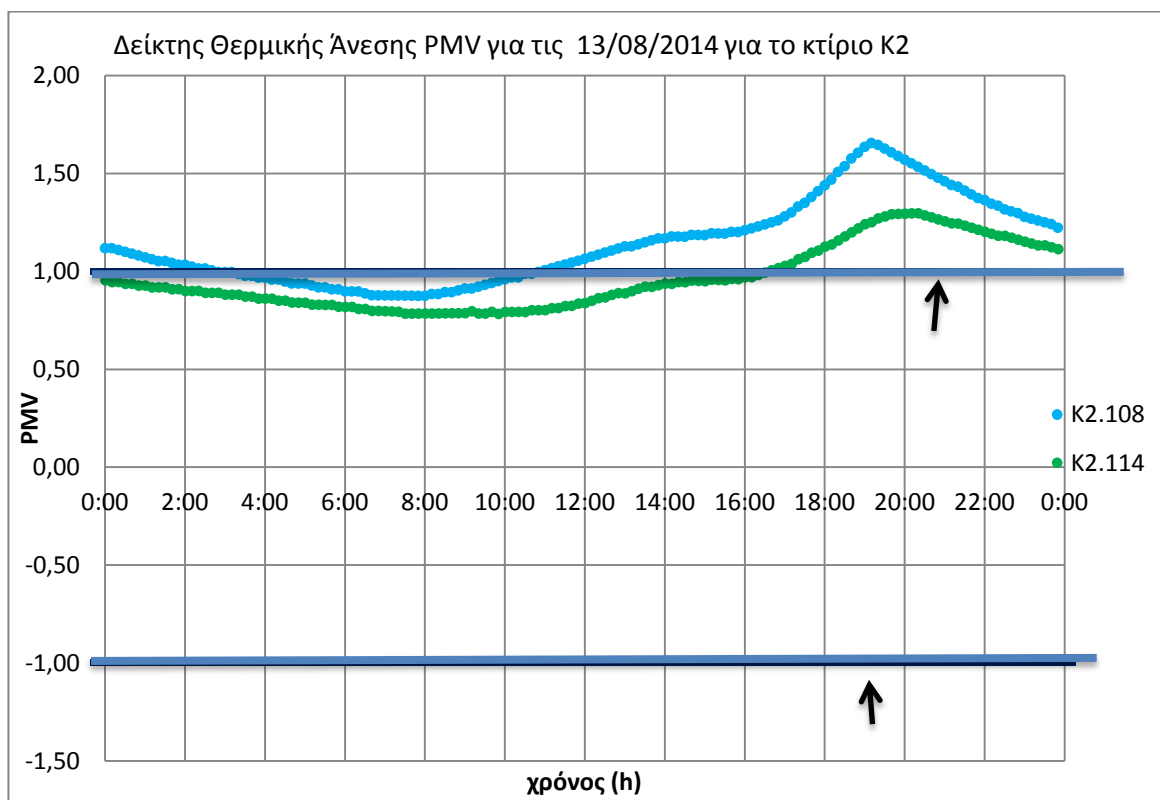


Διάγραμμα 5.2 Διάγραμμα δείκτη PMV για τις 2/08/2014 για το κτίριο K2

Από τα διαγράμματα 5.3 και 5.4 του δείκτη PMV για τις 13/08/2014 παρατηρείται ότι οι καμπύλες των αιθουσών και των δύο κτιρίων βρίσκονται ανάμεσα στο επιθυμητό εύρος τιμών του δείκτη, δηλαδή ανάμεσα στο -1 και στο 1, για κάποιο ορισμένο χρονικό διάστημα. Ειδικότερα, η καμπύλη της αίθουσας K1.101 βρίσκεται ανάμεσα στα επιθυμητά όρια του δείκτη από την αρχή της μέρας μέχρι και τις 6:31 καθώς επίσης και για τα 20 τελευταία λεπτά της μέρας, δηλαδή από τις 23:41 μέχρι το τέλος της μέρας. Είναι σημαντικό επίσης να αναφερθεί ότι, η καμπύλη αυτή κυμαίνεται από το 0,6, στο οποίο πέφτει στις 4:31, μέχρι και το 3,08, στο οποίο διατηρείται το χρονικό διάστημα από 16:01 μέχρι 16:31. Οι καμπύλες των αιθουσών K1.107 και K1.112 βρίσκονται ανάμεσα στο όρια -1 και 1 το χρονικό διάστημα από 3:22 μέχρι και 10:42. Οι καμπύλες αυτές κυμαίνονται από το 1,66, ανώτερη τιμή που αποκτούν στις 19:12, μέχρι και 0,88, τη μικρότερη τιμή που καταγράφεται το χρονικό διάστημα από τις 6:42 μέχρι και τις 8:22. Όσο αναφορά τις τιμές της καμπύλης K2.108 γίνεται αντιληπτό ότι υπάρχει ταύτιση αυτών με τις τιμές των καμπυλών K1.107 και K1.112. Η καμπύλη της K2.114 κυμαίνεται μέσα στο επιθυμητό εύρος τιμών από την αρχή της μέρας μέχρι και τις 16:30. Το ευρύτερο εύρος τιμών της καμπύλης αυτής είναι από την μέγιστη τιμή 1,30, στην οποία φτάνει στις 20:10 και 20:20 και την ελάχιστη 0,78, στην οποία πέφτει από τις 7:30 μέχρι και τις 8:20.

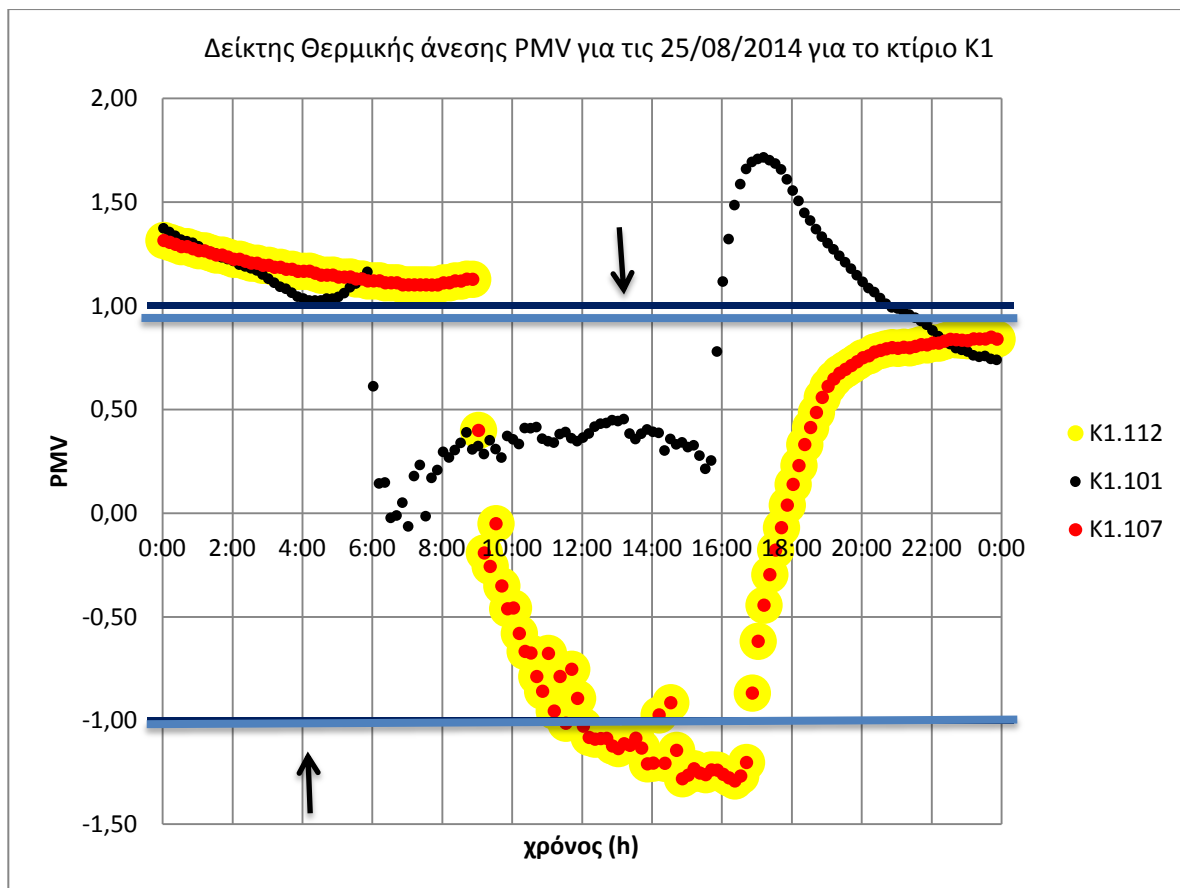


Διάγραμμα 5.3: Διάγραμμα δείκτη PMV για τις 13/08/20014 για το κτίριο K1

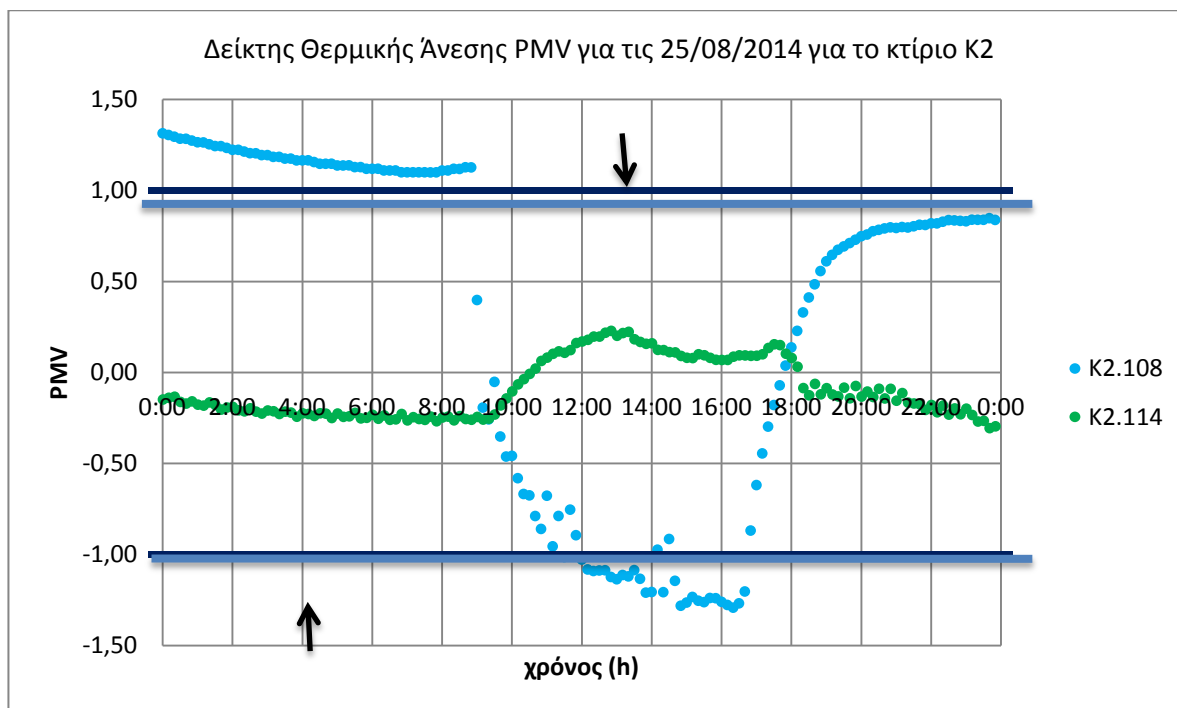


Διάγραμμα 5.4: Διάγραμμα δείκτη PMV για τις 13/08/20014 για το κτίριο K2

Εξετάζοντας τα διαγράμματα 5.5 και 5.6 του δείκτη PMV για τις 25/08/2014 παρατηρούμε ότι η μοναδική καμπύλη που βρίσκεται ολόκληρη μέσα στα όρια -1 και 1 του δείκτη αυτού είναι η καμπύλη της αίθουσας K2.114. Η καμπύλη αυτή κυμαίνεται σε ένα σχετικά μικρό εύρος τιμών, το οποίο βρίσκεται μεταξύ του 0,23, το οποίο φτάνει στις 12:50 και του -0,30, στο οποίο πέφτει στις 23:40. Η καμπύλη της K2.108 ταυτίζεται με τις καμπύλες των K1.107 και K1.112. Βρίσκονται ανάμεσα στα όρια σε δύο χρονικά διαστήματα, από τις 9:02 μέχρι και τις 11:52 και από τις 16:52 μέχρι και το τέλος της μέρας, καθώς και τις μεμονωμένες χρονικές στιγμές 14:12 και 14:32. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι, στις 11:30 και από τις 12:00 μέχρι και τις 14:00, οι καμπύλες αυτές οριοθετούνται κάτω από το όριο -1, κάτι το οποίο δε συνέβη ξανά στις άλλες δύο μέρες που μελετήθηκαν, καθώς όταν δε βρίσκονταν μέσα στο όριο έπαιρναν τιμές μεγαλύτερες του 1. Το εύρος τιμών τους είναι από 1,32, στο οποίο φτάνουν στην αρχή της μέρας έως -1,29 στο οποίο πέφτει στις 16:20. Η καμπύλη της αίθουσας K1.101 βρίσκεται ανάμεσα στα όρια του δείκτη από τις 6:01 μέχρι και τις 15:51 και κυμαίνεται από το -0,06, στο οποίο πέφτει στις 7:01 έως το 1,72, στο οποίο φτάνει στις 17:11.



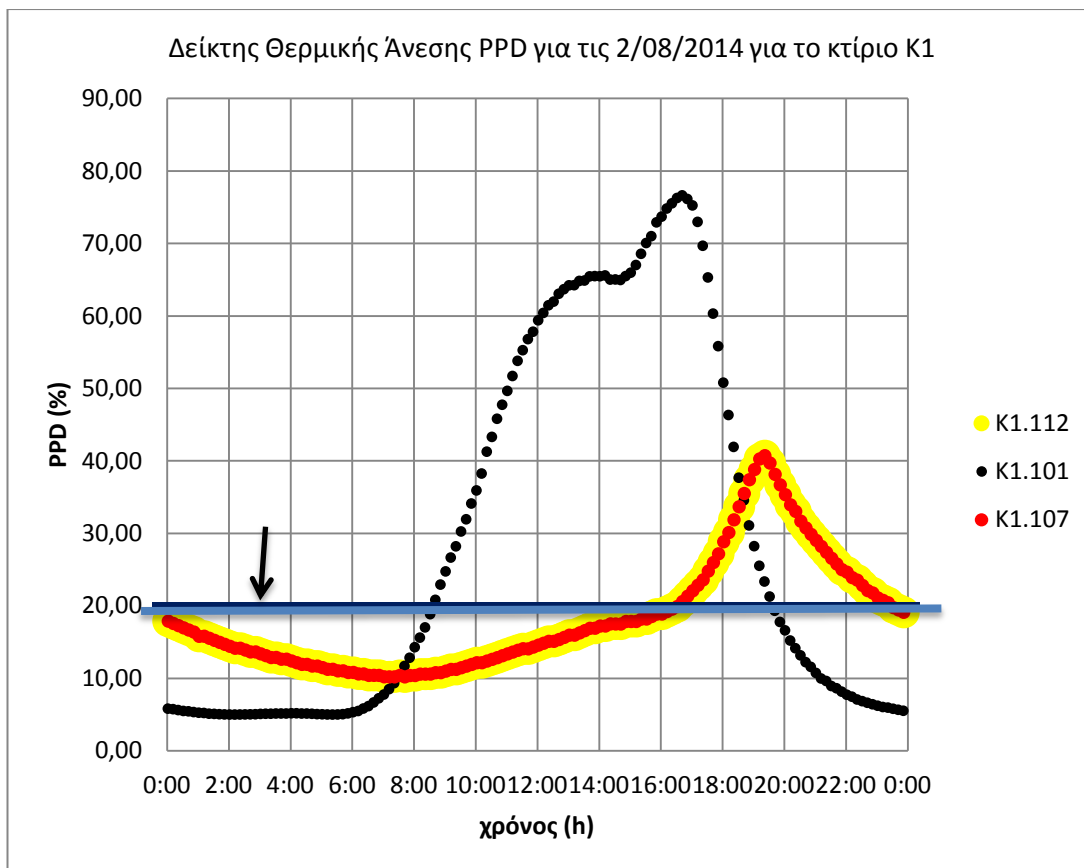
Διάγραμμα 5.5: Διάγραμμα δείκτη PMV για τις 25/08/20014 για το κτίριο K1



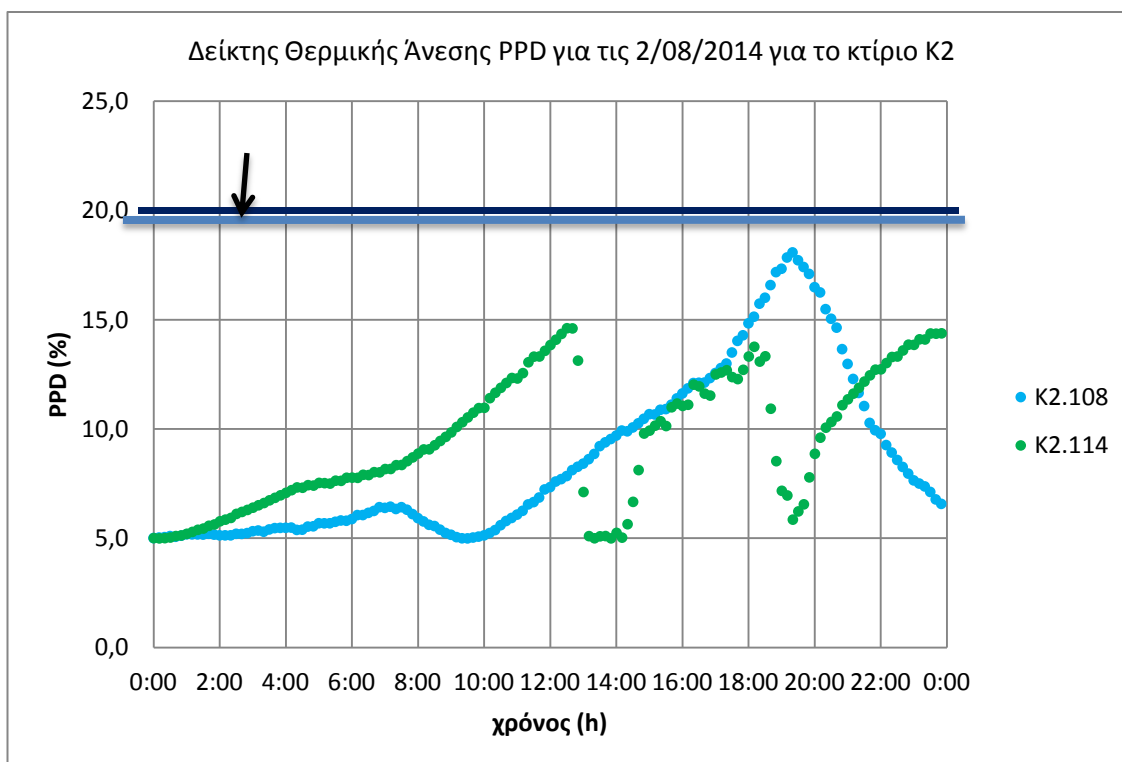
Διάγραμμα 5.6: Διάγραμμα δείκτη PMV για τις 25/08/20014 για το κτίριο K2

5.1.2 Δείκτης Θερμικής Άνεσης PPD

Στα διαγράμματα 5.7 και 5.8 του δείκτη PPD για τις 2/08/2014 παρατηρείται ότι κάτω από το όριο του 20%, το οποίο είναι και το αποδεκτό όριο για το συγκεκριμένο δείκτη, ολόκληρες βρίσκονται μόνο 2 καμπύλες και, πιο συγκεκριμένα, οι καμπύλες των αιθουσών του κτιρίου K2, δηλαδή, αυτές των K2.108 και K2.114. Αναλυτικότερα, η καμπύλη της αίθουσας K2.108 κυμαίνεται ανάμεσα στην ελάχιστη τιμή της 5% στις 9:20 και τη μέγιστη 18,1% στις 19:20. Η καμπύλη της αίθουσας K2.114 βρίσκεται ανάμεσα στη μέγιστη τιμή της 15,35% στις 12:42 και στην ελάχιστη 5%, την οποία και φτάνει μετά από μια απότομη πτώση στις 13:50. Επιπλέον, γίνεται αντιληπτό ότι οι καμπύλες των K1.112 και K1.107 παρουσιάζουν ταύτιση τιμών και το χρονικό διάστημα από 16:42 μέχρι τις 23:22 βρίσκονται πάνω από το επιτρεπτό όριο του 20%, ενώ, την υπόλοιπη μέρα είναι κάτω από το όριο, που είναι και το επιθυμητό. Πέφτουν στην ελάχιστη τιμή τους 10,19% στις 7:42 για να αυξηθούν στη συνέχεια έως το μέγιστό τους 40,72% στις 19:22. Η καμπύλη της αίθουσας K1.101 είναι αυτή με το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα πάνω από το επιτρεπτό όριο και, πιο συγκεκριμένα, από τις 8:41 μέχρι τις 19:31. Φτάνει στην ελάχιστη τιμή της 5% στις 1:41 και διατηρείται στο επίπεδο αυτό για μία ώρα, μέχρι και τις 2:41, και μετά αυξάνεται μέχρι το 76,6% στις 16:40.

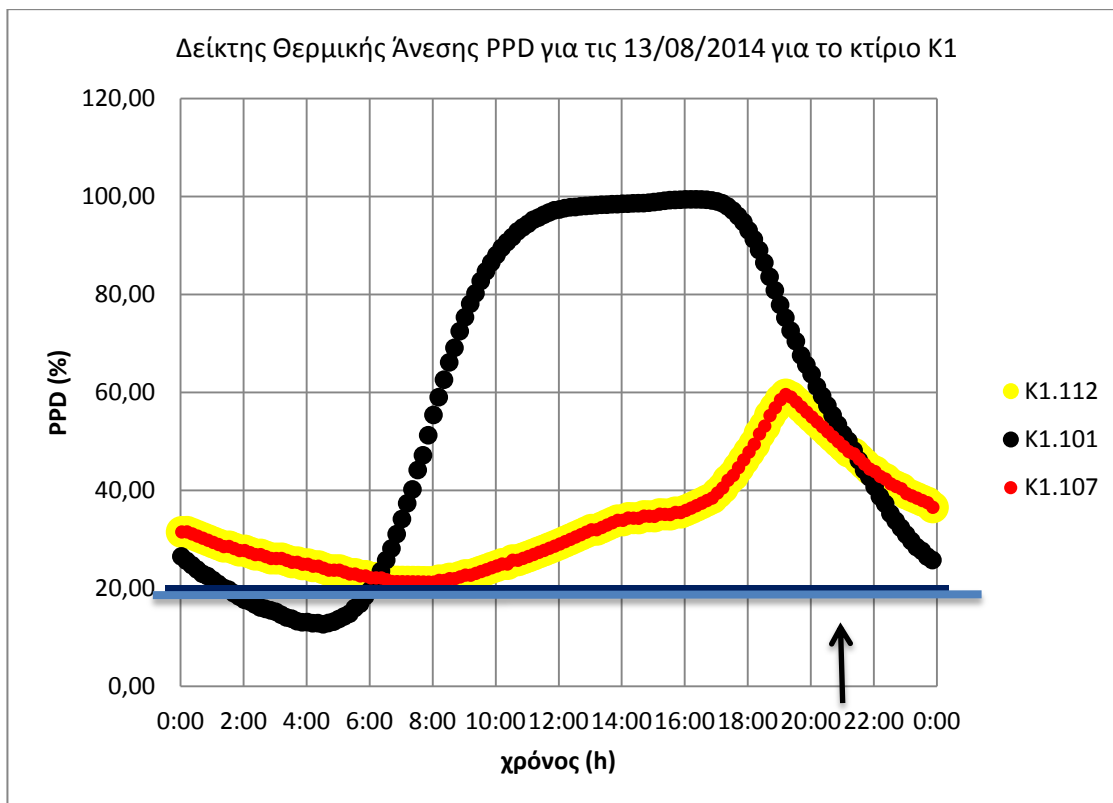


Διάγραμμα 5.7: Διάγραμμα δείκτη PPD για τις 2/08/20014 για το κτίριο K1

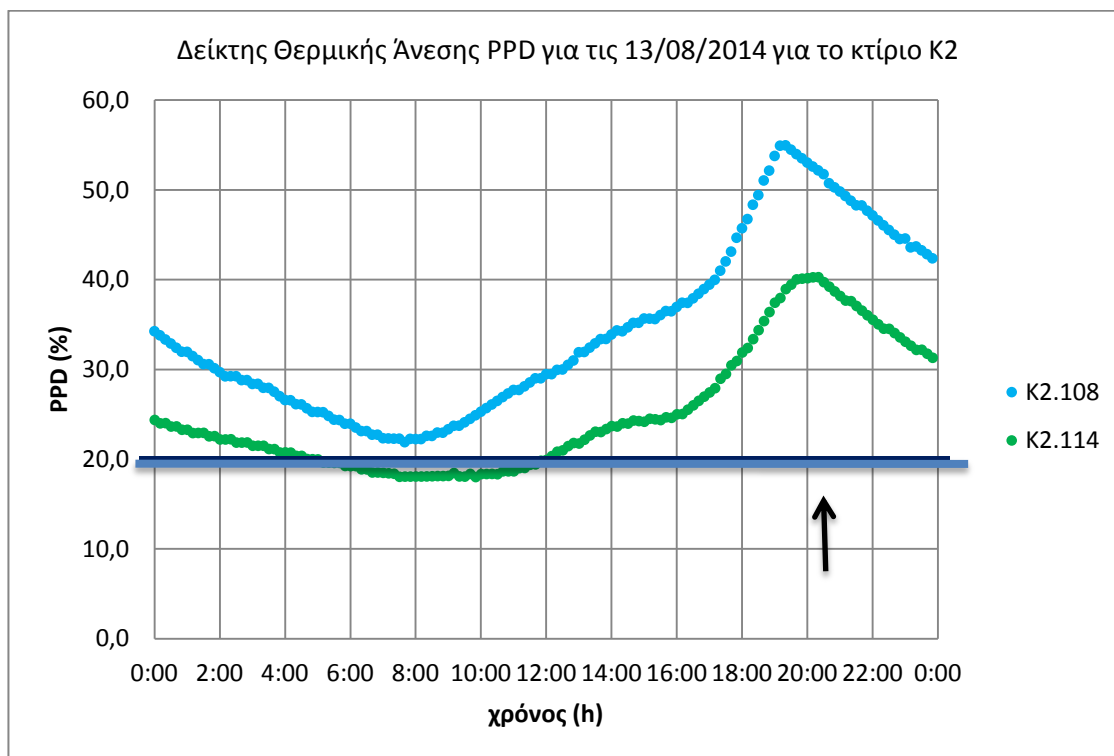


Διάγραμμα 5.8: Διάγραμμα δείκτη PPD για τις 2/08/20014 για το κτίριο K2

Από τα διαγράμματα 5.9 και 5.10 του δείκτη PPD για τις 13/08/2014 παρατηρείται ότι μόνο οι καμπύλες K1.101 και K2.114 βρίσκονται για κάποιο χρονικό διάστημα μέσα στο επιθυμητό εύρος τιμών δηλαδή κάτω από 20%. Πιο συγκεκριμένα, η καμπύλη της αίθουσας K1.101 βρίσκεται κάτω από το όριο του 20% το χρονικό διάστημα από τις 1:31 μέχρι και τις 6:00. Κυμαίνεται από το 99,4%, το χρονικό διάστημα από τις 15:51 μέχρι τις 16:41, έως το 12,7% στις 4:31. Οι καμπύλες των K1.107 και K1.112 βρίσκονται εξολοκλήρου πάνω από το όριο. Πλησιάζουν αρκετά το όριο του 20% και πέφτουν στο 21,3% από τις 7:12 μέχρι και τις 8:02 ενώ φτάνουν μέχρι και το 59,6% στις 19:12. Η καμπύλη της αίθουσας K2.108 βρίσκεται και αυτή ολόκληρη πάνω από το επιθυμητό όριο του δείκτη, αλλά στις 7:40 πέφτει στο 21,9%, ενώ φτάνει μέχρι και το 55,0% στις 19:20. Η καμπύλη της K2.114 από τις 5:10 μέχρι και τις 11:40 βρίσκεται κάτω από το 20%, ενώ κυμαίνεται από το 18% στο οποίο πέφτει στις 9:50 μέχρι το 40,27 στο οποίο φτάνει στις 20:20.



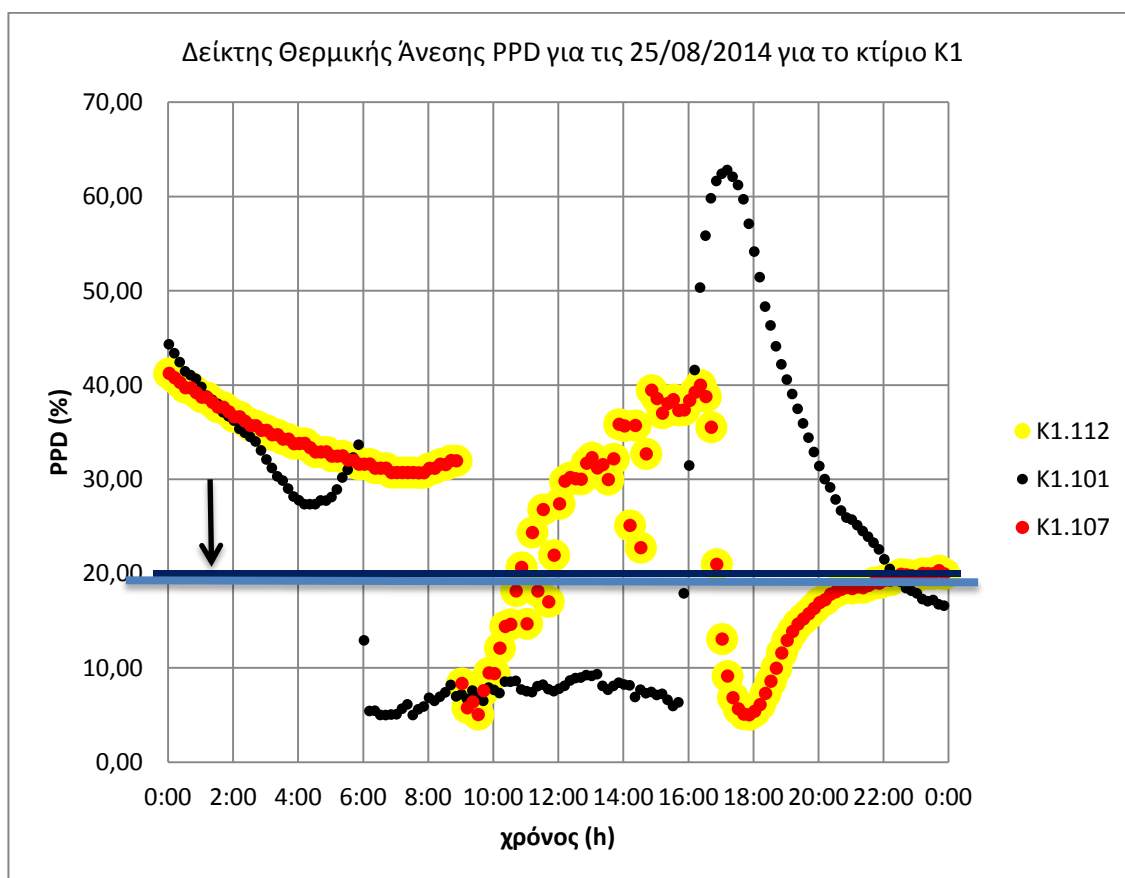
Διάγραμμα 5.9: Διάγραμμα δείκτη PPD για τις 13/08/20014 για το κτίριο K1



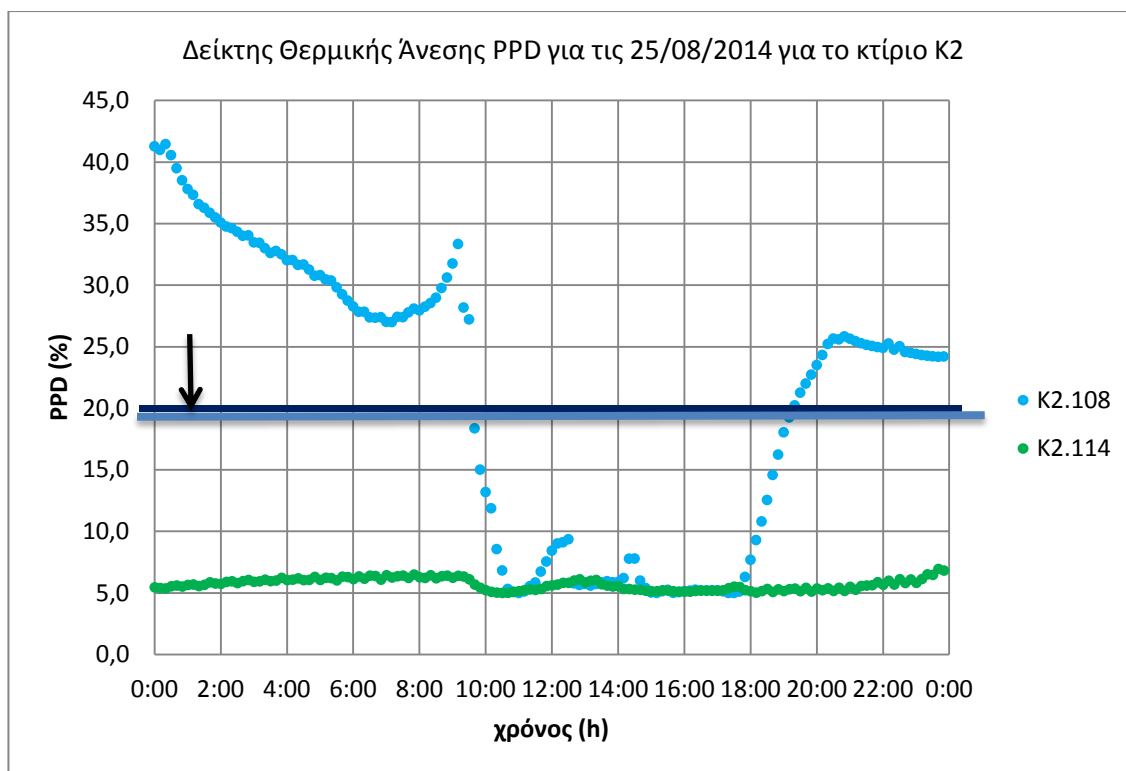
Διάγραμμα 5.10: Διάγραμμα δείκτη PPD για τις 13/08/2014 για το κτίριο K2

Από τα διαγράμματα 5.11 και 5.12 του δείκτη PPD για τις 25/08/2014 παρατηρείται ότι όλες οι καμπύλες για κάποιο χρονικό διάστημα βρίσκονται κάτω από το όριο του 20%, που είναι και το επιθυμητό. Εξάιρεση αποτελεί η καμπύλη της αίθουσας K2.114 του κτιρίου K2, η οποία βρίσκεται εξολοκλήρου κάτω από το όριο και η οποία κυμαίνεται σε ένα πολύ μικρό εύρος τιμών, από 5,09% στο οποίο πέφτει στις 10:10 μέχρι το 6,95% στο οποίο φτάνει στις 23:40. Η καμπύλη της K2.108 βρίσκεται μέσα στο επιθυμητό όριο τιμών από τις 9:40 μέχρι και τις 19:00, ενώ κυμαίνεται από 5%, στο οποίο πέφτει στις 11:00, αλλά και κατά το χρονικό διάστημα από τις 15:00 μέχρι και τις 17:30, έως το 41,5%, στο οποίο φτάνει στις 0:20. Όσον αφορά τις καμπύλες του κτιρίου K1, η καμπύλη της αίθουσας K1.101 βρίσκεται κάτω από το όριο του 20% για ένα σχετικά μεγάλο χρονικό διάστημα, από τις 6:00 μέχρι τις 15:51. Το εύρος τιμών στο οποίο κυμαίνεται είναι από 5%, στο οποίο πέφτει τρεις φορές, στις 6:31, στις 6:41 και στις 7:31, έως το 62,8% στο οποίο φτάνει στις 17:11.

Οι καμπύλες των K1.107 και K1.112 βρίσκονται μέσα στο επιθυμητό εύρος τιμών σε δύο χρονικά διαστήματα, το πρώτο είναι από τις 9:00 μέχρι και τις 10:42 και από τις 17:02 μέχρι και τις 22:32, αλλά και τις μεμονωμένες στιγμές στις 11:22 και στις 11:42. Τη στιγμή που ξεκινάει η μέρα βρίσκονται στο 41,2%, ενώ πέφτουν μέχρι το 5% στις 17:52.



Διάγραμμα 5.11: Διάγραμμα δείκτη PPD για τις 25/08/20014 για το κτίριο K1

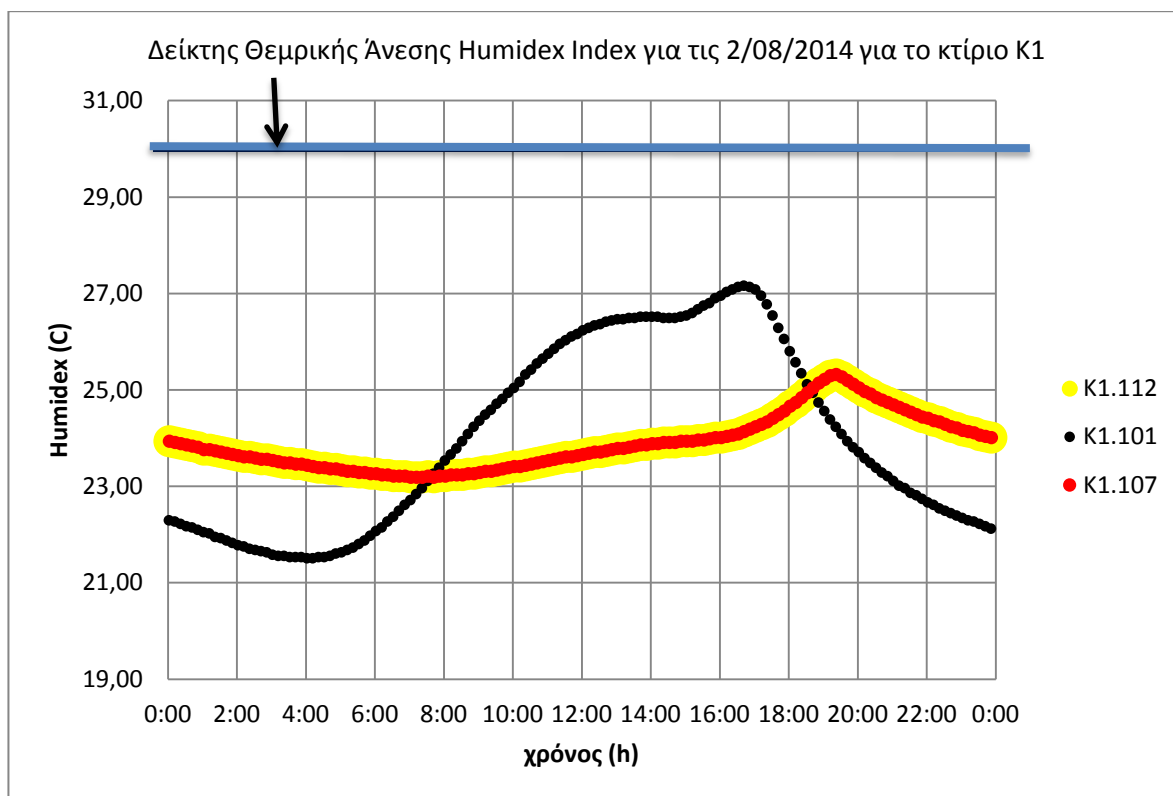


Διάγραμμα 5.12: Διάγραμμα δείκτη PPD για τις 25/08/2014 για το κτίριο K2

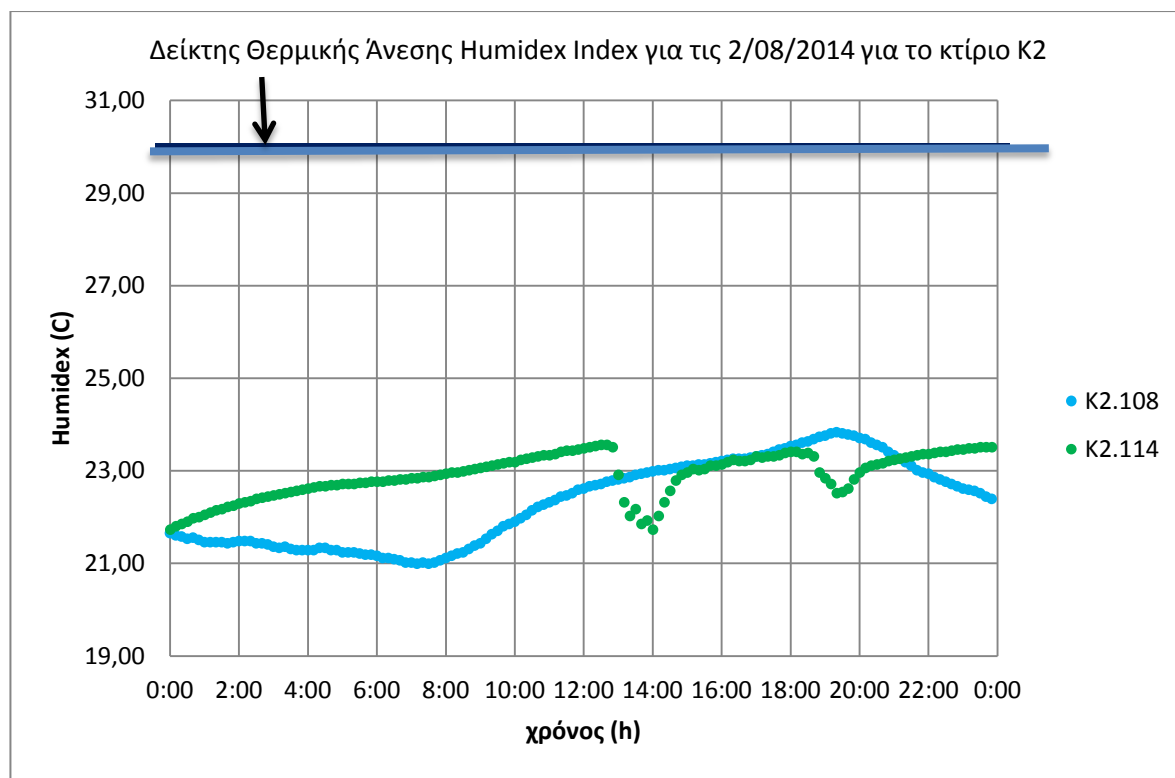
5.1.3 Δείκτης Θερμικής Άνεσης Humidex Index

Στο διάγραμμα 5.13 και 5.14 του δείκτη Humidex για τις 2/08/2014 γίνεται αντιληπτό ότι οι καμπύλες της αισθανόμενης θερμοκρασίας και για τις 5 αίθουσες είναι μέσα στην πρώτη κατηγορία αυτού του δείκτη, όπου η αισθανόμενη θερμοκρασία πρέπει να είναι μικρότερη των 30°C και αντιστοιχεί σε συνθήκες που δεν προκαλούν δυσφορία στον άνθρωπο. Αναλυτικότερα, παρατηρείται ότι οι καμπύλες των αιθουσών K1.112 και K1.107 ταυτίζονται και κυμαίνονται από τους 23,19°C, στους οποίους πέφτουν από τις 7:02 έως τις 7:42, μέχρι και τους 25,32°C, τους οποίους φτάνουν στις 19:22, ενώ η μέση τιμή θερμοκρασίας για την καμπύλη αυτή είναι 23,88°C. Το εύρος τιμών της καμπύλης K1.101 του κτιρίου K1 βρίσκεται μεταξύ των 21,51°C και των 27,16°C. Τις τιμές αυτές λαμβάνει από τις 4:01 έως και τις 4:11 και στις 16:41 αντίστοιχα. Η μέση τιμή θερμοκρασίας της καμπύλης της αίθουσας K1.101 είναι 24,01°C. Αναφορικά με τις αίθουσες του κτιρίου K2, η καμπύλη

της K2.108 κυμαίνεται από τους 20,99°C, στους οποίους πέφτει στις 7:10 και στις 7:30, έως τους 23,83°C, στους οποίους φτάνει στις 19:20 και η μέση τιμή θερμοκρασίας της είναι 22,32°C, ενώ η καμπύλη της K2.114 έχει εύρος τιμών από τους 21,73°C, την κατώτερη τιμή στην αρχή της μέρας και στις 14:00, έως και τους 23,56°C, την ανώτερη στις 12:40 και η μέση τιμή θερμοκρασίας της είναι οι 22,91°C.



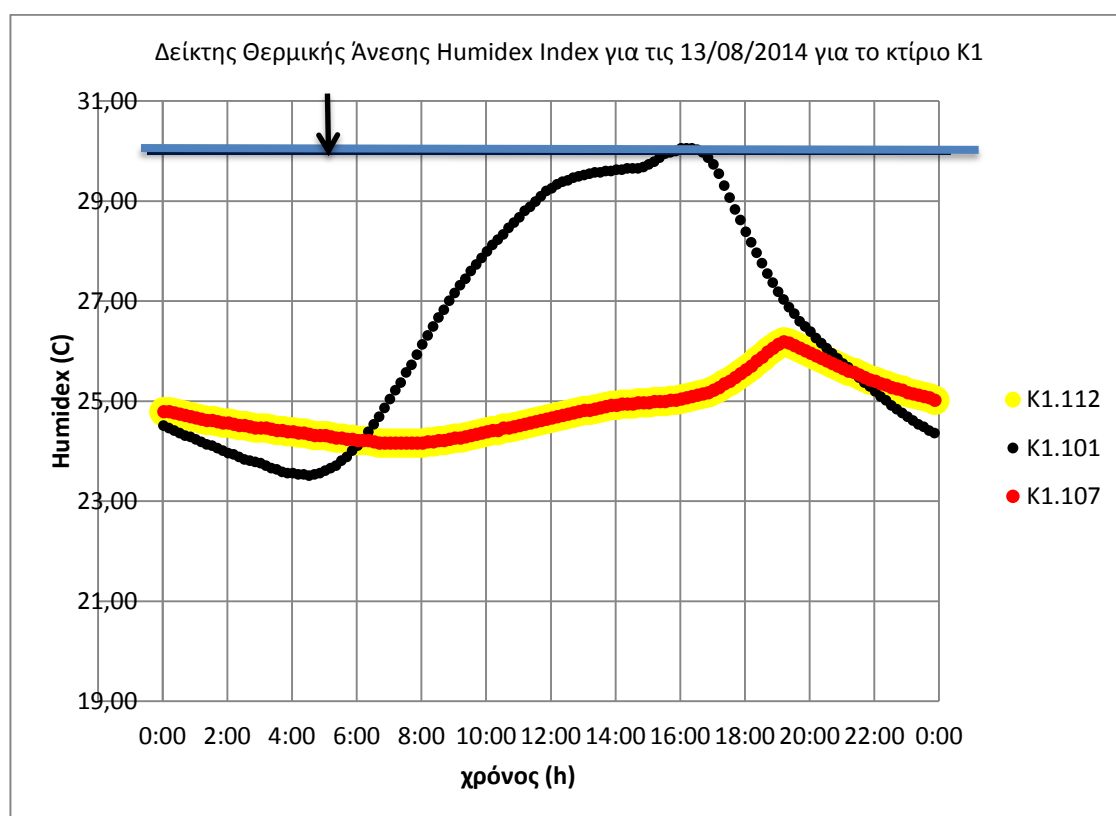
Διάγραμμα 5.13: Διάγραμμα δείκτη Humidex για τις 2/08/20014 για το κτίριο K1



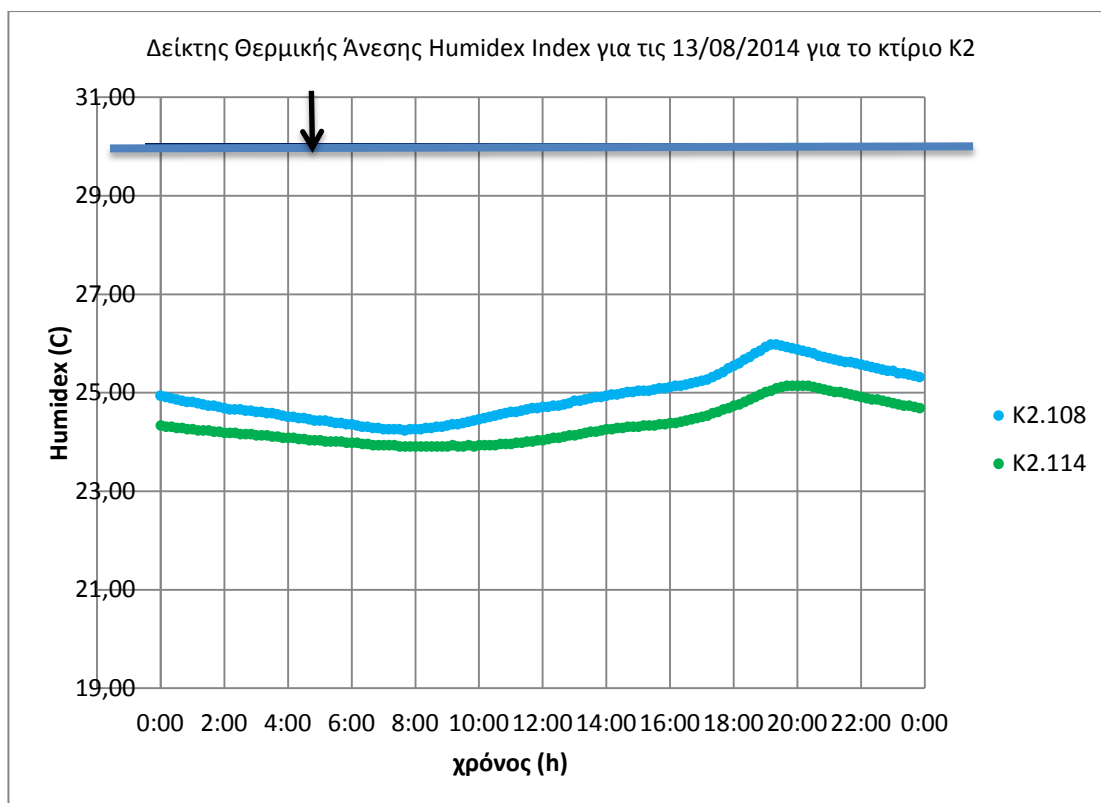
Διάγραμμα 5.14: Διάγραμμα δείκτη Humidex για τις 2/08/20014 για το κτίριο K2

Στο διάγραμμα 5.15 και 5.16 του δείκτη Humidex για τις 13/08/2014 παρατηρείται ότι οι καμπύλες της αισθανόμενης θερμοκρασίας και για τις 5 αίθουσες οριοθετούνται μέσα στην πρώτη κατηγορία αυτού του δείκτη, όπου η αισθανόμενη θερμοκρασία πρέπει να είναι μικρότερη των 30°C και αντιστοιχεί σε συνθήκες που δεν προκαλούν δυσφορία στον άνθρωπο, με μοναδική εξαίρεση την καμπύλη της αίθουσας K1.101 όπου το χρονικό διάστημα 15:50-16:30 ξεπερνάει για ελάχιστα τους 30°C . Αναλυτικότερα, διαπιστώνεται ότι οι καμπύλες των αιθουσών K1.112, K1.107 και K2.108 σχεδόν ταυτίζονται. Οι καμπύλες των αιθουσών K1.112 και K1.107 κυμαίνονται από τους $24,16^{\circ}\text{C}$, τους οποίους πέφτουν από τις 6:42 μέχρι και τις 8:02 έως τους $26,19^{\circ}\text{C}$, που τους φτάνουν στις 19:12, και η μέση τιμή θερμοκρασίας τους είναι οι $24,85^{\circ}\text{C}$ ενώ το εύρος τιμών της K2.108 είναι από τους $24,24^{\circ}\text{C}$, στους οποίους πέφτει στις 7:40 έως τους $25,98^{\circ}\text{C}$, στους οποίους φτάνει από τις 19:10 μέχρι και τις 19:20 και η μέση τιμή θερμοκρασίας της είναι οι $24,93^{\circ}\text{C}$. Η διακύμανση

των τιμών της K1.101 είναι από τους 23,51°C έως τους 30,25°C, τιμές τις οποίες παίρνει στις 4:31 και από τις 16:01 έως 16:21, αντίστοιχα ενώ η μέση τιμή θερμοκρασίας της είναι οι 27,71°C. Η καμπύλη της αίθουσας K2.114 κυμαίνεται σε εύρος τιμών από τους 23,91°C έως τους 25,14°C, τις οποίες τιμές παίρνει από τις 7:30 έως και τις 9:50 και από 19:40 έως και τις 20:20, αντίστοιχα και η μέση τιμή θερμοκρασίας της είναι οι 24,34°C.



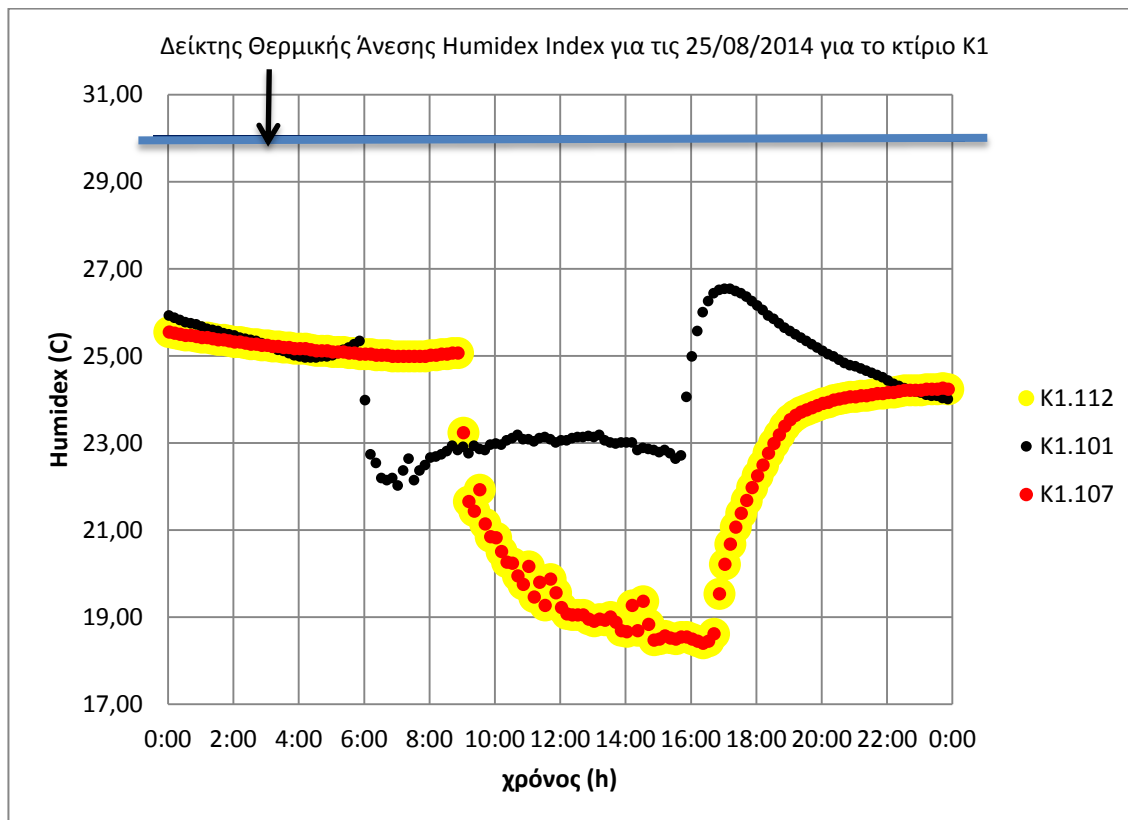
Διάγραμμα 5.15: Διάγραμμα δείκτη Humidex Index για τις 13/08/20014 για το κτίριο K1



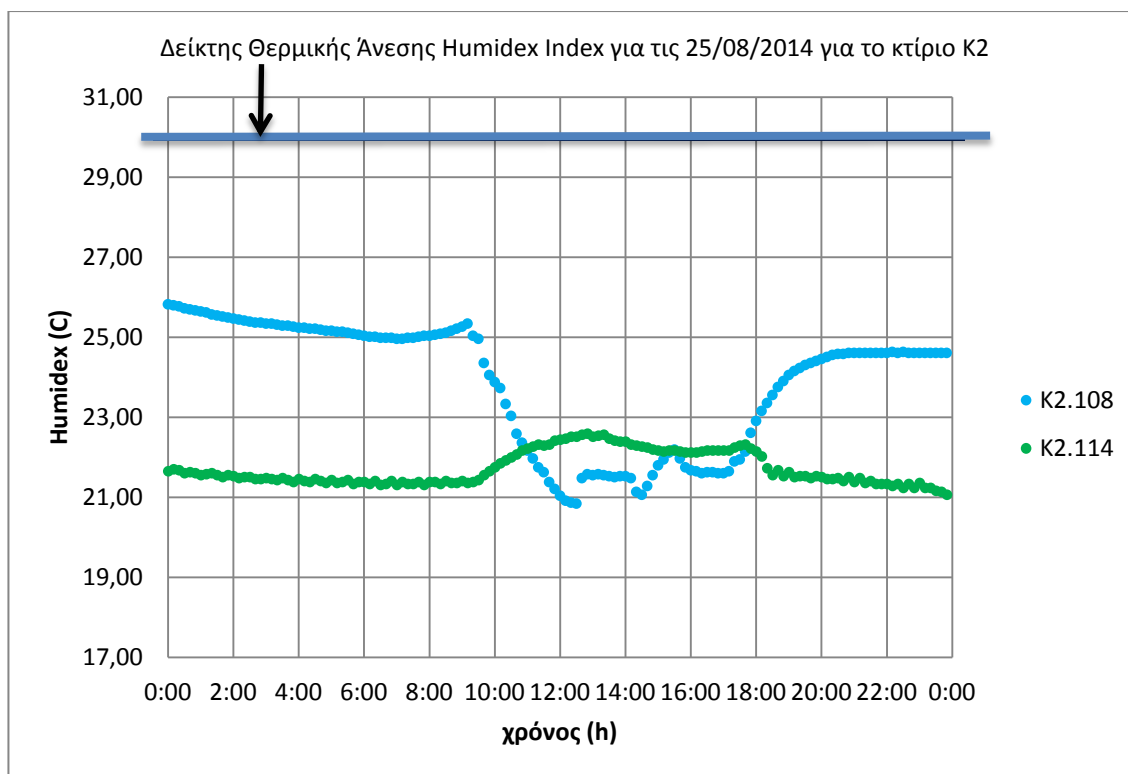
Διάγραμμα 5.16: Διάγραμμα δείκτη Humidex Index για τις 13/08/2014 για το κτίριο K2

Παρατηρώντας τα διαγράμματα 5.17 και 5.18 του δείκτη Humidex για τις 25/08/2014 γίνεται φανερό ότι οι καμπύλες της αισθανόμενης θερμοκρασίας και για τις 5 αίθουσες είναι μέσα στην πρώτη κατηγορία αυτού του δείκτη, όπου οι συνθήκες δεν προκαλούν δυσφορία στον άνθρωπο και η αισθανόμενη θερμοκρασία πρέπει να είναι μικρότερη των 30°C. Αναλυτικότερα, παρατηρείται ότι όλες οι καμπύλες των αιθουσών ακολουθούν την ίδια πορεία, με εξαίρεση την καμπύλη της αίθουσας K2.114 η οποία κυμαίνεται σε ένα σχετικά μικρό εύρος τιμών, το οποίο είναι από τους 21,07°C, στους οποίους μειώνεται στις 23:50, μέχρι και τους 22,59°C, τους οποίους φτάνει στις 12:50 και η μέση τιμή θερμοκρασίας της είναι οι 21,72°C. Το εύρος τιμών της καμπύλης της K2.108 είναι από 20,85°C έως 25,85°C, τις οποίες τιμές παίρνει στις 12:30 και στην αρχή της μέρας αντίστοιχα ενώ η μέση τιμή θερμοκρασίας της είναι οι 23,87°C. Η καμπύλη της αίθουσας K1.101 κυμαίνεται από τους 22,02°C, στους οποίους πέφτει στις 7:01, μέχρι και τους 26,54°C, τους οποίους φτάνει στις

17:01 και στις 17:11 και η μέση τιμή θερμοκρασίας της είναι οι 24,27°C. Οι καμπύλες των K1.107 και K1.112 έχουν το μεγαλύτερο εύρος τιμών, το οποίο είναι από τους 18,40°C, τους οποίους φτάνουν στις 16:22, έως τους 24,55°C, τους οποίους φτάνουν στην αρχή της μέρας ενώ η μέση τιμή θερμοκρασίας είναι οι 22,77°C.



Διάγραμμα 5.17: Διάγραμμα δείκτη Humidex Index για τις 25/08/2014 για το κτίριο K1

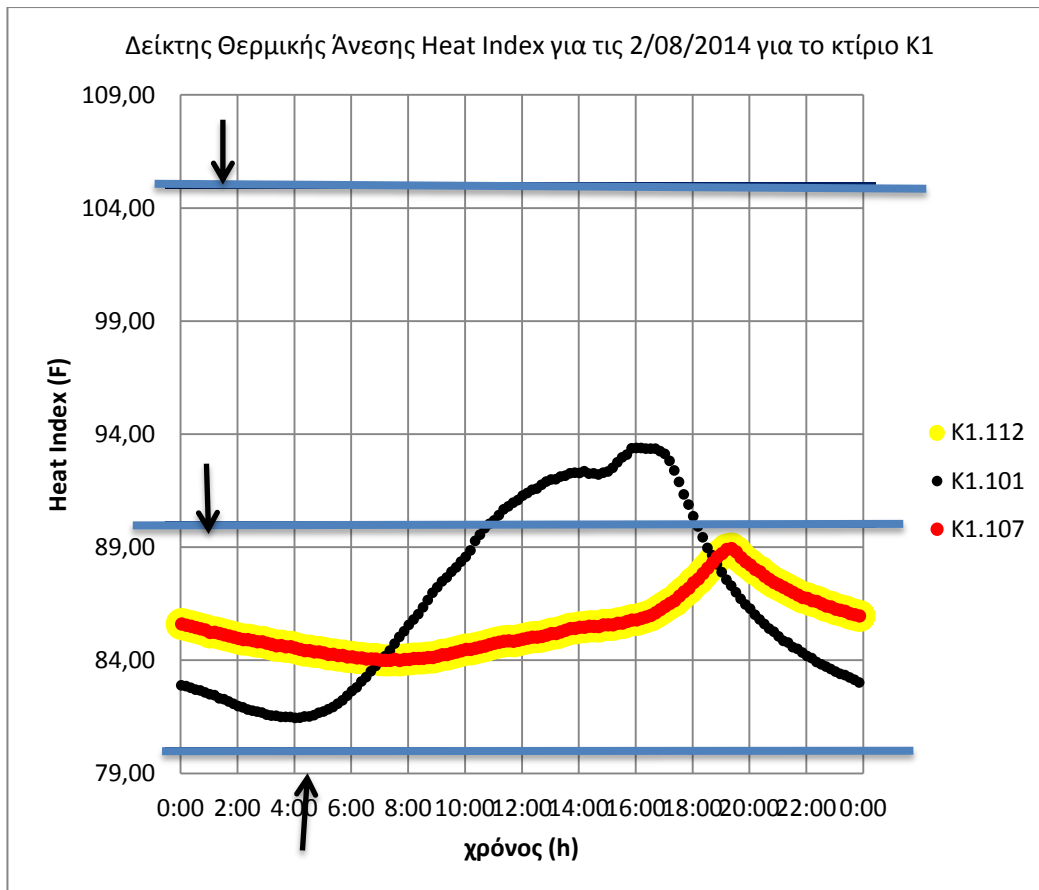


Διάγραμμα 5.18: Διάγραμμα δείκτη Humidex Index για τις 25/08/2014 για το κτίριο K2

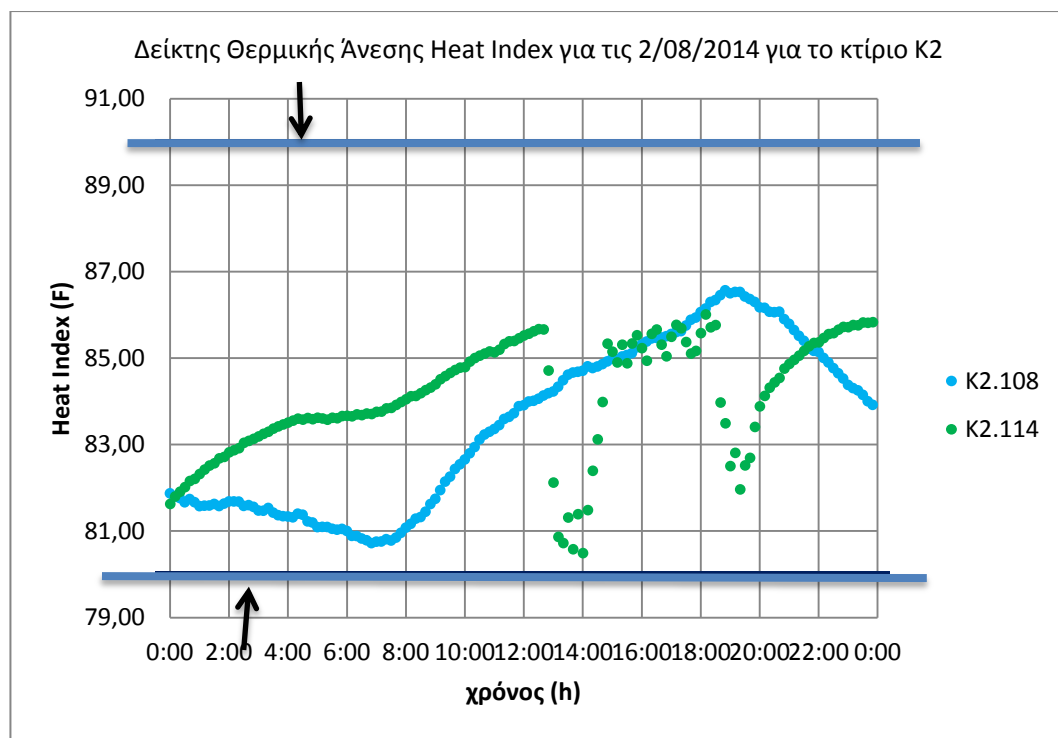
5.1.4 Δείκτης Θερμικής Άνεσης Heat Index

Στο διάγραμμα 5.19 και 5.20 του δείκτη Heat Index για τις 2/08/2014 παρατηρείται ότι οι καμπύλες των τεσσάρων εκ των πέντε καμπυλών αισθανόμενης θερμοκρασίας, και πιο συγκεκριμένα οι καμπύλες αισθανόμενης θερμοκρασίας των αιθουσών K1.112, K2.108, K2.114 και K1.107, βρίσκονται ανάμεσα στους $80^{\circ}F$ με $90^{\circ}F$, που είναι τα όρια της πρώτης κατηγορίας αυτού του δείκτη και όπου οι συνθήκες που επικρατούν είναι της τάξης του Very Warm (πολύ ζεστές) και οι μέσες τιμές θερμοκρασίας τους είναι οι $85,55^{\circ}F$, $84,48^{\circ}F$, $84,11^{\circ}F$ και $85,55^{\circ}F$ αντίστοιχα. Αντίθετα, η καμπύλη της αίθουσας K1.101 είναι μέσα στα όρια της πρώτης κατηγορίας, εκτός από το χρονικό διάστημα μεταξύ 10:40-18:10, με μέση τιμή θερμοκρασίας στο διάστημα αυτό τους $91,95^{\circ}F$. Πριν από αυτό το χρονικό διάστημα η μέση τιμή είναι $83,83^{\circ}F$ και μετά $83,53^{\circ}F$, οι τιμές κυμαίνονται από $90^{\circ}F$ έως $93,4^{\circ}F$

και βρίσκεται μέσα στα όρια της δεύτερης κατηγορίας αυτού του δείκτη, στην οποία οι συνθήκες που επικρατούν είναι της τάξης του Hot (καυτές). Αξιοσημείωτη είναι η παρατήρηση ότι οι καμπύλες των K1.112 και K1.107 πλησιάζουν πάρα πολύ κοντά στο όριο των $90^{\circ}F$ στις 19:20, ενώ οι καμπύλες K2.108 και K2.114 πλησιάζουν τους $80^{\circ}F$ στις 7:10 και 14:00 αντίστοιχα.



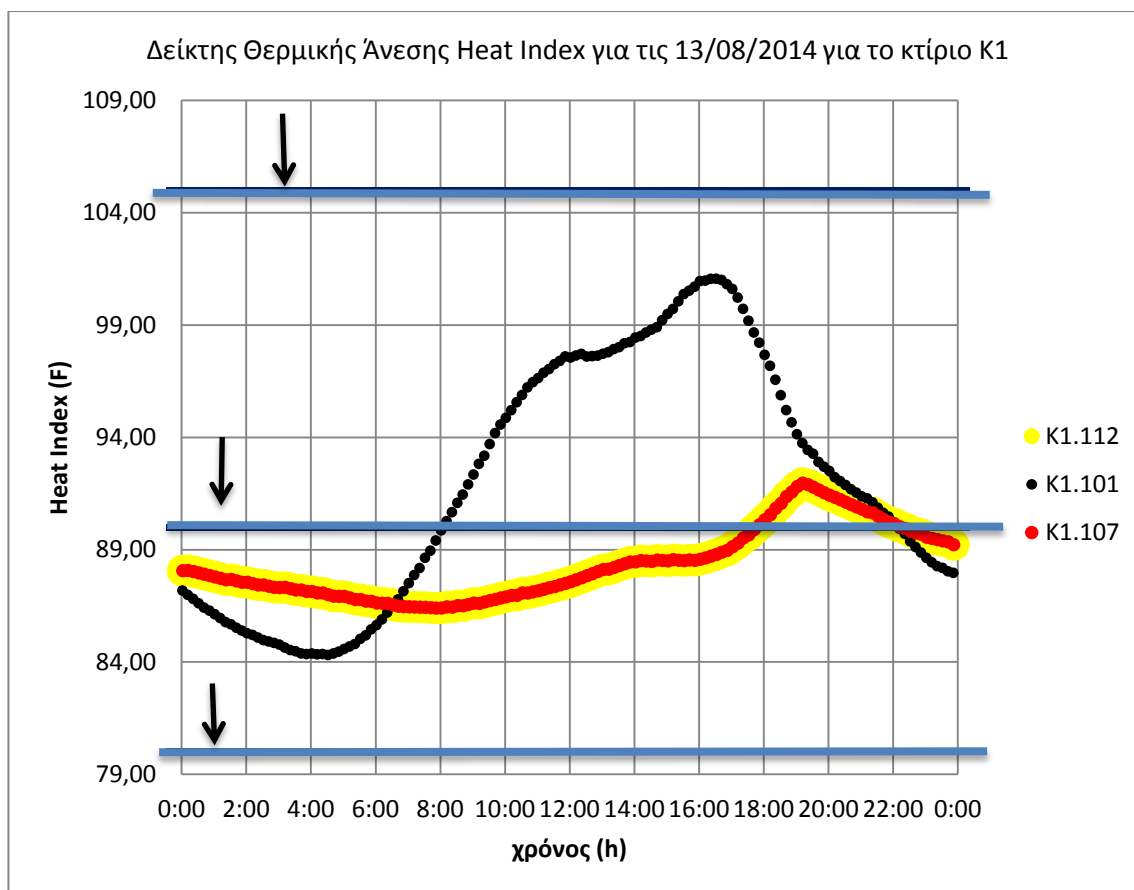
Διάγραμμα 5.19: Διάγραμμα δείκτη Heat Index για τις 2/08/20014 για το κτίριο K1



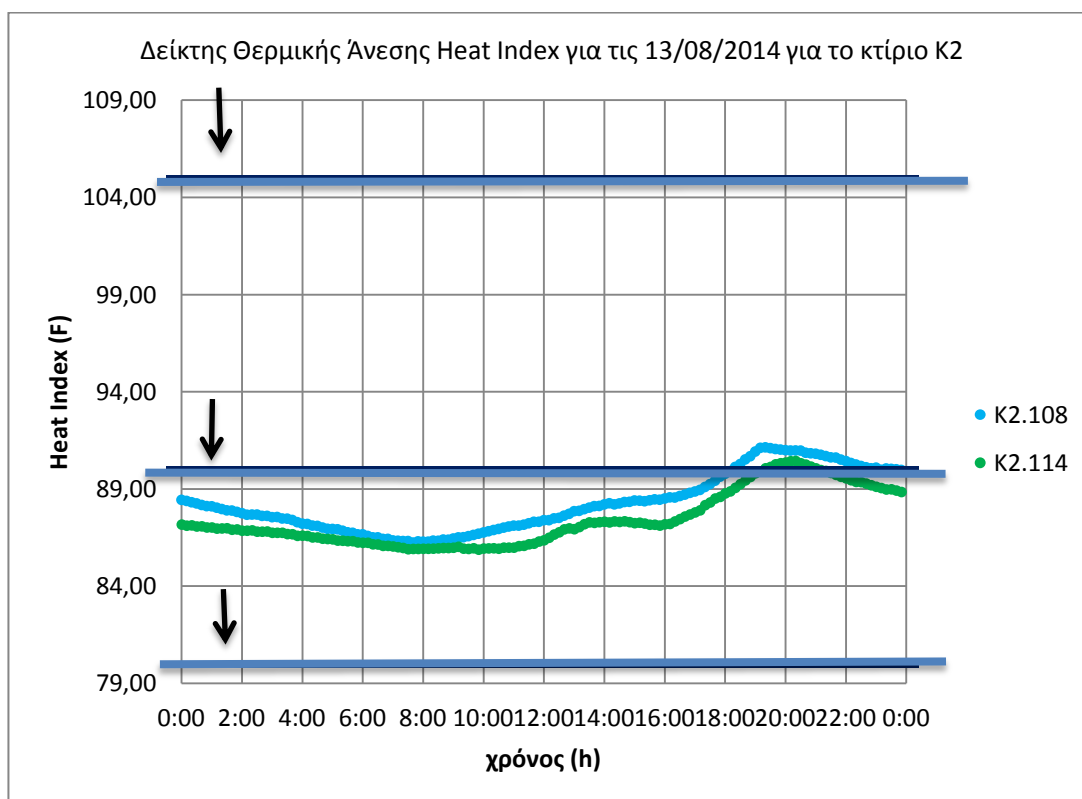
Διάγραμμα 5.20: Διάγραμμα δείκτη Heat Index για τις 2/08/20014 για το κτίριο K2

Παρατηρώντας τα διαγράμματα 5.21 και 5.22 του δείκτη Heat Index για τις 13/08/2014 γίνεται φανερό ότι όλες οι καμπύλες των αισουσών είναι πάνω από το όριο των $80^{\circ}F$ και κάτω από το όριο των $105^{\circ}F$. Ενώ οι καμπύλες των αισουσών K1.107, K1.112, K2.108 και K2.114 ακολουθούν μια παρόμοια πορεία, η καμπύλη της K1.101 διαφοροποιείται ελαφρά, φτάνοντας σε υψηλότερα και χαμηλότερα επίπεδα συγκρινόμενη με τις άλλες, καθώς επίσης και παραμένοντας για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα από τις άλλες καμπύλες ανάμεσα στους $90^{\circ}F$ και $105^{\circ}F$, που είναι τα όρια της δεύτερης κατηγορίας συνθηκών αυτού του δείκτη. Ειδικότερα, οι καμπύλες των αισουσών K1.107, K1.112, K2.108 και K2.114, κατά το μεγαλύτερο μέρος της ημέρας, βρίσκονται πάνω από το όριο των $80^{\circ}F$ και κάτω από το όριο των $90^{\circ}F$, δηλαδή μέσα στα όρια της πρώτης κατηγορίας αυτού του δείκτη, όπου οι συνθήκες που επικρατούν είναι της τάξης του Very Warm (πολύ ζεστές). Πιο συγκεκριμένα, οι καμπύλες των K1.107 και K1.112 αρχίζουν από τους $88,0^{\circ}F$ και μειώνονται μέχρι τους $86,40^{\circ}F$ στις 8:02, για να αρχίσουν να αυξάνονται ξανά μέχρι τους $91,96^{\circ}F$ στις 19:12, όπου από

εκεί και πέρα μειώνονται ξανά μέχρι τους $89,22^{\circ}F$ στο τέλος της μέρας. Το χρονικό διάστημα από 17:40 μέχρι 22:30 οι τιμές των καμπυλών ξεπερνούν το όριο των $90^{\circ}F$ και βρίσκονται μέσα στα όρια της δεύτερης κατηγορίας αυτού του δείκτη, όπου οι συνθήκες που επικρατούν είναι της τάξης του Hot (καυτές) με μέση τιμή θερμοκρασίας τους $90,59^{\circ}F$, ενώ πριν το χρονικό διάστημα αυτό η μέση τιμή τους είναι $87,16^{\circ}F$ και μετά $89,65^{\circ}F$. Οι καμπύλες των K2.108 και K2.114 αρχίζουν από θερμοκρασίες $88,45^{\circ}F$ και $87,18^{\circ}F$ αντίστοιχα και μειώνονται μέχρι τους $86,25^{\circ}F$ και $85,92^{\circ}F$ στις 7:40. Στη συνέχεια αυξάνονται και πάλι φτάνοντας μέχρι τους $91,15^{\circ}F$ στις 19:20 και $90,43^{\circ}F$ στις 20:10, για να ελαττωθούν ξανά μέχρι τους $89,99^{\circ}F$ και $88,85^{\circ}F$ στο τέλος της μέρας αντίστοιχα. Σημειώνεται, ακόμα, ότι το χρονικό διάστημα που ξεφεύγουν από την πρώτη κατηγορία συνθηκών του δείκτη αυτού και περνάνε στην δεύτερη είναι από τις 18:10 μέχρι τις 23:00 για την K2.108 και από τις 19:10 μέχρι τις 21:20 για την K2.114 με μέσες τιμές θερμοκρασίας τους $90,59^{\circ}F$ και $90,22^{\circ}F$, ενώ πριν το διάστημα αυτό έχουν μέσες τιμές $87,56^{\circ}F$ και $86,91^{\circ}F$ και μετά τους $90,00^{\circ}F$ και $89,33^{\circ}F$ αντίστοιχα. Η καμπύλη της K1.101 ξεκινάει από τους $87,18^{\circ}F$ και μειώνεται σχετικά γρήγορα, σε σχέση με τις άλλες καμπύλες, στους $84,31^{\circ}F$ στις 4:31. Στη συνέχεια αυξάνεται, φτάνοντας μέχρι και τους $101,06^{\circ}F$ στις 16:20, για να μειωθεί πάλι και να καταλήξει στους $87,97^{\circ}F$ στο τέλος της μέρας, ενώ για το χρονικό διάστημα από 8:00 μέχρι 22:10 παίρνει τιμές πάνω από το όριο των $90^{\circ}F$, με μέση τιμή θερμοκρασίας τους $95,98^{\circ}F$, ενώ πριν και μετά το διάστημα αυτό είχε μέση τιμή $85,94^{\circ}F$ τους $88,78^{\circ}F$ αντίστοιχα.



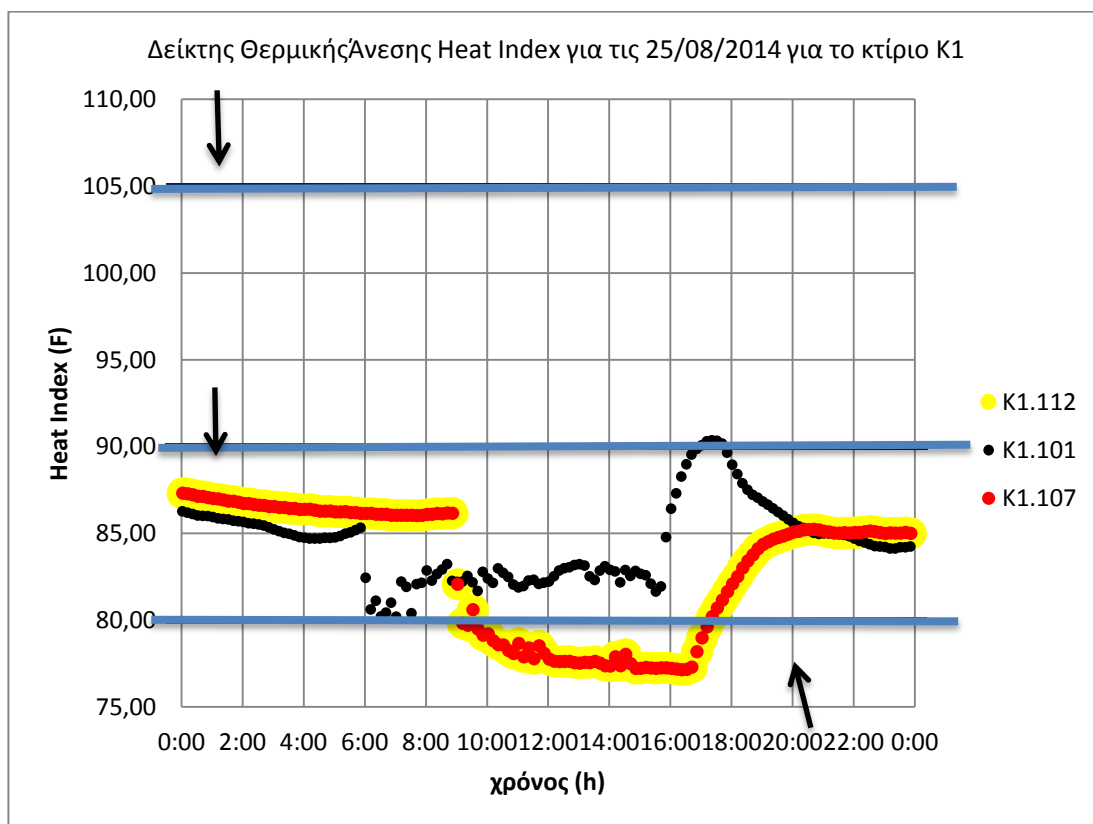
Διάγραμμα 5.21: Διάγραμμα δείκτη Heat Index για τις 13/08/20014 για το κτίριο K1



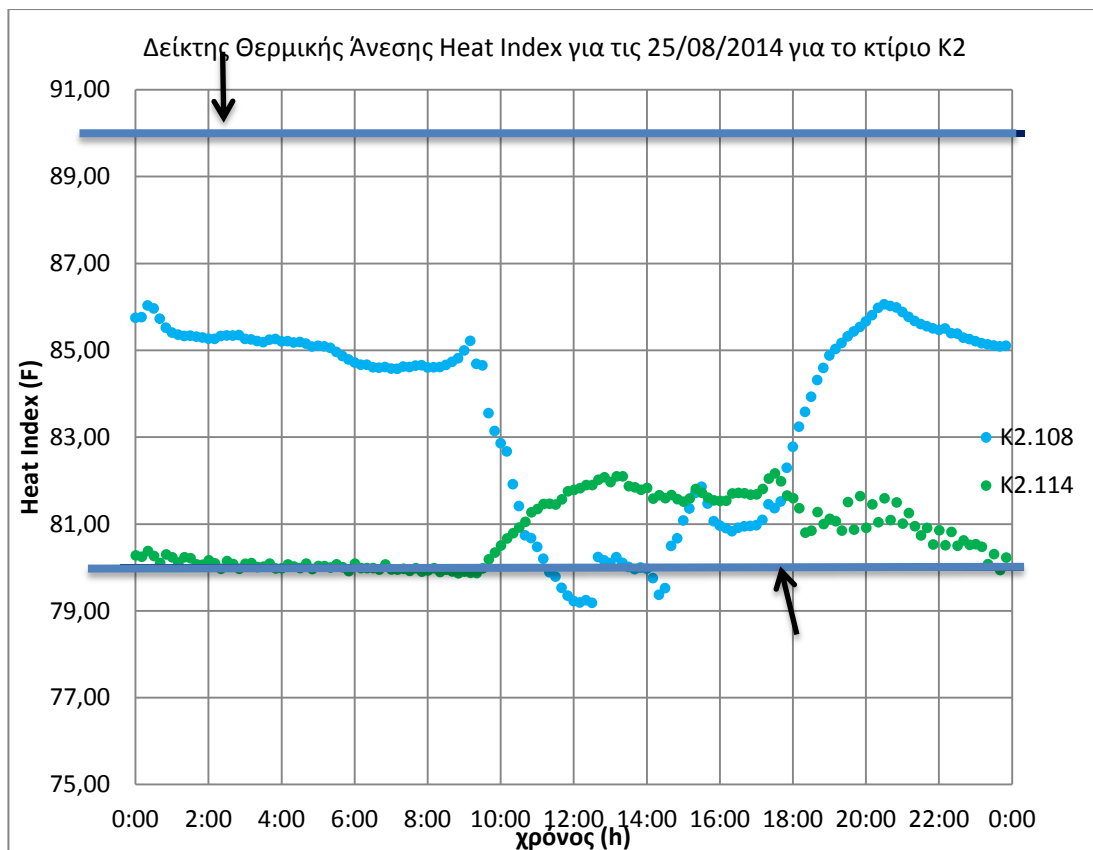
Διάγραμμα 5.22: Διάγραμμα δείκτη Heat Index για τις 13/08/20014 για το κτίριο K2

Από τα διαγράμματα 5.23 και 5.24 του Heat Index για τις 25/08/2014 παρατηρείται ότι οι καμπύλες αισθανόμενης θερμοκρασίας των αιθουσών κυμαίνονται στο εύρος τιμών των δύο πρώτων κατηγοριών του δείκτη ή και σε χαμηλότερες τιμές από αυτές. Αναλυτικότερα, η καμπύλη της αίθουσας K1.101 μέχρι τις 16:40 και από 17:50 μέχρι το τέλος της μέρας βρίσκεται κάτω από το όριο των $90^{\circ}F$ και πάνω από το όριο των $80^{\circ}F$, με μέσες τιμές θερμοκρασίας τους $83,69^{\circ}F$ και $85,61^{\circ}F$ αντίστοιχα, δηλαδή στην πρώτη κατηγορία του δείκτη αυτού, όπου οι συνθήκες που επικρατούν είναι της τάξης του Very Warm (πολύ ζεστές), ενώ το ενδιάμεσο χρονικό διάστημα, δηλαδή από τις 16:50 μέχρι τις 17:40 βρίσκεται ανάμεσα στα όρια των $90^{\circ}F$ και $105^{\circ}F$ που αντιστοιχούν στη δεύτερη κατηγορία του δείκτη αυτού και στην οποία οι συνθήκες που επικρατούν είναι της τάξης Hot (καυτές), με μέση τιμή θερμοκρασίας τους $90,11^{\circ}F$. Ακόμα παρατηρείται ότι η καμπύλη της αισθανόμενης θερμοκρασίας για την αίθουσα αυτή κυμαίνεται σε σχετικά μικρό εύρος τιμών και, πιο συγκεκριμένα, ανάμεσα στους $80,22^{\circ}F$ που είναι η ελάχιστη τιμή που παίρνει η καμπύλη στις 6:31 και στους $90,3^{\circ}F$ στις 17:20 που είναι η μέγιστη. Οι καμπύλες των αιθουσών K1.107 και K1.112 μέχρι τις 9:10 και από τις 17:22 και μετά βρίσκονται ανάμεσα στα όρια των $80^{\circ}F$ και $90^{\circ}F$ που αντιστοιχούν στην πρώτη κατηγορία συνθηκών του δείκτη Heat Index, με μέσες τιμές θερμοκρασίας τους $86,25^{\circ}F$ και $24,32^{\circ}F$ αντίστοιχα, ενώ στο ενδιάμεσο χρονικό διάστημα βρίσκεται κάτω από το όριο των $80^{\circ}F$. Επίσης, σύμφωνα με το διάγραμμα 5.35 για το κτίριο K1 παρατηρείται ότι οι καμπύλες αυτές κυμαίνονται ανάμεσα στους $87,32^{\circ}F$ και τους $77,17^{\circ}F$, που είναι η μέγιστη τιμή στην αρχή της μέρα και η ελάχιστη στις 16:32 αντίστοιχα. Η καμπύλη της K2.108 βρίσκεται ανάμεσα στα όρια της πρώτης κατηγορίας, δηλαδή ανάμεσα στα όρια των $80^{\circ}F$ και $90^{\circ}F$, τα χρονικά διαστήματα από την αρχή της μέρας μέχρι τις 11:10, από τις 12:40 μέχρι τις 13:20 και από τις 14:40 μέχρι το τέλος της μέρας, με μέσες τιμές

θερμοκρασίας τους $84,59^{\circ}F$, $80,17^{\circ}F$ και $83,76^{\circ}F$ αντίστοιχα. Στα ενδιάμεσα χρονικά διαστήματα πέφτει κάτω από το όριο των $80^{\circ}F$. Ακόμα παρατηρείται ότι κυμαίνεται ανάμεσα στους $86,06^{\circ}F$ και $79,19^{\circ}F$, που είναι η μέγιστη τιμή που παίρνει κατά τις 20:30 και η ελάχιστη κατά τις 12:10 αντίστοιχα. Η καμπύλη της K2.114 κυμαίνεται και αυτή στα ίδια πλαίσια της πρώτης κατηγορίας του δείκτη και κάτω. Πιο συγκεκριμένα, μέχρι τις 1:30 και από τις 9:40 και μετά βρίσκεται ανάμεσα στα όρια των $80^{\circ}F$ και $90^{\circ}F$, με μέσες τιμές θερμοκρασίας τους $80,24^{\circ}F$ και $81,29^{\circ}F$ αντίστοιχα, ενώ το χρονικό διάστημα από τις 1:40 μέχρι τις 9:30 και τη χρονική στιγμή 23:40 βρίσκεται κάτω από το όριο των $80^{\circ}F$. Επιπλέον, από το διάγραμμα 5.36 για το κτίριο K2 φαίνεται ότι η καμπύλη αυτή κυμαίνεται σε ένα πολύ μικρό εύρος τιμών, αφού φτάνει μέχρι τους $82,16^{\circ}F$ στις 17:30 και πέφτει μέχρι τους $79,87^{\circ}F$ στις 9:20.



Διάγραμμα 5.23: Διάγραμμα δείκτη Heat Index για τις 25/08/20014 για το κτίριο K1

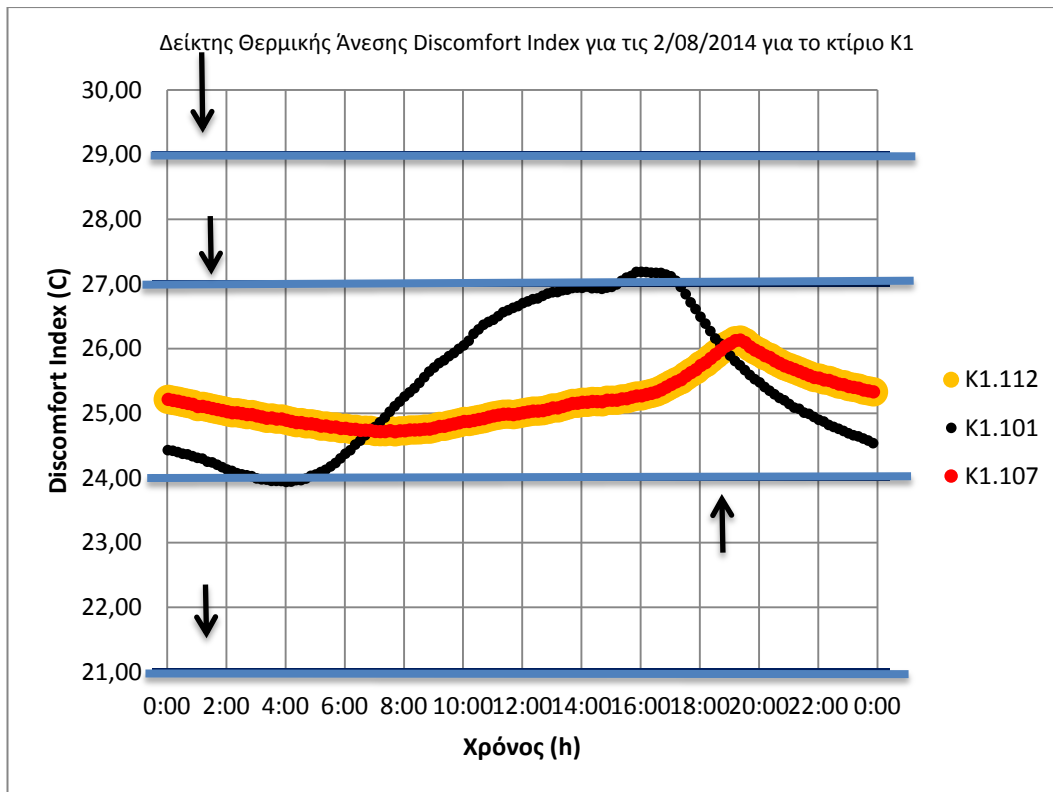


Διάγραμμα 5.24: Διάγραμμα δείκτη Heat Index για τις 25/08/2014 για το κτίριο K2

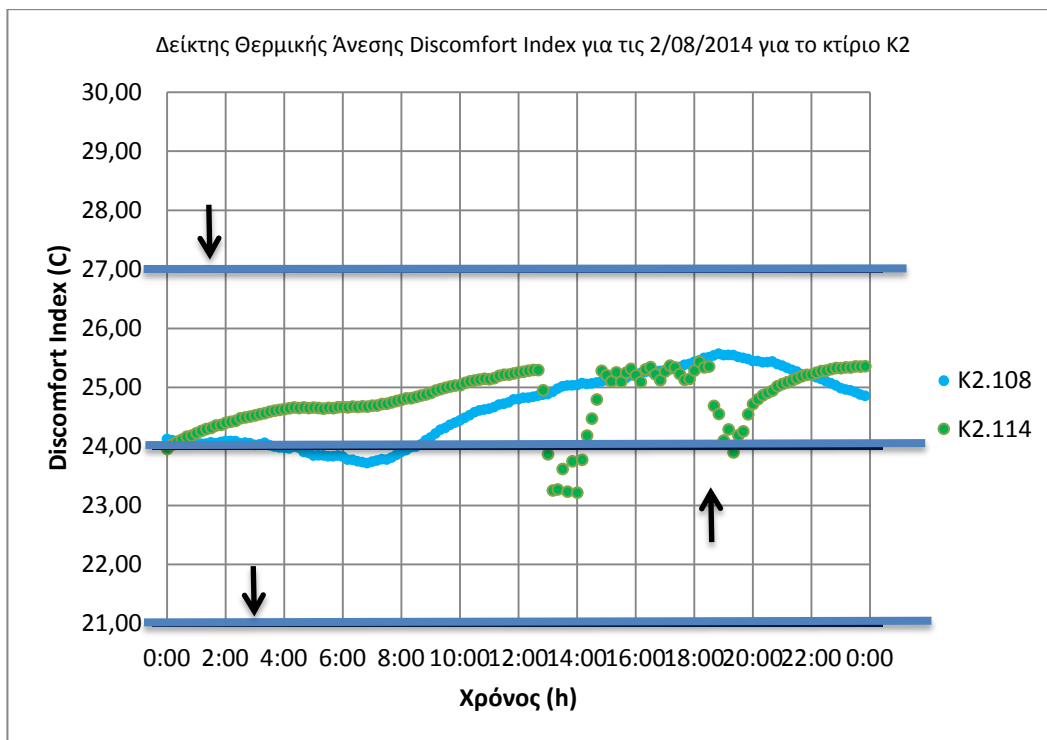
5.1.5 Δείκτης Θερμικής Άνεσης Discomfort Index

Στις γραφικές παραστάσεις (Διαγράμματα 5.25 και 5.26) του δείκτη Discomfort Index για τις 2/08/2014 διαπιστώνεται ότι οι καμπύλες αισθανόμενης θερμοκρασίας των αιθουσών K1.112 και K1.107 ταυτίζονται και βρίσκονται στο εύρος τιμών θερμοκρασίας μεταξύ των 24°C και 27°C, με μέση τιμή θερμοκρασίας τους 25,19°C. Το εύρος αυτό αντιστοιχεί στην τρίτη κατηγορία συνθηκών αυτού του δείκτη, όπου παραπάνω από το 50% του πληθυσμού νοιώθει δυσφορία. Η καμπύλη της αίθουσας K2.108 βρίσκεται και αυτή στην ίδια κατηγορία, με εξαίρεση το χρονικό διάστημα από 4:30 έως 8:20, στο οποίο η μέση τιμή θερμοκρασίας είναι 23,83°C, ενώ πριν και μετά από αυτό το χρονικό διάστημα έχει μέση τιμή θερμοκρασίας τους 24,04°C και 25,02°C αντίστοιχα. Στο διάστημα αυτό οι τιμές της αισθανόμενης θερμοκρασίας πέφτουν κάτω από 24°C και αντιστοιχούν στη δεύτερη κατηγορία συνθηκών, όπου

λιγότερο από το 50% του πληθυσμού νοιώθει δυσφορία. Όσο αναφορά την καμπύλη της αίθουσας K2.114 βρίσκεται και αυτή μέσα στα όρια της τρίτης κατηγορίας, εκτός από το χρονικό διάστημα 13:00 με 14:10, μέση τιμή θερμοκρασίας τους 23,83°C και μια μεμονωμένη φορά στις 19:20, όπου οι τιμές της αισθανόμενης θερμοκρασίας είναι μικρότερες των 24°C και αντιστοιχούν στη δεύτερη κατηγορία. Οι μέσες τιμές θερμοκρασίας πριν και μετά το χρονικό διάστημα 13:00 με 14:10 είναι στους 24,71°C και 25,02°C αντίστοιχα. Η καμπύλη της αίθουσας K1.101 είναι και αυτή μέσα στα όρια της τρίτης κατηγορίας, με εξαιρέσεις τα χρονικά διαστήματα 3:00 έως 4:40, όπου περνάει στη δεύτερη κατηγορία συνθηκών, με μέση τιμή θερμοκρασίας τους 23,97°C, και από 15:00 έως 17:20, όπου η αισθανόμενη θερμοκρασία παίρνει τιμές μεγαλύτερες από 27 °C και ανήκει στην τέταρτη κατηγορία συνθηκών του δείκτη αυτού, με μέση τιμή θερμοκρασίας τους 27,10°C. Στην κατηγορία αυτή το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού υποφέρει από δυσφορία. Τα χρονικά διαστήματα πριν, ενδιάμεσα και μετά από τα αναφερθέντα χρονικά διαστήματα η μέση τιμή θερμοκρασίας είναι 24,22°C, 25,69°C και 25,44°C αντίστοιχα.



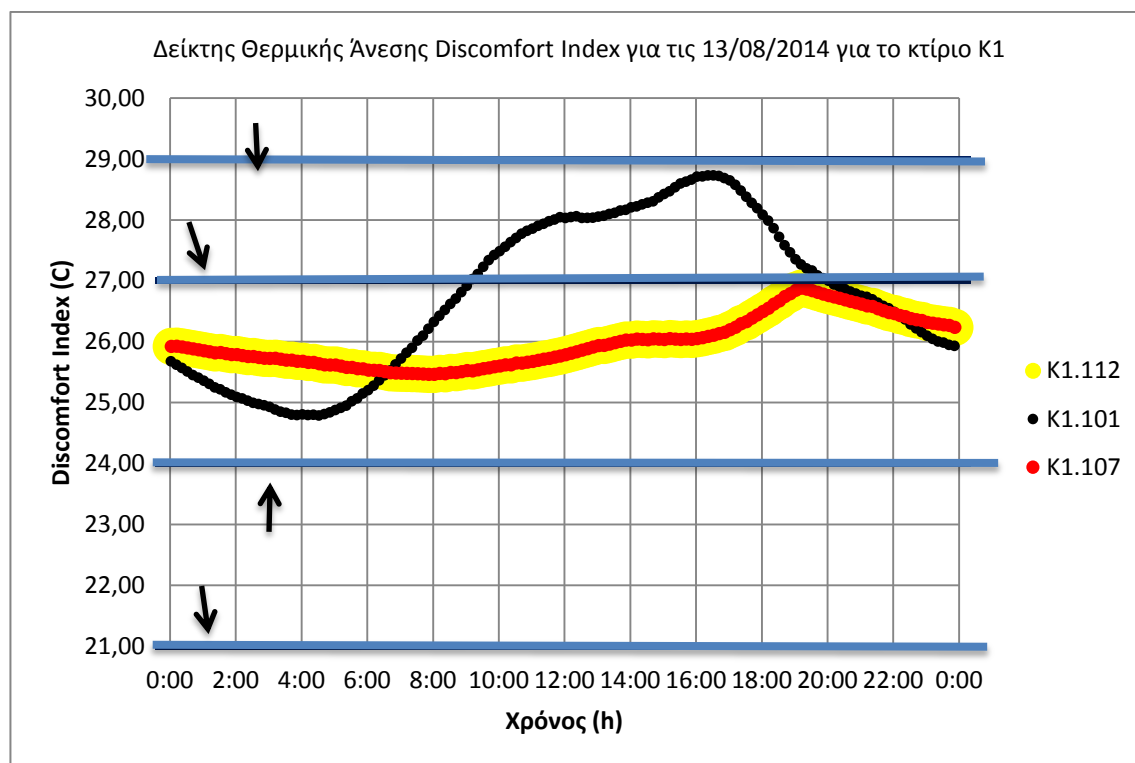
Διάγραμμα 5.25: Διάγραμμα δείκτη Discomfort Index για τις 2/08/20014 για το κτίριο K1



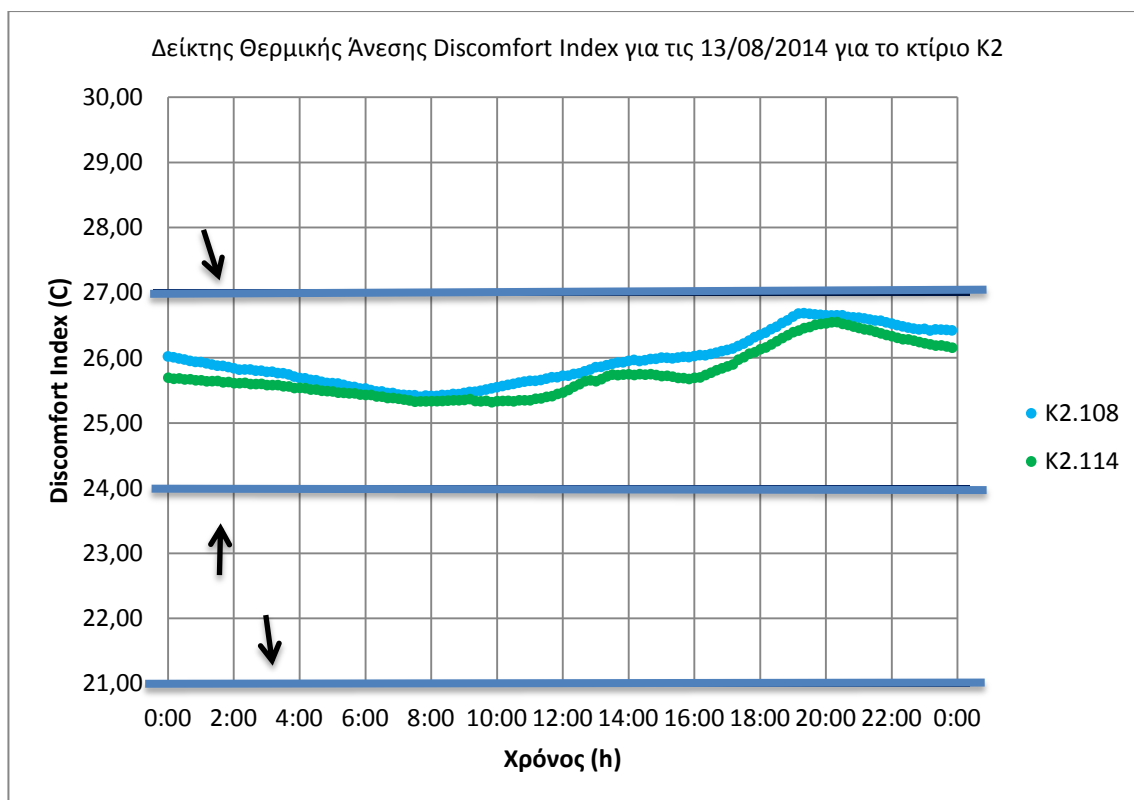
Διάγραμμα 5.26: Διάγραμμα δείκτη Discomfort Index για τις 2/08/20014 για το κτίριο K2

Οι γραφικές παραστάσεις (Διαγράμματα 5.27 και 5.28) του δείκτη Discomfort Index στις 13/08/2014 δείχνει ότι όλες οι καμπύλες των αιθουσών είναι πάνω από το όριο θερμοκρασίας των 24°C, με αποτέλεσμα να μη βρίσκεται καμία στις δύο πρώτες κατηγορίες του δείκτη αυτού και, εκτός από την καμπύλη της K1.101, δεν περνάνε πάνω από το όριο των 27°C. Συνεπώς, βρίσκονται στην τρίτη κατηγορία του δείκτη αυτού, όπου πλέον του 50% του πληθυσμού νοιώθει δυσφορία. Επιπρόσθετα, παρατηρείται ότι οι καμπύλες των αιθουσών K1.112, K1.107, K2.108 και K2.114 ακολουθούν παρόμοια πορεία και σε πολλά σημεία, ειδικά ανάμεσα στις τρεις πρώτες έχουμε ταύτιση τιμών, ενώ η καμπύλη της K1.101 διαφοροποιείται. Αναλυτικότερα, οι καμπύλες των K1.112 και K1.107, που για άλλη μια φορά ταυτίζονται, ξεκινάνε από τους 25,92°C και μειώνονται μέχρι τους 25,46°C στις 8:02, όπου και αρχίζουν να αυξάνονται πάλι, φτάνοντας μέχρι τους 26,88°C στις 19:12, για να ξαναμειωθούν και να καταλήξουν στους 26,24°C στο τέλος της μέρας. Η μέση τιμή θερμοκρασίας τους είναι 25,19°C. Οι καμπύλες των K2.108 και K2.114 αρχίζουν από τους 26,02°C και 25,68°C και μειώνονται σταδιακά μέχρι να φτάσουν τους 25,40°C στις 7:40 και τους 25,32°C στις 9:50 αντίστοιχα, για να αυξηθούν έπειτα μέχρι τους 26,69°C στις 19:20 και τους 26,55°C στις 20:20 και να ελαττωθούν ξανά μέχρι τους 26,42°C και τους 26,16°C, αντίστοιχα στο τέλος της μέρας, ενώ η αντίστοιχη μέση τιμή θερμοκρασίας τους 25,96°C και τους 25,76°C. Η καμπύλη της αίθουσας K1.101 αρχίζει από τους 25,68°C και μειώνεται σταδιακά μέχρι τις 4:30 όπου και φτάνει τους 24,79°C. Από εκεί και πέρα αυξάνεται σταδιακά και φτάνει μέχρι τους 28,73°C στις 16:31, όπου και αρχίζει να μειώνεται ξανά μέχρι τους 25,93°C στο τέλος της μέρας. Στο χρονικό διάστημα από τις 9:00 μέχρι και τις 20:10 οι τιμές της καμπύλης είναι μεγαλύτερες των 27°C, με μέση τιμή θερμοκρασίας τους 27,99°C, που είναι το όριο και, έτσι, στο διάστημα αυτό η καμπύλη βρίσκεται στην τέταρτη κατηγορία συνθηκών του δείκτη

αυτού, κατηγορία στην οποία ο περισσότερος πληθυσμός υποφέρει από δυσφορία.
Πριν και μετά το χρονικό διάστημα έχει μέσες τιμές θερμοκρασίας τους 25,4°C και 26,5°C αντίστοιχα.



Διάγραμμα 5.27: Διάγραμμα δείκτη Discomfort Index για τις 13/08/20014 για το κτίριο K1

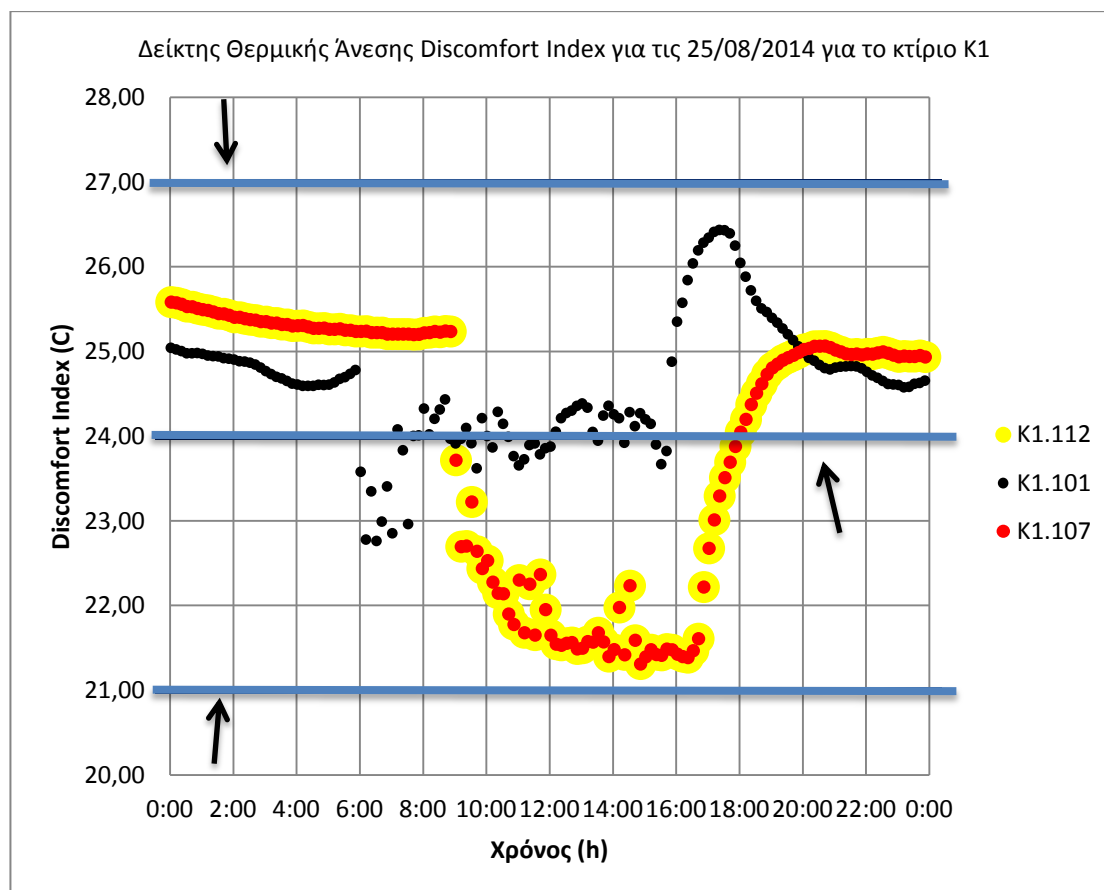


Διάγραμμα 5.28: Διάγραμμα δείκτη Dscomfort Index για τις 13/08/20014 για το κτίριο K2

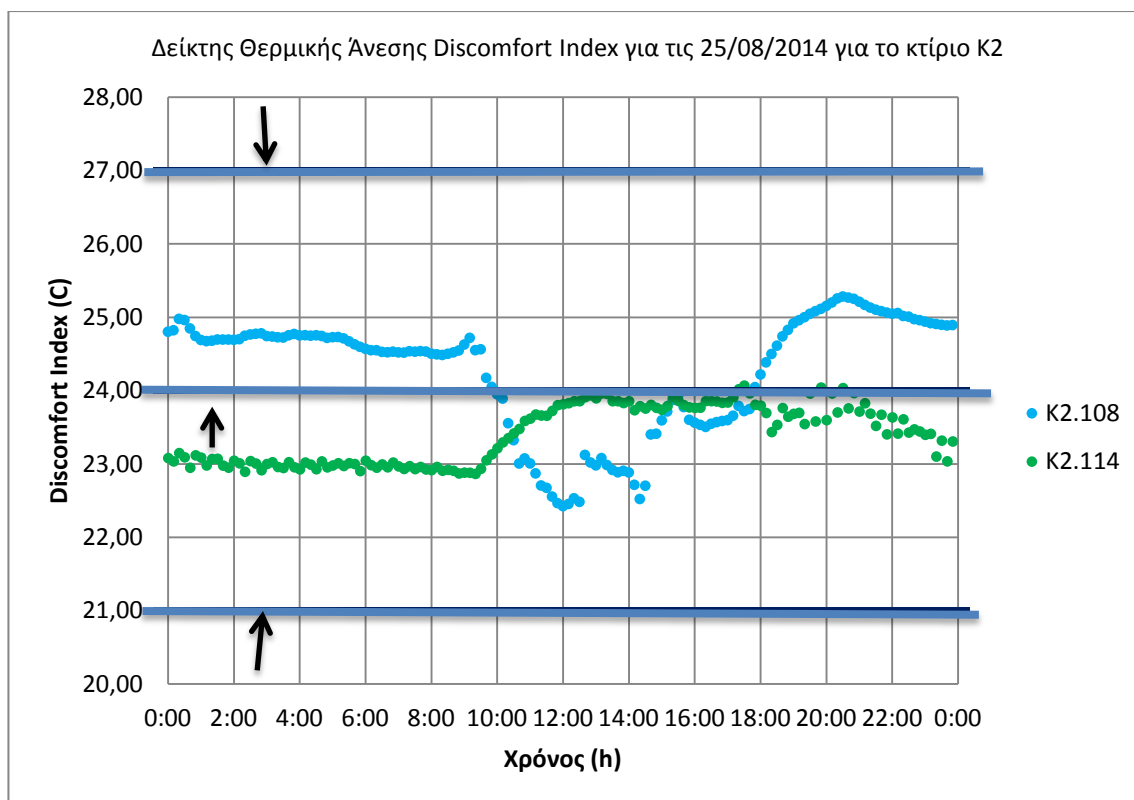
Από τα διαγράμματα 5.29 και 5.30 του δείκτη Discomfort Index για τις 25/08/2014 παρατηρείται ότι οι καμπύλες αισθανόμενης θερμοκρασίας των αιθουσών κυμαίνονται ανάμεσα στα όρια των 21°C και των 27°C, δηλαδή ανάμεσα στη δεύτερη και στην τρίτη κατηγορία συνθηκών του δείκτη αυτού, στις οποίες οι συνθήκες που επικρατούν προκαλούν δυσφορία κάτω από το 50% και πάνω από το 50% του πληθυσμού αντίστοιχα. Πιο συγκεκριμένα, οι καμπύλες των αιθουσών K1.112 και K1.107 βρίσκονται ανάμεσα στα όρια των 24°C και 27°C από την αρχή της μέρας μέχρι τις 8:50 και από τις 18:00 μέχρι το τέλος της μέρας, που αντιστοιχούν στην τρίτη κατηγορία του δείκτη αυτού, με μέση τιμή θερμοκρασίας τους 25,35°C και 24,88°C αντίστοιχα. Το ενδιάμεσο χρονικό διάστημα βρίσκεται ανάμεσα στα όρια της δεύτερης κατηγορίας, δηλαδή ανάμεσα στα όρια των 21°C και των 24°C, με μέση τιμή θερμοκρασίας τους 22,12°C. Παρατηρείται, ακόμα, ότι οι καμπύλες αυτές κυμαίνονται σε ένα σχετικά μικρό εύρος τιμών, δηλαδή από τους 25,58°C, με τους οποίους

ξεκινάει η μέρα, έως τους $21,31^{\circ}\text{C}$ που τους φτάνουν στις 14:52. Η καμπύλη της αισθανόμενης θερμοκρασίας της αίθουσας K1.101 κυμαίνεται και αυτή στην δεύτερη και στην τρίτη κατηγορία συνθηκών του δείκτη Discomfort Index. Αναλυτικότερα, φαίνεται ξεκάθαρα ότι από την αρχή της μέρας και μέχρι τις 5:51, αλλά και από τις 15:51 και μέχρι το τέλος της βρίσκεται ανάμεσα στα όρια των 24°C και 27°C , δηλαδή στην τρίτη κατηγορία συνθηκών, με μέση τιμή θερμοκρασίας τους $24,80^{\circ}\text{C}$ και $25,26^{\circ}\text{C}$ αντίστοιχα. Αντίθετα, το χρονικό διάστημα από τις 6:00 μέχρι και τις 7:00 βρίσκεται ανάμεσα στα όρια της δεύτερης κατηγορίας συνθηκών του δείκτη, δηλαδή ανάμεσα στους 21°C και στους 24°C . Υπάρχει όμως και το χρονικό διάστημα από τις 7:10 μέχρι τις 15:40 όπου δεν είναι ξεκάθαρο σε ποια από τις δύο κατηγορίες εντάσσεται, καθώς οι τιμές που παίρνει αυξομειώνονται πάνω στο όριο των 24°C , με μέση τιμή θερμοκρασίας τους $23,96^{\circ}\text{C}$. Επίσης, και αυτή η καμπύλη κυμαίνεται σε σχετικά μικρό εύρος τιμών με μέγιστη τιμή τους $26,43^{\circ}\text{C}$ στις 17:20 με 17:30 και με ελάχιστη $22,76^{\circ}\text{C}$ στις 6:30. Η καμπύλη της αίθουσας K2.114 βρίσκεται όλη ανάμεσα στα όρια των 21°C και 24°C , με μέση τιμή θερμοκρασίας τους $23,47^{\circ}\text{C}$, εκτός του χρονικού διαστήματος 17:20 με 17:40 που αποκτάει τιμές μεγαλύτερες των 24°C και βρίσκεται στην τρίτη κατηγορία συνθηκών, με μέση τιμή θερμοκρασίας τους $24,02^{\circ}\text{C}$, αλλά και των συγκεκριμένων χρονικών στιγμών 19:30, 19:50, 20:10, 20:30 και 20:50 όπου οι τιμές βρίσκονται στο όριο των 24°C . Η καμπύλη αυτή φτάνει μέγιστη τιμή μέχρι τους $24,07^{\circ}\text{C}$ στις 17:30 και ελάχιστη τους $22,86^{\circ}\text{C}$ στις 9:20. Η καμπύλη της K2.108 βρίσκεται ανάμεσα στα όρια των 21°C και των 24°C της δεύτερης κατηγορίας συνθηκών, όπου λιγότερο από το 50% του πληθυσμού νοιώθει δυσφορία από τις 9:40 μέχρι τις 17:50, με μέση τιμή θερμοκρασίας τους $23,26^{\circ}\text{C}$, ενώ πριν και μετά βρίσκεται ανάμεσα στα όρια των 24°C και 27°C της τρίτης κατηγορίας, όπου παραπάνω από το 50% του πληθυσμού νοιώθει δυσφορία, με μέσες τιμές

θερμοκρασίας τους 24,66°C και τους 24,95°C αντίστοιχα . Όπως και οι καμπύλες των άλλων αιθουσών κυμαίνονται σε μικρό εύρος τιμών αισθανόμενης θερμοκρασίας έτσι και αυτή παίρνει ελάχιστη τιμή τους 22,42°C στις 12:00 και φτάνει τη μέγιστη τιμή της, στους 25,27°C, στις 20:40.



Διάγραμμα 5.29: Διάγραμμα δείκτη Discomfort Index για τις 25/08/20014 για το κτίριο K1

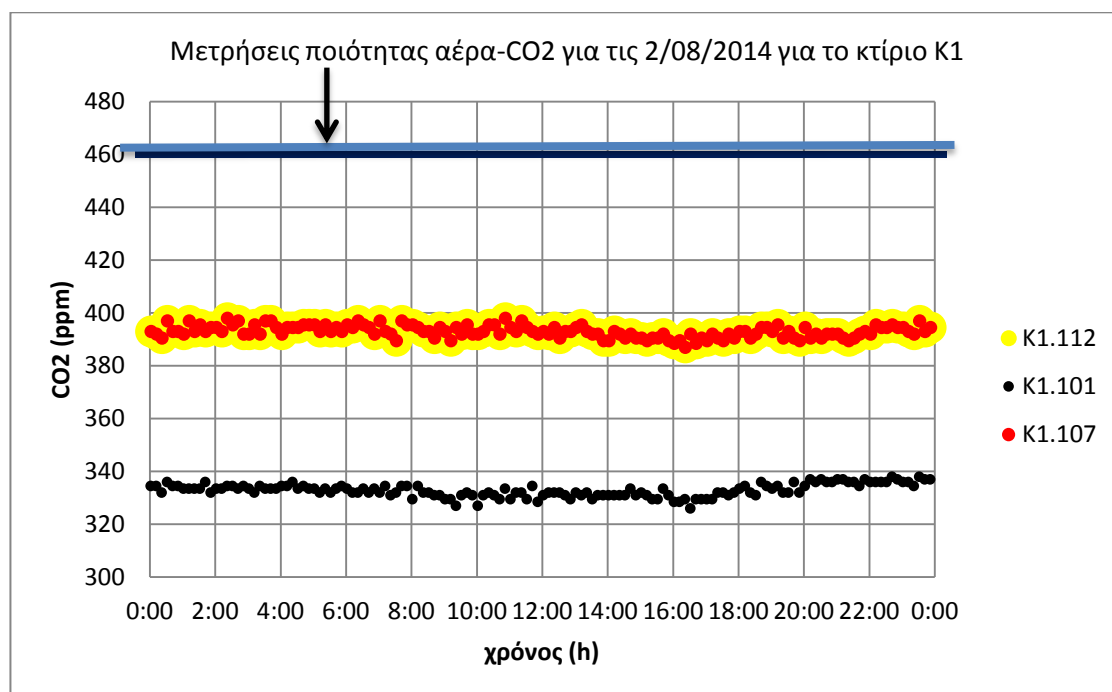


Διάγραμμα 5.30: Διάγραμμα δείκτη Discomfort Index για τις 25/08/2014 για το κτίριο K2

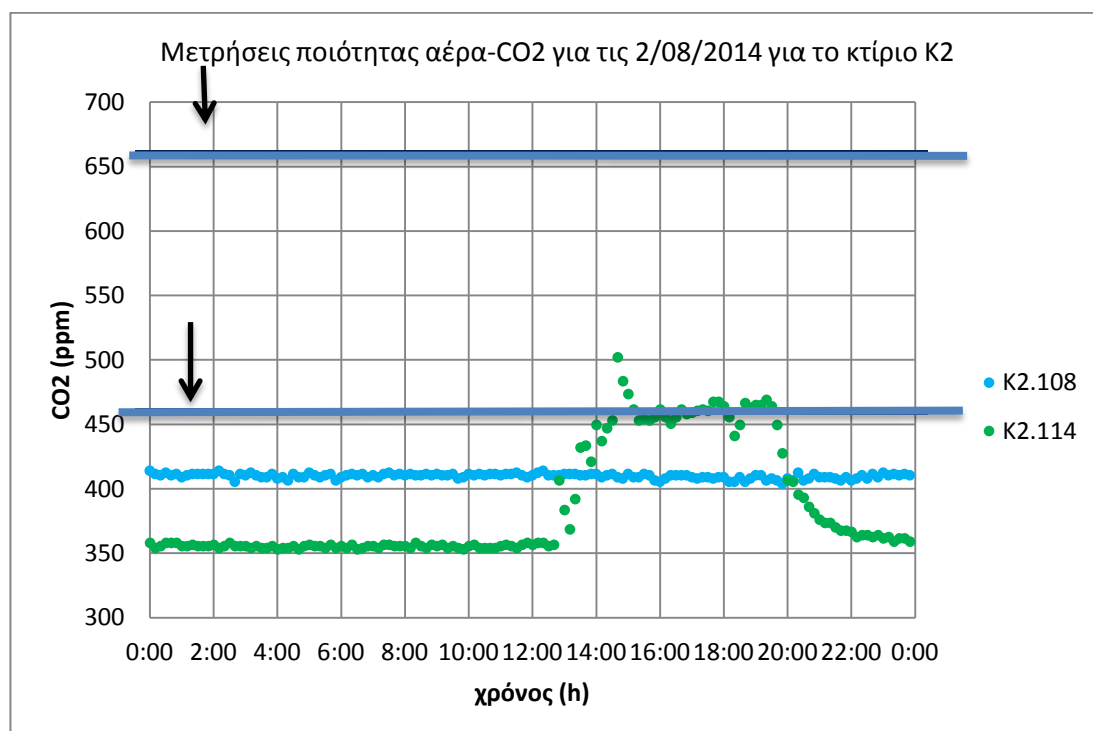
5.2 Μετρήσεις Ποιότητας Αέρα- CO₂

Από το διάγραμμα 5.31 και 5.32 του CO₂ για τις 2/08/2014 γίνεται αντιληπτό ότι οι καμπύλες όλων των αιθουσών εκτός της K2.114 ακολουθούν παρόμοια πορεία και βρίσκονται κάτω από το όριο των 460ppm. Ειδικότερα, διαπιστώνεται ότι οι καμπύλες αυτές παραμένουν σχεδόν σταθερές, με την K1.101 στα 334,5ppm, τις K1.107 και K1.112 στα 394,5ppm, όπου για άλλον ένα δείκτη παρατηρείται ταύτιση των τιμών τους, και την K2.108 στα 411,5ppm. Η καμπύλη της αίθουσας K2.114 παραμένει σχεδόν σταθερή μέχρι της 12:40 στα 356ppm περίπου, ενώ στη συνέχεια αρχίζει να αυξάνεται και από τις 19:30 αρχίζει να μειώνεται, μέχρι να καταλήξει στα 359ppm στο τέλος της μέρας. Το χρονικό διάστημα από 14:30 μέχρι 19:30 η καμπύλη ξεπερνάει ή βρίσκεται πάνω στο όριο των 460ppm αλλά δεν υπερβαίνει ποτέ το όριο των 660ppm, αφού η μέγιστη τιμή που λαμβάνει είναι τα 502ppm στις 14:40. Οι χαμηλές τιμές συγκέντρωσης CO₂ πιθανόν να οφείλονται στο γεγονός ότι οι αίθουσες μπορεί

να ήταν κλειστές και δεν θα χρησιμοποιούνταν κατά τη διάρκεια λήψης των μετρήσεων.

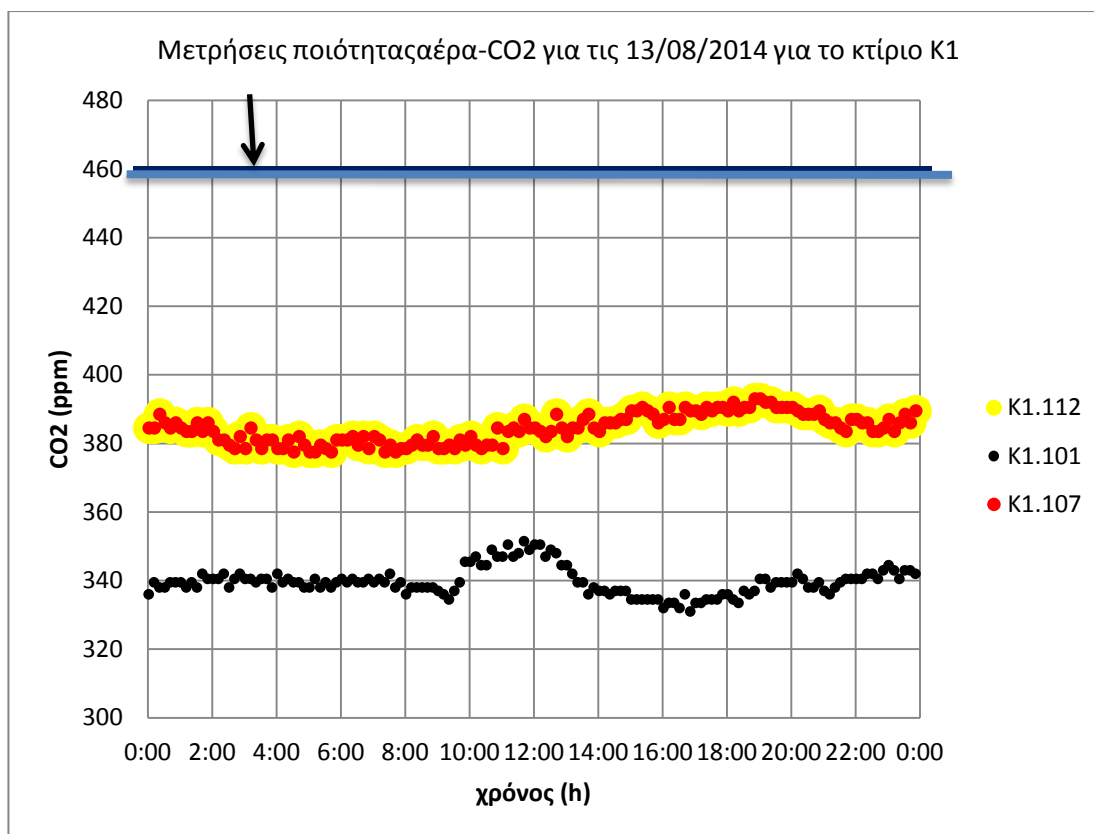


Διάγραμμα 5.31: Διάγραμμα CO₂ για τις 2/08/20014 για το κτίριο K1

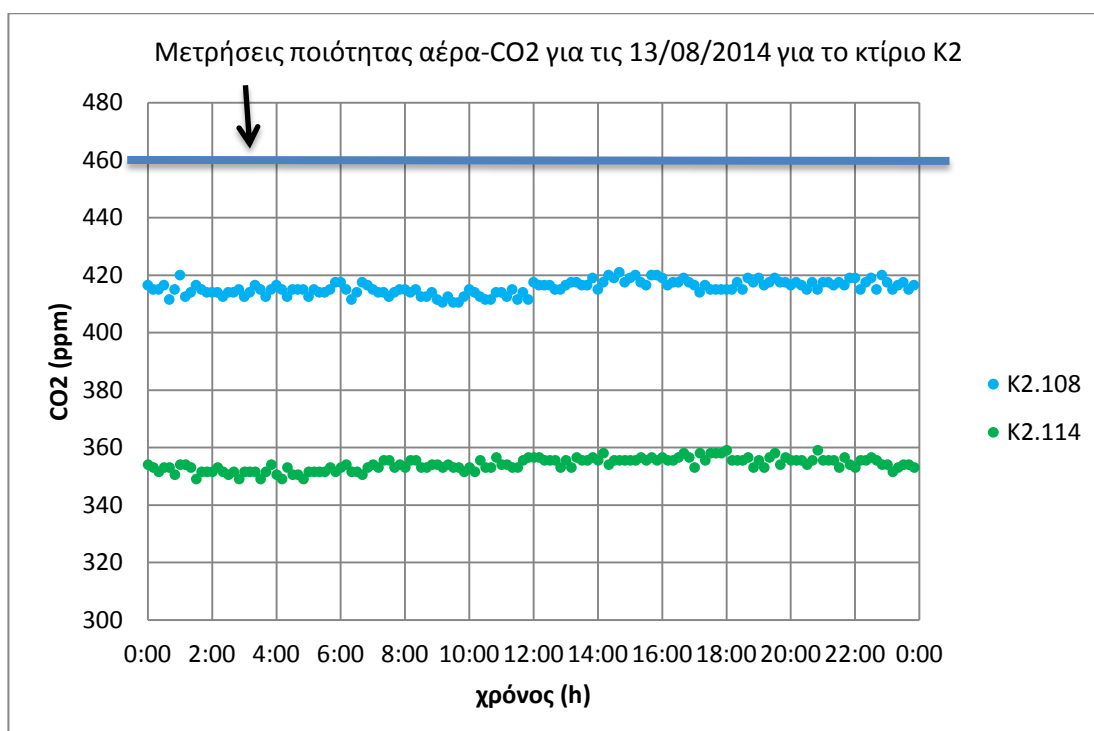


Διάγραμμα 5.32: Διάγραμμα CO₂ για τις 2/08/20014 για το κτίριο K2

Από το διάγραμμα 5.33 και 5.34 του CO₂ για τις 13/08/2014 παρατηρείται ότι οι καμπύλες όλων των αιθουσών βρίσκονται κάτω από το όριο των 460ppm. Αξίζει να σημειωθεί ότι όλες τους ακολουθούν παρόμοια πορεία, εκτός της καμπύλης της αίθουσας K1.101. Αναλυτικότερα, διαπιστώνεται ότι έχουν μια σχετική αυξητική κλίση και, πιο συγκεκριμένα, οι καμπύλες των αιθουσών K1.112 και K1.107, οι οποίες για ακόμα μία φορά ταυτίζονται, αρχίζουν στα 378ppm περίπου και στο τέλος της μέρας έχουν φτάσει μέχρι σχεδόν τα 393ppm. Η καμπύλη της αίθουσας K2.114 έχει πολύ μικρή κλίση και από τα 351ppm που έχει στην αρχή της μέρας φτάνει μέχρι τα 353ppm στο τέλος της αν, και όπως φαίνεται και από το διάγραμμα 5.26, υπάρχουν χρονικές στιγμές που φτάνει μέχρι και τα 359ppm. Η καμπύλη της K2.108, η οποία λαμβάνει και τις υψηλότερες τιμές από όλες τις άλλες, κυμαίνεται ανάμεσα στα 410ppm και στα 421ppm. Η καμπύλη της K1.101 κυμαίνεται γύρα στα 340ppm, εκτός από το χρονικό διάστημα από 9:40 μέχρι 13:20 που αυξάνεται στα 351,5ppm. Και στην περίπτωση αυτή, οι χαμηλές τιμές συγκέντρωσης CO₂ πιθανολογείται ότι οφείλονται στο ότι οι αίθουσες μπορεί να μη χρησιμοποιούνταν, επομένως ήταν κλειστές, κατά τη διάρκεια λήψης των μετρήσεων.



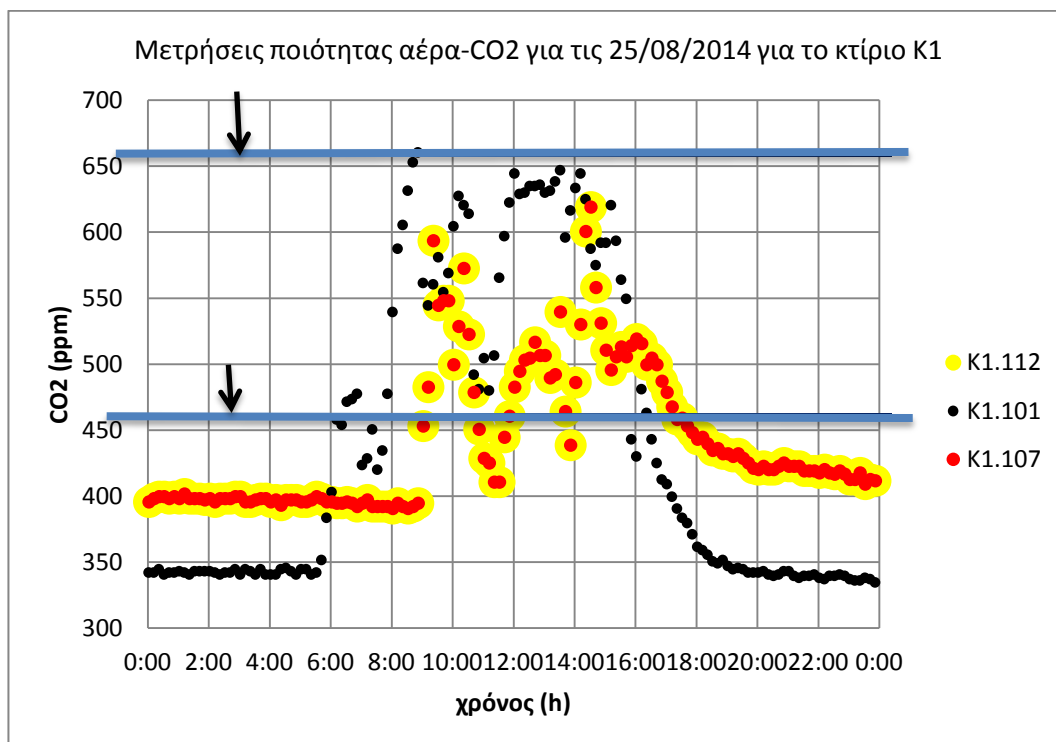
Διάγραμμα 5.33: Διάγραμμα CO2 για τις 13/08/20014 για το κτίριο K1



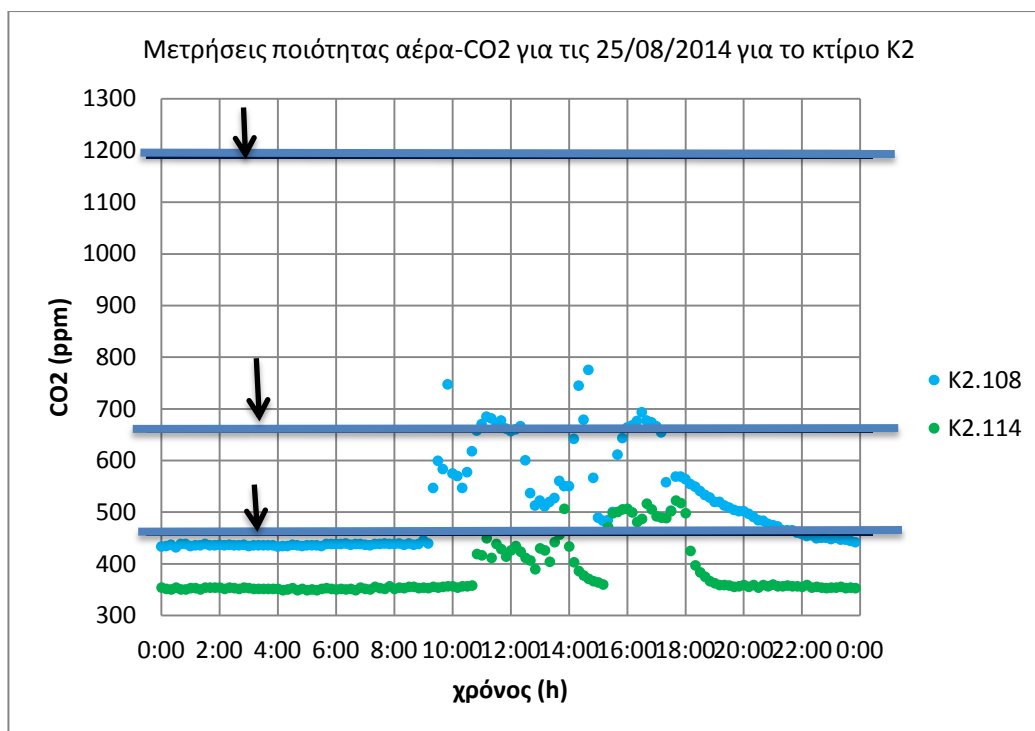
Διάγραμμα 5.34: Διάγραμμα CO2 για τις 13/08/20014 για το κτίριο K2

Από τα διαγράμματα 5.35 και 5.36 του CO₂ για τις 25/08/2014 παρατηρείται ότι η διακύμανση των καμπυλών των αιθουσών K1.101, K1.112, K1.107, K2.114 φτάνει μέχρι το όριο των 660ppm, ενώ η καμπύλη της K2.108 κυμαίνεται και ανάμεσα στα όρια των 660ppm και 1190ppm. Ειδικότερα, η καμπύλη της K1.101 το χρονικό διάστημα από 6:20 μέχρι 16:20 βρίσκεται ανάμεσα στα όρια των 460ppm και 660ppm, εκτός από τις 8:51 που φτάνει τα 660,5ppm, που είναι και η μέγιστη τιμή που παίρνει. Την υπόλοιπη διάρκεια της μέρας βρίσκεται κάτω από το όριο των 460ppm και ελαττώνεται μέχρι και τα 334,5ppm στο τέλος της μέρας. Οι καμπύλες των K1.107 και K1.112 βρίσκονται ανάμεσα στα όρια των 460ppm και 660ppm τα χρονικά διαστήματα από 9:02 μέχρι 10:52 και από 11:42 μέχρι 17:32, εκτός της χρονικής στιγμής 13:52 όπου πέφτουν στιγμιαία κάτω από τα 460ppm. Την υπόλοιπη διάρκεια της μέρας βρίσκονται και πάλι κάτω από το όριο των 460ppm. Οι καμπύλες κυμαίνονται και αυτές σε ένα μεγάλο εύρος τιμών CO₂ και, πιο συγκεκριμένα, ανάμεσα στα 390,5ppm και στα 619ppm, τα οποία φτάνουν στις 8:02 και στις 14:32 αντίστοιχα. Όσον αφορά τις αίθουσες του κτιρίου K2 παρατηρείται ότι η καμπύλη της K2.108 κυμαίνεται σε υψηλότερα επίπεδα από ότι οι άλλες, ενώ η K2.114 σε χαμηλότερα. Ειδικότερα, η καμπύλη της K2.108 βρίσκεται πάνω από το όριο των 460ppm το χρονικό διάστημα από 9:20 μέχρι 22:00 και τη χρονική στιγμή 9:50 ενώ τα χρονικά διαστήματα 10:50 με 12:20, 14:20 με 14:40 και 16:00 με 17:00 βρίσκονται ανάμεσα στα όρια των 660ppm και 1190ppm. Η καμπύλη αυτή κυμαίνεται ανάμεσα σε μέγιστη τιμή τα 775,5ppm, που τα φτάνει στις 14:40 και σε ελάχιστη τα 432ppm στις 0:30. Η καμπύλη της K2.114 βρίσκεται ανάμεσα στα όρια των 460ppm και 660ppm τη χρονική στιγμή 13:50 και το χρονικό διάστημα από τις 15:20 μέχρι τις 18:00, ενώ την υπόλοιπη διάρκεια της μέρας βρίσκεται κάτω από το όριο των 460ppm. Η καμπύλη αυτή κυμαίνεται από τα 522,5ppm που τα φτάνει στις 17:40

μέχρι τα 349ppm στα οποία πέφτει στις 6:40. Η μεγάλη αυξομείωση στις τιμές των συγκεντρώσεων CO₂ που παρατηρείται τη μέρα αυτή, σε σχέση με τις τιμές των συγκεντρώσεων των προηγούμενων ημερών που εξετάστηκαν, θα οφείλεται στο γεγονός ότι αίθουσες χρησιμοποιούνταν κατά τη διάρκεια λήψης των μετρήσεων, σε αντίθεση με τις άλλες μέρες όπου το Πολυτεχνείο Κρήτης υπολειπουργούσε, λόγω καλοκαιριού.



Διάγραμμα 5.35: Διάγραμμα CO₂ για τις 25/08/2014 για το κτίριο K1

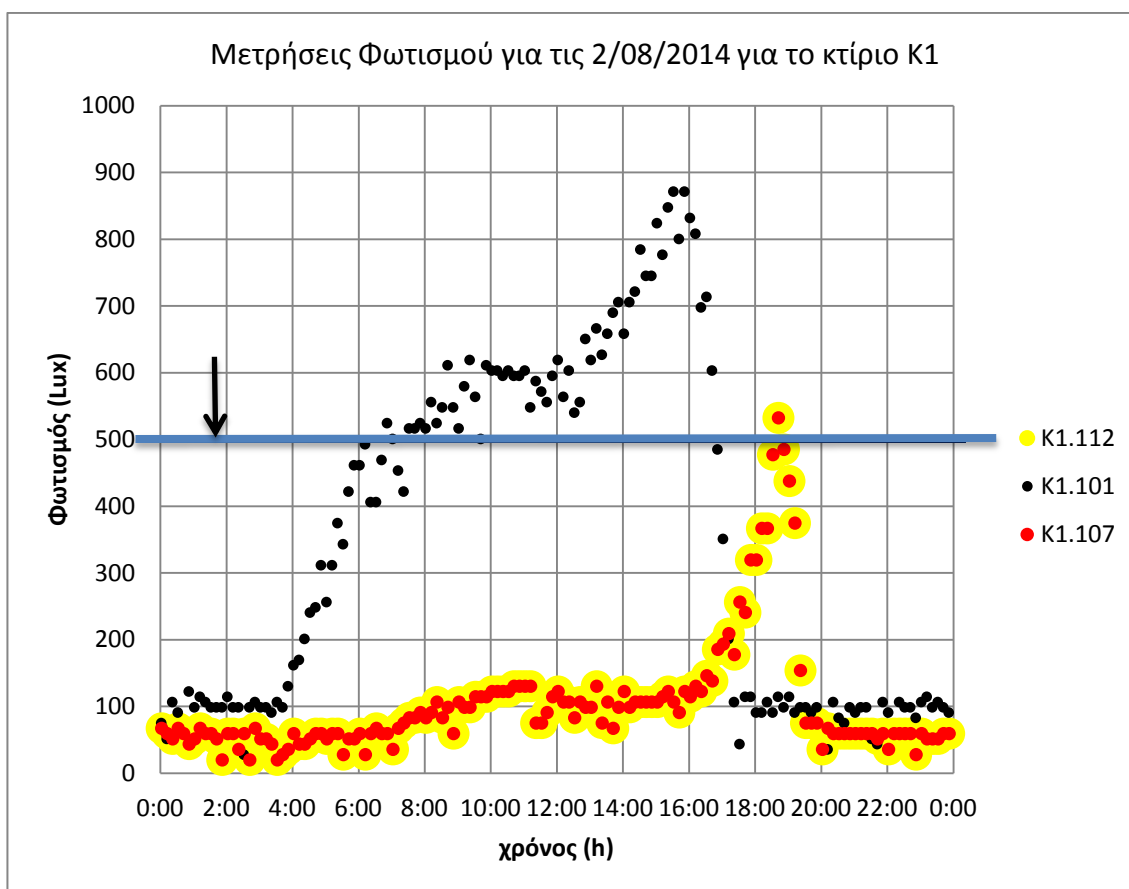


Διάγραμμα 5.36: Διάγραμμα CO2 για τις 25/08/20014 για το κτίριο K2

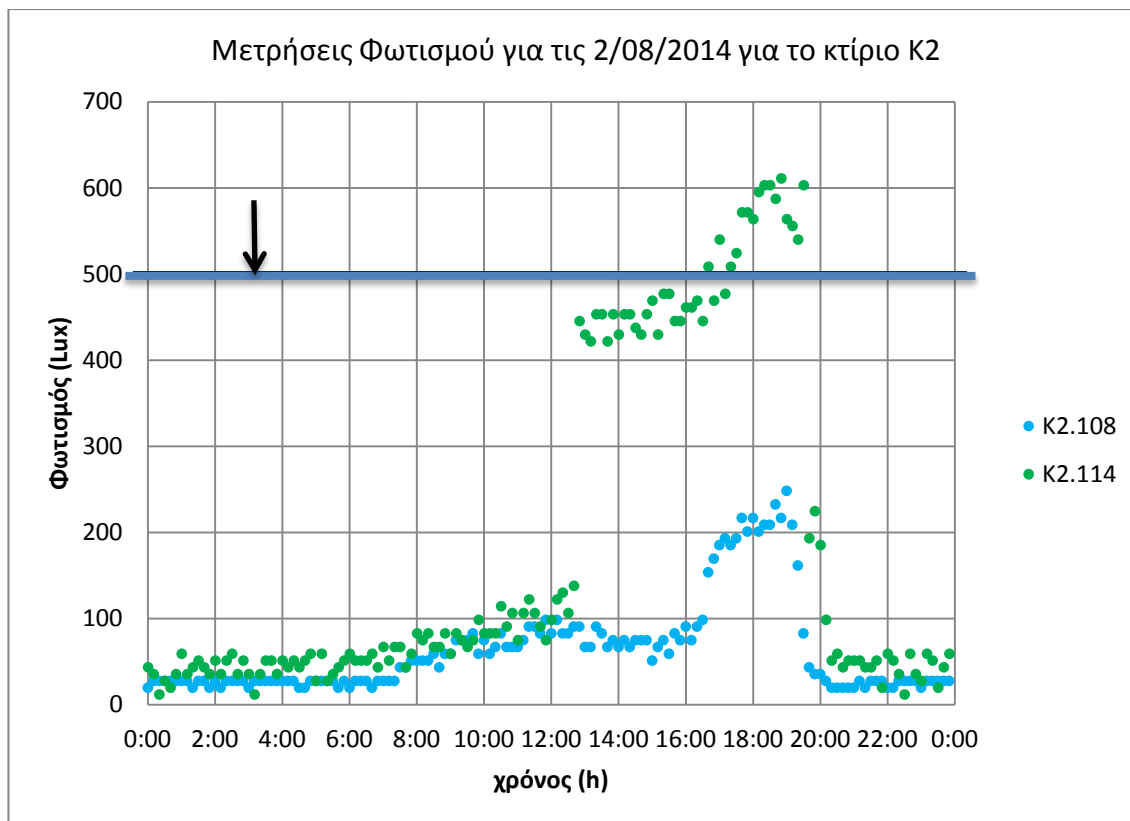
5.3 Μετρήσεις Οπτικής Άνεσης- Φωτισμού

Στο διάγραμμα 5.37 και 5.38 του Φωτισμού για τις 2/08/2014 επισημαίνεται ότι μόνο η καμπύλη της αίθουσας K2.108 δεν ξεπερνά ποτέ το όριο των 500Lux. Αναλυτικότερα, η καμπύλη της K2.108 φτάνει μόνο μέχρι τα 248,3Lux στις 19:00, ενώ τα χρονικά διαστήματα 0:00-7:00 και από τις 20:00 και μετά παραμένει σχεδόν σταθερή στα 19,7Lux και 27,6Lux αντίστοιχα. Η καμπύλη της K2.114 ξεπερνάει το όριο των 500Lux το χρονικό διάστημα από 16:40 μέχρι 19:30, φτάνοντας μέχρι και τα 611Lux στις 18:50. Για τα διαστήματα 0:00-7:00 και από 20:00 και μετά η καμπύλη παραμένει σχεδόν σταθερή στα 35,5Lux και 44Lux αντίστοιχα, ενώ αξιοσημείωτη είναι η απότομη αύξηση από τα 138Lux στα 445,4Lux στις 12:50 και η απότομη μείωση από τα 540Lux στα 193,2Lux στις 19:40. Για ακόμα μία φορά παρατηρείται ότι οι τιμές των καμπυλών των αιθουσών K1.112 και K1.107 ταυτίζονται. Μέχρι τις 7:00 οι τιμές παραμένουν σχεδόν σταθερές στα 43,3Lux και από τις 20:00 και μετά στα 59,1Lux. Η μοναδική στιγμή που οι δύο αυτές καμπύλες υπερβαίνουν το όριο των

500Lux είναι στις 18:42 που φτάνουν μέχρι τα 532,2Lux. Η καμπύλη της αίθουσας K1.101 ακολουθεί μία εντελώς διαφορετική πορεία από τις άλλες. Ξεκινάει σχεδόν σταθερή στα 100Lux περίπου μέχρι της 3:40 και στη συνέχεια αυξάνεται σταδιακά φτάνοντας μέχρι και τα 871,2Lux στις 15:31 και στις 15:51. Στην πορεία ακολουθεί μία σταδιακή μείωση μέχρι τα 100Lux περίπου στις 17:20, όπου και παραμένει σχεδόν σταθερή μέχρι το τέλος της μέρας. Οι χαμηλές τιμές φωτισμού οφείλονται πιθανότατα στο γεγονός ότι την ημέρα αυτή το Πολυτεχνείο Κρήτης υπολειπορούσε λόγω καλοκαιριού και δεν θα λειτουργούσε ο τεχνητός φωτισμός, παρά μόνο ο φυσικός. Γι'αυτό άλλωστε και τα χρονικά διαστήματα μετά τις 18:00 οι τιμές είναι πολύ χαμηλές. Οι τιμές της αίθουσας K1.101 είναι πιο αυξημένες σε σχέση με των άλλων αιθουσών γιατί βρίσκεται κάτω από το θόλο με τζάμια του κτιρίου K1.



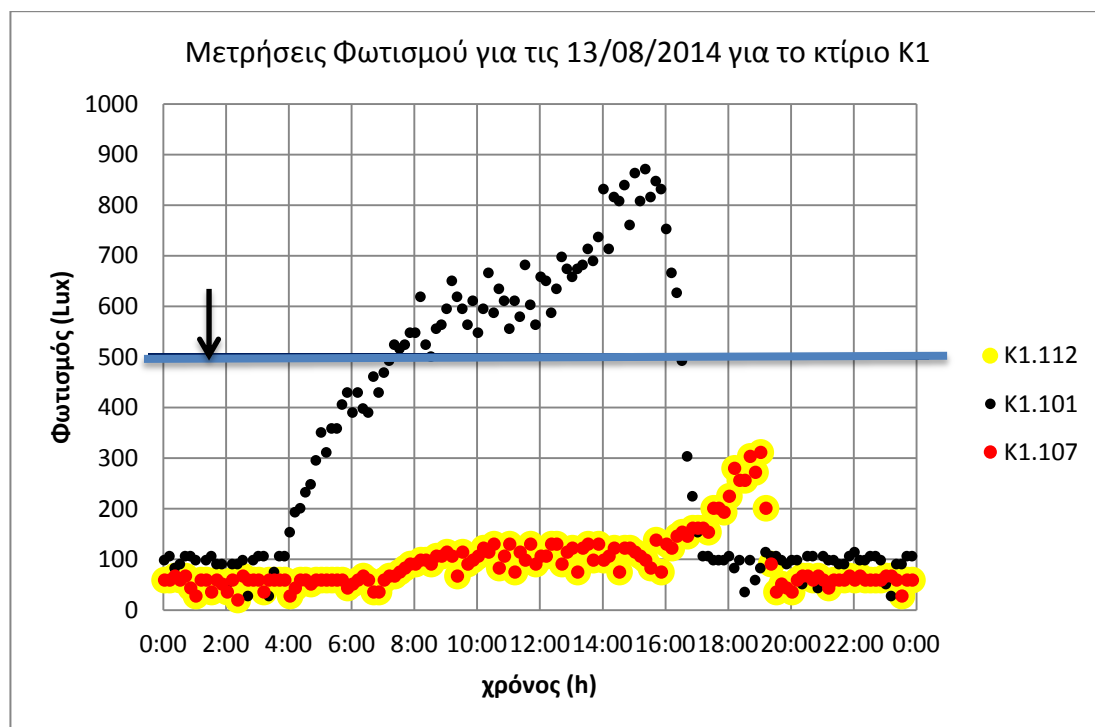
Διάγραμμα 5.37: Διάγραμμα φωτισμού για τις 2/08/20014 για το κτίριο K1



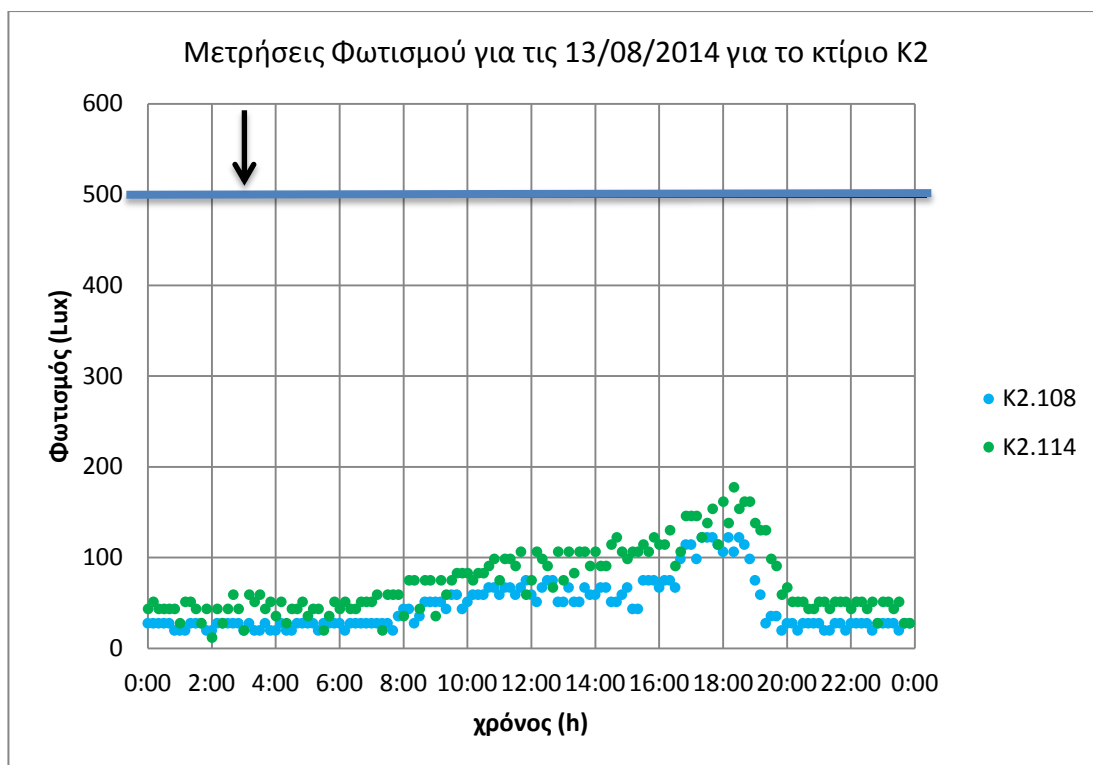
Διάγραμμα 5.38: Διάγραμμα Φωτισμού για τις 2/08/20014 για το κτίριο K2

Στο διάγραμμα 5.39 και 5.40 του φωτισμού για τις 13/08/2014 παρατηρείται ότι όλες οι καμπύλες, εκτός της K1.101, βρίσκονται κάτω από το όριο των 500Lux. Ειδικότερα, οι καμπύλες των K1.112, K1.107, K2.108 και K2.114 μέχρι τις 7:00 παραμένουν σχεδόν σταθερές στα 50Lux περίπου και από εκεί και πέρα αυξάνονται σταδιακά μέχρι τα 311,4Lux στις 19:00 για τις K1.112 και K1.107, τα 122,2Lux στις 17:40 για την K2.108 και τα 177,4 Lux στις 18:20 για την K2.114. Στη συνέχεια μειώνονται και από τις 20:00 και μέχρι το τέλος της μέρας παραμένουν σχεδόν σταθερές στα 50Lux και πάλι. Η πορεία της K1.101 είναι λίγο διαφορετική από ότι των άλλων καμπυλών. Ξεκινάει και παραμένει σχεδόν σταθερή στα 100Lux μέχρι τις 4:00 και από εκεί και μετά αυξάνεται φτάνοντας μέχρι και τα 871,2Lux στις 15:20. Ακολούθως, αρχίζει να μειώνεται μέχρι τις 17:11, όπου πέφτει ξανά στα 100Lux περίπου και παραμένει σχεδόν σταθερή μέχρι το τέλος της μέρας. Το χρονικό διάστημα από τις 5:40 μέχρι τις 16:30 οι τιμές της καμπύλης είναι μεγαλύτερες των

500Lux. Και για την ημέρα αυτή οι χαμηλές τιμές φωτισμού οφείλονται πιθανότατα στην υπολειτουργία του ιδρύματος, λόγω καλοκαιριού και επομένως οι αίθουσες φωτίζονταν κυρίως από το φυσικό φωτισμό, για αυτό και οι τιμές της αίθουσας K1.101 είναι πιο αυξημένες, σε σχέση με των άλλων αιθουσών, λόγω της θέσης της, όπως αναφέρθηκε, στο κτίριο K1.



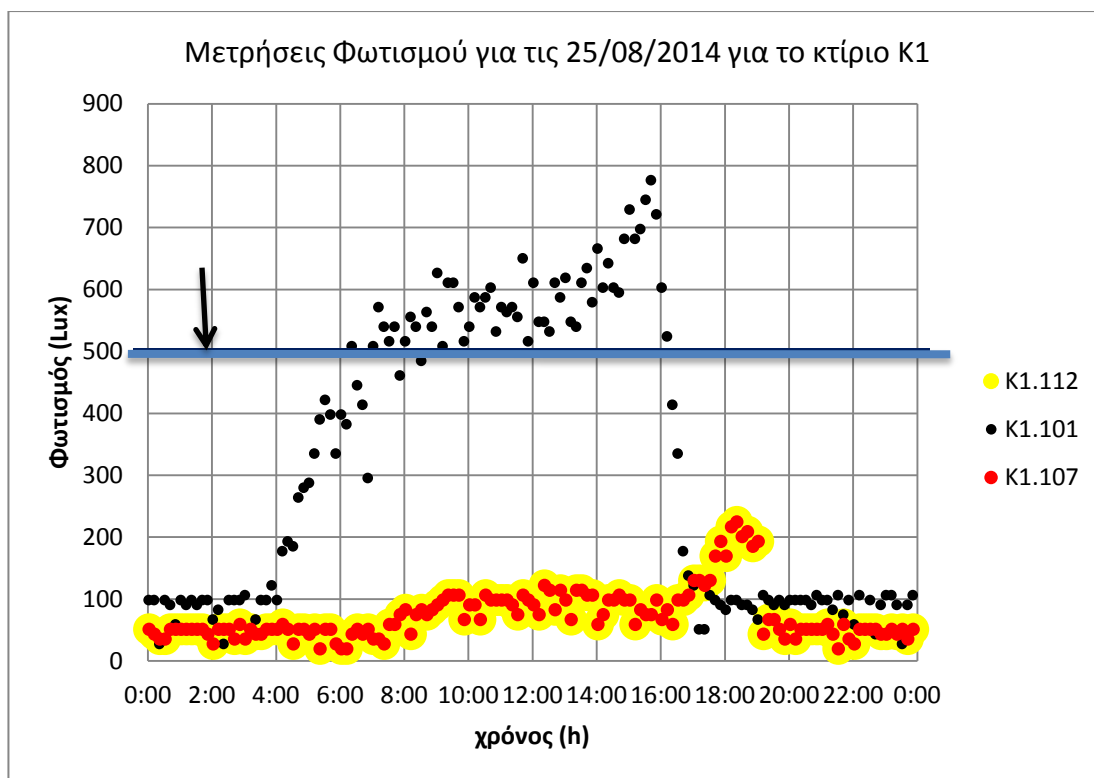
Διάγραμμα 5.39: Διάγραμμα Φωτισμού για τις 13/08/20014 για το κτίριο K1



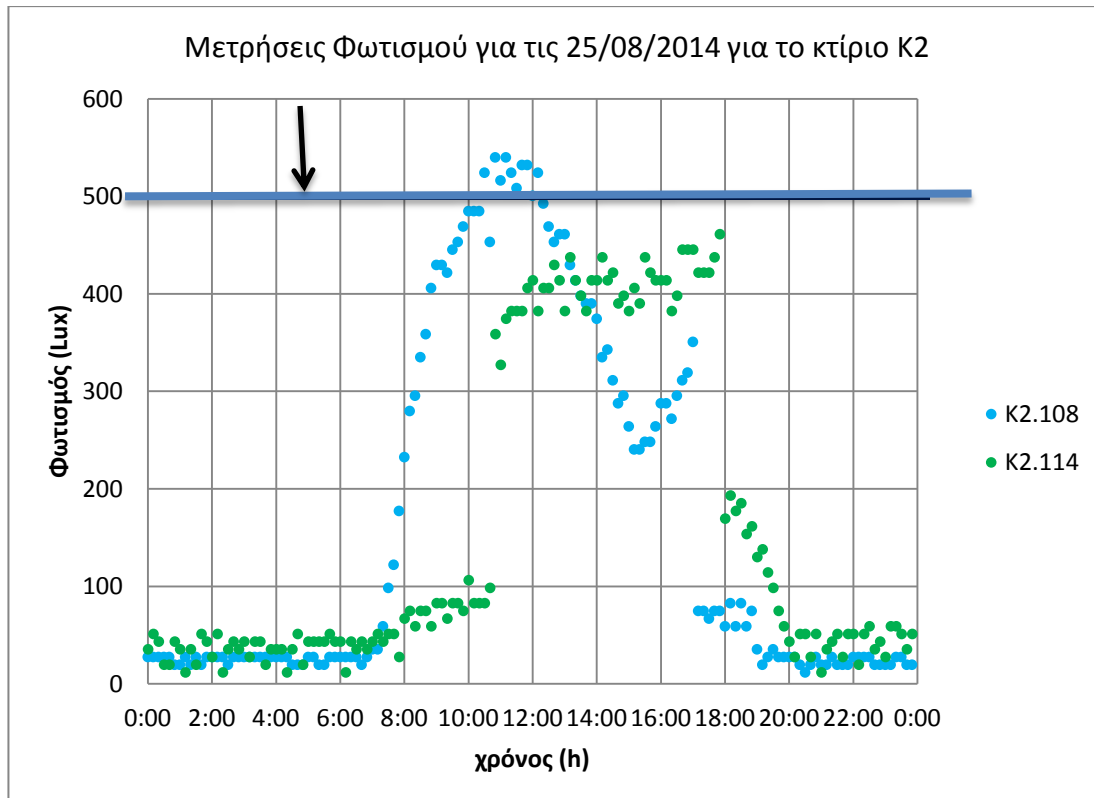
Διάγραμμα 5.40: Διάγραμμα Φωτισμού για τις 13/08/2014 για το κτίριο K2

Από τα διαγράμματα 5.41 και 5.42 του Φωτισμού για τις 25/08/2014 παρατηρείται ότι μόνο οι καμπύλες των αιθουσών K1.101 και K2.108 περνάνε για κάποια χρονικά διαστήματα το όριο των 500Lux. Αναλυτικότερα, η καμπύλη της αίθουσας K1.101 από τις 6:20 μέχρι τις 16:11 βρίσκεται πάνω από το όριο των 500Lux, ενώ φτάνει μέχρι και τα 776,6Lux στις 15:41 και πέφτει στα 27,6Lux στις 0:21, στις 2:31 και στις 23:31. Οι καμπύλες φωτισμού των αιθουσών K1.107 και K1.112 βρίσκονται ολόκληρες κάτω από το όριο των 500Lux και δεν το ξεπερνάνε ποτέ. Μάλιστα, φαίνεται ότι κυμαίνονται πολύ κάτω από το επίπεδο του ορίου, δηλαδή από τα 19,7Lux, στα οποία πέφτουν δύο φορές, μία στις 6:12 και άλλη μία στις 21:32, μέχρι τα 224,7Lux, τα οποία τα φτάνουν στις 18:22. Η καμπύλη της K2.108 περνάει το όριο των 500Lux μόνο κατά το χρονικό διάστημα από τις 10:30

μέχρι και τις 12:10. Ωστόσο, ενώ μπορεί να ξεπερνάει το όριο των 500Lux και να φτάνει μέχρι και τα 540Lux στις 10:50 και στις 11:10, πέφτει και σε πάρα πολύ χαμηλές τιμές, μέχρι και στα 11,8Lux στις 20:30. Επιπλέον, η καμπύλη της αίθουσας K2.114 κυμαίνεται και αυτή ολόκληρη κάτω από το όριο, αλλά φτάνει σε υψηλότερα επίπεδα τιμών από ότι οι καμπύλες των K1.107 και K1.112, δηλαδή κυμαίνεται από τα 11,8Lux, στα οποία πέφτει τόσο το πρωί όσο και το βράδυ (1:10, 2:20, 4:20, 6:10 και 21:00), μέχρι τα 461,2Lux, στα οποία φτάνει στις 17:50. Παρόλο που οι τιμές μέτρησης του φωτισμού στις αίθουσες του K2 κτιρίου είναι υψηλότερες, από ότι τις αντίστοιχες των άλλων δύο ημερών, γενικά δεν ξεπερνούν για πολύ το όριο των 500 Lux. Οι υψηλότερες αυτές τιμές πιθανόν να οφείλονται στο ότι το Πολυτεχνείο είχε αρχίσει ήδη να λειτουργεί και είχε τεθεί σε ισχύ ο τεχνητός φωτισμός κατά τη διάρκεια λήψης των μετρήσεων. Οι χαμηλές τιμές φωτισμού των αιθουσών του K1 κτιρίου, με εξαίρεση την αίθουσα K1.101, οφείλονται πιθανότατα στο γεγονός ότι ήταν κλειστές, δεν θα χρησιμοποιούνταν κατά τη διάρκεια λήψης των μετρήσεων και επομένως, δε θα λειτουργούσε ο τεχνητός φωτισμός παρά μόνο ο φυσικός.



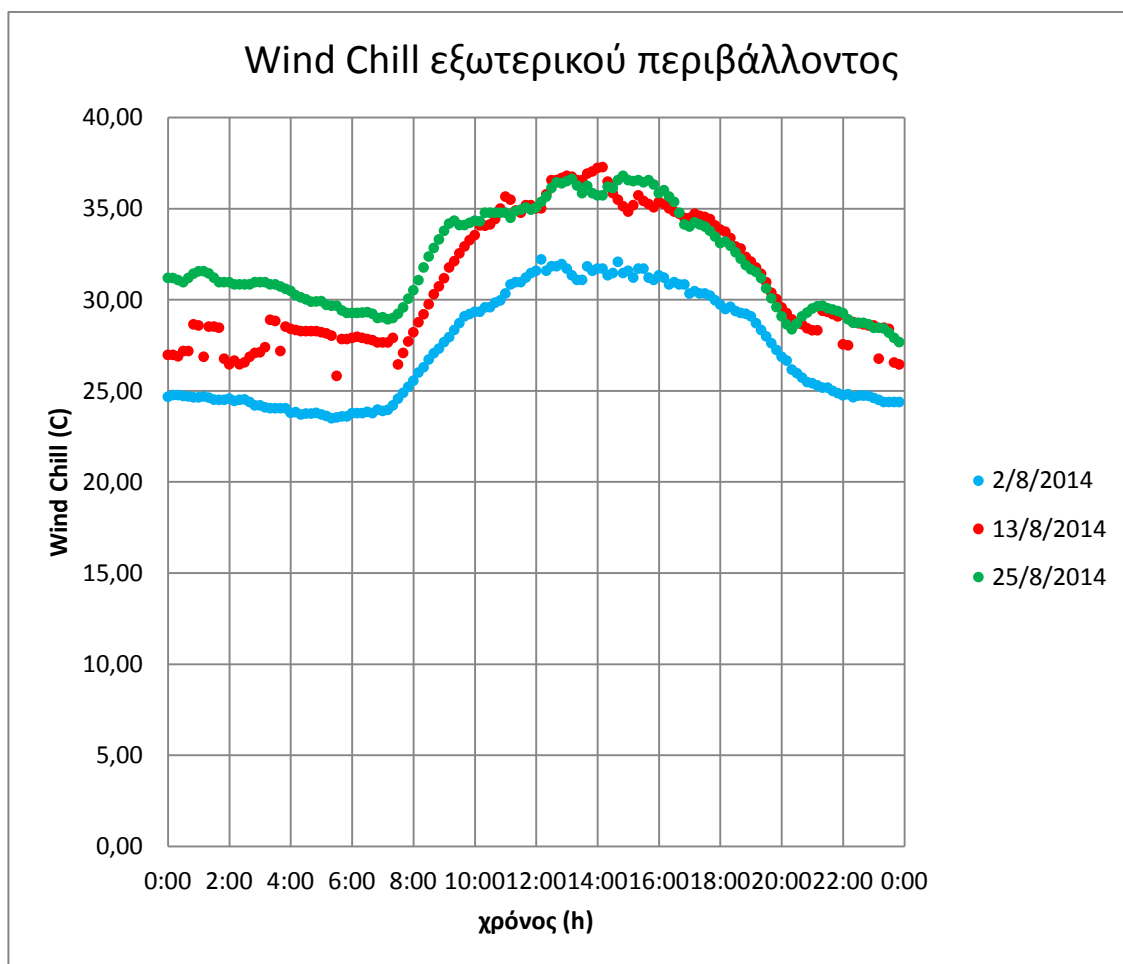
Διάγραμμα 5.41: Διάγραμμα Φωτισμού για τις 25/08/2014 για το κτίριο K1



Διάγραμμα 5.42: Διάγραμμα Φωτισμού για τις 25/08/2014 για το κτίριο K2

5.4 Εξωτερικό περιβάλλον

Από το διάγραμμα του δείκτη Wind Chill για το εξωτερικό περιβάλλον παρατηρείται ότι κατά τη διάρκεια της 2ας/08/2014 υπάρχουν οι χαμηλότερες θερμοκρασίες. Οι καμπύλες των 13/08/2014 και 25/08/2014 σχεδόν ταυτίζονται από τις 10:00 μέχρι τις 20:30, ενώ το υπόλοιπο διάστημα η καμπύλη της 25ης/08/2014 έχει λίγο πιο μεγάλες τιμές. Παράλληλα παρατηρείται ότι και στις τρεις ημερομηνίες οι καμπύλες ακολουθούν την ίδια πορεία και φτάνουν μέγιστες και ελάχιστες τιμές στα ίδια χρονικά διαστήματα.



Διάγραμμα 5.43 Διάγραμμα δείκτη Wind Chill για το εξωτερικό περιβάλλον

5.5 Σύγκριση Δεικτών Θερμικής Άνεσης

Στους Πίνακες 5.1 και 5.2 παρουσιάζεται η συγκριτική αξιολόγηση των δεικτών θερμικής άνεσης PMV,PPD, Humidex Index, Heat Index και Discomfort Index. Επισημαίνεται ότι εάν ένα χρονικό διάστημα μιας ημέρας δεν εμφανίζεται στον πίνακα τότε η καμπύλη της αίθουσας αυτής παίρνει τιμές μικρότερες και από το κατώτατο όριο του δείκτη, στον οποίο θα εμφανίζεται αυτό το περιστατικό. Από τον πίνακα παρατηρείται ότι για τις 25/08/2015, η οποία ημέρα θεωρείται η πιο αξιόπιστη όσον αφορά τα αποτελέσματά της, καθώς εκείνη την ημερομηνία, όχι μόνο ήταν Δευτέρα, αλλά είχε ξεκινήσει και η περίοδος λειτουργίας του Πολυτεχνείου Κρήτης, με αποτέλεσμα το κτίριο να αεριζόταν, είτε με φυσικό αερισμό από τις πόρτες και τα παράθυρα, είτε από κάποιο μηχανικό σύστημα αερισμού. Επιπλέον, η ημέρα αυτή θεωρείται η πιο αξιόπιστη για την εξαγωγή συμπερασμάτων, καθώς, λόγω του αερισμού, υπάρχει ροή αέρα, με αποτέλεσμα η σύγκριση των δεικτών Humidex Index, Heat Index και Discomfort Index με τους PMV και PPD να είναι αξιόπιστη, δεδομένου ότι οι δείκτες PMV και PPD υπολογίζονται θεωρώντας μια ταχύτητα αέρα, ενώ στην περίπτωση των εξισώσεων υπολογισμού των υπό μελέτη δεικτών δε συμπεριλαμβάνεται. Έτσι, λόγω του αερισμού, η ταχύτητα του αέρα συμπεριλαμβάνεται στους υπολογισμούς εξαιτίας του τρόπου με τον οποίο επηρεάζει τη θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία του αέρα, κατά τη διάρκεια λήψεων των μετρήσεων. Επίσης, στις 25/08/2014 παρατηρείται ότι τα χρονικά διαστήματα, όπου οι καμπύλες των αιθουσών κυμαίνονται μέσα στα επιθυμητά όρια των υπό μελέτη δεικτών, είναι σχεδόν ίδια με τα χρονικά διαστήματα όπου οι καμπύλες βρίσκονται μέσα στα όρια θερμικής άνεσης των δεικτών PMV και PPD. Από τα αποτελέσματα των άλλων δύο ημερομηνιών, 2/08/2014 και 13/08/2014, δεν είναι δυνατό να παρθούν αξιόπιστα συμπεράσματα για τους θερμικούς δείκτες, καθώς τις ημέρες

εκείνες το Πολυτεχνείο Κρήτης υπολειπορούσε λόγω καλοκαιριού και, κατά συνέπεια, δεν αεριζόντουσαν. Η σπουδαιότητα της διαδικασίας αυτής αναλύθηκε παραπάνω.

Όσον αφορά τις μετρήσεις για το CO₂ και τις μετρήσεις του φωτισμού παρατηρείται ότι, για μεν το πρώτο, τα χρονικά διαστήματα όπου ο δείκτης PPD παίρνει τιμές κάτω από 20% δε συμπίπτουν πάντα με εκείνα που οι συγκεντρώσεις του CO₂ αντιστοιχούν σε ποσοστό χρηστών του κτιρίου που δυσφορούν 20% του συνόλου των χρηστών, ενώ για το δεύτερο οι μετρήσεις του βρίσκονται σε πολύ χαμηλότερα επίπεδα από αυτό του ορίου των 500Lux.

Πίνακας 5.1: Σύγκριση Δεικτών Θερμικής Άνεσης , CO₂ και Φωτισμού για τις ημερομηνίες 2/08/2014 και 13/08/2014

	2/8/2014					13/8/2014				
Κατηγορίες δεικτών	K1.112	K1.107	K1.101	K2.108	K2.114	K1.112	K1.107	K1.101	K2.108	K2.114
PMV										
.-1-+1	0:00- 17:40, 21:40- 0:00	0:00- 17:40, 21:40- 0:00	0:00- 9:10, 19:10- 0:00	0:00- 17:40, 21:40- 0:00	όλη	3:22- 10:42	3:22- 10:42	0:00-6:31	3:22- 10:42	0:00- 16:30
PPD										
<20%	0:00- 16:42, 23:22- 0:00	0:00- 16:42, 23:22- 0:00	0:00- 8:41, 19:31- 0:00	όλη	όλη	-	-	1:31-6:00	-	5:10- 11:40
Humidex										
No discomfort	όλη	όλη	όλη	όλη	όλη	όλη	όλη	0:00- 15:50, 16:30- 0:00	όλη	όλη
Some discomfort	-	-	-	-	-	-	-	15:50- 16:30	-	-
Great discomfort- avoid exertion	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dangerous	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Heat stroke imminent	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Heat Index										
Very warm	όλη	όλη	0:00- 10:40, 18:10- 0:00	όλη	όλη	0:00- 17:42, 22:00- 0:00	0:00- 17:42, 22:00- 0:00	0:00- 8:11, 22:10- 0:00	0:00- 18:10, 23:30- 0:00	0:00- 19:20, 21:20- 0:00
Hot	-	-	10:40- 18:10	-	-	17:42- 22:00	17:42- 22:00	8:11- 22:10	18:10- 23:30	19:20- 21:20
Very hot	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Extremely hot	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Discomfort Index										
No discomfort	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
under 50% feel discomfort	-	-	3:00-4:40	4:30-8:20	13:00- 14:10	όλη	όλη	0:00- 9:11, 20:00- 0:00	όλη	όλη
most 50%	όλη	όλη	0:00- 3:00. 4:40- 15:00, 17:20- 0:00	0:00- 4:30. 8:20-0:00	0:00- 13:00, 14:10- 0:00	-	-	9:11- 20:00	-	-
most of population suffers discomfort	-	-	15:00- 17:20	-	-	-	-	-	-	-
everyone feels stress	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
state of medical emergency	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

CO ₂										
<460ppm 15%PPD	όλη	όλη	όλη	όλη	0:00-14:30, 19:30-0:00	όλη	όλη	όλη	όλη	όλη
<660ppm 20%PPD	-	-	-	-	14:30-19:30	-	-	-	-	-
<1190ppm 30%PPD	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Φωτισμός										
>500Lux	18:42	18:42	6:51-16:41	-	16:40-19:30	-	-	7:21-16:21	-	-

Πίνακας 5.2: Σύγκριση Δεικτών Θερμικής Άνεσης CO₂ και Φωτισμού για της 25/08/2014

25/8/2014						
Κατηγορίες δεικτών	K2.114	K1.112	K1.107	K1.101	K2.108	K2.114
PMV						
.-1-+1	0:00-16:30	9:02-11:52, 16:52-0:00	9:02-11:52, 16:52-0:00	6:01-15:51	9:02-11:52, 16:52-0:00	όλη
PPD						
<20%	5:10-11:40	9:00-10:42, 17:00-22:32	9:00-10:42, 17:00-22:32	6:00-15:51	9:40-19:00	όλη
Humidex						
No discomfort	όλη	όλη	όλη	όλη	όλη	όλη
Some discomfort	-	-	-	-	-	-
Great discomfort-avoid exertion	-	-	-	-	-	-
Dangerous	-	-	-	-	-	-
Heat stroke imminent	-	-	-	-	-	-
Heat Index						
Very warm	0:00-19:20, 21:20-0:00	0:00-9:10, 17:22-0:00	0:00-9:10, 17:22-0:00	0:00-16:40, 17:50-0:00	0:00-11:10, 12:40-13:20, 14:40-0:00	0:00-1:31, 9:40-0:00
Hot	19:20-21:20	-	-	16:40-16:40	-	-
Very hot	-	-	-	-	-	-
Extremely hot	-	-	-	-	-	-
Discomfort Index						
No discomfort	-	-	-	-	-	-

under 50% feel discomfort	όλη	8:50-18:00	8:50-18:00	5:51-15:51	9:40-17:50	0:00-17:20, 17:40-0:00
most 50%	-	0:00-8:50, 18:00-0:00	0:00-8:50, 18:00-0:00	0:00-5:51, 15:51-0:00	0:00-9:40, 17:50-0:00	17:20-17:40
most of popylation suffers discomfort	-	-	-	-	-	-
everyone feels stress	-	-	-	-	-	-
state of medical emergency	-	-	-	-	-	-
CO2						
<460ppm 15%PPD	όλη	0:00-9:00, 10:52-11:42, 17:32-0:00	0:00-9:00, 10:52-11:42, 17:32-0:00	0:00-6:20, 16:20-0:00	0:00-9:20	0:00-15:20, 18:00-0:00
<660ppm 20%PPD	-	9:02-10:52, 11:42-17:32	9:02-10:52, 11:42-17:32	6:20-16:20	9:20-22:00	15:20-18:00
<1190ppm 30%PPD	-	-	-	-	10:50-12:20, 14:20-14:40, 16:00-17:00	-
Φωτισμός						
>500Lux	-	-	-	6:21-16:11	10:30-12:10	-

Κεφάλαιο 6

Συμπεράσματα- Μελλοντικές Προεκτάσεις

Στις σύγχρονες κοινωνίες των αναπτυσσόμενων και αναπτυγμένων χωρών η ρύπανση της ατμόσφαιρας των εσωτερικών χώρων αποτελεί σοβαρό πρόβλημα, δεδομένου ότι οι άνθρωποι περνάνε το μεγαλύτερο ποσοστό του χρόνου τους, (70-90%), σε εσωτερικούς χώρους και επηρεάζονται άμεσα από τις συνθήκες που επικρατούν σ' αυτούς. Είναι πολύ σημαντικό, λοιπόν, να ελέγχεται η ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος, λαμβάνοντας υπόψη παραμέτρους, όπως η θερμική και οπτική άνεση, αλλά και παράγοντες που αφορούν την ποιότητα του εσωτερικού αέρα.

Από τους πιο γνωστούς και αξιόπιστους δείκτες, για τον υπολογισμό της θερμικής άνεσης, είναι οι δείκτες PMV και PPD, ο προσδιορισμός και ο υπολογισμός των οποίων εξαρτάται από ένα πλήθος παραγόντων, όπως είναι η θερμοκρασία, η ταχύτητα και η υγρασία του αέρα, η μέση ακτινοβολούμενη θερμοκρασία, ο ρυθμός μεταβολισμού του ανθρώπινου οργανισμού και τα επίπεδα ρουχισμού του ανθρώπου. Ακόμα, σύμφωνα με το πρότυπο της ASHRAE οι συγκεντρώσεις του CO₂ συνδέονται με τα επίπεδα του δείκτη PPD.

Στην παρούσα Διπλωματική εργασία υπολογίστηκαν αρχικά οι δείκτες PMV και PPD, παίρνοντας μετρήσεις για τη θερμοκρασία και την υγρασία του αέρα από τις αίθουσες K1.112, K1.107, K1.101, K2.108 και K2.114 των κτιρίων K1 και K2 της σχολής Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης, ενώ από κατάλληλους πίνακες υπολογίστηκε ο ρουχισμός και ο μεταβολισμός των χρηστών και επιλέχθηκε και μια ταχύτητα αέρα. Οι δείκτες αυτοί απετέλεσαν το μέτρο σύγκρισης των αποτελεσμάτων των μετρήσεων των δεικτών Humidex Index, ο Heat Index και Discomfort Index. Σκοπός της σύγκρισης ήταν να δειχθεί κατά πόσο οι δείκτες υπολογισμού της θερμικής άνεσης του εξωτερικού περιβάλλοντος μπορούν να δώσουν αξιόπιστα αποτελέσματα για τη θερμική άνεση στο εσωτερικό των κτιρίων, δεδομένου ότι υπολογίζουν την αισθανόμενη θερμοκρασία, λαμβάνοντας υπόψη

μόνο τις μεταβλητές της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας του αέρα, οι οποίες αποτελούν και τους σημαντικότερους παράγοντες επηρεασμού της θερμικής άνεσης και της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος.

Για την εξαγωγή των συμπερασμάτων της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, χρησιμοποιήθηκαν κυρίως τα αποτελέσματα των υπολογισμών των δεικτών της 25ης/08/2014, καθώς τις άλλες δύο ημερομηνίες, που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις και οι υπολογισμοί, το Πολυτεχνείο Κρήτης υπολειτουργούσε, λόγω του καλοκαιριού και δεν ευρίσκοντο σε λειτουργία όλα τα συστήματα ψύξης και αερισμού του κτιρίου. Στις 25/08/2014 το ίδρυμα ήταν ανοικτό, με αποτέλεσμα το κτίριο να αερίζεται, είτε φυσικά είτε μηχανικά, και επομένως υπήρχε ροή αέρα. Οι μετρήσεις που έγιναν την ημερομηνία αυτή οδηγούν σε πιο ασφαλή συμπεράσματα και η σύγκριση των δεικτών Humidex Index, Heat Index και Discomfort Index με τους PMV και PPD είναι αξιόπιστη. Αυτό συμβαίνει γιατί οι δείκτες PMV και PPD υπολογίζονται θεωρώντας μια ταχύτητα αέρα, ενώ στην περίπτωση των εξισώσεων υπολογισμού των δεικτών Humidex Index, Heat Index και Discomfort Index η ταχύτητα του αέρα συμπεριλαμβάνεται στους υπολογισμούς λόγω του τρόπου με τον οποίο επηρεάζει τη θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία του αέρα κατά τη διάρκεια λήψεων των μετρήσεων. Παρόλα αυτά, από τα αποτελέσματα των υπολογισμών για τις 2/08/2014 και 13/08/2014 γίνεται εύκολα αντιληπτή η σπουδαιότητα του αερισμού των κτιρίων. Φαίνεται η διαφορά της αισθανόμενης θερμοκρασίας και των χρονικών διαστημάτων που οι υπολογισμένες τιμές βρίσκονται στα επιθυμητά όρια των δεικτών, σε σχέση με αυτά των δεικτών PMV/PPD, στους οποίους χρησιμοποιείται ως μεταβλητή η ταχύτητα του αέρα, που συνεπάγεται την ύπαρξη αερισμού του κτιρίου.

Από τα αποτελέσματα της 25ης/08/2014 φαίνεται ότι τα χρονικά διαστήματα στα οποία οι δείκτες συμπίπτουν στα επιτρεπτά όρια, δηλαδή στην κατηγορία

συνθηκών των δεικτών που δηλώνει ότι δεν υπάρχει δυσαρέσκεια από τους χρήστες ή είναι λίγοι αυτοί που δυσφορούν και δυσαρεστούνται, είναι ίδια για όλους τους δείκτες. Όμως, πρέπει να τονιστεί ότι η χαμηλότερη κατηγορία του δείκτη Humidex Index είναι για τιμές αισθανόμενης θερμοκρασίας μικρότερες των 29°C, ενώ του δείκτη Heat Index είναι για θερμοκρασίες μεταξύ 26,26°C (80°F) και 31,67°C (89°F) και για τον Discomfort Index για μικρότερες από 21°C.

Επομένως, οι καταλληλότεροι δείκτες που μπορεί να χρησιμοποιήσει ένας μηχανικός ή μελετητής για ένα γρήγορο υπολογισμό και προσδιορισμό της θερμικής άνεσης, λαμβάνοντας υπόψη μόνο δεδομένα για τη θερμοκρασία και την υγρασία του αέρα, είναι πρώτα ο δείκτης Discomfort Index και έπειτα ο δείκτης Heat Index. Οι κατηγορίες συνθηκών αισθανόμενης θερμοκρασίας του δείκτη Humidex Index αναφέρονται σε τιμές θερμοκρασίας πολύ υψηλές για να προκύψουν στο εσωτερικό ενός κτιρίου.

Συγκρίνοντας τις τιμές της αισθανόμενης θερμοκρασίας του εξωτερικού περιβάλλοντος με αυτές των δεικτών για το εσωτερικό περιβάλλον προκύπτει το συμπέρασμα ότι, αν σε ένα κτίριο δε τηρούνται τα όρια για ευνοϊκές συνθήκες ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος, η θερμοκρασία που θα αισθάνεται ο χρήστης του κτιρίου θα είναι κοντά σε αυτήν του εξωτερικού και, όπως φαίνεται, αρκετά μεγαλύτερη για τα ανθρώπινα δεδομένα. Αυτό θα προκαλούσε προβλήματα στην ανθρώπινη υγεία και θα μείωνε την απόδοση και την αποτελεσματικότητα των χρηστών του κτιρίου στις δραστηριότητές τους.

Βέβαια, στην παρούσα εργασία έγιναν μετρήσεις και για το φωτισμό, αλλά και για τη συγκέντρωση του CO₂. Παρατηρείται ότι, τα χρονικά διαστήματα όπου ο δείκτης PPD παίρνει τιμές κάτω από 20% δε συμπίπτουν πάντα με εκείνα που οι συγκεντρώσεις του CO₂ αντιστοιχούν σε ποσοστό χρηστών του κτιρίου που

δυσφορούν 20% του συνόλου. Αυτό δίνει πληροφορίες για το ποια χρονικά διαστήματα κατά τη διάρκεια της μέρας χρειάζεται να λειτουργήσει ο εξαερισμός και ο αερισμός του κτιρίου σε μεγαλύτερο ρυθμό, για τη βελτίωση των συνθηκών του εσωτερικού περιβάλλοντος του κτιρίου που, κατά πάσα πιθανότητα, είναι και η αιτία απόκλισης της εν λόγω σύγκρισης. Η απόκλιση αυτή μπορεί να οφείλεται είτε στο γεγονός ότι κάποιες από τις υπό εξέταση αίθουσες να ήταν κλειστές και να μην χρησιμοποιούνταν κατά τη διάρκεια λήψεων των μετρήσεων είτε ο αερισμός τους να γίνεται με φυσικό τρόπο και λόγω των χρηστών του κτιρίου να παρεμποδίστηκε .

Όσον αφορά το φωτισμό, συμπεραίνεται ότι κατά κύριο λόγο οι τιμές του φωτισμού είναι αρκετά κάτω από το όριο των 500Lux. Πιθανότατα αυτό συμβαίνει γιατί, είτε κάποιες από τις υπό εξέταση αίθουσες δε χρησιμοποιούνταν κατά τη διάρκεια λήψεων των μετρήσεων, είτε είχε παρεμποδιστεί η δράση του φυσικού φωτισμού από τους χρήστες των αιθουσών των κτιρίων K1 και K2 ή δεν είχε τεθεί σε λειτουργία ο τεχνητός φωτισμός που είναι απαραίτητος για τη διατήρηση της οπτικής άνεσης σε ευνοϊκά επίπεδα στα κτίρια αυτά ή πιο απλά οι αίθουσες αυτές να μη χρησιμοποιούνταν τη δεδομένη στιγμή.

Στην παρούσα διπλωματική η ταχύτητα του αέρα θεωρήθηκε σταθερή. Θα μπορούσε, λοιπόν, μελλοντικά να μελετηθούν οι παρόντες δείκτες θερμικής άνεσης και σε συνάρτηση με διαφορετικές τιμές της ταχύτητας του αέρα. Μια περαιτέρω αξιοποίηση των μετρήσεων και των υπολογισμών της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας θα ήταν η έμφαση στη σπουδαιότητα του αερισμού στο εσωτερικό των κτιρίων, αλλά και για την καταγραφή των απαιτήσεων των χρηστών του κτιρίου, σχετικά με τη θερμική και οπτική άνεση, αλλά και την ποιότητα του εσωτερικού αέρα, ώστε να καταγραφούν οι ώρες στις οποίες υπάρχουν μεγάλες απαιτήσεις και είναι απαραίτητη η χρήση των μηχανικών συστημάτων ψύξης, θέρμανσης, αερισμού, αλλά

και φωτισμού. Επειδή τα φυσικά μέσα δεν επαρκούν και η χρήση συστημάτων ψύξης, θέρμανσης, αερισμού αλλά και φωτισμού είναι απαραίτητη, θα βοηθούσε η δημιουργία ενός προγράμματος που θα καθορίζει ποια χρονικά διαστήματα και σε ποιες ζώνες του κτιρίου πρέπει να είναι σε λειτουργία οι τεχνικοί εξοπλισμοί. Έτσι, θα εξασφαλίζεται η θερμική άνεση στο εσωτερικό του κτιρίου, με ταυτόχρονο έλεγχο της ενεργειακής κατανάλωσης, αλλά και τα ευνοϊκά επίπεδα οπτικής άνεσης και ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος. Τέλος, η χρήση των δεικτών θερμικής άνεσης θα μπορούσαν να αποτελέσουν πολύτιμο εργαλείο για ορθές επεμβάσεις στο κέλυφος του κτιρίου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ASHRAE/Standard55-1992, 1992. *Thermal environmental conditions for human occupancy*, Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers.

ASHRAE55-2004, 2004. *Thermal Environmental Condition for Human Occupancy*, US: American Society of Heating, Refrigerating, Air-Conditioning Engineers.

ASHRAE62.1-2004, 2004. *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*, US: American Society of Heating, Refrigerating, Air-Conditioning Engineers.

Borer, P. & Harris, C., 1998. *The Whole Book Ecological: Building Design & Materials*. United Kingdom: Centre for Alternative Technology Publications.

CEN-CR1752, 1998. *Ventilation for Buildings: Design Criteria for the Indoor Environment*, Belgium: CEN.

CEN-EN12464-1:2002, 2002. *Light and lightnig. Lighting of work places. Indoor work places.*, s.l.: s.n.

CEN-PRen15251:2006, 2006. *Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings- addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics.*, s.l.: CEN.

DELTA-OHM, H., n.d. *Εγχειρίδιο HD46 της DELTA OHM*, s.l.: s.n.

Drakou, G., Zerefos, C. & Ziomas, I., 2000. A Sensitivity Study of Parameters in the Nazaroff-Cass IAQ MODEL with Respect to Indoor Concentrations of O3, NO, NO2.. *Environmental Thechnology*, Issue 21, pp. 483-503.

Fanger, P., 1982. *Thermal comfort: analysis and applications in environmental enigneering*, s.l.: Krieger Pub Co.

Fang, L., Clausen, G. & Fanger, P., 1998. Impact of Temperature and Humidity on Perception of Indoor Air Quality. *Ινδοορ Αιρ*, Issue 8, pp. 80-90.

Hoppe, P. & Martinac, I., 1998. Indoor Climate and Air Quality. *International Journal of Biometeorology*, Issue 42, pp. 1-7.

ISO7730, 2005. *Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*, *International Organization of Standardization.*, s.l.: s.n.

Larssen, S. και συν., 2003. *Air Quality in Europe State and Trends 1990-1999*, s.l.: European Environment Agency.

Liddament, M., 1996. A guide to energy efficient ventilation, AIVC.

- Liddament, M., 1996. *Two air flow studies completed, Air infiltration review*, U.K.: Bracknell.
- Moore, F., 1993. *Environmental Control System: Heating, Cooling, Lighting*, United States of America: McGraw-Hill.
- Olesen, B. & Parsons, K., 2002. Introduction to thermal comfort standards and to the proposed new version of EN ISO 7730. Issue 34, pp. 537-538.
- Olesen, B., Seppanen, O. & Boerstra, A., 2006. Criteria for the indoor environment for energy performance of buildings: A new European standard, *Facilities*. 24(11/12), pp. 445-457.
- Orme, M., 2001. Estimates of the energy impact of ventilation and associated financial expenditures. Issue 33.
- Santamouris, M., 2004. *Environmental design of urban buildings: an integrated approach*. UK: James & James.
- Spengler, D., Samet, M. & McCarthy, F., 2001. *Indoor air quality handbook*, USA, NY: McGraw-Hill.
- Synnefa, A. και συν., 2003. An experimental investigation of the indoor air quality in fifteen school buildings in Athens, Greece. *Int. J. of Ventilation*, 11(3), pp. 185-202.
- ΤΟΤΕΕ2425/86, 1986. *Εγκαταστάσεις σε κτίρια: Στοιχεία υπολογισμού φορτίων κλιματισμού κτηριακών χώρων*, σ.λ.: Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος.
- WHO, 1984. *HFA Glossary of Terms*, σ.λ.: World Health Organization.
- WHO, 2000. *Air Quality Guidelines for Europe*, σ.λ.: World Health Organization.
- www.EngineeringToolBox.com, n.d. *www.EngineeringToolBox.com*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <http://www.engineeringtoolbox.com>
[Πρόσβαση 26 Αύγουστος 2015].
- www.had2know.com, n.d. *www.had2know.com*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <http://www.had2know.com>
[Πρόσβαση 26 Αύγουστος 2015].
- www.keisanOnlineCalculator.com, n.d. *keisan Online Calculator*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <http://keisan.casio.com/exec/system/1351058230>
[Πρόσβαση 16 Αύγουστος 2015].
- www.physLink.com, n.d. *physLink.com Physics & Astronomy Online*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <http://www.physlink.com/Reference/Weather.cfm>
[Πρόσβαση 27 Αύγουστος 2015].
- www.wikipedia.com, n.d. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://en.wikipedia.org>
[Πρόσβαση 25 Αύγουστος 2015].

Αυγελής, Α. & Παπαδόπουλος, Α., 2007. Φυσικές παράμετροι οι οποίες καθορίζουν την ποιότητα αέρα στο εσωτερικό περιβάλλον. Στο: *Ρύπανση και Ποιότητα Εσωτερικού Περιβάλλοντος στα Κτίρια*. Αθήνα: Τεκδοτική, pp. 37-68.

HOBOR-U12-Temp/RH/Light/External-Data-Logger, n.d. *HOBOR U12 Temp/RH/Light/External Data Logger*, s.l.: s.n.

Κολοκοτσά, Δ., 2007. Όρια, νομοθεσία και πρότυπα που αφορούν στην ποιότητα αέρα εσωτερικού περιβάλλοντος. Στο: *Ρύπανση και Ποιότητα Εσωτερικού Περιβάλλοντος στα Κτίρια*. Αθήνα: Τεκδοτική, pp. 373-415.

Κουτσούκος, Ν., 2012. *Μελέτη και παράμετροι που επηρεάζουν τους δείκτες θερμικής άνεσης κτιρίου*, Πειραιάς: Τμήμα Μηχανολογίας ΑΤΕΙ Πειραιά.

Μπουρίκας, Λ. & Κοσμοπούλος, Π., 2008. Φωτισμός. Στο: *Κτίρια, Ενέργεια και Περιβάλλον*. Θεσσαλονίκη: UNIVERSITY STUDIO PRESS, pp. 383-412.

Νικολάου.Μ.Sc, Τ., n.d. *Το πρόβλημα αέρα της ποιότητας αέρα στο εσωτερικό των κτιρίων*, Χανιά: Πολυτεχνείο Κρήτης.

Νικολάου, Τ., Σανταμούρης, Μ. & Κολοκοτσά, Δ., 2007. Το πρόβλημα της ποιότητας του αέρα στο εσωτερικό περιβάλλον. Στο: *Ρύπανση και Ποιότητα Εσωτερικού Περιβάλλοντος στα Κτίρια*. Αθήνα: Τεκδοτική, pp. 23-36.

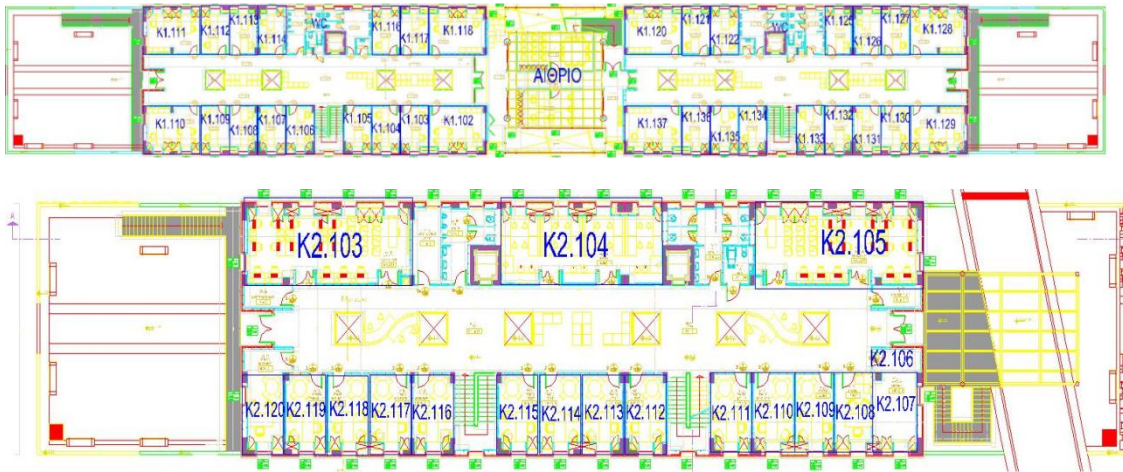
Παπαδόπουλος, Α., 2005. *Θερμική Άνεση στα Κτίρια. Νέα Πρότυπα. Μέθοδοι Βελτίωσης της Θερμικής Άνεσης στα Κτίρια*, Θεσσαλονίκη: Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Πέρδιος, Δ., 2006. *Ενεργειακή Επιθεώρηση Κτιρίων και Βιομηχανιών*. Αθήνα: Τεκδοτική.

Προβατά, Ε., 2012. *Εξοικονόμηση ενέργειας και ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος σε κτίρια γραφείων*, s.l.: Πολυτεχνείο Κρήτης.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Κατόψεις των πρώτων ορόφων των κτιρίων K1 και K2 στα οποία πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις



Κώδικας που βρίσκεται από πίσω από τον υπολογισμό των δεικτών PMV και PPD με μοναδικά δεδομένα τη θερμοκρασία του αέρα, τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας, την σχετική υγρασία, την ταχύτητα του αέρα, τον ρουχισμό και τον μεταβολισμό του ανθρώπου.

Function PMV(T_a , T_r , Vel , RH , CLO , MET , EW) 'Definition of the Function "PMV" by 7 factors

- ' T_a : Air Temperature, [deg.C]
- ' T_r : Mean Radiant Temperature, [deg.C]
- ' Vel : Relative Air Velocity, [m/s]
- ' RH : Relative Humidity, [%]
- ' CLO : Clothing, [clo]
- ' MET : Metabolic Rate, [met]
- ' EW : External Work, [met] (=normally around 0)
- ' PA : Water Vapor Pressure, [Pa]

$$PA = RH * 10 * FNPS(Ta) \quad '[Pa]=(RH/100)*1000*[kPa]$$

'---METABORIC RATE---

$$M = MET * 58.15: \quad 'Metabolic Rate, \quad [W/m^2]$$

$$W = EW * 58.15: \quad 'External Work, \quad [W/m^2]$$

$$MW = M - W \quad 'internal heat production in the human body$$

'---CLOTHING---

$$ICL = 0.155 * CLO: \quad 'thermal insulation of the Clothing, [m^2K/W]$$

If $ICL < 0.078$ Then $FCL = 1 + 1.29 * ICL$ Else $FCL = 1.05 + 0.645 * ICL$ 'clothing area factor

'---CONVECTION---

$$HCF = 12.1 * Sqr(Vel): \quad 'convective heat transfer coefficient by forced convection$$

$$TaA = Ta + 273: \quad 'Air Temperature in Kelvin [K]$$

$$TrA = Tr + 273: \quad 'Mean Radiant Temperature in Kelvin [K]$$

'CALCULATE SURFACE TEMPERATURE OF CLOTHING BY ITERATION

$$TCLA = TaA + (35.5 - Ta) / (3.5 * (6.45 * ICL + 0.1))$$

'first guess for surface temperature of clothing

$$P1 = ICL * FCL: \quad 'calculation term$$

$$P2 = P1 * 3.96: \quad 'calculation term$$

$$P3 = P1 * 100: \quad 'calculation term$$

$$P4 = P1 * TaA: \quad 'calculation term$$

$$P5 = 308.7 - 0.028 * MW + P2 * (TrA / 100) ^ 4 \quad 'calculation term$$

$XN = TCLA / 100$

$XF = XN$

$N = 0$: 'N: number of iterations

$EPS = 0.00015$: 'stop criteria in iteration

Do

$XF = (XF + XN) / 2$

'convective heat Transf. coeff. by natural convection

$HCN = 2.38 * Abs(100 * XF - TaA) ^ 0.25$

If $HCF > HCN$ Then $HC = HCF$ Else $HC = HCN$

$XN = (P5 + P4 * HC - P2 * XF ^ 4) / (100 + P3 * HC)$

$N = N + 1$

'If $N > 150$ Then GoTo 50

Loop Until $Abs(XN - XF) < EPS$

$TCL = 100 * XN - 273$: 'surface temperature of the clothing

'---HEAT LOSS COMPONENTS---

'heat loss diff. through skin

$Ediff = 3.05 * 0.001 * (5733 - 6.99 * MW - PA)$

'heat loss by sweating (comfort)

If $MW > 58.15$ Then $Esw = 0.42 * (MW - 58.15)$ Else $Esw = 0$!

'latent respiration heat loss

$$LRES = 1.7 * 0.00001 * M * (5867 - PA)$$

'dry respiration heat loss

$$DRES = 0.0014 * M * (34 - Ta)$$

'heat loss by radiation

$$R = 3.96 * FCL * (XN^4 - (TrA / 100)^4)$$

'heat loss by convection

$$C = FCL * HC * (TCL - Ta)$$

'--- CALCULATE PMV AND PPD ---

'Thermal sensation transfer coefficient

$$TS = 0.303 * \text{Exp}(-0.036 * M) + 0.028$$

'Predicted Mean Vote

$$PMV = TS * (MW - Ediff - Esw - LRES - DRES - R - C)$$

GoTo 80

50 PMV = 999999!

80 '

End Function

'Predicted PercentAge of Dissatisfied

Function PPD(PMV)

$$PPD = 100 - 95 * \text{Exp}(-0.03353 * PMV^4 - 0.2197 * PMV^2)$$

End Function

Function FNPS(T)

FNPS = Exp(16.6536 - 4030.183 / (T + 235)) 'Saturated Vapor Pressure, [kPa]

End Function