

Αξιολόγηση συνθηκών θερμικής άνεσης σε σύγχρονο κτίριο γραφείων με βάση το πρότυπο ISO 7730

Γαλανός Δημήτριος και Πάνος Κοσμόπουλος

Εργαστήριο Περιβαλλοντικού και Ενεργειακού Σχεδιασμού Κτιρίων και Οικισμών, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της έρευνας είναι να εκτιμήσει το ειδικό πλαίσιο συνθηκών άνεσης σε ένα χώρο εργασίας, το οποίο συναντάται σε σύγχρονα κτίρια γραφείων. Το μοντέλο ανάλυσης που χρησιμοποιείται αποτιμά τις ειδικές συνθήκες άνεσης, με τον τρόπο που αυτές ορίζονται από το πρότυπο ISO 7730 - Ergonomics of the thermal environment - Analytical Determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal discomfort, σύμφωνα με το πρότυπο μετρήσεων ISO 7726 - Ergonomics of the thermal environment -- Instruments for measuring physical quantities. Ως κτίριο αναφοράς επιλέχθηκε ένα κτίριο διοικητικών υπηρεσιών του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης, με 52 εργαζομένους. Με τη χρήση ενός καταγραφέα θερμικής άνεσης, μετρήθηκαν όλες οι φυσικές παράμετροι που είναι απαραίτητοι για τον υπολογισμό των δεικτών άνεσης PMV και PPD, ενώ καταγράφηκαν και οι προσωπικοί παράγοντες οι οποίοι συνυπολογίζονται στην Εξίσωση Άνεσης, για έναν ολόκληρο χρόνο λειτουργίας του. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων, αφού αναλύθηκαν στατιστικά χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των δεικτών PMV-PPD. Ο γενικός μέσος όρος του κτιρίου στις 10 επισκέψεις που έγιναν σε αυτό, για τον δείκτη PMV είναι 0,38 και για τον δείκτη PPD είναι 10,58%. Με βάση τα αποτελέσματα το κτίριο κατατάσσεται στην κατηγορία C, με βάση το πρότυπο ISO 7730. Περαιτέρω ανάλυση οδηγεί σε μια πλήρη αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, ανά εργαζόμενο, ανά χώρο, ανά όροφο, ανά σύστημα κλιματισμού, ανά περίοδο, προσφέροντας μια ολοκληρωμένη εικόνα των συνθηκών άνεσης σε ένα σύγχρονο κτίριο γραφείων, όπως αυτές αποτιμούνται από το πρότυπο ISO 7730.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο σύγχρονος τρόπος εργασίας διαφέρει πολύ από παλαιότερους, χωρίς να χρειάζεται να γυρίσουμε πολλά χρόνια πίσω. Μόλις τα τελευταία 100 χρόνια, οι αλλαγές στον τρόπο οργάνωσης της εργασίας και η είσοδος νέων τεχνολογιών έχουν κάνει τις σύγχρονες εργασίες πολύ εξειδικευμένες και πολύ σημειακές. Οι απαιτήσεις αυξάνονται, τα ωράρια μεγαλώνουν, οι πόροι μειώνονται και τελικά οι συνθήκες εργασίας, ενώ θεωρητικά τείνουν να γίνουν καλύτερες, υστερούν σε πολλά σημεία σε σχέση με παλαιότερες εποχές. Η είσοδος της τεχνολογίας έχει καταστήσει δυνατό οι εργαζόμενοι να ελέγχονται συνεχώς για το έργο τους, ευρισκόμενοι σε ένα φαινομενικά τέλειο περιβάλλον εργασίας, ώστε να είναι παραγωγικοί. Όλα αυτά είναι λίγο ως πολύ θεωρητικά και ισχύουν για χώρες οι οποίες είναι ήδη ανεπτυγμένες και έχουν τους πόρους να επενδύσουν σε τέτοιου είδους εργατικό δυναμικό.

Με την πάροδο του χρόνου και την εισαγωγή νέων τεχνολογιών στις κατασκευές, ιδιαίτερα σε αυτές που στη συνέχεια χρησιμοποιούνται ως χώροι εργασίας, ένας από τους βασικούς στόχους των σχεδιαστών ήταν η δημιουργία κατάλληλου περιβάλλοντος στο εσωτερικό του κτιρίου. Τα μηχανικά

συστήματα που ήταν εγκατεστημένα στα κτίρια παρείχαν την δυνατότητα ελέγχου του εσωτερικού περιβάλλοντος, με ολοένα περισσότερες δυνατότητες και ευκολία. Έτσι οι ερευνητές εστίασαν την προσοχή τους αποκλειστικά στην θερμική άνεση και πως μπορούν να την εξασφαλίσουν σε έναν κλειστό χώρο. Όσο η θερμική άνεση απασχολεί την επιστημονική κοινότητα, η κύρια προσπάθεια των ερευνητών ήταν η όσο το δυνατότερο αξιόπιστη αναπαράσταση του ανθρώπινου σώματος και η ανταλλαγή θερμότητας με το περιβάλλον. Η γνώση αυτή, βοήθησε στο να κατανοηθούν πλήρως οι μηχανισμοί που επηρεάζουν φυσιολογικά το ανθρώπινο σώμα και πως αντιδρά αυτό στα διάφορα θερμικά ερεθίσματα που δέχεται. Η πρώτη και η αρχαιότερη τάση στις έρευνες θερμικής άνεσης, έχει έναν καθαρά θετικιστικό και υπεραπλουστευμένο χαρακτήρα. Η πιο χαρακτηριστική της εφαρμογή είναι οι έρευνες του Fanger (1970, 1973), οι οποίες κατέληξαν στις θεμελιώδεις αρχές της θερμικής άνεσης. Ο πρωταρχικός σκοπός της έρευνας είναι ο καθορισμός και η συνεχής διαμόρφωση των θερμικών προτύπων στο κτιριακό περιβάλλον. Η αλληλεπίδραση μεταξύ του φυσικού περιβάλλοντος και τους θερμορρυθμιστικού συστήματος του ανθρώπινου σώματος είναι το σημείο εκκίνησης των ερευνών. Οι έρευνες με θερμοθάλαμους, απομόνωναν έναν μικρό αριθμό φυσικών παραγόντων οι οποίοι μέσω παρατηρήσεων χρησιμοποιώντας υποκείμενα ως πειραματόζωα, εκτιμούν με ικανοποιητική ακρίβεια το αίσθημα της θερμικής άνεσης, μέσω μιας κλίμακας θερμικής αίσθησης (Bedford 1964). Η κεντρική ιδέα έμεινε अपαράλλαχτη μέχρι σήμερα (Fanger 1970), με κάποιες ελάχιστες προσαρμογές (Olesen and Parsons 2002) και χρησιμοποιείται από όλες τις προσεγγίσεις. Αργότερα άρχισαν να υπεισέρχονται επιπλέον παράγοντες στις θεωρίες που αφορούσαν στην θερμική άνεση, ενώ τα τελευταία χρόνια έχει αρχίσει να συνδέεται και με την εξοικονόμηση ενέργειας στον κτιριακό τομέα.

Ο πιο κοινά αποδεκτός ορισμός της θερμικής άνεσης σύμφωνα με όλα τα παραπάνω, έχει ως εξής: «*Θερμική άνεση είναι αυτή η κατάσταση του μυαλού στην οποία εκδηλώνεται ικανοποίηση με το θερμικό περιβάλλον*». Από τον ορισμό και μόνο είναι πλήρως κατανοητό πως η θερμική άνεση εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, περιβαλλοντικούς, αλλά και προσωπικούς. Τα 30 και πλέον χρόνια έρευνας στην θερμική άνεση στα κτίρια έχουν καταλήξει σε πρότυπα άνεσης και συγκεκριμένες συνθήκες, τα οποία αποτελούν πολύ σημαντικά εργαλεία στα χέρια των σχεδιαστών στην προσπάθεια τους για την δημιουργία ενός άνετου εσωτερικού περιβάλλοντος. Τα πρότυπα αυτά βασίζονται στις βασικές αρχές θερμικής άνεσης, και έχουν διεθνή χαρακτήρα, άρα μπορούν να εφαρμοστούν σε οποιαδήποτε χώρα. Αναλυτικότερα είναι τα εξής:

- ISO/DIS (2005) 7730: Εργονομία θερμικού περιβάλλοντος – Αναλυτικός εκτίμηση και ερμηνεία της θερμικής άνεσης με υπολογισμό των δεικτών PMV και PPD και κριτηρίων τοπικής άνεσης (Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria)
- ASHRAE (2004) Standard 55: Συνθήκες θερμικού περιβάλλοντος για ανθρωπιστική χρήση (Thermal environmental conditions for human occupancy)
- CEN (1998) CR 1752: Αερισμός κτιρίων – κριτήρια σχεδιασμού για το εσωτερικό περιβάλλον (Ventilation for buildings - Design criteria for the indoor environment)

Οι ομοιότητες μεταξύ τους είναι αρκετές, όπως όμως και οι διαφορές τους, ενώ οι τρεις αυτοί οργανισμοί δεν έχουν καταφέρει να συμφωνήσουν αποκλειστικά σε ένα διεθνές πρότυπο. Οι ΗΠΑ και ο Καναδάς, χρησιμοποιούν περισσότερο το ASHRAE Standard 55 και οι Ευρωπαϊκές χώρες τα άλλα δύο, αλλά το ISO 7730 είναι περισσότερο αποδεκτό σε ολόκληρο τον κόσμο.

Το ISO 7730 παρέχει την υπολογιστική μέθοδο για το δείκτη PMV για ένα μεγάλο εύρος συνθηκών, ο οποίος όμως μπορεί να εκτιμηθεί και με την χρήση πινάκων που βρίσκονται στο παράρτημα του προτύπου, για δεδομένους συνδυασμούς δραστηριότητας, ρουχισμού, λειτουργικής θερμοκρασίας και σχετικής ταχύτητας, για σχετική υγρασία 50%. Εναλλακτικά, απευθείας μέτρηση του PMV είναι αποδεκτή, με την χρήση ενός ολοκληρωμένου αισθητήρα (ισοδύναμη και λειτουργική θερμοκρασία). Στην συνέχεια, με την χρήση του PMV, υπολογίζεται το PPD. Για την εκτίμηση της τοπικής θερμικής δυσφορίας χρησιμοποιούνται εξισώσεις και τα διαγράμματα, ώστε

να υπολογιστούν οι δείκτες DR και PD για κάθε παράγοντα ξεχωριστά. Με βάση το πρότυπο ISO 7730 ένα θερμικό περιβάλλον μπορεί να ταξινομηθεί σε τρεις κατηγορίες, με βάση την θερμική απόδοση του και το ποσοστό των δυσαρεστημένων χρηστών, όπως φαίνεται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Κατηγορίες θερμικού περιβάλλοντος (ISO 2005)

Κατηγορία	Θερμική κατάσταση ολόκληρου του σώματος		Τοπική δυσαρέσκεια			
	PPD (%)	PMV	DR (%)	PD (%)		
				κατακόρυφη διαφορά θερμοκρασίας	ζεστό ή κρύο πάτωμα	ασυμμετρία ακτινοβολίας
A	< 6	$-0,2 < PMV < +0,2$	< 10	< 3	< 10	< 5
B	< 10	$-0,5 < PMV < +0,5$	< 20	< 5	< 10	< 5
Γ	< 15	$-0,7 < PMV < +0,7$	< 30	< 10	< 15	< 10

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Σκοπός της έρευνας είναι να εκτιμήσει το ειδικό πλαίσιο συνθηκών άνεσης σε ένα χώρο εργασίας, το οποίο συναντάται σε σύγχρονα κτίρια γραφείων, με τον τρόπο που ορίζει το πρότυπο ISO 7730.

2.1 Συμμετέχοντες

Η επιλογή του κτιρίου Διοίκησης της Πολυτεχνικής Σχολής του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης, το οποίο βρίσκεται στην Ξάνθη θεωρήθηκε ως η καταλληλότερη. Βασική προϋπόθεση και απαραίτητο χαρακτηριστικό κτιρίου είναι η εύκολη προσβασιμότητα σε αυτό και η αμέριστη συνεργασία των χρηστών του. Οι μετρήσεις είναι μια διαδικασία η οποία είναι συνεχής και επαναλαμβανόμενη και προκαλεί πολλές φορές όχληση στους εργαζομένους. Το επιλεγέν κτίριο έχει τελείως ελεύθερη προσβασιμότητα τις ώρες λειτουργίας των δημόσιων υπηρεσιών (07.30 – 14.30) και γενικότερα εντοπίστηκε πολύ θετική διάθεση από τους εργαζόμενους σε αυτό και τη διοίκηση του Πανεπιστημίου για συνεργασία στην έρευνα. Ιδιαίτερο και θετικό χαρακτηριστικό του κτιρίου είναι ότι στεγάζει πολλές διαφορετικές υπηρεσίες του Πανεπιστημίου, οι οποίες έχουν διαφορετική φύση εργασίας, και έτσι υπάρχει ποικιλομορφία στις απαιτήσεις και στις συνθήκες τις οποίες εργάζεται ο κάθε υπάλληλος.

Ο εσωτερικός χώρος του κτιρίου μπορεί να χαρακτηριστεί σαν ένας τυπικός χώρος κτιρίου γραφείων. Στους συνολικά τρεις ορόφους υπάρχουν συνολικά 19 διαχωρισμένοι χώροι γραφείων, 6 στο ισόγειο (με 19 εργαζόμενους), 7 στον πρώτο όροφο (με 20 εργαζόμενους) και 6 στον δεύτερο όροφο (με 13 εργαζόμενους), ενώ ο τρίτος όροφος έχει μόνο μια αίθουσα συνεδριάσεων. Συνολικά οι εργαζόμενοι είναι 52 (36 γυναίκες και 16 άντρες). Σε κάθε όροφο υπάρχει ένας κεντρικός κοινόχρηστος χώρος και οι απαραίτητοι διάδρομοι που οδηγούν στα γραφεία, όπως και κάποιοι βοηθητικοί χώροι (WC, αποθήκες). Ο κάθε όροφος έχει εμβαδόν 220 m², το οποίο αντιστοιχεί σε εμβαδόν κτιρίου 660 m², χωρίς να υπολογιστεί ο χώρος του υπογείου, ο οποίος άλλωστε δεν χρησιμοποιείται στην έρευνα. Τα ανοίγματα του κτιρίου είναι ελεγχόμενα από τους χρήστες, κάτι που ήταν απαραίτητη προϋπόθεση για την επιλογή του παρόντος κτιρίου. Όλα τα ανοίγματα έχουν τη δυνατότητα να ανοιχθούν με περιστροφή σε ποσοστό 100%, δίνοντας τη δυνατότητα στους εργαζομένους να ρυθμίσουν τον αερισμό και το δροσισμό του κτιρίου με φυσικό τρόπο. Εκτός όμως από τον φυσικό αερισμό, στο κτίριο υπάρχει η δυνατότητα μηχανικής ψύξης και θέρμανσης μέσω ενός κεντρικού συστήματος. Η λειτουργία του συστήματος γίνεται κεντρικά, ενώ σε κάθε γραφείο υπάρχουν εγκατεστημένες μονάδες fan coil, οι οποίες χρησιμοποιούνται για θέρμανση και ψύξη.

Κάθε μονάδα έχει ατομικό πίνακα ελέγχου, τον οποίο ρυθμίζει ο εκάστοτε χρήστης, ενώ υπάρχει η δυνατότητα να απενεργοποιηθεί τελείως κάθε συσκευή. Αυτό ήταν άλλη μια απαραίτητη προϋπόθεση για το κτίριο της επιλογής, αφού ο ουσιαστικός έλεγχος στα συστήματα θέρμανσης και ψύξης από τους εργαζομένους συνεισφέρει στη δημιουργία των ιδανικότερων συνθηκών όπως αυτές προσδιορίζονται ανάλογα με τις ανάγκες του καθενός. Με τον τρόπο αυτό, είναι δυνατή η δημιουργία πολλών μικροκλιμάτων μέσα στο ίδιο κτίριο, αφού σε κάθε γραφείο υπάρχει η δυνατότητα να δημιουργηθούν διαφορετικές συνθήκες, είτε με φυσικό είτε με μηχανικό τρόπο.

2.2 Εξοπλισμός

Για την παρούσα έρευνα χρησιμοποιήθηκε ο καταγραφέας θερμικής άνεσης Thermal Comfort Data Logger 1221, της εταιρίας Innova, ο οποίος πληροί όλες τις προδιαγραφές των προτύπων κατασκευής, ασφάλειας, μέτρησης και υπολογισμού θερμικής άνεσης (ISO 7730/CEN 27730, ISO 7726, ISO 7243/CEN 27243, ASHRAE 55, SAE J2234). Ο καταγραφέας θερμικής άνεσης αποτελείται από μια κεντρική μονάδα στην οποία προσαρτώνται οι υποδοχείς σύνδεσης, στους οποίους συνδέονται οι αισθητήρες μέτρησης. Η παρούσα έρευνα έγινε με τη χρήση του καταγραφέα με εγκατεστημένο τον υποδοχέα της άνεσης και τρεις αισθητήρες. Ο πρώτος αισθητήρας που χρησιμοποιήθηκε είναι της λειτουργικής θερμοκρασίας, ο δεύτερος αισθητήρας μετράει την απόλυτη υγρασία, τη ξηρή θερμοκρασία και τη θερμοκρασία καθρέπτη και ο τρίτος αισθητήρας είναι ο αισθητήρας της ταχύτητας αέρα. Οι μετρήσεις συνδυάζονται με το λογισμικό 7301, μέσω του οποίου γίνεται μια αρχική στατιστική ανάλυση τους, ενώ παράλληλα υπολογίζονται όλοι απαραίτητοι δείκτες άνεσης. Αναλυτικά για κάθε μετρήσιμη φυσική παράμετρο ο καταγραφέας θερμικής άνεσης μπορεί να καταγράψει την στιγμιαία τιμή, την τυπική απόκλιση, τον μέσο όρο, την μέγιστη και την ελάχιστη τιμή κάθε μετρήσιμης φυσικής παραμέτρου. Για τον υπολογισμό των περισσότερων δεικτών άνεσης, είναι απαραίτητη η εισαγωγή στο λογισμικό δύο επιπλέον μεταβλητών, οι οποίες περιγράφουν τον μεταβολισμό και την μόνωση λόγω ρουχισμού. Η επιλογή της μέσης τιμής των παραμέτρων αυτών έγινε αφού αναλύθηκαν αρχικά τα συλλεχθέντα δεδομένα από το κτίριο, ώστε να αντικατοπτρίζουν τις πραγματικές συνθήκες εργασίας.

2.3 Σχεδιασμός και διαδικασία

Οι επισκέψεις για τη διεξαγωγή των απαραίτητων μετρήσεων στο κτίριο διήρκεσαν έναν ολόκληρο χρόνο, ώστε να καλύπτονται όλες οι κλιματικές συνθήκες της περιοχής. Η διαδικασία κάθε επίσκεψης διαρκούσε μια ολόκληρη εργάσιμη ημέρα (από τις 07:30 ως τις 14:30) κατά την οποία οι μετρήσεις ήταν συνεχείς. Ένα τυπικό χρονοδιάγραμμα μιας μέτρησης αποτελείται από την επίσκεψη στο κτίριο γύρω στις 08:00, την προετοιμασία της διάταξης και των ερωτηματολογίων με βάση τους υπάρχοντες εργαζομένους και την έναρξη μετρήσεων γύρω στις 09:00. Ο χρόνος προσέλευσης των εργαζομένων με το χρόνο έναρξης των μετρήσεων διαφέρει σημαντικά, καθώς θεωρείται απαραίτητο να δοθεί ένα περιθώριο στους εργαζομένους ώστε να προσαρμοστούν στο περιβάλλον εργασίας. Η διεξαγωγή των μετρήσεων λάμβανε χώρα για κάθε όροφο ξεχωριστά, αφού στην εναλλαγή των ορόφων ήταν απαραίτητη η διακοπή της τροφοδοσίας για τη μετακίνηση της διάταξης. Η επιλογή του εναρκτήριου ορόφου και γραφείου για κάθε επίσκεψη ήταν κάθε φορά διαφορετική. Έτσι, αποφεύχθηκε η δημιουργία ενός μοτίβου μετρήσεων, αφού κάθε όροφος και γραφείο σε κάθε μέτρηση δεχόταν επίσκεψη διαφορετική ώρα.

Τα πρότυπα ISO 7730 και ISO 7726 είναι αυτά που καθορίζουν τα ακριβή σημεία μέτρησης σε ένα χώρο εργασίας, τόσο όσον αφορά στην τοποθέτηση της διάταξης, όσο και στο ύψος των αισθητήρων. Η θέση της διάταξης ήταν όσο το δυνατόν σε κεντρικότερο σημείο του χώρου, κοντά στις θέσεις εργασίας, απέχοντας τουλάχιστον 1 m απόσταση από κάθε τοίχο. Το ύψος των αισθητήρων της υγρασίας και της ταχύτητας αέρα, όπως αυτό ορίζεται στα πρότυπα μετρήσεων ήταν 1,1 m από το έδαφος σε περίπτωση καθιστικής εργασίας, ενώ σε περίπτωση που ο εργαζόμενος την

τελευταία ώρα ήταν όρθιος, οι αισθητήρες με ευκολία μετακινούνταν στα 1,7 m. Για τους άλλους αισθητήρες, το ύψος πρέπει να είναι 0,6 m για καθιστική εργασία και 1,1 m για όρθια. Περιορισμοί όμως ισχύουν και για το χρονικό προγραμματισμό των μετρήσεων. Η ταχύτητα αέρα πρέπει να μετράται σε διάστημα 3 min και στη συνέχεια να υπολογίζεται ο μέσος όρος της. Μια άλλη χρονική παράμετρος η οποία ορίζεται από τα τεχνικά χαρακτηριστικά των αισθητήρων είναι η χρονική απόκριση τους. Για ακριβέστερες μετρήσεις, επιλέχθηκε το νεκρό διάστημα των 10 min ανάμεσα σε κάθε μέτρηση, ώστε να προσαρμοστούν οι αισθητήρες στις νέες συνθήκες, οι οποίες μερικές φορές είναι αρκετά διαφοροποιημένες. Έτσι, κάθε συνεδρία μετρήσεων διαρκεί 9 min, όπου οι αισθητήρες αποθηκεύουν μέτρηση κάθε 1 min και στη συνέχεια υπολογίζεται ο μέσος όρος της συνεδρίας. Η τεχνική αυτή βοηθάει την ομαλοποίηση των μετρήσεων και στην αποφυγή εμφάνισης ακραίων τιμών, αν και κάποιες φορές τα 10 min νεκρού διαστήματος και τα 9 min των μετρήσεων δεν ήταν αρκετά. Τέλος, μια άλλη παράμετρος που σχετίζεται με τη διαδικασία των μετρήσεων και συνάδει με περιορισμό στις μετρήσεις, είναι η διαφορά εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας. Για τη θερινή περίοδο, η διαφορά εξωτερικής και εσωτερικής θερμοκρασίας δεν πρέπει να είναι μικρότερη από το 50% της διαφοράς των δύο θερμοκρασιών όπως αυτές υποτέθηκαν κατά τον σχεδιασμό. Αντίστοιχος περιορισμός υπάρχει τη χειμερινή περίοδο αλλά έχει να κάνει με τη διαφορά της εσωτερικής με την εξωτερική θερμοκρασία. Επίσης, οι μετρήσεις δεν είναι δυνατόν να έχουν αξιόπιστα αποτελέσματα όταν το κεντρικό σύστημα θέρμανσης και κλιματισμού λειτουργεί πάνω από το 50% της συνολικής του απόδοσης. Οι συγκεκριμένοι περιορισμοί λαμβάνονται υπ' όψιν πριν την επίσκεψη, ενώ σε περίπτωση όπου εμφανιστούν κατά τη διάρκεια αυτής, η συνεδρία πρέπει να ακυρωθεί και να επαναληφθεί άμεσα.

Για κάθε επίσκεψη, όπου συνολικά γίνονται 19 συνεδρίες μετρήσεων προκύπτει πως είναι απαραίτητες συνολικά περίπου 6 ώρες για την επιτυχή καταγραφή όλου του κτιρίου. Σε κάθε επίσκεψη τηρείται αυστηρό πρωτόκολλο μετρήσεων, σύμφωνα με το οποίο καταγράφεται αναλυτικά κάθε παράμετρος που αφορά στη διαδικασία. Για κάθε συνεδρία, πέραν της ημερομηνίας, σημειώνεται ακόμα η ώρα επίσκεψης σε κάθε γραφείο, τα συνολικά άτομα που βρίσκονται μέσα, αλλά και ποιοι κωδικοί ατόμων ειδικότερα. Σαν στόχος συμμετοχής εργαζομένων επιλέχθηκε η συμμετοχή τους σε ποσοστό 75%, αφού λόγω της φύσεως της εργασίας αρκετοί υπάλληλοι βρίσκονται σε εξωτερικές δουλειές ή κάνουν άσκηση κάποιας εργατικής τους άδειας.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Οι επισκέψεις στο κτίριο ξεκίνησαν στις 19/10/2006 και τερματίστηκαν στις 26/06/2007, περίοδος στην οποία το κτίριο λειτουργούσε κανονικά. Δεδομένου πως το Πανεπιστήμιο δεν λειτουργεί τους θερινούς μήνες, δεν ήταν δυνατή η πρόσβαση σε αυτό για διεξαγωγή μετρήσεων τον Ιούλιο και τον Αύγουστο. Ακόμα, τον Σεπτέμβρη μια περίοδος καταλήψεων και απεργιών απέτρεψε τις επισκέψεις μας στο κτίριο. Συνολικά έγιναν 10 ολοκληρωμένες επισκέψεις των οποίων τα αποτελέσματα παρουσιάζονται αναλυτικά στη συνέχεια.

3.1 Εκτίμηση ρουχισμού και μεταβολισμού στο δείγμα

Η πρώτη επεξεργασία που έπρεπε να δεχθεί το δείγμα αφορά στον ρουχισμό και στον ρυθμό μεταβολισμού των εργαζομένων στο κτίριο. Η αρχική εκτίμηση για την μόνωση λόγω ρουχισμού (clo) και τον ρυθμό μεταβολισμού (met), έγινε με βάση τη βιβλιογραφία. Δεδομένου πως η περίπτωση του υπό μελέτη κτιρίου αφορά ένα τυπικό δημόσιο κτίριο γραφείων, χωρίς την θεσμοθέτηση υποχρεωτικού ρουχισμού, σαν εκτίμηση για τον ρουχισμό των υπαλλήλων επιλέχθηκε το τυπικό κουστούμι εργασίας. Για τον δεδομένο ρουχισμό και με βάση του πίνακες εκτίμησης της μόνωσης λόγω ρουχισμού, επιλέχθηκε η τιμή 1,00 clo, η οποία συναντάται και σε πολλές παρόμοιες έρευνες (de Dear 1998, Humphreys 2005). Στην τιμή αυτή συμπεριλαμβάνεται και η μόνωση λόγω της καρέκλας στην οποία κάθεται ο εργαζόμενος, η οποία επιλέχθηκε 0,10 clo, αφού οι καρέκλες

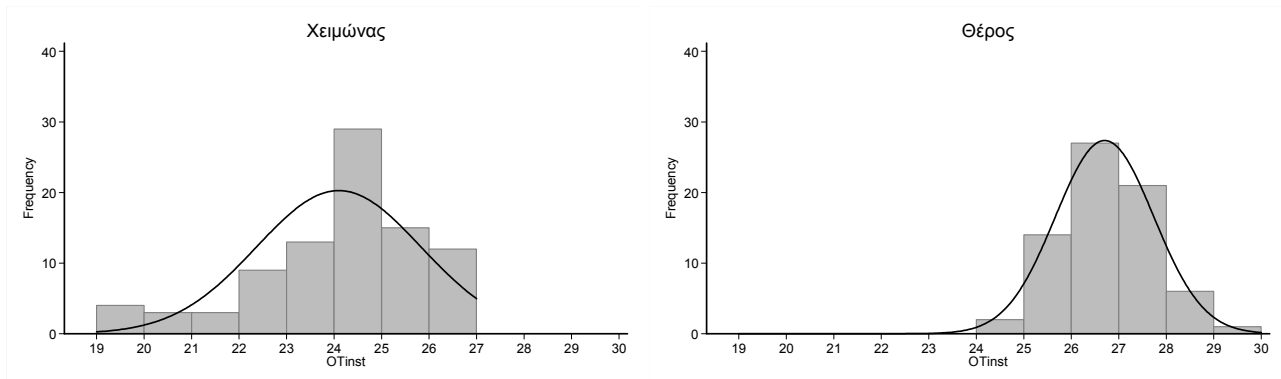
στα γραφεία δεν είχαν ισχυρή μόνωση. Επιλέγοντας σαν θερινούς μήνες τον Μάιο, Ιούνιο και Ιούλιο και σαν χειμερινούς όλους τους υπόλοιπους, το δείγμα χωρίστηκε σε δυο τμήματα, από τα οποία υπολογίστηκε ο μέσος όρος της μόνωσης λόγω ρουχισμού για κάθε εποχή ξεχωριστά, με σκοπό να διορθωθεί η αρχική εκτίμηση. Λόγω της φύσεως του ρουχισμού, το δείγμα χωρίστηκε και σε άντρες και γυναίκες, ώστε να ερευνηθεί η πιθανότητα μεγάλης απόκλισης στον ρουχισμό των δυο φύλων. Με βάση τον διαχωρισμό αυτόν, προκύπτει πως τους θερινούς μήνες η μόνωση λόγω ρουχισμού των εργαζομένων είναι κατά μέσο όρο 0,46 clo, χωρίς την καρέκλα εργασίας. Για τους άντρες ο συντελεστής είναι 0,52 clo (με βάση 39 παρατηρήσεις) και για τις γυναίκες 0,44 clo (με βάση 102 παρατηρήσεις). Για τους χειμερινούς μήνες οι αντίστοιχες τιμές για το αντρικό φύλο είναι 1,02 clo (με βάση 42 παρατηρήσεις), ενώ για το γυναικείο φύλο 0,91 clo (με βάση 138 παρατηρήσεις). Συνολικά για τον χειμώνα, ο συντελεστής ρουχισμού προκύπτει 0,95 clo. Όλες οι παραπάνω παρατηρούμενες τιμές αυξάνονται κατά 0,1 clo λόγω της καρέκλας εργασίας η οποία προσθέτει μόνωση στον εργαζόμενο.

Με δεδομένες όλες τις παραπάνω τιμές, προκύπτει πως για την περίοδο του χειμώνα, ο εκτιμώμενος συντελεστής μόνωσης λόγω ρουχισμού ορθώς επιλέχθηκε να έχει την τιμή 1,00 στους υπολογισμούς των δεικτών άνεσης. Η διαφοροποίηση επί τους συνολικού μέσου όρου του συντελεστή clo είναι μόλις 5%, και βρίσκεται μέσα στα όρια λάθους της εκτίμησης του ρουχισμού, όπως αυτά ορίζονται 20% με βάση τα πρότυπα (ISO 2005). Για την περίοδο του θέρους, τα δεδομένα είναι αρκετά διαφορετικά και οδηγούν στον επαναπροσδιορισμό του συντελεστή μόνωσης λόγω ρουχισμού. Ο συνολικός μέσος όρος και για τα δύο φύλα, συμπεριλαμβανομένης και της μόνωσης μέσω της καρέκλας, προκύπτει κατά 44% μικρότερος, άρα δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί η τιμή που υποτέθηκε κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Στους άντρες παρατηρείται κατά 15% επιπλέον συντελεστής ρουχισμού, ο οποίος επίσης βρίσκεται στα όρια που θέτει το πρότυπο θερμικής άνεσης, έτσι δεν θεωρείται απαραίτητη η διαφοροποίηση στον συντελεστή των δυο φύλων. Από τις παρατηρήσεις στο δείγμα και με βάση την δεδομένη αδυναμία του λογισμικού να δεχθεί λεπτομερή στοιχεία σε συγκεκριμένες εγγραφές, ο συντελεστής μόνωσης λόγω ρουχισμού για την περίοδο του θέρους επιλέχθηκε 0,5 clo και για τα δυο φύλα.

Για την εκτίμηση του ρυθμού μεταβολισμού, δεν υπήρχε ανάγκη να γίνει τόσο λεπτομερής ανάλυση. Ο ρυθμός μεταβολισμού προκύπτει από την ασκούμενη εργασία του εκάστοτε υπαλλήλου την τελευταία ώρα, πριν τη συμπλήρωση των ερωτηματολογίων και δεν μεταβάλλεται εποχικά. Βιβλιογραφικά, ο μέσος ρυθμός μεταβολισμού για εργασία γραφείου, είναι 1,2 met, ο οποίος αντιστοιχεί σε παραγωγή θερμότητας 70 W/m², για τον μέσο άνθρωπο (ASHRAE 2004). Για τον υπολογισμό των δεικτών άνεσης, στο λογισμικό του καταγραφέα θερμικής άνεσης υποτέθηκε πως αυτή είναι η τιμή η οποία συναντάται και στο υπό μελέτη κτίριο.

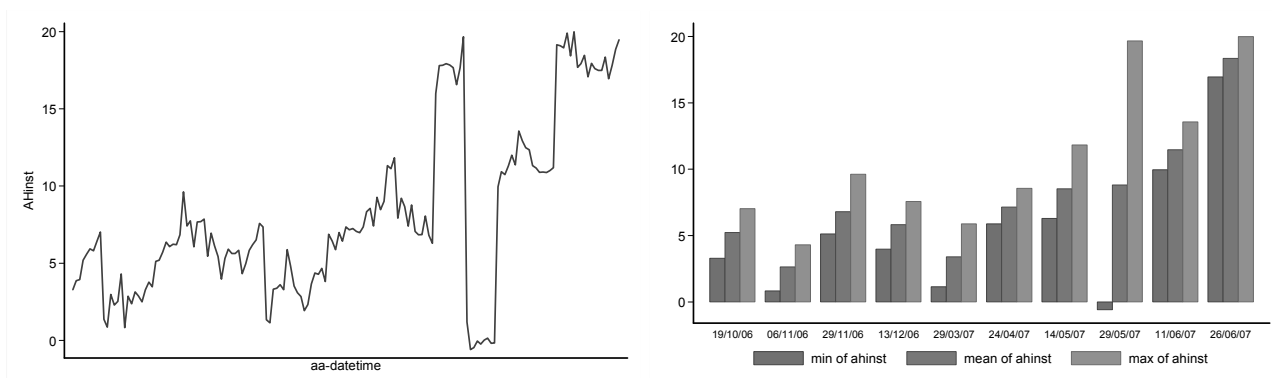
3.2 Περιγραφικά στατιστικά μετρήσιμων μεταβλητών

Η βασικότερη μεταβλητή που μετράται είναι η στιγμιαία τιμή της λειτουργικής θερμοκρασίας (OTinst), η οποία παίζει κυρίαρχο ρόλο στην αίσθηση της άνεσης. Ο μέσος όρος της λειτουργικής θερμοκρασίας για όλο τον χρόνο είναι 25,26 °C, με τυπική απόκλιση 1,95 °C, που είναι αρκετή. Αν και ο μέσος όρος βρίσκεται μέσα στην ζώνη άνεσης, η ελάχιστη παρατηρούμενη τιμή η οποία είναι 19,20 °C και η μέγιστη παρατηρούμενη τιμή που είναι 29,89 °C δείχνουν χαρακτηριστικά πως υπάρχουν χώροι οι οποίοι δεν είναι άνετοι για τους εργαζομένους. Μια πιο σαφής εικόνα φαίνεται στην κατανομή της λειτουργικής θερμοκρασίας ανά βαθμό ξεχωριστά στα χειμώνα και θέρος στην Εικόνα 1. Για την περίοδο του χειμώνα, ο μέσος όρος της λειτουργικής θερμοκρασίας είναι 24,10 °C, ενώ για την περίοδο του θέρους, 26,70 °C. Η διαφοροποίηση αυτή είναι σχετικά μικρή και οφείλεται στο γεγονός πως στο κτίριο υπάρχει εγκατεστημένο σύστημα κλιματισμού, το οποίο λειτουργεί όταν οι εσωτερικές θερμοκρασίες είναι υψηλότερες ή χαμηλότερες του επιθυμητού.



Εικόνα 1. Ιστογράμματα λειτουργικής θερμοκρασίας για τις επιμέρους περιόδους του χειμώνα και του θέρους

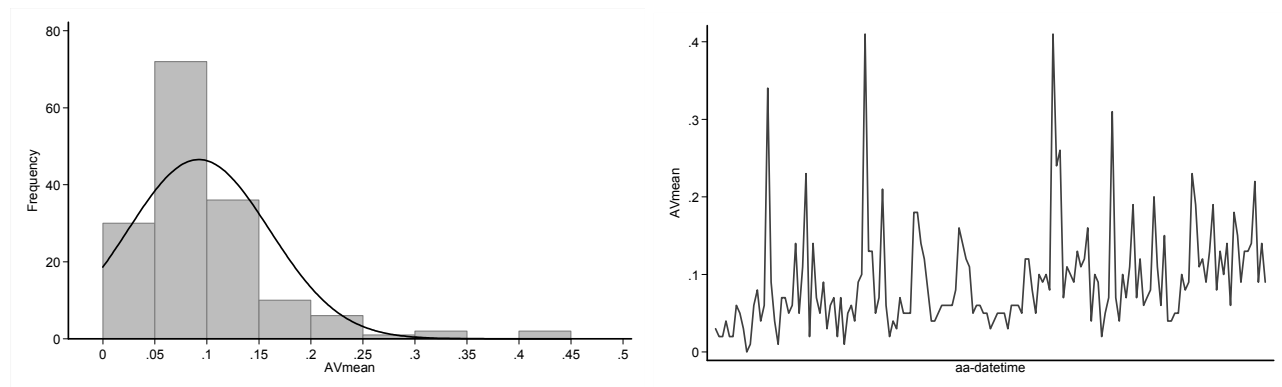
Αντίστοιχα αποτελέσματα προκύπτουν και από την ανάλυση της απόλυτης υγρασίας. Η απόλυτη υγρασία σχετίζεται με τη σχετική υγρασία μέσω της θερμοκρασίας αέρα και μπορεί να υπολογιστεί από αυτή. Δεδομένου πως με τη χρήση του καταγραφέα θερμικής άνεσης δεν μετράται η θερμοκρασία αέρα, αλλά μόνο η λειτουργική θερμοκρασία, θα πρέπει να υποτεθεί πως η θερμοκρασία αέρα είναι ίση με τη λειτουργική θερμοκρασία. Η υπόθεση αυτή, επιβεβαιώνεται και από άλλες έρευνες σε χώρους γραφείων και με βάση τις οποίες η διαφορά λειτουργικής θερμοκρασίας και θερμοκρασίας αέρα είναι μικρότερη από 1 °C (De Dear 1998). Ο μέσος όρος που προκύπτει από τις μετρήσεις της απόλυτης υγρασίας είναι 8,15 g/m³, για όλα τα γραφεία και για ολόκληρη την περίοδο μετρήσεων, με τυπική απόκλιση 5,53 g/m³, που φανερώνει πως πρόκειται για μια πολύ μεταβαλλόμενη μεταβλητή. Η σχετική υγρασία εκτιμάται 34,77%, τιμή που χαρακτηρίζει τον αέρα αρκετά ξηρό. Χωρίζοντας τις μετρήσεις ανάλογα με την εποχή του χρόνου, οι τιμές αυτές διαφοροποιούνται αρκετά. Για το χειμώνα η απόλυτη υγρασία είναι 5,10 g/m³ και η σχετική υγρασία προκύπτει 23,23%, δηλαδή ακόμα πιο ξηρή ατμόσφαιρα στον χώρο εργασίας. Για την περίοδο αυτή η μέση τιμή της εξωτερικής υγρασίας είναι 50,93%. Για το θέρος η απόλυτη υγρασία είναι 11,87 g/m³, και βάσει της λειτουργικής θερμοκρασίας η σχετική υγρασία εκτιμάται 46,83%, τιμή σαφώς πιο ικανοποιητική από τον χειμώνα αφού η μέση εξωτερική υγρασία είναι 42,85%. ΣΜια πιο ολοκληρωμένη άποψη της υγρασίας προκύπτει από το προφίλ των μετρήσεων παράλληλα με το μέσο όρο, την ελάχιστη και τη μέγιστη τιμή για κάθε επίσκεψη όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.



Εικόνα 2. Προφίλ στιγμιαίας απόλυτης υγρασίας σε όλες τις επισκέψεις παράλληλα με τον μέσο όρο, ελάχιστη και μέγιστη τιμή της ανά επίσκεψη στο κτίριο

Πέραν της λειτουργικής θερμοκρασίας, η παράμετρος που γίνεται πολύ αισθητή από τους εργαζομένους και συμβάλει πολύ στην αύξηση της θερμικής δυσφορίας σε έναν χώρο εργασίας, είναι αυτή της ταχύτητας αέρα. Η κύρια αιτία δημιουργίας αισθητού ρεύματος αέρα, ικανό για ενόχληση είναι το σύστημα κλιματισμού και τα παράθυρα. Ειδικότερα τους θερινούς μήνες όπου ο

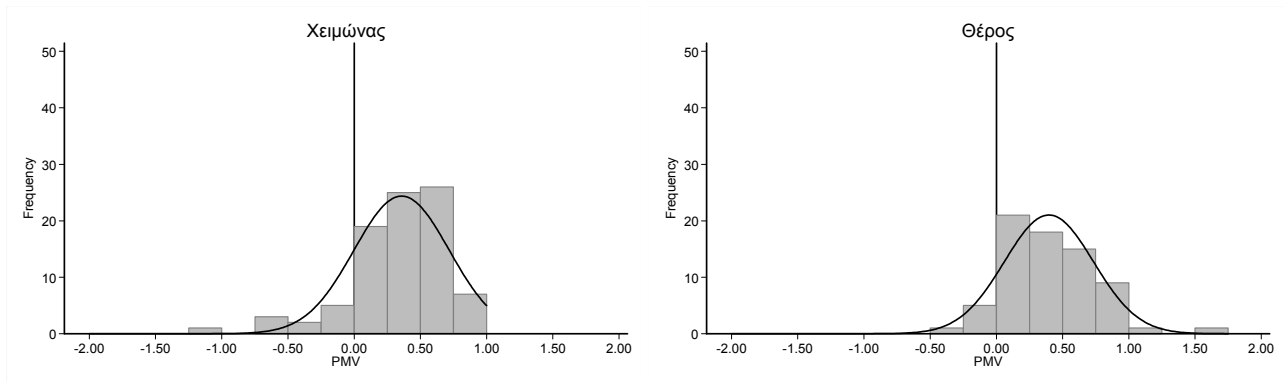
φυσικός αερισμός είναι ένα μέσο δροσισμού, πρέπει να υπάρχει έλεγχος ώστε να αποφεύγεται η δημιουργία ενοχλητικών ρευμάτων. Με βάση όλα τα παραπάνω, η μέση τιμή της ταχύτητας αέρα σε όλους τους χώρους γραφείων είναι 0,09 m/sec, τιμή σχεδόν ανεπαίσθητη στους εργαζομένους και αφορά σε όλη την περίοδο μετρήσεων. Πάραυτα, η τυπική απόκλιση της ταχύτητας του αέρα είναι 0,07 m/sec, αρκετά μεγάλη ώστε να υποτεθούν σταθερές συνθήκες από χώρο σε χώρο. Οι τιμές αυτές αλλάζουν λίγο για τον χειμώνα, όπου η μέση τιμή μειώνεται στα 0,07 m/sec και η τυπική απόκλιση στα 0,06 m/sec. Για την θερινή όμως περίοδο παρατηρείται μια αρκετά μεγάλη αύξηση στον μέσο όρο ο οποίος είναι 0,11 m/sec, με την τυπική απόκλιση να παραμένει σταθερή στα 0,07 m/sec. Και στις δυο περιπτώσεις, ειδικότερα τον χειμώνα, οι παρατηρούμενες τιμές της ταχύτητας αέρα δεν είναι ικανές να προκαλέσουν ιδιαίτερη ενόχληση στους εργαζομένους. Το καλοκαίρι μια τέτοια μέση τιμή ταχύτητας αέρα δρα αθροιστικά στο δροσισμό τους οργανισμού και σε καμία περίπτωση δεν κρίνεται υπερβολική, συγκριτικά με άλλες έρευνες. Παρατηρώντας την κατανομή της ταχύτητας αέρα για όλη την περίοδο, όπως αυτή παρουσιάζεται στην Εικόνα 3, το συμπέρασμα που προκύπτει είναι πως το κτίριο δεν έχει ιδιαίτερο πρόβλημα όσο αφορά στα ρεύματα αέρα, γεγονός που ενισχύεται και από την γεωμετρία του. Οι πολύ υψηλές τιμές είναι ελάχιστες τόσο σε παρατηρήσεις, αλλά τόσο και σε απόλυτη τιμή. Όταν η ταχύτητα αέρα είναι μέχρι και 0,15 m/sec δεν προκαλεί ιδιαίτερη όχληση σε κτίρια γραφείων. Η παρατήρηση αυτή ενισχύεται ακόμα περισσότερο από το δεύτερο σκέλος της Εικόνας 3, στην οποία φαίνεται ξεκάθαρα πως ο μέσος όρος για κάθε επίσκεψη είναι πολύ χαμηλός, άσχετα αν σε μεμονωμένες στιγμές η σταθμισμένη τιμή είναι πολύ υψηλή.



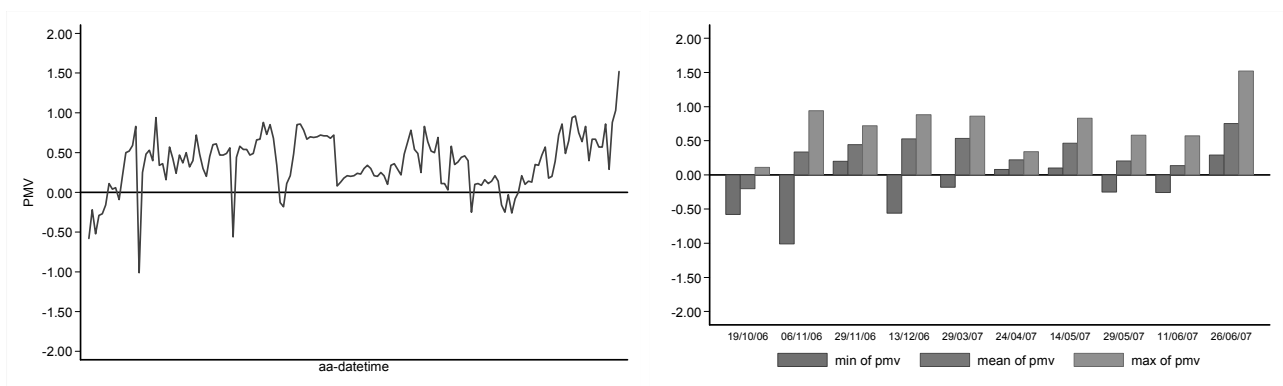
Εικόνα 3. Ιστογράμμο και προφίλ παρατηρούμενης σταθμισμένης ταχύτητας αέρα για όλο τον χρόνο

3.3 Περιγραφικά στατιστικά υπολογίσιμων μεταβλητών

Ο Δείκτης Μέσης Ψήφου (PMV) είναι ίσως ο σημαντικότερος και ο χαρακτηριστικότερος δείκτης με βάση τον οποίο εκτιμώνται οι συνθήκες θερμικής άνεσης σε ένα χώρο, αφού συνυπολογίζει 4 μεταβλητές περιβάλλοντος και 2 προσωπικές μεταβλητές. Ιδιαίτερα στην παρούσα έρευνα, είναι ο βασικός δείκτης εκτίμησης θερμικής άνεσης και ο δείκτης του οποίου ερευνάται η εφαρμογή και αξιοπιστία σε ελληνικούς χώρους εργασίας. Ο μέσος όρος του PMV για όλη την περίοδο μετρήσεων υπολογίζεται 0,38 με την τυπική απόκλιση να είναι 0,35. Για τους χειμερινούς μήνες η τιμή αυτή υπολογίζεται 0,36 ενώ για τους θερινούς μήνες 0,40. Όπως είναι προφανές, η διαφοροποίηση είναι πολύ μικρή και αυτό οφείλεται στο γεγονός πως ο δείκτης PMV δεν επηρεάζεται μόνο από μια μεταβλητή. Η μελέτη και ερμηνεία του PMV δεν είναι δυνατόν να είναι ακριβής με τη χρήση μέσης τιμής. Για αυτό τον λόγο, στην Εικόνα 4 παρουσιάζεται η κατανομή του δείκτη PMV σε στήλες ομαδοποιημένες ανά 0,1 PMV, για όλη την περίοδο μετρήσεων, αλλά και για τις επιμέρους περιόδους του χειμώνα και του καλοκαιριού.



Εικόνα 4. Ιστόγραμμα δείκτη PMV για τις επιμέρους περιόδους του χειμώνα και του θέρους

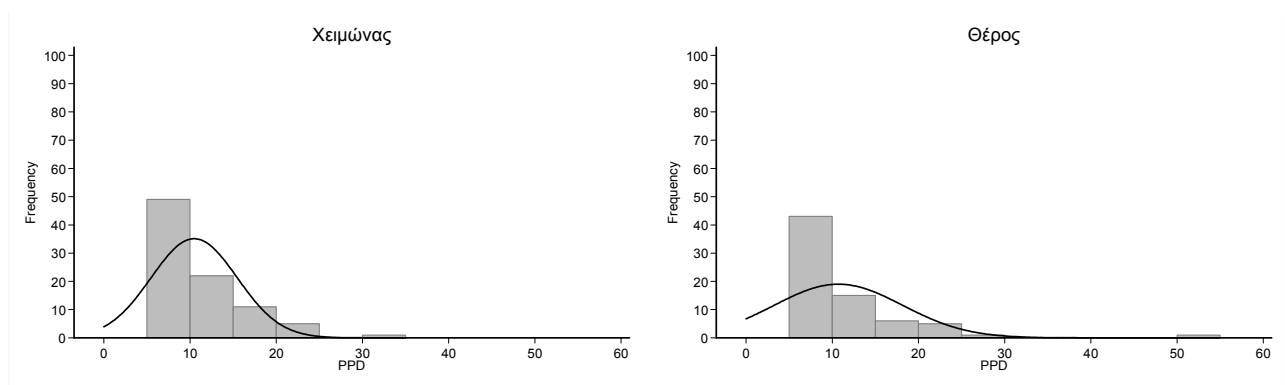


Εικόνα 5. Προφίλ δείκτη PMV σε όλες τις επισκέψεις παράλληλα με τον μέσο όρο, ελάχιστη και μέγιστη τιμή του ανά επίσκεψη στο κτίριο

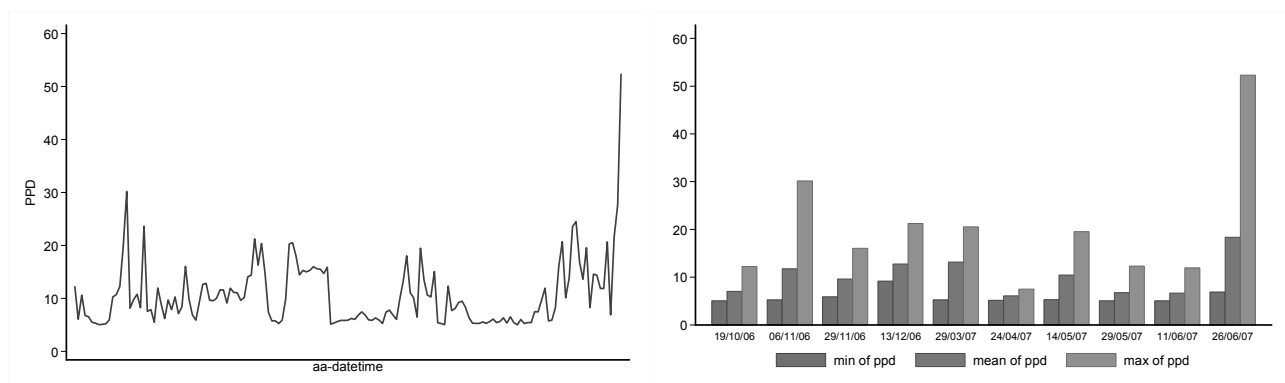
Παρατηρώντας την Εικόνα 5, στην οποία φαίνεται το προφίλ του δείκτη PMV, το συμπέρασμα που προκύπτει είναι πως η διακύμανση στις συνολικές συνθήκες άνεσης είναι αρκετά αισθητές από χώρο σε χώρο, αλλά και στην κλίμακα του χρόνου. Δεδομένου πως ο δείκτης PMV εξαρτάται από πολλές μεταβλητές, δεν μπορεί να εξαχθεί συμπέρασμα όσον αφορά στα αίτια της διαφοροποίησης αυτής. Γενικές παρατηρήσεις αφορούν στο γεγονός πως ο δείκτης, έχει αναμενόμενες τιμές για τους θερινούς μήνες, αλλά όχι και για τους χειμερινούς. Πιθανή αυξημένη χρήση του συστήματος θέρμανσης να είναι η αιτία για το γεγονός αυτό. Εκτός αυτού, είναι και μια πρώτη σαφής ένδειξη πως οι εργαζόμενοι επιλέγουν εμφανώς πιο θερμό περιβάλλον εργασίας για την άνεση τους, ακόμα και τους χειμερινούς μήνες, ώστε να αισθάνονται άνετα. Το δεύτερο διάγραμμα της Εικόνας 5, είναι περισσότερο κατατοπιστικό για τις συνθήκες που επικρατούν στο κτίριο. Καθώς παρουσιάζονται η μέση τιμή, σε σύγκριση με την ελάχιστη και τη μέγιστη τιμή του δείκτη PMV για κάθε επίσκεψη, παρατηρείται σαφής διαφοροποίηση μεταξύ των επισκέψεων. Τον Οκτώβριο, είναι ο μόνος μήνας όπου θεωρητικά οι συνθήκες εργασίας τείνουν προς το κρύο, ενώ για όλους τους υπόλοιπους μήνες οι συνθήκες τείνουν προς την ζέση, άλλοτε περισσότερο και άλλοτε λιγότερο.

Άμεσα συνδεδεμένος με τον δείκτη PMV είναι και ο δείκτης PPD, ο οποίος υπολογίζει το ποσοστό δυσαρεστημένων ατόμων με τις συνθήκες θερμικής άνεσης που επικρατούν. Η μέση τιμή του δείκτη PPD, για όλη την περίοδο προκύπτει 10,58%, με τυπική απόκλιση 6,19%. Λαμβάνοντας υπ' όψιν μόνο τις χειμερινές μετρήσεις, ο μέσος όρος προκύπτει 10,48%, ενώ για τις θερινές μετρήσεις 10,71%. Η διαφοροποίηση αυτή είναι ελάχιστη και αντίστοιχη της διαφοροποίησης που παρατηρείται στον δείκτη PMV. Μια περισσότερη σαφής εικόνα του ποσοστού δυσαρεστημένων προκύπτει από την κατανομή του υπολογισμένου αυτού δείκτη, όπως αυτός φαίνεται στην Εικόνα 6, για ολόκληρη αλλά και καταμερισμένη την περίοδο των μετρήσεων. Σημειώνεται πως λόγω της

φύσεως του δείκτη, η κατανομή μεταξύ χειμώνα και θέρους προκύπτει σχεδόν όμοια, και αυτό συμβαίνει γιατί ενώ ο δείκτης PMV αποτυπώνει την διαφορά μεταξύ θερμού και ψυχρού περιβάλλοντος, αυτό δεν υφίσταται στον δείκτη PPD, ο οποίος δεν διαχωρίζει την αιτία δυσφορίας, αλλά μόνο το αποτέλεσμα. Οι σημειακές τιμές του δείκτη PPD φαίνονται στην Εικόνα 7, από τις οποίες προκύπτει πως υπάρχουν αρκετές φορές όπου στην έρευνα αυτή το ποσοστό δυσαρεστημένων στο κτίριο υπερβαίνει το επιθυμητό. Υπάρχουν κάποιες συνεδρίες στις οποίες το ποσοστό αυτό είναι πολύ αυξημένο, κάτι που επιβεβαιώνεται και από την μελέτη της μέσης, της ελάχιστης και της μέγιστης τιμής, όπως αυτή προκύπτει από κάθε επίσκεψη και φαίνεται ομοίως στην Εικόνα 7.



Εικόνα 6. Ιστογράμματα δείκτη PPD για τις επιμέρους περιόδους του χειμώνα και του θέρους



Εικόνα 7. Προφίλ δείκτη PPD σε όλες τις επισκέψεις παράλληλα με τον μέσο όρο, ελάχιστη και μέγιστη τιμή του ανά επίσκεψη στο κτίριο

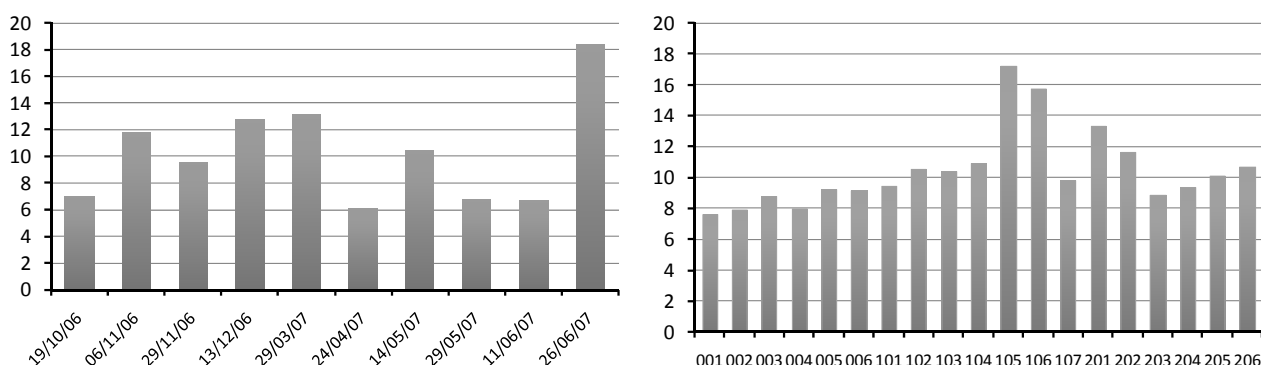
3.4 Κατάταξη κτιρίου με βάση το πρότυπο θερμικής άνεσης ISO 7730

Το πρότυπο ISO 7730 (ISO 2005), το οποίο ισχύει για την περίοδο την οποία εκτελέστηκαν οι μετρήσεις και συμπληρώθηκαν τα ερωτηματολόγια, είναι αυτό που χρησιμοποιείται για την τελική κρίση των αποτελεσμάτων όσον αφορά την κατάταξη του κτιρίου. Εκτός από τη μεθοδολογία εκτίμησης των συνθηκών θερμικής άνεσης, το ISO 7730 κατατάσσει τα υπό μελέτη κτίρια σε κατηγορίες, ανάλογα με τις εκτιμώμενες συνθήκες. Η κατάταξη γίνεται με βάση τον δείκτη PMV ή τον δείκτη PPD, σε τρεις κατηγορίες, ενώ παράλληλα προτείνει και συγκεκριμένους άξονες δράσεις για την βελτίωση των συνθηκών.

Με βάση το συνολικό δείγμα ο μέσος όρος του δείκτη PPD, που προσδιορίζει το ποσοστό δυσαρεστημένων στο κτίριο 10,58%. Από τον μέσο όρο προκύπτει πως για όλη την περίοδο μετρήσεων το κτίριο κατατάσσεται στην κατηγορία C, η οποία είναι αποδεκτή, αλλά όχι ιδανική. Η

θεώρηση όμως αυτή, η οποία περιλαμβάνει όλο το δείγμα δεν είναι αξιόπιστη. Ο λόγος είναι πως ο ρουχισμός των εργαζομένων αλλάζει με βάση τη περίοδο μετρήσεων, άρα τα αποτελέσματα δεν μπορούν να είναι άμεσα συγκρίσιμα. Χωρίζοντας το δείγμα σε δυο περιόδους, επαναλαμβάνεται η διαδικασία και προκύπτει η κατάταξη του κτιρίου ανά περίοδο. Για τη χειμερινή περίοδο, όπου ο μέσος όρος του δείκτη PPD είναι 10,48%, το κτίριο κατατάσσεται οριακά πάλι στην κατηγορία C, ενώ το ίδιο συμβαίνει και για την θερινή περίοδο, όπου ο αντίστοιχος δείκτης PPD είναι 10,71%.

Στοχεύοντας σε μια ακόμα λεπτομερέστερη ανάλυση, είναι δυνατόν να υπολογιστεί ο μέσος όρος του δείκτη PPD για κάθε μέτρηση ξεχωριστά, ώστε να διαπιστωθεί αναλυτικά η επίδοση του κτιρίου και η κατάταξη του με βάση το πρότυπο ISO 7730. Για τη σύγκριση επιλέγεται ο δείκτης PPD, ο οποίος καταγράφει αποκλειστικά τη δυσφορία, ανεξαρτήτως προέλευσης, όπως κάνει ο δείκτης PMV που διαφοροποιείται ανάλογα με τη δυσφορία λόγω ζέστης και κρύου. Στην Εικόνα 8 παρατηρείται ο μέσος όρος του PPD ανά επίσκεψη και ανά γραφείο, με βάση τον οποίο προκύπτει πως σε 5 περιπτώσεις το κτίριο κατατάσσεται στην κατηγορία B ($PPD < 10$) και άλλες 4 στην κατηγορία C ($PPD < 15$). Πρέπει επίσης να σημειωθεί πως στις 26/06/2007 το κτίριο αποτυγχάνει να συμμορφωθεί με τα όρια που θέτει το πρότυπο ISO 7730. Παρατηρείται πως όλα τα γραφεία του ισογείου κατατάσσονται στην κατηγορία B, ενώ τα γραφεία του πρώτου ορόφου εμφανίζουν μια ακανόνιστη κατανομή μέσου όρου PPD. Κάποια οριακά βρίσκονται στην κατηγορία B και κάποια οριακά στην κατηγορία C, ενώ δυο από αυτά δεν βρίσκονται μέσα στα όρια τα οποία προτείνει το ISO 7730.



Εικόνα 8. Μέσος όρος δείκτη PPD, ανά επίσκεψη και ανά γραφείο

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνοψίζοντας όλα τα ανωτέρω αποτελέσματα προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Όταν η θέρμανση λειτουργεί, το κτίριο υπάγεται στην κατηγορία C, ενώ όταν είναι κλειστή στην κατηγορία B. Το παραπάνω φαινόμενο ισχύει και για την ψύξη, αλλά περισσότερο ενισχυμένο, αφού με την ψύξη ανοιχτή το κτίριο βγαίνει εκτός ορίων θερμικής άνεσης. Το άνοιγμα των παραθύρων αυξάνει το ποσοστό δυσαρεστημένων, αλλά όχι δραστικά.
- Ο αριθμός των ατόμων στο κάθε γραφείο δεν επηρεάζει δραστικά τον δείκτη PPD, συνεπώς και την επίδοση του κτιρίου. Αντίθετα, όταν σε κάποιο γραφείο δεν υπάρχει υπολογιστής, αυτό κατατάσσεται στην κατηγορία B, αντί για την κατηγορία C στην οποία κατατάσσονται όσα γραφεία έχουν.
- Βάσει του προτύπου ISO 7730, προκύπτει πως το 10,6 % των εργαζομένων αισθάνεται γενική δυσφορία, η οποία εκφράζεται με το αίσθημα της ζέστης.
- Το κτίριο γραφείων που μελετάται, με την επίδοση αυτή κατατάσσεται στην κατηγορία C, βάσει του προτύπου ISO 7730 και βρίσκεται οριακά στη ζώνη άνεσης. Αν και η τοπική θερμική δυσφορία δεν ελέγχεται λεπτομερώς, οι επιδόσεις του κτιρίου στον τομέα αυτό είναι εφάμιλλες

της επίδοσης συνολικής θερμικής άνεσης, κατατάσσοντας το κτίριο στην κατηγορία Β. Επειδή οι χειρότερες συνθήκες υπερτερούν των καλύτερων συνθηκών, το κτίριο συνολικά κατατάσσεται με βάση το πρότυπο ISO 7730 στην κατηγορία C.

Μια σημαντική, επίκαιρη και πολύ κρίσιμη ερώτηση προκύπτει ως επίλογος της παρούσας έρευνας είναι η εξής: Αν κάποιος ερευνητής χρησιμοποιήσει τα εργαλεία πρόβλεψης και τα πρότυπα της θερμικής άνεσης σαν δεδομένα, μπορεί πρακτικά να επιτύχει θερμική άνεση σε ένα κτίριο και πώς μπορεί αυτή να την συνδυάσει με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας; Μια διττή ερώτηση, η οποία στις περισσότερες περιπτώσεις έχει δυο απαντήσεις, στα δύο αντίθετα άκρα. Η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας συνήθως επιτυγχάνεται σε κτίρια με φυσικό αερισμό, αλλά το εσωτερικό περιβάλλον μετά βίας είναι αποδεκτό από τους χρήστες. Στην αντίπερα όχθη, όταν υπάρχει κεντρικό σύστημα αερισμού και κλιματισμού ή τοπικές μονάδες θέρμανσης και ψύξης, οι συνθήκες είναι συνήθως σταθερές και αποδεκτές, αλλά η κατανάλωση ενέργειας αυξάνεται κατακόρυφα. Έτσι ο κάθε μηχανικός, πρέπει να βρει την ισορροπία σε αυτό το δίλλημα και να επιτύχει την βέλτιστη πρακτική λύση. Παρ' όλα αυτά, δεν είναι απίθανό να υπάρχουν λύσεις που να ικανοποιούν και τις δύο συνθήκες, με αρκετά παραδείγματα σε όλο τον κόσμο.

ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ/ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Bedford, T. (1964). Basic principles of Ventilation and Heating, London: H K Lewis & Co Ltd
- de Dear, R. (1998). 'A global database of thermal comfort field experiments', ASHRAE Transactions, 104 p.1142-1152
- de Dear, R. (2004). 'Thermal comfort in practice', Indoor Air, 14 (7) p.32-39
- de Dear, R. and Brager, G. S. (1998) 'Developing an adaptive model of thermal comfort and preference', ASHRAE Transactions, 104 p.145-167
- Fanger, P. O. (1970). Thermal Comfort, Copenhagen: Danish Technical Press
- Fanger, P. O. (1973). 'Assessment of man's thermal comfort in practice', British Journal of Industrial Medicine, 30 p.313-324
- Fanger, P. O. (1982)., Thermal Comfort, Robert E Krieger Publishing Company: Malabar
- Humphreys, M. A. (1976). 'Field studies of thermal comfort compared and applied', Building Services Engineer, 44 p.5-27
- Humphreys, M. A. (2005). 'Quantifying occupant comfort: are combined indices of the indoor environment practicable?', Building Research and Information, 33 (4) p.317-325
- Κοσμόπουλος, Π. (2005). Περιβαλλοντικός Σχεδιασμός, University Studio Press: Θεσσαλονίκη
- Κοσμόπουλος, Π. (2008). Κτίρια, Ενέργεια και Περιβάλλον, University Studio Press: Θεσσαλονίκη
- Olesen, B. W and Parsons, K. C. (2002). 'Introduction to thermal comfort standards and to the proposed new version of EN ISO 7730', Energy and Buildings, 34 p.537-548
- McIntyre, D. (1974). 'The thermal radiation field', Building Science, 9 p.247-262
- McIntyre, D. (1978). 'Seven point scales of warmth', Building Services Engineer, 45
- McIntyre, D. (1982). 'Chamber studies - reductio ad absurdum', Energy and Buildings, 5 p.89-96
- ASHRAE (2004) ANSI/ASHRAE Standard 55R – Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
- ISO (1998) ISO 7726 - Ergonomics of the Thermal Environment - Instruments for Measuring Physical Quantities, Geneva International Standard Organization
- ISO (2005), ISO 7730 - Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort, Geneva, International Standard Organization