

Διερεύνηση θερμικών απωλειών με θερμοκάμερα και πολύμετρο σε κτίρια γραφείων

Π. Κοσμόπουλος, Α. Καντζιούρα

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

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το αντικείμενο μελέτης της έρευνας είναι η διερεύνηση των θερμικών απωλειών τριών δημόσιων κτιρίων γραφείων, στην πόλη του ίδιου αστικού μικροκλίματος, στην Ξάνθη, τα οποία κατασκευάστηκαν σε διαφορετικές χρονικές περιόδους και επομένως διαφέρουν ως προς τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους. Τα κτίρια που επιλέχθηκαν έχουν κατασκευαστεί το 1880, το 1970 και το 2002.

Οι μετρήσεις έγιναν με θερμοκάμερα και πολύμετρο του Εργαστηρίου Περιβαλλοντικού και Ενεργειακού Σχεδιασμού Κτιρίων και Οικισμών. Η μέτρηση της θερμοκρασίας χαρακτηριστικών υλικών, εσωτερικά και εξωτερικά των κτιρίων, γινόταν το πρωί και το μεσημέρι (με χρονική διαφορά 3 ώρες), σε κάθε προσανατολισμό, σε σταθερά σημεία.

Μετά τη διαγραμματική απεικόνιση και επεξεργασία των μετρήσεων ακολούθησε η συγκριτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων και προέκυψε ότι το μεγάλο πάχος τοιχοποιίας των κτιρίων του προηγούμενου αιώνα, Κτίριο 1880, προσφέρει ικανοποιητική μόνωση. Το κτίριο που κατασκευάστηκε το 1970 με τον προηγούμενο οικοδομικό κανονισμό, παρόλες τις επεμβάσεις και ανακαινίσεις που έχουν γίνει, συνεχίζει να παρουσιάζει απώλειες θερμότητας λόγω ανεπαρκών και προβληματικών στοιχείων στη μόνωση. Το σύγχρονο κτίριο του 2002, παρουσιάζει μικρές θερμικές απώλειες, εξοικονομεί ενέργεια με εφαρμογή κατάλληλου συστήματος θέρμανσης-δροσίσιμου αλλά και συστημάτων που εξασφαλίζουν ικανοποιητικές συνθήκες άνεσης στο εσωτερικό, όπως περσίδες, διπλό υαλοστάσιο, διπλή είσοδος, εφαρμογή σύγχρονων κατασκευαστικών κανόνων.

Λέξεις κλειδιά: θερμοκάμερα, θερμική συμπεριφορά, θερμικές απώλειες

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εξοικονόμηση ενέργειας στον κτιριακό τομέα και η εφαρμογή κατάλληλων συστημάτων περιβαλλοντικού-βιοκλιματικού σχεδιασμού με στόχο της ελάττωση κατανάλωσης ενέργειας και την εξασφάλιση συνθηκών άνεσης στους χρήστες των κτιρίων αλλά και στο αστικό περιβάλλον, αποτελούν θέματα ανάπτυξης και σύγχρονου προβληματισμού.

Το μεγαλύτερο ποσοστό των πολεοδομικών συγκροτημάτων καλύπτεται από οικοδομήματα, τα οποία κατασκευάστηκαν σε προηγούμενες δεκαετίες χωρίς την οριοθέτηση συγκεκριμένων κατασκευαστικών προτύπων για τον περιορισμό των θερμικών απωλειών από το κέλυφος των κτιρίων και την εξοικονόμηση ενέργειας. Στόχος των σύγχρονων διατάξεων είναι η εφαρμογή κατάλληλων μέτρων για την βελτίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς των παλαιών οικοδομημάτων (αλλαγή κουφωμάτων, βελτίωση θερμομόνωσης κ.α.) και τον σχεδιασμό νέων κτιρίων χαμηλών

καταναλώσεων. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται μείωση θερμικών απωλειών, ελάττωση κατανάλωσης ενέργειας, εξασφάλιση χαμηλότερων εκπομπών θερμότητας από τις εξωτερικές επιφάνειες του κτιριακού κελύφους προς το αστικό περιβάλλον, έλεγχος της ποιότητας του αέρα από εκπομπές του κτιριακού τομέα και ελάττωση κατανάλωσης πρωτογενών πόρων.

Ο κτιριακός τομέας επιδρά σημαντικά στην ποιότητα του περιβάλλοντος (Kosmopoulos, 2008), καθώς ευθύνεται για μεγάλα ποσοστά επιφανειακής κάλυψης και χρήσης, κατανάλωση πρωτογενών υλικών, καθώς και παραγωγή αποβλήτων. Σημαντικό επίσης είναι το ποσοστό κάλυψης των ενεργειακών αναγκών των κτιρίων από μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και η εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου και άλλων αερίων ρύπων προς το περιβάλλον (Dimoudi, Tompa, 2008).

Η ετήσια κατανάλωση ενέργειας στην Ευρώπη σε κτίρια γραφείων κυμαίνεται από 100 σε 1000 kWh/m² (Caccaveli and Gugerli, 2002), αναλόγως της τοποθεσίας, της κατασκευής, των συστημάτων HVAC, του φωτισμού, του εξοπλισμού των γραφείων, του προγράμματος λειτουργίας κ.α. Ο μέσος όρος περίπου κατανάλωσης ενέργειας για κτίρια γραφείων στην Ελλάδα υπολογίζεται σε 187 kWh/m² (Spyropoulos, Balaras, 2011).

Η ανάγκη για βελτίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς των κτιρίων κρίνεται απαραίτητη, προκειμένου να βελτιωθεί η ενεργειακή συμπεριφορά, το περιβαλλοντικό αποτύπωμα τους, η μείωση κατανάλωσης ενέργειας, η εκπομπή ρύπων και θερμότητας και οδηγούν σε υποβάθμιση του φυσικού περιβάλλοντος (González, Díaza, Caamañoa, Wilbya, 2011) και του αστικού μικροκλίματος (Santamouris, 2001). Η εφαρμογή κατάλληλων συστημάτων μόνωσης συνεισφέρει ουσιαστικά στη καλή θερμική συμπεριφορά του κτιριακού κελύφους.

Στην παρούσα έρευνα γίνεται μελέτη τριών διαφορετικών κτιρίων που κατασκευάστηκαν σε διαφορετικές χρονικές περιόδους (Κτίριο-1880, Κτίριο-1970, Κτίριο-2002) με διαφορετικά κατασκευαστικά πρότυπα. Σε κάθε κτίριο εξετάζεται οι τοιχοποιία, το υαλοστάσια και το κούφωμα (ξύλινο ή αλουμινίου) συναρτήσει της εξωτερικής θερμοκρασίας του αέρα και της θερμοκρασίας του εσωτερικού χώρου. Για κάθε υλικό μελετάται η θερμική αντίδρασή του κατά τις πρωινές και μεσημβρινές ώρες, ανάλογα με την εποχή του έτους και τον προσανατολισμό της όψης του κτιρίου.

Στόχος της έρευνας είναι να μελετήσει τη θερμική συμπεριφορά των τριών κτιρίων, προκειμένου να εξάγει συμπεράσματα για την θερμική αντίδραση των υλικών του κτιριακού κελύφους συναρτήσει της θερμοκρασίας του αέρα και να προτείνει κάποιες ενδεικτικές προτάσεις βελτίωσης της θερμικής συμπεριφοράς που θα βελτιστοποιήσουν, κατά επέκταση, και την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων.

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΕΞΑΓΩΓΗΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε τρία διαφορετικά κτίρια, ως προς τα τεχνικά χαρακτηριστικά και την ημερομηνία κατασκευής τους. Τα κτίρια που επιλέχθηκαν κατασκευάστηκαν το 1880 (Δημαρχείο), το 1970 (Δημοτικό Αμφιθέατρο) και το 2002 (Γραφεία Τράπεζας).

Κατά τη μελέτη γίνεται ανάλυση του τρόπου σχεδιασμού των κτιρίων, των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή τους, τη θερμική συμπεριφορά του κελύφους τους και τις εσωτερικές και εξωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούσαν κατά την διάρκεια των μετρήσεων. Στόχος είναι η εκτίμηση της θερμικής συμπεριφοράς του κτιριακού κελύφους.

Μελετήθηκαν σταθερά σημεία του κελύφους των τριών κτηρίων, σε τρεις προσανατολισμούς, στην εσωτερική και εξωτερική τους όψη, με χρονικό διάστημα μεταξύ των μετρήσεων τρεις ώρες. Κατά την διεξαγωγή των μετρήσεων παρατηρήθηκαν οι θερμοκρασιακές διακυμάνσεις των υλικών του κελύφους και μελετήθηκε η θερμική φόρτιση και αποφόρτισή τους στην διάρκεια της ημέρας, ανάλογα με την εποχή του έτους και τον προσανατολισμό του σημείου μέτρησης. Οι μετρήσεις της επιφανειακής θερμοκρασίας των υλικών διεξήχθησαν με θερμοκάμερα και η μέτρηση των εσωτερικών και εξωτερικών περιβαλλοντικών συνθηκών (θερμοκρασία αέρα, σχετική υγρασία, ταχύτητα αέρα, ατμοσφαιρική πίεση, ροή θερμότητας, ρυθμός ροής, θερμοκρασία υγρού βόλβου και σημείο δρόσου) με πολύμετρο.

3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΤΙΡΙΩΝ

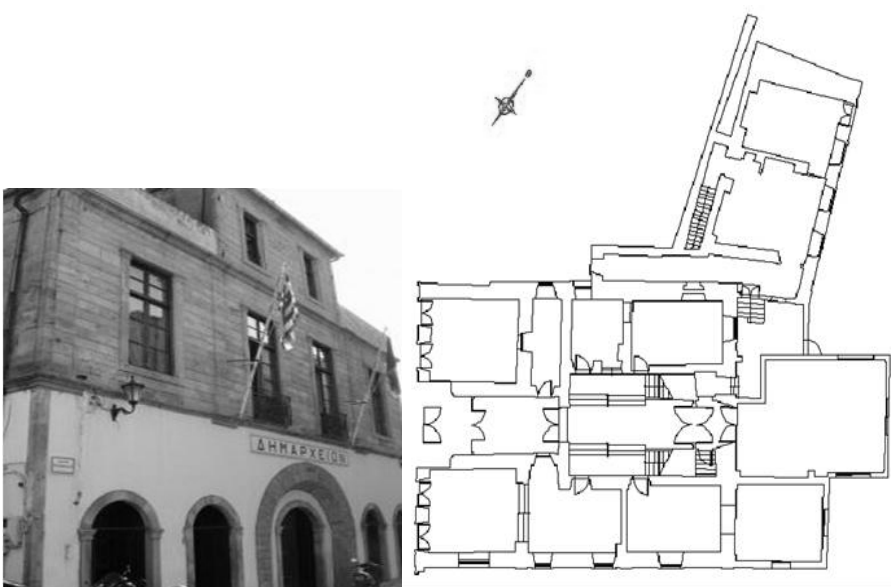
Τα κτίρια επιλέχθηκαν με βάση την χρονική περίοδο κατασκευής τους και κατά επέκταση τις κατασκευαστικές ιδιαιτερότητες που τα χαρακτηρίζει και τα διαφοροποιεί μεταξύ τους.

3.1 Κτίριο-1880

Το Δημαρχείο Ξάνθης είναι διώροφο κτίσμα, οικοδομημένο γύρω στο 1880 και βρίσκεται στην Παλιά Πόλη της Ξάνθης. Ο περιβάλλον χώρος του κτιρίου στην Βορειοανατολική όψη είναι πλακόστρωτος δρόμος που χωρίζει το Δημαρχείο από το απέναντι κτίριο, στη Βορειοδυτική όψη υπάρχει μικρός χώρος στάθμευσης και πλακόστρωτος δρόμος ανάμεσα στο Δημαρχείο και το απέναντι κτίσμα, ενώ στη Νοτιοδυτική όψη υπάρχει μικρή αυλή που σκιάζεται από διπλανό κτίσμα.

Το κτίριο είναι επενδυμένο με ροδίζουσα πέτρα. Τα κουφώματα στο ισόγειο είναι σιδερένια, ενώ στα παράθυρα του ορόφου υπάρχουν χυτοσίδηρα κιγκλιδώματα. Οι πόρτες στην πρόσοψη του Δημαρχείου διαθέτουν σιδερένια κουφώματα με διακοσμήσεις και καμπύλες αψίδες κατασκευασμένες από πράσινο γρανίτη και ροδόχρωμη πέτρα.

Η εξωτερική τοιχοποιία της Βορειοδυτικής όψης έχει πάχος 90cm και η εσωτερική 60cm. Η Νοτιοδυτική όψη αποτελεί μέρος της αναστήλωσης-ανάπλασης και τροποποίησης των χρήσεων του κτιρίου που έγινε το 1992 και διαφοροποιείται ως προς το πάχος της τοιχοποιίας (μικρότερο από το υπόλοιπο κτίριο) (Σχήμα 1). Το χειμώνα τα γραφεία χρησιμοποιούν κεντρικό σύστημα θέρμανσης και το καλοκαίρι για δροσισμό διαθέτουν κλιματιστικά, ανάλογα με το μέγεθος του χώρου.



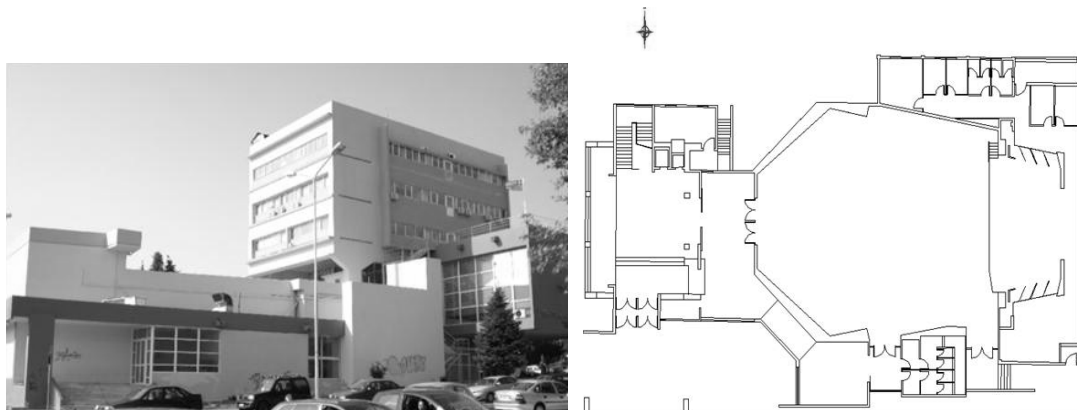
Σχήμα 1: Κτίριο-1880 και Κάτοψη του ορόφου μελέτης. Διακρίνεται στην κάτοψη το μεγάλο πάχος τοιχοποιίας και η επέκταση στα Νότιο-Δυτικά με μικρότερο πάχος τοιχοποιίας

3.2 Κτίριο-1970

Το Δημοτικό Αμφιθέατρο, βρίσκεται πλησίον πλατείας και καμιά όψη του δεν εφάπτεται σε άλλα κτήρια. Βόρεια και Νότια υπάρχει ελεύθερος χώρος και παρακαείμενα δέντρα που σκιάζουν το κτίριο.

Το κτίριο του Αμφιθεάτρου κατασκευάστηκε το 1970 και ανακαινίστηκε το 2003. Στο ισόγειο του κτηρίου βρίσκεται το Δημοτικό Αμφιθέατρο και πάνω από αυτό υπάρχουν άλλοι πέντε όροφοι.

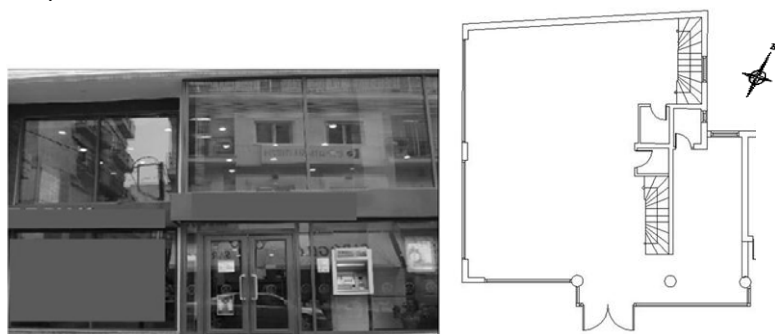
Κατά την ανακαίνιση του 2003 αντικαταστάθηκαν τα κουφώματα με κουφώματα αλουμινίου και επενδύθηκε η τοιχοποιία εσωτερικά με γυψοσανίδα. Το δάπεδο είναι μαρμάρινο. Ο περιβάλλον χώρος είναι καλυμμένος με πλάκες πεζοδρομίου.



Σχήμα 2: Κτίριο-1970 και Κάτοψη του ορόφου μελέτης

3.3 Κτίριο-2002

Το σύγχρονο κτίριο που μελετάται κατασκευάστηκε το 2002 και στο ισόγειο στεγάζονται γραφεία τράπεζας. Οι όψεις του ισογείου είναι διπλό υαλοστάσιο με κούφωμα αλουμινίου, το δάπεδο είναι επενδυμένο με γρανίτη ενώ ως σύστημα θέρμανσης/κλιματισμού χρησιμοποιεί τεχνολογία κλιματιστικών inverter.



Σχήμα 3: Κτίριο-2002 και Κάτοψη ορόφου μελέτης

Η Νοτιοδυτική όψη έχει μπροστά της ελεύθερο χώρο, η Νότια μπροστά της έχει πεζοδρόμιο και ασφαλτοστρωμένο δρόμο που τη χωρίζει από το απέναντι κτίριο, ενώ στα Νοτιοανατολικά είναι καλυμμένη με πλάκες πεζοδρομίου που χωρίζει το κτίριο από το επόμενο κτίριο.

Η κεντρική είσοδος αποτελείται από δύο πόρτες για να εξασφαλίζεται μείωση των θερμικών απωλειών.

Οι διαφανείς επιφάνειες του κτιρίου είναι σταθερά υαλοστάσια που αποτελούνται από διπλά τζάμια με κουφώματα αλουμινίου. Το χαρακτηριστικό αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό καθώς επηρεάζει την θερμική συμπεριφορά του κτιρίου. Οι επιφάνειες αυτές καλύπτουν τη Νότια όψη (είσοδος ισογείου), τη Νοτιοδυτική όψη και ένα μικρό μέρος της Νοτιοανατολικής. Σε όλα τα ανοίγματα του κτιρίου υπάρχει δυνατότητα σκίασης μέσω μεταλλικών περσίδων που υπάρχουν στην εσωτερική πλευρά.

Η τοιχοποιία είναι οπτοπλινθοδομή με μόνωση. Η θερμομόνωση του κτιρίου, όπως και η τοιχοποιία του, μπορεί να χαρακτηριστεί σαν τυπική για ένα σύγχρονο κτίριο με φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα.

4. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Κατά την επεξεργασία των μετρήσεων έγινε διαγραμματική απεικόνιση:

- της μεταβολής της θερμοκρασίας του κάθε υλικού συναρτήσει της θερμοκρασίας του αέρα, εσωτερικά και εξωτερικά για κάθε κτίριο, σε κάθε προσανατολισμό ξεχωριστά
- της μεταβολής της διαφοράς θερμοκρασίας των υλικών μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας συναρτήσει της διαφοράς θερμοκρασίας αέρα εσωτερικά και εξωτερικά
- της μεταβολής της διαφοράς θερμοκρασίας των υλικών μεταξύ πρωινής και μεσημεριανής μέτρησης συναρτήσει της διαφοράς θερμοκρασίας του αέρα.

Από την επεξεργασία των δεδομένων προέκυψαν συμπεράσματα σχετικά με τη θερμοκρασιακή διακύμανση και θερμική συμπεριφορά της επιφανειακής θερμοκρασίας των υλικών, εσωτερικά και εξωτερικά του κτιρίου, καθώς και κατά την διάρκεια της ημέρας όπου το κέλυφος του κτιρίου φορτίζεται/αποφορτίζεται θερμικά λόγω ηλιακής ακτινοβολίας, προσανατολισμού, μεταβολής της θερμοκρασίας του αέρα.

Ακόμα έγινε μελέτη του τρόπου θερμικής μεταβολής των θερμοκρασιακών μεταβολών εσωτερικά-εξωτερικά και πρωινής-μεσημβρινής μέτρησης, ανάλογα με τον προσανατολισμό της όψης του κτιρίου και την εποχή που διεξήχθη η μέτρηση.

5. ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΩΝ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΕΩΝ

5.1 Κτίριο-1880

Παρατηρείται ότι όλα τα υλικά σε όλους τους προσανατολισμούς, την διάρκεια του τυπικού χειμώνα έχουν μεγαλύτερη θερμοκρασία εσωτερικά του κτιρίου, ενώ τους εαρινούς-θερινούς μήνες παρουσιάζουν μεγαλύτερη θερμοκρασία εξωτερικά. Επίσης, κατά τη μεσημβρινή μέτρηση παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας όλων των υλικών.

Τέλος, ο τοίχος (αυξημένου πάχους) σε όλους τους προσανατολισμούς είναι πάντα ψυχρότερος από τα υπόλοιπα υλικά, ενώ θερμότερο είναι το υαλοστάσιο.

5.2 Κτίριο-1970

Κατά τη μεσημεριανή μέτρηση παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας όλων των υλικών του Κτιρίου-1970.

Το υαλοστάσιο εσωτερικά σε όλους τους προσανατολισμούς είναι το θερμότερο από τα υπόλοιπα υλικά κατά την πρωινή μέτρηση. Ακόμα, το υαλοστάσιο εξωτερικά τόσο στις πρωινές όσο και στις μεσημβρινές μετρήσεις έχει υψηλότερη θερμοκρασία από τον τοίχο σε όλους τους προσανατολισμούς.

Στη Βόρεια όψη του Αμφιθεάτρου η θερμοκρασία του τοίχου είναι μεγαλύτερη εσωτερικά κατά τους χειμερινούς μήνες και μικρότερη κατά τους θερινούς.

Όσο αναφορά τη θερμοκρασία μεταξύ υαλοστασίου και αλουμινίου παρατηρείται ότι εξωτερικά η θερμοκρασία του αλουμινίου είναι μεγαλύτερη από το υαλοστάσιο το χειμώνα και μικρότερη το καλοκαίρι. Ο τρόπος με τον οποίο μεταβάλλεται η θερμοκρασία του υαλοστασίου, παρατηρήθηκε ότι επηρεάζεται τόσο από την θερμοκρασία του αέρα του εξωτερικού περιβάλλοντος χώρου όσο και από την θερμοκρασία του εσωτερικού του κτιρίου.

Επίσης, στη Νότια όψη η εξωτερική θερμοκρασία του αλουμινίου είναι μεγαλύτερη του υαλοστασίου το καλοκαίρι. Το αλουμίνιο επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τη διάρκεια του ηλιασμού, καθώς η διάρκεια που είναι εκτεθειμένο στην ηλιακή ακτινοβολία επηρεάζει το βαθμό που αυτό φορτίζεται θερμικά, με αποτέλεσμα στην αύξηση της θερμοκρασίας του.

5.3 Κτίριο-2002

Παρατηρείται ότι όλα τα υλικά σε όλους τους προσανατολισμούς, την διάρκεια του τυπικού χειμώνα έχουν μεγαλύτερη θερμοκρασία εσωτερικά του κτιρίου, ενώ τους εαρινούς-θερινούς μήνες παρουσιάζουν μεγαλύτερη θερμοκρασία εξωτερικά. Επίσης, το αλουμίνιο σε κάθε περίπτωση είναι θερμότερο από τα υπόλοιπα υλικά.

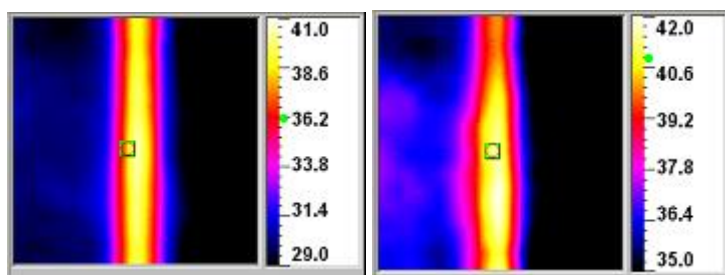
Στη τοιχοποιία της Νοτιοανατολικής πλευράς παρατηρείται σχετικά μικρή αύξηση της θερμοκρασίας το μεσημέρι σε σχέση με την ελάττωση της θερμοκρασίας του αλουμινίου και του υαλοστασίου από τις πρωινές ώρες. Η πτώση αυτή οφείλεται στην αλλαγή θέσης του ηλίου και στο σκιασμό από τα παρακείμενα κτίρια, που επιδρά στη θερμοκρασία του αλουμινίου και του υαλοστασίου. Στους υπόλοιπους προσανατολισμούς, όλα τα υλικά παρουσιάζουν άνοδο της θερμοκρασίας κατά τη μεσημβρινή μέτρηση, εσωτερικά και εξωτερικά του κτιρίου.

6. ΘΕΡΜΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΥΛΙΚΩΝ

Οι θερμοκρασιακές διακυμάνσεις των υλικών του κελύφους οφείλονται στα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά (π.χ. πάχος, θερμομόνωση, παλαιότητα) και σε περιβαλλοντικούς παράγοντες, όπως θερμοκρασία του εσωτερικού και εξωτερικού αέρα και η διάρκεια ηλιασμού. Επίσης σημαντικό ρόλο παίζει ο προσανατολισμός του κτιρίου, αφού είναι ο κύριος παράγοντας που καθορίζει την χρονική διάρκεια θερμικής φόρτισης του κτιρίου.

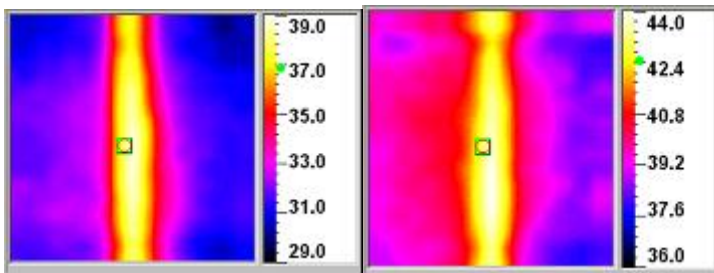
Συγκεκριμένα, το αλουμίνιο επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την διάρκεια ηλιασμού. Στα σχήματα 4 και 5, παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας του αλουμινίου και του υαλοστασίου, μεταξύ της πρωινής και μεσημβρινής μέτρησης που μπορεί να φτάσει τους 3-5°C για το αλουμίνιο και 4-7°C για το υαλοστάσιο (Κτίριο-2002). Όσο αυξάνει η έκθεση του αλουμινίου σε συνθήκες ηλιοφάνειας, φορτίζεται θερμικά και αυξάνει η θερμοκρασία του.

Στις θερμοφωτογραφίες του σχήματος 4, ενδεικτικά, παρατηρείται μία αύξηση της θερμοκρασίας του υαλοστασίου κατά 5,2 °C και του αλουμινίου 4,1°C, για αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα κατά 8°C.



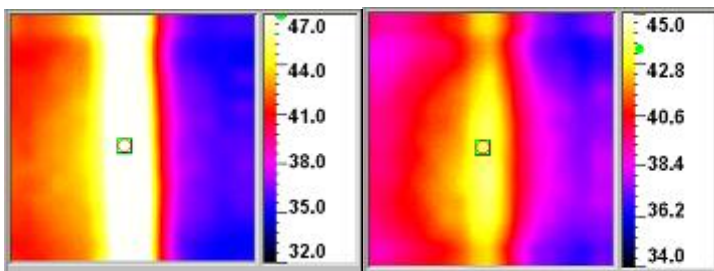
Σχήμα 4: Θερμοφωτογραφίες (23/4, Κτίριο-2002, Νότια όψη). Αύξηση της θερμοκρασίας του αλουμινίου και του υαλοστασίου μετά από τρεις ώρες.

Στο σχήμα 5, παρατηρείται αντίστοιχα αύξηση της θερμοκρασίας του υαλοστασίου κατά 7,6°C και του αλουμινίου 5,5°C, για αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα μεταξύ πρωινής και μεσημβρινής μέτρησης κατά 11,8°C.



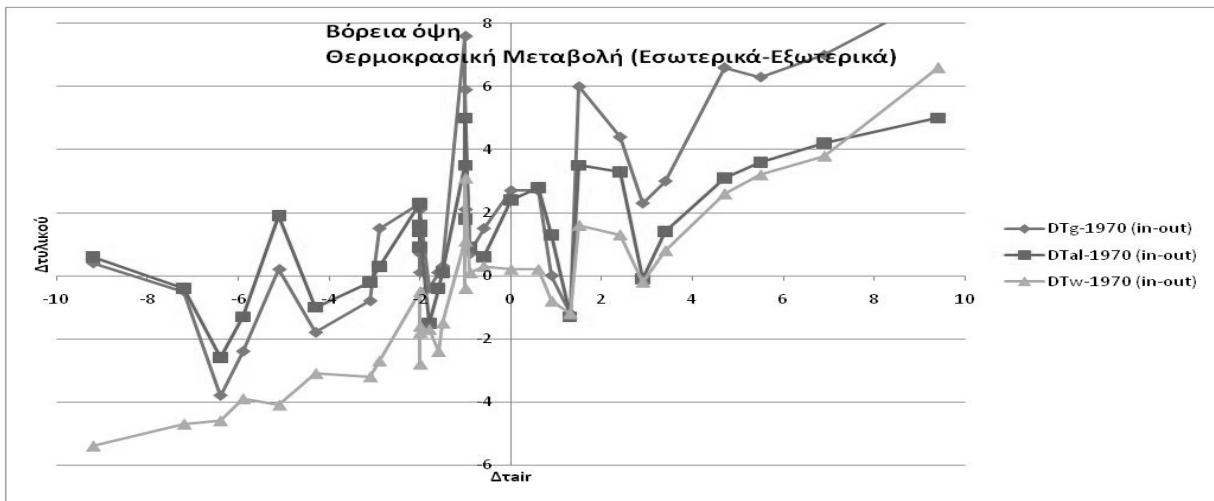
Σχήμα 5: Θερμοφωτογραφίες (4/6, Κτίριο-2002, Νότια όψη). Αύξηση της θερμοκρασίας του αλουμινίου και του υαλοστασίου μετά από τρεις ώρες.

Αντίθετα, στις θερμοφωτογραφίες του σχήματος 6, παρατηρείται μείωση της επιφανειακής θερμοκρασίας των υλικών στην εξωτερική πλευρά της Νότιο-Ανατολικής όψης του Κτιρίου-2002. Ενώ η θερμοκρασία του αέρα σημειώνει αύξηση κατά $2,5^{\circ}\text{C}$, η θερμοκρασία του υαλοστασίου και του αλουμινίου ελαττώνονται κατά $1,1^{\circ}\text{C}$ και $8,4^{\circ}\text{C}$, αντίστοιχα.



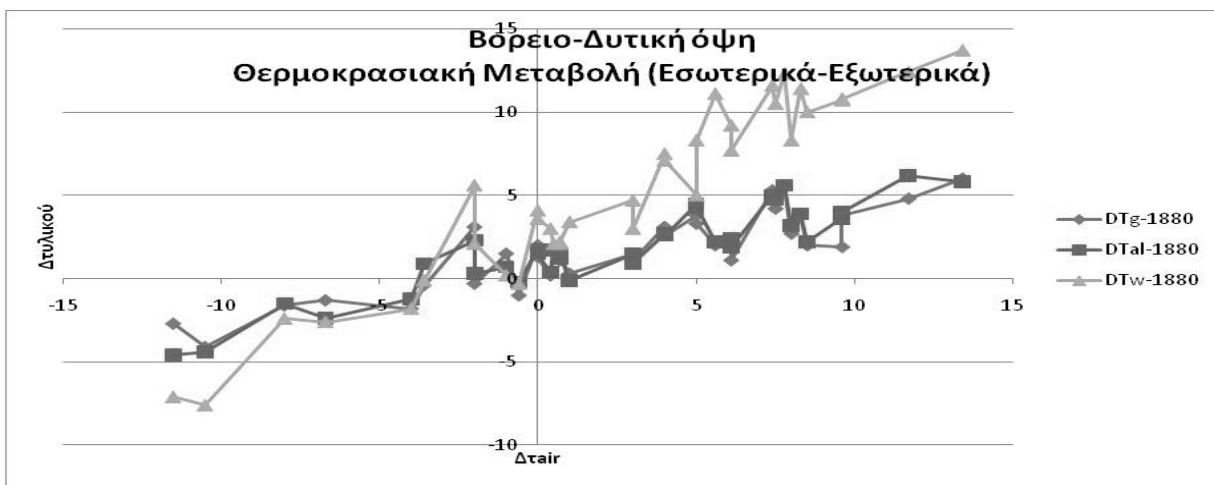
Σχήμα 6: Θερμοφωτογραφίες (16/7, Κτίριο-2002, Νότιο-Ανατολική όψη, εξωτερικά). Μείωση της θερμοκρασίας του αλουμινίου και του υαλοστασίου μετά από τρεις ώρες, καθώς μεταβλήθηκαν οι συνθήκες ηλιασμού. Στη Νότιο-Ανατολική όψη κατά την μεσημβρινή μέτρηση, η πρόσοψη σκιαζόταν.

Το υαλοστάσιο και το αλουμίνιο ακολουθούν παρόμοια συμπεριφορά ως προς τον τρόπο της θερμοκρασιακής τους μεταβολής σε σχέση με τις μεταβολές της θερμοκρασίας του αέρα (Διάγραμμα 1), ενώ ο τοίχος παρουσιάζει διαφορετική θερμική αντίδραση ως προς τον τρόπο που μεταβάλλεται η θερμοκρασία του καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία του αέρα. Επίσης, η θερμοκρασία του τοίχου σε κάθε περίπτωση (διαφορετικά κτίρια, διαφορετικοί προσανατολισμοί, εσωτερικά-εξωτερικά, πρωινή-μεσημβρινή μέτρηση) είναι χαμηλότερη συγκριτικά με τα υπόλοιπα υλικά (υαλοστάσιο, αλουμίνιο, ξύλο) που εξετάζονται.



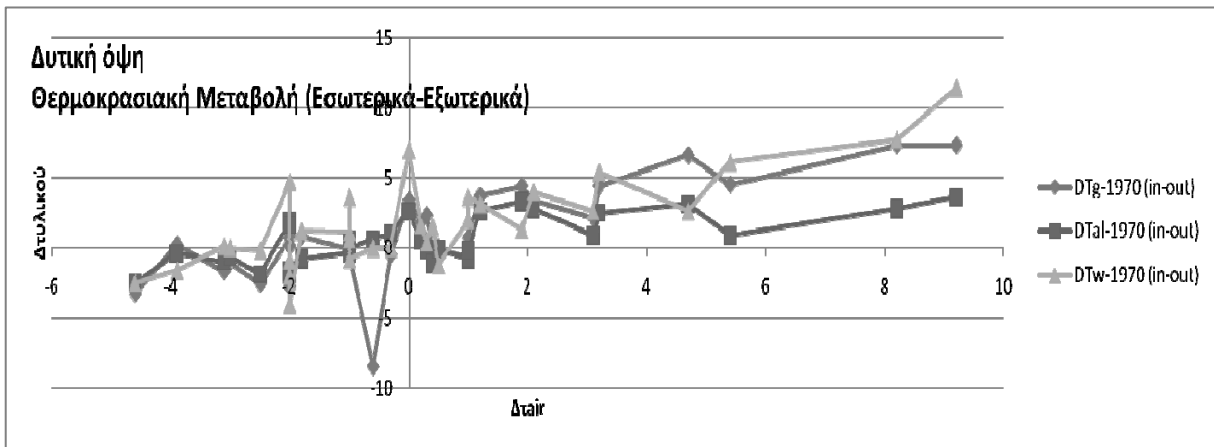
Διάγραμμα 1: Θερμοκρασιακές διαφορές υλικών Κτιρίου-1970 στη Βόρεια όψη, εσωτερικά και εξωτερικά, συναρτήσει της θερμοκρασιακής διαφοράς του αέρα στο σύνολο των μετρήσεων, όπως καταγράφηκαν από την θερμοκάμερα και το πολύμετρο.

Η τοιχοποιία με μεγάλο πάχος του Δημαρχείου αποτελεί αποτελεσματικό τρόπο μόνωσης του κτιρίου, όπως παρατηρήθηκε από τις μεγάλες θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας του τοίχου (Διάγραμμα 2).



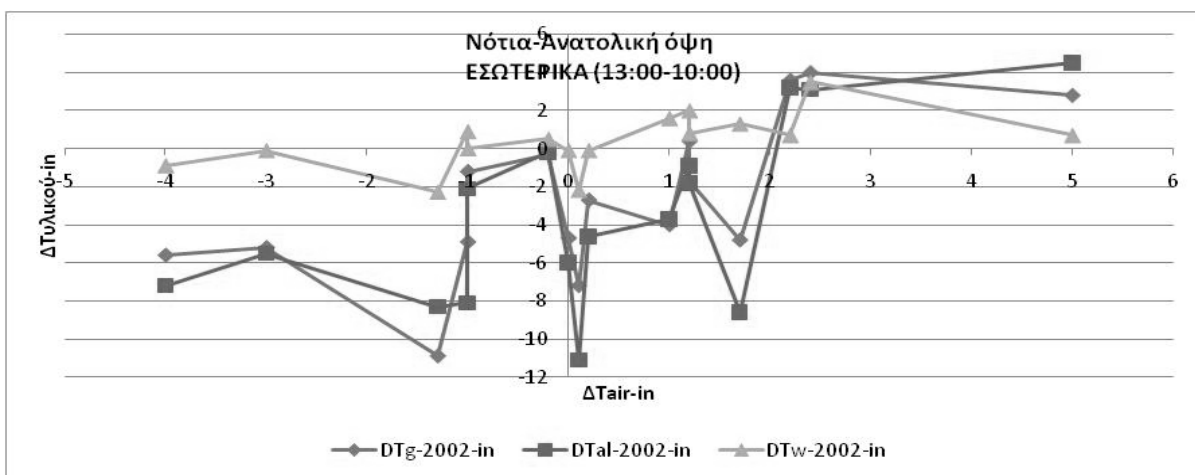
Διάγραμμα 2: Θερμοκρασιακές διαφορές υλικών Κτιρίου-1880 στη Βορειοδυτική όψη, εσωτερικά και εξωτερικά, συναρτήσει της θερμοκρασιακής διαφοράς του αέρα στο σύνολο των μετρήσεων, όπως καταγράφηκαν από την θερμοκάμερα και το πολύμετρο.

Αντίθετα, στο Κτίριο-1970, στη Δυτική όψη παρουσιάζονται προβλήματα στη θερμομόνωση όπως διαπιστώθηκε από τις θερμοφωτογραφίες και από τη μελέτη της διακύμανσης της επιφανειακής θερμοκρασίας, εσωτερικά και εξωτερικά, συναρτήσει της θερμοκρασίας του αέρα (Διάγραμμα 3)



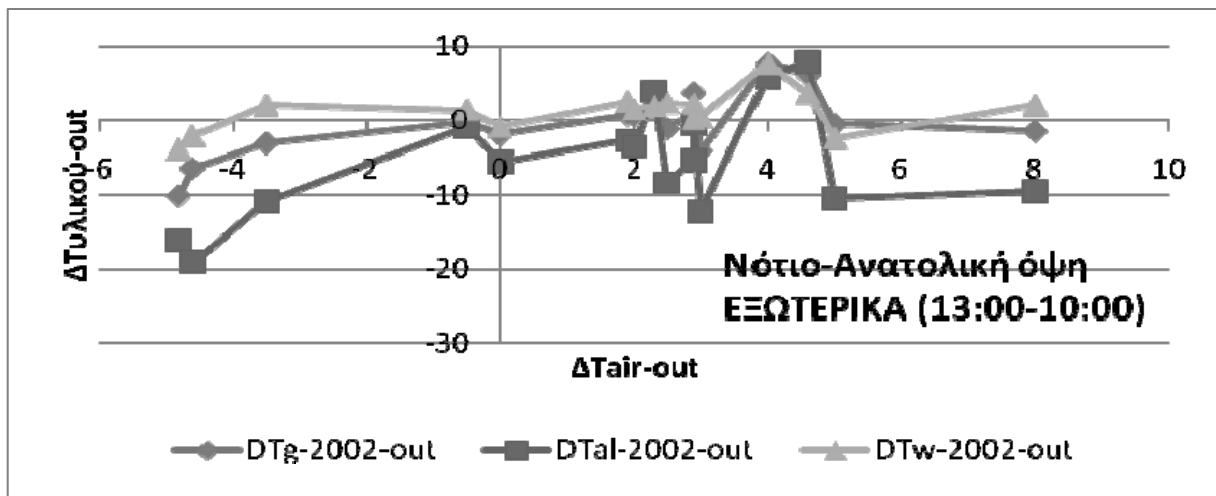
Διάγραμμα 3: Θερμοκρασιακές διαφορές υλικών Κτιρίου-1970 στη Δυτική όψη, εσωτερικά και εξωτερικά, συναρτήσει της θερμοκρασιακής διαφοράς του αέρα στο σύνολο των μετρήσεων, όπως καταγράφηκαν από την Θερμοκάμερα και το πολύμετρο.

Η εσωτερική θερμοκρασία στη τοιχοποιία του σύγχρονου κτιρίου, δεν παρουσιάζει μεγάλες θερμοκρασιακές μεταβολές μεταξύ της πρωινής και της μεσημβρινής μέτρησης. Δεδομένου ότι η θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό του κυμαίνεται σταθερά στους 20-22°C, συμπεραίνεται ότι η μόνωση της τοιχοποιίας είναι ιδιαίτερα ικανοποιητική (Διάγραμμα 4).



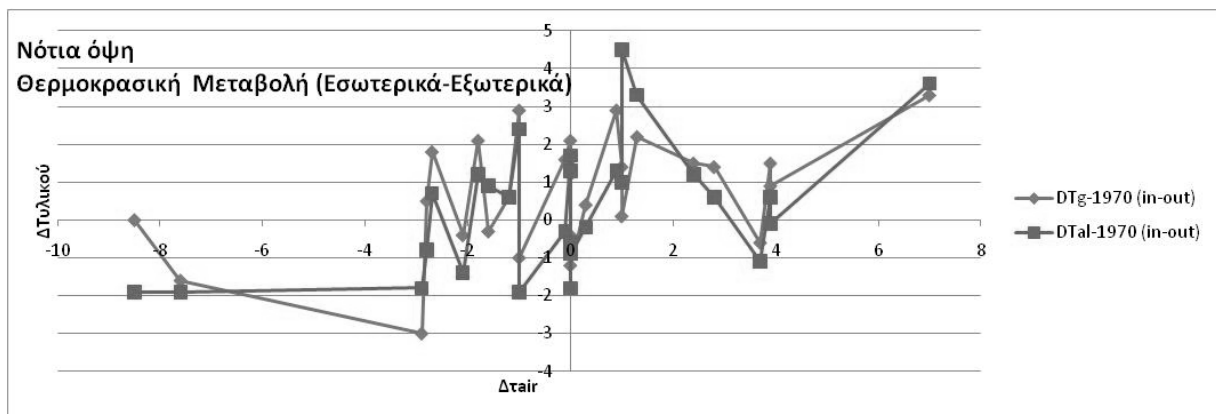
Διάγραμμα 4: Θερμοκρασιακές διαφορές υλικών Κτιρίου 2002, στη Νότιο-Ανατολική όψη, εσωτερικά, μεταξύ 10:00 και 13:00, συναρτήσει της θερμοκρασιακής διαφοράς του αέρα στο σύνολο των μετρήσεων, όπως καταγράφηκαν από την θερμοκάμερα και το πολύμετρο.

Επίσης, οι επιφανειακές θερμοκρασίες στη Νότιο-Ανατολική όψη του Κτιρίου-2002, είναι στο σύνολό τους χαμηλότερες κατά τη μεσημβρινή μέτρηση ($\Delta T < 0$), γεγονός που οφείλεται στον προσανατολισμό και στην επίδραση από την σκίαση γειτονικών κτισμάτων (Διάγραμμα 5).



Διάγραμμα 5: Θερμοκρασιακές διαφορές υλικών Κτιρίου 2002, στη Νότιο-Ανατολική όψη, εξωτερικά, μεταξύ 10:00 και 13:00, συναρτήσεως της θερμοκρασιακής διαφοράς του αέρα στο σύνολο των μετρήσεων, όπως καταγράφηκαν από την θερμοκάμερα και το πολύμετρο.

Σε σχέση με τα άλλα δύο κτίρια, το κτίριο που κατασκευάστηκε το 2002, παρουσιάζει τις μεγαλύτερες μέγιστες θερμοκρασίες, υαλοστασίου, αλουμινίου και τοίχου, καθώς και τις μεγαλύτερες διαφορές θερμοκρασίας αέρα μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας υλικού, (Διάγραμμα 6). Δηλαδή, δεν αλληλοεπηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό η εσωτερική και εξωτερική θερμοκρασία των υλικών, γεγονός που οφείλεται στην καλή μόνωση.



Διάγραμμα 6: Θερμοκρασιακές διαφορές υλικών Κτιρίου 2002 στη Νότια όψη, εσωτερικά και εξωτερικά, συναρτήσεως της θερμοκρασιακής διαφοράς του αέρα στο σύνολο των μετρήσεων, όπως καταγράφηκαν από την θερμοκάμερα και το πολύμετρο.

7. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ

Για τη βελτίωση της θερμικής συμπεριφοράς των κτιρίων που μελετήθηκαν και διαπιστώθηκαν προβλήματα θερμομόνωσης με αποτέλεσμα θερμικές απώλειες από το κτιριακό κέλυφος, προτείνεται ενίσχυση της θερμομόνωσης και αντικατάσταση των κουφωμάτων.

Για το Κτίριο-1880, μπορεί να τοποθετηθεί εσωτερική θερμομόνωση στις όψεις που παρατηρούνται κατασκευαστικές ατέλειες που οδηγούν στη δημιουργία θερμογεφυρών και σε απώλειες θερμότητας. Προτείνεται εσωτερική θερμομόνωση ώστε να μην αλλοιωθεί η

αρχιτεκτονική όψη του κτίσματος, στη Νότιο-Δυτική όψη (μεταγενέστερη επέκταση, 1992), η οποία παρουσιάζει και τα προβλήματα. Οι υπόλοιπες όψεις, χαρακτηρίζονται από τοιχοποιία μεγάλου πάχους, η οποία προσφέρει πλήρως ικανοποιητική μόνωση στο κτίριο και οποιαδήποτε επέμβαση θα αλλοίωνε τις θερμοφυσικές της ικανότητες. Ακόμα, προτείνεται η αντικατάσταση των κουφωμάτων, με άλλα διπλού υαλοστασίου, με χαμηλό συντελεστή θερμοπερατότητας.

Για το Κτίριο-1970, μπορεί να ενισχυθεί η θερμομόνωση εσωτερικά και εξωτερικά π.χ. με εξηλασμένη πολυστερίνη 3cm, και εξωτερικά πάνω από την ενίσχυση να τοποθετηθεί επένδυση.

Το Κτίριο-2002, σε σχέση με τα άλλα δύο κτίρια, θεωρείται ότι παρουσιάζει βελτιωμένη θερμική συμπεριφορά, αφού αξιοποιούνται ενεργειακά οι ιδιότητες του διπλού υαλοστασίου, εξοικονομείται ενέργεια από το σύστημα θέρμανσης/δροσισμού που είναι εγκατεστημένο και ικανοποιεί τις ανάγκες χρήσης κτιρίων γραφείων, ενώ ταυτόχρονα προστατεύεται θερμικά το εσωτερικό του κτιρίου προσφέροντας ικανοποιητικές συνθήκες άνεσης με τη χρήση μεταλλικών περσίδων που αποτρέπουν φαινόμενα έντονου ηλιασμού και με τη χρήση της διπλής πόρτας (ανεμοφράκτης).

Οι επεμβάσεις που μπορούν να γίνουν στα παραπάνω κτίρια (διπλό υαλοστάσιο, τοποθέτηση/ενίσχυση της εσωτερικής ή και εξωτερικής μόνωσης, κρίνεται ότι έχει ελάχιστο κόστος, σε σχέση με τα προσδοκώμενα αποτελέσματα για εξοικονόμηση ενέργειας. Οποιαδήποτε επέμβαση είναι απαραίτητο να γίνει έπειτα από κατάλληλη μελέτη, που να σέβεται τα ιδιαίτερα αρχιτεκτονικά γνωρίσματα των κτιρίων και ταυτόχρονα με επιλογή επεμβάσεων και υλικών που θα βελτιώσουν αποτελεσματικά την ενεργειακή συμπεριφορά των κτιρίων μελέτης.

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Η τοιχοποιία με μεγάλο πάχος του Δημαρχείου προσφέρει αρκετά ικανοποιητική μόνωση. Τα προβλήματα που παρουσιάζονται ως προς την θερμική συμπεριφορά του κτηρίου και που οδηγούν σε απώλειες θερμότητας και κατανάλωση ενέργειας, οφείλονται στην παλαιότητα των κουφωμάτων και στην έλλειψη ορθολογιστικού ανασχεδιασμού του εσωτερικού του κτιρίου, στη Νότιο-Δυτική επέκταση.

Στο Κτίριο-1970, δημιουργούνται θερμικές γέφυρες που οδηγούν σε απώλειες θερμότητας και σε κατανάλωση περισσότερης ενέργειας για θέρμανση και δροσισμό.

Τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του σύγχρονου κτιρίου, υαλοστάσιο με κούφωμα αλουμινίου και τοιχοποιία με μόνωση, σε συνδυασμό με το σύστημα θέρμανσης/δροσισμού που χρησιμοποιείται, έχουν ως αποτέλεσμα μικρές θερμικές απώλειες και εξοικονόμηση ενέργειας. Επιπλέον, οι προστατευτικές περσίδες στους υαλοπίνακες αποτρέπουν φαινόμενα ηλιασμού που θα προκαλούσαν αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα στο εσωτερικό και μείωση του αισθήματος θερμικής άνεσης. Τέλος πρέπει να αναφερθεί ο ρόλος της διπλής πόρτας στην είσοδο της τράπεζας με σκοπό τη θερμική προστασία του χώρου η οποία πετυχαίνει την αποφυγή δυσάρεστων θερμικών αισθημάτων.

Έτσι, προκύπτει ότι οι πιο αυστηροί κανονισμοί θερμομόνωσης συντελούν στην εξασφάλιση άνετων συνθηκών διαβίωσης, στην ελάττωση των θερμικών απωλειών του κτιριακού κελύφους και στην εξοικονόμηση ενέργειας. Η εφαρμογή μέτρων που θα συμβάλλουν στην βελτίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς των κτιρίων κρίνεται επιτακτική ανάγκη, γεγονός που αντικατοπτρίζεται στις προσπάθειες τροποποίησης και βελτίωσης των κατασκευαστικών κανόνων δόμησης και στην τροποποίηση των εθνικών νομοθετικών διατάξεων ώστε να επιτευχθεί μείωση των θερμικών απωλειών, εξοικονόμηση ενέργειας, ελάττωση της κατανάλωσης πρωτογενών πόρων από τον κτιριακό τομέα και περιορισμός της υποβάθμισης του φυσικού και αστικού περιβάλλοντος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Bougiatioti F., Evangelinos E., Poulakos G., Zacharopoulos E., (2009), The summer thermal behaviour of “skin” materials for vertical surfaces in Athens, Greece as a decisive parameter for their selection, *Solar Energy*, Volume 83, Issue 4, Pages 582-598
- Caccaveli D. and Gugerli H., (2002), TOBUS—a European diagnosis and decision-making tool for office building upgrading, *Energy and Buildings* 34 (2), pp. 113–119.
- Claes G. Granqvist, (2007), Transparent conductors as solar energy materials: A panoramic review *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Volume 91, Issue 17, Pages 1529-1598
- Dimoudi, A., Tompa, C., (2008), Energy and environmental indicators related to construction of office buildings, *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 53, Issues 1-2, Pages 86-95
- González A.B.R, Díaza J.J.V., Caamaño A.J., Wilbya M.R. (2011), Towards a universal energy efficiency index for buildings, *Energy and Buildings*, Volume 43, Issue 4, Pages 980-987
- Haralambopoulos D.A., and Paparsenos G.F., (2008), Assessing the thermal insulation of old buildings—The need for in situ spot measurements of thermal resistance and planar infrared thermography, *Energy Conversion and Management*, Volume 39, Issues 1-2, Pages 65-79
- Karlessi T., Santamouris M., Apostolakis K., Synnefa A., Livada I., (2009) Development and testing of thermochromic coatings for buildings and urban structures, *Solar Energy*, Volume 83, Issue 4, Pages 538-551
- Kosmopoulos, P. (Ed.) (2008), *Buildings, Energy and Environment*, Thessaloniki, University Studio Press.
- Oikonomou A., and Bougiatioti F., (2011), Architectural structure and environmental performance of the traditional buildings in Florina, NW Greece, *Building and Environment*, Volume 46, Issue 3, Pages 669-689
- Santamouris M., Paraponiaris K. and Mihalakakou G., (2007) Estimating the ecological footprint of the heat island effect over Athens, Greece, *Journal of Climatic Change* 80, pp. 265–276.
- Santamouris, 2001 M., *Energy and Climate in the Urban Built Environment*, James and James Science Publishers, London
- Spyropoulos G. and Balaras K., (2011), Energy consumption and the potential of energy savings in Hellenic office buildings used as bank branches—A case study, *Energy and Buildings*, Volume 43, Issue 4, Pages 770-778