

# **ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗΣ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ**

Άγις Μ. Παπαδόπουλος

*Αν. Καθηγητής, Τμ. Μηχανολόγων Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης*

Θεόδωρος Γ. Θεοδοσίου

*Λέκτορας, Τμ. Μηχανικών Διαχείρισης Ενεργειακών Πόρων, Πανεπιστήμιο Δυτ. Μακεδονίας*

Σίμος Οξυζίδης

*Ερ. Συνεργάτης, Τμ. Μηχανολόγων Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης*

*Λέξεις – κλειδιά: Εξωτερική θερμομόνωση, ενεργειακή, οικονομική και περιβαλλοντική αξιολόγηση*

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ:** Η θερμική προστασία του κτιριακού κελύφους αποτελεί πρωταρχικό παράγοντα, στην επίτευξη μίας ορθολογικής ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιρίου. Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα στην προσπάθεια ελαχιστοποίησης των θερμικών απωλειών είναι αυτό των θερμογεφυρών. Το πρόβλημα αυτό, που ως τώρα δεν αντιμετωπίζεται από τον ακόμη ισχύοντα Κανονισμό Θερμομόνωσης, αποτελεί βασικό στοιχείο του αναθεωρημένου προτύπου EN 14683, το οποίο συνοδεύει την οδηγία 2002/91/ΕΚ για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων. Τα συστήματα εξωτερικής θερμομόνωσης των κτιρίων αποτελούν μία ολοκληρωμένη λύση στην κατεύθυνση αυτή, όπως προέκυψε από την αξιολόγησή τους.

## **1. ΓΕΝΙΚΑ**

Ο σχεδιασμός του κτιρίου στοχεύει στη διασφάλιση συνθηκών θερμικής άνεσης και ποιότητας αέρα, ανεξάρτητα από τις επικρατούσες εξωτερικές συνθήκες και συνεκτιμώντας τα εσωτερικά φορτία. Η εξισορρόπηση των κλιματικών συνθηκών πρέπει να επιτυγχάνεται καταρχήν εφαρμόζοντας τις αρχές του ενεργειακού σχεδιασμού και εν συνεχεία με τη βέλτιστη επιλογή συστημάτων θέρμανσης και κλιματισμού. Τα ελληνικά κτίρια παρουσιάζουν, ως προς τη θερμική προστασία του κελύφους τους, μία σειρά από χαρακτηριστικά προβλήματα, που μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής (Papadopoulos, A.M. et al. 2002):

- Κτίρια καθόλου θερμομονωμένα, κατασκευασμένα πριν την εισαγωγή του κανονισμού θερμομόνωσης του 1979.
- Κτίρια πλημμελώς θερμομονωμένα, με ελλιπή θερμομόνωση, πχ σε στοιχεία σκυροδέματος, με επιλογή ακατάλληλων για τη συγκεκριμένη εφαρμογή υλικών ή τοποθέτηση μικρότερου πάχους υλικού από αυτό που επιβάλλει ο κανονισμός.
- Χρήση μη πιστοποιημένων υλικών, με αμφίβολα θερμοφυσικά χαρακτηριστικά.

Σε κάθε περίπτωση, οι επιπτώσεις βραχυπρόθεσμα ή μακροπρόθεσμα είναι σημαντικές και μπορούν να συνοψιστούν στις εξής:

- Οικονομική επιβάρυνση, ως απόρροια της υπερδιαστασιολόγησης του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού και της αυξημένης κατανάλωσης ενέργειας.
- Μείωση αισθήματος θερμικής άνεσης λόγω των ψυχών επιφανειών, αλλά και της ποιότητας εσωτερικού αέρα εξαιτίας προβλημάτων συμπύκνωσης υδρατμών στις ψυχρές επιφάνειες.
- Κίνδυνος πρόκλησης βλαβών στα δομικά στοιχεία, τόσο λόγω της υγρασίας όσο και λόγω των θερμικών συστολοδιαστολών.
- Περιβαλλοντική επιβάρυνση, ως απόρροια της αύξησης των εκπεμπόμενων ρύπων.

Το πρόβλημα επιτείνεται, καθώς οι ελληνικές κατασκευές έχουν, από την τυπολογία και τη μορφολογία τους, πολλές θερμογέφυρες: Μεγάλα μπαλκόνια, ύπαρξη Pilotis, πολλά ανοίγματα, συνάντηση οριζόντιων με κάθετα στοιχεία, τοιχοποιία σε επαφή με στοιχεία σκυροδέματος κλπ. Υπενθυμίζεται ότι ως θερμογέφυρες ορίζονται τα σημεία ή οι επιφάνειες του κελύφους με σημαντική μείωση της θερμικής αντίστασης των δομικών στοιχείων σε σχέση με τις λοιπές επιφάνειες, που αποτελούν σημαντική πηγή θερμικών απωλειών. Εμφανίζονται δε κατεξοχήν στην διεπιφάνεια δύο διαφορετικών δομικών στοιχείων ή δύο ίδιων δομικών στοιχείων διαφορετικού πάχους, σε συνδέσεις εξωτερικών δομικών στοιχείων και πλευρικά γύρω από ανοίγματα. Απάντηση στα προβλήματα των θερμογεφυρών δίνει, σε μεγάλο βαθμό, η εφαρμογή ολοκληρωμένων συστημάτων εξωτερικής θερμομόνωσης ή θερμοπροσόψεων.

## **2. Η ΘΕΡΜΟΠΡΟΣΟΨΗ ΩΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ ΛΥΣΗ**

Ως θερμοπρόσοψη ορίζεται ένα σύστημα εξωτερικής θερμομόνωσης στο οποίο η μόνωση δεν διακόπτεται στα σημεία ένωσης των διαφορετικών δομικών στοιχείων. Η θερμοπρόσοψη εφαρμόζεται από τη δεκαετία του 1960 στην Δυτική και Κεντρική Ευρώπη, προσφέροντας ιδιαίτερη ευελιξία στην κατασκευή καθώς το θερμομονωτικό υλικό τοποθετείται στην εξωτερική επιφάνεια του κτιρίου, μετά την αποπεράτωση των εργασιών κατασκευής της τοιχοποιίας και αποτελώντας την πλέον αποτελεσματική λύση για την αναδρομική θερμομόνωση υφιστάμενων κτιρίων. Τα τελευταία χρόνια έχει αρχίσει να εφαρμόζεται, σε μικρή σχετικά κλίμακα, και στην Ελλάδα. Υπάρχουν, ωστόσο, ήδη αρκετά παραδείγματα εφαρμογής της, κυρίως στην Αττική, με πολύ ενθαρρυντικά αποτελέσματα. (Γκογκούδης, Π., 2007) Η επιτυχία και η αξιοπιστία ενός συστήματος θερμοπρόσοψης είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τη συνολική αντιμετώπιση της συνοχής και συμβατότητας των υλικών, των κατασκευαστικών λεπτομερειών και των ειδικών τεμαχίων που μπορεί να απαιτηθούν για την κάθε κατασκευή. Ο τρόπος κατασκευής διέπεται από κανόνες και προδιαγραφές που αφορούν την ποιότητα των υλικών, τους τρόπους εφαρμογής, τις ειδικές λεπτομέρειες και τις ανοχές της κάθε κατασκευαστικής μεθόδου. Οι κατασκευαστές που διαθέτουν πιστοποιημένα συστήματα θερμομόνωσης παρέχουν αναλυτικές σχετικές τεχνικές οδηγίες (Polykem, 2007) (Fibran, 2007)

### **2.1. Χρησιμοποιούμενα θερμομονωτικά υλικά**

Στην εφαρμογή της θερμοπρόσοψης μπορούν να χρησιμοποιηθούν η διογκωμένη πολυστερίνη, η εξηλασμένη πολυστερίνη και ο πετροβάμβακας. Στη Δυτική και Κεντρική Ευρώπη, οι κανονισμοί επιβάλλουν μεγάλα εφαρμοζόμενα πάχη, που συχνά υπερβαίνουν τα 20 cm (Αυστρία, Δανία, Σουηδία, περιοχές της Γερμανίας). (Παράλληλα οι χειμώνες είναι παρατεταμένοι ψυχροί και υγροί, αυξάνοντας την πιθανότητα συμπύκνωσης υδρατμών μέσα στα δομικά στοιχεία. Ο συνδυασμός αυτών των παραμέτρων οδηγεί σε χρήση κατά κύριο λόγο της διογκωμένης πολυστερίνης, για λόγους μείωσης του κόστους (σε σχέση με την εξηλασμένη πολυστερίνη), του βάρους της κατασκευής (σε σχέση με τον πετροβάμβακα) αλλά και για λόγους βελτίωσης της υδρατμοδιαπνοής του κτιρίου (Papadopoulos A.M. et al, 2007) (Papadopoulos A.M. et al 2008). Πέραν τούτων, η διογκωμένη πολυστερίνη είναι ισότροπο και ελαστικότερο υλικό, ιδιότητες που είναι ευεργετικές κατά την συμπεριφορά της κατασκευής σε συστολοδιαστολές.

Για τα ελληνικά κλιματικά δεδομένα, όπου τα απαιτούμενα πάχη είναι μικρότερα και οι απαιτήσεις σε υδρατμοδιαπνοή του κτιρίου μικρότερες, καθώς ο αερισμός του κτιρίου είναι κατά κανόνα επαρκής για την αποφυγή συμπυκνώσεων στα δομικά στοιχεία, μπορούν να χρησιμοποιηθούν εξίσου καλά και τα τρία υλικά. Σε δομικά στοιχεία ωστόσο που έρχονται σε μόνιμη επαφή με υγρασία (πχ βάση τοίχου επί εδάφους) είναι σκόπιμο να χρησιμοποιούνται υλικά με υδρόφοβα χαρακτηριστικά, αλλά και με αυξημένη μηχανική αντοχή για την αποφυγή τραυματισμών της όψης από κρούσεις. (Karamanos A.K. et al, in press).

Η απόδοση του συστήματος εξωτερικής θερμομόνωσης εξαρτάται άμεσα, εκτός από το θερμομονωτικό υλικό, από τις ιδιότητες της κόλλας, του πλέγματος και των βυσμάτων και των επιχρισμάτων που χρησιμοποιούνται. Καθώς η μόνωση τοποθετείται εξωτερικά απαιτούνται για την προστασία της επιχρίσματα με διαφορετικές ιδιότητες από τα συνηθισμένα.

### **2.3. Σημεία προσοχής**

Στα συστήματα θερμοπρόσοψης είναι καθοριστικό όλα τα στοιχεία του συστήματος να ταιριάζουν μεταξύ τους αρμονικά, τόσο σε λειτουργικό όσο και σε αισθητικό επίπεδο. Όλα τα υλικά πρέπει όχι μόνο να προέρχονται από την ίδια εταιρεία, αλλά και να είναι πιστοποιημένα ως μία ολοκληρωμένη λύση κατά τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Τεχνικών Εγκρίσεων (EOTA). Στην Ελλάδα, και στα τέλη του 2007, υπήρχαν πιστοποιημένα συστήματα θερμοπρόσοψης τριών εταιρειών στην αγορά, με χρήση διογκωμένης πολυστερίνης, εξηλασμένης πολυστερίνης και πετροβάμβακα.

Εκτός από την απαίτηση για συνολικά πιστοποιημένη λύση, ένα άλλο ιδιαίτερο χαρακτηριστικό των συστημάτων θερμοπρόσοψης είναι οι υψηλές απαιτήσεις κατά την διαδικασία εφαρμογής τους. Οι εργασίες για την τοποθέτηση του συστήματος διαφέρουν αρκετά από τις συνηθισμένες, απαιτώντας γνώση και προσοχή. Πρέπει να ακολουθείται σωστά και με απόλυτη συνέπεια η διαδοχή των εργασιών και απαιτείται το συνεργείο να είναι απολύτως ενημερωμένο και εξοικειωμένο με την εφαρμογή του συγκεκριμένου συστήματος. Αυτό σημαίνει, πως τα πλεονεκτήματα της θερμοπρόσοψης διασφαλίζονται μόνο όταν το συνεργείο είναι εκπαιδευμένο και εξειδικευμένο. Καθώς δε δεν υπάρχει η επαγγελματική πιστοποίηση των συνεργείων, με τον τρόπο που αυτό συμβαίνει σε άλλες ευρωπαϊκές χώρες, εναπόκειται κυρίως στην εταιρεία που προμηθεύει το σύστημα θερμοπρόσοψης να διασφαλίσει την εκπαίδευση και την ποιότητα

εργασίας του συνεργείου.

#### 2.4. Υπολογισμός των θερμογεφυρών

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει ο υπολογισμός του συντελεστή θερμοπερατότητας, με βάση με το πρότυπο ISO-EN 14683, η εφαρμογή του οποίου θα καταστεί υποχρεωτική, στο πλαίσιο της οδηγίας 2002/91/EK για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων, και στην Ελλάδα. Ο συντελεστής μετάδοσης θερμότητας μέσω των δομικών στοιχείων που διαχωρίζουν θερμαινόμενους ή δροσιζόμενους χώρους με τον εξωτερικό αέρα δίνεται πλέον από την εξίσωση:

$$H_D = \sum_i A_i U_i + \sum_k l_k \Psi_k + \sum_j \chi_j \quad (1)$$

όπου  $A_i$  = η επιφάνεια του στοιχείου  $i$  του κτιριακού κελύφους σε  $m^2$ ,  $U_i$  = η θερμοπερατότητα του στοιχείου  $i$  του κτιριακού κελύφους σε  $W/m^2K$ ,  $l_k$  = το μήκος της γραμμικής θερμογέφυρας  $k$  σε  $m$ ,  $\Psi_k$  = η γραμμική θερμοπερατότητα της θερμογέφυρας  $k$  σε  $W/Mk$ ,  $\chi_j$  = η σημειακή θερμοπερατότητα της σημειακής θερμογέφυρας  $j$  σε  $W/K$ .

Εάν κανείς συγκρίνει τη σχέση (1) μεν την μέχρι σήμερα χρησιμοποιούμενη σχέση (2), για τον υπολογισμό της θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων, κατά τον οποίο δεν λαμβάνονται υπόψη οι θερμογέφυρες, προκύπτει ανάγλυφα η απλούστευση που λαμβάνει χώρα, και που οδηγεί, όπως θα φανεί στη συνέχεια, σε μία ουσιαστική υποεκτίμηση των θερμικών φορτίων.

$$H_D = \sum_i A_i U_i \quad (2)$$

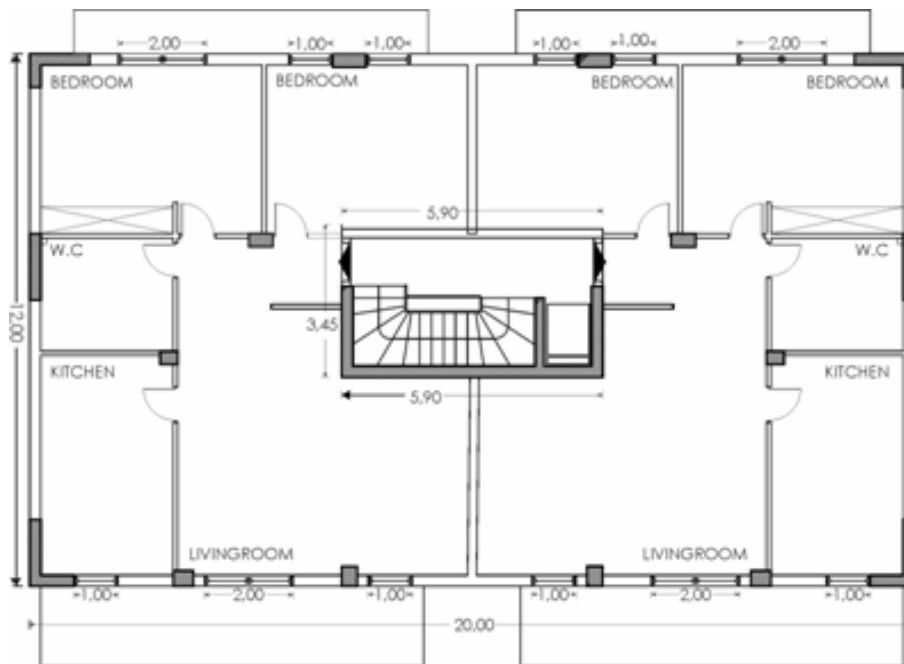
όπου  $H_D$  = συντελεστής μετάδοσης θερμότητας,  $A_i$  = η επιφάνεια του στοιχείου  $i$  του κτιριακού κελύφους σε  $m^2$  και  $U_i$  = η θερμοπερατότητα του στοιχείου  $i$  του κτιριακού κελύφους σε  $W/m^2K$ .

### 3. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΛΥΣΕΩΝ

Για την αποτίμηση αυτής της διαφοράς υλοποιήθηκε έρευνα στο Εργαστήριο Μετάδοσης Θερμότητας και Περιβαλλοντικής Μηχανικής του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Α.Π.Θ., η οποία αφορούσε ένα σύγχρονο τυπικό τριώροφο κτίριο κατοικιών, με κάτοψη ορόφου  $240 \text{ m}^2$  και δύο διαμερίσματα ανά όροφο, όπως φαίνεται στα Σχήματα 1 και 2.



Σχήμα 1. Προοπτική όψη του κτιρίου



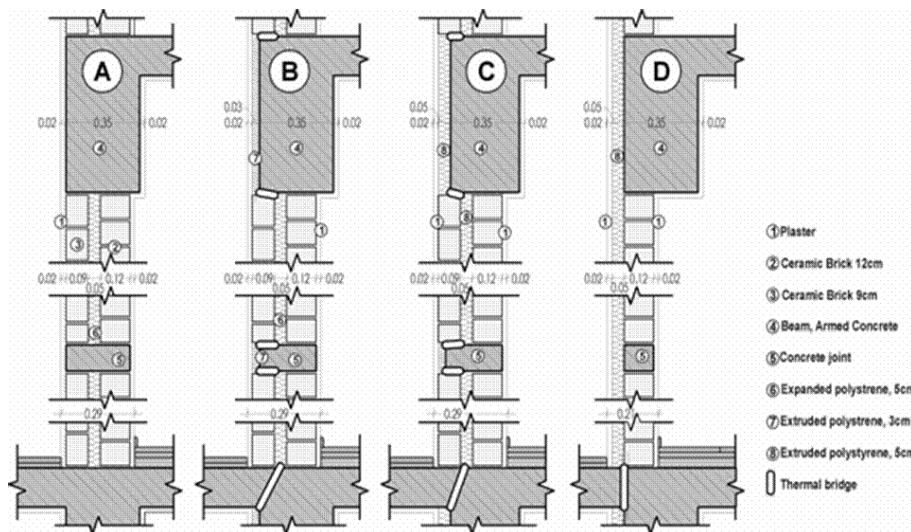
Σχήμα 2. Κάτοψη τυπικού ορόφου

Εξετάστηκαν τέσσερα διαφορετικά σενάρια, τα οποία αντιστοιχούν σε αντιπροσωπευτικές περιπτώσεις κτιρίων, όπως αυτές προέκυψαν από την έρευνα πεδίου στην περιοχή της Θεσσαλονίκης (Chadiarakou S. et al, 2007). Τα σενάρια αυτά, που αποτυπώνονται και στο Σχήμα 3, είναι:

- A. Ύπαρξη 5 cm θερμομόνωσης στον πυρήνα της δικέλυψης και μη μονωμένα στοιχεία σκυροδέματος
- B. Ύπαρξη 5 cm θερμομόνωσης στον πυρήνα της δικέλυψης και 3 cm στα στοιχεία σκυροδέματος
- C. Ύπαρξη 5 cm θερμομόνωσης στον πυρήνα της δικέλυψης και 5 cm στα στοιχεία σκυροδέματος
- D. Εξωτερική θερμομόνωση του κελύφους με 5 cm θερμομόνωσης

Οι προσομοιωτικοί υπολογισμοί έγιναν με χρήση των λογισμικών εργαλείων EnergyPlus και TRNSYS 16, με τα ακόλουθα δεδομένα και παραδοχές:

- Λήφθηκαν υπόψη οι θερμογέφυρες στα σενάρια A, B και C ως πρόβλημα δισδιάστατης (γραμμικής) ή τρισδιάστατης (σημειακής) μετάδοσης θερμότητας, με τη θερμική συμπεριφορά των επιφανειών «θερμογεφυρών» να αντιστοιχεί στη γραμμική θερμική αγωγιμότητά [ $\Psi_e$ ]
- Για τα ανοίγματα θεωρήθηκαν κουφώματα αλουμινίου με διπλό υαλοπίνακα και συντελεστή θερμοπερατότητας  $3,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ .
- Θεωρήθηκαν εσωτερικά κέρδη (άνθρωποι, φώτα, συσκευές) στη βάση των συστάσεων της ASHRAE
- Ακούσιος αερισμός προέκυψε υπολογιστικά στη βάση των χαρακτηριστικών των κουφωμάτων και των κλιματικών δεδομένων.
- Ο εκούσιος αερισμός θεωρήθηκε έτσι ώστε να εξασφαλίζεται 1 εναλλαγή αέρα την ώρα τη χειμερινή περίοδο.
- Η θέρμανση του κτιρίου γίνεται με χρήση πετρελαίου ή φυσικού αερίου σε κεντρικό σύστημα λέβητα και θερμαντικά σώματα ακτινοβολίας, με ονομαστικό βαθμό απόδοσης 0.85.
- Ο δροσισμός του κτιρίου γίνεται με αυτόνομες κλιματιστικές μονάδες με μέσο ετήσιο COP = 3 σε καθιστικό και υπνοδωμάτια.



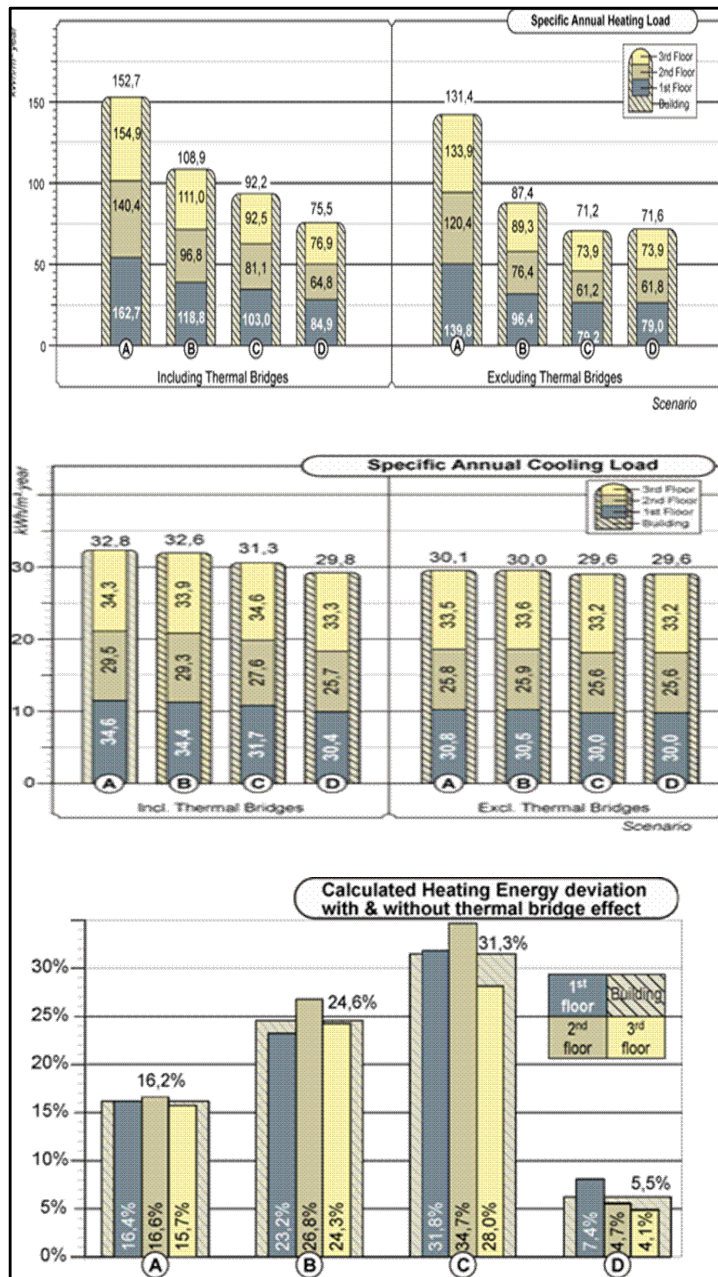
Σχήμα 3. Διατομές που εξετάστηκαν



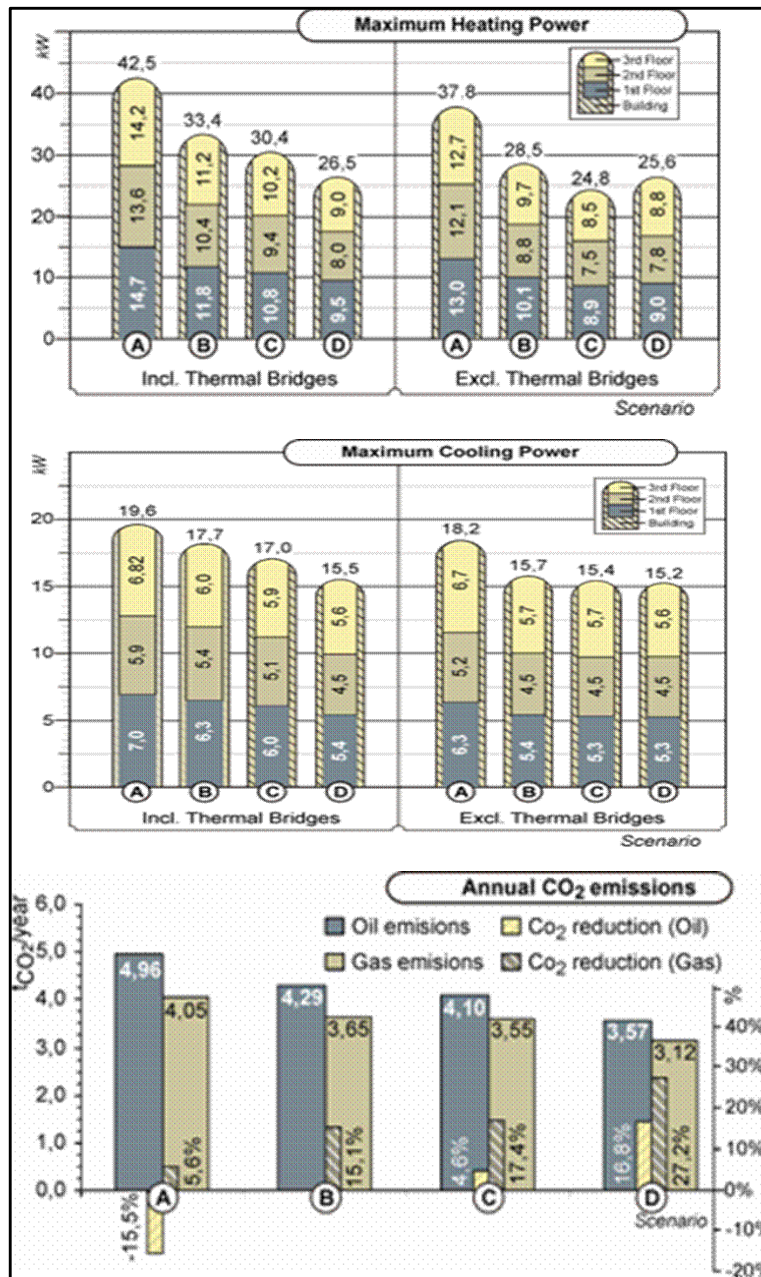
#### 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα της διερεύνησης αφορούσαν στην ετήσια κατανάλωση για θέρμανση και για δροσισμό, στην απαιτούμενη θερμαντική και ψυκτική ισχύ, στις συνθήκες θερμικής άνεσης, στις εκπομπές CO<sub>2</sub> και στην οικονομική απόδοση με δείκτες το χρόνο αποπληρωμής και το ολικό κόστος κύκλου ζωής σε ορίζοντα 30 ετών. Στα Σχήμα 4 α έως 4γ παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που αφορούν στην κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση και για ψύξη καθώς και οι αποκλίσεις με και χωρίς τη συνεκτίμηση των θερμογεφυρών. Ακόμη και σε συνεπώς θερμομονωμένα κτίρια (σενάριο C), η συνεκτίμηση των θερμογεφυρών αυξάνει τις απώλειες κελύφους μέχρι και κατά 25%. Αντίστοιχα αυξάνεται η απαίτηση ενέργειας για θέρμανση κατά 10%, όπως άλλωστε και η διαστασιολόγηση του συστήματος θέρμανσης (που απεικονίζεται στο σχήμα 5 α). Στην αντίστοιχη σύγκριση για την κατανάλωση για τον κλιματισμό η επίδραση είναι –όπως αναμενόταν– μικρή, αφού η μέθοδος θερμομόνωσης δεν επηρεάζει τόσο. Προϋπόθεση αποτελεί να βέβαια εφαρμόζεται, έστω και κατ' ελάχιστο, η από τον κανονισμό προβλεπόμενη θερμομόνωση. Αντίστοιχες είναι οι μειώσεις στις εκπομπές των αερίων ρύπων, εν προκειμένω του CO<sub>2</sub>, που απεικονίζεται στο σχήμα 5 γ. Στην ακραία περίπτωση η επιτυγχανόμενη μείωση υπερβαίνει το 27%. Εντυπωσιακές είναι οι θετικές επιπτώσεις στη θερμική άνεση, καθώς αποφεύγονται πλήρως τα φαινόμενα συμπύκνωσης, ενώ η μέση επιφανειακή θερμοκρασία ακτινοβολίας το χειμώνα είναι σταθερά πάνω από τους 18,2°C και το καλοκαίρι κάτω από τους 25,5°C.

Τέλος, ελέγχθηκε η οικονομική σκοπιμότητα των εξεταζόμενων λύσεων. Για αρχική τιμή πετρελαίου 620 €/χιλιόλιτρο, κόστος κεφαλαίου 3% και μέσο ετήσιο ρυθμό αύξησης της τιμής του πετρελαίου 4%, ο μέσος χρόνος αποπληρωμής του κόστους που συνεπάγεται η λύση της εξωτερικής θερμομόνωσης ανέρχεται στα 5,4 σε σχέση με ένα μη μονωμένο κτίριο και σε 9,7 χρόνια για ένα πλημμελώς μονωμένο κτίριο (περίπτωση Α). Σε σχέση με ένα συνεπώς θερμομονωμένο κτίριο (περίπτωση C) το επιπρόσθετο κόστος της εξωτερικής θερμομόνωσης αποσβένεται σε 11,5 χρόνια. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η μείωση στο ολικό κόστος του κύκλου ζωής, η οποία για τα 30 χρόνια ανέρχεται σε 198.700, 48.450 και 42.420 € αντίστοιχα.



Σχήμα 4. Ετήσια κατανάλωση για (α) θέρμανση, (β) ψύξη και (γ) απόκλιση εξαιτίας της συνεκτίμησης των θερμογεφυρών



Σχήμα 5. Εγκατεστημένη ισχύς (α) για θέρμανση, (β) για ψύξη και (γ) ετήσιες εκπομπές CO<sub>2</sub>

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα ολοκληρωμένα συστήματα εξωτερικής θερμομόνωσης αποτελούν μία ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα λύση για τις ελληνικές κατασκευές. Η χρήση τους ελαχιστοποιεί το πρόβλημα των θερμογεφυρών, μειώνει τις ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση, περιορίζει τα λειτουργικά και αισθητικά προβλήματα του κελύφους, βελτιώνει την ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος, ενώ καθιστά εφικτή τη χρήση μεγαλύτερου πάχους θερμομονωτικού υλικού χωρίς να χάνεται πολύτιμος εσωτερικός χώρος. Παρέχει δε και πολύ ικανοποιητική ευελιξία ως προς την τελική διαμόρφωση της όψης. Ταυτόχρονα, αποτελεί την οικονομικά σκοπιμότερη και λειτουργικά πιο ορθολογική λύση για τα μη θερμομονωμένα, ή πλημμελώς μονωμένα, υφιστάμενα κτίρια, που αποτελούν δυστυχώς κληροδότημα της έλλειψης πρόνοιας στις κατασκευές ως και τα μέσα της δεκαετίας του 1980. Υπό αυτήν την έννοια η εξωτερική θερμομόνωση είναι ένα εξαιρετικά πολύτιμο εργαλείο εξοικονόμησης ενέργειας σύμφωνα με τις επιταγές της οδηγίας για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων, αλλά και τις ανάγκες των καιρών συνολικά. Προϋπόθεση για την επιτυχή εφαρμογή της αποτελούν η επιλογή συνολικά πιστοποιημένων συστημάτων θερμοπρόσοψης, η διαθεσιμότητα εξειδικευμένου και έμπειρου εργατικού δυναμικού και η διάθεση των μελετητών και κατασκευαστών να προχωρήσουν σε μία, για τα ελληνικά δεδομένα, νέα λύση.

## 6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Papadopoulos A.M., Theodosiou T. and Karatzas K., Feasibility of energy saving renovation measures in urban buildings: The impact of energy prices and the acceptable pay back time criterion, *Energy and Buildings*, **34**, (2002), 455-466.
2. Γκογκούδης Π., Το σύστημα εξωτερικής θερμομόνωσης Kelyfos, Ημερίδα Greenit, ΚΑΠΕ, Αθήνα, 10.11.2007
3. <http://www.polykem.gr/templates/main/main.php?sid=14>, (Δεκ.2007)
4. <http://www.fibran.gr/>, (Δεκ.2007)
5. Karamanos A.K., Hadiarakou S., Papadopoulos A.M., The impact of temperature and moisture on the thermal performance of stone wool, *Energy and Buildings*, in press
6. Chadiarakou S., Papadopoulos A.M., Karamanos A., Santamouris M., Energy performance of residential buildings in Greece, 38<sup>th</sup> International HVAC Congress, Belgrade, Serbia, 4-6 December 2007, (2007), 27-38.
7. Papadopoulos A.M., Giama E., Environmental performance evaluation of thermal insulation materials and its impact on the building, *Building and Environment*, Volume 42, Issue 5, (2007), 2178-2187.
8. Papadopoulos A.M., Oxizidis S., Papathanasiou L., Developing a new library of materials and structural elements for the simulative evaluation of buildings' energy performance, *Building and Environment*, 43, 5, (2008), 710-719