

ΜΕΤΡΗΤΙΚΟΙ ΕΛΕΓΧΟΙ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΕ ΘΕΣΕΙΣ ΘΕΡΜΟΓΕΦΥΡΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΒΕΛΤΙΩΤΙΚΩΝ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ

Δημήτρης Αραβαντινός
αναπλ. καθηγητής Τμ. Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ.

Νίκος Τσακίρης
Ε.Ε.Δι.Π. II Τμ. Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ.

Χριστίνα Γιαρμά
πολιτικός μηχανικός, υποψήφια διδάκτορας

Λέξεις κλειδιά: Θερμογέφυρα, ροή θερμότητας, θερμικές απώλειες, θερμοφωτογράφιση

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Στις θερμογέφυρες σημειώνονται μεγάλες θερμικές απώλειες, που μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά το αίσθημα της θερμικής άνεσης και να προκαλέσουν πλήθος φθορών εξαιτίας υγρασίας συμπύκνωσης στην επιφάνεια των δομικών στοιχείων. Από μετρήσεις και θερμοφωτογραφικές αποτυπώσεις των επιφανειακών θερμοκρασιών σε θέσεις των δομικών στοιχείων που αποτελούν θερμογέφυρες εκτιμήθηκε υπολογιστικά το μέγεθος των θερμικών απωλειών σ' αυτές και το θεωρητικά απαιτούμενο πάχος θερμομονωτικής στρώσης για τον περιορισμό κατά το δυνατόν των ροών θερμότητας στο επίπεδο των θέσεων που δεν αποτελούν θερμογέφυρες. Οι μετρήσεις οδήγησαν σε προτάσεις κατασκευαστικών λύσεων για τον περιορισμό της επίδρασης του φαινομένου.

1. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΓΕΦΥΡΑΣ. ΑΙΤΙΕΣ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ

Ως θερμικές γέφυρες ή θερμογέφυρες χαρακτηρίζονται τα επιμέρους τμήματα (ή περιοχές) του εξωτερικού κελύφους ενός κτιρίου, στα οποία η θερμική αντίσταση υπολείπεται σημαντικά αυτής στα υπόλοιπα δομικά στοιχεία του περιβλήματος.

Στις θέσεις των θερμογεφυρών οι ροές θερμότητες παρουσιάζονται δυσανάλογα αυξημένες σε σύγκριση με τις ροές θερμότητας στο υπόλοιπο κελύφος. Γι' αυτό και οι θερμογέφυρες αποτελούν τα "ασθενή" σημεία του κτιριακού κελύφους και λειτουργούν επιβαρυντικά στη θερμική του προστασία. Επηρεάζουν την ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου και

επιφέρουν μείωση της αίσθησης της θερμικής άνεσης στο εσωτερικό του χώρου, ενώ ευνοούν την εκδήλωση του φαινομένου της συμπύκνωσης των υδρατμών και την ανάπτυξη μυκήτων μούχλας και διαφόρων μικροοργανισμών στην επιφάνεια των δομικών στοιχείων.

Τη δημιουργία μιας θερμογέφυρας μπορεί να προκαλέσουν κατασκευαστικές αδυναμίες, κακοτεχνίες, αστοχίες, αμέλεια και παραλείψεις, άγνοια ή αλόγιστοι και φθορές, οφειλόμενες στο πέρασμα του χρόνου. Σε όλες τις περιπτώσεις κοινή συνισταμένη αναδεικνύεται η μειωμένη θερμομονωτική προστασία στη θέση εκείνη.

Σε γενικές γραμμές, η εμφάνιση μιας θερμογέφυρας μπορεί να οφείλεται:

- Σε κατασκευαστικούς λόγους που καθιστούν δυσχερή ή πρακτικά αδύνατη την πλήρη θερμομονωτική προστασία της κατασκευής.
- Στην αλλαγή της σύνθεσης των υλικών ή της διαδοχής των στρώσεων ενός φαινομενικά ενιαίου δομικού στοιχείου (π.χ. σημείο συναρμογής στοιχείου του φέροντος οργανισμού και τοιχοποιίας πλήρωσης).
- Στη διακοπή της συνέχειας της θερμομονωτικής στρώσης σε κάποια θέση του εξωτερικού περιβλήματος.
- Στη συνάντηση δύο κάθετων μεταξύ τους δομικών στοιχείων, των οποίων η πλήρης θερμομονωτική προστασία είναι δυσχερής ή πρακτικά ανέφικτη.
- Σε απουσία θερμομονωτικής στρώσης ή στη μείωση του πάχους της.
- Σε δίεδρες ή τριεδρες εξωτερικές γωνίες, στο εμβαδό της εξωτερικής επιφάνειας των οποίων αντιστοιχεί πολύ μικρότερο εμβαδό εσωτερικής επιφάνειας

2. Η ΘΕΩΡΗΣΗ ΤΗΣ ΜΟΝΟΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΡΟΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Γενική κατεύθυνση για την αποφυγή εμφάνισης θερμογεφυρών σε μια κατασκευή αποτελεί η πλήρης θερμική προστασία της. Ωστόσο, πρακτικά δεν είναι εφικτή η κατασκευή ενός συμβατικού κτιρίου χωρίς τη δημιουργία θερμογεφυρών. Και αυτό όχι κατ' ανάγκη επειδή δεν θα έχει εκπονηθεί σωστά η προβλεπόμενη από τον κανονισμό μελέτη θερμομόνωσης του κτιρίου ή επειδή η μελέτη δεν θα έχει εφαρμοσθεί πλήρως, αλλά επειδή κάποιο σημείο ή τμήμα ενός δομικού στοιχείου λόγω της θέσης του ή του κατασκευαστικού σχήματος του περιβλήματος θα παρουσιάζει υψηλότερες θερμικές απώλειες, τις οποίες ένας τυπικός υπολογισμός της μελέτης θερμομόνωσης δεν μπορεί να αντιμετωπίσει. Στα σημεία αυτά πρέπει να ληφθεί ειδική μέριμνα για αυξημένη θερμομονωτική προστασία και επιμελημένη κατασκευή που συνήθως ξεφεύγει από τα τυποποιημένα.

Στον ισχύοντα σήμερα ελληνικό κανονισμό θερμομόνωσης δεν γίνεται κάποια ειδική μνεία στην εμφάνιση των θερμογεφυρών και κατά συνέπεια δεν υποδεικνύονται τρόποι για την πρόληψη ή την αντιμετώπισή τους. Ο κανονισμός αποτελεί μια απλουστευμένη θεώρηση της ενεργειακής συμπεριφοράς ενός κτιρίου, προκειμένου να μπορεί να ανταποκριθεί στις

ανάγκες μιας άμεσης και απλής μελέτης θερμομονωτικής προστασίας. Οι θερμογέφυρες όμως αποτελούν τις ειδικές εκείνες περιπτώσεις που δεν "χωρούν" μέσα στο γενικό κανόνα και γι' αυτό οφείλουν να έχουν ξεχωριστή αντιμετώπιση.

Κατά παραδοχή η ροή θερμότητας δεν μελετάται ως ένα τρισδιάστατο μέγεθος αλλά ως ένα μονοδιάστατο, με διεύθυνση κάθετη προς την επιφάνεια του εξεταζόμενου δομικού στοιχείου, που στη μονάδα επιφανείας αποδίδεται με την εξαπλουστευμένη σχέση:

$$q = k \cdot \Delta\theta, \quad (1)$$

όπου q = ροή θερμότητας στη μονάδα χρόνου και επιφανείας [W/m^2], k = ο συντελεστής θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου [$W/(m^2K)$], και $\Delta\theta$ = η διαφορά θερμοκρασίας του αέρα μεταξύ των δύο όψεων [K].

Ομοίως κατ' απλουστευτική παραδοχή το φαινόμενο εξετάζεται σε στάσιμη κατάσταση και ανεξάρτητη από το χρόνο, το θερμοκρασιακό πεδίο θεωρείται σταθερό και η θερμοκρασιακή ροή ενεπηρέαστη από εξωγενείς παράγοντες. Τέλος, τα υλικά που διαμορφώνουν τις διαδοχικές στρώσεις του κάθε δομικού στοιχείου θεωρούνται ομογενή και ισότροπα και ως ευρισκόμενα σε τέλεια μεταξύ τους θερμική επαφή.

Βεβαίως, η παραπάνω θεωρητική βάση απέχει από την πραγματικότητα, καθώς καμία από τις παραδοχές δεν ανταποκρίνεται σε πραγματική κατάσταση. Ωστόσο, για την κλίμακα μιας κτιριακής κατασκευής οι αποκλίσεις της υπολογιστικής μελέτης ελάχιστα διαφοροποιούνται από το πραγματικό αποτέλεσμα και γι' αυτό δεν έχουν ιδιαίτερη αξία. Όμως σε μικρότερη κλίμακα, για τη μελέτη ενός επιμέρους δομικού στοιχείου –και κυρίως στις οριακές του καταστάσεις– το υπολογιστικό αποτέλεσμα μπορεί να δίνει τιμές ακόμη και πολλαπλάσιες του πραγματικού.

3. ΟΙ ΜΕΤΡΗΤΙΚΟΙ ΕΛΕΓΧΟΙ ΣΕ ΘΕΣΕΙΣ ΘΕΡΜΟΓΕΦΥΡΩΝ

Ωστόσο, το σύνολο των παραγόντων που υπεισέρχονται και επηρεάζουν τις διάφορες εναλλαγές θερμότητας καθιστούν ιδιαίτερα σύνθετη, αν όχι ανέφικτη, τη δημιουργία ενός απλού υπολογιστικού μοντέλου που θα αντιμετώπιζε πραγματικές και όχι θεωρητικές καταστάσεις. Επιπλέον, το πλήθος των "ιδιαίτερων" αυτών περιοχών που παρουσιάζουν στο τελικό αποτέλεσμα απόκλιση από την υπολογιστική μεθοδολογία και που εν δυνάμει θα μπορούσαν λόγω αυξημένων θερμικών απωλειών να λειτουργήσουν ως θερμικές γέφυρες στο σύνολο του εξωτερικού κελύφους του κτιρίου, είναι σημαντικά μεγάλο.

Σ' αυτές τις περιπτώσεις ο ασφαλέστερος τρόπος προσδιορισμού των θερμικών ροών αποδεικνύεται ο μετρητικός, με την καταγραφή των πραγματικών τιμών των μεγεθών ή τουλάχιστον ο εργαστηριακός με προσομοιωτικές μεθόδους.

Σε μια τέτοια κατεύθυνση καταγράφηκαν μετρητικά οι τιμές επιφανειακής θερμοκρασίας στις εσωτερικές και εξωτερικές επιφάνειες μιας σειράς επιλεγμένων κτιριακών δομικών στοιχείων τόσο σε περιοχές του περιβλήματος που αποτελούν θερμογέφυρες, όσο και σε γειτονικές τους περιοχές που δεν παρουσιάζουν συμπεριφορά θερμογέφυρας. Η αποτύπωση της θερμικής κατάστασης έγινε με τη βοήθεια θερμοκάμερας που απέδωσε με θερμοφωτογράφιση σε κλίμακα χρωμάτων τις ροές θερμότητας μέσω των δομικών στοιχείων. Προκειμένου να περιοριστούν στο ελάχιστο οι επιδράσεις εξωγενών παραγόντων που θα μπορούσαν να επηρεάσουν την καταγραφή της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας από την επιφάνεια των δομικών στοιχείων, επιλέχθηκαν κατά το δυνατόν απομονωμένες κατασκευές, στην άμεση περίμετρο των οποίων δεν εμφανίζονταν άλλες κύριες πηγές θερμότητας (π.χ. γειτονικά κτίρια σε επαφή, λαμπτήρες φωτός κτλ.). Έτσι, η εκπεμπόμενη ακτινοβολία, που καταγράφηκε με την εικόνα των χρωμάτων, αποδίδει κατά κύριο λόγο τη διερχόμενη μέσω του δομικού στοιχείου θερμική ακτινοβολία και επηρεάζεται στο ελάχιστο από την ενδεχόμενη επίδραση της θερμικής ακτινοβολίας που εκπέμπει μια τυχαία εξωτερική πηγή θερμότητας και που αυτή ανακλάται στην εξεταζόμενη επιφάνεια.

Ωστόσο, μικρές αποκλίσεις στις τιμές των καταγραφέντων θερμοκρασιακών μεγεθών αποδεικνύουν ότι σε πραγματικές συνθήκες δεν είναι δυνατό να αποκλεισθούν απολύτως οι εξωγενείς επιδράσεις, σε αντίθεση με ό,τι συμβαίνει σε ελεγχόμενες συνθήκες εργαστηρίου.

Από την καταγραφή αυτών των μεγεθών υπολογίστηκαν οι ροές θερμότητας μέσω των εξεταζόμενων δομικών στοιχείων στις θέσεις των θερμογεφυρών και συγκρίθηκαν με τις συμβατικά υπολογιζόμενες βάσει των απλοποιητικών παραδοχών του κανονισμού θερμομόνωσης.

Επίσης υπολογίστηκαν προσομοιωτικά και κατ' αναλογία τα ίδια μεγέθη για ένα εύρος τιμών εσωτερικής θερμοκρασίας χώρου και εξωτερικής θερμοκρασίας περιβάλλοντος.

Τέλος εκτιμήθηκε –υπολογιζόμενο με συμβατικό τρόπο– το ισοδύναμο πάχος της θερμομονωτικής στρώσης, ίδιων θερμοτεχνικών χαρακτηριστικών, που θα απαιτούνταν για να περιορισθούν οι ροές θερμότητας στις θέσεις των θερμογεφυρών στο αρχικό επίπεδο τιμών, δηλαδή στο επίπεδο τιμών του συμβατικού υπολογισμού, στις οποίες άλλωστε θεωρητικά ανταποκρίνονται οι ροές θερμότητας στις υπόλοιπες θέσεις του δομικού στοιχείου, που δεν λειτουργούν ως θερμογέφυρες.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΤΙΚΩΝ ΕΛΕΓΧΩΝ & ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

4.1 Η επιλογή των δομικών στοιχείων

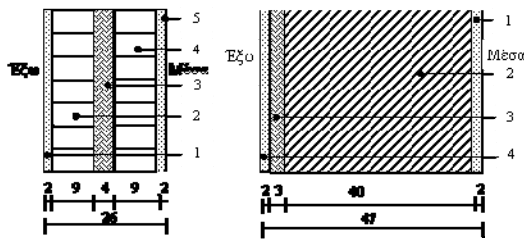
Ενδεικτικοί των παραπάνω είναι οι έλεγχοι που πραγματοποιήθηκαν σε δύο αντιπροσωπευτικά δομικά στοιχεία συνήθων κτιριακών κατασκευών.

- Μιας δικέλυφης εξωτερικής τοιχοποιίας με θερμομόνωση στον πυρήνα που έρχεται σε επαφή με τα στοιχεία του φέροντα οργανισμού και της οποίας η καθ' ύψος συνέχεια διακόπτεται από περίδεσμο ενίσχυσης (σενάζ) και
- ενός γωνιακού υποστύλωματος από οπλισμένο σκυρόδεμα με εξωτερική θερμομόνωση.

Στο γωνιακό υποστύλωμα λόγω της θέσης του και στην τοιχοποιία λόγω διακοπής της κατασκευαστικής της συνέχειας στις περιοχές συνάντησης με το φέροντα οργανισμό και διαμόρφωσης του περιίδεσμου ενίσχυσης δημιουργούνται θερμογέφυρες, στις οποίες οι μετρήσεις κατέγραψαν τη διαφοροποίηση της θερμικής τους συμπεριφοράς.

Οι διατομές των δύο δομικών στοιχείων φαίνονται στο σχήμα 1, ενώ στον πίνακα 1 δίνονται τα θερμοτεχνικά τους χαρακτηριστικά και οι υπολογισμοί των συντελεστών θερμοπερατότητας (k) με το συμβατικό τρόπο του κανονισμού θερμομόνωσης.

Και στις δύο διατομές το πάχος της θερμομονωτικής στρώσης καλύπτει τις απαιτήσεις του κανονισμού θερμομόνωσης: $k < k_{max} = 0.7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.



Σχήμα 1. Οι διατομές των δύο εξεταζόμενων δομικών στοιχείων, της δικέλυφης τοιχοποιίας με θερμομόνωση στον πυρήνα και του γωνιακού υποστύλωματος με εξωτερική θερμομόνωση.

4.2. Σύγκριση τιμών μεταξύ συμβατικού υπολογισμού και μετρήσεων

Όλοι οι έλεγχοι πραγματοποιήθηκαν για σταθερή εσωτερική θερμοκρασία χώρου $\theta_i = 20^\circ\text{C}$. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων και των προσομοιωτικών υπολογισμών καταγράφονται στον πίνακα 2.

Στην πρώτη ενότητα στηλών για καθεμιά από τις δύο διατομές παρουσιάζεται η θερμική συμπεριφορά του δομικού στοιχείου με βάση την απλουστευτική διαδικασία του κανονισμού θερμομόνωσης. Στις στήλες της δίνονται:

- η εξωτερική θερμοκρασία περιβάλλοντος, που διατηρείται σταθερή σε κάθε οριζόντια ενότητα (θ_a),
- η εσωτερική επιφανειακή θερμοκρασία, υπολογισμένη για μονοδιάστατη και σταθερή ροή θερμότητας (θ_{ie-kan}),

ΔΙΚΕΛΥΦΗ ΟΠΤΟΠΛΑΙΝΘΟΔΟΜΗ ΜΕ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗ ΣΤΟΝ ΠΥΡΗΝΑ

| Στρώσεις δομικού στοιχείου | Πάχος d | Συντ. λ | d/λ |
|--|---------|-------------------------|----------------------|
| | m | W/(mK) | (m ² K)/W |
| Αντίστ. θερμ. μετάβασης 1/α _i (εσωτ.) | | | 0,120 |
| Ασβεστοτσιμεντοκονίαμα | 0,020 | 0,870 | 0,023 |
| Οπτόπλινθοι | 0,090 | 0,520 | 0,173 |
| Θερμομονωτική στρώση | 0,040 | 0,041 | 0,976 |
| Οπτόπλινθοι | 0,090 | 0,520 | 0,173 |
| Ασβεστοτσιμεντοκονίαμα | 0,020 | 0,870 | 0,023 |
| Αντίστ. θερμ. μετάβασης 1/α _a (εξωτ.) | | | 0,040 |
| Αντίσταση θερμοπερατότητας (1/k) | | | 1,528 |
| Συντελεστής θερμοπερατότητας (k) | | σε W/(m ² K) | 0,655 |

ΓΩΝΙΑΚΟ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ ΜΕ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗ

| Στρώσεις δομικού στοιχείου | Πάχος d | Συντ. λ | d/λ |
|--|---------|-------------------------|----------------------|
| | m | W/(mK) | (m ² K)/W |
| Αντίστ. θερμ. μετάβασης 1/α _i (εσωτ.) | | | 0,120 |
| Ασβεστοτσιμεντοκονίαμα | 0,020 | 0,870 | 0,023 |
| Οπλισμένο σκυρόδεμα | 0,400 | 2,030 | 0,197 |
| Θερμομονωτική στρώση | 0,030 | 0,028 | 1,071 |
| Ασβεστοτσιμεντοκονίαμα | 0,020 | 0,870 | 0,023 |
| Αντίστ. θερμ. μετάβασης 1/α _a (εξωτ.) | | | 0,040 |
| Αντίσταση θερμοπερατότητας (1/k) | | | 1,474 |
| Συντελεστής θερμοπερατότητας (k) | | σε W/(m ² K) | 0,678 |

Πίνακας 1. Υπολογισμός του συντελεστή θερμοπερατότητας (k) σε μια δικέλυφη τοιχοποιία με θερμομόνωση στον πυρήνα και σε ένα γωνιακό υποστύλωμα με εξωτερική θερμομόνωση σύμφωνα με το συμβατικό τρόπο του κανονισμού θερμομόνωσης.

– η ροή θερμότητας στη μονάδα επιφάνειας (q_{καν}) σύμφωνα με την (1).

Στη δεύτερη ενότητα στηλών παρουσιάζεται η θερμική συμπεριφορά του δομικού στοιχείου, όπως προέκυψε από τις μετρήσεις και τους προσομοιωτικούς υπολογισμούς. Στις στήλες της καταγράφονται:

- η μετρηθείσα εσωτερική επιφανειακή θερμοκρασία για 4 αντιπροσωπευτικές τιμές, για τις οποίες γίνεται ο έλεγχος σε κάθε οριζόντια ενότητα (θ_{ie-θ/γ}),
- το ισοδύναμο πάχος της θερμομονωτικής στρώσης που απαιτείται για να καλυφθούν οι θερμικές απώλειες στη θέση της θερμομόνωσης και το οποίο υπολογίστηκε συμβατικά (d_{θ/γ}),
- ο συντελεστής θερμοπερατότητας που υπολογίστηκε με βάση τις καταγραφείσες τιμές θερμοκρασίας (k_{θ/γ}) και
- η ροή θερμότητας στη μονάδα επιφάνειας με βάση τις καταγραφείσες τιμές θερμοκρασίας (q_{θ/γ}.)

| ΔΙΚΕΛΥΦΗ ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΔΟΜΗ ΜΕ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗ ΣΤΟΝ ΠΥΡΗΝΑ | | | | | | |
|--|-------------------|------------------|-----------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|
| θ_a | θ_{ie-kan} | q_{kan} | $\theta_{ie-\theta/\gamma}$ | $d_{\theta/\gamma}$ | $k_{\theta/\gamma}$ | $q_{\theta/\gamma}$ |
| °C | °C | W/m ² | °C | cm | W/(m ² K) | W/m ² |
| 10,0 | 19,21 | 6,5 | 19,0 | 4,6 | 0,713 | 7,125 |
| 10,0 | 19,21 | 6,5 | 18,0 | 9,9 | 1,267 | 12,667 |
| 10,0 | 19,21 | 6,5 | 17,0 | 13,6 | 1,663 | 16,625 |
| 10,0 | 19,21 | 6,5 | 16,0 | 15,9 | 1,900 | 19,000 |
| 5,0 | 18,82 | 9,8 | 18,0 | 6,5 | 0,915 | 13,722 |
| 5,0 | 18,82 | 9,8 | 17,0 | 9,9 | 1,267 | 19,000 |
| 5,0 | 18,82 | 9,8 | 16,0 | 12,6 | 1,548 | 23,222 |
| 5,0 | 18,82 | 9,8 | 15,0 | 14,6 | 1,759 | 26,389 |
| 0,0 | 18,43 | 13,1 | 18,0 | 4,6 | 0,713 | 14,250 |
| 0,0 | 18,43 | 13,1 | 17,0 | 7,4 | 1,009 | 20,188 |
| 0,0 | 18,43 | 13,1 | 16,0 | 9,9 | 1,267 | 25,333 |
| 0,0 | 18,43 | 13,1 | 15,0 | 11,9 | 1,484 | 29,688 |

| ΓΩΝΙΑΚΟ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ ΜΕ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗ | | | | | | |
|---|-------------------|------------------|-----------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|
| θ_a | θ_{ie-kan} | q_{kan} | $\theta_{ie-\theta/\gamma}$ | $d_{\theta/\gamma}$ | $k_{\theta/\gamma}$ | $q_{\theta/\gamma}$ |
| °C | °C | W/m ² | °C | cm | W/(m ² K) | W/m ² |
| 10,0 | 19,19 | 6,8 | 19,0 | 4,6 | 0,938 | 9,375 |
| 10,0 | 19,19 | 6,8 | 18,0 | 9,0 | 1,667 | 16,667 |
| 10,0 | 19,19 | 6,8 | 17,0 | 12,2 | 2,188 | 21,875 |
| 10,0 | 19,19 | 6,8 | 16,0 | 14,1 | 2,500 | 25,000 |
| 5,0 | 18,78 | 10,2 | 18,0 | 6,2 | 1,204 | 18,056 |
| 5,0 | 18,78 | 10,2 | 17,0 | 9,0 | 1,667 | 25,000 |
| 5,0 | 18,78 | 10,2 | 16,0 | 11,3 | 2,037 | 30,556 |
| 5,0 | 18,78 | 10,2 | 15,0 | 13,0 | 2,315 | 34,722 |
| 0,0 | 18,37 | 13,6 | 18,0 | 4,6 | 0,938 | 18,750 |
| 0,0 | 18,37 | 13,6 | 17,0 | 7,0 | 1,328 | 26,563 |
| 0,0 | 18,37 | 13,6 | 16,0 | 9,0 | 1,667 | 33,333 |
| 0,0 | 18,37 | 13,6 | 15,0 | 10,8 | 1,953 | 39,063 |

Πίνακας 2. Συγκριτικός πίνακας για τις θερμικές ροές και τα πάχη της απαιτούμενης θερμομονωτικής στρώσης μεταξύ των τιμών υπολογισμού με βάση τον κανονισμό θερμομόνωσης και των τιμών προσομοιωτικών ελέγχων με βάση τις καταμετρηθείσες τιμές επιφανειακής θερμοκρασίας στις θέσεις θερμογεφυρών μιας δικέλυφης τοιχοποιίας με θερμομόνωσης στον πυρήνα και ενός γωνιακού υποστυλώματος για διαφορετικές τιμές θερμοκρασίας εξωτερικού περιβάλλοντος.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των πινάκων και στις δύο περιπτώσεις η επιφανειακή θερμοκρασία ανάλογα με τη θέση και την έκταση της θερμογέφυρας μπορεί να παρουσιάσει απόκλιση από τη θεωρητικά υπολογιζόμενη τιμή επιφανειακής θερμοκρασίας της τάξης 0.5 ως 3.5 °C.

- Όταν η απόκλιση δεν υπερβαίνει τον $1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ η αύξηση της θερμικής ροής είναι σχετικά μικρή και σπάνια υπερβαίνει το 50% της αρχικής θεωρητικής τιμής.
- Αντίθετα, όταν η απόκλιση είναι μεγαλύτερη και φθάνει τους 2 με $3\text{ }^{\circ}\text{C}$, οι απώλειες θερμότητας μπορεί και να υπερδιπλασιαστούν.
- Στις σχετικά υψηλές εξωτερικές θερμοκρασίες (π.χ. $\theta_i = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$) η διαφορά τιμής μεταξύ θεωρητικά υπολογισθείσας και καταμετρηθείσας επιφανειακής θερμοκρασίας, όταν είναι της τάξης των 2 με $3\text{ }^{\circ}\text{C}$, είναι πολύ σημαντικότερη από τη διαφορά τιμής ίδιας τάξης για εξωτερικές θερμοκρασίες πολύ χαμηλότερες (π.χ. $\theta_i = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$). Για το λόγο αυτό και οι θερμικές απώλειες στην πρώτη περίπτωση φθάνουν να είναι υπερδιπλάσιες αυτών της δεύτερης.

Οι τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας παρουσιάζουν αποκλίσεις ίδιες με αυτές των θερμικών ροών, καθώς στον υπολογισμό ελήφθη υπόψη η αναλογικότητα μεταξύ θερμικών ροών και συντελεστή θερμοπερατότητας.

Ενδεχομένως, περισσότερο πρακτικό ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα αποτελέσματα του υπολογισμού του εικονικού ισοδύναμου πάχους της θερμομονωτικής στρώσης, που απαιτείται, προκειμένου να πληρούνται οι απαιτήσεις του κανονισμού θερμομόνωσης. Αν και πάλι οι απλοποιητικές παραδοχές για τον υπολογισμό του πάχους της θερμομόνωσης οδηγούν σε μικρές αποκλίσεις από την πραγματική κατάσταση, επιτρέπουν να αποτυπωθεί με σχετική ακρίβεια η υφιστάμενη διαφορά μεταξύ των αποτελεσμάτων ενός γενικευμένου θεωρητικού υπολογιστικού πλαισίου και ενός επιμερισμένου υπολογισμού που στηρίζεται σε πραγματικές τιμές μεγεθών.

Σύμφωνα με τα στοιχεία των πινάκων:

- Για μικρές διαφορές τιμών μεταξύ θεωρητικά υπολογισθείσας και καταμετρηθείσας επιφανειακής θερμοκρασίας η απαίτηση για αύξηση του πάχους της θερμομονωτικής στρώσης είναι μικρή και περιορίζεται στο 1 με 3 cm .
- Αντίθετα, υψηλές διαφορές τιμών στην επιφανειακή θερμοκρασία οδηγούν σε απαίτηση για διπλασιασμό ως και τετραπλασιασμό του πάχους της θερμομονωτικής στρώσης.
- Προφανώς, για υψηλότερες τιμές εξωτερικής θερμοκρασίας η απαίτηση θερμομόνωσης εμφανίζεται πολύ μεγαλύτερη απ' ό,τι για τις χαμηλότερες τιμές και για τις ίδιας τάξης μεγέθους τιμές επιφανειακών θερμοκρασιών.

Είναι σαφές ότι οι τιμές αυτές του πάχους της θερμομονωτικής στρώσης είναι "σημειακές", καλύπτουν τις απαιτήσεις θερμομονωτικής προστασίας του δομικού στοιχείου με βάση την καταγεγραμμένη επιφανειακή τιμή θερμοκρασίας και προοδευτικά μειώνονται με τη σταδιακή απομάκρυνση από τη θέση της θερμογέφυρας. Η απαίτηση για το μεγαλύτερο πάχος θερμομονωτικής στρώσης προβάλλει σε μια πολύ στενή περιοχή, που τείνει

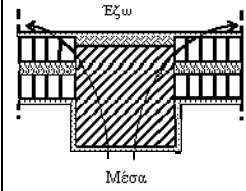
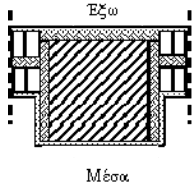
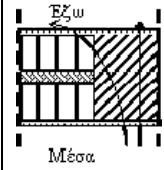
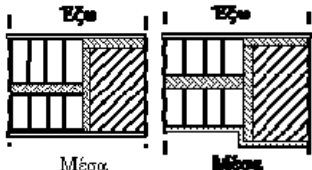
να εκφυλισθεί σε σημείο. Το ίδιο πάχος θερμομονωτικής στρώσης για την αμέσως γειτονική περιοχή υπερκαλύπτει τις απαιτήσεις και θεωρείται υπερβολικό. Καταδεικνύεται έτσι ότι στη θέση των θερμογεφυρών είναι απαιτητή μια υψηλότερη θερμική προστασία που όμως δεν θα πρέπει να φθάνει σε σημείο η αντιμετώπιση μιας ακραίας κατάστασης να γενικεύεται για το σύνολο της κατασκευής, διότι τότε οδηγεί σε αντικοινωνικές και δύσκολα εφαρμόσιμες λύσεις.

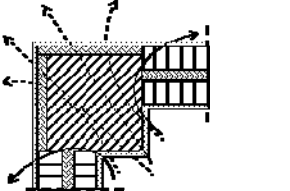
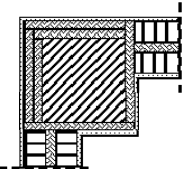
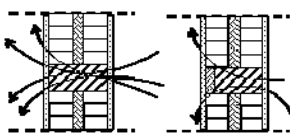
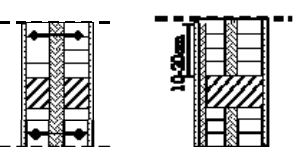
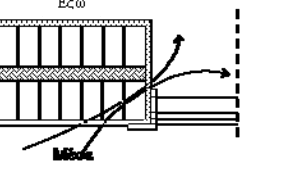
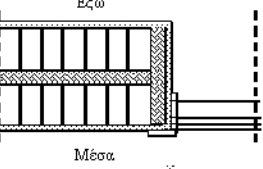
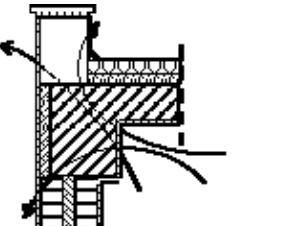
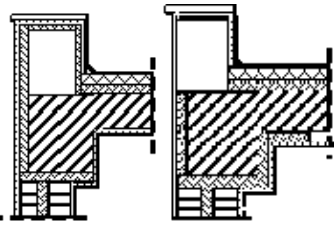
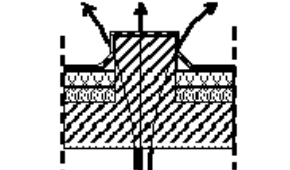
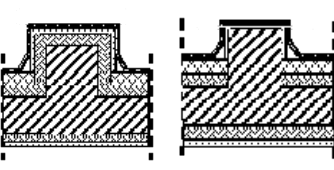
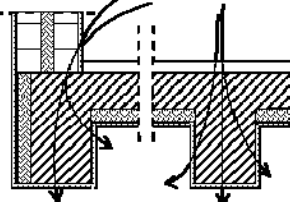
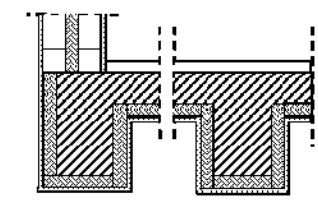
Η αύξηση της θερμομονωτικής προστασίας οφείλει να είναι τόση, ώστε να διατηρεί το αίσθημα της θερμικής άνεσης στις θέσεις των θερμογεφυρών και παράλληλα να αποτρέπει το σχηματισμό επιφανειακής συμπύκνωσης των υδρατμών από πτώση της επιφανειακής θερμοκρασίας σε τιμές χαμηλότερες της θερμοκρασίας δρόσου.

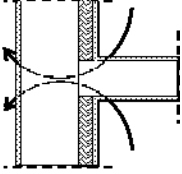
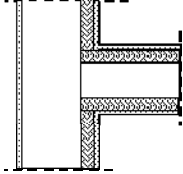
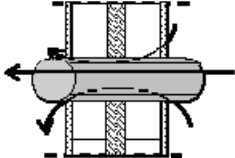
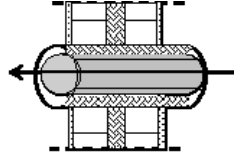
5. ΟΙ ΣΥΝΗΘΕΙΣ ΘΕΡΜΟΓΕΦΥΡΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΟΥΣ

Οι διαφορετικές περιπτώσεις θερμογεφυρών που εξετάστηκαν οδήγησαν σε ομαδοποίησή τους σε επιμέρους γενικότερες κατηγορίες, με κατ' εξοχήν κριτήριο τις δυνατότητες επέμβασης για βελτίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς των δομικών στοιχείων.

Στην πινακοποίηση που ακολουθεί δίνονται επιγραφικά οι βασικότερες κατηγορίες θερμογεφυρών και σχηματική παράσταση της θέσης τους και τεχνικές επεμβάσεων για τον κατά το δυνατόν περιορισμό των θερμικών απωλειών απ' αυτές.

| ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΓΕΦΥΡΑΣ | ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ | ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ |
|--|---|--|
| Διακοπή της συνέχειας της θερμομονωτικής στρώσης στο σημείο σύνδεσης στοιχείου του φέροντα οργανισμού και τοιχοποιίας πλήρωσης |  |  |
| Η απουσία θερμομόνωσης σε στοιχεία του φέροντα οργανισμού |  |  |

| ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΓΕΦΥΡΑΣ | ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ | ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ |
|--|---|--|
| Αυξημένες θερμικές απώλειες λόγω διαφοράς εμβαδού στις δύο όψεις των γωνιακών δομικών στοιχείων |  |  |
| Οι περιόδισμοι ενίσχυσης σε δικέλυφη τοιχοποιία με θερμομόνωση στον πυρήνα |  |  |
| Διακοπή της θερμομόνωσης στις παραστάδες, στα υπέρθυρα των ανοιγμάτων και στις ποδιές των παραθύρων |  |  |
| Οι απολήξεις των εξωτερικών δομικών στοιχείων (στηθαία στα δώματα, αντεσταμμένα δοκάρια και διπλά στηθαία για τη διαμόρφωση αρμών διαστολής) |  |  |
| |  |  |
| Τα ενδιάμεσα και περιμετρικά δοκάρια στις θέσεις των δοκών στην οροφή υπογείου ή πιλοτής |  |  |

| ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΓΕΦΥΡΑΣ | ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ | ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ |
|---|---|--|
| <p>Διακοπή της συνέχειας της θερμομονωτικής στρώσης σε θέση εγκάρσιας συναρμογής εξωτερικού κελύφους με εσωτερικό τοίχο</p> |  |  |
| <p>Οπτόπλινθοι με τις οπές κάθετα στο εξωτερικό περίβλημα του κτιρίου</p> | | |
| <p>Η προέκταση των φερόντων στοιχείων πέραν του κύριου όγκου του κτιρίου (πρόβολοι)</p> | | |
| <p>Τα σημεία διέλευσης σωληνώσεων ύδρευσης, αποχέτευσης, κεντρικής θέρμανσης, αερίου, καμινάδων, αεραγωγών κτλ.</p> |  |  |
| <p>Τα κουτιά των περιελισσόμενων περσίδων των κουφωμάτων</p> | | |
| <p>Σχισμές και κενά στις θέσεις συναρμογής των κουφωμάτων με τις τοιχοποιίες</p> | | |

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Είναι σαφές ότι οι θερμογέφυρες είναι επιζήμιες για μια κατασκευή και πρέπει με κάθε τρόπο να αποφεύγονται. Σκόπιμο είναι να επισημαίνονται από το στάδιο της μελέτης και να αντιμετωπίζονται με τη λήψη των κατάλληλων μέτρων. Αλλά, όταν αυτό δεν συμβαίνει και η ύπαρξή τους διαπιστώνεται εκ των υστέρων, πάλι δεν πρέπει να παραμελούνται, αλλά να αντιμετωπίζονται στο βαθμό του δυνατού. Ωστόσο, πρακτικά δεν είναι δυνατό να υπάρξει συμβατική κατασκευή που να μην παρουσιάζει σε κανένα σημείο του κελύφους της θερμογέφυρες. Σε ορισμένες περιπτώσεις μάλιστα η αποφυγή τους είναι οικονομικά ασύμφορη, καθώς το όφελος από την εξάλειψή τους είναι δυσανάλογα μικρό σε σχέση με τη συνθετότητα και το κόστος των λύσεων για την αντιμετώπισή τους.

Έτσι, η πρόληψη ή η αντιμετώπιση πρέπει να γίνονται στο βαθμό του δυνατού και όχι καθ' υπερβολή και πρέπει τόσο από κατασκευαστική, όσο και από οικονομική άποψη να κινούνται στο πλαίσιο του εφικτού με απώτερο σκοπό να προσφέρουν την καλύτερη δυνατή θερμομονωτική προστασία στο κτίριο και να περιορίζουν στο ελάχιστο τις θερμικές απώλειες από το εξωτερικό του περιβάλλον.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

«Κανονισμός Θερμομόνωσης Κτιρίων», Φ.Ε.Κ. 362 τεύχ. Δ', 4 Ιουλίου 1979.

EN ISO 10211-1: «Thermal bridges in building constructions. Heat flows and surfaces temperatures», Part 1: «General calculation methods».

EN ISO 10211-2: «Thermal bridges in building constructions. Calculation of heat flows and surfaces temperatures», Part 2: «Linear thermal bridges».

EN 13187: «Thermal performance of buildings. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes. Infrared method.

Καλύβας Γ.: «Θερμικές γεφυρώσεις και συμπυκνώσεις υδρατμών στα στοιχεία εξωτερικού κελύφους κτιρίου», «Τεχνικά Χρονικά», 1/98, σελ. 88-143.

Wouters P., Schietecat J., Standärt P.: «Practical guide for the hygrothermal evaluation of thermal bridges», προϊόν ερευνητικού προγράμματος της Ευρωπαϊκής Ένωσης SAVE - Kopractice, 2003.