

ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΤΜ. ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Ενεργειακή Διαχείριση & Εξοικονόμηση Ενέργειας

ΔΙΑΛΕΞΗ 05: ΘΕΡΜΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΤΙΡΙΟΥ II

Δρ. Τριανταφυλλιά Νικολάου

Βιβλιογραφία

- 1) ΤΟΤΕΕ -1/2017 και ΤΟΤΕΕ-2/2017
- 2) Δ. Αραβαντινός «Υγροπροστασία κτιρίων». Εργαστήριο Οικοδομικής και Φυσικής των Κτιρίων. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκη, 2013 (πρώτη έκδοση 2001).
- 3) Ι. Σκιάς, Παρουσιάσεις σεμιναρίου εκπαίδευσης ενεργειακών επιθεωρητών

Περιεχόμενα

5. ΘΕΡΜΟΓΕΦΥΡΕΣ

**6. ΕΛΕΓΧΟΣ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΗΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΚΤΙΡΙΟΥ – ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ
ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΑΔΙΑΦΑΝΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ**

ΑΣΚΗΣΕΙΣ

<u>Σύμβολα</u>	<u>Μονάδες</u>	<u>Ερμηνεία</u>
A	[m ²]	εμβαδό μιας επιφάνειας,
λ	[W/(m·K)]	συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας
R	[(m ² ·K)/W]	θερμική αντίσταση
	Ra	αντίσταση θερμικής μετάβασης εξωτερικά
	Ri	αντίσταση θερμικής μετάβασης εσωτερικά
U	[W/(m ² ·K)]	συντελεστής θερμοπερατότητας,
ψ	[W/(m·K)]	συντελεστής γραμμικής θερμοπερατότητας

5. Θερμογέφυρες

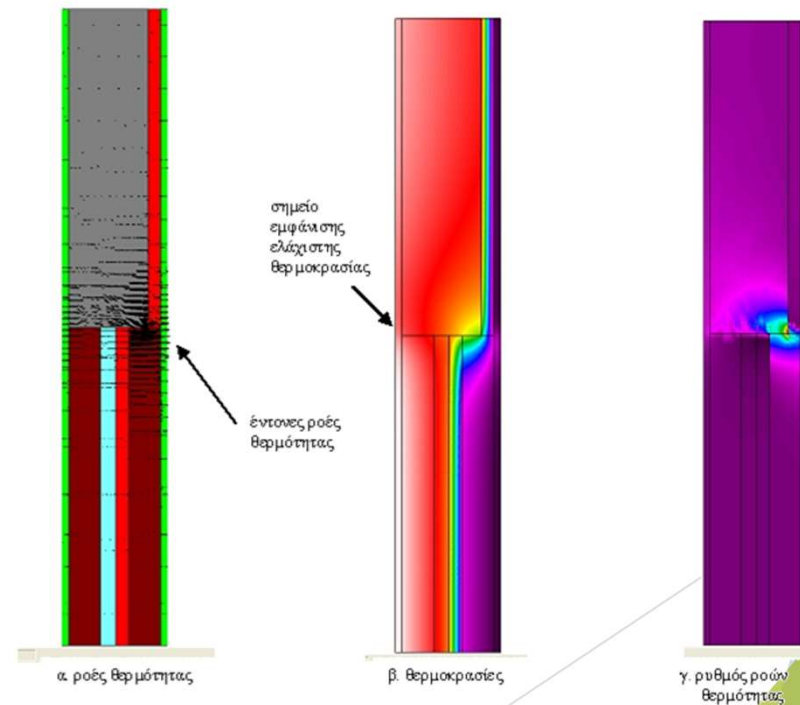
- ▶ Θερμογέφυρες ονομάζονται οι θέσεις στο κέλυφος ενός κτιρίου στις οποίες εμφανίζεται σε σχέση με τις γειτονικές τους διαφοροποίηση στη θερμική αντίσταση των δομικών στοιχείων είτε λόγω ασυνέχειας της στρώσης θερμομόνωσης είτε λόγω διαφοροποίησης του υλικού κατά μήκος του δομικού στοιχείου είτε λόγω αλλαγής της γεωμετρίας της διατομής.
- ▶ Σ' αυτές τις θέσεις παρατηρείται μεταβολή στη ροή θερμότητας και στην εσωτερική επιφανειακή θερμοκρασία σε σχέση με τις γειτονικές τους.
- ▶ Ως προς τις αιτίες δημιουργίας τους οι θερμογέφυρες διακρίνονται σε τρεις τύπους:
 - ▶ στις κατασκευαστικές,
 - ▶ στις γεωμετρικές,
 - ▶ σε συνδυασμό των δύο παραπάνω τύπων.

5. Θερμογέφυρες

Κατασκευαστικές θερμογέφυρες

- ▶ Δημιουργούνται σε θέσεις στις οποίες υπάρχει ασυνέχεια του θερμομονωτικού υλικού, π.χ. στις θέσεις ένωσης τοιχοποιίας με θερμομόνωση στον πυρήνα και τοιχώματος με θερμομόνωση εξωτερικά.

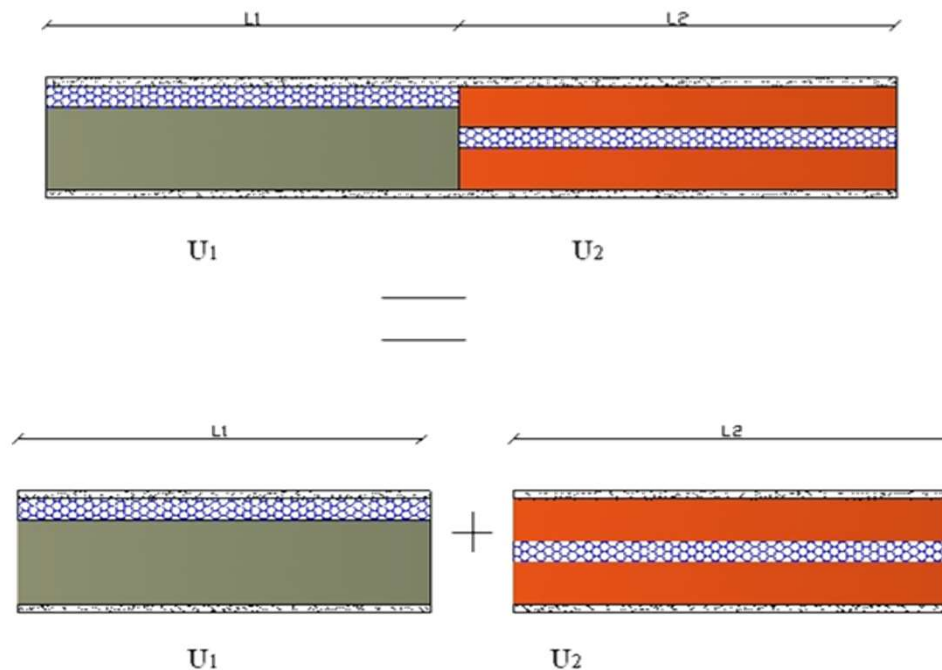
🏠 Σε αυτήν την περίπτωση η παραδοχή της μονοδιάστατης ροής θερμότητας παύει να ισχύει. Στην περιοχή της ασυνέχειας αναπτύσσεται έντονη δισδιάστατη ροή θερμότητας η οποία οδηγεί σε αυξημένες θερμικές απώλειες και μείωση της εσωτερικής επιφανειακής θερμοκρασίας. Για τον ορθό υπολογισμό των ρών θερμότητας από τη συγκεκριμένη διατομή απαιτείται πλέον διόρθωση των υπολογισμών που γίνονται θεωρώντας μονοδιάστατη ροή θερμότητας.



5. Θερμογέφυρες

Κατασκευαστικές θερμογέφυρες

- ▶ Στην πραγματικότητα ο μελετητής κάνοντας παραδοχή μονοδιάστατης ροής θερμότητας θεωρεί τα δομικά στοιχεία τοιχώματος και οπτοπλινθοδομής ως ανεξάρτητα όπως φαίνεται στην επόμενη εικόνα. Εάν ορίσουμε ως l το μήκος για το οποίο συμβαίνει η ένωση των δομικών στοιχείων και L^{1D} τη ροή θερμότητας που συμβαίνει κάνοντας παραδοχή μονοδιάσταστατης ροής τότε έχουμε:



$$L^{1D} = U_1 \cdot L_1 \cdot l + U_2 \cdot L_2 \cdot l$$

5. Θερμογέφυρες

Κατασκευαστικές θερμογέφυρες

- ▶ Η πραγματική όμως ροή θερμότητας L^{2D} είναι δισδιάστατη και διαφοροποιείται από τη μονοδιάστατη L^{1D} . Η διαφορά της L^{2D} από την L^{1D} ορίζεται **ως η ροή θερμότητας από τη θερμογέφυρα**.

$$L^{2D} - L^{1D} = \psi \cdot \ell$$

- ▶ Για να γίνει εφικτή η παραπάνω διόρθωση δημιουργήθηκε ένας κατάλογος με **κατασκευαστικές λεπτομέρειες που συναντώνται στα ελληνικά κτίρια**. Για κάθε κατασκευαστική λεπτομέρεια δημιουργήθηκε ένα δισδιάστατο μαθηματικό μοντέλο και υπολογίστηκε η ροή θερμότητας L^{2D} θεωρώντας το l ίσο με 1m. Κατόπιν αφαιρέθηκε η L^{1D} και προέκυψε ο γραμμικός συντελεστής θερμοπερατότητας ψ . **Ο κατάλογος κατασκευαστικών λεπτομερειών, καθώς και οι τιμές ψ για κάθε μία από αυτές έχουν ενσωματωθεί στον πίνακα 15 της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017 (επόμενη διαφάνεια)**.
- ▶ Τα βήματα που πρέπει να ακολουθήσει ο μελετητής είναι να υπολογίσει τη ροή θερμότητας κάνοντας παραδοχή μονοδιάστατης ροής θερμότητας την οποία στη συνέχεια θα διορθώσει λαμβάνοντας τη κατάλληλη τιμές ψ από τον πίνακα 16 (εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ο πίνακας 15) και το μήκος l που πραγματοποιείται η εν λόγω θερμογέφυρα.

$$L^{2D} = L^{1D} + \psi \cdot \ell$$

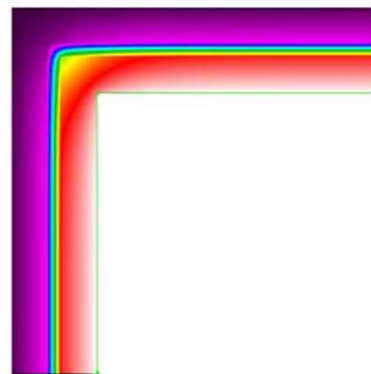
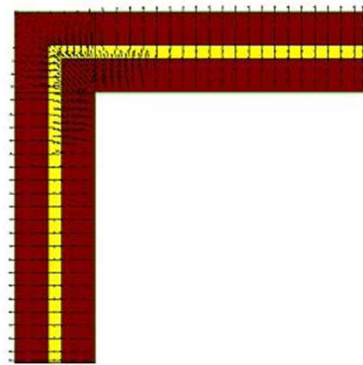
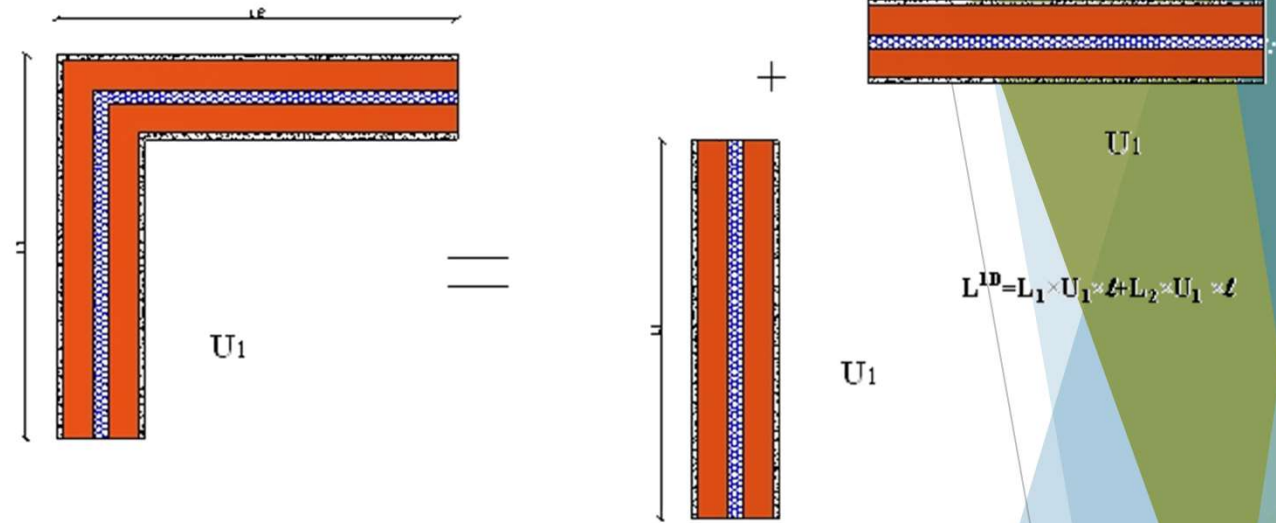
5. Θερμογέφυρες

Γεωμετρικές θερμογέφυρες

- ▶ Οι γεωμετρικές θερμογέφυρες δημιουργούνται σε θέσεις, στις οποίες η βασική γεωμετρία του δομικού στοιχείου παύει να είναι γραμμική, π.χ. στη θέση κάθετης τομής δύο εξωτερικών δομικών στοιχείων με τη συνέχεια της θερμομόνωσης να μη διακόπτεται. Σ' αυτήν την περίπτωση, επειδή η συνολική εξωτερική επιφάνεια των δομικών στοιχείων διαφέρει από την εσωτερική, αναπτύσσονται έντονα φαινόμενα δισδιάστατης ροής θερμότητας. Ανάλογα με το αν χρησιμοποιούνται εσωτερικές ή εξωτερικές διαστάσεις για τους υπολογισμούς των θερμικών ροών (παραδοχή μονοδιάστατης ροής), η τιμή του γραμμικού συντελεστή της συγκεκριμένης θερμογέφυρας διαφοροποιείται. Στην περίπτωση χρήσης εσωτερικών διαστάσεων παίρνει θετικές τιμές, ενώ στην περίπτωση χρήσης εξωτερικών διαστάσεων παίρνει αρνητικές, λειτουργώντας στην ουσία ως διόρθωση στους υπολογισμούς των ροών θερμότητας με παραδοχή μονοδιάστατης ροής. Για τις ανάγκες των υπολογισμών με βάση τον Κ.Εν.Α.Κ. γίνεται παντού χρήση εξωτερικών διαστάσεων.

5. Θερμογέφυρες

Γεωμετρικές θερμογέφυρες



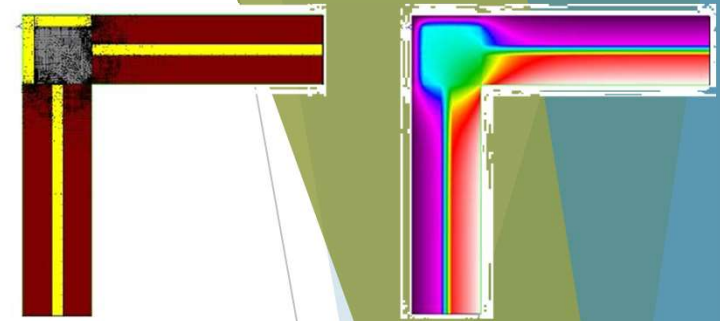
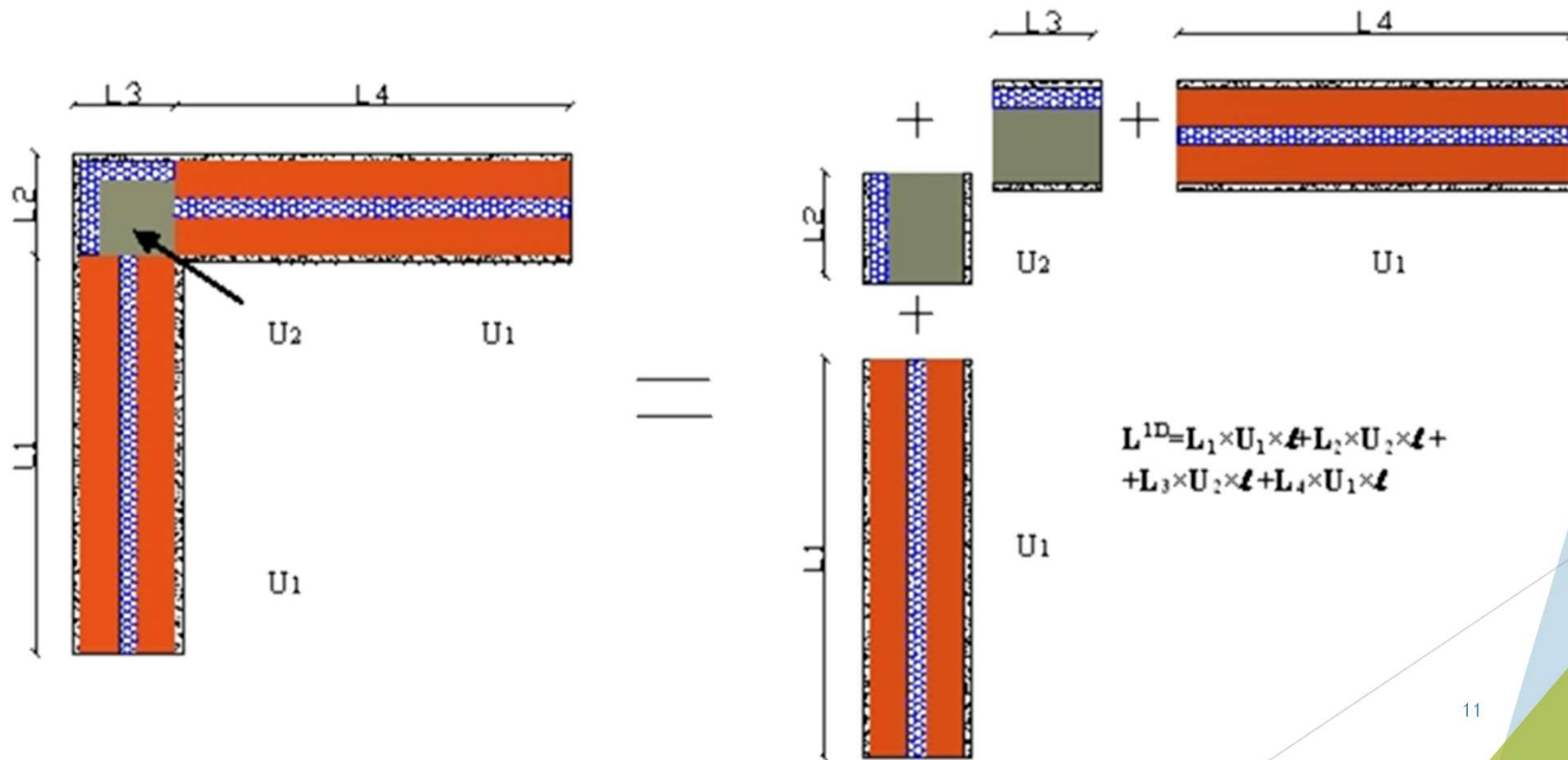
5. Θερμογέφυρες

Συνδυασμός γεωμετρικής και κατασκευαστικής θερμογέφυρας

- ▶ Σε πολλές περιπτώσεις υπάρχει συνδυασμός γεωμετρικής και κατασκευαστικής θερμογέφυρας, π.χ. σε ένα γωνιακό υποστύλωμα θερμομονωμένο εξωτερικά, στο οποίο εφάπτονται δύο κάθετες μεταξύ τους τοιχοποιίες με θερμομόνωση στον πυρήνα.
- ▶ Σ' αυτές τις περιπτώσεις εμφανίζονται αυξημένες ροές θερμότητας και μειωμένη εσωτερική επιφανειακή θερμοκρασία, ενώ ο συντελεστής γραμμικής θερμοπερατότητας της θερμογέφυρας μπορεί να λάβει, ακόμη και με χρήση εξωτερικών διαστάσεων για τους υπολογισμούς των ροών θερμότητας, τιμή αρνητική, θετική ή μηδενική ανάλογα με την περίπτωση.

5. Θερμογέφυρες

Συνδυασμός γεωμετρικής και κατασκευαστικής θερμογέφυρας



5. Θερμογέφυρες

Διάκριση θερμογεφυρών ανάλογα με μορφή διατομής

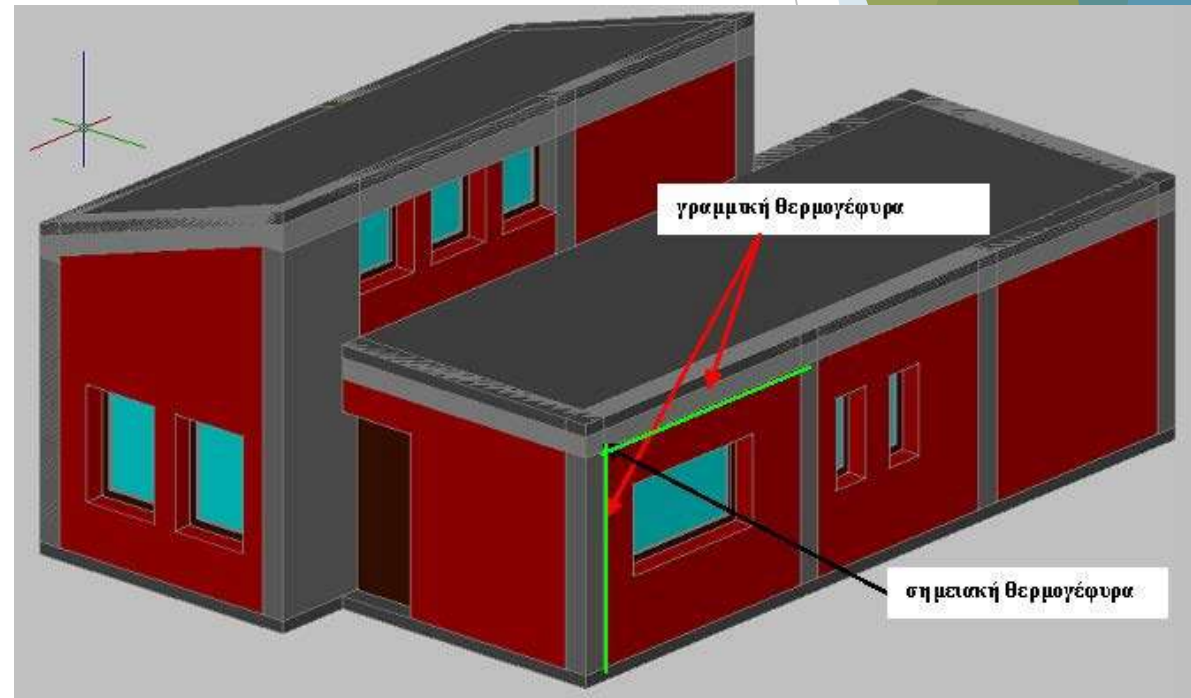
- ▶ Ανάλογα με τη μορφή μιας διατομής οι θερμογέφυρες διακρίνονται σε:
 - ▶ γραμμικές
 - ▶ σημειακές

Γραμμικές θερμογέφυρες

- έχουν ομοιόμορφη διατομή κατά μία διάσταση
- οφείλονται στη δημιουργία θέσεων στις οποίες η ροή θερμότητας παρουσιάζει έντονα δισδιάστατη φύση και η παραδοχή της μονοδιάστατης ροής θερμότητας παύει να ισχύει.

Σημειακές θερμογέφυρες

- εμφανίζονται στις ενώσεις γραμμικών θερμογεφυρών, στις οποίες η ροή θερμότητας έχει τρισδιάστατη φύση
- δεν έχουν καμία διάσταση
- η επίδρασή τους στις θερμικές ανταλλαγές θεωρείται για τα ελληνικά δεδομένα πρακτικά αμελητέα· γι' αυτό και δεν λαμβάνονται υπόψη στους υπολογισμούς.




5. Θερμογέφυρες

Διάκριση θερμογεφυρών ανάλογα με θέση εμφάνισης

- ▶ Ανάλογα με τη θέση εμφάνισής τους στο κτίριο, οι θερμογέφυρες απαντώνται:
 - ▶ στη συναρμογή των κατακόρυφων δομικών στοιχείων (κατακόρυφες θερμογέφυρες)
 - ▶ στη συναρμογή των οριζόντιων δομικών στοιχείων με τα κατακόρυφα δομικά στοιχεία (οριζόντιες θερμογέφυρες)
 - ▶ στη συναρμογή των κουφωμάτων με τα συμπαγή δομικά στοιχεία (θερμογέφυρες κουφωμάτων).

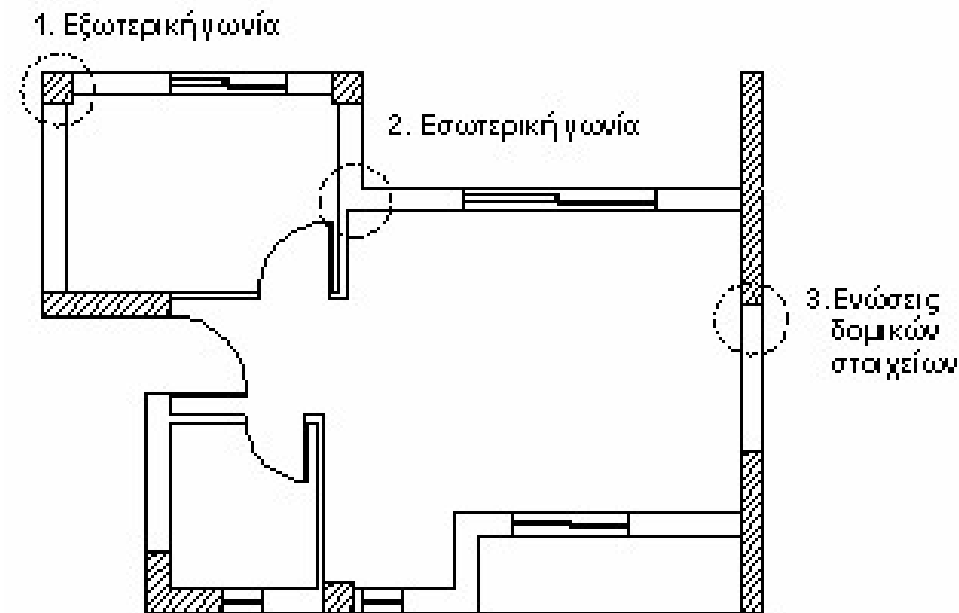
5. Θερμογέφυρες

Κατακόρυφες θερμογέφυρες

 Εντοπίζονται στις κατόψεις του κτιρίου. Δεδομένου ότι η κύρια διάστασή τους αναπτύσσεται καθ' ύψος, το μήκος τους μετράται με βάση τα σχέδια των τομών.

 Διακρίνονται τρεις υποκατηγορίες:

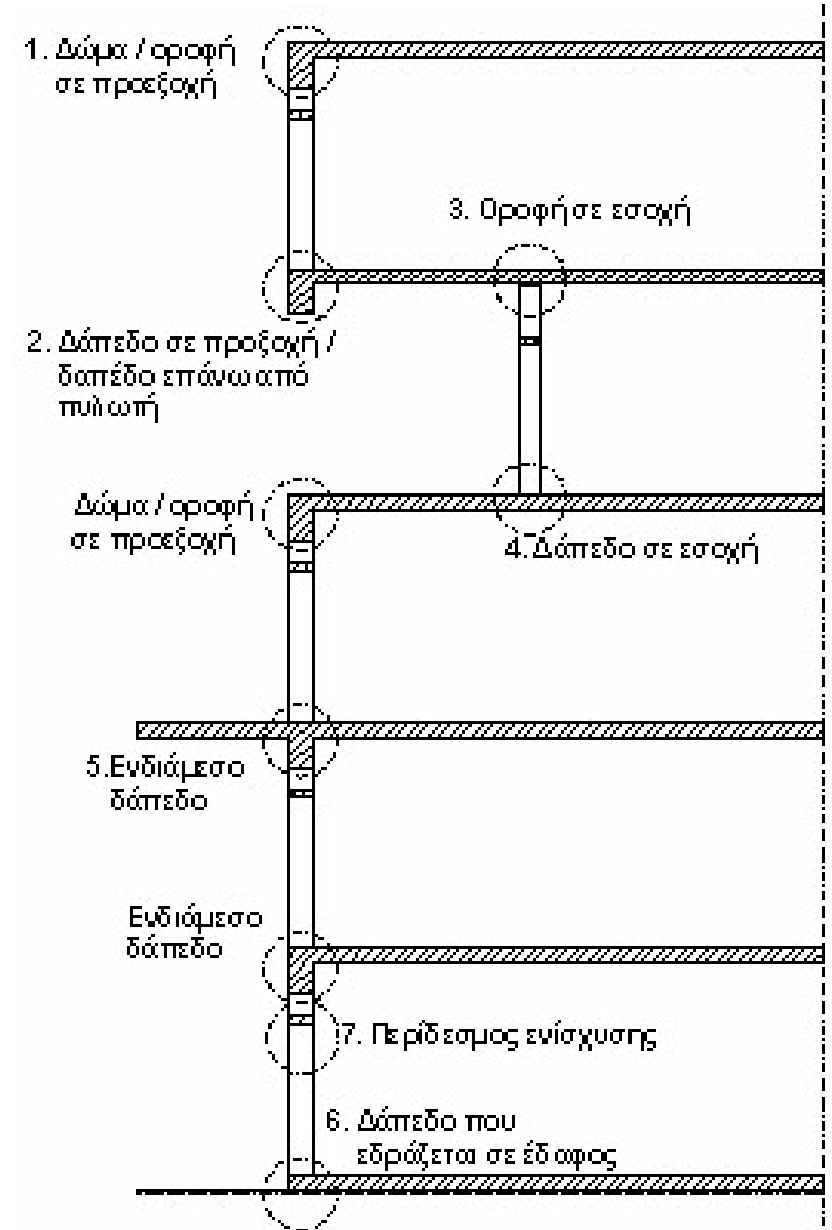
- θερμογέφυρες εξωτερικών γωνιών (ΕΞΓ),
- θερμογέφυρες εσωτερικών γωνιών (ΕΣΓ),
- θερμογέφυρες ένωσης δομικών στοιχείων (ΕΔΣ)



5. Θερμογέφυρες

Οριζόντιες θερμογέφυρες

- ▶ Εντοπίζονται στις τομές του κτιρίου. Δεδομένου ότι η κύρια διάστασή τους αναπτύσσεται κατά μήκος των δομικών στοιχείων, το μήκος τους μετράται με βάση τα σχέδια των κατόψεων.
- ▶ Διακρίνονται 7 υποκατηγορίες:
 - ▶ 1. θερμογέφυρες δώματος ή οροφής σε προεξοχή (Δ)
 - ▶ 2. θερμογέφυρες δαπέδου σε προεξοχή ή δαπέδου επάνω από πυλωτή (ΔΠ)
 - ▶ 3. θερμογέφυρες οροφής σε εσοχή (ΟΕ)
 - ▶ 4. θερμογέφυρες δαπέδου σε εσοχή (ΔΕ)
 - ▶ 5. θερμογέφυρες ενδιάμεσου δαπέδου (ΕΔΠ)
 - ▶ 6. θερμογέφυρες περιδέσμου ενίσχυσης (ΠΡ)
 - ▶ 7. θερμογέφυρες δαπέδου που εδράζεται σε έδαφος (ΕΔ)



6. Έλεγχος θερμομονωτικής επάρκειας κτιρίου

- ▶ Με τη θερμομονωτική προστασία των κτιρίων επιδιώκεται ο περιορισμός των θερμικών απωλειών από τις επιφάνειες που διαμορφώνουν το εξωτερικό κέλυφος του κτιρίου και επιτυγχάνεται έτσι:
 - ▶ ο περιορισμός της καταναλισκόμενης ενέργειας για θέρμανση το χειμώνα και ψύξη το καλοκαίρι,
 - ▶ η διαμόρφωση κατά το δυνατόν συνθηκών θερμικής άνεσης στον εσωτερικό χώρο,
 - ▶ η διατήρηση των επιφανειακών θερμοκρασιών των δομικών στοιχείων σε επίπεδα αποτρεπτικά του σχηματισμού επιφανειακής συμπύκνωσης των υδρατμών της ατμόσφαιρας (δρόσου).
- ▶ Με τον έλεγχο της θερμομονωτικής επάρκειας ελέγχεται η επαρκής θερμομονωτική προστασία του κτιρίου σύμφωνα με όσα προβλέπει ο Κ.Εν.Α.Κ. αλλά και ειδικότερα η Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2 και αποτελεί το πρώτο βήμα της ενεργειακής μελέτης.
- ▶ Μελέτη Θερμομόνωσης Κτιρίου (ΚΘΚ) → Έλεγχος θερμομονωτικής επάρκειας (ΚΕΝΑΚ)

Εισαγωγή

6. Έλεγχος θερμομονωτικής επάρκειας κτιρίου

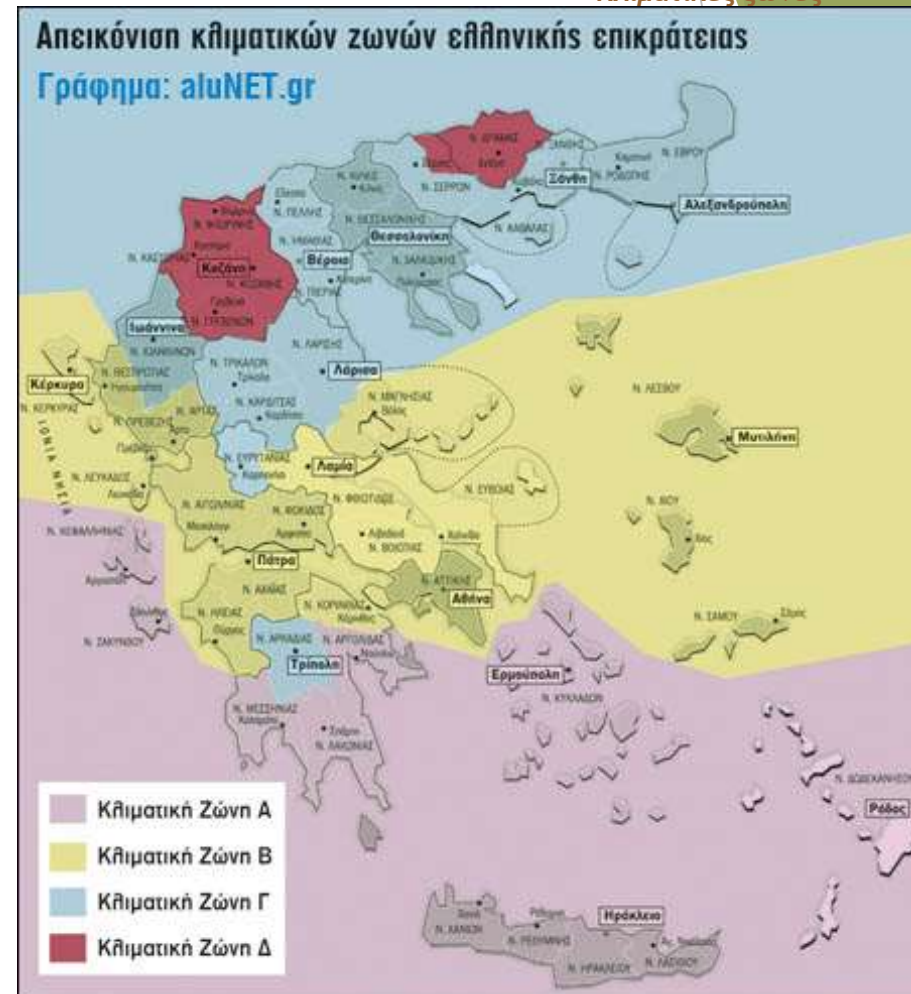
Εισαγωγή

- ▶ Ο έλεγχος θερμομονωτικής επάρκειας είναι προφανώς υποχρεωτικός για κάθε νεοανεγειρόμενο κτίριο και κάθε ριζικώς ανακαινιζόμενο, ως αναπόσπαστο τμήμα της υποχρεωτικής γι' αυτά ενεργειακής μελέτης. Επιπλέον όμως, είναι υποχρεωτικός και για τα κτίρια που **δεν υποχρεούνται** στη σύνταξη ενεργειακής μελέτης, όπως:
 - ▶ Για κτίρια, με εμβαδό μικρότερο των 50 m².
 - ▶ Για υφιστάμενα κτίρια που έχουν χαρακτηριστεί παραδοσιακά ή διατηρητέα και ανακαινίζονται ριζικώς, εκτός αν οι επεμβάσεις για τη βελτίωση της θερμικής συμπεριφοράς αλλοιώνουν τα μορφολογικά του χαρακτηριστικά και κατ' ουσίαν αίρουν το χαρακτήρα του παραδοσιακού ή/και διατηρητέου. Σε μια τέτοια περίπτωση όμως η αδυναμία εφαρμογής του Κ.Εν.Α.Κ. θα πρέπει να τεκμηριώνεται πλήρως.
 - ▶ Για χώρους που χρησιμοποιούνται ως χώροι λατρείας.
 - ▶ Για μόνιμα κτίρια με διάρκεια ζωής που δεν υπερβαίνει τα 2 έτη.
 - ▶ Για βιομηχανικές εγκαταστάσεις και εργαστήρια με εμβαδό μικρότερο των 50 m².
 - ▶ Για κτίρια αγροτικών χρήσεων με χαμηλές ενεργειακές απαιτήσεις, των οποίων το εμβαδό δεν υπερβαίνει τα 50 m².
- ▶ Στα ήδη υφιστάμενα κτίρια, στα οποία δεν πρόκειται να γίνουν επεμβάσεις ριζικής ανακαίνισης, δεν υπάρχει η υποχρέωση τήρησης των απαιτήσεων θερμομονωτικής επάρκειας κατά τον Κ.Εν.Α.Κ.

6. Έλεγχος θερμομονωτικής επάρκειας κτιρίου

- ▶ Λαμβάνοντας υπόψη την κλιματική ποικιλομορφία του ελλαδικού χώρου, ο Κ.Εν.Α.Κ. έχει διαχωρίσει όλη την ελληνική επικράτεια με βάση της βαθμομέρες θέρμανσης της κάθε περιοχής σε 4 κλιματικές ζώνες, στηριζόμενος ταυτόχρονα και στην παλαιότερη διοικητική διαίρεση της χώρας σε νομούς.
- ▶ Από τις 4 ζώνες θερμότερη είναι η Α' και ψυχρότερη η Δ'.

Κλιματικές ζώνες



ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ	ΝΟΜΟΙ
ΖΩΝΗ Α	Ηρακλείου, Χανίων, Ρεθύμνου, Λασιθίου, Κυκλάδων, Δωδεκανήσου, Σάμου, Μεσσηνίας, Λακωνίας, Αργολίδας, Ζακύνθου, Κεφαλληνίας & Ιθάκης, Κύθηρα & νησιά Σαρωνικού (Αττικής), Αρκαδίας (πεδινή).
ΖΩΝΗ Β	Αττικής (εκτός Κυθήρων & νησιών Σαρωνικού), Κορινθίας, Ηλείας, Αχαΐας, Αιτωλοακαρνανίας, Φθιώτιδας, Φωκίδας, Βοιωτίας, Ευβοίας, Μαγνησίας, Λέσβου, Χίου, Κέρκυρας, Λευκάδας, Θεσπρωτίας, Πρέβεζας, Άρτας.
ΖΩΝΗ Γ	Αρκαδίας (ορεινή), Ευρυτανίας, Ιωαννίνων, Λάρισας, Καρδίτσας, Τρικάλων, Πιερίας, Ημαθίας, Πέλλας, Θεσσαλονίκης, Κιλκίς, Χαλκιδικής, Σερρών (εκτός ΒΑ τμήματος),
	Καβάλας, Ξάνθης, Ροδόπης, Έβρου.
ΖΩΝΗ Δ	Γρεβενών, Κοζάνης, Καστοριάς, Φλώρινας, Σερρών (ΒΑ τμήμα), Δράμας.

6. Έλεγχος θερμομονωτικής επάρκειας κτιρίου

Στάδια ελέγχου θερμομονωτικής επάρκειας

- ▶ Ο έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας αποτελεί το πρώτο βήμα της ενεργειακής μελέτης.
- ▶ Για την ορθή θερμομονωτική προστασία του κελύφους απαιτείται **η επιλογή αφενός των κατάλληλων θερμομονωτικών υλικών που θα τοποθετηθούν με τη σωστή σειρά στρώσεων στα αδιαφανή δομικά στοιχεία και αφετέρου των κατάλληλου τύπου κουφωμάτων που θα καλύψουν τις θέσεις των ανοιγμάτων**. Η καταλληλότητα του θερμομονωτικού υλικού ορίζεται από πλήθος παραμέτρων, ως βασικότερες των οποίων μπορούν να αξιολογηθούν η τιμή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ , το πάχος της θερμομονωτικής στρώσης, η συνεργασιμότητα του θερμομονωτικού υλικού με τα υλικά των υπολοίπων στρώσεων κτλ.
- ▶ Ομοίως, **η καταλληλότητα του κουφώματος** ορίζεται από τις διαστάσεις του κουφώματος, το υλικό και τον τύπο του πλαισίου (της κάσας του κουφώματος), τον τύπο του υαλοπίνακα (διπλός ή τριπλός) και το αέριο πλήρωσης μεταξύ των υαλοπινάκων.
- ▶ Σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ. το κάθε δομικό στοιχείο, διαφανές ή αδιαφανές, οφείλει να δίνει τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας U μικρότερη μιας μέγιστης επιτρεπόμενης.

6. Έλεγχος θερμομονωτικής επάρκειας κτιρίου

Στάδια ελέγχου θερμομονωτικής επάρκειας

- ▶ Ο έλεγχος θερμομονωτικής επάρκειας γίνεται σε 2 στάδια:
 - ▶ **1^ο στάδιο: έλεγχος θερμικής επάρκειας κάθε ενός δομικού στοιχείου του κτιρίου**

πρέπει η τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας $U_{\text{εξεταζ.}}$ αυτού του δομικού στοιχείου να μην υπερβαίνει την τιμή του μέγιστου επιτρεπόμενου συντελεστή θερμοπερατότητας U_{max} που ορίζει ο κανονισμός,

ανά κλιματική ζώνη

για κάθε κατηγορία δομικών στοιχείων:

$$U_{\text{εξεταζ.}} \leq U_{\text{max}} \quad [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$$

6. Έλεγχος θερμομονωτικής επάρκειας κτιρίου

Στάδια ελέγχου θερμομονωτικής επάρκειας

▶ 2^ο έλεγχος θερμικής επάρκειας του συνόλου του κτιρίου

πρέπει η μέση τιμή θερμοπερατότητας του εξεταζόμενου κτιρίου (U_m) να μην υπερβαίνει τα όρια που θέτει ο κανονισμός για κάθε κτίριο ($U_{m,max}$), ανά κλιματική ζώνη. Η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας ($U_{m,max}$) υπολογίζεται λαμβανομένου υπόψη του λόγου του συνόλου των εξωτερικών επιφανειών του κτιρίου (κατακόρυφων και οριζόντιων) προς τον όγκο του (A/V):

$$U_m \leq U_{m,max} \quad [W/(m^2 \cdot K)]$$

- ▶ Ο έλεγχος του πρώτου σταδίου οφείλει να γίνεται για κάθε επί μέρους δομικό στοιχείο του εξωτερικού κελύφους, διαφανές ή αδιαφανές. Μάλιστα ο κανονισμός προτρέπει τη θερμομονωτική προστασία και των ενδιάμεσων διαχωριστικών δομικών στοιχείων, οριζόντιων και κατακόρυφων, μεταξύ διαμερισμάτων.

6. Έλεγχος θερμομονωτικής επάρκειας κτιρίου

Μεθοδολογία υπολογισμού U αδιαφανών δομικών στοιχείων

- ▶ **Απλοποιητικές παραδοχές για υπολογισμό θερμικής αντίστασης δομικού στοιχείου:**
 - ▶ Η ροή θερμότητας είναι μονοδιάστατο μέγεθος και κάθετο στην επιφάνεια του εξεταζόμενου δομικού στοιχείου.
 - ▶ Η ροή θερμότητας είναι ανεπηρέαστη από άλλες πηγές θερμότητας στο εσωτερικό του δομικού στοιχείου και στο γειτονικό του περιβάλλον.
 - ▶ Οι φυσικές ιδιότητες των υλικών είναι ανεπηρέαστες από τη θερμοκρασία.
 - ▶ Τα δομικά υλικά είναι ομογενή και ισότροπα και βρίσκονται μεταξύ τους σε τέλεια θερμική επαφή.

6. Έλεγχος θερμομονωτικής επάρκειας κτιρίου

Μεθοδολογία υπολογισμού U αδιαφανών δομικών στοιχείων

- ▶ Η αντίσταση ενός μονοστρωματικού δομικού στοιχείου είναι:

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}]$$

- ▶ Ενώ η αντίστοιχη ενός πολυστρωματικού δομικού στοιχείου:

$$R_{\Lambda} = \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} = \sum_j R_j \quad [\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}]$$

όπου:

- ▶ R , η αντίσταση που προβάλλει στη ροή θερμότητας η συγκεκριμένη στρώση $[\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}]$
- ▶ d , το πάχος της στρώσης $[\text{m}]$
- ▶ λ , ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού της στρώσης $[\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$

6. Έλεγχος θερμομονωτικής επάρκειας κτιρίου

Μεθοδολογία υπολογισμού U αδιαφανών δομικών στοιχείων

- ▶ Η σειρά των στρώσεων ενός δομικού στοιχείου πρακτικά δεν επηρεάζει τη ροή θερμότητας μέσω αυτού, επηρεάζει όμως την αξιοποίηση της θερμοχωρητικότητάς τους.
 - ▶ Η τοποθέτηση της θερμομονωτικής στρώσης σε θέση πλησιέστερη προς την εσωτερική επιφάνεια περιορίζει τη θερμοχωρητικότητα του δομικού στοιχείου, δηλαδή την ικανότητά του να αποθηκεύει θερμότητα στη μάζα του.
 - ▶ Αντίθετα, η τοποθέτηση της θερμομονωτικής στρώσης σε θέση πλησιέστερη προς την εξωτερική επιφάνεια επαυξάνει τη θερμοχωρητικότητά του.
- ▶ Η θερμοχωρητικότητα του δομικού στοιχείου επηρεάζεται καθοριστικά από τη μάζα του.
 - ▶ Όσο μεγαλύτερη είναι η μάζα του, τόσο μεγαλύτερη είναι και η ικανότητα αποθήκευσης θερμότητας.
 - ▶ Στόχος είναι η αποθηκευόμενη ποσότητα θερμότητας να μπορεί να επαναποδοθεί στο εσωτερικό περιβάλλον του κτιρίου, όταν η θερμοκρασία του χώρου πέφτει σε χαμηλότερα επίπεδα από τη θερμοκρασία της μάζας του.

6. Έλεγχος θερμομονωτικής επάρκειας κτιρίου

Μεθοδολογία υπολογισμού U αδιαφανών δομικών στοιχείων

- ▶ Η συνολική θερμική αντίσταση που προβάλλει ένα πολυστρωματικό δομικό στοιχείο, που αποτελείται από ομογενείς στρώσεις υλικών, ορίζεται από το άθροισμα των αντιστάσεων των επί μέρους στρώσεων και των αντιστάσεων του στρώματος αέρα εκατέρωθεν των όψεών του κατά την εξίσωση:

$$R_{ολ} = R_i + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_a \quad [m^2 \cdot K/W]$$

όπου:

- ▶ $R_{ολ}$, η συνολική αντίσταση που προβάλλει στη ροή θερμότητας το δομικό στοιχείο $[m^2 \cdot K/W]$
- ▶ n , το πλήθος των στρώσεων του δομικού στοιχείου [-]
- ▶ R_i , η αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση της θερμότητας από τον εσωτερικό χώρο προς το δομικό στοιχείο $[m^2 \cdot K/W]$
- ▶ R_a , η αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση της θερμότητας από το δομικό στοιχείο προς το εξωτερικό περιβάλλον $[m^2 \cdot K/W]$

6. Έλεγχος θερμομονωτικής επάρκειας κτιρίου

Μεθοδολογία υπολογισμού U αδιαφανών δομικών στοιχείων

- ▶ Οι **θερμικές απώλειες** μέσω ενός δομικού στοιχείου ορίζονται από το **συντελεστή θερμοπερατότητας (U)**, που δίνει την ποσότητα θερμότητας που μεταφέρεται στη μονάδα του χρόνου σε σταθερό θερμοκρασιακό πεδίο μέσω της μοναδιαίας επιφάνειας ενός δομικού στοιχείου, όταν η διαφορά θερμοκρασίας του αέρα στις δύο όψεις του δομικού στοιχείου ισούται με τη μονάδα.

$$U = \frac{1}{R_{ολ.}} \quad \text{W/(m}^2\cdot\text{K)}$$

- ▶ Ο συντελεστής θερμοπερατότητας ενός δομικού στοιχείου ορίζεται από τη σχέση:

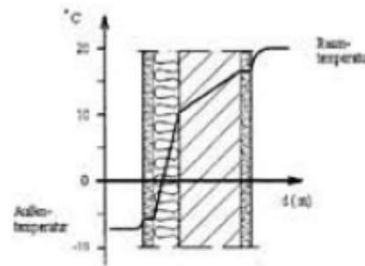
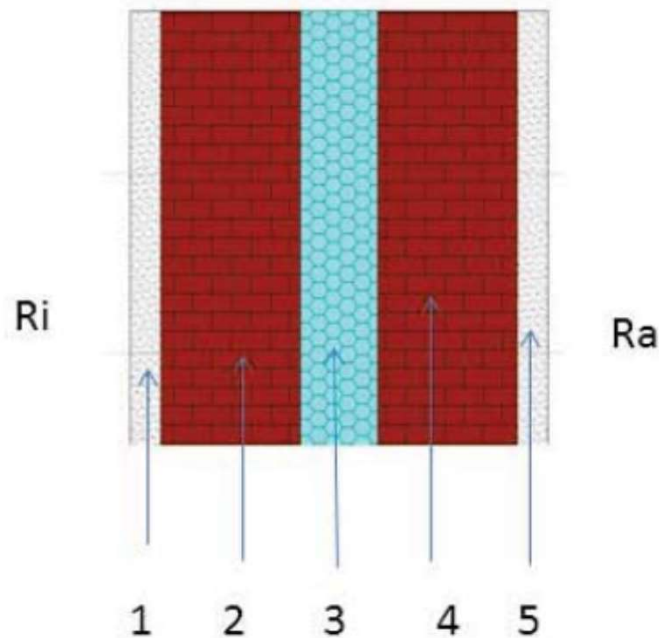
$$\frac{1}{U} = R_i + \sum_{j=1}^n R_j + R_a \quad \text{[m}^2\cdot\text{K/W]}$$

- ▶ Αν υπάρχει στρώμα αέρα μεταξύ λοιπών στρώσεων του δομικού στοιχείου:

$$U = \frac{1}{R_i + \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} + R_s + R_a} \quad \text{W/(m}^2\cdot\text{K)}$$

R_s : θερμική αντίσταση στρώματος αέρα σε τυχόν υφιστάμενο διάκενο ανάμεσα στις στρώσεις του δομικού στοιχείου, με την προϋπόθεση ότι ο αέρας του διακένου δεν επικοινωνεί με το εξωτερικό περιβάλλον και θεωρείται πρακτικά ακίνητος

Συντελεστής Θερμοπερατότητας (U): Είναι η ποσότητα θερμότητας που περνά μέσα από 1m² στοιχείου κατασκευής με πάχος d(m) στη μονάδα χρόνου όταν η διαφορά θερμοκρασίας του αέρα στις δύο όψεις του δομικού στοιχείου διατηρείται σταθερή στον 1°C. (W/m²K)



$$U = \frac{1}{R_i + \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} + R_a}$$

$$\sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{d_4}{\lambda_4} + \frac{d_5}{\lambda_5}$$

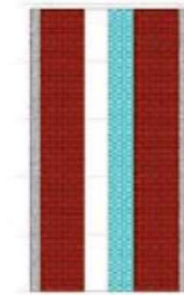
1	Αντιστάσεις θερμικής μετάβασης (εσωτερικά)	R _i	(m ² K/W)	0.130
2	Αντίσταση θερμοδιαφυγής	R _Λ	(m ² K/W)	1.743
3	Αντιστάσεις θερμικής μετάβασης (εξωτερικά)	R _a	(m ² K/W)	0.040
	Αντίσταση θερμοπερατότητας	1/U	(m ² K/W)	1.913

	Αντίσταση θερμοπερατότητας δομικού στοιχείου	U	W/(m ² K)	0.523
--	--	----------	----------------------	--------------

Υπολογισμός του συντελεστή R_{δ}

$$U = \frac{1}{R_i + \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} + R_{\delta} + R_e}$$

- Το **κλειστό διάκενο** αέρα ανάμεσα στις στρώσεις του δομικού στοιχείου. Τιμές R_{δ} από πίνακα. **Όλες** οι στρώσεις του δομικού στοιχείου συμμετέχουν στον υπολογισμό του U λαμβάνεται υπόψη και διάκενο με **θερμοανακλαστική** μόνωση
- διάκενο σε επικοινωνία με το **εξωτερικό** περιβάλλον. Όλες οι στρώσεις **εξωτερικά** του διακένου **δεν** συμμετέχουν στον υπολογισμό του U ($R_{\delta}=R_i$)
- διάκενο σε επικοινωνία με το **εσωτερικό** περιβάλλον. Όλες οι στρώσεις **εσωτερικά** του διακένου **δεν** συμμετέχουν στον υπολογισμό του U ($R_{\delta}=R_i$)



6. Έλεγχος θερμομονωτικής επάρκειας κτιρίου

Μεθοδολογία υπολογισμού U αδιαφανών δομικών στοιχείων

- ▶ Οι συντελεστές θερμικής αγωγιμότητας λ δίνονται στην Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2 και είναι ενδεικτικές. Επομένως κατά τη σύνταξη μιας ενεργειακής μελέτης η Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. ορίζει ότι:
 - ▶ Για δομικά υλικά με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας $\lambda \leq 0,18 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$,
 - ▶ εφόσον υπόκεινται σε υποχρέωση σήμανσης CE, θα γίνεται χρήση της τιμής του λ που αναγράφεται στην ετικέτα CE του προϊόντος βάσει του προτύπου προδιαγραφής τους ή βάσει ευρωπαϊκής τεχνικής έγκρισης,
 - ▶ εφόσον δεν υπόκεινται σε υποχρέωση σήμανσης CE, θα γίνεται χρήση της τιμής λ του υλικού από πιστοποιητικό διαπιστευμένου φορέα / εργαστηρίου.
 - ▶ Για στρώση υλικού πάχους μικρότερου των 2 cm και $\lambda > 0,06 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, της οποίας η βασική λειτουργία δεν προορίζεται να παράσχει θερμομονωτική προστασία στο δομικό στοιχείο, μπορεί να γίνει χρήση των ενδεικτικών τιμών του πίνακα.
- ▶ Ο κανονισμός ορίζει τις τιμές της θερμικής αντίστασης R_s και τον τρόπο υπολογισμού της θερμικής αντίστασης ολοκλήρου του δομικού στοιχείου,
 - ▶ όταν η στρώση αέρα δεν έρχεται σε επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον (πρακτικά ακίνητο στρώμα αέρα) και
 - ▶ όταν η στρώση έρχεται σε επαφή με τον αέρα του εξωτερικού περιβάλλοντος ή με του εσωτερικού χώρου.

Οι τιμές των αντιστάσεων θερμικής μετάβασης των επιφανειακών στρωμάτων αέρα εκατέρωθεν των όψεων του δομικού στοιχείου λαμβάνονται από τον πίνακες.

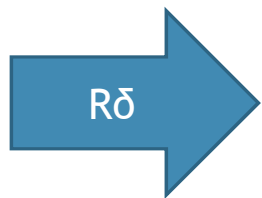


Πίνακας 3α. Τιμές συντελεστών θερμικής μετάβασης και αντιστάσεων θερμικής μετάβασης επιφανειακού στρώματος αέρα κατά ISO 6946 (πηγή: ISO 6946).

Α/Α	Κατεύθυνση θερμικής ροής	Συντελεστές θερμικής μετάβασης		Αντιστάσεις θερμικής μετάβασης	
		$1/R_i$	$1/R_a$	R_i	R_a
		W/(m ² K)	W/(m ² K)	(m ² K)/W	(m ² K)/W
1	Οριζόντια θερμική ροή	7,70	25,00	0,13	0,04
2	Κατακόρυφη θερμική ροή προς τα άνω	10,00	25,00	0,10	0,04
3	Κατακόρυφη θερμική ροή προς τα κάτω	5,88	25,00	0,17	0,04

Πίνακας 3β. Τιμές συντελεστών θερμικής μετάβασης και αντιστάσεων θερμικής μετάβασης κατά το ISO 6946, εξειδικευμένες ανά δομικό στοιχείο (πηγή: πρωτότυπος πίνακας, επεξεργασμένος βάσει του ISO 6946).

Α/Α	Δομικό στοιχείο	Συντελεστές θερμικής μετάβασης		Αντιστάσεις θερμικής μετάβασης	
		$1/R_i$	$1/R_a$	R_i	R_a
		W/(m ² K)	W/(m ² K)	(m ² K)/W	(m ² K)/W
1	Εξωτερικοί τοίχοι και παράθυρα (προς εξωτ. αέρα)	7,70	25,00	0,13	0,04
2	Τοίχος που συνορεύει με μη θερμαινόμενο χώρο	7,70	7,70	0,13	0,13
3	Τοίχος σε επαφή με έδαφος	7,70	–	0,13	0,00
4	Στέγη, δώμα (ανερχόμενη ροή θερμότητας)	10,00	25,00	0,10	0,04



Πίνακας 3α. Θερμική αντίσταση μη αεριζόμενου στρώματος αέρα, ευρισκόμενου πρακτικά σε κατάσταση ηρεμίας

Πάχος ακίνητης στρώσης αέρα	Χωρίς ανακλαστική επιφάνεια ($\epsilon = 0,80$) σε καμιά πλευρά του διακένου			Με ανακλαστική επιφάνεια ($\epsilon = 0,05$) στη μία πλευρά του διακένου		
	Οριζόντια ροή	Ροή από κάτω προς τα άνω	Ροή από άνω προς τα κάτω	Οριζόντια ροή	Ροή από κάτω προς τα άνω	Ροή από άνω προς τα κάτω
mm	$m^2 \cdot K/W$	$m^2 \cdot K/W$	$m^2 \cdot K/W$	$m^2 \cdot K/W$	$m^2 \cdot K/W$	$m^2 \cdot K/W$
5	0,11	0,11	0,11	0,19	0,19	0,19
7	0,13	0,13	0,13	0,26	0,26	0,26
10	0,15	0,15	0,15	0,36	0,36	0,36
15	0,17	0,16	0,17	0,52	0,45	0,52
25	0,18	0,16	0,19	0,67	0,45	0,80
50	0,18	0,16	0,21	0,67	0,45	0,80
100	0,18	0,16	0,22	0,67	0,45	0,80
300	0,18	0,16	0,23	0,67	0,45	0,80

Πάχος ακίνητης στρώσης αέρα	Με ανακλαστική επιφάνεια ($\epsilon = 0,10$) στη μία πλευρά του διακένου			Με ανακλαστική επιφάνεια ($\epsilon = 0,20$) στη μία πλευρά του διακένου		
	Οριζόντια ροή	Ροή από κάτω προς τα άνω	Ροή από άνω προς τα κάτω	Οριζόντια ροή	Ροή από κάτω προς τα άνω	Ροή από άνω προς τα κάτω
mm	$m^2 \cdot K/W$	$m^2 \cdot K/W$	$m^2 \cdot K/W$	$m^2 \cdot K/W$	$m^2 \cdot K/W$	$m^2 \cdot K/W$
5	0,18	0,18	0,18	0,17	0,17	0,17
7	0,25	0,25	0,25	0,22	0,22	0,22
10	0,33	0,33	0,33	0,29	0,29	0,29
15	0,46	0,41	0,46	0,38	0,34	0,38
25	0,57	0,41	0,66	0,44	0,34	0,50
50	0,57	0,41	0,66	0,44	0,34	0,67
100	0,57	0,41	0,66	0,44	0,34	0,75
300	0,57	0,41	0,66	0,44	0,34	0,75

Πιο αναλυτικά σε επόμενη διαφάνεια

6. Έλεγχος θερμομονωτικής επάρκειας κτιρίου

Μεθοδολογία υπολογισμού U αδιαφανών δομικών στοιχείων

- ▶ Σύμφωνα με την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2 όλα τα δομικά στοιχεία των παθητικών ηλιακών συστημάτων - εκτός του άμεσου ηλιακού κέρδους - **δεν ελέγχονται ως προς τη θερμομονωτική τους επάρκεια και δεν υποχρεώνονται να πληρούν τα όρια των μέγιστων επιτρεπόμενων τιμών U του κανονισμού.**
- ▶ Ειδικότερα, **δεν ελέγχονται ως προς τη θερμομονωτική τους επάρκεια:**
 - ▶ ο τοίχος Trombe, ο τοίχος θερμικής μάζας και γενικώς οποιοσδήποτε τοίχος ή άλλο στοιχείο θερμικής συσσώρευσης,
 - ▶ το διαχωριστικό δομικό στοιχείο μεταξύ του κυρίως χώρου του κτιρίου και του προσαρτημένου θερμοκηπίου, που θα θεωρείται ως εξωτερική επιφάνεια του κελύφους προς μη θερμαινόμενο χώρο, καθώς το προσαρτημένο θερμοκήπιο λογίζεται ως χώρος που δεν θερμαίνεται.
- ▶ Σε κάθε περίπτωση **η τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας U του εξεταζόμενου δομικού στοιχείου οφείλει να είναι μικρότερη της μέγιστης τιμής U_{max} .** Σε αντίθετη περίπτωση θα πρέπει να βελτιωθεί η συμπεριφορά του είτε με αύξηση του πάχους της θερμομονωτικής στρώσης του δομικού στοιχείου είτε με αντικατάσταση του θερμομονωτικού υλικού με άλλο με καλύτερη τιμή λ.

6. Έλεγχος θερμομονωτικής επάρκειας κτιρίου

Μεθοδολογία υπολογισμού U αδιαφανών δομικών στοιχείων

Κατά τον έλεγχο της θερμομονωτικής επάρκειας το κτίριο θεωρείται πανταχόθεν ελεύθερο, αδιαφόρως της πραγματικής κατάστασης και της γειτνίασής του με άλλα κτίρια του αυτού ή του όμορου οικοπέδου.

Κατά την ενεργειακή επιθεώρηση λαμβάνεται υπόψη η πραγματική κατάσταση και οι επιφάνειες οι ερχόμενες σε επαφή με όμορο κτίσμα λαμβάνονται ως αδιαβατικές εφόσον είναι γνωστό ότι η τιμή θερμοκρασίας εσωτερικού χώρου του όμορου κτίσματος είναι η ίδια με την τιμή θερμοκρασίας εσωτερικού χώρου του εξεταζόμενου κτιρίου ή ότι την προσεγγίζει. Διαφορετικά οι επιφάνειες προς το όμορο κτίσμα μπορεί να ληφθούν ερχόμενες σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο.

6. Έλεγχος θερμομονωτικής επάρκειας κτιρίου

Πίνακες τιμών

Θερμική αγωγιμότητα λ

- Στον πίνακα 1 δίδονται ενδεικτικές τιμές σχεδιασμού του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ διαφόρων δομικών προϊόντων.

TOTEE -
2/2017

Δομικά υλικά	Πυκνότητα	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας Τιμές σχεδιασμού	Ειδική θερμοχωρητικότητα	Συντελεστής αντίστασης σε διάχυση υδρατμών		
				μ	ξηρό	
	ρ kg/m ³	λ W/(m·K)	c _p J/(kg·K)	μ	ξηρό	υγρό
1. Ανόργανα δομικά υλικά						
1.1. Φυσικοί λίθοι και γαίες						
1.1.1. Συμπαγείς λίθοι						
1.1.1.1. Ιζηματογενή πετρώματα (σκληρά)	2600	2,300	1 000	250	200	
1.1.1.2. Ομογενής βράχος		3,500				
1.1.1.3. Βασάλτης	2700 - 3000	3,500	1 000	10 000	10 000	
1.1.1.4. Γνεύσιος	2400 - 2700	3,500	1 000	10 000	10 000	
1.1.1.5. Γρανίτης	2500 - 2700	2,800	1 000	10 000	10 000	
1.1.1.6. Μάρμαρο	2800	3,500	1 000	10 000	10 000	
1.1.1.7. Σχιστόλιθος	2000 - 2800	2,200	1 000	1 000	800	
1.1.1.8. Ασβεστόλιθος	πολύ σκληρός	2600	2,300	1 000	250	200
	σκληρός	2200	1,700	1 000	200	150
	ημισκληρός	2000	1,400	1 000	50	40
1.1.2. Πορώδεις λίθοι						
1.1.2.1. Ασβεστόλιθος	μαλακός	1800	1,100	1 000	40	25
	πολύ μαλακός	1600	0,850	1 000	30	20
1.1.2.2. Ψαμμίτης	2600	2,300	1 000	40	30	
1.1.2.3. Ιζηματογενή πετρώματα (μαλακά)	1500	0,850	1 000	30	20	
1.1.2.4. Κίσηρη υπό μορφή πέτρας, λάβα, πορώδης λάβα	1600	0,550	800	20	15	
1.1.2.5. Ελαφρόπέτρα, θηραϊκή γη	400	0,120	1 000	8	6	
1.1.2.6. Πλάκες τύπου Μάλτας (μαλτεζόπλακες)		1,050				

1.2. Γαιώδη υλικά και υλικά πλήρωσης διακένων δαπέδων, οροφών, τοίχων κ.τ.λ.

1.2.1. Χώμα συμπαγές	1800	2,000			
1.2.2. Αργίλος / ιλύς	1200 - 1800	1,500	1 670 - 2 500	50	50
1.2.3. Πλυθής άμμος (υγρή)	1700	1,500	1 800	—	
1.2.4. Τύρφη (σε ξηρή κατάσταση)	400	0,200	1 000		
(σε υγρή κατάσταση)	900	0,500	1 500		
1.2.5. Άμμος διαμέτρου κόκκου < 5 mm	1520	0,350	800		
1.2.6. Αμμοχάλικο	2200	2,000	910 - 1180	50	50
1.2.7. Χονδρόκοκκη κίσηρη		0,190		40	180
1.2.8. Διογκωμένος περλίτης	50 - 130	0,070	900	1 - 2	
1.2.9. Ψηφίδες διαμέτρου κόκκου 50 - 10 mm, συλλεκτές και θραυστές		0,810			
1.2.10. Θραύσματα οπτόπλινθων και κεραμιδιών	1400	0,410			
1.3. Κατεργασμένη άργιλος (πηλός)					
1.3.1. Ελαφρός πηλός (κίσηρη + πηλός)	760	0,230	1 000	6	
1.3.2. Πηλός μπαγδατί		0,470			
1.3.3. Πηλός, λάσπη	1200 - 1800	1,500	1670 - 2500	50	50
1.3.4. Ωμόπλινθοι συμπαγείς	1990	0,800	1 000	10	
1.3.5. Ωμόπλινθοι με πρόσμειξη άχυρου	300	0,100	1 500	5	
	660	0,190	1 500	5	
	1400	0,700			

ΚΛΠ....

6. Έλεγχος θερμομονωτικής επάρκειας κτιρίου

2.1.1. Κλειστό διάκενο αέρα ανάμεσα στις στρώσεις του δομικού στοιχείου

Ο αέρας του διακένου ανάμεσα στις στρώσεις του δομικού στοιχείου, που δεν έρχεται σε επαφή με το εκατέρωθεν των όψεων του δομικού στοιχείου εξωτερικό περιβάλλον, θεωρείται πρακτικά ακίνητος και λαμβάνει τιμές, όπως προαναφέρθηκε, από τον πίνακα 3α.

- Οι τιμές του πίνακα δίνονται για στρώση αέρα που ορίζεται μεταξύ δύο παράλληλων επιφανειών, οι οποίες είναι κάθετες στην κατεύθυνση της θερμικής ροής και υπό τις προϋποθέσεις ότι:
 - ο αέρας βρίσκεται εγκλωβισμένος μέσα στο δομικό στοιχείο, δηλαδή δεν έχει εναλλαγές με το εξωτερικό περιβάλλον εκατέρωθεν των όψεων του δομικού στοιχείου,
 - η στρώση έχει πάχος μικρότερο του 1/10 εκάστης των άλλων δύο διαστάσεων και πάντως όχι μεγαλύτερο των 30 cm.
- Ως οριζόντια θεωρείται η θερμική ροή που παρουσιάζει απόκλιση από το οριζόντιο επίπεδο μέχρι $\pm 30^\circ$.

Πίνακας 3α. Θερμική αντίσταση μη αεριζόμενου στρώματος αέρα, ευρισκόμενου πρακτικά σε κατάσταση ηρεμίας

Πάχος ακίνητης στρώσης αέρα	Χωρίς ανακλαστική επιφάνεια ($\epsilon = 0,80$) σε καμιά πλευρά του διακένου			Με ανακλαστική επιφάνεια ($\epsilon = 0,05$) στη μία πλευρά του διακένου		
	Οριζόντια ροή	Ροή από κάτω προς τα άνω	Ροή από άνω προς τα κάτω	Οριζόντια ροή	Ροή από κάτω προς τα άνω	Ροή από άνω προς τα κάτω
mm	$m^2 \cdot K/W$	$m^2 \cdot K/W$	$m^2 \cdot K/W$	$m^2 \cdot K/W$	$m^2 \cdot K/W$	$m^2 \cdot K/W$
5	0,11	0,11	0,11	0,19	0,19	0,19
7	0,13	0,13	0,13	0,26	0,26	0,26
10	0,15	0,15	0,15	0,36	0,36	0,36
15	0,17	0,16	0,17	0,52	0,45	0,52
25	0,18	0,16	0,19	0,67	0,45	0,80
50	0,18	0,16	0,21	0,67	0,45	0,80
100	0,18	0,16	0,22	0,67	0,45	0,80
300	0,18	0,16	0,23	0,67	0,45	0,80

Πάχος ακίνητης στρώσης αέρα	Με ανακλαστική επιφάνεια ($\epsilon = 0,10$) στη μία πλευρά του διακένου			Με ανακλαστική επιφάνεια ($\epsilon = 0,20$) στη μία πλευρά του διακένου		
	Οριζόντια ροή	Ροή από κάτω προς τα άνω	Ροή από άνω προς τα κάτω	Οριζόντια ροή	Ροή από κάτω προς τα άνω	Ροή από άνω προς τα κάτω
mm	$m^2 \cdot K/W$	$m^2 \cdot K/W$	$m^2 \cdot K/W$	$m^2 \cdot K/W$	$m^2 \cdot K/W$	$m^2 \cdot K/W$
5	0,18	0,18	0,18	0,17	0,17	0,17
7	0,25	0,25	0,25	0,22	0,22	0,22
10	0,33	0,33	0,33	0,29	0,29	0,29
15	0,46	0,41	0,46	0,38	0,34	0,38
25	0,57	0,41	0,66	0,44	0,34	0,50
50	0,57	0,41	0,66	0,44	0,34	0,67
100	0,57	0,41	0,66	0,44	0,34	0,75
300	0,57	0,41	0,66	0,44	0,34	0,75

2.1.2. Πλήρως αεριζόμενο διάκενο αέρα

Ένα διάκενο αέρα θεωρείται πλήρως αεριζόμενο, όταν οι θυρίδες αερισμού από το διάκενο προς το εξωτερικό περιβάλλον έχουν επιφάνεια ίση ή μεγαλύτερη από:

- 1.500 mm^2 ανά μέτρο μήκους της όψης του αεριζόμενου κελύφους (κατά την οριζόντια διεύθυνση), για κατακόρυφο διάκενο αέρα,
- 1.500 mm^2 ανά τετραγωνικό μέτρο της επιφάνειας της όψης του αεριζόμενου κελύφους, για οριζόντιο διάκενο αέρα.

Ως προς τον υπολογισμό του συντελεστή θερμοπερατότητας δομικού στοιχείου με πλήρως αεριζόμενο διάκενο αέρα ισχύουν τα κάτωθι:

- Εάν το διάκενο αέρα επικοινωνεί με το εσωτερικό περιβάλλον, τότε οι αντιστάσεις των στρώσεων του δομικού στοιχείου μεταξύ του εσωτερικού περιβάλλοντος και του διακένου δεν λαμβάνονται υπόψη στον υπολογισμό του συντελεστή θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου (U) και ως επιφανειακό στρώμα αέρα από την εσωτερική πλευρά θεωρείται αυτό του διακένου.

Ο αέρας του διακένου θεωρείται ήπια κινούμενος και η τιμή της αντίστοιχης θερμικής μετάβασης λαμβάνεται από τον πίνακα 2α (ή τον πίνακα 2β), καθώς η κινητικότητά του θεωρείται αντίστοιχη με αυτού του εσωτερικού χώρου. Δηλαδή, ισχύει:

$$R_{\delta} = R_i$$

$$[\text{m}^2 \cdot \text{K/W}]$$

$$(2.2.)$$

- Εάν το διάκενο επικοινωνεί με το εξωτερικό περιβάλλον, τότε οι θερμικές αντιστάσεις των στρώσεων του αέρα του διακένου και του δομικού στοιχείου μεταξύ του εξωτερικού περιβάλλοντος και του διακένου δεν λαμβάνονται υπόψη στον υπολογισμό του συντελεστή θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου (U) και ως επιφανειακό στρώμα αέρα από την εξωτερική πλευρά θεωρείται αυτό του διακένου.

Ο αέρας του διακένου θεωρείται και πάλι ήπιας κινητικότητας. Η τιμή της αντίστασης θερμικής μετάβασης στην εξωτερική επιφάνεια επίσης λαμβάνει τιμές αντίστοιχες του R_i και όχι του R_a . Τότε όμως η τιμή της αντίστασης θερμικής μετάβασης R_i λαμβάνεται για τον υπολογισμό από τον πίνακα 2γ για θερμοκρασία εξωτερικού περιβάλλοντος 0°C .

- Εάν το διάκενο έχει επικοινωνία τόσο με το εσωτερικό, όσο και με το εξωτερικό περιβάλλον, θεωρείται ότι το συγκεκριμένο δομικό στοιχείο δεν προσφέρει θερμομονωτική προστασία στο κτήριο.

2.1.3. Ελαφρώς αεριζόμενο διάκενο αέρα (ή ελαφρώς αεριζόμενο κέλυφος)

Ένα διάκενο αέρα θεωρείται ελαφρώς αεριζόμενο, όταν υπάρχει περιορισμένη ροή αέρα από το διάκενο προς το εξωτερικό περιβάλλον, με θυρίδες επιφάνειας A_V όταν αυτή η επιφάνεια είναι:

- μεγαλύτερη από 500 m^2 αλλά μικρότερη από 1.500 m^2 ανά μέτρο μήκους της όψης του αεριζόμενου κελύφους (κατά την οριζόντια διεύθυνση) για κατακόρυφο διάκενο αέρα ή
- μεγαλύτερη από 500 m^2 αλλά μικρότερη από 1.500 m^2 ανά τετραγωνικό μέτρο της επιφάνειας της όψης του αεριζόμενου κελύφους για οριζόντιο διάκενο αέρα.

Η επίδραση του αερισμού του διακένου αέρα εξαρτάται από το μέγεθος και την κατανομή των θυρίδων αερισμού. Προσεγγιστικά, η συνολική θερμική αντίσταση δομικού στοιχείου με μερικώς αεριζόμενο διάκενο αέρα υπολογίζεται από τη σχέση:

$$R_{o\lambda} = ((1500 - A_V) / 1000) \cdot R_{o\lambda,u} + ((A_V - 500) / 1000) \cdot R_{o\lambda,v} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{K/W}] \quad (2.3.)$$

όπου: $R_{o\lambda,u}$ $[\text{m}^2 \cdot \text{K/W}]$ η συνολική θερμική αντίσταση με κλειστό διάκενο αέρα (§ 2.1.1.)
 $R_{o\lambda,v}$ $[\text{m}^2 \cdot \text{K/W}]$ η συνολική θερμική αντίσταση με πλήρως αεριζόμενο διάκενο αέρα (§ 2.1.2.)
 A_V $[\text{m}^2]$ το εμβαδό των θυρίδων.

2.1.4. Δομικά στοιχεία προς μη θερμαινόμενους χώρους

Ως μη θερμαινόμενος χώρος ορίζεται κάθε κλειστός χώρος, που δεν θερμαίνεται και περιλαμβάνεται στον όγκο του κτηρίου ή βρίσκεται στην περίμετρό του. Ο μη θερμαινόμενος χώρος δεν συμπεριλαμβάνεται στο θερμομονωτικά προστατευόμενο όγκο του κτηρίου και εφόσον διαχωρίζεται από τους λοιπούς θερμαινόμενους χώρους με κοινά προς αυτούς δομικά στοιχεία, αυτά οφείλουν να θερμομονώνονται πλήρως και να ελέγχονται ως προς τη θερμική τους επάρκεια σύμφωνα με τις απαιτήσεις του κανονισμού (πίνακας 5α όταν πρόκειται για νεόδμητο κτήριο και πίνακας 5β, όταν πρόκειται για ριζικώς ανακαινιζόμενο κτήριο).

- Μη θερμαινόμενοι χώροι συνήθως είναι:
 - οι χώροι των υπογείων, όταν δεν θερμαίνονται,
 - οι χώροι των αποθηκών, που βρίσκονται μέσα στο κυρίως σώμα του κτηρίου ή σε επαφή με αυτό και δεν διαθέτουν θέρμανση,
 - οι κλειστοί χώροι στάθμευσης αυτοκινήτων,
 - κάθε κλειστός χώρος, που από τη φύση της λειτουργίας του δεν θερμαίνεται (π.χ. βιομηχανικά εργαστήρια).

Για τον υπολογισμό του συντελεστή θερμοπερατότητας (U) ενός δομικού στοιχείου που διαχωρίζει ένα θερμαινόμενο χώρο από ένα μη θερμαινόμενο χώρο εφαρμόζεται η ίδια διαδικασία που εφαρμόζεται για τον υπολογισμό ενός δομικού στοιχείου που έρχεται σε επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον και χρησιμοποιείται η ίδια σχέση 2.1., λαμβάνοντας όμως τη θερμική αντίσταση του επιφανειακού στρώματος αέρα προς το μη θερμαινόμενο χώρο ίση με αυτήν του εσωτερικού.

Δηλαδή ισχύει:

$$R_a = R_i \quad [m^2 \cdot K/W] \quad (2.4.)$$

Η τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας ενός δομικού στοιχείου προς μη θερμαινόμενο χώρο (U) υπεισέρχεται στον υπολογισμό του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας όλου του κτηρίου (U_m) με ένα μειωτικό συντελεστή b , όπως περιγράφεται αναλυτικά σε επόμενη παράγραφο.

2.1.5. Οριζόντια οροφή κάτω από μη θερμομονωμένη στέγη

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας κλειστών χώρων, που διαμορφώνονται μεταξύ των οριζόντιων οροφών των τελευταίων ορόφων των κτηρίων και των κεκλιμένων επιστεγάσεων τους, οι οποίες δεν είναι θερμομονωμένες, υπολογίζεται λαμβάνοντας επιπλέον υπόψη τη θερμική αντίσταση, που προβάλλει το στρώμα αέρα αυτού του ενδιάμεσου χώρου. Η στρώση του αέρα αυτού του χώρου θεωρείται πρακτικά ομογενής και λαμβάνεται υπόψη ως πρόσθετη θερμική αντίσταση.

Έτσι, ο συντελεστής θερμοπερατότητας οριζόντιας οροφής κάτω από μη θερμομονωμένη στέγη θα υπολογιστεί βάσει της σχέσης:

$$U_u = \frac{1}{R_i + \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} + R_s + R_u + R_a} \quad [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})] \quad (2.5.)$$

όπου:	U_u [W/(m ² ·K)]	ο συντελεστής θερμοπερατότητας της οριζόντιας οροφής κάτω από τη μη θερμομονωμένη στέγη,
	n [-]	το πλήθος των στρώσεων της οριζόντιας οροφής,
	d [m]	το πάχος της κάθε στρώσης της οριζόντιας οροφής,
	λ [W/(m·K)]	ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού της κάθε στρώσης της οριζόντιας οροφής,
	R_δ [m ² ·K/W]	η θερμική αντίσταση του στρώματος αέρα σε τυχόν υφιστάμενο διάκενο ανάμεσα στις στρώσεις της οριζόντιας οροφής, με την προϋπόθεση ότι ο αέρας του διακένου θεωρείται πρακτικά ακίνητος και δεν επικοινωνεί ούτε με τον αέρα του εσωτερικού χώρου ούτε με τον αέρα κάτω από τη μη θερμομονωμένη στέγη,
	R_i [m ² ·K/W]	η αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση της θερμότητας από τον εσωτερικό χώρο προς την οριζόντια οροφή,
	R_u [m ² ·K/W]	η αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το στρώμα αέρα μεταξύ της οριζόντιας οροφής και της κεκλιμένης στέγης, συμπεριλαμβανομένης της θερμικής αντίστασης των στρώσεων της κεκλιμένης στέγης,
	R_a [m ² ·K/W]	η αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση της θερμότητας από την κεκλιμένη στέγη προς το εξωτερικό περιβάλλον.

Πίνακες τιμών

- Οι τιμές θερμικής αντίστασης του στρώματος αέρα μεταξύ της οριζόντιας οροφής και της κεκλιμένης στέγης, λαμβάνονται από τον πίνακα 4. Σ' αυτήν την τιμή συμπεριλαμβάνεται και η θερμική αντίσταση των στρώσεων της κεκλιμένης μη θερμομονωμένης στέγης.

Σε περίπτωση που η κεκλιμένη στέγη είναι θερμομονωμένη, ο έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας θα γίνει σ' αυτήν και όχι στην οριζόντια οροφή.

Τότε η τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας της κεκλιμένης στέγης υπολογίζεται:

- ως να επρόκειτο για οριζόντια επιφάνεια οροφής, όταν η κλίση της στέγης είναι $\varphi \leq 30^\circ$ και
- ως να επρόκειτο για κατακόρυφη επιφάνεια, όταν η κλίση της στέγης είναι $\varphi > 30^\circ$

με αντίστοιχη επιλογή τιμών των μεγεθών R_i και R_a και έλεγχο με τη μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή $U_{\max, \text{επιτρ.}}$ στην κάθε περίπτωση.

Πίνακας 4. Η θερμική αντίσταση που προβάλλει στρώμα αέρα μεταξύ οριζόντιας θερμομονωμένης οροφής και κεκλιμένης στέγης (πηγή: ISO 6946).

Α/Α	Περιγραφή της οροφής	R_u
		($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$)
1	Στέγη με επικάλυψη από αργιλικά κεραμίδια (βυζαντινού, ρωμαϊκού, γαλλικού ή ολλανδικού τύπου) / φυσική πέτρα / μεταλλικά / ασφαλτικά ή συνθετικά κεραμίδια, επί τεγίδων, χωρίς ενδιάμεσο σανίδωμα ή στεγανοποιητική υδρατμοδιαπερατή μεμβράνη.	0,06
2	Κεραμοσκεπή με σανίδωμα ή μεμβράνη κάτω από τα αργιλικά κεραμίδια (βυζαντινού, ρωμαϊκού, γαλλικού ή ολλανδικού τύπου).	0,20
3	Στέγη με επικάλυψη από φυσική πέτρα, μεταλλικά, συνθετικά ή ασφαλτικά φύλλα και με επικάλυψη φύλλου αλουμινίου με σανίδωμα ή μεμβράνη κάτω από τα κεραμίδια.	0,20
4	Στέγη με φυσική πέτρα, μεταλλικά, συνθετικά ή ασφαλτικά φύλλα και με επικάλυψη φύλλου αλουμινίου ή άλλη χαμηλής εκπομπής επιφάνεια κάτω από τα κεραμίδια.	0,30
5	Στέγη αποτελούμενη από σανίδωμα και μεμβράνη.	0,30

Κεκλιμένη
θερμομονωμένη
στέγη

2.1.6. Δομικό στοιχείο σε επαφή με το έδαφος

Η ροή θερμότητας από ένα δομικό στοιχείο, που έρχεται σε επαφή με το έδαφος, είναι ένα σύνθετο τρισδιάστατο φαινόμενο το οποίο εξαρτάται από πολλές παραμέτρους, βασικότερες των οποίων είναι:

- η θερμική αγωγιμότητα του εδάφους,
- το πάχος του στρώματος εδάφους, που το διαχωρίζει από τον εξωτερικό αέρα,
- η γεωμετρία του κτηρίου,
- η ίδια η θερμική αντίσταση του δομικού στοιχείου.

Για να γίνει εφικτή η απλοποιητική παραδοχή της μονοδιάστατης ροής θερμότητας, γίνεται χρήση του ισοδύναμου συντελεστή θερμοπερατότητας U' , ο οποίος όταν πρόκειται για οριζόντιο δομικό στοιχείο υπολογίζεται συναρτήσει:

- του ονομαστικού συντελεστή θερμοπερατότητας U του δομικού στοιχείου,
- του βάθους έδρασης z του δομικού στοιχείου και
- της χαρακτηριστικής διάστασης της πλάκας (B') όπως ορίζεται παρακάτω,

ενώ, όταν πρόκειται για κατακόρυφο δομικό στοιχείο, υπολογίζεται συναρτήσει:

- του ονομαστικού συντελεστή θερμοπερατότητας U του δομικού στοιχείου και
- του βάθους z , μέχρι το οποίο φθάνει το δομικό στοιχείο.

Ο ονομαστικός συντελεστής θερμοπερατότητας U ενός δομικού στοιχείου που έρχεται σε επαφή με το έδαφος υπολογίζεται κανονικά από τη σχέση 2.1., θεωρώντας ότι πρακτικά δεν υπάρχει εξωτερικό στρώμα αέρα που θα προβάλλει αντίσταση στη ροή θερμότητας και ότι η εξωτερική αντίσταση θερμικής μετάβασης, μηδενίζεται. Είναι δηλαδή: $R_a = 0$.

Ο έλεγχος θερμομονωτικής επάρκειας δομικού στοιχείου που έρχεται σε επαφή με το έδαφος γίνεται για τον ονομαστικό συντελεστή θερμοπερατότητας (U) του δομικού στοιχείου και όχι με τον ισοδύναμο συντελεστή θερμοπερατότητας (U').

Ως χαρακτηριστική διάσταση της πλάκας, B' (σε m) ορίζεται το διπλάσιο του λόγου του εμβαδού της πλάκας, A (σε m^2) προς την εκτεθειμένη περιμέτρό της, Π (σε m):

$$B' = 2 \cdot \frac{A}{\Pi} \quad [m] \quad (2.6.)$$

- Όταν η εξεταζόμενη πλάκα έρχεται περιμετρικά σε επαφή με το έδαφος, τότε ως εκτεθειμένη περίμετρος θεωρείται η περίμετρος της πλάκας στο σύνολό της.

Πίνακες 8^α και 8^β της ΤΟΤΕΕ 20701-2

Πίνακας 8α. Ισοδύναμος συντελεστής θερμοπερατότητας οριζώντιου δομικού στοιχείου (πλάκας) σε επαφή με το έδαφος U' [$W/(m^2 \cdot K)$].

Όνομ. συντ. U [$W/(m^2 \cdot K)$]	z (m)	Χαρακτηριστική διάσταση πλάκας B' (m)													
		≤ 2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	18		
4.50	0.00	1.21	0.98	0.83	0.73	0.64	0.58	0.53	0.49	0.45	0.40	0.36	0.30	0.28	
	0.50	1.05	0.87	0.75	0.66	0.59	0.53	0.49	0.45	0.42	0.37	0.33	0.28	0.26	
	1.00	0.92	0.78	0.68	0.60	0.54	0.49	0.45	0.42	0.39	0.35	0.31	0.26	0.24	
	1.50	0.82	0.71	0.62	0.55	0.50	0.46	0.42	0.39	0.37	0.33	0.30	0.25	0.23	
	2.00	0.74	0.65	0.57	0.52	0.47	0.43	0.40	0.37	0.35	0.31	0.28	0.24	0.22	
	2.50	0.67	0.60	0.53	0.48	0.44	0.41	0.38	0.35	0.33	0.30	0.27	0.23	0.21	
	3.00	0.62	0.55	0.50	0.45	0.42	0.39	0.36	0.34	0.32	0.28	0.26	0.22	0.20	
	4.00	0.53	0.48	0.44	0.41	0.38	0.35	0.33	0.31	0.29	0.26	0.24	0.21	0.19	
	5.00	0.47	0.43	0.39	0.37	0.34	0.32	0.30	0.29	0.27	0.25	0.22	0.19	0.17	
	6.00	0.42	0.38	0.36	0.33	0.31	0.30	0.28	0.27	0.25	0.23	0.21	0.18	0.16	
9.00	0.32	0.30	0.28	0.26	0.25	0.24	0.23	0.22	0.21	0.19	0.18	0.16	0.14		
4.00	0.00	1.17	0.96	0.81	0.71	0.63	0.57	0.52	0.48	0.45	0.39	0.35	0.29	0.27	
	0.50	1.01	0.85	0.73	0.64	0.58	0.52	0.48	0.44	0.41	0.36	0.33	0.27	0.25	
	1.00	0.89	0.76	0.66	0.59	0.53	0.48	0.45	0.41	0.39	0.34	0.31	0.26	0.24	
	1.50	0.80	0.69	0.61	0.55	0.49	0.45	0.42	0.39	0.36	0.32	0.29	0.25	0.23	
	2.00	0.72	0.63	0.56	0.51	0.46	0.43	0.39	0.37	0.35	0.31	0.28	0.24	0.22	
	2.50	0.66	0.59	0.53	0.48	0.44	0.40	0.37	0.35	0.33	0.29	0.27	0.23	0.21	
	3.00	0.61	0.54	0.49	0.45	0.41	0.38	0.36	0.33	0.31	0.28	0.26	0.22	0.20	
	4.00	0.53	0.47	0.43	0.40	0.37	0.35	0.32	0.31	0.29	0.26	0.24	0.20	0.18	
	5.00	0.47	0.42	0.39	0.36	0.34	0.32	0.30	0.28	0.27	0.24	0.22	0.19	0.17	
	6.00	0.42	0.38	0.35	0.33	0.31	0.29	0.28	0.26	0.25	0.23	0.21	0.18	0.16	
9.00	0.32	0.30	0.28	0.26	0.25	0.24	0.23	0.22	0.21	0.19	0.18	0.16	0.14		
3.50	0.00	1.12	0.92	0.79	0.69	0.61	0.55	0.51	0.47	0.44	0.38	0.34	0.29	0.27	
	0.50	0.98	0.82	0.71	0.63	0.56	0.51	0.47	0.44	0.40	0.36	0.32	0.27	0.25	
	1.00	0.87	0.74	0.65	0.58	0.52	0.47	0.44	0.41	0.38	0.34	0.30	0.25	0.23	
	1.50	0.77	0.68	0.60	0.53	0.48	0.44	0.41	0.38	0.36	0.32	0.29	0.24	0.22	
	2.00	0.70	0.62	0.55	0.50	0.46	0.42	0.39	0.36	0.34	0.30	0.28	0.23	0.21	
	2.50	0.64	0.57	0.52	0.47	0.43	0.40	0.37	0.34	0.32	0.29	0.26	0.22	0.20	
	3.00	0.59	0.53	0.48	0.44	0.41	0.38	0.35	0.33	0.31	0.28	0.25	0.22	0.20	
	4.00	0.52	0.46	0.43	0.40	0.37	0.34	0.32	0.30	0.29	0.26	0.24	0.20	0.18	
	5.00	0.46	0.41	0.38	0.36	0.33	0.31	0.30	0.28	0.27	0.24	0.22	0.19	0.17	
	6.00	0.41	0.38	0.35	0.33	0.31	0.29	0.27	0.26	0.25	0.23	0.21	0.18	0.16	
9.00	0.31	0.29	0.27	0.26	0.25	0.24	0.23	0.22	0.21	0.19	0.18	0.16	0.14		
3.00	0.00	1.06	0.88	0.75	0.66	0.59	0.54	0.49	0.45	0.42	0.37	0.33	0.28	0.26	
	0.50	0.93	0.79	0.68	0.61	0.54	0.50	0.46	0.42	0.39	0.35	0.31	0.26	0.24	
	1.00	0.83	0.71	0.63	0.56	0.51	0.46	0.43	0.40	0.37	0.33	0.30	0.25	0.23	
	1.50	0.74	0.65	0.58	0.52	0.47	0.43	0.40	0.37	0.35	0.31	0.28	0.24	0.22	
	2.00	0.68	0.60	0.54	0.49	0.44	0.41	0.38	0.36	0.33	0.30	0.27	0.23	0.21	
	2.50	0.62	0.56	0.50	0.46	0.42	0.39	0.36	0.34	0.32	0.29	0.26	0.22	0.20	
	3.00	0.58	0.52	0.47	0.43	0.40	0.37	0.34	0.32	0.31	0.27	0.25	0.21	0.19	
	4.00	0.50	0.45	0.42	0.39	0.36	0.34	0.32	0.30	0.28	0.25	0.23	0.20	0.18	
	5.00	0.45	0.41	0.38	0.35	0.33	0.31	0.29	0.28	0.26	0.24	0.22	0.19	0.17	
	6.00	0.40	0.37	0.34	0.32	0.30	0.29	0.27	0.26	0.24	0.22	0.21	0.18	0.16	
9.00	0.31	0.29	0.27	0.26	0.24	0.23	0.22	0.21	0.21	0.19	0.18	0.16	0.14		
2.50	0.00	0.99	0.83	0.71	0.63	0.57	0.51	0.47	0.44	0.41	0.36	0.32	0.27	0.25	
	0.50	0.87	0.75	0.65	0.58	0.52	0.48	0.44	0.41	0.38	0.34	0.30	0.26	0.24	
	1.00	0.78	0.68	0.60	0.54	0.49	0.45	0.41	0.38	0.36	0.32	0.29	0.24	0.22	
	1.50	0.71	0.62	0.56	0.50	0.46	0.42	0.39	0.36	0.34	0.31	0.28	0.23	0.21	
	2.00	0.65	0.58	0.52	0.47	0.43	0.40	0.37	0.35	0.33	0.29	0.26	0.22	0.20	
	2.50	0.60	0.53	0.49	0.44	0.41	0.38	0.35	0.33	0.31	0.28	0.25	0.22	0.20	
	3.00	0.56	0.50	0.46	0.42	0.39	0.36	0.34	0.32	0.30	0.27	0.24	0.21	0.19	
	4.00	0.49	0.44	0.41	0.38	0.35	0.33	0.31	0.29	0.28	0.25	0.23	0.20	0.18	
	5.00	0.44	0.40	0.37	0.34	0.32	0.30	0.29	0.27	0.26	0.23	0.21	0.19	0.17	
	6.00	0.39	0.36	0.33	0.31	0.30	0.28	0.27	0.25	0.24	0.22	0.20	0.18	0.16	
9.00	0.30	0.28	0.27	0.25	0.24	0.23	0.22	0.21	0.20	0.19	0.17	0.15	0.13		

Πίνακας 8α. (συνέχεια). Ισοδύναμος συντελεστής θερμοπερατότητας οριζώντιου δομικού στοιχείου σε επαφή με το έδαφος U' [$W/(m^2 \cdot K)$].

Όνομ. συντ. U [$W/(m^2 \cdot K)$]	z (m)	Χαρακτηριστική διάσταση πλάκας B' (m)													
		≤ 2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	18		
2.00	0.00	0.89	0.76	0.66	0.59	0.53	0.48	0.45	0.41	0.39	0.34	0.31	0.2	0.2	
	0.50	0.80	0.69	0.61	0.55	0.49	0.45	0.42	0.39	0.36	0.32	0.29	0.2	0.2	
	1.00	0.72	0.63	0.56	0.51	0.46	0.43	0.39	0.37	0.35	0.31	0.28	0.2	0.2	
	1.50	0.66	0.59	0.53	0.48	0.44	0.40	0.37	0.35	0.33	0.29	0.27	0.2	0.2	
	2.00	0.61	0.54	0.49	0.45	0.41	0.38	0.36	0.33	0.31	0.28	0.26	0.2	0.2	
	2.50	0.56	0.51	0.46	0.42	0.39	0.36	0.34	0.32	0.30	0.27	0.25	0.2	0.2	
	3.00	0.53	0.47	0.43	0.40	0.37	0.35	0.32	0.31	0.29	0.26	0.24	0.2	0.2	
	4.00	0.47	0.42	0.39	0.36	0.34	0.32	0.30	0.28	0.27	0.24	0.22	0.1	0.1	
	5.00	0.42	0.38	0.35	0.33	0.31	0.29	0.28	0.26	0.25	0.23	0.21	0.1	0.1	
	6.00	0.38	0.35	0.32	0.30	0.29	0.27	0.26	0.25	0.23	0.22	0.20	0.1	0.1	
9.00	0.29	0.28	0.26	0.24	0.23	0.22	0.21	0.21	0.20	0.18	0.17	0.1	0.1		
1.50	0.00	0.77	0.67	0.59	0.53	0.48	0.44	0.41	0.38	0.36	0.32	0.29	0.2	0.2	
	0.50	0.70	0.62	0.55	0.50	0.45	0.42	0.39	0.36	0.34	0.30	0.27	0.2	0.2	
	1.00	0.64	0.57	0.51	0.47	0.43	0.40	0.37	0.34	0.32	0.29	0.26	0.2	0.2	
	1.50	0.59	0.53	0.48	0.44	0.40	0.38	0.35	0.33	0.31	0.28	0.25	0.2	0.2	
	2.00	0.55	0.49	0.45	0.42	0.38	0.36	0.33	0.31	0.30	0.27	0.24	0.2	0.2	
	2.50	0.52	0.46	0.43	0.39	0.37	0.34	0.32	0.30	0.29	0.26	0.24	0.2	0.2	
	3.00	0.48	0.44	0.40	0.37	0.35	0.33	0.31	0.29	0.27	0.25	0.23	0.2	0.2	
	4.00	0.43	0.39	0.36	0.34	0.32	0.30	0.28	0.27	0.26	0.23	0.21	0.1	0.1	
	5.00	0.39	0.36	0.33	0.31	0.29	0.28	0.26	0.25	0.24	0.22	0.20	0.1	0.1	
	6.00	0.36	0.33	0.31	0.29	0.27	0.26	0.25	0.24	0.23	0.21	0.19	0.1	0.1	
9.00	0.28	0.26	0.25	0.24	0.22	0.21	0.21	0.20	0.19	0.18	0.17	0.1	0.1		
1.00	0.00	0.61	0.54	0.49	0.45	0.41	0.38	0.36	0.33	0.31	0.28	0.26	0.2	0.2	
	0.50	0.56	0.51	0.46	0.42	0.39	0.36	0.34	0.32	0.30	0.27	0.25	0.2	0.2	
	1.00	0.53	0.47	0.43	0.40	0.37	0.35	0.32	0.31	0.29	0.26	0.24	0.2	0.2	
	1.50	0.49	0.44	0.41	0.38	0.35	0.33	0.31	0.29	0.28	0.25	0.23	0.2	0.2	
	2.00	0.47	0.42	0.39	0.36	0.34	0.32	0.30	0.28	0.27	0.24	0.22	0.1	0.1	
	2.50	0.44	0.40	0.37	0.35	0.32	0.31	0.29	0.27	0.26	0.24	0.22	0.1	0.1	
	3.00	0.42	0.38	0.35	0.33	0.31	0.29	0.28	0.26	0.25	0.23	0.21	0.1	0.1	
	4.00	0.38	0.35	0.32	0.30	0.29	0.27	0.26	0.25	0.23	0.22	0.20	0.1	0.1	
	5.00	0.35	0.32	0.30	0.28	0.27	0.25	0.24	0.23	0.22	0.20	0.19	0.1	0.1	
	6.00	0.32	0.30	0.28	0.26	0.25	0.24	0.23	0.22	0.21	0.19	0.18	0.1	0.1	
9.00	0.26	0.24	0.23	0.22	0.21	0.20	0.19	0.19	0.18	0.17	0.16	0.1	0.1		
0.90	0.00	0.57	0.51	0.46	0.43	0.39	0.37	0.34	0.32	0.30	0.25	0.21	0.2	0.2	
	0.50	0.53	0.48												

Πίνακας 8β. Ισοδύναμος συντελεστής θερμοπερατότητας U' [$W/(m^2 \cdot K)$] ενός κατακόρυφου δομικού στοιχείου ονομαστικού συντελεστή θερμοπερατότητας U [$W/(m^2 \cdot K)$] που εκτείνεται σε βάθος z [m].

z (m)	Ονομαστικός συντελεστής U_{TB} [$W/(m^2 \cdot K)$]											
	4,50	3,00	2,00	1,50	1,00	0,90	0,80	0,70	0,60	0,50	0,40	0,30
0,50	2,14	1,70	1,30	1,06	0,77	0,71	0,64	0,57	0,50	0,43	0,35	0,27
1,00	1,59	1,31	1,05	0,88	0,67	0,62	0,57	0,51	0,45	0,39	0,32	0,25
1,50	1,30	1,09	0,89	0,76	0,59	0,55	0,51	0,47	0,42	0,36	0,30	0,24
2,00	1,10	0,94	0,78	0,68	0,54	0,50	0,47	0,43	0,39	0,34	0,29	0,23
2,50	0,97	0,83	0,70	0,61	0,49	0,46	0,43	0,40	0,36	0,32	0,27	0,22
3,00	0,87	0,75	0,64	0,56	0,46	0,43	0,40	0,37	0,34	0,30	0,26	0,21
4,50	0,67	0,59	0,51	0,45	0,38	0,36	0,34	0,31	0,29	0,26	0,23	0,19
6,00	0,56	0,49	0,43	0,39	0,33	0,31	0,29	0,27	0,25	0,23	0,20	0,17
9,00	0,42	0,38	0,33	0,30	0,26	0,25	0,24	0,22	0,21	0,19	0,17	0,15

- Όταν η εξεταζόμενη πλάκα σε κάποια πλευρά της έρχεται σε επαφή με άλλα κτήρια ή με τον ελεύθερο εξωτερικό αέρα (π.χ. λόγω ενδεχόμενης κλίσης του εδάφους), τότε το μήκος εκείνης της πλευράς δεν συνυπολογίζεται στην έκταση της περιμετρικής επιφάνειας και η εκτεθειμένη περίμετρος της πλάκας ισούται με το άθροισμα των μηκών των πλευρών της που δεν έρχονται σε επαφή με τα όμορα κτίσματα ή με τον ελεύθερο εξωτερικό αέρα.
- Ομοίως, όταν από κάποια πλευρά της περιμέτρου της πλάκας υπάρχει μη θερμαινόμενος χώρος του ίδιου κτηρίου, εκείνη η πλευρά δεν συνυπολογίζεται στο άθροισμα των μηκών των πλευρών της περιμέτρου.

Ο ισοδύναμος συντελεστής θερμοπερατότητας (U') μιας πλάκας, που εδράζεται σε βάθος z , δίνεται από τον πίνακα 8α συναρτήσει:

- του ονομαστικού συντελεστή θερμοπερατότητας (U) του δομικού στοιχείου,
- του βάθους έδρασης z του δομικού στοιχείου,
- και της χαρακτηριστικής διάστασης της πλάκας (B').

Αντιστοίχως, ο ισοδύναμος συντελεστής θερμοπερατότητας (U') ενός κατακόρυφου δομικού στοιχείου, που έρχεται σε επαφή με το έδαφος, δίνεται από τον πίνακα 8β συναρτήσει:

- του ονομαστικού συντελεστή θερμοπερατότητας (U) και
- του βάθους z , μέχρι το οποίο φθάνει το δομικό στοιχείο.

Σε περίπτωση που οι εξεταζόμενες ονομαστικές τιμές των μεγεθών δεν ταυτίζονται με αυτές των πινάκων 8α και 8β, λαμβάνεται υπόψη η πλησιέστερη τιμή, χωρίς να χρειάζεται να γίνει γραμμική παρεμβολή για την εύρεση της τιμής του ισοδύναμου συντελεστή θερμοπερατότητας (U').

Η τιμή του ισοδύναμου συντελεστή θερμοπερατότητας είναι αυτή, που υπεισέρχεται στη σχέση για τον υπολογισμό του U_m .

Στην περίπτωση κτηρίου, το οποίο βρίσκεται σε κεκλιμένο έδαφος ή σε έδαφος με διαφορετικές στάθμες, το βάθος έδρασης της πλάκας θα λαμβάνεται ίσο με το μέσο όρο των διαφορετικών αποστάσεων της πλάκας από την τελική στάθμη εδάφους σε επαφή με το κτήριο. Το βάθος έκτασης κάθε κατακόρυφου δομικού στοιχείου σε επαφή με το έδαφος θα λαμβάνεται ίσο με το μέσο βάθος έκτασης του δομικού στοιχείου.

Για παράδειγμα, στην απλή περίπτωση του σχήματος 1:

- το βάθος έδρασης της πλάκας θα ληφθεί ίσο με $z = (z_1 + z_2) / 2$,
- ενώ τα κατακόρυφα δομικά στοιχεία θα υπολογιστούν για τα βάθη, στα οποία εκτείνεται το καθένα, δηλαδή z_1 και z_2 .

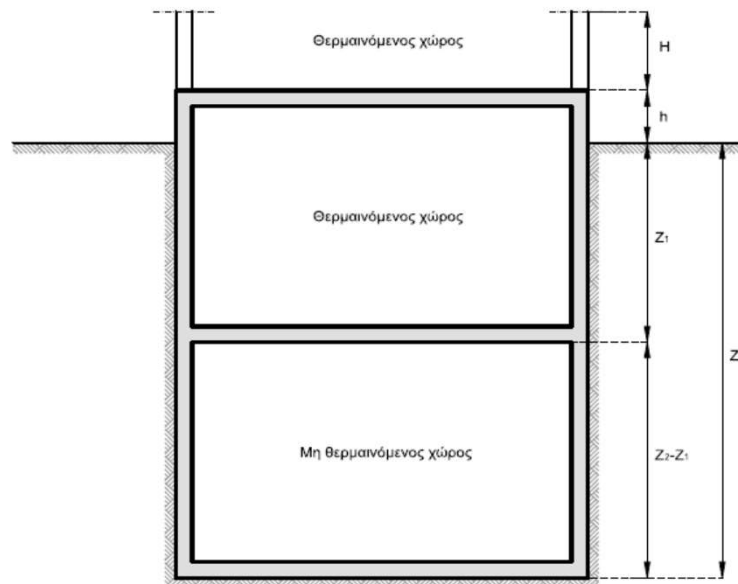


Σχήμα 1. Ενδεικτική διατομή κτηρίου για τον προσδιορισμό του βάθους έδρασης πλάκας επί εδάφους με διαφορετικές στάθμες έδρασης λόγω κεκλιμένου εδάφους.

Στην περίπτωση κατακόρυφου δομικού στοιχείου, που ξεκινά από βάθος z_1 και εκτείνεται σε βάθος z_2 από τη στάθμη του εδάφους (σχήμα 2) ο ισοδύναμος συντελεστής θερμοπερατότητας U' του δομικού στοιχείου θα προκύπτει από τη σχέση:

$$U' = \frac{z_2 \cdot U'_{z_2} - z_1 \cdot U'_{z_1}}{z_2 - z_1} \quad [W/(m^2 \cdot K)] \quad (2.7.)$$

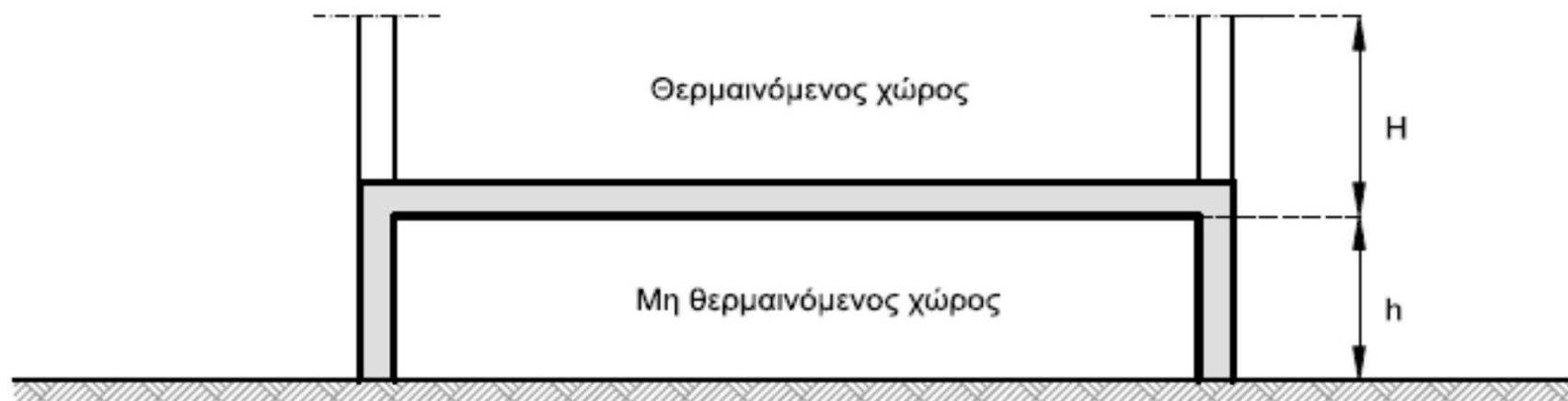
- όπου: U'_{z_1} $[W/(m^2 \cdot K)]$ ο ισοδύναμος συντελεστής θερμοπερατότητας του κατακόρυφου δομικού στοιχείου σε επαφή με το έδαφος για βάθος έκτασης z_1 ,
 U'_{z_2} $[W/(m^2 \cdot K)]$ ο ισοδύναμος συντελεστής θερμοπερατότητας του κατακόρυφου δομικού στοιχείου σε επαφή με το έδαφος για βάθος έκτασης z_2 ,
 z_1 $[m]$ το βάθος, από το οποίο ξεκινάει το δομικό στοιχείο,
 z_2 $[m]$ το βάθος, μέχρι το οποίο εκτείνεται το δομικό στοιχείο.



Σχήμα 2. Ενδεικτική διατομή κτηρίου για τον προσδιορισμό του τρόπου υπολογισμού του ισοδύναμου συντελεστή θερμοπερατότητας κατακόρυφου δομικού στοιχείου ευρισκόμενου σε στάθμη χαμηλότερη αυτής της επιφάνειας του εδάφους.

Στην περίπτωση υπερυψωμένης πλάκας (σχήμα 3), ακόμη και όταν ο υποκείμενος χώρος πληρούται με έδαφος, αυτός λαμβάνεται ως κενός μη θερμαινόμενος χώρος και το κάτω όριό του ως πλάκα εδραζόμενη στο έδαφος με ονομαστικό συντελεστή θερμοπερατότητας U' ίσο με $4,50 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Ο υπολογισμός του συντελεστή θερμοπερατότητας της υπερυψωμένης πλάκας ακολουθεί τη συνθήκη του μη θερμαινόμενου χώρου ως προς την τιμή της αντίστασης θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση της θερμότητας από το δομικό στοιχείο προς το περιβάλλον του μη θερμαινόμενου χώρου, δηλαδή είτε πρόκειται για κενό χώρο είτε πρόκειται για επιχωματωμένο λαμβάνεται $R_a = 0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{KW}$.



Σχήμα 3. Ενδεικτική διατομή κτηρίου για τον προσδιορισμό του τρόπου υπολογισμού του ισοδύναμου συντελεστή θερμοπερατότητας πλάκας υπερυψωμένης κατά απόσταση h από τη στάθμη του εδάφους.

2.1.7. Δομικό στοιχείο σε επαφή με όμορο κτήριο

Κατά τον έλεγχο της θερμομονωτικής επάρκειας ενός κτηρίου στη μελέτη θερμομόνωσης όλα τα δομικά στοιχεία, τα οποία έρχονται σε επαφή με δομικά στοιχεία όμορων κτηρίων, θεωρούνται ως ελεύθερα προς τον εξωτερικό αέρα και κατά τον υπολογισμό το κτίσμα θεωρείται συνολικά ως πανταχόθεν ελεύθερο.

2.1.8. Υπολογισμός σύνθετων δομικών στοιχείων

Ως σύνθετα δομικά στοιχεία θεωρούνται αυτά που προκύπτουν από την εφαρμογή του ίδιου δομικού υλικού με διαφορετικά πάχη κατά τη δόμηση του στοιχείου ή από την εφαρμογή διαφορετικών δομικών υλικών, τα οποία συνδέονται άρρηκτα μεταξύ τους, παρουσιάζουν μία σχετική επαναληπτικότητα και διαμορφώνουν ένα δομικό στοιχείο με συγκεκριμένη λειτουργία.

Παραδείγματα σύνθετων δομικών υλικών είναι η πλάκα σκυροδέματος με διαδοκιδώσεις (πλάκα Zöllner), οι ξυλόπηκτες τοιχοποιίες, τα δομικά στοιχεία με φέροντα οργανισμό από χάλυβα ή ξύλο και πλήρωση από θερμομονωτικά υλικά κ.ά.

Τα σύνθετα δομικά στοιχεία μπορούν να υπεισέλθουν στους υπολογισμούς και να ελεγχθούν ως προς την ικανοποίηση των απαιτήσεων του κανονισμού με δύο τρόπους:

- είτε λαμβάνοντας ξεχωριστά υπόψη το συντελεστή θερμοπερατότητας για κάθε επί μέρους διατομή του σύνθετου δομικού στοιχείου κατά το εμβαδό που αναλογεί σε μια εκάστη εξ αυτών
- είτε με έναν ενιαίο συντελεστή θερμοπερατότητας, που προκύπτει από τους συντελεστές των επί μέρους διατομών κατά την αναλογία εμβαδού, που αυτοί καταλαμβάνουν στο συνολικό εμβαδό του δομικού στοιχείου σύμφωνα με τον τύπο:

$$U = \frac{\sum_{j=1}^n U_j \cdot A_j}{\sum_{j=1}^n A_j}$$

$$[W/(m^2 \cdot K)] \quad (2.8.)$$

όπου: U [W/(m²·K)] ο ενιαίος συντελεστής θερμοπερατότητας του σύνθετου δομικού στοιχείου,
n [-] το πλήθος των διαφορετικών διατομών του σύνθετου δομικού στοιχείου,

U_j [W/(m²·K)] ο συντελεστής θερμοπερατότητας της κάθε επί μέρους διαφορετικής διατομής του σύνθετου δομικού στοιχείου,

A_j [m²] η επιφάνεια που καταλαμβάνει η κάθε επί μέρους διαφορετική διατομή στη συνολική επιφάνεια του σύνθετου δομικού στοιχείου.

Η τιμή του ενιαίου συντελεστή θερμοπερατότητας U του σύνθετου δομικού στοιχείου οφείλει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις του κανονισμού σύμφωνα με τα ανώτατα επιτρεπτά όρια, που ορίζονται στον πίνακα 5α όταν πρόκειται για νεόδμητο κτήριο και στον πίνακα 5β, όταν πρόκειται για ριζικώς ανακαινιζόμενο κτήριο..

Ωστόσο, οι τιμές όλων των επί μέρους διαφορετικών διατομών (U_j) υπολογίζονται όπως υπολογίζεται ο συντελεστής θερμοπερατότητας ενός οποιουδήποτε δομικού στοιχείου σύμφωνα με τη σχέση 2.1., λαμβάνοντας τιμές των διαφόρων μεγεθών (π.χ. λ , R_i , R_a), που να ανταποκρίνονται στην πραγματική κατάσταση στην οποία βρίσκονται (π.χ. δομικό στοιχείο προς τον ελεύθερο αέρα, προς το έδαφος ή προς μη θερμαινόμενο χώρο). Ελέγχεται, όμως, αν οι επί μέρους διατομές του σύνθετου δομικού στοιχείου ικανοποιούν τις απαιτήσεις του κανονισμού σαν να επρόκειτο για ανεξάρτητα δομικά στοιχεία που έρχονται σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο σύμφωνα με τα ανώτατα επιτρεπτά όρια που ορίζονται στον πίνακα 5α όταν πρόκειται για νεόδμητο κτήριο στον πίνακα 5β, όταν πρόκειται για ριζικώς ανακαινιζόμενο κτήριο. Αυτή η απαίτηση τίθεται, προκειμένου να περιορισθεί στο ελάχιστο δυνατό ο κίνδυνος δημιουργίας επιφανειακής συμπύκνωσης των υδρατμών (δρόσου) στις θερμομονωτικά ασθενέστερες θέσεις του σύνθετου δομικού στοιχείου.

Πίνακας 5α.

Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας των επί μέρους δομικών στοιχείων ανά κλιματική ζώνη σε περίπτωση ανέγερσης νέου κτηρίου (πηγή: Κ.Εν.Α.Κ.).

Δομικό στοιχείο	Μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας U [W/(m ² ·K)]			
	Ζώνη Α'	Ζώνη Β'	Ζώνη Γ'	Ζώνη Δ'
Εξωτερική οριζόντια ή κεκλιμένη επιφάνεια σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (οροφή)	0,45	0,40	0,35	0,30
Εξωτερικός τοίχος σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	0,55	0,45	0,40	0,35
Δάπεδο σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (πιλοτή)	0,45	0,40	0,35	0,30
Οριζόντια ή κεκλιμένη οροφή σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,10	0,80	0,65	0,60
Τοίχος σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,30	0,90	0,70	0,65
Δάπεδο σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,10	0,80	0,65	0,60
Οριζόντια ή κεκλιμένη οροφή σε επαφή με το έδαφος	1,10	0,80	0,65	0,60
Τοίχος σε επαφή με το έδαφος	1,30	0,90	0,70	0,65
Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος	1,10	0,80	0,65	0,60
Κούφωμα ανοίγματος σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	2,80	2,60	2,40	2,20
Κούφωμα ανοίγματος χωρίς υαλοπίνακα σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	2,80	2,60	2,40	2,20
Γυάλινη πρόσοψη κτηρίου μη ανοιγόμενη ή μερικώς ανοιγόμενη σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	2,10	1,90	1,75	1,70
Κούφωμα ανοίγματος σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο	5,00	4,60	4,30	4,00
Κούφωμα ανοίγματος χωρίς υαλοπίνακα σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο	5,00	4,60	4,30	4,00
Γυάλινη πρόσοψη κτηρίου μη ανοιγόμενη ή μερικώς ανοιγόμενη σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο	3,80	3,40	3,00	2,80

Νέο κτίριο

Πίνακας 5β. Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας των επί μέρους δομικών στοιχείων ανά κλιματική ζώνη σε περίπτωση ριζικής ανακαίνισης υφιστάμενου κτηρίου (πηγή: Κ.Εν.Α.Κ.).

Δομικό στοιχείο	Μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας U [W/(m ² ·K)]			
	Ζώνη Α'	Ζώνη Β'	Ζώνη Γ'	Ζώνη Δ'
Εξωτερική οριζόντια ή κεκλιμένη επιφάνεια σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (οροφή)	0,50	0,45	0,40	0,35
Εξωτερικός τοίχος σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	0,60	0,50	0,45	0,40
Δάπεδο σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (πιλοτή)	0,50	0,45	0,40	0,35
Οριζόντια ή κεκλιμένη οροφή σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,20	0,90	0,75	0,70
Τοίχος σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,50	1,00	0,80	0,70
Δάπεδο σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,20	0,90	0,75	0,70
Οριζόντια ή κεκλιμένη οροφή σε επαφή με το έδαφος	1,20	0,90	0,75	0,70
Τοίχος σε επαφή με το έδαφος	1,50	1,00	0,80	0,70
Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος	1,20	0,90	0,75	0,70
Κούφωμα ανοίγματος σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	3,20	3,00	2,80	2,60
Κούφωμα ανοίγματος χωρίς υαλοπίνακα σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	3,20	3,00	2,80	2,60
Γυάλινη πρόσοψη κτηρίου μη ανοιγόμενη ή μερικώς ανοιγόμενη σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	2,20	2,00	1,80	1,80
Κούφωμα ανοίγματος σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο	5,70	5,20	4,80	4,40
Κούφωμα ανοίγματος χωρίς υαλοπίνακα σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο	5,70	5,20	4,80	4,40
Γυάλινη πρόσοψη κτηρίου μη ανοιγόμενη ή μερικώς ανοιγόμενη σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο	4,00	3,60	3,10	2,90

Ανακαίνιση
υφιστάμενου κτίριο

6. Έλεγχος θερμομονωτικής επάρκειας κτιρίου

Υπολογισμός θερμογεφυρών

▶ Σημειακές

- ▶ επειδή εμφανίζονται σε σημεία μόνο του κτιρίου και επειδή η επίδρασή τους στις ανταλλαγές θερμότητας δεν είναι μεγάλη, ο κανονισμός δεν τις λαμβάνει υπόψη του στους υπολογισμούς

▶ Γραμμικές

- ▶ εκτείνονται κατά το μήκος νοητών ή πραγματικών ακμών, που διαμορφώνονται επάνω στην επιφάνεια του κελύφους και επηρεάζουν ουσιαστικά τη θερμική συμπεριφορά του, αίροντας την απλοποιητική παραδοχή περί μονοδιάστατης ροής της θερμότητας.
- ▶ έχουν σημαντικά μεγαλύτερη επίδραση στη θερμική συμπεριφορά του κελύφους και γι' αυτό λαμβάνονται υπόψη στον υπολογισμό κατά τη μαθηματική σχέση:

όπου:

$$\Psi \cdot l \quad [W/K]$$

- ▶ Ψ , συντ. γραμμικής θερμοπερατότητας $[W/(m \cdot K)]$
- ▶ l , το συνολικό μήκος της θερμογέφυρας, που αναπτύσσεται στο περίβλημα του κτιρίου $[m]$



Εντοπισμός &
Καταγραφή:

Κατακόρυφες

Οριζόντιες

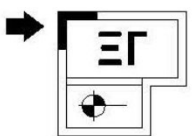
Κουφωμάτων

6. Έλεγχος θερμομονωτικής επάρκειας κτιρίου

Υπολογισμός θερμογεφυρών

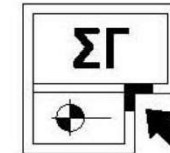
$$\Psi \cdot \ell \quad [W/K]$$

Οι τιμές του Ψ βρίσκονται στους Πίνακες 15 της ΤΟΤΕΕ 20701-2

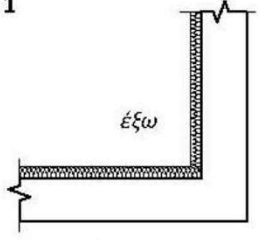
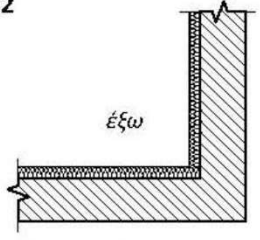
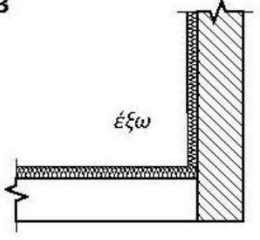
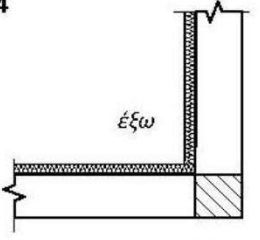



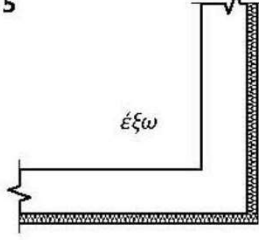
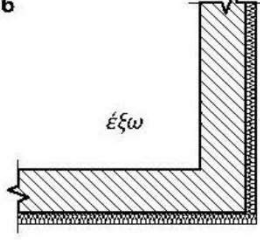
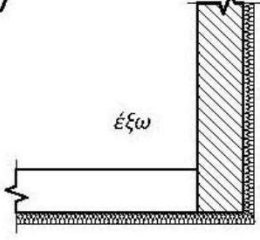
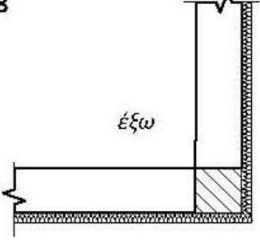
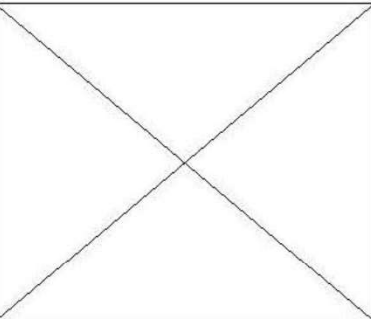
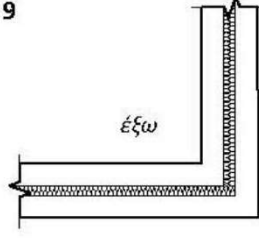
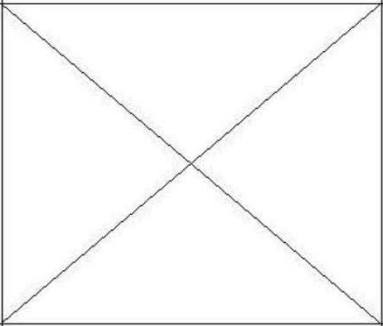
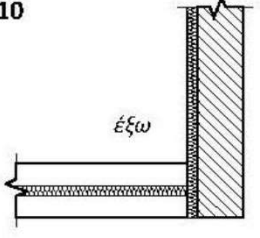
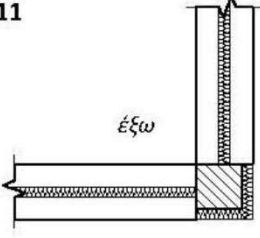
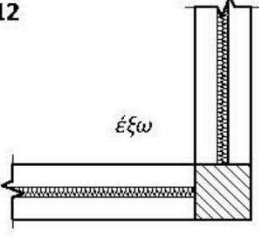


Πίνακας 15α. Θερμογέφυρες εξωτερικής γωνίας (οριζόντια τομή)

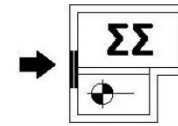
<p>ΞΓ - 1</p> <p>μέσα</p> <p>$\Psi = - 0,15 \text{ W/(mK)}$</p>	<p>ΞΓ - 2</p> <p>μέσα</p> <p>$\Psi = - 0,10 \text{ W/(mK)}$</p>	<p>ΞΓ - 3</p> <p>μέσα</p> <p>$\Psi = - 0,10 \text{ W/(mK)}$</p>	<p>ΞΓ - 4</p> <p>μέσα</p> <p>$\Psi = - 0,15 \text{ W/(mK)}$</p>	<p>ΞΓ - 5</p> <p>μέσα</p> <p>$\Psi = - 0,15 \text{ W/(mK)}$</p>
<p>ΞΓ - 6</p> <p>μέσα</p> <p>$\Psi = - 0,25 \text{ W/(mK)}$</p>	<p>ΞΓ - 7</p> <p>μέσα</p> <p>$\Psi = - 0,35 \text{ W/(mK)}$</p>	<p>ΞΓ - 8</p> <p>μέσα</p> <p>$\Psi = - 0,30 \text{ W/(mK)}$</p>	<p>ΞΓ - 9</p> <p>μέσα</p> <p>$\Psi = - 0,30 \text{ W/(mK)}$</p>	<p>ΞΓ - 10</p> <p>μέσα</p> <p>$\Psi = - 0,40 \text{ W/(mK)}$</p>
<p>ΞΓ - 11</p> <p>μέσα</p> <p>$\Psi = - 0,20 \text{ W/(mK)}$</p>		<p>ΞΓ - 12</p> <p>μέσα</p> <p>$\Psi = + 0,05 \text{ W/(mK)}$</p>	<p>ΞΓ - 13</p> <p>μέσα</p> <p>$\Psi = \pm 0,00 \text{ W/(mK)}$</p>	<p>ΞΓ - 14</p> <p>μέσα</p> <p>$\Psi = + 0,15 \text{ W/(mK)}$</p>



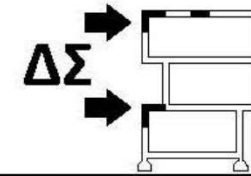
Πίνακας 15β. Θερμογέφυρες εσωτερικής γωνίας (οριζόντια τομή)

<p>ΣΓ - 1</p>  <p>έξω</p> <p>$\Psi = + 0,05 \text{ W/(mK)}$</p>	<p>ΣΓ - 2</p>  <p>έξω</p> <p>$\Psi = + 0,05 \text{ W/(mK)}$</p>	<p>ΣΓ - 3</p>  <p>έξω</p> <p>$\Psi = + 0,05 \text{ W/(mK)}$</p>	<p>ΣΓ - 4</p>  <p>έξω</p> <p>$\Psi = + 0,05 \text{ W/(mK)}$</p>	<p>ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΥΛΙΚΩΝ</p> <ul style="list-style-type: none">  Οπλισμένο σκυρόδεμα  Οπτοπλινθοδομή  Θερμομονωτικό υλικό
<p>ΣΓ - 5</p>  <p>έξω</p> <p>$\Psi = + 0,15 \text{ W/(mK)}$</p>	<p>ΣΓ - 6</p>  <p>έξω</p> <p>$\Psi = + 0,25 \text{ W/(mK)}$</p>	<p>ΣΓ - 7</p>  <p>έξω</p> <p>$\Psi = + 0,25 \text{ W/(mK)}$</p>	<p>ΣΓ - 8</p>  <p>έξω</p> <p>$\Psi = + 0,25 \text{ W/(mK)}$</p>	
<p>ΣΓ - 9</p>  <p>έξω</p> <p>$\Psi = + 0,10 \text{ W/(mK)}$</p>		<p>ΣΓ - 10</p>  <p>έξω</p> <p>$\Psi = + 0,10 \text{ W/(mK)}$</p>	<p>ΣΓ - 11</p>  <p>έξω</p> <p>$\Psi = + 0,10 \text{ W/(mK)}$</p>	<p>ΣΓ - 12</p>  <p>έξω</p> <p>$\Psi = + 0,70 \text{ W/(mK)}$</p>

Πίνακας 15γ. Θερμογέφυρες ενώσεων δομικών στοιχείων (οριζόντια τομή)



<p>ΣΣ-1</p> <p>έξω μέσα</p> <p>$\Psi = \pm 0,00 \text{ W/(mK)}$</p>	<p>ΣΣ-2</p> <p>έξω μέσα</p> <p>$\Psi = \pm 0,00 \text{ W/(mK)}$</p>	<p>ΣΣ-3</p> <p>έξω μέσα</p> <p>$\Psi = + 0,25 \text{ W/(mK)}$</p>	<p>ΣΣ-4</p> <p>έξω μέσα</p> <p>$\Psi = + 0,15 \text{ W/(mK)}$</p>	<p>ΣΣ-5</p> <p>έξω μέσα</p> <p>$\Psi = + 0,35 \text{ W/(mK)}$</p>	<p>ΣΣ-6</p> <p>έξω μέσα</p> <p>$\Psi = + 1,50 \text{ W/(mK)}$</p>	<p>ΣΣ-7</p> <p>έξω μέσα</p> <p>$\Psi = + 0,40 \text{ W/(mK)}$</p>
<p>ΣΣ-8</p> <p>έξω μέσα</p> <p>$\Psi = + 1,10 \text{ W/(mK)}$</p>	<p>ΣΣ-9</p> <p>έξω μέσα</p> <p>$\Psi = + 1,10 \text{ W/(mK)}$</p>	<p>ΣΣ-10</p> <p>έξω μέσα</p> <p>$\Psi = + 1,15 \text{ W/(mK)}$</p>	<p>ΣΣ-11</p> <p>έξω μέσα</p> <p>$\Psi = + 0,05 \text{ W/(mK)}$</p>	<p>ΣΣ-12</p> <p>έξω μέσα</p> <p>$\Psi = + 0,30 \text{ W/(mK)}$</p>	<p>ΣΣ-13</p> <p>έξω μέσα</p> <p>$\Psi = + 1,35 \text{ W/(mK)}$</p>	<p>ΣΣ-14</p> <p>έξω μέσα</p> <p>$\Psi = + 0,40 \text{ W/(mK)}$</p>
<p>ΣΣ-15</p> <p>έξω μέσα</p> <p>$\Psi = + 0,10 \text{ W/(mK)}$</p>	<p>ΣΣ-16</p> <p>έξω μέσα</p> <p>$\Psi = + 0,50 \text{ W/(mK)}$</p>	<p>ΣΣ-17</p> <p>έξω μέσα</p> <p>$\Psi = + 0,10 \text{ W/(mK)}$</p>	<p>ΣΣ-18</p> <p>έξω μέσα</p> <p>$\Psi = + 0,45 \text{ W/(mK)}$</p>	<p>ΣΣ-19</p> <p>έξω μέσα</p> <p>διάκενο συρόμενης πόρτας</p> <p>$\Psi = + 0,45 \text{ W/(mK)}$</p>	<p>ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΥΛΙΚΩΝ</p> <ul style="list-style-type: none"> Οπλισμένο σκυρόδεμα Οπτοπλινθοδομή Θερμομονωτικό υλικό 	
<p>ΣΣ-20</p> <p>έξω μέσα</p> <p>$\Psi = + 0,10 \text{ W/(mK)}$</p>	<p>ΣΣ-21</p> <p>έξω μέσα</p> <p>$\Psi = + 0,10 \text{ W/(mK)}$</p>	<p>ΣΣ-22</p> <p>έξω μέσα</p> <p>$\Psi = + 0,45 \text{ W/(mK)}$</p>				



Πίνακας 15δ. Θερμογέφυρες δώματος / οροφής σε προεξοχή (κατακόρυφη τομή)

<p>ΔΣ - 1</p> <p>μέσα</p> <p>$\Psi = + 0,25 \text{ W/(mK)}$</p>	<p>ΔΣ - 2</p> <p>μέσα</p> <p>$\Psi = + 0,25 \text{ W/(mK)}$</p>	<p>ΔΣ - 3</p> <p>μέσα</p> <p>$\Psi = + 0,25 \text{ W/(mK)}$</p>	<p>ΔΣ - 4</p> <p>μέσα</p> <p>$\Psi = + 0,90 \text{ W/(mK)}$</p>	<p>ΔΣ - 5</p> <p>μέσα</p> <p>$\Psi = + 0,70 \text{ W/(mK)}$</p>	<p>ΔΣ - 6</p> <p>μέσα</p> <p>$\Psi = + 0,90 \text{ W/(mK)}$</p>
<p>ΔΣ - 7</p> <p>μέσα</p> <p>$\Psi = + 0,20 \text{ W/(mK)}$</p>	<p>ΔΣ - 8</p> <p>μέσα</p> <p>$\Psi = + 0,20 \text{ W/(mK)}$</p>	<p>ΔΣ - 9</p> <p>μέσα</p> <p>$\Psi = + 0,20 \text{ W/(mK)}$</p>	<p>ΔΣ - 10</p> <p>μέσα</p> <p>$\Psi = + 0,80 \text{ W/(mK)}$</p>	<p>ΔΣ - 11</p> <p>μέσα</p> <p>$\Psi = + 0,60 \text{ W/(mK)}$</p>	<p>ΔΣ - 12</p> <p>μέσα</p> <p>$\Psi = + 0,80 \text{ W/(mK)}$</p>
X	<p>ΔΣ - 13</p> <p>μέσα</p>	<p>ΔΣ - 14</p> <p>μέσα</p>	X	<p>ΔΣ - 15</p> <p>μέσα</p>	<p>ΔΣ - 16</p> <p>μέσα</p>

Κλπ...μέχρι Πίνακα 15ιβ

6. Έλεγχος θερμομονωτικής επάρκειας κτιρίου

Υπολογισμός γεωμετρικών μεγεθών

- ▶ Για την εύρεση του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας όλου του κτιρίου (U_m) και τον έλεγχο της θερμικής του επάρκειας είναι απαραίτητος ο υπολογισμός ορισμένων γεωμετρικών μεγεθών του κτιρίου και συγκεκριμένα:
 - ▶ εμβαδά όλων των επί μέρους δομικών στοιχείων.
 - ▶ μήκη των γραμμικών θερμογεφυρών.
 - ▶ όγκος του κτιρίου
- ▶ Από τον λόγο A/V προκύπτει ο μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας $U_{m,max}$, από την τιμή του οποίου ο μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας U_m του κτιρίου δεν επιτρέπεται να είναι μεγαλύτερος.
 - ▶ Για την εύρεση του εμβαδού A υπεισέρχονται στον υπολογισμό οι εξωτερικές επιφάνειες του κελύφους στο σύνολό τους και με τις εξωτερικές τους διαστάσεις, παρακολουθώντας απόλυτα τη γεωμετρία του κτιρίου.
 - ▶ Αντίστοιχα, ο όγκος V είναι ο όγκος του κτιρίου που περικλείεται από όλες αυτές τις επιφάνειες.

7. Θέματα υγρασίας οφειλόμενα σε συμπύκνωση υδρατμών

- ▶ Η ελλιπής θερμομονωτική προστασία σε κτηριακή κατασκευή ενδέχεται να αποδειχθεί και το βασικό αίτιο για την εμφάνιση προβλημάτων υγρασίας στον εσωτερικό χώρο.
- ▶ Η υγρασία αυτής της μορφής οφείλεται στη συμπύκνωση των υδρατμών του αέρα, όταν αυτός έρχεται σε επαφή με τις ψυχρές επιφάνειες των δομικών στοιχείων και να φτάσει σε κατάσταση κορεσμού.
- ▶ Εκδηλώνεται είτε ως επιφανειακή συμπύκνωση των υδρατμών είτε ως συμπύκνωση των υδρατμών στο εσωτερικό ενός υδρατμοδιαπερατού δομικού στοιχείου κατά τη διάχυσή τους μέσω αυτού.
- ▶ Η δράση της υγρασίας μπορεί να προκαλέσει:
 - ▶ ποικίλες φυσικές, χημικές και μηχανικές αλλοιώσεις στα υλικά (αποχρωματισμούς, αποφλοιώσεις, αποκολλήσεις ή διαβρώσεις)
 - ▶ ανάπτυξη μικροοργανισμών
 - ▶ βλάβες στην υγεία των ενοίκων λόγω ανθυγιεινότητας του χώρου.
 - ▶ μείωση στο 1/24 της θερμομονωτικής ικανότητας των θερμομονωτικών υλικών (εκτοπισμός φυσαλίδων αέρα με νερό)

Εισαγωγή

7. Θέματα υγρασίας οφειλόμενα σε συμπύκνωση υδρατμών

- ▶ Ο ατμοσφαιρικός αέρας έχει την ικανότητα να συγκρατεί υδρατμούς σε ποσοστό που εξαρτάται από την ατμοσφαιρική πίεση και από τη θερμοκρασία του.
- ▶ **Επίδραση ατμοσφαιρικής πίεσης**
 - ▶ επειδή η μεταβολή της σε μια περιοχή είναι πολύ μικρή, θεωρείται πρακτικά ασήμαντη και δεν λαμβάνεται υπόψη.
- ▶ **Επίδραση θερμοκρασίας**
 - ▶ η θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα παρουσιάζει μεγάλες διαφοροποιήσεις τόσο μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος, όσο και μεταξύ των διαφορετικών χώρων του εσωτερικού περιβάλλοντος και γι' αυτό η επίδραση της θεωρείται ουσιαστική και είναι αυτή που καθορίζει την ικανότητα του αέρα να συγκρατεί τους υδρατμούς.
 - ▶ σε υψηλότερες θερμοκρασίες ο αέρας μπορεί να συγκρατήσει μεγαλύτερη ποσότητα υδρατμών, ενώ σε χαμηλότερες συγκρατεί μικρότερη.

Υγρασία του αέρα

7. Θέματα υγρασίας οφειλόμενα σε συμπύκνωση υδρατμών

- ▶ **Απόλυτη υγρασία:** η ποσότητα των υδρατμών του αέρα που περιέχονται στη μονάδα του όγκου του και εκφράζεται σε kg/m^3 .
- ▶ **Ποσότητα κορεσμού:** η μέγιστη ποσότητα υδρατμών που μπορεί να συγκρατήσει ο αέρας στη μονάδα του όγκου του για μια συγκεκριμένη θερμοκρασία.
- ▶ **Θερμοκρασία (σημείο) δρόσου (θ_s):** η θερμοκρασία για την κατάσταση κορεσμού.
- ▶ **Σχετική υγρασία:** το πηλίκο της συγκέντρωσης των μορίων υδρατμού (C) που υπάρχουν σε κάποια συγκεκριμένη θερμοκρασία προς τη συγκέντρωση των μορίων σε κατάσταση κορεσμού (C_s) στον ίδιο όγκο αέρα και στην ίδια θερμοκρασία:

$$\varphi = \frac{C}{C_s} \times 100 \quad [\%]$$

- ▶ Αύξηση θερμοκρασίας πάνω από την θερμοκρασία δρόσου καθιστά τον αέρα ακόρεστο όπου περιέχει ποσότητα υδρατμών μικρότερη από αυτή του σημείου κορεσμού.
- ▶ Πτώση θερμοκρασίας κάτω από τη θερμοκρασία δρόσου ($\theta < \theta_s$) επιφέρει μείωση της ικανότητας συγκράτησης του αέρα και άρα πλεόνασμα μιας ποσότητας υδρατμών, που, επειδή δεν μπορούν να συγκρατηθούν, υγροποιούνται και εναποτίθενται υπό μορφή μικρών σταγόνων επάνω στις περιβάλλουσες επιφάνειες → **φαινόμενο της δρόσου.**

Υγρασία του αέρα

7. Θέματα υγρασίας οφειλόμενα σε συμπύκνωση υδρατμών

Υγρασία επιφανειακής συμπύκνωσης (δρόσος)

- ▶ Όταν ο αέρας βρίσκεται σε κατάσταση κορεσμού ($\varphi=100\%$), περαιτέρω αύξηση της απόλυτης υγρασίας του αέρα ή περαιτέρω μείωση της θερμοκρασίας του δημιουργεί πλεονάζοντες υδρατμούς, που, επειδή δεν μπορούν απ' αυτόν να συγκρατηθούν, υγροποιούνται και επικάθονται στις περιβάλλουσες ψυχρές επιφάνειες υπό μορφή σταγονιδίων.
- ▶ Το φαινόμενο εμφανίζεται κυρίως το χειμώνα (π.χ. θάμπωμα υαλοπινάκων εξωτερικών κουφωμάτων).
- ▶ Με δύο τρόπους μπορεί να προκληθεί επιφανειακή συμπύκνωση:
 - ▶ Με πτώση της θερμοκρασίας του αέρα και άρα μείωση της ποσότητας υδρατμών που μπορεί να συγκρατηθεί.
 - ▶ Με αύξηση της περιεχόμενης ποσότητας υδρατμών στην ίδια θερμοκρασία αέρα.

7. Θέματα υγρασίας οφειλόμενα σε συμπύκνωση υδρατμών

Υγρασία επιφανειακής συμπύκνωσης (δρόσος)

Παράγοντες που ευνοούν την εκδήλωση του φαινομένου:

▶ **Ανεπαρκής θερμομονωτική προστασία των δομικών στοιχείων των κατασκευών**

Η εσωτερική του επιφάνεια παρουσιάζει τότε θερμοκρασία αρκετά χαμηλότερη από τη θερμοκρασία του χώρου. Αν η επιφανειακή του θερμοκρασία υπολείπεται της θερμοκρασίας δρόσου για τα δεδομένα υγρασίας του χώρου, στην επιφάνεια του δομικού στοιχείου θα σχηματισθεί συμπύκνωση.

▶ **Θερμική αδράνεια των δομικών υλικών**

Κατά τη θέρμανση ενός ψυχρού χώρου τα δομικά υλικά των περιμετρικών δομικών στοιχείων δεν παρακολουθούν με τον ίδιο ρυθμό τη θέρμανση του αέρα του χώρου. Κυρίως τα βαριά υλικά παρουσιάζουν υψηλή θερμική αδράνεια και καθυστερούν να θερμανθούν. Αν σ' αυτό το διάστημα της χρονικής υστέρησης η επιφανειακή τους θερμοκρασία παραμείνει χαμηλότερη της θερμοκρασίας δρόσου, θα σχηματισθεί επιφανειακή συμπύκνωση.

▶ **Παραγόμενη υγρασία σ' ένα χώρο**

Σε χώρους με έντονη παραγωγή υδρατμών αυξάνεται η σχετική υγρασία και, αν ο αέρας έρθει σε επαφή με μια χαμηλής θερμοκρασίας επιφάνεια, θα φθάσει εύκολα τη θερμοκρασία κορεσμού και να εναποθέσει την περίσσεια υδρατμών που δεν θα μπορεί να συγκρατήσει.

▶ **Διακοπή θέρμανσης του χώρου**

Παρατηρείται συνήθως σε υπνοδωμάτια κατά τη διάρκεια της νύκτας, όταν διακόπτεται η θέρμανση και αυξάνεται η ποσότητα των υδρατμών του αέρα λόγω της αναπνοής των ατόμων που βρίσκονται σ' αυτά. Και πάλι λόγω της πτώσης της θερμοκρασίας και της αύξησης των παραγόμενων υδρατμών μέσω της αναπνοής η σχετική υγρασία φθάνει σε κατάσταση κορεσμού και εναποθέτει την περίσσεια των υδρατμών υπό μορφή σταγονιδίων επάνω στις ψυχρότερες επιφάνειες.

7. Θέματα υγρασίας οφειλόμενα σε συμπίκνωση υδρατμών

Υγρασία επιφανειακής συμπίκνωσης (δρόσος)

- ▶ Η υγρασία συμπίκνωσης εμφανίζεται είτε υπό μορφή σταγονιδίων επάνω στις αδιάβροχες επιφάνειες (μέταλλα, υαλοπίνακες, μάρμαρα, υαλωμένα πλακίδια) είτε υπό μορφή εμποτισμού των υλικών, καθιστώντας συχνά πιο έντονο το χρώμα τους (γύψινες επιφάνειες, επιχρίσματα, διακοσμητικές πλίνθοι κ.τ.λ.). Μάλιστα η ανάπτυξη μυκήτων και η προσκόλληση της σκόνης της ατμόσφαιρας στις υγρές επιφάνειες δίνουν την εικόνα μικρών γκρίζων κηλίδων, που με την πάροδο του χρόνου απλώνονται σε όλο και μεγαλύτερη έκταση.

7. Θέματα υγρασίας οφειλόμενα σε συμπίκνωση υδρατμών

Υγρασία επιφανειακής συμπίκνωσης (δρόσος)

Κύρια χαρακτηριστικά της υγρασίας συμπίκνωσης & διάκριση από άλλους τύπους:

▶ Παροδικός χαρακτήρας

Εκδηλώνεται κατά την ψυχρή περίοδο και κυρίως κατά τη διάρκεια των χαμηλών εξωτερικών θερμοκρασιών. Αντιθέτως, από την άνοιξη αρχίζει το φαινόμενο να υποχωρεί και σύντομα, όσο ανεβαίνει η θερμοκρασία, εξαφανίζεται. Αφήνει όμως συχνά το στίγμα της, που είναι οι μικρές μαύρες κηλίδες (από τους ρύπους) και οι αναπτυσσόμενοι μύκητες.

▶ Περιορισμός της δράσης της στην επιφάνεια των δομικών στοιχείων

Η συμπίκνωση δεν προχωρεί σε βάθος στη μάζα των δομικών στοιχείων και επηρεάζει κατά κανόνα την επιφανειακή στρώση (επιχρίσματα, σπατουλαρίσματα, βαφές).

▶ Η επιλογή των ψυχρών επιφανειών

Σε ένα δομικό στοιχείο κατασκευασμένο από διαφορετικά δομικά υλικά εκδηλώνεται πρώτα σ' αυτά που παρουσιάζουν μεγάλη μάζα (δηλαδή σ' αυτά που είναι βαρύτερα) και άρα παρουσιάζουν μεγαλύτερη θερμική αδράνεια.

Παράδειγμα: σε έναν τοίχο κατασκευασμένο από πλίνθους και πέτρες η συμπίκνωση θα εκδηλωθεί πρωτίστως στις θέσεις που βρίσκονται οι πέτρες. Σε μια πλάκα με διαδοκιδώσεις (πλάκα Zöllner) θα εμφανιστεί στη θέση των δοκίδων, περιγράφοντας με έναν ελαφρό εμποτισμό και επισκότιση του χρώματος τη θέση τους στην πλάκα, πίσω από το οροφοκονίαμα. Ομοίως, πιο εύκολα εκδηλώνεται σε μια εξωτερική δίεδρη ή τριεδρη γωνία, διότι εκεί παρουσιάζονται μεγαλύτερες θερμικές απώλειες.

7. Θέματα υγρασίας οφειλόμενα σε συμπύκνωση υδρατμών

Υγρασία επιφανειακής συμπύκνωσης (δρόσος)

Αντιμετώπιση του προβλήματος

- ▶ σωστή διάγνωση του αιτίου που προκαλεί την εκδήλωση του φαινομένου
- ▶ τα μέτρα:
 - ▶ Άνοδος της θερμοκρασίας της ψυχρής επιφάνειας, επί της οποίας εκδηλώνεται το φαινόμενο.
 - ▶ Μείωση της ποσότητας των υδρατμών του αέρα του χώρου.
- ▶ Στην πρώτη περίπτωση ως πλέον πρόσφορη λύση αποδεικνύεται η καλή θερμομονωτική προστασία, καθώς περιορίζει τις θερμικές απώλειες και άρα βοηθάει τα δομικά στοιχεία να αναπτύξουν υψηλότερες θερμοκρασίες. Εναλλακτικά, βοηθάει προς την ίδια κατεύθυνση και η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα, καθώς αυξάνεται τότε και ικανότητά του να συγκρατεί υδρατμούς και άρα μειώνεται η σχετική του υγρασία.
- ▶ Στη δεύτερη περίπτωση ως πλέον πρόσφορο μέτρο αποδεικνύεται ο καλός αερισμός του χώρου. Ιδίως σε χώρους με έντονη παραγωγή υδρατμών (π.χ. μπάνια, κουζίνες κ.τ.λ.) η εκτόνωση των παραγόμενων υδρατμών στο εξωτερικό περιβάλλον και όχι ο εμπλουτισμός του εσωτερικού αέρα του χώρου με αυτούς αποτελεί την ιδανική λύση. Έτσι, οι παραγόμενοι υδρατμοί σε ένα χώρο θα πρέπει κατά τη χρήση του χώρου (π.χ.⁷⁴ κατά τη διάρκεια του μαγειρέματος) ή μετά τη χρήση του (π.χ. μετά το μπάνια) να οδηγούνται προς τα έξω και όχι στους υπόλοιπους χώρους του διαμερίσματος.

7. Θέματα υγρασίας οφειλόμενα σε συμπύκνωση υδρατμών

Διάχυση των υδρατμών

- ▶ Όταν δύο χώροι, με διαφορετική συγκέντρωση υδρατμών ο καθένας, διαχωρίζονται μεταξύ τους με ένα υδρατμοδιαπερατό δομικό στοιχείο, τότε οι υδρατμοί από το χώρο με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση τείνουν να μετακινηθούν μέσω των πόρων των υλικών του υδρατμοδιαπερατού δομικού στοιχείου προς το χώρο με τη μικρότερη συγκέντρωση υδρατμών, προκειμένου οι συγκεντρώσεις στους δύο χώρους να εξισωθούν.
- ▶ Αυτή η μετακίνηση οφείλεται στη διαφορετική πίεση που ασκούν οι υδρατμοί στις δύο όψεις του δομικού στοιχείου. Γι' αυτό και όταν εξισωθούν οι συγκεντρώσεις των υδρατμών στους δύο χώρους, επέρχεται και εξίσωση των πιέσεων και η εκδήλωση του φαινομένου σταματά. Ταυτόχρονα, προς την αντίθετη κατεύθυνση διαχέονται μόρια του αέρα, ούτως ώστε η συνολική πίεση που ασκείται στις δύο όψεις του δομικού στοιχείου να παραμένει σταθερή.
- ▶ Αν μεταξύ των δύο όψεων του δομικού στοιχείου επικρατεί διαφορετική θερμοκρασία, τότε στις διαδοχικές του στρώσεις (π.χ. επίχρισμα, οπτόπλινθους, θερμομονωτικό υλικό κτλ.) η θερμοκρασία βαίνει μειούμενη από τη θερμή προς την ψυχρή όψη. Όμως αυτή η πτώση της θερμοκρασίας επηρεάζει και τη δυνάμενη να συγκρατηθεί ποσότητα των υδρατμών στον αέρα των πόρων των υλικών.
- ▶ Έτσι, οι διαχεόμενοι υδρατμοί, αν συναντήσουν στην πορεία τους κάποια στρώση, στην οποία ο αέρας των πόρων έχει τόσο χαμηλή θερμοκρασία που να αδυνατεί να συγκρατήσει το σύνολο των διαχεόμενων υδρατμών, ένα μέρος τους θα συμπυκνωθεί και θα εκτοπίσει τον ευρισκόμενο στους πόρους αέρα, καταλαμβάνοντας τη θέση τους.

7. Θέματα υγρασίας οφειλόμενα σε συμπύκνωση υδρατμών

Διάχυση των υδρατμών

- ▶ Το εμποτισμένο με υγρασία δομικό στοιχείο μειώνει τη θερμομονωτική του ικανότητα, δεδομένου ότι η θερμική αγωγιμότητα του νερού είναι περίπου 24 φορές μεγαλύτερη αυτής του αέρα. Επιπροσθέτως όμως αποσθρώνει σταδιακά το υλικό, ιδίως όταν το εμπεριεχόμενο νερό μετατραπεί σε πάγο (σε θερμοκρασία χαμηλότερη του 0°C), καθώς με την αύξηση του όγκου του κατά το 1/10 διαρρηγνύεται ο συνδετικός ιστός του υλικού.
- ▶ Η υγρασία συμπύκνωσης δεν γίνεται εύκολα αντιληπτή, διότι βρίσκεται στο εσωτερικό του δομικού στοιχείου και δεν φθάνει στις εξωτερικές του επιφάνειες.
- ▶ Είναι παροδικό φαινόμενο και παύει να εμφανίζεται όταν εκλείψουν οι λόγοι που το προκάλεσαν. Όταν η θερμοκρασία ανέλθει σε υψηλότερα επίπεδα, τότε η δημιουργηθείσα υγρασία μετατρέπεται εκ νέου σε υδρατμούς και απομακρύνονται και πάλι μέσω της διάχυσης προς τις δύο όψεις του δομικού στοιχείου, επειδή η συγκέντρωση υδρατμών στο εσωτερικό του δομικού στοιχείου είναι υψηλότερη από τη συγκέντρωση στο εξωτερικό περιβάλλον και οι συγκεντρώσεις τείνουν και πάλι να εξισωθούν.

7. Θέματα υγρασίας οφειλόμενα σε συμπύκνωση υδρατμών

- ▶ Ως φράγμα υδρατμών νοείται κάθε στρώση μεταξύ των λοιπών στρώσεων του δομικού στοιχείου, που προβάλλει πολύ υψηλότερη αντίσταση στη διάχυση των υδρατμών από αυτήν που προβάλλουν οι υπόλοιπες στρώσεις.
- ▶ Την προβαλλόμενη αντίσταση στη διάχυση υδρατμών ενός υλικού καθορίζει ο **συντελεστής αντίστασης στη διάχυση των υδρατμών μ** .
- ▶ Ο συντελεστής μ είναι αδιάστατο μέγεθος και ορίζει πόσες φορές μεγαλύτερη αντίσταση προβάλλει αυτό το υλικό στη διάχυση των υδρατμών από ένα στρώμα αέρα ίσου πάχους και ίδιας θερμοκρασίας, όταν βρίσκεται σε κατάσταση ηρεμίας.
- ▶ Υλικά που παρουσιάζουν πολύ υψηλές τιμές του μ είναι τα ασφαλτόπανα, τα πλαστικά φύλλα, το γυαλί, το αφρώδες γυαλί, το φύλλο αλουμινίου κ.ά., που πρακτικά θεωρείται ότι ανακόπτουν την πορεία των υδρατμών και παρεμποδίζουν τη διέλευσή τους μέσω της μάζας τους. Άλλα υλικά, όπως κεραμικά πλακίδια, πλακίδια υαλοπηφίδων, ορθομαρμαρώσεις παρουσιάζουν μικρότερες τιμές του συντελεστή μ , προβάλλουν όμως και αυτά υψηλή αντίσταση στη διάχυση των υδρατμών και λειτουργούν επίσης ως φράγματα υδρατμών. Αντιθέτως, υλικά όπως ο υαλοβάμβακας, ο πετροβάμβακας κ.ά. δεν προβάλλουν σχεδόν καμιά αντίσταση και επιτρέπουν ανεμπόδιστα τη διάχυση των υδρατμών μέσω αυτών.

Φράγμα υδρατμών

7. Θέματα υγρασίας οφειλόμενα σε συμπύκνωση υδρατμών

- ▶ Είναι σαφές ότι η τοποθέτηση ενός υλικού που λειτουργεί ως φράγμα υδρατμών στο εσωτερικό ενός δομικού στοιχείου ανακόπτει ή δυσχεραίνει την πορεία των διαχεόμενων υδρατμών, ανάλογα με την τιμή του συντελεστή αντίστασης στη διάχυση των υδρατμών μ αυτού του υλικού.
- ▶ Σ' εκείνη τη θέση παρατηρείται υψηλή συγκέντρωση υδρατμών και, αν ο αέρας που βρίσκεται στους πόρους του έχει χαμηλή θερμοκρασία, φθάνει εύκολα σε κατάσταση κορεσμού και αδυνατεί να συγκρατήσει τους υδρατμούς. Τότε η περίσσεια των υδρατμών υγροποιείται και κατακάθεται υπό μορφή σταγόνων στα τοιχώματα των πόρων του δομικού στοιχείου.
- ▶ Επομένως ένα υλικό με υψηλό συντελεστή αντίστασης στη διάχυση των υδρατμών, τοποθετημένο στην ψυχρή πλευρά του δομικού στοιχείου, πολύ εύκολα θα ευνοήσει τη συμπύκνωση των διαχεόμενων υδρατμών. Στεγανοποιητικές στρώσεις, υαλοποιημένα πλακίδια, ορθομαρμαρώσεις κ.τ.λ. στις εξωτερικές επιφάνειες των δομικών στοιχείων ανακόπτουν την πορεία των διαχεόμενων υδρατμών και δημιουργούν συμπυκνώσεις πίσω από αυτά. Η σχηματιζόμενη υγρασία μπορεί κατόπιν να συμβάλει στην αποσάθρωση και αποκόλληση αυτών των υλικών. Στη φθορά του δομικού στοιχείου συμβάλλει και η αλληλοδιάδοχη κατάσταση διύγρυνσης και στεγνώματος των υλικών, δεδομένου ότι κατά τη μετάπτωσή τους από την υγρή στην αέρια φάση οι υδρατμοί αυξάνουν τον όγκο τους περίπου κατά 1500 φορές, αναπτύσσοντας πίσω από τα αδιαπέρατα από αυτούς υλικά υψηλές τάσεις.

Φράγμα υδρατμών

7. Θέματα υγρασίας οφειλόμενα σε συμπύκνωση υδρατμών

- ▶ Για τα ελληνικά κλιματικά δεδομένα όλων των κλιματικών ζωνών κατά γενικό κανόνα ένα δομικό στοιχείο πρέπει να αφήνεται ελεύθερο να «αναπνέει», δηλαδή να μην παρεμποδίζεται η διέλευση των υδρατμών μέσω των πόρων της μάζας του, αντιθέτως αυτή πρέπει να διευκολύνεται.
- ▶ Φράγμα υδρατμών θα πρέπει να τοποθετείται μόνον όταν συντρέχουν λόγοι που το επιβάλλουν:
 - ▶ συνηθέστερος λόγος: ύπαρξη ενός άλλου υλικού που λόγω της φύσης του παρεμποδίζει τη διάχυση των υδρατμών και βρίσκεται τοποθετημένο σε τέτοια θέση στη διαδοχή των στρώσεων του δομικού στοιχείου που ευνοεί τη συμπύκνωση
 - ▶ τοποθέτηση φράγματος υδρατμών σε θέση που να παρεμποδίζει μεν τη διέλευση των υδρατμών (και άρα να τους εμποδίζει να φθάσουν μέχρι την αδιαπέραστη στρώση), να μην ευνοεί όμως τη συμπύκνωσή τους λόγω της υψηλής συγκέντρωσής τους, δηλαδή να βρίσκεται στη θερμή περιοχή του δομικού στοιχείου.

Φράγμα υδρατμών

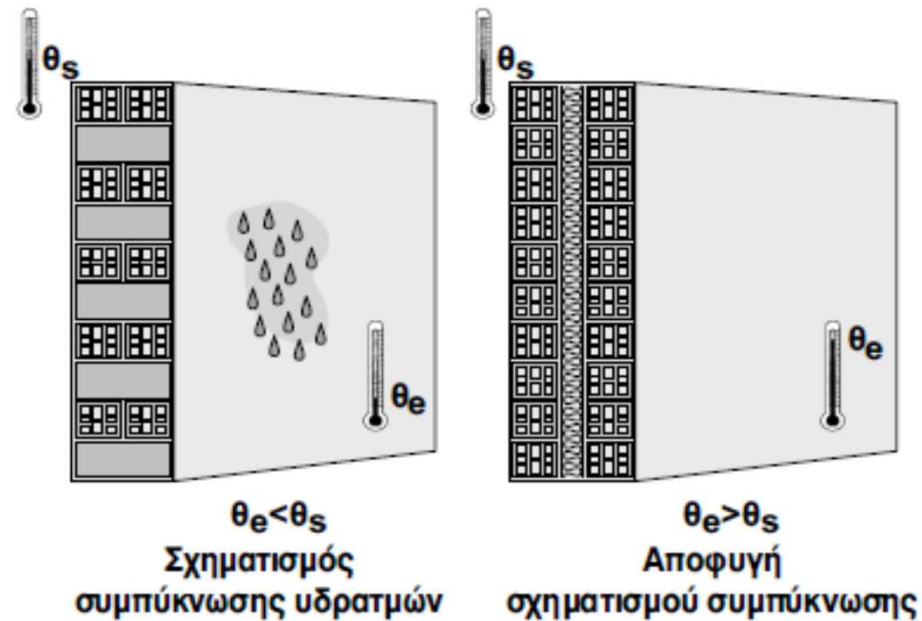
3.1.2. Έλεγχος και υπολογισμός

Καθώς τό φαινόμενο τής επιφανειακής συμπύκνωσης εκδηλώνεται επάνω στις επιφάνειες τών δομικών στοιχείων, τών οποίων η θερμοκρασία τους είναι κατώτερη τής θερμοκρασίας δρόσου, γιά νά μή σχηματισθεί επιφανειακή συμπύκνωση τών υδρατμών σ' αυτές θά πρέπει οι επιφανειακές τους θερμοκρασίες (θ_{ie}) νά είναι υψηλότερες τής θερμοκρασίας δρόσου (θ_s) τού αέρα γιά τή δεδομένη τιμή θερμοκρασίας καί σχετικής υγρασίας του χώρου.

Θά πρέπει, δηλαδή, νά ισχύει η σχέση [16], [24], [31]:

$$\theta_{ie} > \theta_s \quad (12)$$

όπου: θ_{ie} [°C] η επιφανειακή θερμοκρασία τού δομικού στοιχείου
 θ_s [°C] η θερμοκρασία δρόσου



Ωστόσο, ακόμη όταν η επιφανειακή θερμοκρασία είναι μόλις υψηλότερη τής θερμοκρασίας δρόσου θά σχηματισθεί μία ανεπαίσθητα λεπτή μεμβράνη νερού καί τούτο επειδή ένα ποσοστό τών μορίων τών υδρατμών, που έρχονται σέ επαφή μέ τήν επιφάνεια τού τοιχώματος, δέν ανακλώνται, αλλά παραμένουν προσκολλημένα σ' αυτή [16].

Η θερμοκρασία δρόσου μπορεί νά υπολογισθεί μέ μαθηματικές σχέσεις, όταν είναι γνωστά τά μεγέθη τής θερμοκρασίας τού αέρα, τής σχετικής υγρασίας (ή τής θερμοκρασίας τού υγρού θερμομέτρου) καί τής ατμοσφαιρικής πίεσης.

Στόν παραπλεύρως πίνακα δίνονται οι τιμές τής θερμοκρασίας δρόσου γιά διαφορετικές τιμές θερμοκρασίας καί σχετικής υγρασίας τού αέρα ενός χώρου. Οι τιμές τού πίνακα είναι αυτές που δέχεται ο γερμανικός κανονισμός θερμομόνωσης [10]. Αν καί στόν αντίστοιχο ελληνικό κανονισμό δέν περιέχεται ανάλογος πίνακας, ούτε καί γίνεται κάποια άλλη αναφορά, οι τιμές τού πίνακα ως σχετικά ανεξάρτητες ιδιαίτερων γεωγραφικών καί κλιματικών συνθηκών, θεωρούνται αποδεκτές προκειμένου νά ελεγχθεί ο σχηματισμός συμπύκνωσης στήν επιφάνεια ενός δομικού στοιχείου.

Η επιφανειακή θερμοκρασία τού δομικού στοιχείου μπορεί νά βρεθεί είτε μέ απευθείας μέτρηση (εργαστηριακός τρόπος) είτε μέ υπολογισμό (μαθηματικός τρόπος), λαμβάνοντας υπόψη τόν τρόπο μετάδοσης τής θερμότητας μέσα από ένα δομικό στοιχείο.

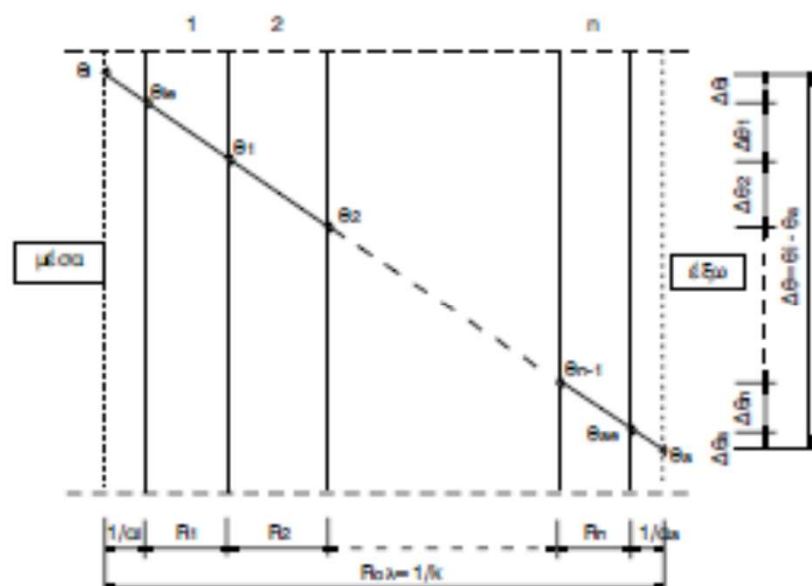
Ο υπολογισμός είναι εύκολος, άν γίνουν αποδεκτές ορισμένες απλοποιητικές παραδοχές που εξαπλουστεύουν τό πρόβλημα χωρίς όμως νά επηρεάζουν ουσιαστικά τό αποτέλεσμα. Καί συγκεκριμένα [3], [31]:

- ότι τά υλικά είναι ομογενή καί ισότροπα καί ότι βρίσκονται μεταξύ τους σέ τέλεια θερμική επαφή.
- ότι η θερμική ροή είναι μονοδιάστατη, ότι η μετάδοση τής θερμότητας γίνεται κατά διεύθυνση κάθετη πρός τήν εξεταζόμενη επιφάνεια καί ότι μέσα στό δομικό στοιχείο δέν παρατηρούνται απώλειες ούτε δεσμεύσεις από άλλες πηγές θερμότητας.
- ότι τό δομικό στοιχείο εξετάζεται σέ στάσιμη κατάσταση. Η θερμική ροή είναι ανεξάρτητη από τό χρόνο καί τό θερμοκρασιακό πεδίο διατηρείται σταθερό.
- ότι οι ιδιότητες τών υλικών είναι ανεξάρτητες από τή θερμοκρασία καί επομένως η τιμή τού συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ παραμένει σταθερή.

Θερμ. αέρα θ	max υδρ.	Σχετική υγρασία του αέρα																
		°C	g/m³	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
0	4.9	-13.9	-12.1	-10.7	-9.3	-8.1	-7.0	-6.0	-5.1	-4.2	-3.4	-2.7	-1.9	-1.3	-0.6	0.0		
1	5.2	-13.1	-11.3	-9.9	-8.5	-7.3	-6.2	-5.2	-4.3	-3.4	-2.6	-1.9	-1.1	-0.4	0.4	1.0		
2	5.6	-12.3	-10.5	-9.0	-7.7	-6.5	-5.4	-4.4	-3.4	-2.6	-1.7	-1.0	-0.2	0.5	1.3	2.0		
3	5.9	-11.5	-9.7	-8.2	-6.9	-5.7	-4.6	-3.6	-2.6	-1.8	-0.9	-0.1	0.8	1.5	2.3	3.0		
4	6.3	-10.7	-8.9	-7.4	-6.0	-4.9	-3.7	-2.7	-1.7	-0.9	0.0	0.9	1.8	2.5	3.3	4.0		
5	6.8	-9.9	-8.1	-6.6	-5.2	-4.1	-3.1	-1.9	-0.9	0.0	1.0	1.9	2.8	3.5	4.3	5.0		
6	7.3	-9.1	-7.3	-5.8	-4.4	-3.2	-2.4	-1.0	0.0	0.9	2.0	2.8	3.7	4.5	5.3	6.0		
7	7.8	-8.4	-6.5	-5.0	-3.6	-2.4	-1.4	-0.2	1.0	1.9	3.0	3.8	4.7	5.5	6.3	7.0		
8	8.3	-7.6	-5.7	-4.2	-2.8	-1.6	-0.4	0.7	1.9	2.9	3.9	4.8	5.7	6.5	7.3	8.0		
9	8.8	-6.8	-5.0	-3.4	-2.0	-0.8	0.5	1.7	2.8	3.9	4.9	5.8	6.7	7.5	8.3	9.0		
10	9.4	-6.0	-4.2	-2.6	-1.2	0.1	1.4	2.6	3.7	4.8	5.8	6.7	7.6	8.4	9.2	9.2		
11	10.0	-5.2	-3.4	-1.8	-0.4	1.0	2.3	3.5	4.7	5.8	6.7	7.7	8.6	9.4	10.2	10.2		
12	10.7	-4.5	-2.6	-1.0	0.4	1.9	3.2	4.5	5.7	6.7	7.7	8.7	9.6	10.4	11.2	11.2		
13	11.3	-3.7	-1.9	-0.1	1.3	2.8	4.2	5.5	6.6	7.7	8.7	9.6	10.5	11.4	12.2	12.2		
14	12.1	-2.9	-1.0	0.6	2.3	3.7	5.1	6.4	7.5	8.6	9.6	10.6	11.5	12.4	13.2	13.2		
15	12.9	-2.2	-0.3	1.5	3.2	4.7	6.1	7.3	8.5	9.6	10.6	11.6	12.5	13.4	14.2	14.2		
16	13.8	-1.4	0.5	2.4	4.1	5.6	7.0	8.2	9.4	10.5	11.6	12.6	13.5	14.4	15.2	15.2		
17	14.6	-0.6	1.4	3.3	5.0	6.5	7.9	9.2	10.4	11.5	12.5	13.5	14.5	15.3	16.2	16.2		
18	15.4	0.2	2.3	4.2	5.9	7.4	8.8	10.1	11.3	12.5	13.5	14.5	15.4	16.3	17.2	17.2		
19	16.3	1.0	3.2	5.1	6.8	8.3	9.8	11.1	12.3	13.4	14.5	15.5	16.4	17.3	18.2	18.2		
20	17.3	1.9	4.1	6.0	7.7	9.3	10.7	12.0	13.2	14.4	15.4	16.4	17.4	18.3	19.2	19.2		
21	18.4	2.8	5.0	6.9	8.6	10.2	11.6	12.9	14.2	15.3	16.4	17.4	18.4	19.3	20.2	20.2		
22	19.4	3.6	5.9	7.8	9.5	11.1	12.5	13.9	15.1	16.3	17.4	18.4	19.4	20.3	21.2	21.2		
23	20.6	4.5	6.7	8.7	10.4	12.0	13.5	14.8	16.1	17.2	18.3	19.4	20.3	21.3	22.2	22.2		
24	21.8	5.4	7.6	9.6	11.3	12.9	14.4	15.8	17.0	18.2	19.3	20.3	21.3	22.3	23.1	23.1		
25	23.1	6.2	8.5	10.5	12.2	13.9	15.3	16.7	18.0	19.1	20.3	21.3	22.3	23.2	24.1	24.1		
26	24.4	7.1	9.4	11.4	13.2	14.8	16.3	17.6	18.9	20.1	21.2	22.3	23.3	24.2	25.1	25.1		
27	25.8	8.0	10.2	12.2	14.1	15.7	17.2	18.6	19.9	21.1	22.2	23.2	24.3	25.2	26.1	26.1		
28	27.2	8.8	11.1	13.1	15.0	16.6	18.1	19.5	20.8	22.0	23.2	24.2	25.2	26.2	27.1	27.1		
29	28.7	9.7	12.0	14.0	15.9	17.5	19.0	20.4	21.7	23.0	24.1	25.2	26.2	27.2	28.1	28.1		
30	30.3	10.5	12.9	14.9	16.8	18.4	20.0	21.4	22.7	23.9	25.1	26.2	27.2	28.2	29.1	29.1		
31	32.8	11.4	13.7	15.8	17.7	19.3	20.9	22.3	23.6	24.9	26.1	27.2	28.2	29.2	30.1	31.0		
32	34.7	12.2	14.5	16.7	18.5	20.2	21.8	23.2	24.6	25.8	27.0	28.1	29.2	30.2	31.1	32.0		
33	36.7	13.1	15.4	17.5	19.4	21.2	22.7	24.2	25.5	26.8	28.0	29.1	30.1	31.1	32.1	33.0		
34	38.7	13.9	16.2	18.4	20.2	22.1	23.6	25.1	26.5	27.7	28.9	30.0	31.1	32.1	33.1	34.0		
35	41.0	14.8	17.0	19.3	21.1	23.0	24.5	26.0	27.4	28.7	29.9	31.0	32.1	33.1	34.1	35.0		

Η επιφανειακή θερμοκρασία των δομικών στοιχείων, κάτω από την τιμή της οποίας σχηματίζεται συμπύκνωση των υδρατμών (υδραρα) στις περιβάλλουσες επιφάνειες ενός χώρου για δεδομένη τιμή

Με βάση τα παραπάνω μπορεί να γίνει αποδεκτή η γραμμική πτώση της θερμοκρασίας σ' ένα δομικό στοιχείο σε σχέση με τις θερμικές αντιστάσεις των διαδοχικών στρώσεων, όπως εμφανίζεται στο παρακάτω σχήμα.



Η κατανομή των θερμοκρασιών στις διαδοχικές στρώσεις ενός δομικού στοιχείου με αξονα τετμημένων τις θερμικές αντιστάσεις διευκολύνει τον προσδιορισμό της επιφανειακής θερμοκρασίας γραμμικά. (Πηγή: [3]).

- ▶ Η ροή θερμότητας ανά μονάδα χρόνου και επιφάνειας, μέσω ενός δομικού στοιχείου υπολογίζεται από τη σχέση:

- ▶ $q = U \cdot \Delta\theta$

- ▶ Όπου

- ▶ q [W/m²] = θερμικές απώλειες ανά μονάδα επιφάνειας και χρόνου

- ▶ U [W/(m² K)] = συντελεστής θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου

- ▶ $\Delta\theta = \theta_i - \theta_a$ = διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δομικών στοιχείων [k ή C]

- ▶ θ_i = θερμοκρασία εσωτερικού χώρου

- ▶ θ_a = θερμοκρασία εξωτερικού χώρου

- ▶ Αν θ_{ie} = η εσωτερική επιφανειακή θερμοκρασία του τοίχου, θα ισχύει:

- ▶ $\frac{1}{R_i} (\theta_i - \theta_{ie}) = q$

- ▶ R_i = (από τους Πίνακες 2 της ΤΟΤΕΕ -2/2017)

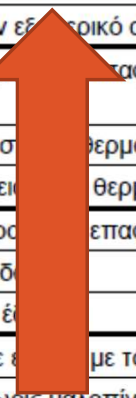
ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΗΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ

ΑΣΚΗΣΗ 1

- ▶ Να υπολογιστεί το ελάχιστο πάχος μονωτικού υλικού που πρέπει να τοποθετηθεί σε εξωτερική τοιχοποιία (κλιματική ζώνη Δ) ριζικά ανακαινιζόμενης οικίας, που αποτελείται από επίχρισμα πάχους 2 cm εσωτερικά και εξωτερικά και οπτόπλινθους πάχους 18 cm.
- ▶ Δεδομένα : $\lambda_{\mu\omicron\nu}=0,035 \text{ W/mK}$, $\lambda_{\varepsilon\pi}= 0,870 \text{ W/mK}$, $\lambda_{\omicron\pi\tau}=0,450 \text{ W/Mk}$
- ▶ ΛΥΣΗ
- ▶ Σύμφωνα με τον πίνακα 3.4α της ΤΟΤΕΕ-1/2017, θα πρέπει ο συντελεστής θερμοπερατότητας του κατακόρυφου δομικού στοιχείου να είναι
- ▶ **$U \leq 0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$**

Πίνακας 3.4α. Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας των επί μέρους δομικών στοιχείων ανά κλιματική ζώνη σε περίπτωση ριζικής ανακαίνισης υφιστάμενου κτηρίου.

Δομικό στοιχείο	Μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας U [W/(m ² ·K)]			
	Ζώνη Α'	Ζώνη Β'	Ζώνη Γ'	Ζώνη Δ'
Εξωτερική οριζόντια ή κεκλιμένη επιφάνεια σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (οροφή)	0,50	0,45	0,40	0,35
Εξωτερικός τοίχος σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	0,60	0,50	0,45	0,40
Δάπεδο σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (πιλοτή)	0,50	0,45	0,40	0,35
Οριζόντια ή κεκλιμένη επιφάνεια σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,20	0,90	0,75	0,70
Τοίχος σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,50	1,00	0,80	0,70
Δάπεδο σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,20	0,90	0,75	0,70
Οριζόντια ή κεκλιμένη οροφή σε επαφή με το έδαφος	1,20	0,90	0,75	0,70
Τοίχος σε επαφή με το έδαφος	1,50	1,00	0,80	0,70
Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος	1,20	0,90	0,75	0,70
Κούφωμα ανοίγματος σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	3,20	3,00	2,80	2,60
Κούφωμα ανοίγματος χωρίς υαλοπίνακα σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	3,20	3,00	2,80	2,60
Γυάλινη πρόσοψη κτηρίου μη ανοιγόμενη ή μερικώς ανοιγόμενη σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα				
Κούφωμα ανοίγματος σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο	5,70	5,20	4,80	4,40
Κούφωμα ανοίγματος χωρίς υαλοπίνακα σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο	5,70	5,20	4,80	4,40
Γυάλινη πρόσοψη κτηρίου μη ανοιγόμενη ή μερικώς ανοιγόμενη σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο	4,00	3,60	3,10	2,90



- ▶ Ο τύπος υπολογισμού του συντελεστή θερμοπερατότητας είναι:

$$U = \frac{1}{Ri + \sum_{i=1}^n \frac{di}{\lambda_i} + R\delta + Ra}$$

- ▶ Από τον πίνακα 2B της TOTEE - 2/2017 βρίσκουμε ότι

- ▶ $Ri = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$

- ▶ $Ra = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$

- ▶ $R\delta = 0$ γιατί δεν υπάρχει διάκενο αέρα στην τοιχοποιία.

▶ Επομένως

- ▶ $U = \frac{1}{Ri + \sum_{i=1}^n \frac{di}{\lambda_i} + R\delta + Ra} \leq 0,40 \rightarrow$

- ▶ $\frac{1}{0,13 + \frac{0,02}{0,870} + \frac{0,18}{0,450} + \frac{0,02}{0,870} + \frac{d\mu}{0,035} + 0 + 0,04} \leq 0,40 \rightarrow$

- ▶ $\frac{1}{0,616 + \frac{d\mu}{0,035}} \leq 0,40 \rightarrow 1 \leq 0,2464 + 11,428d\mu \rightarrow 0,7536 \leq 11,428d\mu$

- ▶ $d\mu \geq 0,0659 \text{ m}$

- ▶ Το πάχος του μονωτικού πρέπει να είναι τουλάχιστον 7 cm.

Πίνακας 2B. Τιμές συντελεστών θερμικής μετάβασης και αντιστάσεων θερμικής μετάβασης κατά το ISO 6946, εξειδικευμένες ανά δομικό στοιχείο (πηγή: πρωτότυπος πίνακας, επεξεργασμένος βάσει του ISO 6946).

Α/Α	Δομικό στοιχείο	Συντελεστές θερμικής μετάβασης		Αντιστάσεις θερμικής μετάβασης	
		1/R _i	1/R _a	R _i	R _a
		W/(m ² ·K)	W/(m ² ·K)	(m ² ·K)/W	(m ² ·K)/W
1	Εξωτερικοί τοίχοι και παράθυρα (προς εξωτ. αέρα)	7,70	25,00	0,13	0,04
2	Τοίχος που συνορεύει με μη θερμαινόμενο χώρο	7,70	7,70	0,13	0,13
3	Τοίχος σε επαφή με έδαφος	7,70	–	0,13	0,00
4	Στέγη, δώμα (ανερχόμενη ροή θερμότητας)	10,00	25,00	0,10	0,04
5	Οροφή που συνορεύει με μη θερμαινόμενο χώρο (ανερχόμενη ροή θερμότητας)	10,00	10,00	0,10	0,10
6	Δάπεδο επάνω από ανοικτή διάβαση (πυλωτή) (κατερχόμενη ροή θερμότητας)	5,88	25,00	0,17	0,04
7	Δάπεδο επάνω από μη θερμαινόμενο χώρο (κατερχόμενη ροή θερμότητας)	5,88	5,88	0,17	0,17
8	Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος	5,88	–	0,17	0,00

Παρατηρήσεις

Τονίζεται πως εαν πρόκειται για νέο κτήριο η τιμή του U προκύπτει από τον πίνακα 3.3α και θα είναι $U \leq 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$

ΑΣΚΗΣΗ 2^Η

- ▶ Να υπολογιστεί το ελάχιστο πάχος μονωτικού υλικού που πρέπει να τοποθετηθεί σε οροφή (κλιματική ζώνη Δ) ριζικά ανακαινιζόμενου κτιρίου, που αποτελείται από επίχρισμα πάχους 2 cm, μονωτικό υλικό πάχους d_m , οπλισμένο σκυρόδεμα πάχους 15 cm και κεραμοσκεπή με σανίδωμα κάτω από τα κεραμίδια.
- ▶ Δεδομένα : $\lambda_{\mu\omicron\nu} = 0,035 \text{ W/mK}$, $\lambda_{\epsilon\pi} = 0,870 \text{ W/mK}$, $\lambda_{\sigma\kappa\upsilon\rho} = 2,00 \text{ W/mK}$
- ▶ **ΛΥΣΗ:**
- ▶ Σύμφωνα με τον πίνακα 3.3.α της ΤΟΤΕΕ-1 2017 θα πρέπει ο συντελεστής θερμοπερατότητας του οριζόντιου δομικού στοιχείου να είναι **$U \leq 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$**

Πίνακας 3.4α. Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας των επί μέρους δομικών στοιχείων ανά κλιματική ζώνη σε περίπτωση ριζικής ανακαίνισης υφιστάμενου κτηρίου.

Δομικό στοιχείο	Μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας U [W/(m ² ·K)]			
	Ζώνη Α'	Ζώνη Β'	Ζώνη Γ'	Ζώνη Δ'
Εξωτερική οριζόντια ή κεκλιμένη επιφάνεια σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (οροφή)	0,50	0,45	0,40	0,35
Εξωτερικός τοίχος σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	0,60	0,50	0,45	0,40
Δάπεδο σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (πιλοτή)	0,50	0,45	0,40	0,35
Οριζόντια ή κεκλιμένη οροφή σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,20	0,90	0,75	0,70
Τοίχος σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,50	1,00	0,80	0,70
Δάπεδο σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,20	0,90	0,75	0,70
Οριζόντια ή κεκλιμένη οροφή σε επαφή με το έδαφος	1,20	0,90	0,75	0,70
Τοίχος σε επαφή με το έδαφος	1,50	1,00	0,80	0,70
Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος	1,20	0,90	0,75	0,70
Κούφωμα ανοίγματος σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	3,20	3,00	2,80	2,60
Κούφωμα ανοίγματος χωρίς υαλοπίνακα σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	3,20	3,00	2,80	2,60
Γυάλινη πρόσοψη κτιρίου μη ανοιγόμενη ή μερικώς	2,20	2,00	1,80	1,80

- ▶ Ο τύπος υπολογισμού του συντελεστή θερμοπερατότητας είναι:

$$U = \frac{1}{R_i + \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_i} + R_\delta + R_u + R_a}$$

- ▶ Από τον πίνακα 2β της ΤΟΤΕΕ 2 Βρίσκουμε ότι
- ▶ $R_i = 0,10 \text{ m}^2\text{K/W}$
- ▶ $R_a = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$
- ▶ $R_\delta = 0$ γιατί δεν υπάρχει διάκενο αέρα και
- ▶ $R_u = 0,20$ σύμφωνα με τον πίνακα 4 της ΤΟΤΕΕ 2

Πίνακας 4. Η θερμική αντίσταση που προβάλλει στρώμα αέρα μεταξύ οριζόντιας θερμομονωμένης οροφής και κεκλιμένης στέγης (πηγή: ISO 6946).

Α/Α	Περιγραφή της οροφής	R_u
		($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$)
1	Στέγη με επικάλυψη από αργιλικά κεραμίδια (βυζαντινού, ρωμαϊκού, γαλλικού ή ολλανδικού τύπου) / φυσική πέτρα / μεταλλικά / ασφαλτικά ή συνθετικά κεραμίδια, επί τσιγδών, χωρίς ενδιάμεσο σανίδωμα ή στεγανοποιητική υδρατμοδιαπερατή μεμβράνη.	0,06
2	Κεραμοσκεπή με σανίδωμα ή μεμβράνη κάτω από τα αργιλικά κεραμίδια (βυζαντινού, ρωμαϊκού, γαλλικού ή ολλανδικού τύπου).	0,20
3	Στέγη με επικάλυψη από φυσική πέτρα, μεταλλικά, συνθετικά ή ασφαλτικά φύλλα και με επικάλυψη φύλλου αλουμινίου με σανίδωμα ή μεμβράνη κάτω από τα κεραμίδια.	0,20
4	Στέγη με φυσική πέτρα, μεταλλικά, συνθετικά ή ασφαλτικά φύλλα και με επικάλυψη φύλλου αλουμινίου ή άλλη χαμηλής εκπομπής επιφάνεια κάτω από τα κεραμίδια.	0,30
5	Στέγη αποτελούμενη από σανίδωμα και μεμβράνη.	0,30

Πίνακας 2β. Τιμές συντελεστών θερμικής μετάβασης και αντιστάσεων θερμικής μετάβασης κατά το ISO 6946, εξειδικευμένες ανά δομικό στοιχείο (πηγή: πρωτότυπος πίνακας, επεξεργασμένος βάσει του ISO 6946).

Α/Α	Δομικό στοιχείο	Συντελεστές θερμικής μετάβασης		Αντιστάσεις θερμικής μετάβασης	
		$1/R_i$	$1/R_a$	R_i	R_a
		$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	$(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$	$(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$
1	Εξωτερικοί τοίχοι και παράθυρα (προς εξωτ. αέρα)	7,70	25,00	0,13	0,04
2	Τοίχος που συνορεύει με μη θερμαινόμενο χώρο	7,70	7,70	0,13	0,13
3	Τοίχος σε επαφή με έδαφος	7,70	–	0,13	0,00
4	Στέγη, δώμα (ανερχόμενη ροή θερμότητας)	10,00	25,00	0,10	0,04
5	Οροφή που συνορεύει με μη θερμαινόμενο χώρο (ανερχόμενη ροή θερμότητας)	10,00	10,00	0,10	0,10
6	Δάπεδο επάνω από ανοικτή διάβαση (πυλωτή) (κατερχόμενη ροή θερμότητας)	5,88	25,00	0,17	0,04
7	Δάπεδο επάνω από μη θερμαινόμενο χώρο (κατερχόμενη ροή θερμότητας)	5,88	5,88	0,17	0,17
8	Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος	5,88	–	0,17	0,00

Παρατηρήσεις

▶ Επομένως

$$\text{▶ } U = \frac{1}{Ri + \sum_{i=1}^n \frac{di}{\lambda_i} + R\delta + Ru + Ra} \leq 0,35 \rightarrow$$

$$\text{▶ } \frac{1}{0,10 + \frac{0,02}{0,870} + \frac{0,15}{2,00} + \frac{d\mu}{0,035} + 0 + 0,20 + 0,04} \leq 0,35 \rightarrow$$

$$\text{▶ } \frac{1}{0,438 + \frac{d\mu}{0,035}} \leq 0,35 \rightarrow 1 \leq 0,1533 + 10d\mu \rightarrow 0,8467 \leq 10d\mu$$

$$\text{▶ } d\mu \geq 0,0846 \text{ m}$$

▶ Το πάχος του μονωτικού πρέπει να είναι τουλάχιστον 9 cm.

ΑΣΚΗΣΗ 3^Η

- ▶ Να υπολογιστεί το ελάχιστο πάχος μονωτικού υλικού που πρέπει να τοποθετηθεί σε δάπεδο (κλιματική ζώνη Δ) ριζικά ανακαινιζόμενου κτηρίου, πανταχόθεν ελεύθερο διαστάσεων 10Χ20 m, που συνορεύει με έδαφος σε βάθος 2m και αποτελείται από μονωτικό πάχους d_m και οπλισμένο σκυρόδεμα πάχους 20 cm. Να βρεθεί επίσης ο ισοδύναμος συντελεστής U'

- ▶ Δεδομένα : $\lambda_{\text{μον}}=0,035 \text{ W/mK}$, $\lambda_{\text{σκυρ}}=2,00 \text{ W/mK}$

- ▶
- ▶ **ΛΥΣΗ**
- ▶ Σύμφωνα με τον πίνακα 3.3.α της ΤΟΤΕΕ 2017, θα πρέπει ο συντελεστής θερμοπερατότητας του οριζόντιου δομικού στοιχείου να είναι

- ▶ **$U \leq 0,70 \text{ W/m}^2\text{K}$**

Πίνακας 3.4α. Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας των επί μέρους δομικών στοιχείων ανά κλιματική ζώνη σε περίπτωση ριζικής ανακαίνισης υφιστάμενου κτηρίου.

Δομικό στοιχείο	Μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας U [W/(m ² ·K)]			
	Ζώνη Α'	Ζώνη Β'	Ζώνη Γ'	Ζώνη Δ'
Εξωτερική οριζόντια ή κεκλιμένη επιφάνεια σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (οροφή)	0,50	0,45	0,40	0,35
Εξωτερικός τοίχος σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	0,60	0,50	0,45	0,40
Δάπεδο σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (πιλοτή)	0,50	0,45	0,40	0,35
Οριζόντια ή κεκλιμένη οροφή σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,20	0,90	0,75	0,70
Τοίχος σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,50	1,00	0,80	0,70
Δάπεδο σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,20	0,90	0,75	0,70
Οριζόντια ή κεκλιμένη οροφή σε επαφή με το έδαφος	1,20	0,90	0,75	0,70
Τοίχος σε επαφή με το έδαφος	1,50	1,00	0,80	0,70
Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος	1,20	0,90	0,75	0,70
Κούφωμα ανοίγματος σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	3,20	3,00	2,80	2,60
Κούφωμα ανοίγματος χωρίς υαλοπίνακα σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	3,20	3,00	2,80	2,60
Γυάλινη πρόσοψη κτιρίου μη ανοιγόμενη ή μερικώς	2,20	2,00	1,80	1,80

- ▶ Ο τύπος υπολογισμού του συντελεστή θερμοπερατότητας είναι:

$$U = \frac{1}{R_i + \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_i} + R_d + R_a}$$

- ▶ Από τον πίνακα 2B της ΤΟΤΕΕ 2 Βρίσκουμε ότι
- ▶ $R_i = 0,17 \text{ m}^2\text{K/W}$
- ▶ $R_a = 0,00 \text{ m}^2\text{K/W}$
- ▶ $R_d = 0$ γιατί δεν υπάρχει διάκενο αέρα.

Πίνακας 2β. Τιμές συντελεστών θερμικής μετάβασης και αντιστάσεων θερμικής μετάβασης κατά το ISO 6946, εξειδικευμένες ανά δομικό στοιχείο (πηγή: πρωτότυπος πίνακας, επεξεργασμένος βάσει του ISO 6946).

Α/Α	Δομικό στοιχείο	Συντελεστές θερμικής μετάβασης		Αντιστάσεις θερμικής μετάβασης	
		1/R _i	1/R _a	R _i	R _a
		W/(m ² ·K)	W/(m ² ·K)	(m ² ·K)/W	(m ² ·K)/W
1	Εξωτερικοί τοίχοι και παράθυρα (προς εξωτ. αέρα)	7,70	25,00	0,13	0,04
2	Τοίχος που συνορεύει με μη θερμαινόμενο χώρο	7,70	7,70	0,13	0,13
3	Τοίχος σε επαφή με έδαφος	7,70	–	0,13	0,00
4	Στέγη, δώμα (ανερχόμενη ροή θερμότητας)	10,00	25,00	0,10	0,04
5	Οροφή που συνορεύει με μη θερμαινόμενο χώρο (ανερχόμενη ροή θερμότητας)	10,00	10,00	0,10	0,10
6	Δάπεδο επάνω από ανοικτή διάβαση (πυλωτή) (κατερχόμενη ροή θερμότητας)	5,88	25,00	0,17	0,04
7	Δάπεδο επάνω από μη θερμαινόμενο χώρο (κατερχόμενη ροή θερμότητας)	5,88	5,88	0,17	0,17
8	Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος	5,88	–	0,17	0,00

Παρατηρήσεις

▶ Επομένως

$$\text{▶ } U = \frac{1}{Ri + \sum_{i=1}^n \frac{di}{\lambda_i} + R\delta + R} \leq 0,70 \rightarrow$$

$$\text{▶ } \frac{1}{0,17 + \frac{0,20}{2,00} + \frac{d\mu}{0,035} + 0 + 0,00} \leq 0,70 \rightarrow$$

$$\text{▶ } \frac{1}{0,27 \frac{d\mu}{0,035}} \leq 0,70 \rightarrow 1 \leq 0,189 + 20d\mu \rightarrow 0,811 \leq 20d\mu$$

$$\text{▶ } d\mu \geq 0,0405 \text{ m}$$

▶ Το πάχος του μονωτικού πρέπει να είναι τουλάχιστον 5 cm.

▶ Υπενθυμίζεται πως εάν πρόκειται για νέο κτήριο η τιμή του U προκύπτει από τον πίνακα 3.3α και θα είναι $U \leq 0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$

- ▶ Για πάχος μονωτικού 5 cm προκύπτει $U = 0,59 \text{ W/m}^2\text{K}$
- ▶ **Η χαρακτηριστική διάσταση της πλάκας ορίζεται ως**
- ▶ **$B = 2 \frac{A}{\Pi} = 2 \frac{10 \times 20}{10 + 20 + 10 + 20} = 2 \frac{200}{60} = 6,666$**
- ▶ Και το βάθος έδρασης είναι 2m.
- ▶ Από τον πίνακα 8^α της ΤΟΤΕΕ 2 προκύπτει με γραμμική παρεμβολή για χαρακτηριστική διάσταση πλάκας $B=6\text{m}$, $U'=0,27 \text{ W/m}^2\text{K}$
- ▶ Ενώ για χαρακτηριστική διάσταση πλάκας $B=7\text{m}$, $U'=0,26 \text{ W/m}^2\text{K}$
- ▶ Χρησιμοποιώντας πάλι γραμμική παρεμβολή για τις δύο χαρακτηριστικές διαστάσεις προκύπτει ότι για $B=6,666$ το **$U=0,265 \text{ W/m}^2\text{K}$**
- ▶ **Αυτή η τιμή του U θα χρησιμοποιηθεί τελικά για τον υπολογισμό του U_{m} του κτιρίου.**

Πίνακας 8α. (συνέχεια). Ισοδύναμος συντελεστής θερμοπερατότητας οριζόντιου δομικού στοιχείου (πλάκας) σε επαφή με το έδαφος U' [$W/(m^2 \cdot K)$].

Ονομ. συντ. U' [$W/(m^2 \cdot K)$]	z (m)	Χαρακτηριστική διάσταση πλάκας B' (m)														
		≤ 2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	18	22	26	≥ 30
0.70	0.00	0.48	0.43	0.40	0.37	0.35	0.33	0.31	0.29	0.27	0.23	0.20	0.20	0.17	0.15	0.14
	0.50	0.45	0.41	0.38	0.36	0.33	0.31	0.29	0.28	0.26	0.22	0.19	0.19	0.17	0.15	0.14
	1.00	0.43	0.39	0.36	0.34	0.32	0.30	0.28	0.27	0.26	0.21	0.18	0.18	0.16	0.15	0.13
	1.50	0.41	0.37	0.34	0.32	0.31	0.29	0.27	0.26	0.25	0.21	0.18	0.18	0.16	0.14	0.13
	2.00	0.39	0.36	0.33	0.31	0.29	0.28	0.26	0.25	0.24	0.20	0.18	0.18	0.16	0.14	0.13
	2.50	0.37	0.34	0.32	0.30	0.28	0.27	0.25	0.24	0.23	0.20	0.17	0.17	0.15	0.14	0.13
	3.00	0.35	0.33	0.30	0.29	0.27	0.26	0.25	0.24	0.22	0.19	0.17	0.17	0.15	0.13	0.12
	4.00	0.33	0.30	0.28	0.27	0.25	0.24	0.23	0.22	0.21	0.18	0.16	0.16	0.14	0.13	0.12
	5.00	0.30	0.28	0.26	0.25	0.24	0.23	0.22	0.21	0.20	0.17	0.15	0.15	0.14	0.12	0.11
	6.00	0.28	0.26	0.25	0.23	0.22	0.21	0.21	0.20	0.19	0.17	0.15	0.15	0.13	0.12	0.11
9.00	0.23	0.22	0.21	0.20	0.19	0.18	0.18	0.17	0.17	0.15	0.13	0.13	0.12	0.11	0.10	
0.60	0.00	0.43	0.39	0.36	0.34	0.32	0.30	0.28	0.27	0.26	0.21	0.18	0.18	0.16	0.15	0.13
	0.50	0.41	0.37	0.35	0.33	0.31	0.29	0.27	0.26	0.25	0.21	0.18	0.18	0.16	0.14	0.13
	1.00	0.39	0.36	0.33	0.31	0.29	0.28	0.26	0.25	0.24	0.20	0.18	0.18	0.16	0.14	0.13
	1.50	0.37	0.34	0.32	0.30	0.28	0.27	0.26	0.24	0.23	0.20	0.17	0.17	0.15	0.14	0.13
	2.00	0.36	0.33	0.31	0.29	0.27	0.26	0.25	0.24	0.23	0.19	0.17	0.17	0.15	0.13	0.12
	2.50	0.34	0.32	0.29	0.28	0.26	0.25	0.24	0.23	0.22	0.19	0.16	0.16	0.15	0.13	0.12
	3.00	0.33	0.30	0.28	0.27	0.25	0.24	0.23	0.22	0.21	0.18	0.16	0.16	0.14	0.13	0.12
	4.00	0.30	0.28	0.27	0.25	0.24	0.23	0.22	0.21	0.20	0.17	0.15	0.15	0.14	0.12	0.11
	5.00	0.28	0.26	0.25	0.24	0.22	0.21	0.21	0.20	0.19	0.17	0.15	0.15	0.13	0.12	0.11
	6.00	0.26	0.25	0.23	0.22	0.21	0.20	0.20	0.19	0.18	0.16	0.14	0.14	0.13	0.12	0.11
9.00	0.22	0.21	0.20	0.19	0.18	0.18	0.17	0.16	0.16	0.14	0.13	0.13	0.12	0.11	0.10	

ΑΣΚΗΣΗ 4^Η

- ▶ Να υπολογιστεί αν θα υπάρξει υγραποίηση υδρατμών, σε αμόνωτη τοιχοποιία που αποτελείται από επίχρισμα πάχους 2 cm εσωτερικά και εξωτερικά και ανάμεσα δύο τούβλα πάχους 9 cm έκαστο. Ο εσωτερικός αέρας έχει θερμοκρασία 12 °C και υγρασία 80%, ενώ ο εξωτερικό αέρας έχει θερμοκρασία -10 °C.
- ▶ Υπολογίστε αν θα υπάρξει υγραποίηση υδρατμών για τις ίδιες συνθήκες, αν τοποθετηθεί μονωτικό πάχους 5 cm με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας $\lambda_{\mu}=0,035 \text{ W/mK}$
- ▶ Δεδομένα : $\lambda_{\mu\text{ον}}=0,035 \text{ W/mK}$, $\lambda_{\text{επ}}= 0,870 \text{ W/mK}$, $\lambda_{\text{οπτ}}=0,450 \text{ W/mK}$

- ▶ Ο τύπος υπολογισμού του συντελεστή θερμοπερατότητας είναι:

$$U = \frac{1}{Ri + \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_i} + R\delta + Ra}$$

- ▶ Από τον πίνακα 2β της ΤΟΤΕΕ 2 βρίσκουμε ότι

- ▶ $Ri = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$

- ▶ $Ra = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$

- ▶ $R\delta = 0$ γιατί δεν υπάρχει διάκενο αέρα στην τοιχοποιία.

Πίνακας 2β. Τιμές συντελεστών θερμικής μετάβασης και αντιστάσεων θερμικής μετάβασης κατά το ISO 6946, εξειδικευμένες ανά δομικό στοιχείο (πηγή: πρωτότυπος πίνακας, επεξεργασμένος βάσει του ISO 6946).

Α/Α	Δομικό στοιχείο	Συντελεστές θερμικής μετάβασης		Αντιστάσεις θερμικής μετάβασης	
		1/R _i	1/R _a	R _i	R _a
		W/(m ² ·K)	W/(m ² ·K)	(m ² ·K)/W	(m ² ·K)/W
1	Εξωτερικοί τοίχοι και παράθυρα (προς εξωτ. αέρα)	7,70	25,00	0,13	0,04
2	Τοίχος που συνορεύει με μη θερμαινόμενο χώρο	7,70	7,70	0,13	0,13
3	Τοίχος σε επαφή με έδαφος	7,70	–	0,13	0,00
4	Στέγη, δώμα (ανερχόμενη ροή θερμότητας)	10,00	25,00	0,10	0,04
5	Οροφή που συνορεύει με μη θερμαινόμενο χώρο (ανερχόμενη ροή θερμότητας)	10,00	10,00	0,10	0,10
6	Δάπεδο επάνω από ανοικτή διάβαση (πυλωτή) (κατερχόμενη ροή θερμότητας)	5,88	25,00	0,17	0,04
7	Δάπεδο επάνω από μη θερμαινόμενο χώρο (κατερχόμενη ροή θερμότητας)	5,88	5,88	0,17	0,17
8	Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος	5,88	–	0,17	0,00

Παρατηρήσεις

▶ Επομένως

$$\text{▶ } U = \frac{1}{Ri + \sum_{i=1}^n \frac{di}{\lambda_i} + R\delta + Ra} = \frac{1}{0,13 + \frac{0,02}{0,870} + \frac{0,18}{0,450} + \frac{0,02}{0,870} + 0 + 0,04} \Rightarrow$$

$$\text{▶ } U = 1,623 \text{ W/m}^2\text{K}$$

▶ Από τον τύπο $Q=U*\Delta\theta$ θα υπολογίσουμε τη ροή θερμότητας σε W/m^2 .

$$\text{▶ } q=Q/A \Rightarrow q = U * \Delta\theta = 1,623 * (12 - (-10)) = 35,7 \text{ W/m}^2$$

▶ Θα πρέπει να υπολογίσουμε τη θερμοκρασία στην εσωτερική επιφάνεια του τοίχου θ_{ie} .

▶ Για το U θα χρησιμοποιήσουμε μόνο τη θερμική αντίσταση του εσωτερικού αέρα, δηλαδή το Ri .

$$\text{▶ } U' = \frac{1}{Ri} = \frac{1}{0,13} = 7,69 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\text{▶ } \text{Άρα } q=U'*(12-\theta_{ie}) \Rightarrow 35,7 = 7,69 * (12 - \theta_{ie}) \Rightarrow \theta_{ie} = 7,36 \text{ }^\circ\text{C}$$

- ▶ Θα πρέπει να υπολογίσουμε τη θερμοκρασία στην εσωτερική επιφάνεια του τοίχου θ_{ie} .
- ▶ Για το U θα χρησιμοποιήσουμε μόνο τη θερμική αντίσταση του εσωτερικού αέρα, δηλαδή το Ri .
- ▶ $U' = \frac{1}{Ri} = \frac{1}{0,13} = 7,69 \text{ W/m}^2\text{K}$
- ▶ Άρα $q=U'*(12-\theta_{ie}) \Rightarrow 35,7 = 7,69 * (12 - \theta_{ie}) \Rightarrow \theta_{ie} = 7,36 \text{ oC}$

- ▶ Σύμφωνα με τον πίνακα της θερμομονωτικής επάρκειας η θερμοκρασία κάτω από την οποία θα σχηματιστεί συμπύκνωση υδρατμών είναι για τις δεδομένες συνθήκες **8,7 οC**.
- ▶ Επειδή, $7,36 < 8,7$ βγάζουμε το συμπέρασμα ότι θα σχηματιστεί συμπύκνωση υδρατμών.
- ▶ Στην περίπτωση που προσθέσουμε μόνωση θα μεταβληθεί το U, επομένως και η θερμοκρασία θτ του τοίχου.
- ▶ Δοκιμάστε μόνοι σας να υπολογίσετε τη θερμοκρασία και θα διαπιστώσετε ότι η προσθήκη μόνωσης αποτρέπει τον σχηματισμό συμπυκνώματος.

Θερμ αέρα θ	max υδρ.	Σχετική υγρασία του αέρα														
		30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
0	4.9	-13.9	-12.1	-10.7	-9.3	-8.1	-7.0	-6.0	-5.1	-4.2	-3.4	-2.7	-1.9	-1.3	-0.6	0.0
1	5.2	-13.1	-11.3	-9.9	-8.5	-7.3	-6.2	-5.2	-4.3	-3.4	-2.6	-1.9	-1.1	-0.4	0.4	1.0
2	5.6	-12.3	-10.5	-9.0	-7.7	-6.5	-5.4	-4.4	-3.4	-2.6	-1.7	-1.0	-0.2	0.5	1.3	2.0
3	5.9	-11.5	-9.7	-8.2	-6.9	-5.7	-4.6	-3.6	-2.6	-1.8	-0.9	-0.1	0.8	1.5	2.3	3.0
4	6.3	-10.7	-8.9	-7.4	-6.0	-4.9	-3.7	-2.7	-1.7	-0.9	0.0	0.9	1.8	2.5	3.3	4.0
5	6.8	-9.9	-8.1	-6.6	-5.2	-4.1	-3.1	-1.9	-0.9	0.0	1.0	1.9	2.8	3.5	4.3	5.0
6	7.3	-9.1	-7.3	-5.8	-4.4	-3.2	-2.4	-1.0	0.0	0.9	2.0	2.8	3.7	4.5	5.3	6.0
7	7.8	-8.4	-6.5	-5.0	-3.6	-2.4	-1.4	-0.2	1.0	1.9	3.0	3.8	4.7	5.5	6.3	7.0
8	8.3	-7.6	-5.7	-4.2	-2.8	-1.6	-0.4	0.7	1.9	2.9	3.9	4.8	5.7	6.5	7.3	8.0
9	8.8	-6.8	-5.0	-3.4	-2.0	-0.8	0.5	1.7	2.8	3.9	4.9	5.8	6.7	7.5	8.3	9.0
10	9.4	-6.0	-4.2	-2.6	-1.2	0.1	1.4	2.6	3.7	4.8	5.8	6.7	7.6	8.4	9.2	9.2
11	10.0	-5.2	-3.4	-1.8	-0.4	1.0	2.3	3.5	4.7	5.8	6.7	7.7	8.6	9.4	10.2	10.2
12	10.7	-4.5	-2.6	-1.0	0.4	1.9	3.2	4.5	5.7	6.7	7.7	8.7	9.6	10.4	11.2	11.2
13	11.3	-3.7	-1.9	-0.1	1.3	2.8	4.2	5.5	6.6	7.7	8.7	9.6	10.5	11.4	12.2	12.2
14	12.1	-2.9	-1.0	0.6	2.3	3.7	5.1	6.4	7.5	8.6	9.6	10.6	11.5	12.4	13.2	13.2
15	12.9	-2.2	-0.3	1.5	3.2	4.7	6.1	7.3	8.5	9.6	10.6	11.6	12.5	13.4	14.2	14.2
16	13.8	-1.4	0.5	2.4	4.1	5.6	7.0	8.2	9.4	10.5	11.6	12.6	13.5	14.4	15.2	15.2
17	14.6	-0.6	1.4	3.3	5.0	6.5	7.9	9.2	10.4	11.5	12.5	13.5	14.5	15.3	16.2	16.2
18	15.4	0.2	2.3	4.2	5.9	7.4	8.8	10.1	11.3	12.5	13.5	14.5	15.4	16.3	17.2	17.2
19	16.3	1.0	3.2	5.1	6.8	8.3	9.8	11.1	12.3	13.4	14.5	15.5	16.4	17.3	18.2	18.2
20	17.3	1.9	4.1	6.0	7.7	9.3	10.7	12.0	13.2	14.4	15.4	16.4	17.4	18.3	19.2	19.2
21	18.4	2.8	5.0	6.9	8.6	10.2	11.6	12.9	14.2	15.3	16.4	17.4	18.4	19.3	20.2	20.2
22	19.4	3.6	5.9	7.8	9.5	11.1	12.5	13.9	15.1	16.3	17.4	18.4	19.4	20.3	21.2	21.2
23	20.6	4.5	6.7	8.7	10.4	12.0	13.5	14.8	16.1	17.2	18.3	19.4	20.3	21.3	22.2	22.2
24	21.8	5.4	7.6	9.6	11.3	12.9	14.4	15.8	17.0	18.2	19.3	20.3	21.3	22.3	23.1	23.1
25	23.1	6.2	8.5	10.5	12.2	13.9	15.3	16.7	18.0	19.1	20.3	21.3	22.3	23.2	24.1	24.1
26	24.4	7.1	9.4	11.4	13.2	14.8	16.3	17.6	18.9	20.1	21.2	22.3	23.3	24.2	25.1	25.1
27	25.8	8.0	10.2	12.2	14.1	15.7	17.2	18.6	19.9	21.1	22.2	23.2	24.3	25.2	26.1	26.1
28	27.2	8.8	11.1	13.1	15.0	16.6	18.1	19.5	20.8	22.0	23.2	24.2	25.2	26.2	27.1	27.1
29	28.7	9.7	12.0	14.0	15.9	17.5	19.0	20.4	21.7	23.0	24.1	25.2	26.2	27.2	28.1	28.1
30	30.3	10.5	12.9	14.9	16.8	18.4	20.0	21.4	22.7	23.9	25.1	26.2	27.2	28.2	29.1	29.1
31	32.8	11.4	13.7	15.8	17.7	19.3	20.9	22.3	23.6	24.9	26.1	27.2	28.2	29.2	30.1	31.0
32	34.7	12.2	14.5	16.7	18.5	20.2	21.8	23.2	24.6	25.8	27.0	28.1	29.2	30.2	31.1	32.0
33	36.7	13.1	15.4	17.5	19.4	21.2	22.7	24.2	25.5	26.8	28.0	29.1	30.1	31.1	32.1	33.0
34	38.7	13.9	16.2	18.4	20.2	22.1	23.6	25.1	26.5	27.7	28.9	30.0	31.1	32.1	33.1	34.0
35	41.0	14.8	17.0	19.3	21.1	23.0	24.5	26.0	27.4	28.7	29.9	31.0	32.1	33.1	34.1	35.0

Η εστρωσιακή θερμοκρασία των δομικών στοιχείων, κάτω από την τιμή της οποίας σχηματίζεται συμπύκνωση των υδρατμών (βροσσο) στις περιβαλλουσες εστρωσιακές ενός χώρου για δεδομένη τιμή θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας και η μέγιστη ποσότητα υδρατμών που μπορεί να συληφθηθεί στη μονάδα όγκου του αέρα.

(Πηγή: [10], [31]).