

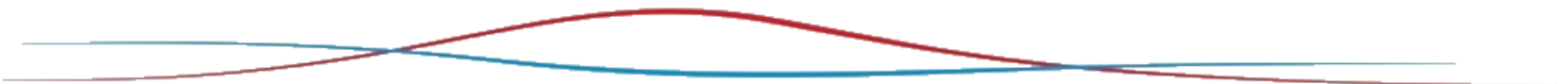


Θερμομονωτική επάρκεια κτιρίου

*Θέρμανση – Ψύξη – Κλιματισμός
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΛΜΕΠΑ*

Δρ. Γεώργιος Μιχ. Σταυρακάκης
Χημ. Μηχανικός PhD, MSc ΕΜΠ

Εαρινό εξάμηνο 2020-21



Ορισμός

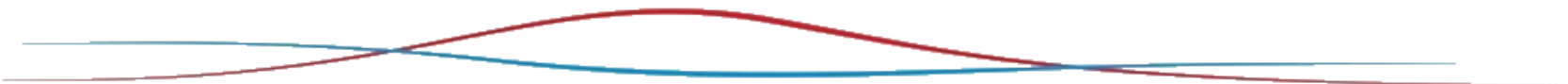
Ένα κτίριο είναι θερμομονωτικά επαρκές όταν ισχύουν και οι 2 συνθήκες:

- 1^η συνθήκη: Ο συντελεστής θερμοπερατότητας κάθε δομικού στοιχείου $U_{δ.σ.}$ του κτιριακού κελύφους (τοιχοί, δώματα, δάπεδα, κουφώματα) είναι μικρότερος ή το πολύ ίσος με μία μέγιστη επιτρεπτή τιμή ανάλογα με το είδος του δομικού στοιχείου, δηλ.:

$$U_{δ.σ.} \leq U_{δ.σ.,max}$$

- 2^η συνθήκη: Ο μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας συνολικά του κτιριακού κελύφους U_m είναι μικρότερος ή το πολύ ίσος με μία μέγιστη επιτρεπτή τιμή ανάλογα με τον λόγο της επιφάνειας του κτιριακού κελύφους (A) προς τον όγκο του κτιρίου (V), δηλ.:

$$U_m \leq U_{m,max}$$

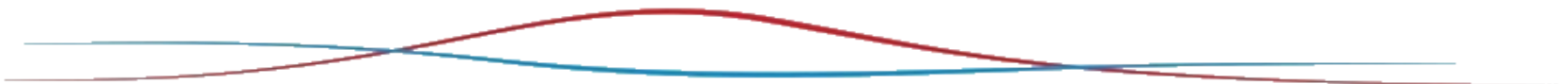




Χειρισμός κάθε δομικού στοιχείου

Υπολογισμός $U_{δ.σ.}$ για το κάθε δομικό στοιχείο:

Βλ. διάλεξη 2. Συντελεστής θερμοπερατότητας.



Χειρισμός κάθε δομικού στοιχείου

$U_{δ.σ.,max}$ για το κάθε δομικό στοιχείο:

Η θερμομονωτική επάρκεια κάθε επιμέρους δομικού στοιχείου εξετάζεται σε σύγκριση με επιβαλλόμενες μέγιστες επιτρεπτές τιμές από τον ΚΕΝΑΚ. Μπορούν να λαμβάνονται από Πίνακες 3.3α και 3.4α της οδηγίας [TOTEΕ ΚΕΝΑΚ 20701-1/2017](#).

Για κάθε δομικό στοιχείο ανάλογα με τον τύπο του και την «οντότητα» με την οποία έρχεται σε επαφή (αέρας, έδαφος, κτλ.) καθορίζεται ένα $U_{δ.σ.,max}$ ανάλογα με τον τόπο έδρασης (κλιματική ζώνη).

Πίνακας 3.3α. Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας των επί μέρους δομικών στοιχείων ανά κλιματική ζώνη σε περίπτωση ανέγερσης νέου 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)	0,45	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



Χειρισμός κάθε δομικού στοιχείου

$U_{δ.σ.,max}$ για το κάθε δομικό στοιχείο:

Η θερμομονωτική επάρκεια κάθε επιμέρους δομικού στοιχείου εξετάζεται σε σύγκριση με επιβαλλόμενες μέγιστες επιτρεπτές τιμές από τον ΚΕΝΑΚ. Μπορούν να λαμβάνονται από Πίνακες 3.3α και 3.4α της οδηγίας [TOTEΕ ΚΕΝΑΚ 20701-1/2017](#).

Για κάθε δομικό στοιχείο ανάλογα με τον τύπο του και την «οντότητα» με την οποία έρχεται σε επαφή (αέρας, έδαφος, κτλ.) καθορίζεται ένα $U_{δ.σ.,max}$ ανάλογα με τον τόπο έδρασης (κλιματική ζώνη).

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

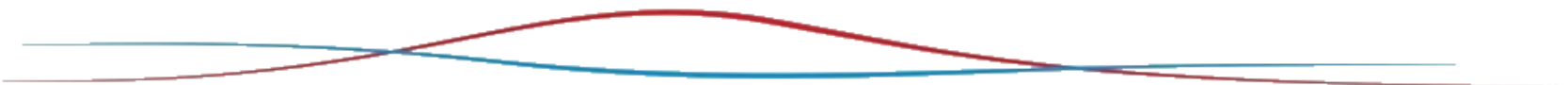
Δομικό στοιχείο	Μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας U [W/(m ² ·K)]			
	Ζώνη Α'	Ζώνη Β'	Ζώνη Γ'	Ζώνη Δ'
Εξωτερική οριζόντια ή κεκλιμένη επιφάνεια σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (οροφή)	0,50	0,45	0,40	0,35
Εξωτερικός τοίχος σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	0,60	0,50	0,45	0,40
Δάπεδο σε επαφή 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 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 κτιρίου μη ανοιγόμενη ή μερικώς ανοιγόμενη σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο	4,00	3,60	3,10	2,90

Αναφορά στις κλιματικές ζώνες

Όπως παρουσιάζεται παραπάνω, η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή του συντ. θερμοπερατότητας ώστε ένα δομικό στοιχείο να είναι θερμομονωτικά επαρκές εξαρτάται από την κλιματική ζώνη δηλ. από τον τόπο που βρίσκεται η υπό μελέτη κτιριακή εγκατάσταση. Η Ελληνική επικράτεια διακρίνεται σε 4 κλιματικές ζώνες **A (θερμότερη)**, **B**, **Γ** και **Δ (ψυχρότερη)**, ως ακολούθως (βλ. Πίνακα 1.2 της [TOTEΕ 20701-3/2010](#)):

Πίνακας 1.2. Νομοί ελληνικής επικράτειας ανά κλιματική ζώνη

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, Φθιώπιδας, Φωκίδας, Βοιωτίας, Ευβοίας, Μαγνησίας, Λέσβου, Χίου, Κέρκυρας, Λευκάδας, Θεσπρωτίας, Πρέβεζας, Άρτας
ΖΩΝΗ Γ	Αρκαδίας (ορεινή), Ευρυτανίας, Ιωαννίνων, Λάρισας, Καρδίτσας, Τρικάλων, Πιερίας, Ημαθίας, Πέλλης, Θεσσαλονίκης, Κιλκίς, Χαλκιδικής, Σερρών (εκτός ΒΑ τμήματος), Καβάλας, Ξάνθης, Ροδόπης, Έβρου
ΖΩΝΗ Δ	Γρεβενών, Κοζάνης, Καστοριάς, Φλώρινας, Σερρών (ΒΑ τμήμα), Δράμας





Χειρισμός συνολικά του κτιριακού κελύφους - U_m

Υπολογισμός μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας συνολικά του κτιριακού κελύφους:

$$U_m = \frac{\sum_{j=1}^n A_j U_j b_j + \sum_{i=1}^v l_i \Psi_i b_{\theta\gamma}}{\sum_{j=1}^n A_j}$$

Όπου

n	$[-]$	το πλήθος των επί μέρους δομικών στοιχείων στο κέλυφος του κτηρίου,
v	$[-]$	το πλήθος των θερμογεφυρών που αναπτύσσονται στα εξωτερικά ή εσωτερικά όρια κάθε επιφάνειας A_j του κελύφους,
A_j	$[m^2]$	το εμβαδό επιφάνειας που καταλαμβάνει το κάθε δομικό στοιχείο j στη συνολική επιφάνεια του κελύφους του κτηρίου,
U_j	$[W/(m^2 \cdot K)]$	ο συντελεστής θερμοπερατότητας του κάθε δομικού στοιχείου j του κελύφους του κτηρίου,
l_i	$[m]$	το συνολικό μήκος του κάθε τύπου θερμογέφυρας που αναπτύσσεται στο περίβλημα του κτηρίου,
Ψ_i	$[W/(m \cdot K)]$	ο συντελεστής γραμμικής θερμοπερατότητας του κάθε τύπου θερμογέφυρας που αναπτύσσεται στο περίβλημα του κτηρίου,
b_j	$[-]$	μειωτικός συντελεστής για κάθε τύπο δομικού στοιχείου),
$b_{\theta\gamma}$	$[-]$	μειωτικός συντελεστής του συντελεστή γραμμικής θερμοπερατότητας (Ψ) σε κάθε θέση θερμογέφυρας για κάθε τύπο δομικού στοιχείου),



Χειρισμός συνολικά του κτιριακού κελύφους - U_m

Μειωτικός συντελεστής b_j :

Προσαρμόζει τις υπολογισθείσες θερμικές απώλειες από κάθε επιφάνεια του κελύφους του κτηρίου στις πραγματικές θερμοκρασιακές συνθήκες. Η κάθε ποσότητα $A \cdot U$ (συντελεστής μεταφοράς θερμότητας) ορίζει τη μεταφερόμενη ποσότητα θερμότητας προς το εξωτερικό περιβάλλον μέσω των επί μέρους δομικών στοιχείων του κελύφους του κτηρίου στη μονάδα του χρόνου και για διαφορά θερμοκρασίας εσωτερικού - εξωτερικού περιβάλλοντος 1°C (ή 1 K). Όμως σε ορισμένες περιπτώσεις, όπως σε επιφάνειες που συνορεύουν με μη θερμαινόμενους χώρους ή με το έδαφος αυτή η ποσότητα είναι υπερεκτιμημένη. Με το μειωτικό συντελεστή επιχειρείται η επαναφορά της σε μεγέθη πλησιέστερα προς την πραγματικότητα. Τυπικές τιμές λαμβάνονται ως ακολούθως:

$$b_j = \begin{cases} = 1 & \text{επιφάνειες που έρχονται σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα \& επιφάνειες που έρχονται σε} \\ & \text{επαφή με όμορο κτήριο} \\ = 0,5 & \text{επιφάνειες που είναι σε επαφή με Μη Θερμαινόμενο Χώρο (ΜΘΧ)} \\ = 1 & \text{Οριζόντια οροφή κάτω από μη θερμομονωμένη στέγη} \\ = 1 & \text{Δάπεδο σε επαφή με έδαφος (εφόσον στην εξίσωση } U_m \text{ υπεισέρχεται ορθώς ο ισοδύναμος} \\ & \text{συντ. θερμοπερατότητας δαπέδου σε επαφή με έδαφος (εξηγείται παρακάτω)).} \end{cases}$$



Χειρισμός συνολικά του κτιριακού κελύφους - U_m

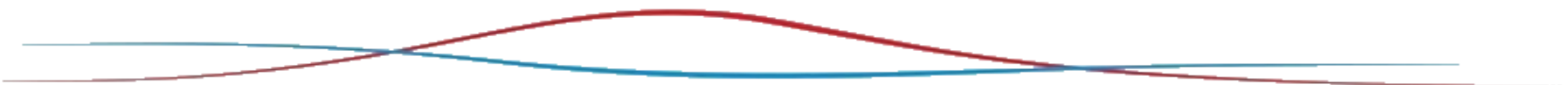
Θερμογέφυρες

Θερμογέφυρες ονομάζονται οι θέσεις στο κέλυφος ενός κτηρίου, 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.

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

Ανάλογα με τη θέση εμφάνισής τους στο κτήριο, οι θερμογέφυρες απαντώνται:

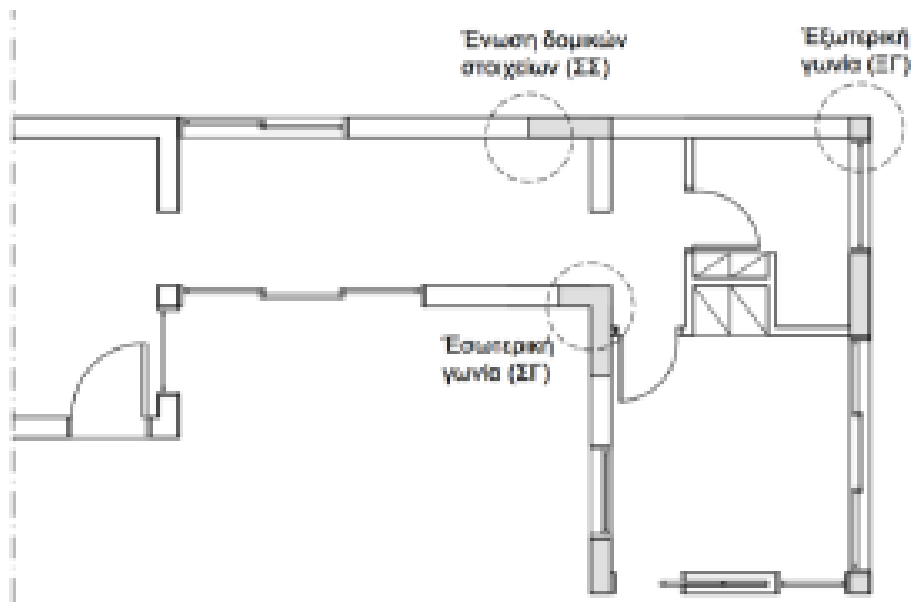
- στη συναρμογή των κατακόρυφων δομικών στοιχείων (κατακόρυφες θερμογέφυρες)
- στη συναρμογή των οριζόντιων δομικών στοιχείων με τα κατακόρυφα δομικά στοιχεία (οριζόντιες θερμογέφυρες)
- στη συναρμογή των κουφωμάτων με τα συμπαγή δομικά στοιχεία (θερμογέφυρες κουφωμάτων).



Χειρισμός συνολικά του κτιριακού κελύφους - Um

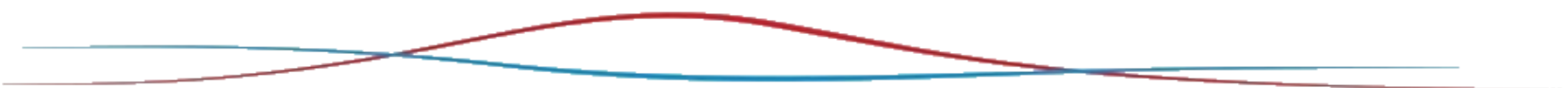
Θερμογέφυρες - Κατακόρυφες

- θερμογέφυρες εσωτερικών γωνιών (ΣΓ),
- θερμογέφυρες εξωτερικών γωνιών (ΞΓ),
- θερμογέφυρες ένωσης δομικών στοιχείων (ΣΣ).



Σχήμα 6.

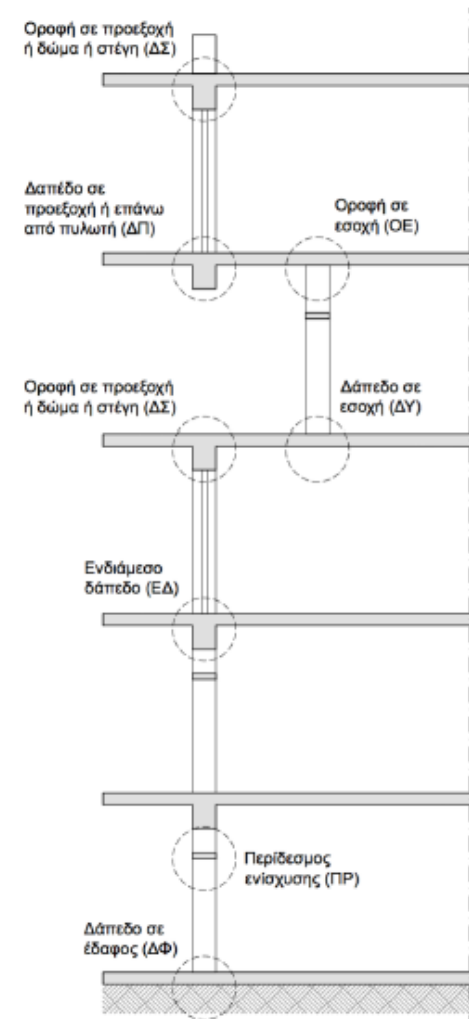
Ενδεικτικές θέσεις εμφάνισης κατακόρυφων θερμογεφυρών.



Χειρισμός συνολικά του κτιριακού κελύφους - Um

Θερμογέφυρες - Οριζόντιες

- θερμογέφυρες δώματος ή στέγης ή οροφής σε προεξοχή (ΔΣ),
- θερμογέφυρες δαπέδου σε προεξοχή ή δαπέδου επάνω από πυλωτή (ΔΠ),
- θερμογέφυρες οροφής σε εσοχή (ΟΕ),
- θερμογέφυρες δαπέδου σε εσοχή (ΔΥ),
- θερμογέφυρες ενδιάμεσου δαπέδου (ΕΔ),
- θερμογέφυρες δαπέδου που εδράζεται σε έδαφος (ΔΦ),
- θερμογέφυρες περίδεσμου ενίσχυσης (ΠΡ).



Σχήμα 7.

Ενδεικτικές θέσεις εμφάνισης οριζόντιων θερμογεφυρών.



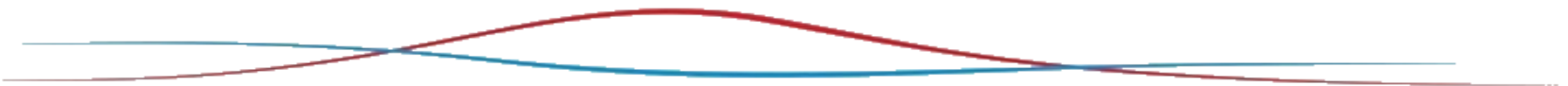
Χειρισμός συνολικά του κτιριακού κελύφους - U_m

Θερμογέφυρες - Κουφωμάτων

Οι θερμογέφυρες κουφωμάτων εντοπίζονται στις θέσεις συναρμογής των κουφωμάτων με τα συμπαγή δομικά στοιχεία. Το μήκος τους μετράται με βάση τις διαστάσεις των ανοιγμάτων.

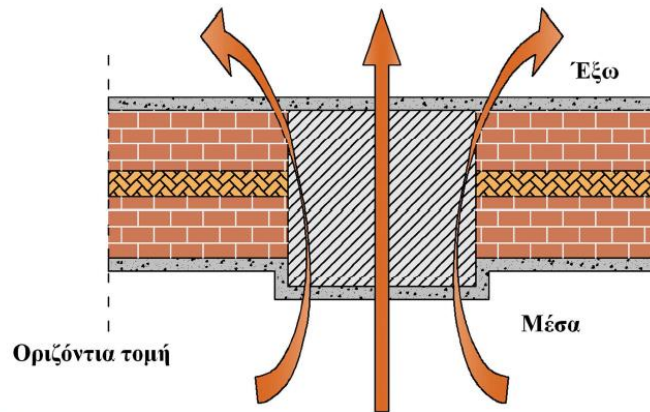
Διακρίνονται δύο υποκατηγορίες :

- θερμογέφυρες στο λαμπά του κουφώματος (ΛΠ) και
- θερμογέφυρες στο ανωκάσι / κατωκάσι του κουφώματος (ΥΠ).

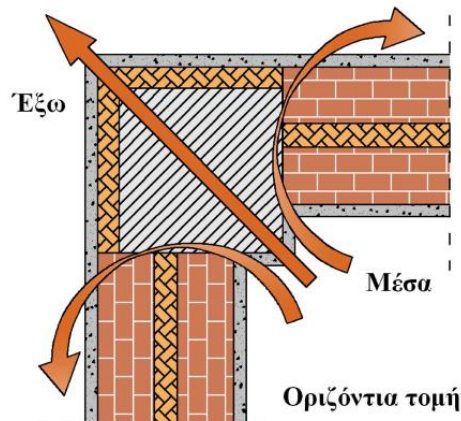


Χειρισμός συνολικά του κτιριακού κελύφους - Um

Θερμογέφυρες



Σχήμα 2.25: Θερμογέφυρα λόγω απουσίας θερμομόνωσης σε στοιχείο του φέροντος οργανισμού (Πηγή: Αραβαντινός Δ. Σημειώσεις από το μάθημα «Οικοδομική»).



Σχήμα 2.26: Θερμογέφυρα λόγω διαφοράς εμβαδού (επίδραση γεωμετρίας) μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής επιφάνειας ενός γωνιακού δομικού στοιχείου (Πηγή: Αραβαντινός Δ. Σημειώσεις στο μάθημα «Οικοδομική»).

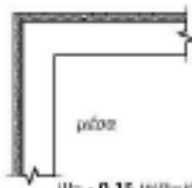
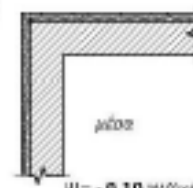
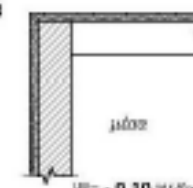
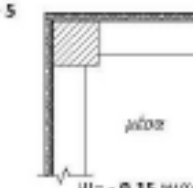
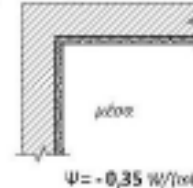
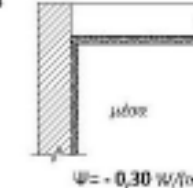
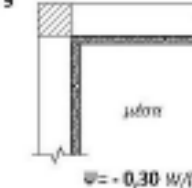
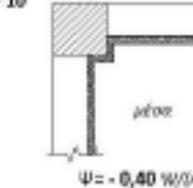
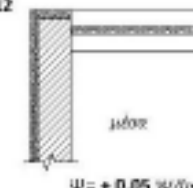
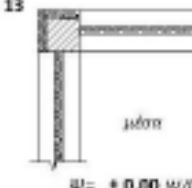
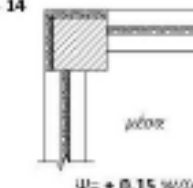
Χειρισμός συνολικά του κτιριακού κελύφους - Um

Θερμογέφυρες

Α. Αναλυτικός τρόπος υπολογισμού θερμογεφυρών (όροι: Ψ_i και $b_{\theta\gamma}$)

Η γραμμική θερμική απώλεια Ψ_i της γραμμικής περιοχής i όπου εμφανίζεται η απώλεια μπορεί να λαμβάνεται από βιβλιογραφία, π.χ. από Πίνακες 15 της [TOTE 20701-2/2017](https://www.totee.gr/20701-2/2017).

Πίνακας 15α. Θερμογέφυρες εξωτερικής γωνίας (οριζόντια τομή)

ΞΓ - 1  $\Psi = + 0,15 \text{ W/(mK)}$	ΞΓ - 2  $\Psi = + 0,10 \text{ W/(mK)}$	ΞΓ - 3  $\Psi = + 0,10 \text{ W/(mK)}$	ΞΓ - 4  $\Psi = + 0,15 \text{ W/(mK)}$	ΞΓ - 5  $\Psi = + 0,15 \text{ W/(mK)}$						
ΞΓ - 6  $\Psi = + 0,25 \text{ W/(mK)}$	ΞΓ - 7  $\Psi = + 0,35 \text{ W/(mK)}$	ΞΓ - 8  $\Psi = + 0,30 \text{ W/(mK)}$	ΞΓ - 9  $\Psi = + 0,30 \text{ W/(mK)}$	ΞΓ - 10  $\Psi = + 0,40 \text{ W/(mK)}$						
ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΥΛΙΚΩΝ <table><tr><td></td><td>Οπλισμένο σκυρόδεμα</td></tr><tr><td></td><td>Οπισκολληθείσα</td></tr><tr><td></td><td>Θερμομονωτικό υλικό</td></tr></table>		Οπλισμένο σκυρόδεμα		Οπισκολληθείσα		Θερμομονωτικό υλικό	* Για τον υπολογισμό του Ψ ο συντελεστής θερμοπερατότητας των επιφανειακών σκυροδεμάτων (U) θεωρήθηκε ότι ικανοποιεί τις ελάχιστες απαιτήσεις.	ΞΓ - 12  $\Psi = + 0,05 \text{ W/(mK)}$	ΞΓ - 13  $\Psi = \pm 0,00 \text{ W/(mK)}$	ΞΓ - 14  $\Psi = + 0,15 \text{ W/(mK)}$
	Οπλισμένο σκυρόδεμα									
	Οπισκολληθείσα									
	Θερμομονωτικό υλικό									

Χειρισμός συνολικά του κτιριακού κελύφους - U_m

Θερμογέφυρες

Α. Αναλυτικός τρόπος υπολογισμού θερμογεφυρών (όροι: Ψ_i και $b_{\theta\gamma}$)

Ο μειωτικός συντελεστής $b_{\theta\gamma}$.

- Στην περίπτωση που δημιουργείται θερμογέφυρα σε θέση που διαχωρίζει θερμαινόμενο χώρο από κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο, αναζητείται από τον πίνακα θερμογεφυρών η αντίστοιχη περίπτωση προς εξωτερικό αέρα και ο συντελεστής γραμμικής θερμοπερατότητας (Ψ) πολλαπλασιάζεται με μειωτικό συντελεστή $b_{\theta\gamma} = 0,5$, ώστε να ληφθεί υπόψη η έκθεση του στοιχείου σε συνθήκες ευνοϊκότερες των εξωτερικών.
- Στην περίπτωση που δημιουργείται θερμογέφυρα σε θέση που διαχωρίζει θερμαινόμενο χώρο από δύο διαφορετικά θερμικά περιβάλλοντα, των οποίων αντίστοιχη τιμή δεν ορίζεται στον πίνακα θερμογεφυρών, προσδιορίζεται ο συντελεστής γραμμικής θερμοπερατότητας και ισοκατανέμεται προς τα δύο περιβάλλοντα ($\frac{1}{2} + \frac{1}{2}$) με μειωτικό συντελεστή $b_{\theta\gamma}$ σε καθένα από αυτά ως εξής:

$b_{\theta\gamma} = 1,0$ προς τον εξωτερικό αέρα,

$b_{\theta\gamma} = 0,5$ προς το μη θερμαινόμενο χώρο,

$b_{\theta\gamma} = 0,0$ προς το έδαφος.





Χειρισμός συνολικά του κτιριακού κελύφους - U_m

Θερμογέφυρες

Α. Αναλυτικός τρόπος υπολογισμού θερμογεφυρών (όροι: Ψ_i και $b_{\theta\gamma}$)

Ο μειωτικός συντελεστής $b_{\theta\gamma}$.

Βάσει των παραπάνω τιμών του μειωτικού συντελεστή b , η τιμή του γραμμικού συντελεστή θερμοπερατότητας Ψ ουσιαστικά θα πολλαπλασιάζεται με το συντελεστή:

$b_{\theta\gamma} = 0,75$ για ροή θερμότητας προς εξωτερικό αέρα και κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο,

$b_{\theta\gamma} = 0,50$ για ροή θερμότητας προς εξωτερικό αέρα και έδαφος

$b_{\theta\gamma} = 0,25$ για ροή θερμότητας προς κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο και έδαφος

- Στην περίπτωση που δημιουργείται θερμογέφυρα σε θέση προς τρία διαφορετικά θερμικά περιβάλλοντα (εξωτερικό αέρα, κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο και έδαφος) προσδιορίζεται ο συντελεστής γραμμικής θερμοπερατότητας και ισοκατανέμεται προς τα τρία περιβάλλοντα ($\frac{1}{3} + \frac{1}{3} + \frac{1}{3}$) με μειωτικό συντελεστή $b_{\theta\gamma}$ σε καθένα από αυτά ως εξής:

$b_{\theta\gamma} = 1,0$ προς τον εξωτερικό αέρα,

$b_{\theta\gamma} = 0,5$ προς το μη θερμαινόμενο χώρο,

$b_{\theta\gamma} = 0,0$ προς το έδαφος.

Βάσει των παραπάνω τιμών του μειωτικού συντελεστή b , η τιμή του γραμμικού συντελεστή θερμοπερατότητας Ψ ουσιαστικά θα πολλαπλασιάζεται με το συντελεστή $b_{\theta\gamma} = 0,50$.



Χειρισμός συνολικά του κτιριακού κελύφους - U_m

Θερμογέφυρες

Β. Συνοπτικός τρόπος υπολογισμού θερμογεφυρών (όροι: Ψ_i και $b_{\theta\gamma}$)

Ο U_m μπορεί να αναλυθεί ως εξής:

$$U_m = \frac{\sum_{j=1}^n A_j U_j b_j + \sum_{i=1}^v l_i \Psi_i b_{\theta\gamma}}{\sum_{j=1}^n A_j} = \frac{\sum_{j=1}^n A_j U_j b_j}{\sum_{j=1}^n A_j} + \frac{\sum_{i=1}^v l_i \Psi_i b_{\theta\gamma}}{\sum_{j=1}^n A_j}$$

Δηλ. ο 2^{ος} προσθετός (αυτός των θερμογεφυρών) είναι μία ποσότητα προσαύξησης του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας η οποία μπορεί να εκφραστεί ως ποσοστό του 1^{ου} προσθετέου (καθεαυτό θερμοπερατότητα χωρίς θερμογέφυρες) ως εξής:

$$\frac{\sum_{i=1}^v l_i \Psi_i b_{\theta\gamma}}{\sum_{j=1}^n A_j} = p * \frac{\sum_{j=1}^n A_j U_j b_j}{\sum_{j=1}^n A_j}$$

Οπότε αν το p είναι γνωστό, τότε η επίδραση των θερμογεφυρών στον συνολικό μέσο συντελεστή θερμοπερατότητας μπορεί να υπολογιστεί απλώς αν προσθέσουμε στον 1^ο όρο (μέσος συντ. θερμοπερατότητας χωρίς θερμογέφυρες) ένα ποσοστό του.

Συχνά, ο παράγοντας p είναι διαφορετικός για κατακόρυφες, οριζόντιες και κουφωμάτων θερμογέφυρες, οπότε ο U_m υπολογίζεται:

$$U_m = (1 + p_{κατ.} + p_{ορ.} + p_{κουφ.}) * \frac{\sum_{j=1}^n A_j U_j b_j}{\sum_{j=1}^n A_j}$$



Χειρισμός συνολικά του κτιριακού κελύφους - U_m

Ειδική περίπτωση: Επιφάνειες σε επαφή με έδαφος

Κατά τον έλεγχο της θερμομονωτικής επάρκειας μεμονωμένα ενός δομικού στοιχείου που είναι σε επαφή με έδαφος, τότε ο συντελεστής θερμοπερατότητας υπολογίζεται κανονικά όπως έχει δειχθεί στην ενότητα «Συντελεστής θερμοπερατότητας». Δηλ. υπολογίζονται κανονικά οι θερμικές αντιστάσεις των στρώσεων των υλικών βάσει του πάχους και του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας των υλικών, και οι αντιστάσεις θερμικής μετάβασης εσωτερικού αέρα και της εξωτερικής παρειάς σε επαφή με το έδαφος (που λαμβάνονται από κατάλληλους Πίνακες), με το αντίστροφο του αθροίσματος των προαναφερομένων να μας δίνει τον συντελεστή θερμοπερατότητας της επιφάνειας σε επαφή με έδαφος. Αυτός λέγεται **Ονομαστικός συντελεστής θερμοπερατότητας U** .

ΌΜΩΣ

Η συνεισφορά της θερμικής απώλειας διαμέσου επιφανειών σε επαφή με το έδαφος στην εξίσωση υπολογισμού του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας συνολικά του κτιρίου, ΔΕΝ γίνεται με τον ονομαστικό συντελεστή θερμοπερατότητας όπως υπολογίζεται παραπάνω. Αντιθέτως υιοθετείται η έννοια του ισοδύναμου συντελεστή θερμοπερατότητας U' .

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. Για να γίνει εφικτή η απλοποιητική παραδοχή της μονοδιάστατης ροής θερμότητας στον μέσο συντελεστή θερμοπερατότητας του κτιρίου, γίνεται χρήση του προαναφερόμενου ισοδύναμου συντελεστή θερμοπερατότητας U' .





Χειρισμός συνολικά του κτιριακού κελύφους - U_m

Ειδική περίπτωση: Επιφάνειες σε επαφή με έδαφος

Έτσι λοιπόν, ειδικά για αυτές τις επιφάνειες, στην εξίσωση υπολογισμού του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας U_m θέτουμε τον ισοδύναμο συντελεστή θερμοπερατότητας U' (αντί του ονομαστικού συντελεστή θερμοπερατότητας που χρησιμοποιούμε για τα λοιπά δομικά στοιχεία).

Ο ισοδύναμος συντελεστής θερμοπερατότητας υπολογίζεται ως εξής:

A. 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')

B. 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.

Στα παραπάνω, ο ονομαστικός συντελεστής θερμοπερατότητας υπολογίζεται με βάση τα υλικά των στρώσεων, η διάσταση z λαμβάνεται από τα σχέδια ή μέτρηση. Η χαρακτηριστική διάσταση της πλάκας (B') για οριζόντιο δομικό στοιχείο υπολογίζεται με τον τρόπο που δείχνεται στη συνέχεια. Με γνωστά τα προαναφερόμενα μεγέθη, ο U' προσδιορίζεται από τους Πίνακες 8 της TOTEE 20701-2/2017.

Χειρισμός συνολικά του κτιριακού κελύφους - Um

Ειδική περίπτωση: Επιφάνειες σε επαφή με έδαφος

Υπολογισμός χαρακτηριστικής διάστασης της πλάκας B':

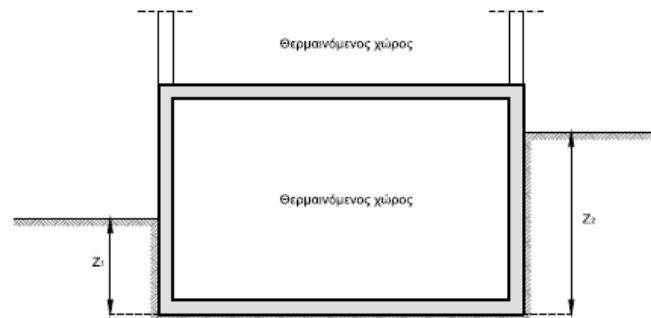
Υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$B' = 2 \cdot A / \Pi.$$

Όπου A είναι το εμβαδόν της πλάκας που είναι σε επαφή με το έδαφος (m²) και Π (m) είναι η περίμετρος της πλάκας σε επαφή με έδαφος.

Ας σημειωθεί εδώ ότι στην ειδική περίπτωση που το βυθισμένο κτιριακό τμήμα εδράζεται σε κεκλιμένο έδαφος, τότε το βάθος έδρασης της οριζόντιας πλάκας σε επαφή με έδαφος μπορεί να ληφθεί ως:

$$Z = (Z_1 + Z_2) / 2,$$



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



Χειρισμός συνολικά του κτιριακού κελύφους - U_m

Ειδική περίπτωση: Επιφάνειες σε επαφή με έδαφος

Παράδειγμα υπολογισμού U' για κατακόρυφο τοίχο σε επαφή με έδαφος

Έστω κατακόρυφος τοίχος ύψους $z=3m$ σε επαφή με έδαφος, που έχει ονομαστικό συντελεστή θερμοπερατότητας $U=2,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Να προσδιοριστεί ο ισοδύναμος συντ. θερμοπερατότητας U' του δομικού στοιχείου.

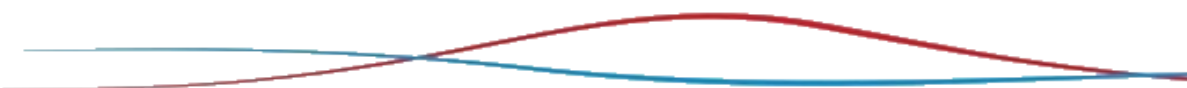
Από Πίνακα 8β της ΤΟΤΕΕ 20701-2/2017

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

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

Μπορεί να λαμβάνεται ο U' που αντιστοιχεί στον πλησιέστερο ονομαστικό U . Εδώ που $U=2,5$ είναι ακριβώς στη μέση, οπότε μπορεί να λαμβάνεται ως μ.ο. των τιμών U' που αντιστοιχούν στις εκατέρωθεν του $U=2,5$ τιμές U , δηλ.:

$$U' = (0,75 + 0,64) / 2 = 0,695 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$





Χειρισμός συνολικά του κτιριακού κελύφους - U_m

Ειδική περίπτωση: Επιφάνειες σε επαφή με έδαφος

Παράδειγμα υπολογισμού U' για οριζόντια πλάκα σε επαφή με έδαφος

Έστω οριζόντια πλάκα που εδράζεται σε βάθος $z=4m$ έχει εμβαδόν $50m^2$ και η εκτεθειμένη περιμέτρός της σε επαφή με έδαφος είναι $25m$. Δίδεται ότι έχει ονομαστικό συντελεστή θερμοπερατότητας $U=1,2 W/(m^2K)$. Να προσδιοριστεί ο ισοδύναμος συντ. θερμοπερατότητας U' του δομικού στοιχείου.

Η χαρακτηριστική διάσταση της πλάκας είναι:

$$B' = 2 \cdot A / \Pi = 2 \cdot 50 / 25 = 4m$$

Από Πίνακα 8α της ΤΟΤΕΕ 20701-2/2017

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

Όνομ. συντ. U [W/(m²·K)]	z (m)	Χαρακτηριστική διάσταση πλάκας B' (m)														
		≤ 2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	18	22	26	≥ 30
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	0.22	0.19	0.17	0.15
	0.50	0.56	0.51	0.46	0.42	0.39	0.36	0.34	0.32	0.30	0.27	0.25	0.21	0.18	0.16	0.15
	1.00	0.53	0.47	0.43	0.40	0.37	0.35	0.32	0.31	0.29	0.26	0.24	0.20	0.18	0.16	0.14
	1.50	0.49	0.44	0.41	0.38	0.35	0.33	0.31	0.29	0.28	0.25	0.23	0.20	0.17	0.16	0.14
	2.00	0.47	0.42	0.39	0.36	0.34	0.32	0.30	0.28	0.27	0.24	0.22	0.19	0.17	0.15	0.14
	2.50	0.44	0.40	0.37	0.35	0.32	0.31	0.29	0.27	0.26	0.24	0.22	0.19	0.16	0.15	0.13
	3.00	0.42	0.38	0.35	0.33	0.31	0.29	0.28	0.26	0.25	0.23	0.21	0.18	0.16	0.14	0.13
	4.00	0.38	0.35	0.32	0.30	0.29	0.27	0.26	0.25	0.23	0.22	0.20	0.17	0.15	0.14	0.13
	5.00	0.35	0.32	0.30	0.28	0.27	0.25	0.24	0.23	0.22	0.20	0.19	0.16	0.15	0.13	0.12
	6.00	0.32	0.30	0.28	0.26	0.25	0.24	0.23	0.22	0.21	0.19	0.18	0.16	0.14	0.13	0.12
9.00	0.26	0.24	0.23	0.22	0.21	0.20	0.19	0.19	0.18	0.17	0.16	0.14	0.13	0.12	0.11	

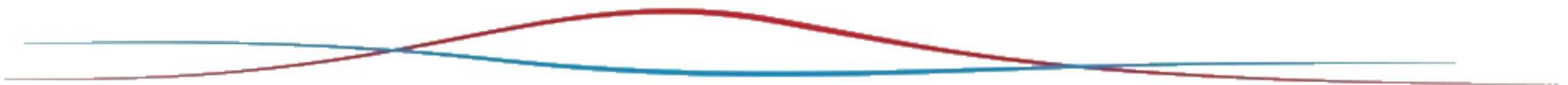
Πλησιέστερη περίπτωση, αυτή που αντιστοιχεί σε ονομαστικό συντ. θερμοπερατότητας $U=1 W/(m^2K)$.

Οπότε, είναι ρεαλιστικό να επιλεγεί $U'=0,32 W/(m^2K)$.



Χειρισμός συνολικά του κτιριακού κελύφους – $U_{m,max}$

Σε αντίθεση με τον έλεγχο θερμομονωτικής επάρκειας μεμονωμένα του δομικού στοιχείου, για τον έλεγχο της 2^{ης} συνθήκης θερμομονωτικής επάρκειας (βασισμένης στον μέσο συντ. θερμοπερατότητας συνολικά του κελύφους), ο μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας $U_{m,max}$ δεν είναι δεδομένος από Πίνακες και πρέπει να υπολογίζεται.



Χειρισμός συνολικά του κτιριακού κελύφους – $U_{m,max}$

Η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας εξαρτάται από το λόγο της συνολικής επιφάνειας του κελύφους ($A(m^2)$) του κτιρίου προς τον όγκο του ($V(m^3)$). Για διάφορες τιμές του λόγου A/V αντιστοιχούν διαφορετικές τιμές του $U_{m,max}$. Επίσης, ισχύουν διαφορετικά όρια στις περιπτώσεις ριζικής ανακαίνισης κτιρίου και ανέγερσης νέου κτιρίου (αυστηρότερα όρια για νέα κτίρια). Οι οριακές αυτές τιμές λαμβάνονται από Πίνακες 3.3β και 3.4β της [TOTE 20701-1/2017](#).

Πίνακας 3.3β. Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας ενός κτηρίου ανά κλιματική ζώνη συναρτήσει του λόγου της περιβάλλουσας επιφάνειας του κτηρίου προς τον όγκο του σε περίπτωση ανέγερσης νέου κτηρίου.

Λόγος A/V [m^{-1}]	Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας U_m [$W/(m^2 \cdot K)$]			
	Ζώνη Α'	Ζώνη Β'	Ζώνη Γ'	Ζώνη Δ'
$\leq 0,2$	1,25	1,13	1,04	0,95
0,3	1,17	1,05	0,96	0,88
0,4	1,10	0,99	0,91	0,83
0,5	1,04	0,93	0,86	0,78
0,6	0,98	0,89	0,81	0,73
0,7	0,92	0,83	0,76	0,68
0,8	0,86	0,77	0,71	0,63
0,9	0,80	0,73	0,65	0,59
$\geq 1,0$	0,77	0,69	0,62	0,55

Χειρισμός συνολικά του κτιριακού κελύφους – $U_{m,max}$

Η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας εξαρτάται από το λόγο της συνολικής επιφάνειας του κελύφους ($A(m^2)$) του κτιρίου προς τον όγκο του ($V(m^3)$). Για διάφορες τιμές του λόγου A/V αντιστοιχούν διαφορετικές τιμές του $U_{m,max}$. Επίσης, ισχύουν διαφορετικά όρια στις περιπτώσεις ριζικής ανακαίνισης κτιρίου και ανέγερσης νέου κτιρίου (αυστηρότερα όρια για νέα κτίρια). Οι οριακές αυτές τιμές λαμβάνονται από Πίνακες 3.3β και 3.4β της [TOTE 20701-1/2017](#).

Πίνακας 3.4β. Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας ενός κτηρίου ανά κλιματική ζώνη συναρτήσει του λόγου της περιβάλλουσας επιφάνειας του κτηρίου προς τον όγκο του σε περίπτωση ριζικής ανακαίνισης υφιστάμενου κτηρίου.

Λόγος A/V [m^{-1}]	Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας U_m [$W/(m^2 \cdot K)$]			
	Ζώνη Α'	Ζώνη Β'	Ζώνη Γ'	Ζώνη Δ'
$\leq 0,2$	1,26	1,14	1,05	0,96
0,3	1,20	1,09	1,00	0,92
0,4	1,15	1,03	0,95	0,87
0,5	1,09	0,98	0,90	0,83
0,6	1,03	0,93	0,86	0,78
0,7	0,98	0,88	0,81	0,73
0,8	0,92	0,83	0,76	0,69
0,9	0,86	0,78	0,71	0,64
$\geq 1,0$	0,81	0,73	0,66	0,60



Χειρισμός συνολικά του κτιριακού κελύφους – $U_{m,max}$

Παράδειγμα: Έστω ένα κτίριο με εμβαδόν κελύφους $A=200 \text{ m}^2$ και όγκο $V=300\text{m}^3$. Αν το κτίριο βρίσκεται στην κλιματική ζώνη Γ, να υπολογιστεί ο μέγιστος επιτρεπόμενος μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας που πρέπει να πληρεί το κτίριο ώστε να ισχύει η 2^η συνθήκη θερμομονωτικής επάρκειας.

Υπολογίζεται ο λόγος $A/V=200/300=0,67 \text{ m}^{-1}$.

Οπότε από τον Πίνακα 3.4β για υφιστάμενο κτίριο προκύπτει για την κλιματική ζώνη Γ,

$$U_{m,max} = 0,81 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Πίνακας 3.4β. Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας ενός κτηρίου ανά κλιματική ζώνη συναρτήσει του λόγου της περιβάλλουσας επιφάνειας του κτηρίου προς τον όγκο του σε περίπτωση ριζικής ανακαίνισης υφιστάμενου κτηρίου.

Λόγος A/V [m^{-1}]	Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας U_m [$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$]			
	Ζώνη Α'	Ζώνη Β'	Ζώνη Γ'	Ζώνη Δ'
$\leq 0,2$	1,26	1,14	1,05	0,96
0,3	1,20	1,09	1,00	0,92
0,4	1,15	1,03	0,95	0,87
0,5	1,09	0,98	0,90	0,83
0,6	1,03	0,93	0,86	0,78
0,7	0,98	0,88	0,81	0,73
0,8	0,92	0,83	0,76	0,69
0,9	0,86	0,78	0,71	0,64
$\geq 1,0$	0,81	0,73	0,66	0,60



Άσκηση 1

Ένα κτίριο βρίσκεται στην κλιματική ζώνη Β και έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

1. Γεωμετρία: Ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο διαστάσεων Μήκος (διεύθυνση Δύση-Ανατολή): 12m, Πλάτος: 8m, Ύψος: 3,5m.
2. Κέλυφος:
 - Οροφή οριζόντια με συντελεστή θερμοπερατότητας $U_{ορ.} = 2,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{K})$
 - Φέρων οργανισμός (οπλισμένο σκυρόδεμα): $U_{φ.ο.} = 3 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{K})$ (Καταλαμβάνει το 20% των κατακόρυφων τοίχων πλην κουφωμάτων).
 - Πλήρωση (οπτοπλινθοδομή) με τις εξής στρώσεις και ιδιότητες: (α) Εσωτερικό επίχρισμα με $\lambda=0,87 \text{ W}/(\text{mK})$ πάχους 1cm, (β) οπτοπλινθοδομή με $\lambda= 0,45 \text{ W}/(\text{mK})$ πάχους 9cm, (γ) διάκενο αέρα πάχους 5cm, (δ) οπτοπλινθοδομή με $\lambda= 0,45 \text{ W}/(\text{mK})$ πάχους 9cm, (ε) εξωτερικό επίχρισμα με $\lambda=0,87 \text{ W}/(\text{mK})$ πάχους 1cm.
 - Κουφώματα συνολικού εμβαδού 15 m², και όλα έχουν συντελεστή θερμοπερατότητας $U_{κουφ} = 2,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{K})$
 - Δάπεδο οριζόντια πλάκα σε επαφή με έδαφος με ονομαστικό συντελεστή θερμοπερατότητας $U_{δαπ.} = 0,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{K})$

Να εξεταστεί το κτίριο ως προς τη θερμομονωτική επάρκεια με δεδομένο ότι οι κατακόρυφες, οριζόντιες και κουφωμάτων προσαυξήσεις του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας λόγω θερμογεφυρών είναι 5%, 10% και 5%, αντίστοιχα.

Άσκηση 1

Λύση

Η 1^η συνθήκη βασίζεται στην σύγκριση του συντ. θερμοπερατότητας με τον μέγιστο επιτρεπόμενο συντελεστή θερμοπερατότητας για κάθε δομικό στοιχείο. Για να γίνει αυτό θα πρέπει καταρχήν να έχουμε για κάθε δομικό στοιχείο διαθέσιμο τον συντελεστή θερμοπερατότητας. Άρα, πρέπει να υπολογιστεί για την πλήρωση ως εξής:

$$U_{\pi\lambda.} = \frac{1}{R_i + R_a + R_s + \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j}} = \frac{1}{0,13 + 0,04 + 0,18 + 2 * \frac{0,01}{0,87} + 2 * \frac{0,09}{0,45}} = 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Έλεγχος θερμ. επάρκειας για κάθε δομικό στοιχείο (1^η συνθήκη. Οι μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές λαμβάνονται από Πίνακα 3.4^α για υφιστάμενο κτίριο):

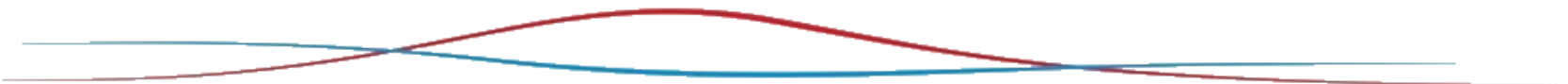
Οροφή: $U_{ορ.} = 2,7 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \not\leq 0,45 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$ Θερμομονωτικά μη επαρκής οροφή.

Φ.ο.: $U_{φ.ο.} = 3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \not\leq 0,5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$ Θερμομονωτικά μη επαρκής φ.ο.

Πλήρωση: $U_{\pi\lambda.} = 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) \not\leq 0,5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$ Θερμομονωτικά μη επαρκής πλήρωση.

Κούφωμα: $U_{κουφ} = 2,9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) \leq 3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$ Θερμομονωτικά επαρκές κούφωμα.

Δάπεδο: $U_{δαπ.} = 0,9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) \leq 0,9 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$ Θερμομονωτικά επαρκές δάπεδο.





Άσκηση 1

Λύση

Έλεγχος βάσει της **2^{ης} συνθήκης**: πρέπει πρώτα να υπολογιστούν τα εμβαδά που καταλαμβάνει κάθε δομικό στοιχείο:

$$\text{Οροφή: } A_{ορ.} = 12 * 8 = 96 \text{ m}^2$$

$$\text{Φ.ο.: } A_{φ.ο.} = 0,2 * (A_{κατακορ.τοιχων} - A_{κουφ.}) = 0,2 * (2*8*3,5 + 2*12*3,5 - 15) = 25 \text{ m}^2$$

$$\text{Πλήρωση: } A_{πλ.} = 0,8 * (A_{κατακορ.τοιχων} - A_{κουφ.}) = 0,8 * (2*8*3,5 + 2*12*3,5 - 15) = 100 \text{ m}^2$$

$$\text{Κουφώματα: } A_{κουφ.} = 15 \text{ m}^2$$

$$\text{Δάπεδο: } A_{δαπ.} = 12 * 8 = 96 \text{ m}^2$$

Ο μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας του κτιρίου υπολογίζεται από τη σχέση:

$$U_m = (1 + p_{κατ.} + p_{ορ.} + p_{κουφ.}) * \frac{\sum_{j=1}^n A_j U_j b_j}{\sum_{j=1}^n A_j} \quad (1)$$

Όπου οι προσαιξήσεις λόγω κατακόρυφων, οριζόντιων και κουφωμάτων θερμογεφυρών είναι 0,05, 0,1 και 0,05, αντιστοίχως.

Όπου ο μειωτικός συντελεστής είναι $b_j = 1$ για όλα τα δομικά στοιχεία.

Προσοχή!, προτού προχωρήσουμε στον υπολογισμό του U_m πρέπει πρώτα να υπολογιστεί ο ισοδύναμος συντελεστής θερμοπερατότητας για το δάπεδο.



Άσκηση 1

Λύση

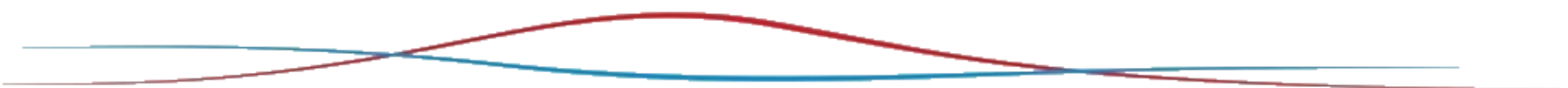
Έλεγχος βάσει της 2^{ης} συνθήκης:

Η χαρακτηριστική διάσταση της πλάκας είναι:

$$B' = 2 \cdot A / \Pi = 2 \cdot 96 / (2 \cdot 8 + 2 \cdot 12) = 4,8 \text{ m}$$

Οπότε από Πίνακα 8α της ΤΟΤΕΕ 20701-2/2017 για ονομαστικό συντελεστή θερμοπερατότητας πλάκας $U_{\delta\alpha\pi.} = 0,9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ και βάθος έδρασης $Z=0\text{m}$, βρίσκεται: $U'_{\delta\alpha\pi.} = 0,43 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Ονομ. συντ. U [W/(m ² ·K)]	z (m)	Χαρακτηριστική διάσταση πλάκας B' (m)														
		≤ 2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	18	22	26	≥ 30
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	0.21	0.18	0.17	0.15
	0.50	0.53	0.48	0.44	0.40	0.37	0.35	0.33	0.31	0.29	0.24	0.20	0.20	0.18	0.16	0.15
	1.00	0.50	0.45	0.41	0.38	0.36	0.33	0.31	0.29	0.28	0.23	0.20	0.20	0.17	0.16	0.14
	1.50	0.47	0.42	0.39	0.36	0.34	0.32	0.30	0.28	0.27	0.22	0.19	0.19	0.17	0.15	0.14
	2.00	0.44	0.40	0.37	0.35	0.33	0.31	0.29	0.27	0.26	0.22	0.19	0.19	0.17	0.15	0.13
	2.50	0.42	0.38	0.35	0.33	0.31	0.29	0.28	0.26	0.25	0.21	0.18	0.18	0.16	0.14	0.13
	3.00	0.40	0.37	0.34	0.32	0.30	0.28	0.27	0.26	0.24	0.20	0.18	0.18	0.16	0.14	0.13
	4.00	0.36	0.33	0.31	0.29	0.28	0.26	0.25	0.24	0.23	0.19	0.17	0.17	0.15	0.14	0.12
	5.00	0.33	0.31	0.29	0.27	0.26	0.25	0.24	0.23	0.22	0.18	0.16	0.16	0.14	0.13	0.12
	6.00	0.31	0.29	0.27	0.25	0.24	0.23	0.22	0.21	0.20	0.18	0.15	0.15	0.14	0.13	0.12
	9.00	0.25	0.24	0.22	0.21	0.20	0.19	0.19	0.18	0.18	0.15	0.14	0.14	0.12	0.11	0.10





Άσκηση 1

Λύση

Έλεγχος βάσει της 2^{ης} συνθήκης:

Συνεπώς, η σχέση (1) δίνει:

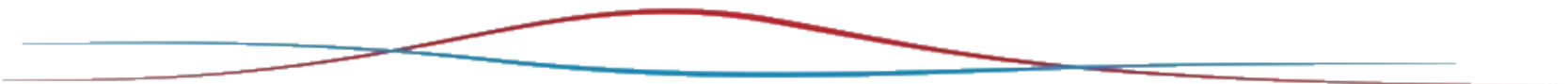
$$U_m = 1,2 * \frac{A_{ορ}.U_{ορ}. + A_{φ.ο}.U_{φ.ο}. + A_{πλ}.U_{πλ}. + A_{κουφ}.U_{κουφ}. + A_{δαπ}.U'_{δαπ}.}{A_{ορ}. + A_{φ.ο}. + A_{πλ}. + A_{κουφ}. + A_{δαπ}.} =$$
$$= 1,2 * \frac{96*2,7 + 25*3 + 100*1,3 + 15*2,9 + 96*0,43}{332} = 1,98 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Μέγιστος επιτρεπόμενος μέσος συντ. θερμοπερατότητας:

$A/V = 332 / (96*3,5) = 0,988$. Οπότε, από Πίνακα 3.4β της ΤΟΤΕΕ 20701-1/2017 για υφιστάμενο κτίριο στην κλιματική ζώνη Β προκύπτει: $U_{m,max} = 0,73 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

Άρα: $U_m \not\leq U_{m,max}$

Το κτίριο είναι θερμομονωτικά μη επαρκές!





Άσκηση 2

Για το παραπάνω κτίριο να προταθεί το ίδιο ελάχιστο απαιτούμενο πάχος θερμομόνωσης XPS με $\lambda=0,032 \text{ W/(mK)}$, σε όλα τα δομικά στοιχεία που δεν είναι θερμομονωτικά επαρκή, ώστε το κτίριο να προκύπτει τελικά θερμομονωτικά επαρκές. Να εξεταστεί ξανά η 2^η συνθήκη θερμομονωτικής επάρκειας.

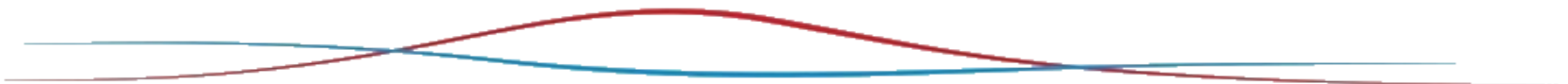
Λύση

Ζητείται να υπολογιστεί το ίδιο βέλτιστο πάχος θερμομόνωσης σε όλα τα δομικά στοιχεία ώστε να ισχύουν και οι 2 συνθήκες θερμομονωτικής επάρκειας.

Για την 1^η συνθήκη, θα πρέπει να υπολογίσουμε τον συντ. θερμοπερατότητας για ένα – ένα τα στοιχεία με την επιβολή θερμομόνωσης. Εμπειρικά, μπορούμε να ξεκινήσουμε από την οροφή που έχει το ελάχιστο $U_{\max}$ εκ των δομικών στοιχείων. Έτσι, για την οροφή βρίσκουμε το απαιτούμενο πάχος θερμομόνωσης έτσι ώστε να ισχύει η 1^η συνθήκη επάρκειας δηλ.:

$$U_{\text{ορ.XPS}} \leq U_{\text{ορ.,max}} \Leftrightarrow \frac{1}{\frac{1}{U_{\text{ορ.}}} + \frac{d_{\mu\text{ον}}}{\lambda_{\mu\text{ον}}}} = U_{\text{ορ.,max}} \Leftrightarrow d_{\mu\text{ον}} = \lambda_{\mu\text{ον}} \left(\frac{1}{U_{\text{ορ.,max}}} - \frac{1}{U_{\text{ορ.}}} \right) =$$
$$= 0,032 * \left(\frac{1}{0,45} - \frac{1}{3} \right) = 0,06 \text{ m } 6\text{cm}.$$

Βλ. και διάλεξη «Συντελεστής θερμοπερατότητας».





Άσκηση 2

Για το παραπάνω κτίριο να προταθεί το ίδιο ελάχιστο απαιτούμενο πάχος θερμομόνωσης XPS με $\lambda=0,032 \text{ W/(mK)}$, σε όλα τα δομικά στοιχεία που δεν είναι θερμομονωτικά επαρκή, ώστε το κτίριο να προκύπτει τελικά θερμομονωτικά επαρκές. Να εξεταστεί εκ νέου η 2^η συνθήκη θερμομονωτικής επάρκειας.

Λύση

Ο νέος συντελεστής θερμοπερατότητας μετά την εφαρμογή XPS 6cm στα μη επαρκή στοιχεία προκύπτει για κάθε στοιχείο με εφαρμογή της σχέσης:

$$U_{\text{META}} = \frac{1}{\frac{1}{U_{\text{PRIN}}} + \frac{d_{\text{μον}}}{\lambda_{\text{μον}}}}$$

$$\text{Οροφή: } U_{\text{ορ.XPS}} = 0,45 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \leq 0,45 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Θερμομονωτικά επαρκές.

$$\text{Φ.ο.: } U_{\text{φ.ο.XPS}} = 0,452 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \leq 0,5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Θερμομονωτικά επαρκές.

$$\text{Πλήρωση: } U_{\text{πλ.XPS}} = 0,378 \text{ W/(m}^2\text{K)} \leq 0,5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Θερμομονωτικά επαρκές.

$$\text{Κούφωμα: } U_{\text{κούφ}} = 2,9 \text{ W/(m}^2\text{K)} \leq 3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Θερμομονωτικά επαρκές κούφωμα.

$$\text{Δάπεδο: } U_{\text{δαπ.}} = 0,9 \text{ W/(m}^2\text{K)} \leq 0,9 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Θερμομονωτικά επαρκές δάπεδο.

Συνεπώς με **εφαρμογή XPS πάχους 6 cm**, όλα τα δομικά στοιχεία είναι πλέον θερμομονωτικά επαρκή.



Άσκηση 2

Για το παραπάνω κτίριο να προταθεί το ίδιο ελάχιστο απαιτούμενο πάχος θερμομόνωσης XPS με $\lambda=0,032 \text{ W/(mK)}$, σε όλα τα δομικά στοιχεία που δεν είναι θερμομονωτικά επαρκή, ώστε το κτίριο να προκύπτει τελικά θερμομονωτικά επαρκές. Να εξεταστεί εκ νέου η 2^η συνθήκη θερμομονωτικής επάρκειας.

Λύση

Επαναυπολογισμός του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας για το κτίριο μετά την εφαρμογή XPS:

$$U_m = (1 + p_{κατ.} + p_{ορ.} + p_{κουφ.}) * \frac{\sum_{j=1}^n A_j U_j b_j}{\sum_{j=1}^n A_j} =$$
$$= 1,2 * \frac{96*0,45 + 25*0,452 + 100*0,378 + 15*2,9 + 96*0,43}{332} = 0,64 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

$$U_{m,max} = 0,73 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Άρα τώρα ισχύει: $U_m \leq U_{m,max}$

Το κτίριο είναι θερμομονωτικά επαρκές!

