

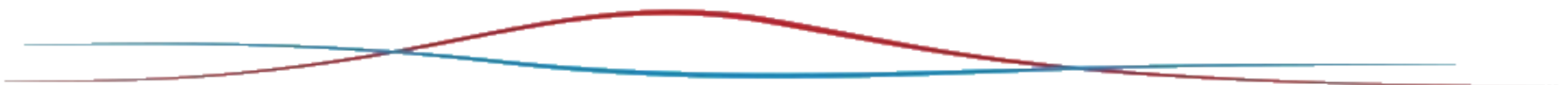


Συντελεστής θερμοπερατότητας

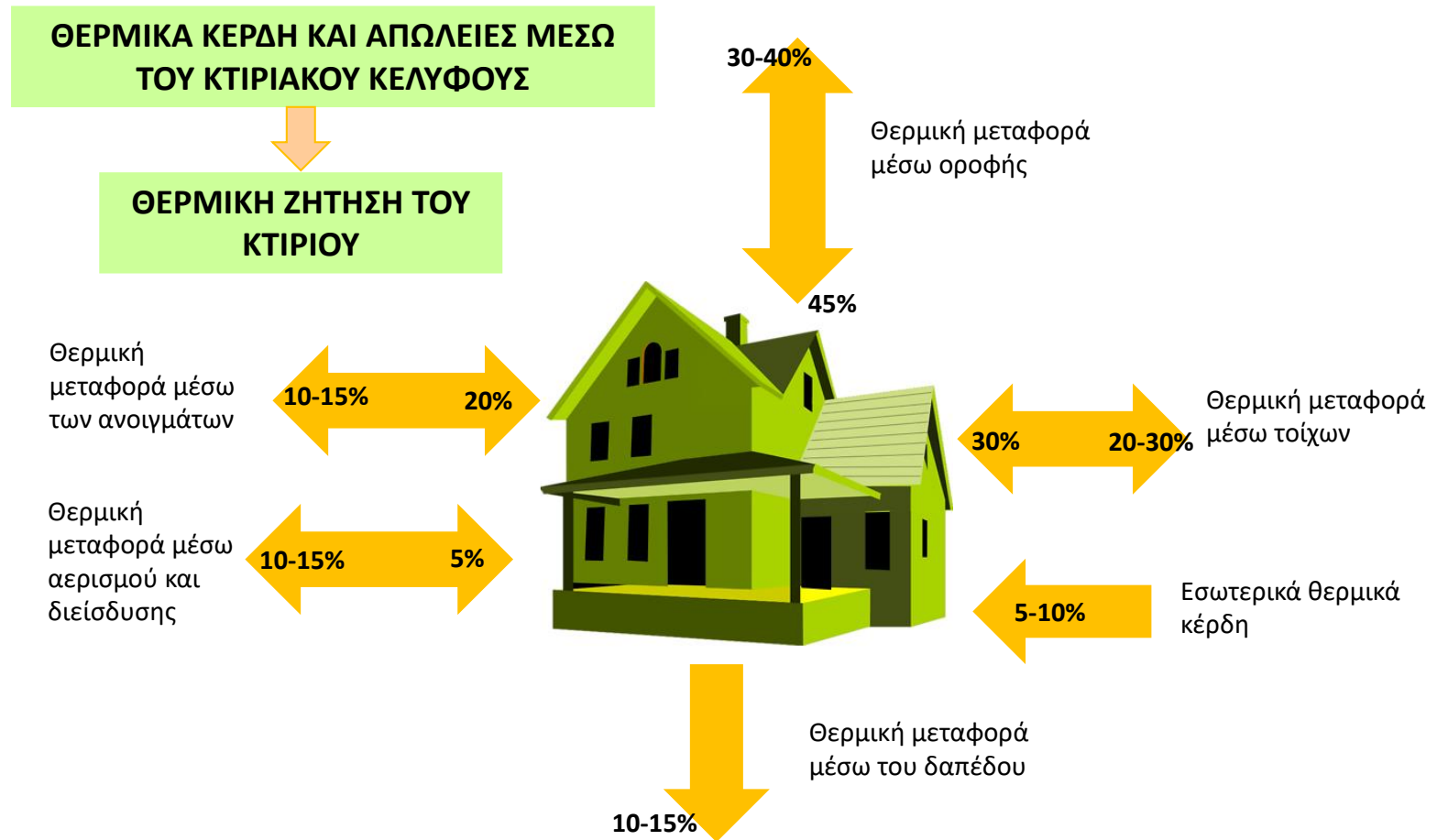
*Θέρμανση – Ψύξη – Κλιματισμός
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΛΜΕΠΑ*

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

Εαρινό εξάμηνο 2020-21

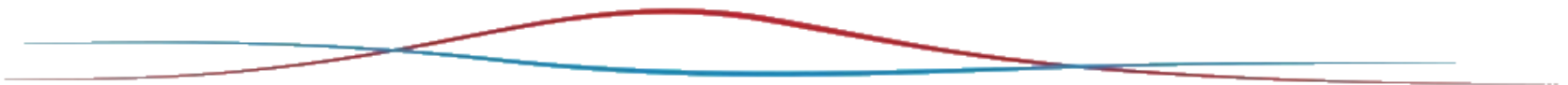


Θερμικά κέρδη και απώλειες κελύφους



Βασικοί παράγοντες θερμικών απωλειών

- **Η θερμική αντίσταση του κελύφους**, δηλ. η ικανότητα του κελύφους να εμποδίζει τη ροή θερμότητας διαμέσου των στρώσεων του κάθε δομικού στοιχείου.
- **Οι οπτικές ιδιότητες των δομικών στοιχείων**, δηλ. η ικανότητα των στοιχείων να μην απορροφούν μεγάλα ποσά θερμικής ακτινοβολίας.
- **Η σκίαση των δομικών στοιχείων**, δηλ. η εξομάλυνση της θερμικής ακτινοβολίας άρα η μείωση της απορρόφησης αυτής από τα δομικά στοιχεία.
- **Η διείσδυση αέρα από χαραμάδες**, δηλ. ο μη ηθελημένος αερισμός του χώρου διαμέσου χαραμάδων και ρωγμών.

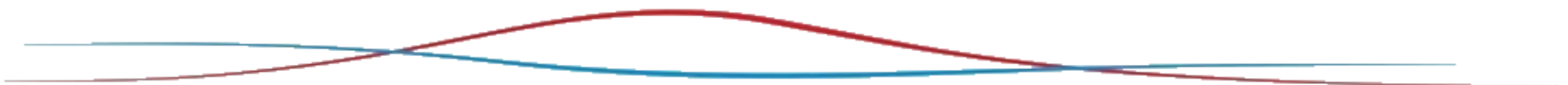




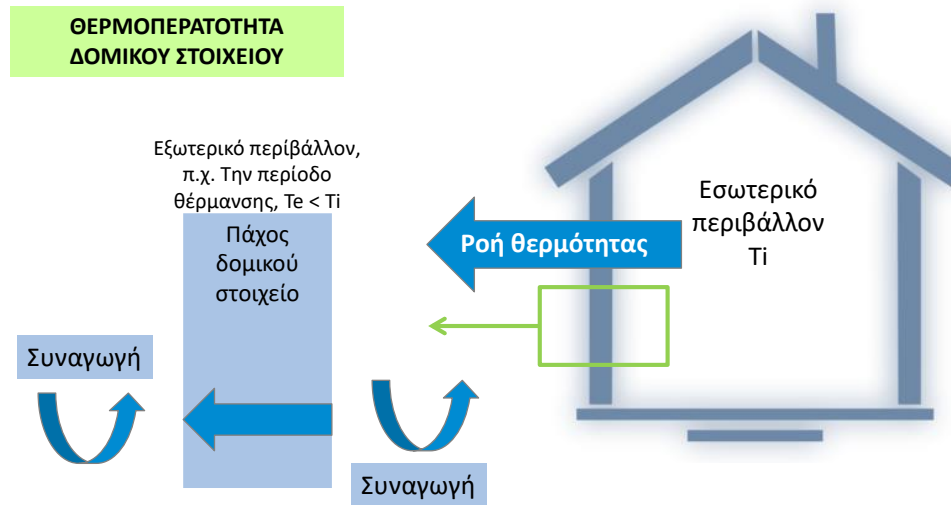
Μετάδοση θερμότητας διαμέσου δομικού στοιχείου

Τρεις διακριτοί τρόποι μετάδοσης θερμότητας:

1. Αγωγή
2. Συναγωγή
3. Ακτινοβολία



Μετάδοση θερμότητας διαμέσου δομικού στοιχείου



Λεκτική περιγραφή:

- **Εξωτερικός αέρας πλησίον της εξωτερικής επιφάνειας του στοιχείου:** Συναγωγή θερμότητας. Η θερμική αντίσταση (ή αντίσταση θερμικής μετάβασης) εξαρτάται κυρίως από την ταχύτητα του αέρα.
- **Δομικό στοιχείο:** Αγωγή θερμότητας. Η θερμική αντίσταση (ή αντίσταση θερμοδιαφυγής) εξαρτάται από το πάχος του στοιχείου και από τον συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, λ (W/mK). Όσο πιο μεγάλο το πάχος και όσο πιο χαμηλό το λ , τόσο μεγαλύτερη η θερμική αντίσταση του στοιχείου.
- **Εσωτερικός αέρας πλησίον της εσωτερικής επιφάνειας του στοιχείου:** Συναγωγή θερμότητας. Η θερμική αντίσταση (ή αντίσταση θερμικής μετάβασης) εξαρτάται από την ταχύτητα του εσωτερικού αέρα.

Συνήθεις τοιχοποιίες

Φέρων οργανισμός (συνηθέστατα οπλισμένου σκυροδέματος)

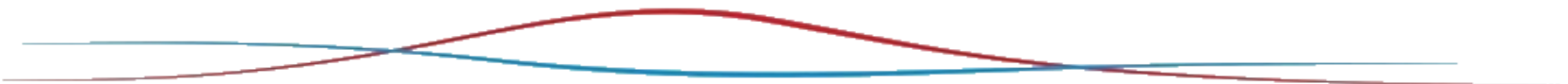


Συνήθως καταλαμβάνει το 15%-28% της επιφάνειας της όψης.

Συμβατικές τιμές του % επιφάνειας του φέροντος οργανισμού βρίσκονται στον Πίνακα 3.1 της [TOTEΕ 20701-1/2017](#).

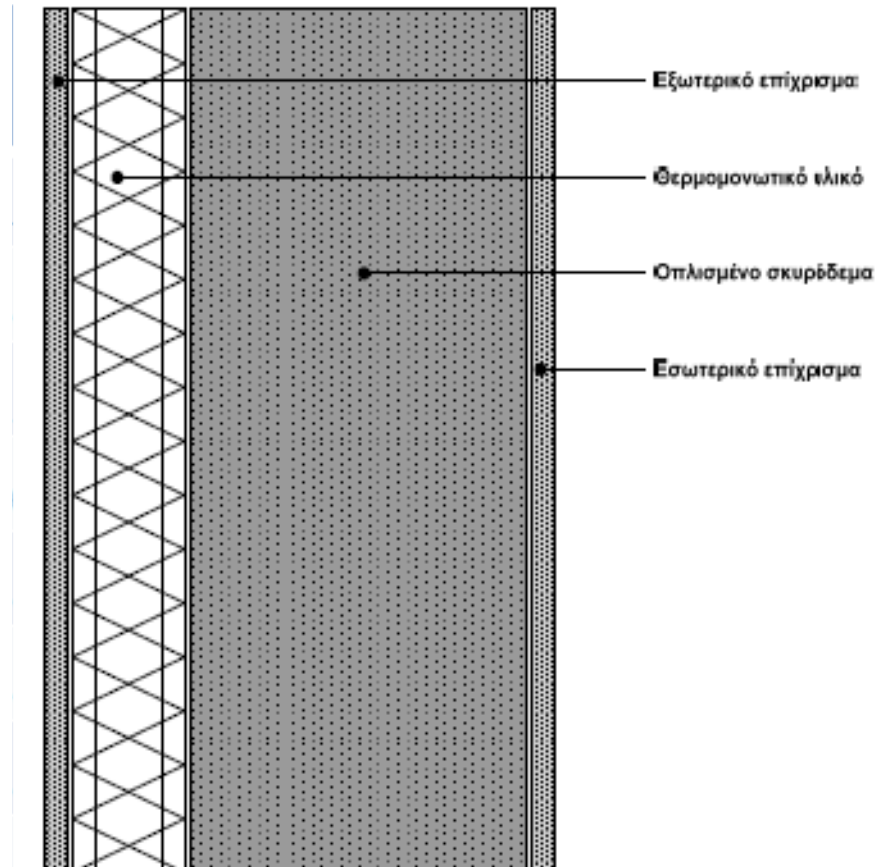
Πίνακας 3.1. Συμβατικός τρόπος υπολογισμού του εμβαδού που καταλαμβάνει ο φέρων οργανισμός του κτηρίου ως ποσοστό επί της επιφάνειας της όψης του σε περίπτωση που δεν είναι εφικτή η αποτύπωσή του φέροντος οργανισμού.

Έτος έκδοσης οικοδομικής άδειας	Πλήθος ορόφων		
	έως 2	2 < όροφοι < 5	≥5
Προ του 1980	15%	20%	23%
1980 έως 1999	18%	23%	28%



Συνήθεις τοιχοποιίες

Φέρων οργανισμός (συνήθεις στρώσεις π.χ. με θερμομόνωση)



Συνήθεις τοιχοποιίες

Πλήρωση – Μπατική ή δικέλυφη

Χωρίς διάκενο ή ενδιάμεση θερμομόνωση

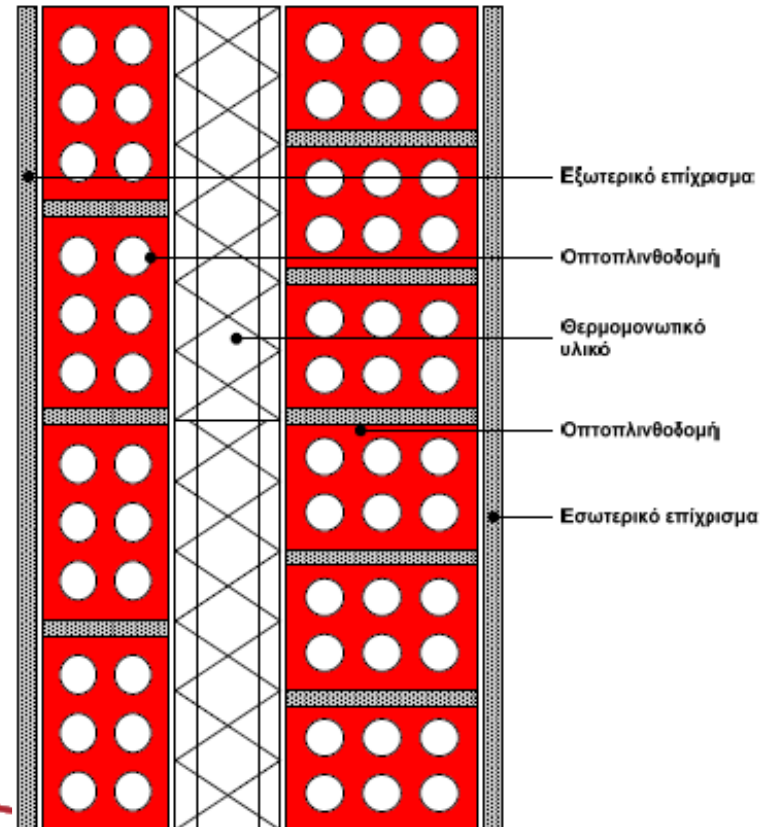
ΜΠΑΤΙΚΗ είναι η τοιχοποιία στην οποία ο τοίχος έχει πάχος όσο το μήκος του τούβλου, 19 εκατοστά. Παλαιότερα υπήρχαν διάφοροι τρόποι κτισίματός της. Σήμερα έχει επικρατήσει αυτός με την ονομασία «ντάμα», γιατί η εμφάνιση του τοίχου θυμίζει το ταμπλό πάνω στο οποίο παίζεται το ομώνυμο παιχνίδι. Η φέρουσα τοιχοποιία κατασκευάζεται υποχρεωτικά από μπατικούς ή υπερμπατικούς τοίχους.



© e-olkodamos.blogspot.com

Μπατική τοιχοποιία (πάχους 19 εκ.), τύπου "ντάμα".

Στρώσεις σε οπτοπλινθοδομή με θερμομόνωση



Συνήθεις τοιχοποιίες

Πλήρωση – Δρομική οπτοπλινθοδομή (συνήθως σε εσωτερικά χωρίσματα)

ΔΡΟΜΙΚΗ (πάχους 9 εκατοστών) είναι η τοιχοποιία που χρησιμοποιούμε για την κατασκευή των εσωτερικών χωρισμάτων. Επίσης κτίζοντας δύο δρομικούς τοίχους και τοποθετώντας ανάμεσά τους θερμομονωτικό υλικό, κατασκευάζουμε τους εξωτερικούς τοίχους μιας οικοδομής.

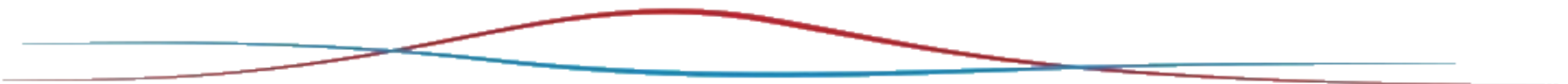


Δρομική τοιχοποιία (πάχους 9 εκ.)

ΔΡΟΜΙΚΗ (πάχους 12 εκατοστών): αλλάζει μόνο το πάχος του τοίχου με αποτέλεσμα να γίνεται πιο ισχυρός, κατά τα άλλα ίδια χρήση με τη δρομική των 9 εκατοστών.

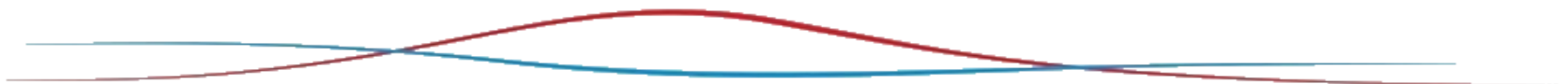


Δρομική τοιχοποιία (πάχους 12 εκ.)



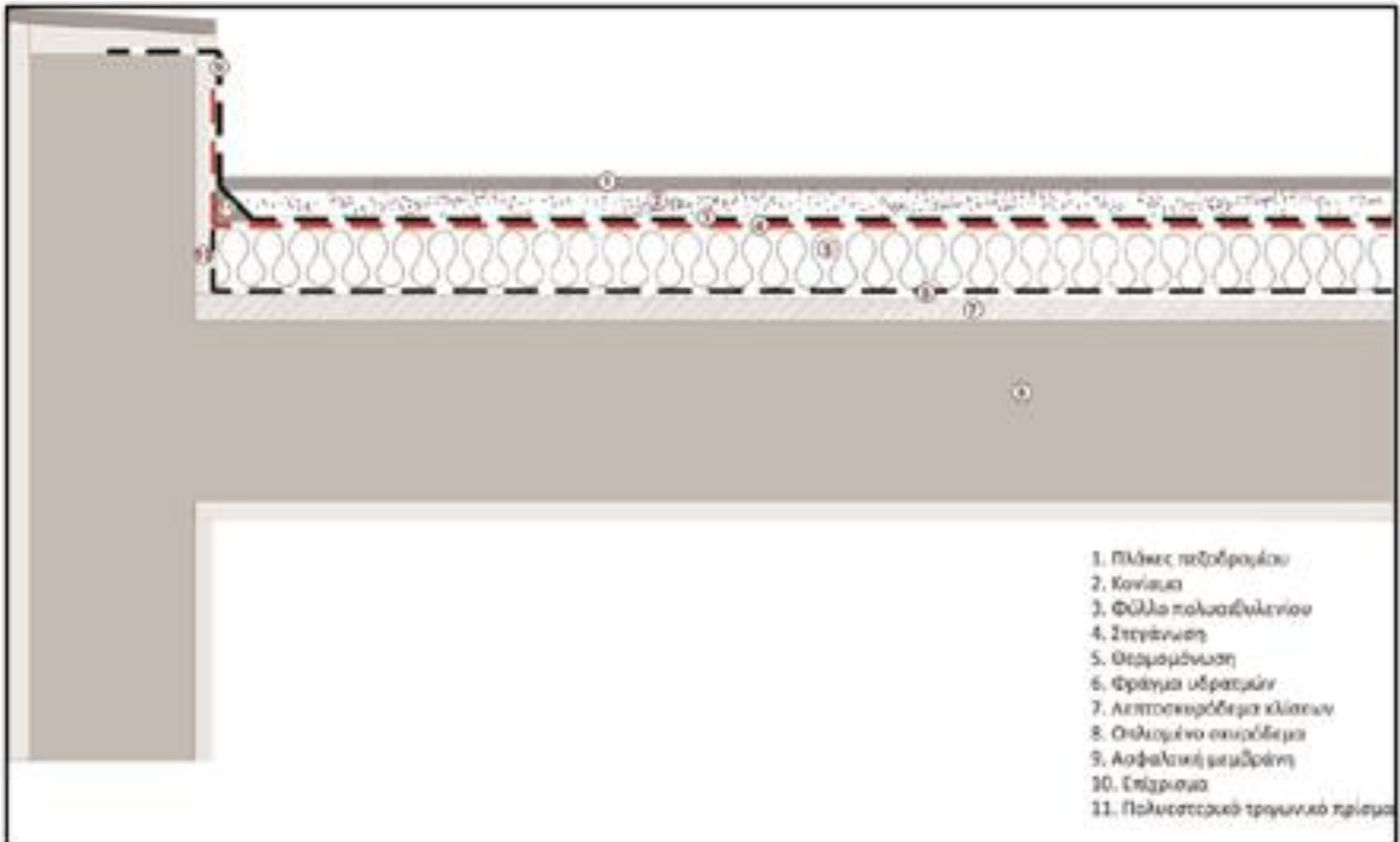
Συνήθεις τοιχοποιίες

Λιθοδομή



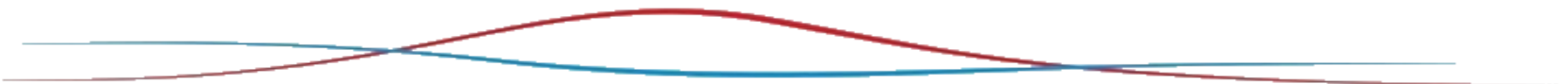
Συνήθη δώματα

Συμβατικό δώμα (π.χ. βατό δώμα με θερμομόνωση)



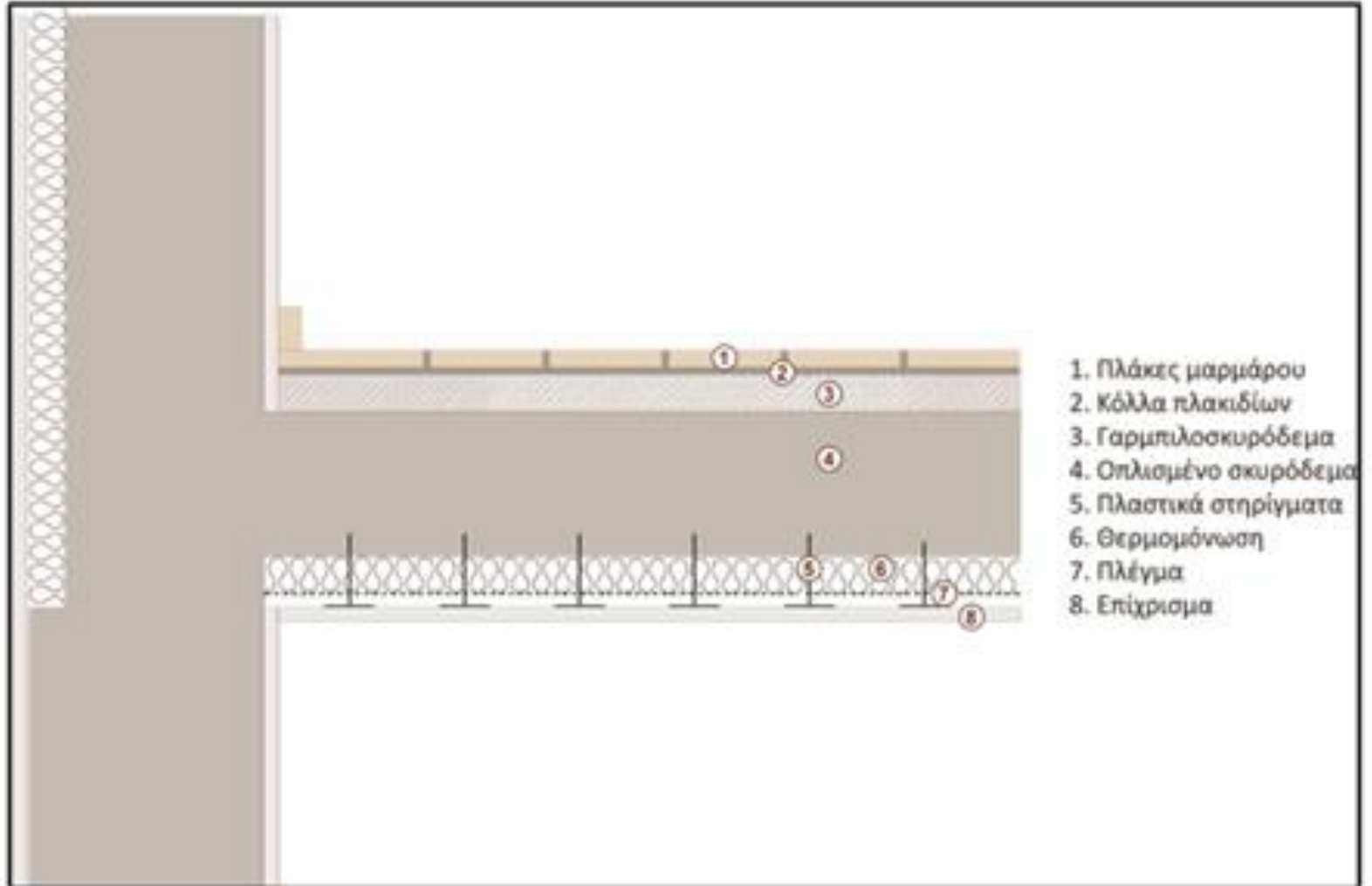
Συνήθη δώματα

Ανεστραμμένο δώμα (π.χ. με θερμομόνωση)



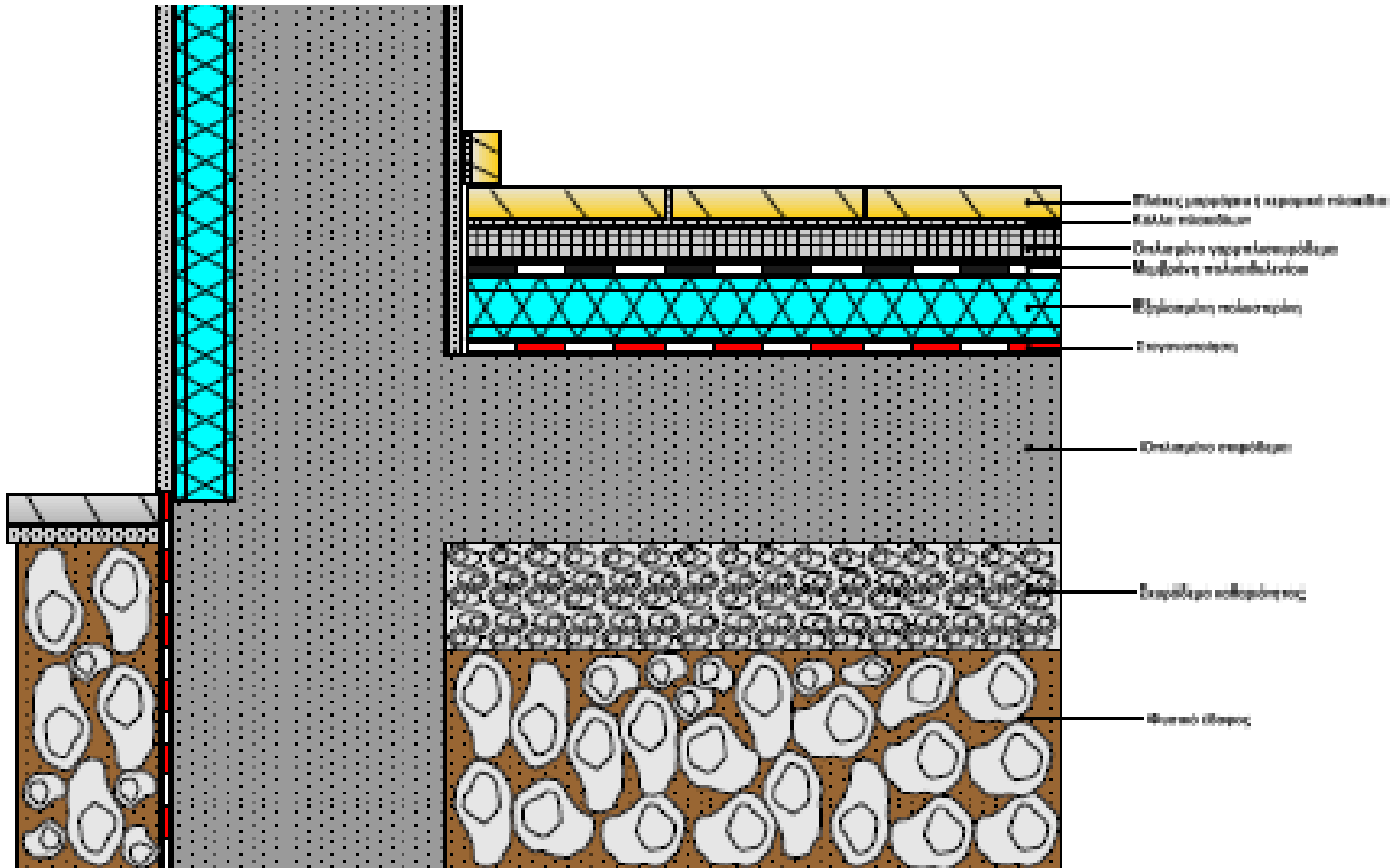
Συνήθη δάπεδα

Πιλοτή



Συνήθη δάπεδα

Επί εδάφους (π.χ. με θερμομόνωση)





Θερμομονωτικά υλικά

Ανόργανα

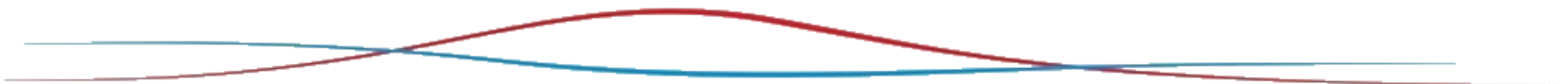
- φυσικά: αμιάντος, **ελαφρόπετρα**.
- τεχνητά: **υαλοβάμβακας**, περλίτης, **πετροβάμβακας**, μονωτικά τούβλα

Οργανικά

- φυσικά: φελλός, πλάκες αχύρου, γιούτα.
- τεχνητά: ξυλόμαλλο, **πολυστερίνη (διογκωμένη EPS, εξηλασμένη XPS)**, πολυουρεθάνη, καουτσούκ, φαινολικός αφρός.

Σκυροδέματα

- φυσικά: κισσηρόδεμα, αμιαντοσκυρόδεμα.
- τεχνητά: κυψελομετόν, αερομετόν, περλομετόν.

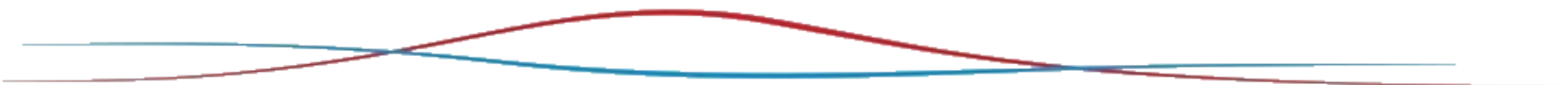


Θερμομονωτικά υλικά

Ελαφρόπετρα

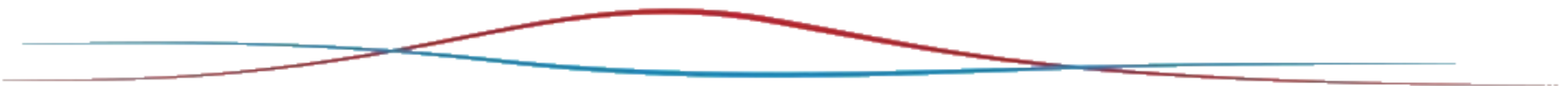


✕



Θερμομονωτικά υλικά

Πετροβάμβακας (σε μορφή παπλώματος και πλακών)



Θερμομονωτικά υλικά

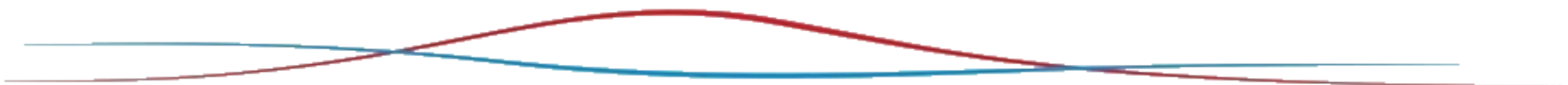
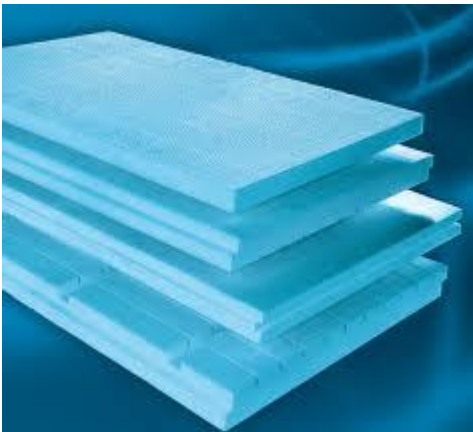
Διογκωμένη πολυστερίνη EPS σε πλάκες





Θερμομονωτικά υλικά

Εξηλασμένη πολυστερίνη XPS σε πλάκες

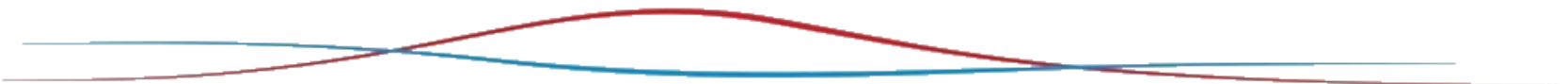


Θερμομονωτικά υλικά

Αερογέλες (aerogels)



Εξαιρετικά αποτελεσματικό
θερμομονωτικό υλικό με
πολύ χαμηλό ειδικό βάρος
και καλή αντοχή στη φωτιά.





Θερμική αντίσταση δομικού υλικού

Συνήθως τα δομικά στοιχεία των κτιρίων αποτελούνται από διάφορες στρώσεις δομικών υλικών, π.χ. δύο στρώσεις οπτόπλινθου και ανάμεσά τους θερμομόνωση. Η θερμική αντίσταση κάθε υλικού στη ροή θερμότητας λέγεται **αντίσταση θερμοδιαφυγής** και υπολογίζεται από τη σχέση:

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

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

Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας για διάφορα υλικά μπορεί να βρεθεί από τον Πίνακα 1 της [TOTEΕ 20701-2/2017](#). **Όσο μικρότερος ο συντελεστής τόσο μεγαλύτερη θερμική αντίσταση, συνεπώς υψηλότερη θερμομονωτική ικανότητα.**

Π.χ. Το τούβλο έχει $\lambda=0,45 \text{ W/(mK)}$, ενώ η εξηλασμένη πολυστερίνη (XPS) έχει $\lambda=0,035 \text{ W/(mK)}$. Δηλ. η XPS έχει τάξης μεγέθους μεγαλύτερη θερμική αντίσταση, συνεπώς έχει κατά πολύ υψηλότερη θερμομονωτική ικανότητα.





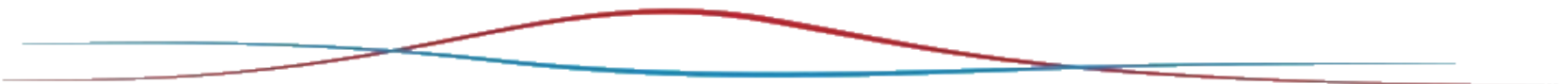
Θερμική αντίσταση στρώματος αέρα της διεπιφάνειας μεταξύ αέρα και στερεού τοιχώματος

Όπως παρουσιάστηκε στην εισαγωγική διάλεξη, η ροή θερμότητας διαμέσου δομικού στοιχείου συντελείται από την αγωγή θερμότητας μέσω του στοιχείου και από τη συναγωγή θερμότητας του στρώματος αέρα της διεπιφάνειας μεταξύ του αέρα και της επιφάνειας του στερεού τοιχώματος.

Ορίζεται η θερμική αντίσταση λόγω συναγωγής θερμότητας του στρώματος αέρα της διεπιφάνειας μεταξύ του αέρα και της επιφάνειας του στερεού τοιχώματος, η οποία λέγεται και **αντίσταση θερμικής μετάβασης**, ως το αντίστροφο του συντελεστή συναγωγής (όπως δείχθηκε στην εισαγωγική διάλεξη).

Η αντίσταση θερμικής μετάβασης R ($\text{m}^2\text{K/W}$) μπορεί να λαμβάνεται από βιβλιογραφία για διάφορες περιπτώσεις δομικών στοιχείων και είδους επαφών π.χ. τοίχος σε επαφή με εξωτερικό αέρα, με έδαφος, με μη θερμαινόμενο χώρο, κτλ.

Για παράδειγμα, πρότυπες τιμές θερμικής αντίστασης ανάλογα με τη διεπαφή του δομικού στοιχείου βρίσκονται στον Πίνακα 2β της [TOTE 20701-2/2017](#).





Θερμική αντίσταση στρώματος αέρα της διεπιφάνειας μεταξύ αέρα και στερεού τοιχώματος

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
		$W/(m^2 \cdot K)$	$W/(m^2 \cdot K)$	$(m^2 \cdot K)/W$	$(m^2 \cdot K)/W$
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

Θερμική αντίσταση στρώματος αέρα της διεπιφάνειας μεταξύ αέρα και στερεού τοιχώματος

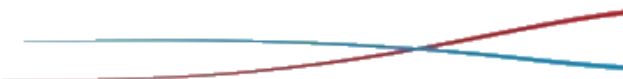
Ειδική περίπτωση: Δομικό αδιαφανές στοιχείο με διάκενο αερίου, π.χ. αέρα, σε ηρεμία

Στην περίπτωση π.χ. δικέλυφης τοιχοποιίας με διάκενο αέρα, μπορεί να υποτεθεί αέρας σε ηρεμία χωρίς ανταλλαγές μάζας με το εξωτερικό περιβάλλον. Πρότυπες τιμές της αντίστασης θερμικής μετάβασης μπορούν να λαμβάνονται από βιβλιογραφία, π.χ. από Πίνακα 3α της [ΤΟΤΕΕ 20701-2/2017](#).

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





Θερμική αντίσταση στρώματος αέρα της διεπιφάνειας μεταξύ αέρα και στερεού τοιχώματος

Ειδική περίπτωση: Δομικό διαφανές στοιχείο (παράθυρο π.χ. με διπλό τζάμι) με διάκενο αερίου, π.χ. αέρα, σε ηρεμία

Στην περίπτωση διακένου υαλοπίνακα, μπορεί να υποτεθεί αέρας σε ηρεμία χωρίς ανταλλαγές μάζας με το εξωτερικό περιβάλλον. Πρότυπες τιμές της αντίστασης θερμικής μετάβασης μπορούν να λαμβάνονται από βιβλιογραφία, π.χ. από Πίνακα 3β της [TOTE 20701-2/2017](#).

Πίνακας 3β. Θερμική αντίσταση του αέρα του διακένου υαλοπίνικα.

Πάχος διακένου mm	Θερμική αντίσταση διακένου υαλοπινάκων $R_{\delta,w}$ [W/(m ² ·K)]		
	Χωρίς επίστρωση	Με επίστρωση χαμηλής εκπομπής ίσης με:	
		0,20	0,10
6	0,127	0,191	0,211
9	0,154	0,259	0,299
12	0,173	0,316	0,377
15	0,186	0,364	0,447
50	0,179	0,336	0,406

Παρατήρηση

- Οι τιμές του πίνακα ισχύουν για κατακόρυφα τοποθετημένα παράθυρα με αέρα στο διάκενο.

Συνολική θερμική αντίσταση δομικού στοιχείου

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:

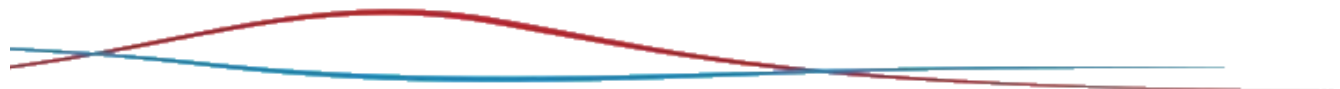
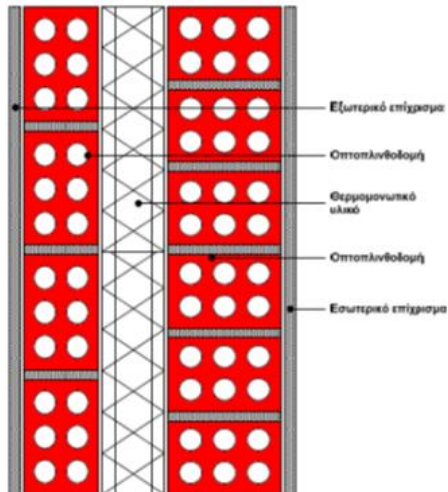
$$R_{o\lambda} = R_i + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_a \quad [m^2 \cdot K/W]$$

όπου: $R_{o\lambda}$ $[m^2 \cdot K/W]$ η συνολική αντίσταση που προβάλλει στη ροή θερμότητας το δομικό στοιχείο,

n $[-]$ το πλήθος των στρώσεων του δομικού στοιχείου,

R_i $[m^2 \cdot K/W]$ η αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση της θερμότητας από τον εσωτερικό χώρο προς το δομικό στοιχείο,

R_a $[m^2 \cdot K/W]$ η αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση της θερμότητας από το δομικό στοιχείο προς το εξωτερικό περιβάλλον.





Συντελεστής θερμοπερατότητας δομικού στοιχείου

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας ενός δομικού στοιχείου ορίζεται από τη σχέση:

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

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

όπου: U $[W/(m^2 \cdot K)]$ ο συντελεστής θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου,
 n $[-]$ το πλήθος των στρώσεων του δομικού στοιχείου,
 R_i $[m^2 \cdot K/W]$ η αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση της θερμότητας από τον εσωτερικό χώρο προς το δομικό στοιχείο,
 R_a $[m^2 \cdot K/W]$ η αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση της θερμότητας από το δομικό στοιχείο προς το εξωτερικό περιβάλλον.

Καθώς ο συντελεστής θερμοπερατότητας εξαρτάται από τα πάχη των στρώσεων του δομικού στοιχείου και από τη συναγωγή που παρουσιάζει με τα στρώματα αέρα εκατέρωθεν των όψεών του, αύξηση ή μείωση του πάχους μιας στρώσης του υλικού επηρεάζει το συντελεστή θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου.



Συντελεστής θερμοπερατότητας δομικού στοιχείου

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας ενός δομικού στοιχείου η στρώσεων ορίζεται από τον τύπο:

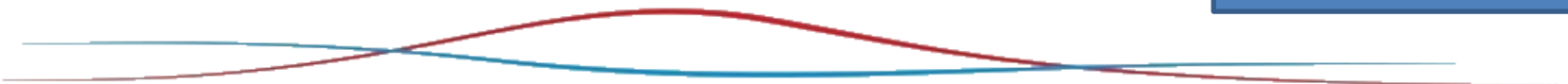
$$U = \frac{1}{R_i + \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} + R_s + R_a} \quad [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$$

όπου:	U	[W/(m ² ·K)]	ο συντελεστής θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου,
	n	[-]	το πλήθος των στρώσεων του δομικού στοιχείου,
	d	[m]	το πάχος της κάθε στρώσης του δομικού στοιχείου,
	λ	[W/(m·K)]	ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού της κάθε στρώσης,
	R _s	[m ² ·K/W]	η 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,
	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 το δομικό στοιχείο,
	R _a	[m ² ·K/W]	η αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση της θερμότητας από το δομικό στοιχείο προς το εξωτερικό περιβάλλον.

Η καλύτερη θερμομονωτική ικανότητα επιτυγχάνεται με μείωση του U του δομικού στοιχείου.

Τρόποι μείωσης U:

- Αύξηση πάχους μόνωσης.
- Επιλογή υλικού με μικρότερο λ.

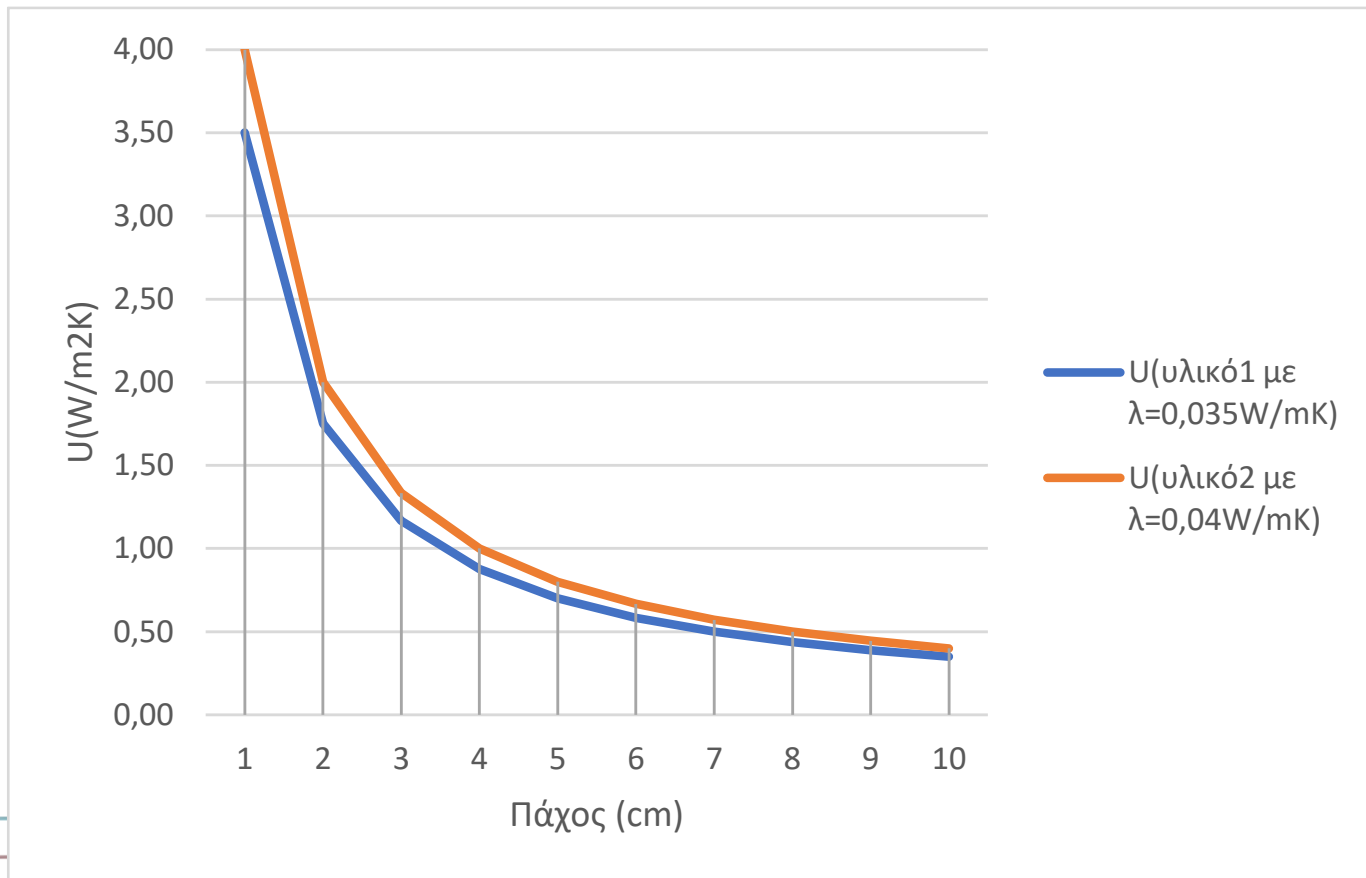




Συντελεστής θερμοπερατότητας δομικού στοιχείου

Εξάρτηση συντελεστή θερμοπερατότητας από πάχος υλικού

Βλ. αρχείο excel «Uvalue_πλάτοςθερμ»



Συμβατικές τιμές U για παλαιά κτίρια

Για παλαιά κτίρια (ιδίως πριν το 1980) σχεδόν ποτέ δεν μπορούμε να βρούμε στοιχεία των στρώσεων υλικών των αδιαφανών δομικών στοιχείων. Σε αυτή την περίπτωση μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τυπικές τιμές συντελεστών θερμοπερατότητας που βρίσκονται στους Πίνακες 3.5α και 3.5β στην τεχνική οδηγία ΤΟΤΕΕ 20701-1/2017.

Κτίρια με οικ.
Άδεια πριν το
1980

Πίνακας 3.5α. Τυπικές τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας για υφιστάμενα κατακόρυφα αδιαφανή δομικά στοιχεία που συναντώνται σε κτίρια, η οικοδομική άδεια των οποίων εκδόθηκε πριν από την εφαρμογή του Κ.Εν.Α.Κ. (2010).

Περιγραφή στοιχείου	Χωρίς θερμομονωτική προστασία			Με ανεπαρκή θερμομονωτική προστασία κατά Κ.Θ.Κ.		
	Σε επαφή με αέρα	Σε επαφή με μη θερμαινόμεν. χώρο	Σε επαφή με έδαφος	Σε επαφή με αέρα	Σε επαφή με μη θερμαινόμεν. χώρο	Σε επαφή με έδαφος
	$[W/(m^2 \cdot K)]$	$[W/(m^2 \cdot K)]$	$[W/(m^2 \cdot K)]$	$[W/(m^2 \cdot K)]$	$[W/(m^2 \cdot K)]$	$[W/(m^2 \cdot K)]$
Στοιχείο φέροντος οργανισμού οπλισμένου σκυροδέματος (πάχους μικρότερου των 80 cm)						
Ανεπίχριστο από μία ή δύο όψεις.	3,65	2,75	4,30	1,00	0,90	1,05
Επιχρισμένο και από τις δύο όψεις.	3,40	2,60	–	1,00	0,90	–
Επενδεδυμένο με απλή ή διακοσμητική οπτοπλινθοδομή.	2,45	2,00	2,90	0,90	0,85	0,95
Επενδεδυμένο με αργολιθοδομή.	2,90	2,30	3,25	0,90	0,85	0,95
Επενδεδυμένο με μαρμάρινες πλάκες.	3,50	2,05	4,00	1,00	0,90	1,05
Επενδεδυμένο με γυψοσανίδα, τσιμεντοσανίδα, ξυλοσανίδα ή άλλες πλάκες.	2,05	1,75	2,25	0,80	0,75	0,85

Συμβατικές τιμές U για παλαιά κτίρια

Για παλαιά κτίρια (ιδίως πριν το 1980) σχεδόν ποτέ δεν μπορούμε να βρούμε στοιχεία των στρώσεων υλικών των αδιαφανών δομικών στοιχείων. Σε αυτή την περίπτωση μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τυπικές τιμές συντελεστών θερμοπερατότητας που βρίσκονται στους Πίνακες 3.5α και 3.5β στην τεχνική οδηγία ΤΟΤΕΕ 20701-1/2017.

Κτίρια με οικ.
Άδεια πριν το
1980

Πίνακας 3.5α. Τυπικές τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας για υφιστάμενα κατακόρυφα αδιαφανή δομικά στοιχεία που συναντώνται σε κτήρια, η οικοδομική άδεια των οποίων εκδόθηκε πριν από την εφαρμογή του Κ.Εν.Α.Κ. (2010).

Περιγραφή στοιχείου	Χωρίς θερμομονωτική προστασία			Με ανεπαρκή θερμομονωτική προστασία κατά Κ.Θ.Κ.		
	Σε επαφή με αέρα	Σε επαφή με μη θερμαινόμεν. χώρο	Σε επαφή με έδαφος	Σε επαφή με αέρα	Σε επαφή με μη θερμαινόμεν. χώρο	Σε επαφή με έδαφος
	$[W/(m^2 \cdot K)]$	$[W/(m^2 \cdot K)]$	$[W/(m^2 \cdot K)]$	$[W/(m^2 \cdot K)]$	$[W/(m^2 \cdot K)]$	$[W/(m^2 \cdot K)]$
Οπτοπλινθοδομή, φέρουσα ή πλήρωσης (με ή χωρίς κλειστό διάκενο αέρος)						
Μπατική ή δικέλυφη δομική οπτοπλινθοδομή						
Ανεπίχριστη από μία ή δύο όψεις.	2,30	1,90	2,55	0,85	0,80	0,90
Επιχρισμένη και από τις δύο όψεις.	2,20	1,85	—	0,85	0,80	—
Επενδεδυμένη με διακοσμητική οπτοπλινθοδομή.	1,90	1,80	2,05	0,80	0,75	0,85
Επενδεδυμένη με αργολιθοδομή.	2,10	1,75	2,25	0,80	0,75	0,85
Επενδεδυμένη με μαρμάρινες πλάκες.	2,25	1,85	2,45	0,85	0,80	0,85
Επενδεδυμένη με γυψοσανίδα, τσιμεντοσανίδα, ξυλοσανίδα ή άλλες πλάκες.	1,55	1,35	1,85	0,70	0,70	0,75

Συμβατικές τιμές U για παλαιά κτίρια

Για παλαιά κτίρια (ιδίως πριν το 1980) σχεδόν ποτέ δεν μπορούμε να βρούμε στοιχεία των στρώσεων υλικών των αδιαφανών δομικών στοιχείων. Σε αυτή την περίπτωση μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τυπικές τιμές συντελεστών θερμοπερατότητας που βρίσκονται στους Πίνακες 3.5α και 3.5β στην τεχνική οδηγία ΤΟΤΕΕ 20701-1/2017.

Πίνακας 3.5α. Τυπικές τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας για υφιστάμενα κατακόρυφα αδιαφανή δομικά στοιχεία που συναντώνται σε κτήρια, η οικοδομική άδεια των οποίων εκδόθηκε πριν από την εφαρμογή του Κ.Εν.Α.Κ. (2010).

Περιγραφή στοιχείου	Χωρίς θερμομονωτική προστασία			Με ανεπαρκή θερμομονωτική προστασία κατά Κ.Θ.Κ.		
	Σε επαφή με αέρα	Σε επαφή με μη θερμαινόμεν. χώρο	Σε επαφή με έδαφος	Σε επαφή με αέρα	Σε επαφή με μη θερμαινόμεν. χώρο	Σε επαφή με έδαφος
	$[W/(m^2 \cdot K)]$	$[W/(m^2 \cdot K)]$	$[W/(m^2 \cdot K)]$	$[W/(m^2 \cdot K)]$	$[W/(m^2 \cdot K)]$	$[W/(m^2 \cdot K)]$
Δομική οπτοπλινθοδομή						
Ανετίχριστη από μία ή δύο όψεις.	3,25	2,50	3,75	0,95	0,90	1,00
Επιχρισμένη και από τις δύο όψεις.	3,05	2,40	–	0,95	0,85	–
Επενδεδυμένη με διακοσμητική οπτοπλινθοδομή.	2,50	2,00	2,75	0,85	0,80	0,90
Επενδεδυμένη με αργολιθοδομή.	2,80	2,25	3,20	0,90	0,85	0,95
Επενδεδυμένη με μαρμάρινες πλάκες.	3,10	2,40	3,55	0,95	0,85	1,00
Επενδεδυμένη με γυψοσανίδα, τσιμεντοσανίδα, ξυλοσανίδα ή άλλες πλάκες.	1,90	1,65	2,05	0,80	0,75	0,85

Κτίρια με οικ.
Άδεια πριν το
1980



Συμβατικές τιμές U για παλαιά κτίρια

Για παλαιά κτίρια (ιδίως πριν το 1980) σχεδόν ποτέ δεν μπορούμε να βρούμε στοιχεία των στρώσεων υλικών των αδιαφανών δομικών στοιχείων. Σε αυτή την περίπτωση μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τυπικές τιμές συντελεστών θερμοπερατότητας που βρίσκονται στους Πίνακες 3.5α και 3.5β στην τεχνική οδηγία ΤΟΤΕΕ 20701-1/2017.

Κτίρια με οικ.
Άδεια πριν το
1980

Πίνακας 3.5β. Τυπικές τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας για υφιστάμενα οριζόντια αδιαφανή δομικά στοιχεία που συναντώνται σε κτήρια η οικοδομική άδεια των οποίων εκδόθηκε πριν από την εφαρμογή του Κ.Εν.Α.Κ. (2010).

Περιγραφή στοιχείου	Χωρίς θερμομονωτική προστασία			Με ανεπαρκή θερμομονωτική προστασία κατά Κ.Θ.Κ.		
	Σε επαφή με αέρα	Σε επαφή με μη θερμαινόμεν. χώρο	Σε επαφή με έδαφος	Σε επαφή με αέρα	Σε επαφή με μη θερμαιν. χώρο	Σε επαφή με έδαφος
	$[W/(m^2 \cdot K)]$	$[W/(m^2 \cdot K)]$	$[W/(m^2 \cdot K)]$	$[W/(m^2 \cdot K)]$	$[W/(m^2 \cdot K)]$	$[W/(m^2 \cdot K)]$
Επιστεγάσεις (με ή χωρίς ψευδοροφή)						
Συμβατικού τύπου δώμα.	3,05	–	–	0,95	–	–
Αντεστραμμένου τύπου δώμα.	–	–	–	0,95	–	–
Αεριζόμενο δώμα.	–	3,70	–	1,00	–	–
Φυτεμένο δώμα.	1,20	–	–	0,70	–	–
Οριζόντια οροφή κάτω από μη θερμομονωμένη στέγη.	3,70	–	–	1,00	–	–
Οροφή κάτω από μη θερμαινόμενο χώρο.	–	2,90	–	–	0,90	–
Κεραμοσκεπή επί κεκλιμένης πλάκας οπλισμένου σκυροδέματος.	4,70	–	–	1,05	–	–
Κεραμοσκεπή επί κεκλιμένης ξύλινης στέγης.	4,25	–	–	1,00	–	–
Δάπεδα με επικάλυψη παντός τύπου (ξύλο, μάρμαρο, πλακάκι, μωσαϊκό κ.τ.λ.)						
Επάνω από ανοικτό υπόστυλο χώρο (πυλωτή).	2,75	–	–	0,90	–	–
Επί εδάφους.	–	–	3,10	–	–	0,95
Επάνω από μη θερμαινόμενο χώρο.	–	2,00	–	–	0,80	–



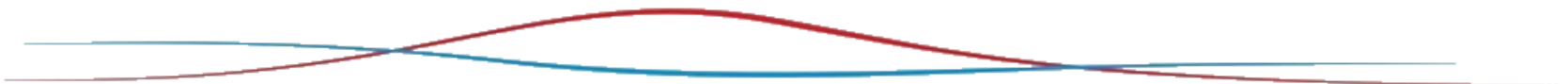
Συντελεστής θερμοπερατότητας διαφανών δομικών στοιχείων

Τα διαφανή δομικά στοιχεία αποτελούνται και αυτά από στρώσεις (π.χ. υαλοπινάκων, πιθανού διακένου αέρα, κτλ.), ενώ είναι σύνθετα στην επιφάνειά τους δηλ. αποτελούνται από το πλαίσιο και τον υαλοπίνακα.

Στα διαφανή δομικά στοιχεία, δηλαδή στα κουφώματα, η τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας του κουφώματος (U_w) μπορεί:

- είτε να υπολογισθεί αναλυτικά
- είτε να θεωρηθεί δεδομένη με αποδοχή της πιστοποιημένης τιμής που διαθέτει ο κατασκευαστής.

Στη 2^η περίπτωση μπορεί να ληφθούν από βιβλιογραφικούς Πίνακες για τυποποιημένα είδη κουφωμάτων.





Συντελεστής θερμοπερατότητας διαφανών δομικών στοιχείων

Α. Τιμές U_w από Πίνακες τυποποιημένων ειδών κουφωμάτων

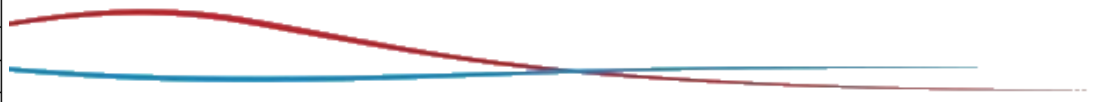
Χρησιμοποιούνται οι τυπικές τιμές των πινάκων 3.13.α, 3.13.β και 3.13.γ της [TOTEΕ 20701-1/2017](#).

Πίνακας 3.13.α Τυπικές τιμές συντελεστή θερμοπερατότητας κουφωμάτων U_w [$W/(m^2 \cdot K)$] χωρίς εξωτερικά προστατευτικά φύλλα.

Τύπος πλαισίου	Ποσοστό πλαισίου F_f	Υαλοπίνακας μόνος	Δίδυμος υαλοπίνακας		Δίδυμος υαλοπίνακας με επίστρωση μεμβράνης χαμηλής εκπεμπτικότητας	
			με διάκενο αέρα 6 mm	με διάκενο αέρα 12 mm	με διάκενο αέρα 6 mm	με διάκενο Αέρα 12 mm
	[%]	[$W/(m^2 \cdot K)$]]	[$W/(m^2 \cdot K)$]]	[$W/(m^2 \cdot K)$]]	[$W/(m^2 \cdot K)$]]	[$W/(m^2 \cdot K)$]]
Μεταλλικό πλαίσιο χωρίς θερμοδιακοπή.	20%	6,0	4,1	3,7	3,6	3,0
	30%	6,1	4,5	4,1	4,0	3,5
	40%	6,2	4,8	4,5	4,4	4,0
Μεταλλικό πλαίσιο με θερμοδιακοπή 12 mm	20%	–	3,6	3,2	3,1	2,6
	30%	–	3,5	3,2	3,1	2,7
	40%	–	3,5	3,2	3,0	2,8
Μεταλλικά πλαίσια με θερμοδιακοπή 24 mm	20%	–	3,4	3,0	3,0	2,3
	30%	–	3,3	3,0	2,9	2,4
	40%	–	3,2	3,0	2,9	2,4
Συνθετικό πλαίσιο	20%	–	3,4	3,0	2,9	2,2
	30%	–	3,3	2,9	2,9	2,3
	40%	–	3,2	2,9	2,9	2,4
Ξύλινο πλαίσιο	20%	5,0	3,2	2,9	2,7	2,1
	30%	4,7	3,1	2,8	2,6	2,1
	40%	4,3	3,0	2,7	2,6	2,1
Διπλό κούφωμα (ξύλινο)*	20%	2,4	–	–	–	–
	30%	2,3	–	–	–	–
	40%	2,1	–	–	–	–
Διπλό κούφωμα (αλουμινίου)*	20%	3,9	–	–	–	–
	30%	3,6	–	–	–	–
	40%	3,3	–	–	–	–

Εξωτερικές πόρτες χωρίς υαλοπίνακες [$W/(m^2 \cdot K)$]		
Υλικό	Σε επαφή με εξωτερικό αέρα	Σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο
Μέταλλο	6,0	4,0
Συνθετικό	3,5	2,7
Ξύλο	3,5	2,7

* Οι τιμές για το διπλό ξύλινο κούφωμα ισχύουν, εφόσον και τα δύο φύλλα του κούφωματος δεν παρουσιάζουν προβλήματα αεροστεγανότητας. Σε αντίθετη περίπτωση ισχύουν οι τιμές του μονού παράθυρου.





Συντελεστής θερμοπερατότητας διαφανών δομικών στοιχείων

Α. Τιμές U_w από Πίνακες τυποποιημένων ειδών κουφωμάτων

Χρησιμοποιούνται οι τυπικές τιμές των πινάκων 3.13.α, 3.13.β και 3.13.γ της [TOTEΕ 20701-1/2017](#).

Πίνακας 3.13.β Τυπικές τιμές μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας κουφωμάτων U_w [$W/(m^2 \cdot K)$] με χρήση ρολών, ανεξαρτήτως της αεροστεγανότητας των ρολών.

Τύπος πλαισίου	Ποσοστό πλαισίου F_f	Υαλοπίνακας μονός	Δίδυμος υαλοπίνακας		Δίδυμος υαλοπίνακας με επίστρωση μεμβράνης χαμηλής εκπεμπτικότητας	
			με διάκενο αέρα 6 mm	με διάκενο αέρα 12 mm	με διάκενο αέρα 6 mm	με διάκενο αέρα 12mm
	[%]	[$W/(m^2 \cdot K)$]	[$W/(m^2 \cdot K)$]	[$W/(m^2 \cdot K)$]	[$W/(m^2 \cdot K)$]	[$W/(m^2 \cdot K)$]
Μεταλλικό πλαίσιο χωρίς θερμοδιακοπή.	20%	4.5	3.3	3.0	2.9	2.5
	30%	4.6	3.6	3.3	3.2	2.9
	40%	4.7	3.8	3.6	3.5	3.2
Μεταλλικό πλαίσιο με θερμοδιακοπή 12 mm	20%	-	2.9	2.7	2.6	2.2
	30%	-	2.9	2.7	2.6	2.3
	40%	-	2.9	2.7	2.5	2.4
Μεταλλικά πλαίσια με θερμοδιακοπή 24 mm	20%	-	2.8	2.5	2.5	2.0
	30%	-	2.7	2.5	2.4	2.1
	40%	-	2.7	2.5	2.4	2.1
Συνθετικό πλαίσιο	20%	-	2.8	2.5	2.4	1.9
	30%	-	2.7	2.4	2.4	2.0
	40%	-	2.7	2.4	2.4	2.1
Ξύλινο πλαίσιο	20%	3.9	2.7	2.4	2.3	1.8
	30%	3.7	2.6	2.4	2.2	1.8
	40%	3.4	2.5	2.3	2.2	1.8

Πίνακας 3.13.γ Τυπικές τιμές μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας κουφωμάτων U_w [$W/(m^2 \cdot K)$] με χρήση με εξώφυλλων, αδιαφώρας της αεροστεγανότητάς τους.

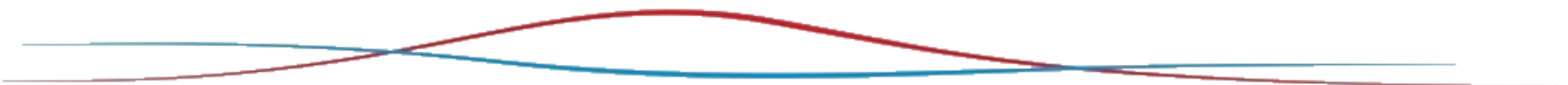
Τύπος πλαισίου	Ποσοστό πλαισίου F_f	Υαλοπίνακας μονός	Δίδυμος υαλοπίνακας		Δίδυμος υαλοπίνακας με επίστρωση μεμβράνης χαμηλής εκπεμπτικότητας	
			με διάκενο αέρα 6 mm	με διάκενο αέρα 12 mm	με διάκενο αέρα 6 mm	με διάκενο αέρα 12mm
	[%]	[$W/(m^2 \cdot K)$]	[$W/(m^2 \cdot K)$]	[$W/(m^2 \cdot K)$]	[$W/(m^2 \cdot K)$]	[$W/(m^2 \cdot K)$]
Μεταλλικό πλαίσιο χωρίς θερμοδιακοπή.	20%	4.9	3.5	3.2	3.2	2.7
	30%	5.0	3.9	3.5	3.5	3.1
	40%	5.1	4.1	3.9	3.8	3.5
Μεταλλικό πλαίσιο με θερμοδιακοπή 12 mm	20%	-	3.2	2.8	2.8	2.4
	30%	-	3.1	2.8	2.8	2.4
	40%	-	3.1	2.8	2.7	2.5
Μεταλλικά πλαίσια με θερμοδιακοπή 24 mm	20%	-	3.0	2.7	2.7	2.1
	30%	-	2.9	2.7	2.6	2.2
	40%	-	2.8	2.7	2.6	2.2
Συνθετικό πλαίσιο	20%	-	3.0	2.7	2.6	2.0
	30%	-	2.9	2.6	2.6	2.1
	40%	-	2.8	2.6	2.6	2.2
Ξύλινο πλαίσιο	20%	4.2	2.8	2.6	2.4	1.9
	30%	4.0	2.8	2.5	2.4	1.9
	40%	3.7	2.7	2.4	2.4	1.9

Συντελεστής θερμοπερατότητας διαφανών δομικών στοιχείων

Β. Αναλυτικός υπολογισμός U_w

$$U_w = \frac{A_f \cdot U_f + A_g \cdot U_g + \ell_g \cdot \Psi_g}{A_f + A_g}$$

όπου	U_w	[W/(m ² ·K)]	ο συντελεστής θερμοπερατότητας όλου του κουφώματος,
	U_f	[W/(m ² ·K)]	ο συντελεστής θερμοπερατότητας του πλαισίου του κουφώματος,
	U_g	[W/(m ² ·K)]	ο συντελεστής θερμοπερατότητας του υαλοπίνακα του κουφώματος (μονού, διπλού ή περισσότερων φύλλων),
	A_f	[m ²]	το εμβαδό επιφάνειας του πλαισίου του κουφώματος,
	A_g	[m ²]	το εμβαδό επιφάνειας του υαλοπίνακα του κουφώματος,
	ℓ_g	[m]	το μήκος της θερμογέφυρας του υαλοπίνακα του κουφώματος (το μήκος συναρμογής πλαισίου - υαλοπίνακα, δηλαδή η περίμετρος του υαλοπίνακα),
	Ψ_g	[W/(m·K)]	ο συντελεστής γραμμικής θερμοπερατότητας του υαλοπίνακα του κουφώματος.



Συντελεστής θερμοπερατότητας διαφανών δομικών στοιχείων

Β. Αναλυτικός υπολογισμός U_w

$$U_w = \frac{A_f \cdot U_f + A_g \cdot U_g + \ell_g \cdot \Psi_g}{A_f + A_g}$$

Συντελεστής θερμοπερατότητας
πλαisiού, U_f

Λαμβάνεται από τα πιστοποιητικά
μετρήσεων του παραγωγού.
Ενδεικτικές τιμές δίνονται στον πίνακα
10 της [TOTEΕ 20701-2/2017](#) ή από πίνακα
3.9 της [TOTEΕ 20701-1/2017](#) ανάλογα με
το υλικό κατασκευής του.

Πίνακας 10. Τυπικές τιμές συντελεστών θερμοπερατότητας πλαisiού (πηγή: EN ISO 10077-1).

Υλικό πλαisiού	Χαρακτηριστικό πλαisiού	Συντελεστής θερμοπερατότητας πλαisiού U_f [$W/(m^2 \cdot K)$]
Μεταλλικό πλαisiού	Χωρίς θερμοδιακοπή	7,0
	Με θερμοδιακοπή	1,0 - 4,0
Συνθετικό πλαisiού	Πολυουρεθάνη	2,8
	PVC με δύο θαλάμους	2,2
	PVC με τρεις θαλάμους	2,0
	PVC πολυθαλαμικό	1,0 - 2,0
Ξύλινο πλαisiού	Σκληρής ξυλείας μέσου πάχους πλαisiού - κάσας 5 cm	2,4
	Μαλακής ξυλείας μέσου πάχους πλαisiού - κάσας 5 cm	2,0
	Σκληρής ξυλείας μέσου πάχους πλαisiού - κάσας 10 cm	1,7
	Μαλακής ξυλείας μέσου πάχους πλαisiού - κάσας 10 cm	1,5

Πίνακας 3.9. Τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας πλαisiού, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για
τον προσδιορισμό του συντελεστή θερμοπερατότητας κουφωμάτων κατά την ενεργειακή
επιθεώρηση κτηρίων.

Τύπος πλαisiού	U_f [$W/(m^2 \cdot K)$]
Μεταλλικό πλαisiού χωρίς θερμοδιακοπή	7,00
Μεταλλικό πλαisiού με θερμοδιακοπή 12 mm	3,50
Μεταλλικό πλαisiού με θερμοδιακοπή 24 mm	2,80
Συνθετικό πλαisiού	2,80
Ξύλινο πλαisiού	2,20



Συντελεστής θερμοπερατότητας διαφανών δομικών στοιχείων

Β. Αναλυτικός υπολογισμός U_w

$$U_w = \frac{A_f \cdot U_f + A_g \cdot U_g + \ell_g \cdot \Psi_g}{A_f + A_g}$$

Συντελεστής θερμοπερατότητας υαλοπίνακα,
 U_g

Λαμβάνεται από τη σήμανση CE του προϊόντος. Ενδεικτικές τιμές δίνονται στον πίνακα 9 της [TOTEΕ 20701-2/2017](#) ή από Πίνακα 3.8 της [TOTEΕ 20701-1/2017](#) ανάλογα με το υλικό κατασκευής.

Πίνακας 3.8. Τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας του υαλοπίνακα, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό του συντελεστή θερμοπερατότητας κουφωμάτων κατά την ενεργειακή επιθεώρηση κτηρίων.

Τύπος υαλοπίνακα	U_g
	$[W/(m^2 \cdot K)]$
Μονός υαλοπίνακας	5,70
Δίδυμος υαλοπίνακας με διάκενο αέρα 6 mm	3,30
Δίδυμος υαλοπίνακας με διάκενο αέρα 12 mm	2,80
Δίδυμος υαλοπίνακας με διάκενο 6mm αέρα και με επίστρωση μεμβράνης χαμηλής εκπεμπτικότητας ($\epsilon = 0,10$)	2,60
Δίδυμος υαλοπίνακας με διάκενο 12mm αέρα και με επίστρωση μεμβράνης χαμηλής εκπεμπτικότητας ($\epsilon = 0,10$)	1,80
Υαλότουβλα	3,50

Πίνακας 9. Τυπικές τιμές συντελεστών θερμοπερατότητας υαλοπινάκων (πηγή: EN ISO 10077-1).

Υάλωση			$U_g [W/(m^2 \cdot K)]$ για διαφορετικούς τύπους αερίων στο διάκενο των υαλοπινάκων			
Τύπος υάλωσης	Υαλοπίνακας	Συντελεστής εκπομπής	Διαστάσεις [mm]	Αέρας	Αργό	Κρυπτό
Διπλή	Χωρίς επίστρωση χαμηλής εκπομπής. Συνήθεις υαλοπίνακες	0,89	4-6-4	3,3	3,0	2,8
			4-8-4	3,1	2,9	2,7
			4-12-4	2,8	2,7	2,6
			4-16-4	2,7	2,6	2,6
			4-20-4	2,7	2,6	2,6
	Με επίστρωση χαμηλής εκπομπής ενός φύλλου	$\leq 0,10$	4-6-4	2,6	2,2	1,7
			4-8-4	2,2	1,9	1,4
			4-12-4	1,8	1,5	1,3
			4-16-4	1,6	1,4	1,3
			4-20-4	1,6	1,4	1,4
	Με επίστρωση χαμηλής εκπομπής ενός φύλλου	$\leq 0,05$	4-6-4	2,5	2,1	1,5
			4-8-4	2,1	1,7	1,3
			4-12-4	1,7	1,3	1,1
			4-16-4	1,4	1,2	1,2
			4-20-4	1,5	1,2	1,2
Τριπλή	Χωρίς επίστρωση χαμηλής εκπομπής. Συνήθεις υαλοπίνακες	0,89	4-6-4-6-4	2,3	2,1	1,8
			4-8-4-8-4	2,1	1,9	1,7
			4-12-4-12-4	1,9	1,8	1,6
	Με επίστρωση χαμηλής εκπομπής δύο φύλλων	$\leq 0,10$	4-6-4-6-4	1,7	1,3	1,0
			4-8-4-8-4	1,4	1,1	0,8
			4-12-4-12-4	1,1	0,9	0,6
	Με επίστρωση χαμηλής εκπομπής δύο φύλλων	$\leq 0,05$	4-6-4-6-4	1,6	1,2	0,9
			4-8-4-8-4	1,3	1,0	0,7
			4-12-4-12-4	1,0	0,8	0,5



Συντελεστής θερμοπερατότητας διαφανών δομικών στοιχείων

Β. Αναλυτικός υπολογισμός U_w

$$U_w = \frac{A_f \cdot U_f + A_g \cdot U_g + \ell_g \cdot \Psi_g}{A_f + A_g}$$

Συντελεστής γραμμικής θερμοπερατότητας,
 Ψ_g

Λαμβάνεται από Πίνακες 11^α και 11^β της
[ΤΟΤΕΕ 20701-2/2017](#) ή από Πίνακα 3.10 της
[ΤΟΤΕΕ 20701-1/2017](#) ανάλογα με το υλικό
κατασκευής.

Πίνακας 3.10. Τυπικές τιμές γραμμικής θερμοπερατότητας στη συναρμογή πλαισίου-υαλοπλάκα για συνήθεις τύπους αποστάτη.

Τύπος πλαισίου	Γραμμική θερμοπερατότητα για διάφορους τύπους υαλοπινάκων Ψ_g [W/(m.K)]	
	Χωρίς επίστρωση χαμηλής εκπομπής	Με επίστρωση χαμηλής εκπομπής
Μεταλλικό πλαίσιο χωρίς θερμοδιακοπή	0,02	0,05
Μεταλλικό πλαίσιο με θερμοδιακοπή	0,08	0,11
Συνθετικό πλαίσιο	0,06	0,08
Ξύλινο πλαίσιο	0,06	0,08

Πίνακας 11α. Τυπικές τιμές γραμμικής θερμοπερατότητας Ψ_g στη συναρμογή πλαισίου - υαλοπλάκα για συνήθεις τύπους αποστάτη. (Πηγή: EN ISO 10077-1).

Τύπος πλαισίου	Γραμμική θερμοπερατότητα για διάφορους τύπους υαλοπινάκων Ψ_g [W/(m.K)]	
	Διπλή ή τριπλή υάλωση	Διπλή με επίστρωση χαμηλής εκπομπής ενός φύλλου
	Χωρίς επίστρωση χαμηλής εκπομπής	Τριπλή υάλωση με επίστρωση χαμηλής εκπομπής δύο φύλλων
Μεταλλικό πλαίσιο χωρίς θερμοδιακοπή	0,02	0,05
Μεταλλικό πλαίσιο με θερμοδιακοπή	0,08	0,11
Συνθετικό πλαίσιο	0,06	0,08
Ξύλινο πλαίσιο	0,06	0,08

Πίνακας 11β. Τυπικές τιμές γραμμικής θερμοπερατότητας στη συναρμογή πλαισίου - υαλοπλάκα, για θερμικά βελτιωμένους τύπους αποστάτη (Πηγή: EN ISO 10077-1).

Τύπος πλαισίου	Γραμμική θερμοπερατότητα για διάφορους τύπους υαλοπινάκων Ψ_g [W/(m.K)]	
	Διπλή ή τριπλή υάλωση	Διπλή με επίστρωση χαμηλής εκπομπής ενός φύλλου
	Χωρίς επίστρωση χαμηλής εκπομπής	Τριπλή υάλωση με επίστρωση χαμηλής εκπομπής δύο φύλλων
Μεταλλικό πλαίσιο χωρίς θερμοδιακοπή	0,01	0,04
Μεταλλικό πλαίσιο με θερμοδιακοπή	0,06	0,08
Συνθετικό πλαίσιο	0,05	0,06
Ξύλινο πλαίσιο	0,05	0,06



Συντελεστής θερμοπερατότητας σύνθετου δομικού στοιχείου

Σε μεγάλα κτίρια με πολλές θερμικές ζώνες, ο μεμονωμένος χειρισμός ξεχωριστά του κάθε δομικού στοιχείου σε κάθε όψη οδηγεί σε πολύ μεγάλο όγκο δεδομένων, πράγμα που δεν είναι πολύ εύχρηστο ιδίως για πρακτικούς σκοπούς μηχανικού (π.χ. ενεργειακές επιθεωρήσεις). Ένας εναλλακτικός τρόπος επεξεργασίας είναι ο υπολογισμός του συντ. θερμοπερατότητας του σύνθετου δομικού στοιχείου που απαρτίζεται από τα επιμέρους δομικά στοιχεία. Έτσι, μπορεί να υπολογιστεί ένας μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας του σύνθετου δομικού στοιχείου (π.χ. μίας όψης ή ενός τοίχου που έχει διαφορετικά στοιχεία π.χ. φέρων οργανισμό και πλήρωση) ως εξής:

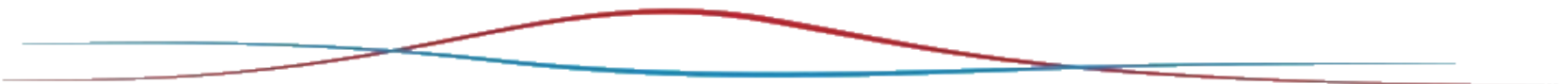
$$U_{m, \text{συνθ.στοιχείο}} = \frac{\sum_{i=1}^k A_i U_i}{\sum_{i=1}^k A_i}$$

Όπου:

A_i (m²) είναι το εμβαδόν του δομικού στοιχείου i επί του σύνθετου δομικού στοιχείου

U_i (W/(m²K)) είναι ο συντελεστής θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου i

k είναι το πλήθος των επιμέρους δομικών στοιχείων που απαρτίζουν το σύνθετο δομικό στοιχείο.



Συντελεστής θερμοπερατότητας σύνθετου δομικού στοιχείου

Κλασικό παράδειγμα σύνθετου δομικού στοιχείου αποτελεί μία τοιχοποιΐα που αποτελείται από τον φέρον οργανισμό (κολώνες οπλισμένου σκυροδέματος) και την πλήρωση (οπτοπλινθοδομή).

Μπορεί να υπολογιστεί ο μέσος συντ. θερμοπερατότητας συνολικά του τοίχου αξιοποιώντας τον τύπο της προηγούμενης διαφάνειας, όπου τα εμβαδά των επιφανειών σκυροδέματος και οπτοπλινθοδομής λαμβάνονται π.χ. από διαθέσιμα Σχέδια ή συμβατικά από τον Πίνακα 3.1 της [TOTEΕ 20701-1/2017](#) αν γνωρίζουμε περίπου την ηλικία του κτιρίου.

Ο Πίνακας 3.1 μας δίνει το % συμμετοχής του φ.ο. Αν α είναι το ποσοστό συμμετοχής του φ.ο. τότε:

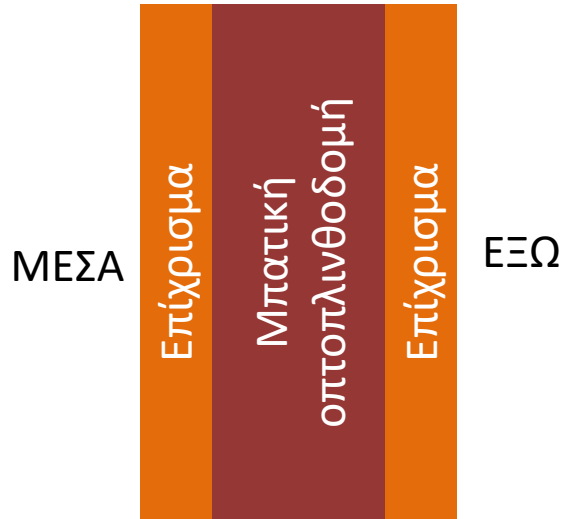
$$\alpha = \frac{A_{\phi.o.}}{A_{\phi.o.} + A_{\pi\lambda.}}$$

$$\text{Δηλ. } U_{m,wall} = \frac{A_{\phi.o.} U_{\phi.o.} + A_{\pi\lambda.} U_{\pi\lambda.}}{A_{\phi.o.} + A_{\pi\lambda.}} = \alpha U_{\phi.o.} + (1 - \alpha) U_{\pi\lambda.}$$



Υπολογισμός της επίδρασης θερμομόνωσης στον συντ. θερμοπερατότητας

ΠΡΙΝ (χωρίς μόνωση)



Συντελεστής θερμοπερατότητας ΠΡΙΝ τη θερμομόνωση:

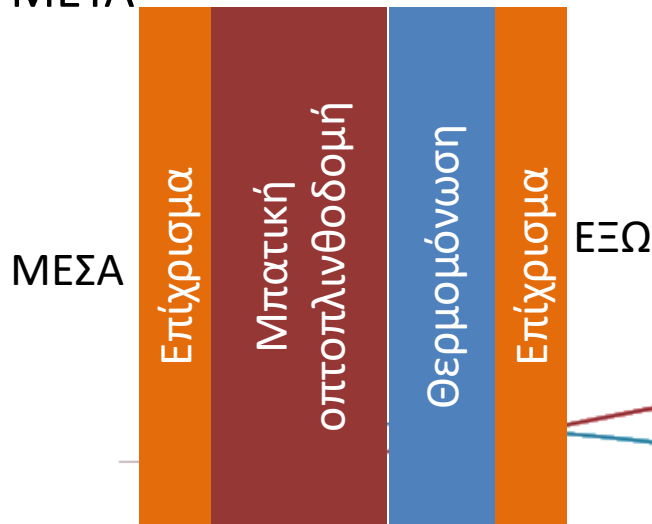
$$U_{\text{ΠΡΙΝ}} = \frac{1}{R_i + R_a + R_\delta + \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j}}$$

$$U_{\text{ΜΕΤΑ}} = \frac{1}{R_i + R_a + R_\delta + \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} + \frac{d_{\mu\text{ov}}}{\lambda_{\mu\text{ov}}}} =$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{\frac{1}{R_i + R_a + R_\delta + \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j}} + \frac{d_{\mu\text{ov}}}{\lambda_{\mu\text{ov}}}}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow U_{\text{ΜΕΤΑ}} = \frac{1}{\frac{1}{U_{\text{ΠΡΙΝ}}} + \frac{d_{\mu\text{ov}}}{\lambda_{\mu\text{ov}}}}$$

ΜΕΤΑ



Ισχύει μόνο όταν οι στρώσεις του υφιστάμενου δομικού στοιχείου εμφανίζονται ξανά στην προτεινόμενη κατάσταση



Άσκηση 1 – Βέλτιστο πάχος θερμομόνωσης

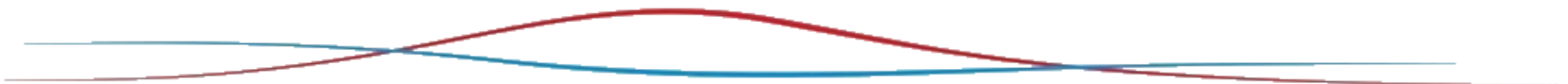
Να υπολογιστεί το ελάχιστο απαιτούμενο πάχος θερμομόνωσης εξηλασμένης πολυστερίνης με συντ. θερμικής αγωγιμότητας $\lambda=0,035 \text{ W/(mK)}$ που πρέπει να εφαρμοστεί σε ένα συμβατικού τύπου δώμα χωρίς θερμομόνωση, ώστε ο συντελεστής θερμοπερατότητας του δώματος μετά την εφαρμογή της θερμομόνωσης να είναι το πολύ ίσος με $0,5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.

Λύση

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας μη θερμομονωμένου συμβατικού δώματος μπορεί να βρεθεί από Πίνακα 3.5β της ΤΟΤΕΕ 20701-1/2017: $U_{\text{ΠΡΙΝ}} = 3,05 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

Μετά την εφαρμογή της θερμομόνωσης XPS, ο συντελεστής θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου (δώματος) θα γίνει:

$$U_{\text{ΜΕΤΑ}} = \frac{1}{\frac{1}{U_{\text{ΠΡΙΝ}}} + \frac{d_{\mu\text{ον}}}{\lambda_{\mu\text{ον}}}} \Leftrightarrow d_{\mu\text{ον}} = \lambda_{\mu\text{ον}} \left(\frac{1}{U_{\text{ΜΕΤΑ}}} - \frac{1}{U_{\text{ΠΡΙΝ}}} \right) = 0,035 \left(\frac{1}{0,5} - \frac{1}{3,05} \right) = 0,0585 \text{ m, δηλ. 6 cm.}$$





Άσκηση 2 – Συντελεστής θερμοπερατότητας κουφώματος

Να υπολογιστεί ο συντελεστής θερμοπερατότητας U_w κουφώματος διαστάσεων $1,3\text{m} \times 1,8\text{m}$ με πλαίσιο αλουμινίου (μεταλλικό πλαίσιο) χωρίς θερμοδιακοπή και διπλό υαλοπίνακα διακένου αέρα 6mm . Δίδεται ότι η επιφάνεια του πλαισίου καταλαμβάνει το 20% του κουφώματος και η περίμετρος του υαλοπίνακα είναι 5m . Να συγκριθεί η τιμή με την συμβατική που βρίσκεται στον Πίνακα 3.13^α της ΤΟΤΕΕ 20701-1/2017.

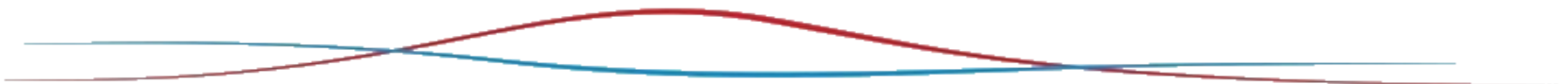
Λύση

Καταρχήν, η συμβατική τιμή του συντ. θερμοπερατότητας κουφώματος με τα χαρακτηριστικά της εκφώνησης βρίσκεται στον Πίνακα 3.13^α της ΤΟΤΕΕ 20701-1/2017, $U_w = 4,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Αναλυτικά ο συντ. θερμοπερατότητας υπολογίζεται:

$$U_w = \frac{A_f U_f + A_g U_g + l_g \Psi_g}{A_f + A_g} \quad (1)$$

Δίδεται ότι το πλαίσιο καταλαμβάνει το 20% του κουφώματος εμβαδού $A_f + A_g = 1,3 * 1,8 = 2,34\text{m}^2$, δηλ. $\frac{A_f}{A_f + A_g} = 0,2 \Leftrightarrow A_f = 0,2 * 2,34 = 0,468 \text{ m}^2$. Συνεπώς, $A_g = 2,34 - 0,468 = 1,872 \text{ m}^2$





Άσκηση 2 – Συντελεστής θερμοπερατότητας κουφώματος

Να υπολογιστεί ο συντελεστής θερμοπερατότητας U_w κουφώματος διαστάσεων $1,3\text{m} \times 1,8\text{m}$ με πλαίσιο αλουμινίου (μεταλλικό πλαίσιο) χωρίς θερμοδιακοπή και διπλό υαλοπίνακα διακένου αέρα 6mm . Δίδεται ότι η επιφάνεια του πλαισίου καταλαμβάνει το 20% του κουφώματος και η περίμετρος του υαλοπίνακα είναι 5m . Να συγκριθεί η τιμή με την συμβατική που βρίσκεται στον Πίνακα 3.13^α της ΤΟΤΕΕ 20701-1/2017.

Λύση

Ο συντ. θερμοπερατότητας του πλαισίου μπορεί να βρεθεί από Πίνακα 10 της ΤΟΤΕΕ 20701-2/2017 ίσος με $U_f = 7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Ο συντ. θερμοπερατότητας του υαλοπίνακα βρίσκεται από Πίνακα 3.8 της [ΤΟΤΕΕ 20701-1/2017](#) ίσος με $U_g = 3,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Η θερμογέφυρα συναρμογής μεταξύ πλαισίου και υαλοπίνακα βρίσκεται από Πίνακα 11^α της ΤΟΤΕΕ 20701-2/2017 ίση με $\Psi_g = 0,02 \text{ W}/(\text{mK})$

$$\text{Οπότε, από σχέση (1)} \Rightarrow U_w = \frac{0,468 \cdot 7 + 1,872 \cdot 3,3 + 5 \cdot 0,02}{2,34} = 4,082 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Αρκετά κοντά στην συμβατική τιμή που λαμβάνεται από Πίνακα 1.13^α της ΤΟΤΕΕ 20701-1/2017.



Άσκηση 3 – Συντελεστής θερμοπερατότητας σύνθετου στοιχείου

Οι κατακόρυφοι τοίχοι ενός κτιρίου αποτελούνται από φέρον οργανισμό οπλισμένο σκυρόδεμα και πλήρωση μπατική οπτοπλινθοδομή με διάκενο αέρα 5cm. Τα δομικά στοιχεία έχουν τις εξής στρώσεις:

Φέρον οργανισμός

Υλικά στρώσεων	λ (W/mK)	Πάχος d (m)
Εξωτερικό επίχρισμα (ασβεστοκονίαμα)	0,87	0,01
Τσιμεντοκονίαμα	1,4	0,02
Οπλισμένο σκυρόδεμα	2,5	0,2
Εσωτερικό επίχρισμα (ασβεστοκονίαμα)	0,87	0,01

Πλήρωση

Υλικά στρώσεων	λ (W/mK)	Πάχος d (m)
Εξωτερικό επίχρισμα (ασβεστοκονίαμα)	0,87	0,01
Οπτοπλινθοδομή	0,45	0,18
Διάκενο αέρα		0,05
Τσιμεντοκονίαμα	1,4	0,02
Εσωτερικό επίχρισμα (ασβεστοκονίαμα)	0,87	0,01

Αν ο φέρον οργανισμός καταλαμβάνει το 20% της σύνθετης τοιχοποιΐας:

1. Να υπολογιστεί ο μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας της σύνθετης τοιχοποιΐας.
2. Να εκτιμηθεί το ελάχιστο απαιτούμενο πάχος θερμομόνωσης XPS με $\lambda=0,035$ W/(mK) που πρέπει να εφαρμοστεί στη σύνθετη τοιχοποιΐα ώστε ο μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας της σύνθετης τοιχοποιΐας να μην υπερβαίνει την τιμή $0,6$ W/(m²K).



Άσκηση 3 – Συντελεστής θερμοπερατότητας σύνθετου στοιχείου

Λύση

1. Καταρχήν, ο συντελεστής θερμοπερατότητας του κάθε επιμέρους δομικού στοιχείου υπολογίζεται από τη σχέση:

$$U = \frac{1}{R_i + R_a + R_\delta + \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j}} \quad (1)$$

Όπου $R_i = 0,13 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ και $R_a = 0,04 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, από Πίνακα 2β της TOTEE 20701-2/2017.

Ειδικά για την πλήρωση, η θερμική αντίσταση του διακένου αέρα είναι $R_\delta = 0,18 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ από Πίνακα 3^α της TOTEE 20701-2/2017.

Για τον φέρον οργανισμό αντικαθιστούμε τα R_i και R_a και τα πάχη και λ των στρώσεων στη σχέση (1) και βρίσκουμε: $U_{\phi.o.} = 3,48 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Για την πλήρωση αντικαθιστούμε τα R_i , R_δ και R_a , και τα πάχη και λ των στρώσεων στη σχέση (1) και βρίσκουμε: $U_{\pi\lambda.} = 1,27 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Δεδομένου ότι ο φ.ο. καταλαμβάνει το 20% της τοιχοποιΐας, τότε ο μέσος συντ. θερμοπερατότητας της σύνθετης τοιχοποιΐας θα είναι: $U_{m,wall} = \alpha U_{\phi.o.} + (1 - \alpha) U_{\pi\lambda.} = 1,712 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$



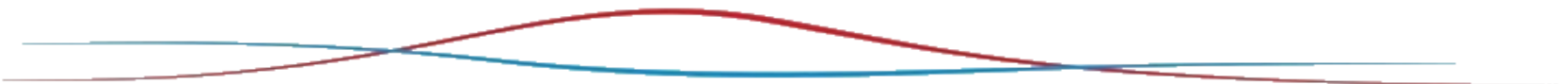
Άσκηση 3 – Συντελεστής θερμοπερατότητας σύνθετου στοιχείου

Λύση

2. Ο μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας της σύνθετης τοιχοποιΐας μετά την εφαρμογή της θερμομόνωσης θα είναι:

$$U_{m,wall,META} = \frac{1}{\frac{1}{U_{m,wall,PPIN}} + \frac{d_{\mu\sigma\nu}}{\lambda_{\mu\sigma\nu}}}$$

Από όπου προκύπτει $d_{\mu\sigma\nu} = \lambda_{\mu\sigma\nu} \left(\frac{1}{U_{m,wall,META}} - \frac{1}{U_{m,wall,PPIN}} \right) = 0,035 \left(\frac{1}{0,6} - \frac{1}{1,712} \right) = 0,037 \text{ m}$, δηλ. 4 cm.





Άσκηση 4 – Συντελεστής θερμοπερατότητας δομικού στοιχείου με στρώσεις

Προσδιορίσατε στο παρακάτω σύστημα (εξωτερικό τοιχείο με μόνωση στην εσωτερική του πλευρά) το ελάχιστο πάχος του μονωτικού που θα απαιτηθεί, έτσι που ο συντελεστής θερμοπερατότητας του συστήματος να είναι μικρότερος των $0.700 \text{ W/m}^2\text{K}$.

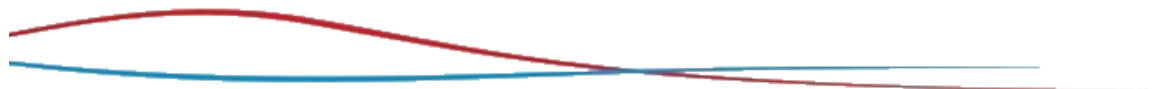
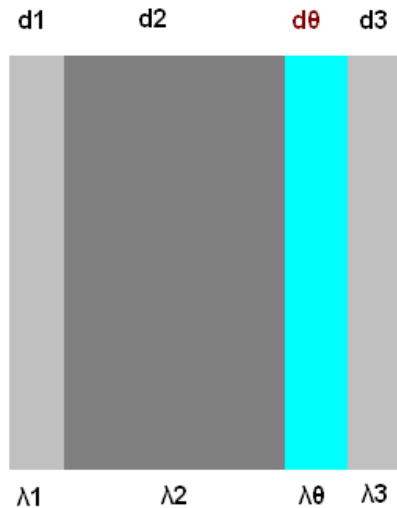
(Σημείωση: τα θερμομονωτικά υλικά διατίθενται σε πάχη πολλαπλάσια του 1 cm)

Δίνονται:

$$R_i = 0.13, \quad R_a = 0.04 \text{ W / m}^2 \text{ grad}$$

$$\lambda_{\theta} = 0.030 \text{ W / m K}, \quad \lambda_1 = \lambda_3 = 0.70 \text{ W / m K}, \quad \lambda_2 = 1.7 \text{ W / m K}$$

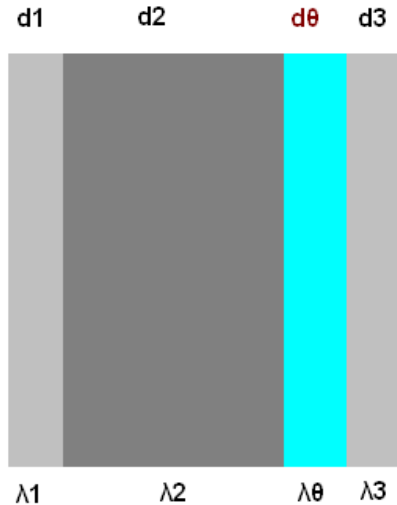
$$d_1 = 3 \text{ cm}, \quad d_2 = 15 \text{ cm}, \quad d_3 = 3 \text{ cm}$$





Άσκηση 4 – Συντελεστής θερμοπερατότητας δομικού στοιχείου με στρώσεις

Λύση



Πρέπει να ισχύει : $U_V = \frac{1}{R_{o\lambda}} \leq 0,70 \Rightarrow R_{o\lambda} \geq \frac{1}{U_V} = \frac{1}{0,70} = 1.429$

$$R_{o\lambda} = R_i + \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_i} + R_a = (0,13 + \frac{0,03}{0,70} + \frac{0,15}{1,70} + \frac{d_\theta}{\lambda_\theta} + \frac{0,03}{0,70} + 0,04) \geq 1,429 \Rightarrow$$

$$\frac{d_\theta}{\lambda_\theta} \geq 1,429 - (0,13 + \frac{0,03}{0,70} + \frac{0,15}{1,70} + \frac{0,03}{0,70} + 0,04) \Rightarrow \frac{d_\theta}{\lambda_\theta} \geq 1,429 - (0,13 + 0,043 + 0,088 + 0,043 + 0,04) \Rightarrow$$

$$\frac{d_\theta}{\lambda_\theta} \geq 1,429 - 0,344 \Rightarrow \frac{d_\theta}{\lambda_\theta} \geq 1,085 \Rightarrow d_\theta = 1,085 * \lambda_\theta = 1,085 * 0,03 = 0,032 \text{ m} = 3,2 \text{ cm}$$

Επιλέγω $d_\theta = 4 \text{ cm}$

