

ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΤΜ. ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

# Ενεργειακή Διαχείριση & Εξοικονόμηση Ενέργειας

**ΔΙΑΛΕΞΗ 04: ΘΕΡΜΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΤΙΡΙΟΥ Ι**

Δρ. Τριανταφυλλιά Νικολάου

**ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ - Υ.Π.ΕΝ.  
ΓΕΝΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ**

**ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ**

**ΤΕΧΝΙΚΗ ΟΔΗΓΙΑ**  
ΤΕΧΝΙΚΟΥ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟΥ ΕΛΛΑΔΑΣ

**Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-2/2017**

**ΘΕΡΜΟΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΗΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ  
ΤΩΝ ΚΤΗΡΙΩΝ**

**ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗΝ ΑΝΑΘΕΩΡΗΣΗ ΤΟΥ Κ.Ε.Ν.Α.Κ. (2017)**

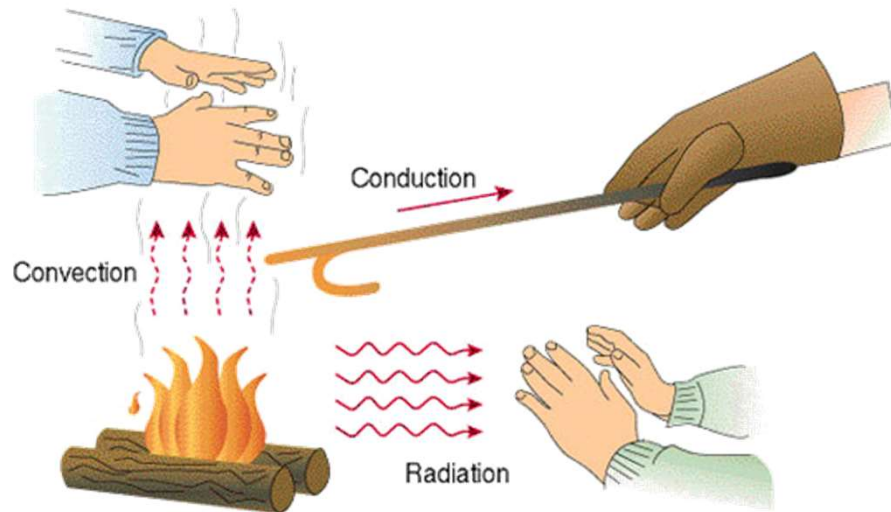
**Α' έκδοση**

# Περιεχόμενα

1. ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ
2. ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ
3. ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ
4. ΚΟΥΦΩΜΑΤΑ

# 1. Μετάδοση θερμότητας

- ▶ Η μετάδοση θερμότητας δύναται να πραγματοποιηθεί με τρεις τρόπους:
  - ▶ τη μετάδοση με αγωγή (αγωγιμότητα)
  - ▶ τη μετάδοση με συναγωγή
  - ▶ τη μετάδοση με ακτινοβολία
- ▶ Στην πράξη, σπάνια συναντάται μια μόνο μορφή μετάδοσης θερμότητας αλλά συνήθως τα φαινόμενα είναι συνδυασμός δύο ή και των τριών μορφών μετάδοσης θερμότητας.



# 1. Μετάδοση θερμότητας

## Μετάδοση με αγωγή

Μορφές μετάδοσης θερμότητας: Μετάδοση με αγωγή

- ▶ Πραγματοποιείται με άμεση επαφή μεταξύ των τμημάτων ενός στερεού ή μεταξύ δύο στερεών σωμάτων, μέσω της διάχυσης των ατόμων ή μορίων και διάχυσης των ελεύθερων ηλεκτρονίων.
- ▶ Η θερμική αγωγή συμβαίνει πάντοτε από μια μάζα υψηλής θερμοκρασίας σε μια μάζα χαμηλότερης, ακολουθώντας τις αρχές του δεύτερου νόμου της θερμοδυναμικής.
- ▶ Η θερμική αγωγή δίνεται από τη σχέση του Fourier:

$$q = -\lambda A \frac{dT}{dx}$$

όπου:

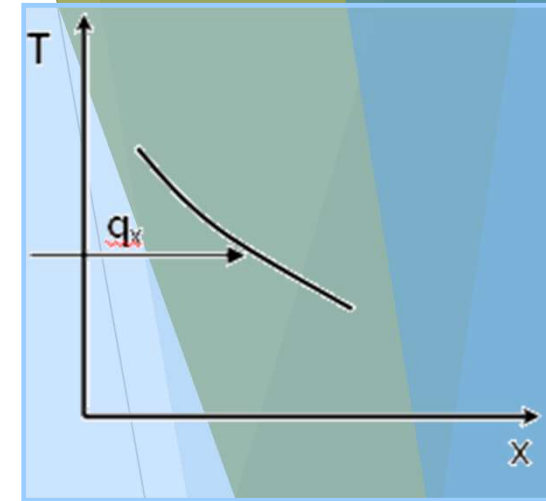
- $q$ , η ροή θερμότητας (W)
- $A$ , επιφάνεια κάθετη προς τη μεταφερομένη θερμότητα ( $m^2$ )
- $\lambda$ , **συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας (W/(mK))**, φυσική ιδιότητα του υλικού που χαρακτηρίζει την ικανότητα της μεταφοράς θερμότητας διά μέσου της μάζας του
- $dT/dx$ , διαφορική μεταβολή θερμοκρασίας και μήκους (K/m)

(μονοδιάστατη ροή, μόνιμες συνθήκες)

Η σχέση δηλώνει:

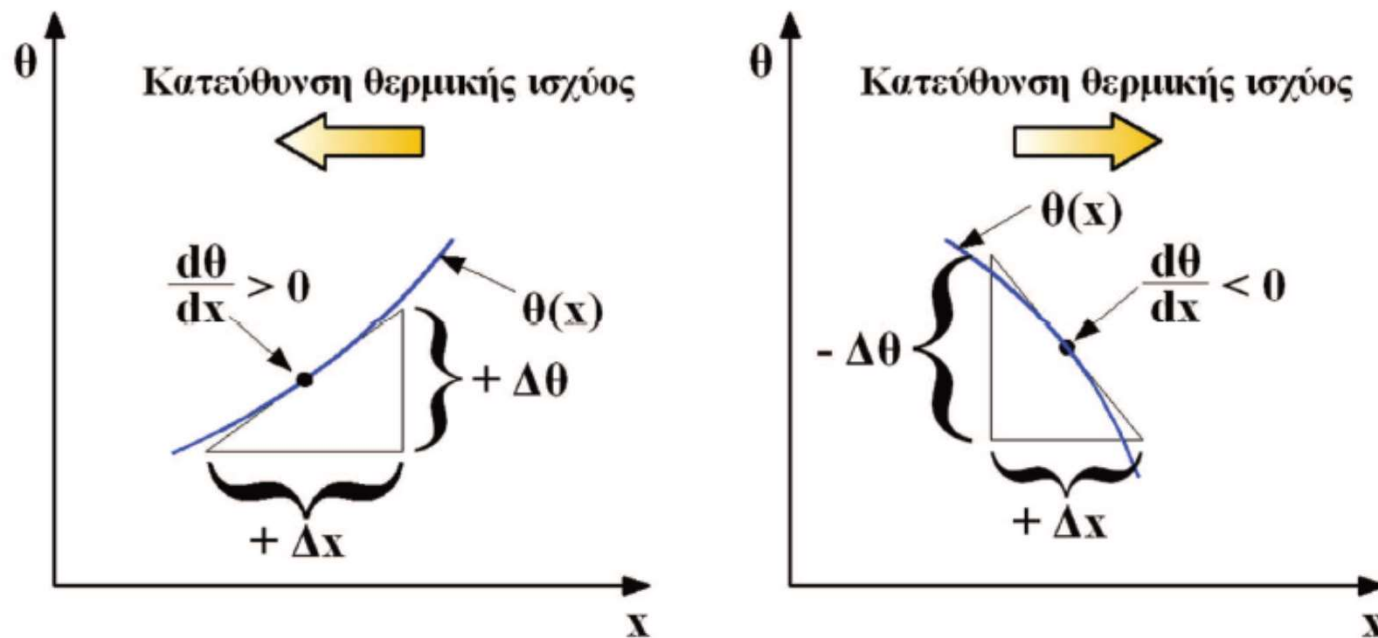
🏠 Η ροή θερμότητας είναι ανάλογη με τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ δύο σημείων ενός υλικού, την απόσταση των δύο σημείων, το χρόνο και την επιφάνεια του υλικού που βρίσκεται κάθετα προς τη διεύθυνση της ροής θερμότητας.

🏠 Το αρνητικό πρόσημο στη σχέση υποδηλώνει ότι η ροή θερμότητας είναι θετική όταν η θερμοκρασία μειώνεται και η μονάδα μήκους αυξάνεται.



Το αρνητικό πρόσημο στην παραπάνω σχέση είναι συνέπεια του δεύτερου νόμου της θερμοδυναμικής, ο οποίος απαιτεί η θερμότητα να ρέει στην κατεύθυνση από την υψηλότερη προς τη χαμηλότερη θερμοκρασία.

Όπως απεικονίζεται στο σχήμα 2.1, η κλίση της θερμοκρασίας θα είναι αρνητική εάν η θερμοκρασία μειώνεται με την αύξηση των τιμών του  $x$ . Ως εκ τούτου, εάν η θερμότητα που μεταφέρεται κατά τη θετική διεύθυνση  $x$  είναι μια θετική ποσότητα, ένα αρνητικό πρόσημο πρέπει να εισάγεται στη δεξιά πλευρά της σχέσης 2.1.



Σχήμα 2.1: Η επεξήγηση του πρόσημου για θερμική ροή με αγωγή.

# 1. Μετάδοση θερμότητας

Μορφές μετάδοσης θερμότητας: Μετάδοση με αγωγή

Παραδοχές:

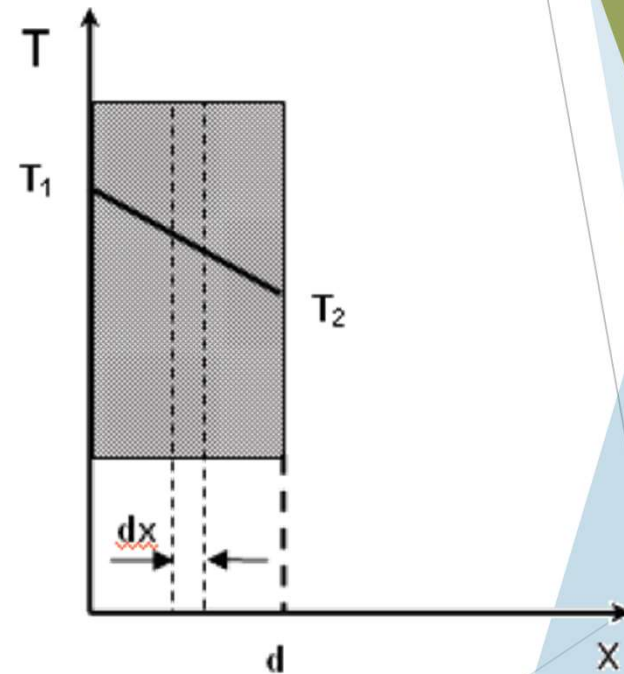
- ▶ ομογενές επίπεδο υλικό
- ▶ σταθερός συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας
- ▶ σταθερή θερμοκρασία στις οριακές επιφάνειες
- ▶ μόνιμη μονοδιάστατη ροή θερμότητας.

Ροή θερμότητας (W):

$$q = \lambda A \frac{\Delta T}{dx} \Rightarrow q = \lambda A \frac{T_1 - T_2}{d}$$

Πυκνότητα ροής θερμότητας (W/m<sup>2</sup>):

$$\dot{q} = \frac{q}{A}$$



# 1. Μετάδοση θερμότητας

Μορφές μετάδοσης θερμότητας: Μετάδοση με αγωγή

Σε περίπτωση περισσότερων του ενός στρώματα υλικών:

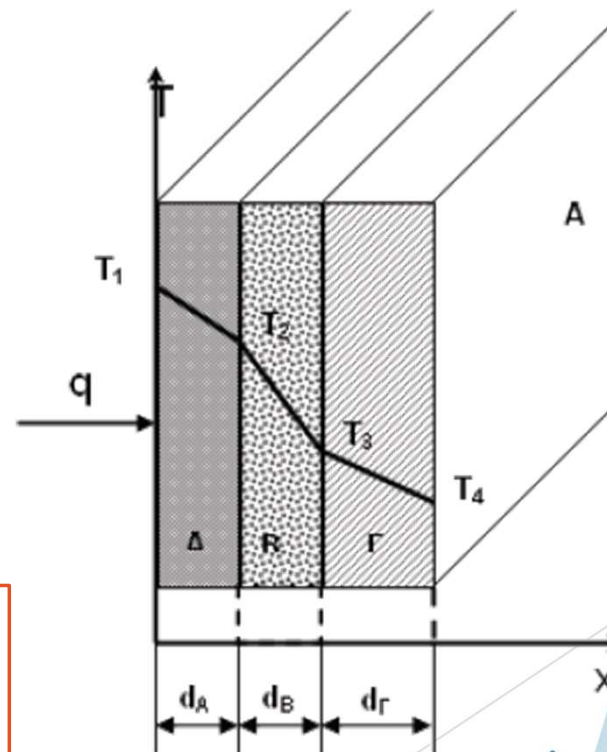
Ροή θερμότητας (W):

$$q = \lambda_A A \frac{T_1 - T_2}{\Delta x_A} = \lambda_A A \frac{T_1 - T_2}{d_A}$$

$$q = \lambda_B A \frac{T_2 - T_3}{\Delta x_B} = \lambda_B A \frac{T_2 - T_3}{d_B}$$

$$q = \lambda_\Gamma A \frac{T_3 - T_4}{\Delta x_\Gamma} = \lambda_\Gamma A \frac{T_3 - T_4}{d_\Gamma}$$

$$q = \frac{T_1 - T_4}{d_A / \lambda_A A + d_B / \lambda_B A + d_\Gamma / \lambda_\Gamma A}$$



# 1. Μετάδοση θερμότητας

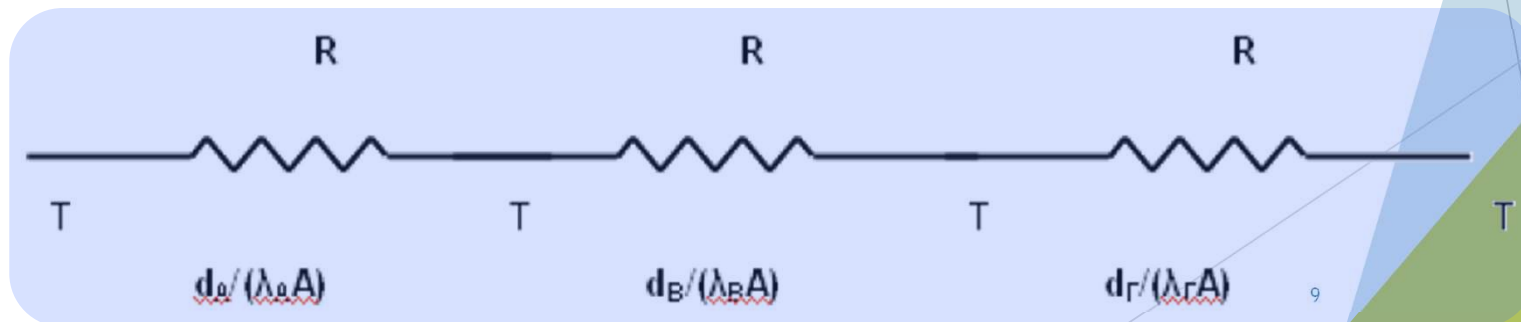
Μορφές μετάδοσης θερμότητας: Μετάδοση με αγωγή

Θερμική αντίσταση δομικού υλικού:

$$q = \frac{T_1 - T_4}{d_A / \lambda_A A + d_B / \lambda_B A + d_\Gamma / \lambda_\Gamma A} \quad \Rightarrow \quad \frac{\Delta T}{R} = \frac{\text{Διαφορά θερμικού δυναμικού}}{\text{Θερμική αντίσταση}}$$

$$q = \frac{T_1 - T_4}{R_A + R_B + R_\Gamma} = \frac{T_1 - T_4}{R_{ολ}} \quad \leftarrow \quad R = \frac{d}{\lambda A} \quad \text{σε K/W}$$

Ηλεκτρικό ανάλογο υλικού 3 στρωμάτων:



# 1. Μετάδοση θερμότητας

Μορφές μετάδοσης θερμότητας: Μετάδοση με αγωγή

## Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας δομικού υλικού ( $\lambda$ )

- ▶ ορίζει την ποσότητα θερμικής ροής η οποία διαπερνά σε 1 h ένα σώμα επιφάνειας  $1 \text{ m}^2$  και πάχους  $1 \text{ m}$ , το οποίο έχει σταθερή διαφορά θερμοκρασίας επιφανειών της διεύθυνσης της ροής θερμότητας ίση με  $1 \text{ K}$ .
- ▶ δίδεται σε  $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  ή  $\text{kcal}/(\text{m}\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C})$
- ▶ εξαρτάται από εσωτερική δομή, θερμοκρασία, πυκνότητα, υγρασία και πίεση.
- ▶ Για τα περισσότερα σώματα ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία με μια γραμμική σχέση, ήτοι:

$$\lambda = \lambda_0 (1 + bT)$$

όπου:

- $\lambda_0$ , συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας στους  $0^\circ\text{C}$
- $b$ , σταθερά που έχει προσδιορισθεί για το συγκεκριμένο σώμα
- $T$ , μέση τιμή της θερμοκρασίας στα άκρα των επιφανειών του σώματος

# 1. Μετάδοση θερμότητας

Μορφές μετάδοσης θερμότητας: Μετάδοση με αγωγή

## ▶ Αέρια

- ▶  $\lambda = 0,006 \sim 0,58 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
- ▶ αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας.

## ▶ Υγρά

- ▶  $\lambda = 0,09 \sim 0,70 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
- ▶ μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας (με εξαίρεση το νερό και η γλυκερίνη)

## ▶ Δομικά Υλικά

- ▶  $\lambda = 0,023 \sim 3,5 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
- ▶ αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας
- ▶ γενικά τα δομικά υλικά με μεγάλο ειδικό βάρος διαθέτουν υψηλή τιμή  $\lambda$ .
- ▶ επηρεάζεται από το πορώδες του υλικού και τη περιεκτικότητά του σε υγρασία.

## ▶ Μέταλλα

- ▶  $\lambda = 2,3 \sim 400 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
- ▶ μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας.
- ▶ μειώνεται δραστικά από προσμίξεις
- ▶ υψηλός συντ. ηλεκτρικής αγωγιμότητας  $\leftrightarrow$  υψηλός συντ. θερμικής αγωγιμότητας

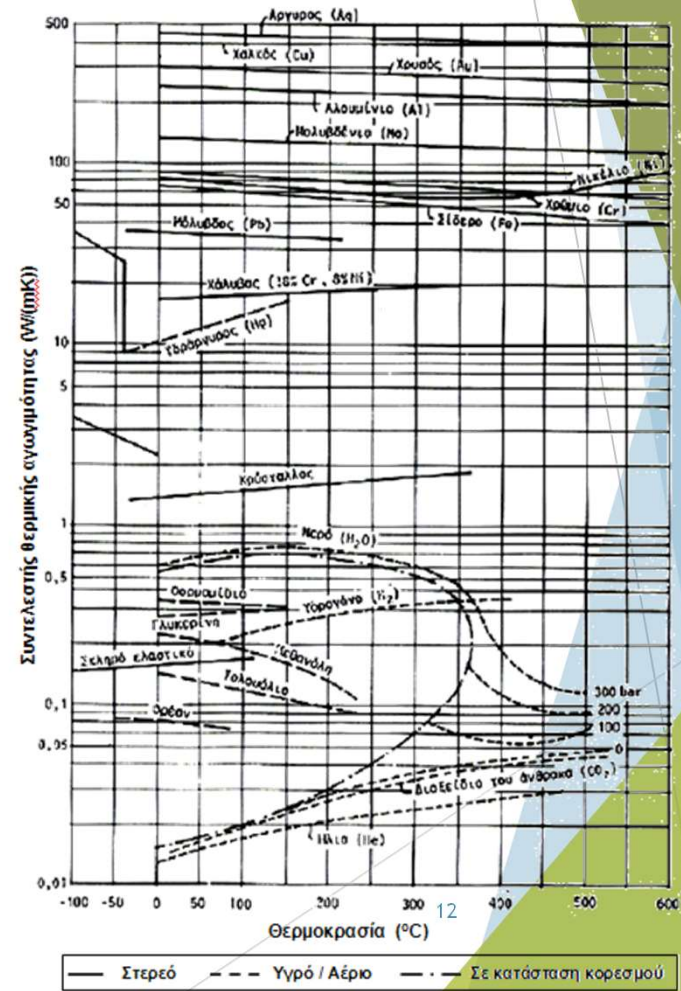
# 1. Μετάδοση θερμότητας

- ▶ Ενδεικτικές τιμές συντ. θερμικής αγωγιμότητας → **TOTEE 20701-2/2017**

## ΠΡΟΣΟΧΗ:

- ▶ Ο μελετητής / εν. επιθεωρητής οφείλει να λαμβάνει υπόψη στους υπολογισμούς του τις δεδηλωμένες από τον παραγωγό τιμές του λ για το εκάστοτε δομικό προϊόν (από έγκυρο πιστοποιητικό ή αναγραφόμενη τιμή στη σήμανση του υλικού κατά CE)

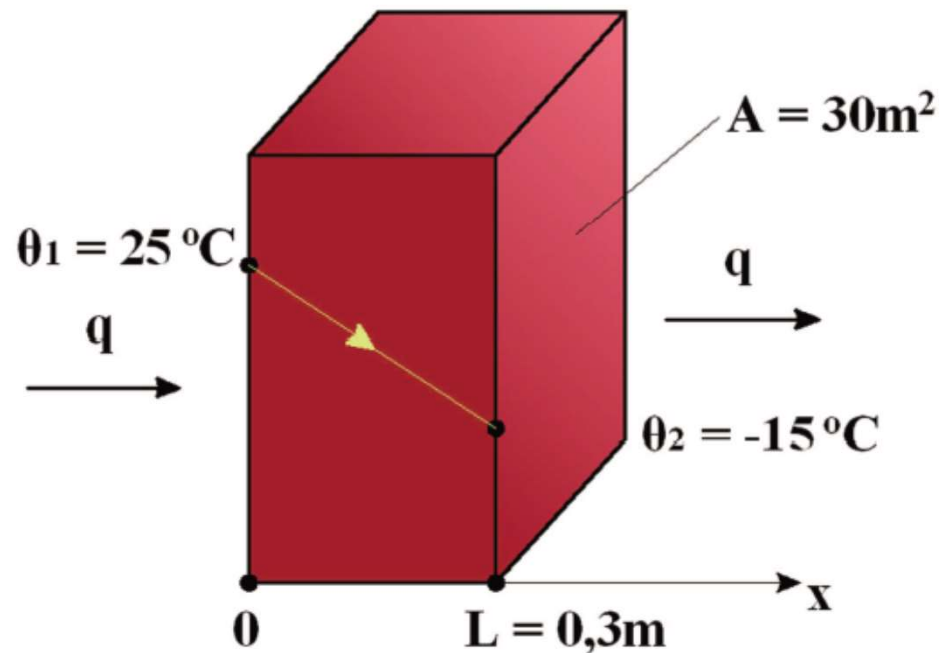
Μορφές μετάδοσης θερμότητας: Μετάδοση με αγωγή



# Άσκηση 1

Υπολογισμός της θερμοροής διά μέσου ενός δομικού στοιχείου

Ένα διαχωριστικό τοίχωμα από ελαφρό σκυρόδεμα επιφάνειας  $30\text{m}^2$  βρίσκεται ανάμεσα σε επιφανειακές θερμοκρασίες  $20^\circ\text{C}$  και  $-15^\circ\text{C}$ , ενώ έχει πάχος  $0,30\text{m}$  (σχήμα 2.3). Αν ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του ελαφρού σκυροδέματος είναι  $1,1\text{W/m}\cdot\text{K}$ , να υπολογισθούν οι απώλειες θερμότητας μέσω του τοιχώματος.



Σχήμα 2.3: Θερμοροή μέσω δομικού στοιχείου.

## Λύση:

Υποθέτουμε μονοδιάστατη ροή θερμότητας, σταθερής κατάστασης με αγωγιμότητα. Εφαρμόζοντας το νόμο του Fourier για το τοίχωμά μας με  $\lambda$ ,  $A$  σταθερές και χωρίς παραγωγή θερμότητας μέσα στο τοίχωμα, θα έχουμε:

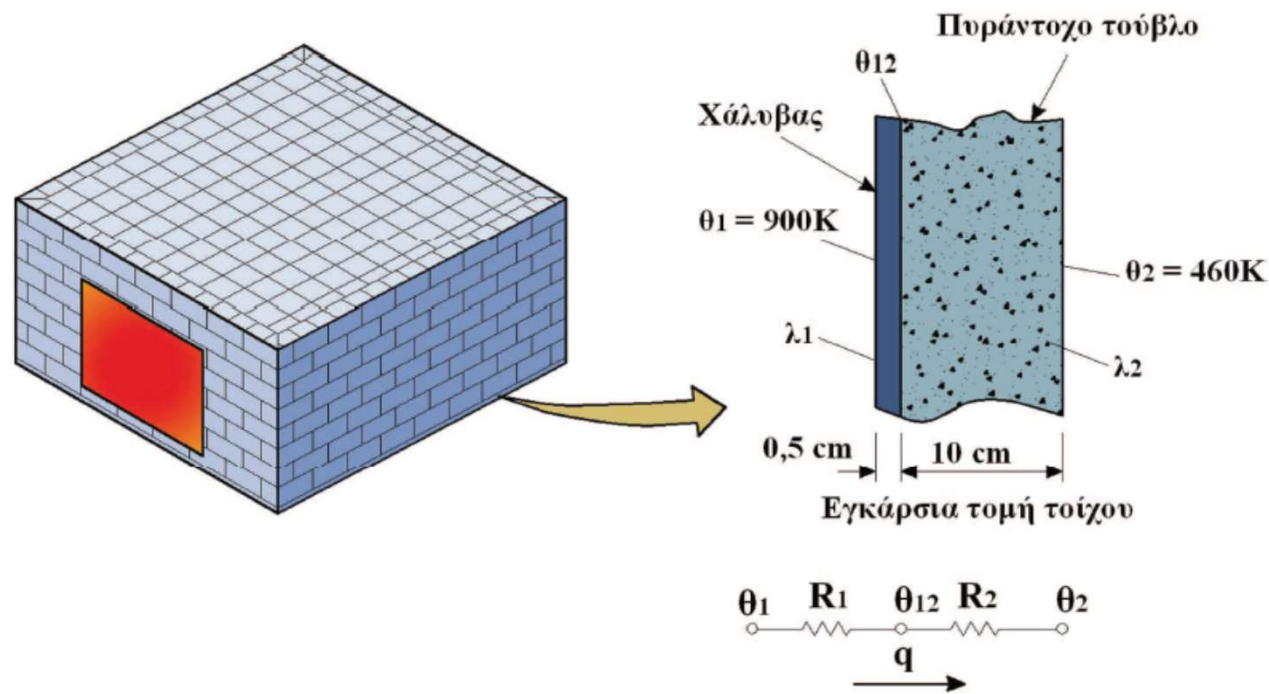
$$q = -\lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta\theta}{L} = -\lambda \cdot A \cdot \frac{(\theta_2 - \theta_1)}{L} = -(1,1 \text{ W/mK} \cdot 30 \text{ m}^2 \cdot \frac{(-15 - 25)^\circ \text{C}}{0,3 \text{ m}} = 4.400 \text{ W} = 4,4 \text{ kW} \quad .$$

Επισημαίνεται η ισότητα  $\Delta\theta (^\circ\text{C}) = \Delta\theta (\text{K})$ .

## Άσκηση 2

Εύρεση θερμοκρασίας διεπαφής σε διαδοχικές στρώσεις υλικών

Υπολογίστε το ποσοστό απώλειας θερμότητας ανά μονάδα επιφάνειας από ένα τοίχωμα κλιβάνου. Το τοίχωμα κατασκευάζεται από ένα εσωτερικό στρώμα πάχους 0,5cm από χάλυβα ( $\lambda_1 = 40\text{W/mK}$ ) και από ένα εξωτερικό στρώμα πάχους 10cm από πυράντοχο τούβλο ( $\lambda_2 = 2,5\text{W/mK}$ ), όπως φαίνεται στο σχήμα 2.6. Η θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας του τοιχώματος είναι 900K και η εξωτερική θερμοκρασία της επιφάνειας του τούβλου είναι 460K. Ποια είναι η θερμοκρασία στη διεπαφή των δύο επιφανειών;



Σχήμα 2.6: Υπολογισμός θερμοκρασιών διεπαφής.

## Λύση

Έστω ότι έχουμε σύστημα σταθερής κατάστασης και ότι αγνοούμε τις επιδράσεις στις γωνίες και ακμές του τοίχου. Επίσης υποθέτουμε ότι οι θερμοκρασίες στις διάφορες επιφάνειες κατανέμονται ομοιόμορφα. Το φυσικό σύστημα και το αντίστοιχο θερμικό κύκλωμα απεικονίζονται στο σχήμα 2.6 με δύο μόνο στρώματα υλικών στους τοίχους. Ο ρυθμός απώλειας θερμότητας ανά μονάδα επιφάνειας μπορεί να υπολογιστεί από την σχέση:

$$\frac{q}{A} = \frac{\theta_1 - \theta_{n+1}}{\sum_{i=1}^n \frac{L}{\lambda}} = \frac{(900 - 460)\text{K}}{\left(\frac{0,005}{40} + \frac{0,10}{2,5}\right) \frac{\text{m}}{\text{W/mK}}} \Leftrightarrow \frac{q}{A} = \frac{440\text{K}}{(0,000125 + 0,04) \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}} \Leftrightarrow \frac{q}{A} = 10,965 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$
$$\approx 10,97 \frac{\text{KW}}{\text{m}^2}$$

Η θερμοκρασία διεπαφής  $\theta_{12}$  μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$\frac{q}{A} = \frac{\theta_1 - \theta_{12}}{R_1}$$

και λύνοντας ως προς  $\theta_{12}$  θα έχουμε:

$$\theta_{12} = \theta_1 - \frac{q}{A} \cdot \frac{\lambda_1}{L_1} \Leftrightarrow \theta_{12} = 900\text{K} - 10,965 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot \frac{0,005 \text{ m}^2\text{K}}{40 \text{ W}} \Leftrightarrow \theta_{12} = 898,6\text{K}.$$

Σημειώνεται ότι η πτώση της θερμοκρασίας σε όλη την εσωτερική πλευρά του τοιχώματος που είναι από χάλυβα είναι μόνο 1,4K, επειδή η θερμική αντίσταση του τμήματος αυτού του τοιχώματος είναι μικρή σε σύγκριση με την αντίσταση του τμήματος από τούβλο, κατά μήκος του οποίου η πτώση της θερμοκρασίας είναι πολλές φορές μεγαλύτερη.

# Άσκηση 3

## Υπολογισμός της θερμικής αντίστασης R μιας κτηριακής τοιχοποιίας

Ο εξωτερικός τοίχος μιας κατοικίας αποτελείται από τα εξής υλικά (σε διαδοχικές και σε πολύ καλή επαφή μεταξύ τους στρώσεις):

α. ασβεστοκονίαμα πυκνότητας  $\rho=1.800\text{kg/m}^3$  με πάχος  $\delta_1=2\text{cm}$  και συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda_1=0,87\text{W/(mK)}$  (τιμή από πίνακα 2 της TOTEE 20701-2)

β. διάτρητη οπτοπλινθοδομή με πάχος  $\delta_1=15\text{cm}$  και συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda_2=0,51\text{W/(mK)}$  (τιμή από πίνακα 2 της TOTEE 20701-2)

γ. θερμομονωτικό υλικό από διογκωμένη πολυστερίνη με πάχος  $\delta_3=5\text{cm}$  και συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda_3=0,036\text{W/(mK)}$  (τιμή από πίνακα 2 της TOTEE 20701-2 ή από πιστοποιημένο κατασκευαστή)

δ. ασβεστοκονίαμα πυκνότητας  $\rho=1.800\text{kg/m}^3$  με πάχος  $\delta_1=2\text{cm}$  και συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda_1=0,87\text{W/(mK)}$  (τιμή από πίνακα 2 της TOTEE 20701-2).

Ζητούνται:

α. Ποιες είναι οι τιμές των θερμικών αντιστάσεων των επιμέρους υλικών (στρώσεων);

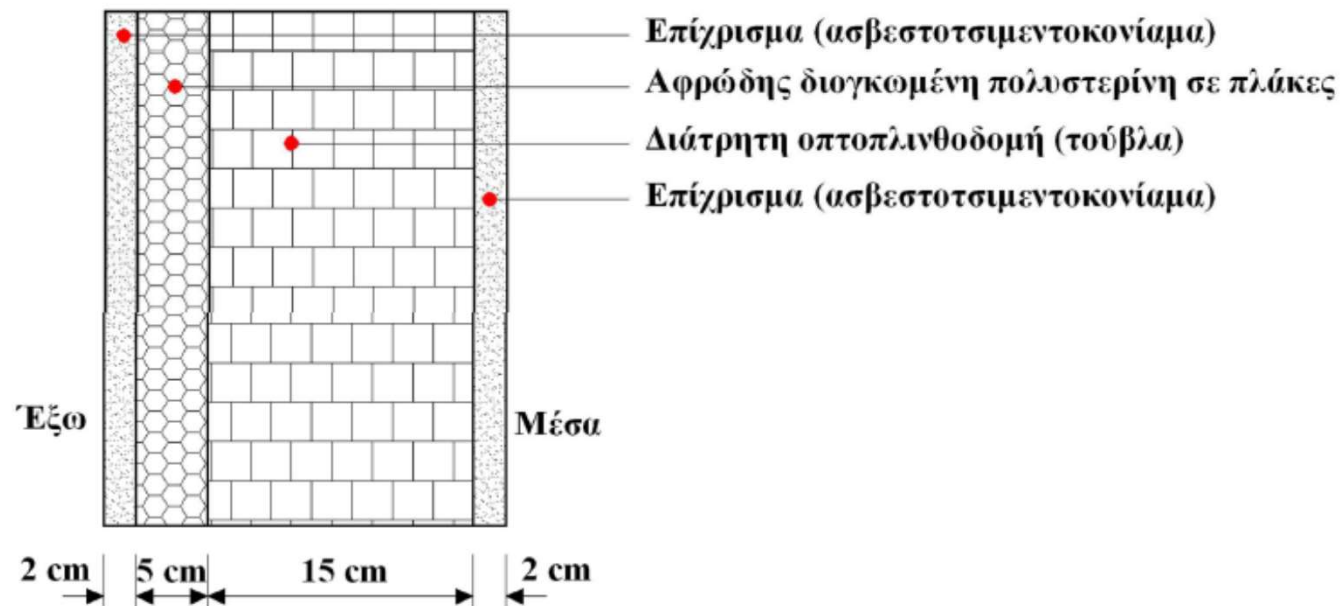
β. Ποια είναι η τιμή της συνολικής θερμικής αντίστασης του τοιχώματος;

γ. Ποια είναι η θερμική ισχύς (πυκνότητα θερμοροής) που διέρχεται διαμέσου του παραπάνω τοιχώματος, αν η εσωτερική θερμοκρασία επιφανείας του πρώτου στρώματος είναι  $22^\circ\text{C}$  και η θερμοκρασία στην εξωτερική επιφάνεια του τελευταίου στρώματος υλικού είναι  $5^\circ\text{C}$ ;

# Λύση

## Υπόμνηση

Θεωρούμε ότι έχουμε μονοδιάστατη μετάδοση θερμότητας σε ισοθερμοκρασιακές επιφάνειες σταθερής κατάστασης και σε μια κατεύθυνση κάθετη στις επιφάνειες αυτές. Επίσης οι στρώσεις των διαφόρων υλικών βρίσκονται σε πολύ καλή επαφή μεταξύ τους και οι συντελεστές θερμικής αγωγιμότητάς τους είναι σταθεροί και ανεξάρτητοι της θερμοκρασίας.



Σχήμα 2.9: Υπολογισμός θερμικής αντίστασης εξωτερικής τοιχοποιίας.

Οι τιμές της θερμικής αντίστασης του κάθε υλικού υπολογίζονται από τη σχέση 2.5. Έτσι ο συντελεστής θερμικής αντίστασης του πρώτου στρώματος υλικού (ασβεστοκονίαμα) είναι:

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} = \frac{0,02\text{m}}{0,87\text{W/mK}} = 0,023\text{m}^2\text{K/W}.$$

Στη συνέχεια ο συντελεστής θερμικής αντίστασης του δεύτερου στρώματος υλικού (οπτοπλινθοδομή) είναι:

$$R_2 = \frac{\delta_2}{\lambda_2} = \frac{0,15\text{m}}{0,51\text{W/mK}} = 0,294\text{m}^2\text{K/W}.$$

Ο συντελεστής θερμικής αντίστασης του τρίτου στρώματος υλικού (διογκωμένη πολυστερίνη) είναι:

$$R_3 = \frac{\delta_3}{\lambda_3} = \frac{0,05\text{m}}{0,036\text{W/(mK)}} = 1,389\text{m}^2\text{K/W}.$$

Τέλος, ο συντελεστής θερμικής αντίστασης του τελευταίου στρώματος υλικού (ασβεστοκονίαμα) είναι:

$$R_4 = \frac{\delta_4}{\lambda_4} = \frac{0,02\text{m}}{0,87\text{W/(mK)}} = 0,023\text{m}^2\text{K/W}.$$

Η συνολική θερμική αντίσταση του τοίχου είναι το άθροισμα των τεσσάρων παραπάνω τιμών (σε αντιστοιχία με το μοντέλο των εν σειρά ηλεκτρικών αντιστάσεων), δηλαδή:

$$R_{\text{ολ}} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = 0,023 + 0,294 + 1,389 + 0,023 = 1,729\text{m}^2\text{K/W}.$$

Στη συνέχεια υπολογίζουμε την πυκνότητα θερμοροής (θερμική ισχύ)

$$q = \frac{\Delta\theta}{\sum_{i=1}^{i=n} R_i} = \frac{(22 - 5)\text{K}}{1,729\text{m}^2\text{K/W}} = 9,83 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}.$$

Ας σημειωθεί εδώ ότι αν χρησιμοποιούμε «μοναδιαίο» τοίχο, δηλαδή εμβαδού  $1\text{m}^2$ , για να υπολογίσουμε τη θερμοροή, τότε (εξ ορισμού) οι παράμετροι «θερμική αντίσταση» και «συντελεστής θερμικής αντίστασης» είναι αριθμητικά ίσες αλλά με διαφορετικές μονάδες.

Σχόλια: Το μεγαλύτερο ποσοστό της συνολικής θερμικής αντίστασης ( $1,389/1,729=0,80$  ή 80%) οφείλεται στο μονωτικό υλικό. Αν και το μονωτικό υλικό είναι ένα από τα «λεπτότερα» στοιχεία μιας τοιχοποιίας (αν εξαιρέσουμε τα ασβεστοκονιάματα), ωστόσο είναι το υλικό με τη μικρότερη θερμική αγωγιμότητα ή, ισοδύναμα, το υλικό με τη μεγαλύτερη θερμική αντίσταση.

# 1. Μετάδοση θερμότητας

Μορφές μετάδοσης θερμότητας: Μετάδοση με συναγωγή

## Μετάδοση με συναγωγή

- ▶ Συμβαίνει όταν υπάρχει **μακροσκοπική κίνηση** των μορίων και του ίδιου του ρευστού και προϋποθέτει διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ δύο μαζών.
- ▶ Η μετακίνηση των στοιχειωδών σωματιδίων του ρευστού εξαρτάται από:
  - ▶ συνθήκες ροής και αιτιών που την προκάλεσαν
  - ▶ είδος και φυσικές ιδιότητες του ρευστού
  - ▶ μέγεθος και σχήμα της επιφάνειας που μεταδίδεται η θερμότητα
- ▶ Η μετάδοση θερμότητας με συναγωγή συναντάται σε δύο τύπους:
  - ▶ μετάδοση θερμότητας με φυσική (ελεύθερη) συναγωγή
  - ▶ μετάδοση θερμότητας με εξαναγκασμένη συναγωγή

# 1. Μετάδοση θερμότητας

*Μορφές μετάδοσης θερμότητας: Μετάδοση με συναγωγή*

## Ελεύθερη συναγωγή

- ▶ Η κίνηση του ρευστού οφείλεται αποκλειστικά στη διαφορά της πυκνότητας μεταξύ θερμών και ψυχρών σωματιδίων του ρευστού και της βαρύτητάς τους. Η ένταση της μετάδοσης θερμότητας καθορίζεται πλήρως από τις θερμικές συνθήκες της εκάστοτε διαδικασίας και εξαρτάται από το είδος του ρευστού, το εύρος της διαφοράς θερμοκρασίας και τον όγκο του χώρου όπου συμβαίνει η διαδικασία.

## Εξαναγκασμένη συναγωγή

- ▶ Κάποιο εξωτερικό αίτιο προκαλεί τη μετάδοση θερμότητας με την κίνηση του ρευστού, όπως ένας ανεμιστήρας, μια αντλία, κ.τ.λ. Οι συνθήκες εξαναγκασμένης συναγωγής εξαρτώνται από το είδος και τις φυσικές ιδιότητες του ρευστού, την ταχύτητα της ροής και τη θερμοκρασία του καθώς και το μέγεθος και σχήμα του χώρου/σώματος στην επιφάνεια του οποίου λαμβάνει χώρα η μετάδοση θερμότητας.

# 1. Μετάδοση θερμότητας


Μορφές μετάδοσης θερμότητας: Μετάδοση με συναγωγή

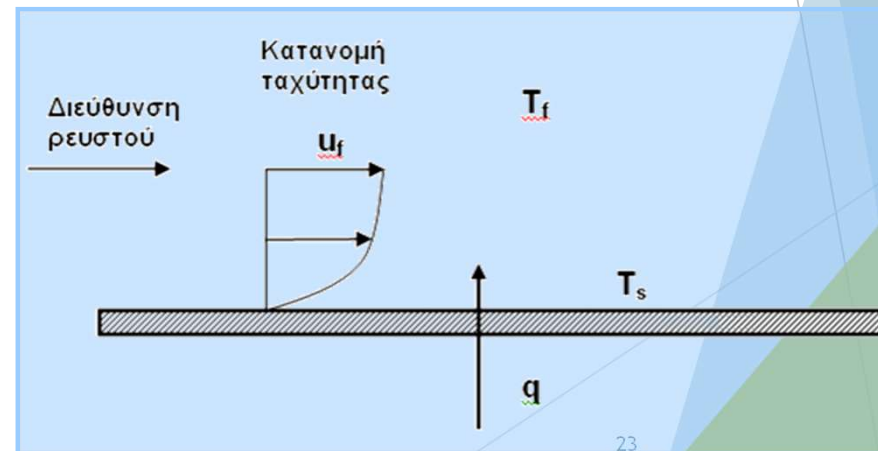
- ▶ Η σχέση που εκφράζει την μεταφορά θερμότητας με συναγωγή χρησιμοποιεί το νόμο του Newton:

$$q = h_c A (T_s - T_f)$$

όπου:

- $q$ , η ροή θερμότητας [W]
- $h_c$ , ο συντελεστής συναγωγής [ $W/(m^2 \cdot K)$ ]
- $A$ , η επιφάνεια μετάδοσης της θερμότητας [ $m^2$ ]
- $T_s$ , η θερμοκρασία επιφανείας [K]
- $T_f$ , η θερμοκρασία ρευστού [K]

 Η ροή θερμότητας από το σώμα στο ρευστό ή και αντίστροφα, είναι ανάλογη με τη διαφορά θερμοκρασίας των δύο σωμάτων και την επιφάνεια εναλλαγής θερμότητας.



# 1. Μετάδοση θερμότητας

Μορφές μετάδοσης θερμότητας: Μετάδοση με συναγωγή

## Συντελεστής συναγωγής ( $h_c$ )

- ▶ καθορίζει το μέγεθος της μετάδοσης θερμότητας με συναγωγή και δίδεται σε  $W/(m^2 \cdot K)$  ή  $kcal/(m^2 \cdot h \cdot ^\circ C)$ .
- ▶ πολύπλοκος ο προσδιορισμός του και εξαρτάται από:
  - ▶ ταχύτητα ρευστού
  - ▶ συνθήκες της ροής
  - ▶ διαστάσεις και είδος της επιφάνειας επαφής
  - ▶ είδος και φυσικές ιδιότητες του ρευστού (π.χ. ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας, η πυκνότητα, το δυναμικό ιξώδες, η ειδική θερμοχωρητικότητα κ.ά.).
- ▶ στη βιβλιογραφία συναντώνται τιμές του συντελεστή συναγωγής για συγκεκριμένες συνθήκες μετάδοσης θερμότητας και συγκεκριμένης γεωμετρίας υλικών.

# 1. Μετάδοση θερμότητας

Μορφές μετάδοσης θερμότητας: *Μετάδοση με ακτινοβολία*


## Μετάδοση με ακτινοβολία

- ▶ Οποιοδήποτε αντικείμενο με  $T > 0K$  εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που οφείλεται στην εσωτερική ενέργεια του υλικού η οποία, σε κατάσταση ισορροπίας, είναι ανάλογη με τη θερμοκρασία του υλικού (θερμική ακτινοβολία).
- ▶ **Η μεταφορά θερμότητας μεταξύ σωμάτων η οποία συμβαίνει μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων καλείται μεταφορά θερμότητας με ακτινοβολία.**
- ▶ Το μεγαλύτερο μέρος της θερμικής ακτινοβολίας εκπέμπεται σε περιορισμένο πεδίο του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, ανάμεσα στα  $0,1 \mu m$  και  $100 \mu m$ .



## Μέλαν σώμα

- ιδανικό σώμα που απορροφά ολόκληρη την ποσότητα ακτινοβολίας που δέχεται για όλα τα μήκη κύματος και για όλες τις γωνίες πρόσπτωσης της ακτινοβολίας
- εκπέμπει τη μέγιστη ενέργεια ακτινοβολίας σε κάθε μήκος κύματος.

 Οι φυσικοί νόμοι περιγράφουν την εκπομπή του μαύρου σώματος οπότε η εκπομπή των πραγματικών σωμάτων υπολογίζεται αντίστοιχα με την εκπομπή του μαύρου σώματος κάτω από όμοιες συνθήκες με τη χρήση ενός συντελεστή, του επονομαζόμενου **συντελεστή εκπομπής**.


# 1. Μετάδοση θερμότητας

Μορφές μετάδοσης θερμότητας: Μετάδοση με ακτινοβολία


## Νόμος του Planck

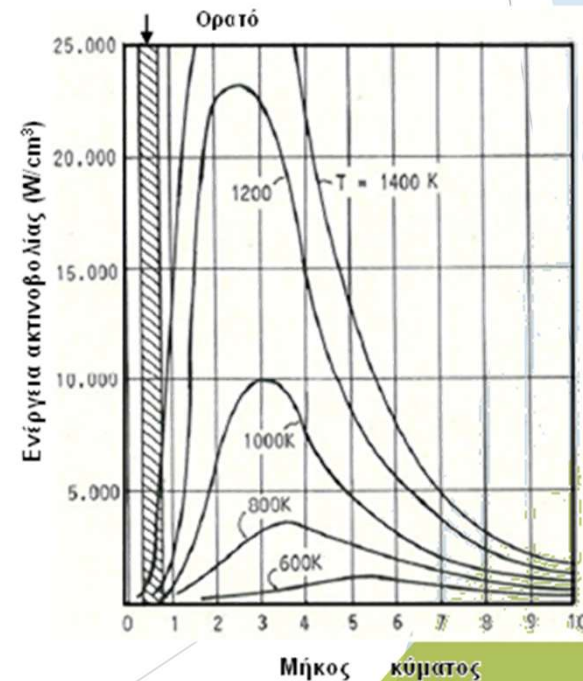
- εκφράζει τη φασματική εκπομπή του μαύρου σώματος  $E_{b\lambda}(T)$  σε  $W/(m \cdot \mu m)$ , σε θερμοκρασία  $T$  και ένα μήκος κύματος  $\lambda$ :

$$E_{b\lambda}(T) = \frac{C_1 \lambda^{-5}}{e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1}$$

 **όπου:**

- $\lambda$ , το μήκος κύματος [ $\mu m$ ]
- $T$ , η απόλυτη θερμοκρασία [K]
- $C_1 = 3,741 \cdot 10^8 W \cdot \mu m^4 / m^2$
- $C_2 = 14388 \mu m K$ .

 όταν το μήκος κύματος είναι μηδέν τότε δεν υπάρχει ενέργεια ακτινοβολίας. Η ενέργεια αυτή αρχικά αυξάνεται συναρτησί του μήκους κύματος έως μια μέγιστη τιμή και στη συνέχεια μειώνεται έως την τιμή μηδέν όταν το  $\lambda$  τείνει στο άπειρο.



# 1. Μετάδοση θερμότητας

Μορφές μετάδοσης θερμότητας: Μετάδοση με ακτινοβολία

## Νόμος των Stefan-Boltzmann

- ▶ εκφράζει συνολική ημισφαιρική ισχύ εκπομπής μαύρου σώματος (σε  $W/m^2$ ):

🏠 όπου:

- $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} W/(m^2K^4)$ , σταθερά Stefan-Boltzmann
- $T$ , θερμοκρασία σώματος [K]
  
- συνολική ημισφαιρική ισχύς εκπομπής ενός πραγματικού σώματος:

$$E_b = \sigma T^4$$

$$E = \epsilon \sigma T^4$$

συνολικός συντ. εκπομπής  
 $0 \leq \epsilon \leq 1$  (μέλαν σώμα)

# 1. Μετάδοση θερμότητας

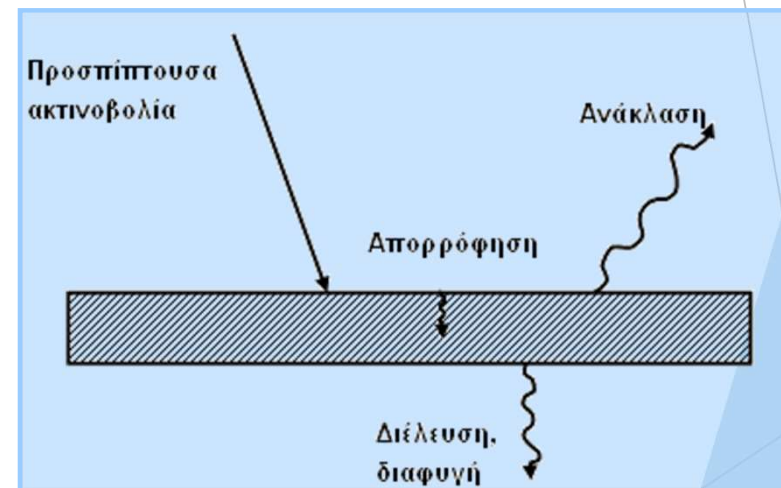
Μορφές μετάδοσης θερμότητας: Μετάδοση με ακτινοβολία

## Προσπίπτουσα ακτινοβολία

- ▶ Όταν ακτινοβολία προσπίπτει σε ένα σώμα, ένα ποσοστό της απορροφάται, ένα ποσοστό αντανακλάται και ένα ποσοστό το διαπερνά.

$$\alpha = \frac{\text{απορροφούμενη ακτινοβολία}}{\text{προσπίπτουσα ακτινοβολία}}$$
$$\rho = \frac{\text{ανακλώμενη ακτινοβολία}}{\text{προσπίπτουσα ακτινοβολία}}$$
$$\tau = \frac{\text{διαφυγόμενη ακτινοβολία}}{\text{προσπίπτουσα ακτινοβολία}}$$

$$\alpha + \rho + \tau = 1$$



🏠 αδιαφανές σώμα:  $\tau = 0$  →  $\alpha + \rho = 1$

🏠 μέλαν σώμα:  $\rho = 0, \tau = 0$  →  $\alpha = 1$

# 1. Μετάδοση θερμότητας

Μορφές μετάδοσης θερμότητας: Μετάδοση με ακτινοβολία

## Νόμος Kirchhoff

- ▶ περιγράφει τη σχέση ανάμεσα στις ιδιότητες εκπομπής και απορροφητικότητας ενός σώματος.
- ▶ για κάθε μήκος κύματος και κάθε διεύθυνση διάδοσης της ακτινοβολίας, η φασματική εκπομπή ενός σώματος είναι ίση με την φασματική απορροφητικότητά του:

$$\alpha_{\lambda}(T, \varphi, \theta) = \varepsilon_{\lambda}(T, \varphi, \theta)$$

 όπου:

- $\lambda$ , το μήκος κύματος,
- $\varphi$  και  $\theta$ , οι γωνιακές συντεταγμένες που ορίζουν τη διεύθυνση της διάδοσης
- $T$ , η θερμοκρασία του σώματος

## Γκρίζο (φαιό) σώμα

- σώμα του οποίου ο μονοχρωματικός συντελεστής εκπομπής,  $\varepsilon_{\lambda}$ , είναι ανεξάρτητος από το μήκος κύματος καλείται γκρίζο σώμα.
- Ως μονοχρωματικός συντελεστής εκπομπής καλείται ο λόγος της μονοχρωματικής ισχύος εκπομπής του σώματος με την μονοχρωματική ισχύ εκπομπής του μελανού σώματος στο ίδιο μήκος κύματος και θερμοκρασία.

$$\varepsilon_{\lambda} = E_{\lambda} / E_{b\lambda}$$

# 1. Μετάδοση θερμότητας

Μορφές μετάδοσης θερμότητας: Μετάδοση με ακτινοβολία

- ▶ Στη φυσική των κτιρίων είναι απαραίτητη η γνώση των **οπτικών ιδιοτήτων των υλικών** που χρησιμοποιούνται για δύο κυρίως ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος:
  - ▶ **Απορρόφηση:** απαραίτητη για τα μήκη κύματος του ηλιακού φάσματος ώστε να υπολογίζονται τα ηλιακά κέρδη.
  - ▶ **Συντελεστής εκπομπής:** χρειάζεται για την περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος μεγάλου μήκους κύματος για τον υπολογισμό των θερμικών απωλειών με ακτινοβολία.

# 1. Μετάδοση θερμότητας

Μορφές μετάδοσης θερμότητας: *Μετάδοση με ακτινοβολία*

## Ακτινοβολία μεταξύ δύο μαύρων παράλληλων πλακών

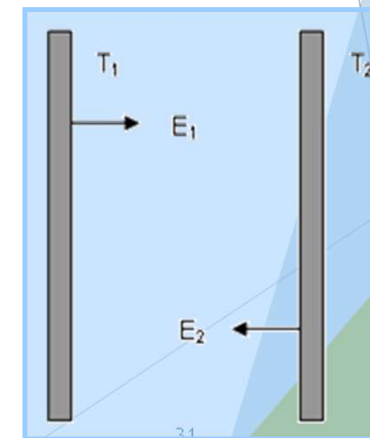
- ▶ Η ανταλλαγή θερμότητας με ακτινοβολία μεταξύ δύο σωμάτων διέπεται από δύο κύρια χαρακτηριστικά:
  - ▶ Το πρώτο είναι ότι λόγω της ηλεκτρομαγνητικής φύσεως της θερμικής ακτινοβολίας, η ανταλλαγή θερμότητας συμβαίνει ακόμη και χωρίς την παρουσία ενός φυσικού μέσου.
  - ▶ Το δεύτερο είναι ότι παρόλο που η αγωγιμότητα και η συναγωγή σταματούν όταν τα θερμοδυναμικά συστήματα, ανάμεσα στα οποία λαμβάνει χώρα η μετάδοση θερμότητας, αποκτήσουν την ίδια θερμοκρασία, η ανταλλαγή θερμότητας με ακτινοβολία συμβαίνει ακόμα και μεταξύ όμοιων επιφανειών με την ίδια θερμοκρασία. Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι η θερμική ισορροπία με ακτινοβολία είναι ένα δυναμικό φαινόμενο.

Ισχύς εκπομπής πλάκας θερμοκρασίας  $T_1$ :  $E_1 = \sigma T_1^4$

Ισχύς εκπομπής πλάκας θερμοκρασίας  $T_2$ :  $E_2 = \sigma T_2^4$

Αν  $T_1 > T_2$  καθαρή ροή θερμότητας με ακτ/λία:  $E_{1-2} = \sigma (T_1^4 - T_2^4)$

Για μη μαύρες πλάκες με  $\epsilon_1$  και  $\epsilon_2$ :  $E_{1-2} = \sigma (\epsilon_1 T_1^4 - \epsilon_2 T_2^4)$



## 2. Θερμοχωρητικότητα των υλικών


- ▶ **Θερμοχωρητικότητα ενός υλικού, συστήματος ή δομικού στοιχείου** καλείται η ποσότητα θερμότητας που απαιτείται για αυξηθεί η θερμοκρασία του κατά 1 K ή 1 °C.
- ▶ Καταδεικνύει την ικανότητα του σώματος να αποθηκεύει θερμότητα.


- ▶ Δίνεται από τη σχέση:

$$C = \frac{dQ}{dT}$$

 **Όπου:**

- C, η θερμοχωρητικότητα [J/K]
- dQ, η αποθηκευμένη θερμότητα [J]
- dT, η διαφορά θερμοκρασίας [K]

 **Ειδική θερμοχωρητικότητα, c,** καλείται η ανοιγμένη τιμή της θερμοχωρητικότητας του σώματος ανά μονάδα μάζας (σε J/kg·K).

 Η αποθηκευμένη θερμότητα αυξάνεται με την αύξηση της διαφοράς θερμοκρασίας καθώς επίσης με την αύξηση της θερμοχωρητικότητας και της μάζας του σώματος.

## 2. Θερμοχωρητικότητα των υλικών


- ▶ Η θερμοχωρητικότητα ενός δομικού στοιχείου (τοιχοποιία, οροφή) που βρίσκεται σε επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον επηρεάζει τις θερμικές ανάγκες του χώρου και την θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειάς του όταν η θέρμανση του χώρου δεν είναι σταθερή και υπάρχει διακύμανση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος.
- ▶ **Υψηλή τιμή της θερμοχωρητικότητας σημαίνει χαμηλό ρυθμό ροής θερμότητας ή ψύξης στο χώρο και μείωση των αναγκών θέρμανσής του.**
- ▶ Στην περίπτωση που ένα κτίριο έχει ανάγκη ταχείας θέρμανσης (αλλά και ψύξης) τότε τοποθετείται ένα θερμομονωτικό υλικό στο εσωτερικών των επιφανειών των εξωτερικών δομικών στοιχείων και η επίδραση της θερμοχωρητικότητας δεν λαμβάνεται υπόψη. Αντίθετα, εάν χρειάζεται / απαιτείται η επίδραση της θερμοχωρητικότητας, τότε το θερμομονωτικό υλικό τοποθετείται στην εξωτερική πλευρά του δομικού στοιχείου.


## 2. Θερμοχωρητικότητα των υλικών

► Η εσωτερική θερμοχωρητικότητα θερμικής ζώνης/κτιρίου,  $C_m$ , δίνεται:  $C_m = \sum(k_j \cdot A_j)$


όπου:

- $C_m$ , η εσωτερική θερμοχωρητικότητα της θερμικής ζώνης [kJ/K]
- $k_j$ , η εσωτερική θερμοχωρητικότητα ανά μονάδα επιφάνειας του δομικού στοιχείου j [(kJ/(m<sup>2</sup>·K))]
- $A_j$ , η εσωτερική επιφάνεια του δομικού στοιχείου j [m<sup>2</sup>]

  $k_j$  : υπολογίζεται από θερμοχωρητικότητα επιμέρους υλικών του δομικού στοιχείου και βρίσκονται μέχρι το «μέγιστο» ενεργό βάθος αυτού.

 **ενεργό βάθος** ορίζεται η μικρότερη τιμή μήκους από την εσωτερική επιφάνεια του δομικού στοιχείου μέχρι:

1. τη θέση της θερμομονωτικής στρώσης του δομικού στοιχείου,
2. το ήμισυ του πάχους του δομικού στοιχείου ή
3. το βάθος των 10 cm του δομικού στοιχείου από την εσωτερική του πλευρά.

 Η εσωτερική θερμοχωρητικότητα ανά μονάδα επιφάνειας του δομικού στοιχείου για όλες τις εσωτερικές επιφάνειες της θερμικής ζώνης / ορόφου / κτιρίου δίνεται:

όπου:

- $\rho_j$ , η πυκνότητα του υλικού j [kg/m<sup>3</sup>]
- $d_j$ , το πάχος του υλικού j [m]
- $c_j$ , η ειδική θερμοχωρητικότητα του υλικού [kJ/(kg·K)]

$$k_j = \sum \rho_j c_j d_j$$

### 3. Θερμομονωτικά υλικά

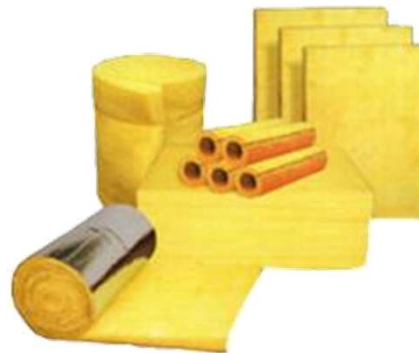
Γενικές έννοιες

- ▶ Θερμομονωτικά χαρακτηρίζονται τα υλικά, τα οποία συντελούν **στη μείωση της ροής θερμότητας μέσω των δομικών στοιχείων μιας κτιριακής κατασκευής**, οδηγώντας με τον τρόπο αυτό στη βελτίωση της θερμικής συμπεριφοράς της.
- ▶ Η θερμική προστασία που παρέχουν οφείλεται στον αέρα που είναι εγκλωβισμένος στη μάζα τους, είτε μέσα σε κλειστές ή ανοικτές κυψελίδες, είτε ανάμεσα σε πολλές μικρές και λεπτές ίνες, ο οποίος θεωρείται πρακτικά ακίνητος και ως εκ τούτου παρουσιάζει πολύ μικρή θερμική αγωγιμότητα.
- ▶ Σε ακραίες περιπτώσεις, ο αέρας μπορεί να καταλαμβάνει μέχρι και το 96% του όγκου των θερμομονωτικών υλικών, γι' αυτό το βάρος τους είναι συνήθως πολύ χαμηλότερο από αυτό των λοιπών οικοδομικών υλικών.
- ▶ Ένα υλικό χαρακτηρίζεται ως θερμομονωτικό όταν ο συντελεστής θερμοπερατότητάς του δεν υπερβαίνει μια ανώτερη τιμή, η οποία κυμαίνεται από  $0,060 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  έως  $0,100 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ . Αλλά και αρκετά ακόμη υλικά που υπερβαίνουν αυτές τις καθοριζόμενες τιμές δεν παύουν να προσφέρουν θερμική προστασία και να συνυπολογίζονται στα θερμομονωτικά υλικά.

# 3. Θερμομονωτικά υλικά

Ανάλογα με τα κριτήρια διαχωρισμού τους μπορούν να διακριθούν:

- ▶ σε οργανικά και ανόργανα (με βασικό κριτήριο την πρώτη ύλη παραγωγής τους),
- ▶ σε ινώδη, κυψελώδη και κοκκώδη (με βασικό κριτήριο τη μορφή τους),
- ▶ σε προσβαλλόμενα και μη προσβαλλόμενα από την υγρασία, ανθεκτικά σε υψηλές θερμοκρασίες κ.τ.λ. (με βασικό κριτήριο τις ιδιότητές τους),
- ▶ σε πλάκες, παπλώματα, χύδην, άκαμπτα ή εύκαμπτα (με βασικό κριτήριο τη μορφή τους),
- ▶ σε φυσικά και τεχνητά (με βασικό κριτήριο την παραγωγή τους),
- ▶ σε βαριά και σε ελαφρά (με βασικό κριτήριο το βάρος τους).





Γενικές έννοιες

## 3. Θερμομονωτικά υλικά

- ▶ Οι κυριότερες ιδιότητες για την επιλογή ενός θερμομονωτικού υλικού:
  - ▶ θερμοτεχνικά χαρακτηριστικά
  - ▶ μηχανικές ιδιότητες
  - ▶ ανθεκτικότητά στην επίδραση διαφόρων περιβαλλοντικών παραγόντων
  - ▶ φιλικότητα προς το περιβάλλον
  - ▶ δυνατότητες χρήσης και εφαρμογής
  - ▶ συνεργασιμότητα με τα άλλα υλικά.

Σημαντικό κριτήριο για την επιλογή ενός υλικού αποτελεί το κόστος αγοράς, μεταφοράς και τοποθέτησής του.

### Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας $\lambda$

-  ορίζει την ποσότητα ροής θερμότητας, που διέρχεται από τη μονάδα επιφάνειας του υλικού για  $\Delta T=1K$ .
-  υπολογίζεται εργαστηριακά σε θερμοκρασία  $10^{\circ}C$  και σε ξηρή κατάσταση και κατόπιν γίνεται μια προσαύξηση για την επίδραση της “πρακτικής υγρασίας”, (υγρασία που προσλαμβάνει το υλικό από το περιβάλλον του υπό κανονικές συνθήκες).

Βασικές ιδιότητες

# 3. Θερμομονωτικά υλικά

Βασικές ιδιότητες

## Η επίδραση της θερμοκρασίας

- ▶ Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας επηρεάζεται από θερμοκρασία  
*Αύξηση θερμοκρασίας → αύξηση τιμής  $\lambda$  → μείωση θερμομονωτικής ικανότητας υλικού*
  - ▶ για συνήθεις αυξομειώσεις θερμοκρασίας (ημερήσιες ή εποχιακές) η μεταβολή του  $\lambda$  θεωρείται αμελητέα και δεν λαμβάνεται υπόψη.
- ▶ Κάποια θερμομονωτικά υλικά είναι ευπαθή σε πολύ υψηλές ή πολύ χαμηλές θερμοκρασίες λόγω αλλοίωσης της υφής τους και θραύση των κυψελών τους.
  - ▶ Προσοχή κατά την επιλογή: π.χ. θερμομόνωση δώματος ( $T > 70^\circ \text{C}$  !), αεραγωγών θερμού αέρα ανοικτών εστιών καύσης ή αγωγών μεταφοράς θερμού νερού κ.τ.λ.
- ▶ Άνοδος θερμοκρασίας επιφέρει επιμήκυνση των διαστάσεων των υλικών σε βαθμό που εξαρτάται από το συντελεστή θερμοδιαστολής τους.
  - ▶ Σε θερμομονωτικά μορφής σκληρών πλακών μπορεί να επιφέρει ανασήκωσή τους και η συρρίκνωσή τους να δημιουργήσει θερμογέφυρες στις ακμές συναρμογής τους.  
*Λύση: περιμετρικός αναβαθμός για τον απαραίτητο αρμό και την αποφυγή θερμογεφυρών*
  - ▶ Θερμομονωτικά υλικά που κατασκευάζονται με θερμικές διεργασίες και που μετά την ψύξη τους παρουσιάζουν μικρή συρρίκνωση των αρχικών τους διαστάσεων της τάξης του 0,3% λόγω απομάκρυνσης της υγρασίας που απέκτησαν κατά το στάδιο παραγωγής.  
*Λύση: χρήση μετά την πάροδο ικανού χρονικού διαστήματος για την αποβολή υγρασίας*

# 3. Θερμομονωτικά υλικά

## Η επίδραση της υγρασίας

- ▶ Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας επηρεάζεται άμεσα από την υγρασία.  
Υλικά που έχουν εμποτισθεί με υγρασία μειώνουν ή ακόμη και χάνουν τις θερμομονωτικές τους ιδιότητες και αυξάνουν αντιστοίχως τη θερμική τους αγωγιμότητα.
- ▶ **Εξήγηση:** το νερό εκτοπίζει τον αέρα ανάμεσα στις ίνες του ή στις ανοικτές κυψελίδες του και καταλαμβάνει τη θέση του. Δεδομένου δε ότι ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του νερού ( $0,60 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ), είναι περίπου 24 φορές μεγαλύτερος αυτού του αέρα ( $0,025 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ), αυξάνεται η θερμική αγωγιμότητα του εμποτισμένου υλικού.



Βασικές ιδιότητες

# 3. Θερμομονωτικά υλικά

## Η επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας

- ▶ Τα αφρώδη οργανικά θερμομονωτικά υλικά και κυρίως τα πολυστερινικά και πολυουρεθανικά επηρεάζονται από την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας, όταν παραμένουν επί μακρόν εκτεθειμένα σ' αυτήν. Οι ακτίνες του ηλίου αλλοιώνουν σταδιακά το υλικό, μειώνοντας την αντοχή του και καθιστώντας το πιο εύθραυστο. Τα συμπτώματα εμφανίζονται συνήθως με ελαφρά απόχρωση της επιφάνειάς του και κατόπιν με θρυμματισμό του υλικού.
- ▶ Προκειμένου να περιοριστεί η επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας στα ευπρόσβλητα από τον ήλιο υλικά αυτά οφείλουν να παραμένουν μέχρι τη χρήση τους προφυλαγμένα σε υπόγειους χώρους ή τουλάχιστον σε χώρους σκιασμένους και με κατάλληλο προστατευτικό επικάλυμμα. Ομοίως μετά την τοποθέτησή τους στα δομικά στοιχεία πρέπει σε σύντομο χρονικό διάστημα να επικαλύπτονται από άλλα υλικά.

Βασικές ιδιότητες

## 3. Θερμομονωτικά υλικά

### Η χημική συμπεριφορά

- ▶ Ορισμένα οργανικά θερμομονωτικά υλικά προσβάλλονται από ποικιλία χημικών διαλυτών, όπως είναι οι βενζίνες, το ασετόν, το βενζόλιο κ.ά. Επίσης τα περισσότερα αφρώδη οργανικά υλικά επηρεάζονται από την πίσσα και τη ρευστή άσφαλτο. Κατά τις κατασκευές των δωματίων οι ασφαλικές μεμβράνες δεν πρέπει να επικολλώνται επάνω σε πολυστερινικής προέλευσης υλικά, διότι υπάρχει κίνδυνος καταστροφής τους.
- ▶ Ομοίως, ορισμένες κόλλες και χημικοί διαλύτες μπορούν να καταστρέψουν θερμομονωτικά υλικά που έχουν ως πρώτη ύλη το ξύλο ή διάφορα άλλα είδη φυτών (άχυρα καλάμια κ.τ.λ.).

Βασικές ιδιότητες

# 3. Θερμομονωτικά υλικά

## Η αντίσταση στη φωτιά

- ▶ Όλα σχεδόν τα θερμομονωτικά υλικά ανόργανης προέλευσης παρουσιάζουν πολύ καλή συμπεριφορά απέναντι στη φωτιά. Τα περισσότερα από αυτά δεν αναφλέγονται και δεν συντηρούν τη φωτιά. Τέτοια είναι ο υαλοβάμβακας, ο πετροβάμβακας, το αφρώδες γυαλί, ο περλίτης κ.ά.
- ▶ Αντιθέτως, τα περισσότερα θερμομονωτικά υλικά οργανικής προέλευσης, φυσικά ή τεχνητά, έχουν κακή συμπεριφορά στη φωτιά και κατατάσσονται στην κατηγορία των καυστών υλικών ή αναφλέγονται αν εκτεθούν απευθείας σε φλόγα και κατατάσσονται στην κατηγορία των καυστών ή αυτοσβεννόμενων υλικών. Σ' αυτήν την κατηγορία υπάγονται τα πολυστερινικά και πολυουρεθανικά υλικά και τα παράγωγα από ξύλα και φυτά (ξυλόμαλλο, φελλός, καλάμια, γιούτα).

Βασικές ιδιότητες

# 3. Θερμομονωτικά υλικά

## Η μηχανική αντοχή

- ▶ Το θέμα της αντοχής των υλικών σε θλιπτικά ή εφελκυστικά φορτία άλλοτε είναι πολύ σημαντικό και άλλοτε όχι. Για παράδειγμα μικρή σημασία έχει η μηχανική αντοχή της θερμομονωτικής στρώσης στον πυρήνα μιας τοικοποιίας πλήρωσης. Είναι όμως πρώτης σημασίας αν η τοικοποιία είναι φέρουσα και το θερμομονωτικό υλικό ανήκει στα φέροντα στοιχεία της κατασκευής (π.χ. θερμομονωτικά τούβλα).
- ▶ Αντίστοιχα αξιολογείται η μηχανική αντοχή των θερμομονωτικών υλικών, όταν πρόκειται να τοποθετηθούν σε δώμα ή σε δάπεδο και να ασκηθούν σ' αυτό ισχυρά φορτία.
- ▶ Κάποια υλικά (π.χ. ξυλόμαλλο, αφρώδες γυαλί) παρουσιάζουν πολύ υψηλές αντοχές και ορισμένα εξ αυτών μπορούν να χρησιμεύσουν ταυτοχρόνως και ως ξυλότυποι κατά την κατασκευή. Άλλα πάλι (π.χ. πάπλωμα υαλοβάμβακα) δεν προσφέρονται για καταπονήσεις, ενώ άλλα (διογκωμένη πολυστερίνη, εξηλασμένη πολυστερίνη) είναι επιδεκτικά γραμμικών φορτίων, όχι όμως και εντοπισμένων.
- ▶ Επίσης η γνώση της αντοχής των θερμομονωτικών υλικών σε εφελκυσμό είναι χρήσιμη, όταν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν ως αυτοφερόμενες κατασκευές ή να τοποθετηθούν σε ψευδοροφές που παρουσιάζουν μεγάλα ανοίγματα.

Βασικές ιδιότητες

## 3. Θερμομονωτικά υλικά

### Η ηχομονωτική ικανότητα


- ▶ Η ικανότητα των υλικών να περιορίζουν τη μετάδοση του αερόφερτου ήχου (δηλαδή του μεταφερόμενου μέσω του αέρα) και του κτυπογενούς (δηλαδή του παραγόμενου από την κρούση δύο στερεών υλικών) καθορίζει την ηχομονωτική του συμπεριφορά. Ορισμένα θερμομονωτικά υλικά απορροφούν τον ήχο περιορίζοντας την επίδρασή του. Τέτοια υλικά είναι τα διάφορα ανόργανα ινώδη (υαλοβάμβακας, πετροβάμβακας) ή οργανικά πορώδη ή ινώδη (φελλός, ξυλόμαλλο).

Βασικές ιδιότητες

### 3. Θερμομονωτικά υλικά

Πιστοποίηση δομικών υλικών

- ▶ Οι προδιαγραφές που πρέπει να πληροί ένα θερμομονωτικό υλικό ορίζονται από πρότυπα. Αυτά καθορίζουν τις απαιτήσεις ως προς τις ιδιότητές τους, τις ικανότητές τους και τη συμπεριφορά τους.
- ▶ Σύμφωνα με τις κοινοτικές οδηγίες που ισχύουν ήδη από το 1988 (Οδηγία 89/106/ΕΟΚ), **ένα προϊόν θεωρείται κατάλληλο προς χρήση, εφόσον ανταποκρίνεται προς ένα εναρμονισμένο πρότυπο, μια ευρωπαϊκή τεχνική έγκριση ή μια μη εναρμονισμένη τεχνική προδιαγραφή, αναγνωρισμένη σε κοινοτικό επίπεδο.**

 Τα προϊόντα που ικανοποιούν αυτές τις απαιτήσεις αποκτούν το δικαίωμα να φέρουν τη **σήμανση CE** (πιστοποιητικό που δηλώνει ότι για την παραγωγή του προϊόντος τηρήθηκαν όλες οι προδιαγραφές που θέτουν τα πρότυπα όπως βεβαιώνεται με τον έλεγχο της παραγωγής στο εργοστάσιο και με τις δοκιμές των δειγμάτων του προϊόντος)



# 3. Θερμομονωτικά υλικά

## Κυριότερα θερμομονωτικά υλικά:

- ▶ διογκωμένη πολυστερίνη
- ▶ αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη
- ▶ πολυουρεθάνη
- ▶ υαλοβάμβακας
- ▶ πετροβάμβακας
- ▶ αφρώδες γυαλί
- ▶ ξυλόμαλλο
- ▶ πορώδη θερμομονωτικά τούβλα
- ▶ ελαφροβαρείς τσιμεντόλιθοι
- ▶ φελλός
- ▶ Άλλα φυσικά θερμομονωτικά υλικά (κυτταρίνη, μαλλί προβάτου, κάνναβη, λινάρι)

*Κυριότερα θερμομονωτικά υλικά*



***Η περιγραφή και χρήση κάθε υλικού αναφέρεται εκτενώς στο εγχειρίδιο !***

### 3. Θερμομονωτικά υλικά

- ▶ Υλικά με ικανότητα ανάκλασης της προσπίπτουσας επί της επιφανείας τους ακτινοβολίας.
- ▶ Συντίθενται από τρεις τουλάχιστον επάλληλες στρώσεις: κεντρική από συνθετικό υλικό που σχηματίζει κλειστές κυψελίδες με αέρα και εκατέρωθεν στρώσεις υψηλής ανακλαστικότητας (συνήθως φύλλο αλουμινίου του οποίου η ανακλαστικότητα φθάνει το 95 - 97%)

Θερμοανακλαστική μόνωση



- 🏠 Συνδυάζουν την ικανότητά τους να αντιδρούν τόσο στη μετάδοση της θερμότητας με αγωγιμότητα όσο και με ακτινοβολία.
- 🏠 Έτσι, οι θερμοανακλαστικές επιφάνειες λειτουργούν προς διπλή κατεύθυνση:
  - Το καλοκαίρι παρεμποδίζουν την απορρόφηση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας από τη μάζα του υλικού και την επανεκπέμπουν προς το εξωτερικό περιβάλλον.
  - Το χειμώνα παρεμποδίζουν τη ροή της μεταδιδόμενης θερμότητας από τον εσωτερικό χώρο προς το εξωτερικό περιβάλλον και την επανεκπέμπουν προς τον εσωτερικό χώρο.
- 🏠 Προκειμένου να λειτουργήσουν αποτελεσματικά, πρέπει μπροστά από την ανακλαστική τους επιφάνεια να έχουν λεπτό στρώμα αέρα, μέσω του οποίου ανακλάται προς την ανακλαστική επιφάνεια η μεταδιδόμενη θερμότητα και από αυτήν επαναανακλάται πίσω.

### 3. Θερμομονωτικά υλικά

Θερμοανακλαστική μόνωση

- ▶ Η προβαλλόμενη αντίσταση από ένα θερμοανακλαστικό υλικό παρέχεται από τον παραγωγό και στην τιμή της συμπεριλαμβάνεται και η αντίσταση του εκατέρωθεν ευρισκόμενου πάχους αέρα (περίπου 1,0 - 1,5 cm). Η τιμή της θερμικής αντίστασης είναι διαφορετική για οριζόντια ροή θερμότητας (κατακόρυφη θέση του δομικού στοιχείου) και διαφορετική για κατακόρυφη ροή θερμότητας προς τα επάνω (οροφή) ή προς τα κάτω (δάπεδο).
- ▶ Σύμφωνα με τις απαιτήσεις του Κ.Εν.Α.Κ. πρέπει να συνοδεύεται από σχετικό πιστοποιητικό διαπιστευμένου προς αυτό το σκοπό εργαστηρίου.
- ▶ Τα θερμοανακλαστικά υλικά μπορούν να βρουν πεδίο εφαρμογής στα περισσότερα δομικά στοιχεία των κτιριακών κατασκευών: στο δώμα, στην τοιχοποιία πλήρωσης, σε δикέλυφη αεριζόμενη τοιχοποιία, σε δάπεδα κ.ά.
- ▶ Σχετικές τιμές δίνονται σε πίνακες [TOTEΕ 20701-2/2017](#)

## 4. Κουφώματα

*Κουφώματα και υαλοπετάσματα*

- ▶ **Ολοκληρωμένα δομικά στοιχεία που συμπληρώνουν τα ανοίγματα των τοίχων στις όψεις των κτιρίων.**
- ▶ **Πρέπει:**
  - ▶ να ικανοποιούν τις γενικότερες απαιτήσεις προστασίας των εσωτερικών χώρων από τις εξωτερικές επιδράσεις (θερμοκρασιακές μεταβολές, βροχή, χιόνι, άνεμο, θόρυβο, σκόνη)
  - ▶ να εξασφαλίζουν την επιθυμητή οπτική, ακουστική και γενικότερη επικοινωνία και κίνηση ανάμεσα στο εσωτερικό των κτιρίων και στο εξωτερικό περιβάλλον
  - ▶ να επιτρέπουν τον φυσικό φωτισμό, τον ηλιασμό και τον αερισμό των χώρων
  - ▶ να συμβάλλουν στην αρχιτεκτονική πρόταση του κτιρίου.

# 4. Κουφώματα

*Κουφώματα και υαλοπετάσματα*

## Εξωτερικά κουφώματα (παράθυρα, εξωστόθυρες / μπαλκονόπορτες, εξώθυρες)

- ▶ προσφέρουν το σύνολο ή μέρος των παραπάνω λειτουργιών και τοποθετούνται σε μεμονωμένα ανοίγματα των όψεων των κτιρίων, καταλαμβάνοντας μικρά κατά κανόνα ποσοστά της συνολικής επιφάνειας των εξωτερικών τοίχων.
- ▶ Κύρια κατασκευαστικά μέρη:
  - ▶ σταθερό πλαίσιο (κάσα), που προσαρμόζεται μόνιμα στο οικοδομικό άνοιγμα
  - ▶ κινητά φύλλα, που είτε είναι αδιαφανή στοιχεία είτε αποτελούνται από πλαίσια που δέχονται υαλοπίνακες (υαλοστάσια / τζαμιλίκια) ή/και αδιαφανή στοιχεία.
  - ▶ Σπανιότερες είναι οι μορφές σταθερών κουφωμάτων (χωρίς κινητό τμήμα) και κουφωμάτων χωρίς κάσα (όπως υαλοπίνακες ή υαλόθυρες) που προσαρμόζονται κατευθείαν στο άνοιγμα.



# 4. Κουφώματα

## Υαλοπετάσματα

- ▶ εντάσσονται στα μικρού βάρους, μη φέροντα, τοιχοπετάσματα, στα οποία κυριαρχούν τα διαφανή στοιχεία πλήρωσης. Καταλαμβάνουν το ύψος μεταξύ τουλάχιστον δύο ορόφων, διαμορφώνοντας μεγάλα τμήματα όψεων ή και ολόκληρες όψεις.
- ▶ Κατασκευάζονται με τη μορφή πλαισίου από μέταλλο, ξύλο συνθετικό υλικό ή συνδυασμούς τους. Το σκελετό του συνολικού δομικού στοιχείου συνθέτουν κατακόρυφα και οριζόντια μέλη (ορθοστάτες και τραβέρσες) που συνδέονται μεταξύ τους και αγκυρώνονται στο φέροντα οργανισμό, εκπληρώνοντας σε συνεργασία με στοιχεία πλήρωσης της κατασκευής (παράθυρα, αδιαφανή τμήματα - ποδιές, ηλιοπροστατευτικές διατάξεις κ.τ.λ.) όλες τις λειτουργίες ενός εξωτερικού στοιχείου, χωρίς να συμμετέχουν στη φέρουσα λειτουργία του κτιρίου.



*Κουφώματα και υαλοπετάσματα*

## 4. Κουφώματα

*Χαρακτηριστικά και ιδιότητες που προσδιορίζουν την ενεργειακή απόδοση*

Τα κουφώματα & υαλοπετάσματα θα πρέπει:


- ▶ Σε κλιματικές συνθήκες που απαιτούν θέρμανση (δηλ. τη χειμερινή περίοδο) να συμβάλλουν στη μείωση των θερμικών απωλειών, με εξασφάλιση της δυνατότητας επαρκούς αερισμού των εσωτερικών χώρων και να μεγιστοποιούν τα ηλιακά κέρδη, ώστε να αντισταθμίζονται ή ακόμη και να υπερκαλύπτονται οι θερμικές τους απώλειες,
- ▶ Σε κλιματικές συνθήκες που απαιτούν ψύξη (δηλ. τη θερινή περίοδο) να συμβάλλουν στην ελαχιστοποίηση του θερμικού κέρδους και τη συνεπακόλουθη μείωση των ψυκτικών φορτίων, ενώ ταυτόχρονα να εξυπηρετούν την απομάκρυνση της θερμότητας μέσω φυσικού αερισμού και παθητικού δροσισμού.
- ▶ Τα τεχνικά χαρακτηριστικά και οι ιδιότητες που προσδιορίζουν την ενεργειακή απόδοση των κουφωμάτων και υαλοπετασμάτων εξαρτώνται από δύο συντελεστές:
  - ▶ **συντελεστή θερμοπερατότητας** του στοιχείου ( $U_w$  [ $W/(m^2 \cdot K)$ ] για τα κουφώματα /  $U_{cw}$  [ $W/(m^2 \cdot K)$ ] για τα υαλοπετάσματα).
  - ▶ **συντελεστή ηλιακού θερμικού κέρδους** του στοιχείου ( $g_w$ ).

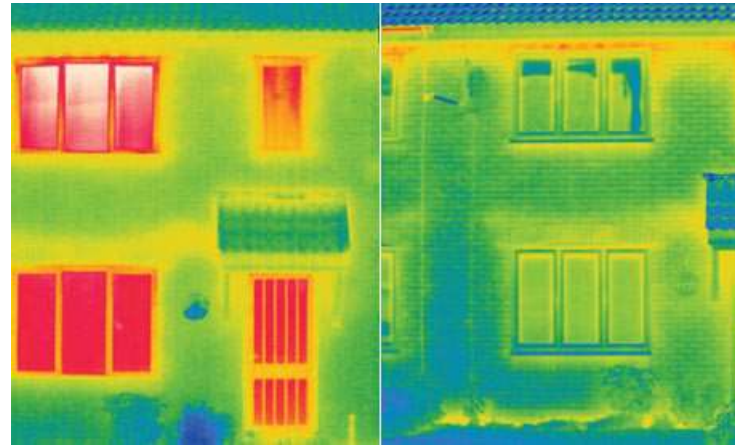
## 4. Κουφώματα

*Χαρακτηριστικά και ιδιότητες που προσδιορίζουν την ενεργειακή απόδοση*

### Συντελεστής θερμοπερατότητας του στοιχείου ( $U_w$ )

- ▶ αντιπροσωπεύει το βαθμό ροής θερμότητας διά μέσου του δομικού στοιχείου, του κουφώματος ή υαλοπετάσματος και την ικανότητα του να μειώνει τις θερμικές απώλειες των εσωτερικών χώρων.

 Ο συντελεστής  $U_w$  αποτελεί στην ουσία ένα μέσο συντελεστή, που συντίθεται από τους επί μέρους συντελεστές  $U_f$  του πλαισίου και  $U_g$  του υαλοπίνακα, σε αναλογία που προσδιορίζεται από ποσοστό συμμετοχής της κάθε μιας από τις επιφάνειες πλαισίου και υαλοπινάκων στη συνολική επιφάνεια του στοιχείου. Στη συνολική απόδοση του στοιχείου συνυπολογίζεται ο συντελεστής  $\Psi_g$  των γραμμικών απωλειών εξαιτίας θερμογεφυρών.



## 4. Κουφώματα

*Χαρακτηριστικά και ιδιότητες που προσδιορίζουν την ενεργειακή απόδοση*

### Συντελεστής ηλιακού θερμικού κέρδους του στοιχείου ( $g_w$ )

- ▶ εκφράζει τη μέση τιμή του λόγου της ηλιακής ακτινοβολίας που διαπερνά την επιφάνειά του κουφώματος ή του υαλοπετάσματος προς το σύνολο της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στην ίδια επιφάνεια.
- ▶ Λαμβάνεται ίση με το 90% του συντελεστή ηλιακού κέρδους  $g$ , σε κάθετη πρόσπτωση και πρακτικά αντιπροσωπεύει την ικανότητά του δομικού στοιχείου να μεταφέρει τη θερμότητα που προέρχεται από την ηλιακή ακτινοβολία στους εσωτερικούς χώρους.
- ▶ Οι τιμές του συντελεστή ηλιακού θερμικού κέρδους του κουφώματος  $g_w$  διαμορφώνονται καθοριστικά από το συντελεστή ηλιακού θερμικού κέρδους  $g_{gl}$  των υαλοπινάκων, ενώ επηρεάζονται από το ποσοστό συμμετοχής της επιφάνειας του πλαισίου στη συνολική επιφάνεια του στοιχείου, γεγονός που σημαίνει ότι κουφώματα ίδιων διαστάσεων με υαλοπίνακες με ίδια χαρακτηριστικά, μπορούν, ανάλογα με το πλάτος του πλαισίου τους, να έχουν διαφορετικούς συντελεστές.
- ▶ Τιμές συντελεστή ηλιακού θερμικού κέρδους = 0 ~ 1. Μεγαλύτερες τιμές του σημαίνουν μεγαλύτερες ποσότητες αξιοποιήσιμων θερμικών ηλιακών κερδών που προσφέρει το κούφωμα ή το υαλοπέτασμα, με συνέπεια **στοιχεία με μεγαλύτερες τιμές να είναι επιθυμητά σε κλιματικές συνθήκες που απαιτούν θέρμανση, ενώ αντίθετα για κλιματικές συνθήκες που κυριαρχούν απαιτήσεις ψύξης να προτιμώνται στοιχεία με μικρότερες τιμές, ώστε να μειώνονται οι απαιτήσεις των ψυκτικών φορτίων.**

## 4. Κουφώματα

*Χαρακτηριστικά και ιδιότητες που προσδιορίζουν την ενεργειακή απόδοση*

### Συντελεστής διαπερατότητας του στοιχείου στο φυσικό φως (TV)

- ▶ Αντιπροσωπεύει την ικανότητα του κουφώματος ή του υαλοπετάσματος να μεταφέρει το φυσικό ηλιακό φως στους εσωτερικούς χώρους και ως εκ τούτου έχει έμμεση επίπτωση στην ενεργειακή του απόδοση, καθόσον όσο μεγαλύτερες είναι οι τιμές του τόσο μεγαλύτερες είναι και οι ποσότητες φυσικού φωτός που μεταφέρει το κούφωμα ή το υαλοπέτασμα και συνεπώς τόσο μικρότερη η ανάγκη για συμπληρωματικό τεχνητό φωτισμό.
- ▶ Καθορίζεται από τον αντίστοιχο συντελεστή διαπερατότητας των υαλοπινάκων και εξαρτάται από τη σχέση των επιφανειών τους προς τη συνολική επιφάνεια του κάθε στοιχείου, κουφώματος ή υαλοπετάσματος, γεγονός που στη πράξη σημαίνει ότι στοιχεία ίδιων διαστάσεων με ίδιους υαλοπίνακες μπορεί, ανάλογα με το πλάτος του πλαισίου τους, να έχουν διαφορετικούς συντελεστές διαπερατότητας στο φυσικό φως.

## 4. Κουφώματα

*Χαρακτηριστικά και ιδιότητες που προσδιορίζουν την ενεργειακή απόδοση*

- ▶ Συνοπτικά:
  - ▶ Για κτίρια στα οποία η **θέρμανση** αποτελεί προτεραιότητα, οι τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας  $U_w$  των κουφωμάτων και υαλοπετασμάτων θα πρέπει να είναι οι μικρότερες δυνατές και οι τιμές του συντελεστή θερμικού κέρδους ηλιακής ακτινοβολίας ( $g_w$ ) οι υψηλότερες δυνατές.
  - ▶ Για κτίρια στα οποία προτεραιότητα έχει η **ψύξη**, οι τιμές του συντελεστή ηλιακού θερμικού κέρδους ( $g_w$ ), θα πρέπει να είναι οι χαμηλότερες δυνατές, με πρόνοια για την εξασφάλιση ικανοποιητικών επιπέδων διαπερατότητας στο φυσικό φώς.
  - ▶ Για κτίρια που απαιτούν και **θέρμανση** και **ψύξη**, η χρήση κουφωμάτων και υαλοπετασμάτων με χαμηλές τιμές τόσο του συντελεστή θερμοπερατότητας  $U_w$ , όσο και του συντελεστή ηλιακού θερμικού κέρδους ( $g_w$ ), εξοικονομούν ενέργεια. Στην ίδια περίπτωση, εφόσον χρησιμοποιηθούν στοιχεία σκίασης, θα πρέπει να επιλέγονται υψηλές τιμές του ( $g_w$ ), σε συνδυασμό με χαμηλές τιμές του  $U_w$ .
- ▶ Σε πολλές περιπτώσεις η βέλτιστη λύση οδηγεί στην επιλογή στοιχείων με διάφορους συντελεστές για διαφορετικές θέσεις και προσανατολισμούς:
  - ▶ Σε ψυχρά κλίματα, θα πρέπει να επιλέγεται η τοποθέτηση στοιχείων με χαμηλό συντελεστή θερμοπερατότητας  $U_w$  στο βορρά και στοιχείων με υψηλό συντελεστή κέρδους ηλιακής ακτινοβολίας ( $g_w$ ), στο νότο.
  - ▶ Σε θερμά κλίματα, στα οποία η υπερθέρμανση αποτελεί σημαντικό και συνηθισμένο πρόβλημα, επιδιώκεται η επιλογή στοιχείων που εξασφαλίζουν υψηλή διαπερατότητα στην ορατή ακτινοβολία (που σημαίνει ανεμπόδιο φυσικό φωτισμό), ενώ εμποδίζουν την είσοδο της ανεπιθύμητης, εκτός του ορατού φάσματος, θερμικής κυρίως ακτινοβολίας.

## 4. Κουφώματα

- ▶ Το βασικό υλικό κατασκευής του πλαισίου αποτελεί το κριτήριο κατηγοριοποίησης των κουφωμάτων σε **ξύλινα**, **μεταλλικά**, **συνθετικά** και **μεικτά / σύνθετα** κουφώματα.
- ▶ Ειδικότερα στα μεταλλικά κουφώματα, η διαμόρφωση της διατομής του πλαισίου σε δύο τμήματα που συνδέονται μεταξύ τους σε λειτουργικά ενιαίο και άκαμπτο στοιχείο, αλλά διαχωρίζονται θερμικά με τοποθέτηση κατάλληλου υλικού, τα διακρίνει σε θερμοδιακοπτόμενα ή μη κουφώματα.
- ▶ Ο αριθμός των κινητών φύλλων των κουφωμάτων τα διαχωρίζει σε μονόφυλλα, δίφυλλα κτλ., ενώ με κριτήριο τον τρόπο λειτουργίας των κινητών φύλλων κατατάσσονται σε:
  - ▶ **ανοιγόμενα** (περί κατακόρυφο άξονα -στο άκρο ή στο μέσο-, περί οριζόντιο άνω άξονα, περί οριζόντιο κάτω άξονα, περί οριζόντιο μεσαίο άξονα, περί κατακόρυφο & οριζόντιο άξονα, με παράλληλη ως προς την κάσα κίνηση του φύλλου),
  - ▶ **συρόμενα** (συρόμενα επάλληλα, συρόμενα με σταθερά φύλλα, συρόμενα σε διάκενο της εξωτερικής τοιχοποιίας, ανασυρόμενα καθ' ύψος),
  - ▶ **πτυσσόμενα**
  - ▶ **μεικτές μορφές.**

Πλαίσια & υαλοπίνακες



## 4. Κουφώματα

### Πλαίσια & υαλοπίνακες

- ▶ Τα πλαίσια στα σύγχρονα κουφώματα και υαλοπετάσματα κατασκευάζονται από **ξύλο, αλουμίνιο, χάλυβα, συνθετικά υλικά ή συνδυασμούς**. Η θερμομονωτική ικανότητα εξαρτάται από υλικό κατασκευής και διαμόρφωση της διατομής του.
- ▶ Η εφαρμογή πλαισίων με χαμηλό συντελεστή θερμοδιαπερατότητας επιτυγχάνει χαμηλότερες τιμές στις θερμικές απώλειες και στις ενεργειακές καταναλώσεις και αύξηση των θερμοκρασιών στις εσωτερικές επιφάνειες των πλαισίων γεγονός ιδιαίτερα σημαντικό για τη θερμική άνεση σε περιπτώσεις με χαμηλές εξωτερικές θερμοκρασίες.
- ▶ Η συμμετοχή της επιφάνειας των πλαισίων στη συνολική επιφάνεια του στοιχείου είναι - ιδιαίτερα στα μικρότερου μεγέθους κουφώματα- σημαντική με αποτέλεσμα η θερμομονωτική ικανότητα του κάθε πλαισίου να επηρεάζει ανάλογα τη θερμομονωτική και ενεργειακή συμπεριφορά του κουφώματος ή υαλοπετάσματος.
- ▶ Πλαίσια με κακή θερμομονωτική συμπεριφορά υποβαθμίζουν σημαντικά τα ενεργειακά κέρδη που προσφέρουν οι ενεργειακά αποδοτικοί υαλοπίνακες. Είναι σαφές ότι για να αξιοποιηθεί η εφαρμογή των σύγχρονων υψηλής ενεργειακής απόδοσης υαλοπινάκων στα κουφώματα και τα υαλοπετάσματα, απαιτούνται ανάλογες βελτιωμένες αποδόσεις και από τα πλαίσια.

## 4. Κουφώματα

Πλαίσια & υαλοπίνακες

Αξιολόγηση πλαισίων με βάση το υλικό κατασκευής τους:

Κριτήρια επιλογής	Αλουμίνιο	Ξύλο		Συνθετικό	
	Με θερμοδιακοπή	Με λαζούρα εμποτισμού	Με επικαλυπτικό χρώμα	PVC	PUR
Χρωματισμός	1÷2	2÷4	1÷2	2÷4	2÷4
Διαμόρφωση προφίλ	2÷3	1	1	2÷3	3÷4
Μέγεθος	1	2	2	2÷3	3÷4
Αντοχή στο χρόνο	1÷2	2÷3	2	1÷2	1÷2
Στεγανότητα	1÷2	1÷2	1÷2	1÷2	1÷2
Θερμομόνωση	2÷3	1	1	1	1
Υγροποίηση υδρατμών	2÷3	1	1	2	2
Ηχομόνωση	1÷2	1÷2	1÷2	1÷2	1÷2
Προστασία διάρρηξης	2	3	3	2	3
Καθαρισμός	2	2	2	2	2

## 4. Κουφώματα

- ▶ Οι υαλοπίνακες διαχωρίζονται σε:
  - ▶ συμβατικούς υαλοπίνακες (απλούς διπλούς και τριπλούς),
  - ▶ υαλοπίνακες ειδικών λειτουργιών και εφαρμογών (θερμομονωτικούς, ενεργειακούς, ηχομονωτικούς, πυροπροστασίας, ασφαλείας κ.τ.λ.) και
  - ▶ υαλοπίνακες σύνθετων λειτουργιών (π.χ. υαλοπίνακες θερμομονωτικούς και ασφαλείας, ηχομονωτικούς και πυροπροστασίας κ.τ.λ.).
- ▶ Οι συμβατικοί διπλοί και τριπλοί υαλοπίνακες, αποτελούνται από απλούς που διαχωρίζονται αντίστοιχα από ένα ή δύο διάκενα με πλήρωση ξηρού αέρα και συνδέονται σε ενιαίο αεροστεγές και υδατοστεγές στοιχείο με τη χρήση ειδικών προφίλ και κατάλληλων συγκολλητικών και σφραγιστικών υλικών, προσφέροντας σημαντικά βελτιωμένες θερμομονωτικές και ηχομονωτικές ιδιότητες σε σύγκριση με τους απλούς.
- ▶ Με στόχο ενεργειακά αποδοτικότερες λύσεις η αγορά έχει εμπλουτιστεί με βελτιωμένους θερμομονωτικούς - ενεργειακούς διπλούς και τριπλούς υαλοπίνακες, στους οποίους ο ξηρός αέρας πλήρωσης των διακένων αντικαθίσταται από τα ευγενή, χαμηλής αγωγιμότητας αέρια αργό, κρυπτό και -σπανιότερα- ξένο. Το ιδανικό πλάτος του διακένου σ' αυτούς τους υαλοπίνακες είναι μεταξύ 15 και 16 mm στους διπλούς και από 10 mm για το κάθε διάκενο στους τριπλούς.

*Πλαίσια & υαλοπίνακες*

## 4. Κουφώματα

*Ειδική υαλοπίνακες - Υαλοπίνακες ηλιακού ελέγχου*

- ▶ Η επιδίωξη για έλεγχο των ανεπιθύμητων θερμικών ηλιακών κερδών, χωρίς να παρεμποδίζεται η θέα και ο φυσικός φωτισμός των εσωτερικών χώρων, οδήγησε στην ανάπτυξη ειδικών υαλοπινάκων με κατάλληλες ιδιότητες, που προσδίδονται σε αυτούς με ειδικά υλικά (κυρίως μέταλλα και μεταλλικά οξείδια), τα οποία είτε αναμειγνύονται και ενσωματώνονται στη μάζα τους είτε εφαρμόζονται με επιστρώσεις στην επιφάνειά τους.
- ▶ Παρά το γεγονός ότι αρκετοί τύποι από αυτούς μετρούν ήδη δεκαετίες εφαρμογών, ο γενικός όρος «υαλοπίνακες ηλιακού ελέγχου» είναι σχετικά πρόσφατος και αναφέρεται σε προϊόντα υψηλής τεχνολογίας που αναπτύχθηκαν από την υαλοβιομηχανία, ώστε να επιτρέπουν στο ηλιακό φως να τους διαπερνά και ταυτόχρονα να διαχέουν και να αντανakλούν ένα μεγάλο μέρος της ηλιακής θερμότητας. Τα προϊόντα όπου εφαρμόζονται περιλαμβάνουν διπλούς τουλάχιστον υαλοπίνακες, γεγονός που σημαίνει ότι παρέχουν ικανοποιητική θερμομόνωση.

## 4. Κουφώματα

*Ειδικοί υαλοπίνακες - Υαλοπίνακες ηλιακού ελέγχου*

### ▶ Έγχρωμοι υαλοπίνακες

αποτελούν μια παραλλαγή των απλών υαλοπινάκων, στη μάζα των οποίων έχουν προστεθεί κατά την παραγωγή τους ειδικές χρωστικές ύλες, που αυξάνουν την απορροφητικότητα της ηλιακής ακτινοβολίας και συμβάλλουν στη μείωση των ηλιακών θερμικών φορτίων.

### ▶ Ανακλαστικοί υαλοπίνακες

έχουν με επιστρώσεις από υλικά με έντονες ανακλαστικές ιδιότητες ώστε να απομακρύνουν με ανάκλαση περί το 50% της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνειά τους. Χαρακτηρίζονται από ελαφρές χρωματικές αποχρώσεις, ενώ μειώνουν σε πολύ μικρό μόνο βαθμό το φυσικό φωτισμό των εσωτερικών χώρων.

### ▶ Απορροφητικοί υαλοπίνακες

περιορίζουν τη μετάδοση της υπέρυθρης, κυρίως, ακτινοβολίας στους εσωτερικούς χώρους, ενώ μειώνουν κατ' ελάχιστον την ορατή. Η υπερθέρμανση που προκαλεί η απορρόφηση μπορεί να οδηγήσει σε θερμικές εντάσεις στους ίδιους τους υαλοπίνακες και γι' αυτό θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και να αντιμετωπίζεται με εφαρμογή κατάλληλων υλικών στερέωσής τους και κατάλληλες κατασκευαστικές λύσεις.

## 4. Κουφώματα

*Ειδικό υαλοπίνακες - Υαλοπίνακες ηλιακού ελέγχου*

### ▶ Ηλεκτροχρωμικοί υαλοπίνακες

μεταβάλλουν τη διαπερατότητά τους στο ηλιακό φως με την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος χαμηλής τάσης. Το ρεύμα μεταφέρεται με μικροσκοπικούς λεπτότατους αγωγούς σε μία ηλεκτροχρωμική επίστρωση που ενεργοποιείται και αλλάζει το χρωματισμό της από ανοικτό σε σκούρο ή αντίστροφα και με αυτό τον τρόπο ελαττώνει ή αυξάνει ανάλογα τις ποσότητες της ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται στους εσωτερικούς χώρους. Η παροχή του ρεύματος πραγματοποιείται είτε με χειρισμούς και εντολές κατά τη βούληση του χρήστη ή με αυτοματισμούς που στηρίζονται στη λειτουργία ειδικών φωτοαισθητήρων.

### ▶ Θερμοχρωμικοί υαλοπίνακες

μεταβάλλουν τη διαπερατότητά τους στο ηλιακό φως με αλλαγή του χρωματισμού τους από ανοικτό σε σκούρο, με παθητικό τρόπο, χωρίς δηλαδή τη δράση ηλεκτρικού ρεύματος. Αυτό επιτυγχάνεται με την εφαρμογή ελαφρά χρωματισμένων θερμοχρωμικών μεμβρανών, που καθώς θερμαίνονται από την άμεση ηλιακή ακτινοβολία μειώνουν τη διαπερατότητά τους (σκοτεινιάζουν) και απορροφούν σημαντικό μέρος της ακτινοβολίας που κατευθύνεται προς το εσωτερικό. Σε απουσία άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας ο χρωματισμός των υαλοπινάκων «ανοίγει», ώστε να επιτραπεί η είσοδος της διάχυτης ακτινοβολίας στους χώρους. Οι θερμοχρωμικές μεμβράνες ενσωματώνονται μεταξύ δύο υαλοπινάκων, συνθέτοντας ένα ενιαίο φύλλο.

## 4. Κουφώματα

*Ειδικοί υαλοπίνακες - Υαλοπίνακες ηλιακού ελέγχου*

### ► Υαλοπίνακες χαμηλής εκπομπής (low-e)

εφαρμόζονται στις επιφάνειές τους λεπτότατες, πρακτικά μη ορατές, επιστρώσεις από μέταλλα ή οξειδία μετάλλων.

Όπως είναι γνωστό, ο βασικός μηχανισμός μεταφοράς θερμικών φορτίων στους διπλούς και τριπλούς υαλοπίνακες είναι η ακτινοβολούμενη θερμότητα από ένα θερμό προς έναν ψυχρό υαλοπίνακα. Με την επικάλυψη της επιφάνειας του υαλοπίνακα που είναι στραμμένη προς το διάκενο με υλικό χαμηλής εκπομπής εμποδίζεται σημαντικό μέρος της ακτινοβολούμενης θερμότητας να διέλθει, με αποτέλεσμα τη μείωση της συνολικής διακίνησης θερμότητας διά του στοιχείου και τη μείωση του συντελεστή θερμοπερατότητάς του.

Η σύγχρονη τεχνολογία εφαρμογής επιστρώσεων χαμηλής εκπομπής στους υαλοπίνακες προσφέρει εξελιγμένα προϊόντα με εξειδικευμένες ιδιότητες και λειτουργίες. Υπάρχουν αρκετοί τύποι υαλοπινάκων με επιστρώσεις, που κάνουν δυνατή τη μείωση των θερμικών ηλιακών κερδών (σημαντικό χαρακτηριστικό για τη θερινή περίοδο ή τις περιπτώσεις που κυριαρχούν οι απαιτήσεις για ψύξη), τις θερμικές απώλειες (σημαντικό χαρακτηριστικό για τη χειμερινή περίοδο ή τις περιπτώσεις που κυριαρχούν οι απαιτήσεις για θέρμανση) και τη θάμβωση (σημαντικό χαρακτηριστικό για διάφορες συνθήκες φυσικού φωτισμού).

## 4. Κουφώματα


*Ειδικό υαλοπίνακες - Υαλοπίνακες ηλιακού ελέγχου*


- ▶ Για τους βέλτιστους, κατά περίπτωση και ειδικές συνθήκες, συνδυασμούς low-e επιστρώσεων και τιμών του συντελεστή θερμικού κέρδους ηλιακής ακτινοβολίας g σημειώνονται τα ακόλουθα:
  - ▶ Για κτίρια στα οποία η θέρμανση αποτελεί προτεραιότητα, προτείνονται χαμηλής εκπομπής (low-e) υαλοπίνακες με υψηλές τιμές του συντελεστή θερμικού κέρδους ηλιακής ακτινοβολίας g. Αυτοί ακριβώς οι τύποι των υαλοπινάκων επιλέγονται κατά κανόνα για κτίρια που ακολουθούν τις αρχές του ηλιακού - παθητικού σχεδιασμού.
  - ▶ Για κλιματικές συνθήκες που απαιτούν κυρίως ψύξη ιδανική επιλογή θεωρούνται χαμηλής εκπομπής (low-e) υαλοπίνακες που προσφέρουν χαμηλές τιμές του συντελεστή θερμικού κέρδους ηλιακής ακτινοβολίας g.
  - ▶ Για κλιματικές συνθήκες που απαιτούν και θέρμανση και ψύξη, η επιλογή χαμηλής εκπομπής (low-e) υαλοπινάκων συμβάλλει στη μείωση του συνολικού ετήσιου ενεργειακού κόστους, εφόσον, στο πλαίσιο των δεδομένων λειτουργίας του κάθε συγκεκριμένου έργου και του ενεργειακού σχεδιασμού του, συνδυαστούν με την επιλογή των κατάλληλων για την κάθε περίπτωση τιμών συντελεστή θερμικών ηλιακών κερδών (υψηλών, ενδιάμεσων ή χαμηλών τιμών του g).
  - ▶ Η τεχνολογία των επιστρώσεων χαμηλής εκπομπής (low-e) είναι σε θέση να προσφέρει προϊόντα με ιδιαίτερα χαμηλές τιμές του συντελεστή θερμικών ηλιακών κερδών g, που χαρακτηρίζονται όμως από σημαντική μείωση της διαπερατότητας ορατής ακτινοβολίας ή εμφανίζονται ως ελαφρά χρωματισμένα, γεγονός που πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη για την επιλογή τους.

## 4. Κουφώματα

*Φύλλα ασφαλείας και σκίασης (εξώφυλλα / σκούρα)*

- ▶ Συμπληρώνουν τα εξωτερικά κουφώματα με σκοπό να καλύψουν τις ανάγκες ασφαλείας, σκίασης, ηλιασμού, φωτισμού, ηχομόνωσης και θερμομόνωσης των εσωτερικών χώρων.

 Στα σύγχρονα κουφώματα το κουτί περιέλιξης και προστασίας δεν αποτελεί ανεξάρτητο στοιχείο, αλλά ενσωματώνεται στο πλαίσιο του κουφώματος, καταλαμβάνοντας τμήμα του συνολικού οικοδομικού ανοίγματος.

 Με δεδομένο ότι το κουτί του ρολού καταλαμβάνει το 10% - 20% της συνολικής επιφάνειας του κουφώματος (ανάλογα αν τοποθετείται σε εξωστόθυρα ή παράθυρο), η συμμετοχή του στη θερμομονωτική απόδοση του συνολικού κουφώματος είναι σημαντική και ως εκ τούτου **ο συντελεστής θερμοπερατότητάς του θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς.**



## 4. Κουφώματα

*Τύποι κουφωμάτων. Θερμοτεχνικά χαρακτηριστικά*

### ▶ Κουφώματα με διπλά υαλοστάσια

Αποτελούνται από δύο σειρές παράλληλα τοποθετημένων υαλοστασίων (φύλλων), που συνδέονται μεταξύ τους με ειδικά εξαρτήματα, ώστε να μπορούν να ανοίγουν ως ενιαίο σύνολο, κινούμενα γύρω από κοινό κατακόρυφο άξονα με στροφείς που στηρίζονται στην κοινή κάσα, ενώ παρέχεται η δυνατότητα και ανεξάρτητου ανοίγματος των φύλλων για λόγους καθαρισμού. Η απόσταση μεταξύ εξωτερικών και εσωτερικών φύλλων, που κυμαίνεται από 4 cm έως 7 cm προσδίδει στο σύνολο **αυξημένες θερμομονωτικές και ηχομονωτικές ιδιότητες**. Η τοποθέτηση διπλών υαλοπινάκων στα υαλοστάσια της μιας από τις δύο σειράς - κατά κανόνα της εξωτερικής - αυξάνει σημαντικά την ενεργειακή απόδοση του κουφώματος.

### ▶ Κουφώματα με διπλή κάσα (διπλά ή δίδυμα και κιβωτιοειδή κουφώματα)

Πρόκειται για δύο ανεξάρτητα απλά κουφώματα, με ανεξάρτητες κάσες, που τοποθετούνται κατά το βάθος του ανοίγματος με μεταξύ τους απόσταση 10 - 0 cm. Στα κιβωτιοειδή κουφώματα ένα πλαίσιο (τελάρο, κάσα) συνδέει τα δύο λειτουργικά και κατασκευαστικά ανεξάρτητα επί μέρους απλά στοιχεία, σε ενιαίο σύνολο. Η τοποθέτηση απλών ή διπλών υαλοπινάκων στα υαλοστάσια, στο ένα ή και στα δύο στοιχεία, ενισχύει ανάλογα την ενεργειακή απόδοση του ενιαίου ολοκληρωμένου στοιχείου.

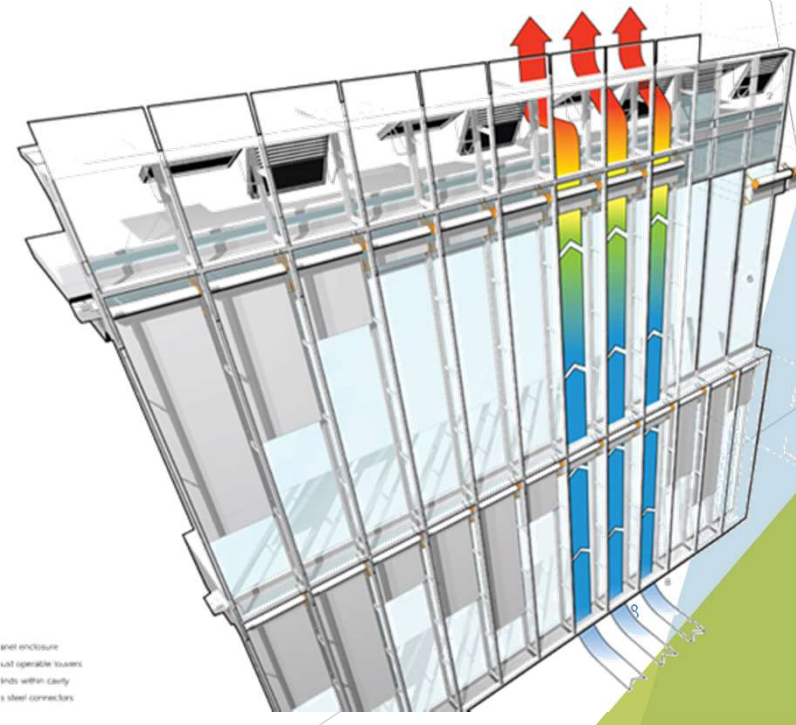
Εξέλιξη των παραδοσιακών κιβωτιοειδών στοιχείων μπορούν να θεωρηθούν οι σύγχρονες, υψηλής τεχνολογίας και ενεργειακής απόδοσης κιβωτιοειδείς (box-type) γυάλινες διπλοκέλυφες όψεις.

## 4. Κουφώματα

*Τύποι κουφωμάτων. Θερμοτεχνικά χαρακτηριστικά*

► **Διπλοκέλυφα παράθυρα - γυάλινες διπλοκέλυφες όψεις.**

Γενικά, πρόκειται για κατασκευές παραθύρων και όψεων (τμημάτων όψεων ή συνολικών) αποτελούμενων από δύο ανεξάρτητα κελύφη που διαχωρίζονται από χώρο κίνησης αέρα. Στη σύγχρονη διεθνή βιβλιογραφία αναφέρονται και ως γυάλινες διπλές όψεις (GDS-Glass Double Façades) ή διπλοκέλυφες γυάλινες όψεις (DGSF- Double Glass Skin Façades).



## 4. Κουφώματα

*Τύποι κουφωμάτων. Θερμοτεχνικά χαρακτηριστικά*

- ▶ Τα κατασκευαστικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά των διπλοκέλυφων όψεων διαφοροποιούν τέσσερις βασικές υποκατηγορίες:
  - ▶ διπλοκέλυφες όψεις τύπου κιβωτιοειδούς παραθύρου,
  - ▶ διπλοκέλυφες όψεις τύπου διαδρόμου,
  - ▶ διπλοκέλυφες όψεις τύπου κιβωτιοειδούς φρεατίου,
  - ▶ πολυώροφες διπλοκέλυφες όψεις συνεχούς κλωβού και
  - ▶ διπλοκέλυφα παράθυρα.
- ▶ Ανεξάρτητα από τη σύνθεση της όψης από μικρότερα ή μεγαλύτερα λειτουργικά στοιχεία, βασικό κριτήριο κατηγοριοποίησης είναι η λειτουργία του κλωβού. Από τις τέσσερις παραπάνω βασικές κατηγορίες, οι δύο πρώτες έχουν κοινό χαρακτηριστικό την ανά όροφο κατασκευαστική και λειτουργική ανεξαρτησία του κλωβού, ενώ οι άλλες δύο στηρίζονται σε ενιαία λειτουργία του στοιχείου σε όλο το ύψος της όψης.

# 4. Κουφώματα

## *Προσαρμογή και ενσωμάτωση των κουφωμάτων στα ανοίγματα*

- ▶ Με θερμοτεχνικά και ενεργειακά κριτήρια, οι περιοχές επαφής κάσας - ανοίγματος είναι ευαίσθητες απέναντι στους κινδύνους:
  - ▶ ανεπιθύμητων διαφυγών αέρα, με επακόλουθο θερμικές απώλειες από τους θερμαινόμενους εσωτερικούς χώρους προς το εξωτερικό περιβάλλον,
  - ▶ δημιουργίας θερμογεφυρών, με επακόλουθο θερμικές απώλειες και αυξημένες πιθανότητες υγραποίησης υδρατμών στις περιοχές επαφής,
  - ▶ διείσδυσης νερού από συνδυασμένη επίδραση βροχής και ανεμοπίεσης, με επακόλουθο τόσο τη διύγρανση και τη φθορά των υλικών των επιφανειών επαφής, όσο και τη διαφυγή θερμότητας στα υγρά τμήματα αυτών των περιοχών.
- ▶ Αυτοί οι κίνδυνοι αντιμετωπίζονται κατά κανόνα συνολικά:
  - ▶ με κατάλληλη κατασκευαστική διαμόρφωση των οικοδομικών ανοιγμάτων, ώστε να προστατεύονται κατά το δυνατόν οι περιοχές επαφής,
  - ▶ με ένταξη της κάσας στο ίδιο κατακόρυφο επίπεδο με εκείνο της θερμομόνωσης της τοιχοποιίας που περιβάλλει το άνοιγμα,
  - ▶ με εφαρμογή υλικών που αποκλείουν, σε κάθε περίπτωση, τη θερμική γεφύρωση ανάμεσα στην κάσα και την τοιχοποιία που περιβάλλει το οικοδομικό άνοιγμα (όπως π.χ. θερμομονωτικές λωρίδες, αφροί κ.τ.λ.),
  - ▶ με εφαρμογή υλικών πλήρωσης και σφράγισης αρμών που εξασφαλίζουν υδατοστεγανότητα και αεροστεγανότητα (όπως π.χ. μεμβράνες, κορδόνια, μαστίχες, σιλικόνες κ.τ.λ.) και
  - ▶ με εφαρμογή τεχνικών που εξασφαλίζουν τη σταθεροποίηση του κουφώματος στο άνοιγμα και επιτρέπουν τις μικρομετακινήσεις, τη σταθερότητα των διαστάσεων των αρμών και τη σταθερή στο χρόνο πρόσφυση των προστατευτικών υλικών.