

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4

Υπολογισμοί θερμομόνωσης κτιρίου

Η θερμομόνωση ενός κτιρίου είναι αναγκαία προϋπόθεση για την εξασφάλιση υγιεινής, ευχάριστης και θερμικά άνετης διαμονής μέσα σε ένα κτίριο κάτω από συνθήκες οικονομίας. Ιδιαίτερα στις κατοικίες που λειτουργούν όλο το 24ώρο, η θερμομόνωση είναι βασική ανάγκη. Με την καλή θερμομόνωση του κτιρίου επιτυγχάνεται :

- α) Εξοικονόμηση της κατανάλωσης ενέργειας από τη θέρμανση των εσωτερικών χώρων κατά τη χειμερινή περίοδο.
- β) Περιορισμός των φθορών που παρατηρούνται λόγω της έλλειψης θερμομόνωσης, όπως οι θραύσεις σωληνώσεων από τον παγετό, οι αποκολλήσεις επιχρισμάτων και χρωματισμών από συμπίκνωση υδρατμών στις ψυχρές εξωτερικές επιφάνειες.
- γ) Μείωση των δαπανών κατασκευής της εγκατάστασης θέρμανσης, που είναι ανάλογες με την εγκατεστημένη ισχύ του λέβητα.
- δ) Μείωση των εκλυόμενων ρύπων στο άμεσο περιβάλλον του κτιρίου, αλλά και στο ευρύτερο περιβάλλον.

Οι θερμικές απώλειες ενός κτιρίου εξαρτώνται αφενός από την ποιότητα της θερμομόνωσης, αφετέρου από άλλες παραμέτρους όπως:

- α) Η έντονη έκθεση του κτιρίου στους ανέμους, η οποία αυξάνει τις θερμικές απώλειες. Αντίθετα η ύπαρξη γειτονικών κτιρίων, δέντρων ή άλλων εμποδίων τα οποία προφυλάσσουν το κτίριο από την άμεση επίδραση των ανέμων, μειώνουν τις θερμικές απώλειες.
- β) Ο αριθμός ελεύθερων πλευρών. Όσο περισσότερες είναι οι ελεύθερες πλευρές ενός κτιρίου, τόσο μεγαλύτερες είναι οι θερμικές απώλειες.
- γ) Η ενοποίηση χώρων διαφορετικών ορόφων. Σε διπλοκατοικίες με συνέχεια των χώρων, η θερμότητα του κάτω ορόφου συγκεντρώνεται στον πάνω όροφο με αποτέλεσμα την αίσθηση ψύχους.
- δ) Οι καπνοδόχοι, οι σωληνώσεις παροχής θερμού και ψυχρού νερού, καθώς και οι σωλήνες των κεντρικών θερμάνσεων, δεν πρέπει να έρχονται σε επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον γιατί συμβάλουν στις θερμικές απώλειες, εκτός αν είναι μονωμένοι. Για τις καπνοδόχους, η σωστή μόνωση εξασφαλίζει τη σωστή κυκλοφορία των καυσαερίων και την αποφυγή δημιουργίας όξινων συμπυκνωμάτων.

Η θερμομονωτική ικανότητα των στοιχείων κατασκευής χαρακτηρίζεται από το συντελεστή θερμοπερατότητας (k) του δομικού στοιχείου ο οποίος υπολογίζεται από τη σχέση [4.1].

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\Lambda} + \frac{1}{\alpha_a} \quad [4.1]$$

Όπου α_i και α_a είναι οι συντελεστές μεταβάσεως του αέρα για εσωτερικές και εξωτερικές επιφάνειες αντίστοιχα. Τα ανώτατα όρια των συντελεστών μεταβάσεως του αέρα για εξωτερικές και εσωτερικές επιφάνειες, δίνονται στον παρακάτω Πίνακα 4.1

Πίνακας 4.1 Συντελεστές θερμικής μεταβάσεως και αντίσταση θερμικής μεταβάσεως

	Συντελεστής θερμικής μεταβάσεως (α_i) και (α_a)	Αντίσταση θερμικής μεταβάσεως ($1/\alpha_i$) και ($1/\alpha_a$)
	[W/m ² .K]	[m ² .K/W]
Επιφάνεια τοίχων, εσωτερικά παράθυρα, εξωτερικά παράθυρα	$\alpha_i = 8,14$	$1/\alpha_i = 0,14$
Δάπεδα και οροφές σε περίπτωση μετάβασης θερμότητας από κάτω προς τα επάνω	$\alpha_i = 8,14$	$1/\alpha_i = 0,14$
Δάπεδα και οροφές σε περίπτωση μετάβασης θερμότητας από επάνω προς τα κάτω	$\alpha_i = 5,84$	$1/\alpha_i = 0,17$
Στις εξωτερικές πλευρές με μέση ταχύτητα ανέμου περίπου 2 [m/s]	$\alpha_a = 23,26$	$1/\alpha_a = 0,04$

$1/\Lambda$, είναι ο συντελεστής θερμοδιαφυγής ενός δομικού στοιχείου σε [m².h.°C/kcal] και υπολογίζεται από τη σχέση [4.2].

$$\frac{1}{\Lambda} = \frac{d_n}{\lambda_n} + \frac{d_n}{\lambda_n} + \frac{d_n}{\lambda_n} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} \quad [4.2]$$

όπου

d_i , είναι το αντίστοιχο πάχος του κάθε υλικού,

λ_i , είναι οι συντελεστές θερμικής αγωγιμότητας των διαφόρων υλικών που αποτελούν ένα δομικό στοιχείο σε [W/m.K]. Στον Πίνακα 4.2, παρουσιάζονται ενδεικτικά τιμές του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (λ) για κοινά δομικά κοινά υλικά.

Πίνακας 4.2 Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας (λ) για διάφορα δομικά υλικά

Υλικά	Φαινόμενη πυκνότητα	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας (λ)
	[kg/m ³]	[W/m.K]
Επίχρισμα ασβεστοκονιάματος		0,87
Επίχρισμα τσιμεντοκονιάματος		1,39
Συμπαγείς λίθοι, μάρμαρο, γρανίτης, ασβεστόλιθος		3,49
Συμπαγείς πλίνθοι αργίλου ωμοί		0,93
Άμμος φυσικής προέλευσης		1,40
Σκυρόδεμα αδρανών ≤ 160		2,03
Γαρμπιλοσκυρόδεμα	1700	0,81
Περλιτόδεμα με τσιμέντο 1:8		0,128

Πλάκες σκυροδέματος με ανάμικτα αδρανή	1400	0,58
Γυψοσανίδες	1200	0,58
Τσιμεντόλιθοι πλήρεις	1800	0,99
Τσιμεντόλιθοι διάτρητοι	1400	0,70
Οπτόπλινθοι πλήρεις	1400	0,60
Οπτόπλινθοι διάτρητοι	1200	0,52
Οξυά		0,17
Κωνοφόρα		0,14
Κόντρα πλακέ		0,14
Μοριοσανίδες	900	0,17
Γυαλί		0,81
Αλουμίνιο		203,52
Χυτοσίδηρος και χάλυβας		53,15
Ασφαλτικό σκυρόδεμα	2100	0,70
Ασφαλτόχαρτο	1100	0,19
Θερμομονωτικά υλικά		
Υαλοβάμβακας	50	0,041
Πετροβάμβακας	230-250	0,056
Πλάκες διογκωμένου φελλού	160	0,046
Αφρώδης πολυουρεθάνη		0,033
Διογκωμένη πολυστερίνη	10-30	0,041
Αφρώδης πολυστυρώλη Roofmate	32-35	0,027
Αφρώδης πολυστυρώλη Styrofoam	28	0,033
Διογκωμένοι αφροί με βάση ρητίνη ουρίας φορμαλδεύδης		0,031
Πλάκες πεπιεσμένου άχυρου	220-250	0,049
Πλάκες από ίνες ζαχαροκάλαμου	260	0,046
Φύκια θαλάσσης	150	0,041

Για τον υπολογισμό του συντελεστή θερμοπερατότητας (**k**) των δομικών στοιχείων του κτιρίου, θα πρέπει επίσης να λαμβάνονται υπ' όψιν οι θερμικές απώλειες από τις θερμογέφυρες, όπως υπολογίζονται σύμφωνα με το πρότυπο ISO/DIS 14683. Σε διαφορετική περίπτωση, ο συντελεστής θερμοπερατότητας **k** των δομικών στοιχείων, για κατακόρυφη απόσταση έως 1,5m εκατέρωθεν του στοιχείου θερμογέφυρας, θα προσαυξάνεται κατά 10% έναντι της τιμής που προκύπτει από την εφαρμογή της σχέσης [4.1].

Ο μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας του κτιρίου (**k_m**) υπολογίζεται από την σχέση [4.3].

$$k_m = \frac{k_W \cdot F_W + k_F \cdot F_F + k_D \cdot F_D + 0,5 \cdot k_G \cdot F_G + k_{DL} \cdot F_{DL} + k_{WE} \cdot F_{WE}}{F} \quad [4.3]$$

όπου ο δείκτης (W) αναφέρεται στους εξωτερικούς τοίχους, ο δείκτης (F) στα παράθυρα και πόρτες, ο δείκτης (D) στην οροφή, ο δείκτης (G) στο δάπεδο του κτιρίου που εφάπτεται με το έδαφος ή με μη θερμαινόμενους τοίχους, ο δείκτης (DL) στο δάπεδο πιλοτής και ο δείκτης (WE) στους εξωτερικούς τοίχους σε επαφή με μη θερμαινόμενους χώρους.

Ο μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας k_m (W,F) των επιφανειών των εξωτερικών τοίχων, συμπεριλαμβανομένων των θυρών και των παραθύρων, υπολογίζεται από τη σχέση 4.4.

$$k_m = \frac{k_W \cdot F_W + k_F \cdot F_F}{F_W + F_F} \quad [4.4]$$

Οι απώλειες θερμότητας λόγω μετάδοσης (Q_T) ενός κτιρίου υπολογίζονται βάσει του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας (k_m) του κτιρίου, τη θερμοκρασιακή διαφορά (ΔT) εσωτερικών χώρων με το εξωτερικό περιβάλλον, καθώς επίσης και τη συνολική εξωτερική επιφάνεια του κτιρίου (F), σχέση [4.5].

$$Q_T = k_m \cdot F \cdot \Delta T \quad [4.5]$$

Σε όλες τις ζώνες συνιστάται η χρήση διπλών υαλοπινάκων κυρίως στις πλευρές του κτιρίου που είναι εκτεθειμένες σε ψυχρούς ανέμους, (ανάλογα την επικρατούσα κατεύθυνση του ανέμου). Αντίστοιχα στα κτίρια που βρίσκονται στην Κλιματική Ζώνη Γ και Δ συνιστάται η χρήση διπλών υαλοπινάκων σε όλες τις πλευρές του κτιρίου.

Στους παρακάτω Πίνακες 4.3, 4.4 και 4.5 δίνονται ενδεικτικές τιμές του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας (k_F) [$Wm^{-2}K^{-1}$] διαφόρων τύπων υαλοπινάκων, σε συνάρτηση του υλικού κατασκευής του πλαισίου, του ποσοστού του πλαισίου, κ.α.

Πίνακας 4.3 Συντελεστής θερμικής διαπερατότητας [$Wm^{-2}K^{-1}$] διπλών και τριπλών υαλοπινάκων με διαφορετικούς τύπους αερίων στο διάκενο

Υαλοπίνακες				Τύπος αερίου στο διάκενο		
Τύπος	Τύπος γυαλιού	Ικανότητα θερμικής εκπομπής	Διαστάσεις [mm]	Αέρας	Αργό	Κρυπτό
Διπλός	Χωρίς επικάλυψη (σύνηθες γυαλί)	0.89	4 / 6 / 4	3.3	3.0	2.8
			4 / 9 / 4	3.0	2.8	2.6
			4 / 12 / 4	2.9	2.7	2.6
			4 / 15 / 4	2.7	2.6	2.6
			4 / 20 / 4	2.7	2.6	2.6
	Επικάλυψη στη μία πλευρά	≤0.40	4 / 6 / 4	2.9	2.6	2.2
			4 / 9 / 4	2.6	2.3	2.0
			4 / 12 / 4	2.4	2.1	2.0
			4 / 15 / 4	2.2	2.0	2.0
			4 / 20 / 4	2.2	2.0	2.0
	Επικάλυψη στη μία πλευρά	≤0.20	4 / 6 / 4	2.7	2.3	1.9
			4 / 9 / 4	2.3	2.0	1.6
			4 / 12 / 4	1.9	1.7	1.5
			4 / 15 / 4	1.8	1.6	1.6

Υαλοπίνακες				Τύπος αερίου στο διάκενο		
Τύπος	Τύπος γυαλιού	Ικανότητα θερμικής εκπομπής	Διαστάσεις [mm]	Αέρας	Αργό	Κρυπτό
	Επικάλυψη στη μία πλευρά	≤0.10	4 / 20 / 4	1.8	1.7	1.6
			4 / 6 / 4	2.6	2.2	1.7
			4 / 9 / 4	2.1	1.7	1.3
			4 / 12 / 4	1.8	1.5	1.3
			4 / 15 / 4	1.6	1.4	1.3
			4 / 20 / 4	1.6	1.4	1.3
	Επικάλυψη στη μία πλευρά	≤0.05	4 / 6 / 4	2.5	2.1	1.5
			4 / 9 / 4	2.0	1.6	1.3
			4 / 12 / 4	1.7	1.3	1.1
			4 / 15 / 4	1.5	1.2	1.1
			4 / 20 / 4	1.5	1.2	1.2
Τριπλός	Χωρίς επικάλυψη (σύνηθες γυαλί)	0.89	4 / 6 / 4 / 6 / 4	2.3	2.1	1.8
			4 / 9 / 4 / 9 / 4	2.0	1.9	1.7
			4 / 12 / 4 / 12 / 4	1.9	1.8	1.6
	Επικάλυψη σε δύο πλευρές	≤0.40	4 / 6 / 4 / 6 / 4	2.0	1.7	1.4
			4 / 9 / 4 / 9 / 4	1.7	1.5	1.2
			4 / 12 / 4 / 12 / 4	1.5	1.3	1.1
	Επικάλυψη σε δύο πλευρές	≤0.20	4 / 6 / 4 / 6 / 4	1.8	1.5	1.1
			4 / 9 / 4 / 9 / 4	1.4	1.2	0.9
			4 / 12 / 4 / 12 / 4	1.2	1.0	0.8
	Επικάλυψη σε δύο πλευρές	≤0.10	4 / 6 / 4 / 6 / 4	1.7	1.3	1.0
			4 / 9 / 4 / 9 / 4	1.3	1.0	0.8
			4 / 12 / 4 / 12 / 4	1.1	0.9	0.6
	Επικάλυψη σε δύο πλευρές	≤0.05	4 / 6 / 4 / 6 / 4	1.6	1.3	0.9
			4 / 9 / 4 / 9 / 4	1.2	0.9	0.7
			4 / 12 / 4 / 12 / 4	1.0	0.8	0.5

Πίνακας 4.4 Συντελεστής θερμικής διαπερατότητας [$Wm^{-2}K^{-1}$] ανοιγμάτων για συνήθεις τύπους πλαισίων ($k_{\text{πλαίσιου}}=7.0$: μεταλλικό πλαίσιο χωρίς θερμοδιακοπή, $2.2 \leq k_{\text{πλαίσιου}} \leq 3.8$: μεταλλικό πλαίσιο με θερμοδιακοπή, $k_{\text{πλαίσιου}} \leq 2.0$: ξύλινο ή PVC πλαίσιο), με ποσοστό πλαισίου 20% ως προς το συνολικό άνοιγμα

Τύπος υαλοπίνακα	Συντελεστής θερμικής διαπερατότητας υαλοπίνακα [$Wm^{-2}K^{-1}$]	Συντελεστής θερμικής διαπερατότητας [$Wm^{-2}K^{-1}$] πλαισίου (ποσοστό πλαισίου ως προς το συνολικό άνοιγμα: 20%)								
		1.0	1.4	1.8	2.2	2.6	3.0	3.4	3.8	7.0
Μονός	5.7	4.8	4.8	4.9	5.0	5.1	5.2	5.2	5.3	5.9
Διπλός	3.3	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.4	3.5	4.0
	3.1	2.8	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.9
	2.9	2.6	2.7	2.8	2.8	3.0	3.0	3.1	3.2	3.7
	2.7	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.0	3.6
	2.5	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.7	2.8	2.9	3.4
	2.3	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.7	3.3
	2.1	2.0	2.1	2.2	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	3.1
	1.9	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.3	2.4	3.0

Τύπος υαλοπίνακα	Συντελεστής θερμικής διαπερατότητας υαλοπίνακα [Wm ⁻² K ⁻¹]	Συντελεστής θερμικής διαπερατότητας [Wm ⁻² K ⁻¹] πλαισίου (ποσοστό πλαισίου ως προς το συνολικό άνοιγμα: 20%)								
		1.0	1.4	1.8	2.2	2.6	3.0	3.4	3.8	7.0
	1.7	1.7	1.8	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.8
	1.5	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	1.9	2.0	2.1	2.6
	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.5
	1.1	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	2.3
Τριπλός	2.3	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.6	2.7	3.2
	2.1	2.0	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	3.1
	1.9	1.8	1.9	2.0	2.0	2.2	2.2	2.3	2.4	2.9
	1.7	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.2	2.8
	1.5	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	1.9	2.0	2.1	2.6
	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.5
	1.1	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	2.3
	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.6	2.2
	0.7	0.9	1.0	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	2.0
	0.5	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.2	1.3	1.8

Πίνακας 4.5 Συντελεστής θερμικής διαπερατότητας [Wm⁻²K⁻¹] ανοιγμάτων για συνήθεις τύπους πλαισίου ($k_{\text{πλαισίου}}=7.0$: μεταλλικό πλαίσιο χωρίς θερμοδιακοπή, $2.2 \leq k_{\text{πλαισίου}} \leq 3.8$: μεταλλικό πλαίσιο με θερμοδιακοπή, $k_{\text{πλαισίου}} \leq 2.0$: ξύλινο ή PVC πλαίσιο), με ποσοστό πλαισίου 30% ως προς το συνολικό άνοιγμα

Τύπος υαλοπίνακα	Συντελεστής θερμικής διαπερατότητας υαλοπίνακα [Wm ⁻² K ⁻¹]	Συντελεστής θερμικής διαπερατότητας [Wm ⁻² K ⁻¹] πλαισίου (ποσοστό πλαισίου ως προς το συνολικό άνοιγμα: 30%)								
		1.0	1.4	1.8	2.2	2.6	3.0	3.4	3.8	7.0
Μονός	5.7	4.3	4.4	4.5	4.6	4.8	4.9	5.0	5.1	6.1
Διπλός	3.3	2.7	2.8	2.9	3.1	3.2	3.4	3.5	3.6	4.4
	3.1	2.6	2.7	2.8	2.9	3.1	3.2	3.3	3.5	4.3
	2.9	2.4	2.5	2.7	2.8	3.0	3.1	3.2	3.3	4.1
	2.7	2.3	2.4	2.5	2.6	2.8	2.9	3.1	3.2	4.0
	2.5	2.2	2.3	2.4	2.6	2.7	2.8	3.0	3.1	3.9
	2.3	2.1	2.2	2.3	2.4	2.6	2.7	2.8	2.9	3.8
	2.1	1.9	2.0	2.2	2.3	2.4	2.6	2.7	2.8	3.6
	1.9	1.8	1.9	2.0	2.1	2.3	2.4	2.5	2.7	3.5
	1.7	1.6	1.8	1.9	2.0	2.2	2.3	2.4	2.5	3.3
	1.5	1.5	1.6	1.7	1.9	2.0	2.1	2.3	2.4	3.2
	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.9	2.0	2.1	2.2	3.1
	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.7	1.9	2.0	2.1	2.9
Τριπλός	2.3	2.0	2.1	2.2	2.4	2.5	2.7	2.8	2.9	3.7
	2.1	1.9	2.0	2.1	2.2	2.4	2.5	2.6	2.8	3.6
	1.9	1.7	1.8	2.0	2.1	2.3	2.4	2.5	2.6	3.4
	1.7	1.6	1.7	1.8	1.9	2.1	2.2	2.4	2.5	3.3
	1.5	1.5	1.6	1.7	1.9	2.0	2.1	2.3	2.4	3.2
	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.9	2.0	2.1	2.2	3.1
	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.7	1.9	2.0	2.1	2.9
	0.9	1.1	1.2	1.3	1.4	1.6	1.7	1.8	2.0	2.8
	0.7	0.9	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.7	1.8	2.6

Τύπος υαλοπίνακα	Συντελεστής θερμικής διαπερατότητας υαλοπίνακα [$\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$]	Συντελεστής θερμικής διαπερατότητας [$\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$] πλαισίου (ποσοστό πλαισίου ως προς το συνολικό άνοιγμα: 30%)								
		1.0	1.4	1.8	2.2	2.6	3.0	3.4	3.8	7.0
	0.5	0.8	0.9	1.0	1.2	1.3	1.4	1.6	1.7	2.5

Στον Πίνακα 4.6, δίνονται οι αντιστάσεις θερμοδιαφυγής ($1/\Lambda$) στρωμάτων αέρα τα οποία έχουν μηδενική ταχύτητα (π.χ. το στρώμα αέρα ανάμεσα σε διπλή πλινθοδομή). Στρώματα αέρα ανάμεσα σε μη αεροστεγείς επιφάνειες δεν λαμβάνονται υπόψη στο συνυπολογισμό του συντελεστή θερμοπερατότητας ενός δομικού στοιχείου (π.χ. στρώμα αέρος μεταξύ της επίπεδης πλάκας οροφής και κεραμοσκεπής).

Πίνακας 4.6 Αντίσταση θερμοδιαφυγής ($1/\Lambda$) στρωμάτων αέρα

Σχετική θέση του στρώματος του αέρος και κατεύθυνσης της ροής της θερμότητας	Πάχος d στρώματος αέρος [mm]	Αντίσταση θερμοδιαφυγής $1/\Lambda = d/\lambda$
		[$\text{m}^2\text{K/Watt}$]
Κατακόρυφο στρώμα αέρα	10	0,14
	20	0,16
	50	0,18
	100	0,17
	150	0,16
Οριζόντιο στρώμα αέρος, ροή θερμότητας εκ των κάτω προς τα άνω	10	0,14
	20	0,15
	≥ 50	0,16
Οριζόντιο Στρώμα αέρα, ροή θερμότητας εκ των άνω προς τα κάτω	10	0,15
	20	0,18
	≥ 50	0,21