

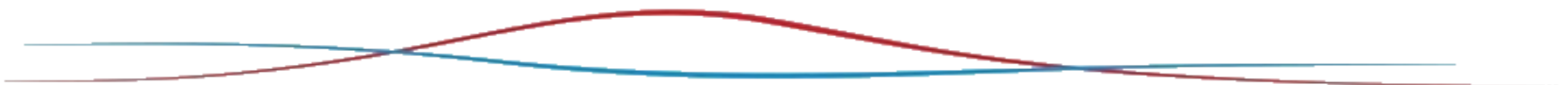


Θερμικές απώλειες

*Θέρμανση – Ψύξη – Κλιματισμός I
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΛΜΕΠΑ*

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

Εαρινό εξάμηνο 2020-21





Εισαγωγικά

Κατά τον σχεδιασμό συστημάτων θέρμανσης/ψύξης/κλιματισμού στόχος είναι η διασφάλιση συνθηκών θερμικής άνεσης των τελικών χρηστών με την ταυτόχρονη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης. Η θερμική άνεση ποσοτικοποιείται με βάση το θερμικό ισοζύγιο μεταξύ του ανθρώπινου σώματος και του περιβάλλοντος. Η μεταφορά θερμότητας στη διεπαφή σώμα-περιβάλλον εξαρτάται, μεταξύ άλλων, από τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δύο οντοτήτων. Άρα, η θερμοκρασία εσωτερικού αέρα του κτηρίου παίζει σημαντικό ρόλο στη θερμική αίσθηση. **Η θερμοκρασία εσωτερικού αέρα, και συνεπώς η θερμική άνεση των χρηστών, καθορίζεται από τις θερμικές απώλειες και τα φορτία του κτηρίου.** Η ποσοτικοποίηση των θερμικών απωλειών (ή κερδών) του κτηρίου καθορίζουν τις ανάγκες του κτηρίου για ψύξη και θέρμανση, άρα και τις σχετικές ενεργειακές ανάγκες. Συνεπώς, **ο προσδιορισμός των θερμικών απωλειών υπεισέρχεται στον σχεδιασμό και τη διαστασιολόγηση των κατάλληλων συστημάτων θέρμανσης, ψύξης και κλιματισμού.**

Συνήθης ορολογία:

1. **Θερμικό φορτίο ή θερμική απώλεια:** Είναι το ποσό θερμότητας που διαφεύγει προς το εξωτερικό περιβάλλον λόγω της μικρότερης εξωτερικής θερμοκρασίας. Η ορολογία προφανώς υιοθετείται για την περίοδο χειμώνα, ήτοι στο **σχεδιασμό συστημάτων θέρμανσης.**
2. **Ψυκτικό φορτίο ή θερμικό κέρδος:** Είναι το ποσό θερμότητας που προστίθεται στο χώρο λόγω της εξωτερικής μεγαλύτερης θερμοκρασίας και ηλιακής ακτινοβολίας. Η ορολογία υιοθετείται για την περίοδο θέρους, ήτοι στο **σχεδιασμό συστημάτων ψύξης.**



Θερμικές απώλειες κτηρίου

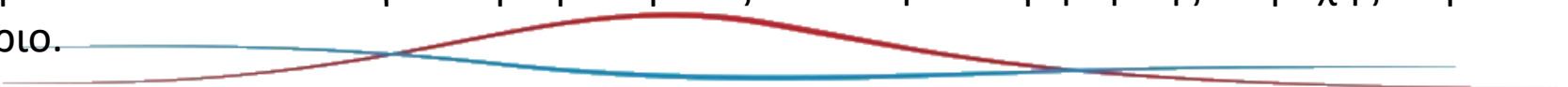
Γενικά οι συνολικές θερμικές απώλειες ενός χώρου οφείλονται στις απώλειες αγωγιμότητας (αγωγή θερμότητας) και στις απώλειες αερισμού (συναγωγή θερμότητας).

Αν με Q_h παρασταθούν οι συνολικές θερμικές απώλειες (σε kcal/h ή W) ενός θερμαινόμενου χώρου, θα υπάρχουν απώλειες αγωγιμότητας μέσω στερεών τοιχωμάτων Q_T και ακόμη οι απώλειες για τη θέρμανση ψυχρού αέρα Q_L (απώλειες αερισμού), ο οποίος εισέρχεται στο χώρο, διώχνοντας αντίστοιχη ποσότητα θερμού αέρα στο περιβάλλον. Άρα θα είναι:

$$Q_h = Q_T + Q_L$$

Οι θερμικές απώλειες αγωγιμότητας πρέπει να υπολογίζονται ξεχωριστά για κάθε δομικό στοιχείο και ανά χώρο, όταν υπάρχει διαφορετικός συντελεστής θερμοπερατότητας ή διαφορετική διαφορά θερμοκρασίας στις δύο πλευρές του δομικού στοιχείου.

Οι θερμικές απώλειες λόγω αερισμού αφορούν τον αθέλητο αερισμό (μέσω ρωγμών, χαραμάδων) και, σε περιπτώσεις που υπάρχει σύστημα αερισμού για την κάλυψη απαιτήσεων νωπού αέρα, τον φυσικό ή εξαναγκασμένο αερισμό. Η συνεισφορά των θερμικών απωλειών λόγω αερισμού βασίζεται στην εκτίμηση της παροχής αέρα στο κτήριο.



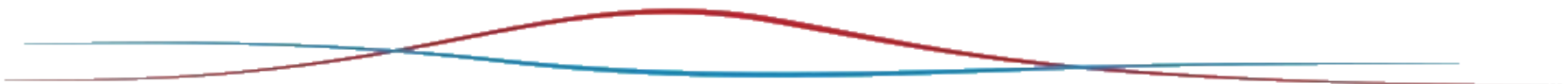


Θερμικές απώλειες κτηρίου

Οι τιμές που προκύπτουν από τον υπολογισμό των θερμικών απωλειών μας δίνουν ουσιαστικά τη μέγιστη ανάγκη/απαίτηση σε θερμική ενέργεια οπότε βοηθούν στο σχεδιασμό μιας ικανοποιητικής εγκατάστασης θέρμανσης, επειδή λαμβάνονται υπόψη οι **ελάχιστες εξωτερικές θερμοκρασίες (δυσμενέστερο σενάριο σχεδιασμού)**, οι ταχύτητες των πιο συχνών ανέμων κατά τη διάρκεια του χειμώνα, η θερμοχωρητικότητα του κτηρίου, η στεγανότητα των παραθύρων κλπ.

Προφανώς κατά την κατασκευή του κτηρίου θα πρέπει να δίνεται προσοχή, ώστε να εξασφαλίζονται -χωρίς μεγάλη απόκλιση- οι τιμές των μεγεθών που λήφθηκαν υπόψη στους υπολογισμούς. Έτσι, εκτός από την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου υπολογισμού των θερμικών απωλειών, **είναι απαραίτητη και η συλλογή των απαραίτητων στοιχείων που αφορούν στην εξωτερική θερμοκρασία, στην ταχύτητα των ανέμων, στον τρόπο κατασκευής του κτηρίου από άποψη στεγανότητας καθώς και στον τρόπο λειτουργίας (συνεχή ή διακοπτόμενο) της εγκατάστασης, ώστε να εξασφαλίζεται πάντοτε επαρκής θέρμανση.**

Επίσης, εκτός από την ικανοποιητική θέρμανση, **στόχος των υπολογισμών, είναι και η εξασφάλιση ομοιόμορφης θέρμανσης στο κτήριο με βάση τις απαιτούμενες εσωτερικές θερμοκρασίες.** Αυτό είναι εφικτό μέσα σε ορισμένα όρια και εξαρτάται κυρίως από τη θερμική συμπεριφορά του κτηρίου και από την επιλογή των αυτοματισμών και του τρόπου λειτουργίας των.





Απώλειες αγωγιμότητας - Συνολικές

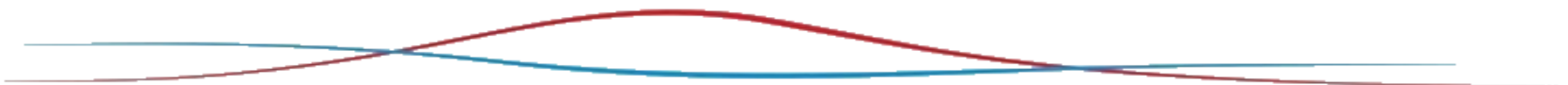
Οι απώλειες αγωγιμότητας προέρχονται από το κέλυφος του κτηρίου, δηλαδή τους τοίχους, τα ανοίγματα, τα δάπεδα και τις οροφές.

Όταν σε έναν χώρο έχει επιτευχθεί η επιθυμητή θερμοκρασία, παρατηρούνται απώλειες θερμότητας από το χώρο αυτό προς κάθε γειτονικό χαμηλότερης θερμοκρασίας και βέβαια προς το εξωτερικό ψυχρό περιβάλλον. Οι σχετικές απώλειες θα εξαρτώνται από τη διαφορά θερμοκρασίας, τη θερμοπερατότητα των παρεμβαλλομένων δομικών στοιχείων και τις μετακινήσεις ποσοτήτων αέρα διαμέσου των χαραμάδων των ανοιγμάτων.

Εξίσωση συνολικών θερμικών απωλειών αγωγιμότητας διαμέσου n δομικών στοιχείων:

$$Q_T = \sum_{j=1}^n q_{v,j}$$

Όπου $q_{v,j}$ είναι το ποσό θερμικών απωλειών (σε W) διαμέσου του δομικού στοιχείου j (τοίχος, παράθυρο, πόρτα).





Απώλειες αγωγιμότητας ανά δομικό στοιχείο

Για κάθε δομικό στοιχείο j , το ποσό θερμικών απωλειών αγωγιμότητας υπολογίζεται από τη σχέση (στη βιβλιογραφία συναντάται και με τις 2 παρακάτω εκφράσεις):

Έκφραση 1: $q_{v,j} = U_j A_j (T_i - T_{o,j})$

Έκφραση 2: $q_{v,j} = k_{v,j} F_{v,j} (\theta_i - \theta_{o,j})$

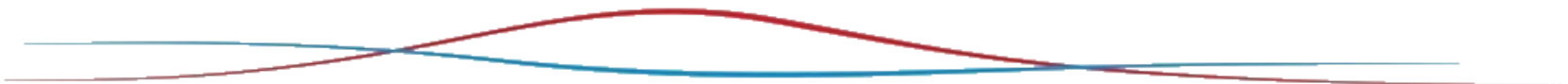
Όπου (τα μεγέθη είναι σε 1-1 αντιστοιχία μεταξύ των 2 εκφράσεων παραπάνω):

U_j είναι ο συντελεστής θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου j ($W/m^2 K$)

A_j είναι το εμβαδόν της επιφάνειας του δομικού στοιχείου j (m^2)

T_i είναι η θερμοκρασία εσωτερικού αέρα (επιθυμητή θερμοκρασία θερμικής άνεσης χρηστών) (K ή °C). Η επιθυμητή θερμοκρασία άνεσης για διάφορες χρήσεις κτηρίων μπορεί να βρεθεί στον Πίνακα 2.2 της [TOTEΕ 20701-1/2017](#).

$T_{o,j}$ είναι η θερμοκρασία στην εξωτερική πλευρά του δομικού στοιχείου (K ή °C) (γειτνιάζουσα θερμική ζώνη ή έδαφος ή εξωτερικό περιβάλλον).





Απώλειες αγωγιμότητας - Εξωτερική θερμοκρασία Το

Ισχύει πάντα ότι ο Μηχανικός προδιαγράφει συστήματα με βάση:

«Το δυσμενέστερο σενάριο σχεδιασμού».

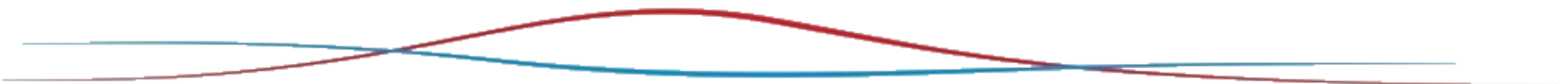
Στο σχεδιασμό συστημάτων θέρμανσης, ενδιαφέρει η διαστασιολόγηση συστήματος που θα είναι ικανό να καλύψει τη δυσμενέστερη συνθήκη λειτουργίας. Αυτή αντιστοιχεί όταν έχουμε το μέγιστο θερμικό φορτίο δηλ. για την ελάχιστη εξωτερική θερμοκρασία.

Η εξωτερική θερμοκρασία καθορίζεται από την οντότητα που έρχεται σε επαφή με το δομικό μας στοιχείο εξωτερικά. Έτσι, ένα δομικό στοιχείο μπορεί να είναι σε επαφή:

A) Με εξωτερικό αέρα.

B) Με άλλη θερμική ζώνη.

Γ) Με έδαφος.





Απώλειες αγωγιμότητας - Εξωτερική θερμοκρασία Το

Α) Δομικό στοιχείο σε επαφή με εξωτερικό αέρα (τοίχος, παράθυρο, πόρτα, οροφή)

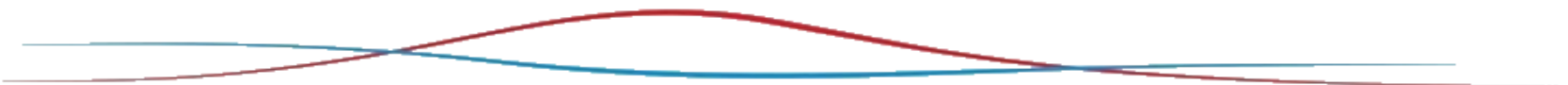
Το δυσμενέστερο σενάριο σχεδιασμού αντιστοιχεί στην ελάχιστη θερμοκρασία εξωτερικού αέρα του τόπου που εγκαθίσταται το κτίριο. Αυτή μπορεί να λαμβάνεται από διάφορες διαθέσιμες βάσεις δεδομένων που βρίσκονται στη βιβλιογραφία π.χ. Μέση Ελάχιστη Μηνιαία Θερμοκρασία από Πίνακα 3.4 της [TOTEΕ 20701-3/2010](#). Για τις ανάγκες του μαθήματος, συνίσταται η λήψη τιμών από Πίνακα 1.6 των Σημειώσεων «Μ. Μονιάκης, [Θέρμανση-Ψύξη-Κλιματισμός I](#)» ή από Πίνακα 6.9 του συγγράμματος «Δ.Α. Κατσαπρακάκης, Μ. Μονιάκης, [Θέρμανση – Ψύξη – Κλιματισμός](#)».

Διόρθωση εξωτερικής θερμοκρασίας

Όπως παρατηρείται στους Πίνακες διαθέσιμων δεδομένων, η εξωτερική θερμοκρασία έχει ληφθεί για συγκεκριμένο υψόμετρο που βρίσκεται ο μετεωρολογικός σταθμός. Όμως, κάθε υπό μελέτη κτίριο ενδιαφέροντος σπάνια θα βρίσκεται ακριβώς στο ίδιο υψόμετρο με τον μετεωρολογικό σταθμό. Οπότε, η **εξωτερική θερμοκρασία αέρα που τελικά λαμβάνεται για σκοπούς υπολογισμού απωλειών θα πρέπει να διορθώνεται ως εξής:**

$$T_{o,j} = T_{station} - \frac{H_{κτιριου} - H_{station}}{100} * 0,7$$

Όπου $T_{station}$ είναι η εξωτερική θερμοκρασία μετεωρολογικού σταθμού (από Πίνακα βιβλιογραφίας), $H_{κτιριου}$ είναι το υψόμετρο που βρίσκεται το εξεταζόμενο κτίριο, $H_{station}$ είναι το υψόμετρο του μετεωρολογικού σταθμού.





Απώλειες αγωγιμότητας - Εξωτερική θερμοκρασία Το

Β) Δομικό στοιχείο σε επαφή με άλλη θερμική ζώνη

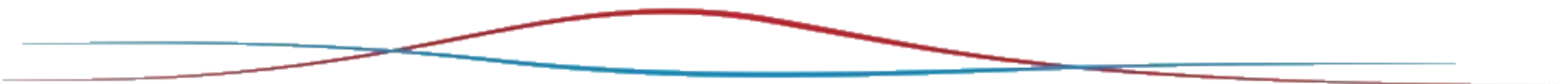
Διακρίνονται 2 υπο-περιπτώσεις:

Β1) Σε επαφή με θερμική ζώνη που είναι θερμαινόμενος χώρος

Η εξωτερική θερμοκρασία αναφέρεται στη θερμοκρασία του γειτονικού χώρου. Άρα, αυτή μπορεί να λαμβάνεται από Πίνακα 2.2 της [TOTEΕ 20701-1/2017](#), υιοθετώντας την παραδοχή ότι στο γειτονικό χώρο επιτυγχάνεται η επιθυμητή εσωτερική θερμοκρασία.

Παράδειγμα: Εάν ο υπό μελέτη χώρος είναι μία αίθουσα διδασκαλίας που γειτονεύει με ένα χώρο γυμναστήριο, τότε στον υπολογισμό της θερμικής απώλειας διαμέσου του/ων δομικού/ών στοιχείου/ων γειτνίασης υπεισέρχεται εξωτερική θερμοκρασία $T_{o,j} = 18 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (βλ. χρήση Γυμναστήριο στον Πίνακα 2.2 της TOTEΕ 20701-1/2017). Για το συγκεκριμένο παράδειγμα η εσωτερική επιθυμητή θερμοκρασία είναι $T_i = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (πάλι από ίδιο Πίνακα της TOTEΕ).

Προφανώς, όταν ο γειτονικός χώρος είναι ίδιας χρήσης με τον υπό μελέτη ή εάν έχει την ίδια επιθυμητή εσωτερική θερμοκρασία όπως τον υπό μελέτη χώρο, τότε δεν θα συμβεί εναλλαγή θερμικής ενέργειας μεταξύ των χώρων και άρα η θερμική απώλεια είναι μηδενική.





Απώλειες αγωγιμότητας - Εξωτερική θερμοκρασία Το

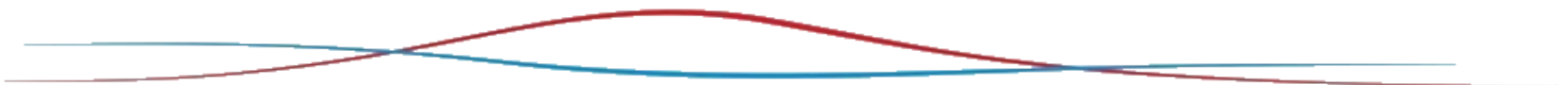
B) Δομικό στοιχείο σε επαφή με άλλη θερμική ζώνη

Διακρίνονται 2 υπο-περιπτώσεις:

B2) Σε επαφή με θερμική ζώνη που είναι Μη θερμαινόμενος χώρος (ΜΘΧ) (π.χ. αποθήκη)

Η εξωτερική θερμοκρασία αναφέρεται στη θερμοκρασία του γειτονικού χώρου. Για ΜΘΧ, λαμβάνονται τιμές ανάλογα με την κλιματική ζώνη:

ΖΩΝΗ	A	B	Γ	Δ
t_o (°C)	10	7	5	3





Θερμικές απώλειες

Θέρμανση – Ψύξη – Κλιματισμός Ι

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

Απώλειες αγωγιμότητας - Εξωτερική θερμοκρασία Το

Γ) Δομικό στοιχείο σε επαφή με έδαφος

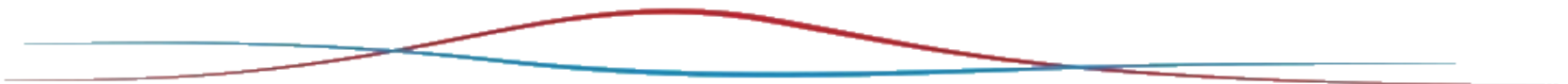
Η εξωτερική θερμοκρασία αναφέρεται στη θερμοκρασία του γειτονικού χώρου.

Στην περίπτωση που ο γειτονικός χώρος είναι έδαφος τότε η εξωτερική θερμοκρασία που υπεισέρχεται στην εξίσωση υπολογισμού της θερμικής απώλειας είναι η θερμοκρασία του εδάφους $T_{g,j}$ η οποία λαμβάνεται ως:

$$T_{g,j} = \frac{T_i + T_{o,j}}{2}$$

Δηλ. η θερμοκρασιακή διαφορά που μετέχει στον υπολογισμό της θερμικής απώλειας διαμέσου του δομικού στοιχείου j που είναι σε επαφή με έδαφος είναι:

$$\Delta T = T_i - T_{g,j} = T_i - \frac{T_i + T_{o,j}}{2} = \frac{T_i - T_{o,j}}{2}$$

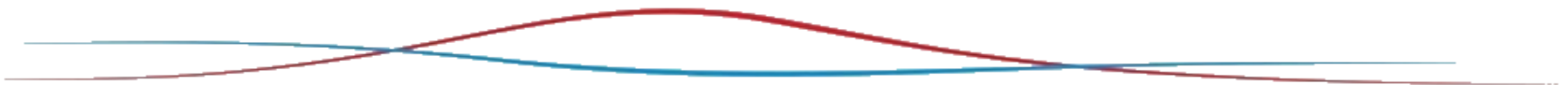




Απώλειες αγωγιμότητας - Εξωτερική θερμοκρασία T_o

Δ) Ειδική περίπτωση: Χώροι κάτω από μη θερμαινόμενη στέγη

Η εξωτερική θερμοκρασία που χρησιμοποιείται στην εξίσωση υπολογισμού των θερμικών απωλειών λαμβάνεται ως $T_{o,j} + 3\text{oC}$





Θερμικές απώλειες

Θέρμανση – Ψύξη – Κλιματισμός Ι

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

Απώλειες αγωγιμότητας – Τελικός υπολογισμός συνολικών απωλειών χώρου

Αφού, ακολουθώντας τα παραπάνω βήματα, ολοκληρωθεί ο υπολογισμός των θερμικών απωλειών αγωγιμότητας ανά δομικό στοιχείο, οι συνολικές θερμικές απώλειες αγωγιμότητας προκύπτουν από το άθροισμα όλων των θερμικών απωλειών των επιμέρους δομικών στοιχείων, δηλ.:

$$Q_T = \sum_{j=1}^n q_{v,j}$$

Στην πράξη όμως, οι συνολικές θερμικές απώλειες αγωγιμότητας θα προκύψουν ορθώς όταν ληφθούν υπόψη επιπλέον παράγοντες που επηρεάζουν το θερμικό ισοζύγιο του κτιρίου. **Οι συνολικές θερμικές απώλειες αγωγιμότητας ενός χώρου τελικά προκύπτουν συνυπολογίζοντας κάποιες ειδικές προσαυξήσεις/διορθώσεις σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:**

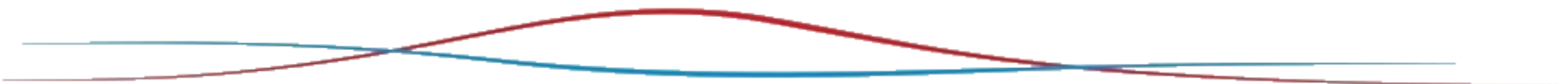
$$Q_{T,final} = Q_T * \left(1 + \frac{Z_H + Z_D + Z_O}{100}\right)$$

Όπου:

$Z_H(\%)$ Προσαύξηση λόγω προσανατολισμού

$Z_D(\%)$ Προσαύξηση λόγω διακοπτόμενης λειτουργίας

$Z_O(\%)$ Προσαύξηση λόγω ύψους





Απώλειες αγωγιμότητας – Διορθώσεις/προσαυξήσεις

Απώλειες αγωγιμότητας - Προσαύξηση λόγω προσανατολισμού

Από την πείρα είναι γνωστό ότι ο προσανατολισμός ενός χώρου **σχετίζεται άμεσα με την επίδραση των ψυχρών βόρειων ανέμων** στην τελική θερμοκρασία αυτού. Οι βόρειοι τοίχοι, για παράδειγμα, θεωρούνται περιοχές ψύχους και γι' αυτό άλλωστε στις περισσότερες κατοικίες τα ανοίγματα αποφεύγεται -κατά το δυνατόν- να τοποθετηθούν στη βόρεια πλευρά τους. Αντίθετα, στους χώρους με μεσημβρινό προσανατολισμό (N, NA, NΔ) έχει διαπιστωθεί ότι οι θερμικές απώλειες είναι μικρότερες από τις αναμενόμενες, βάσει των γνωστών υπολογισμών, λόγω της ευμενούς επίδρασης του προσανατολισμού. Για όσους χώρους μόνο ένας τοίχος έρχεται σε επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον, ο τοίχος αυτός καθορίζει και τον προσανατολισμό του χώρου. Εάν υπάρχουν περισσότεροι τοίχοι το ίδιου χώρου που βρίσκονται σε επαφή με το περιβάλλον, τον προσανατολισμό καθορίζει η ακμή. **Για τους εσωτερικούς χώρους δεν λαμβάνονται προσαυξήσεις προσανατολισμού.**

***Πίνακας 6.11:** Προσαυξήσεις Z_H (%) των θερμικών απωλειών χώρου, λόγω προσανατολισμού.*

Προσανατολισμός	Προσαύξηση (%)
B, BA, BΔ	+5
A, Δ	0
N, NA, NΔ	-5



Απώλειες αγωγιμότητας – Διορθώσεις/προσαυξήσεις

Απώλειες αγωγιμότητας - Προσαύξηση λόγω διακοπτόμενης λειτουργίας

Σε όλες σχεδόν τις εγκαταστάσεις η λειτουργία της κεντρικής θέρμανσης δεν είναι συνεχής, αλλά διακοπτόμενη. Κατά την εκάστοτε έναρξη της διαδικασίας θέρμανσης, απαιτούνται πρόσθετα ποσά θερμικής ενέργειας, τα οποία θα χρησιμοποιηθούν για να αυξήσουν γρήγορα τη θερμοκρασία του χώρου μέχρι τα επιθυμητά όρια. Επομένως κάθε εγκατάσταση κεντρικής θέρμανσης πρέπει να επαρκεί, τόσο για την κάλυψη των θερμικών απωλειών, όταν ήδη στους χώρους επικρατεί η επιθυμητή θερμοκρασία, όσο και για την αντιμετώπιση ενός πρόσκαιρα περισσότερο ψυχρού εσωτερικού περιβάλλοντος. Η προσαύξηση μπορεί να λαμβάνεται από τον ακόλουθο Πίνακα ανάλογα με τις ώρες λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης και τον συντελεστή D.

Πίνακας 6.12: Προσαυξήσεις Z_D (%) των θερμικών απωλειών χώρου, λόγω διακοπτόμενης λειτουργίας.				
Κατηγορία λειτουργίας ανά 24 ωρο	Τιμές του συντελεστή D			
	0,1 – 0,3	0,3 – 0,7	0,7 – 1,5	> 1,5
Συνεχής λειτουργίας ή μικρής διάρκειας διακοπές	7	7	7	7
Λειτουργία 12-15 ώρες ημερησίως	20	15	15	15
Λειτουργία 8-12 ώρες ημερησίως	30	25	20	15



Απώλειες αγωγιμότητας – Διορθώσεις/προσαυξήσεις

Απώλειες αγωγιμότητας - Προσαύξηση λόγω διακοπτόμενης λειτουργίας

Ο συντελεστής **D** ορίζεται ως η «μέση θερμοπερατότητα» ενός χώρου και έχει μονάδα μέτρησης $W/(m^2K)$. Υπολογίζεται από τη σχέση:

$$D = \frac{Q_T}{A * (T_i - T_o)}$$

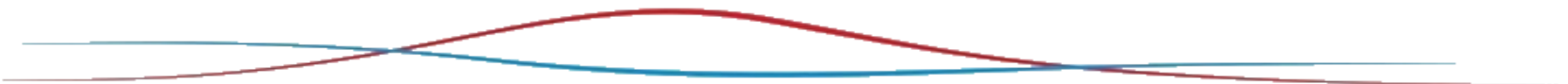
Όπου

Q_T είναι οι συνολικές θερμικές απώλειες αγωγιμότητας (σε W) του χώρου χωρίς τις προσαυξήσεις.

A είναι το εμβαδόν (σε m^2) όλων των επιφανειών οι οποίες περιορίζουν το χώρο, ασχέτως αν είναι τοίχοι, δάπεδα, θύρες, παράθυρα ή οροφές.

T_i είναι η θερμοκρασία εσωτερικού αέρα (επιθυμητή θερμοκρασία θερμικής άνεσης χρηστών) (K ή $^{\circ}C$).

T_o είναι η θερμοκρασία αέρα εξωτερικού περιβάλλοντος (διορθωμένη, λόγω υψομέτρου, τιμή μετεωρολογικού σταθμού (που λαμβάνεται από Πίνακα π.χ. 6.9 του συγγράμματος «Δ.Α. Κατσαπρακάκης, Μ. Μονιάκης, Θέρμανση – Ψύξη – Κλιματισμός»)).





Απώλειες αγωγιμότητας – Διορθώσεις/προσαυξήσεις

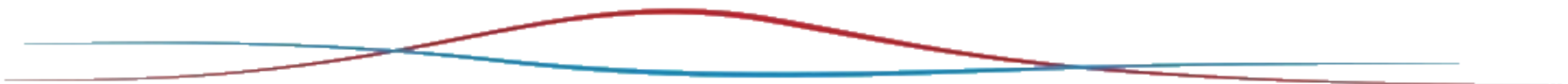
Απώλειες αγωγιμότητας - Προσαύξηση λόγω ύψους

Στα υψηλά κτήρια υπάρχουν αρκετοί λόγοι που οδηγούν στην προσαύξηση των θερμικών απωλειών. Χώροι που βρίσκονται υψηλότερα είναι λογικό να εμφανίζουν αυξημένες θερμικές απώλειες, λόγω μεγαλύτερης έκθεσής τους στις καιρικές συνθήκες. Επίσης, το ζεστό νερό το οποίο αναχωρεί από το λέβητα με κάποια υψηλή θερμοκρασία, για να φθάσει σε υψηλούς ορόφους, όπως και σε απομακρυσμένους χώρους, έχει αυξημένες απώλειες και τροφοδοτεί τα θερμαντικά σώματα με νερό χαμηλότερης θερμοκρασίας. Έτσι, για τους χώρους αυτούς πρέπει να προβλεφθεί αυξημένη ποσότητα θερμικής ενέργειας, ανάλογη των πρόσθετων απωλειών και της ποσότητας η οποία χάνεται στη διαδρομή.

Για τις προσαυξήσεις λόγω ύψους ισχύουν οι εξής κανόνες :

- η συνολική προσαύξηση λόγω ύψους δεν επιτρέπεται να υπερβεί το 20%,
- τα πρώτα 4m ύψους έχουν μηδενική προσαύξηση,
- μετά από τα πρώτα 4m ύψους έχουν 2% προσαύξηση για κάθε μέτρο ύψους

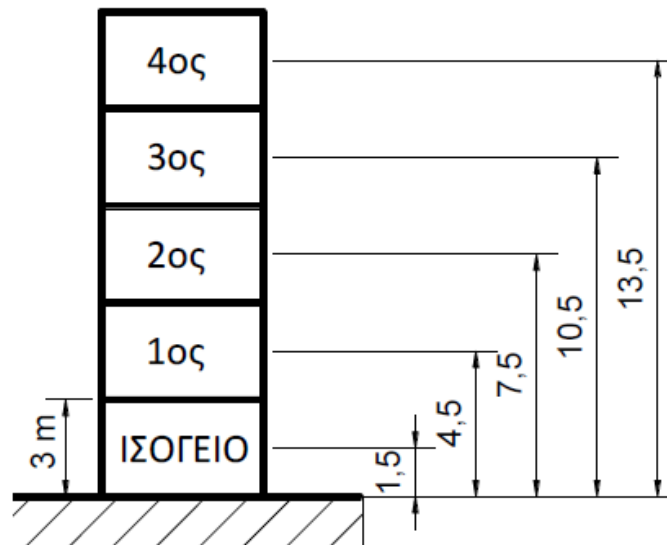
Σαν ύψος ορίζω την απόσταση από το μέσο του ορόφου ως την επιφάνεια του εδάφους.



Απώλειες αγωγιμότητας – Διορθώσεις/προσαυξήσεις

Απώλειες αγωγιμότητας - Προσαύξηση λόγω ύψους

Τρόπος υπολογισμού (από αναρτήσεις Μ.Μονιάκη στο λογαριασμό eclass του μαθήματος)



Ισόγειο : Ύψος 1,5 → $Z\gamma=0$

1ος όροφος Ύψος 4,5 → $Z\gamma=(4,5-1,5)\times 2\% = 0,5\times 2\% = 1\%$

2ος όροφος Ύψος 7,5 → $Z\gamma=(7,5-1,5)\times 2\% = 3,5\times 2\% = 7\%$

3ος όροφος Ύψος 10,5 → $Z\gamma=(10,5-1,5)\times 2\% = 6,5\times 2\% = 13\%$

4ος όροφος Ύψος 13,5 → $Z\gamma=(13,5-1,5)\times 2\% = 9,5\times 2\% = 19\%$



Θερμικές απώλειες λόγω αερισμού

Οι απώλειες λόγω αερισμού οφείλονται στην εναλλαγή αέρα με το εξωτερικό περιβάλλον. Διακρίνουμε δύο υποπεριπτώσεις:

Ι. Περίπτωση ύπαρξης εξαερισμού

Οι απώλειες υπολογίζονται από τη σχέση:

$$Q_L = \frac{1}{3600} \dot{V} \rho c (T_i - T_o)$$

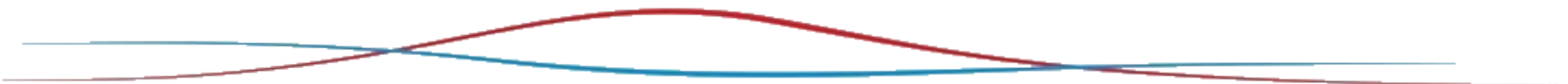
Όπου:

$\dot{V}$ είναι η παροχή εισερχόμενου αέρα (m^3/h) (πρότυπες τιμές απαιτήσεων παροχής νωπού αέρα ανάλογα με τη χρήση του χώρου βρίσκονται στον Πίνακα 2.3 της [TOTE 20701-1/2017](#)).

ρ είναι η πυκνότητα του αέρα ($1,2 \text{ kg}/m^3$)

c είναι η ειδική θερμότητα του αέρα ($1004,5 \text{ J}/\text{kgK}$)

$T_i - T_o$ είναι η διαφορά θερμοκρασίας εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος (σε K).



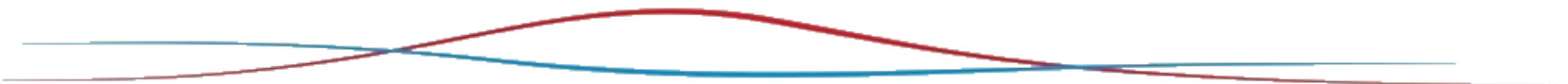


Θερμικές απώλειες λόγω αερισμού

Οι απώλειες λόγω αερισμού οφείλονται στην εναλλαγή αέρα με το εξωτερικό περιβάλλον. Διακρίνουμε δύο υποπεριπτώσεις:

II. Περίπτωση αθέλητου αερισμού

Στην περίπτωση που δεν υπάρχει εξαερισμός, υπολογίζονται οι απώλειες από τις χαραμάδες. **Οι απώλειες αερισμού Q_L προκύπτουν από τη συναλλαγή αέρα μεταξύ χώρου και περιβάλλοντος, η οποία οφείλεται στη μικρή υπερπίεση που παρατηρείται στους θερμαινόμενους χώρους και τη διαφορά θερμοκρασίας με γειτονικούς χώρους και το περιβάλλον.** Η μικρή υπερπίεση που αναπτύσσεται στους θερμαινόμενους χώρους ωθεί προς τα έξω αέρα του χώρου διαμέσου των χαραμάδων των κουφωμάτων ή περισσότερο έντονα, όταν ανοίγουν πόρτες ή παράθυρα. Την ποσότητα αυτή του θερμού αέρα αντικαθιστούν ρεύματα ψυχρού αέρα, τα οποία εισέρχονται στα χαμηλότερα επίπεδα (κοντά στο δάπεδο) και προέρχονται άμεσα ή έμμεσα από το εξωτερικό περιβάλλον. Οι ποσότητες αυτές του νωπού αέρα, όταν είναι μικρές, είναι απόλυτα αναγκαίες για την ανανέωση του αέρα των χώρων και η θερμική επιβάρυνση που δημιουργούν είναι μικρή. Όταν όμως οι χαραμάδες θυρών και παραθύρων είναι μεγάλες (λόγω παλαιότητας ή κακής ποιότητας κατασκευής των κουφωμάτων), ή οι χρήστες του χώρου αφήνουν ανοικτά παράθυρα ή πόρτες, οι δαπάνες σε ενέργεια γίνονται πολύ σημαντικές.





Θερμικές απώλειες λόγω αερισμού

Η θερμότητα Q_L εξαρτάται από τη "διαπερατότητα" των ανοιγμάτων και τη ροή (κατεύθυνση και ταχύτητα) του πνέοντος ανέμου, ο οποίος δημιουργεί μεταβαλλόμενες (χρονικά και τοπικά) καταστάσεις της πίεσεως. Για τον θεωρητικό υπολογισμό του Q_L χρησιμοποιείται η σχέση:

$$Q_L = \sum_{k=1}^m (a_k l_k) * R * H * Z_E * (T_i - T_o)$$

Όπου:

a_k είναι ο συντελεστής διαπερατότητας ή διεισδύσεως αέρα του k ανοίγματος και ορίζεται ως ο λόγος του όγκου αέρα (m^3) ο οποίος εισέρχεται στον χώρο ανά m σχισμής και ανά ώρα (h), για διαφορά πίεσεως $1 \text{ kp}/m^2$.

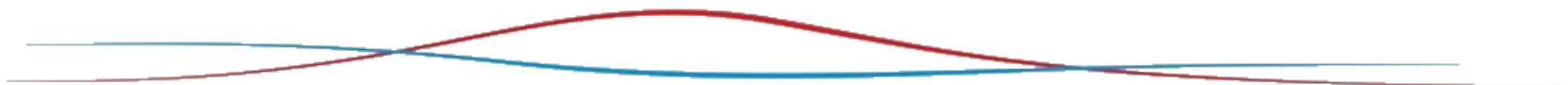
l_k (σε m) είναι η περίμετρος του k ανοίγματος.

R είναι ειδικός συντελεστής, γνωστός ως «αριθμός χώρου» ή «συντελεστής διεισδυτικότητας του χώρου».

H είναι ο ειδικός συντελεστής προσβολής ανέμου.

Z_E είναι ο συντελεστής γωνιακών παραθύρων. Λαμβάνει τιμή 1 για μη γωνιακά ανοίγματα και 1,2 για γωνιακά ανοίγματα.

$T_i - T_o$ είναι η διαφορά μεταξύ της επιθυμητής εσωτερικής θερμοκρασίας του χώρου και της θερμοκρασίας εξωτερικού αέρα (σε $^{\circ}C$ ή K).





Απώλειες αερισμού – διείσδυση αέρα

Ο συντελεστής διείσδυσης a_k μπορεί να λαμβάνεται από διαθέσιμες βάσεις δεδομένων για διάφορους τύπους ανοιγμάτων. Π.χ. από Πίνακα 3.3 Σημειώσεων «Μ. Μονιάκης, [Θέρμανση-Ψύξη-Κλιματισμός Ι](#)»

	ΥΛΙΚΟ ΘΥΡΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΑΘΥΡΩΝ	
	Ξύλο ή πλαστικό	Μέταλλο
	a(kcal/m h K)	
Απλά παράθυρα και θύρες χωρίς εξώφυλλα	3,0	1,5
Απλά παράθυρα με εξώφυλλα	2,5	1,5
Διπλά παράθυρα και θύρες	2	1,2
Εσωτερικές θύρες:	40	
Συνεχώς ανοικτές	15	
Συνήθως ανοικτές		

Προσοχή!: Ο Πίνακας δίνει τιμές σε kcal/(mhK). Η ορθή συνεισφορά του συντ. διείσδυσης στις συνολικές απώλειες $Q_h = Q_T + Q_L$, σημαίνει την μετατροπή σε W/(mK), δηλ. αρκεί ο πολλαπλασιασμός με 1,163 (βλ. εισαγωγική διάλεξη, μετατροπές μονάδων).



Απώλειες αερισμού – Συντ. διεισδυτικότητας

Ο συντελεστής διεισδυτικότητας R μπορεί να λαμβάνεται από τον ακόλουθο Πίνακα:

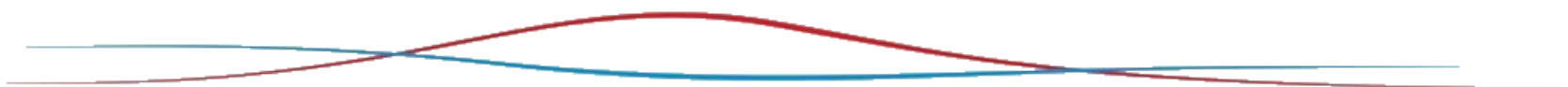
Υλικό παραθύρου	Εσωτερικές πόρτες	$\frac{\text{Επιφάνεια εξωτερικών ανοιγμάτων (F}_A\text{)}}{\text{Επιφάνεια εσωτερικής πόρτας (F}_N\text{)}}$	R
Ξύλο ή πλαστικό	Μη στεγανές	< 3,0	0,9
	Στεγανές	< 1,5	0,9
Μέταλλο	Μη στεγανές	< 6,0	0,9
	Στεγανές	< 2,5	0,9
Ξύλο ή πλαστικό	Μη στεγανές	από 3,0 έως 9,0	0,7
	Στεγανές	από 1,5 έως 3,0	0,7

Αφού πρώτα υπολογιστεί ο λόγος F_A/F_N , για τους διάφορους τύπους ανοιγμάτων, όπου:

F_A : είναι το συνολικό εμβαδόν των εξωτερικών ανοιγμάτων του χώρου (θύρες, παράθυρα, μπαλκονόπορτες, φεγγίτες, κ.λπ).

F_N : είναι το συνολικό εμβαδόν των εσωτερικών ανοιγμάτων του χώρου (των μη προσβαλλόμενων από τον άνεμο)

Για κτίρια τα οποία δεν έχουν εξωτερικά ανοίγματα (αποθήκες, ειδικοί βιομηχανικοί χώροι, κ.ά.), ως τιμή του R λαμβάνεται η μέγιστη, δηλαδή $R = 1$.





Απώλειες αερισμού – Συντ. προσβολής ανέμου

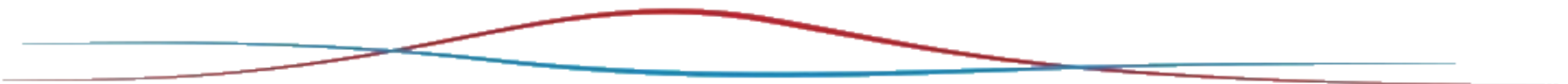
Ο **συντελεστής προσβολής ανέμου H** είναι χαρακτηριστικός αριθμός για κάθε οικοδομή και εξαρτάται από την ειδική θέση της σε σχέση με τους πνέοντες ανέμους. Οι τιμές του συντελεστή προσβολής ανέμου προκύπτουν **αφού προηγουμένως εξεταστεί αν η οικοδομή βρίσκεται σε προφυλαγμένη ως προς τους ανέμους θέση, σε εκτεθειμένη θέση ή σε ασυνήθιστα εκτεθειμένη θέση**. Ειδικότερα:

α. Προφυλαγμένη θέση: Μία οικοδομή θεωρείται ότι βρίσκεται σε προφυλαγμένη θέση όταν βρίσκεται στο εσωτερικό πόλεως με συνηθισμένο πλάτος δρόμων και συνεχή οικοδομική γραμμή ή μικρές διακοπές.

β. Εκτεθειμένη θέση: Οικοδομές σε αραιοκατοικημένους συνοικισμούς ή χωριά με απόσταση μεταξύ των κτηρίων, πολύ υψηλές οικοδομές πόλεων ή συγκροτήματα οικοδομών απέναντι στη θάλασσα, σε λίμνη ή μεγάλο ποταμό.

γ. Ασυνήθιστα εκτεθειμένη θέση: Μεμονωμένες οικοδομές σε ανοικτά πεδία (προ θαλάσσης, λίμνης, ποταμό, ή επί λόφου, βουνού κλπ).

Η διάκριση α, β και γ μπορεί να γίνει και για κάθε χώρο και όχι υποχρεωτικά για όλη την οικοδομή, κατά την κρίση του μελετητή. Είναι επομένως δυνατό σε μια πολυκατοικία ορισμένοι χώροι να ανήκουν στην προφυλαγμένη θέση, άλλοι στην εκτεθειμένη και άλλοι, κυρίως των τελευταίων ορόφων, στην ασυνήθιστα εκτεθειμένη θέση.

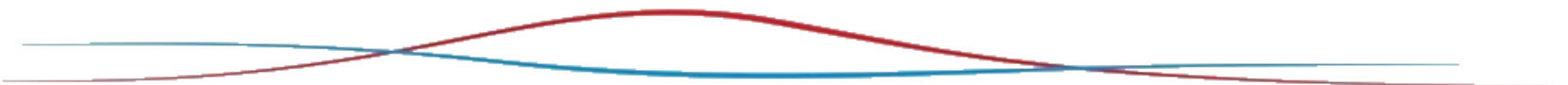




Απώλειες αερισμού – Συντ. προσβολής ανέμου

Ο συντελεστής προσβολής ανέμου H λαμβάνει τιμές από Πίνακες της βιβλιογραφίας π.χ.:

Πίνακας 6.15: Συντελεστής θέσης και ανεμόπτωσης H κτηρίων.				
Τοποθεσία	Θέση	Ταχύτητα ανέμου (m/s)	Συνεχόμενα κτήρια	Μεμονωμένο κτήριο
Συνήθης περιοχή από πλευράς ισχύος πνοής ανέμων	Προστατευμένη	4	0,24	0,34
	Εκτεθειμένη	6	0,41	0,58
	Ασυνήθιστα εκτεθειμένη	8	0,60	0,84
Περιοχή με ισχυρούς ανέμους	Προστατευμένη	6	0,41	0,58
	Εκτεθειμένη	8	0,60	0,84
	Ασυνήθιστα εκτεθειμένη	10	0,82	1,14
	Εξαιρετικά εκτεθειμένη	20	1,04	1,45





Φύλλο καταγραφής θερμικών απωλειών κτηρίου

Καταstrώνεται Πίνακας της παρακάτω μορφής (ξεχωριστά για κάθε χώρο).

Υπολογισμός θερμικών απωλειών												Όροφος			Φύλλο / χώρος		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Είδος επιφάνειας	Προσανατολισμός	Υπολογισμός επιφανειών						Υπολογισμός απωλειών				Προσανυζήσεις					
		Μήκος	Πλάτος ή ύψος	Επιφάνεια	Αριθμός ομοίων επιφανειών	Αφαιρούμενη επιφάνεια	Τελική επιφάνεια	Συντελεστής θερμοπερατότητας U	Εσωτερική θερμοκρασία	Εξωτερική θερμοκρασία	Διαφορά θερμοκρασίας	Απώλειες θερμότητας λόγω αγωγιμότητας χωρίς προσανυζήσεις	Προσανατολισμού Z _H	Διακοπτόμενης λειτουργίας Z _D	Λόγω ύψους Z _O	Σύνολο προσανυζήσεων $1 + (Z_H + Z_D + Z_O) / 100$	Σύνολο απωλειών αγωγιμότητας
		m	m	m ²		m ²	m ²	W/(m ² C)	°C	°C	°C		%	%	%		W
Q _o =																	
Απώλειες αερισμού χαραμάδων $Q_L = \alpha \cdot (\sum l) \cdot R \cdot H \cdot Z_L \cdot (t_i - t_o) =$																	
Συνολικές απώλειες χώρου (λόγω αγωγιμότητας & αερισμού χαραμάδων) $Q = Q_T + Q_L$ (W) =																	





Παράδειγμα θερμικών απωλειών

Παράδειγμα

Έστω υπνοδωμάτιο ισόγειας κατοικίας που βρίσκεται στο Ηράκλειο εντός του πυκνού αστικού συνόλου (κλιματική ζώνη Α) (στο ίδιο υψόμετρο με μετεωρολογικό σταθμό διαθέσιμων κλιματικών δεδομένων), σχήματος ορθογωνίου παραλληλεπιπέδου με διαστάσεις:

- Διεύθυνση Α-Δ: 4m
- Διεύθυνση Β-Ν: 3m
- Ύψος: 3.5 m

Η βόρεια όψη έχει μία μπαλκονόπορτα (μη γωνιακή) με μεταλλικό πλαίσιο και μονό υαλοπίνακα διαστάσεων 1.5X2.2m. Η νότια όψη είναι σε επαφή με διάδρομο της κατοικίας, όπου υπάρχει ξύλινη πόρτα (εισόδου στο υπνοδωμάτιο) διαστάσεων 1x2.2m. Δίδονται οι συντελεστές θερμοπερατότητας:

$U_{wall,o} = 2.2 \text{ W/m}^2\text{K}$ (αφορά όλες τις κατακόρυφες τοιχοποιίες σε επαφή με εξωτερικό αέρα)

$U_{wall,διαδρομος} = 1.1 \text{ W/m}^2\text{K}$ (αφορά τη νότια όψη σε επαφή με διάδρομο)

$U_{roof} = 1.4 \text{ W/m}^2\text{K}$

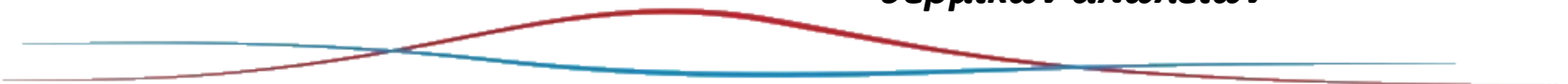
$U_{ground} = 1.2 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Πατάει σε έδαφος)

$U_{μπαλκ/α} = 4 \text{ W/m}^2\text{K}$

$U_{ξυλ.πόρτ.} = 3 \text{ W/m}^2\text{K}$

Να υπολογιστούν οι θερμικές απώλειες.

**Βλ. λύση στο excel “Παράδειγμα
θερμικών απωλειών”**





Άσκηση 1

Σε κατακόρυφη εξωτερική τοιχοποιία εμβαδού 10 m^2 , έχει μετρηθεί η θερμική απώλεια αγωγιμότητας ίση με 60 W/m^2 τη στιγμή που άλλος αισθητήρας μέτρησης εξωτερικής θερμοκρασίας δείχνει τιμή $5 \text{ }^\circ\text{C}$. Εάν η θερμοκρασία του εσωτερικού χώρου είναι $20 \text{ }^\circ\text{C}$, να εκτιμηθεί ο συντελεστής θερμοπερατότητας της τοιχοποιίας.

Λύση

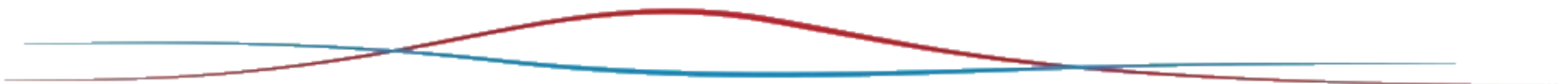
Η συνολική θερμική απώλεια αγωγιμότητας διαμέσου της τοιχοποιίας θα είναι:

$$Q_T = \frac{60 \text{ W}}{\text{m}^2} * 10 \text{ m}^2 = 600 \text{ W}$$

Από την εξίσωση υπολογισμού της θερμικής απώλειας αγωγιμότητας θα είναι:

$$Q_T = A * U * (T_i - T_o) \Leftrightarrow$$

$$U = \frac{Q_T}{A * (T_i - T_o)} = \frac{600}{10 * (20 - 5)} = 4 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$





Άσκηση 2

Για τις ίδιες συνθήκες μέτρησης της προηγούμενης άσκησης, να προταθεί το ελάχιστο πάχος θερμομόνωσης με $\lambda=0,032 \text{ W/(mK)}$ που πρέπει να τοποθετηθεί στην τοιχοποιία, ώστε η θερμική απώλεια αγωγιμότητας να μειωθεί κατά 80%.

Λύση

Μείωση της θερμικής απώλειας κατά 80% σημαίνει ότι μετά την τοποθέτηση θερμομόνωσης θέλουμε να πετύχουμε:

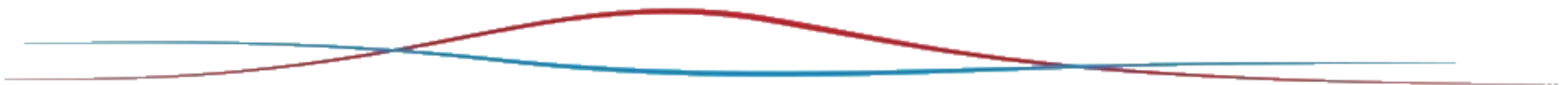
$$Q_{T,META} = Q_{T,PRIN} - 0,8 * Q_{T,PRIN} = 0,2 * 600 = 120 \text{ W}$$

Δηλ. ο συντ. θερμοπερατότητας της τοιχοποιίας θα γίνει:

$$U_{META} = \frac{Q_{T,META}}{A * (T_i - T_o)} = \frac{120}{10 * (20 - 5)} = 0,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Οπότε το ελάχιστο απαιτούμενο πάχος θερμομόνωσης θα είναι:

$$d_{\mu\sigma\nu} = \lambda_{\mu\sigma\nu} \left(\frac{1}{U_{META}} - \frac{1}{U_{PRIN}} \right) = 0,032 * \left(\frac{1}{0,8} - \frac{1}{4} \right) = 0,032 \text{ m ή } 3,2 \text{ cm.}$$





Άσκηση 3

Να υπολογιστούν οι συνολικές θερμικές απώλειες αγωγιμότητας κτιρίου με μέσο συντελεστή θερμοπερατότητας $U_m = 1,5 \frac{W}{m^2 K}$ και συνολικό εμβαδόν κελύφους $2500 m^2$. Δίδονται:

- Η διαφορά θερμοκρασίας εσωτερικού και εξωτερικού χώρου είναι $20^\circ C$ για όλα τα δομικά στοιχεία.
- Οι θερμογέφυρες είναι αμελητέες.
- Ο μειωτικός συντελεστής για τον υπολογισμό του μέσου συντ. θερμοπερατότητας μπορεί να ληφθεί ίσος με 1.

Λύση

Εφόσον η συνεισφορά θερμογεφυρών είναι αμελητέα και ο μειωτικός συντελεστής είναι 1, η εξίσωση υπολογισμού του μέσου συντ. θερμοπερατότητας γράφεται:

$$U_m = \frac{\sum_{j=1}^n A_j U_j}{\sum_{j=1}^n A_j}, \text{ οπότε } \Rightarrow \sum_{j=1}^n A_j U_j = U_m * \sum_{j=1}^n A_j \quad (1)$$

Η εξίσωση υπολογισμού των συνολικών απωλειών αγωγιμότητας είναι:

$$Q_T = \sum_{j=1}^n A_j U_j (T_i - T_{o,j}) \text{ ή } Q_T = \sum_{j=1}^n A_j U_j \Delta T_j \quad (2)$$

Αφού δίδεται ότι η θερμοκρασιακή διαφορά είναι ίδια για όλα τα δομικά στοιχεία, τότε ο όρος ΔT_j είναι ίδιος σε όλους τους προσθετέους



Άσκηση 3

Να υπολογιστούν οι συνολικές θερμικές απώλειες αγωγιμότητας κτιρίου με μέσο συντελεστή θερμοπερατότητας $U_m = 1,5 \frac{W}{m^2 K}$ και συνολικό εμβαδόν κελύφους $2500 m^2$. Δίδονται:

- Η διαφορά θερμοκρασίας εσωτερικού και εξωτερικού χώρου είναι $20 \text{ }^\circ\text{C}$ για όλα τα δομικά στοιχεία.
- Οι θερμογέφυρες είναι αμελητέες.
- Ο μειωτικός συντελεστής για τον υπολογισμό του μέσου συντ. θερμοπερατότητας μπορεί να ληφθεί ίσος με 1.

Λύση

Αφού δίδεται ότι η θερμοκρασιακή διαφορά είναι ίδια για όλα τα δομικά στοιχεία, τότε ο όρος ΔT_j είναι ίδιος σε όλους τους προσθετέους της προηγούμενης εξίσωση οπότε βγαίνει ως κοινός παράγων και η εξίσωση (1) γίνεται:

$$Q_T = \sum_{j=1}^n A_j U_j \Delta T_j = \Delta T * \sum_{j=1}^n A_j U_j, \text{ και από εξίσωση (2) θα είναι:}$$

$$Q_T = \Delta T * U_m * \sum_{j=1}^n A_j \Leftrightarrow Q_T = 1,5 * 2500 * 20 = 75000 W \text{ ή } 75 \text{ kW}$$

