



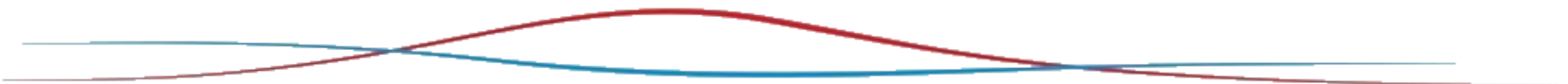
Εισαγωγή

Περίγραμμα μαθήματος - Βασικές έννοιες και ορισμοί

Θέρμανση – Ψύξη – Κλιματισμός
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΛΜΕΠΑ

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

Εαρινό εξάμηνο 2020-21





Εισαγωγή στο μάθημα

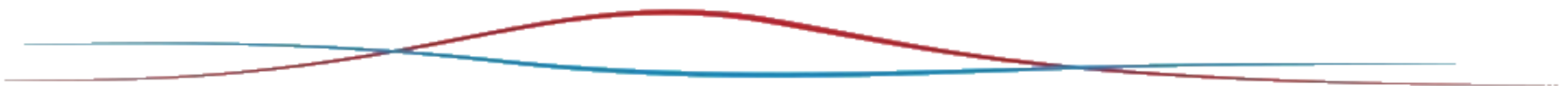
Θέρμανση – Ψύξη - Κλιματισμός

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΛΜΕΠΑ

Συνιστώσες Μαθήματος

Διαλέξεις θεωρίας (2 ώρες/εβδομάδα)

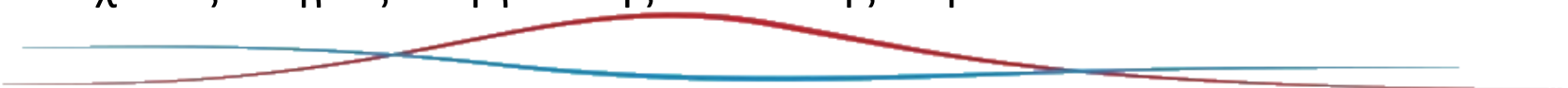
- Κάθε Δευτέρα 8.15-10.00
- Διαλέξεις θεωρητικών πτυχών μαθήματος
- Επιδεικτικές ασκήσεις – Υπολογισμοί
- Εκπόνηση ενδιάμεσης προόδου (πρόοδος ή εργασία)
- Ανάρτηση διαλέξεων, σημειώσεων, ασκήσεων στο λογαριασμό του μαθήματος στο eclass: [ΘΕΡΜΑΝΣΗ-ΨΥΞΗ-ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ 1 \(ΘΨΚ 1\)](#)





Διάρθρωση μαθήματος

- **Εισαγωγή στο μάθημα**
 - Περίγραμμα μαθήματος - Ενότητες
 - Μετατροπές μονάδων και ενέργειας (τελική και πρωτογενής ενέργεια)
 - Ενεργειακό ισοζύγιο
 - Βασικές αρχές μετάδοσης θερμότητας
- **Θερμική συμπεριφορά κελύφους – Θερμομονωτική επάρκεια**
 - Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών
 - Συντελεστής θερμοπερατότητας
 - Θερμομονωτική επάρκεια κτιρίου - Υπολογισμοί
 - Τεχνικές οδηγίες Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων





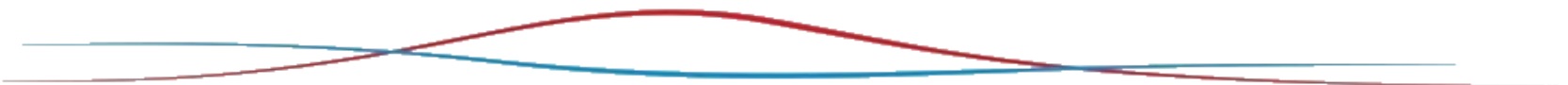
Διάρθρωση μαθήματος

- **Θερμομόνωση**

- Θερμομονωτικά υλικά
- Προσδιορισμός παραμέτρων θερμομόνωσης για την επίτευξη θερμομονωτικής επάρκειας
- Επίδραση θερμομόνωσης στη θερμομονωτική επάρκεια

- **Θερμική άνεση**

- Το ενεργειακό ισοζύγιο μεταξύ ανθρωπίνου σώματος και περιβάλλοντος
- Μοντέλα και δείκτες εκτίμησης της θερμικής άνεσης
- Φυσικές και προσωπικές παράμετροι που επηρεάζουν την θερμική άνεση
- Εξάρτηση από την θερμική επίδοση του κτιριακού κελύφους





Διάρθρωση μαθήματος

- **Θερμικές απώλειες και ψυκτικά φορτία**
 - Η μέθοδος των βαθμομερών θέρμανσης/ψύξης
 - Υπολογισμός θερμικών/ψυκτικών απαιτήσεων
 - Θερμικές απώλειες (απώλειες αγωγιμότητας, απώλειες λόγω αερισμού, ειδικές προσαυξήσεις π.χ. λόγω διαλείπουσας λειτουργίας, ύψους, κτλ.)
 - Ψυκτικά φορτία (μέθοδος CLTD/CLF, θερμικά κέρδη, κτλ.)
- **Συστήματα θέρμανσης/ψύξης**
 - Είδη θέρμανσης (καυστήρες, ηλεκτρικές αντιστάσεις, αντλίες, κτλ.)
 - Διαστασιολόγηση συστημάτων θέρμανσης (β.απ., απαιτούμενη ισχύς, κτλ.)
 - Ηλιακή θέρμανση – Η μέθοδος f charts
 - ~~Τερματικές μονάδες (θερμαντικά σώματα τοποθέτηση)~~



Διάρθρωση μαθήματος

- **Συστήματα θέρμανσης/ψύξης**

- Αντλίες θερμότητας (θερμοδυναμικό κύκλο, στοιχεία εξοπλισμού, συντελεστές επίδοσης σε θέρμανση και ψύξη)
- Δίκτυα διανομής (μονοσωλήνιο, δισωλήνιο σύστημα) – Μεταφερόμενη θερμική ισχύς
- Υπολογισμοί και είδη σωληνώσεων
- Θερμοκρασιακές πτώσεις και θερμοκρασίες εισόδου/εξόδου σε κυκλώματα θέρμανσης
- Στοιχεία ενδοδαπέδιας θέρμανσης
- Ολοκληρωμένα συστήματα ψύξης κτιρίων (αέρα-αέρα, αέρα-νερού, κτλ.)
- Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας
- Σχεδιασμός και διαστασιολόγηση συστήματος θέρμανσης

- **Τεχνο-οικονομική αξιολόγηση σεναρίων ενεργειακής αναβάθμισης**

- Βασικοί οικονομικοί δείκτες αξιολόγησης επενδύσεων βελτίωσης της ενεργειακής επίδοσης (π.χ. NPV, IRR, χρόνος αποπληρωμής), Αξιολόγηση βιωσιμότητας επενδύσεων.



Εισαγωγή στο μάθημα

Θέρμανση – Ψύξη - Κλιματισμός

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΛΜΕΠΑ

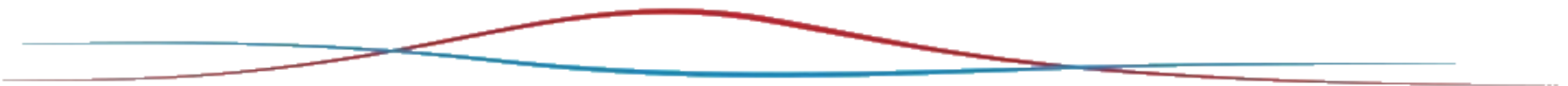
Βαθμολόγηση θεωρίας μαθήματος

ΘΕΩΡΙΑ

- Τελική εξέταση
- Εκπόνηση προόδου
- Τελικός βαθμός: Σταθμισμένος Μ.Ο.

ΤΕΛΙΚΟΣ ΒΑΘΜΟΣ

- Μ.Ο. βαθμού θεωρίας και εργαστηρίου





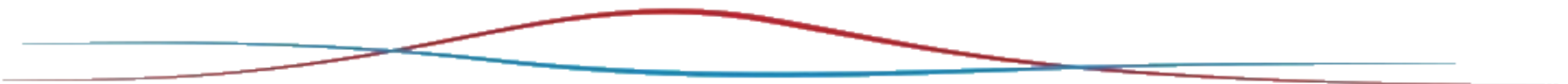
Εισαγωγή στο μάθημα

Θέρμανση – Ψύξη - Κλιματισμός

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΛΜΕΠΑ

Βιβλιογραφία

- Διαφάνειες Θεωρίας και σημειώσεις που θα αναρτώνται στο λογαριασμό του μαθήματος στο eclass.
- Δ.Α. Κατσαπρακάκης, Μ. Μονιάκης, [Θέρμανση – Ψύξη – Κλιματισμός](#), ISBN: 978-960-603-339-1.
- [Τεχνική Οδηγία TOTEE KENAK 20701-1-2017](#), Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτηρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης, Α' έκδοση.
- [Τεχνική Οδηγία TOTEE KENAK 20701-2-2017](#), Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτηρίων, Α' έκδοση.
- [Τεχνική Οδηγία TOTEE KENAK 20701-3-2010](#), Κλιματικά δεδομένα ελληνικών περιοχών, Γ' έκδοση.
- [Τεχνική Οδηγία TOTEE KENAK 20701-4-2017](#), Οδηγίες και έντυπα εκθέσεων ενεργειακών επιθεωρήσεων κτιρίων, συστημάτων θέρμανσης και συστημάτων κλιματισμού, Α' έκδοση.



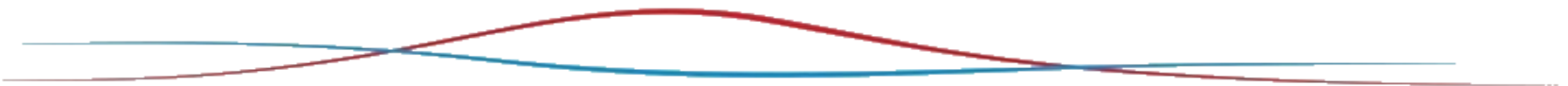


Εισαγωγή στο μάθημα

Θέρμανση – Ψύξη - Κλιματισμός

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΛΜΕΠΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ





Εισαγωγή στο μάθημα

Θέρμανση – Ψύξη - Κλιματισμός

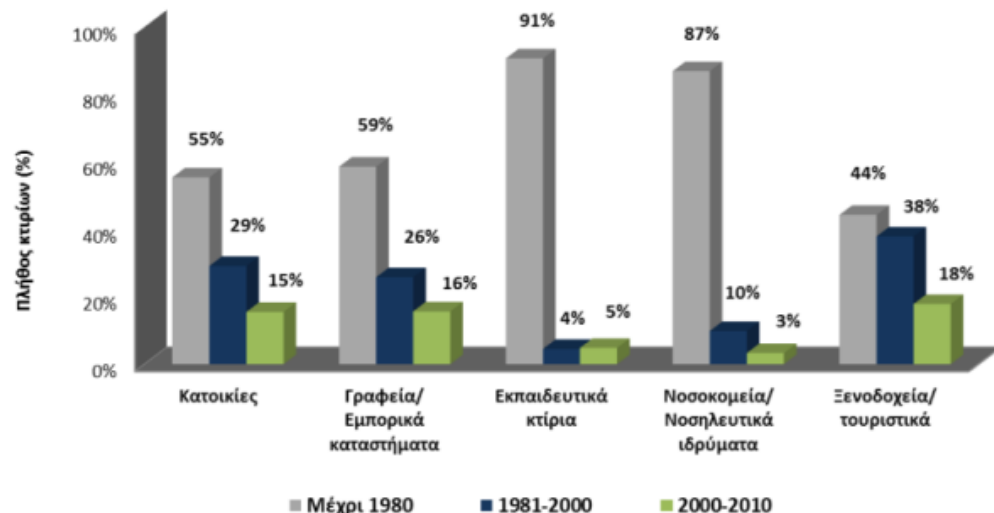
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΛΜΕΠΑ

Κτιριακό απόθεμα στην Ελλάδα

Πλήθος κτιρίων ανά χρήση, έτος 2011

Χρήση κτιρίου	Πλήθος κατοικιών & κτιρίων τριτογενούς τομέα
Κατοικίες	4,122,088
Ξενοδοχεία	8,309
Σχολεία/ εκπαιδευτικά	15,576
Γραφεία/ καταστήματα	152,550
Νοσοκομεία/ κλινικές	1,742
Άλλο	626,630
Σύνολο	4,925,895

Με βάση την **περίοδο κατασκευής των κτιρίων**, προκύπτει ότι το μεγαλύτερο πλήθος των κτιρίων της χώρας (κατοικίες, σχολεία, γραφεία κλπ) κατασκευάστηκε πριν από το 1980 (μη ύπαρξη θεσμικού πλαισίου ενεργειακής απόδοσης-μη αποδοτικά κτίρια)





Εισαγωγή στο μάθημα

Θέρμανση – Ψύξη - Κλιματισμός

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΛΜΕΠΑ

Ενεργειακή απόδοση – Ηλικία του κτιρίου

ΠΔ 1.6.1979: Κανονισμός θερμομόνωση κτιρίων (ΚΘΚ)

Ν. 3851/2010: 1^{ος} Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ) (ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης για νέα και για ριζικά ανακαινιζόμενα κτίρια).

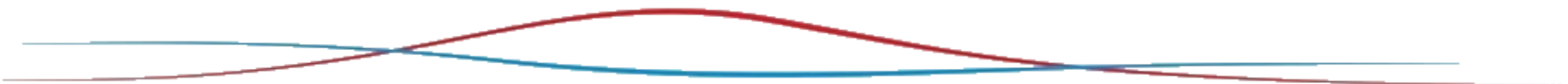
Ν. 4122/2013: Αναθεωρημένος Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ) (αναθ. Ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης για νέα και για ριζικά ανακαινιζόμενα κτίρια).



ΆΡΑ, κτίρια με οικοδομική άδεια πριν το 1980 δεν έχουν θερμομόνωση!

Δηλ. με βάση το διάγραμμα της προηγούμενης διαφάνειας, το μεγαλύτερο ποσοστό των κτιρίων είναι θερμικά απροστάτευτα!

Ενδεικτικά, το 55% των κατοικιών, το 91% των εκπαιδευτικών κτιρίων, το 87% των νοσοκομείων, κτλ.





Εισαγωγή στο μάθημα

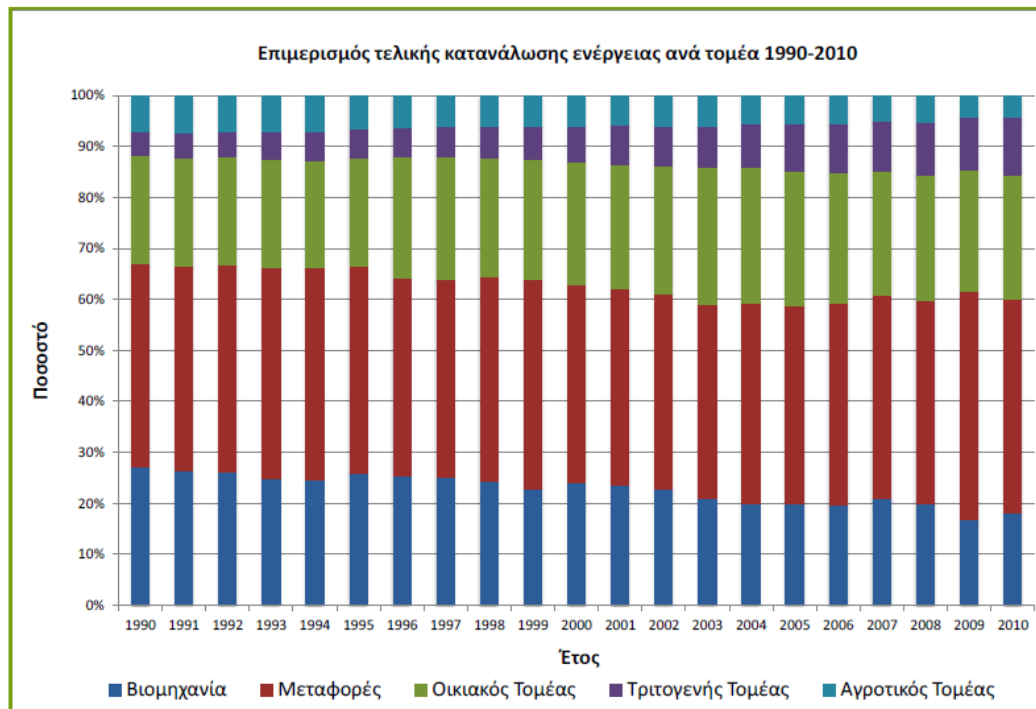
Θέρμανση – Ψύξη - Κλιματισμός

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΛΜΕΠΑ

Ενεργειακή κατανάλωση κτιρίων

Η ενεργειακή κατανάλωση στον κτιριακό τομέα στην Ελλάδα έχει **αυξηθεί σημαντικά** τα τελευταία χρόνια, σε επίπεδο οικιακού και τριτογενή κλάδου:

1990: 25%, 2000: 30%, 2010: 40%



Το 40% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας **απορροφάται από τα κτίρια**.

Συμβολή στο **14%** των εκπομπών **GHG**.

Συμβολή στο **45%** των εκπομπών **CO₂**.

Συμβολή στο **φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας**.



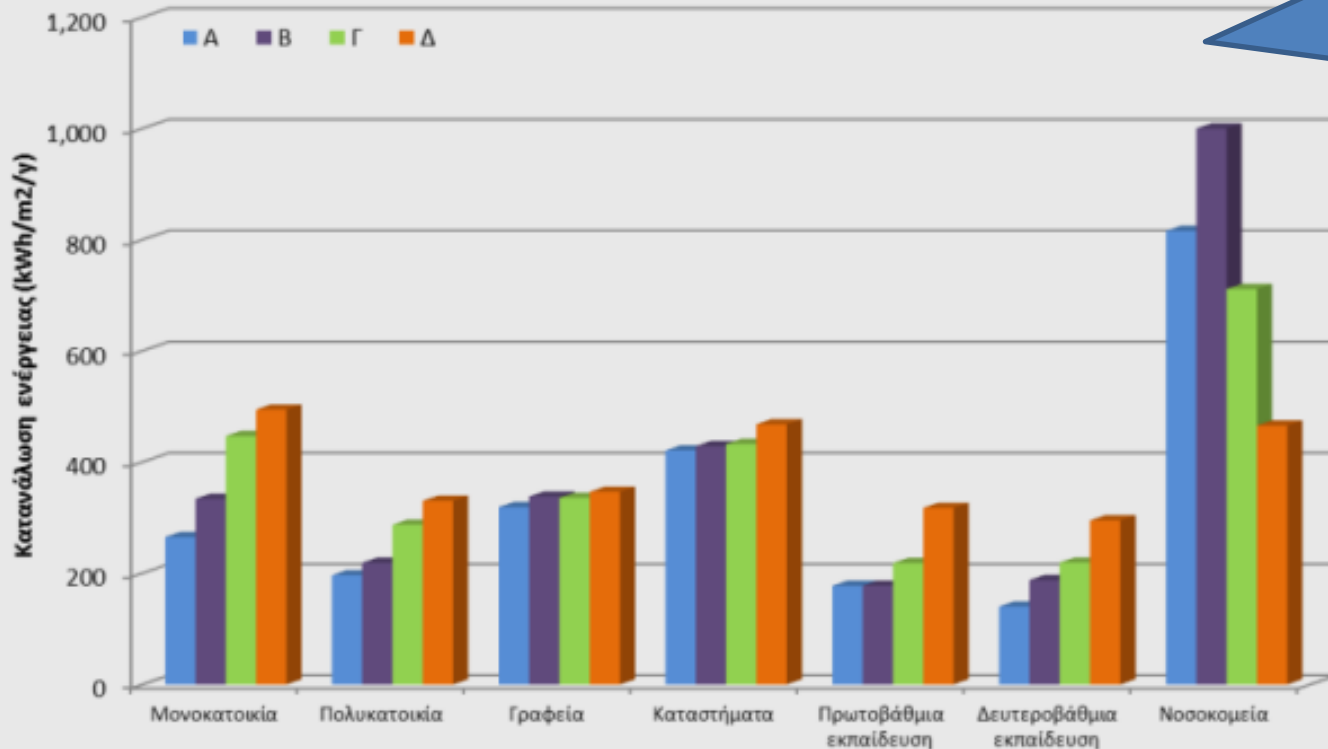
Εισαγωγή στο μάθημα

Θέρμανση – Ψύξη - Κλιματισμός

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΛΜΕΠΑ

Ενεργειακή κατανάλωση κτιρίων

Σύμφωνα με την “Έκθεση μακροπρόθεσμης στρατηγικής για την κινητοποίηση επενδύσεων για την ανακαίνιση του αποτελούμενου από κατοικίες και εμπορικά κτίρια, δημόσια και ιδιωτικά, εθνικού κτιριακού αποθέματος (Άρθρο 4, Οδηγία 27/2012/ΕΕ)” του Υπουργείου Περιβάλλοντος & Ενέργειας, η **ενεργειακή κατανάλωση του κτιριακού τομέα της χώρας αυξήθηκε σημαντικά το 2012, σε σχέση με το 1990, για τις κατοικίες κατά 65%!!!**



Μέση κατανάλωση βάσει πιστοποιητικών ενεργειακής απόδοσης (ΠΕΑ).



Εισαγωγή στο μάθημα

Θέρμανση – Ψύξη - Κλιματισμός

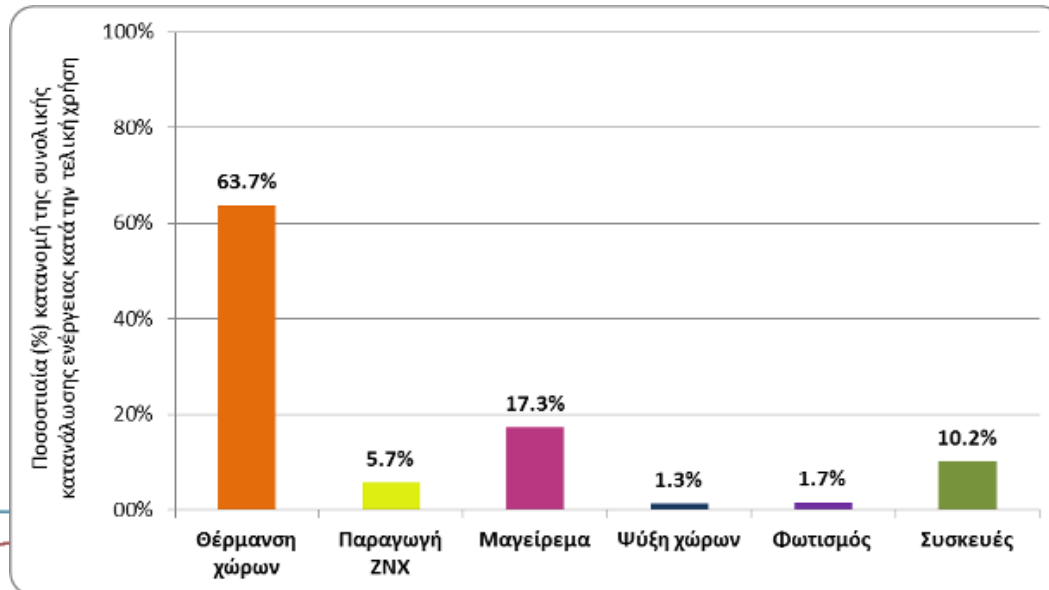
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΛΜΕΠΑ

Τυπική ενεργειακή κατανάλωση νοικοκυριών

Μερίδιο κατανάλωσης στην τελική χρήση:

- **Θέρμανση χώρων: 63.7%**
- Παραγωγή Ζεστού Νερού Χρήσης (ZNX): 5.7%
- Μαγείρεμα: 17.3%
- Ψύξη χώρων: 1.3%
- Φωτισμός: 1.7%
- Συσκευές/εξοπλισμός: 10.2%

Ένας από τους σκοπούς του μαθήματος είναι η κατανόηση των θερμικών απαιτήσεων και η απόκτηση γνώσεων σχεδιασμού για την μείωση της ενεργειακής απαίτησης για θέρμανση στη βάση τήρησης της θερμικής άνεσης σε αποδεκτά επίπεδα.

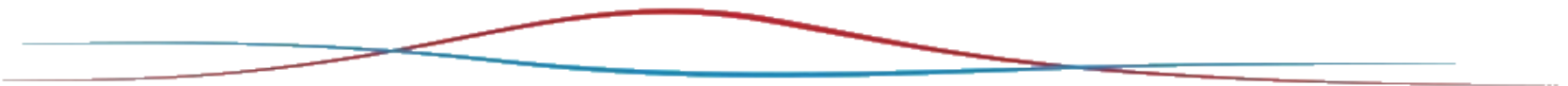




Η ενεργειακή κατανάλωση στο κτίριο επιμερίζεται ανά φορέα ενέργειας:

- Ηλεκτρική ενέργεια
- Θερμική ενέργεια π.χ. καύσιμο λέβητα για θέρμανση, δηλ. πετρέλαιο, φυσικό αέριο, κτλ.
- Ενέργεια από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

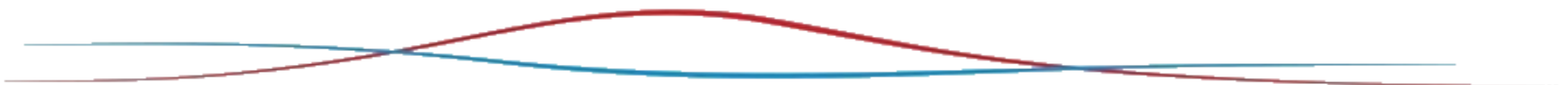
Η κατανάλωση ενέργειας προκύπτει από την «μηχανή» που χρησιμοποιούμε για να καλύψουμε την ενεργειακή απαίτηση. Ένας από τους σκοπούς του μαθήματος είναι η κατανόηση μεθόδων σχεδιασμού και πρακτικών για την μείωση της ενεργειακής απαίτησης (π.χ. μέσω της θερμομόνωσης κελύφους), δηλ. μείωση των θερμικών/ψυκτικών φορτίων, ώστε η «μηχανή» να καταναλώνει λιγότερη ενέργεια!





Και μπορεί να αναχθεί σε:

- Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ανά φορέα ενέργειας
- Συνολική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας
- Εκπομπές CO₂ και άλλων αερίων του θερμοκηπίου ανά φορέα ενέργειας
- Συνολικές εκπομπές CO₂ και άλλων αερίων του θερμοκηπίου





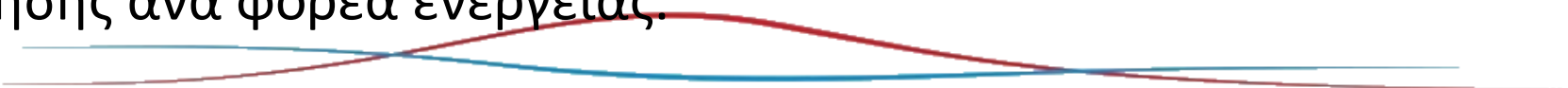
Ορισμοί

Τελική κατανάλωση ενέργειας (Final energy consumption)

Είναι η ενέργεια που τροφοδοτείται σε κάθε σημείο τελικής χρήσης (για τα κτίρια βλ. προαναφερόμενες τελικές χρήσεις) και ΔΕΝ συμπεριλαμβάνει τις απώλειες μεταφοράς κατά την διανομή ενέργειας καθώς και του μετασχηματισμού καυσίμων στους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής.

Μπορεί να αθροιστεί ανά φορέα ενέργειας προς την εκτίμηση της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης τελικής χρήσης ανά φορέα. Αυτή είναι η κατανάλωση σε kWh που αναγράφεται στους εκκαθ. Λογαριασμούς π.χ. ηλεκτρικού ρεύματος.

Ανά τελική χρήση, μπορεί να παρουσιαστεί ως ποσοστό συμμετοχής στη συνολική ενεργειακή κατανάλωση τελικής χρήσης ανά φορέα ενέργειας.





Ορισμοί

Πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας (Primary energy consumption)

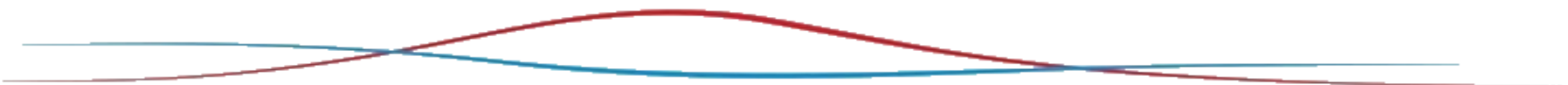
Είναι η περιεχόμενη ενέργεια ανά φορέα ενέργειας, δηλ. σε ορυκτά καύσιμα και σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, και η οποία δεν έχει υποστεί μετατροπή ή μετασχηματισμό.

Η πρωτογενής ενέργεια είναι ουσιαστικά η προέλευση της ενεργειακής κατανάλωσης τελικής χρήσης, πριν τις μετατροπές (περιλαμβάνει απώλειες μεταφοράς και μετασχηματισμού) μέχρι την τροφοδοσία στο τελικό σημείο κατανάλωσης.

Η πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας ανά φορέα ενέργειας προκύπτει από την μετατροπή της τελικής κατανάλωσης ανά φορέα μέσω του πολλαπλασιασμού με ειδικούς συντελεστές μετατροπής (που συχνά βρίσκονται στη βιβλιογραφία).

Η συνολική πρωτογενής κατανάλωση είναι το άθροισμα των ποσών πρωτογενούς κατανάλωσης ανά φορέα ενέργειας.

Είναι ο πιο συνηθισμένος δείκτης ενεργειακής αποτίμησης και κατάταξης των κτιρίων, αφού εκπροσωπεί τη συνολική ενεργειακή κατανάλωση ενός κτιρίου.





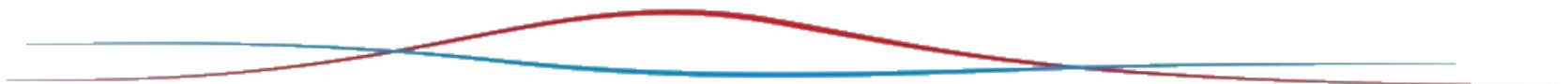
Ορισμοί

Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την κατανάλωση ενέργειας

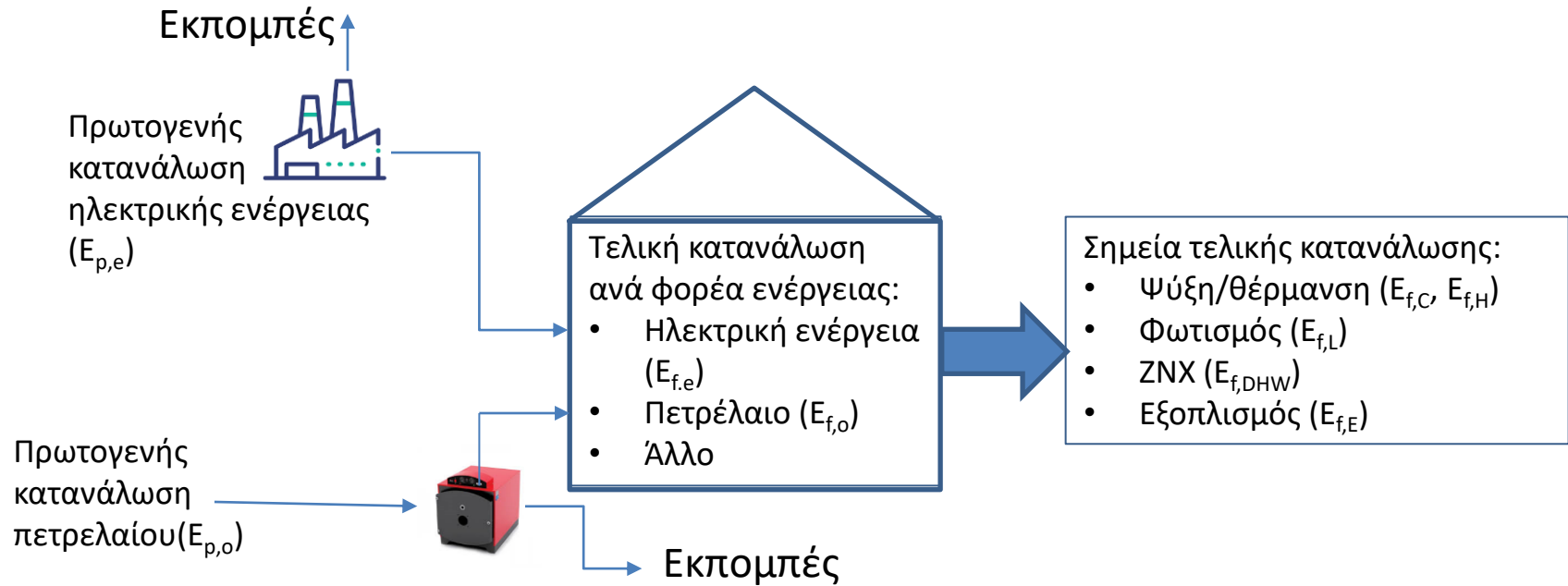
Είναι οι εκπομπές (απομακρυσμένες ή επιτόπιες) διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) και άλλων αερίων του θερμοκηπίου από την καύση συμβατικών μορφών καυσίμων για την παραγωγή και εκμετάλλευση ενέργειας.

Απομακρυσμένες εκπομπές: Συνήθως οι εκπομπές από καπνοδόχο θερμοηλεκτρικού σταθμού από την καύση λιγνιτικών καυσίμων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Επιτόπιες εκπομπές (στο κτίριο): Συνήθως από κάποιο λέβητα καύσης συμβατικού καυσίμου (π.χ. πετρέλαιο) για την παραγωγή θερμικής ενέργειας για θέρμανση χώρων ή/και παραγωγή ΖΝΧ.



Ενεργειακό διάγραμμα ροής – Τελική κατανάλωση



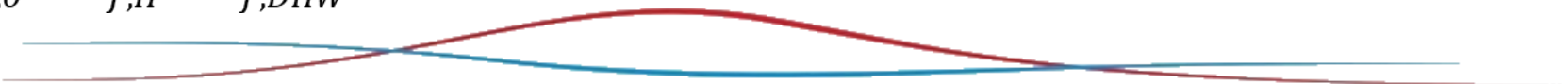
Ενδεικτική περίπτωση: Ηλεκτρική ενέργεια για ψύξη (π.χ. κλιματιστικά), για φωτισμό και για εξοπλισμό. Πετρέλαιο για θέρμανση χώρων και ΖΝΧ.

Συνολική τελική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας:

$$E_{f,e} = E_{f,C} + E_{f,L} + E_{f,E}$$

Συνολική τελική κατανάλωση πετρελαίου:

$$E_{f,o} = E_{f,H} + E_{f,DHW}$$



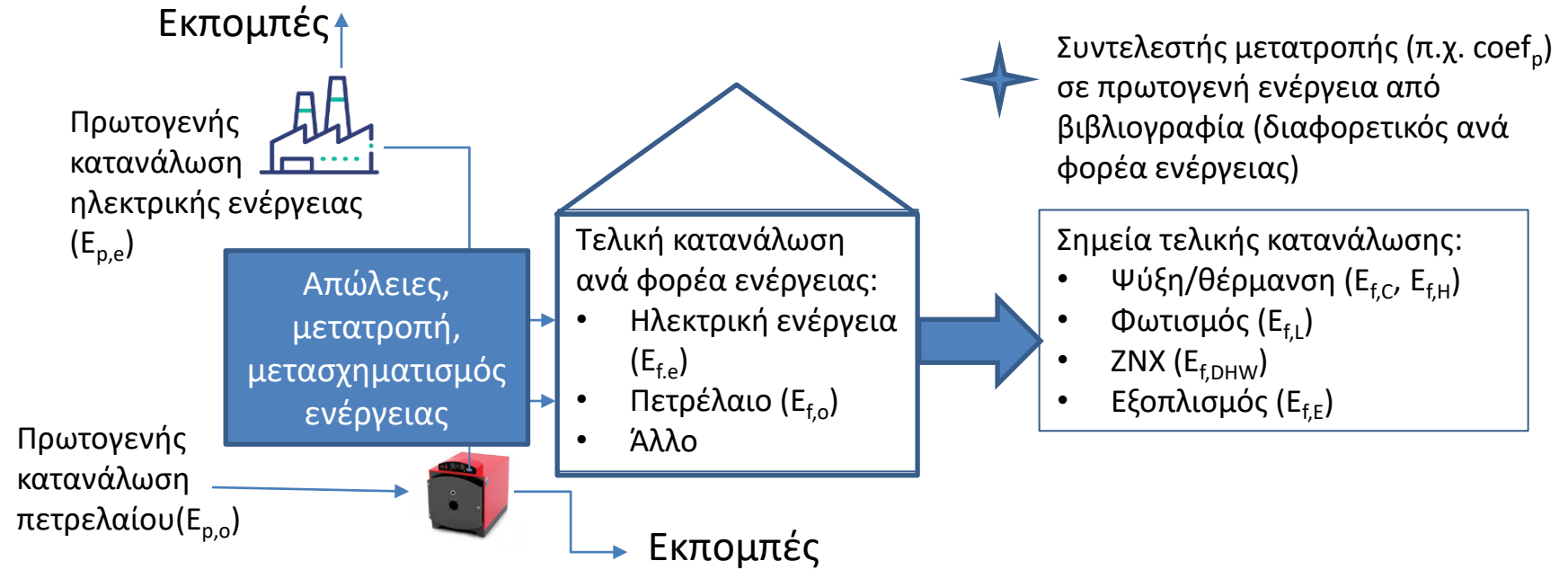


Εισαγωγή στο μάθημα

Θέρμανση – Ψύξη - Κλιματισμός

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΛΜΕΠΑ

Ενεργειακό διάγραμμα ροής – Πρωτογενής κατανάλωση



Παραδοχή: Ηλεκτρική ενέργεια για ψύξη (π.χ. κλιματιστικά), για φωτισμό και για εξοπλισμό. Πετρέλαιο για θέρμανση χώρων και ΖΝΧ.

Συνολική τελική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας:

$$E_{f,e} = E_{f,C} + E_{f,L} + E_{f,E} \quad \longrightarrow \quad E_{p,e} = coef_{p,e} * E_{f,e}$$

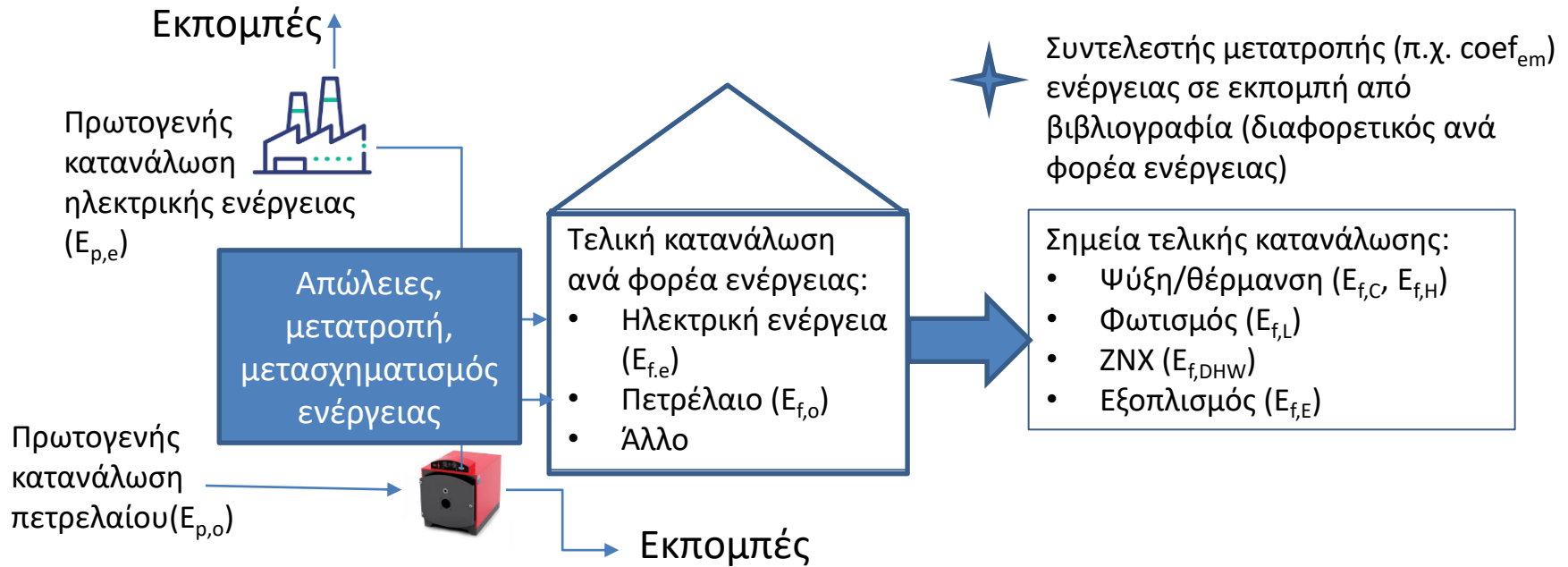
Συνολική τελική κατανάλωση πετρελαίου:

$$E_{f,o} = E_{f,H} + E_{f,DHW} \quad \longrightarrow \quad E_{p,o} = coef_{p,o} * E_{f,o}$$

Συνολική πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας
(Συνήθης δείκτης ενεργειακής αποτίμησης κτιρίων):

$$E_{p,tot} = E_{p,e} + E_{p,o}$$

Ενεργειακό διάγραμμα ροής – Εκπομπές



Παραδοχή: Ηλεκτρική ενέργεια για ψύξη (π.χ. κλιματιστικά), για φωτισμό και για εξοπλισμό. Πετρέλαιο για θέρμανση χώρων και ΖΝΧ.

Συνολική τελική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας:

$$E_{f,e} = E_{f,C} + E_{f,L} + E_{f,E} \quad \Rightarrow \quad Em_e = coef_{em,e} * E_{f,e}$$

Συνολική τελική κατανάλωση πετρελαίου:

$$E_{f,o} = E_{f,H} + E_{f,DHW} \quad \Rightarrow \quad Em_o = coef_{em,o} * E_{f,o}$$

Συνολικές εκπομπές ρύπων
(Συνήθης δείκτης περιβ/ής
αποτίμησης κτιρίων):

$$Em_{tot} = Em_e + Em_o$$



Εισαγωγή στο μάθημα

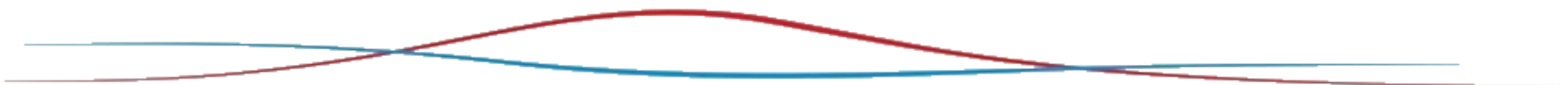
Θέρμανση – Ψύξη - Κλιματισμός

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΛΜΕΠΑ

Μετατροπή ενέργειας - Συντελεστές

Πίνακας 1.2 της [TOTE 20701-1/2017](#)

Πηγή ενέργειας	Συντελεστής μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια $coef_p$
Φυσικό αέριο	1,05
Πετρέλαιο θέρμανσης	1,10 $coef_{p,o}$
Ηλεκτρική ενέργεια	2,9 $coef_{p,e}$
Υγραέριο	1,05
Βιομάζα	1,00
Τηλεθέρμανση από θερμικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής	0,7
Τηλεθέρμανση από ΑΠΕ	0,5





Εισαγωγή στο μάθημα

Θέρμανση – Ψύξη - Κλιματισμός

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΛΜΕΠΑ

Μετατροπή ενέργειας σε εκπομπές - Συντελεστές

Πίνακας 7.1 της [TOTE 20701-1/2017](#)

Καύσιμο	Κατώτερη θερμογόνος δύναμη	Πυκνότητα των καυσίμου	$coef_{em}$ CO ₂	SO ₂	NO _x
	[kWh/kg]	[kg/m ³]	[g/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]
Πετρέλαιο θέρμανσης $coef_{em,o}$	11,92		263,6	0,1	200,0
Υγραέριο	12,73		238,0	0,0	165,1
Φυσικό αέριο	13,83		196,3	0,0	152,0
Βιομάζα (τυποποιημένη ή μη)	4,31		--	--	--
Λιγνίτης			1320,0	1,2	1,0
Ηλεκτρισμός (περιοχές που είναι διασυνδεδεμένες με το ηπειρωτικό ηλεκτρικό δίκτυο)	$coef_{em,e}$		850,0	15,5	1,2
Ηλεκτρισμός (νησιά που δεν είναι διασυνδεδεμένα με το ηπειρωτικό ηλεκτρικό δίκτυο)			1062,5	19,4	1,5
Θερμική ενέργεια από τηλεθέρμανση			346,6	1,5	0,6

Για την Κρήτη (προς το παρόν)



Εισαγωγή στο μάθημα

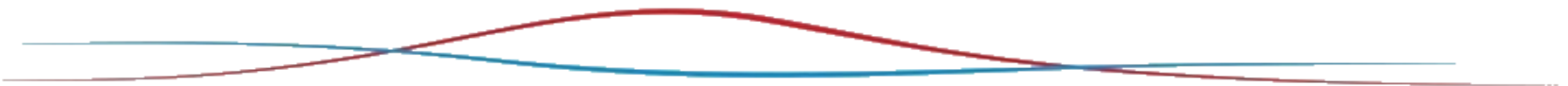
Θέρμανση – Ψύξη - Κλιματισμός

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΛΜΕΠΑ

Μετατροπές – Παράδειγμα - Κατοικία

Μία κατοικία 120 m^2 στην Κρήτη καταναλώνει, για την κάλυψη αναγκών κυρίως φωτισμού και κλιματισμού, συνολική ηλεκτρική ενέργεια 80 kWh/m^2 το έτος. Για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης χώρων (διαθέτει λέβητα πετρελαίου) καταναλώνει 1 τόνο πετρέλαιο το έτος (κατώτερη θερμογόνο δύναμη πετρελαίου: 11.92 kWh/kg). Να υπολογιστούν:

1. Η συνολική πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας της κατοικίας.
2. Οι συνολικές εκπομπές CO_2 από την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και πετρελαίου.





Μετατροπές – Παράδειγμα - Κατοικία

Μία κατοικία 120 m^2 στην Κρήτη καταναλώνει, για την κάλυψη αναγκών κυρίως φωτισμού και κλιματισμού, συνολική ηλεκτρική ενέργεια 80 kWh/m^2 το έτος. Για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης χώρων (διαθέτει λέβητα πετρελαίου) καταναλώνει 1 τόνο πετρέλαιο το έτος (κατώτερη θερμογόνο δύναμη πετρελαίου: $11,92 \text{ kWh/kg}$). Να υπολογιστούν:

1. Η συνολική πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας της κατοικίας.
2. Οι συνολικές εκπομπές CO_2 από την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και πετρελαίου.

Λύση

Ερ. 1

Μετατροπή κατανάλωσης πετρελαίου σε kWh:

Δίδεται κατανάλωση πετρελαίου: $M=1 \text{ tn} = 1000 \text{ kg} \Rightarrow$ Κατανάλωση θερμικής ενέργειας τελικής χρήσης (με φορέα ενέργειας το πετρέλαιο): $E_{oil,f} = M * K\Theta\Delta = 1000 \text{ kg} * 11,92 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}} = 11.920 \text{ kWh}$ ετησίως.

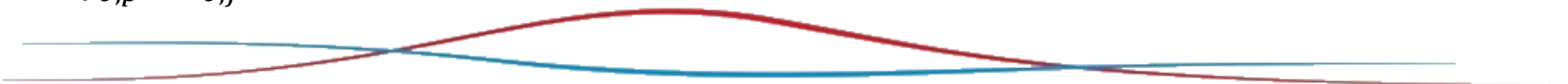
Πρωτογενής κατανάλωση θερμικής ενέργειας: $E_{oil,p} = coef_{oil,p} * E_{oil,f} = 1,1 * 11.920 = 13.112 \text{ kWh}$ ετησίως.

Μετατροπή ανηγμένης κατανάλωσης ηλεκτρισμού σε συνολική του κτιρίου:

$$E_{e,f} = 120 \text{ m}^2 * 80 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} = 9.600 \text{ kWh} \text{ ετησίως.}$$

Μετατροπή τελικής κατανάλωσης ηλεκτρισμού σε πρωτογενή ηλεκτρική:

$$E_{e,p} = coef_{e,p} * E_{e,f} = 2,9 * 9.600 = 27.840 \text{ kWh} \text{ ετησίως.}$$





Μετατροπές – Παράδειγμα - Κατοικία

Μία κατοικία 120 m² στην Κρήτη καταναλώνει, για την κάλυψη αναγκών κυρίως φωτισμού και κλιματισμού, συνολική ηλεκτρική ενέργεια 80 kWh/m² το έτος. Για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης χώρων (διαθέτει λέβητα πετρελαίου) καταναλώνει 1 τόνο πετρέλαιο το έτος (κατώτερη θερμογόνο δύναμη πετρελαίου: 11,92 kWh/kg). Να υπολογιστούν:

1. Η συνολική πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας της κατοικίας.
2. Οι συνολικές εκπομπές CO₂ από την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και πετρελαίου.

Λύση

Ερ. 1

Άρα, η συνολική πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας του κτιρίου είναι:

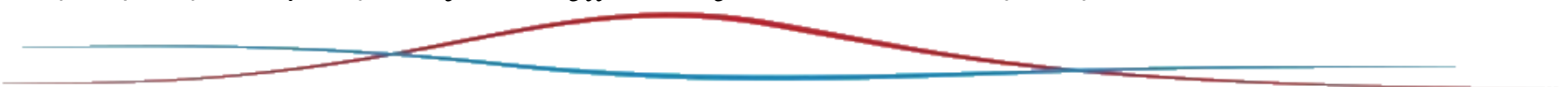
$$E_{p,t} = E_{oil,p} + E_{e,p} = 13.112 + 27.840 = 40.952 \text{ kWh ετησίως}$$

Ερ.2

Μετατροπή τελικής κατανάλωσης θερμικής ενέργειας σε εκπομπές: $Em_{oil} = coef_{em,oil} * E_{oil,f} = 11.920 \text{ kWh} * 0,2636 \frac{kg}{kWh} = 3.142,112 \text{ kg}$ δηλ. 3,14 tns ετησίως από την κατανάλωση πετρελαίου.

Μετατροπή τελικής κατανάλωσης ηλεκτρισμού σε εκπομπές: $Em_e = coef_{em,e} * E_{e,f} = 9.600 \text{ kWh} * 1,0625 \frac{kg}{kWh} = 10.200 \text{ kg}$ δηλ. 10,2 tns ετησίως από την κατανάλωση πετρελαίου.

Συνολικές ετήσιες εκπομπές: $Em_t = Em_{oil} + Em_e = 13,34 \text{ tns ετησίως}$.





Βασικές μονάδες μέτρησης

Ενεργειακή κατανάλωση

Η βασική μονάδα μέτρησης της ενεργειακής κατανάλωσης στα κτίρια είναι η kWh.

Προκύπτει ως το γινόμενο της ωφέλιμης ισχύος (kW) της τεχνολογίας που καταναλώνει ενέργεια (π.χ. λαμπτήρας, θερμική αντίσταση, κλιματιστικό, κτλ.) επί τις απαιτούμενες ώρες λειτουργίας για την κάλυψη της ενεργειακής ανάγκης.

Παράδειγμα: Ένας λαμπτήρας πυρακτώσεως ηλεκτρικής ισχύος 60 W λειτουργεί 8 ώρες ημερησίως, συνεπώς συντελεί στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (τελικής χρήσης) $0,06 \text{ kW} * 8 \text{ h} = 0,48 \text{ kWh}$ ημερησίως.

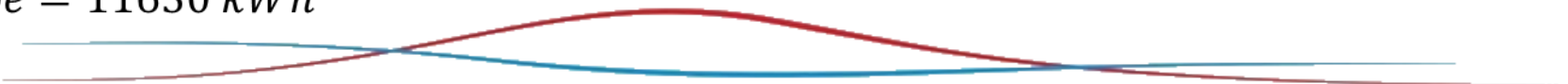
Άλλες συνήθεις μονάδες μέτρησης ενέργειας:

$$1 \text{ Joule} = \frac{1}{3600000} \text{ kWh}$$

$$1 \text{ BTU} = 0.000293 \text{ kWh}$$

Τόνοι ισοδύναμου πετρελαίου (ΤΙΠ)/tones of oil equivalent (toe): 1 ΤΙΠ ισοδυναμεί με την ενέργεια που εκλύεται από την καύση ενός τόνου αργού πετρελαίου.

$$1 \text{ toe} = 11630 \text{ kWh}$$





Εισαγωγή στο μάθημα

Θέρμανση – Ψύξη - Κλιματισμός

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΛΜΕΠΑ

Βασικές μονάδες μέτρησης

Ενεργειακή ισχύς

Κατά την εκτίμηση της ενεργειακής κατανάλωσης συχνά καλούμαστε να επεξεργαστούμε στοιχεία που αφορούν στην εγκατεστημένη ισχύ της ενεργειακής τεχνολογίας. Η ισχύς μετράται σε Watt, και συχνότατα τη συναντούμε σε kW. Για παράδειγμα, η εγκατεστημένη ισχύς ενός Φ/Β 10 kW.

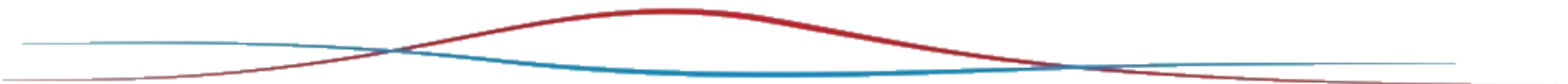
Για πολλές τεχνολογίες κατά την ενεργειακή επιθεώρηση καταγράφονται ισχύς σε άλλες μονάδες μέτρησης. Π.χ. για λέβητα πετρελαίου συναντούμε ισχύς σε kcal/h, για κλιματιστικό π.χ. το λεγόμενο «12άρι» έχει ονομαστική ισχύ 12000 Btu/h.

Συνήθεις μονάδες ισχύος:

$$1 \text{ kcal/h} = 0,00116 \text{ kW} = 1,16 \text{ W}$$

$$1 \text{ BTU/h} = 0,000293 \text{ kW} = 0,293 \text{ W}$$

$$1 \text{ hp (ιπποδύναμη)} = 0,73 \text{ kW} = 730 \text{ W}$$





Βασικές μονάδες μέτρησης

Στην περίπτωση του **συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας**

Εκφράζει το ποσό της θερμότητας που περνά από τη μάζα ενός υλικού επιφανείας 1 m^2 και πάχους 1 m στη μονάδα του χρόνου, όταν η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δύο επιφανειών του σώματος είναι $1 \text{ }^\circ\text{C}$.

Όσο μικρότερος είναι ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας ενός δομικού υλικού, τόσο καλύτερες είναι οι θερμομονωτικές του ιδιότητες.

Μονάδες:

Από $\text{kcal}/(\text{h m } ^\circ\text{C})$ σε $\text{W}/(\text{m K})$

$\text{kcal}/(\text{h m } ^\circ\text{C})$

$1 \text{ cal}=4,18 \text{ Joule}$

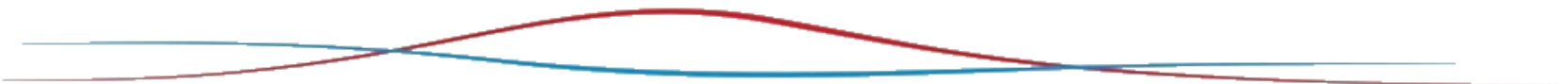
$\text{W}/(\text{m K})$

$1 \text{ h}=3600 \text{ sec}$

$1 \text{ W}=1 \text{ Joule/sec}$

$1 \text{ kcal}/(\text{h m } ^\circ\text{C}) = 1,16 \text{ W}/(\text{m K})$

$1 \text{ kcal}/\text{h m } ^\circ\text{C} = 4,18 \cdot 1000/3600 = 1,16 \text{ W/m K}$



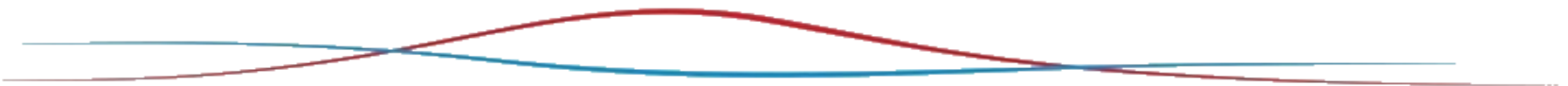


Εισαγωγή στο μάθημα

Θέρμανση – Ψύξη - Κλιματισμός

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΛΜΕΠΑ

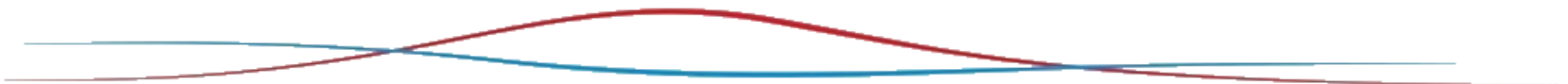
ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ





Μηχανισμοί μετάδοσης θερμότητας

- **Αγωγή θερμότητας** (μεταφορά μέσω στερεού σώματος, χωρίς μεταφορά μάζας). Στα κτίρια ενδιαφέρει η αγωγή θερμότητας μέσω των αδιαφανών και διαφανών επιφανειών του κελύφους.
- **Συναγωγή θερμότητας** ή απλώς μετάδοση με μεταφορά (μετάδοση μέσω μεταφοράς μάζας ρευστού π.χ. αέρα). Στα κτίρια ενδιαφέρει η μεταφορά θερμότητας λόγω αερισμού των θερμικών ζωνών.
- **Ακτινοβολία** (μετάδοση θερμότητας στο «κενό»). Στα κτίρια εστιάζουμε στην επίδραση της ακτινοβολίας συσκευών (εσωτερικά κέρδη) και της ηλιακής ακτινοβολίας διαμέσου των διαφανών επιφανειών (παράθυρα).





Εισαγωγή στο μάθημα

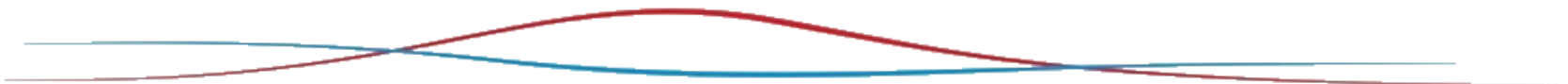
Θέρμανση – Ψύξη - Κλιματισμός

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΛΜΕΠΑ

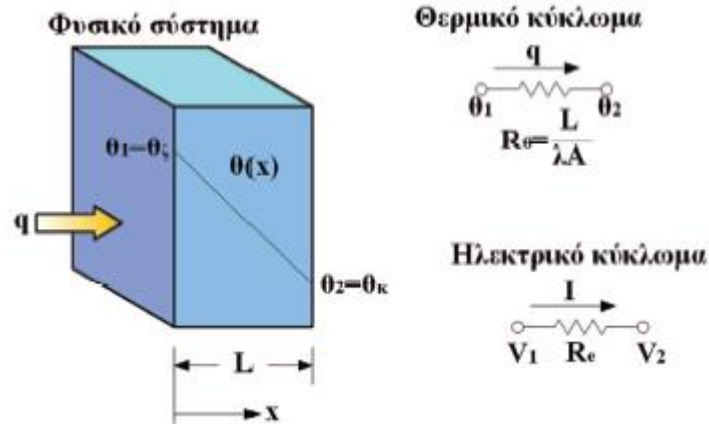
Αγωγή Θερμότητας

Ορίζεται ως ο μηχανισμός μεταφοράς θερμότητας από μία περιοχή (ή σύστημα) υψηλής θερμοκρασίας σε μια άλλη (ή άλλο) χαμηλότερης θερμοκρασίας, μέσω ενός μέσου (στερεού, υγρού ή αέριου σε ηρεμία), λόγω της φυσικής επαφής. Η μεταφορά αυτή επιτυγχάνεται είτε με μοριακή αλληλεπίδραση, δηλαδή μεταφορά ενέργειας από τα περισσότερο ενεργητικά μόρια στα γειτονικά τους, με χαμηλότερο επίπεδο ενέργειας, είτε μέσω της συγκέντρωσης των ελεύθερων ηλεκτρονίων, στα καθαρώς μεταλλικά στερεά.

Το πιο κλασικό παράδειγμα ροής θερμότητας με αγωγιμότητα είναι οι θερμικές απώλειες από τις αδιαφανείς επιφάνειες των κτηρίων το χειμώνα.



Αγωγή θερμότητας



Όπου:

λ είναι ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας (W/(mK)) (για διάφορα υλικά λαμβάνεται από βιβλιογραφία π.χ. από Πίνακα 1 της [TOTE KENAK 20701-2-2017](#)).

A είναι η επιφάνεια του τοιχώματος σε εγκάρσια διατομή (κάθετη στη ροή) του στερεού (m²).

θ (σε °C ή K) είναι η θερμοκρασία.

dx (σε m) είναι το στοιχειώδες μήκος του στερεού

L (σε m) είναι το συνολικό μήκος (πάχος) του στερεού.

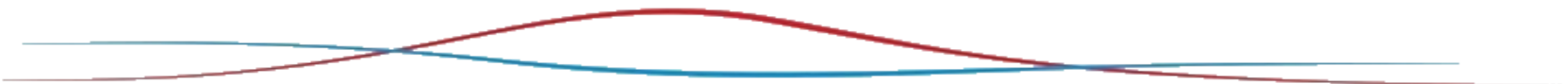
Ροή θερμότητας (θερμική απώλεια)

Κατεύθυνση ροής: Από το ζεστό « θ_1 » προς το κρύο « θ_2 ».

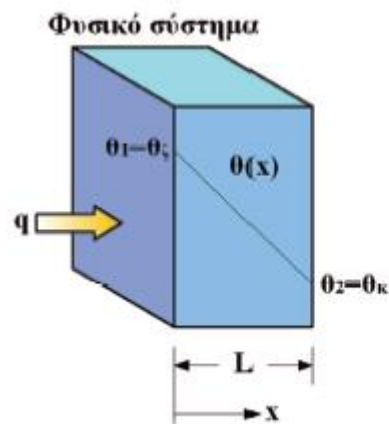
Υπολογισμός ροής θερμότητας (σε W):

Νόμος Fourier:

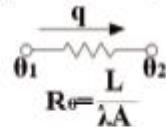
$$q = -\lambda A \frac{d\theta}{dx}$$



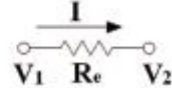
Αγωγή θερμότητας



Θερμικό κύκλωμα



Ηλεκτρικό κύκλωμα



$$q dx = -\lambda A d\theta \Rightarrow$$

$$q \int_0^L dx = -\lambda A \int_{\theta_1}^{\theta_2} d\theta \Rightarrow$$

$$qL = -\lambda A(\theta_2 - \theta_1) = \lambda A(\theta_1 - \theta_2) \Rightarrow$$

$$q(\sigma \varepsilon W) = \frac{\lambda A(\theta_1 - \theta_2)}{L} = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\frac{L}{\lambda A}}$$

Ή (ανηγμένη ροή ανά m²)

$$Q \left(\sigma \varepsilon \frac{W}{m^2} \right) = \frac{q}{A} = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\frac{L}{\lambda}}$$

Παραδοχές:

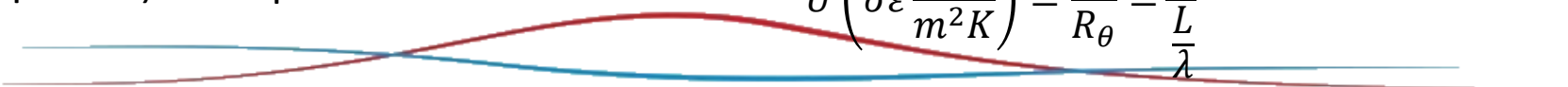
- κλίση της θερμοκρασίας και της ροής θερμότητας δεν μεταβάλλονται με το χρόνο
- η περιοχή μιας εγκάρσιας διατομής κατά μήκος της διαδρομής της ροής θερμότητας (δηλαδή κατά το πάχος L του τοιχώματος) είναι ομοιόμορφη
- Ο συντ. θερμικής αγωγιμότητας μπορεί να ληφθεί ως σταθερά

Ορίζεται η θερμική αντίσταση του υλικού:

$R_\theta \left(\sigma \varepsilon \frac{K}{W} \right) = \frac{L}{\lambda A}$ ή $R_\theta \left(\sigma \varepsilon \frac{m^2 K}{W} \right) = \frac{L}{\lambda}$ (απαντάται συνηθέστατα στον ενεργειακό σχεδιασμό κτιρίων).

Ορίζεται ο συντελεστής θερμοπερατότητας:

$$U \left(\sigma \varepsilon \frac{W}{m^2 K} \right) = \frac{1}{R_\theta} = \frac{1}{\frac{L}{\lambda}}$$



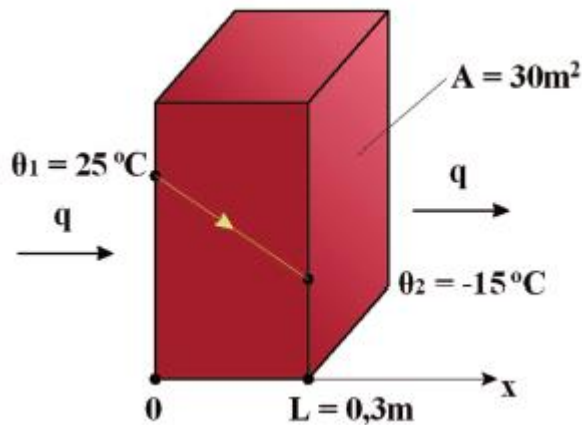


Αγωγή θερμότητας

Παράδειγμα – Υπολογισμός θερμορροής διαμέσου δομικού στοιχείου

Ένα διαχωριστικό τοίχωμα από ελαφρό σκυρόδεμα επιφάνειας 30m^2 βρίσκεται ανάμεσα σε επιφανειακές θερμοκρασίες 25°C και -15°C , ενώ έχει πάχος 30cm . Αν ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του ελαφρού σκυροδέματος είναι $1,1\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, να υπολογισθούν οι απώλειες θερμότητας μέσω του τοιχώματος.

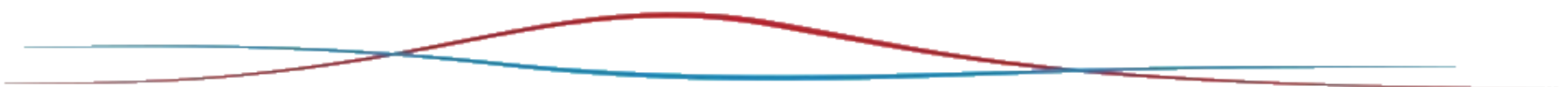
Λύση



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

Δηλ. η ανηγμένη ροή θερμότητας (ανά τ.μ.) θα είναι:

$$Q = \frac{q}{A} = \frac{4.400}{30} = 146,67\text{ W/m}^2$$



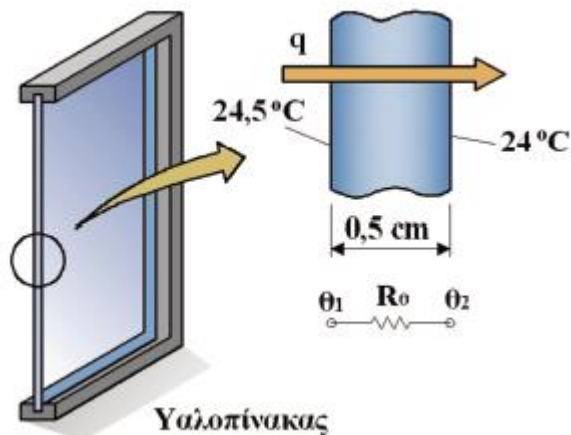
Αγωγή θερμότητας

Παράδειγμα – Υπολογισμός θερμορροής διαμέσου υαλοπίνακα

Να υπολογισθεί η **θερμική αντίσταση** καθώς και ο **ρυθμός μεταφοράς της θερμότητας** μέσα από έναν υαλοπίνακα παραθύρου με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας $\lambda=0,81\text{W/mK}$, διαστάσεις γυαλιού 1m (ύψος) $\times$ $0,5\text{m}$ (πλάτος) και πάχος υαλοπίνακα $0,5\text{cm}$, εάν η θερμοκρασία στην εξωτερική και εσωτερική επιφάνειά του είναι αντίστοιχα 24°C και $24,5^\circ\text{C}$.

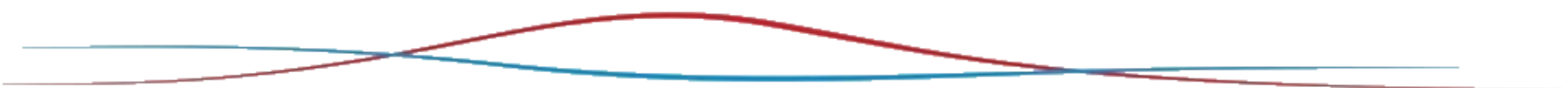
Λύση

$$R_{\theta} = \frac{L}{\lambda \cdot A} = \frac{0,005\text{m}}{0,81\text{W/mK} \cdot (1\text{m} \cdot 0,5\text{m})} = 0,0123\text{K/W}$$



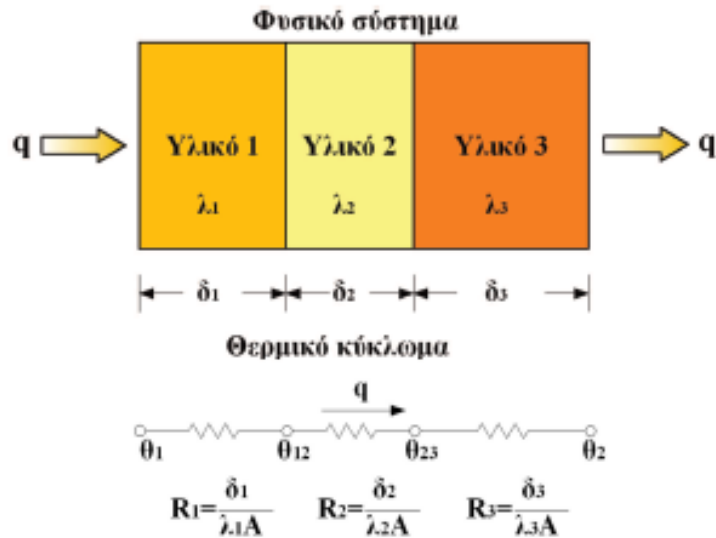
$$q = \frac{\Delta\theta}{\cancel{L} / \lambda \cdot A} = \frac{\Delta\theta}{R_{\theta}} = \frac{(24,5 - 24)\text{K}}{0,0123\text{K/W}} \approx 40\text{W}$$

$$\begin{aligned} \text{Η (ανηγμένη ροή ανά m}^2\text{): } Q \left(\sigma \varepsilon \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right) &= \frac{q}{A} = \\ \frac{\theta_1 - \theta_2}{\frac{L}{\lambda}} &= \frac{0,5\text{K}}{\frac{0,005\text{m}}{0,81\text{W/(mK)}}} = 81\text{W/m}^2 \end{aligned}$$



Αγωγή θερμότητας

Αγωγή θερμότητας διαμέσου σύνθετου τοιχώματος (στρώσεις)



Αρχή διατήρησης της ενέργειας:

$$q = \frac{\lambda_1 \cdot A}{L_1} \cdot (\theta_1 - \theta_2) = \frac{\lambda_2 \cdot A}{L_2} \cdot (\theta_2 - \theta_3) = \frac{\lambda_3 \cdot A}{L_3} \cdot (\theta_3 - \theta_4)$$



$$\theta_1 - \theta_2 = \frac{q \cdot L_1}{\lambda_1 \cdot A}, \quad \theta_2 - \theta_3 = \frac{q \cdot L_2}{\lambda_2 \cdot A}, \quad \theta_3 - \theta_4 = \frac{q \cdot L_3}{\lambda_3 \cdot A}$$



Πρόσθεση κατά μέλη

$$\frac{q}{A} = \frac{\theta_1 - \theta_4}{\left(\frac{L_1}{\lambda_1} + \frac{L_2}{\lambda_2} + \frac{L_3}{\lambda_3} \right)}$$

$$\theta_1 - \theta_4 = q \left(\underbrace{\frac{L_1}{\lambda_1 A}}_{R_1} + \underbrace{\frac{L_2}{\lambda_2 A}}_{R_2} + \underbrace{\frac{L_3}{\lambda_3 A}}_{R_3} \right)$$

Άρα, για σύνθετο τοίχωμα με n στρώσεις:

$$q = \frac{\theta_1 - \theta_{n+1}}{\left(\frac{L_1}{\lambda_1 A} + \frac{L_2}{\lambda_2 A} + \dots + \frac{L_n}{\lambda_n A} \right)} = \frac{\theta_1 - \theta_{n+1}}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{L}{\lambda \cdot A} \right)_i} = \frac{\theta_1 - \theta_{n+1}}{\sum_{i=1}^n R_i} = \frac{\Delta \theta}{\sum_{i=1}^n R_i}$$



Αγωγή θερμότητας

Παράδειγμα – Υπολογισμός θερμορροής διαμέσου δομικού στοιχείου με στρώσεις

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)

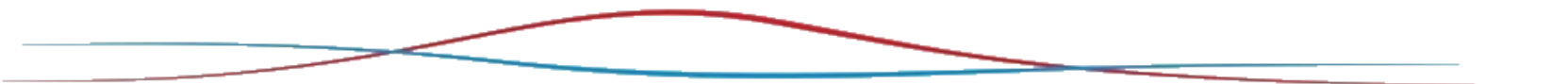
δ. ασβεστοκονίαμα πυκνότητας $\rho=1.800\text{kg/m}^3$ με πάχος $\delta_1=2\text{cm}$ και συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας $\lambda_1=0,87\text{W/(mK)}$ (τιμή από πίνακα 2 της TOTEE 20701-2).

Ζητούνται:

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

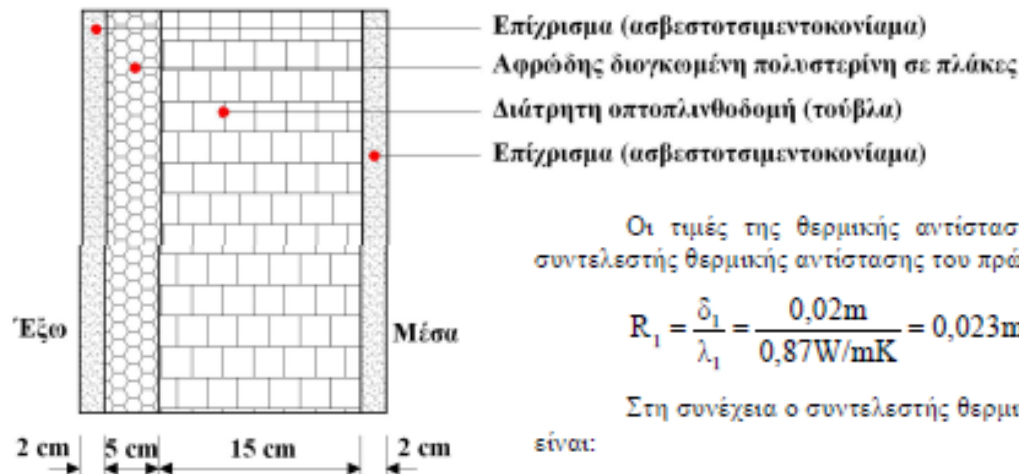
β. Ποια είναι η τιμή της συνολικής θερμικής αντίστασης του τοιχώματος;

γ. Ποια είναι η θερμική ισχύς (πυκνότητα θερμορροής) που διέρχεται διαμέσου του παραπάνω τοιχώματος, αν η εσωτερική θερμοκρασία επιφανείας του πρώτου στρώματος είναι 22°C και η θερμοκρασία στην εξωτερική επιφάνεια του τελευταίου στρώματος υλικού είναι 5°C ;



Αγωγή θερμότητας

Παράδειγμα – Υπολογισμός θερμορροής διαμέσου δομικού στοιχείου με στρώσεις



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 δευτέρου 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:

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

πυκνότητα θερμορροής (θερμική ισχύ)

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

ΚΑΙ συντ. θερμοπερατότητας:

$$U = \frac{1}{R_{\theta}} = 0,578 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

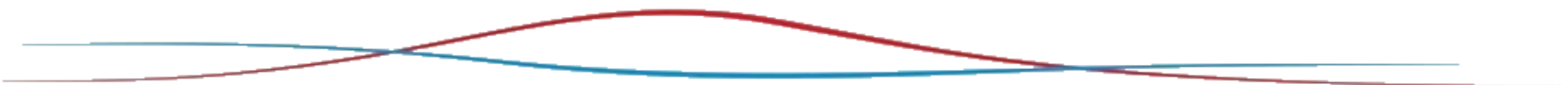


Συναγωγή Θερμότητας

Όταν ένα ρευστό (μεταφορά μάζας) έλθει σε επαφή με μια επιφάνεια διαφορετικής θερμοκρασίας έχει ως αποτέλεσμα τη μετάδοση θερμότητας με συναγωγή (convection). Η μεταφορά θερμότητας με συναγωγή συνδέεται πάντα με τη μεγάλης κλίμακας (δηλαδή όχι σε επίπεδο μορίων) κίνηση ενός ρευστού, το οποίο έρχεται σε επαφή με μια θερμότερη ή ψυχρότερη επιφάνεια. Σε γενικές γραμμές ισχύει ότι όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα του ρευστού, τόσο μεγαλύτερος είναι και ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας με συναγωγή.

Φυσική συναγωγή (κυβερνούσα δύναμη: Άνωση): προκύπτει από τις διαφορές πυκνότητας που δημιουργούνται στο ρευστό, λόγω διαφοράς θερμοκρασίας. Η ήπια κυκλοφορία του αέρα σε ένα δωμάτιο που προκαλείται από την ύπαρξη ενός θερμαινόμενου από την ηλιακή ακτινοβολία παραθύρου ή τοίχου είναι μια μορφή φυσικής συναγωγής. Η άνωση είναι η κινητήρια δύναμη για τη φυσική (ή ελεύθερη) συναγωγή.

Εξαναγκασμένη συναγωγή (κυβερνούσα δύναμη: Αδρανειακές δυνάμεις): όταν μια εξωτερική δύναμη (εκτός από τη βαρύτητα) μεταφέρει το ρευστό πάνω από μια θερμότερη ή ψυχρότερη επιφάνεια. Συνήθως τόσο οι ταχύτητες του ρευστού, όσο και ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας στην εξαναγκασμένη συναγωγή είναι σημαντικά μεγαλύτερες από εκείνες που συναντάμε στην ελεύθερη συναγωγή. Η βελτιωμένη μεταφορά θερμότητας που επιτυγχάνεται με την **εξαναγκασμένη συναγωγή συνοδεύεται και από μεγαλύτερη κατανάλωση μηχανικής ενέργειας (έργο)**. Η μεταφορά θερμότητας από θερμές ή ψυχρές δέσμες σωληνώσεων (π.χ. στους εναλλάκτες θερμότητας) οφείλεται κατά κύριο λόγο σε εξαναγκασμένη συναγωγή.





Συναγωγή θερμότητας

Το φαινόμενο περιγράφεται μαθηματικά από τον Νόμο Newton:

$$q = h_c A (\theta_s - \theta_f), \text{ σε W}$$

$$\text{Ή } Q = \frac{q}{A} = h_c (\theta_s - \theta_f), \text{ σε W/m}^2$$

Όπου:

A είναι το εμβαδόν της διεπιφάνειας συναγωγής μεταξύ στερεού (s) – ρευστού (f)

θ_s (σε οC ή K) είναι η θερμοκρασία επιφάνειας του στερεού

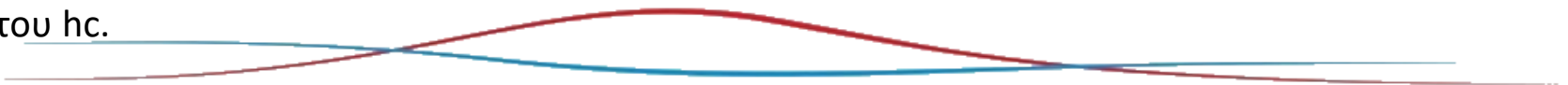
θ_f (σε οC ή K) είναι η θερμοκρασία του ρευστού

h_c (σε W/(m²K)) είναι ο συντελεστής συναγωγής του ρευστού

Ο h_c εμφανίζεται με όρους συντελεστή θερμοπερατότητας του ρευστού. Το αντίστροφό του μας δίνει τη θερμική αντίσταση του ρευστού στη συναγωγή, δηλ.

$$R_c = \frac{1}{h_c} \text{ (σε m}^2\text{K/W)}$$

Ο h_c εξαρτάται από τη φύση του ρευστού και την κατάσταση κινητικότητάς του. Είναι μεγάλο αντικείμενο έρευνας η διατύπωση μοντέλων υπολογισμού του για διάφορα ρευστά σε διάφορες συνθήκες ορμής, στροβιλισμού, έντασης της τύρβης κτλ. Στη βιβλιογραφία βρίσκονται κάποιες τυπικές τιμές του h_c .





Εισαγωγή στο μάθημα

Θέρμανση – Ψύξη - Κλιματισμός

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΛΜΕΠΑ

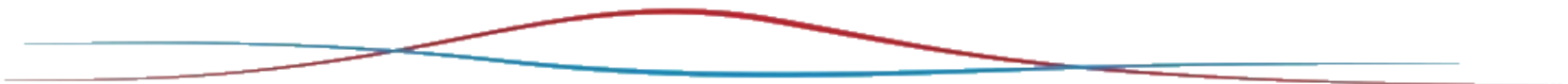
Συναγωγή θερμότητας

Τυπικές τιμές του συντελεστή συναγωγής

Υλικό	Συντελεστής συναγωγής (W/m ² ·K)
Αέρας, ελεύθερη συναγωγή	6 – 30
Υπέρθερμος ατμός ή αέρας, εξαναγκασμένη συναγωγή	30 – 300
Λάδι, εξαναγκασμένη συναγωγή	60 – 1.800
Νερό, εξαναγκασμένη συναγωγή	300 – 6.000
Νερό σε κατάσταση βρασμού	3.000 – 60.000
Ατμός, συμπυκνούμενος	6.000 – 120.000

Παρατηρούνται τα μεγάλα εύρη τιμών και όχι απόλυτες τιμές. Στην πραγματικότητα, ο συντελεστής συναγωγής είναι κάποιο μοντέλο, μία συνάρτηση συσχέτισης με διάφορες παραμέτρους π.χ. θερμοκρασία, ταχύτητα του ρευστού, ένταση της τυρβώδους ροής, γεωμετρία του όγκου ελέγχου της ροής, κτλ. Σε αρκετές περιπτώσεις, ο θεωρητικός υπολογισμός αποδεικνύεται ιδιαίτερα πολύπλοκος!

Στο πλαίσιο του μαθήματος, οι συντελεστές συναγωγής θα λαμβάνονται με όρους θερμικής αντίστασης από Πίνακες διαθέσιμων τεχνικών οδηγιών, π.χ. βλ. Πίνακες 2 και 3 της [TOTEΕ KENAK 20701-2-2017](#).





Εισαγωγή στο μάθημα

Θέρμανση – Ψύξη - Κλιματισμός

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΛΜΕΠΑ

Συναγωγή θερμότητας

Ενδεικτικές τιμές συντελεστή συναγωγής επιφανειακού στρώματος αέρα ανά δομικό στοιχείο (Πίνακας 2β της [TOTE KENAK 20701-2-2017](#)) (R_i : Θερμική αντίσταση εσωτερικού αέρα, R_a : Θερμική αντίσταση εξωτερικού αέρα)

Πίνακας 2β. Τιμές συντελεστών θερμικής μετάβασης και αντιστάσεων θερμικής μετάβασης κατά το ISO 6946, εξειδικευμένες ανά δομικό στοιχείο (πηγή: πρωτότυπος πίνακας, επεξεργασμένος βάσει του ISO 6946).

Α/Α	Δομικό στοιχείο	Συντελεστές θερμικής μετάβασης		Αντιστάσεις θερμικής μετάβασης	
		$1/R_i$	$1/R_a$	R_i	R_a
		W/(m ² ·K)	W/(m ² ·K)	(m ² ·K)/W	(m ² ·K)/W
1	Εξωτερικοί τοίχοι και παράθυρα (προς εξωτ. αέρα)	7,70	25,00	0,13	0,04
2	Τοίχος που συνορεύει με μη θερμαινόμενο χώρο	7,70	7,70	0,13	0,13
3	Τοίχος σε επαφή με έδαφος	7,70	–	0,13	0,00
4	Στέγη, δώμα (ανερχόμενη ροή θερμότητας)	10,00	25,00	0,10	0,04
5	Οροφή που συνορεύει με μη θερμαινόμενο χώρο (ανερχόμενη ροή θερμότητας)	10,00	10,00	0,10	0,10
6	Δάπεδο επάνω από ανοικτή διάβαση (πυλωτή) (κατερχόμενη ροή θερμότητας)	5,88	25,00	0,17	0,04
7	Δάπεδο επάνω από μη θερμαινόμενο χώρο (κατερχόμενη ροή θερμότητας)	5,88	5,88	0,17	0,17
8	Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος	5,88	–	0,17	0,00



Εισαγωγή στο μάθημα

Θέρμανση – Ψύξη - Κλιματισμός

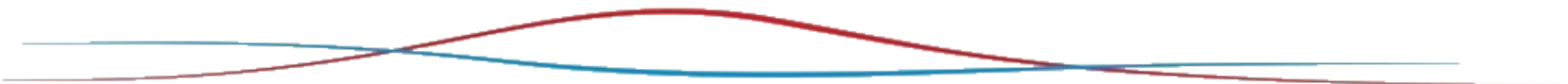
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΛΜΕΠΑ

Συναγωγή θερμότητας

Ενδεικτικές τιμές συντελεστή συναγωγής σε διάκενο αέρα (δηλ. μη αεριζόμενου στρώματος αέρα, ευρισκόμενου πρακτικά σε κατάσταση ηρεμίας) (Πίνακας 3^α της [TOTEΕ KENAK 20701-2-2017](#))

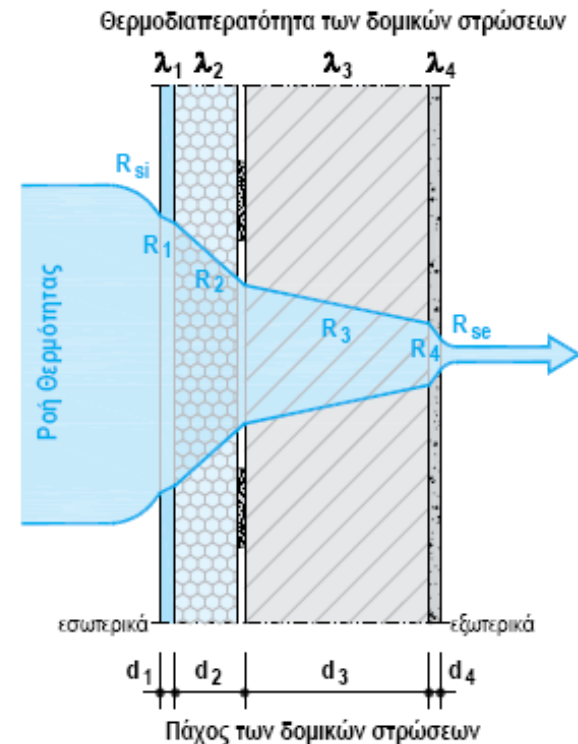
Πίνακας 3α. Θερμική αντίσταση μη αεριζόμενου στρώματος αέρα, ευρισκόμενου πρακτικά σε κατάσταση ηρεμίας

Πάχος ακίνητης στρώσης αέρα	Χωρίς ανακλαστική επιφάνεια ($\epsilon = 0,80$) σε καμιά πλευρά του διακένου			Με ανακλαστική επιφάνεια ($\epsilon = 0,05$) στη μία πλευρά του διακένου		
	Οριζόντια ροή	Ροή από κάτω προς τα άνω	Ροή από άνω προς τα κάτω	Οριζόντια ροή	Ροή από κάτω προς τα άνω	Ροή από άνω προς τα κάτω
mm	$m^2 \cdot K/W$	$m^2 \cdot K/W$	$m^2 \cdot K/W$	$m^2 \cdot K/W$	$m^2 \cdot K/W$	$m^2 \cdot K/W$
5	0,11	0,11	0,11	0,19	0,19	0,19
7	0,13	0,13	0,13	0,26	0,26	0,26
10	0,15	0,15	0,15	0,36	0,36	0,36
15	0,17	0,16	0,17	0,52	0,45	0,52
25	0,18	0,16	0,19	0,67	0,45	0,80
50	0,18	0,16	0,21	0,67	0,45	0,80
100	0,18	0,16	0,22	0,67	0,45	0,80
300	0,18	0,16	0,23	0,67	0,45	0,80



Συναγωγή θερμότητας

Παρατήρηση: Η μεταφορά θερμότητας, διαμέσου των επιφανειών (κατακόρυφοι τοίχοι, οροφές, κτλ.) των κτιρίων, συντίθεται κατά κύριο λόγο από την **μεταφορά θερμότητας λόγω συναγωγής στη διεπαφή του τοίχου με αέρα και λόγω αγωγής διαμέσου του τοιχώματος**. Συνεπώς, η θερμορροή (θερμική απώλεια ή κέρδος) είναι συνάρτηση της συνολικής θερμικής αντίστασης του στερεού (στην αγωγή) και του ρευστού (στη συναγωγή) πλησίον της επιφάνειας του στερεού. Όπως θα δειχθεί σε επόμενη ενότητα, **ο συνολικός συντελεστής θερμοπερατότητας δομικού στοιχείου (που είναι και αυτός που αξιοποιείται για τον υπολογισμό της θερμικής επίδοσης του κελύφους του κτιρίου) είναι συνάρτηση των θερμικών αντιστάσεων όλων των στρώσεων και των θερμικών αντιστάσεων συναγωγής εσωτερικού και εξωτερικού αέρα, καθώς και συναγωγής διακένου αέρα (αν υπάρχει).**



$R_{1..4}$ = Αντίσταση θερμικής διαπερατότητας των δομικών στρώσεων

R_{si} = Θερμική αντίσταση εσωτερικά= Θερμική μεταφορά από αέρα δωματίου στο δομικό στοιχείο εσωτερικά

R_{se} = Θερμική αντίσταση εξωτερικά = Θερμική μεταφορά από δομικό στοιχείο στον εξωτερικό αέρα



Συναγωγή θερμότητας

Παράδειγμα: Υπολογισμός μεταφοράς θερμότητας με συναγωγή πάνω από στέγη

Να βρεθεί η θερμική απώλεια (σε W) λόγω συναγωγής πάνω από μία τετράγωνη στέγη εμβαδού 25 m^2 , η οποία λόγω έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία αναπτύσσει επιφανειακή θερμοκρασία $43 \text{ }^\circ\text{C}$. Η μέση θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου είναι $18 \text{ }^\circ\text{C}$.

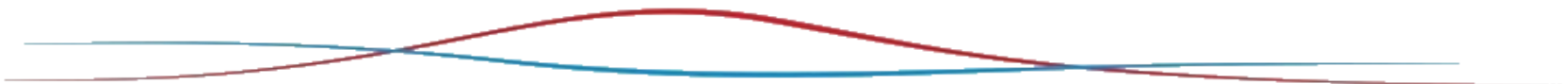
Λύση

Από Πίνακα 2β της TOTEE 20701-2/2017 επιλέγεται η κατάσταση «στέγη, δώμα», που μας δίνει θερμική αντίσταση εξωτερικού αέρα $R_a=0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$, δηλ. συντελεστή συναγωγής αέρα πάνω από τη στέγη=>

$$h_c = \frac{1}{R_a} = 25 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Άρα, η θερμική απώλεια (ροή θερμότητας) λόγω συναγωγής υπολογίζεται:

$$q = h_c A (\theta_s - \theta_f) = 25 * 25 * (43 - 18) = 15.625 \text{ W ή } 625 \text{ W/m}^2$$

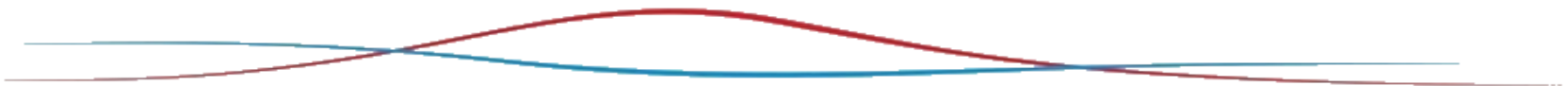




Ακτινοβολία

Η μεταφορά θερμότητας με ακτινοβολία είναι **πολύ σημαντικός παράγοντας για τον κλιματισμό χώρων, δεδομένου ότι επηρεάζει τόσο τη θερμική άνεση, όσο και την ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ του κτηρίου και του περιβάλλοντος**. Η ηλιακή ακτινοβολία είναι επίσης σημαντική για την ανάλυση της θερμικής συμπεριφοράς και των δύο όψεων του κτηρίου (εσωτερικής και εξωτερικής).

Η μεταφορά θερμότητας με ακτινοβολία λαμβάνει χώρα **με ηλεκτρομαγνητικά κύματα (δεν προϋποθέτει μεταφορά μάζας)** με μια ισχυρή εξάρτηση από το μήκος κύματος. Λεπτομέρειες μικρής κλίμακας (π.χ. χρώμα) των επιφανειών που εμπλέκονται στη θερμική ακτινοβολία έχουν μια πολύ σημαντική επίδραση στο ρυθμό της μεταφοράς θερμότητας.





Ακτινοβολία

Χαρακτηριστικές ιδιότητες των υλικών που σχετίζονται με την ακτινοβολία (οπτικές ιδιότητες)

1. **Συντελεστής ανάκλασης ρ (reflectivity)** είναι το ποσοστό ακτινοβολίας που ανακλάται από την επιφάνεια σε όλα τα μήκη κύματος και για όλες τις διευθύνσεις. Είναι χαρακτηριστικό μέγεθος για κάθε υλικό και εξαρτάται από την απόχρωση (ανοιχτό χρώμα ανακλά μεγαλύτερα ποσά ακτινοβολίας) και από την τραχύτητα της επιφάνειας.
2. **Συντελεστής απορρόφησης α (absorptivity)** είναι το ποσοστό ακτινοβολίας που απορροφάται από την επιφάνεια σε όλα τα μήκη κύματος και για όλες τις διευθύνσεις. Κλειστές αποχρώσεις συναρτώνται με υψηλή απορρόφηση ακτινοβολίας.
3. **Συντελεστής διαπερατότητας τ (transmissivity)** είναι το ποσοστό ακτινοβολίας που διαπερνάει τελικά την επιφάνεια σε όλα τα μήκη κύματος και για όλες τις διευθύνσεις.
4. **Συντελεστής εκπομπής ϵ (emissivity)** είναι το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που έχει απορροφηθεί από μία εξωτερική επιφάνεια και εκπέμπεται προς το περιβάλλον με τη μορφή θερμικής ακτινοβολίας. Η ικανότητα εκπομπής της θερμικής ακτινοβολίας διαφοροποιείται ανάλογα με το υλικό και τη διαμόρφωση της τελικής επιφάνειάς του.





Ακτινοβολία

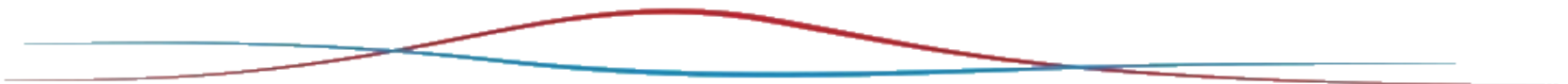
Χαρακτηριστικές ιδιότητες των υλικών που σχετίζονται με την ακτινοβολία (οπτικές ιδιότητες)

Οι ιδιότητες ρ , α και τ αφορούν στη διατήρηση της ενέργειας από ακτινοβολία την ίδια στιγμή. Ενώ, η εκπεμπτικότητα αφορά στο ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που απορροφήθηκε κατά την πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας, το οποίο επανεκπέμπεται στο περιβάλλον ως θερμική ακτινοβολία μετά από την πάροδο κάποιου χρόνου.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι τοίχοι των κτιρίων, όπου το καλοκαίρι ηλιάζονται και το βράδυ αν πλησιάσουμε στον τοίχο νιώθουμε ζέστη. Αυτή είναι η εκπεμπόμενη από τον τοίχο θερμική ακτινοβολία, η οποία εξαρτάται από την εκπεμπτικότητα ϵ του υλικού.

Αρχή διατήρησης της ενέργειας από ακτινοβολία (την στιγμή της πρόσπτωσης ακτινοβολίας στην επιφάνεια):

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





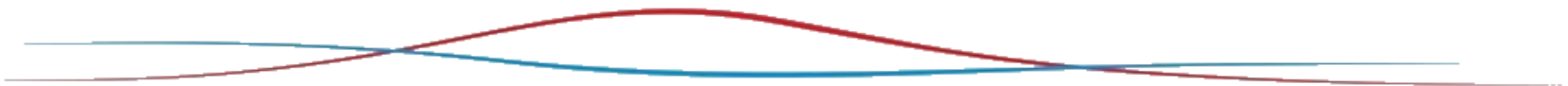
Ακτινοβολία

Αρχή διατήρηση της ενέργειας από ακτινοβολία (την στιγμή της πρόσπτωσης ακτινοβολίας στην επιφάνεια):

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

Ειδικές περιπτώσεις:

- Για αδιαφανείς επιφάνειας ισχύει $\tau=0 \Rightarrow \rho + \alpha = 1$
- Για θερμικά διαφανή υλικά (π.χ. αέρας) ισχύει $\tau=1, \rho=\alpha=0$
- Οι τιμές των ρ , α και τ εξαρτώνται από τη θερμοκρασία και τις φασματικές ιδιότητες της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Εν τούτοις, σε πολλές πρακτικές εφαρμογές (κτήρια κλπ) μπορούν με καλή προσέγγιση να θεωρηθούν σταθερές.





Ακτινοβολία

Τυπικές τιμές των οπτικών ιδιοτήτων μπορούν να λαμβάνονται από Πίνακα 3.15 της
[ΤΟΤΕΕ ΚΕΝΑΚ 20701-1-2017](#)

Πίνακας 3.15. Τυπικές τιμές ανακλαστικότητας και απορροφητικότητας στην ηλιακή ακτινοβολία.

Περιγραφή επιφάνειας	Ανακλαστικότητα	Απορροφητικότητα
Κατακόρυφα δομικά στοιχεία		
Επίχρσμα λευκό, λεία επιφάνεια (σπατουλαριστό)	0,70	0,30
Επίχρσμα ανοιχτόχρωμο (π.χ. ανοιχτό γκρι, μπλε, κίτρινο, ροζ ή γαλάζιο)	0,60	0,40
Επίχρσμα μέτριας απόχρωσης (π.χ. γκρι, μπλε, σκούρη ώχρα, σομόν)	0,40	0,60
Επίχρσμα σκουρόχρωμο (π.χ. σκούρο λαδί, καφέ, γκρι)	0,20	0,80
Εμφανής οπτοπλινθοδομή ή λιθοδομή	0,20	0,80
Εμφανής ανοιχτόχρωμη οπτοπλινθοδομή ή λιθοδομή	0,40	0,60
Στλιπνές μεταλλικές επιφάνειες (π.χ. φύλλα αλουμινίου)	0,80	0,20
Αδιαφανές τμήμα γυάλινης πρόσωσης (π.χ. πάνελ με επικάλυψη γυαλιού)	0,40	0,60
Φυτεμένη όψη (με αιθαλή φυτά)	0,30	0,70
Οριζόντια δομικά στοιχεία (οροφές)		
Κόκκινο κεραμίδι	0,40	0,60
Πολύ σκούρες επιστρώσεις στεγών ή δωματίων (ασφαλτόπανα)	0,10	0,90
Σκούρες επιστρώσεις στεγών ή δωματίων (π.χ. επικάλυψη με σχιστολιθικές πλάκες, ασφαλτικά κεραμίδια)	0,20	0,80
Ανοιχτόχρωμες επιστρώσεις στεγών ή δωματίων (π.χ. επικάλυψη με πλάκες πεζοδρομίου, ασφαλτόπανα με χαλαζιακή ψηφίδα)	0,35	0,65
Στλιπνές μεταλλικές επιφάνειες (π.χ. ανακλαστικές μεμβράνες)	0,80	0,20
Γαρμπίλι	0,70	0,30
Φυτεμένο δώμα	0,30	0,70



Εισαγωγή στο μάθημα

Θέρμανση – Ψύξη - Κλιματισμός

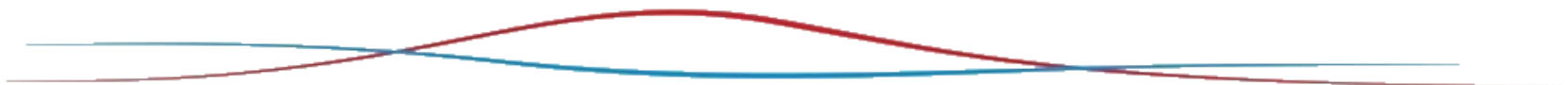
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΛΜΕΠΑ

Ακτινοβολία

Τυπικές τιμές του συντελεστή εκπομπής ϵ για δομικά στοιχεία κτιρίων μπορούν να λαμβάνονται από Πίνακα 3.16 της [TOTEE KENAK 20701-1-2017](#)

Πίνακας 3.16. Τιμές του συντελεστή **εκπομπής** (εκπεμπτικότητα) θερμικής ακτινοβολίας.

Περιγραφή επιφάνειας	Συντελεστής εκπομπής
Σύνηθες δομικό υλικό	0,80
Γυαλί	0,90
Σπικπνές μεταλλικές επιφάνειες	0,20
Γαρμπίλι	0,30
Φυτεμένο δώμα ή φυτεμένη όψη με σειθαλή φυτά	0,80





Εισαγωγή στο μάθημα

Θέρμανση – Ψύξη - Κλιματισμός

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΛΜΕΠΑ

Ακτινοβολία

Υπολογισμός ροής θερμότητας λόγω ακτινοβολίας

Νόμος Stefan-Boltzman

Αν το σώμα (επιφάνεια) περικλείεται πλήρως μέσα σε ένα πολύ μεγαλύτερο χώρο, θα ισχύει :

$$q_r = \varepsilon \cdot A \cdot \sigma \cdot (T_s^4 - T_w^4)$$

όπου:

T_s : η θερμοκρασία της επιφάνειας

ε : ο συντελεστής εκπομπής της επιφάνειας

A : το εμβαδόν της επιφάνειας

T_w : η θερμοκρασία των τοιχωμάτων του χώρου

σ είναι η σταθ. Stefan-Boltzman

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$$

