

Φαινόμενα Μεταφοράς Μάζας – Θερμότητας

3^η Διάλεξη
Ενεργειακά ισοζύγια

Εμμανουήλ Σουλιώτης

Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος
Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας
Ακαδημαϊκό Έτος 2018-2019

Μαθησιακοί στόχοι

- Ανάλυση των πρακτικών διατύπωσης, ανάλυσης και επίλυσης προβλημάτων που σχετίζονται με τη Μεταφορά Θερμότητας (§1.4.1)
- Κατάστρωση και επίλυση ενεργειακών ισοζυγίων σε πεπερασμένους ή διαφορικούς όγκους ελέγχου και σε επιφάνειες ελέγχου (§1.4.2)

Ενεργειακό ισοζύγιο

- Ισοζύγιο ρυθμών ενέργειας σε Όγκο Ελέγχου

$$\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out} + \dot{E}_g = \dot{E}_{st}$$

ρυθμός εισροής ενέργειας στον ΟΕ

ρυθμός εκροής ενέργειας στον ΟΕ

ρυθμός παραγωγής ενέργειας στον ΟΕ

ρυθμός συσσώρευσης ενέργειας στον ΟΕ

- Ισοζύγιο ποσών ενέργειας

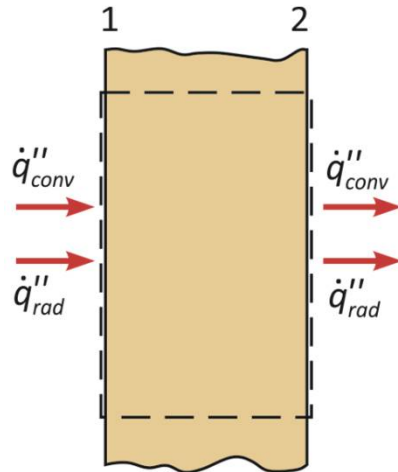
$$E_{in} - E_{out} + E_g = \Delta E_{st}$$

Όροι ενεργειακού ισοζυγίου

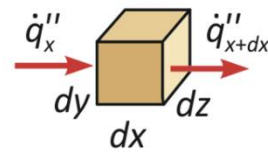
- Συσσώρευση ενέργειας (\dot{E}_{st})
 - Μεταβολή με το **χρόνο** της ενέργειας που περιέχεται στον **όγκο ελέγχου**
 - Θετική για αύξηση και αρνητική για μείωση
 - Μηδενική σε **μόνιμη κατάσταση**
- Παραγωγή ενέργειας (\dot{E}_g)
 - **Μετατροπή**, μέσα στον όγκο ελέγχου, μιας άλλης μορφής ενέργειας σε θερμότητα
 - Ροή ηλεκτρικού ρεύματος
 - Χημική αντίδραση (εξώθερμη \rightarrow παραγωγή, ενδόθερμη \rightarrow κατανάλωση)
 - Ανάπτυξη τριβών από ροή ρευστού
 - Προσπίπτουσα ακτινοβολία
- Εισροή και εκροή ενέργειας ($\dot{E}_{in}, \dot{E}_{out}$)
 - Μεταφορά θερμότητας από την **επιφάνεια** του όγκου ελέγχου
 - Αγωγή
 - Συναγωγή
 - Ακτινοβολία
 - Διακίνηση φορέα θερμικής ενέργειας (ρευστού)

Επιλογή όγκου ελέγχου

Πεπερασμένος
όγκος ελέγχου



Διαφορικός
όγκος ελέγχου

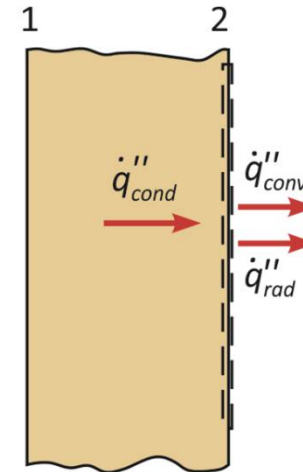


$$\dot{q}''_x dy dx = \dot{q}''_{x+dx} dy dx$$

↓

$$\frac{d\dot{q}''_x}{dx} = 0$$

Επιφάνεια
ελέγχου



$$(\dot{q}''_{conv} + \dot{q}''_{rad})_1 = (\dot{q}''_{conv} + \dot{q}''_{rad})_2$$

$$\dot{q}''_{cond} = \dot{q}''_{conv} + \dot{q}''_{rad}$$

$$\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out} + \dot{E}_g = \dot{E}_{st} \Rightarrow \dot{E}_{in} = \dot{E}_{out}$$

Παράδειγμα 1

Μέτρηση θερμοκρασίας

Σε ένα σωλήνα όπου κυκλοφορεί θερμός αέρας τοποθετούνται δύο όμοια θερμόμετρα μικρών διαστάσεων.

- Το πρώτο είναι κοινό θερμόμετρο υδραργύρου, η επιφάνεια του οποίου είναι από γυαλί με συντελεστή θερμικής εκπομπής $\varepsilon_1 = 0.9$ και δείχνει θερμοκρασία $T_{s1} = 90^\circ\text{C}$
- Το δεύτερο είναι επαργυρωμένο, έχει συντελεστή θερμικής εκπομπής $\varepsilon_2 = 0.03$ και δείχνει θερμοκρασία $T_{s2} = 75^\circ\text{C}$

Και για τα δύο θερμόμετρα, ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας με συναγωγή είναι $h = 20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

Ποια είναι η πραγματική θερμοκρασία του αέρα (T_a) και ποια των τοιχωμάτων του σωλήνα (T_w);

Παράδειγμα 1 – Λύση 1/2

Ανάλυση

- Η θερμοκρασία που δείχνει κάθε θερμόμετρο διαφέρει από τη θερμοκρασία του αέρα που κυκλοφορεί στο σωλήνα, εξαιτίας της επίδρασης της ακτινοβολίας των τοιχωμάτων, τα οποία βρίσκονται σε διαφορετική θερμοκρασία από αυτή του αέρα
- Τα δύο θερμόμετρα δείχνουν διαφορετική θερμοκρασία επειδή έχουν διαφορετικό συντελεστή θερμικής εκπομπής

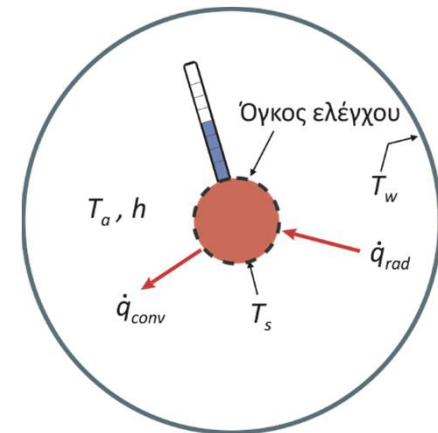
Όγκος ελέγχου: Το κάθε θερμόμετρο

$$\begin{array}{ccccccc} \text{Ενεργειακό ισοζύγιο: } & \dot{E}_{in} & - & \dot{E}_{out} & + & \dot{E}_g & = & \dot{E}_{st} \\ & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow \\ & \dot{q}_{rad} & & \dot{q}_{conv} & & 0 & & 0 \end{array}$$

Παρατήρηση: Υποθέτουμε ότι $T_w > T_s > T_a$

Επομένως

$$\dot{q}_{conv} = \dot{q}_{rad} \quad \text{ή} \quad hA(T_s - T_a) = \varepsilon\sigma A(T_w^4 - T_s^4)$$



Παράδειγμα 1 – Λύση 2/2

Εφαρμογή

Το ισοζύγιο ισχύει για κάθε θερμόμετρο

$$h(T_{s1} - T_a) = \varepsilon_1 \sigma (T_w^4 - T_{s1}^4)$$

$$h(T_{s2} - T_a) = \varepsilon_2 \sigma (T_w^4 - T_{s2}^4)$$

σύστημα 2 εξισώσεων με 2 αγνώστους
(T_a και T_w)

Επίλυση με αριθμητικό τρόπο

$$T_a = 347.40 \text{ K} = 74.25^\circ\text{C}$$

$$T_w = 391.81 \text{ K} = 118.66^\circ\text{C}$$

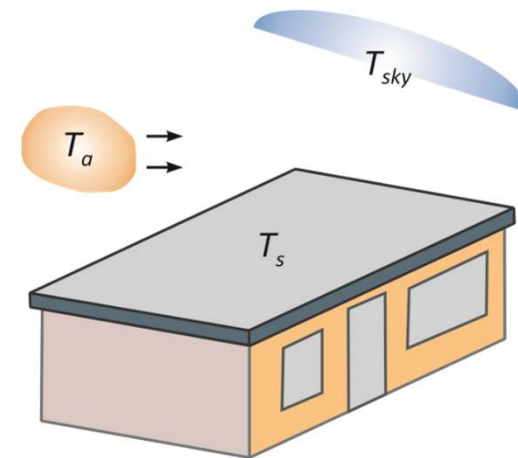
Παράδειγμα 2

Ισοζύγιο ενέργειας σε οροφή κτιρίου

Ένα κτίριο έχει μια μαύρη, οριζόντια οροφή με μονωμένη την εσωτερική της επιφάνεια. Η εξωτερική επιφάνεια εκτίθεται σε αέρα θερμοκρασίας $T_a = 25^\circ\text{C}$ και συντελεστή συναγωγής $h = 10 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Ζητείται η θερμοκρασία της οροφής (T_s) στις ακόλουθες περιπτώσεις:

- (α) Μια ηλιόλουστη ημέρα χωρίς σύννεφα με προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία $\dot{q}''_{solar} = 300 \text{ W/m}^2$ και (ενεργή) θερμοκρασία ουρανού $T_{sky} = 15^\circ\text{C}$
- (β) Μια νύχτα χωρίς σύννεφα με θερμοκρασία του ουρανού $T_{sky} = 15^\circ\text{C}$



Παράδειγμα 2 – Λύση

Ανάλυση

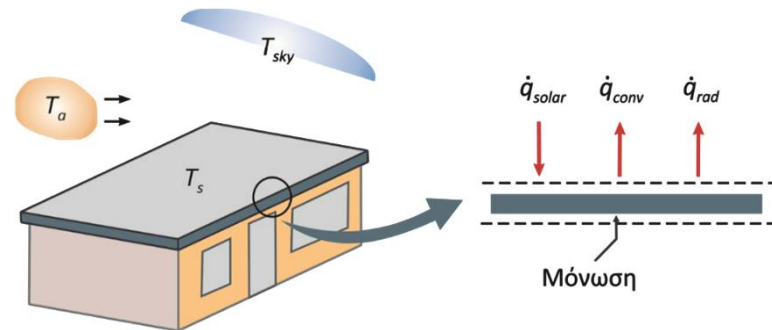
Όγκος ελέγχου: Οροφή κτιρίου

Ενεργειακό ισοζύγιο $\dot{q}_{solar} = \dot{q}_{conv} + \dot{q}_{rad}$

Αντικατάσταση των ρυθμών συναγωγής και ακτινοβολίας

$$\dot{q}_{solar}'' A = hA(T_s - T_a) + \sigma A(T_s^4 - T_{sky}^4) \Rightarrow \dot{q}_{solar}'' = h(T_s - T_a) + \sigma(T_s^4 - T_{sky}^4)$$

Η παραπάνω πρέπει να λυθεί αριθμητικά ως προς T_s



(α) Κατά τη διάρκεια της ημέρας

$$\dot{q}_{solar}'' = 300 \text{ W/m}^2 \quad \text{και} \quad T_{s,day} = 312.89 \text{ K} = 39.74^\circ\text{C}$$

(β) Κατά τη διάρκεια της νύχτας

$$\dot{q}_{solar}'' = 0 \quad \text{και} \quad T_{s,night} = 294.56 \text{ K} = 21.41^\circ\text{C}$$