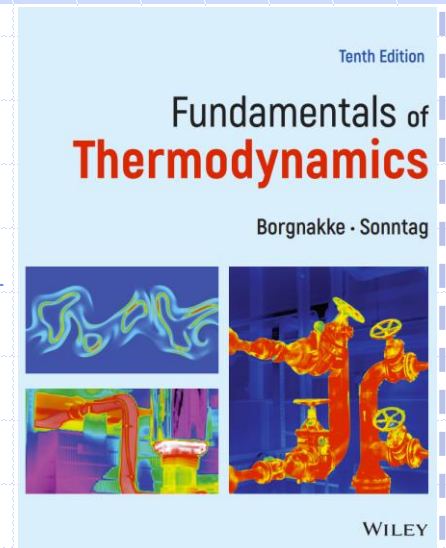


Fundamentals of Thermodynamics
Borgnakke – Sonntag
10^η έκδοση
Εκδόσεις ΚΡΙΤΙΚΗ, 2023



Κεφάλαιο 8ο
Εξέργεια

Επιμέλεια παρουσίασης
καθηγήτης Γ. Σκόδρας

Περιεχόμενα...

- ✓ Εισαγωγή
- ✓ Εξέργεια, αντιστρεπτό έργο και μη αντιστρεπτότητα
- ✓ Η εξέργεια και το ισοζύγιο εξέργειας
- ✓ Η απόδοση με βάση τον δεύτερο νόμο της Θερμοδυναμικής
- ✓ Εφαρμογές μηχανικής
- ✓ Βασικές έννοιες και σχέσεις

Εισαγωγή...

- ❑ Συζητείται η επέκταση των αρχών της Θερμοδυναμικής (θερμοδυναμικά αξιώματα και οι γενικές εξισώσεις για έναν όγκο ελέγχου, διεργασίες αποθήκευσης και μεταφοράς ενέργειας με ροή μάζας ή έργου ή/και μεταφορά θερμότητας) που περιλαμβάνει την εξέταση των διεργασιών και των χαρακτηριστικών του συστήματος σύμφωνα με τις εξισώσεις της ενέργειας και της εντροπίας
- ❑ Για την ποσοτική ενεργειακή ανάλυση απαιτείται μια ιδιότητα που επιτρέπει την μέτρηση της ποσότητας της ενέργειας, συνδέοντας την με την δυνατότητα που έχει να παράγει έργο
- ❑ Η γνώση των γενικών περιορισμών στη λειτουργία των συστημάτων και των συσκευών αποτελεί προϋπόθεση, για την βελτιστοποίηση της απόδοσης τους, ελαχιστοποιώντας τους απαιτούμενους πόρους για την επίτευξη του επιθυμητού αποτελέσματος

Εξέργεια, αντιστρεπτό έργο και μη αντιστρεπτότητα...

- Ο όρος **εξέργεια** περιγράφει το μέγιστο δυνατό έργο που μπορεί να παραχθεί από ένα σύστημα, καθώς υφίσταται μια αντιστρεπτή μεταβολή από μια καθορισμένη αρχική κατάσταση προς την κατάσταση του περιβάλλοντος (δηλαδή, την νεκρή κατάσταση)

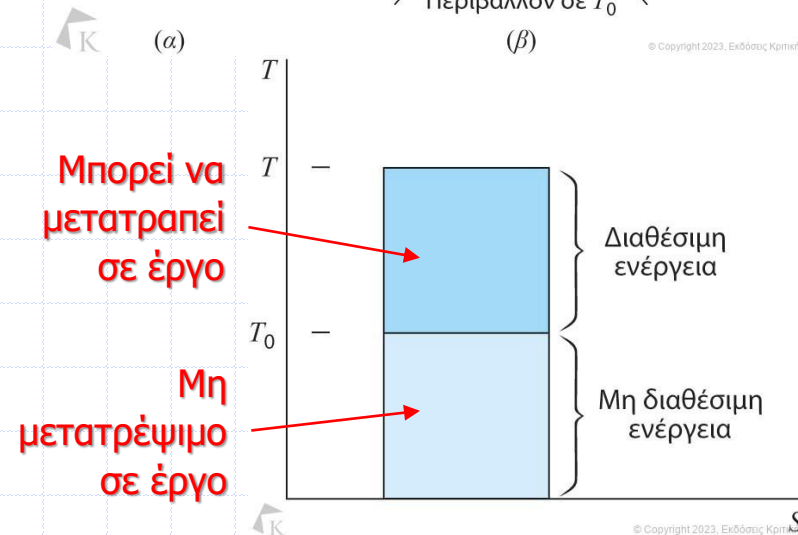
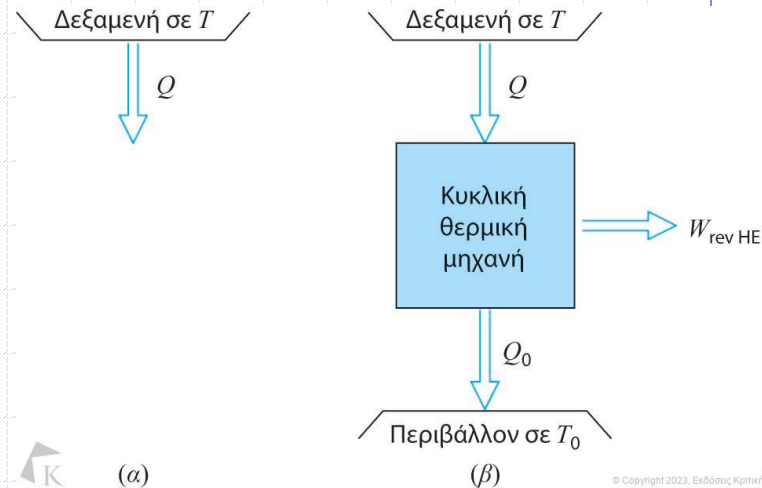
$$\Phi = W_{out} \quad \text{για ένα γνωστό περιβάλλον } P_0, T_0$$

Ενέργεια: $W_{rev,HE} = Q - Q_0$

Εντροπία: $0 = \frac{Q}{T} - \frac{Q_0}{T_0} = \Delta S - \frac{Q_0}{T_0} \Rightarrow$

$$Q_0 = \frac{Q}{T} T_0 \Delta S$$

Οπότε: $\Phi_{QT} = W_{rev HE} = Q \left(1 - \frac{T_0}{T}\right)$



Εξέργεια, αντιστρεπτό έργο και μη αντιστρεπτότητα...

- Ισοβαρής μεταφορά θερμότητας Q υπό σταθερή πίεση, σε έναν εναλλάκτη θερμότητας

Ενέργεια: $W_{rev,HE} = Q - Q_0$

Εντροπία: $0 = \frac{Q}{T} - \frac{Q_0}{T_0} = \Delta S - \frac{Q_0}{T_0}$

Επιλύοντας ως προς Q_0 : $Q_0 = T_0 \Delta S$

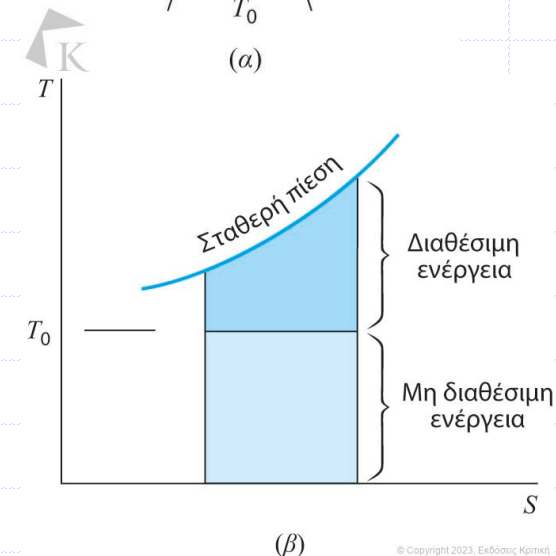
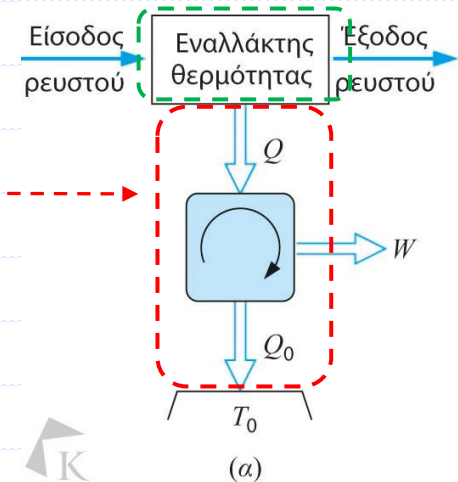
$$\Phi_{QT} = W_{rev,HE} = Q - T_0 \Delta S$$

- Εναλλακτικά, σε σταθεροποιημένες συνθήκες, για κάποιο χρόνο ροής $m = \dot{m}_i \Delta t$:

Ενέργεια: $0 = m h_{tot i} - m h_{tot e} - Q$

Εντροπία: $0 = m s_i - m s_e - \int \frac{\delta Q}{T}$

$$Q = m (h_{tot e} - h_{tot i}) \quad \int \frac{\delta Q}{T} = m(s_e - s_i) = \Delta S$$



Εξέργεια, αντιστρεπτό έργο και μη αντιστρεπτότητα...

- Σε έναν πραγματικό όγκο ελέγχου:

Εξίσωση
συνεχειας

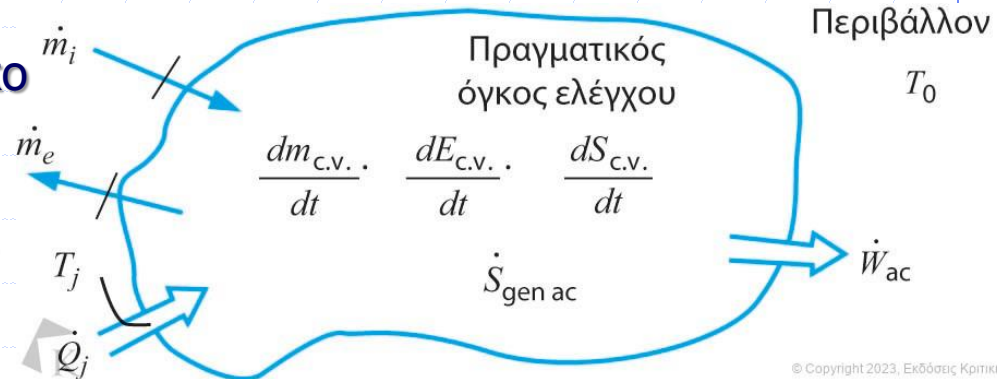
$$\frac{dm_{cv}}{dt} = \sum \dot{m}_i - \sum \dot{m}_e$$

Εξίσωση
ενέργειας

$$\frac{dE_{cv}}{dt} = \sum \dot{Q}_j + \sum \dot{m}_i h_{tot i} - \sum \dot{m}_e h_{tot e} - \dot{W}_{cv ac}$$

Εξίσωση
εντροπιας

$$\frac{dS_{cv}}{dt} = \sum \frac{\dot{Q}_j}{T_j} + \sum \dot{m}_i s_i - \sum \dot{m}_e s_e - \dot{S}_{gen ac}$$



© Copyright 2023, Εκδόσεις Κριτική

- Στον αντίστοιχο ιδανικό όγκο ελέγχου:

$$\dot{S}_{gen cv ideal} = 0$$

$$\dot{W}_{cv ideal} = \dot{W}_{rev}$$

Εξέργεια, αντιστρεπτό έργο και μη αντιστρεπτότητα...

Όροι πραγματικού όγκου ελέγχου

Όροι ιδανικού όγκου ελέγχου

$$\dot{S}_{gen\ ac} = \frac{\dot{Q}_0^{rev}}{T_0} \Rightarrow \dot{Q}_0^{rev} = T_0 \dot{S}_{gen\ ac}$$

$$-\dot{W}_{cv\ ac} = \dot{Q}_0^{rev} - \dot{W}^{rev}$$

Οπότε:

$$\dot{W}^{rev} = \dot{W}_{cv\ ac} + \dot{Q}_0^{rev}$$

Εξέργεια, αντιστρεπτό έργο και μη αντιστρεπτότητα...

$$\frac{dE_{cv}}{dt} = \sum \dot{Q}_j + \sum \dot{m}_i h_{tot i} - \sum \dot{m}_e h_{tot e} - \dot{W}_{cv ac}$$

$$\frac{dS_{cv}}{dt} = \sum \frac{\dot{Q}_j}{T_j} + \sum \dot{m}_i s_i - \sum \dot{m}_e s_e - \dot{S}_{gen ac}$$

$$\begin{aligned} \dot{W}^{rev} &= \dot{W}_{cv ac} + \dot{Q}_0^{rev} \\ &= \sum \dot{Q}_j + \sum \dot{m}_i h_{tot i} - \sum \dot{m}_e h_{tot e} - \frac{dE_{cv}}{dt} \\ &\quad + T_0 \left[\frac{dS_{cv}}{dt} - \sum \frac{\dot{Q}_j}{T_j} - \sum \dot{m}_i s_i - \sum \dot{m}_e s_e \right] \end{aligned}$$

Αναδιατάσσοντας:

$$\dot{W}^{rev} = \sum \left(1 - \frac{T_0}{T_j} \right) \dot{Q}_j$$

$$\begin{aligned} &+ \sum \dot{Q}_j + \sum \dot{m}_i h_{tot i} - \sum \dot{m}_e h_{tot e} \\ &- \left[\frac{dE_{cv}}{dt} - T_0 \frac{dS_{cv}}{dt} \right] \end{aligned}$$

Μεταφορά θερμότητας

Μεταφορά μάζας

Συσσώρευση

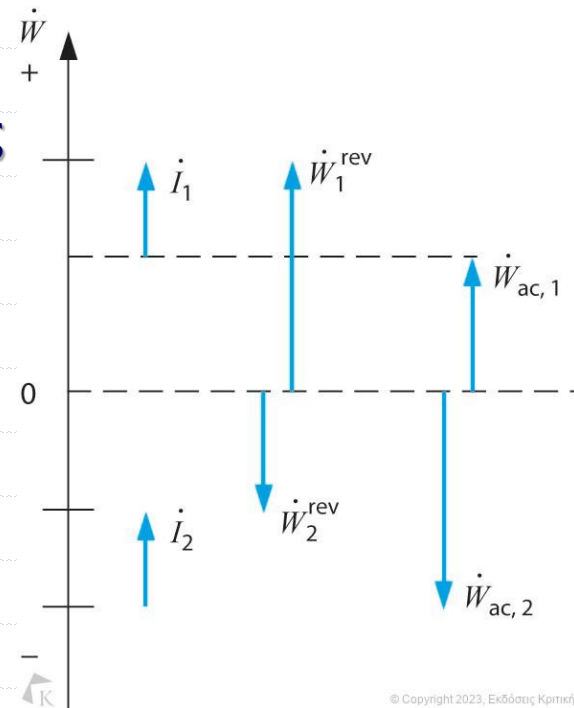
Μέγιστο
έργο

Εξέργεια, αντιστρεπτό έργο και μη αντιστρεπτότητα...

- Η διαφορά μεταξύ του αντιστρεπτού έργου και του πραγματικού έργου ονομάζεται **μη αντιστρεπτότητα** ή **αναντιστρεπτότητα** (\dot{i}), και, καθώς αντιπροσωπεύει τη διαφορά μεταξύ του θεωρητικά δυνατού και του πραγματικά παραγόμενου, ονομάζεται επίσης **χαμένο έργο** (lost work)

$$\dot{i} = \dot{W}^{rev} - \dot{W}_{cv\ ac} = \dot{Q}_0^{rev} = T_0 \dot{S}_{gen\ ac}$$

- Η μη αντιστρεπτότητα είναι ευθέως ανάλογη της παραγωγής εντροπίας, αλλά εκφράζεται σε μονάδες ενέργειας, γεγονός που απαιτεί μια σταθερή και γνωστή θερμοκρασία αναφοράς T_0 ώστε να είναι γενικά χρήσιμη



Εξέργεια, αντιστρεπτό έργο και μη αντιστρεπτότητα...

Η διεργασία σταθεροποιημένης κατάστασης

- Σε μια τυπική συσκευή σταθεροποιημένης ροής ενός ρεύματος (μονής ροής) που περιλαμβάνει μεταφορά θερμότητας και πραγματικό έργο, το αντιστρεπτό ειδικό έργο είναι:

$$w^{rev} = \frac{\dot{W}^{rev}}{\dot{m}} = \sum \left(1 - \frac{T_0}{T_j} \right) \dot{q}_j + (h_{tot i} - T_0 s_i) - (h_{tot e} - T_0 s_e)$$

- Η ειδική μη αντιστρεπτότητα είναι:

$$i = \frac{\dot{I}}{\dot{m}} = w^{rev} - w_{cvac} = q_0^{rev} = T_0 \left[s_e - s_i - \sum \frac{q_j}{T_j} \right]$$

Εξέργεια, αντιστρεπτό έργο και μη αντιστρεπτότητα...

Παράδειγμα 8.1

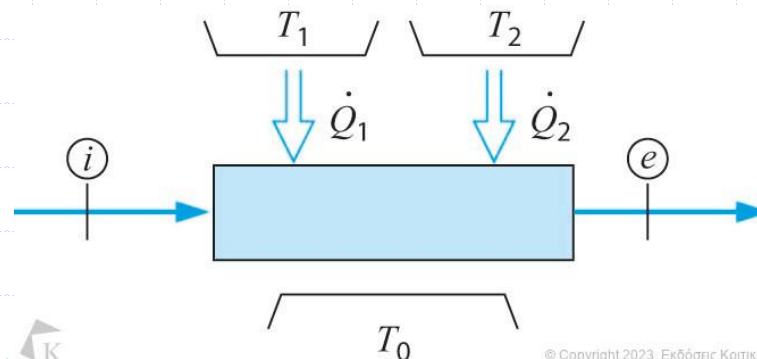
Ένας θερμαντήρας ύδατος τροφοδοτείται με 5 kg/s νερό σε πίεση 5 MPa και θερμοκρασία 40°C το οποίο θερμαίνεται από δύο πηγές, όπως φαίνεται στο Σχήμα 8.6. Η μια πηγή προσθέτει 900 kW από μια δεξαμενή σε θερμοκρασία 100°C και η άλλη πηγή μεταφέρει θερμότητα από μια δεξαμενή σε θερμοκρασία 200°C, ώστε στην έξοδο το νερό να βρίσκεται σε πίεση 5 MPa και στους 180°C. Υπολογίστε το αντιστρεπτό έργο και τη μη αντιστρεπτότητα.

Όγκος ελέγχου: Θερμαντήρας ύδατος που εκτείνεται στις δύο δεξαμενές

Κατάσταση εισόδου: P_i , T_i γνωστές, κατάσταση καθορισμένη

Κατάσταση εξόδου: P_e , T_e γνωστές, κατάσταση καθορισμένη

Διεργασία: Μονή ροή σταθεροποιημένης κατάστασης, $P = C$ εναλλάκτης θερμότητας με $d_{pe} = d_{ke} = 0$



Εξέργεια, αντιστρεπτό έργο και μη αντιστρεπτότητα...

Παράδειγμα 8.2

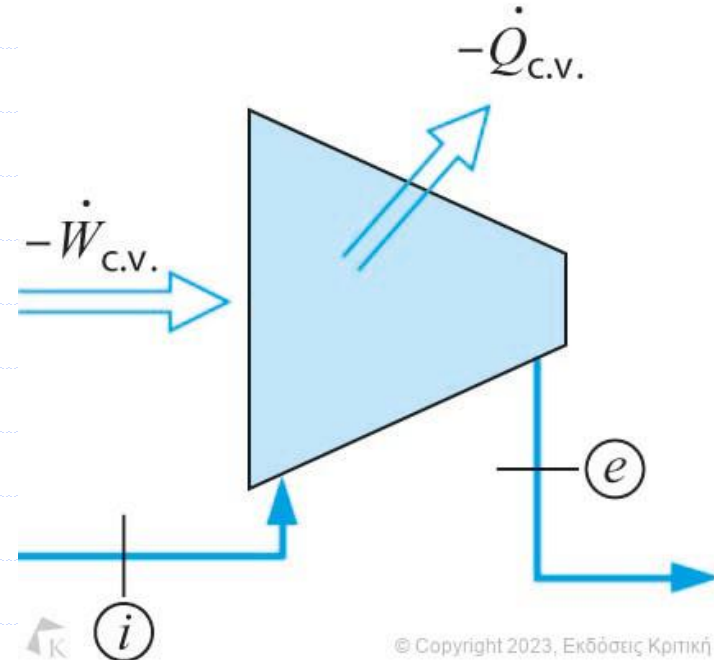
Θεωρήστε έναν αεροσυμπιεστή που αναρροφά αέρα από το περιβάλλον σε πίεση 100 kPa και θερμοκρασία 25°C. Συμπιέζει τον αέρα σε πίεση 1 MPa, όπου εξέρχεται σε θερμοκρασία 540K. Δεδομένου ότι ο αέρας και το περίβλημα του συμπιεστή είναι θερμότερα από το περιβάλλον, υπάρχει απώλεια 50 kJ ανά κιλό αέρα που ρέει μέσω του συμπιεστή. Βρείτε το αντιστρεπτό έργο και τη μη αντιστρεπτότητα της διεργασίας.

Όγκος ελέγχου: Ο αεροσυμπιεστής στο Σχήμα, μονή ροή σταθεροποιημένης κατάστασης

Κατάσταση εισόδου: P_i, T_i γνωστές
κατάσταση καθορισμένη

Κατάσταση εξόδου: P_e, T_e γνωστές
κατάσταση καθορισμένη

Διεργασία: Μη αδιαβατική συμπίεση,
 $q = -50$ kJ/kg, χωρίς μεταβολή της κινητικής ή της δυναμικής ενέργειας

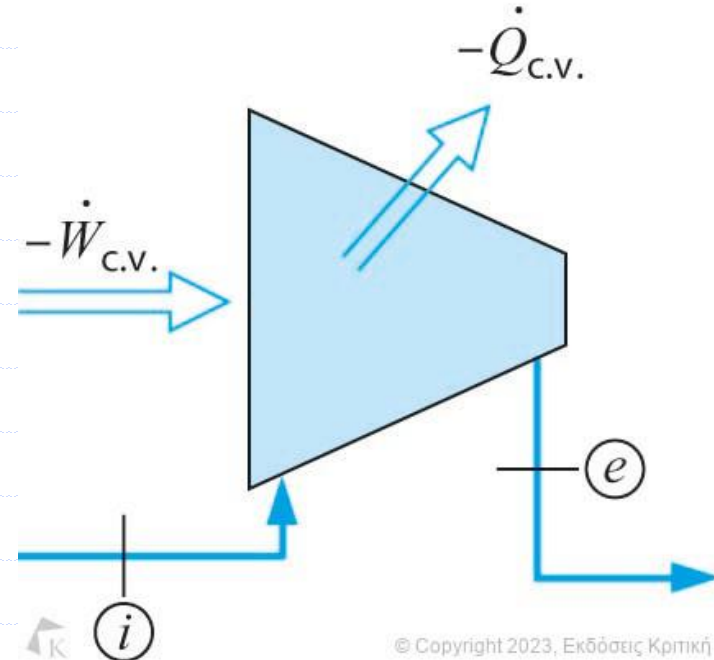


Εξέργεια, αντιστρεπτό έργο και μη αντιστρεπτότητα...

Παράδειγμα 8.2AM

Θεωρήστε έναν αεροσυμπιεστή που αναρροφά αέρα από το περιβάλλον σε πίεση $14,7 \text{ lbf/in}^2$ και θερμοκρασία 80°F . Συμπιέζει τον αέρα σε πίεση 150 lbf/in^2 , όπου εξέρχεται σε θερμοκρασία 960 R . Δεδομένου ότι ο αέρας και το περίβλημα του συμπιεστή είναι θερμότερα από το περιβάλλον, υπάρχει απώλεια 22 Btu/lbm αέρα που ρέει μέσω του συμπιεστή. Βρείτε το αντιστρεπτό έργο και τη μη αντιστρεπτότητα της διεργασίας.

Όγκος ελέγχου: Ο αεροσυμπιεστής στο Σχήμα, μονή ροή σταθεροποιημένης κατάστασης
Κατάσταση εισόδου : P_i, T_i γνωστές · κατάσταση καθορισμένη
Κατάσταση εξόδου : P_e, T_e γνωστές · κατάσταση καθορισμένη
Διεργασία: Μη αδιαβατική συμπίεση, $q = -22 \text{ Btu/lbm}$, χωρίς μεταβολή της κινητικής ή της δυναμικής ενέργειας



Εξέργεια, αντιστρεπτό έργο και μη αντιστρεπτότητα...

Η διεργασία της μάζας ελέγχου

- Στην μάζα ελέγχου δεν υπάρχει ροή μάζας, οπότε το αντιστρεπτό έργο είναι:

$$\dot{W}^{rev} = \sum \left(1 - \frac{T_0}{T_j} \right) \dot{Q}_j - \left[\frac{dE_{cv}}{dt} - T_0 \frac{dS_{cv}}{dt} \right]$$

ολοκληρώνοντας ως προς τον χρόνο είναι:

$${}_1W_2^{rev} = \sum \left(1 - \frac{T_0}{T_j} \right) {}_1\dot{Q}_{2j} - [E_2 - E_1 - T_0(S_2 - S_1)]$$

επίσης η μη αντιστρεπτότητα είναι:

$${}_1I_2 = {}_1W_2^{rev} - {}_1W_{2ac} = T_0 {}_1S_{2genac} = T_0(S_2 - S_1) - \sum \frac{T_0}{T_j} {}_1Q_{2j}$$

Εξέργεια, αντιστρεπτό έργο και μη αντιστρεπτότητα...

Παράδειγμα 8.3

Μια μονωμένη άκαμπτη δεξαμενή χωρίζεται σε δύο τμήματα, Α και Β, με ένα διάφραγμα. Κάθε τμήμα έχει όγκο 1 m^3 . Αρχικά, το τμήμα Α περιέχει νερό σε θερμοκρασία δωματίου 20°C , ποιότητας 50%, ενώ το τμήμα Β εκκενώνεται. Στη συνέχεια, το διάφραγμα σπάει και το νερό γεμίζει τον συνολικό όγκο. Προσδιορίστε το αντιστρεπτό έργο για αυτή τη μεταβολή κατάστασης και τη μη αντιστρεπτότητα της διεργασίας.

Όγκος ελέγχου: Νερό

Κατάσταση εισόδου: T_1, x_1 γνωστές· κατάσταση καθορισμένη

Τελική κατάσταση: V_2 γνωστός

Διεργασία: Αδιαβατική, $W = 0$, καμία μεταβολή κινητικής ή δυναμικής ενέργειας

Εξέργεια, αντιστρεπτό έργο και μη αντιστρεπτότητα...

Μη σταθεροποιημένη διεργασία

- Περιλαμβάνει μεταβολή του όγκου ελέγχου από την κατάσταση 1 στην κατάσταση 2, όπως συμβαίνει και με τη μάζα ελέγχου, μαζί με πιθανή είσοδο ροής μάζας στην κατάσταση i ή/και έξοδο στην κατάσταση e :

$${}_1W_2^{rev} = \sum \left(1 - \frac{T_0}{T_j}\right) {}_1Q_{2j} + \sum m_i (h_{tot i} - T_0 s_i) - \sum m_e (h_{tot e} - T_0 s_e) \\ - [m_2 e_2 - m_1 e_1 - T_0 (m_2 s_2 - m_1 s_1)]$$

Η αντιστρεπτότητα είναι:

$${}_1I_2 = {}_1W_2^{rev} - {}_1W_{2 ac} = T_0 {}_1S_{2 gen ac} \\ = T_0 \left[(m_2 s_2 - m_1 s_1) + \sum m_e s_e - \sum m_i s_i - \sum \frac{1}{T_j} {}_1Q_{2j} \right]$$

Εξέργεια, αντιστρεπτό έργο και μη αντιστρεπτότητα...

Παράδειγμα 8.4

Μια άκαμπτη δεξαμενή 1 m^3 (σχήμα) περιέχει αμμωνία σε πίεση 200 kPa και θερμοκρασία περιβάλλοντος 20°C . Η δεξαμενή συνδέεται μέσω μιας βαλβίδας με έναν αγωγό ο οποίος διαρρέεται από κορεσμένη υγρή αμμωνία στους -10°C . Η βαλβίδα ανοίγει και η δεξαμενή γεμίζει γρήγορα έως ότου η ροή σταματήσει και η βαλβίδα κλείσει. Καθώς η διεργασία επιτελείται πολύ γρήγορα, δεν σημειώνεται μεταφορά θερμότητας. Προσδιορίστε την τελική μάζα στη δεξαμενή και τη μη αντιστρεπτότητα στη διεργασία.

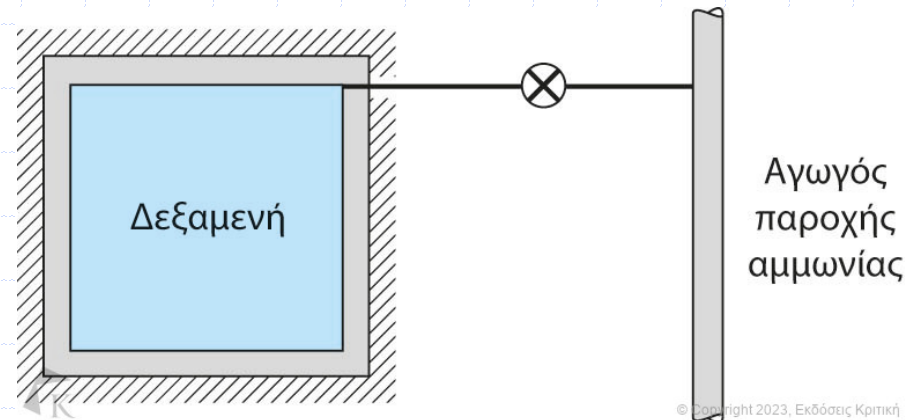
Όγκος ελέγχου: Η δεξαμενή και η βαλβίδα

Αρχική κατάσταση: T_1, P_1 γνωστές· κατάσταση καθορισμένη

Κατάσταση εισόδου: T_i, x_i γνωστές· κατάσταση καθορισμένη

Τελική κατάσταση: $P_2 = P_{line}$ γνωστή

Διεργασία: Αδιαβατική, χωρίς έργο και καμία μεταβολή κινητικής ή δυναμικής ενέργειας



Η εξέργεια και το ισοζύγιο εξέργειας...

- Αν μια μάζα σε μια δεδομένη κατάσταση υπόκειται σε μια εντελώς αντιστρεπτή διεργασία έως ότου φτάσει σε μια κατάσταση όπου θα βρίσκεται σε ισορροπία με το περιβάλλον, θα παράξει το μέγιστο αντιστρεπτό έργο
- Στο διαθέσιμο αντιστρεπτό έργο συνεισφέρουν η μεταφορά θερμότητας, οι ροές μάζας και η συσσώρευση μάζας στον όγκο ελέγχου
- Η συνεισφορά της μεταφοράς θερμότητας είναι:

Αντιστρεπτό έργο που μπορεί να παραχθεί από την μεταφορά θερμότητας

$$\Phi_q = \sum \left(1 - \frac{T_0}{T_j} \right) \dot{Q}_j$$

Όσο υψηλότερη είναι η T_j τόσο μεγαλύτερη είναι η εξέργεια έργο

Όταν η $T_j \rightarrow \infty$, η θερμότητα είναι όλη εξέργεια, ενώ όταν $T_j = T_0$ η εξέργεια μηδενίζεται

Η εξέργεια και το ισοζύγιο εξέργειας...

- Μια ροή, σε ορισμένη κατάσταση, που υφίσταται μια αντιστρεπτή διεργασία αποδίδει το μέγιστο δυνατό έργο καθώς το ρευστό φτάνει σε ισορροπία με το περιβάλλον ($T = T_0$, $P = P_0$, μηδενική ταχύτητα και ύψος αναφοράς Z_0)

- Η ροή εξέργειας ψ είναι:

$$\begin{aligned}\psi &= (h_{tot} - T_0s) - (h_{tot 0} - T_0s_0) \\ &= \left(h - T_0s + \frac{1}{2}V^2 + gZ \right) - (h_0 - T_0s_0 + gZ_0)\end{aligned}$$

- Σε μια μονή σταθεροποιημένη ροή, η ειδική εξέργεια (ανά μονάδα μάζας) είναι:

$$\begin{aligned}\psi_i - \psi_e &= [(h_{tot i} - T_0s_i) - (h_0 - T_0s_0 + gZ_0)] - [(h_{tot e} - T_0s_e) - (h_0 - T_0s_0 + gZ_0)] \\ &= (h_{tot i} - T_0s_i) - (h_{tot e} - T_0s_e)\end{aligned}$$

- Το αντιστρεπτό έργο, οπότε διαπιστώνουμε ότι το αντιστρεπτό έργο από μια μονή ροή σταθεροποιημένης κατάστασης ισούται με τη μείωση της εξέργειας του ρεύματος ροής

Η εξέργεια και το ισοζύγιο εξέργειας...

- Το αντιστρεπτό έργο από ένα φαινόμενο συσσώρευσης λόγω μεταβολής κατάστασης στον όγκο ελέγχου μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την εύρεση της εξέργειας
- Το έργο που παράγεται σε βάρος του περιβάλλοντος είναι:

$$\dot{W}_{surr} = P_0 \dot{V}$$

- Ο μέγιστος διαθέσιμος ρυθμός έργου από τους όρους συσσώρευσης είναι:

$$\begin{aligned}\dot{W}_{avail}^{rev} &= \dot{W}_{storage}^{rev} - \dot{W}_{surr} \\ &= - \left[\frac{dE_{cv}}{dt} - T_0 \frac{dS_{cv}}{dt} \right] - P_0 \dot{V}\end{aligned}$$

Ο μέγιστος διαθέσιμος ρυθμός έργου είναι ο αρνητικός ρυθμός μεταβολής της συσσωρευόμενης ενέργειας

Ολοκληρώνοντας:

$$\begin{aligned}\Phi &= -[E_0 - E - T_0(S_0 - S) + P_0(V_0 - V)] \\ &= (E - T_0S) - (E_0 - T_0S_0) + P_0(V - V_0)\end{aligned}$$

$$\Phi_{cv} = \frac{dE_{cv}}{dt} - T_0 \frac{dS_{cv}}{dt} + P_0 \dot{V}$$

Η εξέργεια και το ισοζύγιο εξέργειας...

- Για μια μάζα ελέγχου, η ειδική εξέργεια, διαιρώντας με τη μάζα m , είναι:

$$\varphi = (e - T_0 s - P_0 v) - (e_0 - T_0 s_0 - P_0 v_0)$$

Ο δείκτης 0 αναφέρεται στην κατάσταση περιβάλλοντος με μηδενική κινητική και δυναμική ενέργεια

- Μεταξύ δύο καταστάσεων είναι:

$$\varphi_2 - \varphi_1 = (e_2 - T_0 s_2 - P_0 v_2) - (e_1 - T_0 s_1 - P_0 v_1)$$

- Το αντιστρεπτό έργο, με όρους εξέργειας, γίνεται:

$$\dot{W}^{rev} = \dot{\Phi}_q + \sum \dot{m}_i \psi_i - \sum \dot{m}_e \psi_e - \dot{\Phi}_{cv} + P_0 \dot{V}$$

- Επομένως, το πραγματικό έργο είναι:

$$\dot{W}_{cv ac} = \dot{W}^{rev} - \dot{Q}_0^{rev} = \dot{W}^{rev} - \dot{I}$$

Η μη αντιστρεπτότητα καταστρέφει μέρος του δυναμικού έργου

- Το πραγματικό έργο ισούται με το αντιστρεπτό έργο μείον τη μη αντιστρεπτότητα, η οποία είναι ευθέως ανάλογη της παραγωγής εντροπίας

Η εξέργεια και το ισοζύγιο εξέργειας...

- Ο ρυθμός της εξέργειας συνδυάζεται με τη σχέση μεταξύ του αντιστρεπτού έργου και του πραγματικού έργου και είναι:

$$\dot{\Phi}_{cv} = \sum \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \dot{Q}_{cv} + \sum \dot{m}_i \psi_i - \sum \dot{m}_e \psi_e + \dot{W}^{rev} + P_0 \dot{V}$$

$$\dot{W}^{rev} = \dot{W}_{cvac} + \dot{I}_{cv} = \dot{W}_{cvac} + T_0 \dot{S}_{gen}$$

Μη αντιστρεπτότητα

Παραγωγή εντροπίας

Η εξέργεια και το ισοζύγιο εξέργειας...

- Το τελικό ισοζύγιο εξέργειας είναι:

$$\frac{d\Phi}{dt} = \sum \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \dot{Q}_{cv} \quad \text{Μεταφορά θερμότητας σε } T$$

$$-\dot{W}_{cv} = +P_0 \frac{dV}{dt} \quad \text{Μεταφορά θερμότητας σε } T$$

$$+ \sum \dot{m}_i \psi_i - \sum \dot{m}_e \psi_e \quad \text{Μεταφορά ροής}$$

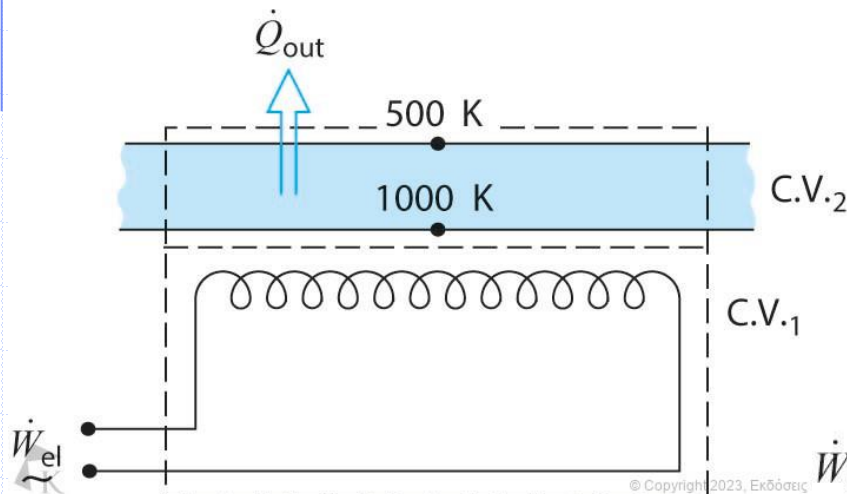
$$-T_0 \dot{S}_{gen} \quad \text{Καταστροφή εξέργειας}$$

Ρυθμος συσσωρευσης εξεργειας = Μεταφορα θερμοτητας
+ Μεταφορα με αξονικο εργο εργο οριων
+ Μεταφορα με ροη
- Καταστροφη εξεργειας

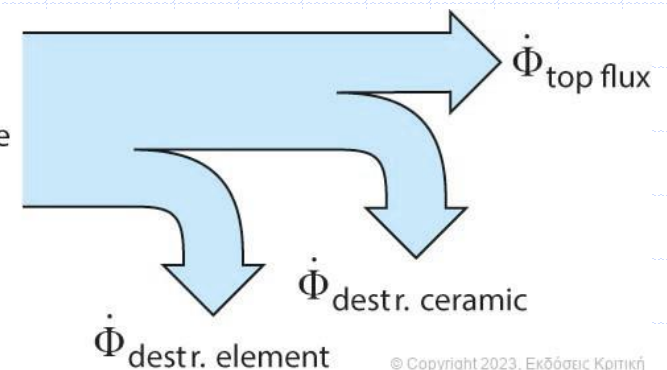
Η εξέργεια και το ισοζύγιο εξέργειας...

Παράδειγμα 8.5

Έστω ένα θερμαντικό στοιχείο 500 W σε μια κουζίνα με θερμοκρασία στοιχείου ίση με 1000 K. Στο πάνω μέρος του στοιχείου υπάρχει μια κεραμική εστία σε θερμοκρασία 500 K, όπως φαίνεται στο Σχήμα. Αγνοώντας την πιθανή μεταφορά θερμότητας προς τα κάτω, ας ακολουθήσουμε τον ρυθμό ροής της εξέργειας και ας βρούμε την καταστροφή της εξέργειας στη διεργασία



$$\dot{W}_{el} = \dot{\Phi}_{source}$$



Η εξέργεια και το ισοζύγιο εξέργειας...

Παράδειγμα 8.6

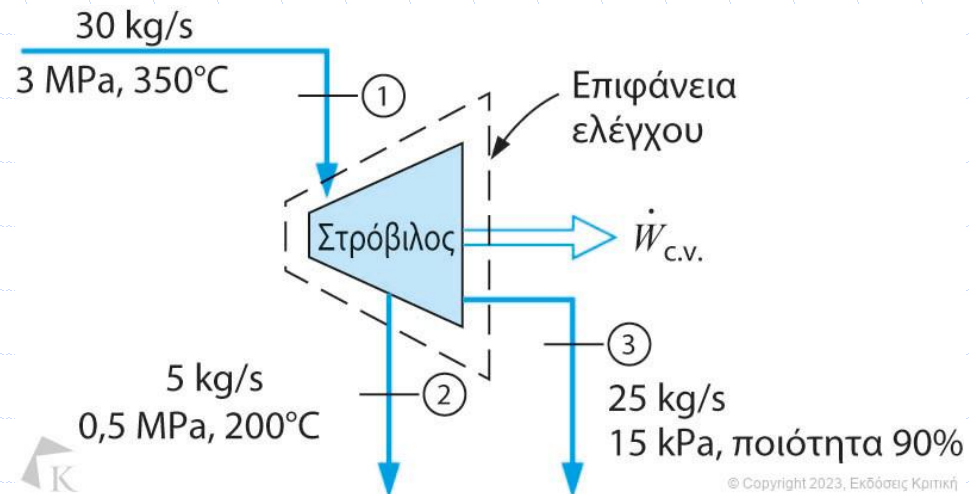
Ένας μονωμένος αμμοστρόβιλος (σχήμα) τροφοδοτείται με 30 kg ατμό ανά δευτερόλεπτο σε πίεση 3 MPa και θερμοκρασία 350°C. Στο σημείο του στροβίλου όπου η πίεση ισούται με 0,5 MPa απομαστεύεται ατμός με ρυθμό 5 kg/s και τροφοδοτεί διεργασίες. Η θερμοκρασία αυτού του ατμού είναι 200°C. Στην έξοδο του στροβίλου, ο ατμός εξέρχεται σε πίεση 15 kPa με ποιότητα 90%. Προσδιορίστε την ειδική εξέργεια του ατμού και στις τρεις καταστάσεις, καθώς και το αντιστρεπτό έργο.

Όγκος ελέγχου: Στρόβιλος

Κατάσταση εισόδου: P_1, T_1 γνωστές, κατάσταση καθορισμένη

Κατάσταση εξόδου: P_2, T_2 γνωστές, P_3, x_3 γνωστές, και οι δύο καταστάσεις καθορισμένες

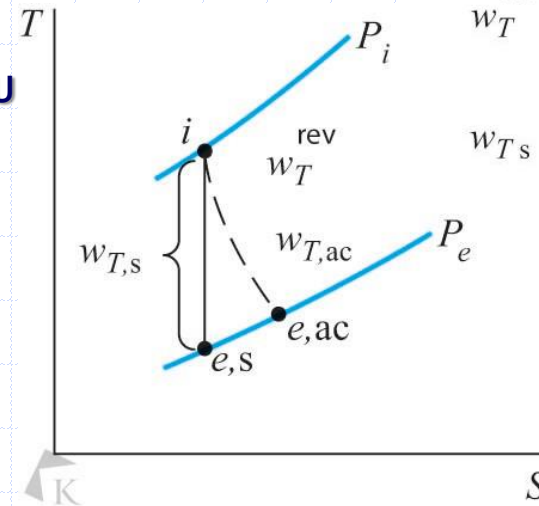
Διεργασία: Σταθεροποιημένη κατάσταση



Η απόδοση με βάση τον δεύτερο Θερμοδυναμικό νόμο...

- Η εξέργεια είναι το μέτρο της ποιότητας της εξόδου μιας διεργασίας, όπως και της εισόδου ή της πηγής που κινεί τη διεργασία
- Η απόδοση μετατροπής στη διεργασία που εκφράζει την επιθυμητή έξοδο σε σχέση με την απαιτούμενη πηγή εισόδου, και οι δύο μετρούμενες σε εξέργεια, ονομάζεται απόδοση με βάση τον δεύτερο νόμο της θερμοδυναμικής
- Το πραγματικό και το αντιστρεπτό έργο συνδέονται με την κατάσταση εισόδου και την κατάσταση πραγματικής εξόδου, ενώ το ισεντροπικό έργο σχετίζεται με την κατάσταση εισόδου και την κατάσταση ισεντροπικής εξόδου, η απόδοση βάσει του δεύτερου νόμου της θερμοδυναμικής για τον στρόβιλο είναι:

$$\eta_{2nd\ law} = \frac{W_{T\ ac}}{\psi_i - \psi_{e\ ac}}$$



$$w_{T\ ac} = h_i - h_{e\ ac}$$

$$w_T^{rev} = \psi_i - \psi_{e\ ac}$$

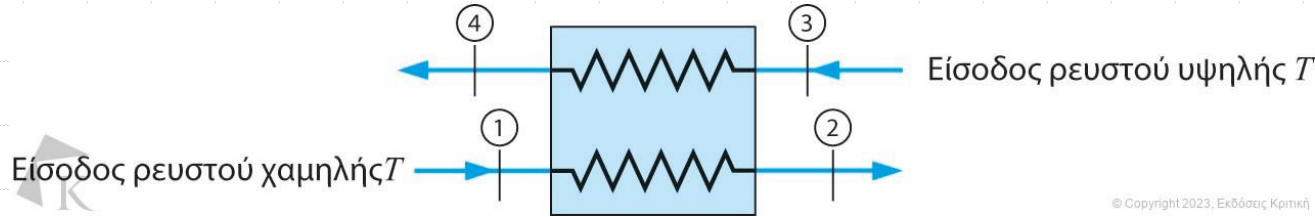
$$w_{T\ s} = h_i - h_{e\ s}$$

Η απόδοση με βάση τον δεύτερο Θερμοδυναμικό νόμο...

Παράδειγμα 8.7

Ο στρόβιλος στην Εξίσωση 8.6 αναλύθηκε με την εξέργεια και το αντιστρεπτό έργο. Διευρύνετε το παράδειγμα ώστε να βρείτε επιπλέον την απόδοση βάσει του πρώτου και του δεύτερου νόμου της θερμοδυναμικής

Η απόδοση με βάση τον δεύτερο Θερμοδυναμικό νόμο...



- Σε έναν εναλλάκτη θερμότητας, η ενέργεια μεταφέρεται από το ρευστό υψηλής θερμοκρασίας προς το ρευστό χαμηλής θερμοκρασίας, οπότε η απόδοση βάσει του δεύτερου νόμου είναι:

$$\eta_{2nd\ law} = \frac{\dot{m}_1(\psi_2 - \psi_1)}{\dot{m}_3(\psi_3 - \psi_4)}$$

- Το πραγματικό έργο είναι:

$$\dot{W}_{CV} = \dot{\Phi}_{source} - \dot{I}_{CV} = \dot{\Phi}_{source} - T_0 \dot{S}_{gen\ CV}$$

Συνολικός ρυθμός
εξέργειας

Οπότε:

$$\eta_{2nd\ law} = \frac{\dot{\Phi}_{wanted}}{\dot{\Phi}_{source}} = \frac{\dot{\Phi}_{source} - \dot{I}_{CV}}{\dot{\Phi}_{source}}$$

Η απόδοση με βάση τον δεύτερο Θερμοδυναμικό νόμο...

Παράδειγμα 8.8

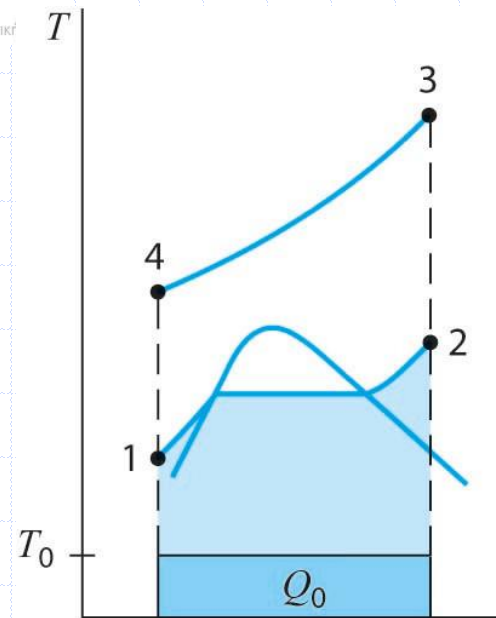
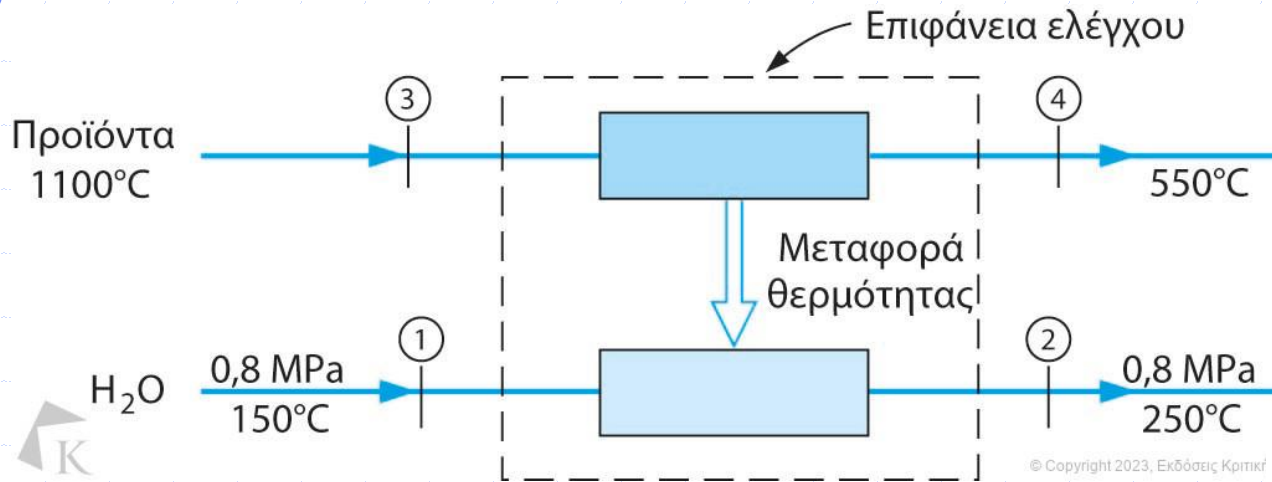
Σε έναν λέβητα, η θερμότητα μεταφέρεται από τα καυσαέρια στον ατμό. Η θερμοκρασία των καυσαερίων μειώνεται από τους 1100°C στους 550°C , ενώ η πίεση παραμένει σταθερή στα $0,1\text{ MPa}$. Η μέση ειδική θερμότητα υπό σταθερή πίεση των καυσαερίων είναι ίση με $1,09\text{ kJ/kg K}$. Το νερό εισέρχεται σε πίεση $0,8\text{ MPa}$ και θερμοκρασία 150°C και απομακρύνεται σε πίεση $0,8\text{ MPa}$ και θερμοκρασία 250°C . Προσδιορίστε την απόδοση βάσει του δεύτερου νόμου της θερμοδυναμικής για αυτή τη διεργασία και τη μη αντιστρεπτότητα ανά κιλό νερό που εξατμίζεται.

Όγκος ελέγχου: Συνολικός εναλλάκτης θερμότητας στο Σχήμα

Καταστάσεις εισόδου/εξόδου: Όλα γνωστά, δίνονται στο Σχήμα

Διεργασία: Συνολικά, αδιαβατική σταθεροποιημένης κατάστασης, δύο μονές ροές που φαίνονται στο Σχήμα

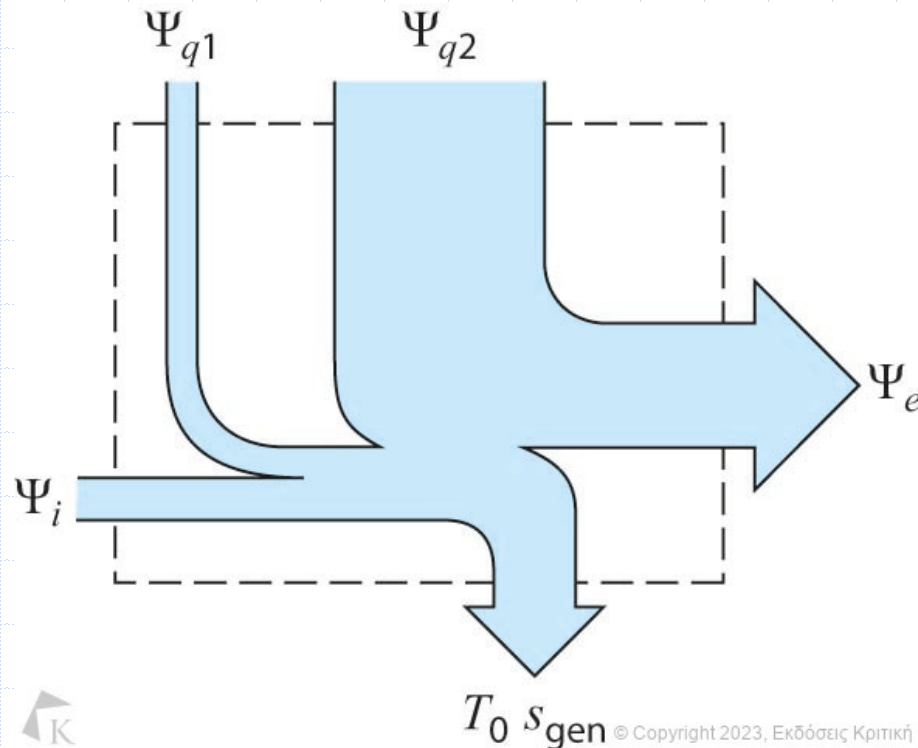
Η απόδοση με βάση τον δεύτερο Θερμοδυναμικό νόμο...



Η απόδοση με βάση τον δεύτερο Θερμοδυναμικό νόμο...

Παράδειγμα 8.9

Ας δούμε τις ροές και τους ρυθμούς ροής της εξέργειας για τον θερμαντήρα ύδατος στο Παράδειγμα 8.1. Ο θερμαντήρας ύδατος έχει μία ροή μάζας, δύο μεταφορές θερμότητας, ενώ δεν σημειώνεται καμία παραγωγή ή κατανάλωση έργου. Οι τιμές αναφοράς για τα h_0 και s_0 είναι ίδιες με αυτές στο Παράδειγμα 8.6



Εφαρμογές μηχανικής...

- Σε μια απλή θερμική μηχανή που αποδίδει πραγματικό έργο με μεταφορά θερμότητας από μια πηγή υψηλής θερμοκρασίας με απόδοση βάσει του πρώτου νόμου που συνιστά απόδοση μετατροπής ενέργεια

$$W_{HE I} = n_{HE I} Q_H$$

- Η απόδοση βάσει του δεύτερου νόμου διατυπώνεται με όρους εξέργειας και όχι ενέργειας

$$W_{HE II} = n_{HE II} \Phi_H = n_{HE II} \left(1 - \frac{T_0}{T_H} \right) Q_H$$

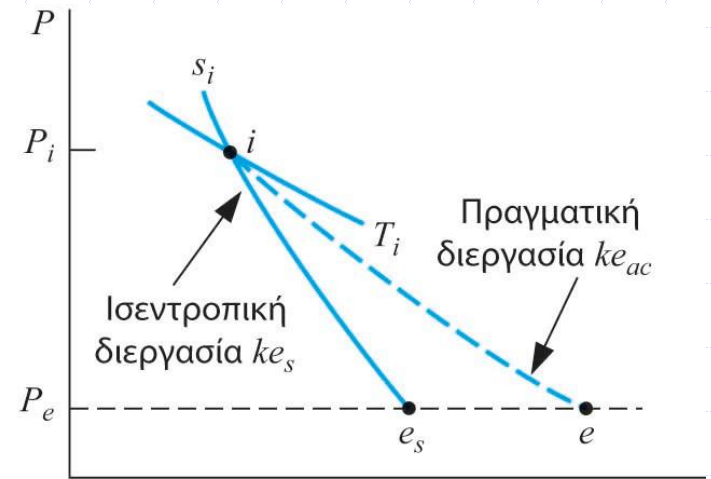
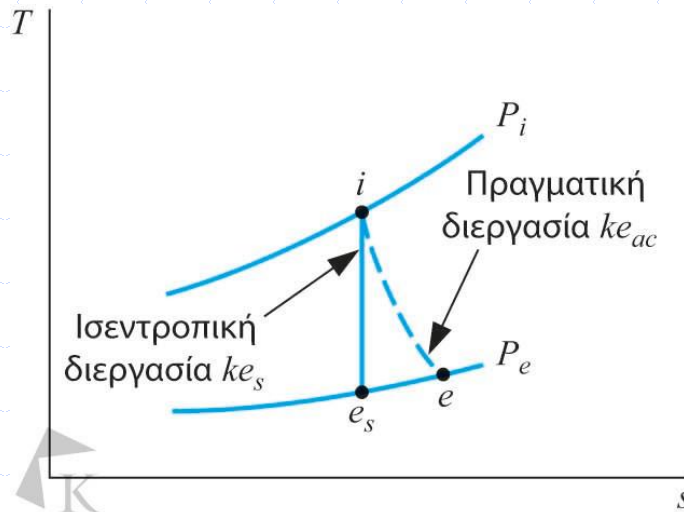
- Η απόδοση βάσει του δεύτερου νόμου της θερμοδυναμικής για μια αντλία θερμότητας είναι ο λόγος της εξέργειας που αποκτήθηκε Φ_H (ή $\Phi_H - \Phi_L$ αν το Φ_L χαμηλής θερμοκρασίας είναι σημαντικό) προς την εξέργεια από την πηγή, που είναι το έργο εισόδου:

$$n_{HP II} = \frac{\Phi_H}{W_{HP}} = \left(1 - \frac{T_0}{T_H} \right) \frac{Q_H}{W_{HP}}$$

Εφαρμογές μηχανικής...

□ Ακροφύσιο:

Αδιαβατική
λειτουργία,
χωρίς κινητά
μέρη



© Copyright 2023, Εκδόσεις Κριτική

- Η πραγματική διεργασία είναι μη αντιστρεπτή, με την κατάσταση εξόδου e να έχει μεγαλύτερη εντροπία και μικρότερη ταχύτητα εξόδου V_e

$$n_{\text{nozzle}} = \frac{V_e^2 / 2}{V_i^2 / 2}$$

Βασικές έννοιες και σχέσεις...

Εξέργεια ως διαθέσιμο έργο από πηγή θερμότητας:

$$W = Q \left(1 - \frac{T_0}{T_H} \right)$$

Αντιστρεπτή ροή έργου με επιπρόσθετο q_0^{rev} από το περιβάλλον σε T_0 και είσοδος q σε T_H :

$$q_0^{\text{rev}} = T_0 (s_e - s_i) - q \frac{T_0}{T_H}$$

$$w^{\text{rev}} = h_{\text{tot } i} - h_{\text{tot } e} - T_0 (s_i - s_e) + q \left(1 - \frac{T_0}{T_H} \right)$$

Ροή μη αντιστρεπτότητας:

$$i = w^{\text{rev}} - w = q_0^{\text{rev}} = T_0 \dot{S}_{\text{gen}} / \dot{m} = T_0 s_{\text{gen}}$$

Αντιστρεπτό έργο μάζας ελέγχου:

$${}_1w_2^{\text{rev}} = T_0 (S_2 - S_1) - (E_2 - E_1) + {}_1Q_2 \left(1 - \frac{T_0}{T_H} \right)$$

Μη αντιστρεπτότητα μάζας ελέγχου:

$${}_1I_2 = T_0 (S_2 - S_1) - {}_1Q_2 \frac{T_0}{T_H} = T_0 {}_1S_{2\text{gen}}$$

Βασικές έννοιες και σχέσεις...

Εξέργεια, διαθεσιμότητα ροής: $\psi = [h - T_0s + \frac{1}{2} V^2 + gZ] - [h_0 - T_0s_0 + gZ_0]$

Εξέργεια, αποθηκευμένη: $\varphi = (e - e_0) + P_0(v - v_0) - T_0(s - s_0)$
 $\Phi = m\varphi$

Μεταφορά εξέργειας
με θερμότητα: $\Phi_{\text{transfer } q} = Q \left(1 - \frac{T_0}{T_H} \right)$

Μεταφορά εξέργειας με ροή: $\Phi_{\text{transfer flow}} = \psi = (h_{\text{tot } i} - h_{\text{tot } e}) - T_0(s_i - s_e)$

Εξίσωση ρυθμού εξέργειας: $\frac{d\Phi}{dt} = \sum \left(1 - \frac{T_0}{T} \right) \dot{Q}_{\text{c.v.}} - \dot{W}_{\text{c.v.}} + P_0 \frac{dV}{dt} + \sum \dot{m}_i \psi_i - \sum \dot{m}_e \psi_e - T_0 \dot{S}_{\text{gen}}$

Εξίσωση εξέργειας
μάζας ελέγχου: $\Phi_2 - \Phi_1 = \left(1 - \frac{T_0}{T_H} \right) Q_2 - W_2 + P_0(V_2 - V_1) - I_2$

με ολοκλήρωση από t_1 σε t_2 , χωρίς ροή.

Βασικές έννοιες και σχέσεις...

Απόδοση στροβίλου βάσει του δεύτερου νόμου της θερμοδυναμικής:

$$\eta_{TII} = W_{Tac} / (\psi_i - \psi_{eac})$$

Απόδοση συμπιεστή βάσει του δεύτερου νόμου της θερμοδυναμικής:

$$\eta_{CII} = (\psi_i - \psi_{eac}) / w_{Cac} = \text{επιθυμητό/πηγή συνήθης χρήση προσήμου}$$

Απόδοση βάσει του δεύτερου νόμου της θερμοδυναμικής:

$$\eta_{2nd\ law} = \frac{\dot{\Phi}_{gained}}{\dot{\Phi}_{supplied}} = \frac{\dot{\Phi}_{supplied} - \dot{\Phi}_{destroyed}}{\dot{\Phi}_{supplied}}$$

Θερμοδυναμική

ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΧΗ ΣΑΣ!