

Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

Όγκοι Ελέγχου

Ανοικτό Σύστημα (ή Όγκος Ελέγχου): Μια κατάλληλα επιλεγμένη περιοχή του χώρου που περικλείει συνήθως μια συσκευή που εμπεριέχει ροή μάζας (π.χ. αεροσυμπιεστής, στρόβιλος, ακροφύσιο κ.λ.π.).



- Η μάζα του συστήματος **δεν** είναι σταθερή
- Το σύστημα μπορεί να ανταλλάσσει θερμότητα και έργο με το περιβάλλον

Η ποσότητα ύλης του συστήματος μπορεί να :

- παραμένει σταθερή
- αυξάνεται με τον χρόνο
- μειώνεται με τον χρόνο

αλλά σε κάθε χρονική στιγμή θα είναι διαφορετική μάζα.

Οι οριακές επιφάνειες ενός όγκου ελέγχου ονομάζονται **επιφάνειες ελέγχου** και μπορούν είτε να είναι πραγματικές είτε φανταστικές.

Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

Διατήρηση της μάζας

Η **μάζα**, όπως και η ενέργεια, είναι μια ιδιότητα που διατηρείται, και δεν μπορεί να δημιουργηθεί ή να καταστραφεί κατά τη διάρκεια μιας διεργασίας.

Η μάζα m και η ενέργεια E μπορούν να μετατραπούν η μία στην άλλη, σύμφωνα με το τύπο που πρότεινε ο Albert Einstein.

$$E = m \cdot c^2$$

Υπάρχει μια ισοδυναμία μεταξύ της μάζας και της ενέργειας.

Όπου $c = 2.9979 \cdot 10^8$ m/s είναι η ταχύτητα του φωτός στο κενό.

Είναι απαραίτητο να παρακολουθούμε τη ποσότητα της μάζας που εισέρχεται και εγκαταλείπει τον όγκο ελέγχου.

Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

Παροχές μάζας και όγκου

Ρυθμός ροής μάζας, $\dot{m}$: η ποσότητα της μάζας που ρέει διαμέσου μιας διατομής ανά μονάδα χρόνου.

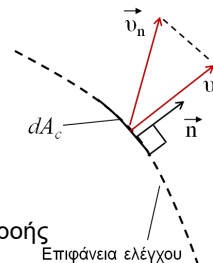
Ο διαφορικός ρυθμός ροής μάζας ενός ρευστού το οποίο ρέει διαμέσου μιας στοιχειώδους επιφάνειας dA_c μιας εγκάρσιας διατομής της ροής, εκφράζεται ως εξής:

$$\delta \dot{m} = \rho \cdot v_n \cdot dA_c$$

Όπου: ρ η πυκνότητα του ρευστού

dA_c η στοιχειώδης επιφάνεια μιας εγκάρσιας διατομής της ροής

v_n η συνιστώσα της ταχύτητας η οποία είναι κάθετη στη dA_c



Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

Παροχές μάζας και όγκου

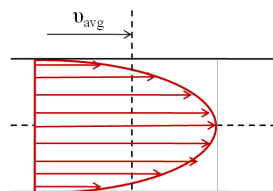
Ο ρυθμός ροής μάζας ενός ρευστού το οποίο ρέει διαμέσου της επιφάνειας της διατομής ενός σωλήνα ή ενός αγωγού προκύπτει ολοκληρώνοντας την προηγούμενη εξίσωση:

$$\dot{m} = \int_{A_c} \delta \dot{m} = \int_{A_c} \rho \cdot v_n \cdot dA_c \quad [kg / s]$$

Μέση ταχύτητα, v_{avg} : η μέση τιμή της ταχύτητας v_n , κατά μήκος ολόκληρης της κάθετης επιφάνειας της διατομής

Ασυμπίεστη ροή ή συμπιεσμένη ροή υπό σταθερή ρ :

$$\dot{m} = \rho \cdot v_{avg} \cdot A_c \quad [kg / s]$$



Όπου: A_c το εμβαδόν της διατομής κάθετα στη διεύθυνση της ροής

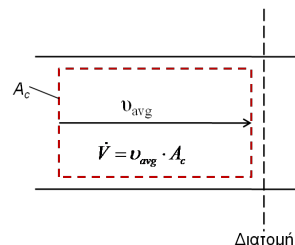
Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

Παροχές μάζας και όγκου

Ρυθμός ροής όγκου (ή παροχή όγκου), $\dot{V}$: ο όγκος του υγρού που ρέει διαμέσου μιας εγκάρσιας διατομής ανά μονάδα χρόνου.

$$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow \rho = \frac{\dot{m}}{\dot{V}} \Rightarrow \dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho} \Rightarrow \dot{V} = \frac{\rho \cdot v_{avg} \cdot A_c}{\rho}$$

$$\dot{V} = v_{avg} \cdot A_c \quad [m^3 / s]$$



Οι παροχές μάζας και όγκου συνδέονται μεταξύ τους με τη σχέση:

$$\dot{m} = \rho \cdot \dot{V} = \frac{\dot{V}}{v}$$

Όπου v ο ειδικός όγκος

Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

Αρχή διατήρησης της μάζας

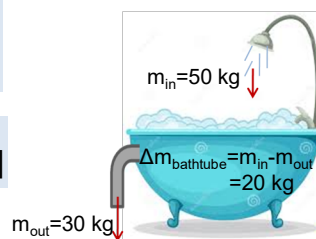
Η συνολική μεταφορά μάζας από ή προς έναν όγκο ελέγχου κατά τη διάρκεια ενός χρονικού διαστήματος Δt ισούται με τη συνολική μεταβολή (αύξηση ή ελάττωση) της ολικής μάζας εντός του όγκου ελέγχου, κατά το χρονικό αυτό διάστημα.

$$\left(\begin{array}{l} \text{Συνολική εισερχόμενη} \\ \text{μάζα στον ΟΕ} \\ \text{σε χρόνο } \Delta t \end{array} \right) - \left(\begin{array}{l} \text{Συνολική εξερχόμενη} \\ \text{μάζα από τον ΟΕ} \\ \text{σε χρόνο } \Delta t \end{array} \right) = \left(\begin{array}{l} \text{Συνολική μεταβολή} \\ \text{μάζας του ΟΕ} \\ \text{σε χρόνο } \Delta t \end{array} \right)$$

$$\text{ή} \quad \sum_{in} m - \sum_{out} m = \Delta m_{CV} \quad [kg]$$

$$\text{Για ένα μοναδικό ρευστό:} \quad m_{in} - m_{out} = \Delta m_{CV} \quad [kg]$$

Όπου: $\Delta m_{CV} = m_{final} - m_{initial}$ είναι η μεταβολή στη μάζα του όγκου ελέγχου κατά τη διάρκεια της διεργασίας.



Αρχή διατήρησης της μάζας, εφαρμοζόμενη για μια κοινή μπανιέρα.

Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

Αρχή διατήρησης της μάζας

Η αρχή διατήρησης της μάζας μπορεί να γραφτεί με τη μορφή ρυθμού μεταβολής:

$$\sum_{in} \dot{m} - \sum_{out} \dot{m} = \frac{dm_{CV}}{dt} \quad [kg / s] \quad (1)$$

Για ένα μοναδικό ρευστό: $\dot{m}_{in} - \dot{m}_{out} = \frac{dm_{CV}}{dt} \quad [kg / s] \quad (2)$

Όπου: $\dot{m}_{in}$ ο ολικός ρυθμός μεταβολής της ροής της μάζας προς τον όγκο ελέγχου.

$\dot{m}_{out}$ ο ολικός ρυθμός μεταβολής της ροής της μάζας από τον όγκο ελέγχου.

dm_{CV}/dt ο χρονικός ρυθμός μεταβολής της μάζας εντός των ορίων του ΟΕ.

Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

Αρχή διατήρησης της μάζας

Ισοζύγιο μάζας. Εφαρμόζονται για κάθε όγκο ελέγχου εντός του οποίου λαμβάνουν χώρα οποιοδήποτε τύπου διεργασίες.

$$\dot{m}_{in} - \dot{m}_{out} = \frac{dm_{CV}}{dt} \quad [kg / s]$$

$$m_{in} - m_{out} = \Delta m_{CV} \quad [kg]$$

Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

Ισοζύγιο μάζας για διεργασίες σταθεροποιημένης ροής

Αρχή διατήρησης της μάζας για σταθεροποιημένη ροή:

$$\frac{dm_{CV}}{dt} = 0 \quad (1) \Rightarrow \sum_{in} \dot{m} - \sum_{out} \dot{m} = \frac{dm_{CV}}{dt} = 0 \Rightarrow \sum_{in} \dot{m} = \sum_{out} \dot{m} \quad [kg / s]$$

Ο συνολικός ρυθμός εισόδου της μάζας σε έναν ΟΕ ισούται με το συνολικό ρυθμό εξόδου της μάζας από αυτόν.

Αρχή διατήρησης της μάζας για σταθεροποιημένη ροή και για ένα μοναδικό ρευστό:

$$(2) \Rightarrow \dot{m}_{in} - \dot{m}_{out} = \frac{dm_{CV}}{dt} = 0 \Rightarrow \dot{m}_{in} = \dot{m}_{out} \Rightarrow$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 \Rightarrow \rho_1 \cdot v_1 \cdot A_1 = \rho_2 \cdot v_2 \cdot A_2$$

Όπου: ο δείκτης 1 συμβολίζει τη κατάσταση εισόδου
ο δείκτης 2 συμβολίζει τη κατάσταση εξόδου

Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

Ισοζύγιο μάζας για διεργασίες σταθεροποιημένης ροής

Αρχή διατήρησης της μάζας για σταθεροποιημένη ροή ασυμπίεστου ρευστού

Για ασυμπίεστα ρευστά η πυκνότητα παραμένει σταθερή. Η γενική εξίσωσης σταθεροποιημένης ροής γράφεται:

$$\sum_{in} \dot{m} = \sum_{out} \dot{m} \Rightarrow \sum_{in} \rho \cdot \dot{V} = \sum_{out} \rho \cdot \dot{V} \Rightarrow \sum_{in} \dot{V} = \sum_{out} \dot{V} \quad [m^3 / s]$$

Αρχή διατήρησης της μάζας για σταθεροποιημένη ροή ασυμπίεστου μοναδικού ρευστού:

$$\dot{V}_1 = \dot{V}_2 \Rightarrow v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2$$

Όπου οι δείκτες 1 και 2 συμβολίζουν την κατάσταση εισόδου και εξόδου, αντίστοιχα

Σημείωση:

➤ «Αρχή διατήρησης του όγκου» δεν υπάρχει. Οι παροχές όγκου από και προς μια διάταξη σταθεροποιημένης ροής, ενδέχεται να είναι διαφορετικές (π.χ. η παροχή όγκου στην είσοδο και έξοδο ενός αεροσυμπιεστή).

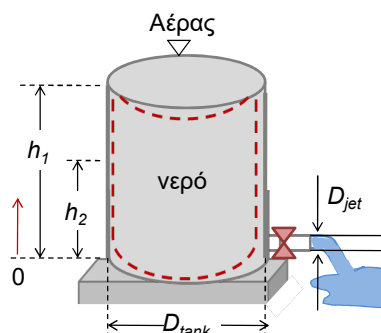
➤ Για σταθεροποιημένες ροές υγρών, οι παροχές όγκου και μάζας παραμένουν σχεδόν σταθερές επειδή τα υγρά είναι πρακτικά ασυμπίεστες ουσίες (π.χ. η ροή νερού διαμέσου του στομίου ενός λάστιχου ποτίσματος).

Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

Ισοζύγιο μάζας για διεργασίες σταθεροποιημένης ροής

Παράδειγμα:

6.1 Μια κυλινδρική υδάτινη δεξαμενή ύψους 1.2 m και διαμέτρου 0.9 m το άνω άκρο της οποίας είναι ανοικτό στην ατμόσφαιρα, αρχικά είναι γεμάτη με νερό. Κάποια στιγμή το πώμα εκροής που βρίσκεται κοντά στον πυθμένα της αφαιρείται και ένας πίδακας νερού διαμέτρου 1.3 cm αρχίζει να εκρέει. Η μέση ταχύτητα του πίδακα προσεγγίζεται ως $v = \sqrt{2gh}$, όπου h είναι το ύψος του νερού εντός της δεξαμενής, μετρούμενο από το κέντρο της οπής διαφυγής και g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας. Να προσδιορίσετε το χρόνο που απαιτείται προκειμένου η στάθμη του νερού να κατέλθει στα 0.6 m, μετρούμενη από το πυθμένα.



Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

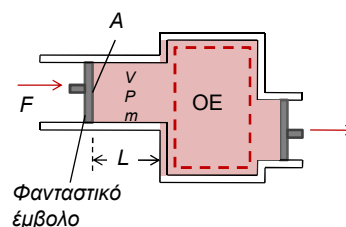
Έργο ροής και ενέργεια ρέοντος ρευστού

Έργο ροής ή ενέργεια ροής: Το έργο που απαιτείται για να ωθήσει τη μάζα να εισέλθει ή να εξέλθει από τον όγκο ελέγχου

Η δύναμη που εφαρμόζεται στο ρευστό:

$$F = P \cdot A$$

Η δύναμη αυτή δρα για μια απόσταση L ώστε να ωθήσει όλο το στοιχειώδες ρευστό μέσα στον ΟΕ

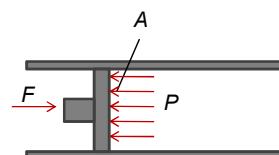


Το παραγόμενο έργο κατά την ώθηση του ρευστού:

$$W_{flow} = F \cdot L = P \cdot A \cdot L = P \cdot V \quad [kJ]$$

ή ανά μονάδα μάζας:

$$w_{flow} = P \cdot v \quad [kJ/kg]$$



Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

Έργο ροής και ενέργεια ρέοντος ρευστού

Ολική ενέργεια ενός απλού συμπίεστου συστήματος (ανά μονάδα μάζας)

$$e = \underbrace{u}_{\text{Εσωτερική ενέργεια}} + \underbrace{e_{\kappa\iota\nu} + e_{\delta\nu\nu}}_{\text{Εξωτερική ενέργεια}} = u + \frac{v^2}{2} + g \cdot z \quad [kJ/kg]$$

Εσωτερική
ενέργεια

Εξωτερική
ενέργεια

Όπου: u η ταχύτητα

z η υψομετρική στάθμη του συστήματος

Το ρευστό που εισέρχεται ή εξέρχεται από τον ΟΕ έχει μια επιπλέον μορφή ενέργειας, την ενέργεια ροής $P \cdot v$.

Ολική ενέργεια ενός ρέοντος ρευστού (ανά μονάδα μάζας)

$$\theta = P \cdot v + e = \underbrace{P \cdot v + u}_h + e_{\kappa\iota\nu} + e_{\delta\nu\nu} \quad [kJ/kg]$$

h

$$\theta = h + e_{\kappa\iota\nu} + e_{\delta\nu\nu} = h + \frac{v^2}{2} + g \cdot z \quad [kJ/kg]$$

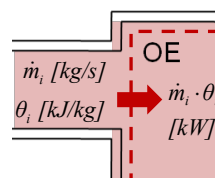
Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

Έργο ροής και ενέργεια ρέοντος ρευστού

Μεταφορά ενέργειας μέσω μάζας

Ποσότητα μεταφερόμενης ενέργειας:

$$E_{\text{mass}} = m \cdot \theta = m \left(h + \frac{v^2}{2} + g \cdot z \right) \quad [kJ]$$



Ρυθμός μεταφερόμενης ενέργειας:

$$\dot{E}_{\text{mass}} = \dot{m} \cdot \theta = \dot{m} \left(h + \frac{v^2}{2} + g \cdot z \right) \quad [kW]$$

θ : η ολική ενέργεια ενός ρέοντος ρευστού ανά μονάδα μάζας.

$m \cdot \theta$: η ολική ενέργεια ενός ρέοντος ρευστού μάζας m (όταν οι ιδιότητες της μάζας m είναι ομοιόμορφες).

$\dot{m} \cdot \theta$: ο ρυθμός ροής ενέργειας ενός ρέοντος ρευστού μάζας m (όταν οι ιδιότητες της μάζας m είναι ομοιόμορφες).

Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

Ενεργειακή ανάλυση συστημάτων σταθεροποιημένης ροής

Διεργασία σταθεροποιημένης ροής: η διεργασία κατά την οποία ένα ρευστό ρέει με σταθερό ρυθμό διαμέσου ενός όγκου ελέγχου.

Ισοζύγιο ενέργειας για μια διεργασία σταθεροποιημένης ροής

$$\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out} = \frac{\Delta E_{system}}{dt} = 0 \quad (σταθ.)$$

Ρυθμός συνολικής μεταφοράς ενέργειας μέσω θερμότητας, έργου και μάζας

Ρυθμός μεταβολής εσωτερικής, κινητικής, δυναμικής κ.λ.π. ενέργειας

$$\dot{E}_{in} = \dot{E}_{out} \quad [kW]$$

Ρυθμός συνολικής μεταφοράς εισερχόμενης ενέργειας μέσω θερμότητας, έργου και μάζας

Ρυθμός συνολικής μεταφοράς εξερχόμενης ενέργειας μέσω θερμότητας, έργου και μάζας

Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

Ενεργειακή ανάλυση συστημάτων σταθεροποιημένης ροής

Ισοζύγιο ενέργειας για μια διεργασία σταθεροποιημένης ροής

$$\dot{Q}_{in} + \dot{W}_{in} + \underbrace{\sum_{in} \dot{m} \cdot \theta}_{\dot{E}_{mass,in}} = \dot{Q}_{out} + \dot{W}_{out} + \underbrace{\sum_{out} \dot{m} \cdot \theta}_{\dot{E}_{mass,out}}$$

Δεδομένου ότι:

$$\theta = h + e_{κιν} + e_{δυν} = h + \frac{v^2}{2} + g \cdot z$$

$$\dot{Q}_{in} + \dot{W}_{in} + \underbrace{\sum_{in} \dot{m} \cdot \left(h + \frac{v^2}{2} + g \cdot z \right)}_{\text{για κάθε σημείο εισόδου}} = \dot{Q}_{out} + \dot{W}_{out} + \underbrace{\sum_{out} \dot{m} \cdot \left(h + \frac{v^2}{2} + g \cdot z \right)}_{\text{για κάθε σημείο εξόδου}}$$

Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

Ενεργειακή ανάλυση συστημάτων σταθεροποιημένης ροής

Ισοζύγιο ενέργειας για μια διεργασία σταθεροποιημένης ροής

$$\dot{Q}_{in} - \dot{Q}_{out} + \dot{W}_{in} - \dot{W}_{out} = \sum_{out} \dot{m} \cdot \left(h + \frac{v^2}{2} + g \cdot z \right) - \sum_{in} \dot{m} \cdot \left(h + \frac{v^2}{2} + g \cdot z \right)$$

$$\text{Όπου: } \dot{Q}_{net} = \dot{Q}_{in} - \dot{Q}_{out} \quad \dot{W}_{net} = \dot{W}_{out} - \dot{W}_{in}$$

$$\dot{Q}_{net} - \dot{W}_{net} = \sum_{out} \dot{m} \cdot \left(h + \frac{v^2}{2} + g \cdot z \right) - \sum_{in} \dot{m} \cdot \left(h + \frac{v^2}{2} + g \cdot z \right)$$

Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

Ενεργειακή ανάλυση συστημάτων σταθεροποιημένης ροής

Για διατάξεις απλού ρέοντος ρευστού, το ενεργειακό ισοζύγιο γράφεται:

$$\dot{Q}_{net} - \dot{W}_{net} = \dot{m} \cdot \left(h_2 - h_1 + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} + g \cdot (z_2 - z_1) \right)$$

Το ενεργειακό ισοζύγιο ανά μονάδα μάζας προκύπτει διαιρώντας τη προηγούμενη εξίσωση με τη παροχή μάζας $\dot{m}$:

$$q_{net} - w_{net} = h_2 - h_1 + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} + g \cdot (z_2 - z_1) \quad \text{όπου: } q_{net} = \frac{\dot{Q}_{net}}{\dot{m}} \quad \text{και} \quad w_{net} = \frac{\dot{W}_{net}}{\dot{m}}$$

Όταν οι μεταβολές της κινητικής και δυναμικής ενέργειας του ρευστού είναι αμελητέες ($\Delta e_{kin} \approx 0$, $\Delta e_{dyn} \approx 0$) το ισοζύγιο ενέργειας απλοποιείται ως εξής:

$$q_{net} - w_{net} = h_2 - h_1$$

Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

Ενεργειακή ανάλυση συστημάτων σταθεροποιημένης ροής

Επεξηγήσεις συμβόλων

$\dot{Q}_{net}$: ρυθμός μεταφοράς θερμότητας μεταξύ όγκου ελέγχου / περιβάλλοντος

- $\dot{Q}_{net} < 0$ Όταν ο ΟΕ παρουσιάζει απώλεια θερμότητας
- $\dot{Q}_{net} = 0$ Όταν ο ΟΕ είναι επαρκώς μονωμένος (αδιαβατικό σύστημα)

$\dot{W}_{net}$: η ισχύς

$\Delta h = h_2 - h_1$: η διαφορά ειδικής ενθαλπίας του εξερχόμενου ρεύματος από το εισερχόμενο

$\Delta e_{kin} = (v_2^2 - v_1^2)/2$: η διαφορά κινητικής ενέργειας του εξερχόμενου ρεύματος από το εισερχόμενο

$\Delta e_{dyn} = g \cdot (z_2 - z_1)$: η διαφορά δυναμικής ενέργειας του εξερχόμενου ρεύματος από το εισερχόμενο

Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

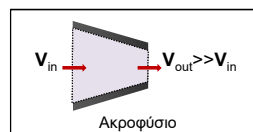
Μηχανολογικές διατάξεις σταθεροποιημένης ροής

Ακροφύσια και Διαχύτες

Κινητήρες μηχανών αεριοθούμενων, πυραύλων, διαστημόπλοιων

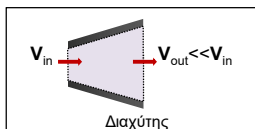
Ένα ακροφύσιο είναι μία διάταξη που αυξάνει τη ταχύτητα ενός ρευστού σε βάρος της πίεσής του.

- Το εμβαδό της εγκάρσιας διατομής του μειώνεται στη διεύθυνση της ροής (για υποηχητικές ροές, δηλ. $v < 349$ m/s).



Ένας διαχύτης είναι μία διάταξη που αυξάνει τη πίεση ενός ρευστού σε βάρος της ταχύτητάς του.

- Το εμβαδό της εγκάρσιας διατομής του αυξάνεται στη διεύθυνση της ροής (για υποηχητικές ροές, δηλ. $v < 349$ m/s)



Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

Μηχανολογικές διατάξεις σταθεροποιημένης ροής

Ακροφύσια και Διαχύτες

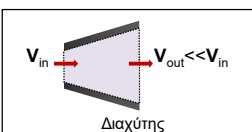
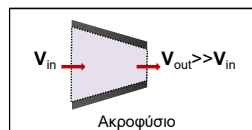
$$\dot{Q}_{net} - \dot{W}_{net} = \dot{m} \cdot \left(h_2 - h_1 + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} + g \cdot (z_2 - z_1) \right)$$

$\dot{Q}_{net} \cong 0$ Αμελητέα μεταφορά θερμότητας λόγω υψηλών ταχυτήτων, ουσιαστικά αδιαβατική ροή

$\dot{W}_{net} = 0$ Απουσία ηλεκτρικού ή αξονικού έργου

$\Delta \dot{E}_{dyn} \cong 0$ Πολύ μικρή υψομετρική διαφορά, ουσιαστικά αμελητέα μεταβολή δυναμικής ενέργειας

$\Delta \dot{E}_{kin} \neq 0$ Πολύ μεγάλες ταχύτητες και μεταβολές στην κινητική ενέργεια



$$0 = \left(h_2 - h_1 \right) + \frac{1}{2} (v_2^2 - v_1^2) \Rightarrow h_2 - h_1 = \frac{1}{2} (v_1^2 - v_2^2)$$

Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

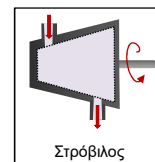
Μηχανολογικές διατάξεις σταθεροποιημένης ροής

Στρόβιλοι και Συμπιεστές/αντλίες/ανεμιστήρες

Παραγωγή αξονικού έργου ή αύξηση της πίεσης του ρευστού (τους συναντάμε στους ατμοηλεκτρικούς ή υδρoυλεκτρικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας).

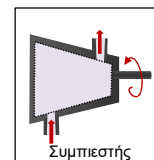
Στρόβιλος:

- Παραγωγή αξονικού έργου καθώς το ρευστό διέρχεται από το στρόβιλο με αποτέλεσμα να περιστρέφονται τα πτερύγια του στρόβιλου.
- Το έργο είναι θετικό γιατί παράγεται από το ρευστό



Συμπιεστές, αντλίες, ανεμιστήρες:

- Αύξηση της πίεσης του ρευστού
- Αρνητικό το έργο γιατί το καταναλώνει το ρευστό.
- Συμπιεστές: επιτυγχάνουν υψηλή αύξηση πίεσης αερίων
- Αντλίες: επιτυγχάνουν υψηλή αύξηση πίεσης υγρών
- Ανεμιστήρες: επιτυγχάνουν μικρή αύξηση πίεσης αερίων για την επίτευξη της κίνησής του αερίου.



Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

Μηχανολογικές διατάξεις σταθεροποιημένης ροής

Στρόβιλοι και Συμπιεστές/ αντλίες/ ανεμιστήρες

$$\dot{Q}_{net} - \dot{W}_{net} = \dot{m} \cdot \left(h_2 - h_1 + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} + g \cdot (z_2 - z_1) \right)$$

$\dot{Q}_{net} \cong 0$ Αμελητέα μεταφορά θερμότητας σε σχέση με το έργο της ατράκτου εκτός αν υπάρχει σύστημα ψύξης (π.χ. συμπιεστές)

$\Delta \dot{E}_{kin} \cong 0$ Πολύ μικρή ταχύτητα εκτός από τους στρόβιλους αλλά ακόμη κι εκεί η μεταβολή είναι αμελητέα σε σύγκριση με τη μεταβολή της ενθαλπίας και γι' αυτό συχνά παραλείπεται.

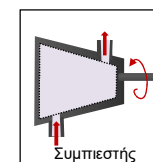
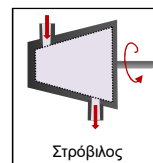
$\Delta \dot{E}_{\delta vn} \cong 0$ Πολύ μικρή υψομετρική διαφορά, ουσιαστικά αμελητέα μεταβολή δυναμικής ενέργειας

$$-\dot{W}_{net} = \dot{m} \cdot (h_2 - h_1) \Rightarrow \dot{W}_{net} = \dot{m} \cdot (h_1 - h_2)$$

$$\text{Όπου: } \dot{W}_{net} = \dot{W}_{out} - \dot{W}_{in}$$

$$\text{Στρόβιλοι: } \dot{W}_{out} = \dot{m} \cdot (h_1 - h_2)$$

$$\text{Συμπιεστές: } -\dot{W}_{in} = \dot{m} \cdot (h_1 - h_2)$$



Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

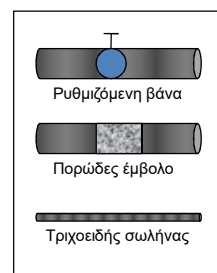
Μηχανολογικές διατάξεις σταθεροποιημένης ροής

Βαλβίδες στραγγαλισμού

Περιορισμός ροής με μείωση πίεσης ρευστού

Ρυθμιζόμενη βάνα, Πορώδες έμβολο, Τριχοειδής σωλήνας:

- Πτώση πίεσης χωρίς παραγωγή ή κατανάλωση έργου
- Συνήθως συνοδεύεται από μεγάλη πτώση θερμοκρασίας (μερικές φορές αύξηση της T)
- Η μεταβολή της θερμοκρασίας εξαρτάται από το συντελεστή Joule-Thomson (θα εξεταστεί στη συνέχεια)



Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

Μηχανολογικές διατάξεις σταθεροποιημένης ροής

Βαλβίδες στραγγαλισμού

$$\dot{Q}_{net} - \dot{W}_{net} = \dot{m} \cdot \left(h_2 - h_1 + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} + g \cdot (z_2 - z_1) \right)$$

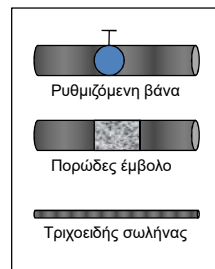
$\dot{Q}_{net} \cong 0$ Αμελητέα μεταφορά θερμότητας λόγω μικρού χρόνου διέλευσης και μικρής επιφάνειας, ουσιαστικά αδιαβατική ροή.

$\dot{W}_{net} = 0$ Απουσία ηλεκτρικού ή αξονικού έργου.

$\Delta \dot{E}_{kin} \cong 0$ Αν και η ταχύτητα εξόδου είναι συνήθως πολύ μεγαλύτερη από αυτήν της εισόδου, η αύξηση της κινητικής ενέργειας είναι συνήθως αμελητέα.

$\Delta \dot{E}_{pot} \cong 0$ Πολύ μικρή υψομετρική διαφορά αν υπάρχει, ουσιαστικά αμελητέα μεταβολή δυναμικής ενέργειας.

$$h_2 - h_1 = 0 \Rightarrow h_1 = h_2 \quad \text{ΙΣΕΝΘΑΛΠΙΚΗ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ}$$



Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

Μηχανολογικές διατάξεις σταθεροποιημένης ροής

Βαλβίδες στραγγαλισμού

$$h_2 - h_1 = 0 \Rightarrow h_1 = h_2 \quad \text{ΙΣΕΝΘΑΛΠΙΚΗ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ}$$

$$h_1 = h_2 \Rightarrow u_1 + P_1 v_1 = u_2 + P_2 v_2$$

➤ Εσωτερική ενέργεια + Ενέργεια Ροής = σταθερή!!!

Το τελικό αποτέλεσμα της διεργασίας στραγγαλισμού εξαρτάται από το εάν αυξάνεται η εσωτερική ενέργεια ή η ενέργεια ροής:

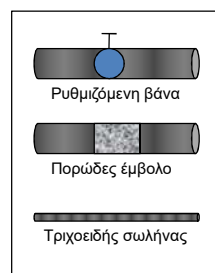
➤ Αύξηση Ενέργειας Ροής ($P_2 v_2 > P_1 v_1$) $\Rightarrow$ μείωση εσωτερικής ενέργειας, άρα μείωση θερμοκρασίας

$$u_1 + P_1 v_1 = u_2 + P_2 v_2 \Rightarrow u_1 - u_2 = P_2 v_2 - P_1 v_1$$

$$\text{αν } P_2 v_2 > P_1 v_1 \Rightarrow P_2 v_2 - P_1 v_1 > 0 \Rightarrow u_1 - u_2 > 0 \Rightarrow u_1 > u_2$$

➤ Μείωση Ενέργειας Ροής ($P_2 v_2 < P_1 v_1$) $\Rightarrow$ αύξηση εσωτερικής ενέργειας, άρα αύξηση θερμοκρασίας

Ιδανικά αέρια: $h = h(T) \Rightarrow$ θερμοκρασία θα πρέπει να παραμένει σταθερή



Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

Μηχανολογικές διατάξεις σταθεροποιημένης ροής

Θάλαμοι ανάμιξης

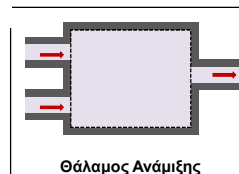
Ανάμιξη πολλαπλών ρευμάτων, π.χ. μπαταρία μπάνιου

$$\dot{m}_{out} = \sum_i \dot{m}_{i,in}$$

$$\dot{Q}_{net} - \dot{W}_{net} = \sum_j \left(\dot{m} (h + e_{κιν} + e_{δυν}) \right)_{j,out} - \sum_i \left(\dot{m} (h + e_{κιν} + e_{δυν}) \right)_{i,in}$$

$\dot{Q}_{net} \cong 0$ Συνήθως οι θάλαμοι είναι καλά μονωμένοι οπότε ουσιαστικά η ροή είναι αδιαβατική.

$\dot{W}_{net} = 0$ Απουσία ηλεκτρικού ή αξονικού έργου



$\dot{A}E_{κιν} \cong 0$ Συνήθως η κινητική ενέργεια άρα και η μεταβολή είναι αμελητέα

$\dot{A}E_{δυν} \cong 0$ Πολύ μικρή υψομετρική διαφορά, αν υπάρχει, ουσιαστικά αμελητέα μεταβολή δυναμικής ενέργειας

$$\dot{m}_{out} \cdot h_{out} = \sum_i (\dot{m} \cdot h)_{i,in}$$

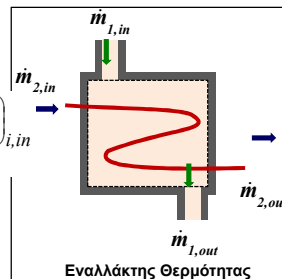
Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

Μηχανολογικές διατάξεις σταθεροποιημένης ροής

Εναλλάκτες θερμότητας

Ανταλλαγή θερμότητας χωρίς ανάμιξη ρευμάτων

$$\dot{Q}_{net} - \dot{W}_{net} = \sum_j \left(\dot{m} (h + e_{κιν} + e_{δυν}) \right)_{j,out} - \sum_i \left(\dot{m} (h + e_{κιν} + e_{δυν}) \right)_{i,in}$$



Το άθροισμα των εισερχόμενων παροχών μάζας να ισούται με το άθροισμα των εξερχόμενων παροχών μάζας.

Ισχύει ότι και στους θαλάμους ανάμιξης όσον αφορά το έργο και τις μεταβολές κινητικής και δυναμικής ενέργειας, με τη διαφορά ότι το κάθε ρεύμα θεωρείται ξεχωριστό! Δηλ. η παροχή του κάθε ρεύματος παραμένει σταθερή.

Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

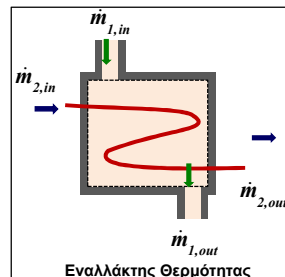
Μηχανολογικές διατάξεις σταθεροποιημένης ροής

Εναλλάκτες θερμότητας

Όσον αφορά στη μεταφορά θερμότητας, αυτή εξαρτάται από την επιλογή του όγκου ελέγχου:

- **ΟΕ: Ολόκληρος ο Εναλλάκτης** (δεδομένου ότι το εξωτερικό κέλυφος θεωρείται μονωμένο) $\Rightarrow \dot{Q}_{net} = 0$

$$0 = \sum_j (\dot{m} \cdot h)_{j,out} - \sum_i (\dot{m} \cdot h)_{i,in}$$



- **ΟΕ: Το ένα ρεύμα** (το $\dot{Q}$ παριστάνει την εναλλαγή θερμότητας μεταξύ των ρευμάτων) $\Rightarrow \dot{Q}_{net} \neq 0$

$$\dot{Q}_{net} = \sum_j (\dot{m} \cdot h)_{j,out} - \sum_i (\dot{m} \cdot h)_{i,in}$$

Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

Μηχανολογικές διατάξεις σταθεροποιημένης ροής

Ροή μέσω σωληνώσεων και αγωγών

$$\dot{Q}_{net} - \dot{W}_{net} = \dot{m} \cdot \left(h_2 - h_1 + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} + g \cdot (z_2 - z_1) \right)$$



$\dot{Q}_{net} \neq 0$ Μηδενίζεται μόνο στην περίπτωση που οι σωλήνες είναι καλά μονωμένοι.

$\dot{W}_{net} \neq 0$ Μηδενίζεται όταν ο όγκος ελέγχου δεν περιλαμβάνει αντλία, ανεμιστήρα ή σύστημα θέρμανσης π.χ. θερμαντικές σπείρες στο εσωτερικό του.

$\Delta \dot{E}_{kin} \neq 0$ Μηδενίζεται όταν έχουμε πολύ χαμηλές ταχύτητες ή αγωγούς σταθερής διαμέτρου και αμελητέων θερμικών φαινομένων.

$\Delta \dot{E}_{dyn} \neq 0$ Μηδενίζεται όταν οι υψομετρικές μεταβολές είναι αμελητέες.

Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

Ενεργειακή ανάλυση διεργασιών ασταθούς ροής

Διεργασία **ασταθούς ροής** ή **μεταβατικής ροής** ονομάζεται μια διεργασία κατά τη διάρκεια της οποίας λαμβάνουν χώρα μεταβολές εντός του όγκου ελέγχου σε συνάρτηση με το χρόνο.

π.χ. έκχυση ρευστού από ένα δοχείο υπό πίεση, φούσκωμα των ελαστικών αυτοκινήτων ή αερόστατων, μαγείρεμα σε μια κοινή χύτρα ταχύτητας.

Διαφορές διεργασιών σταθεροποιημένης και ασταθούς ροής:

- Οι διεργασίες σταθεροποιημένης ροής μπορεί να συνεχίζονται επ' αόριστον, ενώ οι διεργασίες ασταθούς ροής ξεκινούν και τερματίζουν σε ένα πεπερασμένο χρόνο Δt .
- Τα συστήματα σταθεροποιημένης ροής είναι αμετάβλητα σε χώρο, μέγεθος και σχήμα. Τα συστήματα ασταθούς ροής κατέχουν ορισμένη θέση στο χώρο αλλά ενδέχεται να εμπλέκουν κινούμενα όρια και επομένως έργο ογκομεταβολής.

Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

Ενεργειακή ανάλυση διεργασιών ασταθούς ροής

Μια διεργασία **ασταθούς ροής** μπορεί να αναπαρασταθεί από μια διεργασία **ομοιόμορφης ροής**.

Σε κάθε t η κατάσταση στον όγκο ελέγχου είναι ομοιόμορφη $\Rightarrow$ οι ιδιότητες του ρευστού δε μεταβάλλονται ως προς το χρόνο και το χώρο σε μία είσοδο ή έξοδο.

$$\left(\dot{Q}_{in} + \dot{W}_{in} + \sum_{in} (\dot{m} \cdot \theta) \right) - \left(\dot{Q}_{out} + \dot{W}_{out} + \sum_{out} (\dot{m} \cdot \theta) \right) = (\dot{m}_2 e_2 - \dot{m}_1 e_1)_{system}$$

Όπου: in : είσοδος, out : έξοδος, 1: αρχική κατάσταση, 2: τελική κατάσταση

$\theta = h + e_{κιν} + e_{δυν} = h + 1/2 \cdot v^2 + gz$ η ενέργεια μιας ροής ενός ρευστού σε ένα σημείο εισόδου ή εξόδου ανά μονάδα μάζας

$e = u + e_{κιν} + e_{δυν} = u + 1/2 \cdot v^2 + gz$ η ενέργεια του μη ρέοντος ρευστού εντός του ΟΕ ανά μονάδα μάζας

Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

Ενεργειακή ανάλυση διεργασιών ασταθούς ροής

Όταν $\Delta E_{\text{κιν}} \approx 0$ και $\Delta E_{\text{δυν}} \approx 0$:

$$Q_{\text{net}} - W_{\text{net}} = \sum_{\text{out}} m \cdot h - \sum_{\text{in}} m \cdot h + (m_2 \cdot u_2 - m_1 \cdot u_1)_{\text{system}}$$

Όπου: $Q_{\text{net}} = Q_{\text{in}} - Q_{\text{out}}$ η συνολική θερμότητα εισόδου

$W_{\text{net}} = W_{\text{out}} - W_{\text{in}}$ το συνολικό έργο εισόδου

Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

Μηχανολογικές διατάξεις σταθεροποιημένης ροής

Παράδειγμα:

6.2. Διοξειδίο του άνθρακα εισέρχεται με σταθεροποιημένη ροή σε ένα αδιαβατικό ακροφύσιο σε πίεση 1 MPa, θερμοκρασία 497 °C και παροχή μάζας 6000 kg/h, και εξέρχεται από το ακροφύσιο σε πίεση 100 kPa και με ταχύτητα 450 m/s. Η διατομή εισόδου του ακροφυσίου είναι 40 cm². Να προσδιορίσετε (α) την ταχύτητα εισόδου και (β) τη θερμοκρασία εξόδου.

Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

Μηχανολογικές διατάξεις σταθεροποιημένης ροής

Παράδειγμα:

6.3 Κορεσμένος ατμός ψυκτικού R-134a εισέρχεται σε έναν αδιαβατικό συμπιεστή σε πίεση 160 kPa και με παροχή όγκου $2 \text{ m}^3/\text{min}$ και εξέρχεται από αυτόν σε πίεση 900 kPa και θερμοκρασία 40°C . Να υπολογίσετε την ισχύ εισόδου του συμπιεστή.

