

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.

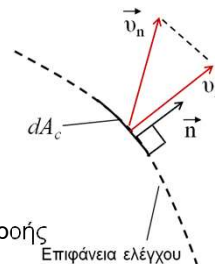
Ο διαφορικός ρυθμός ροής μάζας ενός ρευστού το οποίο ρέει διαμέσου μιας στοιχειώδους επιφάνειας dA_c μιας εγκάρσιας διατομής της ροής, εκφράζεται ως εξής:

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

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

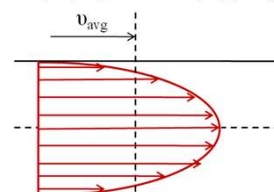
Ο ρυθμός ροής μάζας ενός ρευστού το οποίο ρέει διαμέσου της επιφάνειας της διατομής ενός σωλήνα ή ενός αγωγού προκύπτει ολοκληρώνοντας την προηγούμενη εξίσωση:

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

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

Ασυμπίεστη ροή ή συμπίεσμένη 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

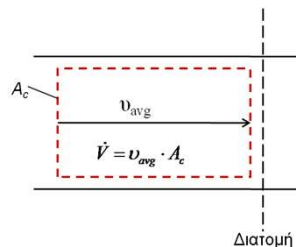
Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

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

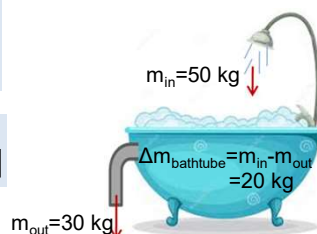
Η συνολική μεταφορά μάζας από ή προς έναν όγκο ελέγχου κατά τη διάρκεια ενός χρονικού διαστήματος Δt ισούται με τη συνολική μεταβολή (αύξηση ή ελάττωση) της ολικής μάζας εντός του όγκου ελέγχου, κατά το χρονικό αυτό διάστημα.

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

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

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

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:

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

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:

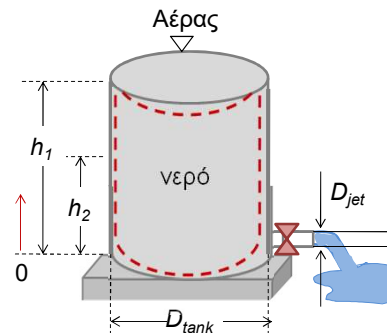
- «Αρχή διατήρησης του όγκου» δεν υπάρχει. Οι παροχές όγκου από και προς μια διάταξη σταθεροποιημένης ροής, ενδέχεται να είναι διαφορετικές (π.χ. η παροχή όγκου στην είσοδο και έξοδο ενός αεροσυμπιεστή).
- Για σταθεροποιημένες ροές υγρών, οι παροχές όγκου και μάζας παραμένουν σχεδόν σταθερές επειδή τα 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

Ισοζύγιο μάζας για διεργασίες σταθεροποιημένης ροής

Λύση:

Σύστημα (όγκος ελέγχου): Ο όγκος που καταλαμβάνει το νερό

Πρόκειται για μία διεργασία μη σταθεροποιημένης ροής αφού η ποσότητα της μάζας εντός του όγκου ελέγχου μεταβάλλεται με την πάροδο του χρόνου

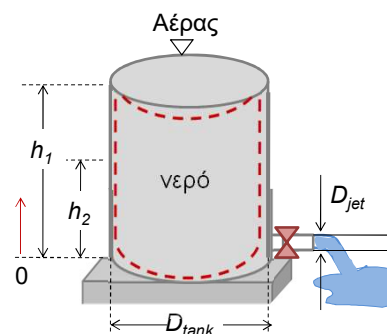
Η εξίσωση διατήρησης της μάζας γράφεται:

$$\dot{m}_{in} - \dot{m}_{out} = \frac{dm_{CV}}{dt} \quad (1)$$

Επειδή κατά τη διάρκεια της διεργασίας δεν εισέρχεται μάζα στον όγκο ελέγχου:

$$\dot{m}_{in} = 0$$

$$(1) \Rightarrow -\dot{m}_{out} = \frac{dm_{CV}}{dt} \quad (2)$$



Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

Ισοζύγιο μάζας για διεργασίες σταθεροποιημένης ροής

Λύση:

Η παροχή μάζας του νερού που εκρέει είναι:

$$\dot{m}_{out} = (\rho \cdot v \cdot A)_{out} = \rho \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \cdot A_{jet} \quad (3)$$

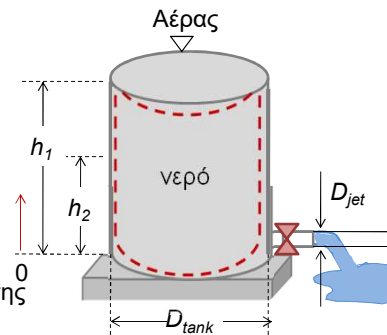
όπου: $A_{jet} = \frac{\pi \cdot D_{jet}^2}{4}$ Η εγκάρσια διατομή του πίδακα, η οποία παραμένει σταθερή

$$(3) \Rightarrow \dot{m}_{out} = \rho \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \cdot \frac{\pi \cdot D_{jet}^2}{4} \quad (4)$$

Δεδομένου ότι η πυκνότητα του νερού παραμένει σταθερή, η μάζα του νερού εντός της δεξαμενής σε κάθε χρονική στιγμή θα δίνεται από τη σχέση:

$$m_{CV} = \rho \cdot V = \rho \cdot A_{tank} \cdot h \quad (5)$$

όπου: $A_{tank} = \frac{\pi \cdot D_{tank}^2}{4}$ Το εμβαδό της βάσης της κυλινδρικής δεξαμενής



Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

Ισοζύγιο μάζας για διεργασίες σταθεροποιημένης ροής

Λύση:

$$(5) \Rightarrow m_{CV} = \rho \cdot \frac{\pi \cdot D_{tank}^2}{4} \cdot h \quad (6) \quad \dot{m}_{out} = \rho \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \cdot \frac{\pi \cdot D_{jet}^2}{4} \quad (4)$$

$$(2) \Rightarrow -\dot{m}_{out} = \frac{dm_{CV}}{dt} \stackrel{(4)}{\Rightarrow} -\rho \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \cdot \pi \cdot \frac{D_{jet}^2}{4} = \frac{d(\rho \cdot \pi \cdot \frac{D_{tank}^2}{4} \cdot h)}{dt}$$

$$\Rightarrow -\cancel{\rho} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \cdot \cancel{\pi} \cdot \frac{D_{jet}^2}{4} = \cancel{\rho} \cdot \cancel{\pi} \cdot \frac{D_{tank}^2}{4} \cdot \frac{dh}{dt} \Rightarrow dt = -\frac{D_{tank}^2}{D_{jet}^2} \cdot \frac{dh}{\sqrt{2 \cdot g \cdot h}}$$

$$\text{Ολοκληρώνοντας: } \int_0^t dt = -\frac{D_{tank}^2}{D_{jet}^2 \cdot \sqrt{2 \cdot g}} \cdot \int_{h_1}^{h_2} \frac{dh}{\sqrt{h}} \Rightarrow t = \frac{2 \cdot \sqrt{h_1} - 2 \cdot \sqrt{h_2}}{\sqrt{2 \cdot g}} \cdot \left(\frac{D_{tank}}{D_{jet}}\right)^2$$

$$\Rightarrow t = \frac{2 \cdot \sqrt{1.2m} - 2 \cdot \sqrt{0.6m}}{\sqrt{2 \cdot 9.81m/s^2}} \cdot \left(\frac{0.9m}{0.013m}\right)^2 \Rightarrow t = 694s = 11.6 \text{ min}$$

Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

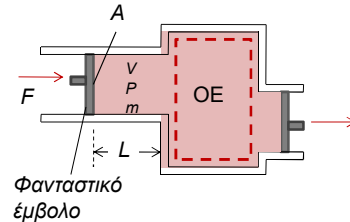
Έργο ροής και ενέργεια ρέοντος ρευστού

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

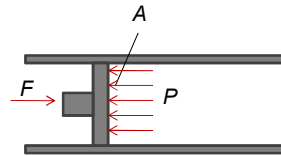


Το παραγόμενο έργο κατά την ώθηση του ρευστού:

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

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)

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

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)

$$\theta = P \cdot v + e = \underbrace{P \cdot v + u}_h + e_{kin} + e_{pot} \quad [kJ/kg]$$

h

$$\theta = h + e_{kin} + e_{pot} = h + \frac{v^2}{2} + g \cdot z \quad [kJ/kg]$$

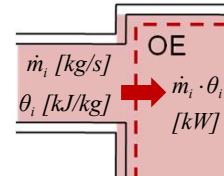
Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

Έργο ροής και ενέργεια ρέοντος ρευστού

Μεταφορά ενέργειας μέσω μάζας

Ποσότητα μεταφερόμενης ενέργειας:

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



Ρυθμός μεταφερόμενης ενέργειας:

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

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

$$\underbrace{\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out}}_{\text{Ρυθμός συνολικής μεταφοράς ενέργειας μέσω θερμότητας, έργου και μάζας}} = \underbrace{\frac{\Delta \dot{E}_{system}}{dt}}_{\text{Ρυθμός μεταβολής εσωτερικής, κινητικής, δυναμικής κ.λ.π. ενέργειας}} = 0 \quad (\text{σταθ.})$$

$$\underbrace{\dot{E}_{in}}_{\text{Ρυθμός συνολικής μεταφοράς εισερχόμενης ενέργειας μέσω θερμότητας, έργου και μάζας}} = \underbrace{\dot{E}_{out}}_{\text{Ρυθμός συνολικής μεταφοράς εξερχόμενης ενέργειας μέσω θερμότητας, έργου και μάζας}} \quad [kW]$$

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

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

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

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

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

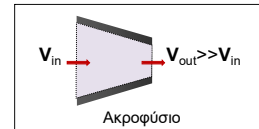
Μηχανολογικές διατάξεις σταθεροποιημένης ροής

Ακροφύσια και Διαχύτες

Κινητήρες μηχανών αεριοθούμενων, πυραύλων, διαστημόπλοιων

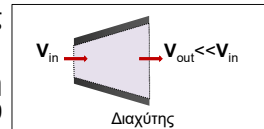
Ένα ακροφύσιο είναι μία διάταξη που αυξάνει τη ταχύτητα ενός ρευστού σε βάρος της πίεσής του.

- 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

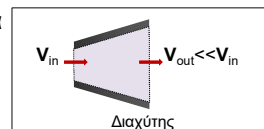
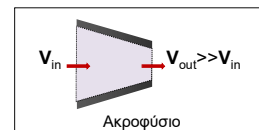
$$\dot{Q}_{net} - \dot{W}_{net} = \dot{m} \cdot \left(h_2 - h_1 + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} + g \cdot (z_2 - z_1) \right)$$

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

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

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

$\Delta \dot{E}_{κιν} \neq 0$ 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

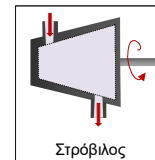
Μηχανολογικές διατάξεις σταθεροποιημένης ροής

Στρόβιλοι και Συμπιεστές/αντλίες/ανεμιστήρες

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

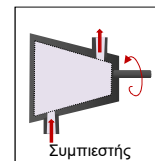
Στρόβιλος:

- Παραγωγή αξονικού έργου καθώς το ρευστό διέρχεται από το στρόβιλο με αποτέλεσμα να περιστρέφονται τα περύγια 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.

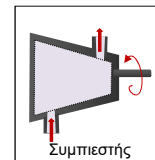
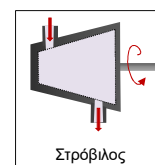
$\Delta \dot{E}_{dyn} \cong 0$ Πολύ μικρή υψομετρική διαφορά, ουσιαστικά αμελητέα μεταβολή δυναμικής ενέργειας

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

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

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

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



Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

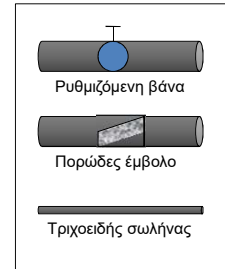
Μηχανολογικές διατάξεις σταθεροποιημένης ροής

Βαλβίδες στραγγαλισμού

Περιορισμός ροής με μείωση πίεσης ρευστού

Ρυθμιζόμενη βάννα, 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

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

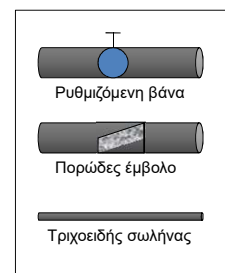
$\dot{Q}_{net} \cong 0$ Αμελητέα μεταφορά θερμότητας λόγω μικρού χρόνου διέλευσης και μικρής επιφάνειας, ουσιαστικά αδιαβατική ροή.

$\dot{W}_{net} = 0$ 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.

$\Delta \dot{E}_{don} \cong 0$ 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

$$h_2 - h_1 = 0 \Rightarrow h_1 = h_2$$

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:

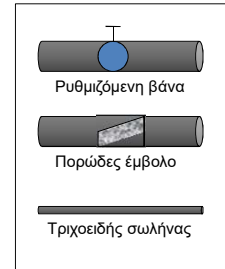
- Αύξηση Ενέργειας Ροής ($P_2 v_2 > P_1 v_1$) $\Rightarrow$ μείωση εσωτερικής ενέργειας, άρα μείωση θερμοκρασίας

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

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

- 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

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

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

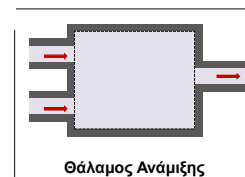
$\dot{Q}_{net} \cong 0$ Συνήθως οι θάλαμοι είναι καλά μονωμένοι οπότε ουσιαστικά η ροή είναι αδιαβατική.

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

$\Delta \dot{E}_{κιν} \cong 0$ Συνήθως η κινητική ενέργεια άρα και η μεταβολή είναι αμελητέα

$\Delta \dot{E}_{δυν} \cong 0$ 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

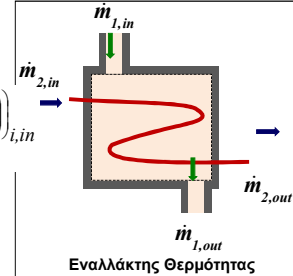
Εναλλάκτες θερμότητας

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

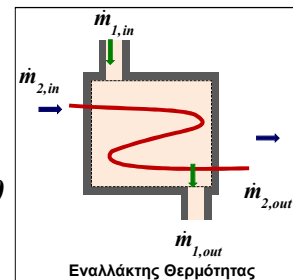
Όσον αφορά στη μεταφορά θερμότητας, αυτή εξαρτάται από την επιλογή του όγκου ελέγχου:

- **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) $\Rightarrow \dot{Q}_{net} \neq 0$

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

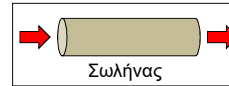


Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

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.

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

$\dot{E}_{dyn} \neq 0$ 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

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

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

Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

Ενεργειακή ανάλυση διεργασιών ασταθούς ροής

Όταν $\Delta E_{kin} \approx 0$ και $\Delta E_{pot} \approx 0$:

$$\dot{Q}_{net} - \dot{W}_{net} = \sum_{out} \dot{m} \cdot h - \sum_{in} \dot{m} \cdot h + (\dot{m}_2 \cdot u_2 - \dot{m}_1 \cdot u_1)_{system}$$

Όπου: $\dot{Q}_{net} = \dot{Q}_{in} - \dot{Q}_{out}$ η συνολική θερμότητα εισόδου

$\dot{W}_{net} = \dot{W}_{out} - \dot{W}_{in}$ το συνολικό έργο εισόδου

Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

Μηχανολογικές διατάξεις σταθεροποιημένης ροής

Παράδειγμα:

6.2. Διοξείδιο 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

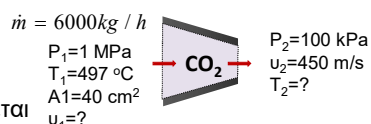
Λύση:

➤ Διεργασία σταθεροποιημένης ροής

➤ Μπορούμε να θεωρήσουμε ότι το CO₂ συμπεριφέρεται σαν ιδανικό αέριο εφόσον:

$$T_1 = (497 + 273) \text{ K} = 770 \text{ K} > T_{cr} = 304.2 \text{ K} \text{ και } P_1 = 1 \text{ MPa} < P_{cr} = 7.39 \text{ MPa}$$

Από ΠΑ1: $R = 0.1889 \text{ kJ/kg K}$ και $M_r = 44.01 \text{ kg/kmol}$



Critical Properties of Phase Change fluids (A-1)

Substance	Formula	Molar Mass M kg/kmol	Gas constant R kJ/(kg K)	Critical-Point Properties		
				Temperature T _{cr} K	Pressure P _{cr} MPa	Volume V _{cr} m ³ /kmol
Air	--	28.970	0.2870	132.5	3.77	0.0883
Ammonia	NH ₃	17.030	0.4882	405.5	11.28	0.0724
Argon	Ar	39.948	0.2081	151	4.86	0.0749
Benzene	C ₆ H ₆	78.115	0.1064	562	4.92	0.2603
Bromine	Br ₂	159.808	0.0520	584	10.34	0.1355
n-Butane	C ₄ H ₁₀	58.124	0.1430	425.2	3.8	0.2547
Carbon Dioxide	CO ₂	44.010	0.1889	304.2	7.39	0.0943
Carbon Monoxide	CO	28.011	0.2968	133	3.5	0.093
Carbon Tetrachloride	CCl ₄	153.820	0.0541	556.4	4.56	0.2759

Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

Μηχανολογικές διατάξεις σταθεροποιημένης ροής

Λύση:

➤ Διεργασία σταθεροποιημένης ροής

➤ Μπορούμε να θεωρήσουμε ότι το CO₂ συμπεριφέρεται σαν ιδανικό αέριο εφόσον:

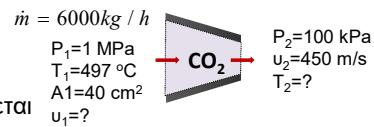
$$T_1 = (497 + 273) \text{ K} = 770 \text{ K} > T_{cr} = 304.2 \text{ K} \text{ και } P_1 = 1 \text{ MPa} < P_{cr} = 7.39 \text{ MPa}$$

Από ΠΑ1: $R = 0.1889 \text{ kJ/kg K}$ και $M_r = 44.01 \text{ kg/kmol}$

➤ $\Delta \dot{E}_{\delta v} \cong 0$ Πολύ μικρή υψομετρική διαφορά

➤ $\dot{Q} \cong 0$ Αδιαβατικό ακροφύσιο

➤ $\dot{W} = 0$ Δεν υπάρχουν αλληλεπιδράσεις έργου



Αρχή διατήρησης της μάζας: $\dot{m}_{in} = \dot{m}_{out} \Rightarrow \dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m} = 6000 \text{ kg/h} = 1.67 \text{ kg/s}$

Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

Μηχανολογικές διατάξεις σταθεροποιημένης ροής

Λύση:

(α) Υπολογισμός της ταχύτητας εισόδου:

Η παροχή μάζας σχετίζεται με την ταχύτητα μέσω της εξίσωσης:

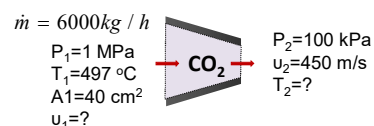
$$\dot{m} = \rho_1 \cdot v_1 \cdot A_1 \Rightarrow \dot{m} = \frac{1}{v_1} v_1 \cdot A_1 \Rightarrow v_1 = \frac{\dot{m} \cdot v_1}{A_1} \quad (1)$$

Ο ειδικός όγκος θα υπολογιστεί από την καταστατική εξίσωση των ιδανικών αερίων:

$$P_1 \cdot v_1 = R \cdot T_1 \Rightarrow v_1 = \frac{R \cdot T_1}{P_1} \Rightarrow v_1 = \frac{R \cdot T_1}{P_1}$$

$$\Rightarrow v_1 = \frac{0.1889 (\text{kPa} \cdot \text{m}^3 / \text{kg} \cdot \text{K}) \cdot 770 \text{ K}}{1000 \text{ kPa}} \Rightarrow v_1 = 0.146 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

$$(1) \Rightarrow v_1 = \frac{1.67 \text{ kg/s} \cdot 0.146 \text{ m}^3 / \text{kg}}{40 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} \Rightarrow v_1 = 60.83 \text{ m/s}$$



Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

Μηχανολογικές διατάξεις σταθεροποιημένης ροής

Λύση:

(β) Υπολογισμός της θερμοκρασίας εξόδου:

Ισοζύγιο ενέργειας για το ακροφύσιο:

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

άγνωστο

γνωστό από (α)

γνωστό από εκφώνηση

$$\dot{m} = 6000 \text{ kg/h}$$

$$P_1 = 1 \text{ MPa}$$

$$T_1 = 497^\circ \text{C}$$

$$A_1 = 40 \text{ cm}^2$$

$$v_1 = ?$$



$$P_2 = 100 \text{ kPa}$$

$$v_2 = 450 \text{ m/s}$$

$$T_2 = ?$$

Από ΠΑ20 για $T = 770 \text{ K}$ βρίσκουμε την γραμμομοριακή ενθαλπία στην είσοδο:

Ideal-gas (IG Model) properties of carbon dioxide (CO₂) (A-20)

T K	h kJ/kmol	u kJ/kmol	s ⁰ kJ/(kmol * K)
750	29629	23394	254.117
760	29135	22816	254.787
770	30644	24242	255.452
780	31154	24669	256.110

$$\bar{h}_1 = 30644 \text{ kJ/mol} \Rightarrow h_1 = \frac{30644 \text{ kJ/mol}}{44.01 \text{ kg/mol}} \\ \Rightarrow h_1 = 696.29 \text{ kJ/kg}$$

Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

Μηχανολογικές διατάξεις σταθεροποιημένης ροής

$$(2) \Rightarrow h_2 = h_1 + \frac{1}{2}(v_1^2 - v_2^2) \Rightarrow h_2 = 696.29 \text{ kJ/kg} + \frac{1}{2}(60.83^2 - 450^2) \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \cdot \frac{1 \text{ kJ/kg}}{1000 \text{ m}^2/\text{s}^2}$$

$$\Rightarrow h_2 = 596.89 \text{ kJ/kg} \Rightarrow \bar{h}_2 = 596.89 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot 44.01 \frac{\text{kg}}{\text{mol}} \Rightarrow \bar{h}_2 = 26269 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

Από ΠΑ20 βρίσκουμε μεταξύ ποιων θερμοκρασιών βρίσκεται η τιμή $\bar{h}_2 = 26269 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$

Ideal-gas (IG Model) properties of carbon dioxide (CO₂) (A-20)

T K	h kJ/kmol	u kJ/kmol	s ⁰ kJ/(kmol * K)
650	24674	19270	247.032
660	25160	19673	247.773
670	25648	20078	248.507
680	26138	20484	249.233
690	26631	20894	249.952

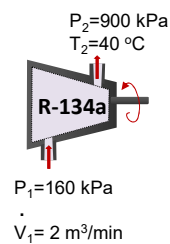
Με γραμμική παρεμβολή βρίσκουμε
 $T_2 = 682.7 \text{ K}$

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 m³/min και εξέρχεται από αυτόν σε πίεση 900 kPa και θερμοκρασία 40 °C. Να υπολογίσετε την ισχύ εισόδου του συμπιεστή.



Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

Μηχανολογικές διατάξεις σταθεροποιημένης ροής

Λύση:

Ισοζύγιο ενέργειας για συμπιεστή:

$$-\dot{W}_{in} = \dot{m} \cdot (h_1 - h_2) \Rightarrow \dot{W}_{in} = \dot{m} \cdot (h_2 - h_1) \quad (1)$$

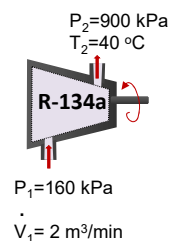
↓ ↓ ↓
άγνωστα

Ισοζύγιο μάζας για συμπιεστή:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}$$

όπου: $\dot{m} = \frac{\dot{V}_1}{v_1}$ (2) ↗ γνωστό από εκφώνηση

↓
άγνωστο



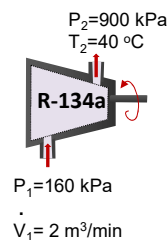
Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

Μηχανολογικές διατάξεις σταθεροποιημένης ροής

Λύση:

Κατάσταση 1: $P_1=160 \text{ kPa}$
 Κορεσμένος
 ατμός R-134a

ΠΑ12 $\rightarrow$ $v_1=v_{g@160\text{kPa}}=0.1229 \text{ m}^3/\text{kg}$
 $h_1=h_{g@160\text{kPa}}=237.97 \text{ kJ/kg}$



Πίνακας A12 – Κορεσμένο Ψυκτικό R-134a

Πίεση	Θερμοκρασία κορεσμού	Ειδικός όγκος		Ειδική εσωτερική ενέργεια				Ειδική ενθαλπία			Ειδική εντροπία		
		Κορεσμένου υγρού	Κορεσμένου ατμού	Κορεσμένου υγρού	Εξαιτ. ατμού	Κορεσμένου ατμού	Κορεσμένου υγρού	Εξαιτ. ατμού	Κορεσμένου ατμού	Κορεσμένου υγρού	Εξαιτ. ατμού	Κορεσμένου ατμού	Κορεσμένου ατμού
P	T _{sat}	v _f	v _g	u _f	u _{fg}	u _g	h _f	h _{fg}	h _g	s _f	s _{fg}	s _g	
[MPa]	[°C]	[m ³ /kg]	[m ³ /kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/(kg·K)]	[kJ/(kg·K)]	[kJ/(kg·K)]	[kJ/(kg·K)]
0.06	-37.07	0.0007097	0.3100	3.41	202.71	206.12	3.46	221.26	224.72	0.0147	0.9373	0.9520	
0.08	-31.21	0.0007184	0.2366	10.41	199.05	209.46	10.47	217.92	228.39	0.0440	0.9007	0.9447	
0.10	-26.43	0.0007258	0.1917	16.22	195.96	212.18	16.29	215.06	231.35	0.0678	0.8717	0.9395	
0.12	-22.36	0.0007323	0.1614	21.23	193.27	214.50	21.32	212.54	233.86	0.0879	0.8475	0.9354	
0.14	-18.80	0.0007381	0.1395	25.66	190.86	216.52	25.77	210.27	236.04	0.1055	0.8267	0.9322	
0.16	-17.21	0.0007408	0.1229	27.66	189.76	217.42	27.78	209.23	237.01	0.1133	0.8176	0.9309	
0.16	-15.62	0.0007435	0.1229	29.66	188.66	218.32	29.78	208.19	237.97	0.1211	0.8084	0.9295	
0.70	26.72	0.0008328	0.0292	86.19	155.23	241.42	86.78	175.07	261.85	0.3242	0.5838	0.9080	
0.80	31.33	0.0008454	0.0255	92.75	151.03	243.78	93.42	170.73	264.15	0.3459	0.5607	0.9066	
0.90	35.53	0.0008576	0.0226	98.79	147.09	245.88	99.56	166.62	266.18	0.3656	0.5398	0.9054	
1.00	39.39	0.0008695	0.0202	104.42	143.35	247.77	105.29	162.68	267.97	0.3838	0.5205	0.9043	

Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

Μηχανολογικές διατάξεις σταθεροποιημένης ροής

Λύση:

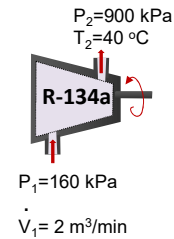
$$(2) \Rightarrow \dot{m} = \frac{\dot{V}_1}{v_1} \Rightarrow \dot{m} = \frac{2 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} \cdot 60 \frac{\text{s}}{\text{min}}}{0.1269 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}} \Rightarrow \dot{m} = 0.271 \text{ kg/s}$$

Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

Μηχανολογικές διατάξεις σταθεροποιημένης ροής

Λύση:

Κατάσταση 2: $P_2=900 \text{ kPa}$
 $T_2=40^\circ\text{C}$ } ΠΑ12 Για $P_2=900 \text{ kPa}$:
 $T_{\text{sat}@900\text{kPa}}=35.53^\circ\text{C} < T_2=40^\circ\text{C}$
 ↓
 Υπέρθερμος ατμός



Πίνακας A12 – Κορεσμένο Ψυκτικό R-134a

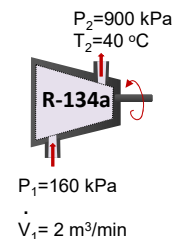
Πίεση	Θερμότητα κορεσμού	Ειδικός όγκος		Ειδική εσωτερική ενέργεια			Ειδική ενθαλπία			Ειδική εντροπία		
		Κορεσμένου υγρού	Κορεσμένου ατμού	Κορεσμένου υγρού	Εξαιτμ. υγρού	Κορεσμένου ατμού	Κορεσμένου υγρού	Εξαιτμ. ατμού	Κορεσμένου ατμού	Κορεσμένου υγρού	Εξαιτμ. ατμού	Κορεσμένου ατμού
P	T sat	v _f	v _g	u _f	u _g	u _g	h _f	h _g	h _g	s _f	s _g	s _g
[MPa]	[°C]	[m ³ /kg]	[m ³ /kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/(kg·K)]	[kJ/(kg·K)]	[kJ/(kg·K)]
0.06	-37.07	0.0007097	0.3100	3.41	202.71	206.12	3.46	221.26	224.72	0.0147	0.9373	0.9520
0.08	-31.21	0.0007184	0.2366	10.41	199.05	209.46	10.47	217.92	228.39	0.0440	0.9007	0.9447
0.10	-26.43	0.0007258	0.1917	16.22	195.96	212.18	16.29	215.06	231.35	0.0678	0.8717	0.9395
0.12	-22.36	0.0007323	0.1614	21.23	193.27	214.50	21.32	212.54	233.86	0.0879	0.8475	0.9354
0.14	-18.80	0.0007381	0.1395	25.66	190.86	216.52	25.77	210.27	236.04	0.1055	0.8267	0.9322
0.15	-17.21	0.0007408	0.1312	27.66	189.76	217.42	27.78	209.23	237.01	0.1133	0.8176	0.9309
0.16	-15.62	0.0007435	0.1229	29.66	188.66	218.32	29.78	208.19	237.97	0.1211	0.8084	0.9295
0.70	26.72	0.0008328	0.0292	86.19	155.23	241.42	86.78	175.07	261.85	0.3242	0.5838	0.9080
0.80	31.33	0.0008454	0.0255	92.75	151.03	243.78	93.42	170.73	264.15	0.3459	0.5607	0.9066
0.90	35.53	0.0008576	0.0226	98.79	147.09	245.88	99.56	166.62	266.18	0.3656	0.5398	0.9054
1.00	39.39	0.0008695	0.0202	104.42	143.35	247.77	105.29	162.68	267.97	0.3838	0.5205	0.9043

Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

Μηχανολογικές διατάξεις σταθεροποιημένης ροής

Λύση:

Κατάσταση 2: $P_2=90 \text{ kPa}$
 $T_2=40^\circ\text{C}$ } ΠΑ12 Για $P_2=900 \text{ kPa}$:
 $T_{\text{sat}@900\text{kPa}}=35.53^\circ\text{C} < T_2=40^\circ\text{C}$
 ↓
 Υπέρθερμος ατμός



Πίνακας A13 – Υπέρθερμος ατμός Ψυκτικό R-134a

T	P = 0.90 MPa (35.53°C)			
	v	u	h	s
[°C]	[m³/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/(kg·K)]
30	0.02255	245.88	266.18	0.9054
40	0.02325	250.32	271.25	0.9217
50	0.02472	260.09	282.34	0.9566
60	0.02609	269.72	293.21	0.9897
70	0.02738	279.30	303.94	1.0214
80	0.02861	288.87	314.62	1.0521
90	0.02980	298.46	325.28	1.0819
100	0.03095	308.11	335.96	1.1109
110	0.03207	317.82	346.68	1.1392
120	0.03316	327.62	357.47	1.1670
130	0.03423	337.52	368.33	1.1943
140	0.03529	347.51	379.27	1.2211
150	0.03633	357.61	390.31	1.2475

Από ΠΑ13 για $P=0.9 \text{ MPa}$ και $T_2=40^\circ\text{C}$:

$$h_2=271.25 \text{ kJ/kg}$$

Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

Μηχανολογικές διατάξεις σταθεροποιημένης ροής

Λύση:

$$(1) \Rightarrow \dot{W}_{in} = \dot{m} \cdot (h_2 - h_1) \Rightarrow \dot{W}_{in} = 0.271 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot (271.25 - 237.25) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

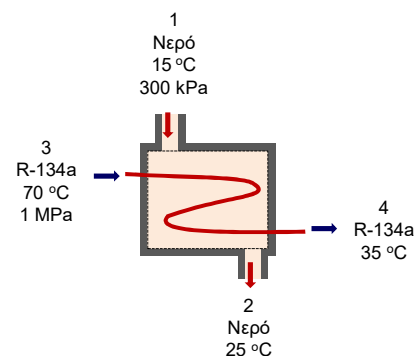
$$\Rightarrow \dot{W}_{in} = 9.02 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} \Rightarrow \dot{W}_{in} = 9.02 \text{ kW}$$

Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

Μηχανολογικές διατάξεις σταθεροποιημένης ροής

Παράδειγμα:

6.4 Ψυκτικό R-134a πρόκειται να ψυχθεί με νερό σε έναν εναλλάκτη θερμότητας. Το ψυκτικό εισέρχεται στον εναλλάκτη με παροχή μάζας 6 kg/min σε 1 MPa και 70 °C και εξέρχεται στους 35 °C. Το νερό για την ψύξη εισέρχεται σε 300 kPa και 15 °C και εξέρχεται στους 25 °C. Αγνοώντας οποιαδήποτε πτώση της πίεσης να προσδιορίσετε (α) την απαιτούμενη παροχή μάζας του νερού ψύξης, και (β) το ρυθμό μεταφοράς θερμότητας από το ψυκτικό προς το νερό.



Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

Μηχανολογικές διατάξεις σταθεροποιημένης ροής

Λύση:

(α) Υπάρχουν 2 ροές ρευστών (δηλ. 2 είσοδοι και 2 έξοδοι) αλλά δεν υπάρχει ανάμιξη. Επομένως, θα γράψουμε το ισοζύγιο μάζας για κάθε ροή ρευστού χωριστά.

Για το νερό: $\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}_W$ (1)

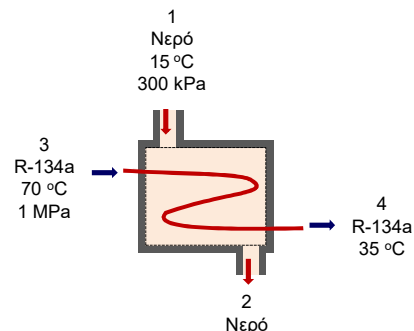
Για το ψυκτικό: $\dot{m}_3 = \dot{m}_4 = \dot{m}_R$ (2)

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

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

$$\Rightarrow 0 = (\dot{m}_2 \cdot h_2 + \dot{m}_4 \cdot h_4) - (\dot{m}_1 \cdot h_1 + \dot{m}_3 \cdot h_3)$$

$$\Rightarrow \dot{m}_1 \cdot h_1 + \dot{m}_3 \cdot h_3 = \dot{m}_2 \cdot h_2 + \dot{m}_4 \cdot h_4 \xrightarrow{(1)} \dot{m}_W \cdot h_1 + \dot{m}_R \cdot h_3 = \dot{m}_W \cdot h_2 + \dot{m}_R \cdot h_4$$



Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

Μηχανολογικές διατάξεις σταθεροποιημένης ροής

$$\Rightarrow \dot{m}_W = \dot{m}_R \cdot \frac{(h_4 - h_3)}{(h_1 - h_2)} \quad (3)$$

↓
γνωστό από εκφώνηση

Επομένως, πρέπει να υπολογίσουμε τις ειδικές ενθαλπίες των τεσσάρων καταστάσεων

Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

Μηχανολογικές διατάξεις σταθεροποιημένης ροής

Νερό

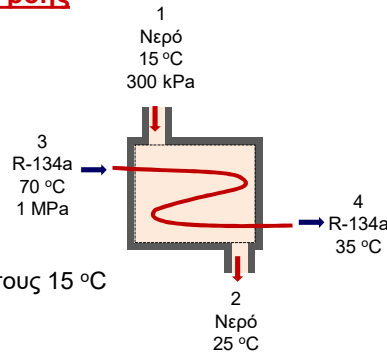
Κατάσταση 1:

$P_1=300 \text{ kPa}$
 $T_1=15^\circ\text{C}$ } ΠΑ5

Για $P_2=300 \text{ kPa}=0.3 \text{ MPa}$:
 $T_{\text{sat}@300\text{kPa}}=133.52^\circ\text{C} > 15^\circ\text{C}$

Συμπιεσμένο υγρό

Το προσεγγίζουμε ως κορεσμένο υγρό στους 15°C



ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΤΜΟΥ 2 - ΚΟΡΕΣΜΕΝΟ H_2O (A-5)

P	$T_{\text{sat@P}}$	v_f	v_g	u_f	u_{fg}	u_g	h_f	h_{fg}	h_g
[MPa]	[°C]	[m³/kg]	[m³/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]
0.100	99.61	0.001043	1.69400	417.36	2088.74	2506.1	417.46	2258.04	2675.5
0.125	105.97	0.001048	1.37490	444.19	2069.31	2513.5	444.32	2241.08	2685.4
0.150	111.35	0.001053	1.15930	466.94	2052.76	2519.7	467.11	2226.49	2693.6
0.175	116.04	0.001057	1.00360	486.80	2038.10	2524.9	486.99	2213.61	2700.6
0.200	120.21	0.001061	0.88570	504.49	2025.01	2529.5	504.70	2202.00	2706.7
0.225	123.97	0.001064	0.79330	520.47	2013.13	2533.6	520.72	2191.38	2712.1
0.250	127.41	0.001067	0.71870	535.10	2002.10	2537.2	535.37	2181.53	2716.9
0.275	130.58	0.001070	0.65730	548.59	1991.91	2540.5	548.89	2172.41	2721.3
0.300	133.52	0.001073	0.60580	561.15	1982.45	2543.6	561.47	2163.83	2725.3
0.325	136.27	0.001076	0.56200	572.90	1973.50	2546.4	573.25	2155.75	2729.0

Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

Μηχανολογικές διατάξεις σταθεροποιημένης ροής

Νερό

Κατάσταση 1:

$P_1=300 \text{ kPa}$
 $T_1=15^\circ\text{C}$ } ΠΑ5

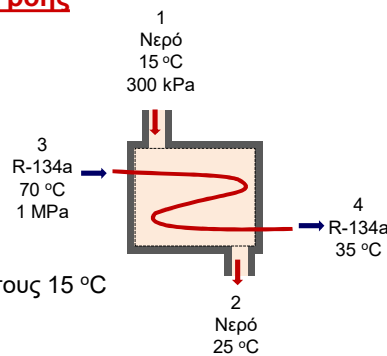
Για $P_2=300 \text{ kPa}=0.3 \text{ MPa}$:
 $T_{\text{sat}@300\text{kPa}}=133.52^\circ\text{C} > 15^\circ\text{C}$

Συμπιεσμένο υγρό

Το προσεγγίζουμε ως κορεσμένο υγρό στους 15°C

ΠΑ4

$$h_1 = h_f @ 15^\circ\text{C} = 62.99 \text{ kJ/kg}$$



ΠΙΝΑΚΑΣ 1 - ΚΟΡΕΣΜΕΝΟ H_2O (A-4)

Θερμοκρασία	Πίεση κορεσμού	Ειδικός όγκος		Ειδική εσωτερική ενέργεια			Ειδική ενθαλπία		
		Κορεσμένου υγρού	Κορεσμένου ατμού	Κορεσμένου υγρού	Εξατμ.	Κορεσμένου ατμού	Κορεσμένου υγρού	Εξατμ.	Κορεσμένου ατμού
T	P _{sat@T}	v_f	v_g	u_f	u_{fg}	u_g	h_f	h_{fg}	h_g
[°C]	[kPa]	[m³/kg]	[m³/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]
0.01	0.6113	0.001000	206.14	0.00	2375.3	2375.3	0.00	2501.4	2501.4
5	0.8721	0.001000	147.12	20.97	2361.3	2382.3	20.98	2489.6	2510.6
10	1.2276	0.001000	106.38	42.00	2347.2	2389.2	42.01	2477.8	2519.8
15	1.7051	0.001001	77.93	62.99	2333.1	2396.1	62.99	2465.9	2528.9
20	2.3390	0.001002	57.79	83.95	2319.0	2402.9	83.96	2454.1	2538.1
25	3.169	0.001003	43.36	104.88	2304.9	2409.8	104.89	2442.3	2547.2

Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

Μηχανολογικές διατάξεις σταθεροποιημένης ροής

Νερό

Κατάσταση 2:

$P_2=300 \text{ kPa}$
 $T_2=25^\circ\text{C}$ } ΠΑ5 → Για $P_2=300 \text{ kPa}=0.3 \text{ MPa}$:
 $T_{\text{sat}@300\text{kPa}}=133.52^\circ\text{C} > 25^\circ\text{C}$

Συμπιεσμένο υγρό

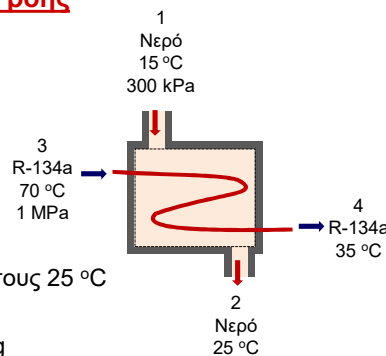
Το προσεγγίζουμε ως κορεσμένο υγρό στους 25°C

ΠΑ4

$$h_2=h_f@25^\circ\text{C}=104.89 \text{ kJ/kg}$$

ΠΙΝΑΚΑΣ 1 - ΚΟΡΕΣΜΕΝΟ H_2O (Α-4)

Θερμοκρασία κορεσμού	Πίεση κορεσμού	Ειδικός όγκος		Ειδική εσωτερική ενέργεια			Ειδική ενθαλπία		
		Κορεσμένου υγρού	Κορεσμένου ατμού	Κορεσμένου υγρού	Εξατμ.	Κορεσμένου ατμού	Κορεσμένου υγρού	Εξατμ.	Κορεσμένου ατμού
T	P _{sat@T}	v _f	v _g	u _f	u _{fg}	u _g	h _f	h _{fg}	h _g
[°C]	[kPa]	[m ³ /kg]	[m ³ /kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]
0.01	0.6113	0.001000	206.14	0.00	2375.3	2375.3	0.00	2501.4	2501.4
5	0.8721	0.001000	147.12	20.97	2361.3	2382.3	20.98	2489.6	2510.6
10	1.2276	0.001000	106.38	42.00	2347.2	2389.2	42.01	2477.8	2519.8
15	1.7051	0.001001	77.93	62.99	2333.1	2396.1	62.99	2465.9	2528.9
20	2.3390	0.001002	57.79	83.95	2319.0	2402.9	83.96	2454.1	2538.1
25	3.169	0.001003	43.36	104.88	2304.9	2409.8	104.89	2442.3	2547.2



Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

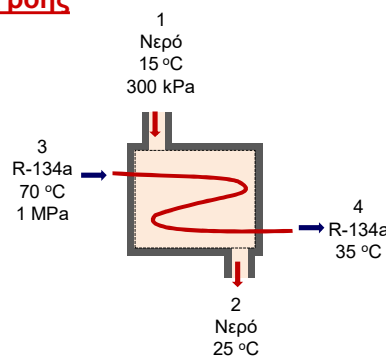
Μηχανολογικές διατάξεις σταθεροποιημένης ροής

Ψυκτικό

Κατάσταση 3:

$P_3=1 \text{ MPa}$
 $T_3=70^\circ\text{C}$ } ΠΑ12 → Για $P_3=1 \text{ MPa}$:
 $T_{\text{sat}@1\text{MPa}}=39.39^\circ\text{C} < 70^\circ\text{C}$

Υπέρθερμος ατμός



ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΤΜΟΥ 6 - ΚΟΡΕΣΜΕΝΟ ΨΥΚΤΙΚΟ R-134a (Α12)

Πίεση	Θερμοκρασία κορεσμού	Ειδικός όγκος		Ειδική εσωτερική ενέργεια			Ειδική ενθαλπία		
		Κορεσμένου υγρού	Κορεσμένου ατμού	Κορεσμένου υγρού	Εξατμ.	Κορεσμένου ατμού	Κορεσμένου υγρού	Εξατμ.	Κορεσμένου ατμού
P	T _{sat@P}	v _f	v _g	u _f	u _{fg}	u _g	h _f	h _{fg}	h _g
[MPa]	[°C]	[m ³ /kg]	[m ³ /kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]
0.70	26.72	0.0008328	0.0292	86.19	155.23	241.42	86.78	175.07	261.85
0.80	31.33	0.0008454	0.0255	92.75	151.03	243.78	93.42	170.73	264.15
0.90	35.53	0.0008576	0.0226	98.79	147.09	245.88	99.56	166.62	266.18
1.00	39.39	0.0008695	0.0202	104.42	143.35	247.77	105.29	162.68	267.97
1.20	46.32	0.0008928	0.0166	114.69	136.34	251.03	115.76	155.23	270.99

Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

Μηχανολογικές διατάξεις σταθεροποιημένης ροής

ΨΥΚΤΙΚΟ

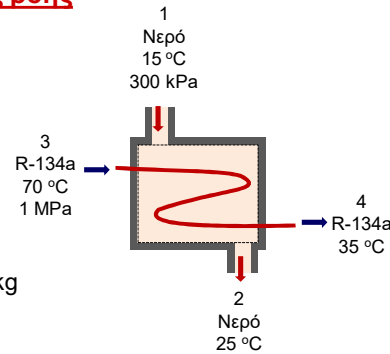
Κατάσταση 3:

$P_3 = 1 \text{ MPa}$
 $T_3 = 70^\circ \text{C}$

ΠΑ12 → Για $P_3 = 1 \text{ MPa}$:
 $T_{\text{sat}@1 \text{ MPa}} = 39.39^\circ \text{C} < 70^\circ \text{C}$

Υπέρθερμος ατμός

ΠΑ13
 Για $T_3 = 70^\circ \text{C}$: $h_3 = 302.34 \text{ kJ/kg}$



ΠΙΝΑΚΑΣ 7 - ΥΠΕΡΘΕΡΜΟΣ ΑΤΜΟΣ ΨΥΚΤΙΚΟΥ R-134a (A13)

T	P = 1,00 MPa (39,39°C)			
	v	u	h	s
[°C]	[m³/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/(kg·K)]
Kor.	0.02020	247.77	267.97	0.9043
40	0.02029	248.39	268.68	0.9066
50	0.02171	258.48	280.19	0.9428
60	0.02301	268.35	291.36	0.9768
70	0.02423	278.11	302.34	1.0093
80	0.02538	287.82	313.20	1.0405
90	0.02649	297.53	324.01	1.0707
100	0.02755	307.27	334.82	1.1000

Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

Μηχανολογικές διατάξεις σταθεροποιημένης ροής

ΨΥΚΤΙΚΟ

Κατάσταση 4:

$P_4 = 1 \text{ MPa}$
 $T_4 = 35^\circ \text{C}$

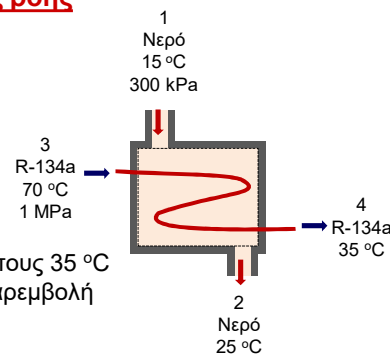
ΠΑ12 → Για $P_4 = 1 \text{ MPa}$:
 $T_{\text{sat}@1 \text{ MPa}} = 39.39^\circ \text{C} > 35^\circ \text{C}$

Συμπιεσμένο υγρό

ΠΑ11

Το προσεγγίζουμε ως κορεσμένο υγρό στους 35°C

ΠΑ11 με γραμμική παρεμβολή
 $h_4 = h_f@35^\circ \text{C} = 98.78 \text{ kJ/kg}$



ΠΙΝΑΚΑΣ 5 - ΚΟΡΕΣΜΕΝΟ ΨΥΚΤΙΚΟ R-134a (A-11)

Θερμοκρασία	Πίεση κορεσμού	Ειδικός όγκος		Ειδική εσωτερική ενέργεια			Ειδική ενθαλπία		
		Κορεσμένου υγρού	Κορεσμένου ατμού	Κορεσμένου υγρού	Εξατμ.	Κορεσμένου ατμού	Κορεσμένου υγρού	Εξατμ.	Κορεσμένου ατμού
T	P _{sat@T}	v _f	v _g	u _f	u _{fg}	u _g	h _f	h _{fg}	h _g
[°C]	[MPa]	[m³/kg]	[m³/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]
30	0.77006	0.0008417	0.0265	90.84	152.26	243.10	91.49	172.01	263.50
32	0.81528	0.0008473	0.0250	93.70	150.42	244.12	94.39	170.09	264.48
34	0.86247	0.0008530	0.0236	96.58	148.54	245.12	97.31	168.14	265.45
36	0.91168	0.0008590	0.0223	99.47	146.64	246.11	100.25	166.15	266.40
38	0.96298	0.0008651	0.0210	102.38	144.71	247.09	103.21	164.12	267.33
40	1.01640	0.0008714	0.0199	105.30	142.76	248.06	106.19	162.05	268.24

Μαζική και Ενεργειακή Ανάλυση Όγκων Ελέγχου

Μηχανολογικές διατάξεις σταθεροποιημένης ροής

$$(3) \Rightarrow \dot{m}_w = 6 \frac{\text{kg}}{\text{min}} \cdot \frac{(98.78 - 302.34) \text{ kJ/kg}}{(62.99 - 104.89) \text{ kJ/kg}} = 29.14 \frac{\text{kg}}{\text{min}}$$

(β) Για να προσδιορίσουμε τη μεταφορά θερμότητας από το ψυκτικό προς το νερό, πρέπει να επιλέξουμε έναν όγκο ελέγχου τα όρια του οποίου να βρίσκονται επί της διαδρομής που ακολουθεί η μεταφορά θερμότητας.

Μπορούμε να επιλέξουμε είτε τον όγκο του ψυκτικού είτε του νερού. Θα καταλήξουμε στο ίδιο αποτέλεσμα.

Επιλέγουμε τον όγκο που καταλαμβάνει το νερό.

Θα εφαρμόσουμε όλες τις παραδοχές που χρησιμοποιήθηκαν στο (α), με τη διαφορά ότι η μεταφορά θερμότητας δεν είναι πλέον μηδενική.

Η θερμότητα μεταφέρεται προς το νερό. Το ισοζύγιο ενέργειας γράφεται:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{net} &= \sum_j (\dot{m} \cdot h)_{j,out} - \sum_i (\dot{m} \cdot h)_{i,in} \Rightarrow \dot{Q}_{in} - \dot{Q}_{out}^0 = \dot{m}_w \cdot h_2 - \dot{m}_w \cdot h_1 \Rightarrow \dot{Q}_{in} = \dot{m}_w \cdot (h_2 - h_1) \\ \Rightarrow \dot{Q}_{in} &= 29.14 \frac{\text{kg}}{\text{min}} (104.89 - 62.99) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \Rightarrow \dot{Q}_{in} = 1220 \frac{\text{kJ}}{\text{min}} \end{aligned}$$