

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 5-4 : Επιβράδυνση του Αέρα σε έναν Διαχύτη ←

Αέρας στους 10°C και στα 80 kPa εισέρχεται στο διαχύτη ενός κινητήρα αεριοθωμένου με σταθεροποιημένο ρυθμό με μια ταχύτητα 200 m/s. Η διατομή του σημείου εισόδου του διαχύτη είναι 0,4 m². Ο αέρας εξέρχεται από το διαχύτη με μια ταχύτητα η οποία είναι πολύ μικρή συγκρινόμενη με την ταχύτητα εισόδου. Να προσδιορίσετε (α) την παροχή μάζας του αέρα και (β) τη θερμοκρασία του αέρα καθώς αυτός εξέρχεται από το διαχύτη.

Λύση: Αέρας εισέρχεται στο διαχύτη ενός κινητήρα αεριοθωμένου με σταθεροποιημένο ρυθμό και με συγκεκριμένη ταχύτητα. Να προσδιοριστούν η παροχή μάζας του αέρα και η θερμοκρασία του στο σημείο εξόδου του διαχύτη.

Παραδοχές 1 Αυτή είναι μια διεργασία σταθεροποιημένης ροής εφόσον δεν παρατηρείται καμία μεταβολή ως προς το χρόνο σε οποιοδήποτε σημείο και επομένως $\Delta m_{CV} = 0$ και $\Delta E_{CV} = 0$. **2** Ο αέρας θεωρείται ένα ιδανικό αέριο, αφού βρίσκεται σε υψηλή θερμοκρασία και σε χαμηλή πίεση, συγκριτικά με τις αντίστοιχες τιμές του κρίσιμου σημείου του. **3** Η μεταβολή της δυναμικής ενέργειας είναι μηδενική, $\Delta e_{δυν} = 0$. **4** Η μεταφορά θερμότητας είναι αμελητέα. **5** Η κινητική ενέργεια στο σημείο εξόδου του διαχύτη είναι αμελητέα. **6** Δεν υπάρχουν αλληλεπιδράσεις έργου.



Σχήμα 5-27: Διαχύτης σε κινητήρα τζετ, όπως αυτός που μελετάται στο Παράδειγμα 5-4. Φωτογραφία: Yunus Cengel

Ανάλυση Λαμβάνουμε ως σύστημα το διαχύτη (Σχήμα 5-27). Αυτός αποτελεί έναν όγκο ελέγχου, επειδή μάζα διαπερνά τα όρια του συστήματος κατά τη διάρκεια της διεργασίας. Παρατηρούμε ότι έχουμε μόνο ένα σημείο εισόδου και μόνο ένα σημείο εξόδου, οπότε $\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}$.

(α) Για να προσδιορίσουμε το ρυθμό ροής μάζας, χρειάζεται πρώτα να βρούμε τον ειδικό όγκο του αέρα. Αυτός προσδιορίζεται από τη σχέση των ιδανικών αερίων στις συνθήκες του σημείου εισόδου:

$$v_1 = \frac{RT_1}{P_1} = \frac{(0,287 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3 / \text{kg} \cdot \text{K})(283 \text{ K})}{80 \text{ kPa}} = 1,015 \text{ m}^3 / \text{kg}.$$

Αρα,

$$\dot{m} = \frac{1}{v_1} v_1 A_1 = \frac{1}{1,015 \text{ m}^3 / \text{kg}} (200 \text{ m/s})(0,4 \text{ m}^2) = 78,8 \text{ kg/s}$$

Αφού η ροή είναι σταθεροποιημένη, η παροχή μάζας διαμέσου ολόκληρου του διαχύτη παραμένει σταθερή στην τιμή αυτή.

(β) Υπό τις διατυπωμένες παραδοχές και παρατηρήσεις, το ενεργειακό ισοζύγιο για αυτό το σύστημα σταθεροποιημένης ροής μπορεί να εκφραστεί χρησιμοποιώντας ρυθμούς μεταβολής ως

$$\underbrace{\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out}}_{\text{Ρυθμός συνολικής μεταφοράς ενέργειας μέσω θερμότητας, έργου, και μάζας}} - \underbrace{\frac{dE_{system}}{dt}}_{\text{Ρυθμός μεταβολής της εσωτερικής, κινητικής, δυναμικής, κλπ. ενέργειας}} \stackrel{0(\text{σταθ.})}{=} 0$$

$\dot{E}_{in} = \dot{E}_{out} \rightarrow E = h + e_{kin} + e_{δυν}$

→ ρεατός ρευστού

$$\dot{m} \left(h_1 + \frac{v_1^2}{2} \right) = \dot{m} \left(h_2 + \frac{v_2^2}{2} \right) \text{ (αφού } \dot{Q} \equiv 0, \dot{W} = 0, \text{ και } \Delta e_{κιν} \equiv 0)$$

$$h_2 = h_1 - \frac{v_2^2 - v_1^2}{2}$$

① Νομός: $Q - W = \Delta E$

Η ταχύτητα εξόδου από έναν διαχύτη είναι συνήθως μικρή συγκρινόμενη με την ταχύτητα εισόδου ($v_2 \ll v_1$) και επομένως, η κινητική ενέργεια εξόδου μπορεί να αγνοηθεί. Η ενθαλπία του αέρα στο σημείο εισόδου του διαχύτη προσδιορίζεται από τους πίνακες ιδιοτήτων του αέρα (Πίνακας A-17) και είναι

$$h_1 = h_{@283\text{K}} = 283,14 \text{ kJ/kg}$$

Αντικαθιστώντας, λαμβάνουμε ότι

$$h_2 = 283,14 \text{ kJ/kg} - \frac{0 - (200 \text{ m/s})^2}{2} \left(\frac{1 \text{ kJ/kg}}{1.000 \text{ m}^2/\text{s}^2} \right) = 303,14 \text{ kJ/kg}$$

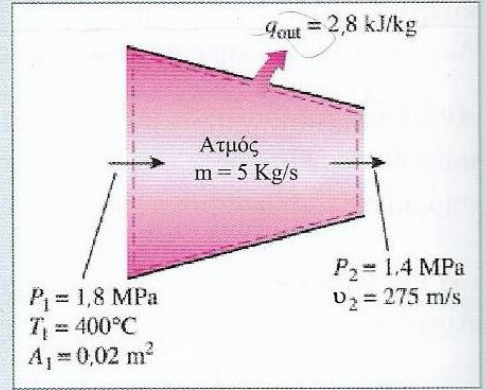
Από τον Πίνακα A-17, η θερμοκρασία που αντιστοιχεί σε αυτήν την τιμή της ενθαλπίας ισούται είναι

$$T_2 = 303 \text{ K} \quad 303 \text{ K}$$

Συζήτηση Το αποτέλεσμα αυτό δείχνει ότι η θερμοκρασία του αέρα αυξάνεται κατά περίπου 20°C , καθώς αυτός επιβραδύνεται μέσα στον διαχύτη. Η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα οφείλεται κυρίως στη μετατροπή της κινητικής ενέργειας σε εσωτερική ενέργεια.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 5-5: Επιτάχυνση Ατμού σε ένα Ακροφύσιο ⇒

Ατμός σε πίεση 1,8 MPa και θερμοκρασία 400°C εισέρχεται με σταθερό ρυθμό σε ένα ακροφύσιο του οποίου η διατομή εισόδου είναι 0,02m². Η παροχή μάζας του ατμού διαμέσου του ακροφυσίου είναι 5kg/s. Ο ατμός εξέρχεται από το ακροφύσιο με πίεση 1,4 MPa και ταχύτητα 275 m/s. Οι απώλειες θερμότητας από το ακροφύσιο ανά μονάδα μάζας ατμού εκτιμώνται σε 2,8 kJ/kg. Να προσδιορίσετε (α) την ταχύτητα εισόδου και (β) τη θερμοκρασία εξόδου του ατμού.



Σχήμα 5-28:
Σχηματικό διάγραμμα για το Παράδειγμα 5-5.

Λύση: Ατμός εισέρχεται σε ένα ακροφύσιο με σταθερό ρυθμό, συγκεκριμένο ρυθμό ροής και συγκεκριμένη ταχύτητα εξόδου. Να προσδιοριστούν η ταχύτητα εισόδου και η θερμοκρασία εξόδου του ατμού.

Παραδοχές 1 Αυτή είναι μια διεργασία σταθεροποιημένης ροής εφόσον δεν παρατηρείται καμία μεταβολή ως προς το χρόνο σε οποιοδήποτε σημείο και επομένως $\Delta m_{CV} = 0$ και $\Delta E_{CV} = 0$. **2** Δεν υπάρχουν αλληλεπιδράσεις έργου. **3** Η μεταβολή της δυναμικής ενέργειας είναι μηδενική, $\Delta e_{\delta\upsilon\nu} = 0$.

Ανάλυση Λαμβάνουμε ως σύστημα το ακροφύσιο (Σχήμα 5-28). Αυτό αποτελεί έναν όγκο ελέγχου επειδή ποσότητα μάζας διαπερνά τα όρια του συστήματος κατά τη διάρκεια της διεργασίας. Παρατηρούμε ότι υπάρχει μόνο ένα σημείο εισόδου και μόνο ένα σημείο εξόδου, οπότε $\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}$.

(α) Ο ειδικός όγκος και η ενθαλπία του ατμού στην είσοδο του ακροφυσίου είναι

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 1,8 \text{ MPa} \\ T_1 = 400^\circ \text{C} \end{array} \right\} \begin{array}{l} v_1 = 0,16849 \text{ m}^3 / \text{kg} \\ h_1 = 3.251, \text{ kJ} / \text{kg} \end{array} \quad (\text{Πίνακας A-6})$$

Επομένως,

$$\dot{m} = \frac{1}{v_1} v_1 A_1 \Rightarrow 5 \text{ kg} / \text{s} = \frac{1}{0,16849 \text{ m}^3 / \text{kg}} (v_1) (0,02 \text{ m}^2)$$

$v_1 = 42,1 \text{ m/s}$.

$$\dot{m} = \rho \cdot v_1 \cdot A_1$$

↳ συνέχεια

(β) Υπό τις διατυπωμένες παραδοχές και παρατηρήσεις, το ενεργειακό ισοζύγιο για αυτό το σύστημα σταθεροποιημένης ροής μπορεί να εκφραστεί χρησιμοποιώντας ρυθμούς μεταβολής ως

$$\underbrace{\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out}}_{\text{Ρυθμός συνολικής μεταφοράς ενέργειας μέσω θερμότητας, έργου, και μάζας}} = \underbrace{dE_{system}/dt}_{\text{Ρυθμός μεταβολής της εσωτερικής, κινητικής δυναμικής, κλπ. ενέργειας}} \stackrel{0(\text{σταθ.})}{=} 0$$

$$\dot{E}_{in} = \dot{E}_{out}$$

$$\dot{m} \left(h_1 + \frac{v_1^2}{2} \right) = \dot{Q}_{out} + \dot{m} \left(h_2 + \frac{v_2^2}{2} \right) \quad (\text{εφόσον } \dot{W} = 0, \text{ και } \Delta e_{κιν} = 0)$$

Διαιρώντας με το ρυθμό ροής μάζας m και αντικαθιστώντας, η τιμή της h_2 προσδιορίζεται ως

$$h_2 = h_1 - q_{out} - \frac{v_2^2 - v_1^2}{2}$$

$$= (3.251,6 - 2,8) \text{ kJ/kg} - \frac{(275 \text{ m/s})^2 - (42,1 \text{ m/s})^2}{2} \left(\frac{1 \text{ kJ/kg}}{1.000 \text{ m}^2/\text{s}^2} \right)$$

$$= 3.211,9 \text{ kJ/kg}$$

Επομένως,

$$\left. \begin{array}{l} P_2 = 1,4 \text{ MPa} \\ h_2 = 3.211,9 \text{ kJ/kg} \end{array} \right\} T_2 = 378,6 \text{ }^\circ\text{C} \quad (\text{Πίνακας A-6})$$

Συζήτηση Παρατηρείστε ότι η θερμοκρασία του ατμού ελαττώνεται κατά $21,4^\circ\text{C}$ καθώς αυτός ρέει διαμέσου του ακροφυσίου. Αυτή η πτώση της θερμοκρασίας οφείλεται κυρίως στη μετατροπή εσωτερικής ενέργειας σε κινητική ενέργεια. (Στην περίπτωση αυτή η απώλεια θερμότητας είναι πολύ μικρή για να ευθύνεται για την παρατηρούμενη πτώση της θερμοκρασίας).

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 5-5

Αν εφοργόζαμε τον 1^ο Θερμοδυναμικό νόμο με την μορφή $q - w = h_2 - h_1 + \frac{U_2^2 - U_1^2}{2}$ (5.39 σχέση Cengel)

$$\text{Θα είχαμε } h_2 = \underbrace{q + h_1}_{\text{6ω } q_{out}} - \frac{U_2^2 - U_1^2}{2}$$

Που τα ηρώσημα τα μαθηματικά ^{6ω} q_{out} έρχονται σε αυθόρμητη με την λύση που δίνει το βιβλίο! Αυτό συμβαίνει

γιατί:

της, όταν τα μεγέθη και οι κατευθύνσεις των μεταφορών θερμότητας και έργου είναι γνωστά. Πραγματοποιώντας μια γενική αναλυτική μελέτη ή επίλυση ενός προβλήματος που περιλαμβάνει μια άγνωστη αλληλεπίδραση θερμότητας ή έργου, χρειάζεται να υποθέσουμε μια κατεύθυνση για τις αλληλεπιδράσεις θερμότητας ή έργου. Σε τέτοιες περιπτώσεις, είναι συνήθης πρακτική να υποθέσουμε ότι η θερμότητα που μεταφέρεται στο σύστημα (θερμότητα εισόδου), με έναν ρυθμό \dot{Q} , και το έργο παράγεται από το σύστημα (έργο εξόδου) με έναν ρυθμό \dot{W} , και στη συνέχεια επιλύουμε το πρόβλημα. Ο πρώτος νόμος ή σχέση του ενεργειακού ισοζυγίου στην περίπτωση αυτή για ένα γενικό σύστημα σταθεροποιημένης ροής γίνεται

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum_{\text{out}} \dot{m} \left(h + \frac{v^2}{2} + gz \right) - \sum_{\text{in}} \dot{m} \left(h + \frac{v^2}{2} + gz \right) \quad (5.37)$$

για κάθε σημείο εξόδου για κάθε σημείο εισόδου εισόδου

Εάν προκύψει αρνητική τιμή για τις ποσότητες \dot{Q} ή \dot{W} , αυτό απλώς σημαίνει ότι η υποθεθείσα κατευθυντικότητα είναι λανθασμένη και θα πρέπει να αναστραφεί. Για διατάξεις απλού ρεόντος ρευστού, η εξίσωση του ενεργειακού ισοζυγίου σταθεροποιημένης ροής γίνεται

$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m} \left(h_2 - h_1 + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} + g(z_2 - z_1) \right) \quad (5.38)$$

Διαιρώντας την Εξ. 5.38 με \dot{m} , λαμβάνουμε το ενεργειακό ισοζύγιο ανά μονάδα μάζας ως

$$q - w = h_2 - h_1 + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} + g(z_2 - z_1) \quad (5.39)$$

όπου $q = \dot{Q} / \dot{m}$ και $w = \dot{W} / \dot{m}$ είναι η μεταφορά ενέργειας μέσω θερμότητας και παραγόμενου έργου ανά μονάδα μάζας του εργαζόμενου ρευστού, αντίστοιχα. Όταν το ρευστό υφίσταται αμελητέες μεταβολές της κινητικής και της δυναμικής του ενέργειας (δηλαδή, $\Delta e_{\text{κιν}} \approx 0$, $\Delta e_{\text{δυν}} \approx 0$), η εξίσωση του ενεργειακού ισοζυγίου απλοποιείται περαιτέρω στην

$$q - w = h_2 - h_1 \quad (5.40)$$

Παρατηρώντας ότι η ενέργεια μπορεί να μεταφέρεται μόνον μέσω θερμότητας, έργου, και μάζας, το ενεργειακό ισοζύγιο στην Εξίσωση 5.34 για ένα γενικό σύστημα σταθεροποιημένης ροής μπορεί επίσης να γραφεί περισσότερο λεπτομερώς ως

$$\dot{Q}_{\text{in}} + \dot{W}_{\text{in}} + \sum_{\text{in}} \dot{m} \theta = \dot{Q}_{\text{out}} + \dot{W}_{\text{out}} + \sum_{\text{out}} \dot{m} \theta \quad (5.35)$$

ή

$$\dot{Q}_{\text{in}} + \dot{W}_{\text{in}} + \sum_{\text{in}} \dot{m} \left(h + \frac{v^2}{2} + gz \right) = \dot{Q}_{\text{out}} + \dot{W}_{\text{out}} + \sum_{\text{out}} \dot{m} \left(h + \frac{v^2}{2} + gz \right) \quad (5.36)$$

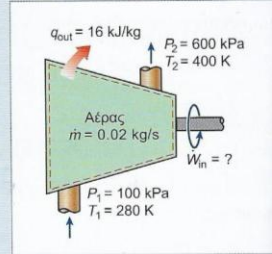
για κάθε σημείο εισόδου για κάθε σημείο εξόδου

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 5-6 : Συμπίεση Αέρα μέσω Συμπίεστη

Αέρας σε πίεση 100 kPa και θερμοκρασία 280°K συμπιέζεται με σταθερό ρυθμό σε πίεση 600 kPa και θερμοκρασία 400° K. Η παροχή μάζας του αέρα είναι 0,02 kg/s, ενώ κατά τη διάρκεια της διεργασίας υπάρχει απώλεια θερμότητας ίση με 16 kJ/kg. Υποθέτοντας ότι οι μεταβολές της κινητικής και της δυναμικής ενέργειας είναι αμελητέες, να προσδιορίσετε την απαραίτητη ισχύ εισόδου του συμπιεστή.

Λύση: Αέρας συμπιέζεται με σταθερό ρυθμό μέσω συμπιεστή σε μια καθορισμένη θερμοκρασία και πίεση. Να προσδιοριστεί η ισχύς εισόδου του συμπιεστή.

Παραδοχές 1 Αυτή είναι μια διεργασία σταθεροποιημένης ροής εφόσον δεν παρατηρείται καμία μεταβολή ως προς το χρόνο σε οποιοδήποτε σημείο και επομένως $\Delta m_{CV} = 0$ και $\Delta E_{CV} = 0$. **2** Ο αέρας θεωρείται ένα ιδανικό αέριο, αφού βρίσκεται σε υψηλή θερμοκρασία και σε χαμηλή πίεση, συγκριτικά με τις αντίστοιχες τιμές του κρίσιμου σημείου του. **3** Οι μεταβολές της δυναμικής και της κινητικής ενέργειας είναι μηδενικές, $\Delta e_{kin} = \Delta e_{pot} = 0$.



Σχήμα 5-30: Σχηματικό διάγραμμα για το Παράδειγμα 5-6.

Ανάλυση Λαμβάνουμε ως σύστημα τον συμπιεστή (Σχήμα 5-30). Αυτός είναι ένας όγκος ελέγχου εφόσον μάζα διαπερνά τα όρια του συστήματος κατά τη διάρκεια της διεργασίας. Παρατηρούμε ότι υπάρχει μόνο ένα σημείο εισόδου και μόνο ένα σημείο εξόδου και επομένως $\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}$. Επίσης υπάρχει απώλεια θερμότητας από το σύστημα καθώς και παροχή έργου σε αυτό.

Υπό τις διατυπωμένες παραδοχές και παρατηρήσεις, το ενεργειακό ισοζύγιο για αυτό το σύστημα σταθεροποιημένης ροής μπορεί να εκφραστεί χρησιμοποιώντας ρυθμούς μεταβολής ως

$$\frac{\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out}}{\text{Ρυθμός συνολικής μεταφοράς ενέργειας μέσω θερμότητας, έργου, και μάζας}} = \frac{dE_{system} / dt}{\text{Ρυθμός μεταβολής της εσωτερικής, κινητικής, δυναμικής, κλπ. ενέργειας}} \stackrel{\text{ο(σταθ.)}}{=} 0$$

$$\dot{E}_{in} = \dot{E}_{out}$$

$$\dot{W}_{in} + \dot{m}h_1 = \dot{Q}_{out} + \dot{m}h_2 \quad (\text{εφόσον } \Delta e_{kin} = \Delta e_{pot} \equiv 0)$$

$$\dot{W}_{in} = \dot{m}q_{out} + \dot{m}(h_2 - h_1)$$

Η ενθαλπία ενός ιδανικού αερίου εξαρτάται μόνον από τη θερμοκρασία και οι τιμές της ενθαλπίας του αέρα για τις καθορισμένες θερμοκρασίες προσδιορίζονται από τον πίνακα αέρα (Πίνακας Α-17) και είναι

$$h_1 = h_{@ 280 \text{ K}} = 280,13 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = h_{@ 400 \text{ K}} = 400,98 \text{ kJ/kg}$$

Αντικαθιστώντας η ισχύς εισόδου του συμπιεστή προσδιορίζεται να είναι

$$\dot{W}_{in} = (0,02 \text{ kg/s})(16 \text{ kJ/kg}) + (0,02 \text{ kg/s})(400,98 - 280,13) \text{ kJ/kg} = \mathbf{2,74 \text{ kW}}$$

Συζήτηση Παρατηρείστε ότι η μηχανική ισχύς εισόδου στον συμπιεστή εμφανίζεται ως μια αύξηση της ενθαλπίας του αέρα και ως απώλεια θερμότητας από τον συμπιεστή.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 5-7: Παραγωγή Ισχύος από έναν Ατμοστρόβιλο

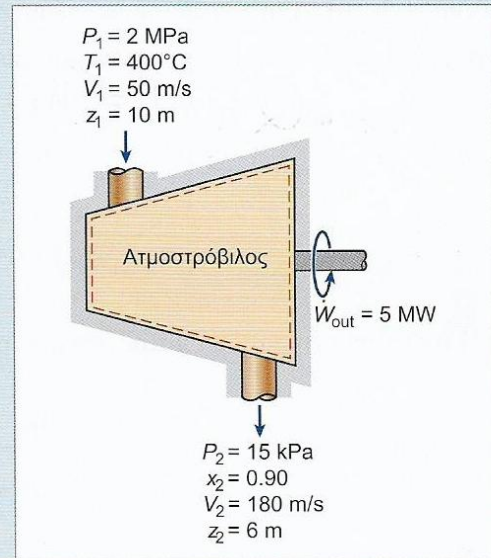
Η ισχύς εξόδου ενός αδιαβατικού ατμοστροβίλου είναι 5 MW, ενώ οι συνθήκες εισόδου και εξόδου του ατμού στο στρόβιλο αναγράφονται στο Σχήμα 5-31.

- (α) Να συγκρίνετε τα μεγέθη των Δh , $\Delta e_{\text{κιν}}$, και $\Delta e_{\text{δυν}}$
 (β) Να προσδιορίσετε το παραγόμενο έργο ανά μονάδα μάζας του ατμού που ρέει διαμέσου του στροβίλου.
 (γ) Να υπολογίσετε το ρυθμό ροής μάζας του ατμού.

Λύση: Δίνονται οι συνθήκες που επικρατούν στα σημεία εισόδου και εξόδου ενός ατμοστροβίλου και η ισχύς εξόδου του. Να προσδιοριστούν οι μεταβολές της κινητικής ενέργειας, της δυναμικής ενέργειας, και της ενθαλπίας του ατμού, καθώς και το παραγόμενο έργο ανά μονάδα μάζας και ο ρυθμός ροής μάζας του ατμού.

Παραδοχές 1 Αυτή είναι μια διεργασία σταθεροποιημένης ροής εφόσον δεν παρατηρείται καμία μεταβολή ως προς το χρόνο σε οποιοδήποτε σημείο και επομένως $\Delta m_{\text{CV}} = 0$ και $\Delta E_{\text{CV}} = 0$. **2** Το σύστημα είναι αδιαβατικό και επομένως δεν υπάρχει μεταφορά θερμότητας.

Ανάλυση Λαμβάνουμε ως σύστημα το στρόβιλο. Αυτός είναι ένας όγκος ελέγχου εφόσον μάζα διαπερνά τα όρια του συστήματος κατά τη διάρκεια της διεργασίας. Παρατηρούμε ότι υπάρχει μόνο ένα σημείο εισόδου και μόνο ένα σημείο εξόδου και επομένως $\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}$. Επίσης παράγεται έργο από το σύστημα. Δίνονται οι ταχύτητες στα σημεία εισόδου και εξόδου καθώς και οι αντίστοιχες υψομετρικές στάθμες, οπότε πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν οι κινητικές και δυναμικές ενέργειες.



Σχήμα 5-31:
Σχηματικό διάγραμμα για το Παράδειγμα 5-7.

(α) Στο σημείο εισόδου, ο ατμός βρίσκεται στην κατάσταση υπέρθερμου ατμού και η ενθαλπία του είναι

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 2 \text{ MPa} \\ T_1 = 400^\circ \text{C} \end{array} \right\} h_1 = 3.248, 4 \text{ kJ/kg} \quad (\text{Πίνακας A-6})$$

$$T = 400 > T_{\text{sat}}$$

Στο σημείο εξόδου του στροβίλου, έχουμε προφανώς μίγμα κορεσμένου υγρού-ατμού σε πίεση 15 kPa. Στην κατάσταση αυτή η ενθαλπία είναι

Δίνει ποιότητα!

$$h_2 = h_f + x_2 h_{fg} = (225,94 + (0,9)(2.372,3)) \text{ kJ/kg} = 2.361,01 \text{ kJ/kg}$$

Επομένως

$$\Delta h = h_2 - h_1 = 2.361,01 \text{ kJ/kg} - 3.248,4 \text{ kJ/kg} = -887,39 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta e_{\text{κιν}} = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} = \frac{(180 \text{ m/s})^2 - (50 \text{ m/s})^2}{2} \left(\frac{1 \text{ kJ/kg}}{1.000 \text{ m}^2/\text{s}^2} \right) = 14,95 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta e_{\text{δυν}} = g(z_2 - z_1) = (9,81 \text{ m/s}^2)((6 - 10) \text{ m}) \left(\frac{1 \text{ kJ/kg}}{1.000 \text{ m}^2/\text{s}^2} \right) = -0,04 \text{ kJ/kg}$$

(β) Το ενεργειακό ισοζύγιο για αυτό το σύστημα σταθεροποιημένης ροής μπορεί να γραφεί στη διαφορική μορφή ως

$$\underbrace{\dot{E}_{\text{in}} - \dot{E}_{\text{out}}}_{\text{Ρυθμός συνολικής μεταφοράς ενέργειας μέσω θερμότητας, έργου, και μάζας}} = \underbrace{\frac{dE_{\text{system}}}{dt}}_{\text{Ρυθμός μεταβολής της εσωτερικής, κινητικής, δυναμικής, κλπ. ενέργειας}} \stackrel{0(\text{σταθ.})}{=} 0$$

$$\dot{E}_{\text{in}} = \dot{E}_{\text{out}}$$

$$\dot{m} \left(h_1 + \frac{v_1^2}{2} + gz_1 \right) = \dot{W}_{out} + \dot{m} \left(h_2 + \frac{v_2^2}{2} + gz_2 \right)$$

(εφόσον $\dot{Q} = 0$). Διαιρώντας με το ρυθμό ροής μάζας \dot{m} και αντικαθιστώντας, το παραγόμενο έργο από το στρόβιλο ανά μονάδα μάζας του ατμού προσδιορίζεται να είναι

$$0 \leftarrow \dot{Q} - \dot{W} = (h_2 - h_1) + (E_{κιν(2)} - E_{κιν(1)}) + (E_{δυν(2)} - E_{δυν(1)})$$

$$w_{out} = - \left((h_2 - h_1) + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} + g(z_2 - z_1) \right) = -(\Delta h + \Delta e_{κιν} + \Delta e_{δυν}) =$$

$$= -(887,39 + 14,95 - 0,04) \text{ kJ/kg} = \mathbf{872,48 \text{ kJ/kg}}$$

(γ) Η απαιτούμενη παροχή μάζας για μια ισχύ εξόδου 5 MW είναι

$$\dot{m} = \frac{\dot{W}_{out}}{w_{out}} = \frac{5.000 \text{ kJ/s}}{872,48 \text{ kJ/kg}} = \mathbf{5,73 \text{ kg/s}}$$

Συζήτηση Από τα αποτελέσματα αυτά μπορούν να γίνουν δύο παρατηρήσεις. Πρώτον, η μεταβολή της δυναμικής ενέργειας δεν είναι σημαντική σε σύγκριση με τις μεταβολές στην ενθαλπία και στην κινητική ενέργεια. Αυτό είναι αναμενόμενο για τις περισσότερες μηχανολογικές διατάξεις. Δεύτερον, ως ένα αποτέλεσμα της χαμηλής πίεσης και επομένως και του υψηλού ειδικού όγκου, η ταχύτητα του ατμού στην έξοδο του στρόβιλου μπορεί να είναι πολύ υψηλή. Ωστόσο η μεταβολή στην κινητική ενέργεια είναι ένα μικρό μόνο μέρος σε σχέση με τη μεταβολή της ενθαλπίας (λιγότερο του 2% στη συγκεκριμένη περίπτωση) οπότε συχνά παραλείπεται.