

6. EJEKTORSKI KOMPRESORI

U zavisnosti od vrste pogonskog fluida ejektorski kompresori se dele na:

Ejektorske hidro kompresore
Ejektorske gasne kompresore
Ejektorske parne kompresore

Princip rada ejektorskih kompresora:- Svi ejektorski kompresori rade po principu da visoku pritisnu energiju pogonskog fluida koriste za usisavanje i komprimovanje usisanih gasova. Pritisak mešavine fluida na izlazu iz ejektora zavisian je od ulaznih pritisaka pogonskog i usisavanog fluida i od odnosa njihovih masenih protoka.

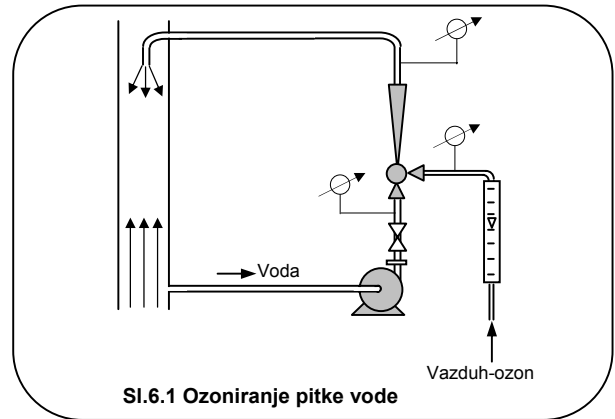
6.1 Ejektorski hidro kompresori (tečnost-gas)

Kod ovih kompresora kao pogonski fluid koristi se tečnost, najčešće voda, pomoću koje se usisavaju i komprimuju gasovi (najčešće vazduh). Zavisno od pritiska pogonske tečnosti i masenog odnosa protoka gas-tečnost moguće je komprimovati gasove do pritiska i većih od 10 bar. Zapreminski odnos protoka gas-tečnost može da se ostvari u granicama od 0 – 3 (V_g/V_t ($m^3/m^3 = 0 - 3$)).

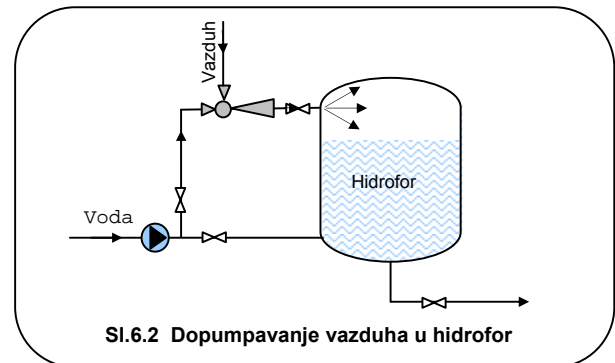
Komprimovani gasovi po izlasku iz ejektora praktično su oprani i najvećim delom su očišćeni od raznih zagađivača. Ovakvim postupkom komprimovanja u potpunosti se iz gasova odstranjuju prašina i druga mehanička zagađenja, kao i potpuno odstranjivanje kapljica i isparenja od raznih tečnosti (vode, ulja i dr).

Upotreba:- Upotrebljavaju se za kompresiju gasova kod kojih se traže relativno mali protoci, a veliki pritisci (na primer kod ozoniranja pitke vode Sl.6.1), kod upumpavanja komprimovanog vazduha u hidrofor (Sl.6.2) i u mnogim drugim procesima.

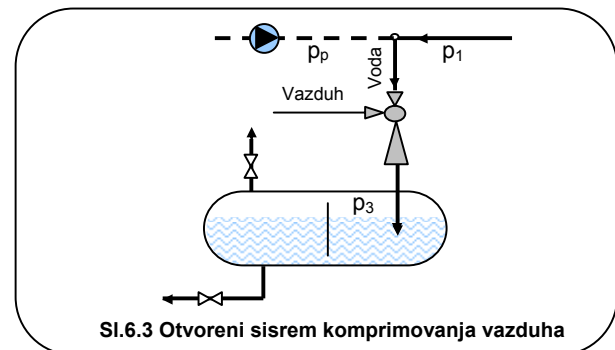
Posebnu primenu imaju u prehrambenoj industriji, koja zahteva potpuno očišćen komprimovan vazduh, bez ikakvih prljavština i bez sadržaja kompresorskog ulja. Relativna vlažnost ovako komprimovanog vazduha iznosi blizu 100%, što je takođe poželjno u prehrambenoj industriji.



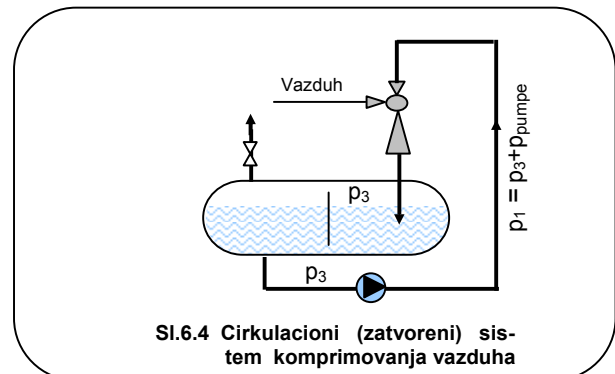
Sl.6.1 Ozoniranje pitke vode



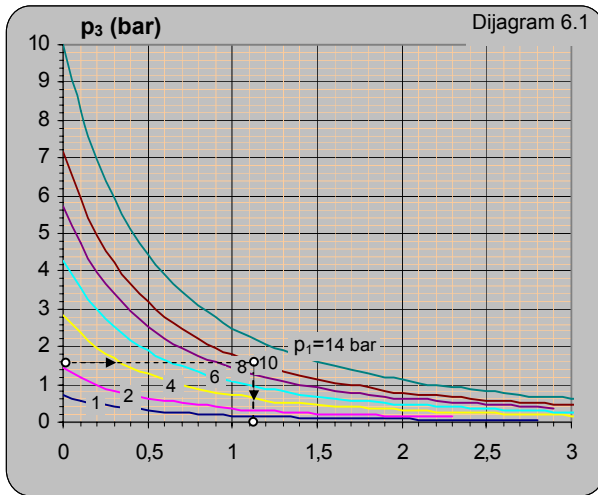
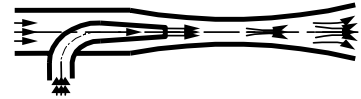
Sl.6.2 Dopumpavanje vazduha u hidrofor



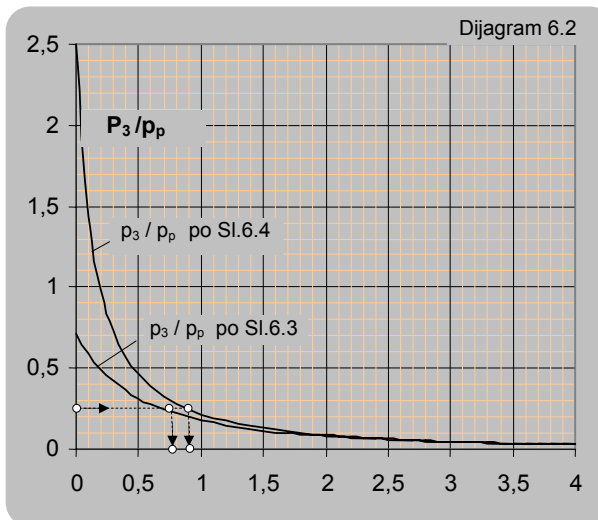
Sl.6.3 Otvoreni sistem komprimovanja vazduha



Sl.6.4 Cirkulacioni (zatvoreni) sistem komprimovanja vazduha



$V_2/V_1 = (\text{m}^3 \text{ vazduha} / \text{m}^3 \text{ vode})$



$V_2/V_1 = (\text{m}^3 \text{ vazduha} / \text{m}^3 \text{ vode})$

Na Dijagramu 6.1 prikazana je zavisnost izlaznog pritiska p_3 od ulaznog pritiska pumpe $p_1 = p_p$ i od zapreminskog odnosa usisanog vazduha i vode V_2/V_1

Primer 6.1

U sudu (Sl.6.3) koji se nalazi pod pritiskom $p_3 = 1,6$ bar treba upumpavati vazduh pomoću vode. Pritisak pogonske vode ispred ejektora $p_1 = 10$ bar.

Koliko kubnih metara vazduha može da se upumpa sa kubnim metrom vode ?

Rešenje

Za pritisak u rezervoaru $p_3 = 1,6$ bar i pritisak vode ispred ejektora $p_1 = 10$ bar, sa dijagrama 6.1 očitava se $V_2/V_1 = 1,1$, što znači da se može upumpati $1,1 \text{ m}^3$ vazduha sa 1 m^3 vode.

Dijagram 6.2 prikazuje zavisnost odnosa manometarskih pritiska na izlazu iz ejektora i pritiska pumpe p_3/p_p od odnosa zapreminskog protoka vazduha i vode, za uslove rada prikazanim na Sl.6.3 i Sl.6.4.

Maksimalni pritisak p_3 , koji se može postići u sudu, po šemi povezivanja prikazanoj na Sl.6.3, iznosi $0,7$ od pogonskog pritiska pumpe p_p , odnosno pritiska iz mreže p_1 ($p_3 = 0,7 p_1 = 0,7 p_p$), a po šemi povezivanja prikazanoj na Sl.6.4 iznosi $2,44$ od pritiska pumpe p_p ($p_3 = 2,44 p_p$)

Primer 6.2

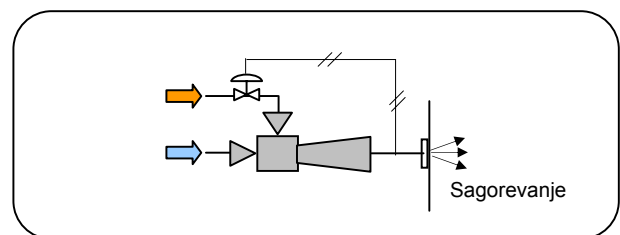
Odnos pritiska u rezervoaru i pritiska pumpe $p_3/p_p = 0,25$. Traži se protok po šemi povezivanja prikazanim na Sl.6.3 i Sl.6.4 ?

Rešenje

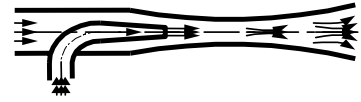
Za odnos pritiska $p_3/p_p = 0,25$ očitava se odnos zapreminskih oprotoka po Sl.6.3 $V_2/V_1 = V_2/V_p = 0,75$, a po Sl.6.4 $V_2/V_1 = 0,9$.

6.2 Ejektorski gasni kompresori

Ovi kompresori koriste se za mešanje i komprimovanje gasova. Kod ovih kompresora kao pogonski fluid upotrebljava se komprimovani gas (najčešće vazduh) pomoću kojeg se vrši usisavanje, mešanje i sabijanje usisanog gasa. Upotrebom Lavalove mlaznice brzine isticanja pogonskog gasa



Sl.6.5 Mešanje sagorivog gasa i vazduha



postaju nadzvučne, pa se mogu efikasno koristiti za postizanje relativno visokih izlaznih pritisaka.

Upotreba:- Upotrebljavaju se za izvlačenje prirodnih podzemnih gasova sa niskim pritiscima pomoću drugih ili istih gasova koji se nalaze na višim pritiscima: za mešanje komprimovanih gasova različitih pritisaka radi dobijanja mešavine odgovarajućeg pritiska, za dobijanje gasnih sintera pod vrlo visokim pritiscima (nekoliko stotina bar) na primer dobijanja amonijaka.

Na Sl.6.5 je šematski prikazano usisavanje, mešanje i sabijanje sagorivog gasa i vazduha.

Na dijagramu 6.3 prikazana je zavisnost odnosa apsolutnih pritisaka pogonskog i usisavanog vazduha (p_1/p_2) od odnosa protočnih masa (m_2/m_1)

za $t_1 = t_2$. Dijagram se može koristiti i za različite temperature t_1 i t_2 stim što se očitane vrđnosti μ moraju pomnožiti sa $\sqrt{T_1/T_2}$. (T_1 i T_2 su apsolutne temperature pogonskogi usisavanog gasa.

Primer 6.3

Pogonski pritisak na ulazu u ejektor iznosi $p_1 = 4$ bar aps., usisavani pritisak $p_2 = 0,9$ bar aps, pritisak na izlazu iz ejektora je atmosferski $p_3 = 1$ bar aps. Koliki je odnos masenih protoka?

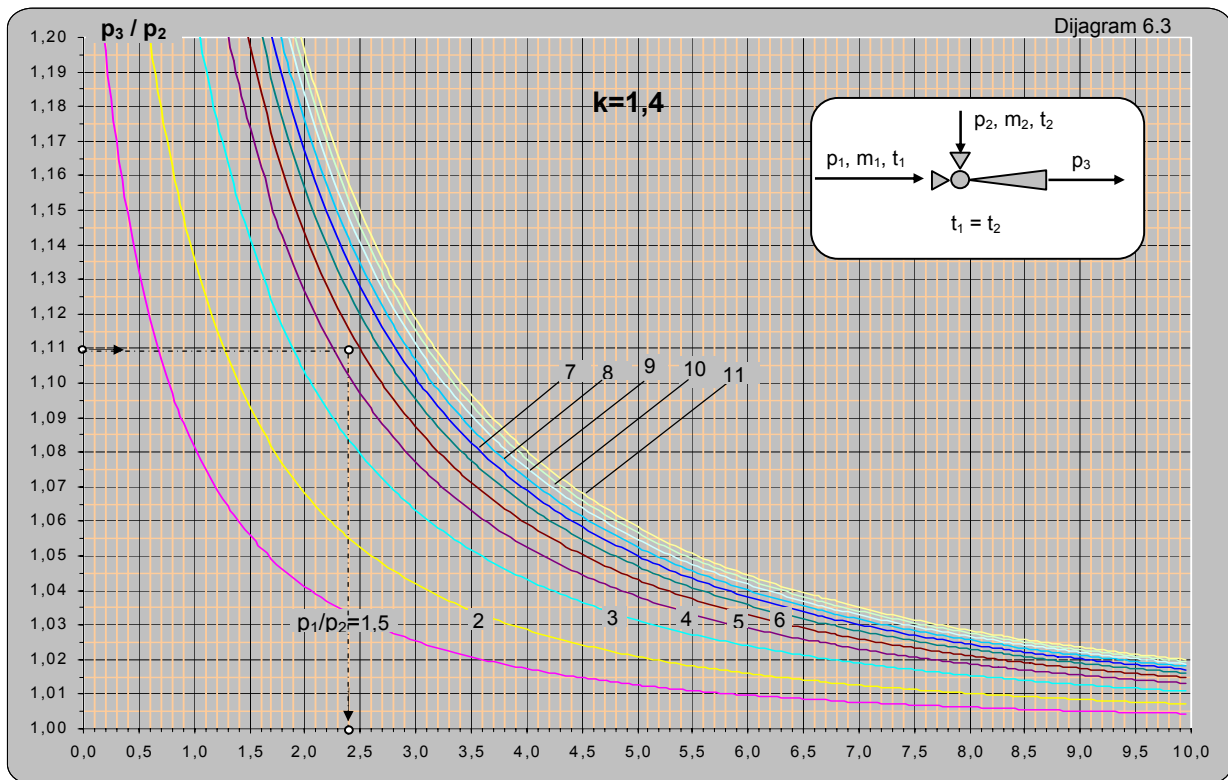
Rešenje

Za $t_1 = t_2$ i odnose pritisaka

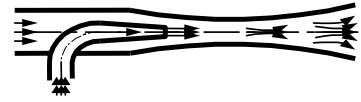
$$p_1/p_2 = 4/0,9 = 4,4 \text{ i}$$

$$p_3/p_2 = 1/0,9 = 1,11. \text{ Na Dijagramu 6.3 očitava se}$$

$$\mu = m_2/m_1 = 2,4$$



$$\mu = (m_2 / m_1) - \text{kg usisanog gasa / kg pogonskog gasa}$$

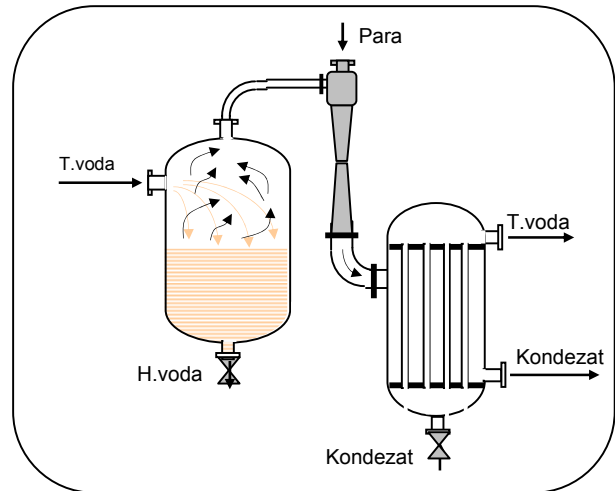


6.3 Ejektorski parni kompresori

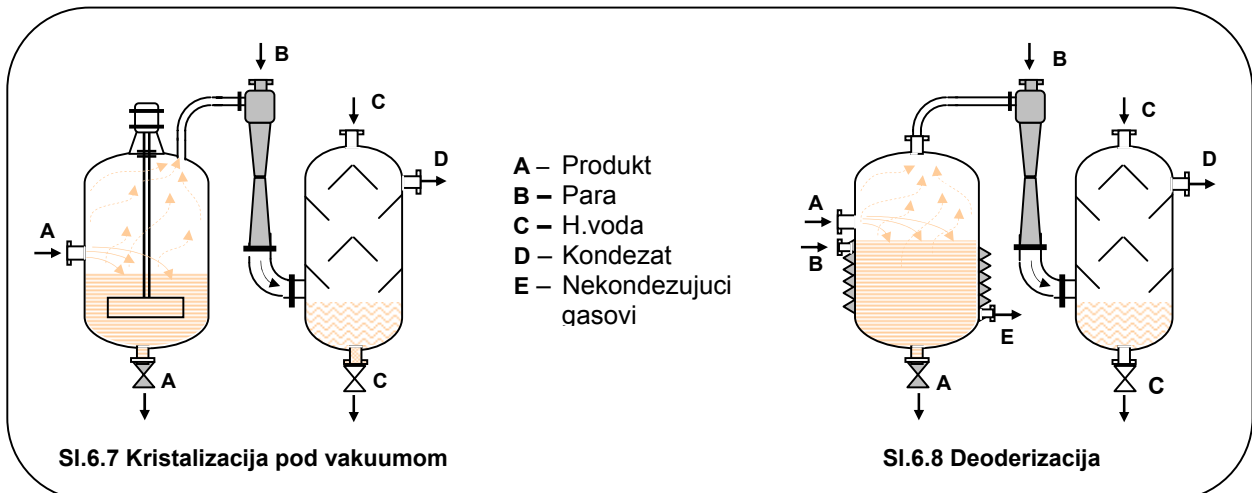
Kod ovih kompresora kao pogonski fluid upotrebljava se zasićena ili pregrejana vodena para. Pogonska para, prolaskom kroz mlaznicu, ekspandira do vrlo niskih pritisaka i u usisnu komoru ejektora ulazi sa brzinom zvuka ili nadzvučnom brzinom. U komori ejektora čestice pogonske pare zahvataju, sabijaju i povlače sa sobom paru iz usisnog cevovoda. Odnos izlaznog i usisnog pritiska kreće se u granicama 0 -10. Veće vrednosti odnose se na niske usisne pritiske od 0,01 – 0,1 bar aps.

Upotreba:-Korišćenjem sveže pare kao pogonskog fluida moguće je usisavati i komprimovati istrošenu (izrabljenu) paru i ponovo je vratiti u proces. Ejektorski parni kompresori koriste se u procesima: isparavanja, hlađenja, kristalizacije, dezoksidacije, degasifikacije, sušenja, za kompresiju isparenja kondenzovane vodene pare i isparavanja uparivača.

Na Sl.6.4–Sl.6.8 šematski su prikazani neki od procesa u kojima se koriste ejektorski kompresori.

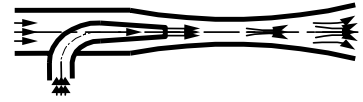


Sl.6.6 Toplotna pumpa (povraćaj toplote iz otpale tople vode)



Na dijagramu 6.4 sa oznakom ψ označena je zavisnost odnosa 1 kg masenog protoka energije mešavine na izlazu iz ejektora i 1 kg masenog protoka pogonske energije na ulazu u ejektor u zavisnosti od masenih odnosa usisavanog i pogonskog protoka umnoženim sa kvadratnim

korenom iz odnosa njihovih apsolutnih temperatura $\psi = m_2/m_1 \sqrt{T_2 / T_1}$. Sa slovniim oznakama R, T i k obeležene su gasne konstante, apsolutne temperature i izložitelji adijabate. Indeks 1 odnosi se na pogonski gas, indeks 2 odnosi se na usisavani



gas, a indeks 3 na mešavinu pogonskog i da se koristi za sve vrste gasova i vodene pare i za usisavanog gasa na izlazu iz ejektora. Oznakom η sve temperature. označen je koeficijent korisnosti. Dijagram 6.4 može .

$$\psi = \frac{\frac{k_3}{k_3-1} R_3 T_3 \left[1 - \left(p_2 / p_3 \right)^{\frac{k_3-1}{k_3}} \right]}{\frac{k_1}{k_1-1} R_1 T_1 \left[1 - \left(p_2 / p_1 \right)^{\frac{k_1-1}{k_1}} \right]} = \frac{\frac{k_3}{k_3-1} v_3 p_3 \left[1 - \left(p_2 / p_3 \right)^{\frac{k_3-1}{k_3}} \right]}{\frac{k_1}{k_1-1} v_1 p_1 \left[1 - \left(p_2 / p_1 \right)^{\frac{k_1-1}{k_1}} \right]}$$

$$T_3 = \frac{m_1 c_{p1} T_1 + m_2 c_{p2} T_2}{m_3 c_{p3}} = \frac{c_{p1} T_1 + \mu c_{p2} T_2}{(1 + \mu) c_{p3}} \quad R_3 = \frac{R_1 + \mu R_2}{(1 + \mu)}$$

gde su:

$T_{1,2,3}$ - apsolutne temperature gasova u stanju mirovanja,
 $R_{1,2,3}$ - gasne konstante.

Primer 6.4

Sa 1 kg pogonskog komprimovanog vazduha pritiska $p_1 = 11$ bar aps treba usisati 0,61 kg vazduha koji se nalazi pod pritiskom $p_2 = 1,1$ bar aps. Traži se koliki se može dobiti pritisak na izlazu iz ejektora p_3 .

a) kada su temperature pogonskog i usisavanog vazduha jednake $t_1 = t_2$ i

b) kada je temperatura pogonskog vazduha $t = 80^\circ\text{C}$, a usisavanog vazduha $t_2 = 20^\circ\text{C}$?

Rešenje

Za odnos protočnih masa $\mu = m_2 / m_1 = 0,61 / 1 = 0,61$ iz dijagrama 6.4 očitava se $\psi = 0,281$ i koeficijent korisnosti $\eta = 0,27$.

a) Kako je za vazduh $k_1 = k_2 = k_3$ i $R_1 = R_2 = R_3$ so se iz jed. 6.2-1 za $t_1 = t_2$ dobija

$$\frac{p_3}{p_2} = \frac{1}{\left\{ 1 - \psi \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] \right\}^{\frac{k}{k-1}}} = \frac{1}{\left\{ 1 - 0,281 \left[1 - \left(\frac{1,1}{11} \right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} \right] \right\}^{\frac{1,4}{1,4-1}}} = 1,66$$

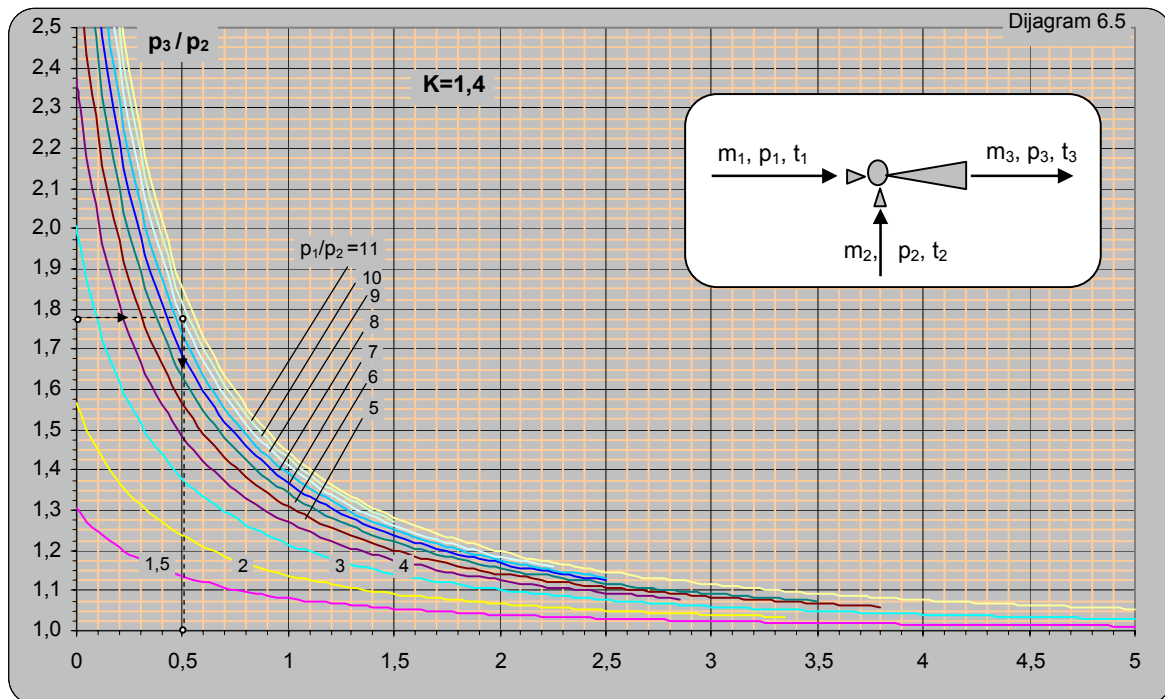
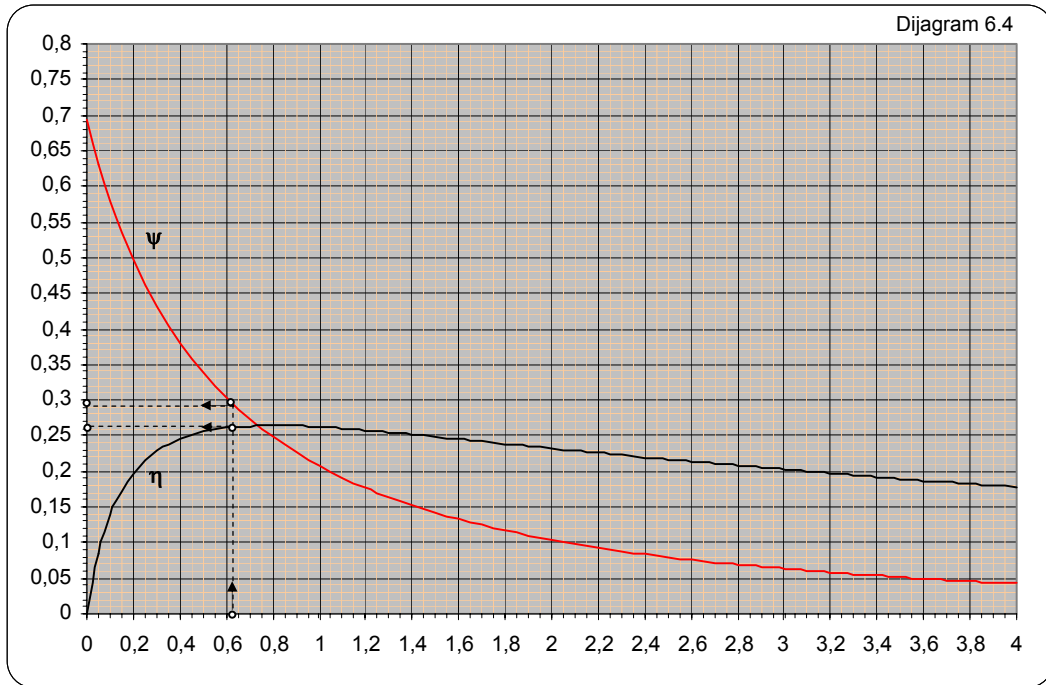
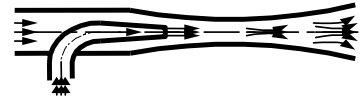
$$p_3 = p_2 \times 1,66 = 1,1 \times 1,66 = 1,83 \text{ bar aps}$$

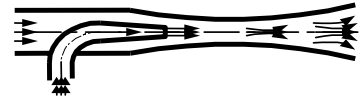
b) Za $\mu = 0,61$ temperatura na izlazu iz ejektora iznosi

$$T_3 = \frac{m_1 c_{p1} T_1 + m_2 c_{p2} T_2}{m_3 c_{p3}} = \frac{T_1 + \mu T_2}{(1 + \mu)} = \frac{(273 + 80) + 0,61(273 + 20)}{(1 + 0,61)} = 330,27^\circ\text{C}$$

$$\frac{p_3}{p_2} = \frac{1}{\left\{ 1 - \frac{T_1}{T_3} \psi \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] \right\}^{\frac{k}{k-1}}} = \frac{1}{\left\{ 1 - \frac{353}{330,27} 0,281 \left[1 - \left(\frac{1,1}{11} \right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} \right] \right\}^{\frac{1,4k}{1,4-1}}} = 1,728$$

$$p_3 = 1,7287 \times 1,1 = 1,9 \text{ bar aps}$$





Na dijagramu 6.5 za $k = 1,4$ prikazan je odnos apsolutnih pritiska na izlazu iz ejektora i usisavanog pritiska (p_3/p_2) u zavisnost od apsolutnih dnosa pritiska pogonskog i usisavanog vazduha p_1/p_2 i masenih odnosa usisavanog i pogonskog protoka (m_2/m_1). Dijagram 6.5 dat je za uslove kada i pogonski i usisavani gas imaju isti izložitelj adijabate $k = 1,4$ i istu temperaturu $t_1 = t_2$. Dijagram se može koristiti i za različite temperature pogonskog i usisavanog gasa stim što se, na dijagramu očitana vrednost μ treba da pomnoži sa $\sqrt{T_1/T_2}$

$$(\mu = m_2/m_1 \sqrt{T_2/T_1}).$$

Primer 6.5

Vazduh koji se nalazi u sudu pod pritiskom $p_2 = 1,4$ bar aps i temperaturi $t_2 = 20^\circ\text{C}$, treba usisati i sabiti na pritisak $p_3 = 2,45$ bar aps. Za pogon ejektora koristi se vazduh pod pritiskom $p_1 = 12,5$ bar aps i temperaturom $t_1 = 20^\circ\text{C}$. Traži se koliko kg vazduha iz suda može da se usisa sa 1 kg pogonskog vazduha?

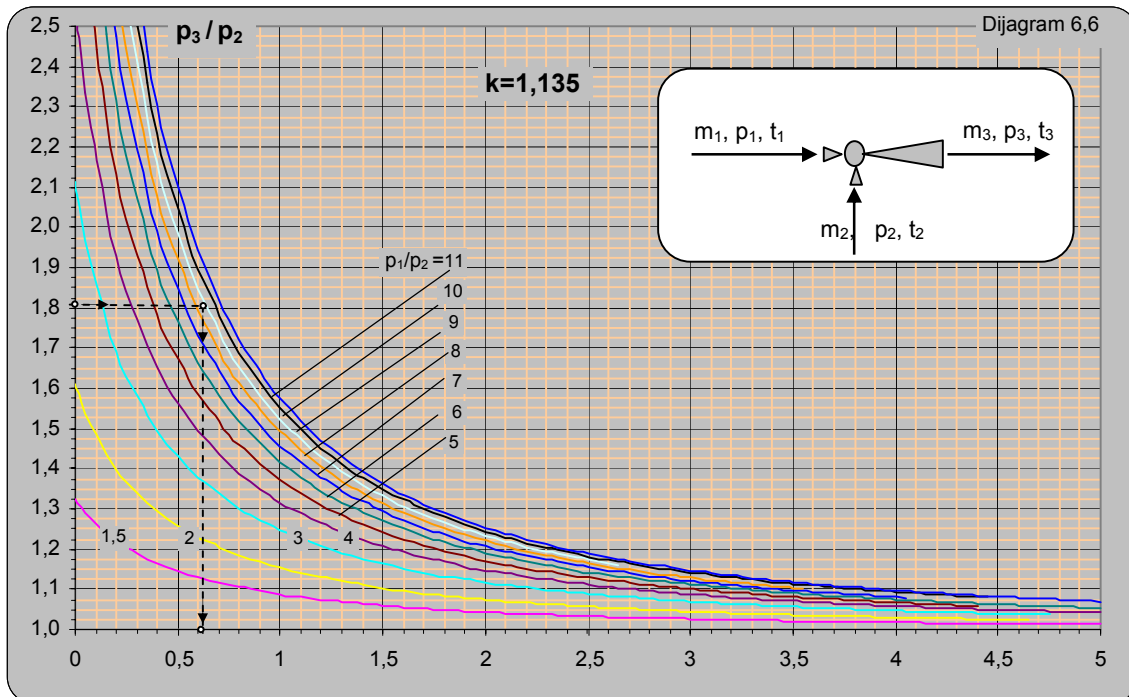
Odavde proizilazi da, pri istim uslovima rada, sa porastom temperature pogonskog gasa usisaće se veća količina usisavanog gasa i obratno ili sa porastom temperature usisavanog gasa usisaće se manja količina usisavanog gasa i obratno. Sa T_1 obeležena je temperatura pogonskog, a sa T_2 usisavanog gasa

Ejektori koji za pogon koriste komprimovane gasove (vazduh) mogu da se koriste i za izvlačenje i sabijanje vodene pare i raznih drugih isparenja.

Rešenje

Za odnose pritiska $p_3/p_2 = 2,45/1,4 = 1,75$ i $p_1/p_2 = 12,5/1,4 = 8,93$ na dijagramu 6.5 očitava se

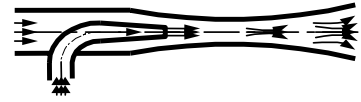
$\mu = m_2/m_1 \sqrt{T_2/T_1} = 0,51$. Sa 1 kg pogonskog vazduha moći će da se usisa 0,51 kg vazduha iz suda.



$$\mu = m_2/m_1 \sqrt{T_2/T_1}$$

Na dijagramu 6.6 za $k = 1,135$ (zasićena vodena para) prikazan je odnos apsolutnih pritiska na izlazu iz ejektora i usisavanog pritiska (p_3/p_2) u zavisnost od apsolutnih dnosa pritiska pogonske i usisavane vodene pare p_1/p_2 i masenih odnosa usisavanog i

pogonskog protoka (m_2/m_1). Dijagram 6.6 dat je za uslove kada i pogonska i usisavana para imaju isti izložitelj adijabate $k = 1,135$ i iste temperature $t_1 = t_2$. Dijagram se može koristiti i za različite temperature pogonske i usisavane vodene pare stim što se, na



dijagramu očitana vrednost μ treba da pomnoži sa $\sqrt{T_1/T_2}$. Odavde proizilazi da, pri istim uslovima rada, sa porastom temperature pogonske pare usisaće se veća količina usisavane pare i obratno ili sa porastom temperature usisavane pare usisaće se manja količina usisavane pare i obratno. Sa T_1 obeležena je temperatura pogonske, a sa T_2 usisavane vodene pare.

Na dijagramu 6.7 za $k=1,3$ (pregrejana vodena para, i svi gasovi koji imaju $k=1,3$) prikazan je odnos apsolutnih pritiska na izlazu iz ejektora i usisavanog pritiska (p_3/p_2) u zavisnost od apsolutnih dnosa pritiska pogonske i usisavane vodene pare p_1/p_2 i

Primer 6.6

Pritisak zasićene usisavane pare od $p_2=1,1$ bar aps i temperature $t_2=102,32^\circ\text{C}$ treba sabiti na pritisak $p_3=2$ bar aps.

Koliko se kilograma usisavane pare m_2 može usisati sa $m_1=1$ kg pogonske pare, ako je pritisak pogonske zasićene pare $p_1=11$ bar aps i temperatura $t_1=184,07^\circ\text{C}$?

masenih odnosa usisavanog i pogonskog protoka (m_2/m_1). Dijagram 6.7 dat je za uslove kada i pogonska i usisavana para imaju isti izložitelj adijabate $k=1,3$ i iste temperature $t_1=t_2$. Dijagram se može koristiti i za različite temperature pogonske i usisavane vodene pare stin što se, na dijagramu očitana vrednost μ treba da pomnoži sa $\sqrt{T_1/T_2}$. Odavde proizilazi da, pri istim uslovima rada, sa porastom temperature pogonske pare usisaće se većakoličina usisavane pare i obratno ili sa porastom temperature usisavane pare usisaće se manja količina usisavane pare i obratno. Sa T_1 obeležena je temperatura pogonske, a sa T_2 usisavane vodene pare.

Rešenje

Za odnos $k=0,135$ i pritiska $p_3/p_2=2/1,1=1,81$, odnos pritiska $p_1/p_2=11/1,1=10$, na Dijagramu 6.6 očitava se

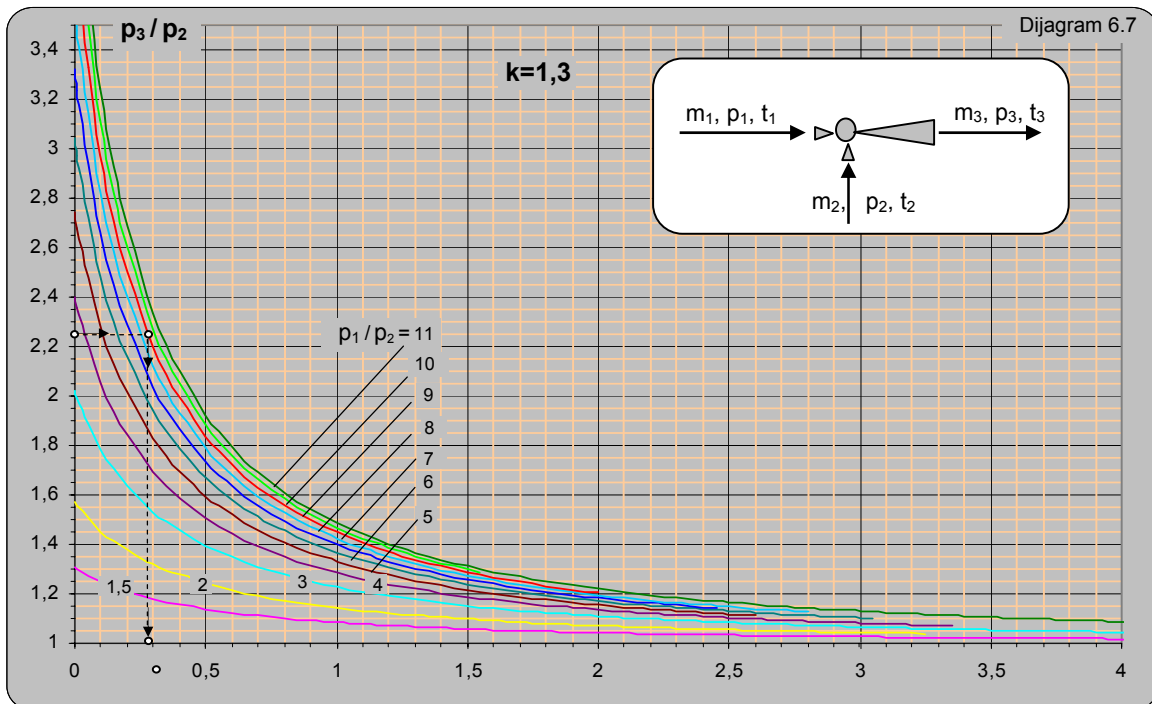
$$\mu = m_2/m_1 \sqrt{T_2/T_1} = 0,61.$$

Zbog nejednakih temperatura $T_1 \neq T_2$ pogonske i usisavane pare izvršiće se korekcija pa je

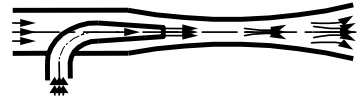
$$m_2/m_1 = \mu \sqrt{T_1/T_2} =$$

$$= 0,61 \sqrt{(273 + 184,07)/(273 + 102,32)} = 0,67.$$

Za zadate uslove sa $m_1=1$ kg pogonske pare može da se usisa $m_2=0,67$ kg usisavane pare.



$$\mu = m_2/m_1 \sqrt{T_2/T_1}$$

**Primer 6.7**

Sa pogonskim pritiskom pregrejane pare pritiska $p_1 = 18$ bar aps i temperature $t_1 = 280^\circ\text{C}$ treba usisati pregrejanu paru sa pritiskom $p_2 = 2$ bar aps i temperaturom $t_2 = 160^\circ\text{C}$ i sabiti je na pritisak $p_3 = 4,5$ bar aps. Traži se koliki je odnos masenih protoka m_2 / m_1 .

Rešenje

Za odnose pritisaka $p_3 / p_2 = 4,5 / 2 = 2,25$ i $p_1 / p_2 = 18 / 2 = 9$ na dijagramu 6.7 očitava se

$\mu = m_2 / m_1 \sqrt{T_2 / T_1} = 0,29$. Odnos masenih protoka iznosi

$$m_2 / m_1 = \mu \sqrt{T_1 / T_2} =$$

$$= 0,29 \sqrt{(273 + 280) / (273 + 160)} = 0,33 .$$