

1

PNEUMATSKI SISTEMI

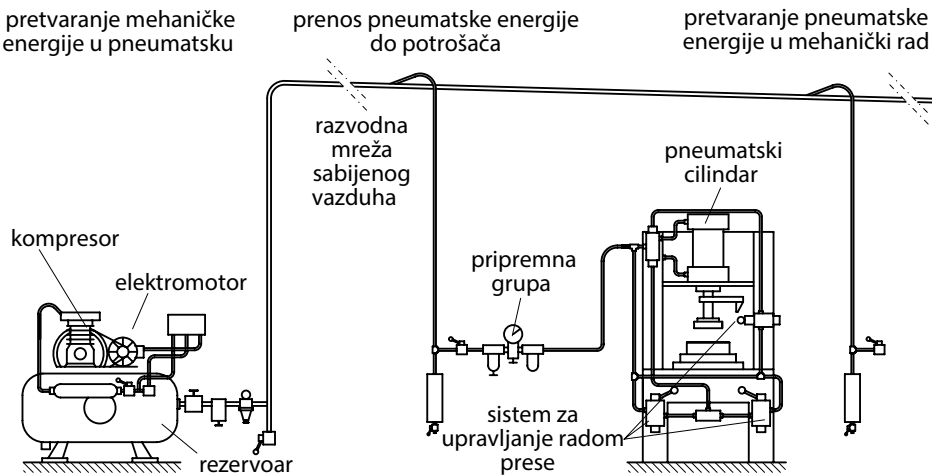
Pneumatski sistem je tehnički sistem za pretvaranje i prenos energije, kao i za upravljanje energijom. Ovo poglavlje obuhvata sledeće teme:

- osnovne funkcije pneumatskog sistema
- osnovna svojstva vazduha
- opis stanja pneumatskog sistema
- prikazivanje pneumatskih sistema
- primena pneumatskih sistema

1.1 Osnovne funkcije pneumatskog sistema

Osnovne funkcije pneumatskog sistema su pretvaranje i prenos energije, i upravljanje energijom.

Pneumatski sistem za pogon prese i upravljanje presom prikazan je šematski na slici 1.1. Potrebna energija dobija se pretvaranjem mehaničke energije (izvor je elektromotor) u energiju sabijenog vazduha (pretvarač energije je kompresor). Kroz razvodnu pneumatsku mrežu, vazduh iz rezervoara dovodi se u pripremnu grupu gde se čisti i zauljava. Očišćen i zauljen vazduh dovodi se u pneumatski cilindar, gde se energija sabijenog vazduha pretvara u mehanički rad.



Slika 1.1 Pneumatski sistem za pogon prese i upravljanje njom.

U pneumatski sistem ugrađene su komponentne koje omogućuju upravljanje smerom kretanja klipa cilindra i ograničenje hoda klipnjače.

Nakon što obavi zadatu funkciju (mehanički rad ili upravljanje), vazduh se ispušta u okolnu atmosferu.

Postoji više vrsta pneumatskih sistema koji su našli primenu u tehničkoj praksi zavisno od radnog pritiska koji se kreće od 0,1 bar do 200 bar i više:

- vakuumska tehnika (radni pritisci max. 0,1 bar),
- fluidika (radni pritisak max. 2 bar),
- industrijska pneumatika (radni pritisak max. 15 bar),
- pneumatika visokog pritiska (radni pritisak max. 200 bar) i
- pneumatika ekstremno visokog pritiska (radni pritisci preko 1000 bar).

U daljem tekstu biće govora o elementima i sistemima industrijske pneumatike.

1.2 Osnovna svojstva vazduha

Iako praktično svaki gas može biti medijum za pretvaranje i prenos pneumatske energije, vazduh ima najširu primenu u industrijskim pneumatskim sistemima.

Osnovni parametri koji određuju stanje vazduha u pneumatskom sistemu jesu pritisak, temperatura i gustina.

Pritisak. Apsolutni pritisak vazduha jednak je zbiru izmerenog (manometarskog) pritiska p_1 i atmosferskog (barometarskog) pritiska p_a :

$$p = p_1 + p_a$$

Temperatura. U tehničkoj praksi koristi se međunarodna temperaturna skala s temperaturom t u Celzijusovim stepenima ($^{\circ}\text{C}$). U teoriji pneumatskih sistema koristi se termodinamička temperatura T (apsolutna temperatura) u Kelvinovim stepenima (K).

$$T = t + 273^{\circ}$$

Gustina. Po definiciji, gustina vazduha je $\rho = mV$ [kg/m^3] gde je m = masa [kg] i V zapremina [m^3]. Pošto se gustina vazduha značajno menja s promenom temperature i pritiska, vrednost gustine se daje za određene uslove. Pri pritisku $p = 0,1013$ MPa (760 mmHg) i na temperaturi $T = 293$ K ($t = 20$ $^{\circ}\text{C}$), vazduh ima gustinu $\rho = 1,207$ kg/m^3 (specifična težina $\gamma = 0,83$ m^3/kg).

Pored navedenih veličina, za praktičnu upotrebu vazduha u pneumatskim sistemima, važni su viskozitet, vlažnost i specifična toplota.

Viskozitet vazduha karakterišu sile unutrašnjeg trenja čestica u toku strujanja. Koriste se koeficijent dinamičkog viskoziteta μ i koeficijent kinematskog viskoziteta ν . Međusobna veza je definisana kao $\mu = \rho\nu$. Viskozitet vazduha zavisi od temperature, tako da to označavamo na sledeći način:

- μ_d – koeficijent dinamičkog viskoziteta pri apsolutnoj temperaturi T i
- μ_{do} – koeficijent dinamičkog viskoziteta pri temperaturi 273 K
($\mu_{do} = 17,2 \times 10^{-6}$ Pa s).

Vlažnost vazduha. Vazduh može biti suv ili vlažan. Vlažan vazduh sadrži vodu u paru. Količina vodene pare u vazduhu ograničena je i zavisi od temperature. Na primer, pri temperaturi 0 $^{\circ}\text{C}$, 1 m^3 vazduha može imati do 4,8 g vodene pare; pri 30 $^{\circ}\text{C}$ – do 30,4 g; pri 100 $^{\circ}\text{C}$ – do 597,4 g. Odnos količine vodene pare, sadržane u 1 m^3 pri zadatoj temperaturi prema maksimalno mogućoj količini vlage za tu temperaturu naziva se relativna vlažnost. Snižavanjem temperature smese vazduha

i vodene pare nastaje zasićenje i vodena para kondenzuje u vidu rose. Na taj način je moguće dobiti osušen vazduh, što se i praktično koristi.

Specifična toplota je količina toplote neophodna da se jedinica mase vazduha zagreje za jedan stepen Celzijusa. Razlikuje se specifična toplota pri konstantnom pritisku, c_p , i specifična toplota pri konstantnoj zapremini, c_v . U dijapazonu temperatura od $-40\text{ }^\circ\text{C}$ do $+100\text{ }^\circ\text{C}$, specifična toplota vazduha ima praktično konstantnu vrednost: $c_p = 1,01 \times 10^3 \text{ J/(kgK)}$ i $c_v = 0,72 \times 10^3 \text{ J/(kgK)}$.

1.3 Opis stanja pneumatskog sistema

Radni proces pneumatskog sistema obuhvata:

- dobijanje sabijenog vazduha,
- strujanje vazduha u cevovodima,
- ekspanziju vazduha na prigušnim otvorima i
- rad vazduha u radnim komorama izvršnog motora.

Procesi koji se odvijaju u pneumatskom sistemu opisuju se poznatim zakonitostima.

Jednačina kontinuiteta protoka:

$$\rho_1 v_1 A_1 = \rho_2 v_2 A_2$$

Zakon količine kretanja (uz početne brzine $v = 0$):

$$m_1 v_1 = m_2 v_2$$

Zakon o očuvanju energije:

$$\Delta U = Q + L$$

Jednačina stanja idealnog gasa:

$$pV = mRT$$

U prethodnim jednačinama, oznake imaju sledeća značenja:

- ρ [kg/m^3] – gustina gasa,
- A_1, A_2 [m^2] – površina protočnog otvora,
- v, v_1, v_2 [m/s] – brzina strujanja,

- m, m_1, m_2 [kg] – masa gasa,
- ΔU [J] – promena specifične unutrašnje energije,
- Q [J] – toplotna energija,
- L [J] – rad,
- p [Pa] – pritisak,
- V [m³] – zapremina,
- R [J/(kgK)] - gasna konstanta i
- T [K] - temperatura.

Iz termodinamike su poznate jednačine ekspanzije gasa za strujanje bez trenja:

$$\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^k = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{k}{k-1}}$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{k-1}$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{1}{k}} = \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^{k-1}$$

Za strujanje s trenjem, umesto eksponenta k eksponent je n .

Vrednost eksponenta n u procesu ekspanzije vazduha u elementima pneumatskog sistema u granicama je $1 > n > 1,41$, gde $n = 1$ odgovara ekspanziji vazduha s potpunim odvođenjem toplote (izoterma) u procesima karakterističnim za strujanje vazduha kroz duge cevi, a $n = 1,41$ odgovara procesu širenja vazduha bez izmene toplote (adijabata), koji je karakterističan za prigušne otvore.

Gasna konstanta R predstavlja rad koji se mora utrošiti da se jednom kilogramu gasa izmeni temperatura za jedan stepen Celzijusa pri konstantnom pritisku. Za suvi vazduh gasna konstanta ima vrednost $R = 287$ J/(kgK). Pri vlažnom vazduhu vrednost gasne konstante R nešto je veća (u praktičnim proračunima to se obično zanemaruje).

Za pneumatske sisteme karakteristični su termodinamički procesi pri konstantnoj količini vazduha. Pri prelasku vazduha iz jednog stanja u drugo, menjaju se njegovi parametri. U ograničenom dijapazonu pritiska i temperature, što odgovara praktičnim uslovima rada velikog broja pneumatskih sistema, korišćenjem jednačine stanja za idealni gas, može se uspostaviti veza za dva različita stanja 1 kg vazduha: