Sadržaj

Predgovor ix

1. Pneumatski sistemi 1

1.1 Osnovne funkcije pneumatskog sistema 2
1.2 Osnovna svojstva vazduha 3
1.3 Opis stanja pneumatskog sistema 4
1.4 Prikazivanje pneumatskih sistema 6
1.5 Primene pneumatskih sistema 7

2. Kompresori 11

2.1 Osnovne karakteristike kompresora 12
2.2 Klipni kompresori 14
2.3 Višestepeni klipni kompresori 16
2.4 Membranski kompresori 17
2.5 Rotacioni kompresori 17
2.6 Turbokompresori 20

3. Kompresorska stanica 25

3.1 Osnovne funkcije kompresorske stanice 26
3.2 Osnovni principi upravljanja radom kompresora 26
3.3 Karakteristične konstrukcije kompresorske stanice 31
3.4 Rezervoari 34
3.5 Boce za sabijeni vazduh 36

4. Razvodna mreža sabijenog vazduha 39

4.1 Osnovne funkcije sistema razvodne mreže sabijenog vazduha 40
4.2 Cevovodi razvodne mreže 43
4.3 Ventili za ispuštanje kondenzata 44
4.4 Filteri vazduha 46

4.5 Zauljivači 48
4.6 Redukcioni ventil 49
4.7 Pripremna grupa 50

5. Pneumatski motori 51

5.1 Osnovne funkcije pneumatskih motora 52
5.2 Karakteristične konstrukcije pneumatskih motora 52

6. Pneumatski cilindri 59

6.1 Osnovne funkcije pneumatskih cilindara 60
6.2 Osnovne karakteristike pneumatskih cilindara 61
6.3 Pneumatski cilindri posebnih konstrukcija 67
6.4 Udarni pneumatski cilindar 71

7. Pneumatsko-hidraulični sistemi 73

7.1 Osnovne funkcije pneumatsko-hidrauličnih sistema 74
7.2 Pretvarač pritiska 74
7.3 Multiplikator pritiska 75
7.4 Kočni cilindar 76

8. Pneumatski ventili 79

8.1 Pneumatski razvodnici 80
8.2 Pneumatski jednosmerni ventili 83
8.3 Pneumatski ventili pritiska 84
8.4 Pneumatski ventili protoka 86
8.5 Pneumatski funkcijski ventili 87

9. Pneumatski vodovi 91

9.1 Spajanje elemenata pneumatskog sistema cevima 92
9.2 Spajanje elemenata pneumatskog sistema u blok 94

10. Osnovni sistemi pneumatskog upravljanja 99

10.1 Pneumatsko upravljanje 100
10.2 Osnovni pneumatski pogoni 101
10.3 Osnovni sistemi pneumatskog upravljanja 103
10.4 Primeri sistema pneumatskog upravljanja 105

Prilog A **109**

Prilog B **125**

Prilog C **131**

Literatura **135**

Indeks **137**

PREDGOVOR

Tehnika pneumatike ima značajno mesto u velikom broju primena u različitim oblastima savremene tehnike, s osnovnim ciljem da se zameni ljudski rad.

Autor je izložio osnovna znanja o pneumatskim sistemima i ključnim komponentama s ciljem da ponuđeni sadržaji pobude pažnju i radoznalost čitalaca kako bi sami započeli otkrivanje tajni pneumatskog upravljanja. Posebno treba ukazati na činjenicu da se pneumatski sistemi relativno lako spajaju u sisteme upravljanja sa PIC, PLC i digitalnim računarima. Bilo bi neskromno reći da usvajanjem predstavljenih znanja čitalac postaje pneumatičar, ali svakako nije neskromno reći da je ambicija autora da čitalac stekne upotrebljiva (funkcionalna) znanja.

Knjiga je namenjena početnicima i onima koji već imaju neka saznanja iz oblasti tehnike pneumatike.

Tekst je organizovan u deset poglavlja: Pneumatski sistemi, Kompresori, Kompresorska stanica, Razvodna mreža sabijenog vazduha, Pneumatski motori, Pneumatski cilindri, Pneumatsko-hidraulični sistemi, Pneumatski ventili, Pneumatski vodovi i Osnovni sistemi pneumatskog upravljanja. Dodata su i tri priloga: Funkcijski simboli pneumatskih elemenata, Primeri pneumatskih sistema i Srpski standardi za pneumatiku.

Podaci korišćeni u tekstu preuzeti su iz literature, kao i javno dostupnih izvora informacija. Spisak literature dat je na kraju knjige.

Autor je svestan činjenice da su, i pored učinjenog napora, moguće greške i nedorečenosti, te su dobrodošle primedbe i sugestije koje se odnose na tekst.

Autoru možete pisati na adresu: rademirkovic@open.telekom.rs.

Autor se zahvaljuje svima koji su svojim radom doprineli da ovaj tekst ugleda svetlost dana.

U Beogradu, mart 2015.
Rade Mirković

1
PNEUMATSKI SISTEMI

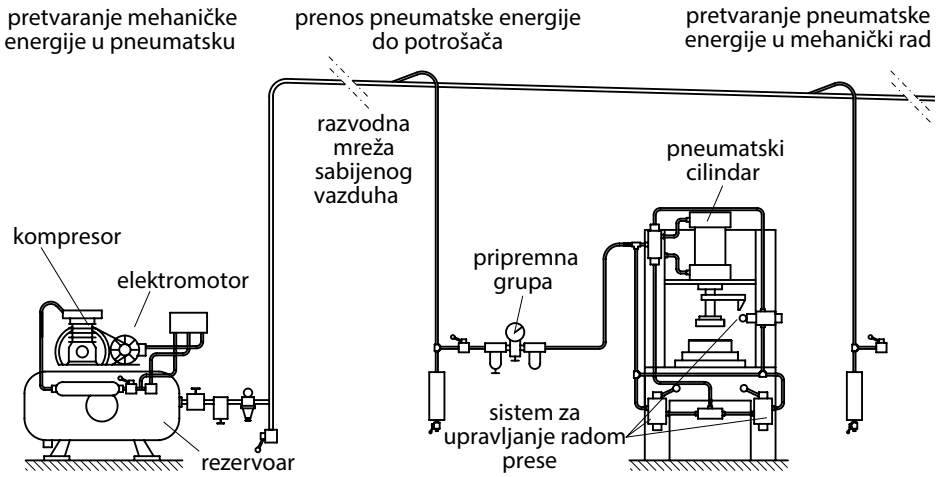
Pneumatski sistem je tehnički sistem za pretvaranje i prenos energije, kao i za upravljanje energijom. Ovo poglavlje obuhvata sledeće teme:

- 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.



Slika1.1 *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:

$$p = p_i + p_a$$

Temperatura. U tehničkoj praksi koristi se međunarodna temperaturna skala s temperaturom t u Celzijusovim stepenima (˚C). U teoriji pneumatskih sistema koristi se termodinamička temperatura T (apsolutna temperatura) u Kelvinovim stepenima (K).

$$T = t + 273^{o}$$

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 ˚C), vazduh ima gustinu ρ = 1,207 kg/m^3 (specifična težina γ = 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 (μ_{do} = 17,2×10-6 Pa s).

Vlažnost vazduha.Vazduh može biti suv ili vlažan. Vlažan vazduh sadrži vodenu paru. Količina vodene pare u vazduhu ograničena je i zavisi od temperature. Na primer, pri temperaturi 0 ˚C, 1 m^3 vazduha može imati do 4,8 g vodene pare; pri 30 ˚C – do 30,4 g; pri 100 ˚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 ˚C do +100 ˚C, specifična toplota vazduha ima praktično konstantnu vrednost: $c_p = 1{,}01\times10^3$ J/(kgK) i $c_v = 0{,}72\times10^3$ 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 [m^3] – 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:

2
KOMPRESORI

Kompresori pretvaraju mehaničku energiju u energiju sabijenog gasa (pneumatsku energiju). Ovo poglavlje opisuje:

- osnovne karakteristike kompresora
- karakteristična konstrukcijska rešenja kompresora (klipni, membranski, rotacioni i turbokompresori)

2.1 Osnovne karakteristike kompresora

Osnovna funkcija kompresora je da kontinuirano pretvara dovedenu mehaničku energiju u energiju sabijenog vazduha (pneumatsku energiju).

Osnovne karakteristike kompresora su protok, to jest količina sabijenog vazduha izražena u m^3/min (za manje kompresore i l/min) i postignuti pritisak izražen u barima.

Protok sabijenog vazduha određuje se zapreminom vazduha u m^3/h, na usisnoj strani, pri stalnom atmosferskom pritisku i normalnoj temperaturi.

Za realizaciju funkcija, kompresori imaju mehaničke (konstrukcijske) sisteme:

- mehanizam za pretvaranje energije,
- mehanizam za razvođenje vazduha i
- mehanizam za upravljanje.

Mehanizam za pretvaranje energije predaje mehaničku energiju zahvaćenoj zapremini vazduha posredstvom odgovarajućih mehaničkih sklopova s pokretnim delovima, pa je njegova funkcija pretvaranje mehaničke energije u pneumatsku. Klipni kompresori koriste pokretni klip u cilindru i motorni mehanizam, rotacioni kompresori – krilca ili spregnut zavojni par, a turbokompresori – odgovarajuće turbinsko kolo s lopaticama. Mehanizam za pretvaranje energije imaju svi kompresori.

Mehanizam za razvođenje razdvaja zonu niskog pritiska na ulazu od zone sabijenog vazduha na izlaznom delu kompresora. Taj mehanizam postoji u svim kompresorima.

Mehanizam za upravljanje imaju neki zavojni kompresori u kojima je moguće regulisati količinu sabijenog vazduha za vreme rada kompresora.

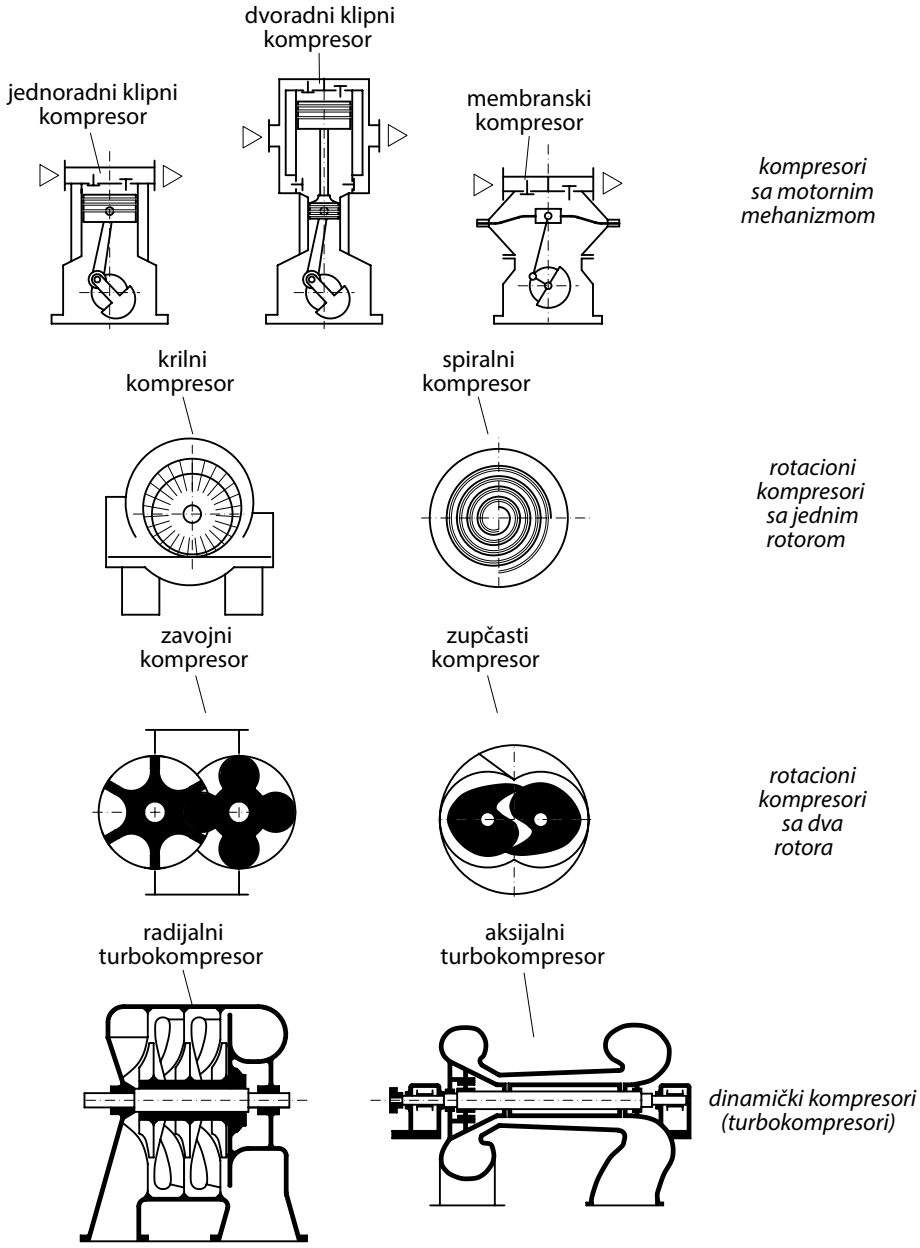
Funkcije upravljanja i regulacije (održavanje pritiska na izlazu, količina sabijenog vazduha, isključivanje/uključivanje kompresora i slično) definišu se prema nameni kompresora i realizuju pomoću odgovarajućeg sistema izvan kompresora (regulator pritiska, električno isključivanje/uključivanje elektromotora itd.).

Radna zapremina kompresora je konstantna, a prave se za jedan smer potiskivanja sabijenog vazduha.

Klipni kompresori se koriste za dobijanje visokog pritiska (200 bar) za male i srednje protoke, a turbokompresori – za velike protoke pri manjim pritiscima (do 15 bar).

Ekstremno visoki pritisci – preko 1000 bar – dobijaju se pomoću višestepenih membranskih kompresora. U njima je mehanizam za pretvaranje odgovarajuća elastična membrana.

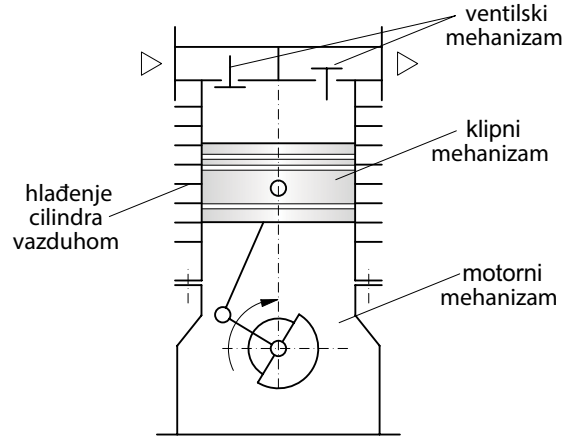
Na slici 2.1 šematski su prikazane karakteristične konstrukcije kompresora.



Slika 2.1 *Karakteristične konstrukcije kompresora (šematski prikaz).*

2.2 Klipni kompresori

Jednoradni klipni kompresor šematski je prikazan na slici 2.2. U cilindru kompresora, klip se periodično kreće između dve mrtve tačke (mehanizam za pretvaranje energije). Na poklopcu (glavi) cilindra smešteni su usisni i potisni ventili (mehanizam za razvođenje).



Slika 2.2 *Šematski prikaz jednoradnog klipnog kompresora.*

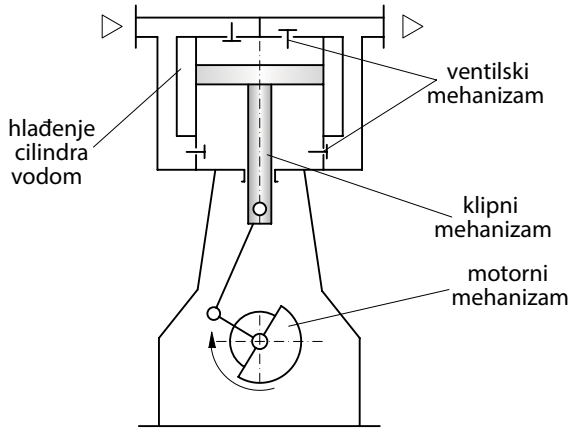
Vazduh se usisava kroz otvoreni usisni ventil (potisni ventil je zatvoren) kad se klip izvlači. Vazduh se potiskuje (sabija) pri zatvorenom usisnom ventilu, kad se klip kompresora uvlači u cilindar, pri čemu je potisni ventil otvoren. To znači da se u jednom obrtu kolenastog vratila klipnog kompresora izvede jedno usisavanje i jedno potiskivanje (radni ciklus kompresora).

Hlađenje cilindra kompresora izvedeno je tako da je cilindar sa spoljašnje strane orebren i vazduh ga slobodno opstrujava odvodeći toplotu.

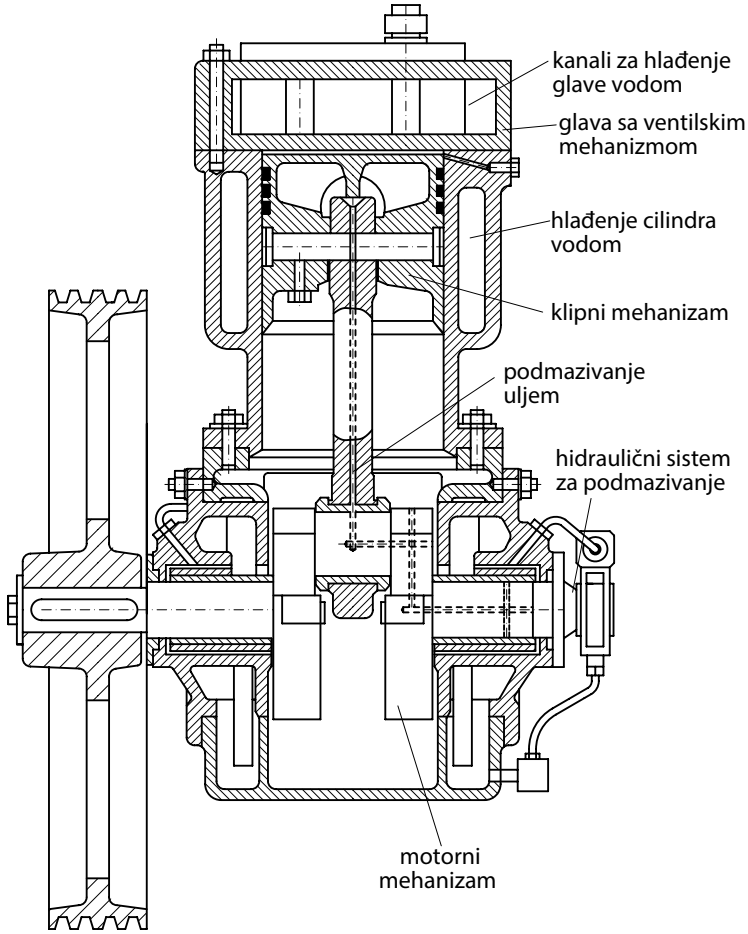
Dvoradni klipni kompresor šematski je prikazan na slici 2.3. Radna komora ovih kompresora konstruisana je tako da istovremeno usisavaju (jedna strana klipa) i potiskuju (druga strana klipa).

Hlađenje košuljice cilindra je prisilno – vazdušno ili vodeno. Hlađenje se izvodi strujanjem vazduha ili vode kroz kanale oko košuljice i na poklopcu cilindra.

Karakteristična konstrukcija jednostepenog klipnog kompresora prikazana je na slici 2.4.



Slika 2.3 *Šematski prikaz dvoradnog klipnog kompresora.*



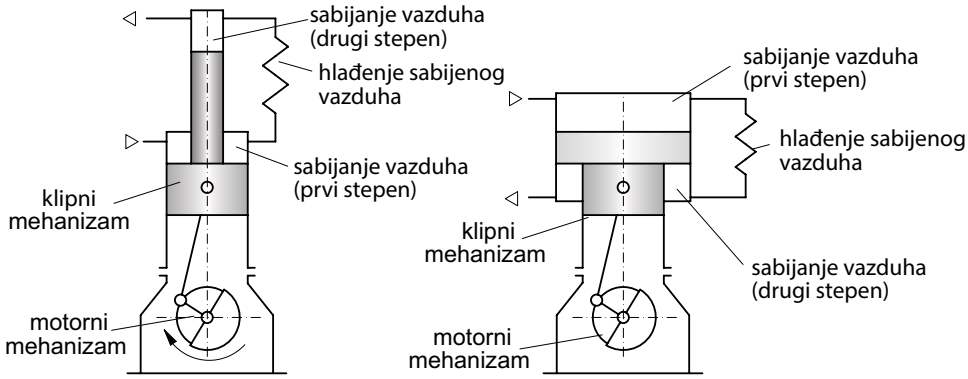
Slika 2.4 *Pojednostavljeni presek jednostepenog klipnog kompresora.*

2.3 Višestepeni klipni kompresori

Pri pritiscima sabijanja od 6 do 8 bar, konačne izlazne temperature jednostepenim klipnim kompresorom dostižu 215 ˚C odnosno 250 ˚C, ako se vazduh sabija adijabatski pri normalnoj početnoj temperaturi okoline od 20 ˚C.

Mogući pritisak na izlazu iz određenog stepena klipnog kompresora definisan je temperaturom sabijenog vazduha jer postoji opasnost od eksplozije para ulja za podmazivanje (dizel efekat). Temperatura sabijenog vazduha u klipnim kompresorima ne prelazi 140 ˚C, ograničenja su fizičko-hemijska svojstva kompresorskih ulja koja se koriste za podmazivanje pokretnih delova kompresora.

Za sabijanje vazduha na više pritiske koriste se višestepeni klipni kompresori. Dvostepeni klipni kompresori šematski su prikazani na slici 2.5.



Slika 2.5 *Dvostepeni klipni kompresori (šematski prikaz).*

U višestepenim kompresorima, odnos kompresije za svaki stepen po pravilu je jednak.

Karakteristična konstrukcija dvostepenog klipnog kompresora prikazana je na slici 2.6.

Sabijeni vazduh iz prvog stepena kompresora uvodi se u međuhladnjak gde mu se oduzima toplota. Odvođenjem toplote snižava se temperatura, a time i zapremina vazduha. Zapremina cilindra drugog stepena manja je od zapremine cilindra prvog stepena klipnog kompresora.