

I PNEUMATIKA

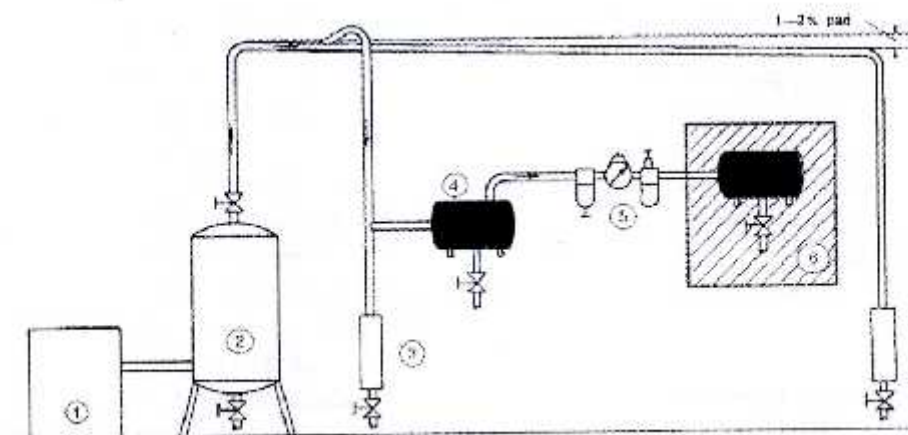
1.1 Uvod

Pneumatski uređaji i sistemi bili su poznati još krajem XIX veka. Tada su se još primenjivale: prese na pneumatski pogon, pneumatski seka-i, pneumatski alati za grubo skidanje neravnina na otkovanim komadima i sl. Od tada pa do danas pneumatika se razvila kao samostalna disciplina koja se bavi prou-avanjem procesa prenosa i obrade gasova pod pritiskom razli-itim od atmosferskog.

Prednosti pneumatskih uređaja su: mala masa, jednostavno odr'avanje, mogućnost finog regulisanja brzine kao i postupnog povećanja sile pritiska, neosetljivost na preopterećenje, mala opasnost od nesrećnog slu-aja itd. Takođe, pneumatski uređaji su robusne i jednostavne konstrukcije. Ovo je omogućilo njihovu primenu u teškim uslovima rada, kao i tamo gde se od opreme zahteva velika pouzdanost u radu.

U preradi drveta pneumatski uređaji se koriste za: izvodjenje kretanja nosa-a alata kod alatnih mašina (bušilica, ru-na brusilica i sl.), stezanje obratka na mašini (ljuštilica za furnir, putem vakuuma kod obradnih centara i sl.), raspršivanje boje i lakova, ostvarenje sile pritiska kod prese, pneumatski transport drvnog otpatka, transport i dizanje materijala i gotovih proizvoda, -ičenje radnog mesta, kontrolu kvaliteta itd. Radni fluid je isključivo atmosferski vazduh, a radni pritisci kreću od potpritiska 0,2MPa, pa sve do natpritiska od 0,9MPa.

Proizvodnja, priprema i distribucija vazduha pod pritiskom kao strana koja snabdeva i pneumatski izvršni organi kao potroša-i vazduha pod pritiskom -ine jedinstven sistem (slika). Radi poboljšanja energetske efikasnosti nu'an je sistematski prilaz i analiza obe strane – proizvodnje i potrošnje.



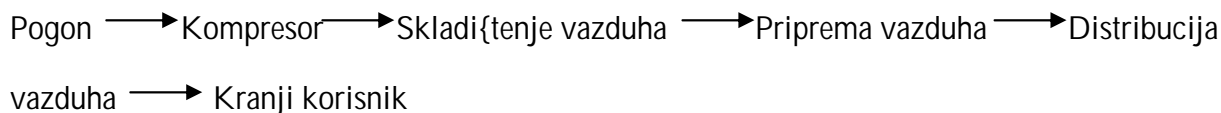
Slika 1: Principijelna shema proizvodnje, pripreme i distribucije vazduha pod pritiskom: 1.kompresor, 2.rezervoar, 3.ispust za kondenzat, 4.kompenzacioni sud, 5.priprema grupa, 6.potroša-.

Osnovna komponenta pneumatske instalacije je kompresor (1) jer on proizvodi vazduh pod pritiskom. Vazduh se skladišti u rezervoaru (2), a zatim cevovodom transportuje do kompenzacionog suda (4). Cevovod je blago nagnut kako bi se kondenzat lakše prikupljao i ispuštio preko posude (3). Kompenzacioni sud (4) služi da nadomesti gubitke vazduha u sistemu ili eventualno ispusti višak vazduha, da bi se sistem uravnotežio i postigao stabilni

A. Dedi}: Pneumatika i hidraulika u drvnoj industriji

pritisak. Pripremna grupa (5) pre-iva i zauljava vazduh, i odr'ava ga na potrebnom pritisku na kome radi potro{a- (6). Potro{a- obi-no u sebi poseduje upravlja-ki deo koji vr{i upravljanje i regulaciju rada izvr{nog organa potro{a-a.

Lanac koji povezuje izvor elektri-ne energije i krajnjeg potro{a-a prikazan je na slici 2.



Slika 2: Procesni lanac za sisteme vazduha pod pritiskom

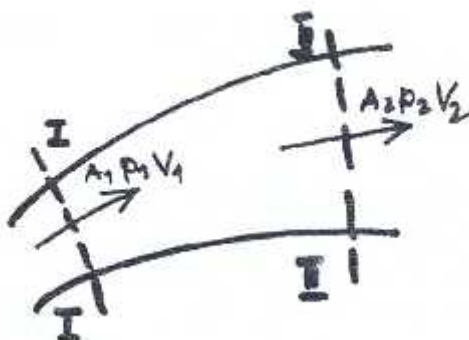
1.2 Osnovne veli~ine pri strujanju vazduha

Kod pneumatskih uređaja proces pretvaranja energije u mehani-ki rad ne obavlja se samo preko ekspanzije vazduha, ve} i preko strujanja komprimovanog vazduha. Strujanje vazduha pod pritiskom se koristi za preno{enje energije radi vr{enja nekog rada. Vazduh struji iz oblasti vi{eg u oblast ni'eg pritiska. Ako posmatramo kako vazduh struji izmedju dva popre-na preseka (slika 3) neke zatvorene kontrolne zapremine, uo-avamo da je koli-ina vazduha koja protekne kroz oba preseka jednaka (jedna-ina kontinuiteta):

$$\dot{m}_I = \dot{m}_{II}$$

$$\rho_1 \cdot w_1 \cdot A_1 = \rho_2 \cdot w_2 \cdot A_2$$

gde su: w_1 i w_2 srednje brzine strujanja vazduha u presecima I-I i II-II.



Slika 3: Strujanje vazduha u zatvorenoj kontrolnoj zapremini

Ako su pri tom i gustine vazduha u pomenutim presecima jednake, onda dolazimo i do jednakosti zapreminskih protoka (jedna-ina kontinuiteta za ne{ti{ljev fluid).

$$\dot{V}_I = \dot{V}_{II}$$

U zavisnosti od brzine, strujanje mo'e biti laminarno ili turbulentno. Kod laminarnog strujanja strujnice (putanje kretanja elementarnih deli}a vazduha) su paralelne, dok kod turbuletnog strujanja to nije slu-aj. Laminarnom strujanju odgovaraju obi-no male brzine, a turbulentnom velike. Pri pove}anju brzine laminarno strujanje prvo ulazi u tzv. prelazni re'im

A. Dedi}: Pneumatika i hidraulika u drvnoj industriji

a onda postaje turbulentno. Kriti-na brzina pri kojoj dolazi do turbulencije odredjuje se iz izraza:

$$w_{kr} = Re \cdot \frac{\nu}{d}$$

gde su: Re (-) – Rejnoldsov broj koji za strujanje u pravoj i glatkoj cevi mo'e biti: 1) $Re < 2300$ - laminarno strujanje, 2) $2300 < Re < 10^4$ prelazni re'im strujanja, 3) $Re > 10^4$ turbuletno strujanje;

ν (m²/s) – kinemati-ka viskoznost koja predstavlja merilo unutra{njeg trenja vazduha o zidove cevi.

Kako je ukupni pritisak u nekom preseku jednak zbiru stati-kog i dinami-kog pritiska tj:

$$p_t = p + \rho \frac{w^2}{2},$$

onda bi razlika totalnih pritisaka u jednom i drugom preseku (sl. 98) tj. ukupni pad pritiska izmedju dva preseka u cevovodu bio:

$$\Delta p_t = p_{t1} - p_{t2} = p_1 - p_2 + \frac{\rho}{2} \cdot (w_1^2 - w_2^2)$$

Strujanje vazduha kroz cev uglavnom ima karakter turbulentnog strujanja. Zato se u tehni-koj praksi ukupan pritisak izmedju dva posmatrana preseka iskazuje zbirom pada pritiska usled trenja i lokalnih otpora tj.:

$$\Delta p_t = \sum \Delta p_{tr} + \sum \Delta p_l$$

Pad pritiska usled trenja pri strujanju vazduha kroz cev unutra{njeg pre-nika (d) i du' ine (l) ra-una se kao:

$$\Delta p_{tr} = \rho \cdot \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2}{2}$$

gde su:

λ (-) – koeficijent trenja vazduha o zidove cevi koji zavisi od hrapavosti cevi, odnosa l/d i Re broja

w(m/s) – srednja brzina strujanja

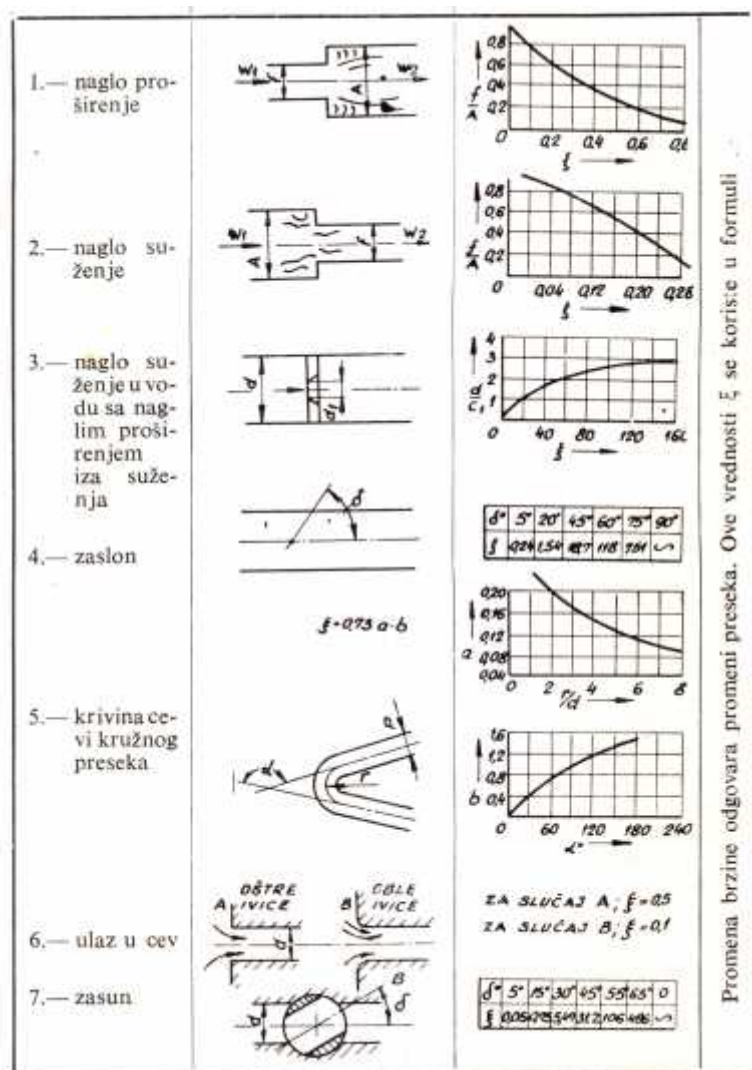
Pad pritiska usled lokalnog otpora (ventila, krivine, ra-ve i sl.) pri strujanju vazduha kroz cev bio bi:

$$\Delta p_{tr} = \rho \cdot \xi \cdot \frac{w^2}{2} \tag{1}$$

gde je:

ξ (-) – koeficijent lokalnog otpora, -ije su vrednosti date u tabeli 1.

Tabela 1: Koeficijent lokalnog otpora u zavisnosti od vrste otpora

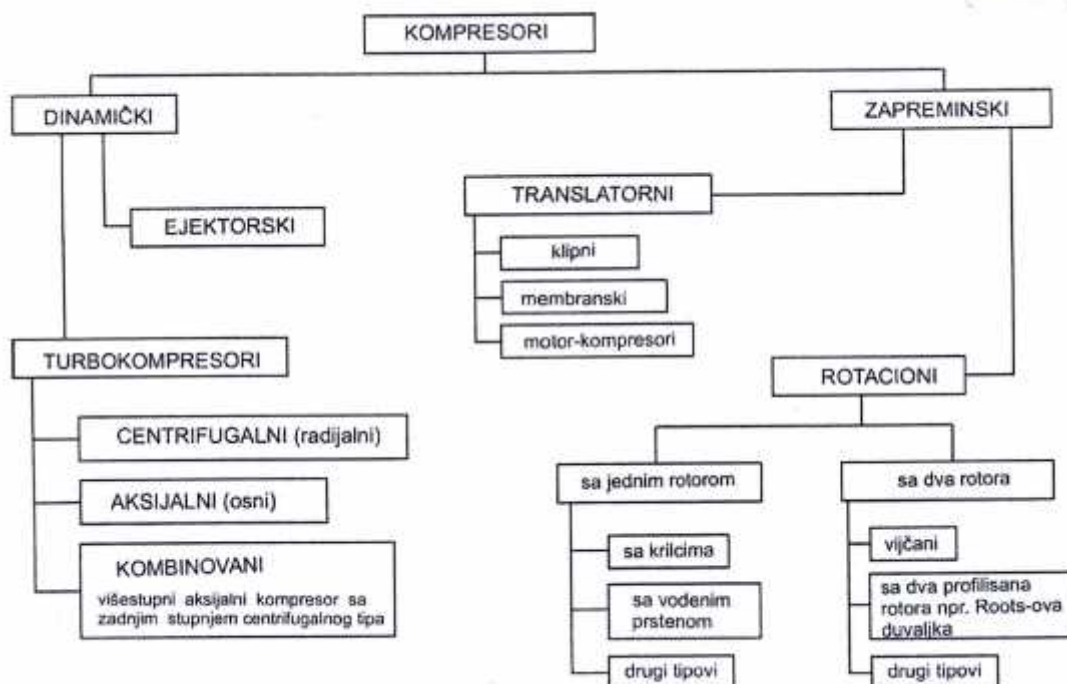


1.3 Kompresori

Kako je ranije ve} nagla{eno, kompresor je najva' niji deo pneumatske instalacije. U njemu se vazduh sabija na pritisak znatno vi{i od atmosferskog. Prema konstrukciji i na-inu predaje energije gasu tj. njene transformacije u pritisnu energiju kompresori se dele na: zapreminske (volumetrijske) i dinami-ke (sl. 4).

Kod zapreminskih kompresora gas se sabija (raste mu pritisak) usled smanjenja zapremine radnog prostora. Zapremina radnog prostora se periodi-no pove}ava i smanjuje, pri -emu se vr{i usisavanje, odnosno sabijanje gasa. Promena zapremine radnog prostora nastaje usled periodi-nog (naizmeni-nog) kretanja klipa ili membrane kod kompresora naizmeni-nog dejstva, ili rotacionim kretanjem posebno oblikovanih rotora kod rotacionih kompresora. Prema protoku, ovi rotacioni su neprekidnog dejstva.

Kod dinami-kih kompresora, koji su prema protoku neprekidnog dejstva, pove}anje energije gasnoj struji i transformacija u pritisnu energiju vr{i se na dinami-koj osnovi. U ovu grupu kompresora spadaju turbo kompresori i ejektorski kompresori.



Slika 4: Podela kompresora prema ISO 5390 standardu

U narednim poglavljima bi}e vi}e re-i samo o: klipnim, turbokompresorima, krilnim i vij-anim; jer se oni najvi}e sre}u u doma}oj industriji prerade drveta.

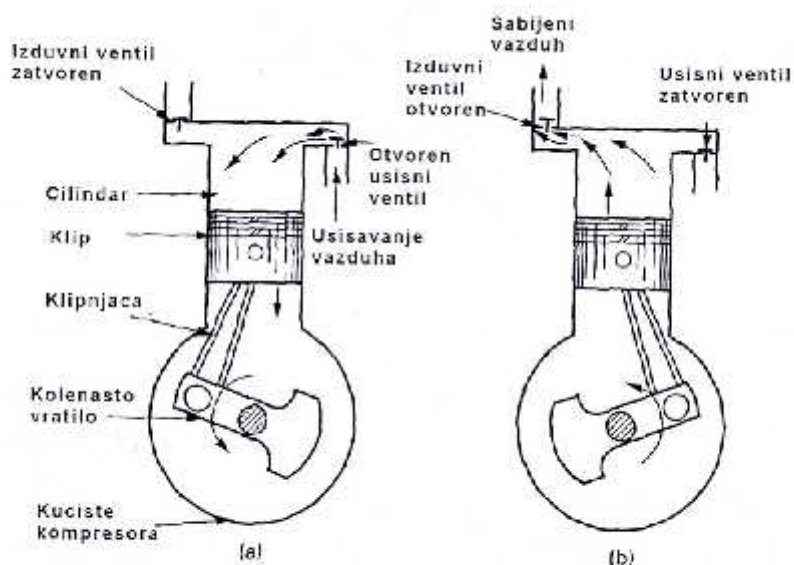
1.3.1 Klipni kompresori

Kod klipnih kompresora vazduh se sabija pod dejstvom klipa koji se kre}e u cilindru. Postoji vi}e vrsta klipnih kompresora i to:

- 1) Kompresori jednosmernog dejstva koji vr}e usisavanje i sabijanje vazduha samo sa jedne strane klipa. Obi-no dose}u pritiske do 6bar.
- 2) Kompresori dvosmernog dejstva koji vr}e usisavanje i sabijanje vazduha sa obe strane klipa. Imaju ve}i kapacitet od jednosmernih, obi-no su stacionarni i koriste se u sklopu centralne kompresorske stanice.
- 3) Vi}ecilindri-ni kompresori koji mogu biti izradjeni u dve varijante. Prva je da se za isti kapacitet vazduha treba ostvariti vi}i pritisak, i tada su cilindri kompresora u rednoj vezi, odnosno re- je o vi}estepenom kompresoru. Druga varijanta je kada se za isti pritisak treba dobiti ve}a koli-ina sabijenog vazduha, pa je re- o paralelnom vezivanju kompresora.

Popre-ni presek kompresora jednosmernog dejstva prikazan je na slici 5. Radi se o dvotaktnom kompresoru kod koga se u prvom taktu vazduh usisava iz atmosfere, a u drugom sabija i potiskuje ka rezervoaru. Usisavanje po-inje kretanjem klipa na ni'e (sl 5a). Zapremina u cilindru iznad klipa se pove}ava, a pritisak opada. Ovaj pad pritiska otvara usisni ventil i atmosferski vazduh ulazi u cilindar, pri -emu je izduvni ventil sve vreme zatovoren jer je pritisak u rezervoaru vi}i od onog u cilindru. Kada klip dodje do svog krajnjeg donjeg polo'aja (unutra{nja "mrtva" ta-ka), menja smer kretanja i kre}e ka gore. Pri tome se usisni ventil zatvara i po-inje takt sabijanja. Kada pritisak sabijenog vazduha u cilindru dostigne pritisak u potisnom (izlaznom) vodu, izduvni ventil se otvara i vazduh struji u rezervoar. Ovo potiskivanje sabijenog vazduha traje sve dok klip ne dostigne krajnji polo'aj (gornju ili spoljnu "mrtvu" ta-ku) u kome opet menja smer kretanja i kre}e na dole. Time je zavr{en takt

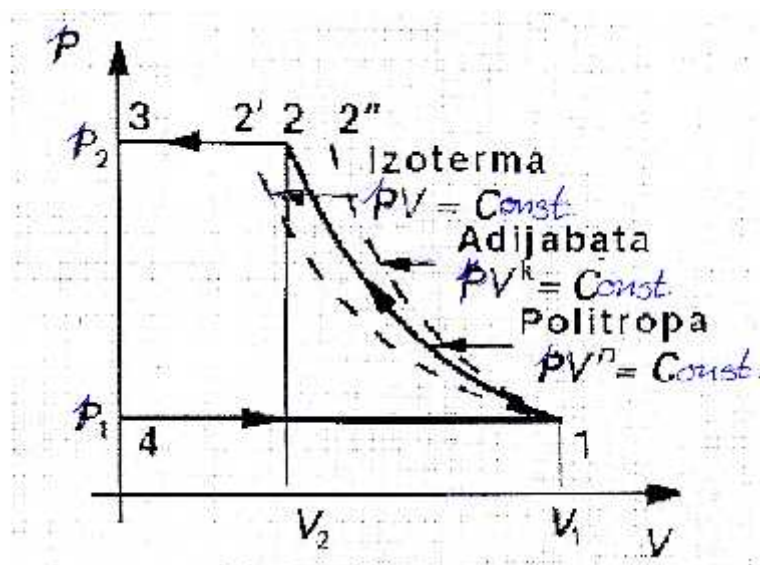
sabijanja i potiskivanja, i ponovo po-inje usisavanje. Dakle re- je o kru'nom ciklusu koji mo'e biti predstavljen u p-V dijagramu.



Slika 5: Rad jednostepenog kompresora jednosmernog dejstva: a)usisavanje b)sabijanje i istiskivanje

Teorijski ciklus jednostepenog kompresora jednosmernog dejstva u p-V dijagramu dat je na slici 6. Ciklus se sastoji iz slede}ih osnovnih procesa:

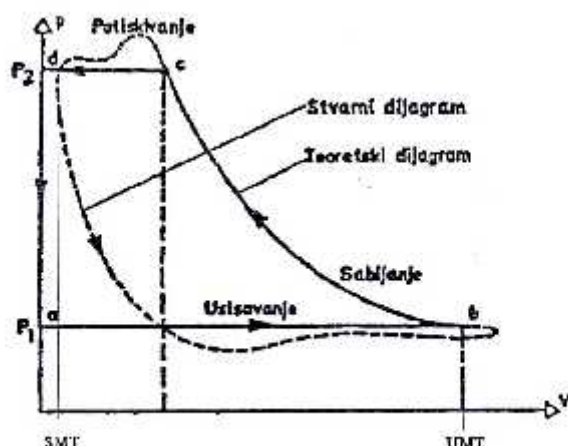
- 4-1 izobarsko usisavanje do zapremine V_1 atmosferskog vazduha
- 1-2 politropsko (naj-e}e izotersko ili adijabatsko) sabijanje vazduha od p_1 do p_2
- 2-3 sabijeni vazduh stanja 2 potiskuje se ka rezervoaru



Slika 6: Ciklus jednostepenog kompresora jednosmernog dejstva u p-V dijagramu

Usled sabijanja u delu 1-2 dolazi do pove}anja temperature vazduha, pa je -esto neophodno i prinudno hladjenje. Ono mo'e biti vazdu{no (putem ventilatora) ili preko rashladne te-nosti (vode, antifriza i sl.).

Na slici 7 dat je i teorijski i stvarni ciklus (isprekidanom linijom) u p-V dijagramu radi poredjenja. Koli-ina usisanog vazduha ne odgovara teoretskoj vrednosti pre svega zbog: inercije ventila pri radu, vla'nosti vazduha (odstupa od osobina idealnog gasa), postojanja kompresione zapremine u glavi cilindra, pojave potpritiska u cilindru kod usisavanja, ve}eg pritiska od zadatog u momentu otvaranja izduvnog ventila, i sl.



Slika 7: Teorijski i stvarni ciklus rada kompresora u p-V dijagramu

Kapacitet kompresora jednosmernog dejstva zavisi od dimenzija cilindra i broja obrtaja kompresora:

$$\dot{V} = \lambda \cdot \frac{D^2 \pi}{4} \cdot s \cdot n \text{ (m}^3/\text{min)}$$

gde su: λ (-) – koeficijent punjenja kompresora (0,7-0,88), D (m) – unutra{nji pre-nik cilindra, s (m) – hod klipa, n (min^{-1}) br. obrtaja.

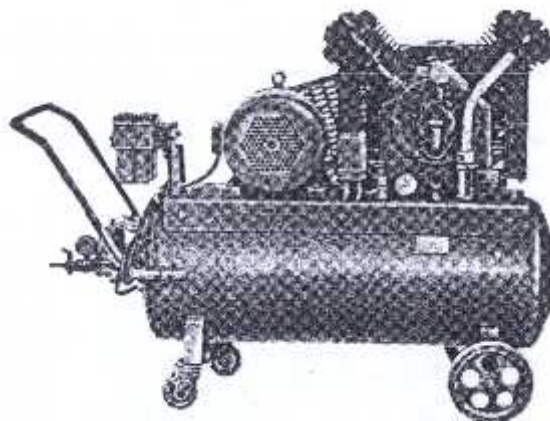
Za kompresor dvosmernog dejstva sa pre-nikom klipnja-e (d) kapacitet se ra-una kao:

$$\dot{V} = \lambda \cdot \frac{(2D^2 - d^2) \cdot \pi}{4} \cdot s \cdot n \approx 1,96 \cdot \lambda \cdot \frac{D^2 \pi}{4} \cdot s \cdot n \text{ (m}^3/\text{min)}$$

Takodje, mogu}e je odrediti i snagu potrebnu za pogon kompresora na osnovu pribli'nog obrasca:

$$P_{EM} = 7,2 \cdot \dot{V} \text{ (kW)}$$

Izgled manjeg klipnog kompresora koji je pokretan zajedno za rezervoarom prikazan je na slici 8. Dosta -esto je prisutan u pogonima finalne prerade drveta, naro-ito pri uklanjanju sitnog drvnog otpatka nakon zavr{etka rada na alatnoj ma{ini.



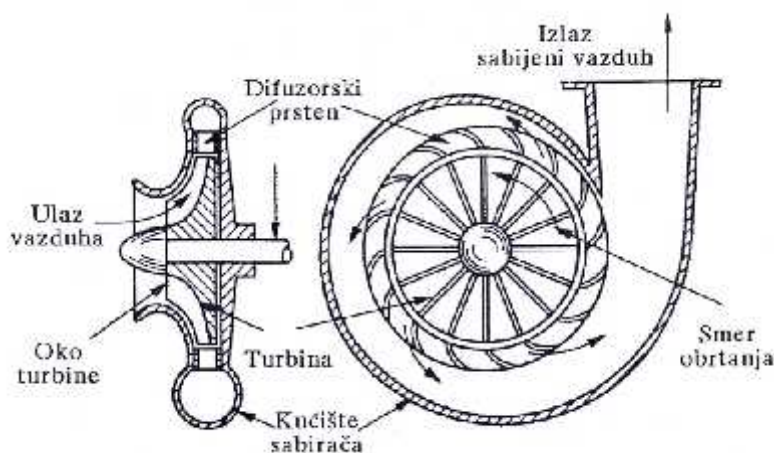
Slika 8: Spoljni izgled potpuno opremljenog kompresorskog agregata za vazduh

1.3.2 Rotacioni kompresori

Iz samog naziva se mo' e zaklju-iti da je re- o kompresorima kod kojih se mehani-ka energija obrtnog kretanja "tro{i" na pove}anje pritiska u potisnom vodu u odnosu na usisni. Postoje dva osnovna tipa rotacionih kompresora:

- 1) radijalni (centrifugalni) kompresori
- 2) aksijalni kompresori

Izgled radijalnog ventilora prikazan je na slici 9. Sa slike se vidi da se sastoji iz obrtnog dela – rotora (turbine) koji se obr}e u oblikovanom ku}i{tu (statoru). Zbog velike brzine obrtanja nema razmene toplote sa okolinom tako da je sabijanje skoro adijabatsko.



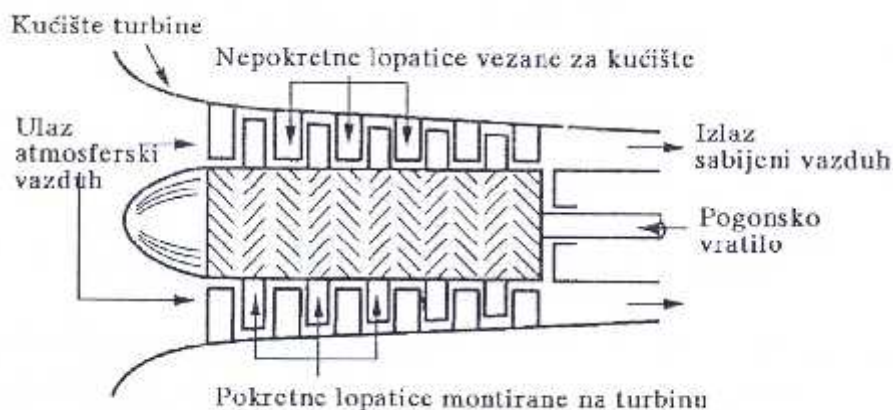
Slika 9: Prikaz radijalnog kompresora

Turbina predstavlja disk na kome su radijalno postavljene lopatice. Lopatice prilikom obrtanja potiskuju vazduh ka obodu u }elije difuzora – sprovodnog aparata (sl. 9), koji se obr}e kada se i turbina obr}e. Centrifugalne sile koje se tom prilikom javljaju potiskuju vazduh u }elije difuzora, a njihovo mesto zauzima novi vazduh koji prolazi kroz turbinu. Sabijeni vazduh se skuplja u sabira-u i struji ka rezervoaru. Ose ulaznog i izlaznog otvora su

A. Dedi}: Pneumatika i hidraulika u drvojoj industriji

mimoilazne i zaklapaju ugao od naj-malije 90° . Radi se o kompresorima velikog kapaciteta -iji se stepen sabijanja kre}e izmedju 4 i 6.

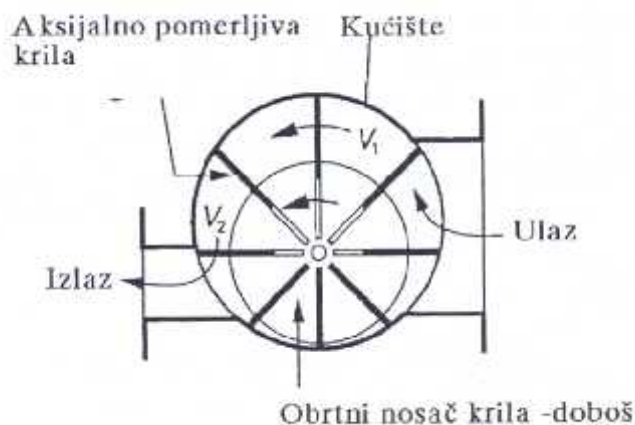
Aksijalni kompresor prikazan je na slici 10. Za razliku od radijalnih ovde su ose usisnog i potisnog otvora medjusobno paralelne. Pokretne lopatice rotora vezane su za pogonsko vratilo, a nepokretne za ku}ište kompresora i naizmeni-no su postavljene jedne u odnosu na druge. Princip rada je sli-an gasnim turbinama kod aviona. Vazduh struji aksijalno iz jednog u drugi stepen i u svakom se sabije za neku vrednost. Broj obrtaja turbine kre}e se izmedju 10000 i 30000min^{-1} , a stepen sabijanja ide preko 10. Radi se o kompresorima velikog kapaciteta sa adijabatskim sabijanjem vazduha.



Slika 10: [ematski prikaz aksijalnog kompresora

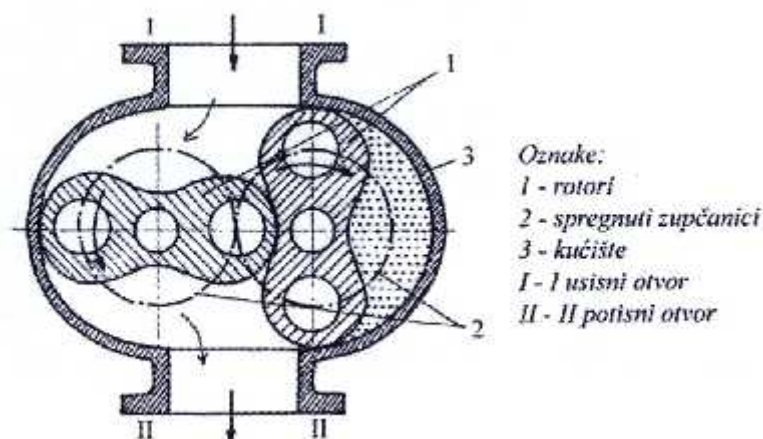
1.3.3 Krilni kompresori

Postoji vi}e konstrukcionih re}enja krilnih kompresora. Jedno od njih je re}enje prikazano na slici 11. Rotor (dobo} koji se obr}e je ekscentri-no postavljen u odnosu na ku}ište, tako da se krilca koja se nalaze na njemu naizmeni-no izvla-e i uvla-e. Pri ovome zapremina vazduha ostaje zarobljena izmedju dva krilca i kako se dobo} obr}e prema potisnom otvoru ta zapremina se smanjuje uz pove}anje pritiska. Na ovaj na-in se stalno segmentno (od komore do komore) i to od ulaznog (usisnog) otvora gde se uvla-i nova koli-ina vazduha do izlaznog (potisnog) otvora sabija vazduh i potiskuje u njega.



Slika 11: [ematski prikaz krilnog kompresora

Jo{ jedno tehni-ko re{enje krilnog kompresora predstavlja Rutsov kompresor (sl. 12). Za razliku od prethodnih kompresora, Rutsov kompresor se sastoji iz dva rotora, koji su u kontaktu. Oba rotora su istog profila, specifi-nog oblika, a suprotnosmerno obrtanje rotora izazivaju dva spregnuta zup-anika nasadjena na rotore. Vazduh koji se sabija od usisnog ka potisnom otvoru biva zarobljen u zapremini V. Na izlaznoj (potisnoj) strani vazduh se me{a sa ve} ranije sabijenim vazduhom i time se njegov protok pove}ava i do 4 V po jednom obrtu, a stepen sabijanja iznosi oko 2.



Slika 12: [ematski prikaz Ruts-ovog kompresora

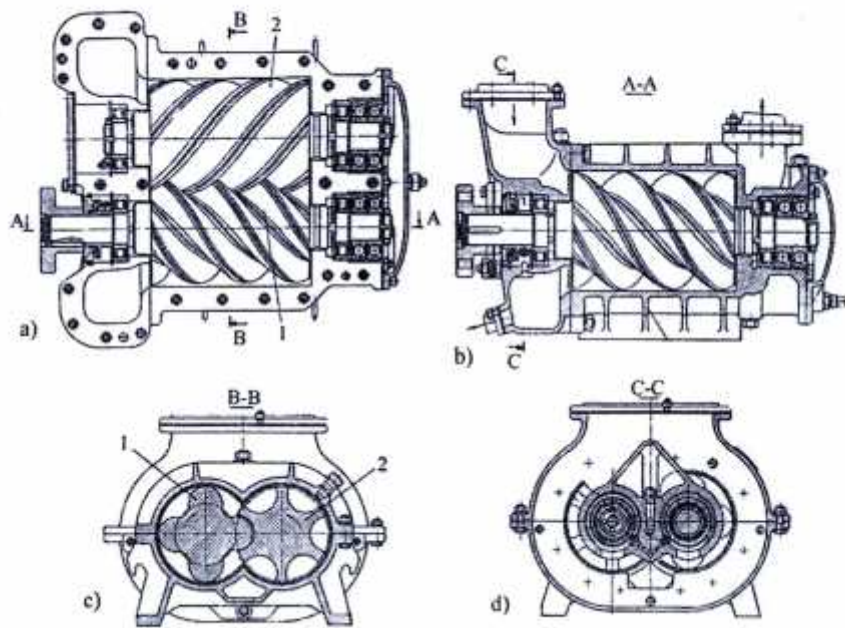
1.3.4 Vij-ani kompresori

Vij-ani kompresori spadaju u grupu zapreminskih rotacionih kompresora sa dva rotora (sl. 13). U poslednje vreme se sve vi{e primenjuju u kompresorskim stanicama pogona za preradu drveta.

Rotari su u obliku vijaka sa cilindri-nim kosozubim zup-astim profilima specijalnog oblika. Jedan od rotora je pogonski i povezan je sa elektromotorom, a drugi je vodjeni (gonjeni). Da bi se izbeglo habanje rotora postoje konstrukcije vij-anih kompresora kod kojih se sinhrono obrtanje rotora ostvaruje preko dva spregnuta zup-anika nasadjena na rotore, kao kod Rutsovog kompresora. Na slici 13 dati su odgovaraju}i preseki jednog vij-anog kompresora sa vode}im i vodjenim rotorom, namenjenog za sabijanje vazduha.

Vaduh (gas) se potiskuje od usisne ka potisnoj komori vij-anog kompresora i usput sabija u rotiraju}im zavojnim 'ljevovima, koje formiraju rotari i ku-i}te kompresora. Prema protoku, ovi kompresori su neprekidnog (kontinualnog) dejstva.

Velika primenljivost ovih kompresora u poslednje vreme ogleda se pre svega u njihovoj dobroj karakteristici (ta-no ostvarenom pritisku pri velikom stepenu iskori}enja koji dose'e i do 0,96), kao i visokom pouzdano}u u radu. U poredjenju sa klipnim i turbokompresorima, vij-ani kompresori se odlikuju be{umnim radom i relativno malim gabaritima, {to se svakako uslovljeno kapacitetom kompresora koji diktira sam potro{a-.



Slika 13: Vij-ani kompresor: 1-vode}i rotor, 2-vodjeni rotor
a) horizontalni presek; b) presek po vode}em rotoru (A-A); c) popre-ni presek preko rotora;
d)popre-ni presek preko usisne komore