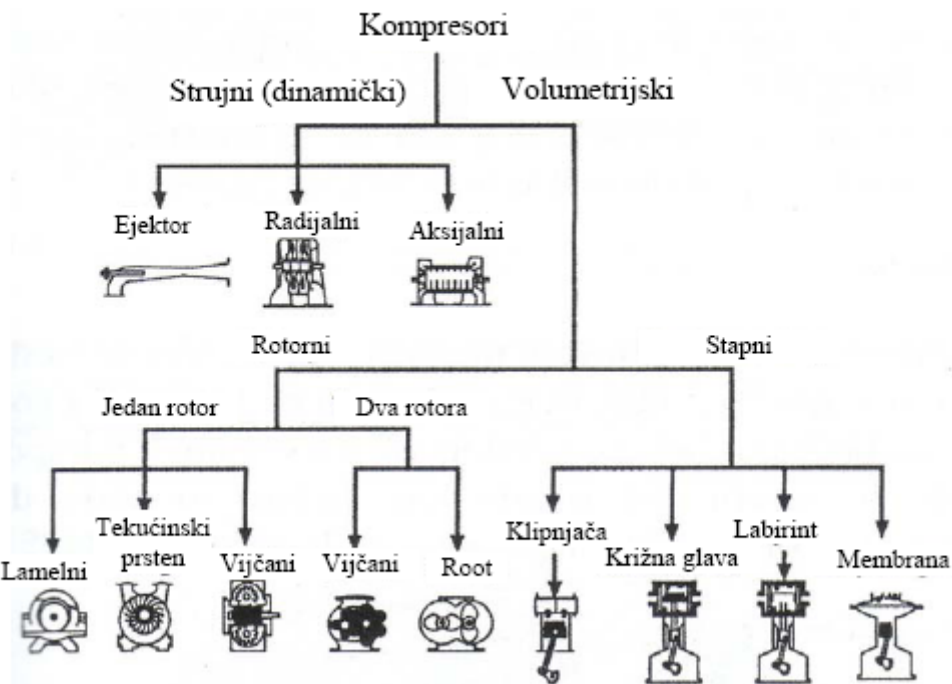


# 1. TEORIJA KOMPRESORA

Kompresori su uređaji koji tlače plin ili paru na viši tlak povećavajući im energetska razinu.

Mogu se podijeliti po **načinu rada, izvedbi kućišta, po dobavi, po radnim tlakovima ili po granicama primjene.**

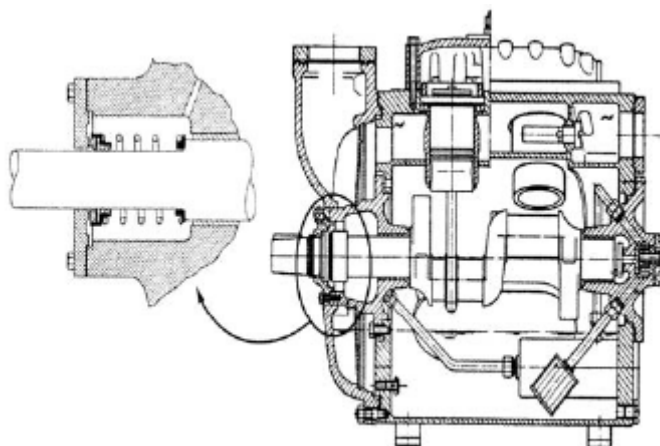
## 1. Po načinu rada



Slika: Podjela po načinu rada

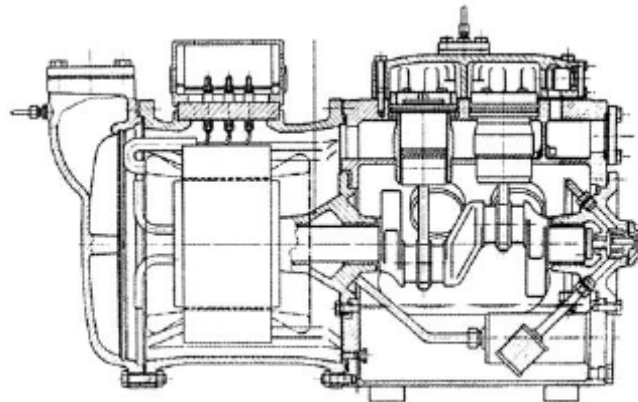
## 2. Po izvedbi kućišta (često za rashladne kompresore):

**Otvoreno** – pogonski motor odvojen od kompresora, kompresor ima brtvenicu vratila.

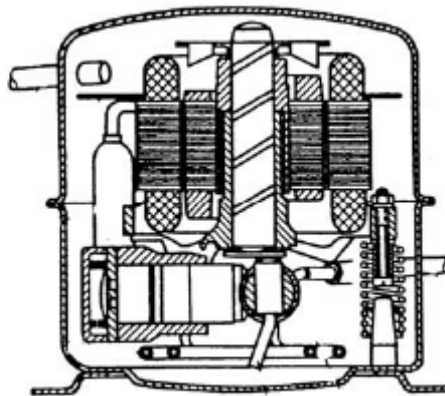


Poluhermetičko i hermetičko – motor zajedno s kompresorom u zajedničkom kućištu;

**Poluhermetičko** – moguće rastaviti kućište za servisiranje



**Hermetičko** – kućište zavareno



### 3. Po dobavi

Mali (do 10 m<sup>3</sup>/min), srednji (10 do 100 m<sup>3</sup>/min), veliki (iznad 100 m<sup>3</sup>/min).

### 4. Po radnim tlakovim

*Vakuumpumpe* – za transport plinova i para iz prostora u kojima vlada podtlak,

*Puhaljke* za konačne tlakove do 3 bar (ispiranje motora, dobava zraka za visoke peći i sl.),

*Niskotlačni kompresori* – 3 do 12 bar (pneumatski alati, automatska regulacija, rashladni uređaji i sl.),

*Srednjetačni kompresori* – 10 do 150 bar (uputni zrak, kemijska i naftna industrija i sl.),

*Visokotlačni kompresori* – 200 do 2500 bar (kemijska industrija, industrijski plinovi pod tlakom i sl.).

## 5. Po granici primjene

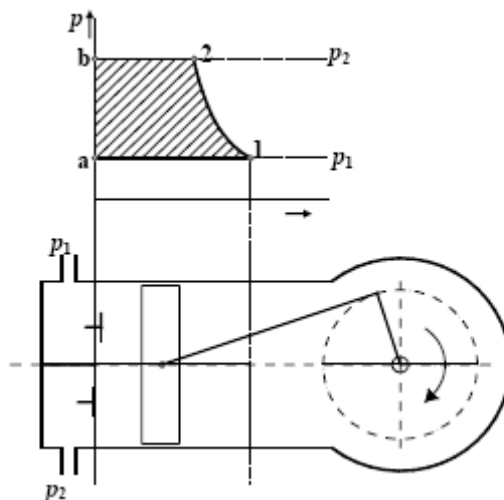
**Stapni** kompresori se primjenjuju na sustavima gdje treba veliki kompresijski omjer s obzirom na dobavljenu količinu (uputni zrak, rashladni uređaji i sl.).

**Turbokompresori** se primjenjuju kada treba velika količina dobave uz relativno mali kompresijski omjer.

Oko granica primjene stapnih kompresora i turbokompresora primjenjuju se *lamelni* i *vijčani* kompresori.

## 2. OSNOVNI IZRAZI

*Stapni kompresor* ( $pV$  dijagram)



Slika 2.1: Idealni proces **bez štetnog prostora**

a – 1 USIS

1 – 2 KOMPRESIJA

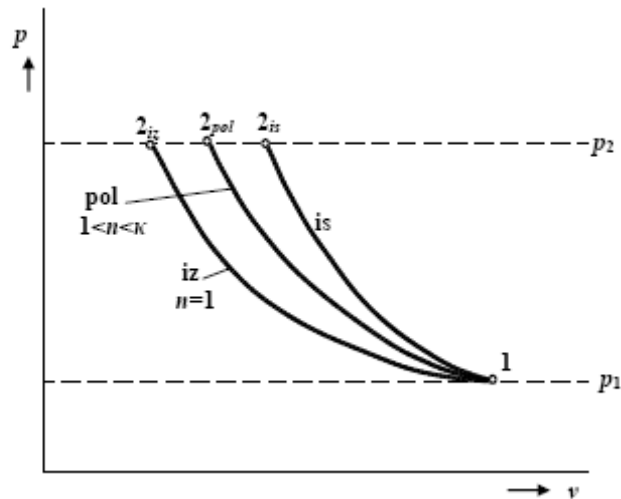
2 – b ISTISKIVANJE na tlaku  $p_2$

Ista se razmatranja primjenjuju i na vijčane, lamelne i turbokompresore samo što se procesi usisavanja, kompresije i istiskivanja odvijaju istovremeno (kod stapnih se odvijaju u odvojenim vremenskim intervalima).

Rad kompresor:  $W = \int_{V_1}^{V_2} p dV$

Rad ovisi o sili:  $F = A \cdot p$

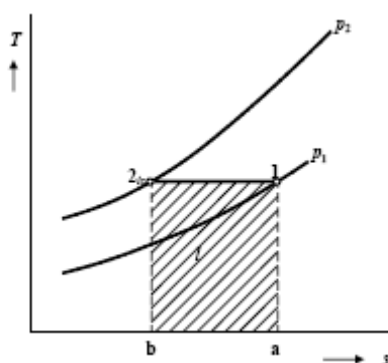
Kod kompresije, promjena stanja može biti **izotermna** ( $T = konstanta$ ), **izentropska** ( $s = konst.$ ) ili **politropska** ( $s = konst.$ ).



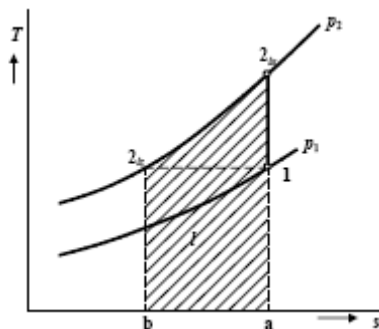
Slika 2.2: Prikaz promjene stanja - kompresija

**Izotermna kompresija** (iz) – treba najmanji rad (odvođenjem topline se smanjuje volumen)

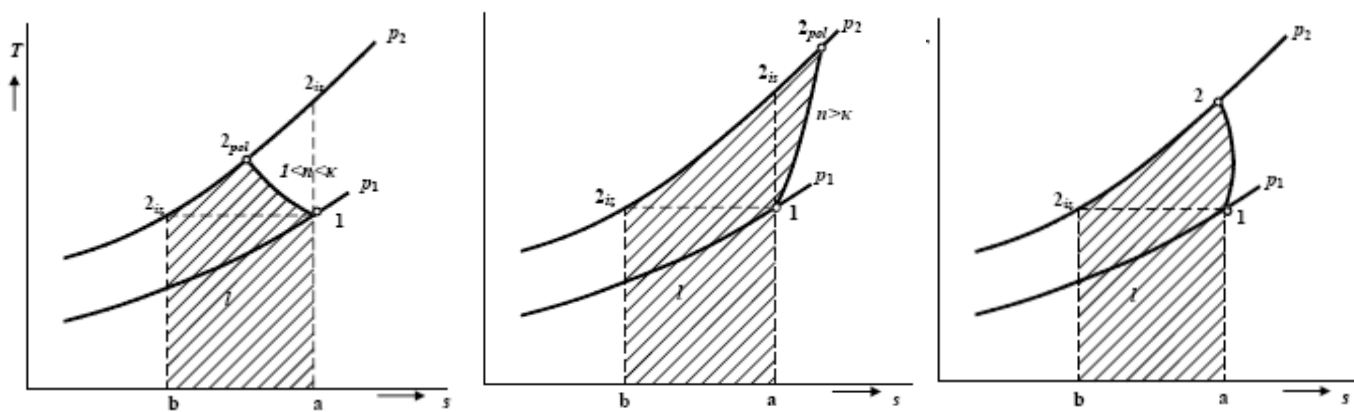
Izentropska kompresija (is) – nema odvođenja topline, pa je potreban rad veći.



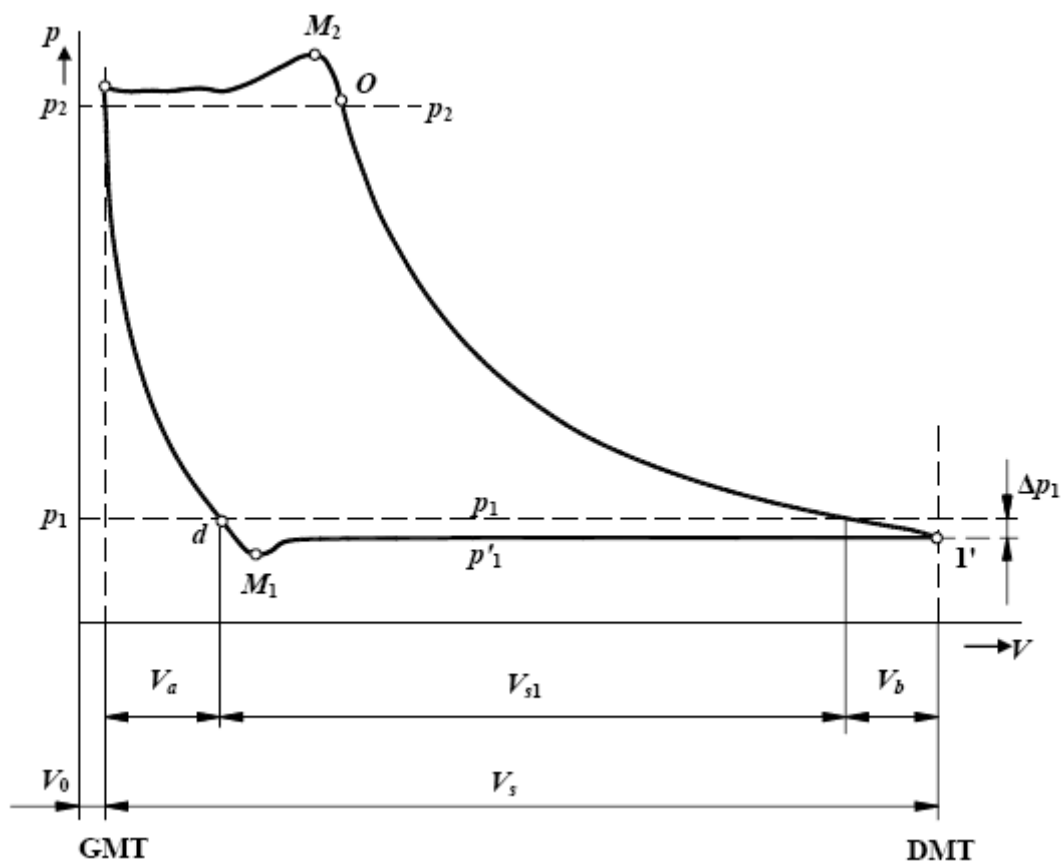
Slika 2.3: Izotermna kompresija u  $T,s$  - dijagramu



Slika 2.4: Izentropska kompresija



Slika 2.5: Politropska kompresija



Slika 2.6: Stvarni indikatorski dijagram jednostepene kompresije

## STUPANJ DOBAVE KOMPRESORA (GUBICI)

**Teoretska dobava** kompresora:  $\dot{V}_t = V_s z n = \frac{d^2 \pi}{4} s z n [m^3 / s]$ ,

**Stvarna dobava** je umanjena za gubitke:  $\dot{V}_s = \lambda \cdot \dot{V}_t$ .

**Ukupni stupanj dobave**;  $\lambda = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \lambda_4$  i manji je od 1.

$\lambda_1$  - **utjecaj štetnog prostora** – konstrukcijski neizbježan (utječe na smanjenje dobave – na rad ne). Veći što je volumen štetnog prostora  $V_0$  veći, što je kompresijski omjer  $p_2/p_1$  veći, te što je eksponent politropske ekspanzije plina iz štetnog prostora  $n$  bliže jedinici (izoterma).

$\lambda_2$  - **utjecaj pada tlaka  $\Delta p_1$  kod usisavanja** – ovisi o karakteristikama usisnog ventila koji uzrokuje pad tlaka;  $\lambda_2 = 1 - \frac{\Delta p_1}{p_1}$ .

$\lambda_3$  - **utjecaj zagrijavanja kod usisa** – ovisi o načinu hlađenja, kompresijskom omjeru  $p_2/p_1$  te eksponentu politrope  $n$ . Izračunava se empirijskim izrazima.

$\lambda_4$  - **utjecaj propusnosti** – ovisi o stanju i izvedbi kompresora (propuštanje ventila, propuštanje cilindar – stap; kreće se od 0,95 – 0,98 za kompresor u dobrom stanju). Vrijednost pada povećanjem  $p/p_0$ , povećanjem  $n$  raste.

Ukupni stupanj dobave se kreće od 0,6 do 0,97 (ovisno o tipu kompresora). Na njega utječe:

- **broj okretaja** (kasnije otvaranje i zatvaranje ventila zbog tromosti) – svaki kompresor ima optimalni broj okretaja.
- **višestupanjska kompresija** – za određeni štetni prostor postoji kompresijski omjer iznad kojeg kompresor više ne može dobavljati plin (veći  $V_0$  manji k.o.). Višestupanjska kompresija povećava stupanj dobave – povećava se  $\lambda_1$  zbog manjih k.o. u odnosu na štetni prostor te  $\lambda_3$  zbog hladnijih cilindara – manje zagrijavanje plina.

## STUPNJEVI DJELOVANJA

Zbog gore navedenih gubitaka stvarni proces je lošiji od **idealnog (izentropskog)**, zbog viška rada za politropsku kompresiju, otpora u ventilima, zagrijavanja, propuštanja, nedovoljnog hlađenja kod višestupanjskih kompresora.

Označava se indiciranim **izentropskim stupnjem djelovanja**:  $\eta_{is-i} = \frac{P_{is}}{P_i}$ ,

$P_{is}$  - snaga potrebna za izentropsku kompresiju,

$P_i$  - indicirana snaga;  $P_i = \frac{d^2\pi}{4} p_i sn$ .

**Mehanički stupanj djelovanja** govori o gubicima između indicirane snage i snage na

pogonskom vratilu kompresora;  $\eta_m = \frac{P_i}{P_e}$ ,

$\eta_m$  se kreće: 0,9 – 0,96 za dobre kompresore,

0,88 – 0,93 za višestupanjske kompresore,

0,85 za jednoradne kompresore.

**Izentropski stupanj djelovanja** uspoređuje odnos idealne snage i snage na vratilu (sadrži u

sebi mehanički stupanj djelovanja):  $\eta_{is} = \frac{P_{is}}{P_e}$ .

Postoji još i **izotermni stupanj djelovanja** – usporedba izoternog idealnog sa stvarnim

procesom;  $\eta_{iz} = \frac{P_{iz}}{P_e}$ .

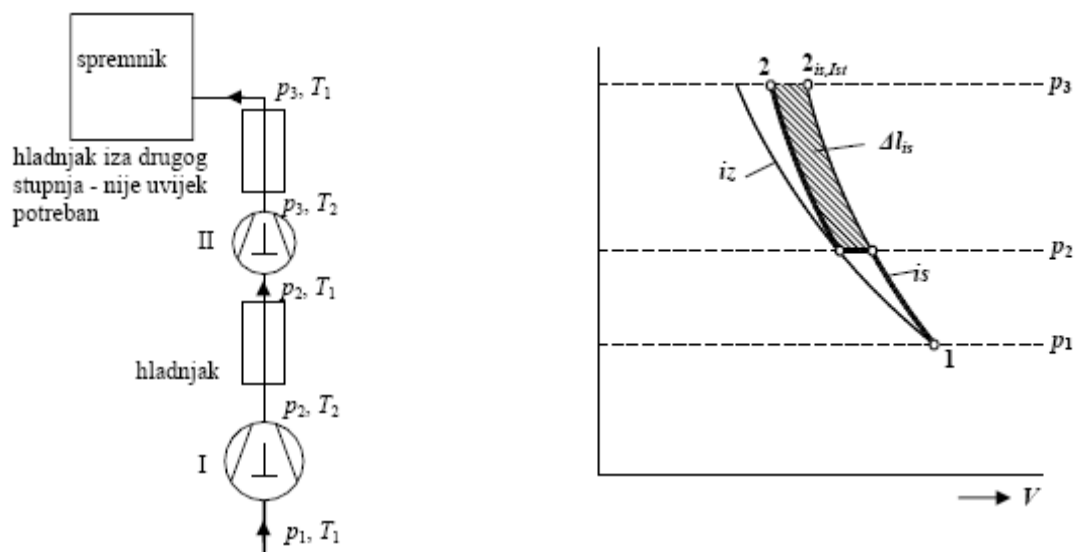
## VIŠESTUPANJSKA KOMPRESIJA

Primjenjuje se zbog  **smanjenja konačne temperature i uštede u radu**. Što kompresor ima više stupnjeva to je ušteda u radu veća (veće približavanje izotermnoj kompresiji pod uvjetom da se nakon svakog stupnja plin ohladi na početnu temperaturu).

Za tlačenje na više tlakove u jednom stupnju, a da bi se održala maksimalno dozvoljena temperatura, bilo bi potrebno veliko odvođenje topline što bi znatno povećalo dimenzije kompresora i njegovu cijenu, a i dobava bi bila znatno manja nego kod višestepenog.

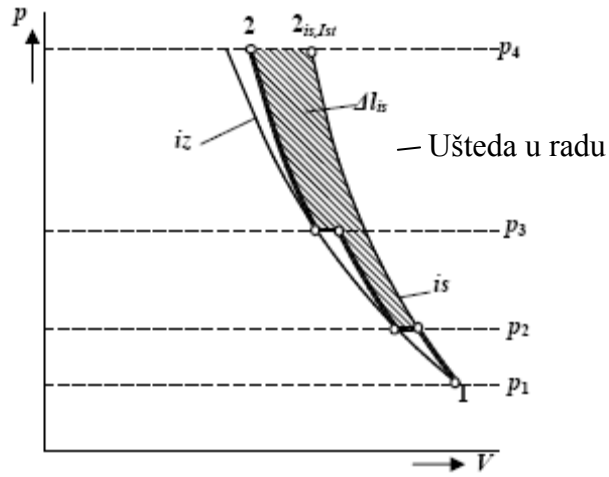
Temperatura je ograničena zbog **opasnosti od samozapaljenja mazivog ulja** te promjene njegovih svojstava. Hladnjaci su ugrađeni nakon svakog stupnja.

Povećanje kompresijskog omjera utječe na smanjenje stupnja dobave (utjecaj na  $\lambda_1$  i  $\lambda_3$ ). Kod višestupanjskih kompresora je stupanj dobave  $\lambda$  viši nego kod jednostupanjskih koji bi radili između istih tlakova.

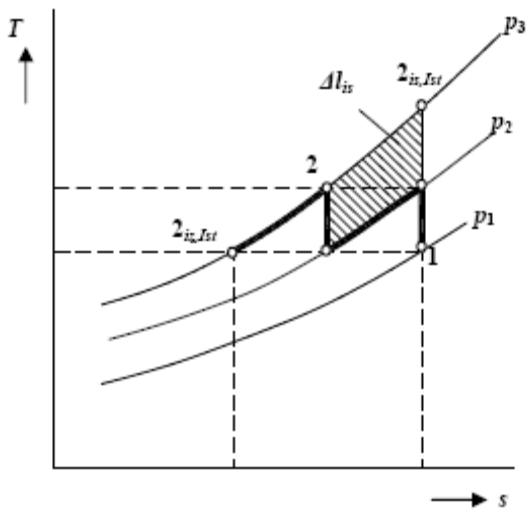


Slika 2.7: Dvostupanjska kompresija ( $\Delta l_{is}$  - ušteda u radu)

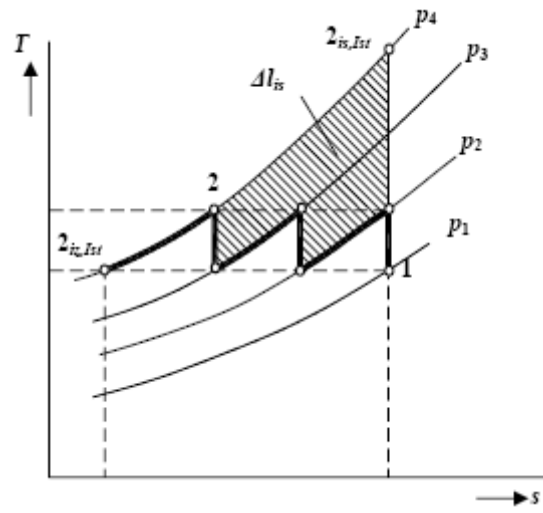




Slika 2.8: Trostupanjska kompresija ( $\Delta l_{is}$  - ušteta u radu)



Dvostupanjska kompresija u  $T,s$  dijagramu



Trostupanjska kompresija u  $T,s$  dijagramu

### 3. RAZVODNI SUSTAVI KOMPRESORA

**Ventili** – razvodni organi

Gotovo svi stapni kompresori imaju usisne i tlačne ventile (nepovratne – propuštaju samo u jednom smjeru).

Rotorni kompresori imaju ili samo jedan tlačni ventil ili nemaju niti jedan samoradni ventil.

Kod usisa je tlak u cilindru niži od tlaka usisnog voda zbog pada tlaka na usisnom ventilu.

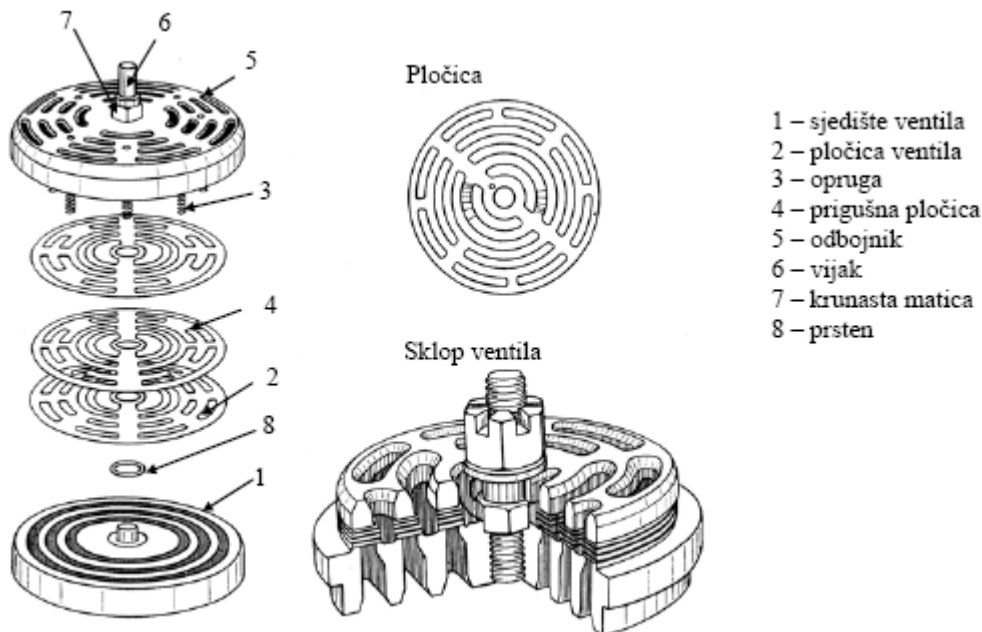
Tijekom istiskivanja plina tlak u cilindru je viši od tlačnoga voda također zbog pada tlaka u tlačnom ventilu.

Kompresijski omjer  $\varepsilon = \frac{p_2}{p_1}$ , u istom kompresoru, se mijenja **ovisno o tlakovima u usisnom i**

**tlačnom vodu**. Dakle kompresijski omjer u kompresoru je veličina koja nije uvjetovana konstrukcijom ili veličinom stapnog kompresora niti brzinom njegove vrtnje.

#### Izvedbe ventila

**Ventili s koncentričnim rasporima**



Slika 3.1: Ventili s koncentričnim rasporima

1. **Sjedište** – opterećeno udarcima pločice, izrađeno od lijevanog željeza ili čelika (za veće tlakove),
2. **Pločica ventila** – najosjetljiviji dio cijelog kompresora. izrađena od opružnog (legiranog) čelika jer zahtijevaju veliku otpornost na udar, moraju imati što manju

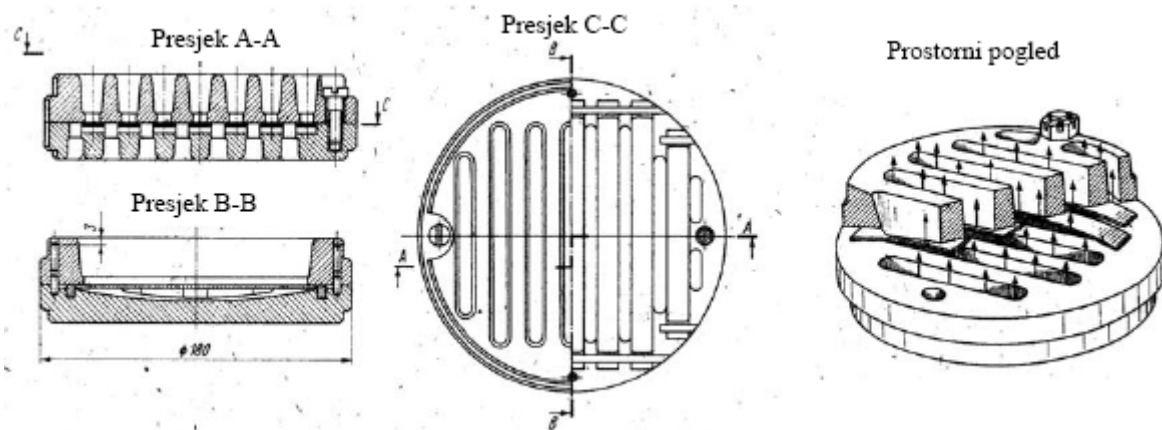
masu, debljina ovisi o veličini pločice i tlaku (od 0,8 do 4 mm). Može biti iz jednog komada s rasporima ili od više pločica (manja masa).

3. **Opruge** – uloga im je što brže zatvaranje ventila, a ne smiju davati preveliki otpor pri otvaranju. Ublažavaju udarac pločice u odbojnik.
4. **Odbojnik** – ograničava podizaj i pridržava opruge, a često i vodi pločice (od lj. željeza ili čelika).

### Ventili s ravnim rasporima

Konstruktivski jednostavniji i imaju manje dijelova.

U sjedištu urezani ravni raspori koje zatvaraju slične ventilne pločice koje pritišću lisnata ventilna pera oslonjena na odbojnik. Visina podizaja određena je debljinom uložka koji služi i kao vodilica pločice.

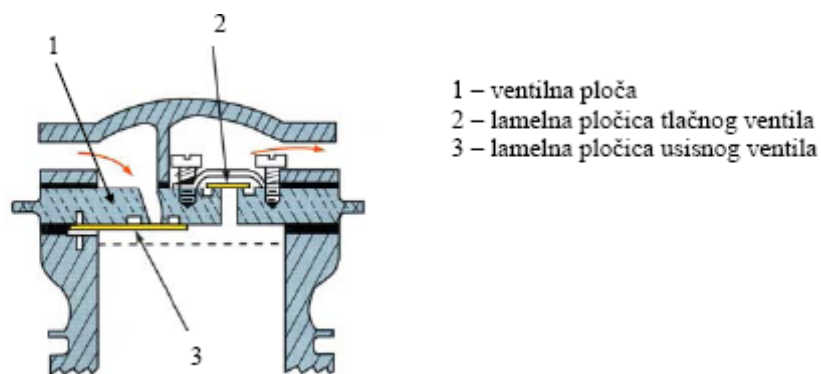


Slika 3.2: Izvedba ventila s ravnim rasporima

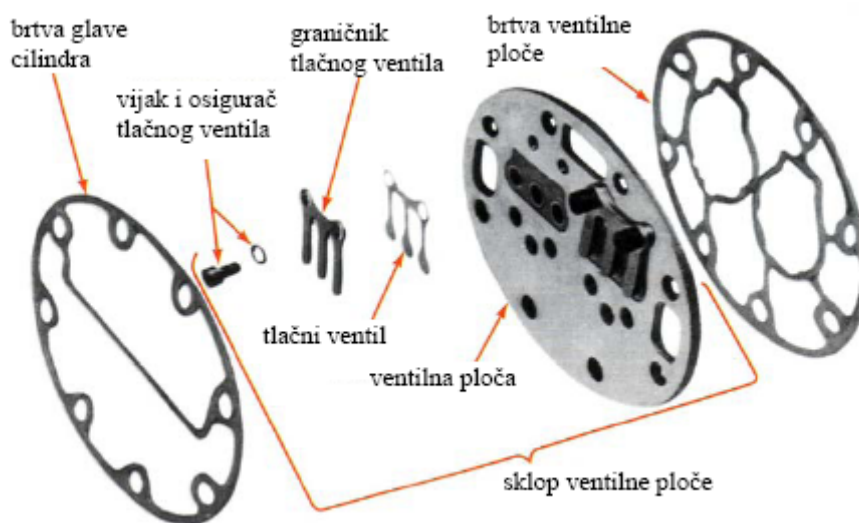
### Lamelni ventili

Najčešće kod manjih stupnih kompresora rashladnih uređaja.

Ventilna ploča ima provrte usisnog i tlačnog ventila. Pločice su tanke i elastične i ne zahtijevaju dodatne opruge. Podizaj je ograničen stremenom učvršćenim na ventilnu ploču.



Slika 3.3: Lamelni ventili stapnog kompresora



Slika 3.4: Ventilna ploča s tlačnim lamelnim ventilnim stapnog kompresora

### Ravnostrujni ventili

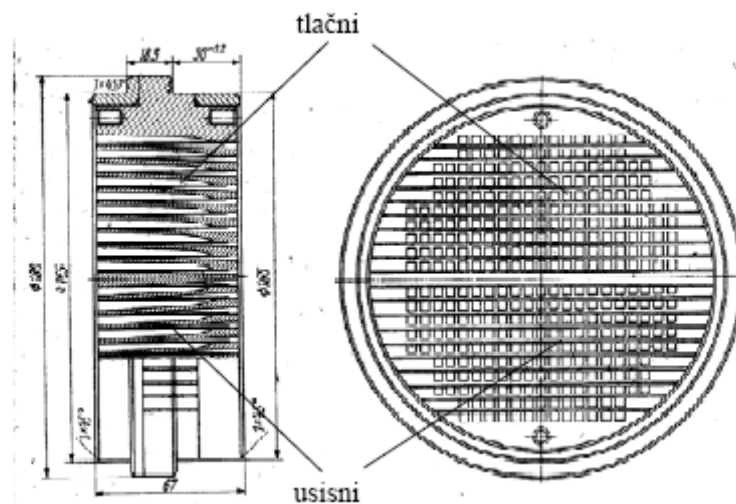
Uklanjaju nedostatak pada tlaka i volumetrijskih gubitaka zbog naglog skretanja plina (2 puta po 90 stupnjeva), kao kod lamelnih ili ventila s ravnim ili koncentričnim rasporedima.

Smanjuju gubitke – kanali i pločice su gotovo okomiti na ventilski sklop – u smjeru plina.

Ventilne pločice su učvršćene samim segmentima.

Imaju manje gubitke prigušivanja.

Deblja je ventilna ploča pa kompresor ima veći štetni prostor, a time i slabiji volumetrijski stupanj djelovanja.

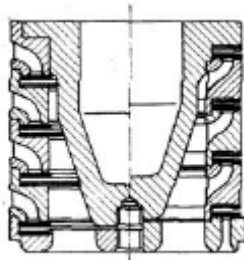


Slika 3.5: Ravnostrujni ventil okruglog presjeka

### Etažni ventili

Kod višestupanjskih kompresora kod kojih nema prostora za smještaj ventila.

Imaju dva ili više usisnih ili tlačnih ventila smještenih jedan iznad drugog. Tako se na maloj tlocrtnoj površini ostvaruju velike površine presjeka, ali se povećava štetni prostor.



Slika 3.6: Etažni ventil

### Zahtjevi za ventile:

- Masa pločice što manja (manje sile otvaranja i zatvaranja – udarac pločice manji),
- Presjeci što veći (manji pad tlaka),
- Mala dimenzije ugradnje,
- Što veća sigurnost i trajnost.

#### 4. REGULACIJA RADA (DOBAVE) STAPNIH KOMRESORA

Potrebna (trenutna) dobava nije jednaka onoj za koju je odabran – kod rashladnih kompresora ovisi o trenutnom rashladnom opterećenju. Slično je i kod ostalih sustava stlačenog zraka gdje je potrebna regulacija dobave.

Količina plina koju kompresor dobavlja u vremenu  $t$  jednaka je:

$$V = \dot{V} \cdot t = \lambda \cdot V_s \cdot n \cdot z \cdot t \left[ m^3 \right]$$

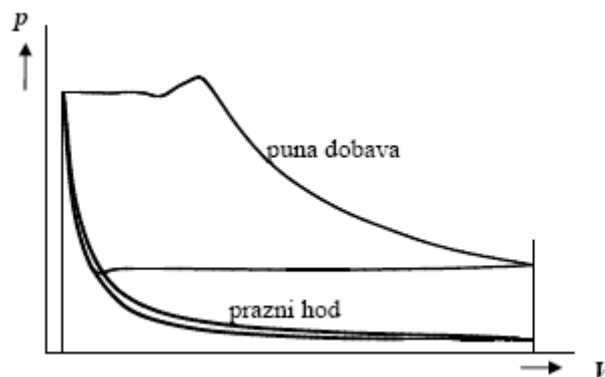
Vidi se da dobava ovisi o vremenu rada kompresora ( $t$ ), stapajnom volumenu ( $V_s$ ), brzini vrtnje ( $n$ ), broju cilindara ( $z$ ) i stupnju dobave ( $\lambda$ ).

Razlikujemo:

1. Povremeni prekid dobave,
2. Grubu regulaciju dobave,
3. Kontinuiranu regulaciju dobave.

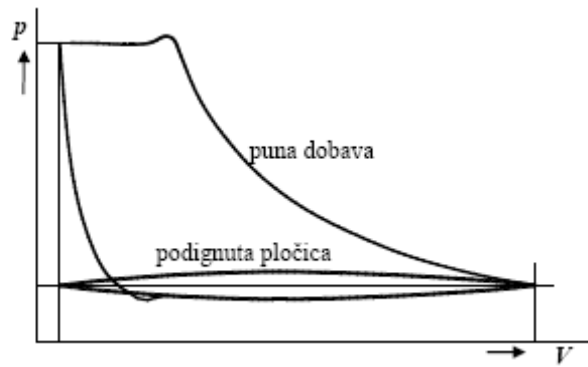
##### Ad 1: Povremeni prekid dobave

- Povremeno uklj./isklj. pogonskog sklopa kompresora ovisno o tlaku u boci (ili temperature kod rashladnog uređaja).
- Povremeno potpuno zatvaranje usisnog voda – kompresor radi u praznom hodu (kod višestupanjskih kompresora se to radi samo na niskotlačnom stupnju).



Slika 4.1: Zatvaranje usisnog ventila (voda)

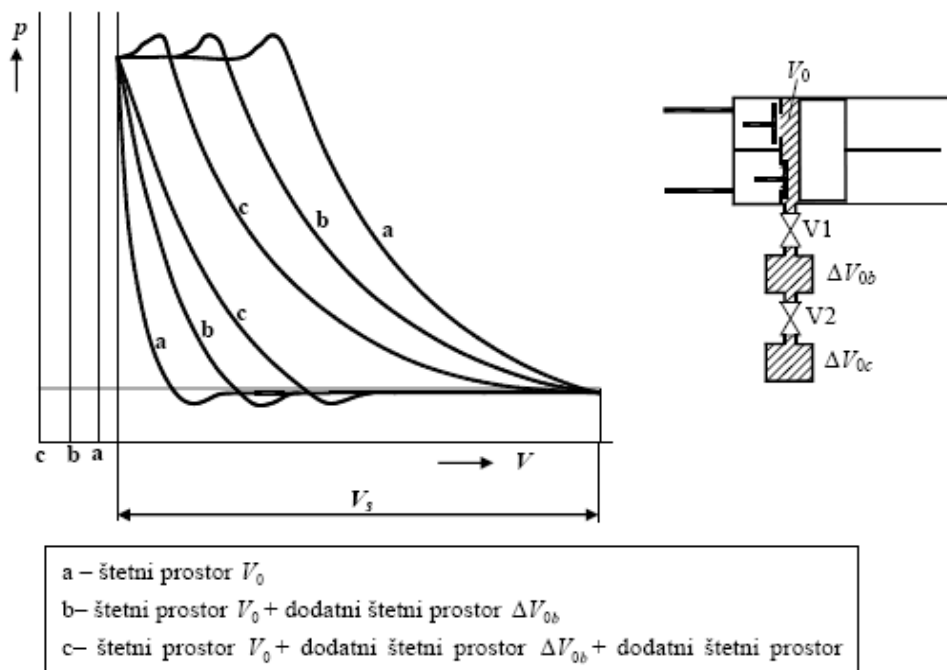
- Povremeno potpuno otvaranje usisnog ventila (radi se na svim stupnjevima i svim cilindrima ako se želi ostvariti potpuni prekid dobave) – usisani plin se vraća u usisni vod.



Slika 4.2: Otvoren usisni ventil (vod)

## Ad 2: Gruba promjena dobave

- Regulacija dobave promjenom broja okretaja **promjenom broja pari polova elektromotora** – smanjenjem  $n$  povećava se  $\lambda$  pa regulacija nije proporcionalna. Kod asinkronih motora brzina vrtnje je:  $n = \frac{f}{p} [s^{-1}]$ , gdje je  $f$  – frekvencija, a  $p$  – broj pari polova. Skokovita – gruba promjena. Promjena frekvencije – fina regulacija.
- **Promjena veličine štetnog prostora** – mijenja se stupanj dobave  $\lambda$ . Kod višestupanjskih kompresora mora se provesti na svim stupnjevima kako bi se zadržao isti kompresijski omjer. Vrši se dodavanjem nepromjenjivog prostora otvaranjem ventila, mijenjajući tako tok linija ekspanzije i kompresije (slika)



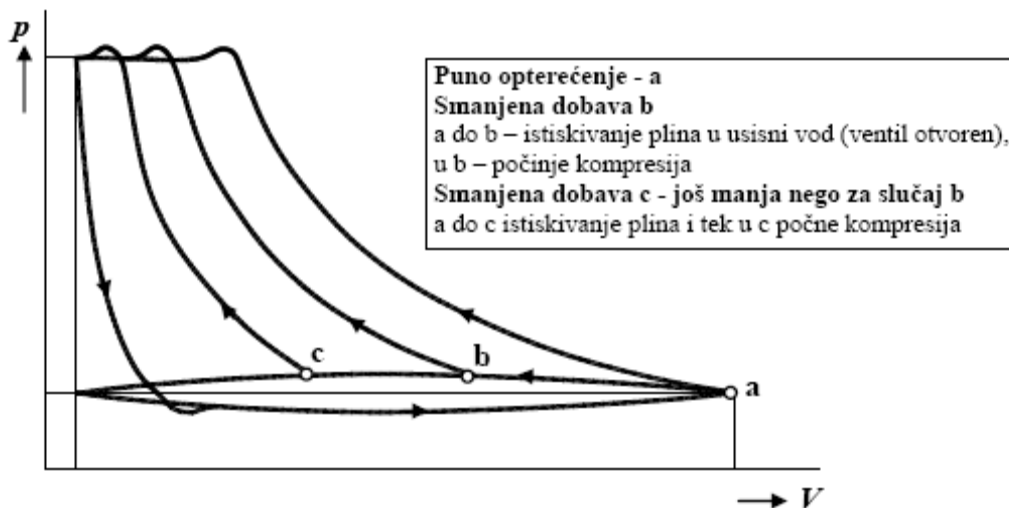
Slika 4.3: Regulacija dobave promjenom veličine štetnog prostora

- Regulacija isključivanjem pojedinih cilindara – kod višestupanjskih kompresora potrebno provesti na svim cilindrima, ovisno o broju cilindara.

### Ad 3: Kontinuirana regulacija dobave

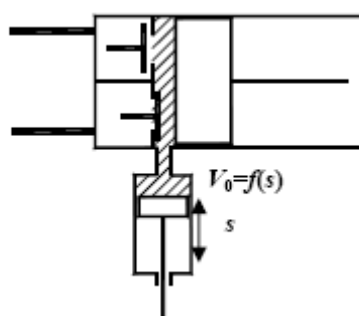
Najbolja, ali najskuplja.

- Regulacija promjenom broja okretaja **promjenom frekvencije** napajanja – paziti na osiguravanje potrebnog zakretnog momenta na manjim okretajima i na podmazivanje.
- **Regulacija s usisnim ventilom upravljanim izvana** – kod kompresije usisni ventil se drži otvoren jedan dio stapaja, tako da jedan dio plina ide nazad u usisni vod. Na višestupanjskim kompresorima se mora sprovesti na svim stupnjevima. Radi se mehaničkim polužjem koje se upravlja hidraulički, pneumatski ili elektromagnetski.



Slika 4.4: Regulacija dobave izvana upravljanjem usisnim ventilom

- **Vremenski promjenjiv štetni prostor** – volumen dodatnog štetnog prostora se mijenja kontinuirano preko stapa na kojeg djeluje servomotor.

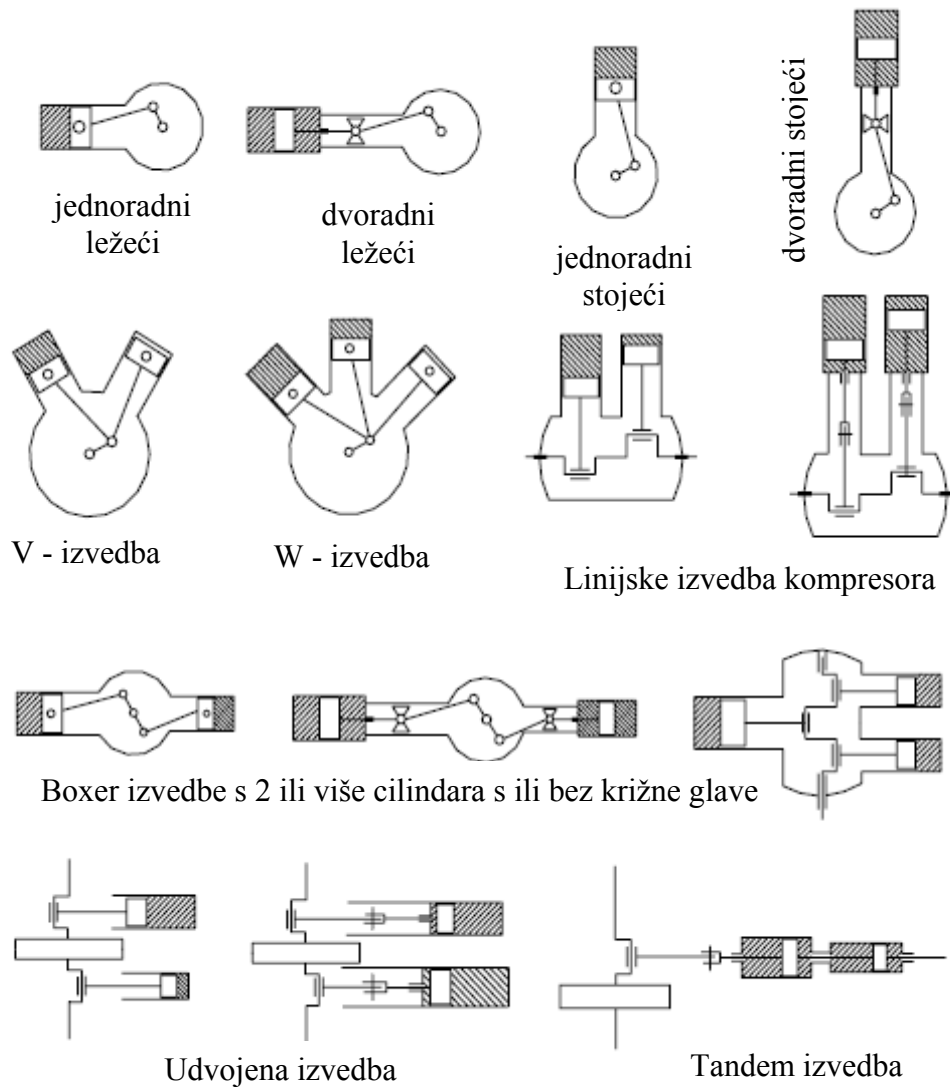


Slika 4.5: Promjena veličine štetnog prostora



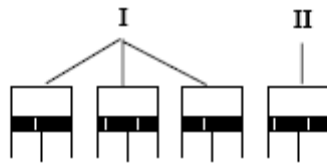
## 5. IZVEDBE STAPNIH KOMPRESORA

Prema načinu izvedbe, smještaju i primjeni osnovnih elemenata (cilindar, stap, ventili, stapni mehanizam i kućište);

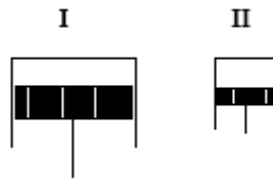


Slika 5.1: Izvedbe stapnih kompresora

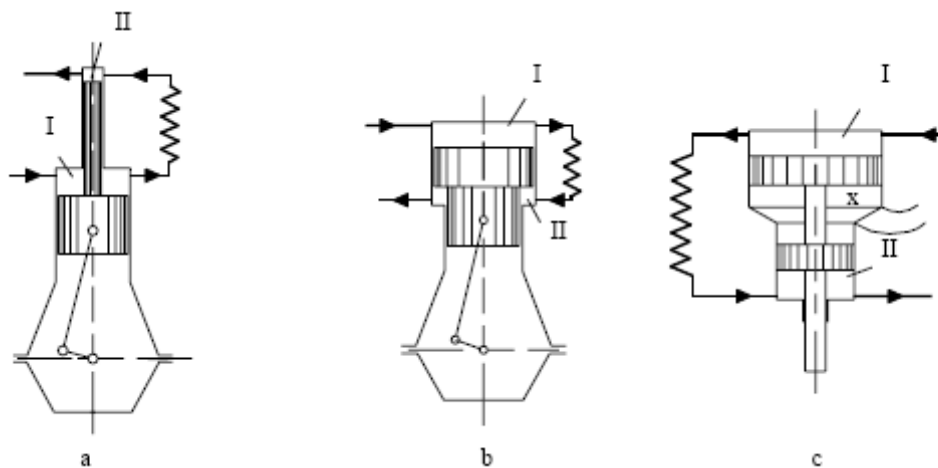
## IZVEDBE VIŠESTUPANJSKIH KOMPRESORA



Slika 5.2: Izvedba s više cilindara (3 cilindra čine 1. stupanj, dok 1 čini 2. stupanj) – pogodno za serijsku gradnju – jeftinije



Slika 5.3: Izvedba s cilindrima različitog promjera (smanjuje se broj cilindara – pogodno za manje kompresore)



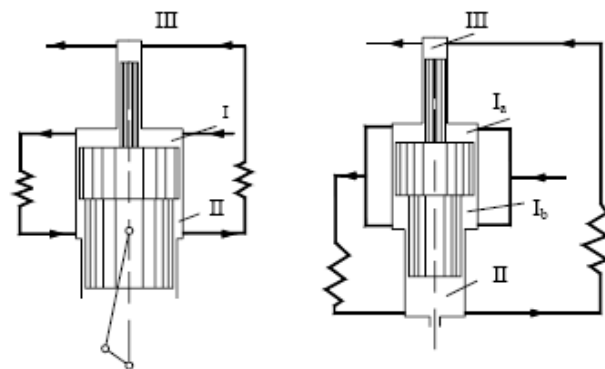
Slika 5.4: Izvedbe dvostupanjskih kompresora sa stepenastim stapovima

### Nedostaci:

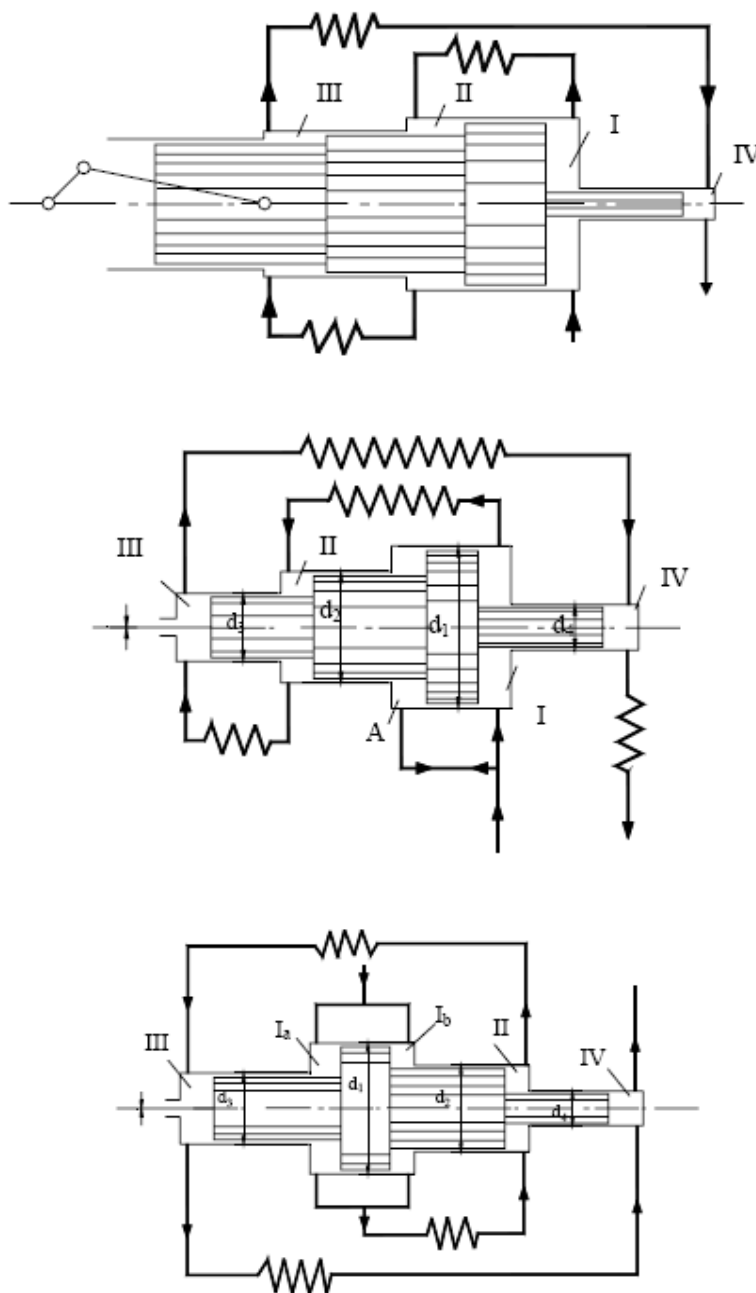
*a - izvedba* – sile na stapu udvostručene zbog istovremenog odvijanja kompresije ili usisa u oba stupnja. Prvi stupanj graniči s karterom pa je moguća povećana potrošnja mazivog ulja i onečišćenje plina tim uljem.

*b - izvedba* – bolja što se tiče rasporeda sila, prvi stupanj povoljnije smješten, ali je nepovoljniji za brtvljenje od izvedbe a.

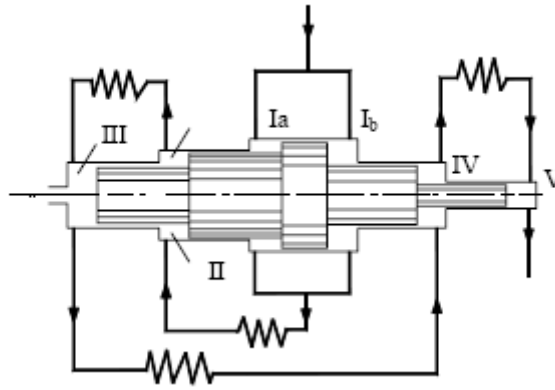
*c - izvedba* – skuplja zbog potrebnog mehanizma s križnom glavom. Ima prednosti izvedbi a i b, a nema njihove mane (prostor x nije predviđen za kompresiju).



Slika 5.5: Izvedbe trostupanjskih kompresora sa stepenastim stapovima

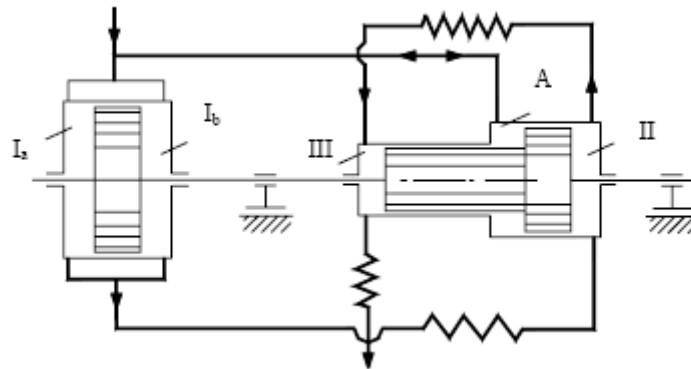


Slika 5.6: Izvedbe četverostupanjskih kompresora sa stepenastim stapovima

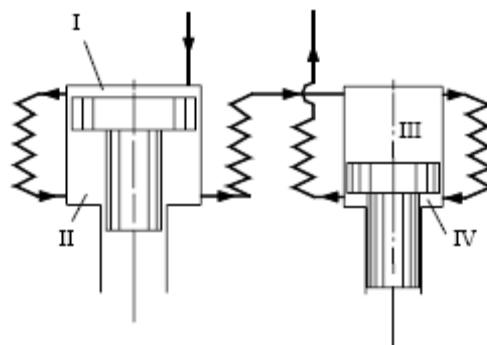


Slika 5.7: Izvedbe peterostupanjskog kompresora sa stepenastim stapovima

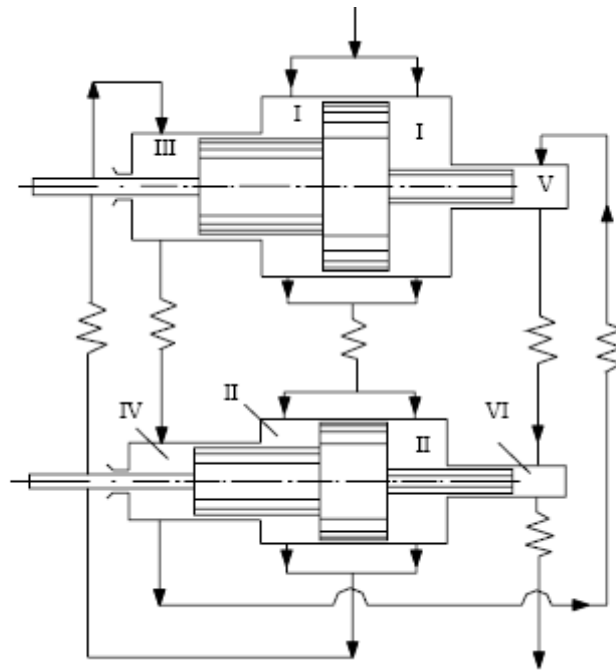
### IZVEDBE VIŠESTUPANJSKIH KOMPRESORA SA STEPENASTIM STAPOVIMA I VIŠE CILINDARA



Slika5.8: Izvedbe trostupanjskog kompresora s dva stepenasta stapa



Slika5.9: Izvedbe četverostupanjskog kompresora s dva stepenasta stapa



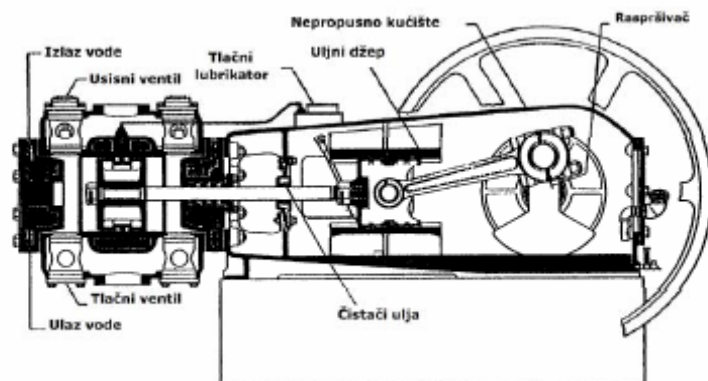
Slika 5.10: Izvedbe šesterostupanjskog kompresora s dva stepenasta stapa

## 6. PODMAZIVANJE STAPNIH KOMPRESORA

Može biti prirodno i prisilno.

### Prirodno podmazivanje

**Podmazivanje prskanjem ili uljnom maglom** – izdanak na ojnici okretanjem zahvaća ulje u karteru te ga rasprši u maglu koja prodire u sva mjesta gdje je potrebno podmazivanje i brtvljenje.



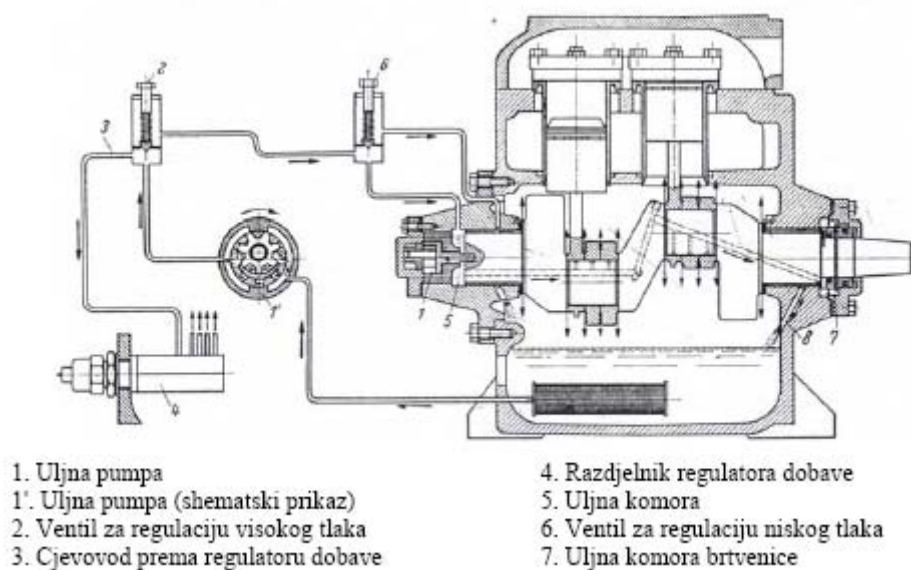
Slika 6.1: Sustav podmazivanja uljnom maglom dvoradnog kompresora

**Podmazivanje kompresora uljnim prstenovima**; Dva prstena ovješena o koljenasto vratilo svojim donjim dijelom uronjenim u ulje povlače sa sobom ulje (adhezijskim i viskoznom silama) te ga dovode u žleb koljenastog vratila. Ulje se centrifugalnom silom transportira

kroz provrt vratila kojim se dovodi do ležajeva. Na kraju ulje izlazi iz letećih ležajeva koljenastog vratila te se uslijed rotacije raspršuje stvarajući uljnu maglu koja podmazuje glavne ležajeve i cilindre.

### Prisilno podmazivanje

Najčešće preko zupčaste pumpe privješene na koljenasto vratilo. Ulje se preko regulatora tlaka razvodi provrtima do glavnih i letećih ležajeva, a često i kroz ojnicu do ležajeva osovinice stapa. Kod većih sustava ugrađeni su još filtri ulja, kontrolni ventili, rashladnici ulja, sigurnosni ventili, sustav za automatsko gašenje u slučaju pada tlaka ulja.



Slika 6.2: Sustav tlačnog podmazivanja kompresora

**Podmazivanje cilindara i brtvenih prstenova** vrši se prskanjem, maglom ili posebnim sustavom koji tlači ulje na više tlakove i dovodi ulje na radne površine cilindara i ojnice. Količina dobave i kvaliteta ulja na pojedina kritična mjesta mora biti točno dozirana. Svaka promjena može dovesti do lomova ventila, stvaranja naslaga na prstenovima ili cjevovodima.

### ULJA ZA KOMPRESORE

Ulja za podmazivanje ležajeva su kvalitetna **nedeterdentna mineralna ulja** ili **sintetička ulja**. Moraju sadržavati inhibitore za hrđu i oksidaciju te aditive protiv pjenjenja. Aditivi protiv pjenjenja su naročito važni kod podmazivanja prskanjem. Ulje treba redovito kontrolirati i mijenjati ovisno o radnim uvjetima okoline.

**Sintetska kompresorska ulja** – podnose više temperature i onemogućavaju stvaranje karbonskih naslaga na ventilima i stapnim prstenovima. U usporedbi s mineralnim uljima za

1/3 je smanjena količina dobave (manje ulja cijedi kroz cjevovod, manja mogućnost požara) te produžuju interval izmjene. Postoje nekoliko vrsta kompresorskih sintetskih ulja:

**Fosfatni esteri** – dobra vatrootporna svojstva i pokazala su se kao dobra kompresorska ulja

**Polialkalni glikoli** – mogu biti topivi ili netopivi u vodi. Uz pravilni odabir viskoziteta pokazala su se dobra, ali nisu vatrootporna.

**Fluorougljici** – potpuno vatrootporni, pogodni za podmazivanje zračnih kompresora, ali skupi.

**Diesteri i polialfa-olefini** – najčešća ulja za kompresore.

Ako se mineralno ulje zamjenjuje sa sintetskim, potrebno je detaljno čišćenje cjevovoda i sustava, kao i cilindra kompresora i svih komponenti. Sintetsko ulje će uzrokovati otapanje svih naslaga pa može doći do kvara uslijed začepljenja. Nakon izmjene i kraćeg rada dobro je opet zaustaviti kompresor i ponoviti čišćenje i zamjenu ulja.

## 7. ROTORNI KOMPRESORI

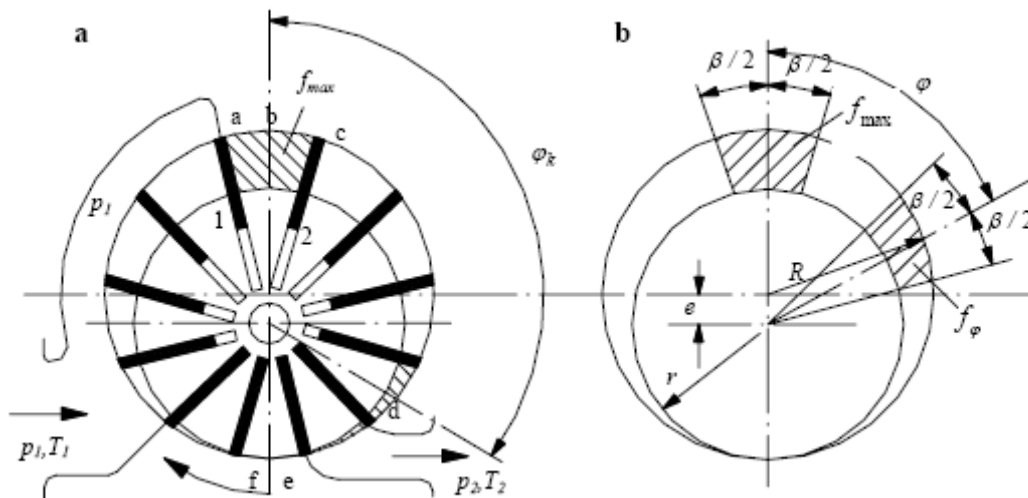
Rade na volumetrijskom principu odnosno svojim aktivnim potisnim elementima prisiljavaju plin da zauzme manji prostor – tlače ga. Dok se kod stapnih to postiže pomicanjem stapa u cilindru, kod rotornih se stap zakreće u odnosu na cilindar. Izrađuju se s jednim ili dva rotora. Moguće velike brzine vrtnje jer se mogu dobro statički i dinamički uravnotežiti s obzirom da imaju samo rotirajuće pokretne mase. Brzine vrtnje se kreću od 1500 do 30000 o/min. Malih su dimenzija s obzirom na veliku količinu dobave. Postižu niske (puhala) i srednje kompresijske omjere (lamelni i vijčani kompresori).

**7.1. (ROTORNI) LAMELNI KOMPRESORI S JEDNIM ROTOROM** – kompresijski omjeri od 2,5 – 4 u jednom stupnju, kod dvostepene kompresije od 7 – 8. Primjena kao „Booster“ kompresori u rashladnim uređajima većeg rashladnog učinka za rad u stupnju niskog tlaka gdje nisu veliki kompresijski omjeri i gdje nema velikih zahtjeva za regulacijom rashladnog učinka. Ne treba usisni i tlačni ventil, ali na tlačni priključak treba ugraditi nepovratni ventil radi sprečavanja povratnog strujanja kad kompresor ne radi.

Uz izraz  $f_{\max} = \frac{4R\pi e}{m}$ , dobava lamelnih kompresora je:

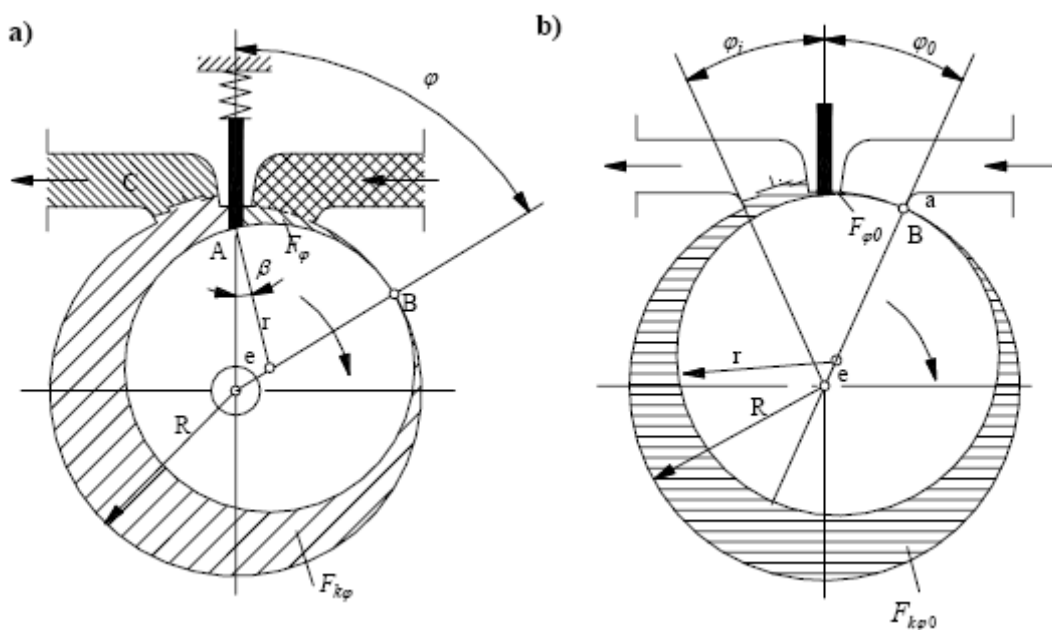
$$\dot{V} = \lambda \cdot m \cdot f_{\max} \cdot l \cdot n = \lambda \cdot 4 \cdot \pi \cdot R \cdot e \cdot l \cdot n \left[ m^3 / s \right]$$

$m$  – broj lamela       $l$  – duljina rotora       $n$  – brzina vrtnje [ $s^{-1}$ ]  
 $e$  – ekscentričnost rotora ( $R - r$ )       $r$  – promjer rotora       $R$  – promjer cilindra



Slika 7.1: Lamelni kompresor - geometrija

**7.2. (ROTORNI) KOMPRESORI S EKSCENTRIČNIM ROTORIMA** – imaju manje kompresijske omjere (1,5 – 2). Kao mali kompresori za hladnjake u domaćinstvima i malim klima uređajima (hermetička varijanta). Rotor je na osovini ekscentrično uklinjen za udaljenost  $e$  od centralne osi cilindra, a jedna lamela kliže u utoru kućišta s time da jedan brid kliže po rotoru (pritišće ju opruga). Odnos  $\varepsilon = e/R$  je važna karakteristika kompresora s ekscentričnim rotorom.

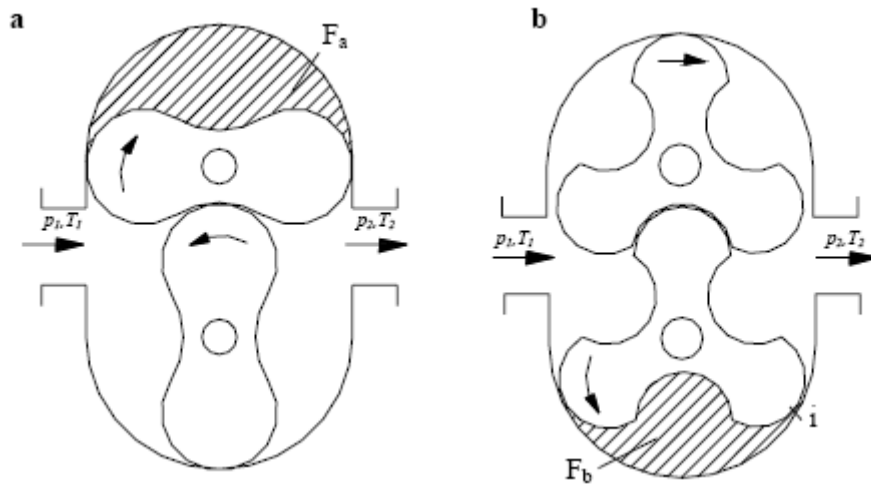


Slika 7.2: Kompresor s ekscentričnim rotorom – geometrija

Dobava je:  $\dot{V} = \lambda \cdot F_{k\varphi_0} \cdot l \cdot n \left[ m^3 / s \right]$



**7.3. (ROTORNI) KOMPRESORI S DVA ROTORA – PUHALJKE;** rotori se sinkrono okreću, ne dodiruju se pa nije potrebno ni podmazivanje – moguća dobava čistog plina bez ulja. Zbog stalno prisutnih malih raspora između rotora veći su volumetrički gubici (rastu s povećanjem omjera tlakova) – primjena ograničena na kompresijske omjere  $x = 1,5 - 1,7$ .



Slika 7.3: Puhaljke s istim profilima presjeka rotora

Dobava je:  $\dot{V} = \lambda \cdot I \cdot F \cdot l \cdot n [m^3 / s]$ , gdje je  $I$  broj zahvata za svaki okretaj.

a – svaki rotor zahvati volumen plina iz usisnog voda 2 puta za 1 okretaj ( $I = 2$ ),

b – svaki rotor zahvati volumen plina iz usisnog voda 3 puta za 1 okretaj ( $I = 3$ ).

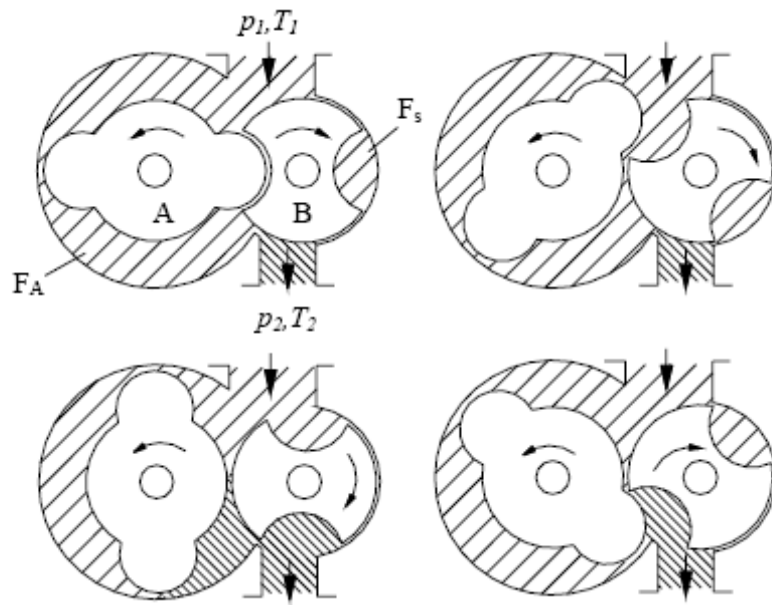
$F_a \cdot l = V_a$  - volumen zahvaćenog plina a,

$F_b \cdot l = V_b$  - volumen zahvaćenog plina b.

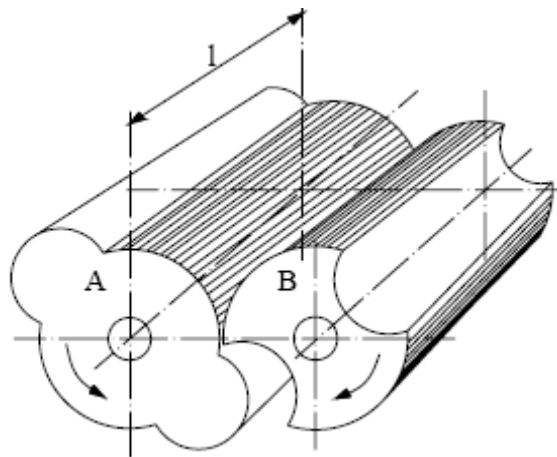
Kod **puhaljki s različitim profilima rotora** komprimiranje se odvija „unutarnjim komprimiranjem“ – na putu od usisnog do tlačnog priključka, te „vanjskim komprimiranjem“ – nakon otvaranja spoja s tlačnim vodom. Ovaj se proces još naziva „miješana kompresija“.

Rotor A je radni, a rotor B je razvodni.

Dobava je:  $\dot{V}_e = 2\lambda (F_a + F_b) \cdot l \cdot n [m^3 / s]$



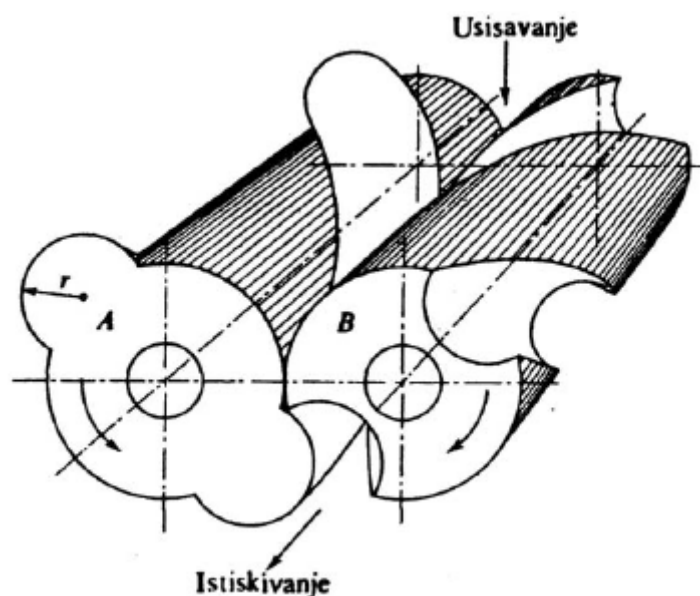
Slika 7.4: Puhaljke s različitim profilima presjeka rotora



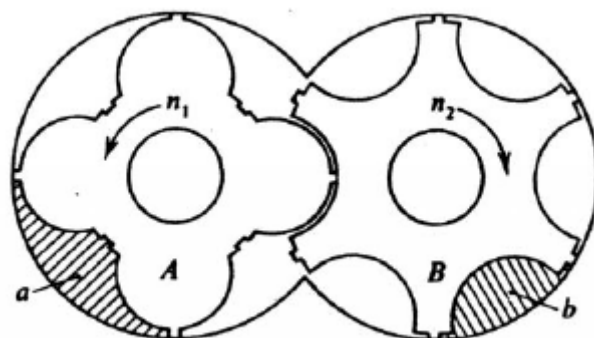
Slika 7.5: Rotori puhaljke s različitim profilima – ravne izvodnice

## 7.4. VIJČANI KOMPRESORI S DVA ROTORA

Izvodnice više nisu pravci već spirale raznih vrsta presjeka (rotori mogu imati 2 zuba i 2 žlijeba, 4 zuba i 6 žlijebova, 3 zuba i 4 žlijeba ili 6 zuba i 8 žlijebova). Rotor A se često naziva „muški“, a rotor B „ženski“ rotor.



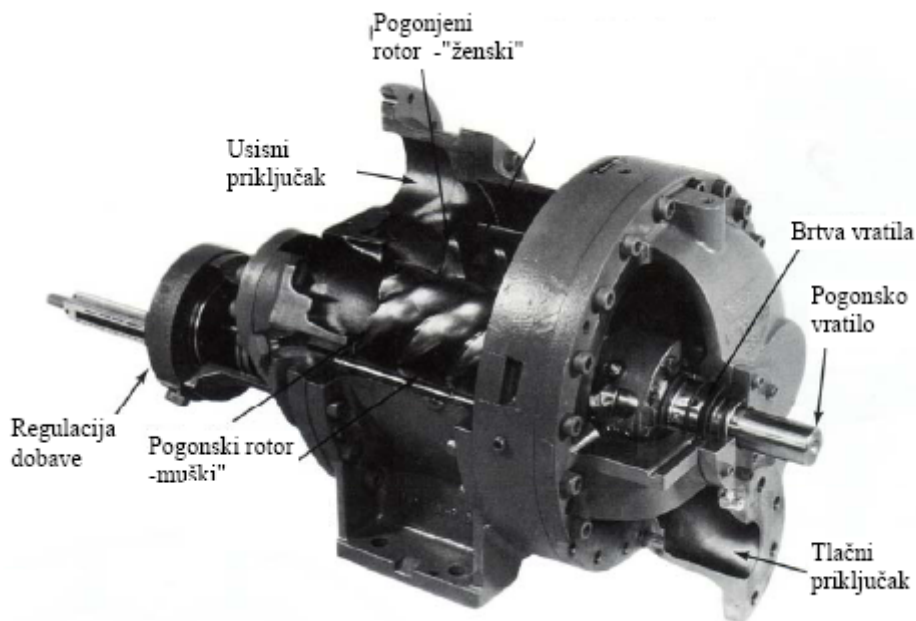
Slika 7.6: Vijčani kompresor s dva rotora (2 zuba i 2 žlijeba)



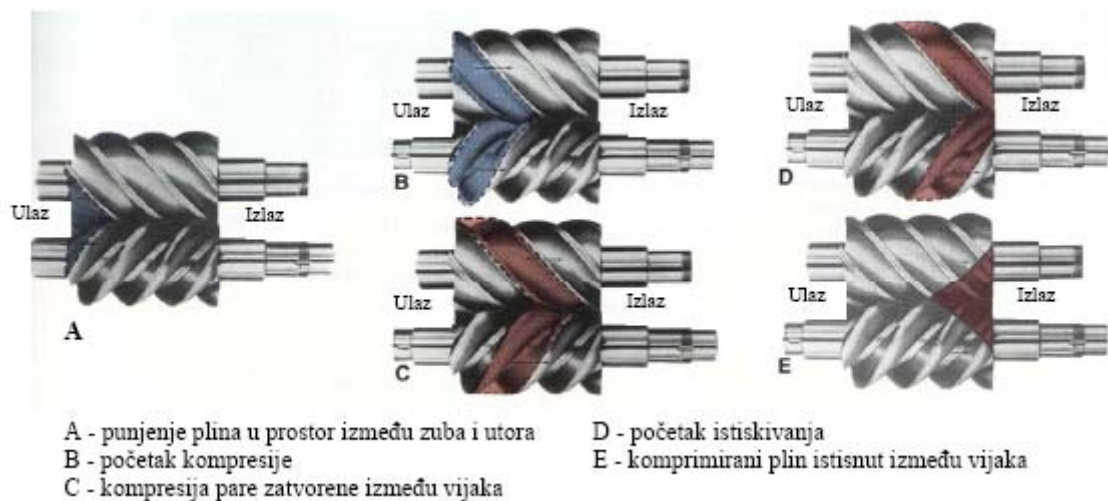
Slika 7.7: Rotori vijčanog kompresora (4 zuba i 6 žlijebova) – odnos brzine vrtnje A i B je

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{6}{4}$$

Usisni priključak je na jednoj strani, a tlačni na drugoj strani kućišta gledano po uzdužnoj osi. Kompresija se odvija u međuprostoru između vijaka i kućišta. Vijčani kompresori mogu u jednom stupnju raditi do kompresijskog omjera  $x = 3$ , a s dvostepenim do  $x = 3$ . Rotori se mogu ne dodirivati (ne treba unutrašnje podmazivanje) ili se dodiruju (treba podmazivanje). Kod rotora koji se podmazuju ulje ispunjava raspore između rotora i kućišta pa su mogući kompresijski omjeri i do  $x = 8 - 9$ . Dobava se kreće od 0,1 do 4 m<sup>3</sup>/s, a brzina vrtnje od 1500 – 30000 o/min.



Slika 7.8: Prikaz vijčanog kompresora



Slika 7.9: Prikaz rada vijčanog kompresora

Prednosti vijčanih kompresora:

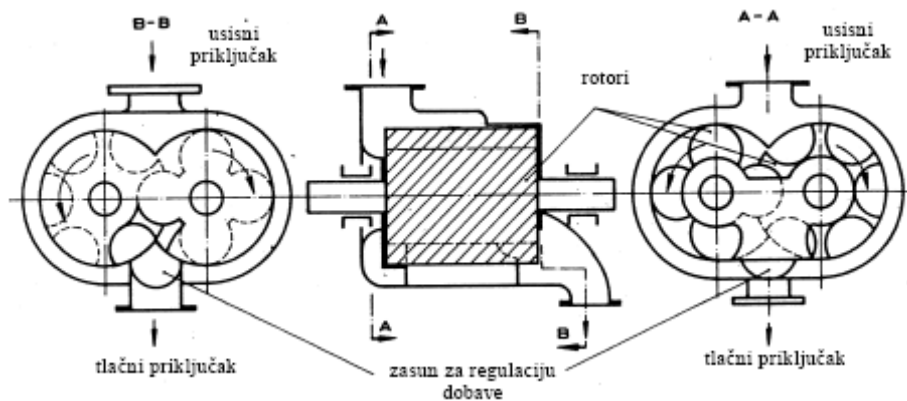
- nemaju ventile – manje volumetrijskih i energetskih gubitaka,
- nema potrebe za podmazivanjem,
- male dimenzije s obzirom na dobavu,
- rotirajuće simetrične pokretne mase pa je jednostavno uravnoteženje,
- neprekinuta dobava neovisna o kompresijskom omjeru koji je neovisan o brzini vrtnje i gustoći plina,
- nisu osjetljivi na hidraulički udar kao stapni kompresori.

Nedostaci:

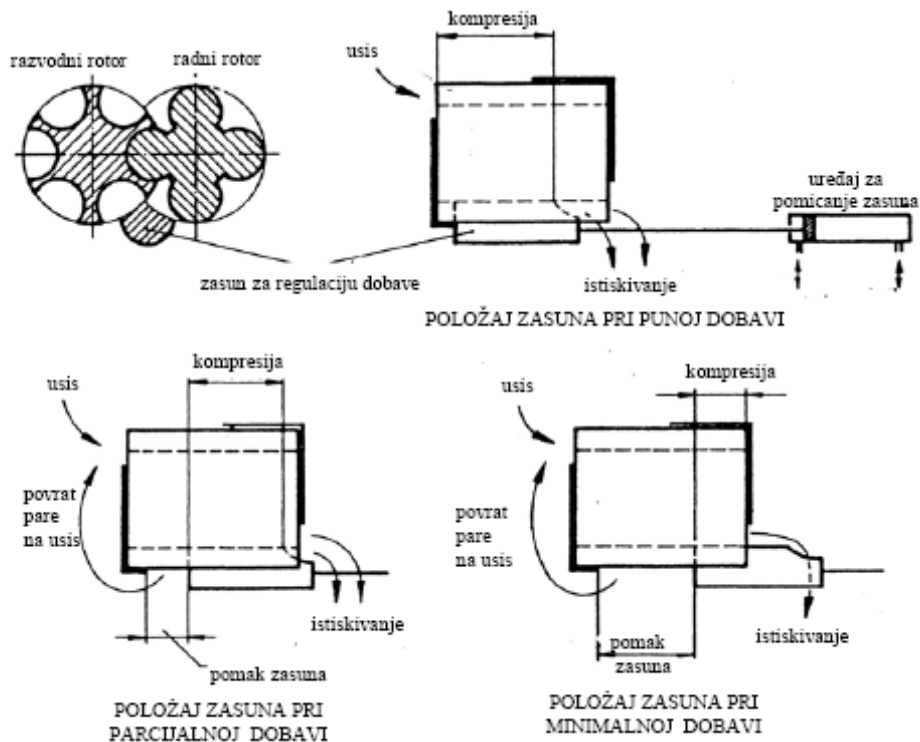
- skupa obrada rotora složenog oblika,
- ograničen i nepromjenjiv kompresijski omjer,
- trošenje sinkronizacijskih zupčanika,
- problemi oko hlađenja stroja bez unutrašnjeg podmazivanja.

Rashladni vijčani kompresori rade s ubrizgavanjem ulja u radni prostor. Ono se obično vrši kroz otvore u zasunu za regulaciju dobave. Cirkulacija i tlačenje vrši pumpom ulja koja ujedno tlači ulje za podmazivanje ležajeva i brtvenica kompresora. U tlačnom vodu se mora ugraditi odvajač ulja.

**Regulacija dobave rashladnih vijčanih kompresora** – moguća bezstepanasta regulacija od 10 do 100 % maksimalne dobave. Jedan od načina je ugrađivanjem zasuna između dva rotora na usisnoj strani kućišta. Aksijalnim pomicanjem zasuna otvara se veza između usisnog prostora i kanala koji su zasunom do tada bili zatvoreni – tako se omogućuje vraćanje dijela pare u usisni vod. Pomicanjem zasuna utječe se na konstrukcijski predviđen kompresijski omjer što ima utjecaj na povećanje energetske gubitaka pri smanjenoj dobavi.

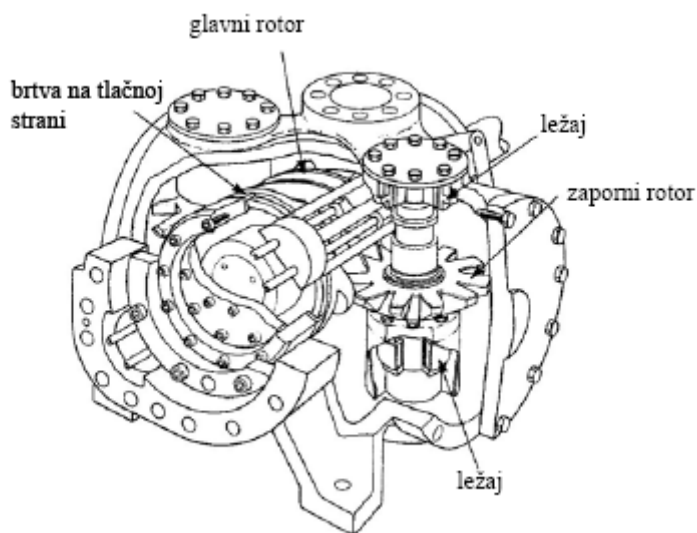


Slika 7.10: Položaj zasuna



Slika 7.11: Regulacija dobave vijčanog kompresora

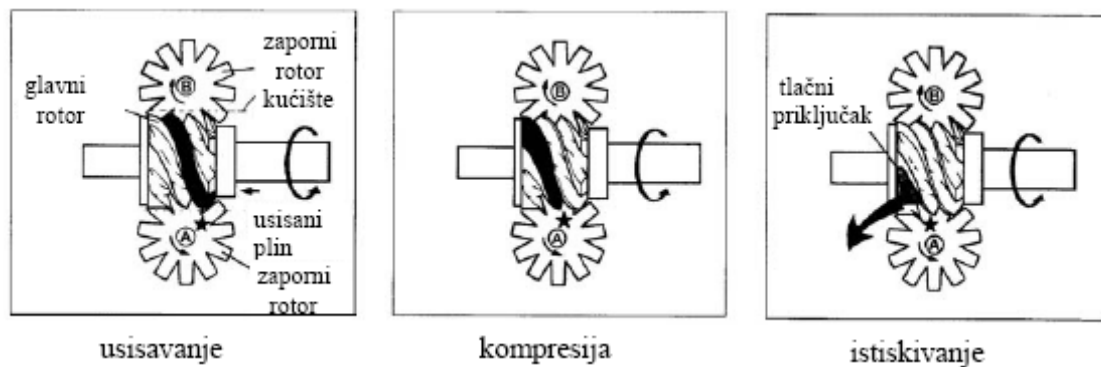
**7.5. VIJČANI KOMPRESORI S JEDNIM ROTOROM** – jedan glavni rotor u sprezi s dva zaporna rotora u obliku diska. Mogu biti različitog oblika – koriste se u rashladnoj tehnici.



Slika 7.12: Vijčani kompresor s jednim rotorom

Pogonski - glavni rotor je u obliku spirale, a na obodu je cilindričnog oblika. Zaporni su rotori identičnog oblika (oblik diska) koji ulaze u utore glavnog rotora (pogonjeni su glavnim rotorom). Osim manjih gubitaka trenja snaga se ne prenosi na zaporne rotore – odatle naziv jednorotorni.

Proces kompresije je prikazan na dlici;



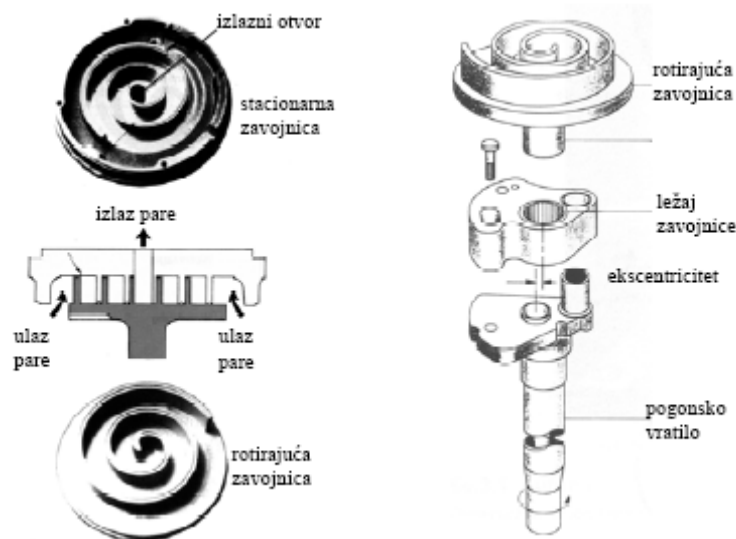
Slika 7.13: Proces kompresije u jednorotornom kompresoru

**Usisavanje** – otvoren utor glavnog rotora prema usisnoj komori – punjenje plinom. Zub zapornog rotora djeluje kao stap na usisu.

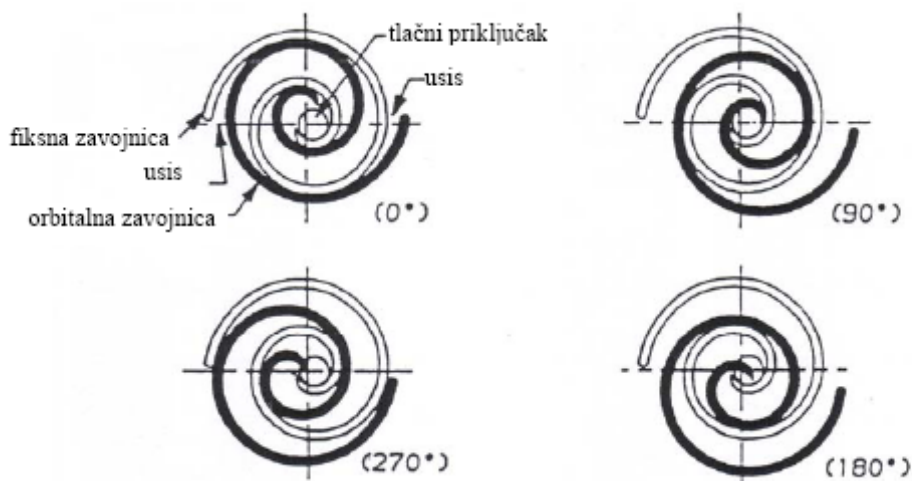
**Kompresija** – okretanjem glavnog rotora utor zahvaća zub zapornog rotora A (zvjezdica) dok je istovremeno pokriven cilindričnim kućištem glavnog rotora. Plinu zatvorenom između kućišta, utora glavnog rotora i zuba zapornih rotora, se rotacijom smanjuje volumen, tj komprimira se.

**Istiskivanje** – započinje kada zarobljeni plin dođe do tlačnog otvora – volumen utora se smanjuje do minimuma.

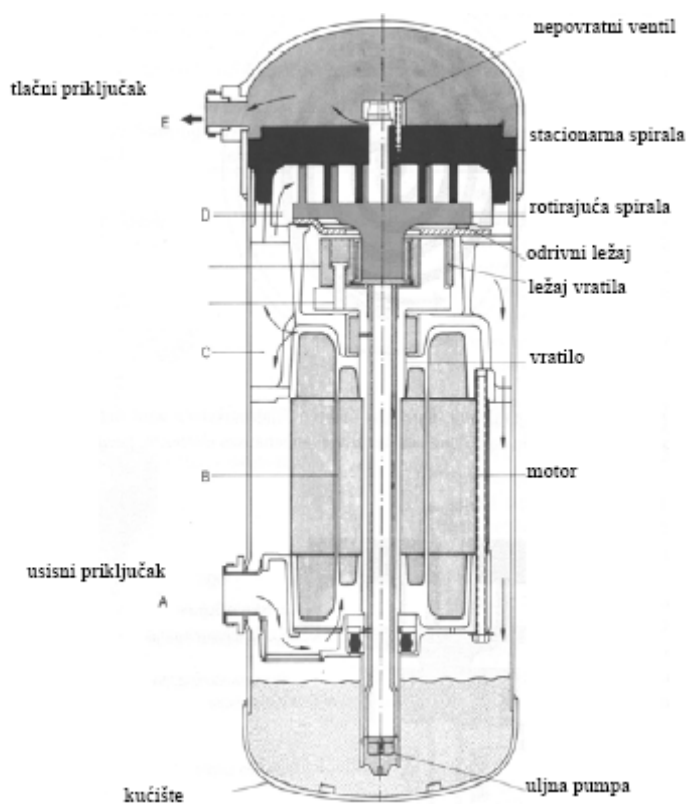
**7.6. KOMPRESORI SA SPIRALAMA** – dvije identične spirale umetnute jedna u drugu (jedna stacionarna, a druga rotira). Rotirajuća je ekscentrično postavljena na vratilu.



Slika 7.14: Kompresor sa spiralama



Slika 7.15: Presjek s prikazanim položajem zavojnica za različite kutove vratila



Slika 7.16: Kompresor sa spiralama – sklop

Rotacijom se **istovremeno** odvija usis, kompresija i istiskivanje, a utjecaj ekspanzije iz štetnog prostora se može zanemariti (mali štetni prostor).