



# HIDRAULIČKI I PNEUMATSKI SISTEMI

## **Radni fluidi pneumatskih sistema**

# Pneumatski sistemi



Pneumatski sistemi mogu raditi:

- na sabijeni (komprimovani) vazduh (pod pritiskom)
- na razređeni vazduh (vakuum)

# Primena vazduha pod pritiskom



Skoro sve faze rada fabričkih postrojenja zavise od vazduha pod pritiskom.

Vazduha pod pritiskom primenjuje se za:

- opšte namene u fabrikama, radionicama i skladištima
- sisteme pneumatskog transporta,
- pogon pneumatskih alata,
- obradu hrane, hemikalija i farmaceutskih proizvoda,
- bojenje sprejom,
- pogon i upravljanje mašina za pakovanje itd.

# Pozitivne osobine vazduha pod pritiskom



<b>Količina:</b>	Vazduh nam stoji u neograničenim količinama na raspolaganju za proces sabijanja – kompresije.
<b>Transport:</b>	Vazduh pod pritiskom se lako transportuje u cevnim vodovima i na veća rastojanja. Vraćanje vazduha pod pritiskom se ne primenjuje.
<b>Akumulacija:</b>	Kompresor ne mora da bude stalno u pogonu. Vazduh pod pritiskom se može akumulirati u rezervoare i iz njih, po potrebi, koristiti. Sem toga, vazduh se može i transportovati u rezervoarima (boce pod pritiskom).
<b>Temperatura:</b>	Vazduh pod pritiskom je neosetljiv na temperaturne promene. To obezbeđuje siguran rad uređaja i pri ekstremnim temperaturnim promenama.
<b>Sigurnost:</b>	Ne postoje opasnosti od eksplozija i paljenja. To znači da nisu potrebni specijalni uređaji za zaštitu od eksplozija.
<b>Čistoća:</b>	Vazduh pod pritiskom je vrlo čist, što znači da u slučaju nezaptivenih vodova ili elemenata u sistemu, pri izlasku iz tog sistema ne zagađuje okolinu. Ovakvi uslovi se postavljaju npr. kod prehrambene, drvne, tekstilne i kožne industrije.
<b>Konstrukcija:</b>	Radni elementi su jednostavne konstrukcije, a time i relativno jeftini.
<b>Brzina:</b>	Vazduh pod pritiskom je vrlo brz radni medij. Time je obezbeđeno da se mogu postići velike radne brzine elemenata (radne brzine pneumatskih cilindara kreću se oko 1-2 m/s).
<b>Regulisanje:</b>	Brzine i sile kod elemenata koji rade pomoću vazduha pod pritiskom mogu se kontinualno podešavati.
<b>Sigurnost od preopterećenja:</b>	Alati i radni elementi koji rade pomoću vazduha pod pritiskom mogu se opterećivati do njihovog potpunog zaustavljanja – što znači da je postignuta sigurnost od preopterećenja.

# Negativne osobine vazduha pod pritiskom



<b>Priprema:</b>	Vazduh pod pritiskom zahteva vrlo dobru pripremu, prljavština i vlaga ne smeju se transportovati sa vazduhom (opasnost od habanja pneumatskih elemenata).
<b>Stišljivost:</b>	Vazduh pod pritiskom je ekonomičan samo do određenih vrednosti sila. Uslovljeno i činjenicom da se vazduh primenjuje najčešće pod pritiskom od 7 bara, a zavisno još od puta i brzine, ova granica sila se u praksi kreće od 20.000 do 30.000 N
<b>Iskorišćeni vazduh:</b>	Iskorišćeni vazduh je na izlazu, iza radnih elemenata, bučan. Primenom prigušivača zvuka danas je taj problem dobrim delom rešen.
<b>Cena:</b>	Vazduh pod pritiskom je relativno skup izvor energije. Visoka cena energije kompenzuje se, opet, jeftinijim elementima pneumatike i njihovom dugotrajnošću i brzinom (veliki broj taktova).

# Vazduh



Atmosferski vazduh je mešavina različitih zapreminskih gasova i to:

azot (N <sub>2</sub> )	78,08 %
kiseonik (O <sub>2</sub> )	20,95 %
argon (Ar)	0,93 %
ugljen dioksid (CO <sub>2</sub> )	0,03 %

Osim ovih gasova u vazduhu su prisutni i vodonik, neon, helijum, kripton i ksenon.

Vazduh takođe sadrži promenljivu količinu vodene pare, u proseku oko 1% na nivou mora, a 0,4% u celoj atmosferi.

# Vazduh



Najznačajnije osobine vazduha:

- gustina
- temperatura
- stišljivost
- vlažnost
- brzina kretanja
- pritisak
- promene stanja vazduha
- kvalitet

Gustina pri 1,032 bar i 0 °C ( $\rho$ )	1,293 kg/m <sup>3</sup>
Molska masa (M)	28,95 kg/kmol
Gasna konstanta (R)	287 J/kgK

# Gustina vazduha



Gustina je data odnosom mase  $m$  i odgovarajuće zapremine  $V$ .

$$\rho = \frac{m}{V} \left( \frac{kg}{m^3} \right)$$

Specifična zapremina  $v$  jednaka je:

$$v = \frac{v}{m} = \frac{V}{\rho \cdot V} = \frac{1}{\rho} \left( \frac{m^3}{kg} \right)$$



# Temperatura vazduha



Tokom sabijanja vazduha dolazi do povećavanja temperature i odavanja toplote okolini.

Pri stvaranju podpritiska (vakuumiranja) dolazi do smanjenja temperature, pa dolazi do oduzimanja toplote od okoline.

Posledice ovih promena mogu biti drastične, kao na primer smrzavanje uređaja ili sagorevanje materija za podmazivanje, što može da dovede do teških oštećenja komponenti pneumatskog sistema.

# Stišljivost vazduha



Vazduh, kao i svi gasovi, ima minimalnu koheziju.

Za normalne radne uslove u kojima se koriste pneumatski uređaji, sile između molekula vazduha se mogu zanemariti.

Pod pojmom stišljivosti se podrazumijeva svojstvo promene gustine gasa pod dejstvom pritiska i temperature.

Stišljivost je inherentna (nerazdvojiva) karakteristika vazduha.

# Vlažnost vazduha



Suv vazduh praktično ne postoji u normalnim uslovima okoline.

Određena količina vode nalazi se u vazduhu u različitim formama, kao:

- vlaga,
- magla,
- para

ili se izdvaja iz vazduha u formi tečnih kondenzata (kapljice) ili u čvrstoj formi - led i inje.

# Brzina kretanja vazduha



Do protoka vazduha kroz cevi dolazi zbog razlike pritiska.

Ako je pritisak jednak atmosferskom, do protoka može doći samo u pravcu eventualnog vakuuma (podpritiska).

Granična brzina kojom vazduh može da se kreće jednaka je brzini zvuka pri prolasku kroz vazduh.

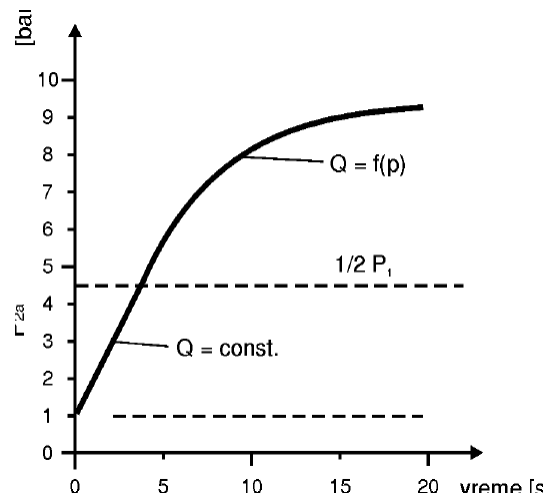
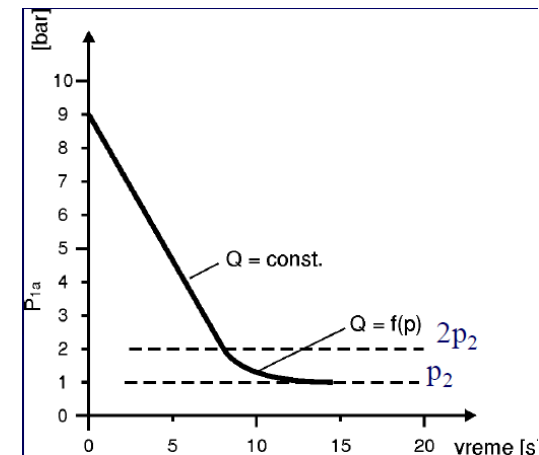
Da bi se ostvarila sonična brzina odnosno soničan protok, primarni pritisak  $p_1$  mora da bude dva ili više puta veći od sekundarnog pritiska  $p_2$ .

# Brzina kretanja vazduha



## Pražnjenje rezervoara

- Protok  $Q$  je konstantan sve dok je  $p_1$  veće od  $2p_2$  odnosno do 1 bar nadpritiska (2 bara apsolutnog pritiska).
- Kada  $p_1$  opadne do nivoa od  $2p_2$  protok  $Q$  počinje da se smanjuje, jer brzina pada ispod sonične sve dok kretanje ne prestane u trenutku kada se pritisci izjednače.



## Punjenje rezervoara

- Protok  $Q$  je konstantan sve dok je pritisak u rezervoaru više nego dvostruko manji od ulaznog pritiska u rezervoar  $p_1$ .
- Od trenutka kada pritisak u rezervoaru dostigne polovinu vrijednosti pritiska napajanja  $p_1$ , protok  $Q$  počinje da se smanjuje sve dok potpuno ne prestane u trenutku kada se pritisak u rezervoaru izjednači sa pritiskom napajanja.

# Protok vazduha



Protok vazduha se izražava kao zapremina slobodnog vazduha koji protekne u jedinici vremena.

Po SI sistemu izražava se kao broj normalnih kubnih metara vazduha u sekundi.

Međutim, već  $1 \text{ (N)m}^3/\text{s}$  predstavlja ogroman protok, tako da ta jedinica nije primerena pneumatskim sistemima.

# Pritisak vazduha



Vazduh u normalnim uslovima deluje na okolinu proizvodeći pritisak.

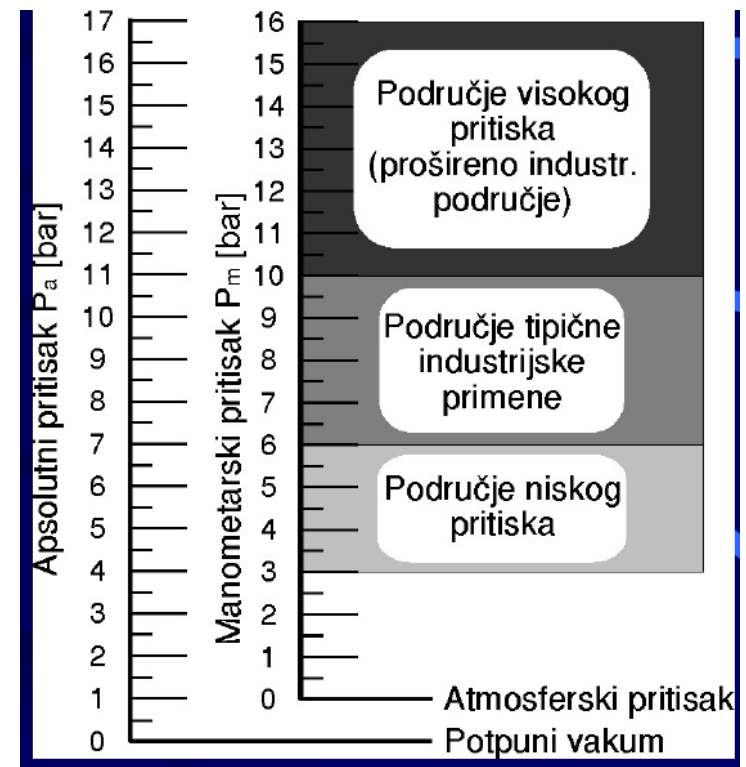
To je takozvani atmosferski pritisak koji se u starim jedinicama pritiska izražavao kao pritisak od jedne atmosfere (1 at).

Pritisak se po SI sistemu mjera izražava u Paskalima (Pa).

Za izražavanje pritiska fluida u tehnici je uvedena jedinica **bar** i približno odgovara staroj jedinici atmosferskog pritiska (1 bar  $\approx$  1 at).

Za merenje nižih pritisaka u tehnici se koristi hiljaditi deo bara - milibar (mbar).

*Područja pritisaka koji se koriste u sistemima distribucije vazduha pod pritiskom u uobičajenim uslovima primene (industrija, skladišta, itd..)*



# Manometarski pritisak



U pneumatici i uopšte u tehnici se najčešće govori o takozvanom nadpritisaku ili manometarskom pritisaku koji se označava sa  $p_m$ .

Za računanje prema datim formulama potrebno je koristiti apsolutne vrednosti pritiska.

U tehnici se apsolutni pritisak često označava sa  $p_a$  kako bi se razlikovao od manometarskog.



# Merenje vakuuma



Za merenje vakuuma se ponekad koristi jedinica **Torr**, koja odgovara visini jednog milimetra živinog stuba.

Pri tome se potpuni vakuum označava sa 0 Torra, a kada nema vakuuma (normalna atmosfera) to odgovara pritisku od 760 Torra.

Radi sticanja osećaja kolike su jedinice pritiska, daje se podatak da prosečna osoba može svojim dahom (intenzivnim duvanjem) da ostvari pritisak reda veličine 100 mbara.

# Promene stanja gasa



Stišljivost zavisi, između ostalog, od karaktera termodinamičkog procesa pod kojim se vrši promena stanja gasa (izobarsk, izohorski, izotermni, adijabatski, politropski ...).

Jednačina stanja za 1 kg idealnog gasa glasi:

$$pV = RT$$

# Realni gasovi



Realni gasovi, u koje spada i vazduh, odstupaju od idealnih gasova, tako da je potrebno uvesti korektivni faktor stišljivosti (kompresibilnosti)  $Z$ .

$$pV = ZRT \quad \text{ili} \quad Z = pV/RT$$

gde je:

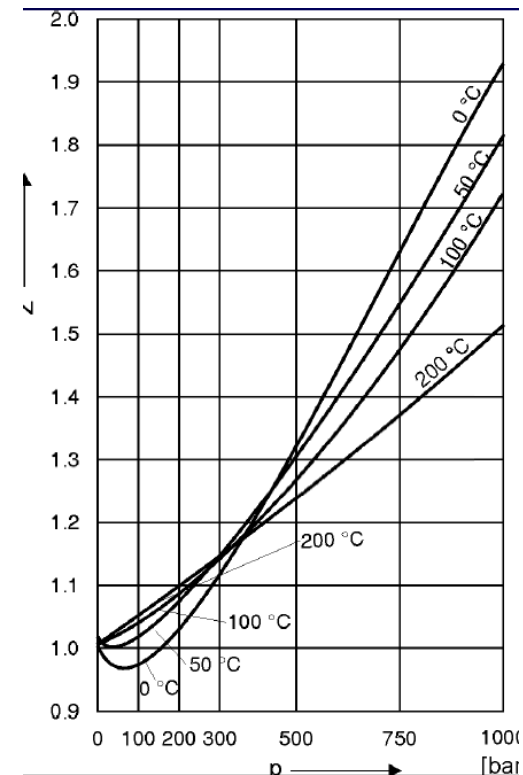
$p$  - pritisak

$V$  - zapremina

$R$  - gasna konstanta

$T$  - apsolutna temperatura

Promene faktora kompresibilnosti (stišljivosti)  $Z$   
u funkciji promene pritiska



# Opšta jednačina stanja



Opšta jednačina stanja gasa povezuje pritisak, temperaturu i zapreminu za različita stanja u kojima se može naći ista količina gasa, pri čemu njihov odnos mora ostati konstantan:

$$(p_1V_1)/T_1 = (p_2V_2)/T_2 = \text{const}$$

# Promene stanja vazduha



Kao što se vidi iz jednačine stanja gasa, promenljive koje karakterišu bilo koju količinu vazduha su pritisak, zapremina i temperatura ( $p$ ,  $V$  i  $T$ ).

Ako se jedna od ove tri promenljive održava na konstantnoj vrednosti, onda se može govoriti o različitim uslovima pri kojima se odvijaju promene stanja vazduha:

- konstantna temperatura:  $pV = \text{const.} = RT$  (izotermni proces)
- konstantan pritisak:  $V/T = \text{const.} = R/p$  (izobarski proces)
- konstantna zapremina:  $p/T = \text{const.} = R/V$  (izohorski proces)

# Promene stanja vazduha – konstantna temperatura

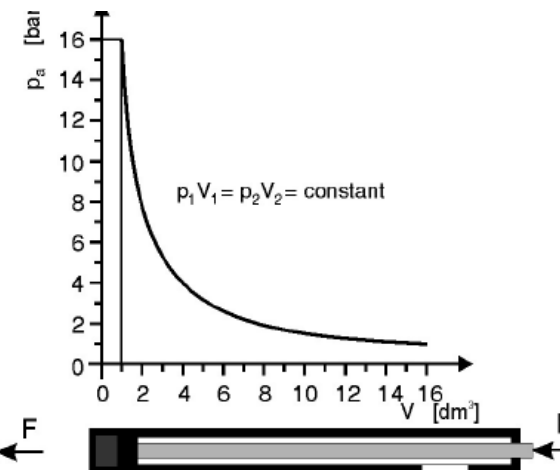
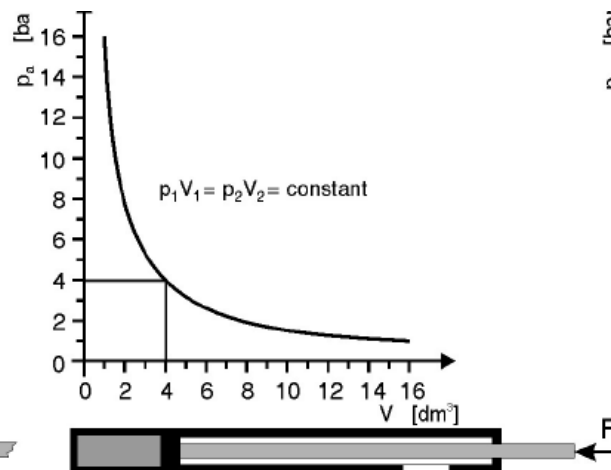
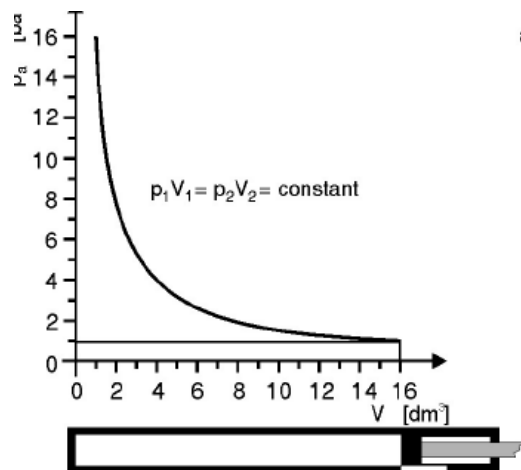


**Bojl-Mariotov zakon**  $pV = const = RT$

Proizvod apsolutnog pritiska i zapremine date količine gasa ostaje konstantan ako temperatura gasa pri tom ostane konstantna.

$$(p_1V_1)/T_1 = (p_2V_2)/T_2 = const$$

za  $T = const$  proizilazi  $p_1V_1 = p_2V_2 = const$



# Promene stanja vazduha – konstantan pritisak

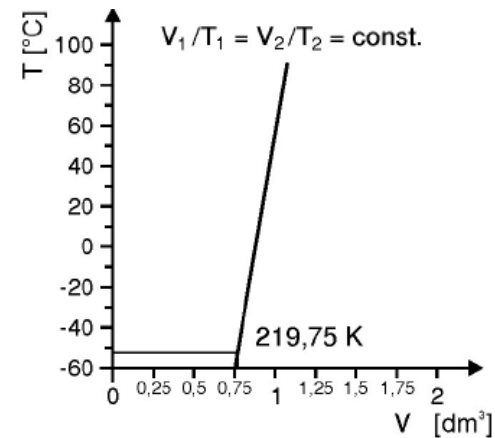
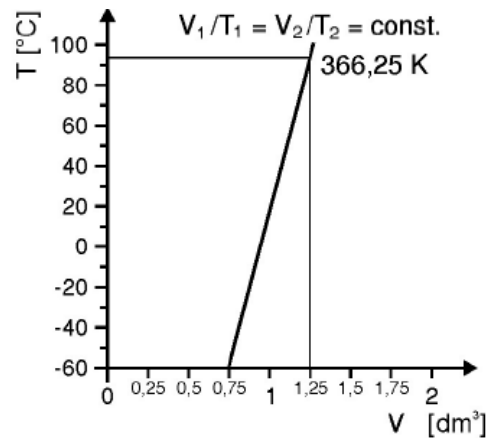
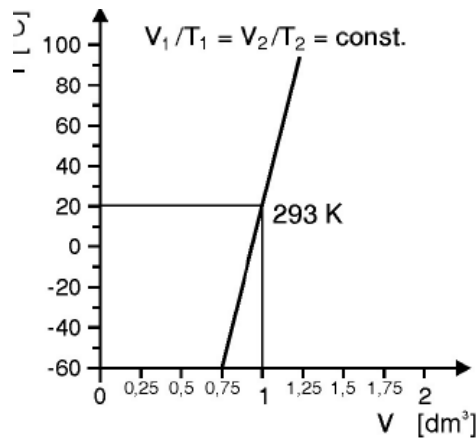


**Gej-Lisakov zakon**  $V/T = const = R/p$

Zapremina određene količine gasa, na konstantnom pritisku, proporcionalna je apsolutnoj temperaturi.

$$(p_1 V_1)/T_1 = (p_2 V_2)/T_2 = const$$

za  $p = const$  proizilazi  $V_1/T_1 = V_2/T_2 = const$



# Promene stanja vazduha – konstantna zapremina

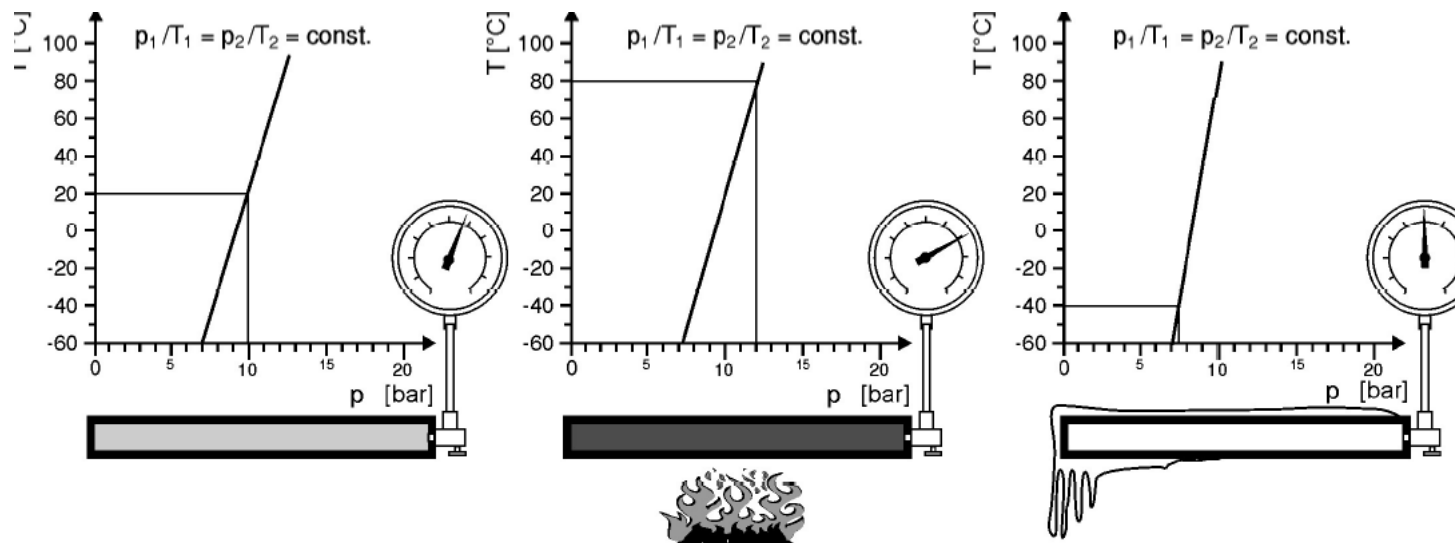


**Šarlov zakon**  $p/T = const = R/V$

Ako se zapremina date količine gasa održava konstantnom, onda će pritisak biti proporcionalan apsolutnoj temperaturi.

$$(p_1 V_1)/T_1 = (p_2 V_2)/T_2 = const$$

za  $V = const$  proizilazi  $p_1/T_1 = p_2/T_2 = const$





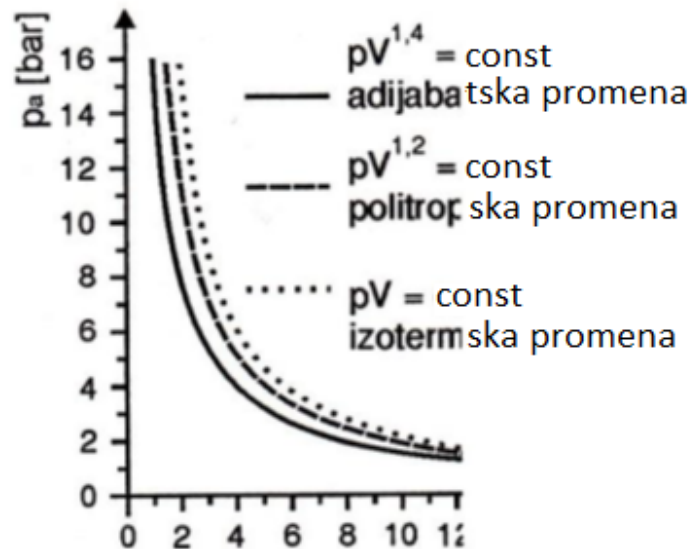
# Promene stanja vazduha – adijabatska kompresija



**Paosonova jednačina**  $pV^k = const$

Adijabatska promena nastaje kada nepostoji razmena toplote između gasa i okoline. (Npr. trenutno komprimovanje što u praksi nije moguće)

*Politropska kompresija – u kompresorima*



$n=1,4$  – idealan slučaj (vazduh)

$n=1,3$  – u praksi

# Preporuke za kvalitet vazduha pod pritiskom



# Preporuke za kvalitet vazduha pod pritiskom



## **Vazduh za fabrička postrojenja**

Ne sme da sadrži kondenzovanu vodu i ulje, a ako drugačije nije precizirano čvrste čestice u opštem slučaju treba da su manje od 40  $\mu\text{m}$ , a za osetljive uređaje manje od 10  $\mu\text{m}$ .

## **Vazduh za instrumente**

Ne sme da sadrži kondenzovanu vodu. Tačka rošenja pod pritiskom mora biti za najmanje 10 °C manja od najniže temperature ambijenta kojoj može biti izložen sistem razvoda vazduha pod pritiskom. Ugljovodonici moraju biti manji od 1 ppm kondenzovanih čestica mereno zapreminski, a čvrste čestice manje od 1  $\mu\text{m}$ .

# Preporuke za kvalitet vazduha pod pritiskom



## **Mikroelektronska industrija**

Ne sme da bude kapljica vode u vazduhu, tačka rošnja pod pritiskom mora biti manja ili najviše jednaka sa  $-61,1$  °C, a ugljovodonici moraju biti ograničeni tako da ih nema u kondenzovanom obliku, čvrste čestice ne smeju biti na mestu upotrebe veće od  $0,1$   $\mu\text{m}$ .

## **Procesiranje hrane**

Ako se vazduh pod pritiskom koristi za neki od procesa prerade hrane gde je u direktnom dodiru sa hranom, mora da bude manje od 1ppm ulja na milion delova hrane.

## **Industrija piva**

U pivarskoj industriji se zabranjuje prisustvo ugljovodonika ili ulja u bilo kakvom stanju u vazduhu pod pritiskom koji dolazi u kontakt sa sladom i pivom u bilo kojoj fazi proizvodnje.

# Preporuke za kvalitet vazduha pod pritiskom



## **Sterilni vazduh**

Ne sme da bude kapljica vode u vazduhu. Ugljovodonici moraju biti ograničeni tako da ih nema u kondenzovanom obliku, mikroorganizmi moraju biti ograničeni na manje od 0,1  $\mu\text{m}$ , a čvrste čestice na mestu upotrebe na manje od 0,1  $\mu\text{m}$ . Krajnji ulošci filtera moraju biti očišćeni na mestu upotrebe sa procesnom parom u regularnim intervalima. To zahteva dva filtera postavljena u paralelnoj vezi, tako da dok se jedan čisti drugi je u upotrebi.

## **Vazduh za disanje**

Ne sme da bude kapljica vode u vazduhu, tačka rošenja pod pritiskom mora biti veća ili najmanje jednaka 5,5 °C, ugljovodonici se ograničavaju tako da su u kondenzovanom obliku manji od 0,1  $\mu\text{m}$ , a ugljen monoksid je ograničen na manje od 10 ppm. Čvrste čestice na mestu upotrebe moraju biti manje od 1  $\mu\text{m}$ .