

INDUSTRIJSKA PNEUMATIKA

Studijski program Mehatronika

III SEMESTAR

Nastavni fond: 2+2

Lekcija 1:

VAZDUH



Predavač:

Prof. dr Marina Mijanović Markuš

CILJ

- Naučiti osnovne komponente
- Oblast pneumatske automatizacije
- Simboli i šeme
- Pneumatske komponente
- Inženjerske metode sinteze pneumatskog upravljanja
- Dizajniranje pneumatskih upravljačkih šema

PRIMJENA VAZDUHA POD PRITISKOM

- Vazduh pod pritiskom je jedan od najrasprostranjenijih oblika energije koja se koristi u industriji
- Pneumatski sistemi se primjenjuju, pored industrije, i u mnogim drugim oblastima:
 - zanatske radionice,
 - trgovina,
 - laboratorije,
 - bolnice,
 - istraživački i obrazovni centri,
 - poljoprivreda,
 - rudarstvo, itd.

PRIMJENA VAZDUHA POD PRITISKOM

- Skoro sve faze rada fabričkih postrojenja zavise od vazduha pod pritiskom
- Primjenjuje se za:
 - opšte namjene u fabrikama, radionicama i skladištima
 - za sisteme pneumatskog transporta,
 - pogon pneumatskih alata,
 - obradu hrane, hemikalija i farmaceutskih proizvoda,
 - bojenje sprejom,
 - za pogon i upravljanje mašina za pakovanje, itd.

PNEUMATSKI SISTEMI

- *Pneumatske sisteme* čine uređaji i mašine koji rade na sabijeni (vazduh pod pritiskom) ili razređeni vazduh (vakuum).
- **Pneumatika** je zajednički izraz za primjenu pneumatskih elemenata radi obavljanja korisnog rada.
- *Proizvodnja, priprema i distribucija vazduha pod pritiskom* kao strana koja snabdijeva, i *pneumatski sistemi* kao potrošači vazduha pod pritiskom čine jedinstven sistem.

EFIKASNOST SISTEMA

- I pored svih prednosti vazduha pod pritiskom on može, zbog nepravilne upotrebe, da postane najskuplji oblik energije za obavljanje rada u industrijskim postrojenjima.
- Efikasan pneumatski sistem je rezultat dobrog projektovanja koje ima za cilj:
 - da obezbijedi minimalan gubitak pritiska u distributivnom sistemu i
 - odstranjivanje najvećeg dijela zagađivača: vode, kompresorskog ulja, prljavštine, rđe, opiljaka od cijevi i drugih čestica

EFIKASNOST SISTEMA

- Neefikasan sistem za proizvodnju, pripremu i distribuciju vazduha pod pritiskom dovodi do:
 - povećanja troškova po jedinici proizvedenog vazduha pod pritiskom,
 - neodgovarajućeg ili neravnomjernog rada pneumatskih alata, izvršnih organa i drugih komponenti,
 - skraćanja radnog vijeka komponenti,
 - smanjenja kapaciteta i
 - formiranja rđe i mulja u glavnim i sporednim vodovima.

BOLJI KVALITET

- Povećana primjena upravljačkih sistema i automatizovanih mašina je potencirala ove probleme i izazvala povećano interesovanje u svijetu za potrebu obezbjeđivanja boljeg kvaliteta vazduha pod pritiskom.
- Primjena vazduha pod pritiskom bez zagađivača postaje sve značajnija sa razvojem industrijske automatizacije.
- Montažni roboti, oprema za pakovanje, nanošenje boje pomoću vazduha pod pritiskom i proizvodnja u farmaceutskoj industriji zahtijevaju maksimalno čist vazduh.

UŠTEDA ENERGIJE

- U značajnom broju industrijskih postrojenja kompresori za proizvodnju vazduha pod pritiskom troše više električne energije nego bilo koja druga oprema. Ušteda energije zbog poboljšanja sistema može da iznosi od 20 do 50 % ili čak i više.
- Dobro upravljani sistem za proizvodnju, pripremu i distribuciju vazduha pod pritiskom može da uštedi energiju, smanji održavanje i zastoje, poveća produktivnost fabrike i poboljša kvalitet vazduha.

ZADATAK SISTEMA

- Zadatak sistema za proizvodnju, pripremu i distribuciju vazduha pod pritiskom
 - je da svaki dio pneumatskog sistema dobije vazduh pripremljen onako kako je za taj dio specificiranog projekta pneumatskog sistema određeno, kako bi se ostvarile projektovane radne karakteristike.
 - treba da obuhvati izbor tipa i veličine kompresora, način pripreme vazduha i način distribucije do mjesta upotrebe.
- Mnogi sistemi koji su danas u upotrebi su rezultat jednostavnog dodavanja komponenti koje su nadovezivane na prethodni sistem kao posledica povećanih potreba za vazduhom pod pritiskom.

KARAKTERISTIKE VAZDUHA POD PRITISKOM

Prednosti

- akumulacija
- količina
- transport
- sigurnost od preopterećenja
- ext. sigurnost
- regulacija
- konstrukcija komponenti
- temperatura
- čistoća

KARAKTERISTIKE VAZDUHA POD PRITISKOM

Nedostaci

- cijena
- priprema
- stišljivost
- gubitak ispuštanjem iskorišćenog vazduha
- ograničena sila

Otkrivanje (detekcija) puštanja vazduha

Zašto uraditi detekciju curenja (puštanja) vazduha?

Mjerenje curenja (puštanja) vazduha pod pritiskom sprovodi se u cilju eliminisanja neželjenog curenja komprimovanog vazduha, a time i smanjenja troškova rada kompresora za proizvodnju komprimovanog vazduha usled nepotrebnih gubitaka komprimovanog vazduha.

Koliki trošak predstavlja curenje (puštanje) komprimovanog vazduha?

| Ø | €1 kovanec (referenca veličnosti) | Ocena (letni troški pušćanja) | Stopnja pušćanja | | | | | |
|----|--------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----|---------|---------|---------|---------|
| | | | 10% | 20% | 30% | 40% | | |
| | | | Povprećna poraba na minuto | | | | | |
| | | | m ³ | kW | € | € | € | € |
| 1 | 1 mm (0,07m ³ /min) | 293 € | 10 | 55 | 10.500 | 21.000 | 31.500 | 42.000 |
| 2 | 2 mm (0,29m ³ /min) | 1.978 € | 20 | 110 | 21.000 | 42.000 | 63.000 | 84.000 |
| 3 | 3 mm (0,66m ³ /min) | 2.480 € | 30 | 160 | 31.500 | 63.000 | 94.500 | 126.000 |
| 5 | 5mm (1,87m ³ /min) | 7.200 € | 50 | 250 | 52.500 | 105.000 | 157.500 | 210.000 |
| 10 | 10 mm (7,31m ³ /min) | 25.200 | 75 | 350 | 78.800 | 157.500 | 236.250 | 315.000 |
| | | | 100 | 500 | 105.000 | 210.000 | 315.000 | 420.000 |

*cena stisnjenega zraka 0,02€/m³, pri 7 bar, 24 ur, 365 dni/leto

Šta možemo da otkrijemo?

Koristeći ultrazvuk, možemo otkriti curenje kompresovanog vazduha, pare, gasa. Utvrđujemo ispravnost rada vazdušnih ventila, drenažnih ventila, stanja ležajeva ... Iskustveno, većina curenja je prisutna kod regulacionih ventila, kao i raznih vrsta priključaka cevi ili drugih vrsta spojeva.

VAZDUH

- GUSTINA
- TEMPERATURA
- STIŠLJIVOST
- VLAŽNOST
- BRZINA KRETANJA VAZDUHA
- PRITISAK VAZDUHA
- PROMJENE STANJA VAZDUHA
- KVALITET VAZDUHA POD PRITISKOM

VAZDUH

kao gasoviti omotač zemlje, predstavlja smjesu gasova sa sastavom koji je prikazan u tabeli:

| Gas | Zapreminski udio [%] | Maseni udio [%] |
|------------------------------------|-------------------------|--------------------|
| Azot | 78,09 | 75,54 |
| Kiseonik | 20,95 | 23,14 |
| Argon | 0,93 | 1,28 |
| Ugljendioksid, vodonik i ostali | 0,03 | 0,04 |

VAZDUH

Neke značajnije karakteristike suvog vazduha date su u tabeli:

| | |
|-----------------------------|-------------------------------|
| Gustina pri 1,033 bar i 0°C | $\rho = 1,293 \text{ kg/m}^3$ |
| Molska masa | $M = 28,95 \text{ kg/kmol}$ |
| Gasna konstanta | $R = 287 \text{ J/kgK}$ |

GUSTINA

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

$$\rho = \frac{m}{V} \quad [\text{kg/m}^3]$$

- Specifična zapremina v jednaka je:

$$v = \frac{V}{m} = \frac{V}{\rho \cdot V} = \frac{1}{\rho} \quad [\text{m}^3/\text{kg}]$$

TEMPERATURA

- Tokom sabijanja vazduha dolazi do povećavanja temperature i odavanja toplote okolini.
- Pri stvaranju potpritiska (vakuumiranja) dolazi do smanjenja temperature, pa dolazi do oduzimanja toplote od okoline.
- Posledice ovih promjena mogu biti drastične, kao na primjer smrzavanje uređaja ili sagorijevanje materija za podmazivanje, što može da dovede do teških oštećenja komponenti pneumatskog sistema.

STIŠLJIVOST

- 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 promjene gustine gasa pod dejstvom pritiska i temperature.
- Stišljivost je inherentna (nerazdvojiva) karakteristika vazduha.

PROMJENE STANJA GASA

- Stišljivost zavisi, između ostalog, od karaktera termodinamičkog procesa pod kojim se vrši promjena stanja gasa (izobarni, izohorni, 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.

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

gdje je:

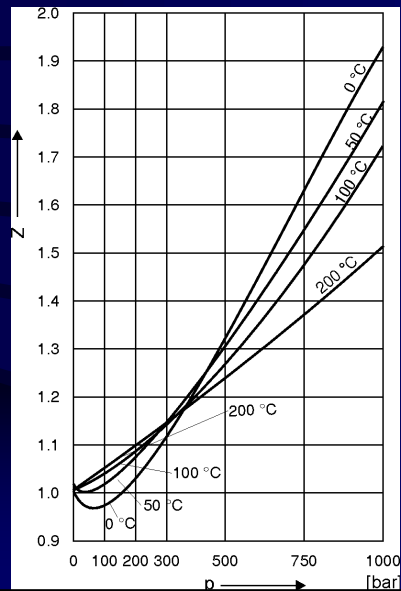
p - pritisak

V - zapremina

R - gasna konstanta

T - apsolutna temperatura

Promjene faktora kompresibilnosti (stišljivosti) Z u funkciji promjene pritiska



VLAŽNOST

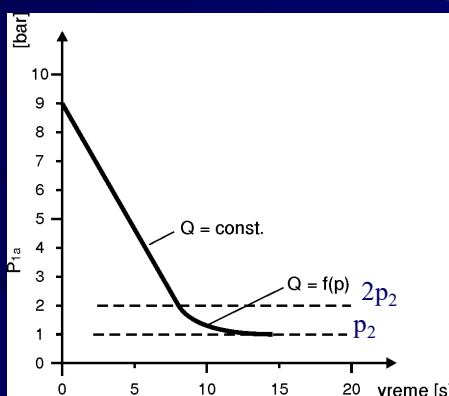
- Suv vazduh praktično ne postoji u normalnim uslovima okoline.
- Određena količina vode nalazi se u vazduhu u različitim formama
 - vlaga,
 - magla,
 - para
- ili se izdvaja iz vazduha u formi tečnih kondenzata (kapljice) ili u čvrstoj formi - led i inje.

BRZINA KRETANJA VAZDUHA

- Do protoka vazduha kroz cijevi dolazi zbog razlike pritisaka.
- Ako je pritisak jednak atmosferskom, do protoka može da dođe 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 .

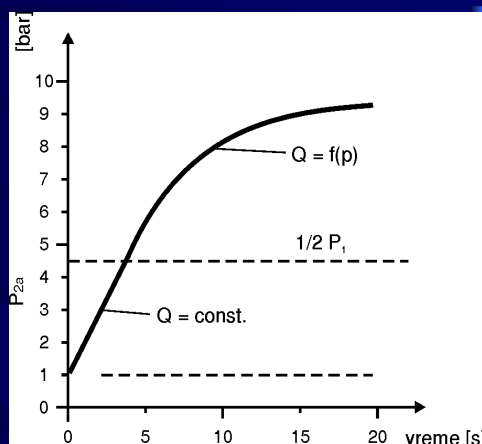
PRAĆENJE REZERVOARA

- 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

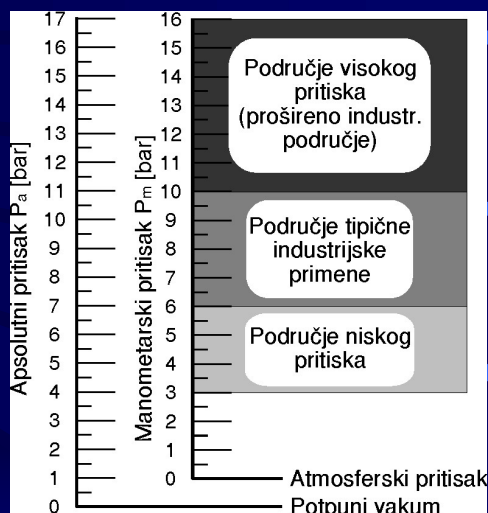
- Mjeri se kao zapremina slobodnog vazduha koji protekne u jedinici vremena.
- Po SI sistemu izražava se kao broj normalnih kubnih metara vazduha u sekundi.
- Međutim, već $1 \text{ (N)m}^3/\text{s}$ predstavlja ogroman protok, tako da ta jedinica nije primjerena pneumatskim sistemima.

PRITISAK VAZDUHA

- Vazduh u normalnim uslovima dejstvuje na okolinu proizvodeći pritisak.
- To je takozvani atmosferski pritisak koji se u starim jedinicama pritiska izražavao kao pritisak od jedne atmosfere (1at).
- Pritisak se po SI sistemu mjera izražava u Paskalima (Pa) - pritisak koji proizvodi jedan Njutn (N) po kvadratnom metru površine ($1\text{Pa} = 1\text{N}/\text{m}^2$).
- Za izražavanje pritiska fluida u tehnici je uvedena jedinica **bar** i približno odgovara staroj jedinici atmosferskog pritiska ($1\text{bar} \approx 1\text{at}$).
- Za mjerenje nižih pritisaka u tehnici se koristi hiljaditi dio bara - **milibar (mbar)**.

Područja pritiska

- Područja pritiska koji se koriste u sistemima distribucije vazduha pod pritiskom u uobičajenim uslovima primjene (industrija, skladišta, itd..) prikazana su na slici



MANOMETARSKI PRITISAK

- U pneumatici i uopšte u tehnici se najčešće govori o takozvanom nad pritisku ili manometarskom pritisku koji se označava sa p_m .
- Za računanje prema datim formulama potrebno je koristiti **apsolutne** vrijednosti pritiska.
- U tehnici se apsolutni pritisak često označava sa p_a kako bi se razlikovao od manometarskog.

MJERENJE VAKUUMA

- Za mjerenje 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 prosječna osoba može svojim dahom (intenzivnim duvanjem) da ostvari pritisak reda veličine 100 mbara.

PROMJENE STANJA VAZDUHA

- Kao što se vidi iz jednačine stanja gasa, promjenljive koje karakterišu bilo koju količinu vazduha su pritisak, zapremina i temperatura (p , V i T).
- Ako se jedna od ove tri promjenljive održava na konstantnoj vrijednosti, onda se može govoriti o različitim uslovima pri kojima se odvijaju promjene stanja vazduha:
 - konstantna temperatura: $pV = const. = RT$
 - konstantan pritisak: $V/T = const. = R/p$
 - konstantna zapremina: $p/T = const. = R/V$

OPŠTA JEDNAČINA STANJA GASA

- 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:

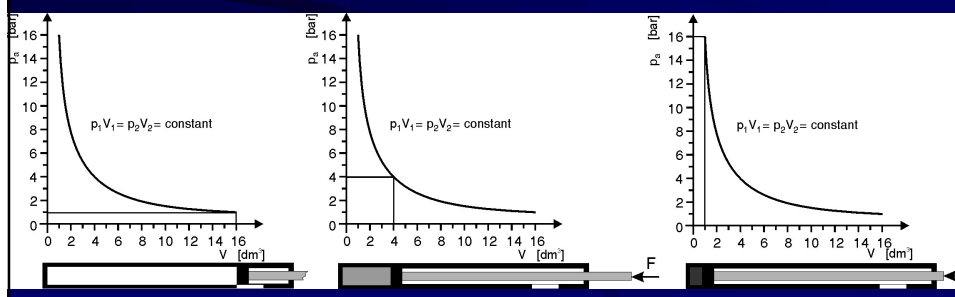
$$(p_1V_1) / T_1 = (p_2V_2) / T_2 = const.$$

Konstantna temperatura

Bojl - Mariotov zakon $pV = \text{const.} = RT$

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

Iz $(p_1V_1)/T_1 = (p_2V_2)/T_2 = \text{const.}$
za $T = \text{const}$ proizilazi $p_1V_1 = p_2V_2 = \text{const}$

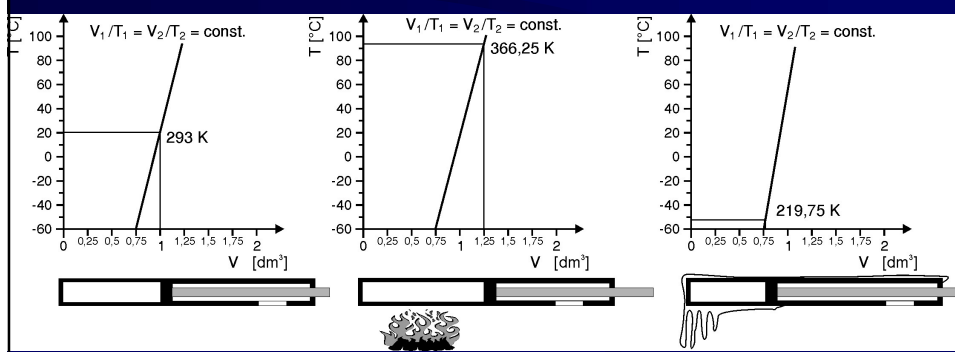


Konstantan pritisak

Gej - Lisakov zakon $V/T = \text{const.} = R/p$

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

Iz $(p_1V_1)/T_1 = (p_2V_2)/T_2 = \text{const.}$
za $p = \text{const}$ proizilazi $V_1/T_1 = V_2/T_2 = \text{const}$

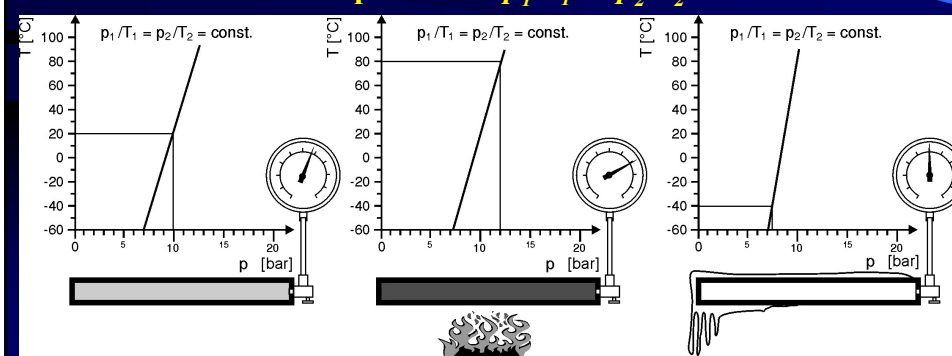


Konstantna zapremina

Šarlov zakon $p/T = \text{const.} = R/V$

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

Iz $(p_1V_1)/T_1 = (p_2V_2)/T_2 = \text{const.}$
za $V = \text{const}$ proizilazi $p_1/T_1 = p_2/T_2 = \text{const}$



KVALITET VAZDUHA POD PRITISKOM

- Kvalitet vazduha pod pritiskom za opštu upotrebu je po prvi put definisan standardom ISO 8573.1 iz 1991. godine.
- 2001. godine je ovaj standard preciziran sa ciljem da se obezbijedi strožija specifikacija kvaliteta vazduha pod pritiskom za kritične aplikacije; poslednja revizija se označava kao ISO 8573.1:2001.

PREPORUKE ZA KVALITET VAZDUHA POD PRITISKOM

- *Vazduh za fabrička postrojenja.* Ne smije da sadrži kondenzovanu vodu i ulje, a ako drukčije nije precizirano čvrste čestice u opštem slučaju treba da su manje od 40 μm , a za osjetljive uređaje manje od 10 μm .

PREPORUKE ZA KVALITET VAZDUHA POD PRITISKOM

- *Vazduh za instrumente.* Ne smije 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 (parts-per million, 10^{-6}) kondenzovanih čestica mjereno zapreminski, a čvrste čestice manje od jednog mikrona. Američko društvo za instrumente (Instrument Society of America) ima svoj ISA S7.3 standard kojim je ovaj kvalitet normiran.

PREPORUKE ZA KVALITET VAZDUHA POD PRITISKOM

- **Mikroelektronska industrija.** U ovoj grani se primjenjuje standard CDA 100 za kvalitet vazduha koji dolazi u kontakt sa elektronskim komponentama za čišćenje ili apsorpciju vlage. Prije ovog standarda, u te svrhe se koristio azot. Upravo radi zamjene azota sa vazduhom uveden je ovaj standard. Ne sme da bude kapljica vode u vazduhu, tačka rošenja pod pritiskom mora biti manja ili najviše jednaka sa $-61,1^{\circ}\text{C}$ a ugljovodonici moraju biti ograničeni tako da ih nema u kondenzovanom obliku. čvrste čestice ne smeju biti na mestu upotrebe veće od $0,1\ \mu\text{m}$.

PREPORUKE ZA KVALITET VAZDUHA POD PRITISKOM

- **Procesiranje hrane.** Ako se vazduh pod pritiskom koristi za neki od procesa prerade hrane gde je u direktnom dodiru sa hranom, mogu se primeniti H1F i H1 FDA norme koje propisuje Američka uprava za hranu i lekove (Food and Drug Administration - FDA). Standard se odnosi na ulja za podmazivanje kompresora koja mogu slučajno da dospeju u vazduh pod pritiskom. Standard propisuje da mora da bude manje od 1ppm ulja na milion delova hrane.

PREPORUKE ZA KVALITET VAZDUHA POD PRITISKOM

- *Industrija piva.* Za mnoge procesne industrije važe posebni zahtjevi za kvalitet vazduha. U pivarskoj industriji se zabranjuje prisustvo ugljovodonika ili ulja u bilo kakvom stanju u vazduhu pod pritiskom koji dolazi u kontakt sa slalom i pivom u bilo kojoj fazi proizvodnje.

PREPORUKE ZA KVALITET VAZDUHA POD PRITISKOM

- *Sterilni vazduh.* Ne smije 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 μm , a čvrste čestice na mjestu upotrebe na manje od 0,1 μm . Krajnji ulošci filtera moraju biti očišćeni na mjestu upotrebe sa procesnom parom u regularnim intervalima. To zahtijeva dva filtera postavljena u paralelnoj vezi, tako da dok se jedan čisti drugi je u upotrebi. Za sada još ne postoje važeći standardi za ovu vrstu vazduha.

PREPORUKE ZA KVALITET VAZDUHA POD PRITISKOM

- *Vazduh za disanje.* Ne smije da bude kapljica vode u vazduhu, tačka rošenja pod pritiskom mora biti veća ili najmanje jednaka $5,5^{\circ}\text{C}$, 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 (parts per million, 10^{-6}).

Standardi za ugljen monoksid treba da se kombinuju kako bi uključili i ostale potencijalne gasove kao što su vodonik sulfid, azotni oksid i druge nusprodukte procesa uključujući i neke čvrste čestice (na primjer pamučna prašina) koji mogu biti prisutni u atmosferskom vazduhu na ulazu u sistem.

Čvrste čestice na mjestu upotrebe moraju biti manje od jednog μm .

Toliko o vazduhu

Hvala na pažnji!