

## ČIŠĆENJE PLINA

1

## STUPANJ ČIŠĆENJA ZRAKA

$m_{\dot{c}}$  - maseni protok  
čestica

$$\eta = \frac{m_{\dot{c}}}{m_n}$$

$m_n$  - maseni protok  
čestica u nečistom  
zraku

• Efikasnost uređaja:

$$\eta_e = \frac{0,102}{\Delta p} \ln \frac{1}{1-\eta}$$

2

Iz plina (zraka) se kruta ili  
kapljevita čestica može izdvojiti

Taloženjem  
uslijed sile teže

Taloženjem  
uslijed sile  
inercije

Filtracijom

Pranjem zraka

Čišćenjem zraka  
pomoću  
ultrazvuka

Električnim čišćenjem  
zraka ili plina

3

## GRAVITACIONO ČIŠĆENJE ZRAKA

- **TALOŽENJE ČESTICA SILOM TEŽE**
- U KOMORI SE BRZINA STRUJANJA SMANJUJE
- KRUTE ČESTICE TALOŽE NA DNU KOMORE POD DJELOVANJEM SILE TEŽE
- **ZA IZDVAJANJE ČESTICA DIMENZIJA  $> 100 \times 10^{-6} \text{m}$**
- za taloženje čestica  $< 100 \times 10^{-6} \text{m}$  potrebne su suviše duge taložne komore
- **GRAVITACIONI TALOŽNIK - DUGAČKA PLITKA PRAVOKUTNA KOMORA**
- S PREDNJE STRANE ZRAK ULAZI, A IZLAZI SA STRAŽNJE STRANE
- 3 m/s

4

- Minimalni je promjer čestica koje se u potpunosti izdvajaju taložnikom:

$$d_{\min} = \sqrt{\frac{18L v_z z}{L(\rho_k - \rho)g}} = \sqrt{\frac{18V' \mu}{yL(\rho_k - \rho)g}}$$

L i y duljina i širina taložnika

- brzina taloženja čestica iz zraka - Stokesova jednačnja:

$$v_o = \frac{d^2(\rho_k - \rho)g}{18\mu}$$

- duljina puta (ili duljina taložne komore) na kome se čestica unijeta u taložnu komoru na vrhu taložnika taloži:

$$L = \frac{v_z z}{v}$$

$v_z$  - brzina strujanja zraka,  $v$  - brzina taloženja čestica,  $z$  - razmak između ploča

5

$v_z$  - brzina strujanja zraka je jednaka omjeru obujamskog protoka  $V'$  zraka i površine poprečnog presjeka  $A$  taložnika

- duljina taložne komore za uklanjanje čestica  $d$  iz zraka:

$$L = \frac{18zV' \mu}{d^2(\rho_k - \rho)Ag}$$

$z$  - razmak između ploča

- čestice malih dimenzija (manje od  $100 \times 10^{-6} \text{m}$ )

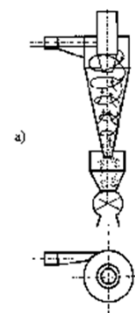
6

## Čišćenje zraka silom inercije

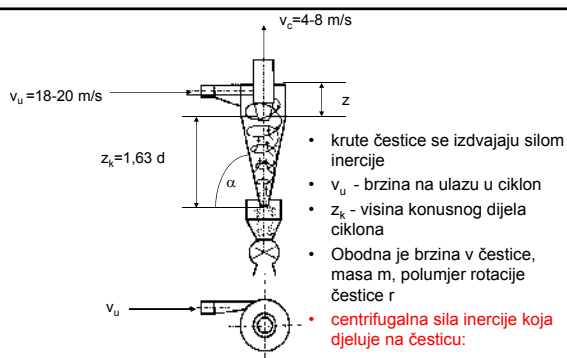
- zasniva se na nastrujavanju nečistog zraka na krutu prepreku
- zrak optiče krutu prepreku a krute čestice iz zraka teže, da se istalože na površini krute prepreke
- izdvajaju se čestice  $> 25 \times 10^{-6}$  m
- najviše se koriste **cikloni**

7

## cikloni



8



- krute čestice se izdvajaju silom inercije
- $v_u$  - brzina na ulazu u ciklon
- $z_k$  - visina konusnog dijela ciklona
- Obodna je brzina  $v$  čestice, masa  $m$ , polumjer rotacije čestice  $r$
- **centrifugalna sila inercije koja djeluje na česticu:**

$$F = \frac{mv^2}{r}$$

9

- sila  $F$  proporcionalna je sili  $F_t$  trenja koja je u području valjanosti Stokesove jednadžbe:

$$F_t = \pi d \mu v_r \quad m = \frac{\pi d^3}{6} \rho_k$$

- **rezultantna brzina gibanja čestice u radijalnom smjeru:**

$$v_r = \frac{d^2 \rho_k v_u}{18 \mu r}$$

- smanjenjem polumjera  $r$  rotacije povećava se radijalna brzina  $v_r$  gibanja krute čestice
- smanjenjem polumjera  $r$  ciklona povećava se pad tlaka u ciklonu
- kod većeg protoka zraka preporuča se uporaba više ciklona - baterija

10

- pretpostavlja se da je obodna brzina  $v$  zraka u ciklonu jednaka brzini zraka na ulazu u ciklon i da je širina  $y_z$  spirale zraka u ciklonu jednaka širini prostora između unutarnjeg promjera  $r$  ciklona i vanjskog promjera  $r_1$  odvodne cijevi. Ako zrak u ciklonu izvrši  $n$  okretaja, duljine  $L_z$  puta zraka u ciklonu je  $2\pi r n$

- **vrijeme taloženja čestica koja se nalazi na unutarnjoj strani spirale :**  $t = \frac{y_z}{v_r} = \frac{L_z}{v} = \frac{2\pi r n}{v}$

- brzina  $v_r$  se može prikazati u obliku funkcije obodne brzine  $v$

- **minimalni promjer čestice koja se može izdvojiti iz zraka:**

$$d_{\min} = \sqrt{\frac{9 \mu y_z}{\pi n v \rho_k}}$$

11

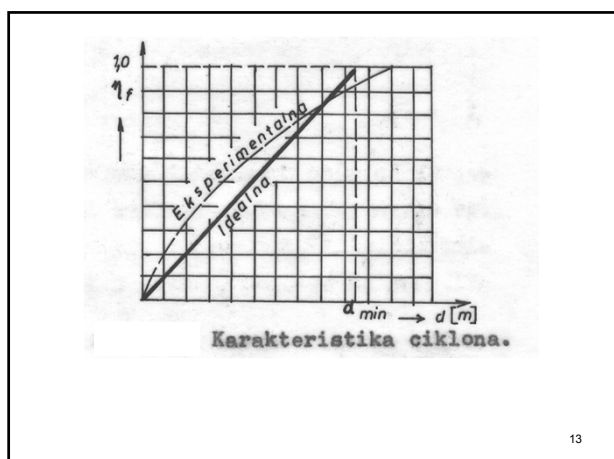
- dobije se približni rezultat jer treba znati  $n$  broj okretaja koji izvrši plin u ciklonu
- čestice  $d < d_{\min}$  koje se nalaze uz stijenku ciklona na udaljenosti  $x < y_z$  izdvajaju se samo djelomično ovisno od udaljenosti od stijenke

- **ravnomjerna raspodjela čestica u zračnoj spirali omjer  $x/y_z$  je  $\eta_f$  frakcioni stupanj ciklona:**

$$\eta_f = \frac{x}{y_z} = \left( \frac{d}{d_{\min}} \right)^2$$

- kad je  $d > d_{\min}$  čestice se potpuno izdvajaju  $\eta_f = 1$ , a kod  $d < d_{\min}$  sa smanjenjem promjera čestica smanjuje se i  $\eta_f$

12



13

## dimenzioniranje ciklona

- određuje se srednja obodna brzina zraka u ciklonu  $v$  i brzina zraka u odvodnoj cijevi  $v_c$
- srednja obodna brzina zraka u ciklonu  $v = 12-14$  m/s
- brzina zraka u odvodnoj cijevi  $v_c = 4-8$  m/s
- u ulaznoj priključku  $v_u = 18 - 20$  m/s
- širina struje zraka  $y_z = r - r_1$
- $r$  = unutarnji polumjer cilindričnog dijela ciklona,  $r_1$  = vanjski polumjer odvodne cijevi

14

- Vrijeme taloženja čestice u ciklonu:

$$t = \frac{r - r_1}{v_r} = \frac{2\pi n}{v}$$

- Unutarnji polumjer cilindričnog dijela ciklona:

$$r = \frac{r_1}{1 - \pi n \frac{v_r}{v}}$$

- zrak u ciklonu izvrši 0,5 okreta, pa je  $2\pi n$  oko 10, a unutarnji polumjer  $r$  cilindričnog dijela ciklona :

$$r = \frac{r_1}{1 - 10 \frac{v_r}{v}}$$

- obujamski protok zraka  $V'$  kroz odvodnu cijev:

$$V' = \pi r_c^2 v_c$$

15

- unutarnji polumjer odvodne cijevi :  $r_c = \sqrt{\frac{V'}{\pi v_c}}$
- vanjski polumjer odvodne cijevi  $r_1$  kod debljine cijevi  $\delta$ :

$$r_1 = r_c + \delta$$

- smanjenjem promjera cijevi za odvod očišćenog zraka povećava se stupanj očišćenja zraka ali se povećava  $\Delta p$
- visina cilindričnog dijela ciklona:  $z = \frac{V'}{(r - r_1)v}$
- visina konusnog dijela ciklona može se računski odrediti i obično iznosi 1,6 -3 promjera  $d$  ciklona

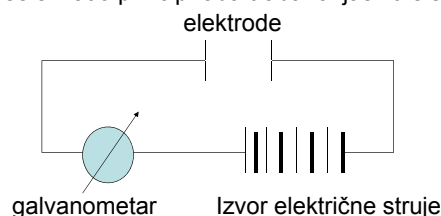
16

- kut pri vrhu konusa se uzima između **30-40°**
- promjer otvora za krute čestice u konusu ciklona izno **0,2 do 0,25 m**
- pretpostavljamo da je obodna brzina  $v$  zraka u ciklonu stalna
- cikloni su efikasni za čišćenje zraka od čestica u zraku do minimalnog promjera  **$10^{-6}$ m**
- pri aglomeriranju čestica ili koncentraciji većoj od  **$0,23$  kg/m<sup>3</sup>** u ciklonu se izdvajaju čestice i znatno manjih dimenzija do  **$10^{-6}$  m**
- kod jednakog  $\Delta p$  stupanj očišćenja zraka veći je u ciklonu manje  $d$  nego u onom većeg  $d$

17

## električno čišćenje zraka

da bi se shvatio princip rada treba razjasniti električni krug:



dvije paralelne metalne ploče-elektrode

18

- elektrode su odijeljene slojem zraka - zračni kondenzator
- u strujnom krugu ne teče struja, jer zrak kao i drugi plinovi ne provodi struju
- ako između ploča postoji dovoljno velika razlika potencijala, galvanometar će pokazivati prolaz struje uslijed ionizacije zraka između ploča
- razlikujemo samostalnu i nesamostalnu ionizaciju
- nesamostalna nastaje uslijed nekih ionizatora (npr. zraka, radioaktivne tvari, röntgenskih zraka i dr.)

19

- samostalna nastaje uslijed povišenja napona u električnom krugu do visine iznad kritičnog napona, koji je različit za razne plinove
- ako se povećava razlika potencijala na pločama nastaje proboj zračnog sloja, pri čemu struja naglo raste dok se ne dostigne kritična veličina
- među pločama izbija iskra - samostalno plinsko izbijanje

20

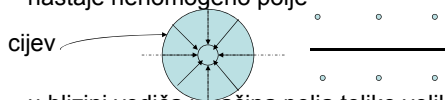
- uslijed djelovanja priključenog napona nastaje cijepanje molekula na pozitivno nabijene ione i negativno nabijene elektrone
- čestice se počinju gibati pod utjecajem električnog polja prema suprotno nabijenoj elektrodi brzina gibanja raste s povećanjem napona na električnog polja
- pređe li brzina iona i elektrona kritičnu brzinu nastaje izboj putem iskre
- uz ionizaciju nastaje i snažno gibanje zraka - električni vjetar i molekule zraka dobivaju impuls od iona koji se gibaju u određenom smjeru

21

- sloj zraka između elektroda može biti samo djelomično probijen
- dio služi kao izolacija i sprečava da dođe do kratkog spoja među elektrodama
- plinski međusloj se može praktički ostvariti izborom odgovarajućeg oblika elektroda i udaljenošću između elektroda, koje odgovaraju priključenom naponu
- elektrode postavljene paralelno nisu prikladne za ovaj slučaj, jer je u bilo kojoj točki polja napon svugdje jednak

22

- kada razlika potencijala između ravnih elektroda postane velika, da dosegne veličinu probojnog napona, nastaje proboj cijeloga sloja zraka među elektrodama uslijed homogenog polja, dolazi do izbijanja u obliku iskre
- pri tome ne nastaje ionizacija zraka
- Elektrode u obliku koncentričnog cilindra (vodiča i cijevi taložna elektroda) ili cilindra i ravne ploče nastaje nehomogeno polje



- u blizini vodiča je jačina polja toliko velika da ioni i elektroni ioniziraju neutralne molekule - ionizacija sudarom

23

## Mikrobiološka filtracija zraka

- Sterilizacija toplinom –skupa
- Sterilizacija filtracijom - uklanjaju se mehaničke nečistoće, plijesni, kvasci, bakterije i njihove spore
- Filtracijske pregrade: vata, staklena vuna, ploče iz celuloze s vlaknima od azbesta i dijatomejske zemlje, ploče od plastične mase, rjeđe iz keramike
- Potrebno je osigurati dovoljnu debljinu
- Vata nepouzdana

24

- ploče iz celuloze s vlaknima od azbesta i dijatomejske zemlje - pore su im manje od promjera mikroorganizama i njihovih spora
- Sterilizacija parom tlaka  $1,5 \times 10^5$  Pa- nesmije biti prezasićena
- Sterilizacija pregrijanom parom temperature koja je znatno veća od temperature suhozasićene pare- jer je efekt sterilizacije suhozasićenom parom znatno veći nego efekt sterilizacije pregrijanom parom iste temperature
- Ako se zrak ubacuje u prostoriju filterska pregrada se snabdjeva baktericidnom kapljevinom kroz koju prolazi zrak
- Pregrada se treba kontrolirati i zamjenjivati nakon što se onečisti

25

## Pranje zraka

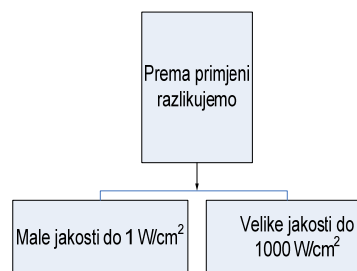
- Hlađenjem zraka ispod temperature kondenzacije pare u zraku, odstranjuju se i najmanje krute čestice-one su jezgre ukapljivanja
- Zrak se pere:uvođenjem zraka u sloj vode; raspršivanjem vode u zrak ili propuštanjem vode u zrak ili propuštanjem zraka kroz kolonu s umecima
- Radi smanjenja troškova voda se uvodi u taložnik gdje se odstranjuju krute čestice

26

## Čišćenje zraka ultrazvukom

- **Ultrazvuk** je titranje materijalnih čestica frekvencija viših od 20 kHz koje se valno šire kroz tvar
- Ultrazvuk se ne unosi u predmet nego se u njemu stvara
- **Pretvornik** je sklop koji se koristi za pretvaranje nekog oblika energije u ultrazvuk
- Stvara se : piezoelektrični, magnetski, elektrostatički i elektrodinamički, te mehničkom i toplinskom pobudom

27



28

## Ultrazvuk male jakosti

- Znanost, tehnika, medicina
- Nije razoran za materijal
- Visoka osjetljivost za otkrivanje pogrešaka, utvrđivanje oblika i izmjeru predmeta
- Za prećenje procesa, mjerenje protoka u cjevovodima

29

## Ultrazvuk velike jakosti

- Čišćenje i zavarivanje, pri emulgiranju, filtracija, kristalizacija i sl.
- Medicinska terapija
- **Čišćenje zraka** - izaziva se međusobni sudar čestica prašine ili kapljica kapljevine pri čemu nastaju aglomerati koji se lakše uklanjaju uobičajenim metodama čišćenja zraka

30

## Djelovanje ultrazvuka:

- Titranje sola zajedno sa zrakom, hidrodinamičkim silama privlačenja i sudaranja i tlakom zvučnih valova
- Zvučni valovi imaju frekvenciju (učestalost)  $f$  i amplitudu  $a_v$ , krute ili kapljevite čestice promjera  $d$  titraju amplitudom  $a_č$ :

$$\frac{a_č}{a_v} = \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{\pi \rho_k d^2 f}{9\mu}\right)^2\right]^{0,5}}$$

31

$\mu$ -dinamička viskoznost zraka, Pas  
 $\rho_k$ -gustoća krutih čestica ili kapi,  $\text{kg/m}^3$

- Krupnije čestice se sudaraju sa sitnijim pri čemu nastaju aglomerati
- Dinamički efekt aglomeracije nastaje zbog smanjenja tlaka pri strujanju zraka velikom brzinom između čestica koje su na malom razmaku
- Djelovanjem ultrazvuka zrak se giba mnogo brže od krutih čestica što izaziva približavajući efekt u smjeru okomitom na smjer gibanja zvučnih valova

32

- Sila tlaka kojom djeluju zvučni valovi na čestice oblika kugle:

$$F_z = \frac{5\pi}{2} \frac{V_č E_z}{\lambda}$$

- $\lambda$ -duljina valova
- $V_č$ -obujam čestice oblika kugle
- $E_z$ -gustoća energije zraka,  $\text{J/m}^3$
- Sila tlaka zraka uzrokuje gibanje čestica u odgovarajućem dijelu stojnog vala, što uvjetuje stvaranje aglomerata

33

PREBLED UPOTREBE UREĐAJA ZA ČIŠĆENJE ZRAKA

Uređaj	Maksimalna koncentracija krutih čestica $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right]$	Maksimalni promjer čestica $\mu\text{m}$	Stupanj očišćenosti zraka $\eta$	Pad tlaka $\Delta p \left[\frac{\text{N}}{\text{m}^2}\right]$
Gravitacioni taložnici	-	100	0,3 do 0,4	-
Inercioni taložnik	0,02	25	0,6	500
Ciklon	0,4	10	0,7 do 0,95	400 do 700
Multiciklon	0,1	10	0,85 do 0,90	500 do 800
Ekvivalentni filter	0,02	1	0,98 do 0,99	500 do 2500
Centrifugalni skrubler	0,05	2	0,85 do 0,95	400 do 800
Pranje s pjenušom	0,3	0,5	0,95 do 0,99	300 do 900
Električno čišćenje	0,05	0,005	< 0,99	100 do 200

34