

# Delavno okolje-aerosoli PRAH

## PRAVILNIK

### o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti kemičnim snovem pri delu

#### 4. člen

(mejne vrednosti za poklicno izpostavljenost in biološke mejne vrednosti)

(2) Poleg zavezujočih mejnih vrednosti iz priloge I tega pravilnika je splošna mejna vrednost za prah 6 mg/m<sup>3</sup> (alveolarna frakcija), v primeru, da prah nima mutagenih, rakotvornih, teratogenih, fibrogenih, strupenih ali alergičnih učinkov. V primeru, da ima prah katerokoli od naštetih lastnosti, je potrebno za prah upoštevati mejno vrednost posamezne nevarne snovi iz priloge I tega pravilnika.

#### OKOLJE:

- Delavno : do nedavnega bolj raziskano, ukrepi se nanašajo na populacijo zdravih odraslih ljudi, dopustne meje so večje kot za zunanje okolje.
- Zunanje: sem spada tudi bolj občutljiva populacija (otroci, ostareli bolniki,...).

Škodljivi vplivi se prenašajo iz delavnega okolja v okolico (in obratno). Z razvojem industrije je meja vedno bolj zabrisana. Prah je tipičen primer povezanosti delavnega in zunanjega okolja.

#### DELAVNO OKOLJE:

- Fizikalni dejavniki (toplotne razmere, hrup, vibracije, razsvetljava, sevanje)
- Kemijski dejavniki (hlapi, plini, nevarne, škodljive snovi, aerosoli-prah)
- Biogeni dejavniki (mikroorganizmi, favna, flora)

#### VARSTVO PRI DELU:

- Pravni ukrepi
- Zdravstveni ukrepi
- Izobraževanje
- Socialno varstvo
- Tehnični ukrepi (varstvo pred mehanskimi poškodbami, pred dotikom el. Napetosti, pred eksplozijami, požarno varstvo, varno delo z nevarnimi snovmi, varen transport, osebna varovalna sredstva, delavno okolje)

#### ŠKODLJIVE SNOVI

TRDNE	TEKOČE	»LEPBDEČE« V ZRAKU		
AEROSOLI		PLINASTE SNOVI		
TRDNI	TEKOČI			
PRAH	DIM	MEGLA	PLINI	PARE

PRAH nastaja in se širi zaradi proizvodnje na prostem (transport, kamnolomi,...) in v delavnih prostorih (brušenje,varjenje,...). Deluje najprej na delavca, kasneje pa tudi na rastlinstvo, živalstvo, vodo in ozračje. Izbira varovalnih ukrepov je podobna v delavnem in zunanjem okolju (izbira primernih tehnologij, ustrezne tehnične metode odstranjevanja prahu).

DISPERZNI SISTEM je sestavljen iz zmesi različnih snovi, različnih faz. Lastnosti sistema so odvisne predvsem od lastnosti komponent, ki v njem prevladujejo (dispergirno sredstvo). Potreben je specifičen pristop k vsakemu sistemu.

Glede velikosti delcev delimo disperzni sistem na:

- grobo disperzni sistem ( $> 100$  mikrometrov)
- fino disperzni sistem ( $> 1$  mikrometer)
- koloidno disperzni sistem ( $>$  nekaj 10 nanometrov)
- molekularno disperzni sistem (nekaj desetink nanometra=A)

Poznamo naravne in umetne disperzne sisteme. Naravni nastajajo v naravi (peščeni vihar, snežni vihar, oblaki, megla, virusi, bakterije,...), umetni pa so posledica človekovega delovanja (jih je manj, so nehomogeni, običajna velika lokalna koncentracija, pogosto so polutanti)

Zmes plinov in par v zraku je homogen sistem in zato jo je iz zraka težje odstraniti. V zraku razpršeni delci so »tujek« v plinasti fazi. Predstavljajo nehomogen sistem, ki časovno ni stabilen (usedanje), vpliva na dihalni sistem,... Zato je ločeno obravnavanje med tema sistemoma nujno.

PRAH: v pogovornem jeziku je to vsaka disperzna mešanica trdne in plinske faze. Slabo deluje na stroje (trenje, obraba), moti proizvodni proces, moti ljudi in jim škoduje (dušljiv, strupen, alergogen, rakotvorni, mutagen, eksploziven, pospešuje gorenje,...). Producirajo ga številni industrijski in drugi procesi. Vrsta prahu je pogosto povezana s točno določeno industrijsko panogo (poklicne bolezni). Najve pozornosti posvečamo delcem, ki jih inhaliramo v respiratorni trak in manj toksičnim delcem ki se absorbirajo skozi kožo, ter velikim zrnatim delcem, ki povzročajo neugodje (oči, koža).

**PREGLED:** *Prah je disperzni sistem trdne faze v plinski fazi. Nastane pri mehanskem obdelovanju trdnih materialov (rezanje, brušenje, drobljenje,...) Velik je od  $1\mu\text{m}$  -  $100\mu\text{m}$  ali več. Redko je manjši od  $0,5\mu\text{m}$ . Delci ohranijo lastnosti in strukturo prvotne snovi (les, moka,...). Pomembne lastnosti so velikost, oblika, površina delcev, ter gostota. Od teh lastnosti je odvisna stabilnost sistema, vpliv na človeka,... Celotna površina se v primerjavi s površino prvotnega kosa izredno poveča. Zaradi velike površine je prah praviloma bolj škodljiv, vnetljiv, nevaren za eksplozijo in samovžig, čim drobnejši je. Naloga delodajalca je, razpozna naravo in velikost tveganja, oceni nivo izpostavljenosti delavca, opazuje standarde, izvede kontrolne meritve, predpiše varnostne ukrepe (odpraševanja, zaščitna sredstva).*

*K prahu prištevamo tudi dim iz termičnih ali kemičnih procesov. Dim pomeni disperzno porazdelitev snovi v zraku.*

## ZMES PRAHU IN ZRAKA

Zrak je mešanica plinov, brez barve, vonja in okusa. Gostota znaša  $1,29\text{ kg/m}^3$  (pri  $T=293\text{K}$  in  $P=1,01 \times 10^5\text{ Pa}$ )

### KINETIČNA TEORIJA PLINOV

Plin se obravnava kot sistem biljardnih krogel. Molekule so majhne, toge kroglice, z zanemarljivim volumnom. Gibljejo se naključno in izvajajo elastične trke (energija se med trkom ne izgublja). Delci se med seboj ne privlačijo oz. odbijajo temveč se zadevajo. Med trkom kinetična energija ostaja konstantna, spreminja se samo smer in hitrost.

z...frekvenca trkov (povprečno število trkov na časovno enoto)

$\lambda$ ...srednja prosta pot molekul (povprečna razdalja ki jo molekula prepotuje med dvema trkoma).

Molekule trkajo ob stene. Trki so tako pogosti, da jih stena čuti kot konstantno silo (stalen tlak).

Povprečno se pol delcev giblje v eno, pol pa v drugo smer

Celotna sprememba gibalne količine=število trkov

Hitrost spreminjanja gibalne količine =sila

Delci se gibljejo naključno (vse smeri so si enakovredne)

Porazdelitev hitrosti je podana z MAXWELL-BOLTZMANN-ovo statistično distribucijo. Verjetnost da ima molekula hitrost v območju  $v+dv$  in  $v-dv$  je vsota verjetnosti, da hitrost leži kjerkoli v območju med  $v_x \pm dv_x$ ,  $v_y \pm dv_y$  in  $v_z \pm dv_z$  oz. v sferični lupini.

Porazdelitev hitrosti je odvisna od temperature.

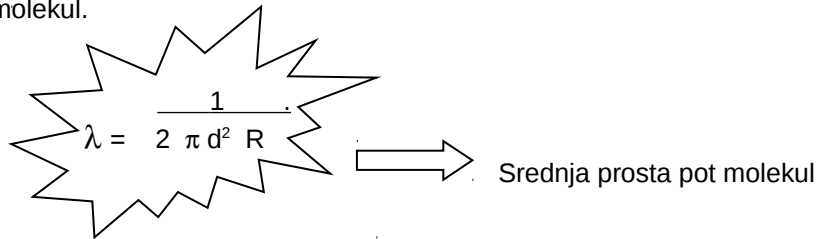
Najbolj verjetno hitrost lahko izračunamo kot maximum funkcije.

### SREDNJA PROSTA POT MOLEKUL ... $\lambda$

Je povprečna razdalja, ki jo molekula prepotuje med dvema trkoma. Potrebno je poznati frekvenco (pogostost) trkov.

Molekula zadane vse molekule znotraj »cevi« s polmerom, trki se torej dogajajo v volumnu »cevi« in so mogoči samo z molekulami, ki imajo center znotraj »cevi«.

Vse molekule se gibljejo, zato moramo upoštevati povprečno relativno hitrost med različnimi tipi molekul.


$$\lambda = \frac{1}{2 \pi d^2 R}$$

Srednja prosta pot molekul

Pri konstantnem volumnu je srednja prosta pot molekul neodvisna od temperature. Določena je s številom prisotnih molekul in ne s hitrostjo.

Je pomembna za aerodinamične lastnosti delcev v aerosolih, kjer je premer delca primerljiv s srednjo prosto potjo molekul zraka.

#### POVZETEK:

- *Hitrost plinskih molekul:*

*koren srednjega kvadrata hitrosti*

*povprečna hitrost*

- *Srednja prosta pot molekul:*

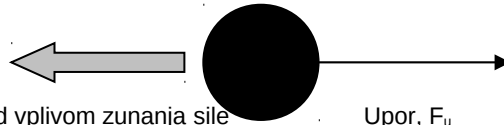
- *Difuzija: prenos snovi zaradi koncentracijskega gradienta (v naravi se stalno dogaja). Tok določa gradient. Tok je pozitiven, če je gradient negativen.*

- *Viskoznost (  $\eta$  ): je sila s katero hitrejša plasti plina pospešujejo počasnejše in počasnejše zavirajo hitrejša (zaradi izmenjave molekul med različno hitrimi plastmi, ki jo povzroča termično gibanje).*

Za oceno razmer in uvedbo potrebnih ukrepov je potrebno poznati: transport delcev, odlaganje delcev (v prezračevalnikih, na površinah,...), inhalacijo, odlaganje v človeškem dihalnem traku, vzorčevanje (določanje koncentracije) in odstranjevanje (odpraševanje).

## GIBANJE (TRANSPORT) DELCEV

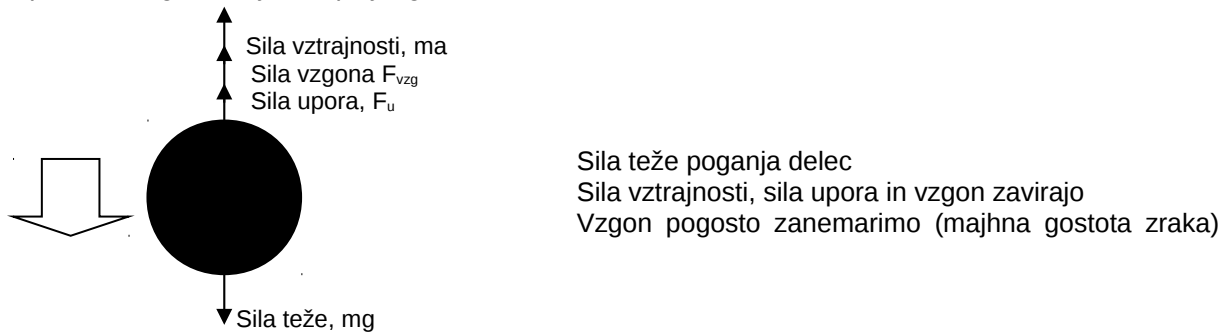
Gibanje delcev v fluidu sestavljata sila, ki »potiska« delce in upor sredstva.



Za stabilnost zmesi prahu in zraka je hitrost gibanja delca bistvenega pomena. Od nje je odvisno, kako hitro se prah izloča iz zraka (zunanje sile, ki delujejo na delec):

- delec v gravitacijskem polju
- delec v polju centrifugalne sile
- delec v električnem polju
- delec v polju temperaturnega gradienta.

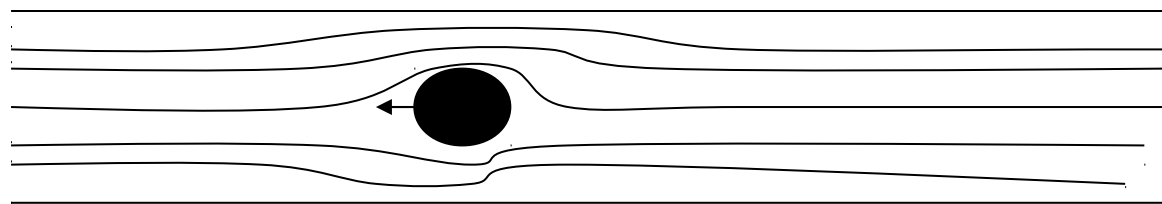
Npr. delec v gravitacijskem polju: gibati se začne zaradi sile teže



Sila upora je odvisna od viskoznosti in gostote sredstva, velikosti ter relativne hitrosti delca nasproti sredstvu, ki ga obdaja. Pri različnih pogojih so upori različni

### LAMINARNO GIBANJE (majhen delec, majhna hitrost)

V sredstvu ni vrtilcev, ob površini gibajočega telesa je hitrost sredstva enaka hitrosti telesa ( $v$ ). daleč od delca fluid ni več moten ( $v=0$ ).



Za gibanje okroglega telesa s polmerom  $r$  v sredstvu z viskoznostjo  $\eta$  velja **Stokes-ov zakon** (sila s katero se delec upira je odvisna od velikosti, hitrosti in viskoznosti).

$$F_{uv} = 6 \pi r \eta v$$

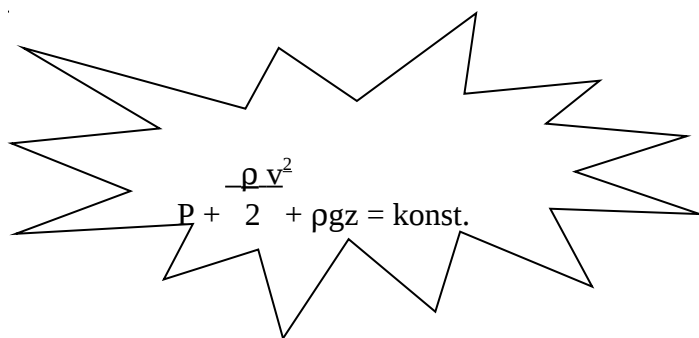
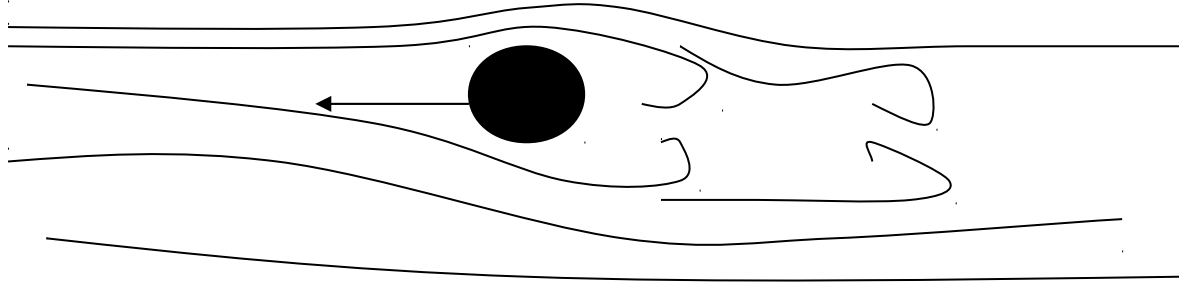
$F_{uv}$ ...viskozni (laminarni) upor sredstva

Zakon velja, če se delec giblje in tekočina miruje, ali če delec miruje in se tekočina giblje.

## TURBULENTNO GIBANJE

Ob gibajočem se telesu nastanejo vrtinici. Zaradi vrtenjenja sredstvo pridobiva kinetično energijo (na račun kinetične energije telesa).

Dinamični upor- prenos kinetične energije telesa na okoliško sredstvo je razlog za upočasnitev gibajočega se telesa.



Bernoullijeva enačba

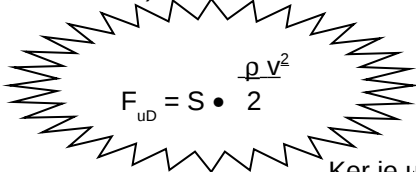
Vsota tlaka, gostote kinetične energije in gostote potencialne energije je pri stacionarnem gibanju idealne nestisljive tekočine konstantna.

Enačbo uporabimo za gibanje delca v mirujočem sredstvu ali pa za gibanje sredstva okoli mirujočega telesa.

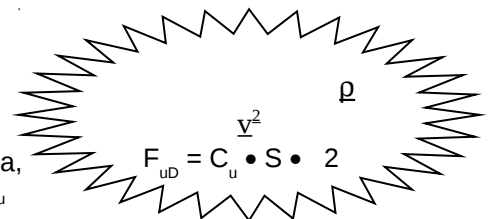
Dinamični tlak- tlak za katerega se poveča prvotni tlak ob telesu ko tekočina naleti na delec in kasneje mimo teče neovirano.

$$\Delta p = \frac{\rho v^2}{2}$$

Če se telo giblje v mirujočem sredstvu, mora premagovati nekakšen upor (dinamični turbulentni upor sredstva)



Ker je upor sredstva odvisen od oblike delca, Enačbo korigiramo s koeficientom upora  $C_u$



$C_u$  vrednosti ugotavljamo empirično (zračni kanal). Pomembna je oblika telesa (čim močnejši so vrtinici, ki nastajajo na zadnji strani telesa, večji je  $C_u$ ).

## KDAJ JE GIBANJE LAMINARNO IN KDAJ TURBULENTNO

To nam pove Reynoldsovo število (Re)

$\rho$ ...gostota sredstva (zrak)

$\eta$ ...viskoznost sredstva

$d$ ...premer delca (karakteristična dimenzija)

$v$ ...hitrost delca

$$Re = \frac{\rho v d}{\eta}$$

Re < 2300 – gibanje je laminarno  
 Re > 2300 – gibanje je turbulentno

Vmesno (Allenovo) področje

$$1 < Re < 1000$$

Zračni upor je vsota prispevkov dinamičnega (turbulentnega) in viskoznega (laminarnega) upora.

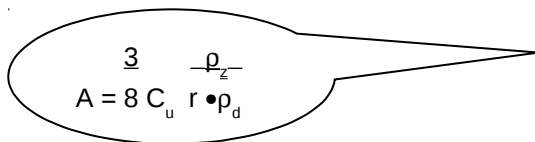
DELEC V GRAVITACIJSKEM POLJU

d ≤ 40 μm – laminarno gibanje (upor)

d > 1 mm – turbulentno gibanje

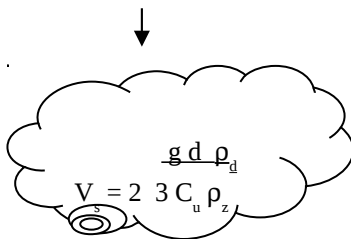
Sila teže »poganja delec«. Sila vutrajnosti, sila upora in vzgon pa gibanje zavirajo (vzgon ponavadi zaradi majhne gostote zraka zanemarimo).

a) Turbulentno gibanje:



$$A = 8 C_u r d^2 \frac{\rho_z}{\rho_d}$$

Cu...koeficient upora  
 ρz...gostota zraka  
 ρd...gostota delca  
 A...konstanta

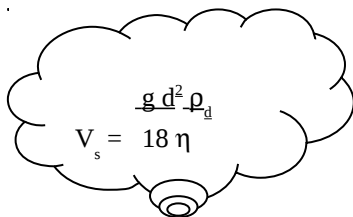


$$V_s = \frac{2}{3} C_u r d^2 \frac{\rho_z}{\rho_d}$$

Vs...sedimentacijska hitrost

Sedimentacijska hitrost je odvisna od premera delcev za okrogle delce z gostoto vode

b) Laminarno gibanje:



$$V_s = \frac{g d^2 \rho_d}{18 \eta}$$

η...viskoznost sredstva

## MORFOLOGIJA DELCEV

Oblika delcev je zelo pomembna, saj vpliva na obnašanje delcev v zraku in v dihalih. Poznamo 4 glavne oblike delcev:

- sferični: idealne krogle (polistiren) v laboratorijih za raziskave aerosolov
- nepravilne oblike (izometrični): nobena dimenzija ni dominantna, razmerja med dolžino, širino so približno 1, nahajajo se v rudnikih
- ploščice: kamnolomi, rudniki
- vlakna: razmerje med dolžino in premerom 3-5 ali več. Predvsem v tekstilni industriji, azbest, steklena vlakna.

## VELIKOST DELCEV

Je pomembna. Za posamezne oblike delcev jo definiramo različno:

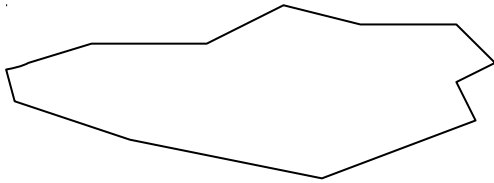
- sferični delci: geometrijski premer=karakteristična dimenzija

- za ostale oblike je izhodišče za določanje velikosti geometrijska karakteristika. Delimo jih v tri skupine: enodimenzionalne (robovi, sekante, višine,...), dvodimenzionalni (projekcijske ploskve-površina) in trodimenzionalne (prostornina).

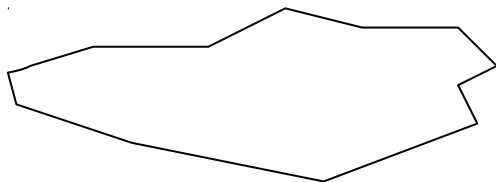
V realnosti se najpogosteje pojavljajo nepravilne oblike ter vrste možnih dimenzij. Najpomembnejših je 15 različnih definicij za velikost delcev.

- **Statistični premeri:** določeni so z merjenjem velikega števila delcev. Vrednost je določena za vsak delec posebej z mikroskopom, smer opazovanja je enaka za vsa izmerjena zrna. Tako določanje velikosti za delec ni enolično. Odvisno je kako delec projeciramo.

FERET-ov premer  $d_F$  ... razdalja med tangentama na delec, ki sta postavljeni pravokotno na smer opazovanja.

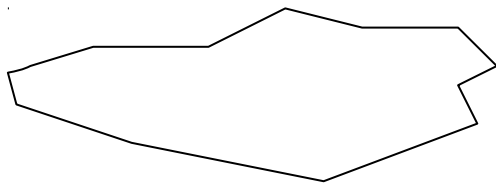


MARTINO-ov premer  $d_M$  ... razdalja, ki loči površino projekcije na dve enaki polovici.



Najdaljša dimenzija (v smeri opazovanja) ...  $l_{max}$ . Ne smemo zamenjevati z najdaljšo dimenzijo, ki jo projekcija ima. Imenujemo jo tudi »največji premer po Feret-u«.

Asimetrična srednja velikost ... je asimetrična sredina med seboj pravokotnih težiščnic  $\frac{l_1 + l_2}{2}$   
 $D_s$  ... ekvivalentni premer po površini projekcije delca A



Geometrična srednja velikost ... geometrična sredina med seboj pravokotnih težiščnic  $l_1 \cdot l_2$

- **Ekvivalentni premeri**

Definicija velikosti v relaciji z neko drugo karakteristiko. Smer opazovanja ni pomembna. Določamo jih z mikroskopijo in vsemi drugimi metodami merjenja velikosti delcev. Najbolj pogosti ekvivalentni premeri so:

- premer ekvivalentne projecirane površine ...  $d_p$
- premer ekvivalentne površine ...  $d_s$
- premer ekvivalentnega volumna ...  $d_v$

- **Aerodinamični premer ...  $d_{ae}$**

Aerodinamični premer delca je enak premeru namišljenega sferičnega delca z gostoto 1000 kg/m<sup>3</sup>, ki pada z enako sedimentacijsko hitrostjo kot opazovan delec z gostoto  $\rho$  in ekvivalentnim volumnom  $d_v$ .

Dva delca imata v istem sredstvu enako sedimentacijsko hitrost (laminarno gibanje) ko velja:

$$d_{ea} = d_v \sqrt{\frac{\rho_d}{\rho}}$$

Izračun aerodinamičnega premera za vlakno (ekstremni zgled neokroglega delca):

$$d_{ae} = d \sqrt{\frac{\rho}{\rho^*}}$$

d ... premer vlakna  
l ... dolžina vlakna  
 $\rho$  ... gostota vlakna  
 $\rho^* = 1000 \text{ kg/m}^3$

Enake enačbe in enaki kriteriji veljajo tudi za gibanje delcev v drugih sredstvih (npr. vodi) pri enaki vrednosti Reynoldsovega števila.

V praksi se loči delce po aerodinamičnem premeru s sedimentacijo vzorcev prahu v vodi.

#### PORAZDELITVE VELIKOSTI DELCEV

Monodisperzni sistem ... vsi delci enako veliki.

Ta trditev je nerealna, saj v praksi nikoli niso vsi delci enako veliki.

Populacije zrn imajo najmanjšo in največjo velikost, v katerem se vzorec nahaja – meji granulacijskega intervala. V tem intervalu se delci pojavljajo različno pogosto (granulometrične analize).

#### SEDIMENTACIJSKE METODE

Definicija: merjenje spremembe koncentracije delcev v mediju na določeni poti pomdoločenem času.

#### MOLEKULARNI POJAVI IN GIBANJE DELCA V ZRAKU

Zrak običajno deluje kot enotna snov (kontinuum), vendar je dejansko sestavljen iz delcev (molekule, atomi). Te delci se neurejeno gibljejo (kinetična teorija plinov).

$$c = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}$$

c ... povprečna hitrost molekul plina  
(za zrak cca. 462 m/s)

$$\lambda = \frac{1}{2 \pi d^2 \mathfrak{N}}$$

$\lambda$  ... pot, ki jo delec opravi med dvema trkoma  
(za zrak cca. 0.07  $\mu\text{m}$ )

Ta pot je pomembna za razumevanje obnašanja delca prahu (aerosolov) v zraku

- $d \gg \lambda$  ... delec čuti zrak kot enotno snov (kontinuum), ker ne more razločevati posameznih trkov z molekulami plina
- $d < \lambda$  ... delec zdrsne (slip) med molekulami, dejanska sedimentacijska hitrost se poveča (delec molekule »zadržijo«)

Za majhne delce (laminarno gibanje) uvedemo korekcijo – Cunninghamov koeficient ( $C_{cun}$ ), je pribl. 1

$$v'_s = C_{cun} v_s$$

#### ▪ BROWNOVO GIBANJE

Gibanje delcev si ponavadi predstavljamo kot dobro urejeno in določeno. Dejansko pa gre za naključne gibe (posledica trkov, ki se termično gibljejo tudi v navideznem mirnem toku). Brownovo gibanje pa ni odvisno od konvekcije (molekularna difuzija)

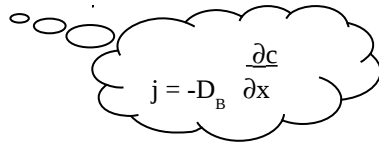
Pri Brownovem gibanju delci uhajajo iz tokovnic (se ne gibljejo po ravni črti).

Difuzija – migracija delcev, zaradi koncentracijskega gradienta.



Posamezni delci lahko potujejo v poljubni smeri, a večina jih potuje v smeri koncentracijskega gradienta.

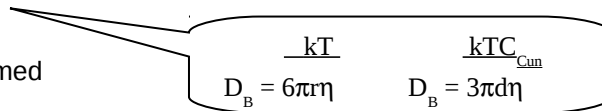
1. Fickov zakon:



$$j = -D_B \frac{\partial c}{\partial x}$$

j ... lokalni snovni tok  
c ... lokalna koncentracija

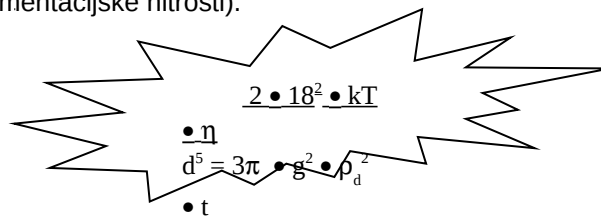
$D_B$  ... koeficient Brownove difuzije (Einsteinova difuz. Konstanta) predstavlja zvezno izmenjavo energije med delci in molekulami plina



$$D_B = 6\pi r \eta \quad D_B = \frac{kTC_{Cam}}{3\pi d \eta}$$

Posledica Brownovega gibanja:

Brownovo gibanje je pomembno za delce s  $d < 0.1 \mu m$ . Veliki delci se lažje izločajo iz zraka (sedanje zaradi večje sedimentacijske hitrosti).



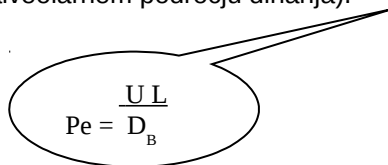
$$d^5 = \frac{3\pi \cdot \eta \cdot g^2 \cdot \rho_d^2}{2 \cdot 18^2 \cdot kT \cdot t}$$

Manjši delci naj bi bili v zraku stabilni vendar zaradi Brownovega gibanja narašča difuzijska hitrost za zelo majhne delce in ti lahko uidejo s prvotnega mesta (tokovnice), zadenejo ob oviro in se izločijo.

»Greenfieldova vrzel« (vmesno območje velikosti delcev, ki jih zelo težko izločimo iz zraka):  
 **$0.1 \mu m < d < 0.5 \mu m$**

Konvektivna difuzija – difuzija delcev v gibajočem se zraku

**Pacletovo število (Pe):** ima podobno vlogo kot Reynoldsovo število. Manjša je vrednost Pe, pomembnejši je prispevek difuzije (zlasti za majhne delce pri nizki hitrosti, pri nekaterih tipih filtrov in v alveolarnem področju dihanja).



$$Pe = \frac{U L}{D_B}$$

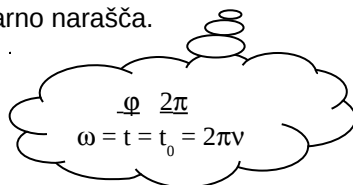
**$Pe = Re \cdot Pr$**

U, L ... karakteristična hitrost in dimenzijska skala  
Pr ... Prandtlovo število

**DELEC V POLJU CENTRIFUGALNE SILE (gibanje po krožnici)**

✓ Enakomerno kroženje

Masna točka se giblje po krožnici s polmerom r in konstantno obodno hitrostjo v. Kot φ s časom linearno narašča.



$$\omega = \frac{\varphi}{t} = \frac{2\pi}{t_0}$$

ω ... obodna hitrost (je kot ki ga radij opiše v časovni enoti)  
t<sub>0</sub> ... čas enega obhoda ko radij zapiše 2π  
v ... frekvenca kroženja (število obhodov v časovni enoti)

Hitrost kroženja opišemo z obodno ali kotno hitrostjo.

$v = r \cdot \omega$  ... enačba velja za enakomerno in neenakomerno gibanje

✓ Pospeški pri kroženju

$a_t$  ... tangencialni pospešek (deluje v smeri tangente na krožnico, zaradi njega se vrednost obodne hitrosti spreminja s časom)

$a_r$  ... radialni pospešek (deluje v smeri radia k središču krožišča, določa radij krivine tira)

$a$  ... celotni pospešek ( $a = a_r + a_t$ )

Enakomerno kroženje:  $a_t=0$ ,  $a_r=a$

$$a_r = v \cdot \omega = r \cdot \omega^2$$

✓ Sile pri kroženju

$F_{cf}$  ... sentrifugalna sila

$F_{cp}$  ... centripetalna sila (deluje na telo v smeri k središču krožišča, določa radialni pospešek, Newtonov zakon dinamike).

$$F_{cf} = -F_{cp} = ma_r = m\omega^2 r = m r$$

Pri telesu, katero je potopljeno v nek medij, je rezultanta vseh sil vzgon. Vzgon je po velikosti enak teži izpodrinjene tekočine, usmerjen je navzgor. Če tekočina obliva telo z vseh strani, potem imamo statični vzgon.

Telo kroži skupaj s tekočino okoli navpične osi s stalno kotno hitrostjo... rotacijski vzgon ( $F_{rv}$ ). Rotacijski vzgon je dejansko centripetalna sila (če v mislih telo nadomestimo z izpodrinjeno tekočino).

$$F_{rv} = -\rho_0 \cdot V \cdot r \cdot \omega^2 = F_{cp} = -F_{cf}$$

Rezultanta vsega skupaj je centrifugalna sila, ki deluje na delec v krožečem sredstvu ( $F_c$ ).

$$F_c = \frac{\pi d^3 v^2}{6r} \cdot (\rho - \rho_0)$$

- d ... premer delca
- v ... obodna hitrost
- r ... krivinski radij
- $\rho$  ... gostota delca
- $\rho_0$  ... gostota sredstva (zrak)

$\rho = \rho_0$  ... telo lebdi v sredstvu

$\rho > \rho_0$  ... delec se odmika od osi, dokler ne zadane ob zunanjo steno (rotacijski vzgon je prešibak)

$\rho < \rho_0$  ... rotirajoča tekočina potiska telo k osi, kjer obstane

Rotacijski vzgon izkoriščamo za centrifugalno separacijo (ločevanje maščob iz mleka).

**DELEC V KROŽEČEM ZRAKU**

$$F_c = \frac{\pi d^3 v^2}{6r} \cdot (\rho - \rho_0)$$

- $F_c$  ... centrifugalna sila na delec v krožečem sredstvu
- d ... premer delca
- v ... obodna hitrost
- r ... krivinski radij
- $\rho$  ... gostota delca

$\rho_0$  ... gostota sredstva (zrak)

Zaradi centrifugalne sile delec drsi v zraku v smeri krivinskega radija s hitrostjo  $v_{sc}$ . To hidrost dobimo, če obe sili izenačimo.

Laminarno gibanje:

$$v_{sc} = \frac{2 r^2 v^2}{9 R \eta} \cdot (\rho - \rho_0)$$

Turbulentno gibanje:

$$V_{sc}^2 = 3 R C_u \cdot \frac{4 d v^2}{\rho_0} \cdot (\rho - \rho_0)$$

### DELEC V ELEKTRIČNEM POLJU

Na delc, ki nosi naboj  $q$ , deluje v električnem polju z jakostjo  $E$  sila  $F_e$  ( $F_e = q \cdot E$ ). S silo  $F_e$  premaguje silo upora  $F_u$ .

Za majhne delce lahko kar privzamemo laminarno gibanje ( $F_{uv} = 6\pi r \eta v$ ).

Električno silo na delec izenačimo s silo upora, ter izrazimo hitrost  $v_E$  (electrical drift velocity).

$$v_E = \frac{q E}{3\pi d \eta} = \frac{q E}{6\pi r \eta}$$

$v_E$  ... hitrost, s katero se giblje Stokes-ov delec  
S premerom  $d$  v električnem polju z jakostjo  $E$   
V sredstvu z viskoznostjo  $\eta$

$u$  ... gibljivost delca (hitrost na enoto elektr. polja)

$$U = \frac{v_E}{E}$$

### Kako se delci nabijajo:

- Pri nastanku zaradi trenja z drugimi materiali (drobljenje, vrtanje,...)
- Pri gibanju skozi ioniziran zrak (zrak v katerem so ioni)
- V praksi naelektrimo delce prahu tako, da ioniziramo zrak okoli njih. Zaradi trkov se nato delci naelektrijo
- Verjetnost pozitivne ali negativne naelektritve je enaka (Boltzmannova nevtralnost)
- Velikost naboja je odvisna od velikosti delca

Odvisnost velikosti od naboja ponazorimo z enostavno empirično zvezo:  $e_0 = A d^n$

$e_0$  ... elementni nabolj,  $1.6 \cdot 10^{-19}$  As

$d$  .. premer delca ( $\mu\text{m}$ )

$A, n$  ... empirična koeficienta

Izraz na desni mora biti praviloma celo število (delec lahko nosi samo mnogokotnik elementarnega naboja)

Za vlakna (azbest,...) so ugotovili, da je naboj ki ga nosi neodvisen od premera vlakna in narašča linearno z dolžino

$$e_0 = \sigma L$$

$\sigma$  ... naboj za enoto dolžine vlakna  
 $L$  ... dolžina vlakna

Vendar pogosto »naravni« naboj delcev aerosola narašča hitreje in ne samo linearno (podobno se dogaja pri umetnem nabijanju).

## DELEC V OKOLJU S TEMPERATURNIM GRADIENTOM

»termoforeza« – površine okoli radiatorjev, toplovodov so veliko bolj umazane. To pa je posledica termičnega gibanja molekul plina, ki delec obdajajo (kinetična teorija plinov). Hitrost molekul plina je odvisna od temperature.

Delec večkrat zadanejo molekule plina, ki imajo višjo temperaturo (imajo višjo energijo) kot pa molekule z nižjo temperaturo.

Rezultanta kaže v smeri temperaturnega gradienta-delci se odložijo na hladnejši površini.

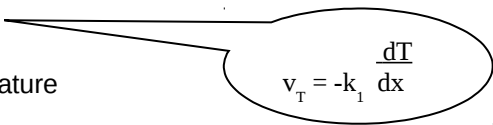
Za fine delce ( $d < \lambda$ ) lahko problem pojasnimo s kinetično teorijo plinov.

Hitrost v polju temperaturnega gradienta :

$K_1$  ... koeficient, odvisen od lokalne temperature

- ... smer gibanja proti nižji temperaturi

$dT/dx$  ... temperaturni gradient


$$v_T = -k_1 \frac{dT}{dx}$$

Za zelo majhne delce ( $d < 0.1 \mu\text{m}$ ), pri  $T = 293\text{K}$  je  $v_T = 2 \cdot 10^{-4} \text{ cm/s}$  pri temp. gradientu  $1 \text{ K/cm}$ .

Za večje delce ( $d > 1 \mu\text{m}$ )  $v_T$  opazno pada, naklon je odvisen od razmerja med toplotno prevodnostjo delca ( $\sigma_d$ ) in okolnega zraka ( $\sigma_z$ ). Večji delci čutijo zrak kot kontinuum ( $d \gg \lambda$ ).

Potrebno pa je upoštevati tudi temperaturni gradient znotraj delca, kateri hkrati vpliva tudi na temp. gradient tik ob delcu.

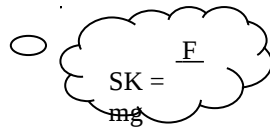
Hitrost gibanja delca zaradi temp. gradienta je v primerjavi s hitrostjo gibanja zaradi drugih sil veliko manjša in zato pogosto nepomembna.

Dober mehanizem za odstranjevanje prahu v majhnih, zaprtih prostorih temelji na vzdrževanju velikega temperaturnega gradienta.

## SEPARACIJSKI KOEFICIENT

Je razmerje med silo na delec, ki ga proučujemo, in silo teže

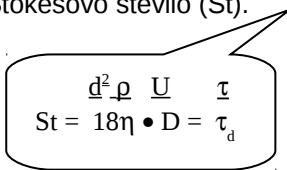
Do dodatne sile lahko pride npr. zaradi krožnega gibanja, električnega polja, magnetnega polja,...


$$SK = \frac{F}{mg}$$

Separacijski koeficient meri učinek dodatne sile na hitrost izločanja prašnih delcev v primerjavi z izločanjem (usedanjem) zaradi lastne teže.

## PODOBNOŠT V GIBANJU DELCEV

Pri toku tekočin podobnost določa Reynoldsovo število (Re). Pri gibanju delcev pa to opravlja Stokesovo število (St).


$$St = \frac{d^2 \rho U}{18 \eta D} = \tau_d$$

$d$  ... premer delca

$\rho$  ... gostota delca

$\eta$  ... viskoznost sredstva

$U, D$  ... karakteristična hitrostna in dimenzijska skala

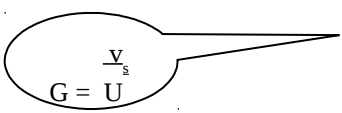
$D/U$  ... dimenzija časa

$\tau_d$  ... čas, da fluid preide moteno področje toka

Za dovolj majhne delce upoštevamo še Cunninghamov koeficient (za »zdrs«).

St je razmerje med reakcijskim časom in časom, da fluid preide moteno področje toka. Zelo majhni delci hitro odgovarjajo na spremembe (tedno sledijo toku zraka). Večji delci so manj učinkoviti. Težijo k nadaljevanju svoje prvotne poti, se ne ozirajo na spremembe v hitrosti in smeri toka.

St je merilo za zmožnost odgovora delca na gibanje okolnega zraka.

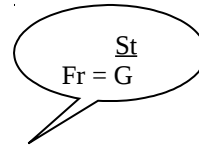

$$G = U v_s$$

$G$  ... gravitacijski parameter

$v_s$  ... sedimentacijska hitrost

G primerja hitrost, s katero se delec giblje navzdol zaradi gravitacije in hitrost s katero naj bi zapustil sistem zaradi gibanja zraka. Pomemben je pri transportu delcev, filtrih, v alveolarnem področju pljuč in elutriatorjih.

Pri hkratnem delovanju sile gravitacije in neke druge sile, s pomočjo Froudovega števila ( $Fr$ ) ocenimo, katera prevladuje.


$$Fr = \frac{St}{G}$$

$Fr$  izraža velikost zunanje sile in gravitacije. Večji je  $Fr$ , manjši je učinek gravitacije (gravitacije ne smemo zanemariti, če je  $Fr \leq 1$ )

### VZTRAJNOSTNA SILA

Tokovnice zraka se ob okviru ukrivijo. Delci prahu zaradi vztrajnosti (Stokesovo število) ne morejo slediti, zato zadanejo oviro (npr. vlakno v tkaninskem filtru). Na podlagi tega se izločijo. Večji je delec, večja je verjetnost da se bo ujel.

Raziskave so pokazale, da je učinkovitost filtra odvisna od hitrosti zračnega toka, viskoznosti, pletenja vlaken, debeline tkanine in razmerja  $D/d$  (premer vlakna v filtru/premer delca).

E ... UČINKOVITOST IMPAKCIJE (zadevanja)

- Za delec, ki je majhen v primerjavi z velikostjo ovire velja  $E = f(St, Re_d, Re_0)$ .
- Za zelo majhne dlece ( $d < 0.1 \mu m$ ) velja Brownovo gibanje

Filter zadrži prašne delce, ki so manjši od odprtin med vlakni v filtru zaradi vztrajnosti (impaction), prestrezanja in Brownovega gibanja. Učinkovitost filtriranja se lahko poveča z nabojem na vlaknih.

Delci se v motenem toku odlagajo:

- Ovire (kolena, razširitve, zožitve cevi,...)

- »impaktor«: loči delce po velikosti, zadrži večje delce (v merilnikih alveolarne frakcije)

### KOAGULACIJA

Delci prahu se naključno gibljejo. Lahko se zadevajo in ob trku zlepijo (konglomerat). Koncentracija delcev ( $N/V$ ) se tako zmanjša, nastanejo pa večji delci z večjo maso, ki imajo večjo sedimentacijsko hitrost (posledica je hitrejše izločanje iz zraka z usedanjem).

Koagulacija je znatna pri majhnih delcih (Brownovo gibanje), ter pri večji turbulenci zraka. Turbulenca zraka je pogoj za trke med delci, da le-ti uidejo tokovnici zraka ali pa imajo na tokovnici različne hitrosti.

Pri enaki masni koncentraciji (mg/m<sup>3</sup>) je v enakem volumnu kajnih delcev več in je torej verjetnost trkov večja.

### OPTIČNE LASTNOSTI AEROSOLOV

Velikost in zakoni gibanja (povezani z vplivom na zdravje, okolje) v:

- gravitacijskem polju
- polju centrifugalne sile
- električnem polju
- polju temperaturnega gradienta

Optične lastnosti: so skoraj obrobne pomena. Z vidika zdravja je pomembna vidnost prahu/aerosolov (prva indikacija velike izpostavljenosti), barva ter redkeje oblika (nekaj informacij o fizikalni naravi delcev).

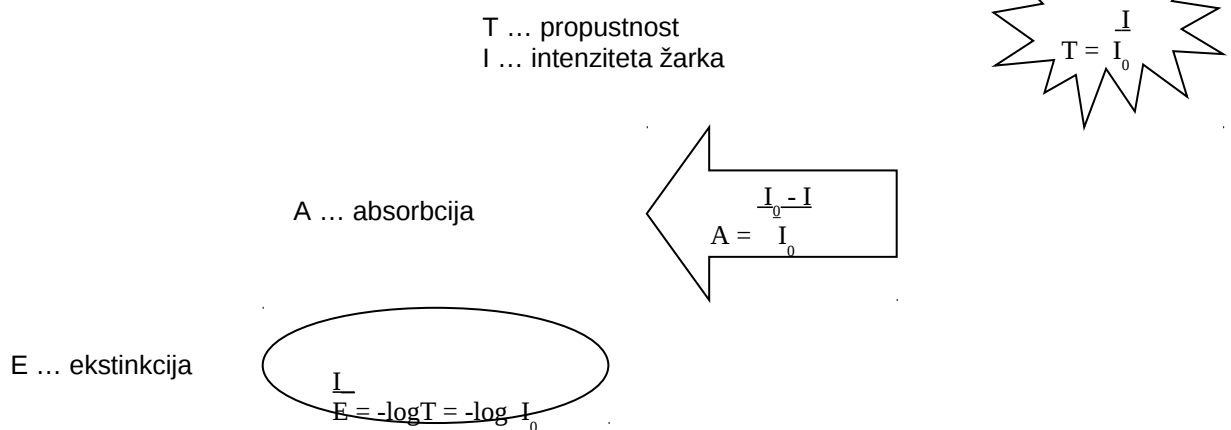
Optične metode: določanje koncentracije, porazdelitev velikosti. Potrebno je poznavanje nekaj osnovnih dejstev.

### FIZIKALNE LASTNOSTI

- svetloba: je elektromagnetno valovanje z valovnimi dolžinami, ki jih človek preko očesa zaznava v vidnem centru velikih možgan kot barve (med 0.38 in 0.78 μm)
- spektralne barve: posamezni svetlobni elektromagnetni valovi, meje so dokaj negotove (različne za različne ljudi, se spreminjajo tudi s starostjo) – približno:
  - *ultravijolični* se absorbirajo v sprednjem delu očesa in ne prodrejo do optično občutljive mrežnice
  - *infrardeči žarki* imajo premajhno frekvenco (fotoni imajo premalo energije) da bi sprožili kemijsko reakcijo v očesu
- svetloba reagira z atomi snovi, zlasti z elektroni (interakcija med elektromagnetnim valovanjem in elektronskimi scilatorji). Rezultat je odvisen od vrste snovi in od frekvence vpadnega elektromagnetnega valovanja,

### ABSORPCIJA SVETLOBE:

V posameznem delcu žarek s presekom S zadane v delec s presekom A. Žarek oslabi (se absorbira, siplje-odvisno od lastnosti snovi). Merimo intenziteto vpadne in prepuščene svetlobe. Na celotni razdalji X (optična pot) se intenziteta žarka I<sub>0</sub> zmanjša za I.

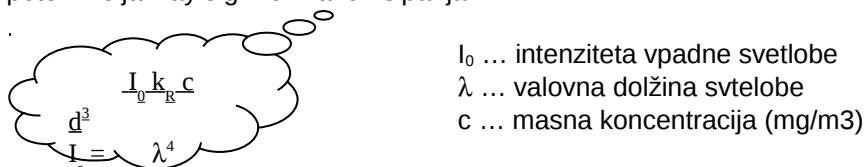


### SIPANJE SVETLOBE

Delci pri prehodu skozi sredstvo, ki svetlobo siplje (raztopina z velikimi delci, zaprašeni zrak) prvotni žarek oslabi tudi zaradi sipanja.

I<sub>s</sub> je odvisna od valovne dolžine svetlobe, kota opazovanja glede na smer vpadnega žarka in velikosti delca.

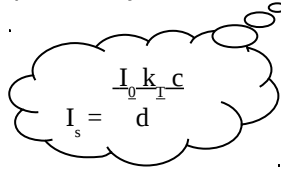
a)  $d < \lambda$ , potem velja Rayleighnov zakon sipanja



d ... premer delca  
k<sub>R</sub> ... konstanta



b)  $d > \lambda$ , potem velja Tolmanov zakon sipanja


$$I_s = \frac{I_0 k_T c}{d}$$

$I_0$  ... intenziteta vpadne svetlobe  
 $c$  ... masna koncentracija  
 $d$  ... premer delca  
 $k_T$  ... konstanta

### OPTIČNA MIKROSKOPIJA

Je pomembna metoda raziskave delcev, ki jih »ujamemo« (na ploščici, filtru,...).

Z očesom lahko vidimo delec, katerega velikost presega ločljivost očesa. Kotna ločljivost očesa je 1 kotna minuta. Delci v zraku so veliki nekaj 10  $\mu\text{m}$ , jih opazujemo z mikroskopom.

**Mikroskop:** njegova ločljivost je omejena z valovno dolžino in aperturo (največji kot, pod katerim na predmetu uklonjeni žarki lahko vstopijo v objektiv mikroskopa). Optični mikroskopi imajo zmožnost ločiti dve točki, ki sta približno razmaknjeni za večjo razdaljo kot je valovna dolžina svetlobe (0.4 – 0.8  $\mu\text{m}$ ). Pri elektronskih mikroskopih delce opazujemo v sevanju nižjih valovnih dolžin (npr. visokoenergetski žarki elektronov). Imamo dve vrsti elektronskih mikroskopov:

- transmisijski elektronski mikroskop (TEM) – ločljivost okoli 1 nm
- rasterski elektronski mikroskop (REM) – slaba ločljivost, osenčene (»plastične«) slike.

### INHALABILNOST AEROSOLOV

Je zmožnost delcev za vstop (prodor) v dihalni sistem skozi nos, usta, ter zmožnost za odlaganje v različnih območjih dihalnega sistema.

Vsi delci niso enako »sposobni« za vstop v dihalni sistem (spoznanje iz poznih 70. let).

### EKSPERIMENTALNE METODE

Ekspirimenti na ljudeh niso sprejemljivi, vendar so v zgodovini obstajale izjeme (aparatura za študij škodljivih vplivov na prostovoljnih). A zaznati jih je le redko.

### EPIDEMIOLOŠKE ŠTUDIJE

Temeljijo na raziskavah skupine ljudi, ki so bili med delom ali drugače izpostavljeni škodljivim vplivom (specifična obolenja ali pa avtopsija)

Slabosti študij so, da:

- ne poznamo natančne izpostavljenosti več let nazaj
- ne poznamo individualnih posebnosti (način dela, varovanje, razvade-kajenje,...)
- ne poznamo morebitne menjave delovnih mest, zaposlitve, tehnologije, obsega proizvodnje, materialov,...
- dejansko ekspozicijo lahko bolj ali manj natančno ocenimo oz. uganemo.

Zaradi vseh teh slabosti se izvajajo poskusi na živalih, vendar je tudi tu vprašanje etike in nujnosti.

### POSKUSI NA ŽIVALIH

Ljudem so najbolj podobni primati (drugi poskusi, dolga življenska doba), psi in majhni sesalci (podgane, miši, morski prašički). Rezultati so običajno uporabni glede toksičnih učinkov posameznih snovi.

**Inhalacijski eksperimenti:** podgane so običajno izpostavljene aerosolu, ki ga želimo testirati. Definiramo tip aerosola, koncentracijo, trajanje,... Pri inhalacijskem eksperimentu poznamo dva pristopa. Ko izpostavimo celo telo, ali ko izpostavimo samo nos ali/in usta.

a) Izpostavljenost celega telesa: podgane so zaprte v kletkah v skupinah. Kletke so postavljene v pravokotne komore z zeleno atmosfero (inhalacijske komore).

b) Izpostavljenost nosu in/ali ust: atmosferi je oddan manjši volumen aerosola. Žival ga vdihuje s pomočjo posebne aparature.

Trajanje izpostavljenosti je enako kot na delovnem mestu (8 ur/dan, 5 dni/teden, 48 teden/leto). Izpostavljene živali običajno po poskusu usmrtno v različnih časovnih intervalih. Truplo nato analizirajo. Sledi pregled pljuč in drugih tkiv pod mikroskopom (ugotavljanje patoloških sprememb, lokacije deponiranih delcev, spremembe lastnosti delcev, ki se deponirajo v pljučih), ter kvantitativno določanje množine (masa, število delcev) materiala v tkivu.

Poznamo dva tipa eksperimentov:

➤ Raziskave »odstranjevanja inhaliranega materiala

Živali so izpostavljene krajši čas (od nekaj minut do nekaj dni), začetna obremenitev določenega materiala v pljučih je torej različna. Živali po skupinah usrtijo v sledečih intervalih. Sledi kvantitativna analiza pljuč in ostalih tkiv. »Odstranjevanje« odloženega materiala lahko ocenimo kot funkcijo časa po ekspoziciji. Vrednosti veljajo za podgane, ki imajo približno 2g teža pljuča in minutno ventilacijo 0.1 dm<sup>3</sup>/min.

➤ Ugotavljanje akumulacije

Skupine živali so izpostavljene dalj časa, podskupine odmikajo iz eksperimenta v različnih intervalih. Pljuča in ostala tkiva se kasneje preiskujejo. Kot rezultat dobimo obremenitev kot funkcijo časa izpostavljenosti.

Obremenitev pljuč narašča s časom ekspozicije (logaritemska skala).

#### KLASIFIKACIJA PRAHU

Nastali prah lahko razvrstimo po celotnem spektru velikosti delcev.

Primer: apnenčev prah v kiparski delavnici pri suhem rezanju in brušenju kamna. Največji delci se izločijo iz zraka že v neposredni bližini nastanka (ne dosežejo do dihal). Manjši delci pa lebdi v zraku in prodrejo v dihala. Od njihove velikosti je odvisno kako globoko bodo prodrli (razvrstitev v posamezne frakcije).

#### **Inhalabilna frakcija**, inspirabilna ali groba frakcija

Sem spada del prahu, ki ga vdihnemo skozi nos in usta. Je frakcija, ki jo zajame šoba instrumenta za merjenje prahu, ki ima hitrost na ustju šobe 1.25 m/s (oz. pretok 1.7 dm<sup>3</sup>/min). Je pa tudi frakcija, ki prepusti filter s propustnostjo 100-50.1%.

Inhalabilna frakcija je pomembna pri snoveh, ki škodljivo delujejo že v zgornjih dihalnih poteh.

#### **Alveolarna frakcija**, respirabilna ali fina frakcija

Del inhalabilne frakcije, ki uide zaščitnemu mehanizmu zgornjih dihalnih poti in se odloži v nižjih dihalih. Pomembnaje za prahove, ki povzročajo poškodbe, bolezni, okvare globoko v pljučih (fibrogeni prah).

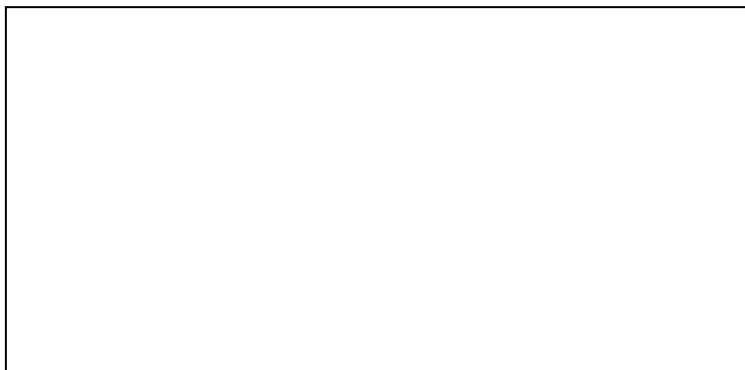
Delci velikosti 10µm so približna meja med inhalabilno in alveolarno frakcijo.

#### Definicije iz pravilnika:

- Inhalabilna frakcija (I) pomeni del celotnega prahu ali dima, ki ga delavec vdihne skozi nos ali usta iz območja vdihavanja.
- Alveolarna frakcija (A) pomeni del vdihanega prahu ali dima, ki ga delavec vdihne skozi nos ali usta iz območja vdihavanja in ki vsebuje dovolj majhne delce da pridejo v alveole (pljučne mešičke).

#### **Torakalna frakcija**, traheobronhialna frakcija

Sem spadajo delci velikosti do 30 µm. To je frakcija prahu, ki prodre globlje od grla. Samočistilni mehanizem telesa lahko sam odstani ta del prahu. Pomembna je pri prahu, ki učinkuje škodljivo v predelu sapnika in bronhijev (npr. prah, ki povzroča bronhialno astmo).



## INHALACIJA AEROSOLOV

Aerosoli zaidejo v človeško telo skozi kožo, prehranjevalno verigo in inhalacijo (največ delcev na ta način). Velikost in porazdelitev delcev določata način »vdora« v telo in odlaganje v dihalih. Koncentracija prahu določa količino, ki se lahko odloži v telesu. Oblika (morfologija)-vlakna,... Kemična sestava določa, kako se biološki sistem odziva na tujke.

### DIHALA

Človeški respiratorni trak nam predstavlja kompleksen sistem. Njegova primarna naloga je preskrba organizma s kisikom (inhalacija), ter odstranjevanje CO<sub>2</sub> (ekshalacija).

#### Dihanje:

- oksidacija oz. izgorevanje hranil v celicah organizma-notranja toplota (produkti oksidacije+toplota)  
- izmenjava plinov med organizmom in okolico- zunanje dihanje (ožji pomen)  
Izmenjava plinov z difuzijo poteka v alveolah (pljučnih mehurčkih). Iz zraka se difundira kisik v kri, iz krvi pa se v zrak difundirajo plinski produkti presnove.  
Smer in hitrost difuzije je odvisna od parcialnih tlakov plina in poteka v smeri manjšega parcialnega tlaka.

Na izmenjavo plinov v pljučih vpliva:

- razlika v parcialnih tlakih (koncentraciji) plina
- lastnosti plasti
- konstanta difuzije
- velikost površine, preko katere izmenjava poteka (površina pljuč)
- čas stika krvi z alveolarnim zrakom v alveolarnih kapilarah

Kapilare: vstopajo v alveole, dovajajo s plinskimi produkti presnove nasičeno venozno kri, odvajajo s kisikom obogateno arterialno kri. Na končnih razcepiščih bronhialnega vejevja je razporejenih okoli 300 milijonov kapilar.

Izmenjava plinov poteka preko celotne površine pljučnih mehurčkov. Skupna aktivna površina pljučnih mehurčkov je pri odraslemu človeku 70-100 m<sup>2</sup>. Na tej površini so krvne kapilare v tesnem stiku s pljučnimi mehurčki. Kri in zrak sta torej v neposrednem stiku preko velike površine in brez vmesnega varovalnega mehanizma. To pa povzroča izredno »ranljivost« za vnos škodljivih snovi preko dihal v organizem.

Hitrost in intenzivnost dihanja je odvisna od individualnih faktorjev in aktivnosti.

### KRVNI OBTOK

Je transportni sistem za izmenjavo plinov in snovi pri večceličnih organizmih.

Razvejan – kapilare na koncu v tkivih omogočajo izmenjavo plinov in snovi z enostavno difuzijo

Arterije – vodijo s hranili in kisikom bogato kri v tkiva

Vene – odvajajo produkte presnove iz tkiv

*Arterija:* se v organu 6-8x razdeli naprej v arteriole in nadalje v kapilare

Izmenjava poteka preko kapilarne membrane z difuzijo za snovi, ki so topne v celicah kapilarne stene. Netopne (Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, glukoza) pa prehajajo molekula za molekulo preko por (osmoza). 1/6 telesnega tkiva predstavljajo vmesni prostori (interstitium) s tekočino. Snovi ki preidejo steno kapilare, difundirajo. Prisotno je tudi nekaj proste tekočine.

Edem (oteklina)- količina proste tekočine se zelo poveča.

### LIMFNI OBTOK

Vse snovi (delci prahu, netopne bakterije) ne morejo preiti v kri z difuzijo-dodatni način transporta teh snovi je iz vmesnega prostora v kri (limfni obtok).

Limfne kapilare zaradi svoje posebne strukture omogočajo prehod tudi večjim molekulam in tujkov z vmesnega prostora. Limfne kapilare se združujejo v limfne žile, le te v limfne žleze z limfnimi vozliči, iz teh pa izhajajo večje limfne žile, ki se zlivajo v prsni limfovod (se na levi strani vratu zliva v venski sistem).

Limfo po žilah poganja krčenje mišic (deloma).

Naloga limfnega sistema je varovanje pred vnetnimi procesi, nekateri večji inhalirani delci se odložijo v limfnih vozlih (veliko tveganje), pomembna vloga pri obrambi organizma.

#### VPLIV INHALIRANIH DELCEV NA ČLOVEKA

Ko delci vdrejo v respiratorni trak in se tam odložijo, se težave šele začnejo. Lahko pride do bolehanja ali do patoloških sprememb. Sproži se lahko kompleksna veriga procesov, katera lahko vodi do obolenja kot so alergijski pojavi (izzovemo astmo, kronični bronhitis,...), pnevmokonioze (prah v pljučih), fibroze (silikoza, azbestoza, »črna pljuča«,...), emfisem (propad mehkega pljučnega tkiva, nastajanje večjega prostora napolnjenega z zrakom-moti funkcijo pljuč), karcinom,...

#### SAMOČISTILNI MEHANIZEM DIHALNEGA SISTEMA

Nosne dlačice so prvi prašni filter, ki zadrži največje tujke.

Vlažna sluznica nosu in žrela lahko zadrži do 50% prahu, poveča s izločanje.

Ciliarni migetalični epitelij se nahaja v zgornjih dihalnih poteh. Gibanje cilij omogoča gibanje filma sluzi (podobno gibanju tekočega traka s hitrostjo 5-15mm/min). Prašni delci iz spodnjih dihalnih predelov dosežejo žrelo v približno 45 minutah (se odstranijo preko gastrointestinalnega traku).

#### POVZETEK

- $d > 10 \mu\text{m}$ ...te delce filtrirajo nosne dlačice
- $5 \mu\text{m} < d < 10 \mu\text{m}$  ... zaradi vztrajnosti se na krivinah zgornjih dihalnih poti zadenejo ob steno, prilepijo na sluz in odplavajo proti nosni oz. ustni votlini (v prebavni trak ali pamjih izkašljamo).
- $d < 10 \mu\text{m}$ ... zaradi Brownovega gibanja uidejo s tokovnic in se odstranijo
- $0.1 \mu\text{m} < d < 5 \mu\text{m}$ ... varovalni sistemi zgornjih dihal so pri teh delcih najmanj učinkoviti. Ti delci lahko zaidejo vse do pljučnih mehurčkov. Se lahko odstranijo v limfno tekočino iz pljučnega tkiva do bezgavk. Lahko pa ostanejo stalno v pljučih (okvare, bolehanja). Lahko pa se delci odstranijo tudi s fagocitozo.
- Škodljivost vlaken je odvisna od dimenzij le-teh

Alveolarni makrofagi ali fagociti so približno 15 $\mu\text{m}$  velike celice (levkociti), ki so v alveolarnih prostorih vedno prisotne-tudi v pljučih ki niso izzvane. Prisotnost tujkov stimulira okrepitev dodatnih fagocitov-poveča se možnost fagocitoze. Fagocitirani delci se lahko transportirajo po ciliarnim migetaličnim epitelijem do traheobronhialnega predela ali se odstranijo z limfnim sistemom do najbližjega limfnega vozla. Eliminirajo se v nekaj dneh.

Včasih se delci sicer fagocitirajo, vendar ostanejo v pljučih. To predstavlja nevarno žarišče (predvsem vlakna).

Pogosto opažamo zadrževanje daljših vlaken v pljučih. Dolga, igličasta vlakna lahko tudi prederejo vmesni prostor v pljučni steni in migrirajo v ostale dele telesa (azbestna vlakna, ki dosežejo poprsno votlino-zelo resna bolezen MESOTELIOM).

Nekateri delci se tudi raztapljajo v krvi in se transportirajo in odlagajo po telesu, čeprav ne vstopajo v organizem preko prebavnega traka (Cd v ledvicah, Pb v krvi,...)

#### SPIROMetriJA

Je tehnika ki se uporablja za diagnozo nepravilnosti v pljučih in njihovem delovanju iz meritev volumna (statična spirometrija ) in časovnih sprememb volumna ter tlaka vdihanega in izdihanega zraka (dinamična spirometrija).

Vitalna kapaciteta: maksimalna inspiratorna (vdih) in ekspiratorna (izdih) kapaciteta.

#### ✓ Statični spirogram

TVK – totalna vitalna kapaciteta pljuč (največji volumen zraka, ki ga človek zajame v pljuča ob najglobljem vdihu, približno 6l)

VK – vitalna kapaciteta (volumen zrakai, ki ga po globokem vdihu lahko stisnemo iz pljuč, približno 3.5-6l)

DV – dihalni volumen (volumen vdihanega in izdihanega zraka pri normalnem dihanju, približno 500ml)

RV – rezidualni volumen (zrak ki ostane v pljučih tudi mo maksimalni ekspiraciji, 1.2l)

FRV – funkcionalni rezidualni volumen, ki ostane v pljučih pri normalnem dihanju, FRV>RV)

Če izmerjene vrednosti zelo odstopajo od povprečnih, lahko sklepamo na obolenje, poškodbo.

✓ Dinamični spirogram

Nam meri dva parametra.

FVK – forsirana vitalna kapaciteta ( $0.7 < FEV_1/FVK < 0.75$  – normalno stanje,  $FEV_1/FVK < 0.7$  – pljučno obolenje, npr. astma, karcinom, ...,  $FEV_1/FVK > 0.75$  – bolezni z restrikcijo pljuč, nor. silikoza, azbestoza, ...)

MV – minutna ventilacija (volumen vdihanega zraka v 1 minuti, približno 500ml/min)

Frekvenca dihanja (novorojenček 40/min, 12-letnik 20/min, 30-letnik 16/min)

Večjo potrebi po kisiku si organizem zagotovi z večjo frekvenco dihanja in večjim dihalnim volumnom.

AV – alveolarna ventilacija (volumski tok svežega zraka, ki dospe do alveol in je na razpolago za izmenjavo plinov.

V0 – volumen »mrtvega prostora« (pljuč ne moremo izprazniti popolnoma (ostane cca. 150ml).

Za kontrolo pljučne zmogljivosti izberemo metodo, ki je enostavno izvedljiva, daje dobro ponovljive rezultate, je zadosti občutljiva in malo odvisna od sodelovanja testiranca.

Posamezne vrednosti pljučnih parametrov so odvisne od starosti, telesne teže, spola, konstrukcije, fizične kondicije in zunanjih vplivov (kajenje, škodljive stvari v zraku, ...).

## RAZVRSTITEV PRAHU PO ŠKODLJIVOSTI

Prah ima v orimerjavi s plini in parami pri delovanju na organizem nekatere posebnosti. Običajno ne razvrščamo po splošni klasifikaciji za nevarne snovi ampak po načinu delovanja na organizem:

- Inertni prah – opremenitev je praviloma reverzibilna (prah apnenca, premoga, sladkor, ...)
- Fibrogeni prah – povzroča razraščanje in brazgotinjenje pljučnega vezivnega tkiva. Poškodbe so trajne, pogosto napredujejo (kremen, minerali ki vsebujejo kremen-silikoza, barir-baritoza, azbest-azbestoza). Obolenje pogosto spremljajo tudi druge bolezni (tuberkuloza).
- Prah s specifičnim delovanjem na zgornje dihalne poti – grobi prah, ki se v teh predelih useda (kromati). Povzročajo specifično reakcijo organizma (perforacija nosnega pretina)
- Alergogeni prah – povzroča alergične reakcije v zgornjih dihalnih poteh ali v pljučih. Zaradi daljše izpostavljenosti postanemo preobčutljivi na določeni snovi (alergeni). Biogeni prah (pelod, hišna pršica), kovine (Cr, Ni, Co), plastične mase, ... Bolezni so poklicna bornhialna astma, bisinoza (predelava konoplje, bombaža), seneni nahod
- Toksični (strpeni) prah – prehaja iz dihal v organe in tkiva z raztapljanjem na sluznici dihalnih poti, prebavnem traku, ... Se prenaša po organizmu s krvjo in drugimi telesnimi tekočinami, zastuplja organe tkiv (Hg, Pb, Cd, As, Te, ..., fluoridi, pesticidi, ...). Privede do zastrupitev s Pb (saturnizem), Mn (manganizem), livarska mrzlica (Zn-Cu-Mg).
- Dražljivi prah – draži sluznico dihal, oči, kožo (prah živega apna, megla jedkih kislin, steklena volna, ...)
- Kancerogeni prah – seznam se vedno daljša. Azbest (pljučni rak), kromati, nekatere vrste trdih lesov (bukev, m hrast), saje, dim, katran, cigaretno dim. Sum na kancerogenost steklenih vlaken in vlaken mineralne volne (vseeno manj nevarna od azbesta)
- Mutageni prah – škodljiv vpliv na potomce. Pesticidi, organske spojine, snovi pri izdelavi zdravil
- Teratogeni prah – škodljivo deluje na plod. Pesticidi, organske spojine, snovi pri izdelavi zdravil

Klasifikacija prahov ni enolična, določene vrste lahko vplivajo na več načinov (kromati, azbest).

### AZBEST

Spada med kristalnični silikatni material. Kristali imajo obliko vlaken, se združujejo v snope. S predelavo ali mehansko obremenitvijo se vzdolžno cepijo v tanjše snopiče.

Je temperaturno in kemično odporen, lahek za obdelovanje, za armiranje, je razmiroma poceni.

Posledice izpostavljenosti so azbestoza (fibroza pljučnega tkiva), mezoteliom (rak pljučne plevre), pljučni rak, rak bronhijev. Najbolj nevarna so vlakna  $l = 10-20 \mu m$  in  $d = 0.25 \mu m$ .

Vlakna so zelo odporna proti telesnim tekočinam, lahko ostanejo nespremenjena tudi desetletja.

Kancerogenost azbesta predpisujejo:

- a) Mehanskemu delovanju konic vlaken na celice tkiva – zaradi vzdolžnega cepljenja lahko postane vlakno manjše od celice, jo prebode in vpliva na genetsko zasnovo.
- b) Trajna aktivnost alveolarnih makrofagov – na mestu, kjer se azbestno vlakno deponira v pljuča (makrofag želi vlakno požreti in odstraniti). Če je vlakno dlajše od celice, nastane v celični membrani odprtina, skozi katero celična vsebina izteče. Celica odmre, vlakno poizkuša požreti naslednja celica, ... Posledica trajne aktivnosti makrofagov je lahko začetek malignega procesa.

## TVEGANJE ZA BOLENJE ZARADI IZPOSTAVLJENOSTI PRAHU

Tveganje za bolezen kot posledico izpostavljenosti prahu je odvisno od koncentracije prahu, vrste prahu, oblike delcev v prahu, granulacijskega spektra prahu, trajanja izpostavljenosti in načina dela.

MDK – maksimalna dovoljena koncentracija

MV – mejna vrednost, ki je določena v Pravilniku. Je koncentracija prahu v zraku, ki ne povzroči zdravstvenih okvar zaradi izpostavljenosti za odraslega zdravega delavca ob fizično lahkem delu:

- **Kumulativno delujoča snov:** pri obremenitvi 8 ur na dan, 40 ur na teden pri povprečju  $c \leq MV$ , ni verjetna zdravstvena okvara
- **Akutno delujoča snov:** škodljiva posledica lahko nastane že pri kratkotrajni izpostavljenosti, MV ne sme biti presežena niti za kratek čas
- **Kancerogene snovi:** praviloma jim nebi smeli biti izpostavljeni, MV ni primeren kriterij

MV je določena na podlagi epidemioloških študij in je ne moremo imeti za ostro mejo med škodljivim in neškodljivim, ker so posamezniki različno dovzetni, včasih posledice vidne šele čez dolgo časa,...

KTV – kratkotrajna vrednost. Dovoljeno odstopanje od mejne vrednosti nevarne snovi za krajše obdobje. Lahko traja največ 15 minut in se ne sme ponoviti več kot 4x v delovni izmeni. Med dvema izpostavljenostima mora miniti najmanj 60 minut.

Delovno kolje je v smislu predpisov varno, če je prekoračitev manjša ali enaka 1 ( $I \leq 1$ ). Pri nekaterih snoveh lahko medsebojni vpliv poveča škodljivost (sinergija).

### KANCEROGENE SNOVI

Ni mejne koncentracije, pod katero ni tveganja. Mejna vrednost v tem primeru ne velja (ni smiselna). Praviloma delavec nebi smel biti izpostavljen takim snovem, kar pa vedno ni možno.

TDK – tehnično dosegljiva koncentracija (nemška TRK). Ne zagotavlja varnosti pred obolevanjem kot MDK, ampak pomeni odgovor, do katere meje je onesnaženost še možno tolerirati. Nad to mejo so obvezni varnostni ukrepi. Za kancerogene snovi se BAT ne uporablja (uporabi se EKA). Delodajalec je odgovoren.

Obolenja povezana s prahom so izredno interdisciplinirano območje, ki vključuje medicino dela, varstvo pri delu, tehniko, tehnologijo, pravne norme.

## DOLOČANJE KONCENTRACIJE PRAHU

Merjenje in analiza merjenja sta dva člena v analizi delavnega okolja. Pomembno pa je tudi poznavanje tehnologij, dela in snovi, izbira postopka za vzorčenje in analizo vzorca, izbira kraja in časa merilnih mest, kalibracija instrumentov, priprava na vzorčenje, vzorčenje na terenu, kritična ocena rezultatov meritev ter uporaba končnih rezultatov meritev.

V pooblaščenih laboratorijih se vzorci analizirajo po izbrani merilni tehniki in metodi, upošteva se tudi izkušnost in znanje merilca. Po končani analizi pa se interpretira rezultate analize.

### METODE MERJENJA

- Poznati moramo tehnološki in delavni proces
- Delavni proces nato razdelimo na posamezne faze dela, ki se razlikujejo po izpostavljenosti delavca prahu
- Krajevno in časovno zajamemo vse značilne faze
- Vzorčenje opravimo v reprezentativnem času za vsako fazo
- Vzorec mora ustrezati namenu in cilju same preiskave

Sami merilniki se delijo glede na:

#### Mesto merjenja

##### a) Stacionarni merilnik

Postavimo ga na neko mesto in pričnemo z merjenjem. Uporaben je v primerih, ko delavec dela ves čas na istem delavne mestu (koncentracija v prostoru se ne spreminja). Takšni merilniki so večji in običajno težji. Priključeni so na omrežno napetost (vir energije). Zajamejo veliko množino prahu, ki ga je lažje analizirati tudi z manj občutljivimi metodami. Mora stati vsaj 1m ali več od delavca. Pogosto ga uporabljamo kot standardni merilnik in z njim primerjamo ostale (npr. osebni merilnik)

b) Osebni dozimeter

Priprnemo ga na obleko, telo, zato je manjši. Napaja se z baterijo. Je manj zmogljiv kot stacionarni, zajame manjšo količino prahu, zato je analiza prahu težja. Običajno z osebnim dozimetrom ugotavljamo le koncentracijo prahu.

Prednost je v tem, da lahko določimo povprečno koncentracijo prahu tudi pri delovnih fazah kjer se delavec giblje, spreminja mesto dela in kjer pričakujemo, da se koncentracija prahu spreminja že na manjši oddaljenosti od dihal (dim pri varjenju).

c) Prenosni merilniki

So razmeroma natančni, merijo lahko želeno frakcijo, uporabljajo različne metode, vendar so kar dragi.

### Trajanje meritev

- Trenutni: rezultat kažejo zvezno ali pa omogočajo odčitek v kratkih časovnih intervalih (nekaj sekund, minut). Z njimi določamo vršne koncentracije. Uporabimo jih pri hitri kontroli zapašenosti, niso pa najbolj primerni za določanje povprečne koncentracije.
- Merilniki povprečne koncentracije: čas merjenja je vsaj 1 uro ali pa tudi cel delovnik. Kot rezultat dobimo povprečje v tem časovnem intervalu. Primeren je predvsem za prah s kumulativnim delovanjem.

### Način delovanja

- Aktivni – vgrajena mehanska naprava za črpanje vzorca onesnaženega zraka
- Pasivni (difuzijski) – nimajo lastnega mehanskega pogona za zajem delcev, snov difundira v medij, kjer se veže. Pretežno se tak sistem uporablja za pline in pare. V delovnem okolju se uporablja redkeje. Uporabno je za merjenje prašnega sedimenta v zunanjem okolju (mikrobiologi uporabljajo za merjenje biogenih klic v prostoru)

### Vrsta vzorca

- ✓ Inhalabilni (grobi) prah
- ✓ Alveolarni (fini) prah
- ✓ Vlakna

Včasih z istim merilnikom lahko izbiramo med meritvijo inhalabilne oz. alveolarne frakcije. V redkih izjemah lahko merimo tudi traheobronhialno frakcijo.

### Postopek merjenja

- Direktno odčitavanje
- Dodatna obdelava

Naknadni obdelavi se določi masa prahu ter dodatna analiza

### SESTAVNI DELI MERILNIKOV

- Glava (ustje) nam določa, katero frakcijo prahu z merilnikom merimo. Konstrukcija glave za koncentracije inhalabilnega prahu zajame ves inhalabilni prah (važna sesalna hitrost). Za alveoarno frakcijo pa ustje zadrži večje delce).

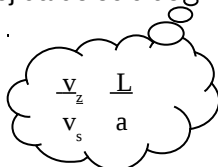
Glav imamo več izvedb (ciklon, radialni sistem, horizontalni elutriator, kaskadni impaktor), vse pa so uporabne za vse vrste merilnikov.

**Ciklon:** Ekscentrična vstopna odprtina v ustju usmeri vsesani prah proti obodu ciklona kjer nastane vrtinec (zaradi centrifugalne sile se grobi delci izločijo na stenah ciklona in padejo v silos). Alveolarni, fini prah pa nadaljuje pot z zrakom proti filtru, kateri ga zadrži. Ta prah stehtamo ter izračunamo njegovo koncentracijo.

**Radialni sistem:** vsesani zrak enakomerno porazdeli po celi površini filtra. Tokovnice se ukrivijo, delci (zlasti večji) jim ne sledijo. Na središčni del filtra se usedejo večji delci (inhalabilna frakcija), po obrobni kolobarjih se porazdeli respirabilni prah.

**Horizontalni elutriator:** predstavlja paket horizontalnih plošč, skozi katerega vodimo zapašeni zrak. Veliki delci imajo večjo sedimentacijsko hitrost, se usedejo prej, predno pripotujejo do konca. Majhni delci potujejo dlje, se usedejo proti koncu paketa ali pa celo uidejo.

Pogoj da delec uide:



$v_z$  ... hitrost zračnega toka

$v_s$  ... sedimentacijska hitrost delca

$L$  ... dolžina paketa horizontalnih plošč

$a$  ... razmik med ploščami

Laminarno gibanje:

$$\frac{v_z \cdot 18 \eta}{g \rho_d} \frac{L}{d^2} a$$

Izračun premera največjega delca, ki že lahko uide:

$$d_{\max} = \frac{18 v_z \eta a}{g \rho_d L}$$

**Kaskadni impaktor:** omogoča podrobno granulacijsko analizo prahu (torakalna, ekstratorakalna,...). Omogoča različne nastavitve z vrstami zaslonk oz. lamel s šobami. Razporeditev je taka, da se na določeno lamelo pri določenem pretoku usedejo samo delci z določenim aerodinamičnim premerom. Tehtanje lamel nam pove količino posamezne frakcije.

## VRSTE MERILNIKOV

### Gravimetrični merilniki:

- Delovanje na principu piezoelektrične mikrotehnice: kristale spravimo v nihanje z vioko stabilno lastno frekvenco (je odvisna od mase kristala, zato vsak kristal niha s svojo frekvenco). Pred meritvijo določimo razliko frekvenc med primerjalnim in merilnim (čistim) kristalom. Med vzorčenjem se na merilnem kristalu odlagajo delci, masa merilnega kristala se tako povečuje. Večja je masa kristala, manjša je njegova lastna frekvenca. Spremeni se razlika frekvenc med kristaloma. Merilnik samodejno izbira čas vzorčenja in določa pretok. Izpis na zaslonu nam že kaže masno koncentracijo prahu, ki ga vdihnemo.
- Koračni merilnik: deluje na gravimetričnem principu. Filter se v določenih intervalih pomika mimo šobe, skozi katero črpamo merjeni razpršeni zrak. Prah se nabere na filtru. Lahko ga stehtamo ali pa z inštrumentom izmerimo dodatno absorbcijo  $\beta$  žarkov zaradi prahu na filtru. Merimo časovni pretok koncentracije na merjenem mestu.

### Optični merilniki:

- Scintilacijski (optični) števec: šteje svetlobne impulze, ki jih ustvarja delec, ki zaide v merilno področje. Ima svoj izvor svetlobe (laser). Merilnik deluje na osnovi merjenja intenzitete sipane svetlobe. Zelo pomemben vpliv na merjenje imata velikost delca in pa njegov lomni količnik. Ta merilnik uporabljamo največini za primerjalna merjenja, zasledujemo relativne spremembe zapašenosti. Absolutno koncentracijo lahko merimo le, če instrument predhodno umerimo na določeno vrsto prahu.
- Optični fotometri: z njimi merimo absorbcijo svetlobe skozi zapašen zrak. Pomembni so predvsem pri optičnih lastnostih aerosolov.

### Električni merilniki:

Pri tem merilniku zapašeni zrak vodimo skozi merilni valj ali med dvema plošama, kjer se delci zaradi močnega električnega polja naelektrijo. Pričnejo se usedati na notranjo stran valja (določamo maso) ali ša jih štejemo (merimo porazdelitev velikosti in električnega naboja). Ta merilnik se uporablja predvsem za laboratorijske raziskave in avtomatska merjenja.

Sledita dva način obdelovanja pridobljenih podatkov:

- a) filter prenesemo na objektno steklo mikroskopa, s paro organskih topil filter raztopimo. Vzorec lahko obarvamo ali pa ga analiziramo z optičnim mikroskopom s povečano ločljivostjo. Kot rezultat dobimo število delcev/m<sup>3</sup> zraka.
- b) Organski filter sežgemo v toku kisline. Vlakna štejemo pod mikroskopom in določimo elementno kemijsko sestavo

### Termični merilniki:

Delujejo na principu efekta temperaturnega gradienta

### Število delcev v zraku



## PREDPISOVANJE MERITEV

- Predhodne raziskave: jih opravimo pred pričetkom rednega obratovanja (za pridobitev uporabnega dovoljenja). Potekajo med poskusnim obratovanjem, ko je proizvodni postopek utečen, ko proizvodnja doseže polno kapaciteto in ko so razmere ekvivalentne razmeram tekom rednega obratovanja
- Periodične raziskave: jih opravimo po začetku rednega obratovanja, najmanj vsaka tri leta. Opravljajo se predvsem tam, kjer je nevarnost večja (bonificirana delovna doba), na najmanj dve leti.

## NAMEN MERITEV

- Orientacijske: nam nudijo vpogled v dejansko stanje. So lahko predhodne ali periodične
- Podrobne: se opravijo po končanih predhodnih ali periodičnih na mestih, kjer cenjujemo, da rezultati meritev niso dovolj zanesljivi za oceno obremenitve delavca. Vrednosti so blizu MDK. Izvedemo jih tudi takrat, ko domnevamo, da stanje med meritvijo ni bilo običajno.
- Posebne: ne sodijo v okvir običajnih meritev. Nihov namen je izboljšanje, sprememba tehnologije, projektiranje. Izvaja se jih za izbiro ukrepov.

## VAROVALNI UKREPI

Upoštevati je potrebno učinkovitost ukrepov, ceno, povečanje obratovalnih stroškov, zanesljivost ter vplive na okolico.

Preventivni ukrepi so najcenejši, najbolj učinkoviti. Predvidimo jih ob izbiri postopka, načrtovanja in prave projektne dokumentacije.

Upoštevati moramo prednostni red ukrepov glede na ceno in učinkovitost.

- Izbira postopka: Izbrati moram postopek, pri katerem nastaja čim manj nevarnih snovi in prahu (rezanje namesto drobljenja, mokro brušenje namesto suhega brušenja,...
- Izbira ali zamenjava snovi: Obstoječe snovi zamenjamo s snovmi, katere predstavljajo manjšo nevarnost za požar, eksplozijo, s snovmi katere imajo drugo MDK,...
- Omejevanje prašenja v okolico: odpraševanje uvedemo že pri viru nastajanja prahu
- Kabina za delavca: če je možno bi bil delavec nekako ločen od prahu
- Razporeditev delavnih mest: delavci naj se nahajajo na območju svežega, čistega zraka. Vir prahu naj se nahaja v toku zraka, ki teče v smeri od delavca proti izstopu
- Organizacija dela: delavec naj se nahaja v zaprašenem okolju čim krajši možni čas
- Uvedba ali povečanje splošnega odpraševanja: povečanje prezračevanja, izmenjava zraka na določen čas.
- Avtomatizacija in robotizacija proizvodnega postopka: namesto delavca naj bo prahu izpostavljen stroj, robot,...
- Osebna varovalna sredstva: uporabimo jih kot zadnji in izjemni ukrep v primeru če prejšnji ukrepi niso izvedljivi. OVS nam predstavlja začasni ukrep v času do ugotovitve ogroženosti delavca do izvedbe enega izmed prejšnjih ukrepov.

## OSEBNA VAROVALNA SREDSTVA PRED PRAHOM

Razlikujejo se po namenu in učinkovitosti. Prepoznamo jih po posebnih oznakah, v skladu s standardi.

NC – varovalna sredstva za nestrupene delce

ST I – mineralni prah

ST II – strupeni prah, kovinski hlapi

ST III – radioaktivni prah in zelo strupeni delci

Za zelo nevarne snovi in velike koncentracije se kot zaščita uporablja ustrezna varovalna obleka-izolacijska naprava (maska z dotokom čistega zraka).

Priključek nam omejuje gibanje, zrak je primerne temperature, vlažnosti in čistosti, težje maske obremenijo vratna vretena in mišice (spreminjajo ravnatežje glave), maska z očali zmanjšuje vidno polje in tako povečuje nevarnost za poškodbe.

Nepravilna uporaba osebnega varovalnega sredstva je zelo nevarna – delavec ima občutek da je zavarovan, zato pa je manj pazljiv.

## POSTOPKI ZA ZMANJŠEVANJE ZAPRAŠENOSTI

- Postopki z majhnim prašenjem:
  - postopki s šibkim virom prašenja (rezanje namesto drobljenja, struženje namesto brušenja, mokro brušenje,...)
  - postopki z omejevanjem raznašanja prahu v okolico (vlaženje, zmanjšanje inducirane hitrosti zraka).
- Odsesovanje prahu (odsosovalne šobe, napa, prašne komore)

Pri nekaterih postopkih (brušenje, poliranje,...) imajo nastajajoči prašni delci veliko začetno kinetično energijo. Npr. brušenje: začetna hitrost delca je enaka tangencialni hitrosti brusilnega koluta.

$$v = \frac{3 \pi d \eta}{m L} \quad L = \frac{18 \eta}{d^2 \rho_d}$$

$$L = 18 \eta$$

$$L \dots \text{doseg delcev}$$

$$v \dots \text{hitrost delca}$$

Domet delcev zaradi začetne hitrosti, ki jo da stroj, je praviloma majhen. Ocena je določena za mirujoči zrak. Če se zrak giblje, lahko delci s tokom prepotujejo večjo razdaljo. Inhalabilni delci potujejo predvsem z gibajočim se zrakom, ki ga lahko inducira naprava, postopek,... zato je nujno omejevanje raznašanja prahu v okolico.

## OMEJEVANJE RAZNAŠANJA PRAHU V OKOLICO

- ✓ Vlaženje: iz delcev nastanejo agregati, zadostuje že 5% vlaga v sipkem materialu. Ta postopek pride v poštev za netopne vrste prahu, za prah ki z vodo ne reagira. S tem postopkom ne smemo omejevati apna, karbida, aluminijevega prahu ter organskih snovi. Posebnopozornost pa moramo nameniti vodi s prahom.
- ✓ Omejevanje toka inducirane zraka: tok zraka induciramo (npr. pri pretresanju sipkega materiala). Zmanjšamo višino in hitrost presipanja, uvedemo odsesovanje.
- ✓ Odsesovanje zraka: zajamemo čim bližje mestu nastanka, amestimo odsosovalne šobe, nape. V poštev pridejo tudi prašne komore in digestoriji.
- ✓ Odsosovalne šobe:
  - točkasti ponor: sesa trak iz okolice v vseh smereh. Skozi poljubno izbrano površino lrogle teče enak volumski tok zraka kot teče v ponor. Spreminja se torej hitrost. Dejanska sesalna šoba ni točkast ponor ampak ima obliko kona cevi. Sesalna hitrost je največjana ustju in pada z razdaljo
  - postavna okrogla ali pravokotna šoba brez prirobnice: na razdalji premera pade hitrost za 7,5%. Na večjih razdaljah hitrost pada počasneje kot napoveduje enačba.
  - Šoba s priobnico: na razdalji  $1.25d$  pade hitrost za 7.5%.
  - Podolgovata šoba: tukaj je pomembno razmerje med višino (H) in dolžino (L).

V praksi se šobe nameščajo čim bližjemestu nastanka praha. HVLV sistem-odsosovanje prahu s posebnimi šobami

- ✓ Digestoriji: se uporabljajo za lokalno odvajanje nevarnih snovi. Glede na sam namen poznamo različne izvedbe (rokavični, destilacijski,...)

## ODPRAŠEVANJE

Je proces odstranjevanja prašnih delcev. Pomemba pri odpraševanju je stopnja odpraševanja, temperaturno območje uporabe in kemična odpornost prahu. Pri tej dejavnosti izkoriščamo zakonitosti gibanja delcev v polju gravitacije, centrifugalne sile, električnega polja, impakcije, prestrežanja, ...).

Glede na način delovanja poznamo:

- Usedalne komore
- Mehanske zbiralnike (cikloni)
- Elektrofiltri
- Mokri odpraševalniki
- Tkaninski filtri

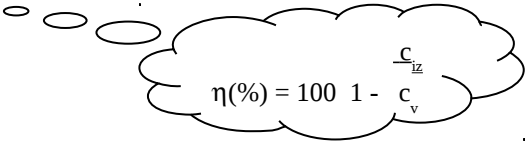
#### STOPNJA ODPRAŠEVANJA

Manjša je propustnost, večja je stopnja odpraševanja

$c_v$  ... koncentracija prahu na vstopu v odpraševalnik

$c_{iz}$  ... koncentracija prahu na izstopu

$c_{iz}/c_v$  ... propustnost odpraševalnika



$$\eta(\%) = 100 \cdot 1 - \frac{c_{iz}}{c_v}$$

Stopnja odpraševanja je odvisna od vrste in konstrukcije odpraševanja, ter od lastnosti določene vrste prahu (gostota, granulacija, ...)

$v_z$  ... hitrost zraka skozi odpraševalnik, s katero potuje delec

$v_s$  ... sedimentacijska hitrost delca proti usedalni ploskvi

$S$  ... ploskev, m na kateri se prašni delci odlagajo in izločijo iz zraka (dno usedalne komore, površina zunanega valja pri ciklonu, plošča za usedanje prahu v elektrofiltru, ...)

$P$  ... merilo za učinkovitost odpraševalnika

$$P = \frac{S}{v_s \cdot V}$$

$K$  ... kinematični parameter odpraševalnika (povezan z gibanjem delcev in gibanjem zraka)

$$K = \frac{v_s}{v_z}$$

$G$  ... geometrijski parameter odpraševalnika

$$G = \frac{S}{S_v}$$

$S_v$  ... velikost vhodne odprtine

#### VRSTE ODPRAŠEVALNIH USEDALNIH KOMOR

Usedanje je najbolj enostavna metoda za odstanjevanje prahu iz zraka. Delci se v motenem toku odlagajo.

$P$  je velik (takrat je odpraševanje učinkovito pri velikih delcih, majhni hitrosti zraka, veliki odlagalni površini, majhni vstopni odprtini).

Velike delce ( $d > 30 \mu\text{m}$ ) usedalna komora praktično popolnoma zadrži. Torej zanje velja  $P=1$ .