

RSU Darba drošības un vides veselības institūts

Seminārs Rīga, 17.novembrī 2017.gadā

«Putekļi darba vidē»

Žanna Martinsons

RSU DDVVI Higiēnas un arodslimību laboratorija

zanna.martinsons@rsu.lv

Plāns

- Putekļi, to iedalījums
- Putekļu īpašības
 - » Putekļu izmērs
 - » Struktūra
 - » Ķīmiskais sastāvs u.c.
- Riska noteikšana un mērīšanas taktika
- Putekļi darba vidē (koncentrācijas)
- Nanodaļas (ultrasīkās daļiņas)
- Aktualitātes nākotnē saistītas ar putekļu ekspozīcijas izvērtēšanu

Putekļi darba vidē

■ Nozares ar ražošanas procesiem, kas ir saistīti ar putekļu veidošanos:

- kokapstrāde,
- metālapstrāde,
- būvniecība,
- būvmateriālu ražošana
- tekstilrūpniecība,
- pārtikas ražošana
- mašīnbūve
- lauksaimniecība u.c. nozares.



Kas ir putekļi?

- Ražošanas putekļi ir cietu vielu smalki dispersu daļiņu kopums, kas rodas darba procesā un zināmu laiku atrodas gaisā līdzsvarotā stāvoklī.
- Putekļi ir aerosols, t. i., dispersa sistēma, kurā disperso fāzi veido cietās daļiņas, bet disperso vidi – gaiss.
- Daļiņas sastāv no dažādām ķīmiskām vielām, kuras var noteikt, lai precīzāk raksturotu putekļu sastāvu.

Putekļu iedalījums

Pēc putekļus veidojošo vielu rakstura izšķir:

- **organiskos putekļus:** augu (koka, miltu, tabakas, kokvilnas), dzīvnieku (ādas, vilnas, matu), mākslīgos (plastmasu), mikroorganismu (sēņu, baktēriju);
- **neorganiskos putekļus:** metālu (dzelzs, vara, alumīnija), minerālu (kvarca, azbesta, kaļķu, cementa);
- **jauktos putekļus.**

Pēc veidošanās procesa putekļus iedala

- **Dezintegrācijas aerosolos**, kas veidojas, ja cietās vielas sasmalcina skaldot, urbjot, maļot u. tml. (metālapstrādē, kokapstrādē, celtniecības materiālu ražošanā un tekstilrūpniecībā).
- **Kondensācijas aerosolos**, kas veidojas, kondensējoties stipri sakarsētu metālu (piemēram, cinka, alumīnija u. c. krāsaino metālu) tvaikiem, ja tos atdziestē (metināšanas un lodēšanas procesi).
- *Kondensācijas aerosolu daļiņas ir daudz mazākas par dezintegrācijas aerosolu daļiņām.*

Cita veida aerosoli

- **Dūmi** – aerosols, kas veidojas, gāzēm pārvēršoties sīkās cietās daļiņās degšanas, sublimācijas vai kondensācijas procesā.
- **Garaiņi/tvaiki** – gāzveida, molekulāri dispersa, parasti cietā vai šķidrā stāvoklī esoša vielu forma.
- **Migla** – šķidrums aerosols, kas veidojas, sadaloties un kondensējoties šķidrums, radušies pilieni apņem atbilstošos kodolus, un, pilieniem iztvaikojot, pāri paliek ļoti mazas daļiņas, kuru diametrs ir 2–3 μm .

Putekļu īpašības

- Izmērs jeb dispersitāte,
- Īpatnējais svars/blīvums,
- Struktūra un forma,
- Daļiņu cietības pakāpe
- Šķīdība
- Putekļu eksplozivitāte.

Aerosolu daļiņu lielums

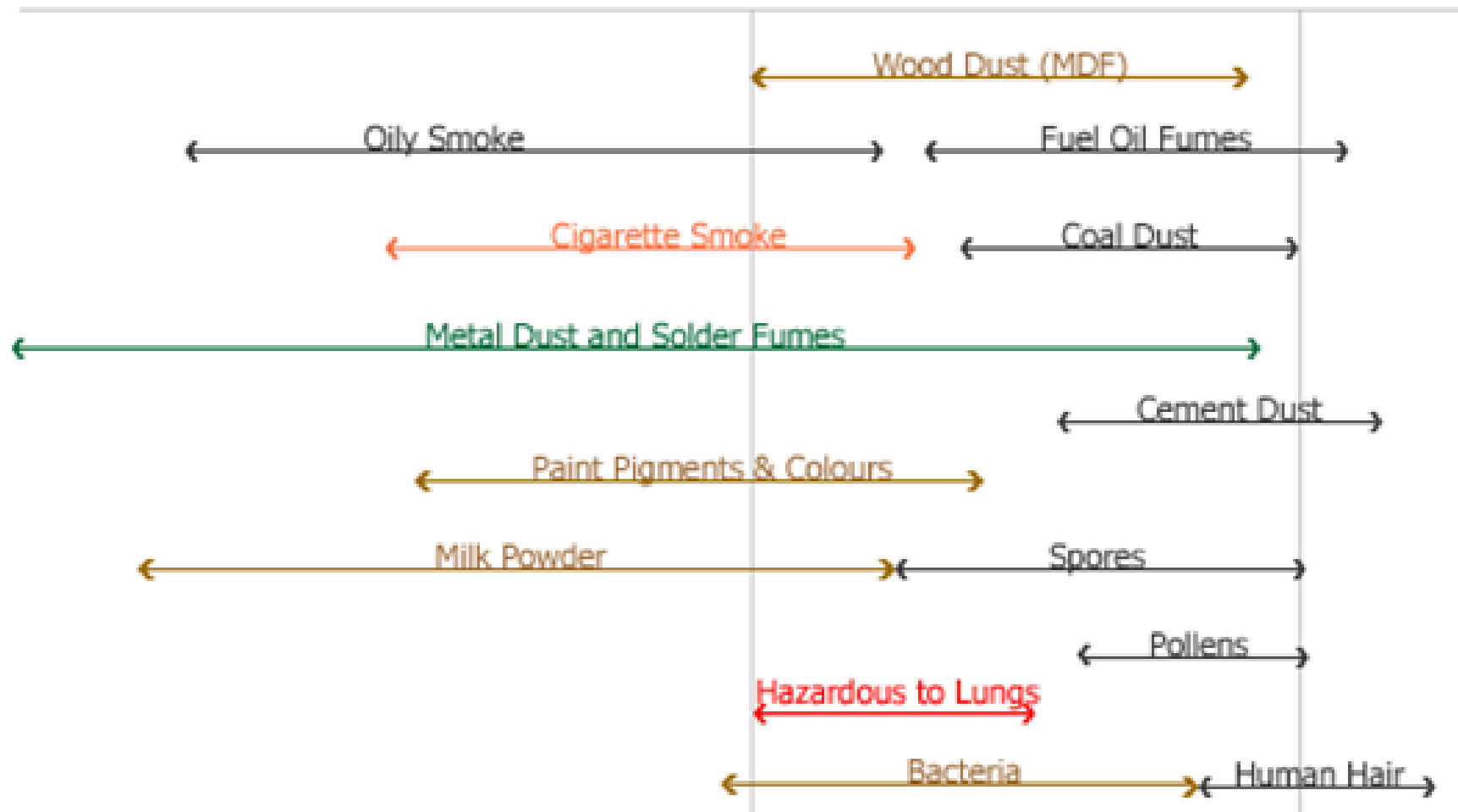
- Aerosolu daļiņu lielums jeb dispersitāte nosaka, cik dziļi tās var iekļūt elpceļos un kādu efektu izraisīt.

Pēc daļiņu lieluma putekļus iedala:

- **redzamajos** – diametrs ir lielāks par 10 μm ;
- **mikroskopiskajos** – diametrs ir 0,25–10 μm ;
- **ultramikroskopiskajos** – diametrs mazāks par 0,25 μm . Ietver **NANODAĻIŅAS** – diametrs mazāks par 0,1 μm .

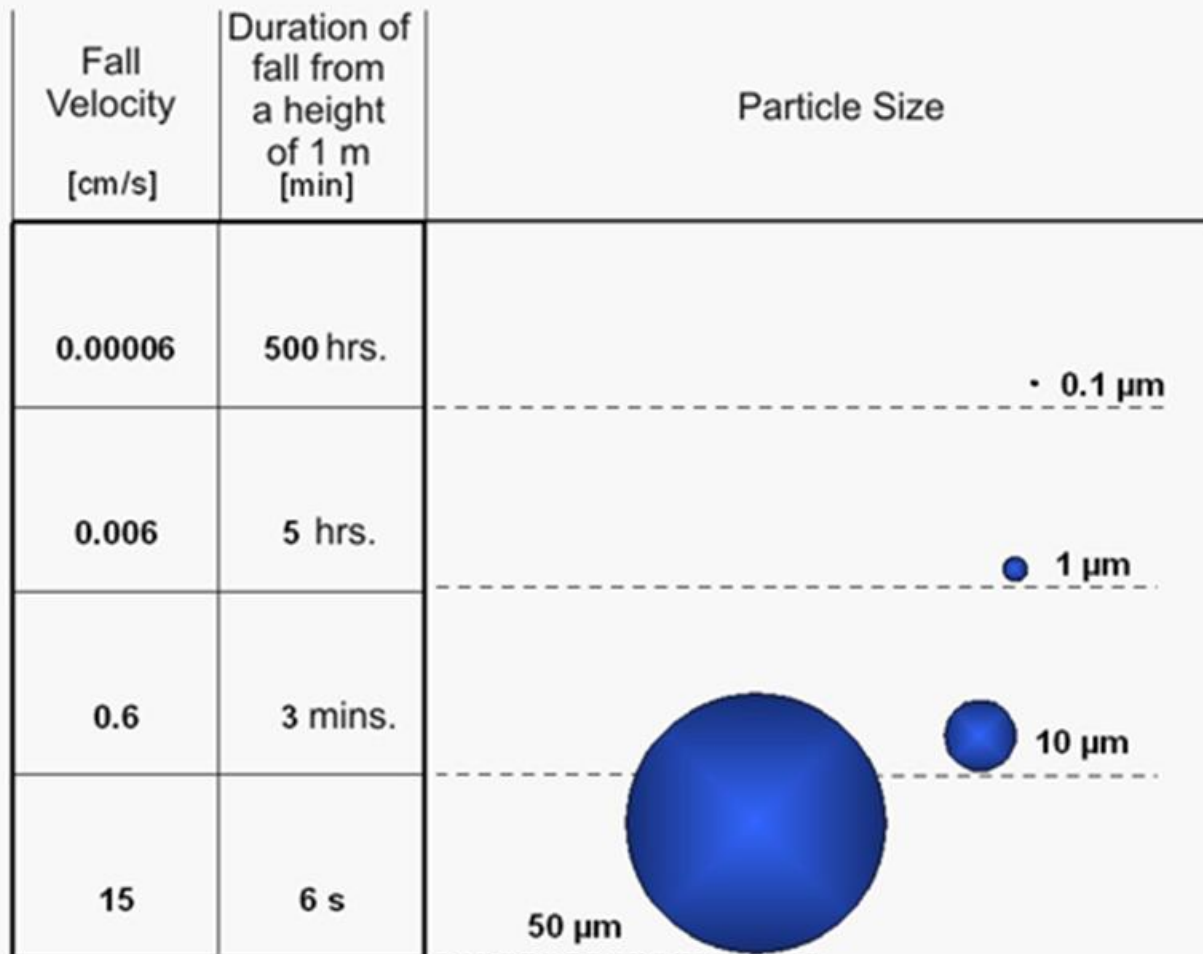
Putekļu veidi un izmērs

0.001, 0.002, 0.004, 0.006, 0.008, 0.01, 0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0, 10, 20, 40, 60, 80, 100, 200, 400, 500



Avots: <https://stusshed.com/tag/microclene/>

Redzami putekļi nosēžas samērā strauji un tāpēc ir mazāk bīstami par mikroskopiskajiem putekļiem, kas nosēžas ļoti lēni.



Avots: <http://www.nepsi.eu/dont-give-dust-chance>

- Ultramikroskopiskie putekļi flokulācijas procesā veido konglomerātus, ko ietekmē gravitācijas spēks, kurš veicina to ātrāku nosēšanos.
- Flokulācijas process paātrinās, gaisam samitrinoties.

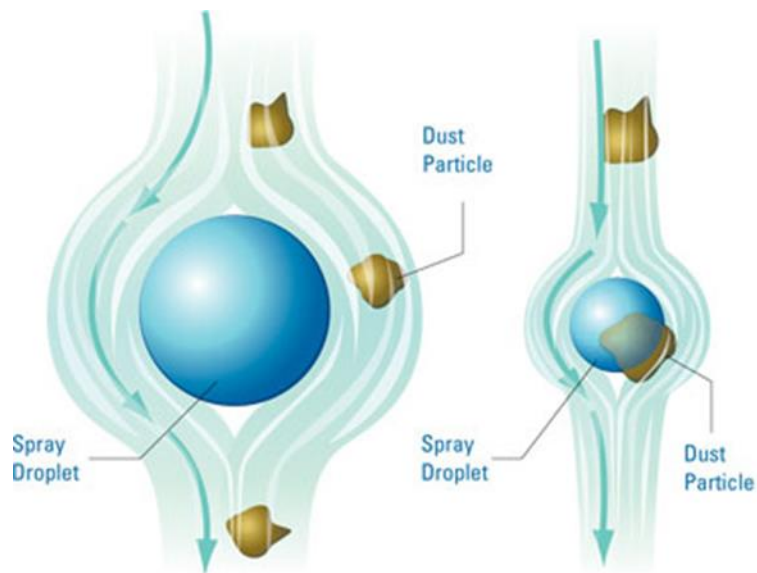
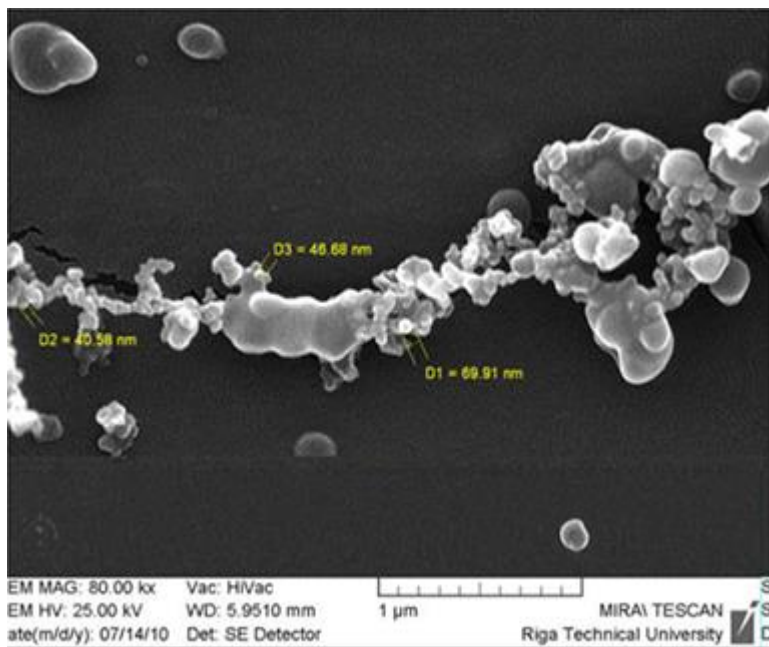
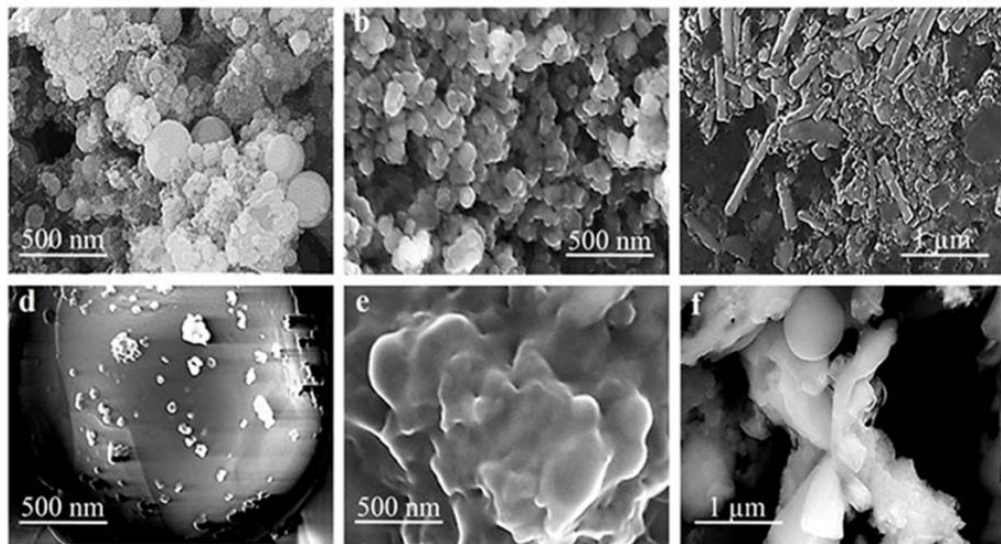


Figure 4

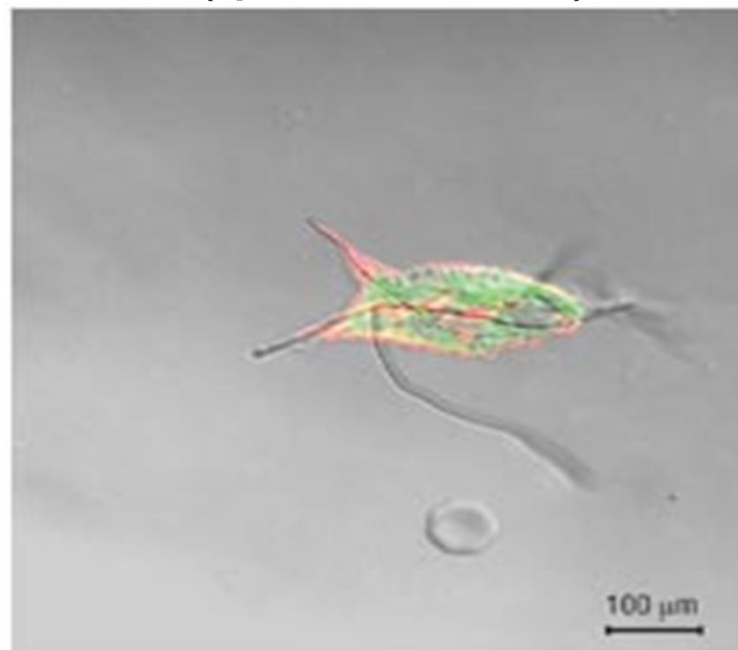
If the drop diameter is larger than the dust particle diameter, the dust particle will follow the air stream around the drop. (Shown left.) If the diameters of the drop and the dust particle are comparable, the dust particle will follow the air stream and collide with the drop. (Shown right.)

Putekļu forma

- Nozīme ir arī daļiņu formai un struktūrai (īpaši cietībai).



Picture 3. Dust particles by their chemical composition and shape (a – silica, b – iron oxide, c – zinc oxide, d – organic dust with iron oxide inclusions, f – organic dust, silica spheres and sodium chloride crystals)



- Ļoti smalkas, tievas un cietas šķiedrveida daļiņas (azbests) ir grūti izvadīt no elpceļiem ar dabiskiem aizsargmehānismiem.

Putekļu cietība

- Dezintegrācijas aerosoli satur lielākas un nepareizas formas daļiņas, nereti ar asām šķautnēm (piemēram, **silīcija dioksīds, kvarcs, azbests**).
- Putekļi, kuru daļiņām ir liela cietības pakāpe, ir: **silīcija dioksīdu** saturošu materiālu, **akmeņogļu, sarkankoka, dižskābarža** un **ozola** u.c. putekļi.

Putekļi un mikroorganismi

- Putekļu daļiņas bieži absorbē ūdens tvaikus, īpaši atmosfērā ar augstu mitruma pakāpi.
- Organiskas izcelsmes putekļi darba vidē var veicināt paaugstinātu baktēriju vai sēņu koncentrāciju gaisā.
- Uz putekļu daļiņu virsmas var būt arī adsorbētas gāzes un šķīdumu tvaiku fāzē esošas ķīmiskās vielas.

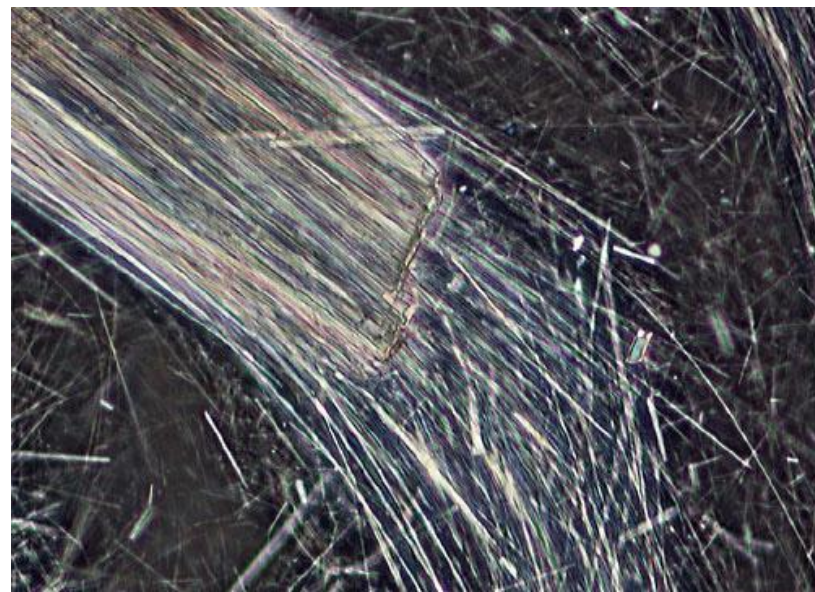
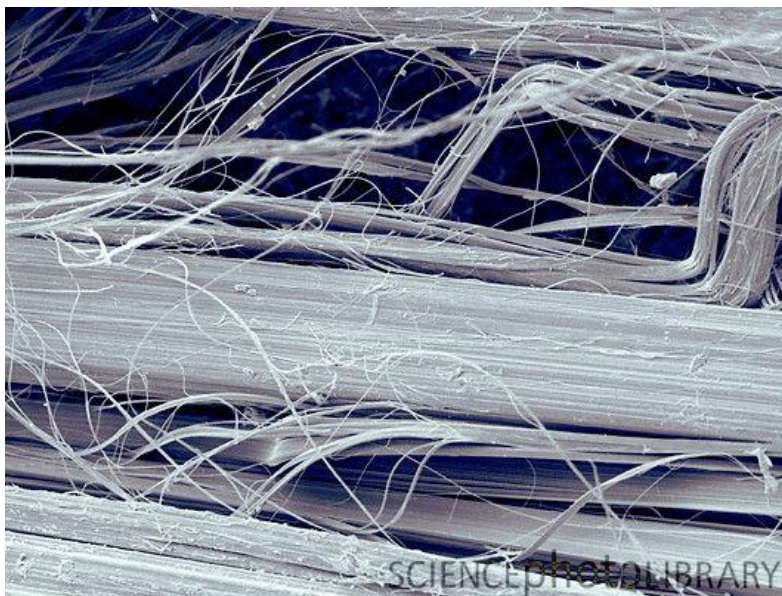
Putekļu normas

- Putekļiem ar izteiktu toksicitāti AER noteikta daudz stingrāka.
 - » Abrazīvie putekļi – 2 mg/m^3
 - » Metināšanas aerosols – 4 mg/m^3
 - » Azbesta šķiedras – $0,1 \text{ šķiedra/cm}^3$



Kas ir azbests?

Azbests ir šķiedrveida silikātu minerāls, kuram piemīt īpašības: mehāniskā izturība un elastība, termiska noturība, labas siltumizolācijas spējas u.c. Azbests ir ļoti kaitīgs veselībai, tas ir kancerogēns un izraisa ļaundabīgus audzējus.



Putekļu eksplozivitāte

- Daudziem putekļiem (piemēram, ogļu, cukura, miltu, cietes, zirņu, sēra, alumīnija, cinka) piemīt eksplozīvas īpašības.
- Lai notiktu sprādziens, nepieciešama augsta temperatūra (liesma, dzirkstele, elektrisks lādiņš) un pietiekami liela putekļu koncentrācija gaisā.
- Minimālais putekļu daudzums, kas var radīt eksploziju, dažādu šķirņu oglēm ir 30–40 g/m³, cietes, alumīnija, sēra putekļiem – 7 g/m³, cukuram – 10,3 g/m³.

<p>Agricultural Products Egg white Milk, powdered Milk, nonfat, dry Soy flour Starch, corn Starch, rice Starch, wheat Sugar Sugar, milk Sugar, beet Tapioca Whey Wood flour</p>	<p>Cottonseed Garlic powder Gluten Grass dust Green coffee Hops (malted) Lemon peel dust Lemon pulp Linseed Locust bean gum Malt Oat flour Oat grain dust Olive pellets Onion powder Parsley (dehydrated) Peach Peanut meal and skins Peat Potato Potato flour Potato starch Raw yucca seed dust</p>	<p>Soybean dust Spice dust Spice powder Sugar (10x) Sunflower Sunflower seed dust Tea Tobacco blend Tomato Walnut dust Wheat flour Wheat grain dust Wheat starch Xanthan gum</p>	<p>Chemical Dusts Adipic acid Anthraquinone Ascorbic acid Calcium acetate Calcium stearate Carboxy-methylcellulose Dextrin Lactose Lead stearate Methyl-cellulose Paraformaldehyde Sodium ascorbate Sodium stearate Sulfur</p>	<p>Epoxy resin Melamine resin Melamine, molded (phenol-cellulose) Melamine, molded (wood flour and mineral filled phenol-formaldehyde) (poly) Methyl acrylate (poly) Methyl acrylate, emulsion polymer Phenolic resin (poly) Propylene Terpene-phenol resin Urea-formaldehyde/cellulose, molded (poly) Vinyl acetate/ethylene copolymer (poly) Vinyl alcohol (poly) Vinyl butyral (poly) Vinyl chloride/ethylene/vinyl acetylene suspension</p>
<p>Agricultural Dusts Alfalfa Apple Beet root Carrageen Carrot Cocoa bean dust Cocoa powder Coconut shell dust Coffee dust Corn meal Cornstarch Cotton</p>	<p>Carbonaceous Dusts Charcoal, activated Charcoal, wood Coal, bituminous Coke, petroleum Lampblack Lignite Peat, 22% H₂O</p>	<p>Metal Dusts Aluminum Bronze Iron carbonyl Magnesium Zinc</p>	<p>Plastic Dusts</p>	

Dust Control Measures

The dust-containing systems (ducts and dust collectors) are designed in a manner (i.e., no leaking) that fugitive dusts are not allowed to accumulate in the work area.

The facility has a housekeeping program with regular cleaning frequencies established for floors and horizontal surfaces, such as ducts, pipes, hoods, ledges, and beams, to minimize dust accumulations within operating areas of the facility.

The working surfaces are designed in a manner to minimize dust accumulation and facilitate cleaning.

Ignition Control Measures

Electrically-powered cleaning devices such as vacuum cleaners, and electrical equipment are approved for the hazard classification for Class II locations.

The facility has an ignition control program, such as grounding and bonding and other methods, for dissipating any electrostatic charge that could be generated while transporting the dust through the ductwork. The facility has a Hot Work permit program.

Areas where smoking is prohibited are posted with "No Smoking" signs. Dust systems, dust collectors, and dust-producing machinery are bonded and grounded to minimize accumulation of static electrical charge.

The facility selects and uses industrial trucks that are approved for the combustible dust locations.

Prevention Measures

The facility has separator devices to remove foreign materials capable of igniting combustible dusts.

MSDSs for the chemicals which could become combustible dust under normal operations are available to employees.

Employees are trained on the explosion hazards of combustible dusts.

Protection Measures

The facility has an emergency action plan.

Dust collectors are not located inside of buildings. (Some exceptions)

Rooms, buildings, or other enclosures (dust collectors) have explosion relief venting distributed over the exterior wall of buildings and enclosures.

Explosion venting is directed to a safe location away from employees.

The facility has explosion devices to prevent deflagration propagation between pieces of equipment connected by ductwork.

The dust collector systems have spark detection and explosion/deflagration suppression systems.

Emergency exit routes are maintained properly.

Noderīgas informācijas avots
https://www.ccohs.ca/oshanswers/chemicals/combustible_dust.html

Galvenais ekspozīcijas veids - ieelpojot

- Iedarbības kaitīgais efekts atkarīgs no:
 - » ražošanas aerosola īpašībām,
 - » koncentrācijas gaisā,
 - » ekspozīcijas intensitātes (biežuma) un ilguma,
 - » ekspozīcijai pakļautās personas uzņēmīguma.

Putekļu/aerosolu novērtēšanas būtiskākie pamatprincipi

- Identificēt **visus putekļu veidus, visus darba procesus, visus pakļautos darbiniekus**
- Novērtēt risku (aptauja, mērījumi, novērtēšanas metodika u.t.t.)
- Informēt un apmācīt darbinieku
- Plānot un veikt preventīvos pasākumus (**sākt vismaz ar sliktāko situāciju**)
- Uzraudzīt situāciju! (*Mērījumi pasūtīti darba vietā, kas jau 2 gadus ir likvidēta....*)

Putekļu/aerosolu koncentrācijas noteikšana

- Personalizēti paraugi
- Darba zonas paraugi
- Fona paraugi

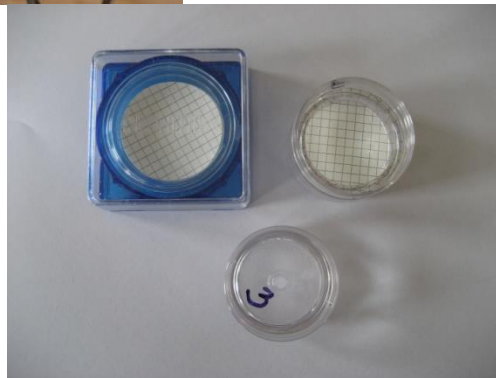
Nepareizi!!!

*Veikt ekspozīcijas
noteikšanu*

*pēc ražošanas fona
paraugu rezultātiem.*



Ķīmisko vielu noteikšanas metodes darba vides gaisā



Ēku būvniecība - piemēri

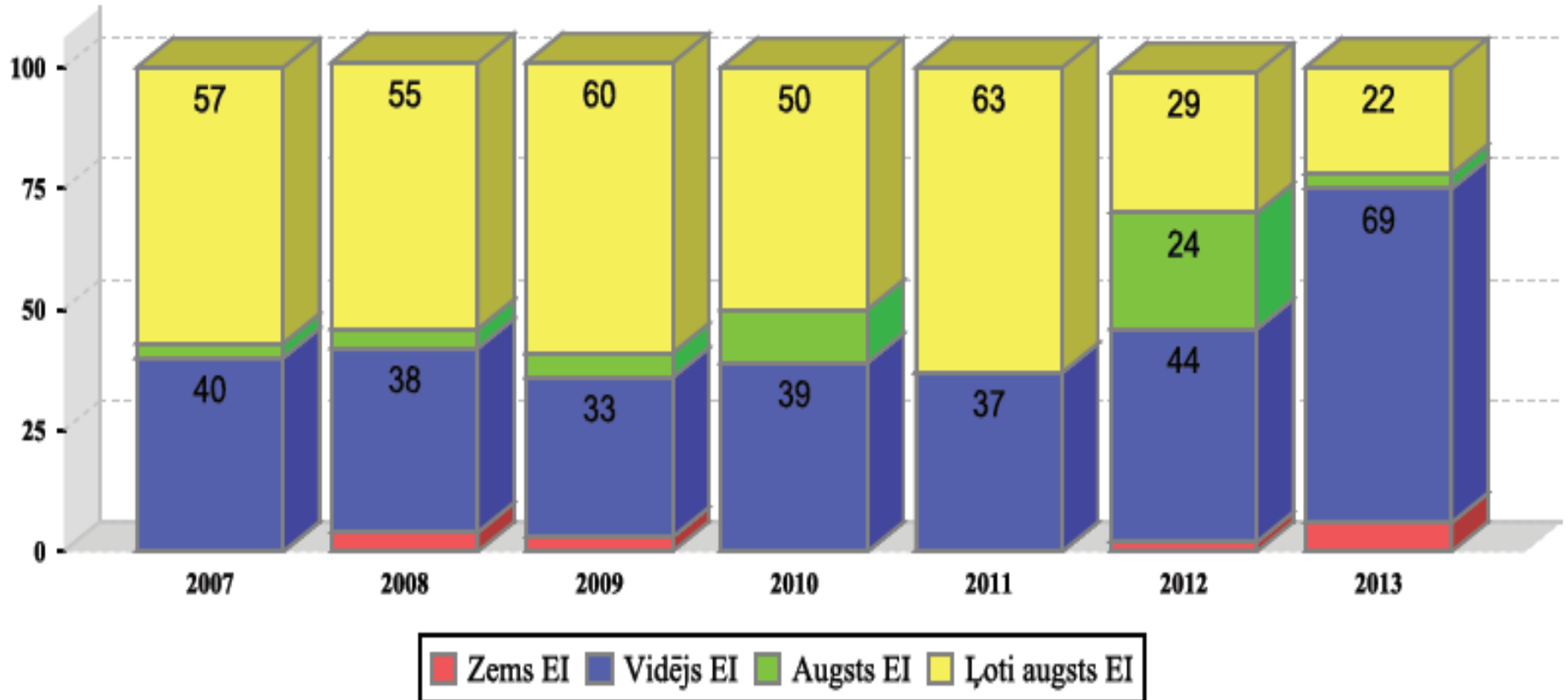
- ❑ **Putekļi (abrazīvie)** - Metāla sijas metinājumu vietas slīpēšana ar leņķa slīpmašīnu no 11,65 - 19,6 mg/m³
- ❑ **Putekļi (cementa)** - Darbs ar slīpmašīnu no 1,12 – 16,62 mg/m³
- ❑ **Putekļi (koka)** - Koka siju zāģēšana 7,2 mg/m³
- ❑ **Metināšanas aerosols** - 1,57 – 36,7 mg/m³

Pārtikas ražošanas – piemēri

mērīšanas vieta	viela	EI robežas
kakao pupiņu šķirošana, malšana, glazūru iecirknis	augu putekļi	0.05-1.2
cukura malšana, pildījuma gatavošana, glazūru iecirknis	cukura putekļi	0.06-19.4
mīklas gatavošana	miltu putekļi	0.6-7.4

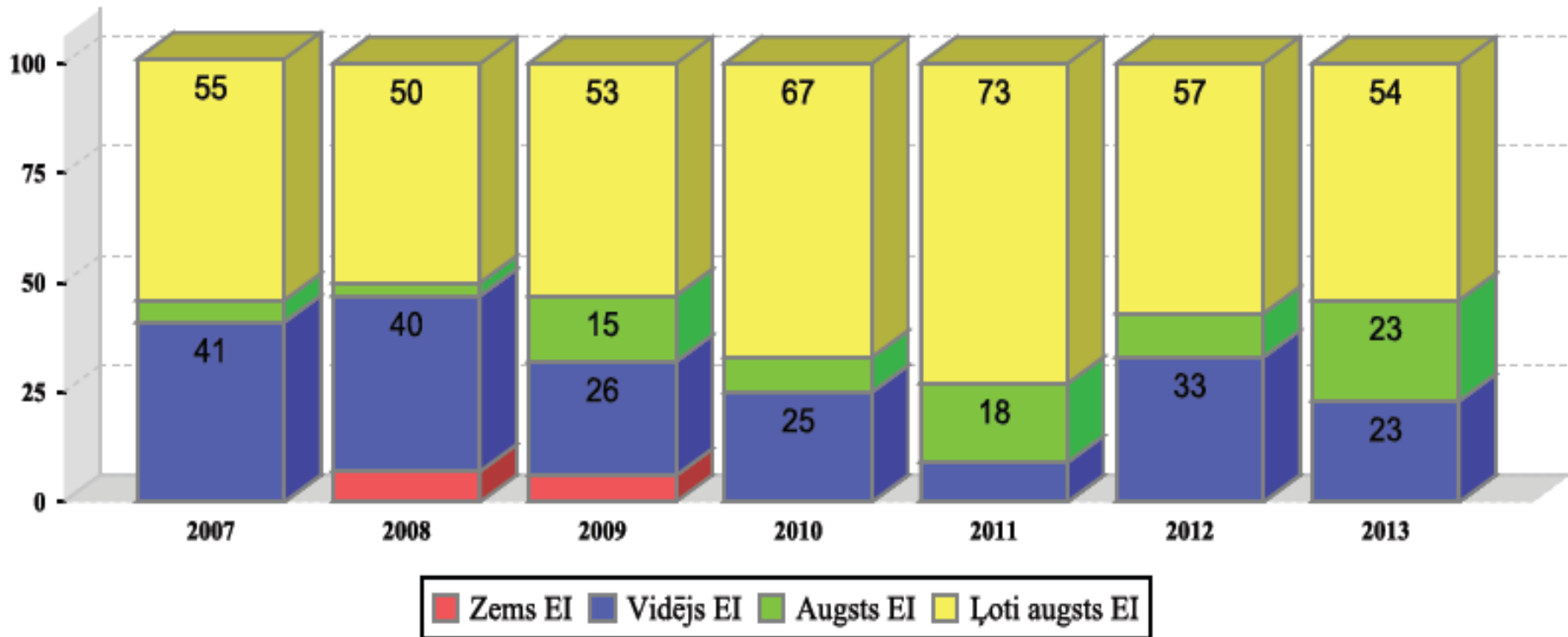
Metināšanas aerosols – metālapstāde

Ekspozīcijas indeksi pa gadiem (%)
Metināšanas aerosols (AER = 4.0000, mg/m³)



Abrazīvie putekļi - metālapstrāde

Ekspozīcijas indeksi pa gadiem (%)
Putekļi (abrazīvie) (AER = 2.0000, mg/m³)



Metināšanas darbi

	Metināšanas aerosols	Mangāns
	N = 85	N = 59
Vid.	11,9	0,5
Median	4,0	0,03
Min	0,02	0,001
Max	351,2	23,4
AER	4,0	0,1

Citu ķīmisko vielu koncentrācijas - metālapstrāde

	Abrazīvie putekļi	Putekļi
	n=43	n=71
Vid.	6,8	13,2
Median	2,7	3,0
Min	0,3	0,32
Max	46,43	454,8
AER	2,0	4,0

Aizsarggāzes ietekme uz ķīm. vielu koncentrācijām veicot metināšanu ar pusautomātu

Aizsarggāzes numurs	Mēramie parametri	Mērījumu rezultāts (vidējais lielums $M \pm u$)	Normatīvais lielums, AER
1. Aizsarggāze	Metināšanas aerosols	5,0 \pm 0,8	4
	Ozons	0,38 \pm 0,06	0,1
	Oglekļa monoksīds	3,5 \pm 0,5	20
	Slāpekļa dioksīds	< 0,2*	2
2. Aizsarggāze	Metināšanas aerosols	3,1 \pm 0,5	4
	Ozons	< 0,001	0,1
	Oglekļa monoksīds	2,6 \pm 0,4	20
	Slāpekļa dioksīds	< 0,2*	2
3. Aizsarggāze	Metināšanas aerosols	2,6 \pm 0,4	4
	Ozons	0,21 \pm 0,02	0,1
	Oglekļa monoksīds	5,8 \pm 0,9	20
	Slāpekļa dioksīds	< 0,2*	2

Putekļu daļiņu rādītāju un ventilācijas veida novērtējums

Ventilācijas veids	Noteiktie rādītāji	Minimālā vidējā vērtība	Maksimālā vidējā vērtība	Vidējā vērtība	Standartnovirze
nav ventilācijas sistēmas	<i>Alveolārā frakcija, $\mu\text{m}^2/\text{cm}^3$</i>	46.6	55.0	50.8	5.9
	<i>Traheobronhiālā frakcija, $\mu\text{m}^2/\text{cm}^3$</i>	13.2	15.2	14.2*	1.4
	<i>Putekļu daļiņu skaits, daļiņas/m^3</i>	9700.0	14756.0	12228.0*	3575.1
pieplūde/nosūce	<i>Alveolārā frakcija, $\mu\text{m}^2/\text{cm}^3$</i>	11.7	55.5	29.7	15.8
	<i>Traheobronhiālā frakcija, $\mu\text{m}^2/\text{cm}^3$</i>	2.4	13.0	5.2*	3.1
	<i>Putekļu daļiņu skaits, daļiņas/m^3</i>	3150.0	9570.0	6161.4*	2208.5

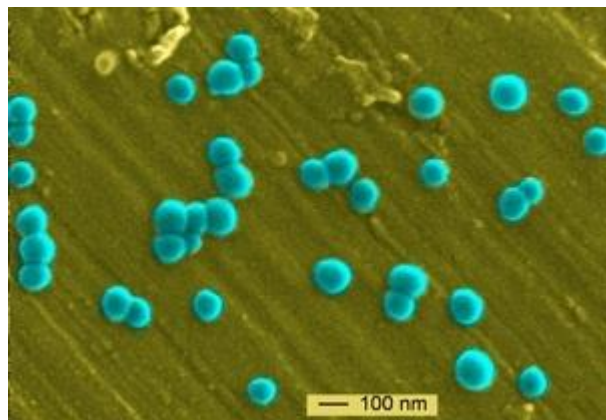
Putekļu daļiņu rādītāju un printēšanas intensivitātes novērtējums

Printēšanas intensivitāte	Noteiktie rādītāji	Minimālā vidējā vērtība	Maksimālā vidējā vērtība	Vidējā vērtība	Standartnovirze
mazāk par 1000 lapām dienā	<i>Alveolārā frakcija, $\mu\text{m}^2/\text{cm}^3$</i>	6.0	54.9	25.3	15.5
	<i>Traheobronhiālā frakcija, $\mu\text{m}^2/\text{cm}^3$</i>	1.5	15.2	5.0	3.8
	<i>Putekļu daļiņu skaits, daļiņas/m^3</i>	1880.0	14756.0	5628.4*	3736.1
vairāk par 1000 lapām dienā	<i>Alveolārā frakcija, $\mu\text{m}^2/\text{cm}^3$</i>	23.4	55.5	40.9	16.8
	<i>Traheobronhiālā frakcija, $\mu\text{m}^2/\text{cm}^3$</i>	4.2	13.2	8.8	5.0
	<i>Putekļu daļiņu skaits, daļiņas/m^3</i>	6462.0	9700.0	8493.3*	1506.1

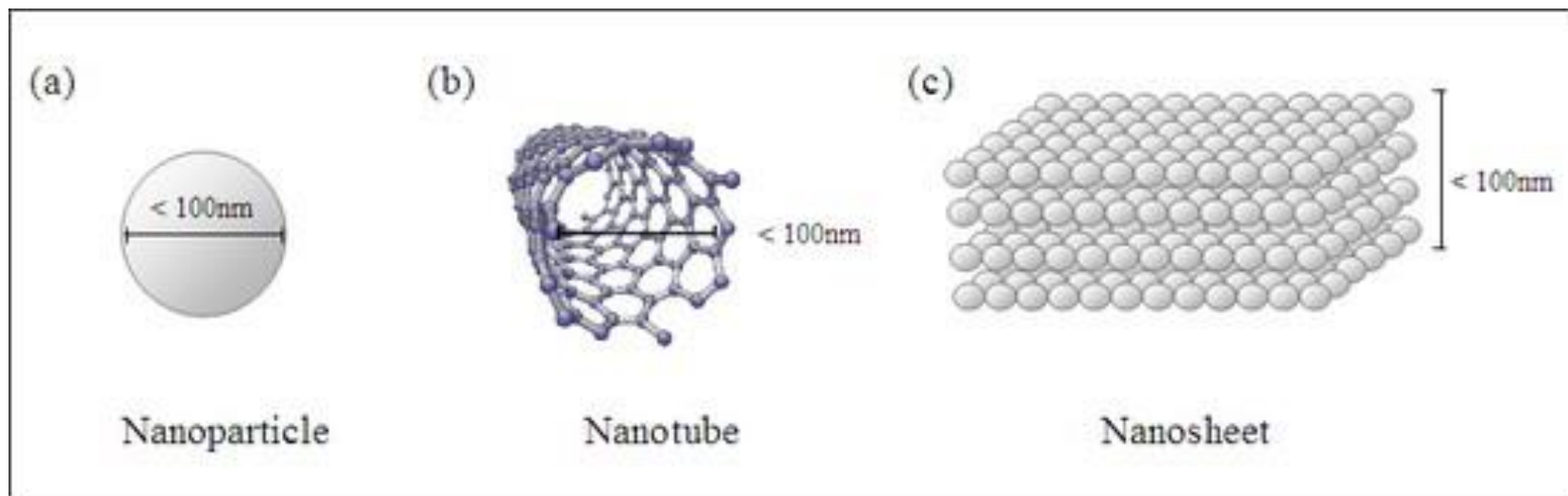
Putekļu daļiņu rādītāju un grīdas seguma veida novērtējums

Grīdas seguma veids	Noteiktie rādītāji	Minimālā vidējā vērtība	Maksimālā vidējā vērtība	Vidējā vērtība	Standartnovirze
mīkstais grīdas segums	<i>Alveolārā frakcija, $\mu\text{m}^2/\text{cm}^3$</i>	11.7	55.5	33.2	15.7
	<i>Traheobronhiālā frakcija, $\mu\text{m}^2/\text{cm}^3$</i>	2.4	15.2	6.5	4.4
	<i>Putekļu daļiņu skaits, daļiņas/m^3</i>	3150.0	14756.0	7300.7	3508.1
parketa/akmens flīžu grīda	<i>Alveolārā frakcija, $\mu\text{m}^2/\text{cm}^3$</i>	6.0	55.0	23.5	18.9
	<i>Traheobronhiālā frakcija, $\mu\text{m}^2/\text{cm}^3$</i>	1.5	13.2	5.3	4.6
	<i>Putekļu daļiņu skaits, daļiņas/m^3</i>	1880.0	9700.0	4910.2	3124.9

Kas ir nanodaļiņas?



Nanodaļiņas - daļiņas, kas vienādas vai mazākas par 100 nm (vismaz vienā dimensijā – plaknē).



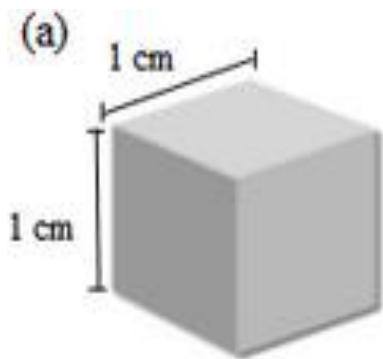
Avots: http://www.cfs.gov.hk/english/programme/programme_rafts/programme_rafts_ft_01_04_Nanotechnology.html

Kur rodas nanodaļiņas?

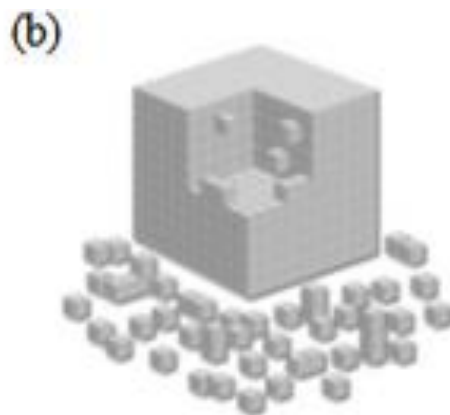
- Dabā – minerālieži (t.sk., azbests), vulkāni, meža ugunsgrēki, fotoķīmiskas reakcijas gaisā (sulfāti, nitrāti u.c.)
- Cilvēka darbības rezultāts – darba vide (metināšana, dzelzs kausēšana) un apkārtējā vidē (transportlīdzekļi, rūpnīcas, mājsaimniecības, piemēram, apkure)
- Mākslīgi radītās – kvēpi, TiO_2 , ZnO_2 , medikamenti u.c.

Nanodaļiņas raksturo:

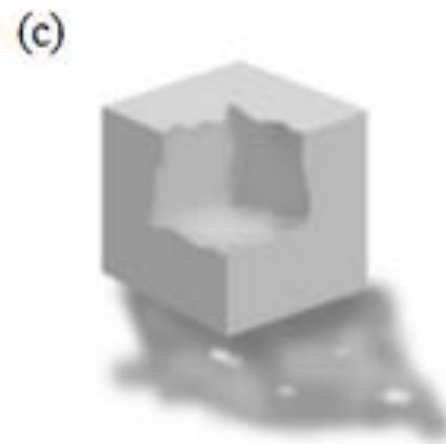
- masa
- diametrs
- virsmas laukums



Total surface area: 6 cm^2



Total surface area: 60 cm^2
(All 1 mm cube)



Total surface area: $60,000,000 \text{ cm}^2$
(All 1 nm cube)

-
- sastāvs (t.sk., ķīmisko vielu, alergēnu klātbūtne)
 - lādiņš, u.c.

Nanodaļiņu piesārņojums vidē

Normāls līmenis:

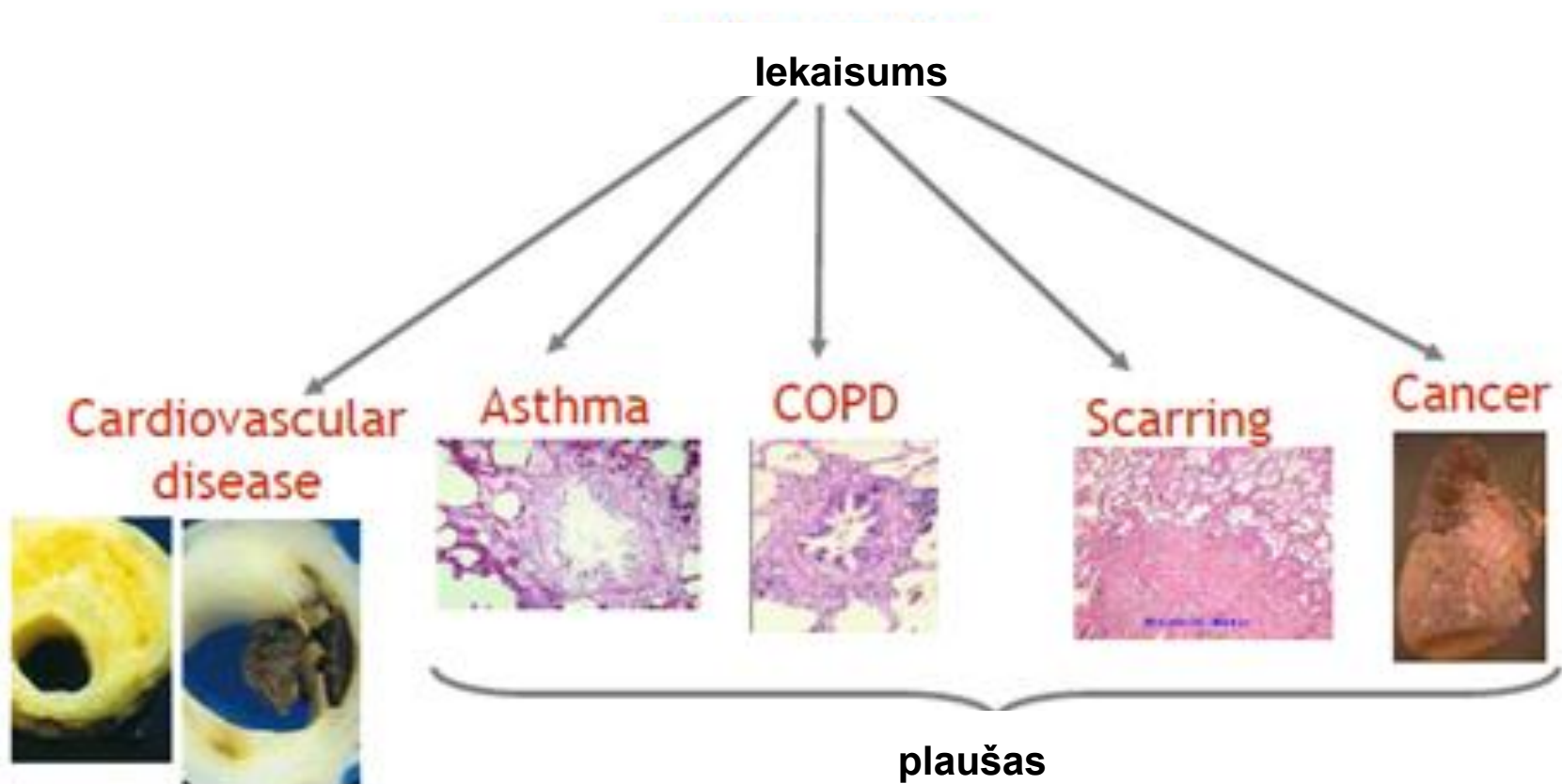
- 5000 daļiņas/ml;
- 50 miljoni daļiņas/24h;
- plaušās – 500 miljoni alveolas
- 5 miljoni alveolāro makrofāgu
- 1 makrofāgs – 10 daļiņas/24h

Piesārņojums:

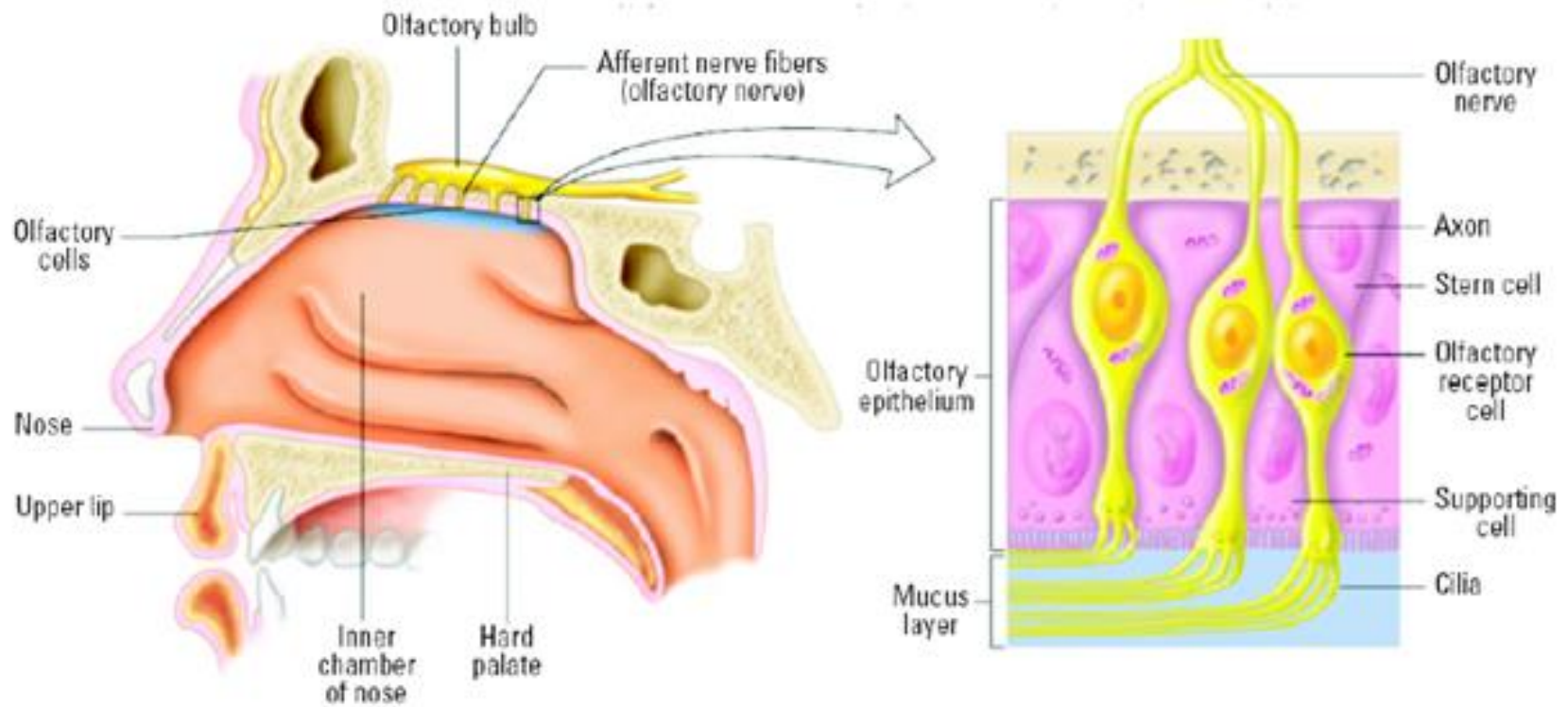
- 100 000 daļiņas/ml;
- 1000 miljoni daļiņas/24h;

- 1 makrofāgam jātiek galā ar vairāk par 200 daļiņām/24h

Nanodaļiņu līdzdalība slimību attīstībā



Nanodaļiņu transports pa ožas nervu uz smadzenēm (piem., metālu daļiņas izgulsnējas smadzenēs)



Putekļu daļiņu skaits, virsmas laukums vai masa....

Diapazons	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Kopā Diapazons no 6 nm – 10 µm	Count median diameter, µm
Geom.vid.diametrs, µm	0.01	0.02	0.04	0.07	0.09	0.16	0.32	0.49	0.76	1.23	1.96	3.09	5.17	8.15		
Skaitis, daļiņas/cm³:																
<u>Biroji</u>	0	5850	2864	1233	888	491	237	115	21	5	1	1	0	0	11707.0	0.039
<u>Metālapstrāde (metināšana)</u>	66942	19593	27109	50541	51968	37175	13593	4549	663	140	54	22	11	8	272370.0	0.054
<u>Kokapstrāde (pulēšana)</u>	69670	6177	2738	874	661	266	86	23	6	2	2	2	1	1	80510.0	0.012
Masa, mg/m³:																
<u>Biroji</u>	0	0	0	0	0.001	0.002	0.004	0.001	0.001	0.01	0.004	0.02	0.029	0.091	0.17	4.394
<u>Metālapstrāde (metināšana)</u>	0.00	0.00	0.001	0.01	0.05	0.16	0.23	0.27	0.15	0.14	0.21	0.34	0.78	2.36	4.71	3.509
<u>Kokapstrāde (pulēšana)</u>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.10	0.37	0.52	6.554

Vara toksicitāte atkarībā no daļiņu izmēra

Daļiņu izmērs	Daļiņu skaits N/ μg	LD ₅₀ (p.o. žurkām)
17 μm	44 / μg	5610 mg/kg
0,0235 μm (23,5nm)	1,7 x 10 ¹⁰ / μg	119 mg/kg

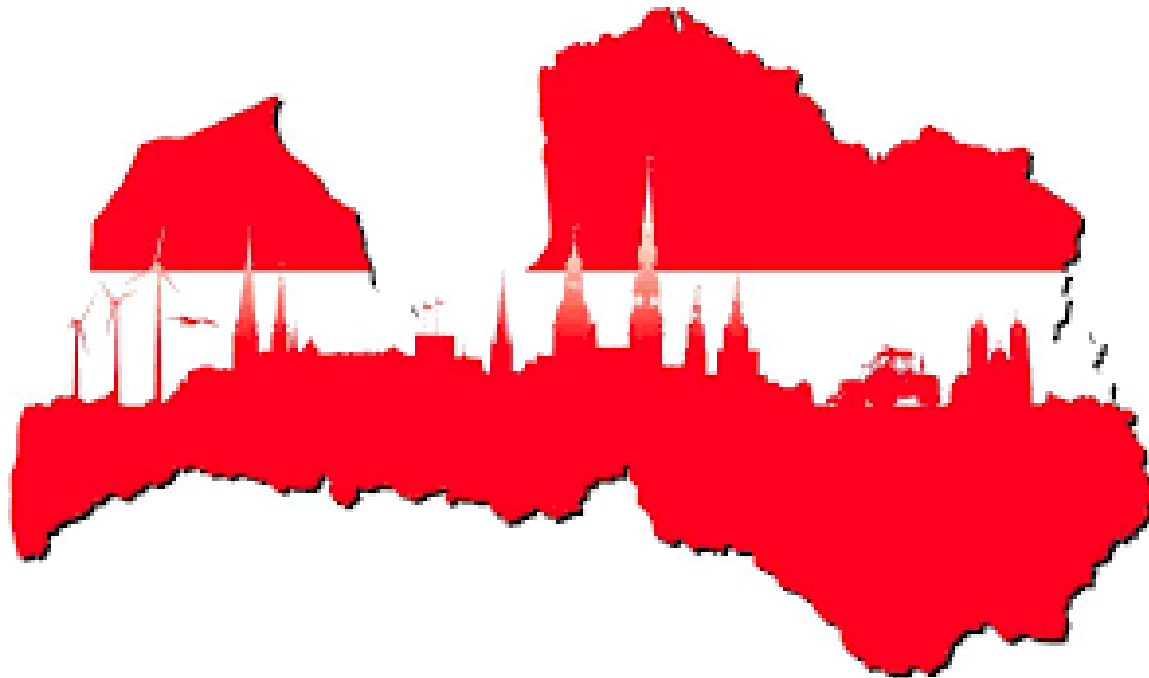
Daļiņu izmērs un masa (piemēram $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

Diametrs (μm)	Daļiņu skaits 1 ml (N/ml)	Virsmas ($\mu\text{m}^2/\text{ml}$)
2	2	30
0,5	153	120
0,02 (20nm)	2'390 000	3000

Aktuālie jautājumi nākotnē saistībā ar putekļu radītā riska izvērtējumu

- Tiek pārskatītas AER normas kancerogēniem, piem., kvarcam un Cr(VI)
- Putekļu AER tiks noteiktas atbilstoši putekļu daļiņu lielumam (pasaulē jau sen normē PM4 – cietas vielu daļiņas ar diametru 4 mikroni)
- Normas ultrasīkām daļiņām, t.sk., nanodaļiņām
- Jaunas mērījumu metodes, iekārtas u.t.t.

Paldies par uzmanību!



Ģimeniskus svētkus!