

Zašto filtrirati zrak?

- Ugodnost
- Zdravlje
- Zaštita opreme od onečišćenja
- Pобољшanje kvalitete industrijskih proizvoda npr. mikroelektronika, farmaceutska industrija, prerada hrane
- Stvaranje održivog okoliša

Izvori zagađenja:

- Vanjski/atmosferski – dim (industrija, promet...), plinovi, prašina (pijesak, zemlja, promet...), organske čestice (bakterije, pelud...)
- Unutarnji – koža i kosa, vlakna, oprema, kondenzat...

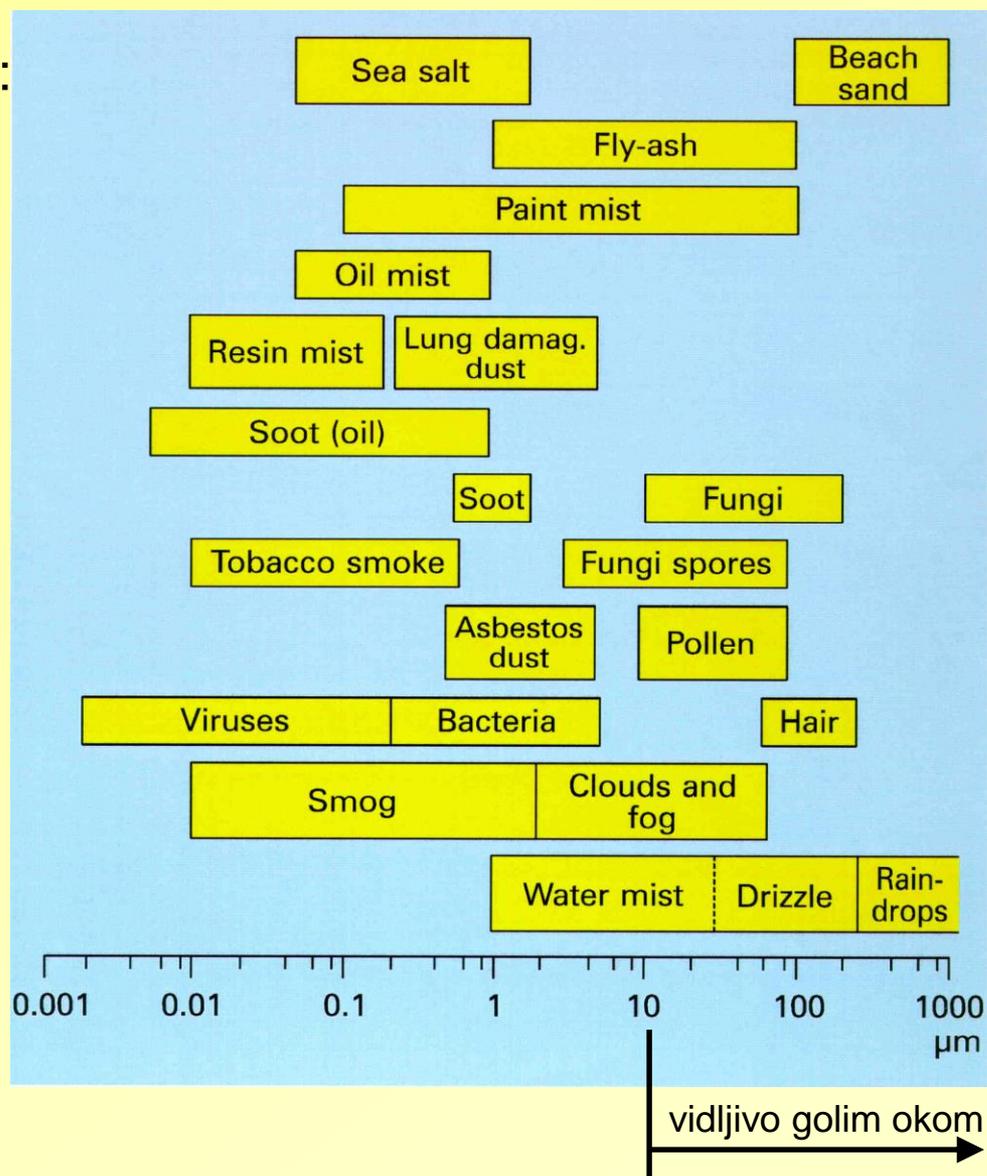


Distribucija veličine čestica u zraku vanjskog okoliša

Opažanja na temelju mjerenja:

- tipično, 0.005% čestica u tipičnom uzorku ima promjer veći od 10 μm

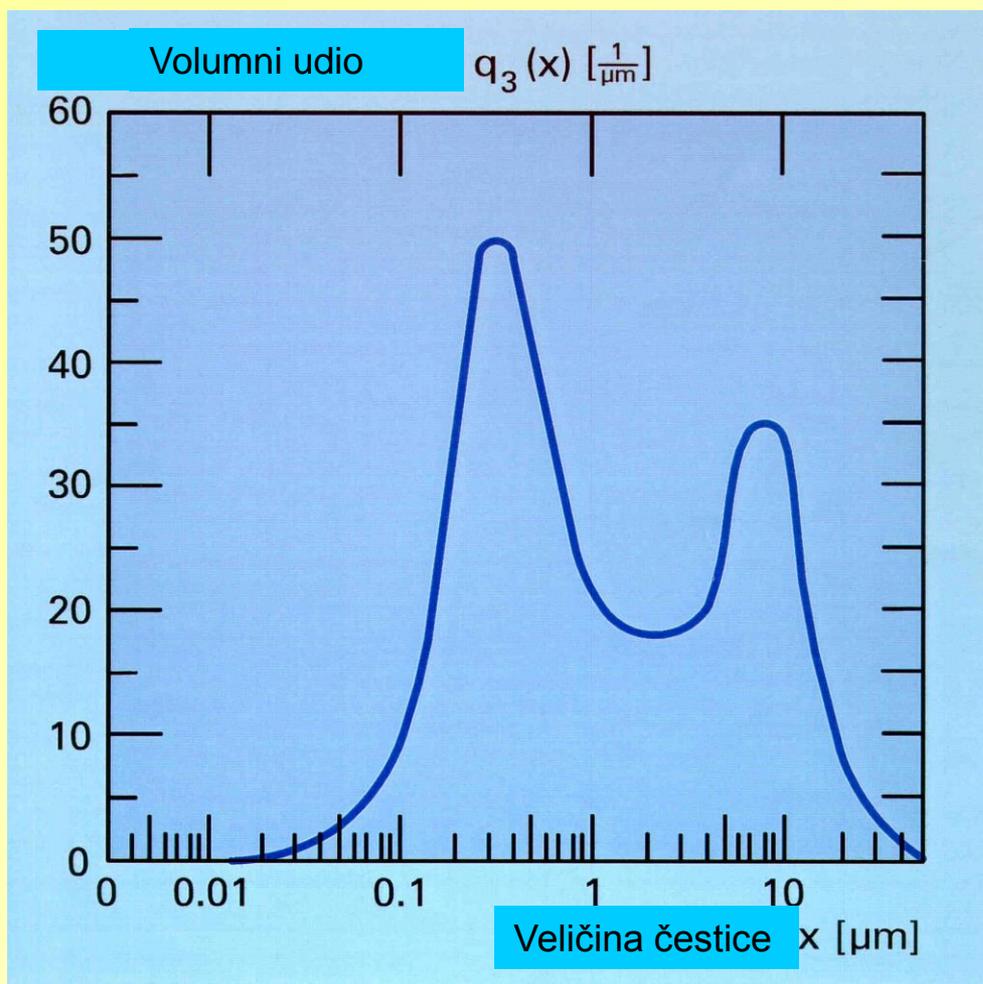
- samo 50 čestica na milijun **vidljive** su golim okom



Distribucija veličine čestica u tipičnom uzorku zraka urbanog okoliša

Opažanja na temelju mjerenja:

- 0.5% čestica u tipičnom uzorku predstavlja 91% ukupne mase
- 92% čestica u tipičnom uzorku ima promjer do $0.5 \mu\text{m}$



Osnovne značajke filtera za zrak

- učinkovitost (↗)
 - postotak izdvojene nečistoće sveden na veličinu čestice
- kapacitet zadržavanja prašine (↗)
 - ukupna količina prašine koju filter može akumulirati
- pad tlaka (↘)
- dodatni pojam : sposobnost zadržavanja prašine – maseni udio izdvojene prašine u odnosu na ukupnu količinu ispred filtra (pojam se često brka s učinkovitošću!)

Mehanizmi filtracije zraka

- uklanjanje ili skupljanje čestica prašine u filtraciji zraka provodi se različitim kombinacijama sljedećih osnovnih mehanizama:

Prosijavanje. Ukoliko su otvori na filtru manji od veličine čestica prašine, čestice će se zadržati na filtru.

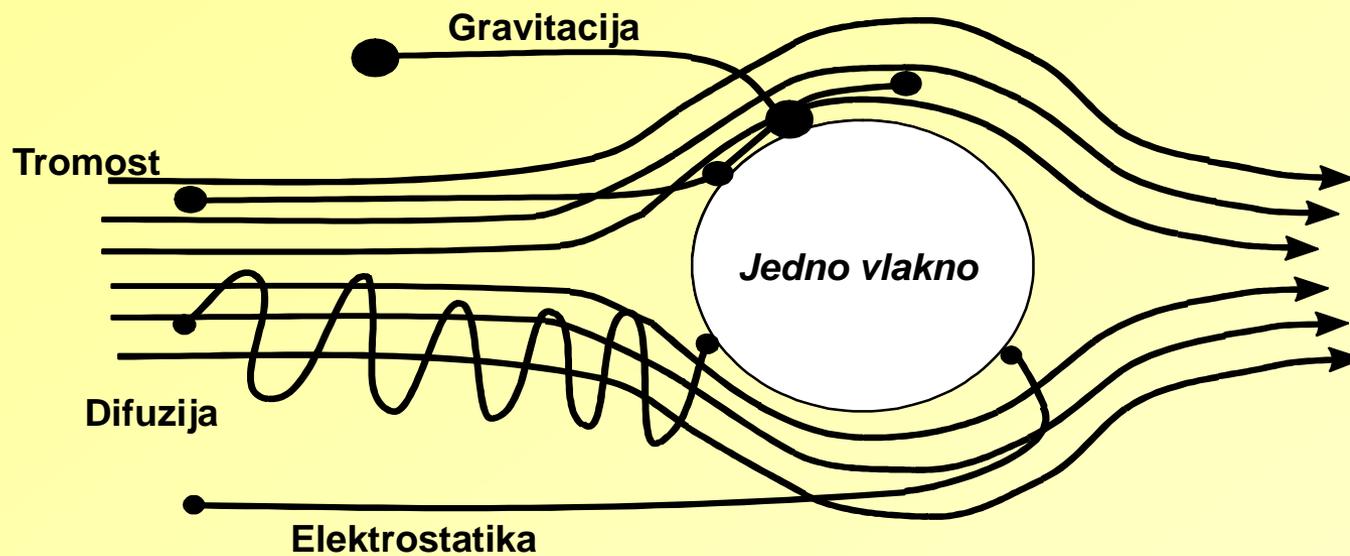
Tromost. Iznenadna promjena smjera strujanja zraka dovodi do sudara između čestica prašine i vlakna filtra.

Difuzija. Kod vrlo fine prašine ($<0,1 \mu\text{m}$), Brownovo gibanje dovodi do taloženja čestica.

Presretanje. Čestice prašine, nošene strujom zraka, nailaze na filtarska vlakna, koja ih zadržavaju poput prepreke.

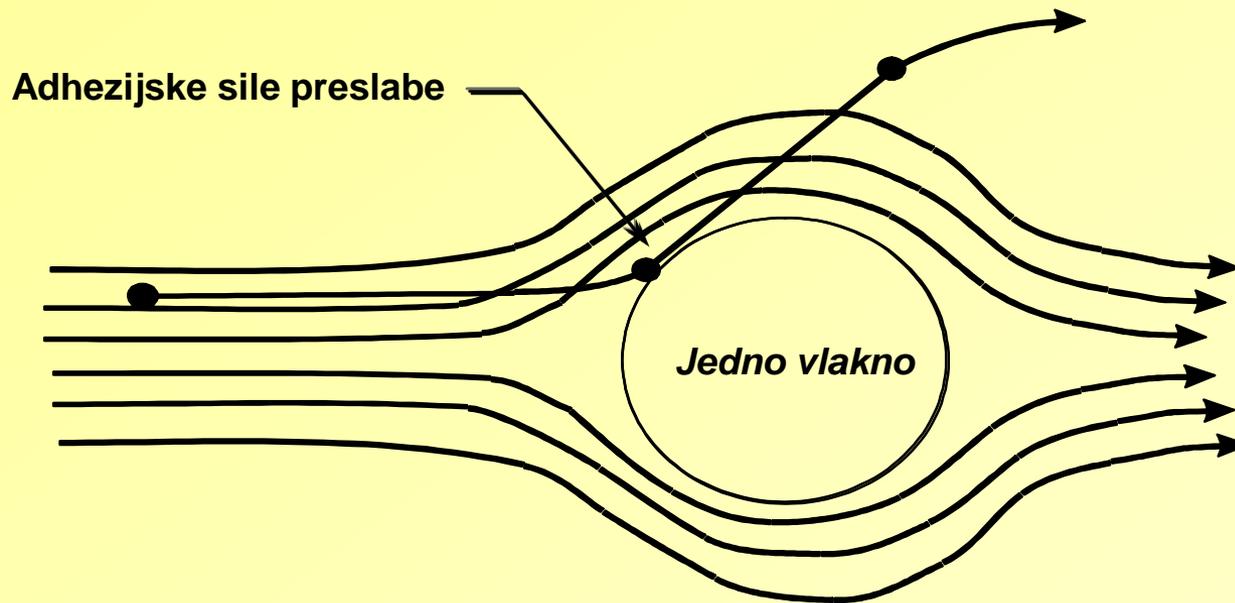
Elektrostatički efekt. Čestice i filtarski medij su električki nabijeni i privlače se što dovodi do uklanjanja prašine iz zraka.

Mehanizmi filtracije zraka



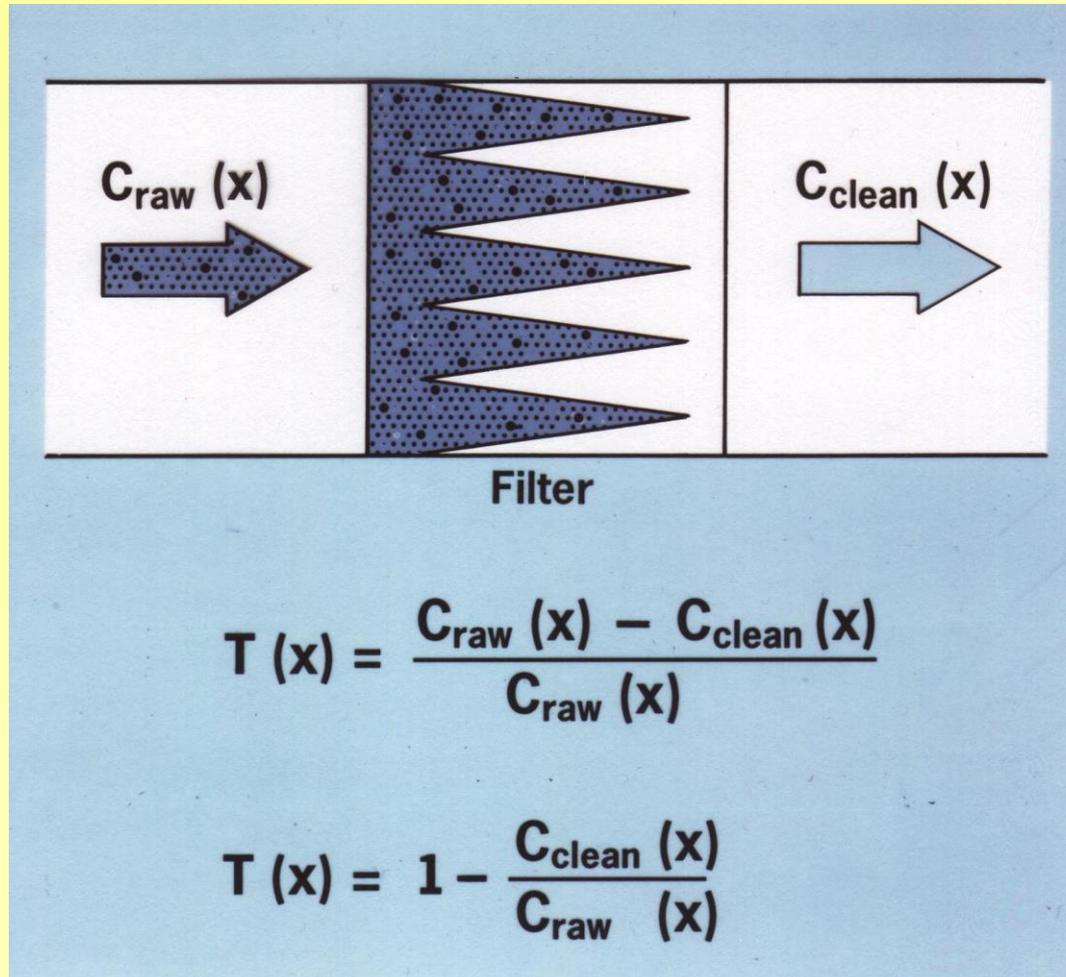
Mehanizmi filtracije zraka

Čestica "odskaje"



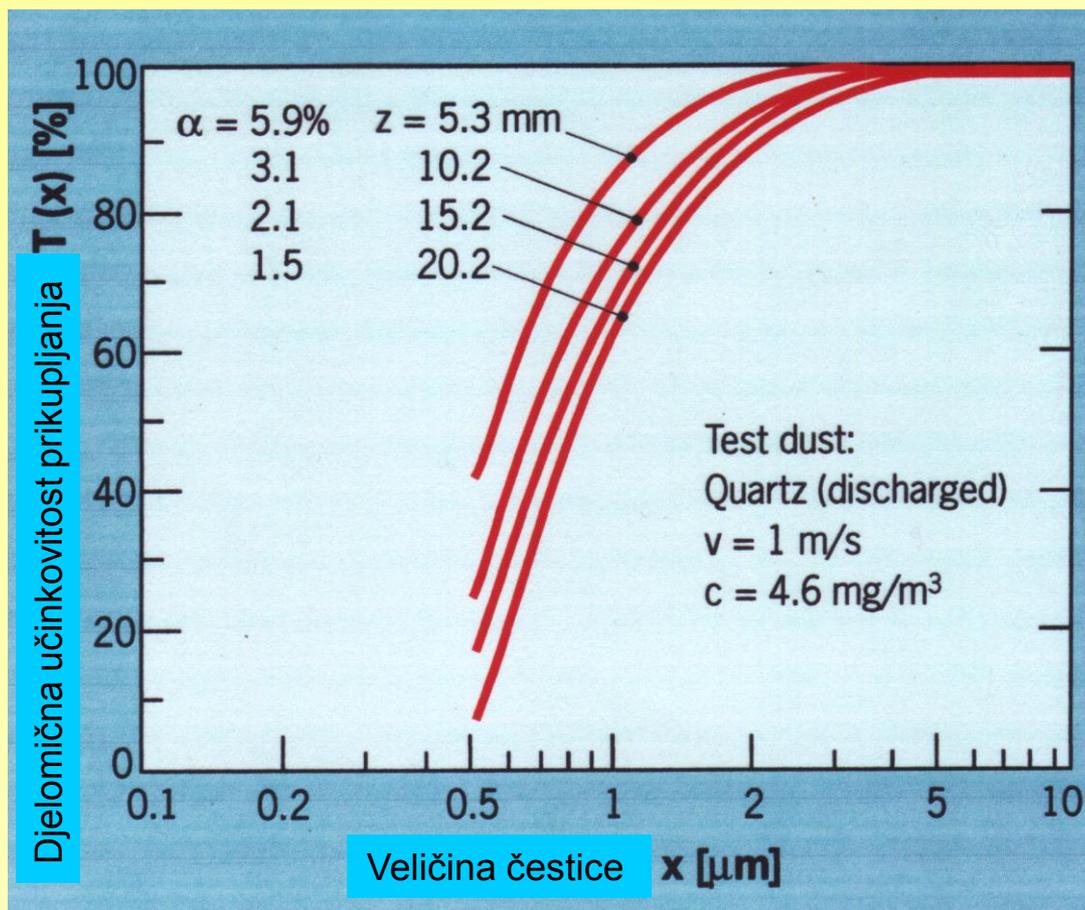
Mehanizmi filtracije zraka

Definicija djelomične učinkovitosti prikupljanja $T(x)$:



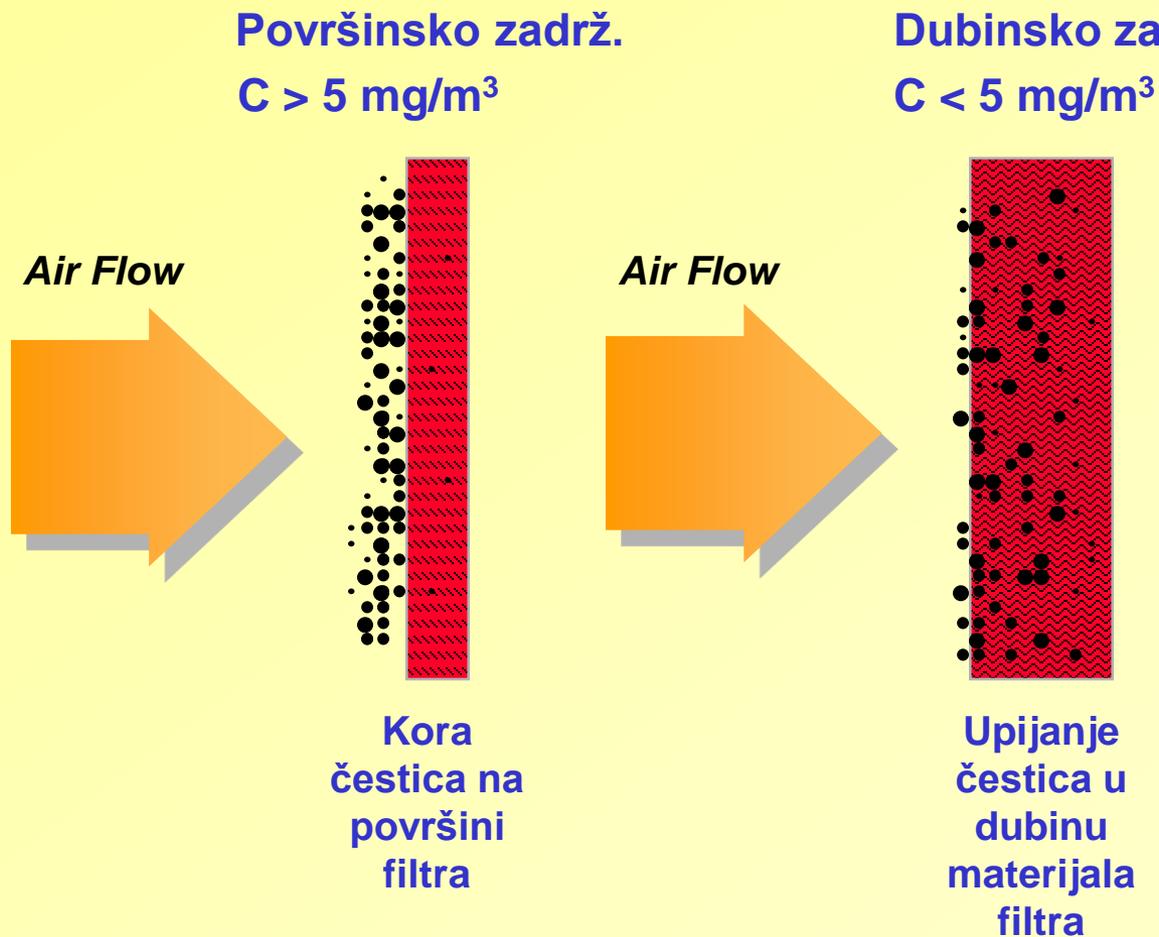
Mehanizmi filtracije zraka

Djelomična učinkovitost prikupljanja (eng. *Fractional Collection Efficiency* - FCE) kao funkcija promjera vlakna i gustoće medija:



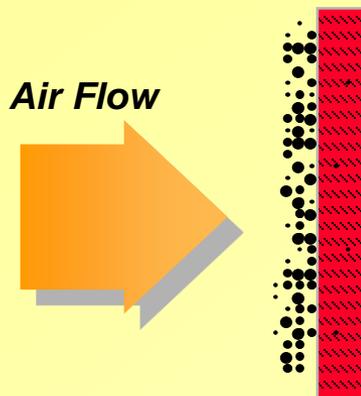
Mehanizmi filtracije zraka

Principi filtracije s površinskim i dubinskim zadržavanjem čestica:



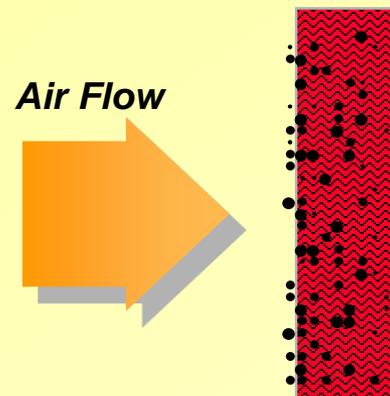
Mehanizmi filtracije zraka

Tipovi filtara s površinskim i dubinskim zadržavanjem čestica:



Filtri s površinskim zadržavanjem

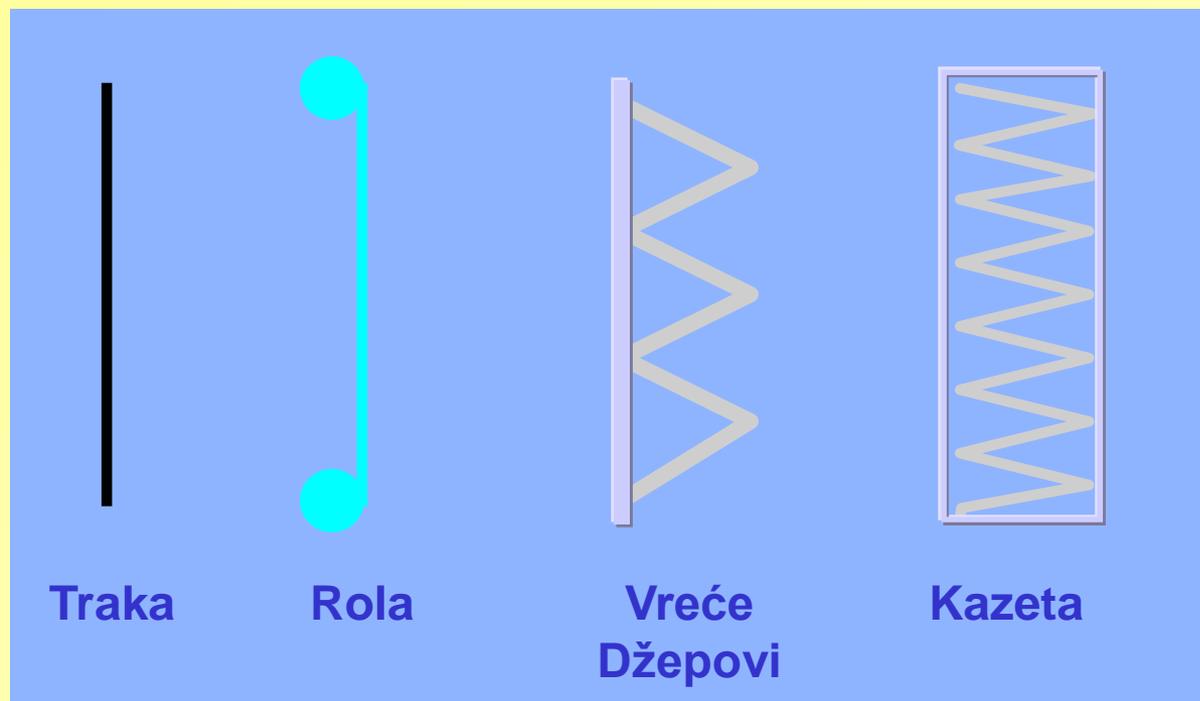
- Patrone za otprašivanje
- Plisirani filtri na bazi papira
- Visokotemp. čvrsti filtri
- HEPA / ULPA



Filtri s dubinskim zadržavanjem

- Filtarske trake
- Filtri u roli
- Hvatači boje
- Vrećasti filtri

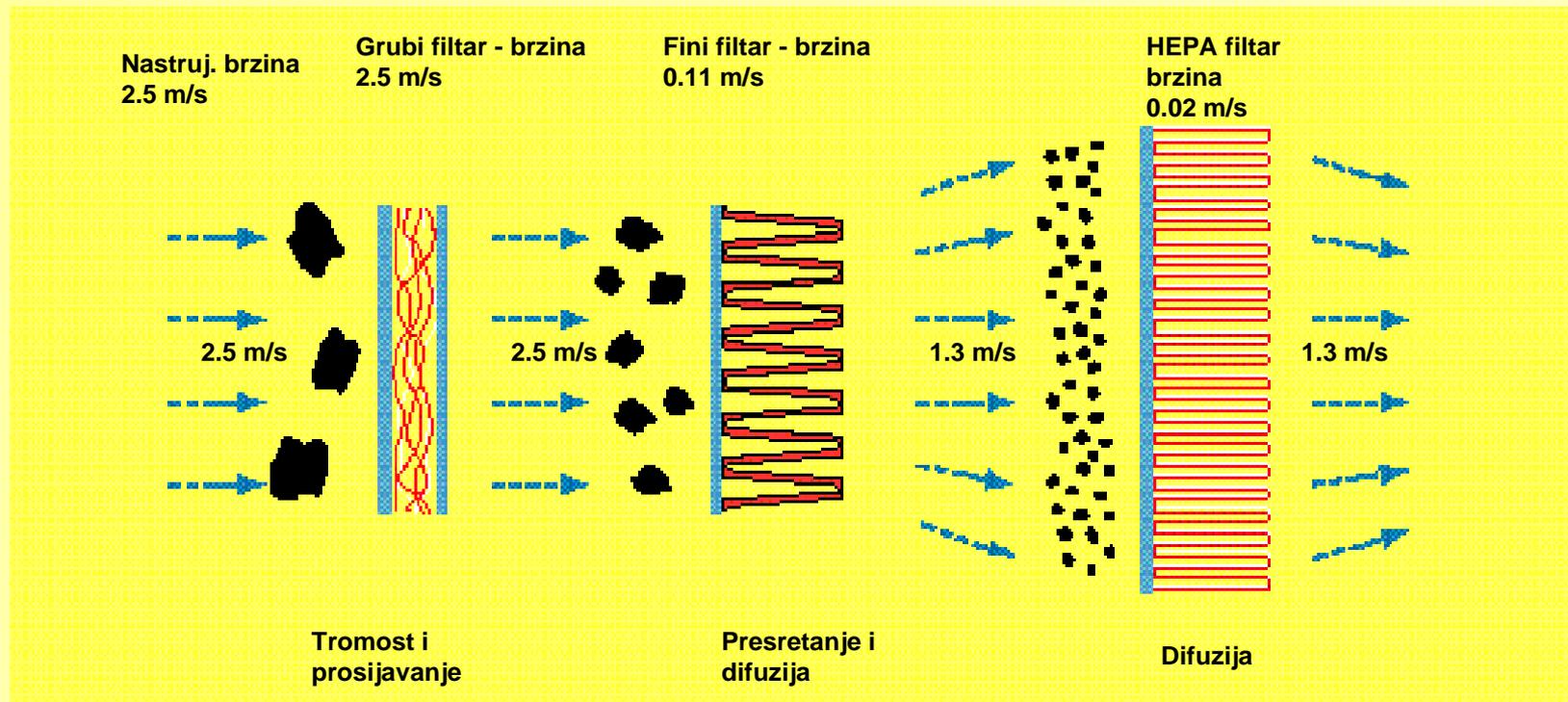
Osnovni tipovi filtara sa suhim vlaknima



Povećanje površine filtracije

Mehanizmi filtracije zraka

Uklanjanje čestica



Filtri za zrak i pripadajuće klase filtracije

| | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|---------------------------|------------------------|------------------------|-----------------|----------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-----------------|-------------------------------------|
| | Vrećasti filtri | | | | | | | | | |
| | RoI - filtri | | | | Kazetni filtri | | | | | HEPA/ULPA filtri |
| | Filtarske trake | | | | | | | | | |
| According to EN 779 | G 1 | G 2 | G 3 | G 4 | M 5 | M 6 | F 7 | F 8 | F 9 | E 10 - U 17 (EN 1822) |
| | Srednje zadržavanje A_a | | | | Srednja učinkovitost E_a | | | | | Inicijal. učinkovitost za MPPS |
| According to ASHRAE 52.1-1992 | $A_a < 65\%$ | $65\% \leq A_a < 80\%$ | $80\% \leq A_a < 90\%$ | $90\% \leq A_a$ | $40\% \leq E_a < 60\%$ | $60\% \leq E_a < 80\%$ | $80\% \leq E_a < 90\%$ | $90\% \leq E_a < 95\%$ | $95\% \leq E_a$ | $85\% < T_{(x=MPPS)} < 99.999995\%$ |

Klase filtracije prema ASHRAE St. 52.2

TABLE 15.3 Minimum Efficiency Reporting Value (MERV) Parameters

| Standard 52.2 minimum efficiency reporting value (MERV) | Composite average particle size efficiency, % in size range, μm | | | Average arrestance, % by Standard 52.1 method | Minimum final resistance | |
|---|---|--------------------|---------------------|--|--------------------------|--------------|
| | Range 1 0.30–1.0 | Range 2 1.0–3.0 | Range 3 3.0–10.0 | | Pa | in. of water |
| 1 | n/a | n/a | $E_3 < 20$ | $A_{avg} < 65$ | 75 | 0.3 |
| 2 | n/a | n/a | $E_3 < 20$ | $65 \leq A_{avg} < 70$ | 75 | 0.3 |
| 3 | n/a | n/a | $E_3 < 20$ | $70 \leq A_{avg} < 75$ | 75 | 0.3 |
| 4 | n/a | n/a | $E_3 < 20$ | $75 \leq A_{avg}$ | 75 | 0.3 |
| 5 | n/a | n/a | $20 \leq E_3 < 35$ | n/a | 150 | 0.6 |
| 6 | n/a | n/a | $35 \leq E_3 < 50$ | n/a | 150 | 0.6 |
| 7 | n/a | n/a | $50 \leq E_3 < 70$ | n/a | 150 | 0.6 |
| 8 | n/a | n/a | $70 \leq E_3$ | n/a | 150 | 0.6 |
| 9 | n/a | $E_2 < 50$ | $85 \leq E_3$ | n/a | 250 | 1.0 |
| 10 | n/a | $50 \leq E_2 < 65$ | $85 \leq E_3$ | n/a | 250 | 1.0 |
| 11 | n/a | $65 \leq E_2 < 80$ | $85 \leq E_3$ | n/a | 250 | 1.0 |
| 12 | n/a | $80 \leq E_2$ | $90 \leq E_3$ | n/a | 250 | 1.0 |
| 13 | $E_1 < 75$ | $90 \leq E_2$ | $90 \leq E_3$ | n/a | 350 | 1.4 |
| 14 | $75 \leq E_1 < 85$ | $90 \leq E_2$ | $90 \leq E_3$ | n/a | 350 | 1.4 |
| 15 | $85 \leq E_1 < 95$ | $90 \leq E_2$ | $90 \leq E_3$ | n/a | 350 | 1.4 |
| 16 | $95 \leq E_1$ | $95 \leq E_2$ | $95 \leq E_3$ | n/a | 350 | 1.4 |

Note: The minimum final resistance shall be at least twice the initial resistance, or as specified above, whichever is greater.

Source: ANSI/ASHRAE Standard 52.2–1999. Reprinted with permission.

Klase filtracije prema EN779

EN 779 ¹⁾

Average Arrestance [%]

Final pressure drop

Coarse filters

| | | |
|------------|------------------------|------------|
| G 1 | Aa < 65 | 250 |
| G 2 | 65 ≤ Aa < 80 | 250 |
| G 3 | 80 ≤ Aa < 90 | 250 |
| G 4 | 90 ≤ Aa | 250 |

Average Efficiency [%]

Medium filters

| | | |
|------------|------------------------|------------|
| M 5 | 40 ≤ Ea < 60 | 450 |
| M 6 | 60 ≤ Ea < 80 | 450 |

Fine filters

| | | |
|------------|------------------------|------------|
| F 7 | 80 ≤ Ea < 90 | 450 |
| F 8 | 90 ≤ Ea < 95 | 450 |
| F 9 | 95 ≤ Ea | 450 |

¹⁾ Arrestance and Efficiency values to EN 779 correspond with the values to ASHRAE 52.1

EUROVENT 4/9

Average Arrestance [%]

Minimum efficiency of 0.4 μm particles [%]

| | |
|-------------|------------------------|
| EU 1 | Aa < 65 |
| EU 2 | 65 ≤ Aa < 80 |
| EU 3 | 80 ≤ Aa < 90 |
| EU 4 | 90 ≤ Aa |

Average FCE²⁾ [%]

| | | |
|-------------|------------------------|-----------|
| EU 5 | 40 ≤ Ea < 60 | |
| EU 6 | 60 ≤ Ea < 80 | |
| EU 7 | 80 ≤ Ea < 90 | 35 |
| EU 8 | 90 ≤ Ea < 95 | 55 |
| EU 9 | 95 ≤ Ea | 70 |

²⁾ Fractional Collection Efficiency at 0.4 μm (test aerosol: DEHS)

Usporedba klasa filtracije prema ASHRAE i EN normama

| ASHRAE Standard 52.2-1999 | | | | ASHRAE 52.1 | | EN779 Efficiency | | EN 1822 Efficiency |
|-----------------------------|---|--------------|--------------|--------------------|------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------|
| Minimum Eff Reporting Value | Composite Average Particle Size Efficiency, | | | Average Arrestance | Average Dust Spot Efficiency | | | |
| | % in Size Range, μm | | | | | | | |
| | Range 1 | Range 2 | Range 3 | | | Average Eff at 0.4 μm | Minimum Eff at 0.4 μm | Average Eff at MPPS |
| (MERV | 0.30 - 1.0 | 1.0 - 3.0 | 3.0 - 10.0 | % | % | % | % | % |
| 1 | n/a | n/a | E3<20 | Aavg<65 | <20 | G1 | - | |
| 2 | n/a | n/a | E3<20 | Aavg<65 | <20 | G2 | - | |
| 3 | n/a | n/a | E3<20 | Aavg<70 | <20 | | | |
| 4 | n/a | n/a | E3<20 | Aavg<75 | <20 | | | |
| 5 | n/a | n/a | E3 \geq 20 | 80 | 20 | G3 | - | |
| 6 | n/a | n/a | E3 \geq 35 | 85 | 20-25 | | | |
| 7 | n/a | n/a | E3 \geq 50 | 90 | 25-30 | G4 | - | |
| 8 | n/a | n/a | E3 \geq 70 | 92 | 30-35 | | | |
| 9 | n/a | n/a | E3 \geq 85 | 95 | 40-45 | M5 | - | |
| 10 | n/a | E2 \geq 50 | E3 \geq 85 | 96 | 50-55 | | | |
| 11 | n/a | E2 \geq 65 | E3 \geq 85 | 97 | 60-65 | M6 | - | |
| 12 | n/a | E2 \geq 80 | E3 \geq 90 | 98 | 70-75 | | | |
| 13 | n/a | E2 \geq 90 | E3 \geq 90 | 98 | 80-85 | F7 | 35 | |
| 14 | E1 \geq 75 | E2 \geq 90 | E3 \geq 90 | 99 | 90-95 | F8 | 55 | |
| 15 | E1 \geq 85 | E2 \geq 90 | E3 \geq 90 | 99 | 95 | F9 | 70 | |
| 16 | E1 \geq 95 | E2 \geq 95 | E3 \geq 95 | 100 | 99 | | | E10 |

Klase filtracije prema EN1822

EUROVENT 4/9 / EN 1822

Efficiency [%] at MPPS

EPA / HEPA filters

| | |
|---------------------|-----------------|
| EU 10 / E 10 | ≥ 85 |
| EU 11 / E 11 | ≥ 95 |
| EU 12 / E 12 | ≥ 99,5 |
| EU 13 / H 13 | ≥ 99,95 |
| EU 14 / H 14 | ≥ 99,995 |

ULPA filters

| | |
|---------------------|--------------------|
| EU 15 / U 15 | ≥ 99,9995 |
| EU 16 / U 16 | ≥ 99,99995 |
| EU 17 / U 17 | ≥ 99,999995 |

DIN 24184

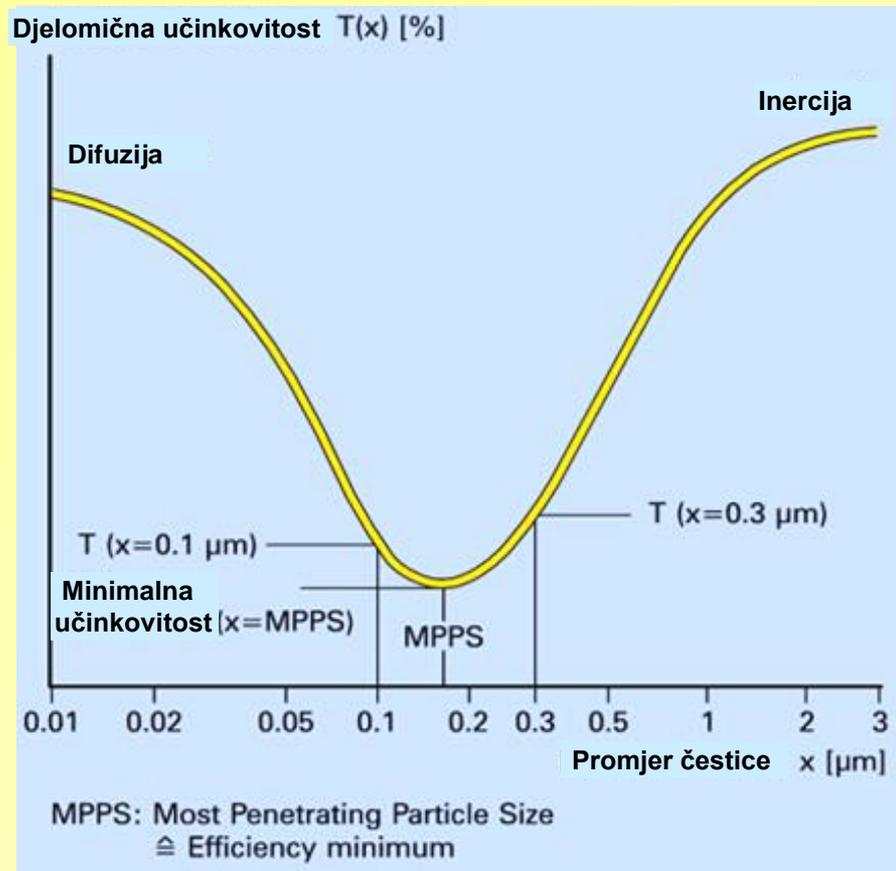
Efficiency [%] versus oil aerosol

| | |
|----------|----------------|
| Q | ≥ 85 |
| R | ≥ 98 |
| - | - |
| S | ≥ 99,97 |
| - | - |

| | |
|---|---|
| - | - |
| - | - |
| - | - |

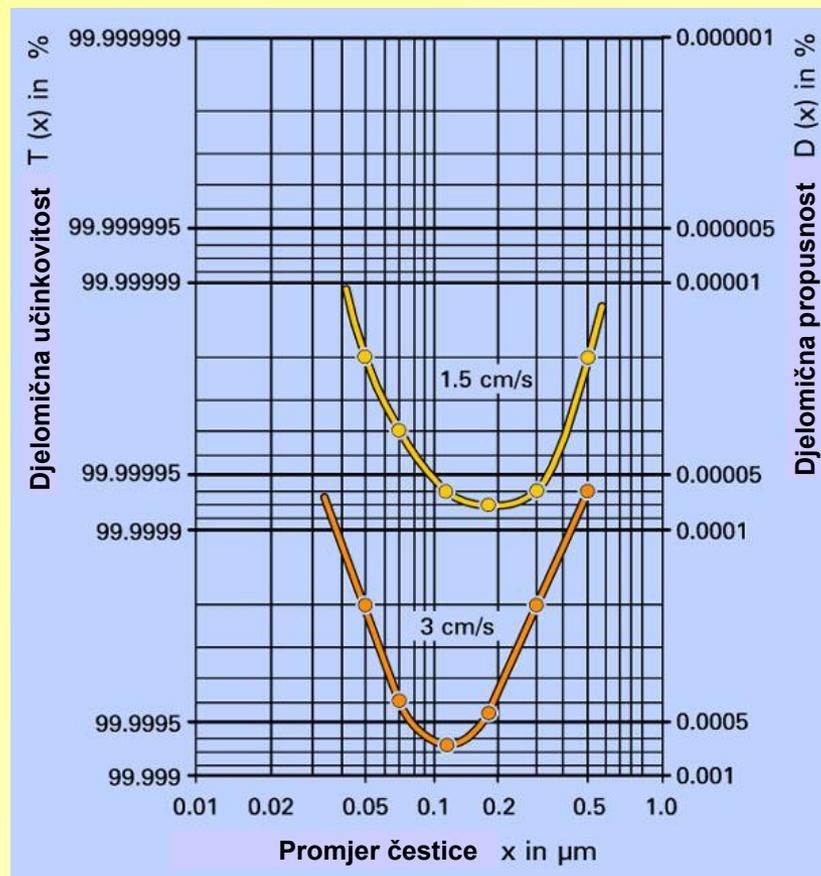
Klase filtracije prema EN1822

Krivulja učinkovitosti za apsolutne filtere



Klase filtracije prema EN1822

Utjecaj brzine strujanja zraka na učinkovitost i propusnost



Klase filtracije i klase čistih prostora

- sljedeće velike industrijske grane koriste čiste prostore u proizvodnji:

Farmacija/Biotehnologija; Mikroelektronika/Poluvodiči (većina novijih čistih prostora u proizvodnji poluvodiča su ISO 14644-1 klasa 5 ili čišće); Aeronautika (prostori velikog volumena s razinom čistoće ISO 14644-1 klasa 8 ili čišće); Aseptička prerada i pakiranje hrane; Automobilske lakirnice; Kristali; Laseri/Optika;...

Table 1 Comparison of Airborne Particle Concentration Limits from FS 209 and ISO/FDIS 14644-1

| FS 209 Class | ISO Class | 0.1 μm | | | 0.5 μm | | | 5.0 μm | | |
|--------------|-----------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | | Federal Standard 209 | | ISO | Federal Standard 209 | | ISO | Federal Standard 209 | | ISO |
| | | Particles/ft ³ | Particles/m ³ | Particles/m ³ | Particles/ft ³ | Particles/m ³ | Particles/m ³ | Particles/ft ³ | Particles/m ³ | Particles/m ³ |
| | 1 | | | 10 | | | | | | |
| | 2 | | | 100 | | | 4 | | | |
| 1 | 3 | 35 | 1230 | 1000 | 1 | 35 | 35 | | | |
| 10 | 4 | 345 | 12 200 | 10 000 | 10 | 353 | 352 | | | |
| 100 | 5 | 3450 | 122 000 | 100 000 | 100 | 3530 | 3520 | | | 29 |
| 1000 | 6 | 34 500 | 1 220 000 | 1 000 000 | 1000 | 35 300 | 35 200 | 7 | 247 | 293 |
| 10,000 | 7 | 345 000 | 1.22 × 10 ⁷ | | 10 000 | 353 000 | 352 000 | 65 | 2300 | 2930 |
| 100,000 | 8 | 3 450 000 | 1.22 × 10 ⁸ | | 100 000 | 3 530 000 | 3 520 000 | 700 | 24700 | 29 300 |
| | 9 | 3.45 × 10 ⁷ | 1.22 × 10 ⁹ | | | | 35 200 000 | | | 293 000 |

Klase filtracije i klase čistih prostora

| | | | | | | | |
|---|--------------------------------|-----------------|----------------|------------------------------------|-------------|------------------------------------|----------|
| Cleanliness classes US Fed. Std. 209 D US Fed. Std. 209 E | 100,000 M 6.5 | 10,000 M 5.5 | 1,000 M 4.5 | 100 M 3.5 | 10 M 2.5 | 1 M 1.5 | 0.1 |
| Cleanliness classes VDI 2083 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| Air flow | Turbulent mixed ventilation | | Transition | Low-turbulent displacement flow | | | |
| Filter ceiling area [%] | 5 - 10 | 10 - 20 | 30 - 70 | > 80 | > 90 | | |
| First filter stage DIN EN 779 | G 4 | | M 5 | | | M 6 | |
| Second filter stage DIN EN 779 DIN 24183 / EN 1822 | F 7 | | | F 9 EU10/E 10 | | EU10/E 10 EU12/E 12 EU13/H13 | EU13/H13 |
| Third filter stage DIN 24183 / EN 1822 | EU12/E 12 EU13/H13 | | EU13/H13 | EU14/H14 | EU15/U15 | EU16/U16 | EU17/U17 |

Osnovni tipovi filtara

- **Grubi filtri.** Koriste se za uklanjanje čestica $5 \div 80 \mu\text{m}$, npr. prašine što se taloži na površinama, peludi i tekstilnih vlakana. Karakterizira ih mali pad tlaka, niska cijena i dobra učinkovitost za vlakna i krupnije čestice ($5 \mu\text{m}$ i veće), ali i relativno slaba učinkovitost za tipičnu atmosfersku prašinu. Najčešće su u izvedbi panelnih ili plisiranih filtara klase EN779 **G 1** i **G 2** (MERV 1,2,3,4) sa masenim zadržavanjem 65 do 75%. Obično su suhe i jednokratne izvedbe. U tu kategoriju spadaju trake iz sintetičkih, celuloznih ili staklenih vlakana s promjerom vlakna većinom iznad $10 \mu\text{m}$. Projektna brzina strujanja zraka kroz filtarski medij obično je od 1.5 do 4 m/s. Filtar se zamjenjuje novim kada se dosegne konačni pad tlaka propisan od proizvođača.

Osnovni tipovi filtara

- **Niskoučinski filtri.** Uključuju klase EN779 **G 3** i **G 4** (MERV 5,6,7,8) i koriste se za uklanjanje čestica prašine između 3 i 10 μm , npr. spora, plijesni, laka za kosu, cementne prašine i slično. Najčešće su u izvedbi plisiranih ili vrećastih filtara. Kao filtarski medij koriste se prirodna, sintetička ili staklena vlakna, viskozna valovita žičana mreža i elektrostatički nabijena vlakna. Za sintetička i staklena vlakna promjer može varirati od 1 μm do nekoliko μm . Kako im učinkovitost raste, promjer i razmak između vlakana se smanjuju. Nastrujne brzine zraka većinom su oko 2.5 m/s što odgovara nastrujnim brzinama na izmjenjivače u klima jedinici. Plisirani filtri imaju površinu filtracije 2 do 8 puta veću od nastrujne površine, pa se brzina strujanja zraka nakon ulaska u filtarski medij smanjuje na 0.25 do 0.5 m/s. Često se koriste u paketnim klima uređajima i klima jedinicama u komercijalnim i javnim zgradama, u radnim prostorima i u nešto zahtjevnijim stambenim aplikacijama.

Osnovni tipovi filtara

- **Srednjeučinski filtri.** Uključuju klase EN779 **M 5** i **M 6** (MERV 9,10,11, 12) i koriste se za uklanjanje prašine veličine 1 do 3 μm kao što su plinovi kod zavarivanja, bakterije legionele i ugljena prašina. Za čestice veličine 1 to 3 μm učinkovitost je od $E_2 < 50 \%$ do $E_2 > 80 \%$. Izvedba je najčešće vrećasta ili kazetna s plisiranim materijalom povećane površine filtracije. Proizvode se od sintetičkih i staklenih vlakana promjera od $<1 \mu\text{m}$ do nekoliko μm . Brzine strujanja unutar medija su od 0.03 do 0.5 m/s, uz nastrojne brzine do 4 m/s. Koriste se u zahtjevnijim komercijalnim i industrijskim aplikacijama.

Osnovni tipovi filtara

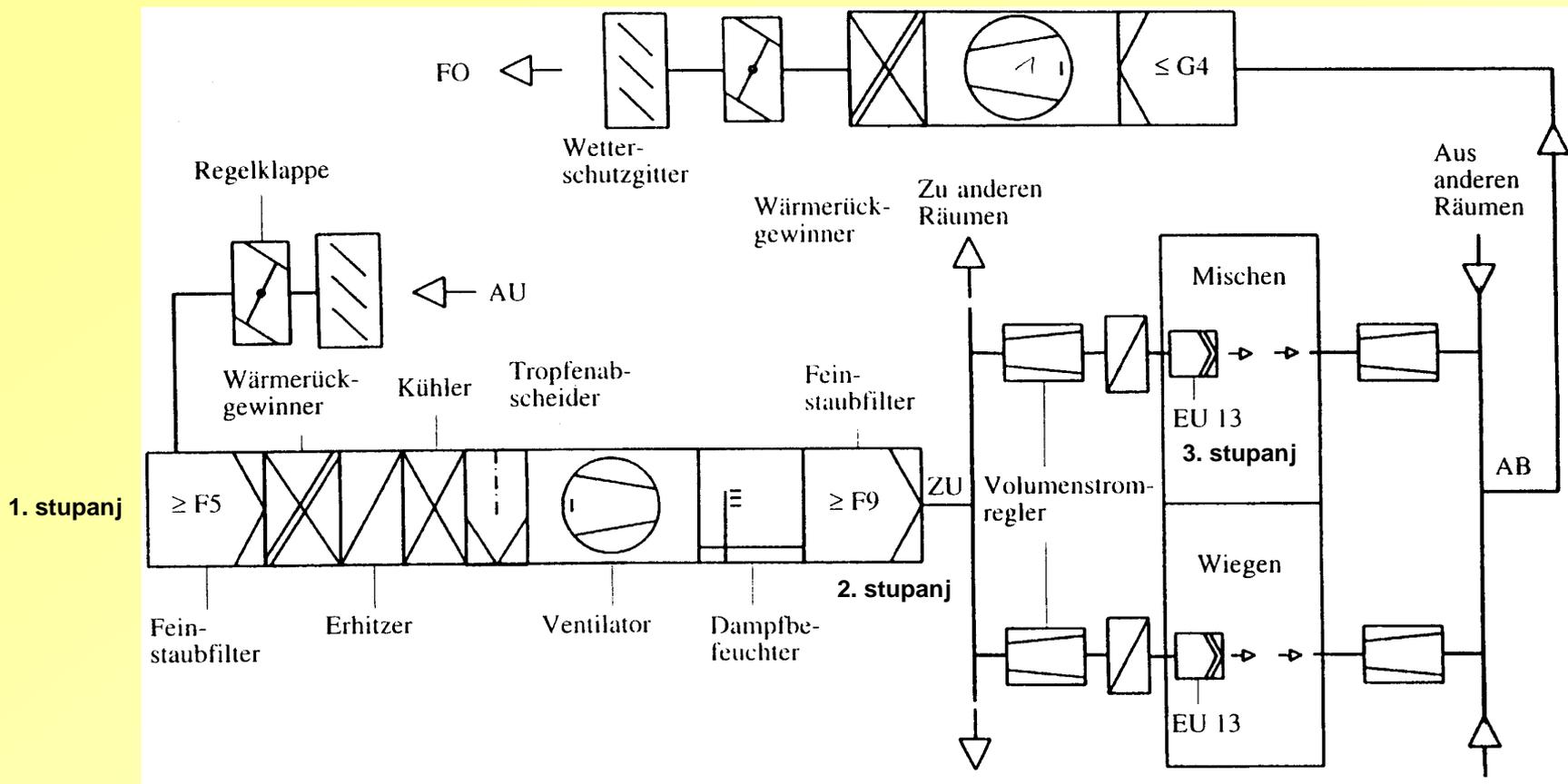
- **Visokoučinski / fini filtri.** Uključuju klase EN779 **F 7**, **F 8** i **F 9** (MERV 13,14,15,16) i koriste se za uklanjanje čestica od 0.3 do 1 μm , npr. bakterije, virusi, isparenja od kuhanja, dim. Za čestice veličine od 0.3 do 1 μm učinkovitost je od $E_1 < 75 \%$ do $E_1 > 95 \%$. Filtarski medij je od sintetičkih ili staklenih vlakana promjera $< 1 \mu\text{m}$. Često su u izvedbi plisirane trake s patronom te vrećastog ili kazetnog filtra. Brzine strujanja unutar medija su od 0.03 do 0.5 m/s, uz nastrojne brzine do 4 m/s. Često im prethodi nisko- ili srednjeučinski predfilter kako bi im se produžio radni vijek. Često se koriste u zračnim sustavima za bolnice, visokozahtjevne komercijalne zgrade i radionice precizne mehanike.

Osnovni tipovi filtara

- **Ultravisokoučinski filteri.** **EPA** (eng. *efficiency particulate air*) filtri imaju učinkovitost od 85 %. **HEPA** (eng. *high efficiency particulate air*) filtri imaju učinkovitost od 99.95 % za čestice $\geq 0.3 \mu\text{m}$ prema DOP test metodi.

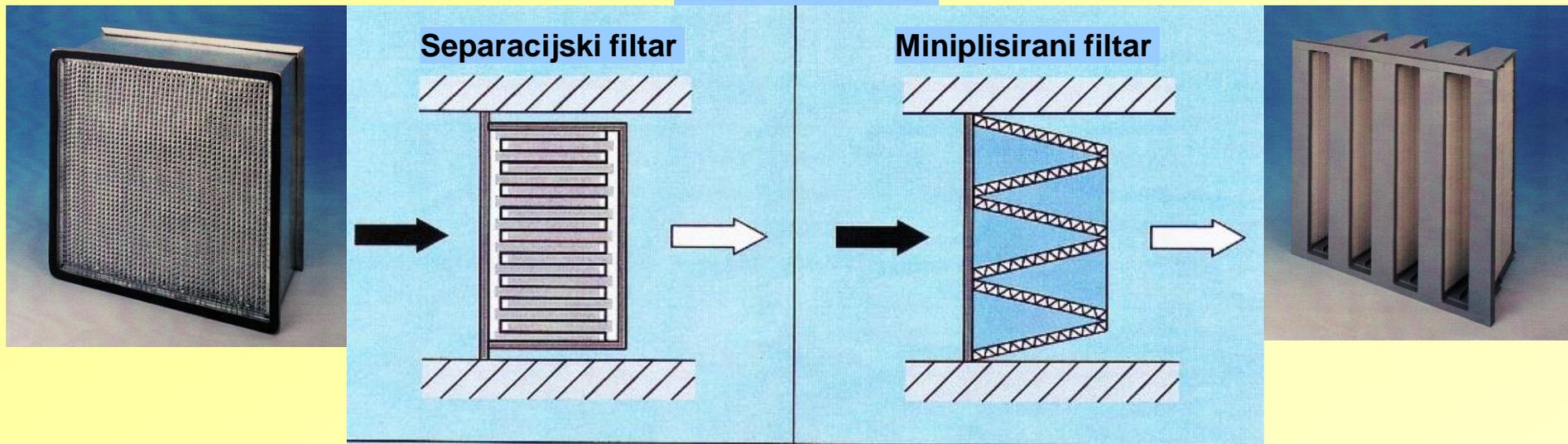
ULPA (eng. *ultra-low penetration air*) filtri imaju učinkovitost 99.9995 % za čestice $\geq 0.12 \mu\text{m}$ prema DOP test metodi. Filtarski medij je od staklenih vlakana promjera $<1 \mu\text{m}$ koja se plisiraju u čvrste papirne trake. Veća vlakna služe za učvršćenje strukturne mreže. Površina filtracije može biti 50 puta veća od prednje površine filtra, uz nastrujne brzine zraka od 1 do 2 m/s i pad tlaka od 160 do 340 Pa za čist filter. Nastrujna brzina za HEPA/ULPA filtere može se povećati do 2.5 m/s. Brtvljenje između medija i okvira filtera, te između okvira i vanjske brtve je kritično za propuštanje i učinkovitost. Za produljenje radnog vijeka prethodi im jedan srednjeučinski predfilter ili dva: po jedan nisko- i srednjeučinski filter ispred HEPA/ULPA filtra. Služe za uklanjanje čestica kao što su slobodni virusi, ugljična prašina, dim od izgaranja i radonski spojevi. Koriste se za čiste prostore u mikroelektroničkoj i farmaceutskoj industriji, preciznoj mehanici i u OP dvoranama u bolnicama.

Tipičan primjer ugradnje filtara

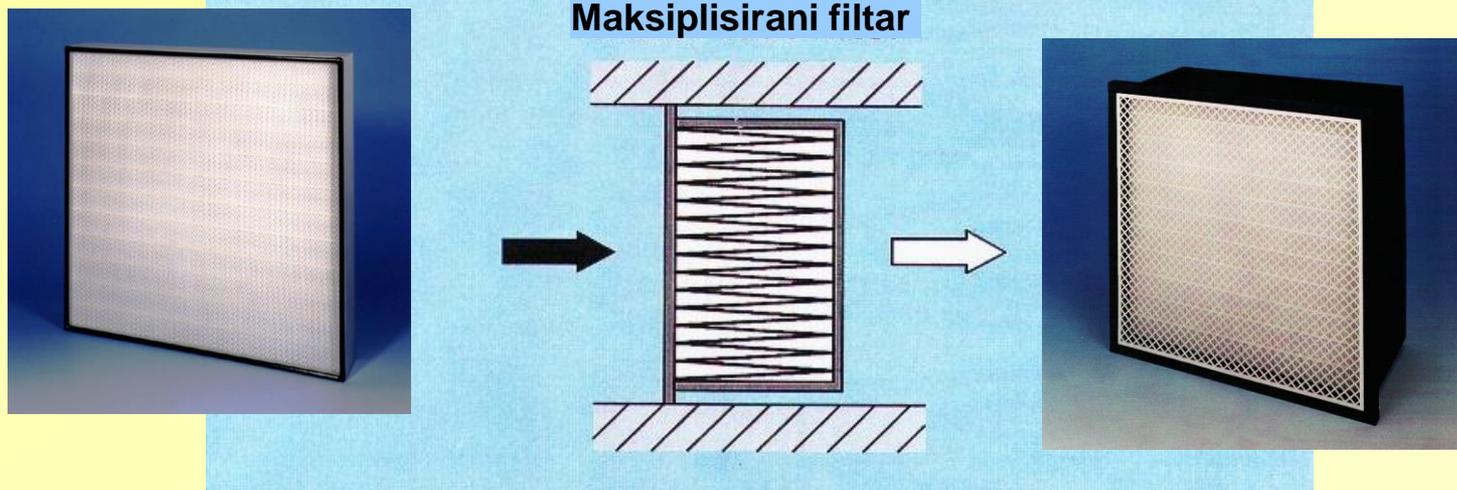


Osnovni tipovi filtara s površinskim uklanjanjem čestica

KAZETNI FILTAR



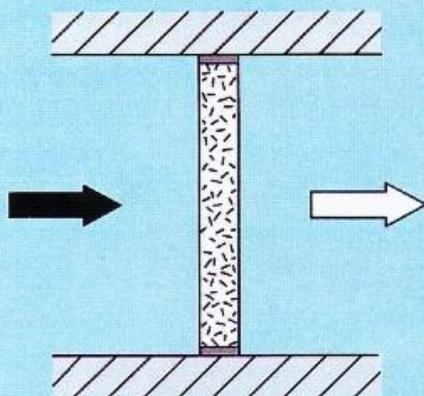
Maksiplisirani filter



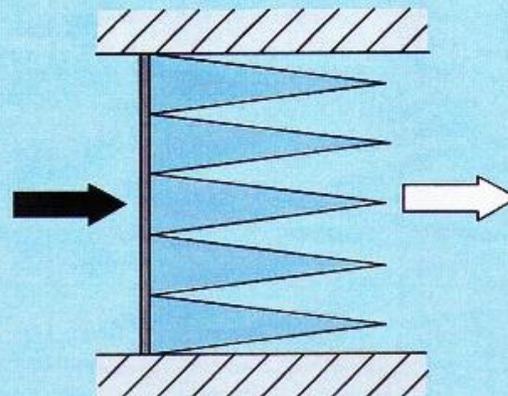
Osnovni tipovi filtra s dubinskim uklanjanjem čestica



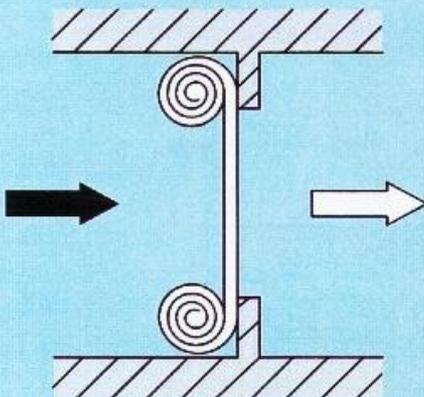
Filtarska traka



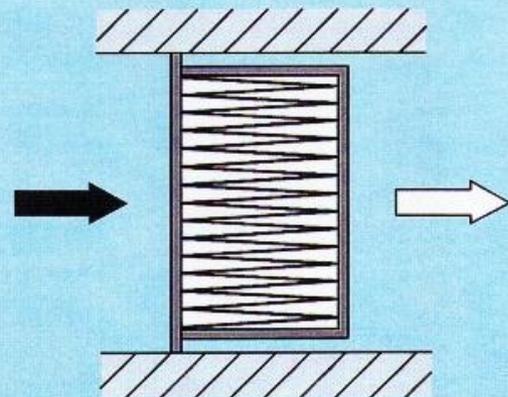
Vrećasti filter



Rot - filter



Panelni filter



Osnovni tipovi konstrukcije filtra

- **Filtracija čestica**

- Filtarska traka
- Panelni filter
- Vrećasti filter
- Kazetni filter
- HEPA filter

$$\Delta p = 20 - 600 \text{ Pa}$$

$$v = 0,02-2,5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ s}$$

$$c_{\text{raw}} < 5 \text{ mg}/\text{m}^3$$

- **Otprašivanje
(uklanjanje prašine)**

- Filtarske vreće
- Filtarske patrone

$$\Delta p = 1000 - 3000 \text{ Pa}$$

$$v = 0,005-0,05 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ s}$$

$$c_{\text{raw}} > 5 \text{ mg}/\text{m}^3$$

Osnovni tipovi konstrukcije filtra

Panelni filtri. Izrađuju se od visokoporoznih grubih vlakana. Ugradbena dubina filtra uglavnom je između 15 do 100 mm. Pojedinačni paneli dostupni su u standardnim (592 mm x 592 mm – veličina 1) i posebnim veličinama (1/2, 1/4, 5/6). Obično se koriste u stambenim aplikacijama ili kao predfiltri za visokoučinske filtre. U izvedbi niskoučinskog filtra zamjenjuju se pri krajnjem padu tlaka oko 120 Pa.



Osnovni tipovi konstrukcije filtra

Pomični rol – filtri. Automatski se premotavaju elektromotornim pogonom prema signalu s tlačne sklopke ili tajmerom. Regulacija preko tlačne sklopke mjeri pad tlaka na filtru i uključuje/isključuje pogon za premotavanje prema gornjoj, odnosno donjoj postavljenoj vrijednosti. To štedi materijal, ali osjetnici statičkog tlaka trebaju biti pravilno montirani i izvan utjecaja pomicanja regulacijskih zaklopki klima jedinice. Većina sustava regulacije preko tlaka ne radi dobro u praksi. Regulacija tajmerom pomaže izbjegavanju navednih problema; ciklus premotavanja može se podesiti za osiguravanje pogona uz prihvatljivu potrošnju filtarskog medija. Otpor strujanja od 100 do 125 Pa tipičan je za ove niskoučinske filtere.



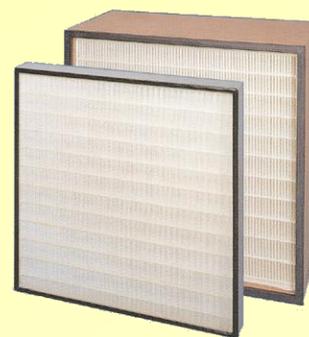
Osnovni tipovi konstrukcije filtra

Filtri s povećanom površinom. Koriste medij od različitih vrsta vlakana različite debljine, promjera i gustoće. Koriste se sintetička, celulozna, staklena vlakna i drugi materijali. Filtarski medij obično se ugrađuje u okvir u obliku vreća te plisiran u pravokutni ili V-oblik. U nekim konstrukcijskim rješenjima medij se drži sam usljed vlastite krutosti ili usljed napuhavanja zrakom u povećanje oblika kao primjerice vrećasti filtri. Plisiranje osigurava velik omjer između površine filtracije i prednje površine filtra, omogućujući tako prihvatljiv pad tlaka uz male brzine strujanja zraka kroz medij. Početni pad tlaka je obično od 25 do 250 Pa. Zamjena se vrši pri konačnom padu tlaka od 250 Pa za niskoučinske filtere i 450 Pa za srednje- i visokoučinske filtre. Ugradbena dubina varira od 100 do 900 mm.



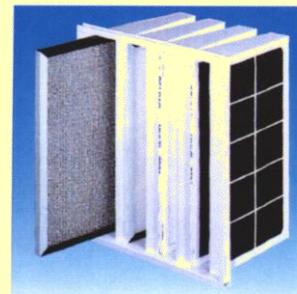
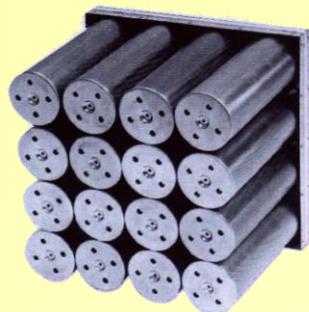
Osnovni tipovi konstrukcije filtra

Ultravisokoučinski filtri. EPA/HEPA/ULPA filtri izrađuju se u konfiguraciji s povećanom površinom i s dubokim naborima papira od submikrometarskih staklenih vlakana. Standardne dimenzije su 610 x 610 x 292 mm (vel. 1). Filteri se koriste za nastrujne brzine u kanalu do 1.5 m/s, uz pad tlaka u rasponu od 120 do više od 500 Pa tijekom radnog vijeka. Ovi filtri su uobičajeni u čistim prostorima, laboratorijima, OP dvoranama i aplikacijama u industriji elektronike.



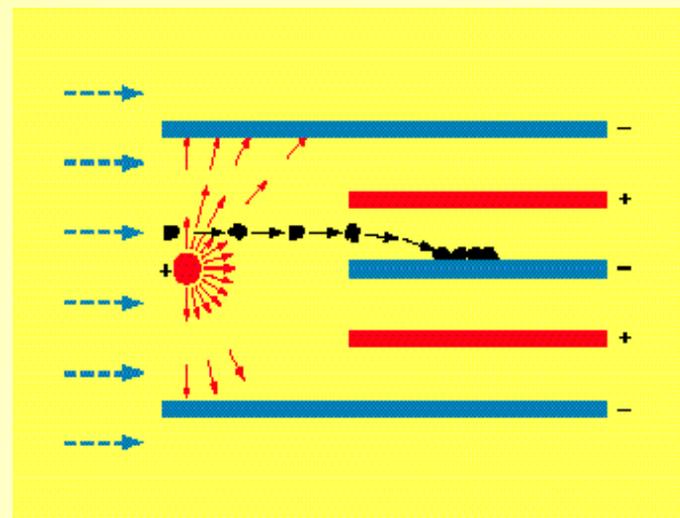
Osnovni tipovi konstrukcije filtra

Adsorpcijski filtri. Adsorberi s aktivnim ugljenom često se koriste za uklanjanje neugodnih mirisa i isparenja (uključujući hlapljive organske spojeve unutar prostora, eng. *VOC*) iz struje zraka. Adsorpcija fizikalno predstavlja kondenzaciju plina ili pare na aktivnoj supstanci, koja je visokoporozna. Kad zrak struji kroz tipičan ventilacijski sustav brzinom od 2 do 2.5 m/s, pripadajući padovi tlaka su između 50 i 100 Pa. Općenito, pri većoj vlažnosti i temperaturi zraka opada kapacitet adsorpcije aktivnog ugljena. Granična vrijednost – maksimum radne temperature je +38°C.



Osnovni tipovi konstrukcije filtra

Elektrostatički/električki filtri. Koriste efekt privlačenja između čestica različitog električkog naboja (+/-). Elektrostatička izvedba koristi saće (PP) koje privlači čestice prašine suprotnog naboja, a naboj saća proizvodi strujanje zraka kroz filter. Električka verzija koristi električno napajanje – ionizirajuće žice daju česticama prašine (+) naboj, a zatim ih na kolektorskom bloku privuku ploče s (-) nabojem. Pripadajući padovi tlaka su između 50 i 100 Pa. Ugrađuju se u povratni kanal prije odsisnog ventilatora, a u slučaju filtriranja vanjskog zraka minimalna radna temperatura je +4°C.



Mogući uzroci slabe filtracije zraka

- Neučinkovitost filtra
- Prodor nečistog zraka
 - kroz filter (“proboj”)
 - između filtra i okvira
 - između okvira i kućišta/susjednog okvira
- Oštećenje filtra: poderani, probušeni
- Neispravna ugradnja filtra
- Slabo održavanje filtra

Ugradnja zračnog filtra

-važni zahtjevi na instalaciju filtera koji omogućuju odgovarajuću učinkovitost su:

- Filtar mora imati dovoljan kapacitet u odnosu na protok zraka i količinu prašine koju treba zadržati u pogonu. Preopterećenje od 10 do 15% je gornja dopustiva granica. Ako će se protok zraka u sustavu naknadno povećavati, treba odmah ugraditi veću filtarsku sekciju.
- Filtar mora odgovarati pogonskim uvjetima, kao što su: količina prašine u vanjskom zraku, potrebna razina čistoće zraka, tip pogona, brzina strujanja zraka, dozvoljeni pad tlaka, pogonska temperatura.
- Filtar mora odgovarati organizaciji sustava održavanja.

Ugradnja zračnog filtra

- filtri se ugrađuju na usis vanjskog zraka u zgradu i u recirkulacijske i obilazne kanale. Prvi i drugi filtarski stupanj (u 3-stupanjskom sustavu) smješta se ispred grijača, hladnjaka i drugih elemenata sustava klimatizacije radi zaštite opreme od prašine.
- ako visokoučinski filtri štite kritične prostore kao što su čisti prostori, zadnji stupanj filtracije treba ugraditi što bliže prostoru da se spriječi onečišćenje između filtara i istrujnog otvora. Krajnji slučaj predstavljaju prostori s jednosmjernim strujanjem zraka, gdje čitav strop ili zid postaje krajnja filtarska sekcija.
- filtre treba ugraditi tako da je prednja površina okomita na struju zraka kad god je to moguće.
- početni, srednji i krajnji padovi tlaka tijekom pogona, koji značajno utječu na potrošnju energije i trajnost filtra i zračnog sustava, moraju se pratiti. Praćenje pada tlaka na filtru utječe izravno na njegovu učinkovitost.

Energetsko certificiranje filtera prema EUROVENT 4/11

- određivanje energetskog razreda filtera na temelju potrošnje energije za pogon ventilatora u periodu od jedne godine (za klase G4 – F9 prema EN 779):

| Filter class | G4 | M5 | M6 | F7 | F8 | F9 |
|--------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| MTE | — | — | — | MTE ≥ 35% | MTE ≥ 55% | MTE ≥ 70% |
| | $M_G = 350$ g ASHRAE | $M_M = 250$ g ASHRAE | | $M_F = 100$ g ASHRAE | | |
| A | 0 – 600 kWh | 0 – 650 kWh | 0 – 800 kWh | 0 – 1200 kWh | 0 – 1600 kWh | 0 – 2000 kWh |
| B | > 600 kWh – 700 kWh | > 650 kWh – 780 kWh | > 800 kWh – 950 kWh | > 1200 kWh – 1450 kWh | > 1600 kWh – 1950 kWh | > 2000 kWh – 2500 kWh |
| C | > 700 kWh – 800 kWh | > 780 kWh – 910 kWh | > 950 kWh – 1100 kWh | > 1450 kWh – 1700 kWh | > 1950 kWh – 2300 kWh | > 2500 kWh – 3000 kWh |
| D | > 800 kWh – 900 kWh | > 910 kWh – 1040 kWh | > 1100 kWh – 1250 kWh | > 1700 kWh – 1950 kWh | > 2300 kWh – 2650 kWh | > 3000 kWh – 3500 kWh |
| E | > 900 kWh – 1000 kWh | > 1040 kWh – 1170 kWh | > 1250 kWh – 1400 kWh | > 1950 kWh – 2200 kWh | > 2650 kWh – 3000 kWh | > 3500 kWh – 4000 kWh |
| F | > 1000 kWh – 1100 kWh | > 1170 kWh – 1300 kWh | > 1400 kWh – 1550 kWh | > 2200 kWh – 2450 kWh | > 3000 kWh – 3350 kWh | > 4000 kWh – 4500 kWh |
| G | > 1100 kWh | > 1300 kWh | > 1550 kWh | > 2450 kWh | > 3350 kWh | > 4500 kWh |

- ako je kapacitet zadržavanja prašine filtera $< M_{G/M/F}$, filterar je u energetskom razredu G!

Energetsko certificiranje filtera prema EUROVENT 4/11

- određivanje energetskog razreda filtera za sljedeće uvjete:
 - dimenzija čelne površine 592x592 mm prema EN15805 (vel. 1)
 - ispitni protok zraka 3400 m³/h
 - trajanje pogona 6000 h
 - stupanj korisnosti ventilatora 0,5 (fiksno).
- godišnja potrošnja energije za pogon ventilatora uslijed pada tlaka na filteru:

$$W = \frac{q_v \overline{\Delta p} t}{1000 \eta}$$

- svi podaci o filteru za određivanje energetskog razreda (klasa filtracije, krivulja pada tlaka, MTE za 0,4μm) dobivaju se iz jednog istog ispitivanja filtera prema EN779 uz protok zraka 3400 m³/h.

Filtracija prema EN 13779

- kvaliteta vanjskog zraka:

ODA 1 – čist zrak s povremenim onečišćenjem (npr. pelud)

- koncentracije karakterističnih zagađivača ispod vrijednosti propisanih od WHO 1999. god ili vrijednosti iz nacionalnog propisa

ODA 2 – zrak s povišenom koncentracijom čestica i plinova

- koncentracije karakterističnih zagađivača iznad vrijednosti propisanih od WHO 1999. god ili vrijednosti iz nacionalnog propisa do faktora 1.5

ODA 3 – zrak s vrlo visokom koncentracijom čestica i plinova

- koncentracije karakterističnih zagađivača iznad vrijednosti propisanih od WHO 1999. god ili vrijednosti iz nacionalnog propisa preko faktora 1.5

- karakteristični zagađivači u vanjskom zraku, npr.: CO₂, SO₂, O₃, NO₂, PM₁₀...

Filtracija prema EN 13779

- kvaliteta unutarnjeg zraka:

IDA 1 – visoka kvaliteta unutarnjeg zraka

IDA 2 – srednja kvaliteta unutarnjeg zraka

IDA 3 – umjerena kvaliteta unutarnjeg zraka

IDA 4 – niska kvaliteta unutarnjeg zraka

- klasifikacija preko indirektnih kriterija (protok po jedinici površine prostorije, po osobi) ili preko direktnih kriterija (prema koncentraciji CO₂, prema koncentraciji karakterističnog zagađivača).

Filtracija prema EN 13779

- kvaliteta unutarnjeg zraka prema koncentraciji CO₂:

| Kvaliteta unutarnjeg zraka | Koncentracija CO ₂ iznad vanjskog zraka [ppm] | |
|----------------------------|--|------------------------|
| | Tipični raspon | Preporučena vrijednost |
| IDA 1 (visoka) | ≤ 400 | 350 |
| IDA 2 (srednja) | 400 - 600 | 500 |
| IDA 3 (umjerena) | 600-1000 | 800 |
| IDA 4 (niska) | > 1000 | 1200 |

- kvaliteta unutarnjeg zraka prema protoku po osobi:

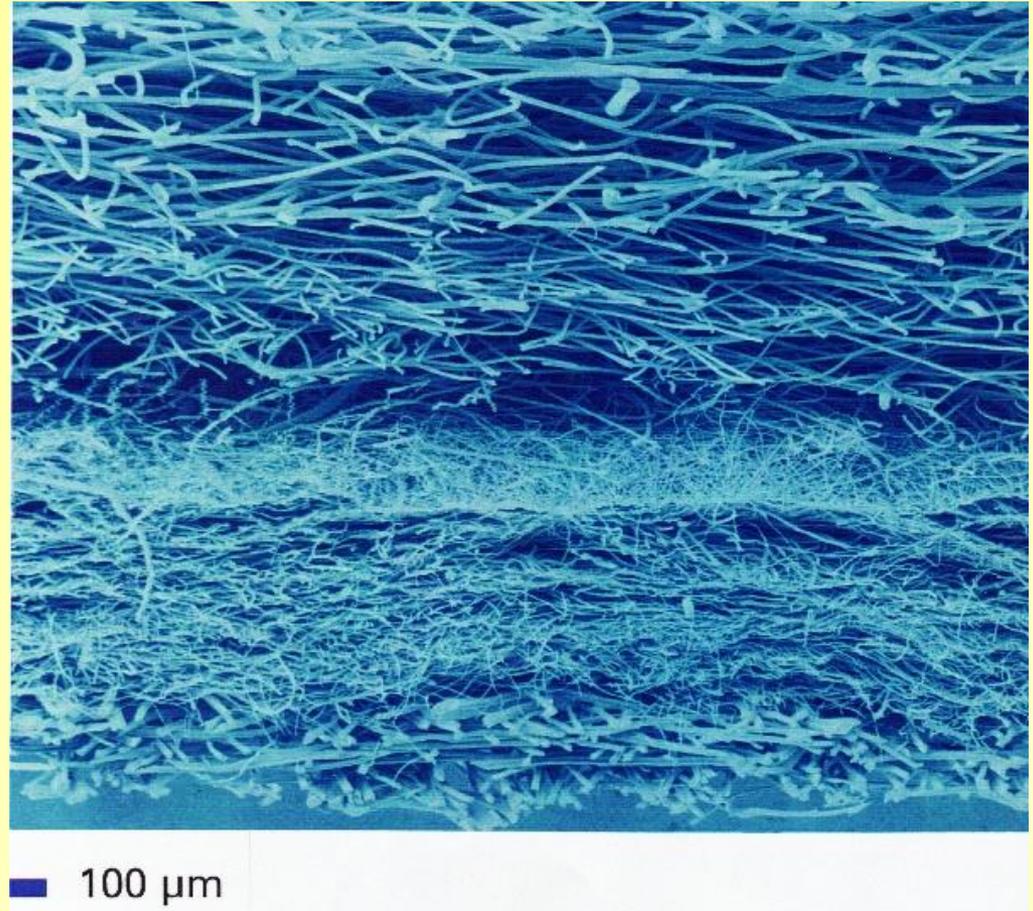
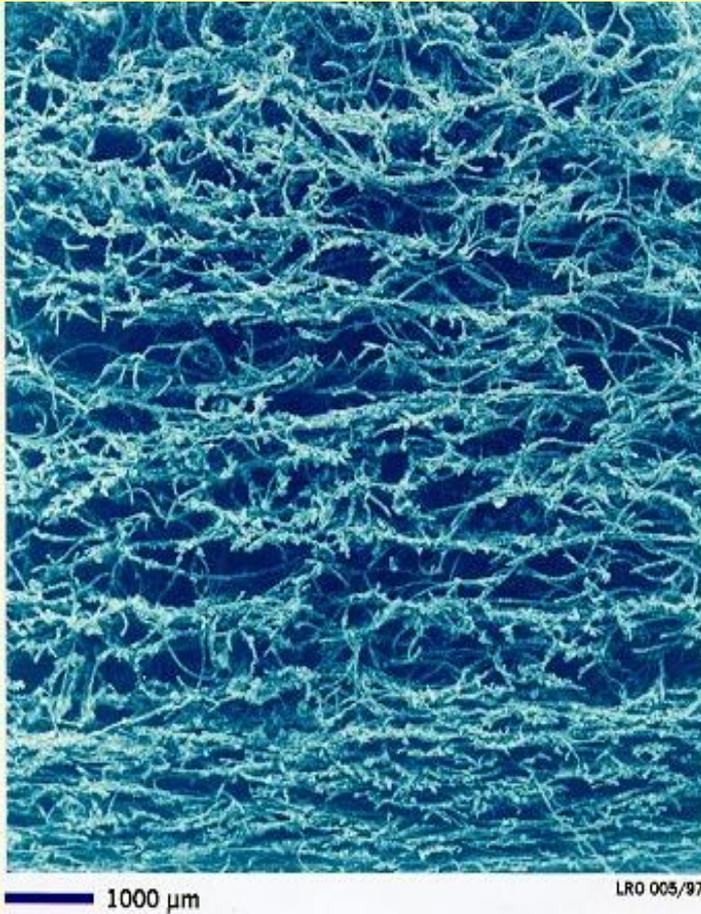
| Kvaliteta vanjskog zraka | Protok vanjskog zraka po osobi [lit/(s os)] | | | |
|--------------------------|---|------------------------|-------------------|------------------------|
| | Prostor za nepušače | | Prostor za pušače | |
| | Tipični raspon | Preporučena vrijednost | Tipični raspon | Preporučena vrijednost |
| IDA 1 (visoka) | > 15 | 20 | > 30 | 40 |
| IDA 2 (srednja) | 10 – 15 | 12,5 | 20 – 30 | 25 |
| IDA 3 (umjerena) | 6 – 10 | 8 | 12 – 20 | 16 |
| IDA 4 (niska) | < 6 | 5 | < 12 | 10 |

Filtracija prema EN 13779

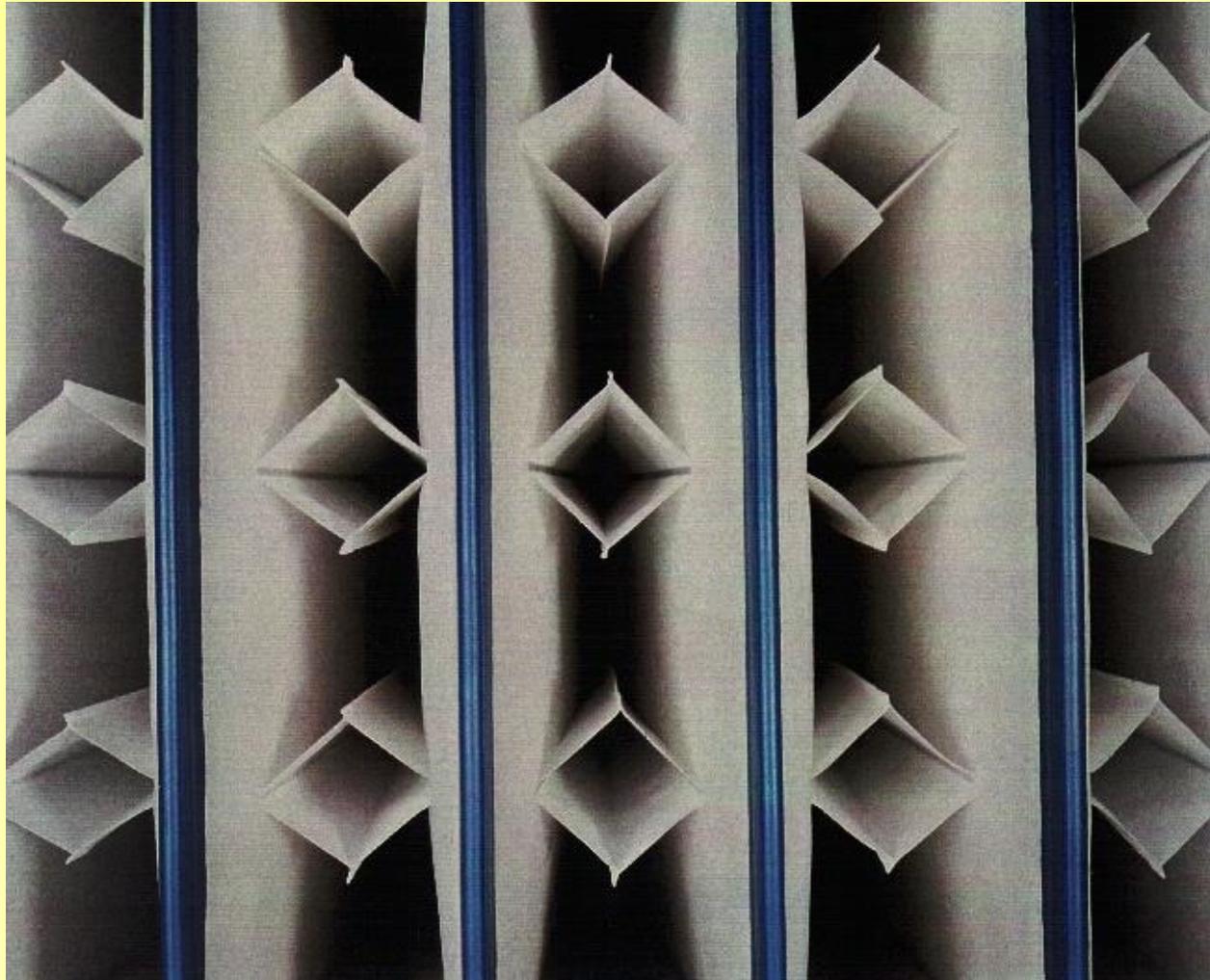
- za umjerenu kvalitetu unutarnjeg zraka (IDA 3):
 - jedan stupanj filtracije – min. klase F7 (EN 779).
 - dva stupnja filtracije – prvi min. klase M5, drugi min. klase F7.
- filtri za recirkulacijske sustave – min. klase M5.
- filtri za sustave povrata topline – min. klase M6.
- zamjena filtra po postizanju konačnog pada tlaka ili po higijenskom intervalu, ako se dogodi ranije:
 - prvi stupanj nakon 2000 sati pogona ili max. 1 godinu nakon ugradnje
 - drugi stupanj nakon 4000 sati pogona ili max. 2 godine nakon ugradnje

| Kvaliteta vanjskog zraka | Kvaliteta unutarnjeg zraka | | | |
|---------------------------|----------------------------|--------------------|---------------------|------------------|
| | IDA 1 (visoka) | IDA 2 (srednja) | IDA 3 (umjerena) | IDA 4 (niska) |
| ODA 1 (čist) | F9 | F8 | F7 | M5 |
| ODA 2 (prašina i plinovi) | F7+F9 | M6+F8 | M5+F7 | M5+M6 |
| ODA 3 (vrlo visoka konc.) | F7+AF+F9 | F7+AF+F9 | M5+F7 | M5+M6 |

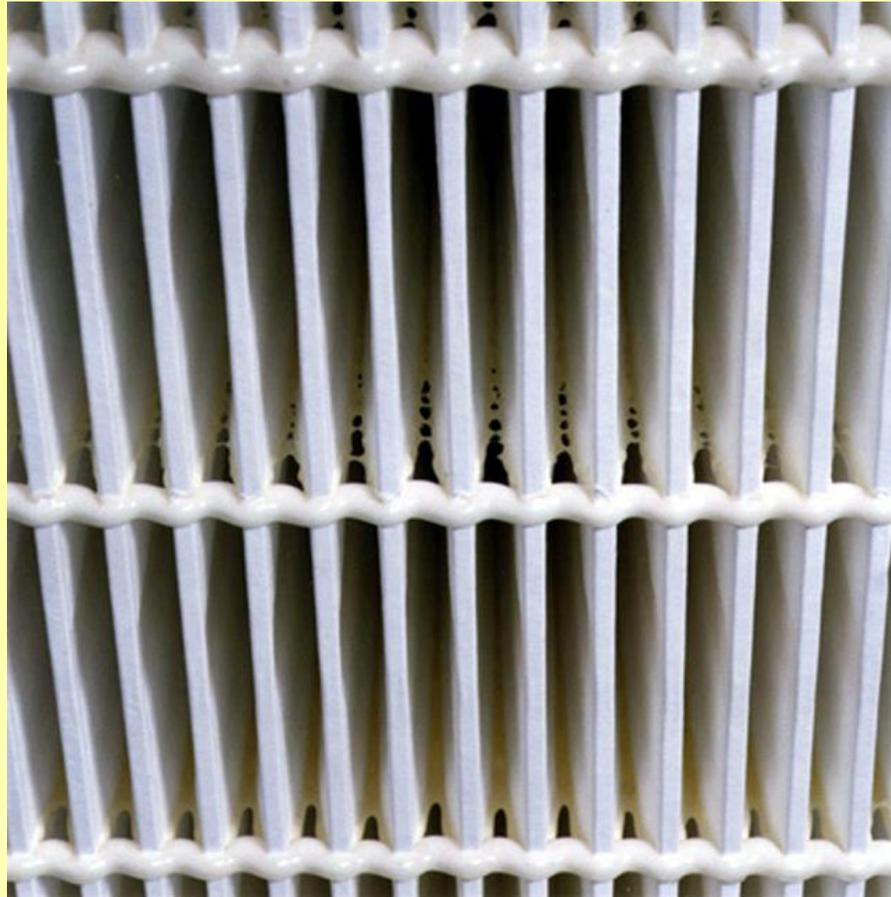
Netkani filtarski medij



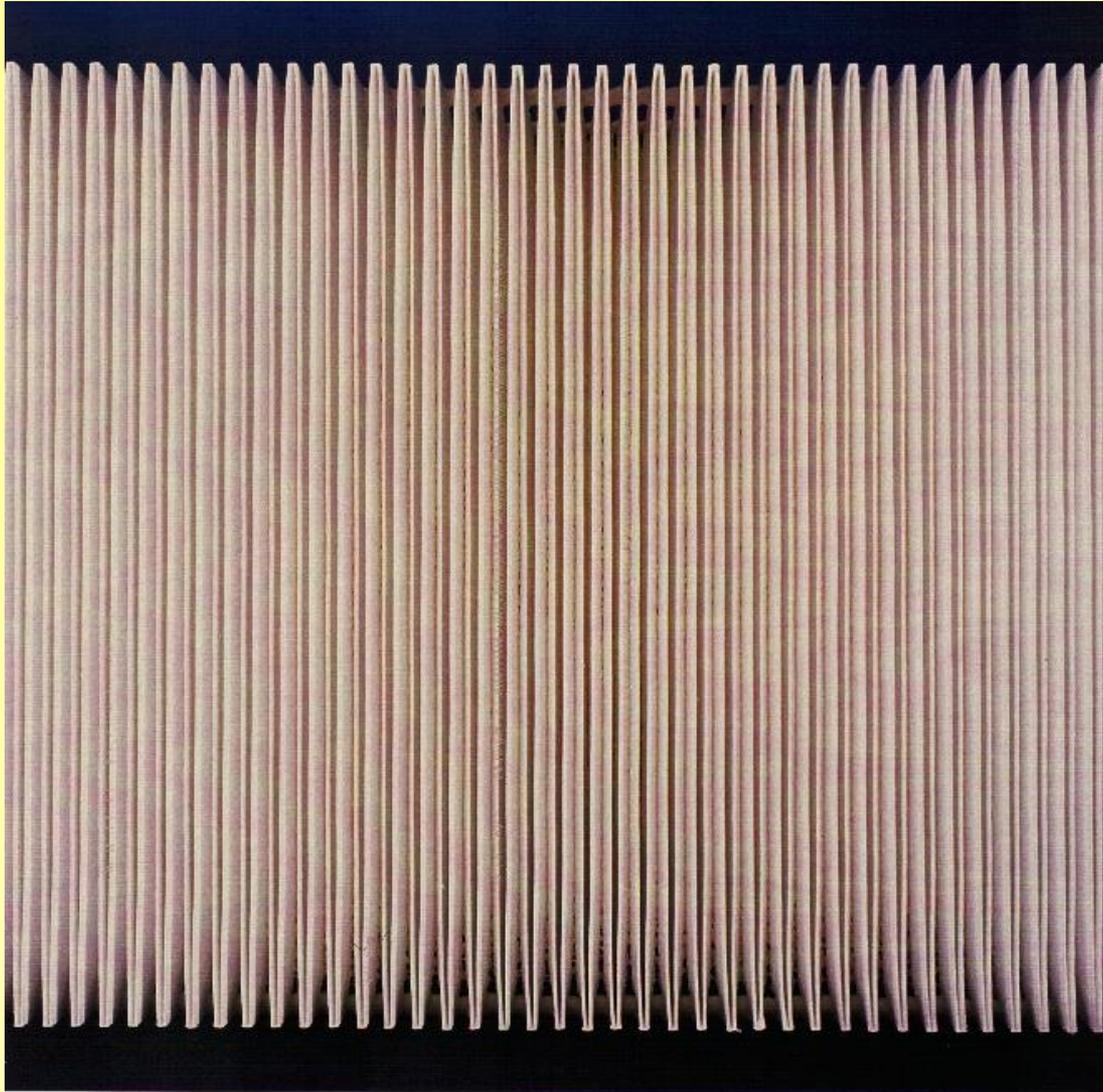
Stabilizatori na vrećastom filtru



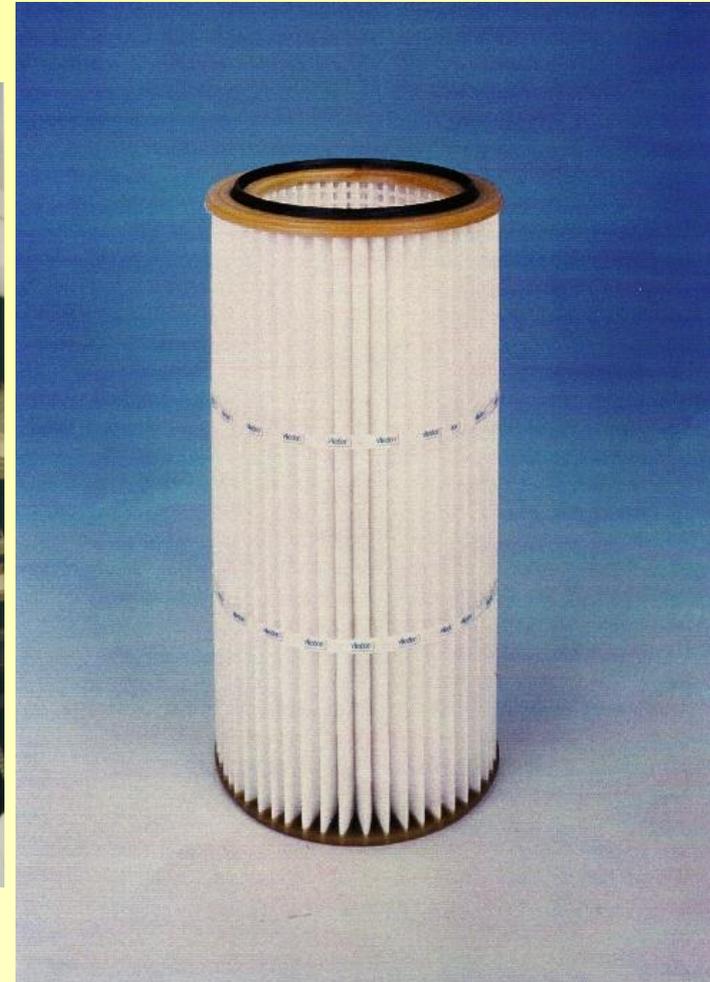
Stabilizatori/razmaknice na apsolutnom filtru



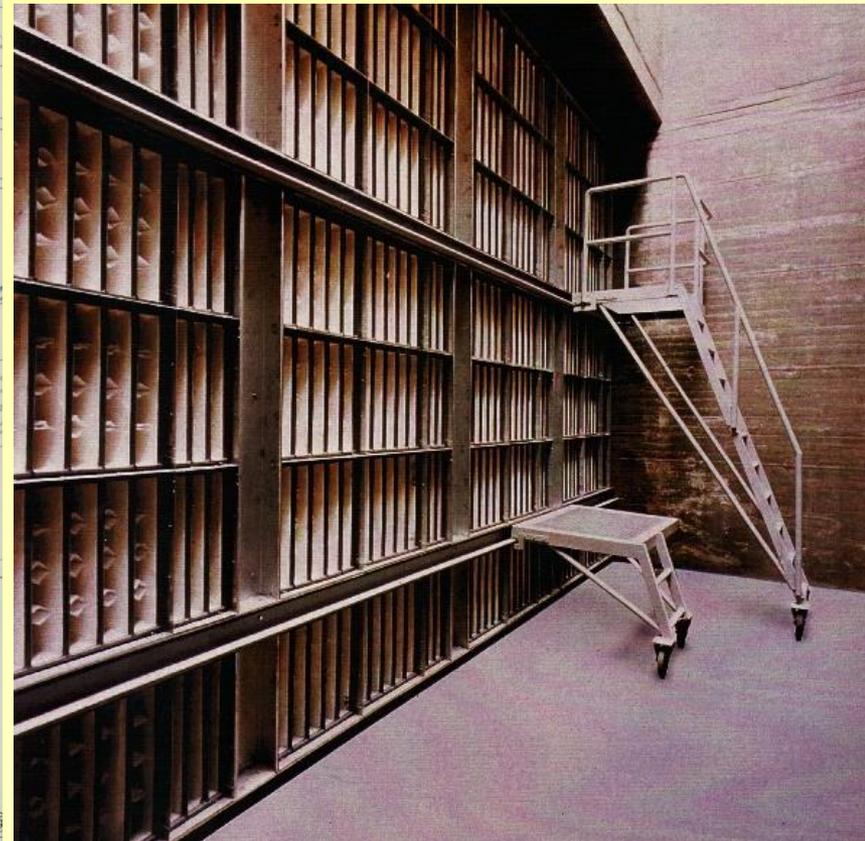
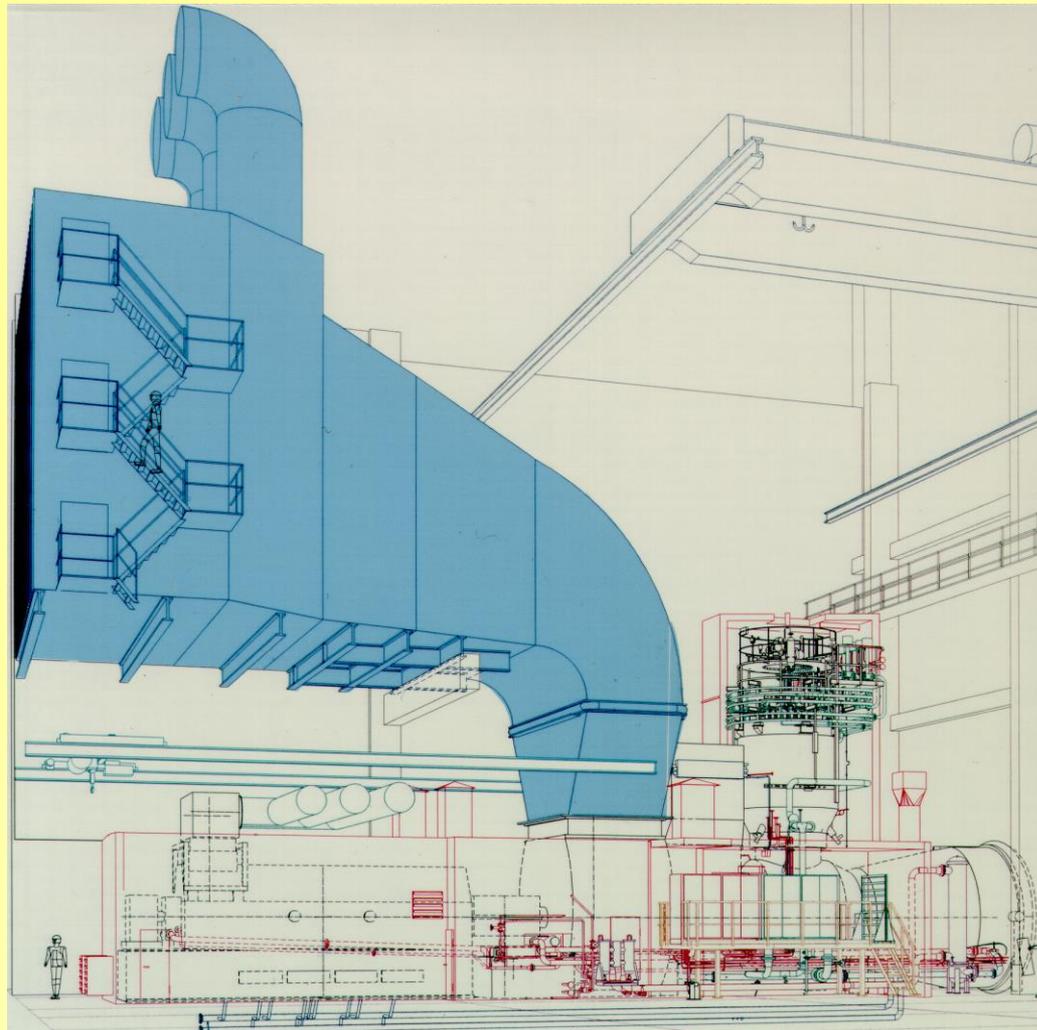
Materijal u kazetnom plisiranom filtru



Filtarska patrona



Usis zraka plinske turbine



Laboratorij



Punonica tekućih lijekova



Lakirnica



OP dvorana

