

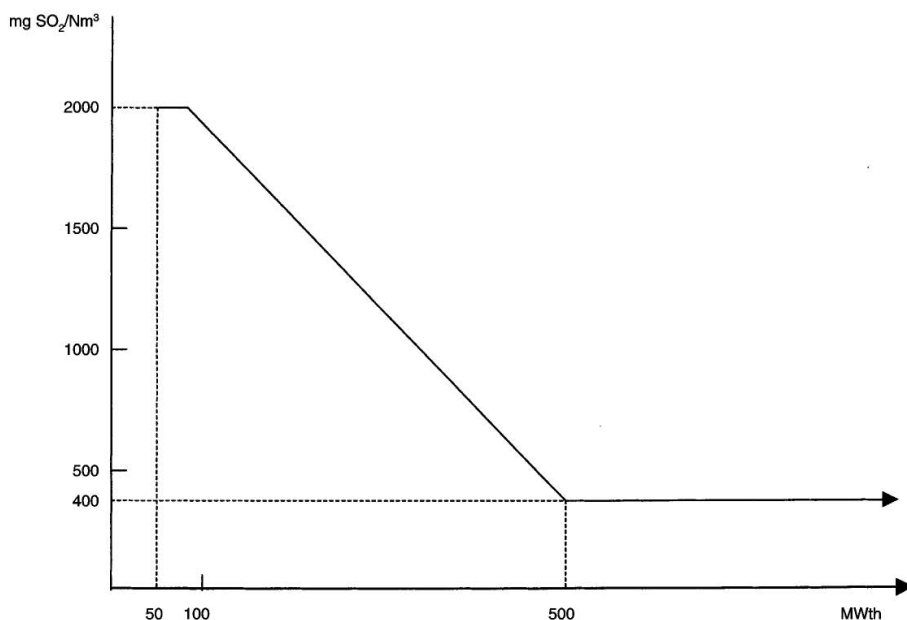
**УРЕДБА О ГРАНИЧНИМ ВРЕДНОСТИМА ЕМИСИЈА ЗАГАЂУЈУЋИХ МАТЕРИЈА  
У ВАЗДУХ ИЗ ПОСТРОЈЕЊА ЗА САГОРЕВАЊЕ**  
(“Службени гласник РС” број 6 од 28.1.2016. године)

**Значење израза**

- отпадни гасови јесу гасови испуштени у ваздух који садрже загађујуће материје у чврстом, течном или гасовитом стању. Запремински проток отпадног гаса изражава се у  $\text{m}^3/\text{h}$  при нормалним условима (температури 273,15 K и на притиску 101,3 kPa), у сувом гасу (након корекције на садржај водене паре од 0%, у даљем тексту: нормални  $\text{m}^3/\text{h}$ );
- гранична вредност емисије (ГВЕ) је највећа дозвољена количина загађујуће материје садржана у отпадним гасовима која може бити емитована у ваздух из постројења за сагоревање у одређеном периоду. Изражава се као маса загађујуће материје (масена концентрација) која се налази у 1  $\text{m}^3$  сувог отпадног гаса, при нормалним условима (температури 273,15 K и на притиску 101,3 kPa) изражена у  $\text{mg}/\text{нормални m}^3$ , под условом да је запремински удео кисеоника у отпадном гасу код великих постројења 3% у случају течних и гасовитих горива, 6% у случају чврстих горива.

**ГРАНИЧНЕ ВРЕДНОСТИ ЕМИСИЈА ЗА СУМПОР ДИОКСИД ( $\text{SO}_2$ ), ОКСИДЕ АЗОТА  $\text{NO}_x$  (ИЗРАЖЕНЕ КАО  $\text{NO}_2$ ), ПРАШКАСТЕ МАТЕРИЈЕ И УГЉЕН МОНОКСИД (CO) ЗА СТАРА ВЕЛИКА ПОСТРОЈЕЊА ЗА САГОРЕВАЊЕ**

Граничне вредности емисија за сумпор диоксид изражене у  $\text{mg}/\text{нормални m}^3$  (удео  $\text{O}_2$  6%) које се примењују на стара постројења, дате су на графикону:



Напомена: Ако се напред наведене граничне вредности емисија не могу постићи због карактеристика горива, мора се постићи степен одсумпоравања од најмање 60% у постројењима са топлотном снагом од 100  $\text{MWth}$  или мањом, 75% за постројења са топлотном снагом већом од 100  $\text{MWth}$  и мањом или једнаком 300  $\text{MWth}$  и 90% за постројења са топлотном снагом већом од 300  $\text{MWth}$ . За постројења са топлотном снагом већом од 500  $\text{MWth}$  мора се постићи степен одсумпоравања од најмање 94%.

Граничне вредности емисија за оксиде азота изражене у mg/нормални m<sup>3</sup> (удеоO<sub>2</sub> 6% за чврста горива, 3% за течна и гасовита горива) које се примењују на стара постројења, дате су у следећој табели:

Врста горива	Гранична вредност емисије (mg/нормални m <sup>3</sup> )
Чврста горива <sup>(1)</sup> :	
50 до 500 MWth	600
> 500 MWth	500
Од 1. јануара 2018. године	
50 до 500 MWth	600
> 500 MWth	200
Течна горива	
50 до 500 MWth	450
> 500 MWth	400
Гасовита горива	
50 до 500 MWth	300
> 500 MWth	200

(1) Од 1. јануара 2018. године, на постројења која неће радити више од 1500 часова годишње (у петогодишњем просеку), примењује се гранична вредност емисије од 450 mg/нормални m<sup>3</sup>.

Граничне вредности емисија за прашкасте материје изражене у mg/нормални m<sup>3</sup> (удео O<sub>2</sub> 6% за чврста горива, 3% за течна и гасовита горива) које се примењују на стара постројења, дате су у следећој табели:

Врста горива	Топлотна снага (MWth)	Гранична вредност емисије (mg/нормални m <sup>3</sup> )
Чврсто	≥ 500 < 500	50 <sup>(2)</sup> 100
Течно <sup>(1)</sup>	Сва постројења	50
Гасовито	Сва постројења	5 (по правилу) 10 (за гас из високе пећи) 50 (за гас настао у индустрији челика а који се може користити на другом месту)

(1) Гранична вредност емисије од 100 mg/нормални m<sup>3</sup> може се применити на постројења за сагоревање улазне топлотне снаге мање од 500 MWth ако користе течна гориво са уделом пепела већим од 0,06%.

(2) Гранична вредност емисије од 100 mg/нормални m<sup>3</sup> може се применити на постројења за сагоревање улазне топлотне снаге једнаке или веће од 500 MWth која сагоревају чврсто гориво чија је топлотна моћ мања од 5800 kJ/kg (нето калоријска вредност), садржај воде већи од 45 масених %, укупни масени удео воде и пепела већи од 60% и удео калцијум оксида (CaO) већи од 10%.

ГРАНИЧНЕ ВРЕДНОСТИ ЕМИСИЈА ЗА СУМПОР ДИОКСИД (SO<sub>2</sub>), ОКСИДЕ АЗОТА NO<sub>x</sub> (ИЗРАЖЕНЕ КАО NO<sub>2</sub>), ПРАШКАСТЕ МАТЕРИЈЕ И УГЉЕН МОНОКСИД (CO) ЗА НОВА ВЕЛИКА ПОСТРОЈЕЊА ЗА САГОРЕВАЊЕ

Граничне вредности емисија за сумпор диоксид изражене у mg/нормални m<sup>3</sup> које се примењују на постројења за сагоревање која користе чврста или течна горива, осим гасних турбина и гасних мотора, дате су у следећој табели:

Укупна топлотна снага (MWth)	Угаљ и лигнит и друга чврста горива	Биомаса	Тресет	Течна горива
50-100	400	200	300	350
100-300	200	200	300  250 у случају сагоревања у флуидизованом слоју	200
> 300	150  200 у случају сагоревања у циркулационом флуидизованом слоју или флуидизованом слоју под притиском	150	150  200 у случају сагоревања у флуидизованом слоју	150

Граничне вредности емисија за оксиде азота изражене у mg/нормални m<sup>3</sup> које се примењују на постројења за сагоревање која користе чврста или течна горива, осим гасних турбина и гасних мотора, дате су у следећој табели:

Укупна топлотна снага (MWth)	Угаљ и лигнит и друга чврста горива	Биомаса и тресет	Течна горива
50-100	300  400 у случају сагоревања спрашеног лигнита	250	300
100-300	200	200	150
> 300	150  200 у случају сагоревања спрашеног лигнита	150	100

Граничне вредности емисија за прашкасте материје изражене у mg/нормални m<sup>3</sup> које се примењују на постројења за сагоревање која користе чврста или течна горива, осим гасних турбина и гасних мотора, дате су у следећој табели:

Укупна топлотна снага (MWth)	Гранична вредност емисије (mg/нормални m <sup>3</sup> )
50-300	20
> 300	10 20 за биомасу и тресет

## УРЕДБА О МЕРЕЊИМА ЕМИСИЈА ЗАГАЂУЈУЋИХ МАТЕРИЈА У ВАЗДУХ ИЗ СТАЦИОНАРНИХ ИЗВОРА ЗАГАЂИВАЊА

Прерачунавање масених концентрација загађујућих материја у влажним отпадним гасовима на суве врши се према следећој једначини:

$$C_s = C_v \cdot \frac{100}{100 - \%H_2O}$$

где је:

$C_s$  - масена концентрација у сувим отпадним гасовима у  $mg/normalni\ m^3$ ,

$C_v$  - масена концентрација у влажним отпадним гасовима у  $mg/normalni\ m^3$ ,

$\%H_2O$  - садржај влаге у отпадним гасовима у %;

Прерачунавање измерених масених концентрација на нормалне услове се врши према

$$C_n \left[ \frac{mg}{Nm^3} \right] = C_{izm} \left[ \frac{mg}{m^3} \right] \frac{101,3}{p[kPa]} \frac{T[K]}{273,15},$$

где је:

$C_n$  - масена концентрација при нормалним условима у  $mg/Nm^3$ ,

$C_{izm}$  - масена концентрација при реалним условима у  $mg/m^3$ ,

$p$  - апсолутни притисак у емитеру у  $kPa$ ,

$T$  - апсолутна температура у  $K$ .

### 3) Прерачунавање на референтни удео кисеоника

3.1) Прерачунавање масених концентрација на референтни удео кисеоника у отпадном гасу врши се према следећој једначини:

$$C_{ref} = \frac{21 - O_{2_{izm}}}{21 - O_{2_{ref}}} \cdot C_{izm}$$

где је:

$C_{ref}$  - масена концентрација сведена на референтни удео кисеоника у  $mg/normalni\ m^3$ ,

$C_{izm}$  - измерена масена концентрација у  $mg/normalni\ m^3$ ,

$O_{2_{izm}}$  - измерени удео кисеоника у %,

$O_{2_{ref}}$  - референтни удео кисеоника у отпадном гасу у %.

3.2) Прерачунавање запремине на референтни удео кисеоника у отпадном гасу врши се према следећој једначини:

$$V_{gref} = \frac{21 - O_{2_{izm}}}{21 - O_{2_{ref}}} \cdot V_{izm}$$

где је:

$V_{gref}$  - запремина сведена на референтни удео кисеоника у  $m^3$ ,

$V_{izm}$  - измерена запремина у  $m^3$ ,

$O_{2_{izm}}$  - измерени удео кисеоника у %,

$O_{2_{ref}}$  - референтни удео кисеоника у отпадном гасу у %;

### 4) Прерачунавање концентрације из (ppm) у ( $mg/m^3$ )

Прерачунавање измерених вредности из (ppm) у ( $mg/normalni\ m^3$ ) врши се према следећој једначини:

$$C_m = C_v \cdot \frac{M}{V_0}$$

где је:

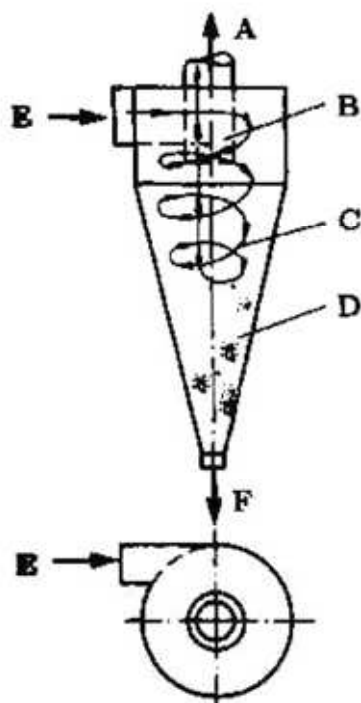
$C_m$  - масена концентрација у  $mg/normalni\ m^3$ ,

$C_v$  - измерен запремински удео у ppm,

$M$  - моларна маса у  $g/mol$ ,

$V_0 = 22,4\ dm^3/mol$  - моларна запремина која представља запремину коју заузима 1 мол идеалног гаса при нормалним условима (на температури од  $273,15\ K = 0^\circ\ C$  и под притиском од  $101,3\ kPa$ );

## *Ciklonski separatori prašine*



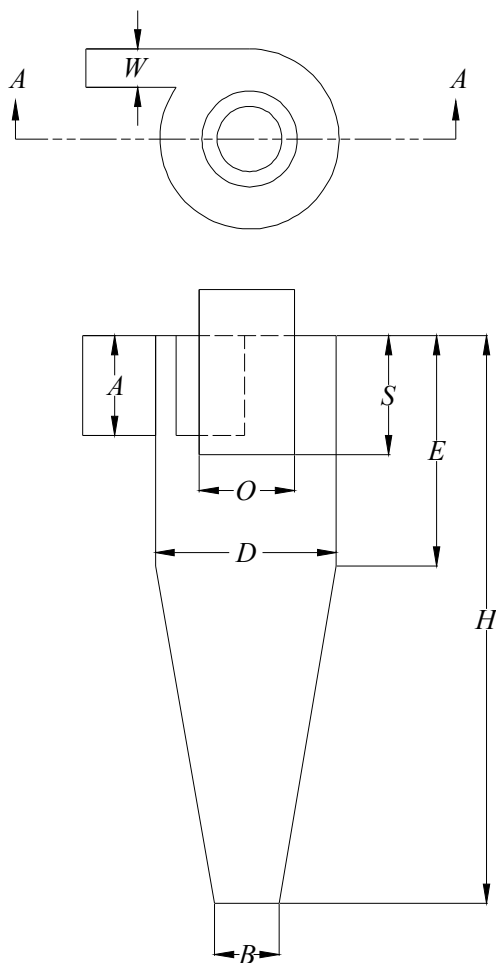
- A - isticanje prečišćenog dimnog gasa
- B - središnja izlazna cev
- C - strujnice
- D - levak
- E - uticanje dimnog gasa
- F - izdvajanje čestica prašine

Slika 1 Ciklonski separator za izdvajanje čestica prašine

Dvofazno strujanje vazduha i čvrstih čestica različitih veličina i oblika kroz spojne cevovode, a posebno u okviru ciklonskih separatora, izuzetno je složeno. Oblik dvofaznog strujanja je određen nizom parametara i mehanizama, kao što su koncentracija čestica, međufazno trenje između gasne i čvrste faze, trenje na zidovima strujnih kanala, brzina vazduha. Strujanje u ciklonima je zavojno sa izraženim klizanjem između gasa i čestica i povratnim vrtložnim strujanjem u osi ciklona. Osnovne dimenzije ciklonskog separatora, od kojih zavisi efikasnost izdvajanja čestica i gasodinamički otpor su označene na slici 2. Preporuke za izbor dimenzija ciklona su date u Tabeli 1, zavisno od namene. Pri korišćenju podataka iz Tabele 1, polazi se od zadatog zapreminskog protoka gasa  $\dot{V}$ . Zapreminski protok se deli sa vrednošću iz poslednje kolone Tabele 1, određuje se kvadratni koren i dobija se prečnik ciklona D. Sve druge dimenzije ciklona u Tabeli 1 su date u odnosu na prečnik D. Pad pritiska u ciklonu se određuje u odnosu na koeficijent lokalnog otpora  $\zeta$  (pretposlednja kolona u Tabeli 1)

$$\Delta p = \zeta \frac{\rho_G u_1^2}{2} \quad (1)$$

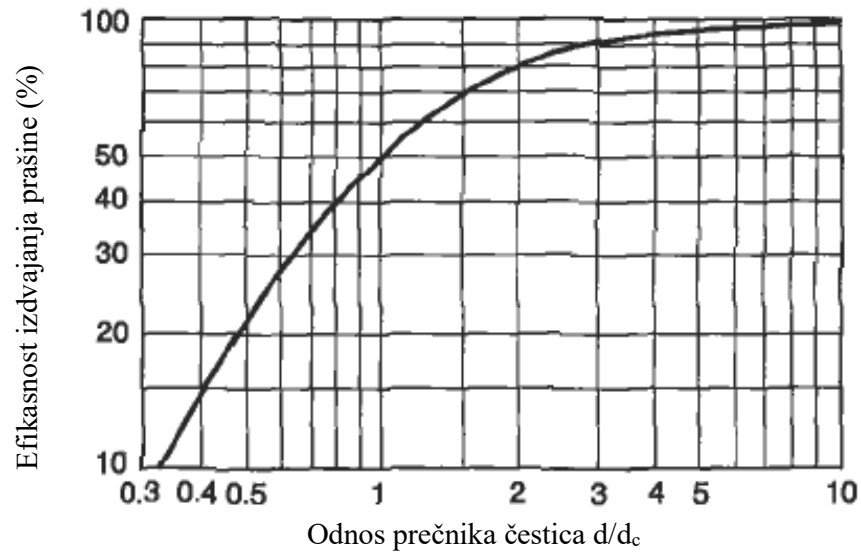
gde je  $\rho_G$  gustina gasa i  $u_1$  je brzina gasa na ulazu u ciklon.



Slika 2 Osnovne dimenzije vertikalnog ciklonskog separatora.

Standardne dimenzije separatora sa slike

Režim rada	$D$	$A/D$	$W/D$	$O/D$	$S/D$	$E/D$	$H/D$	$B/D$	$\zeta$	$\dot{V}/D^2$ (m/s)
Visoka efikasnost	1	0.5	0.2	0.5	0.5	1.5	4.0	0.375	5.4	1.53
Visoka efikasnost	1	0.44	0.21	0.4	0.5	1.4	3.9	0.4	9.2	1.37
Opšte namene	1	0.5	0.25	0.5	0.625	2.0	4.0	0.25	8.0	1.91
Opšte namene	1	0.5	0.25	0.5	0.6	1.75	3.75	0.4	7.6	1.86
Velikog kapaciteta	1	0.75	0.375	0.75	0.875	1.5	4.0	0.375	7.2	4.58
Velikog kapaciteta	1	0.8	0.35	0.75	0.85	1.7	3.7	0.4	7.0	3.47



Slika 3 Efikasnost izdvajanja prašine u zavisnosti od odnosa stvarnog prečnika čestica i prečnika  $d_c$  pri kome se izdvaja 50% čestica

$$d_c = \sqrt{\frac{9\mu W}{2\pi\rho_p u_1 N}} \quad (2)$$

gde je  $\mu$  dinamička viskoznost gasa,  $W$  je širina ulaznog kanala u ciklonski separator (slika 2),  $\rho_p$  je gustina čestica,  $u_1$  je brzina gasa na ulazu u ciklon, a  $N$  je broj okretaja vazdušnog delića u ciklonu i određuje se prema

$$N = \frac{\pi}{A} [2(H - E) - E] \quad (3)$$

Parametri  $A$ ,  $H$  i  $E$  označavaju dimenzije prema slici 2.

## ***Proračun pada pritiska pri strujanju smeše gasa i čestica***

Koeficijent trenja pri strujanju mešavine vazduha i prašine određuje se prema

$$f_m = f_v (1 + m^*)^{0,3} \quad (4)$$

gde je  $f_v$  koeficijent trenja pri strujanju samo vazduha, a sa  $m^*$  je označen maseni odnos između faza, koji se određuje prema

$$m^* = \alpha_\varepsilon \rho_\varepsilon / [(1 - \alpha_\varepsilon) \rho_v] \quad (5)$$

U jednačini (5) sa  $\alpha_\varepsilon$  je označen zapreminski udeo čestica u mešavini sa gasnom fazom, a gustina čestica je obeležena sa  $\rho_\varepsilon$ . Koeficijent trenja pri jednofaznom strujanju vazduha je određen obrascem Altšula

$$f_v = \frac{0,1}{4} \left( 1,46 \frac{\delta}{D_h} + \frac{100}{\text{Re}_v} \right)^{0,25} \quad (6)$$

gde je odnos hrapavosti i hidrauličkog prečnika označen sa  $\delta/D_h$ , a Reynoldsov broj je određen prema

$$\text{Re}_v = \frac{u_v D_h}{\nu_v} \quad (7)$$

Pri izotermnom strujanju i umerenim promenama pritiska i gustine gasa, promena pritiska između dva preseka u pravolinijskom strujnom kanalu konstantnog poprečnog preseka se može odrediti sledećim izrazom

$$p_1 - p_2 = 4 f_m \frac{L}{D} \frac{G_v^2}{2 \rho_v} + \rho_m H g \quad (8)$$

gde je  $f_m$  koeficijent trenja,  $L$  je dužina cevi,  $D$  je prečnik cevi,  $\rho_v$  je gustina gasa,  $G_v$  je maseni fluks gasa (proizvod gustine i brzine gasa  $G_v = \rho_v u_v$ ),  $H$  je porast visine od preseka 1 do preseka 2, ubrzanje Zemljine teže je označeno sa  $g$ , a gustina mešavine vazduha i prašine se određuje prema

$$\rho_m = (1 - \alpha_\varepsilon) \rho_v + \alpha_\varepsilon \rho_\varepsilon \quad (9)$$

U slučaju većih promena pritiska, kada do izražaja dolazi kompresibilnost gasa, integracijom izraza za diferencijalnu promenu pritiska se dobija

$$1 - \frac{p_2^2}{p_1^2} = 4 f_m \frac{L}{D} G_v^2 \frac{RT}{p_1^2} + (1 + m^*) 2 G_v^2 \frac{R_v T}{p_1^2} \ln \frac{p_1}{p_2} + (1 + m^*) 2 \bar{p}^2 \frac{g H}{R_v T p_1^2} \quad (10)$$

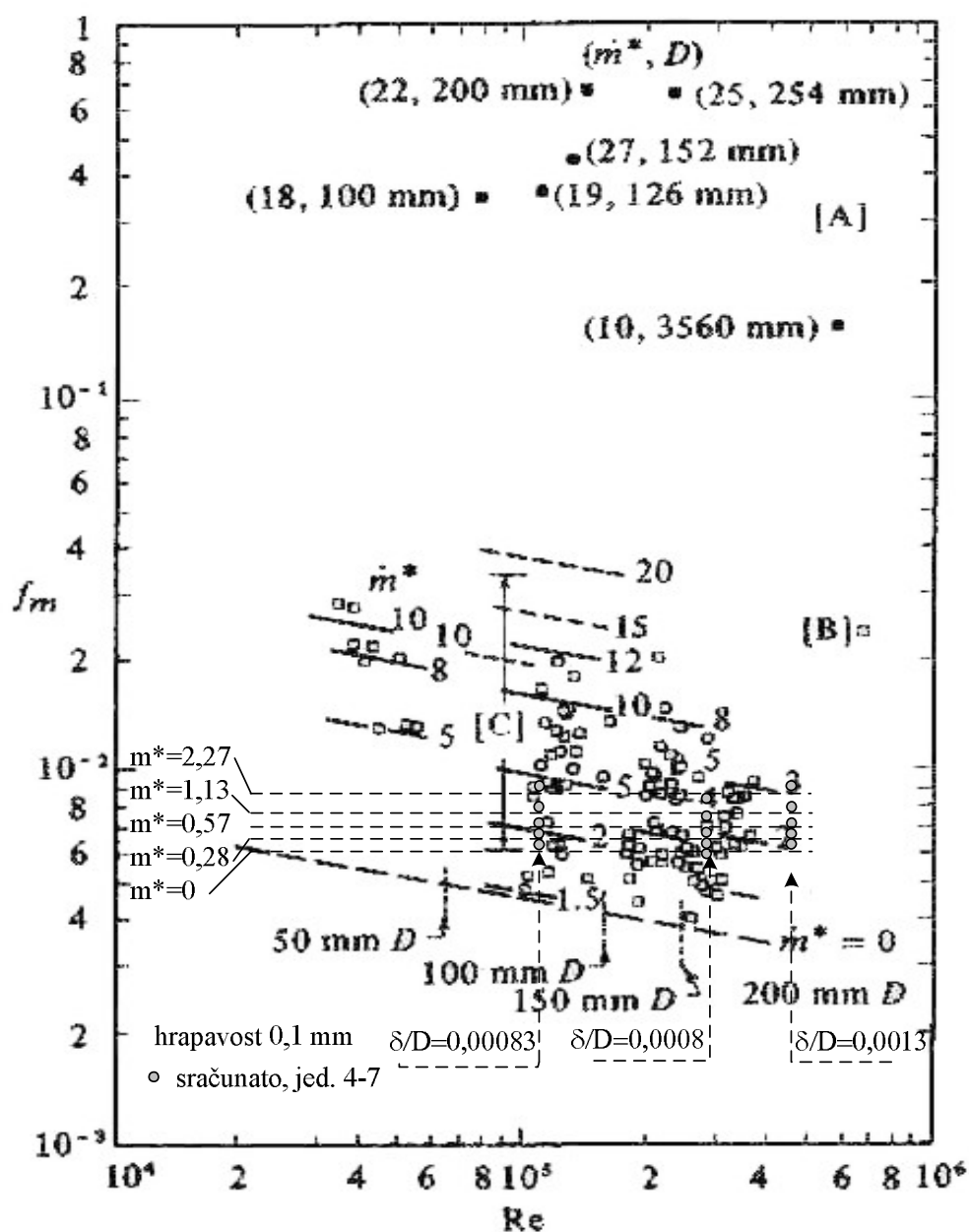
gde je  $\bar{p} = (p_1 + p_2) / 2$ , indeks 1 označava parametre na ulazu, a 2 na izlazu iz strujnog kanala.

Lokalni otpori na mestima spajanja pojedinih deonica cevovoda se mogu proceniti izrazom za homogeno strujanje prašine i vazduha

$$\Delta p_l = \zeta \frac{G_m^2}{2 \rho_m} \quad (11)$$

gde je sa  $\zeta$  označen koeficijent lokalnog otpora, a  $G_m$  je maseni fluks mešavine ( $G_m = \rho_m u_v$ ).

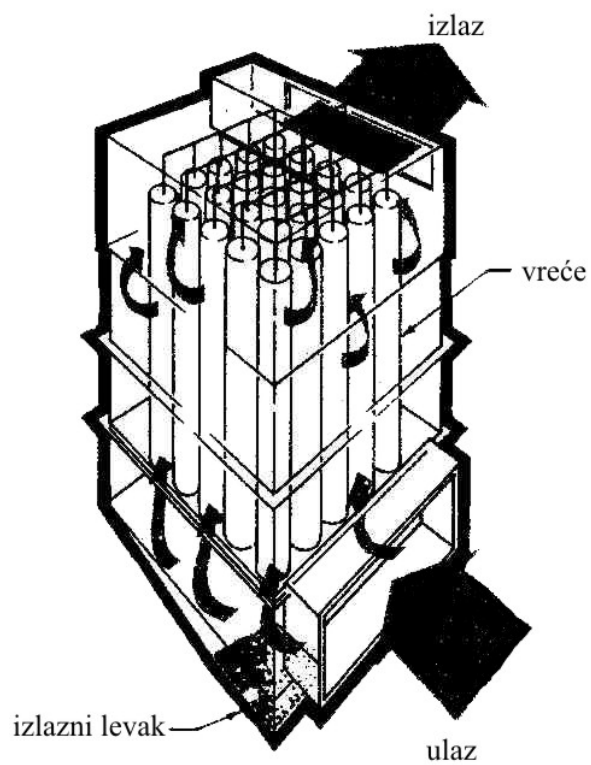
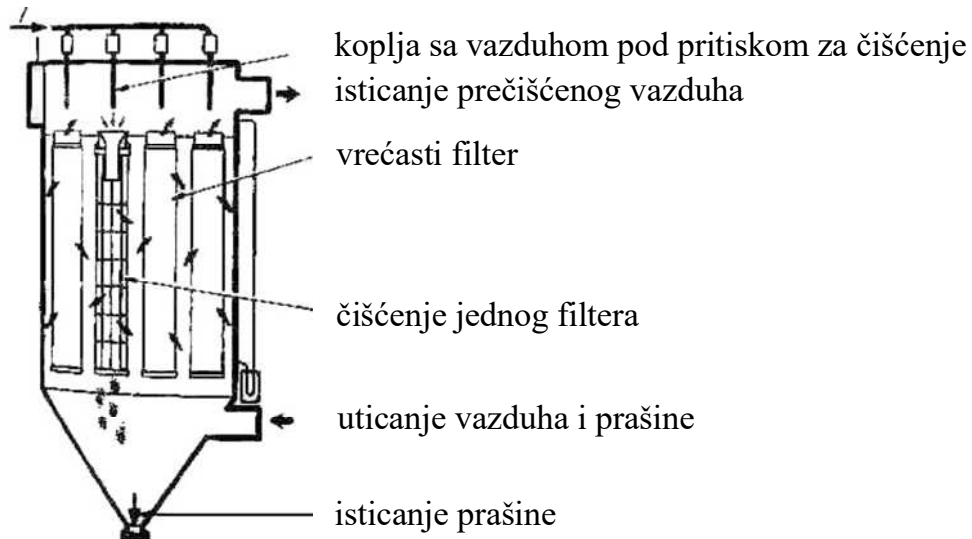




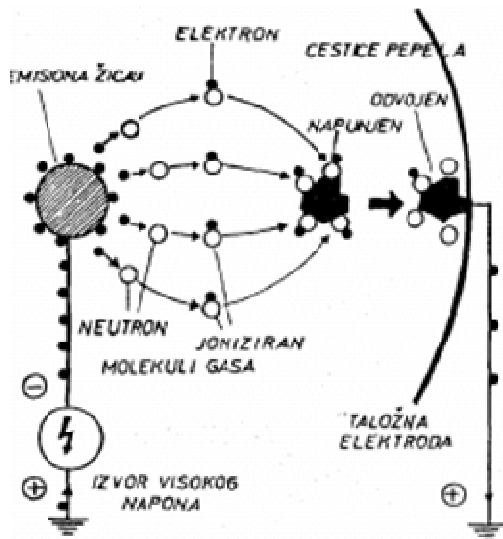
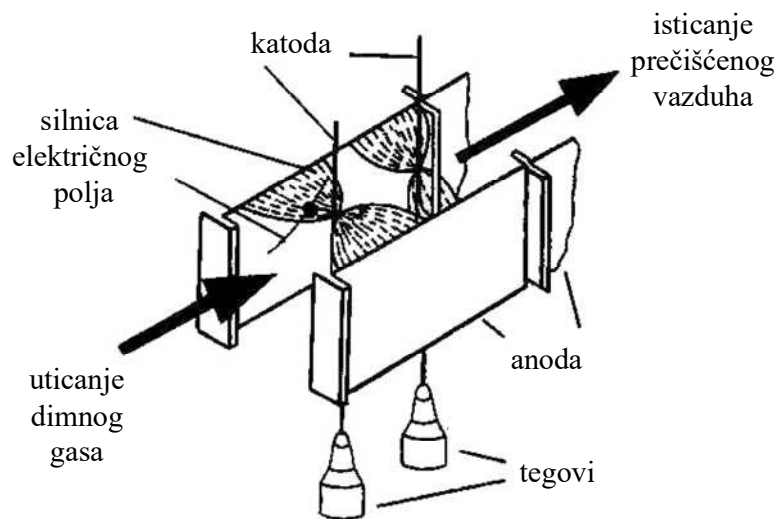
Slika 4 Eksperimentalne i sračunate (jed. od 4 do 7) vrednosti Fanning-ovog koeficijenta trenja na zidu pri strujanju smeše vazduha i čestica ugljene prašine; (maseni odnos faza  $m^*$  prema jed. 5,  $D$  je prečnik cevi,  $\delta/D$  je relativna hrapavost zida, sa A, B i C su obeleženi različiti izvori eksperimentalnih podataka).

## *Separator sa vrećastim filteirima*

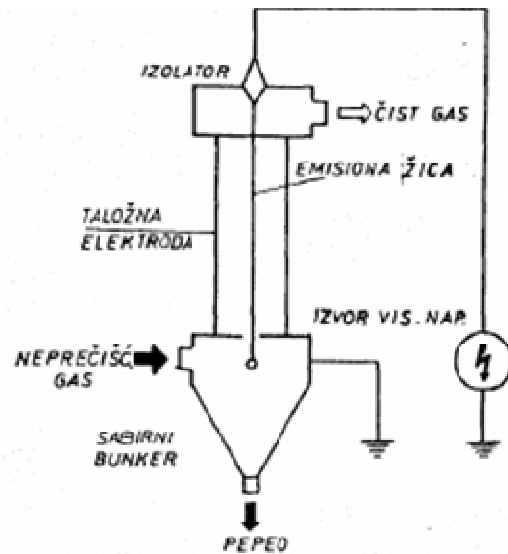
vazduh pod pritiskom



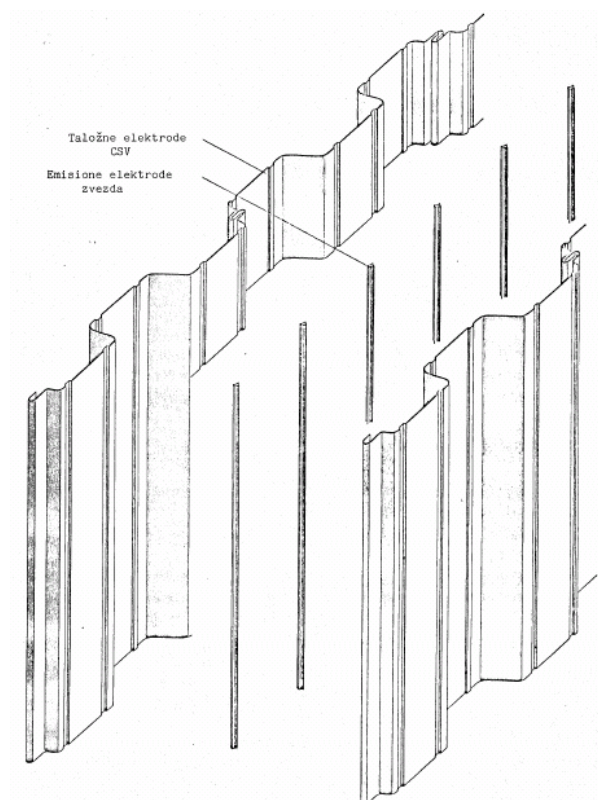
## Elektrofilteri



Uprošćen prikaz  
procesa odvajanja



Šematski prikaz  
osnovnog oblika el. filtra



Efikasnost elektrofiltera

$$f = 1 - \exp(-0,2k\omega)$$

gde je  $\omega$  migraciona brzina kretanja naelektrisanih čestica od katode ka anodi (8-20 cm/s)

$$k = A_{El} / \dot{V}_{dg}$$