



# OSNOVNE METODE I POSTUPCI ZA PREČIŠĆAVANJE VAZDUHA U INDUSTRIJI



Predmetni profesor: Dr Željko Despotović, dipl.el.inž.

# POSTUPCI ZA PREČIŠČAVANJE VAZDUHA

## I-HEMIJSKI POSTUPCI

- Proste hemijske reakcije (neutralizacija, redukcija, oksidacija)
- Katalitičke reakcije (homogena i heterogena kataliza)
- Piroliza (šaržne i protočne peći)
- Sagorevanje (prosto i katalitičko)

## II FIZIČKO-HEMIJSKI POSTUPCI

- Toplotni izdvažači, kondenzatori
- Apsorberi (kapljičasti, s punjenjem, sa podovima)
- Adsorberi (sa pokretnim i nepokretnim adsorbensom)

## III FIZIČKI POSTUPCI

- Mehanički izdvažači
- Elektrostatički izdvažači (elektrostatički filteri)
- Vrećasti filteri

# Savremene metode ispitivanja zagađenosti vazduha

## 1. HEMIJSKE METODE (I generacija)

- Kolorimetrija (Dreger –cevčice)
- Turbidimetrija ili nefelometrija (zamućenost)
- Hromatografija

## 2. FIZIČKO-HEMIJSKE METODE (II generacija)

- Kolorimetrija
- Spektrofotometrija
- Kulonometrija
- Konduktometrija

## 3.FIZIČKE METODE (III generacija)

- Spektro foto metrija, apsorpcija i rasejanje (CO, TENT)
- Fluorescentna metoda (SO<sub>2</sub> M.Zaki}
- Plamena apsorpciona spektrometrija
- Metoda laser i lidar tehnike
- Fotoelektronska spektrpskopija
- Interakcija elektrona sa atomima i molekulima
- Masena spektrometrija
- Poluprovodnički senzori
- Optogalvanski efekat
- Optoakustička spektroskopija
- Ultrazvučna dijagnostika.....

# Fizički postupci za prečišćavanje vazduha

## A) MEHANIČKI IZDVAJAČI

- Gravitacioni (taložni kanali, taložne komore)
- Centrifugalni (cikloni, multicikloni, mehanički penasti izdvajači)
- Inercioni (udarni, obilazni –žaluzinski, Venturi – kapljičasti, penasti)
- Filtri (nepokretno cedilo, vrećasto, ravno, sa punjenjem, pokretno, namotajno, sa beskrajnom trakom)

## B) DIMNJACI

## C) ELEKTROSTATIČKI IZDVAJAČI –PRECIPITATORI (ELEKTROSTATIČKI FILTERI)

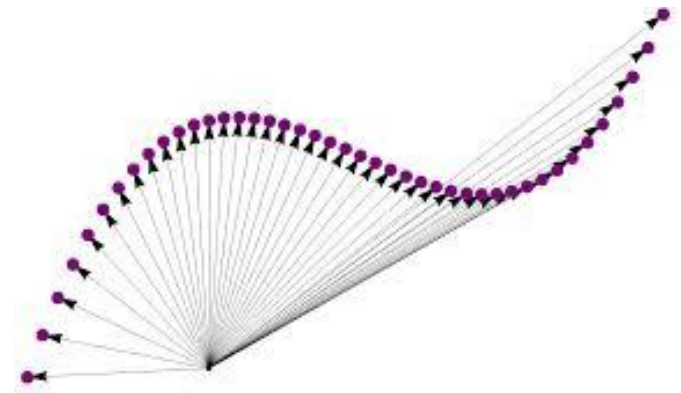
- Jednozonalni
- Dvozonalni
- Kombinovani

# Kontrola aerozagađenja- opsezi korišćenja pojedinih metoda za prečišćavanje vazduha



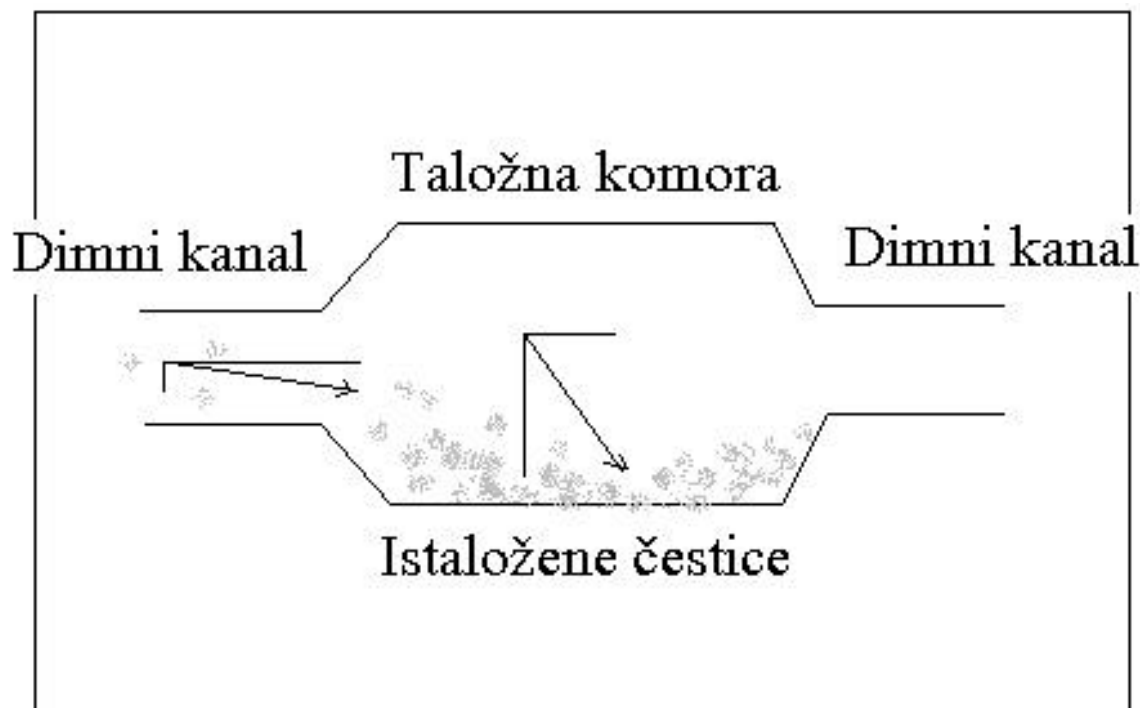
## Sile koje deluju na čestice polutanata

- Sile Zemljine teže
- Sile potiska
- Sile inercije
- Centrifugalna sile
- Sile pritiska
- Sile otpora
- Sile turbulentnih udara
- Elektrostaticka sile

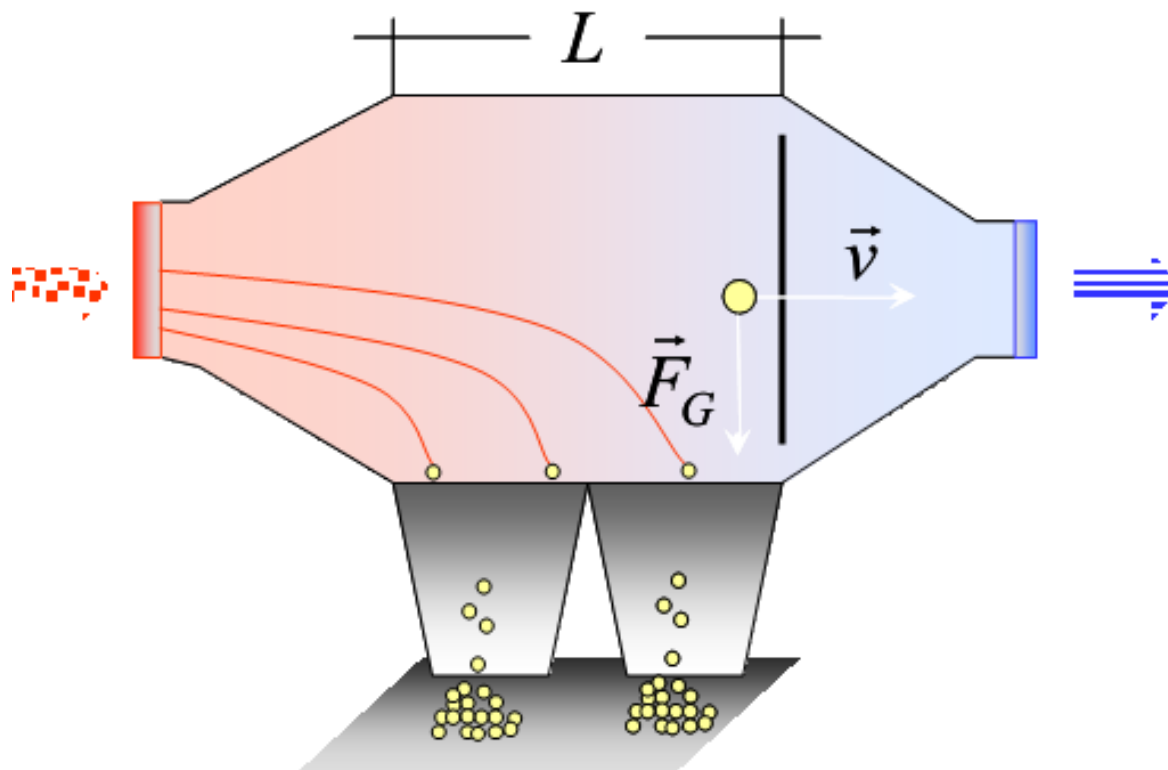




# Gravitacioni prečistači (taložni kanali, taložne komore)



- Čestice na izlazu iz ulaznog dimnog kanala pod uticajem sile gravitacije padaju na dno taložne komore
- Istaložene čestice se dalje evakušu nekom od metoda transporta(vibracioni, pneumatski, hidraulički,...)
- Na izlazu komore u dimnom kanalu se nalaze lake i sitne čestice
- Ovi taložnici imaju relativno malu efikasnost odvajanja i služe za odvajanje krupnijih čestica

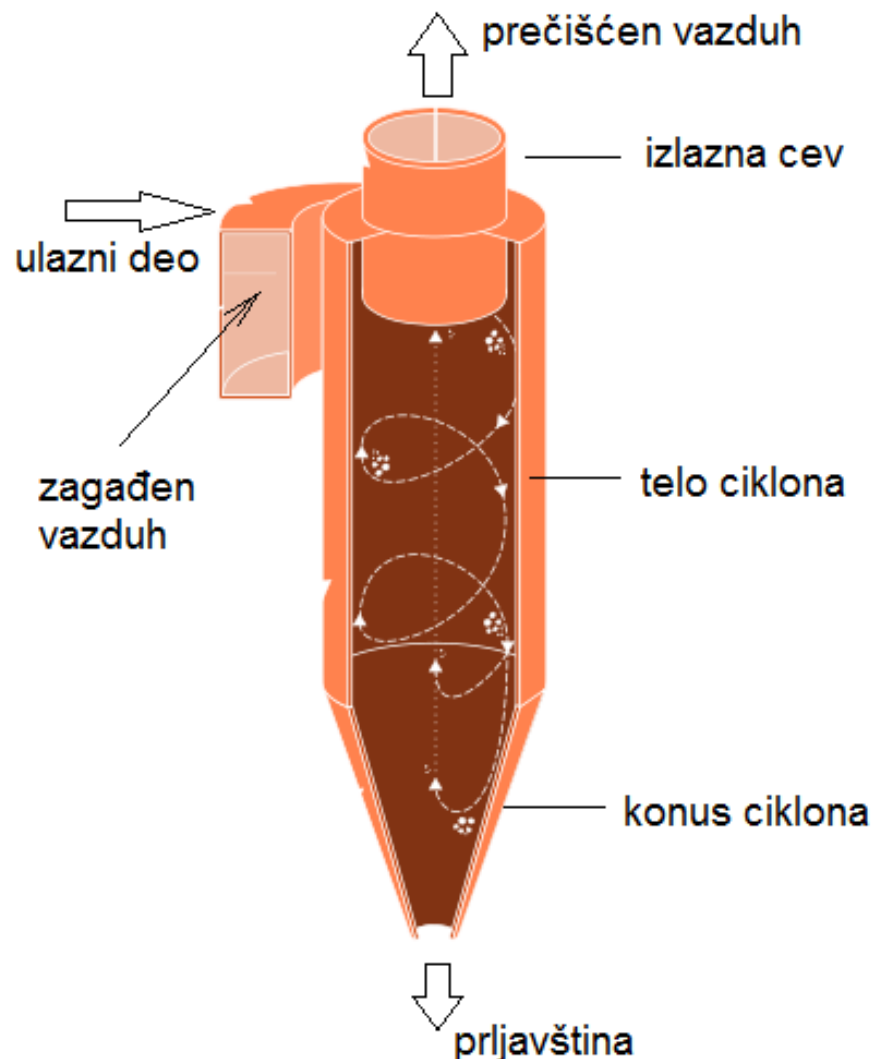


Brzina strujanja je veoma mala tako da ima dovoljno vremena da se čestice iz vazduha usled gravitacione sile natalože na dno komore

$$F_G = m g$$



# Centrifugalni izdvajači (cikloni, multicikloni)



- Ciklonsko odvajanje je najčešće korišćeni „suvi postupak“ za otprašivanje (uklanjanje) čvrstih čestica iz suspenzije.
- Za razliku od gravitacionog odvajanja suspendovanih čestica, ciklonski odvajajući (separatori) ili cikloni koriste centrifugalnu silu, pa se mogu zvati i centrifugalni odvajajući.
- U ciklonskim odvajajima je moguće postići od 10-2000 puta veće sile nego kod gravitacionih izdvajaja.
- Uglavnom ne mogu ispuniti stroge zahteve za traženom visinom (kvaliteta) vazduha, pa se koriste za gruba odvajanja

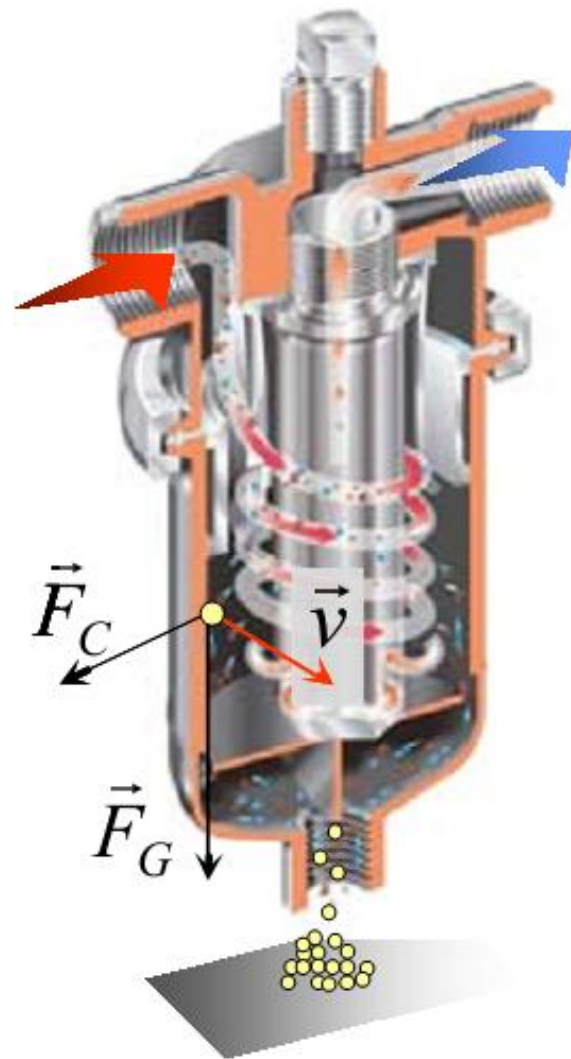
# Osnovni princip rada ciklona

- Zagađeni vazduh se tangencijalno uvodi u cilindričnu komoru čine se formira spiralni vrtlog na dole.
- Vazдушna struja se okreće i po spirali manjeg poluprečnika i vraća se na gore.
- Vazduh je svojim tokom prema dole već oslobođen čestica koje su zalepljene na unutrašnji zid cilindra.
- Kolekcije čestica zalepljene na zid komore su dovoljne mase, da se usled gravitacije spontano spuštaju nadole.
- Dužina strujnog toka iznosi N obima kružnice koji načini vazduh pre nego što uđe u unutrašnji spiralni tok.
- Ovo omogućava znatno manje ukupne gabarite filtera.
- Efikasnost ovih filtera je veća od efikasnosti gravitacionih filtera.

$$F_C = \frac{m v^2}{r} = m \omega^2 r \qquad \frac{F_C}{F_G} = \frac{m v^2 r}{m g}$$

$$\text{Za } r=1m \text{ i } v=10m/s \quad F_C=10F_G$$

*Na česticu koja se kreće po krivolinijskoj putanji deluje centrifugalna sila koja je uvek veće jačine od gravitacione sile.*

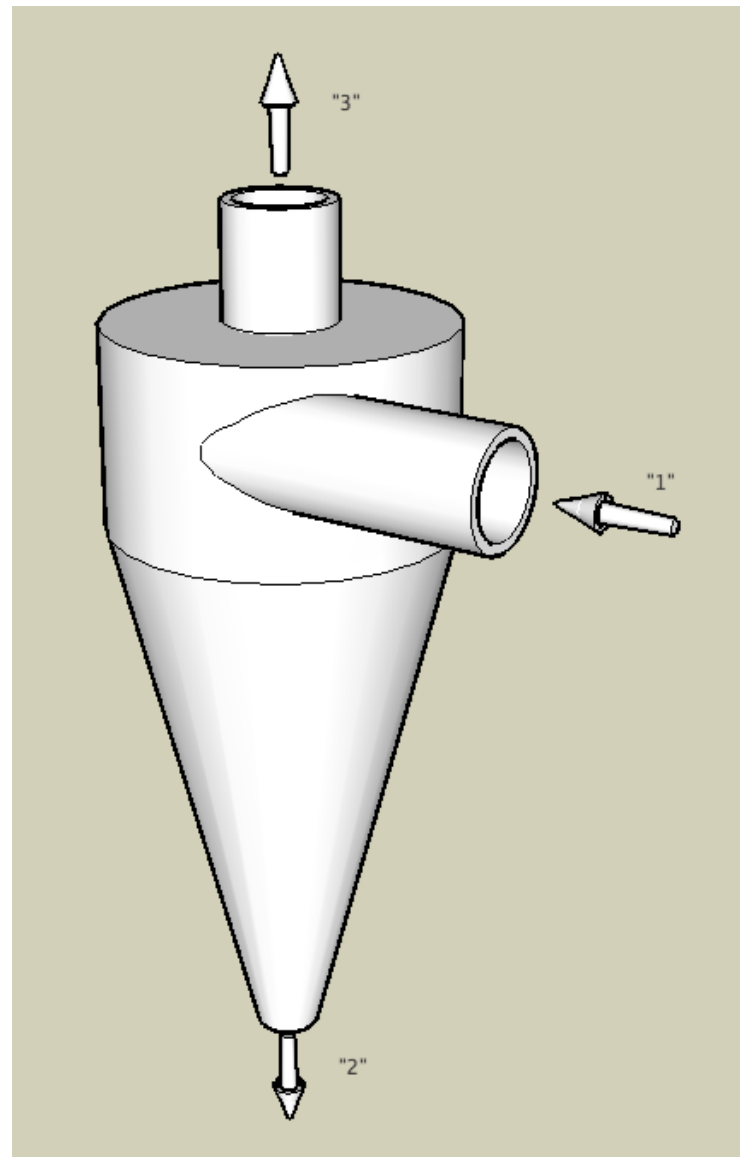


## Prednosti ciklonskog odvajanja su:

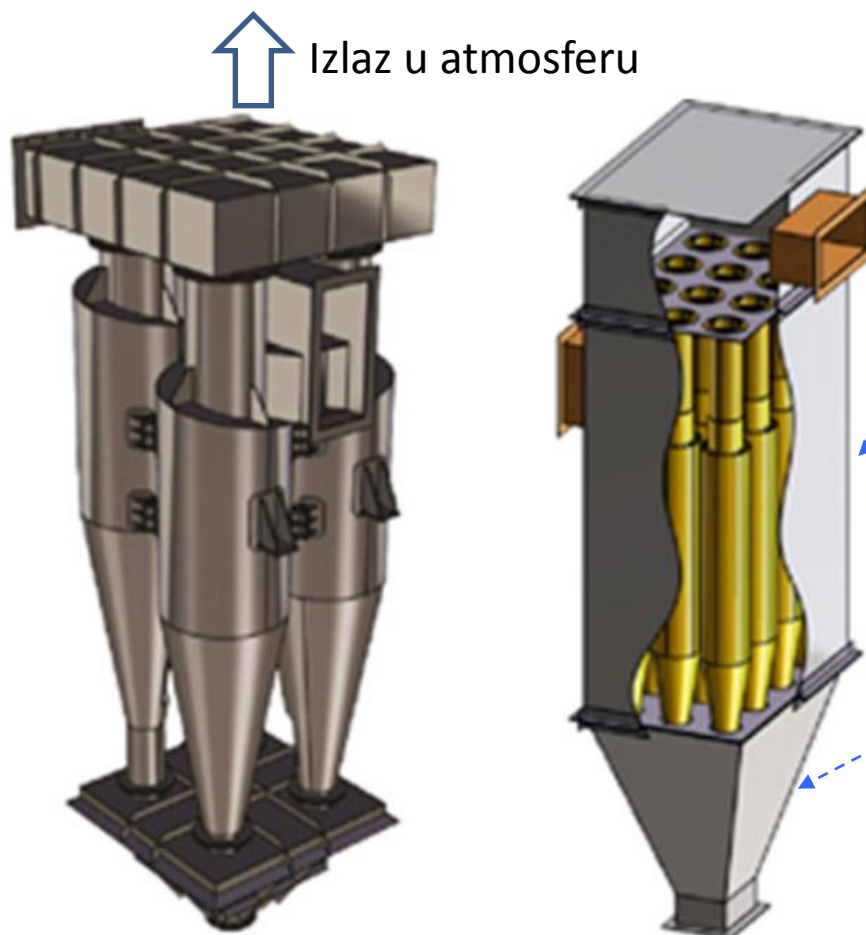
- jednostavan rad,
- mali početni troškovi i troškovi održavanja, (nema pokretnih delova),
- mogućnost rada pri povišenim temperaturama (do 400 °C)

## Nedostatci ciklonskog odvajanja su:

- slab učinak za jako male čestice,
- nisu podesni za uklanjanje čestica manjih od 5  $\mu\text{m}$ ,
- imaju određene eksploatacione probleme pri temperaturama većim od 400 °C



# IZGLED MULTICIKLONA



- Zaprashen gas se uvodi kroz **otvor na gornjoj komori** multiciklona
- Gas se dalje usmerava na veliki broj **ciklonskih odvajača** pravougaono raspoređenih na nosećoj ploči, gde se u zavisnosti od brzine i mase čestica pod dejstvom centrifugalne sile vrši odvajanje čestica
- Odvojene čestice padaju vertikalno nadole u **bunker** multiciklona odakle se odvođe do sabirnog mesta, gde se vrši pretovar prašine, a prečišćeni vazduh izlazi kroz izlazni otvor u atmosferu

## PREDNOSTI:

- postižu visok stepen odvajanja, pouzdani su u eksploataciji, relativno su niske cene i troškovi pogona su minimalni
- ciklonski odvajači kao elementi multiciklona, veoma su otporni na habanje, jer su izrađeni livenjem zbog produženja radnog veka



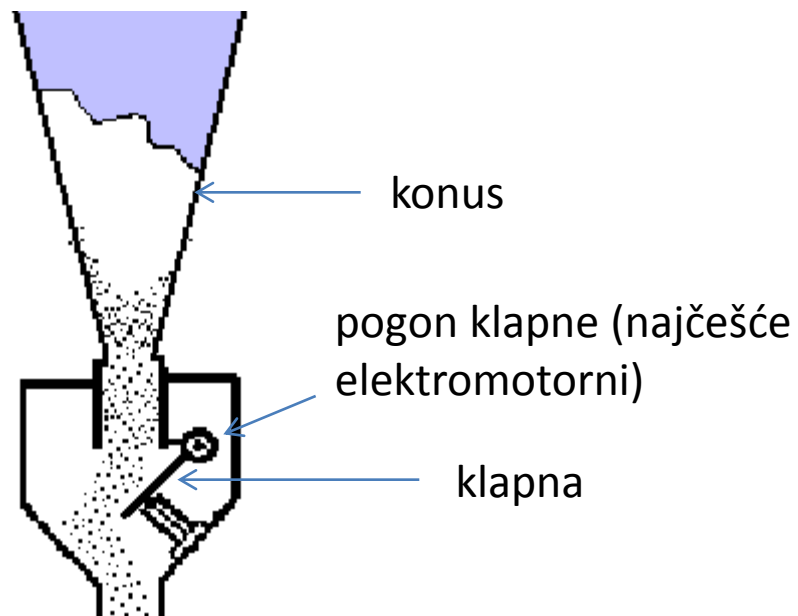
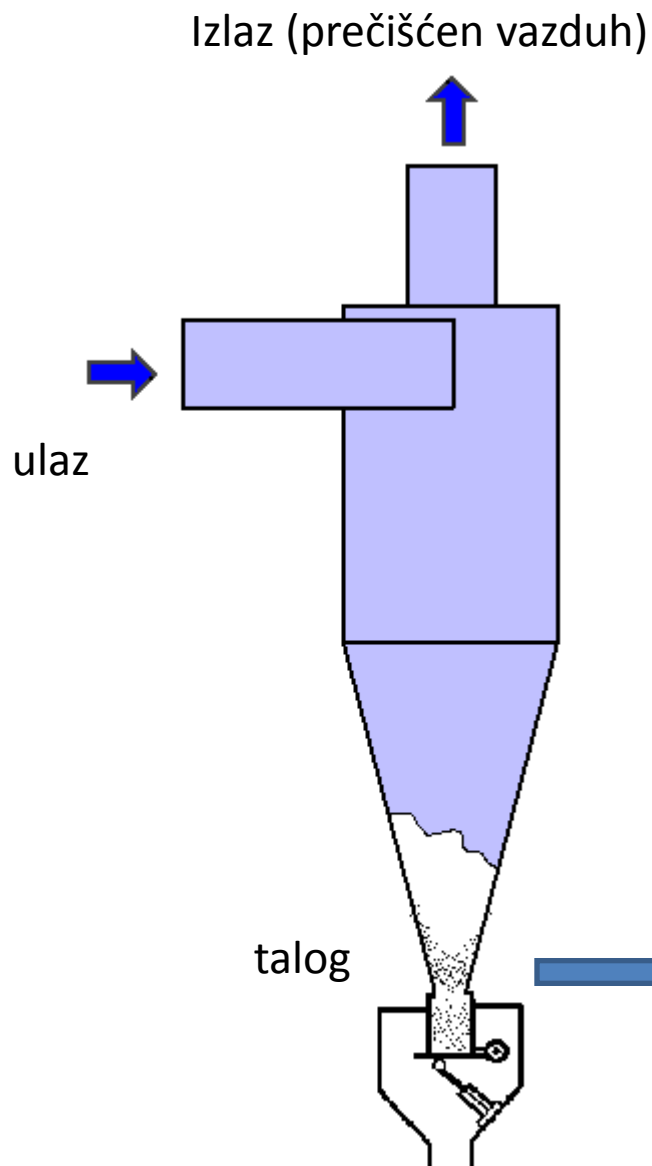
**KAKO MULTICKLON STVARNO IZGLEDA U PRAKSI??**





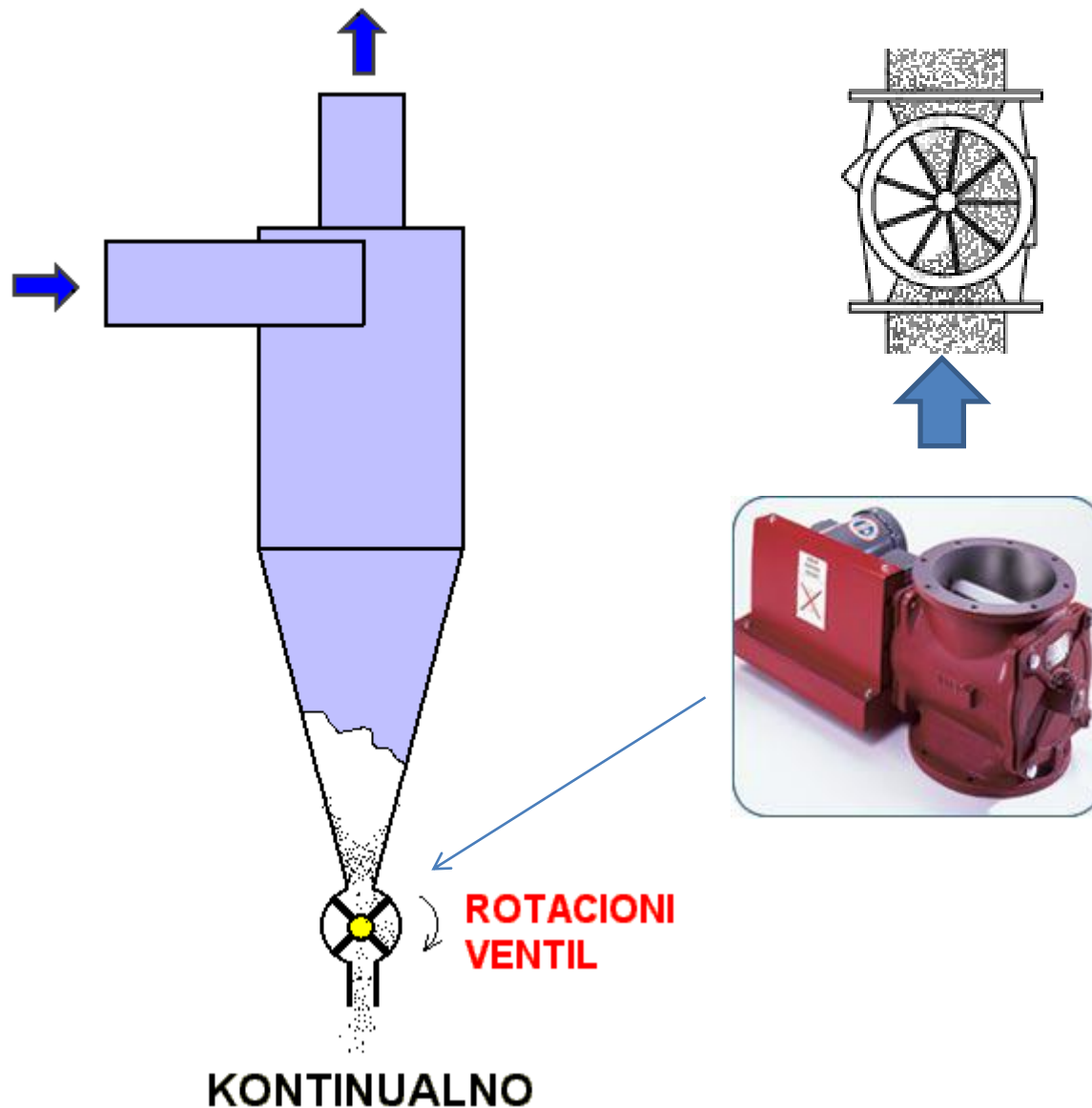
**POSTROJENJE VIŠE MULTICIKLONA ??**

## PERIODIČNO IZDVAJANJE ČESTICA IZ CIKLONA

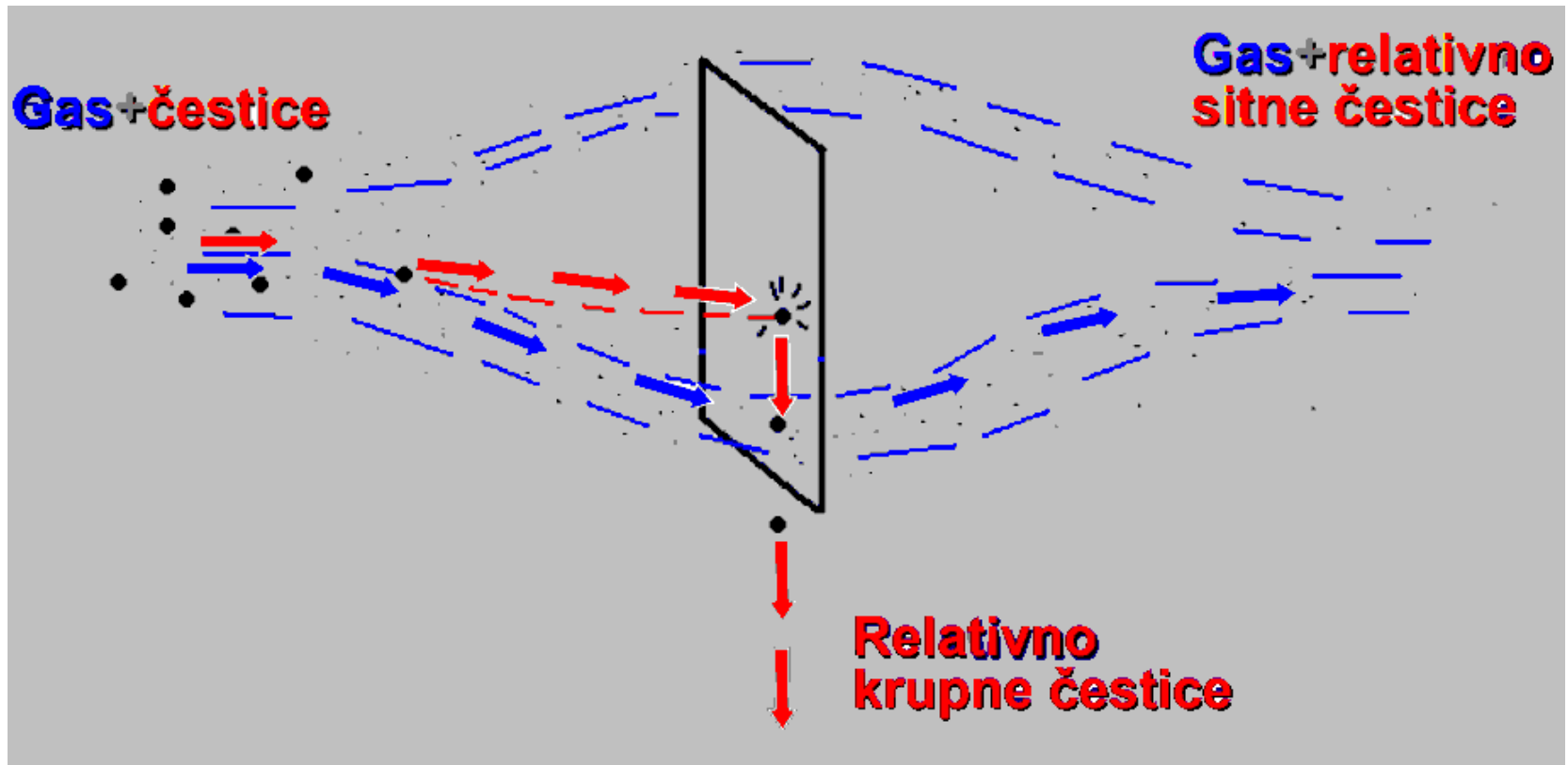




# KONTINUALNO IZDVAJANJE ČESTICA IZ CIKLONA

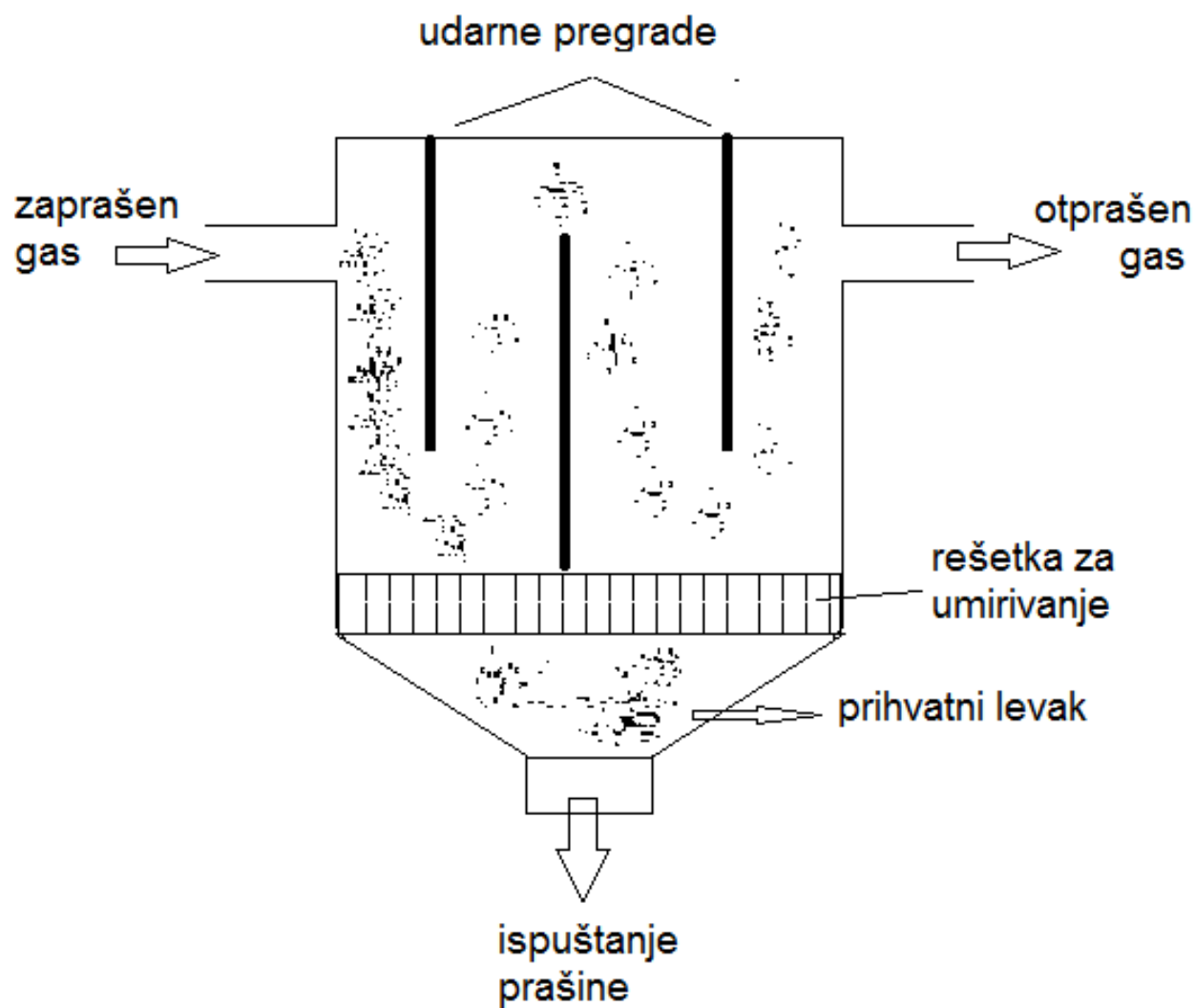


# Inercioni (udarni) izdvajači

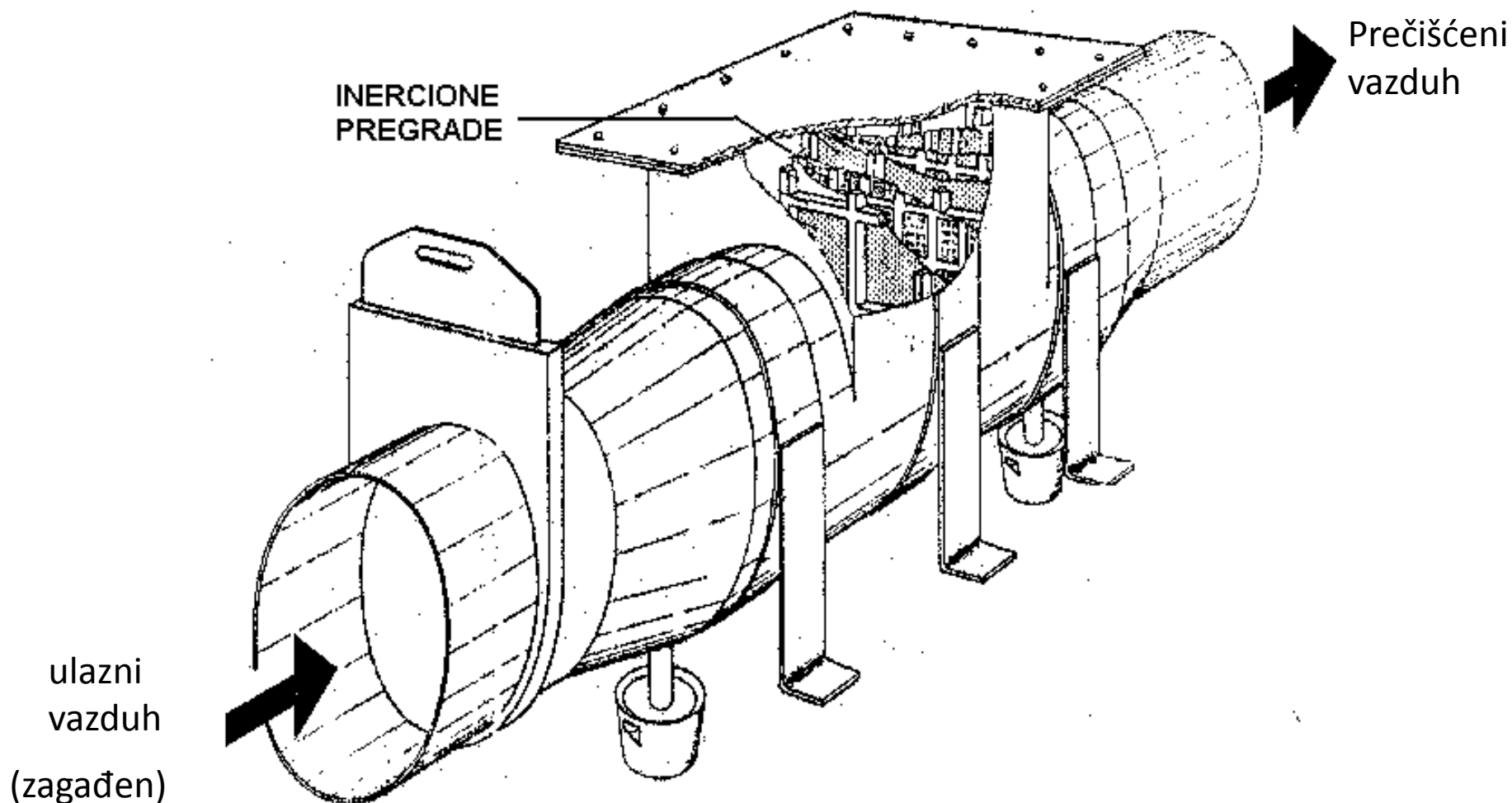


- Povećanje efikasnosti i smanjivanje gabarita taložnih komora ostvaruje se promenom pravca kretanja čestica
- Česticama se dodaje impuls u smeru različitom od smera strujanja gasa (čestica u njemu)
- Po osobinama su između taložnih komora i ciklona
- Pad pritiska 250Pa do 400 Pa

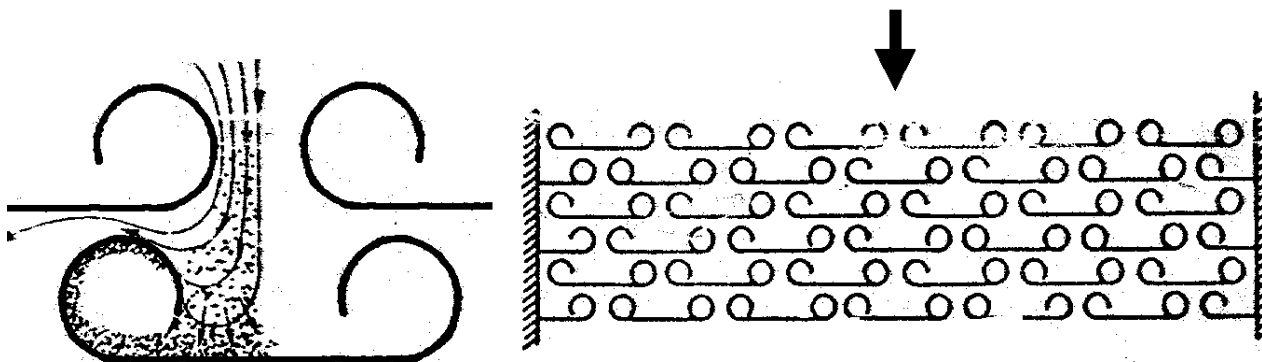
# Inercioni udarni višestepeni otprašivač (izdvajač)



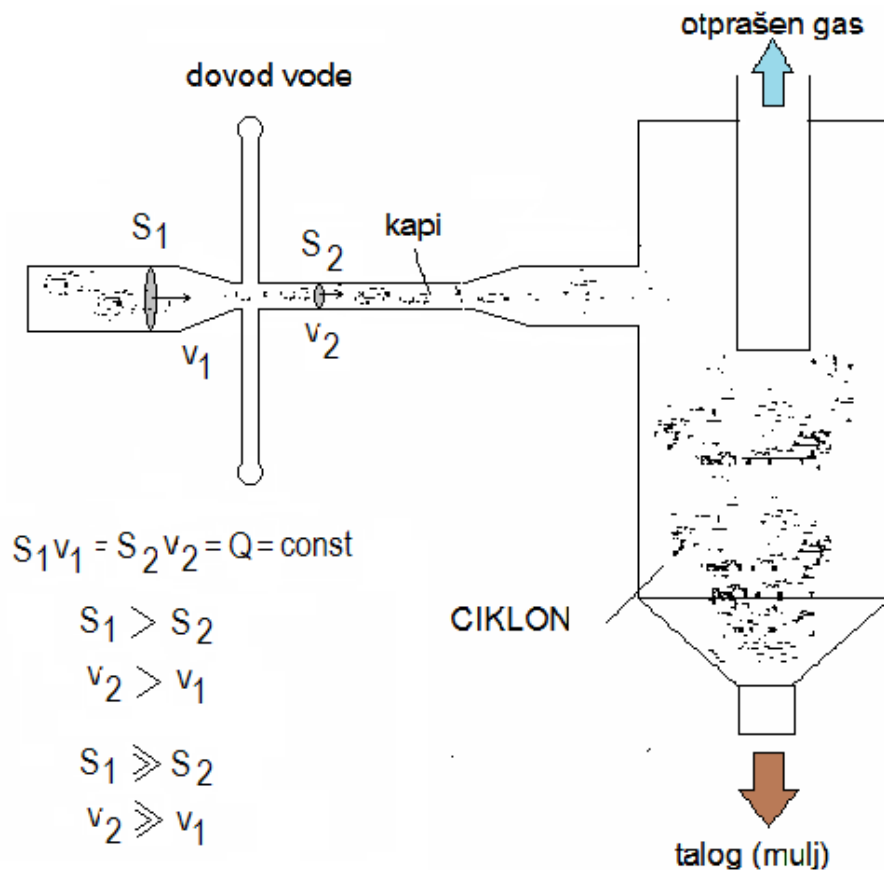
# Izgled tipičnog inercionog udarnog višestepenog otprašivača sa inercionim pregradama



# Moguća izvedba udarnog višestepenog otprašivača (izdvajača)



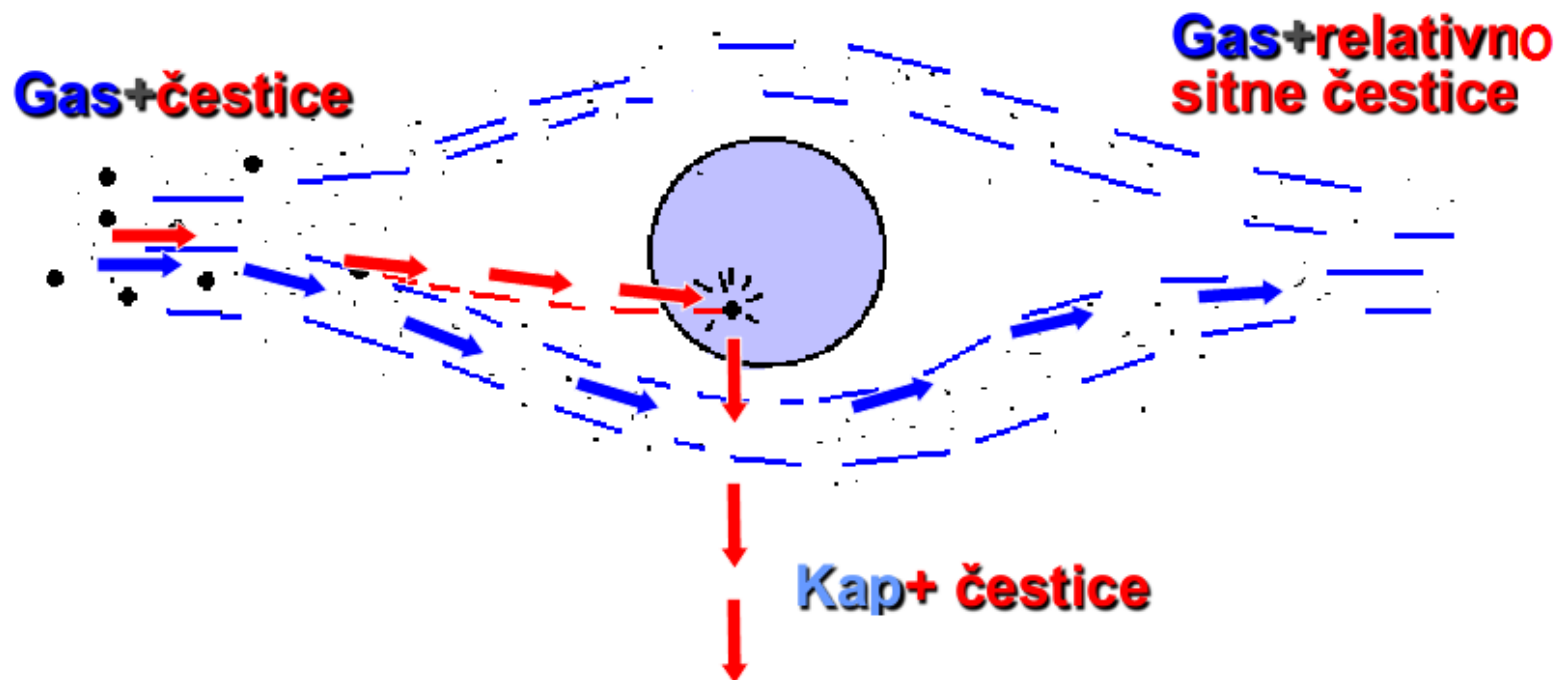
# Kapljičasti -Venturi otprašivač (skruber)



- Venturi otprašivač gasova ima najveću korisnost, čak i za uklanjanje vrlo malih čestica (manjih od 2  $\mu\text{m}$ ).
- Brzine gasa su od 60m/s do 120 m/s.
- Ponekad su jedina mogućnost za prečišćavanje (npr. za uklanjanje ljepljivih, zapaljivih i korozivnih materijala).
- Zbog mogućnosti rada pri velikim protocima (oko 120 m/s) mogu biti malih veličina.
- Korisnost Venturi prešistača gasova raste sa brzinom strujanja (koja zavisi od prečnika Venturi cevi) i od pada pritiska.

**„Skrubiranje“**= pranje gasova i mokro otprašivanje

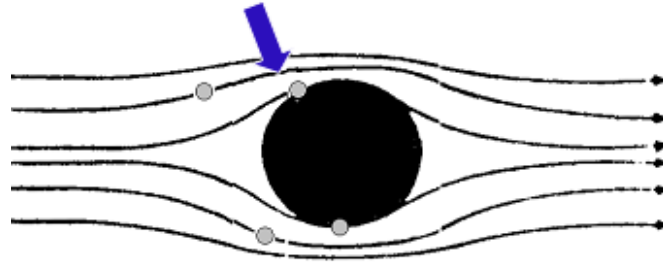
# Mokra separacija-skrubiranje



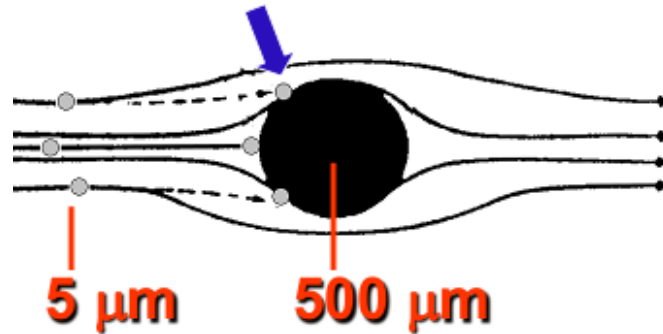


# Mehanizmi izdvajanja

ZAHVATANJE



INERCIONI SUDAR



DIFUZIJA  
(Braunovo kretanje)

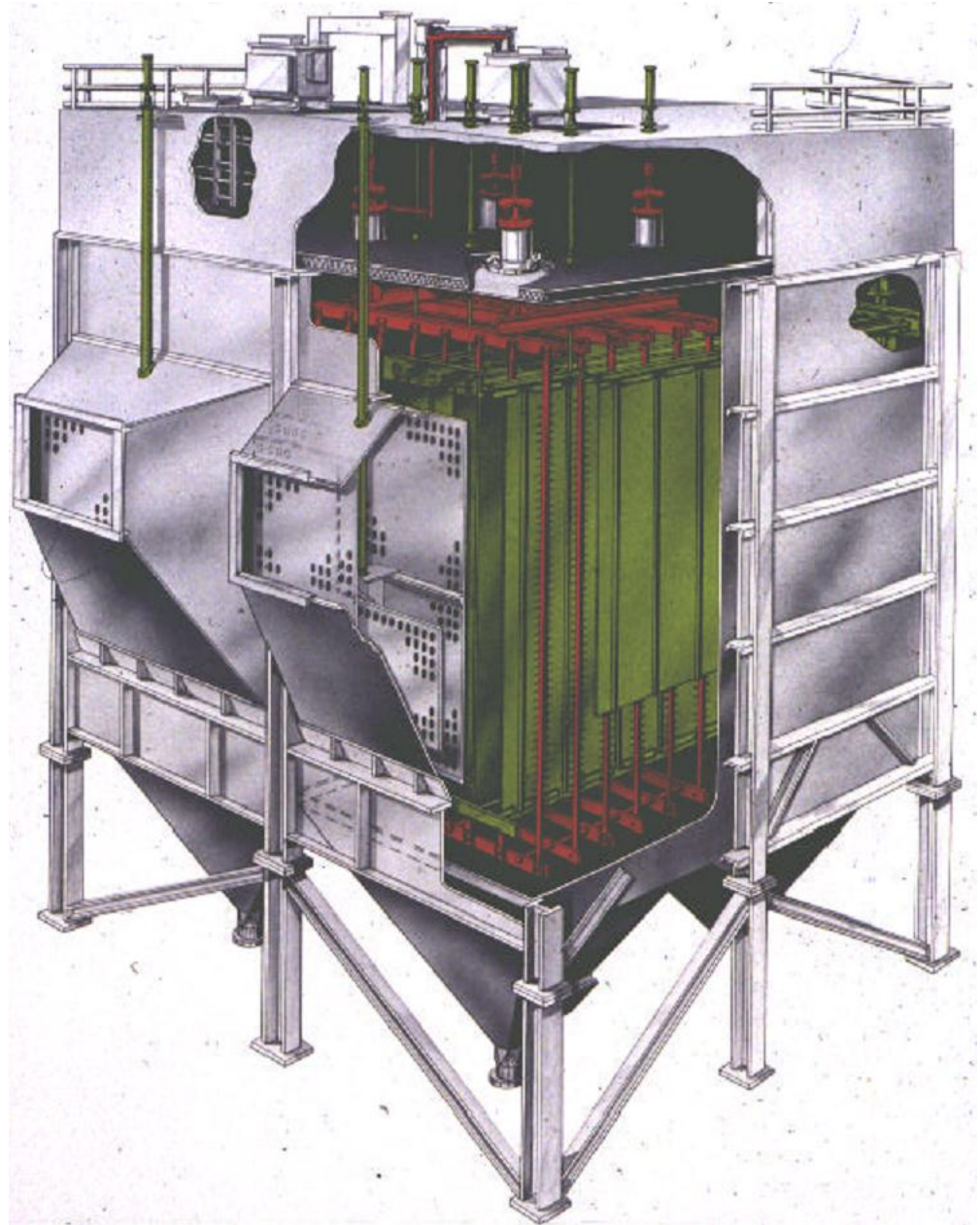


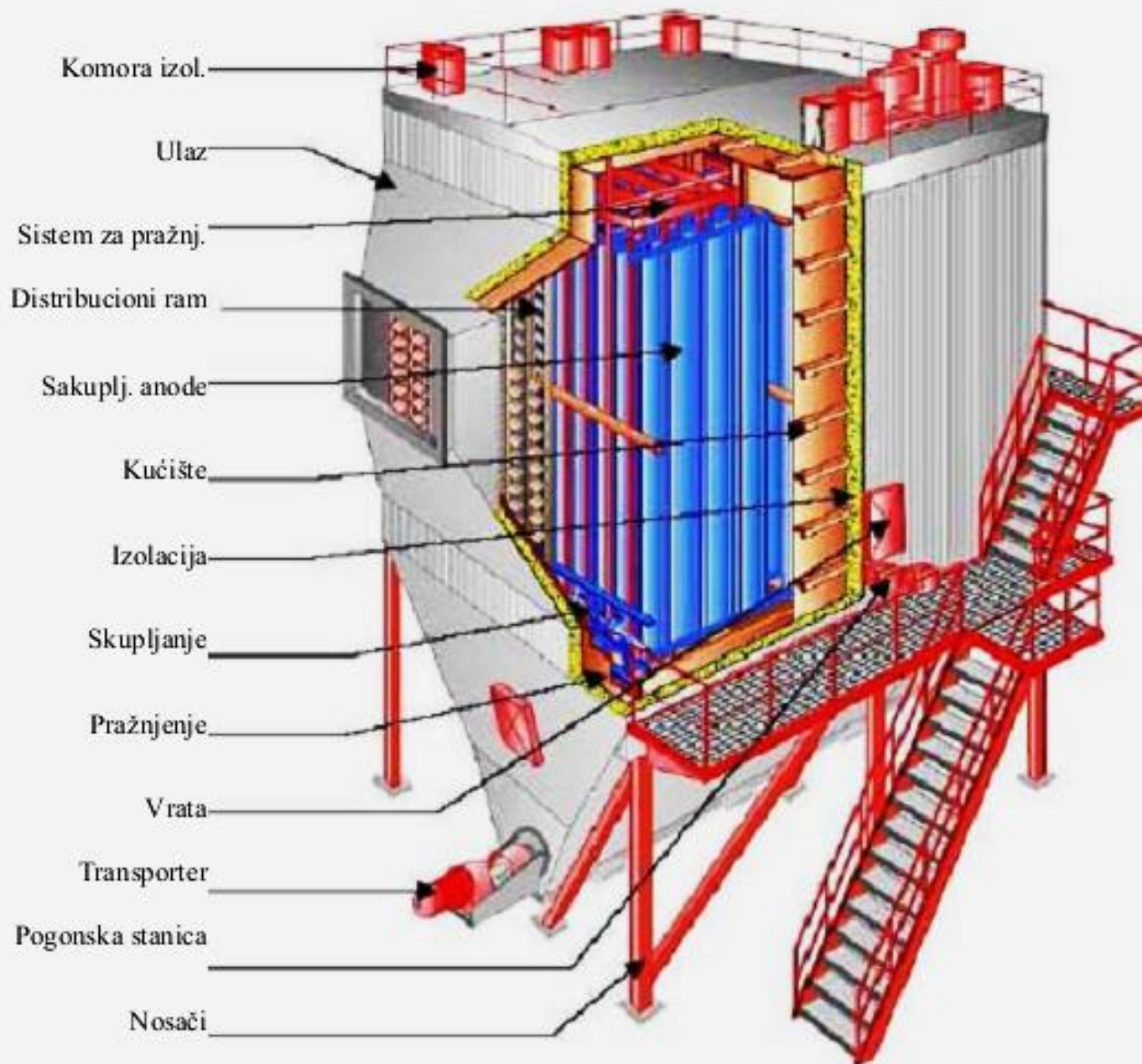
# Elektrostatički taložnici (izdvajači)

- **Elektrostatičko izdvajanje** je jedna od najpraktičnijih metoda za izdvajanje čestica ugljene prašine i pepela iz struje dimnih gasova na kotlovskim postrojenjima termoelektrana (TE)
- Izdvajanjem čestica ugljene prašine i pepela se značajno smanjuje negativni uticaj ovih otpadnih materija na ekosistem i zdravlje ljudi.
- Svetske norme, koje su prihvaćene i kod nas, zahtevaju granične vrednosti emisije (GVE) manje od  $50\text{mg/m}^3$ , a u nekim zemljama Evrope, manje i od  $25\text{mg/m}^3$ .
- Pošto treba očekivati neprekidno smanjenje GVE u bliskoj budućnosti, pravi je trenutak za razvojem prihvatljivih i perspektivnih tehnologija, kao i razvoj novih energetski efikasnih tehnologija za smanjenje emisije dimnih gasova ali i ostalih polutanata (oksida sumpora, azota..... )

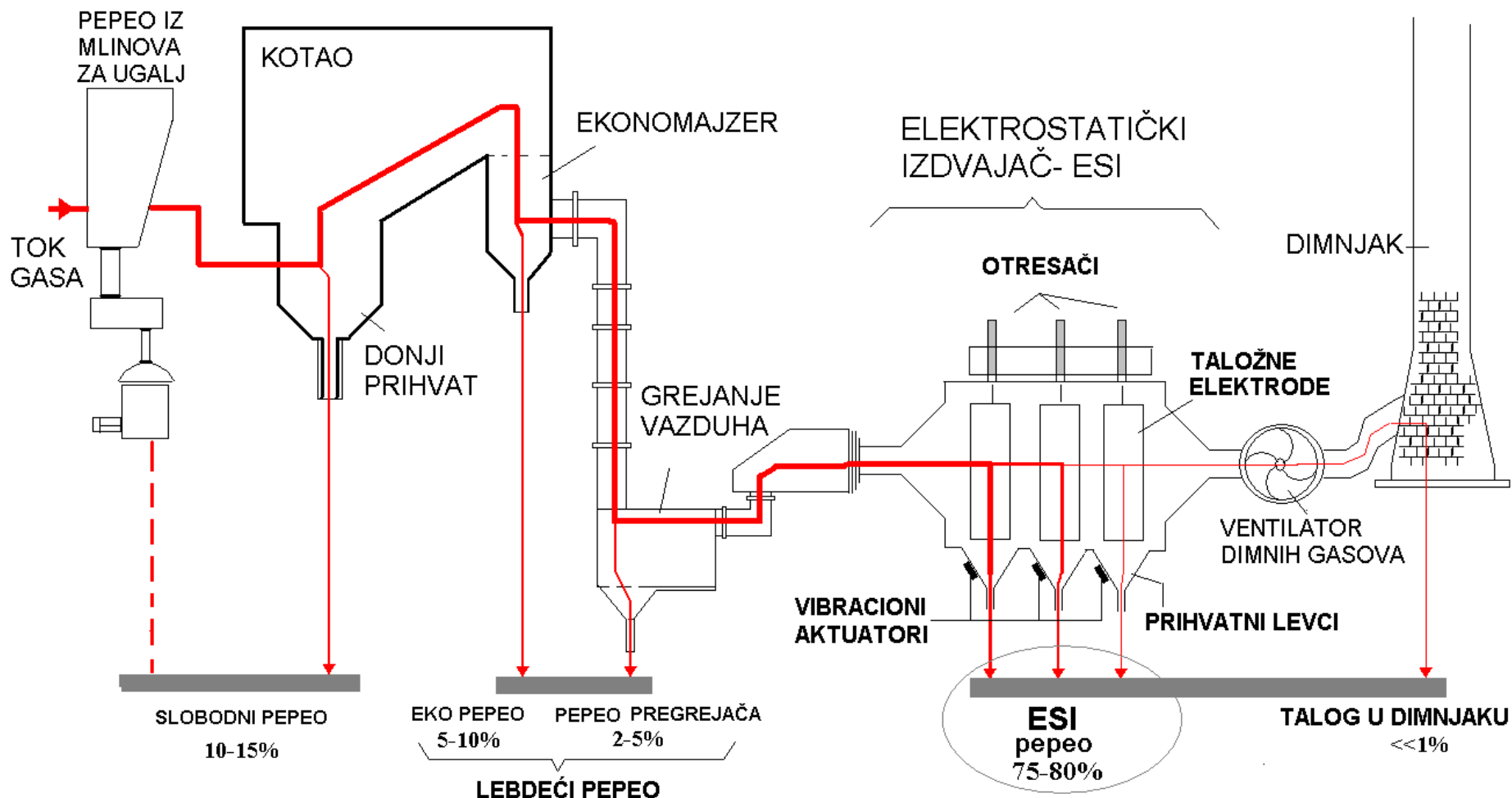
# Elektrostatički taložnici

- Izdvajaju čestice pomoću električnih sila
- Ideja vrlo stara, kao i komercijalna primena
- Prečišćavanje velike količine gasa, kada ne postoji opasnost od eksplozije:
  - kotlovi sa sprašenim ugljem
  - cementare
  - magle u hemijskoj i metalurškoj industriji





**Dispozicija Elektrostatičkog Taložnika-Izdvažača**



## Distribucija pepela u procentnom iznosu na jednom tipičnom termoenergetskom postrojenju

- Najveći deo pepela 75-80%, je lociran u prihvratnim levcima koji se nalaze direktno ispod VN izdvajačkih komora ESI.
- Veoma mali deo pepela (<< 1%) se taloži na dnu izlaznog dimnjaka



**20-25% težine uglja je sadržano u dimnom gasu!!**

**VN napojne jedinice**

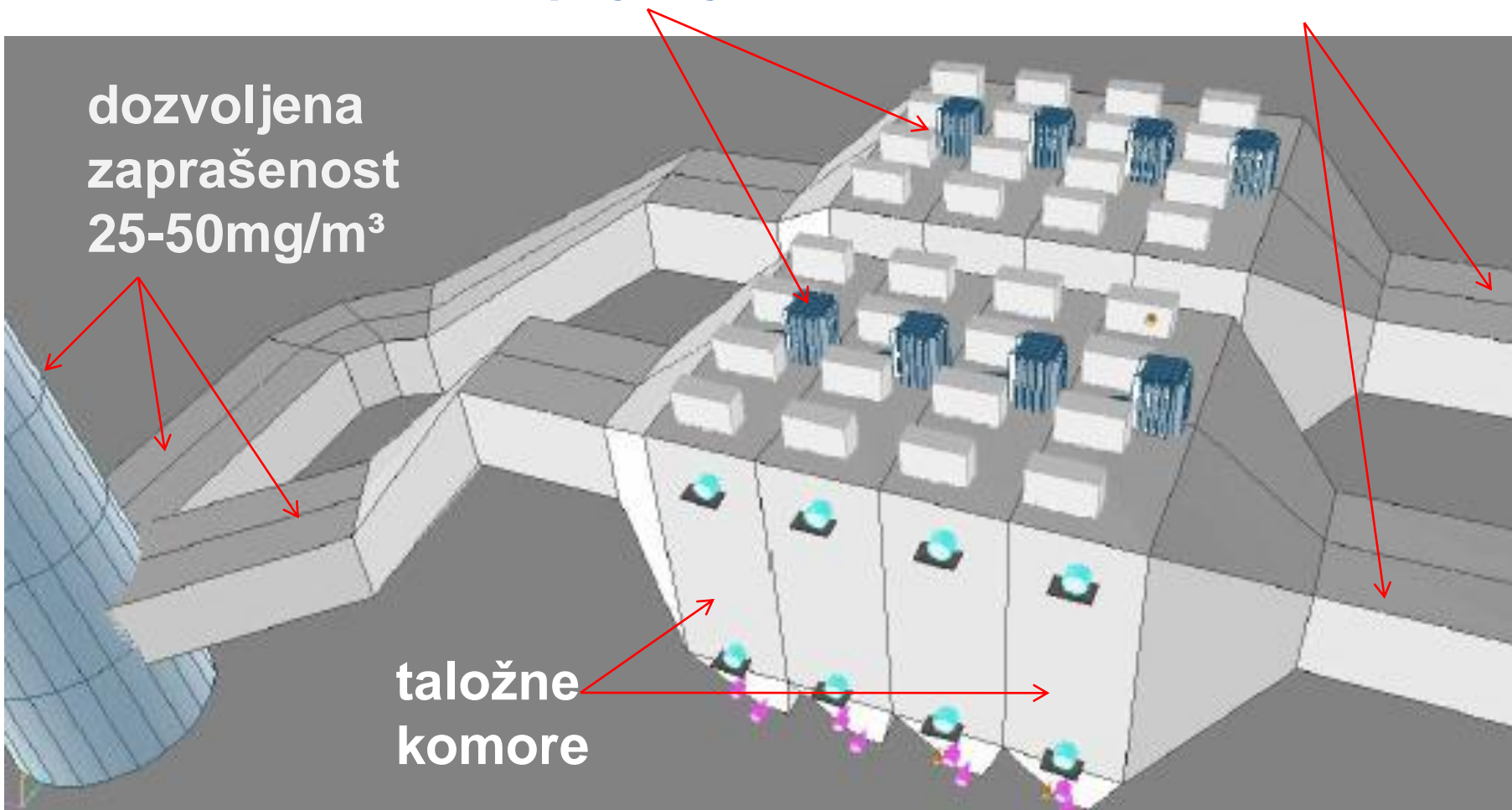
**zaprtašenost na izlazu  
kotla 30-50g/m<sup>3</sup>**

**dozvoljena  
zaprtašenost  
25-50mg/m<sup>3</sup>**

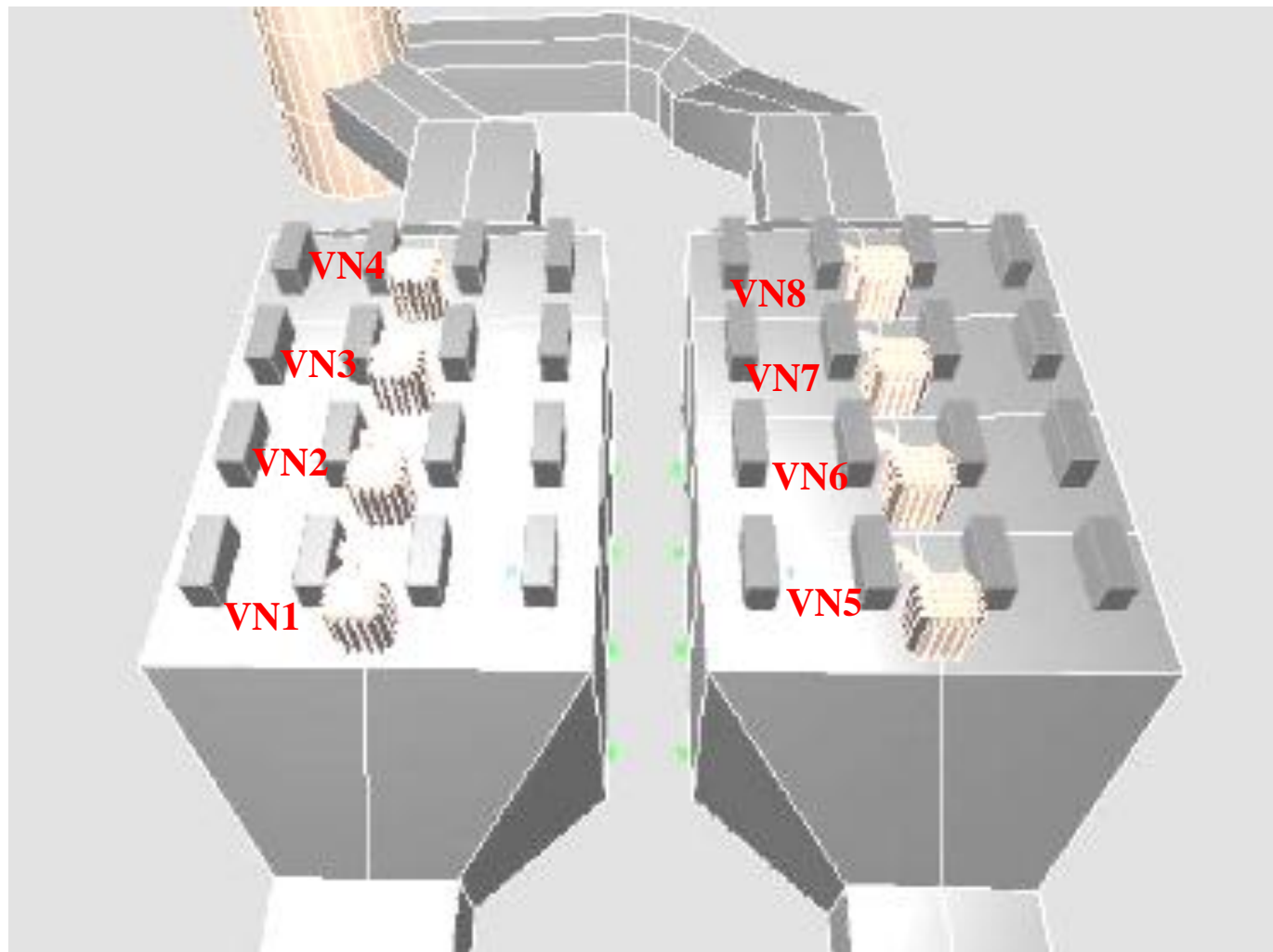
**taložne  
komore**

**TIPIČNO POSTROJENJE ELEKTROSTATIČKIH IZDVAJAČA (ESI)**

50mg/m<sup>3</sup> : 50g/m<sup>3</sup> = 1:1000 → 0.1% => efikasnost izdvajanja 99,9%



# Energetski zahtevi za ESI postrojenjem



**Izlazni parametri  
VN jedinica  
(tipično za jedan  
blok na TE):**

- taložne komore  
100kV DC /1A  
100kW

- ulazno napajanje  
3x400V, 50Hz  
120-130kVA

- 8 VN jedinica troši  
iz napojne mreže  
ukupnu prividnu  
snagu  $\approx 1$  MVA

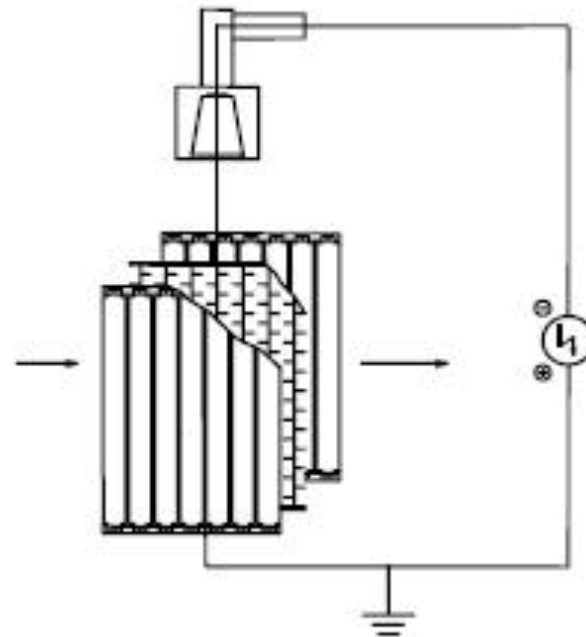
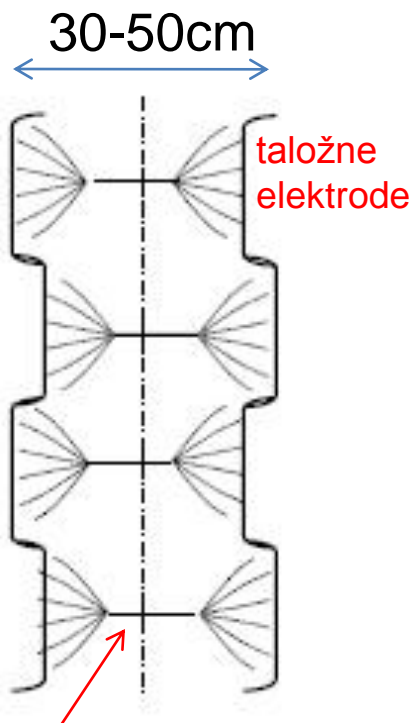




Deo ESI  
postrojenja  
na TENT-A4/  
**elektrodni  
sistem**

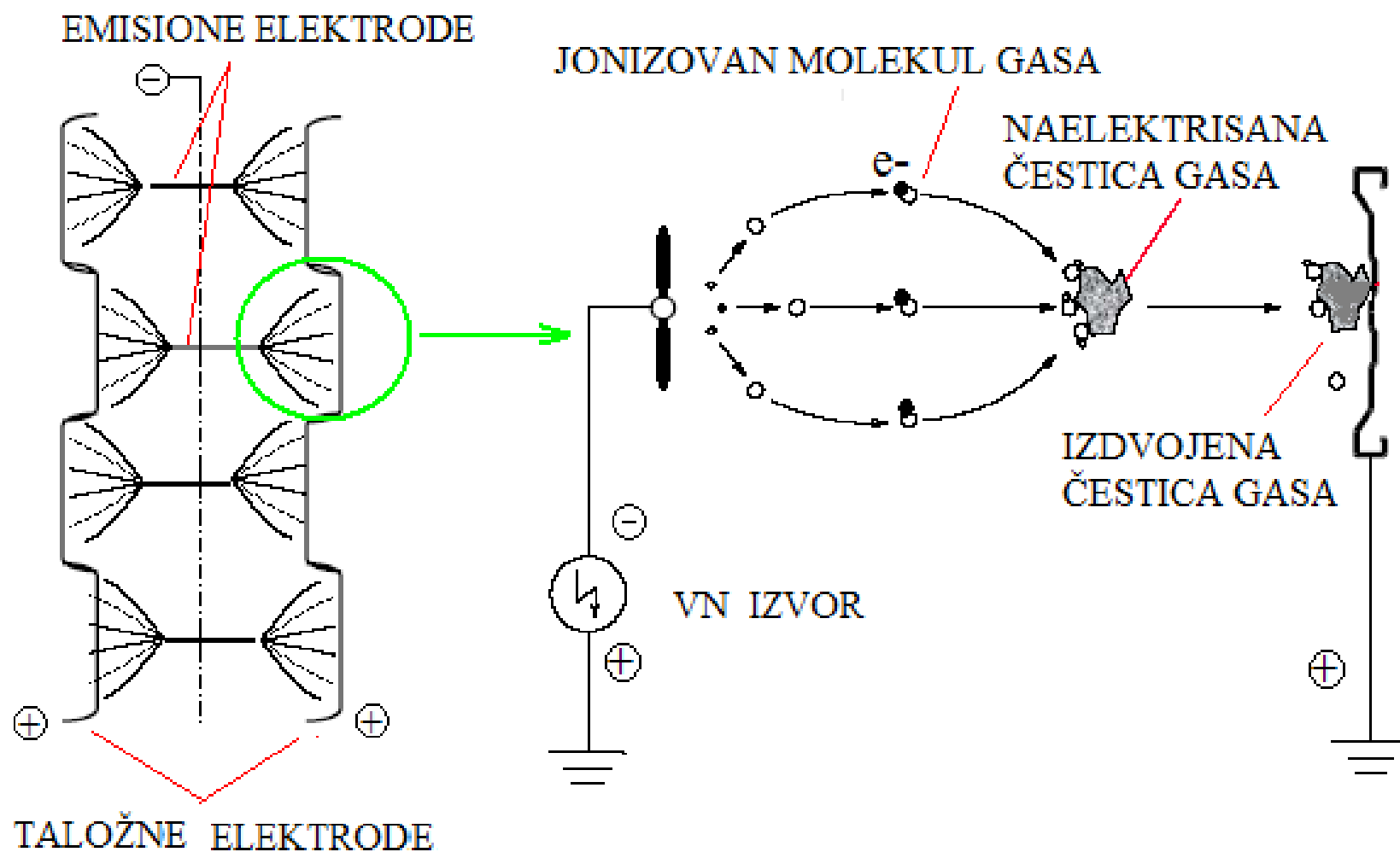
TENT-A4

# Princip elektrostatičkog izdvajanja

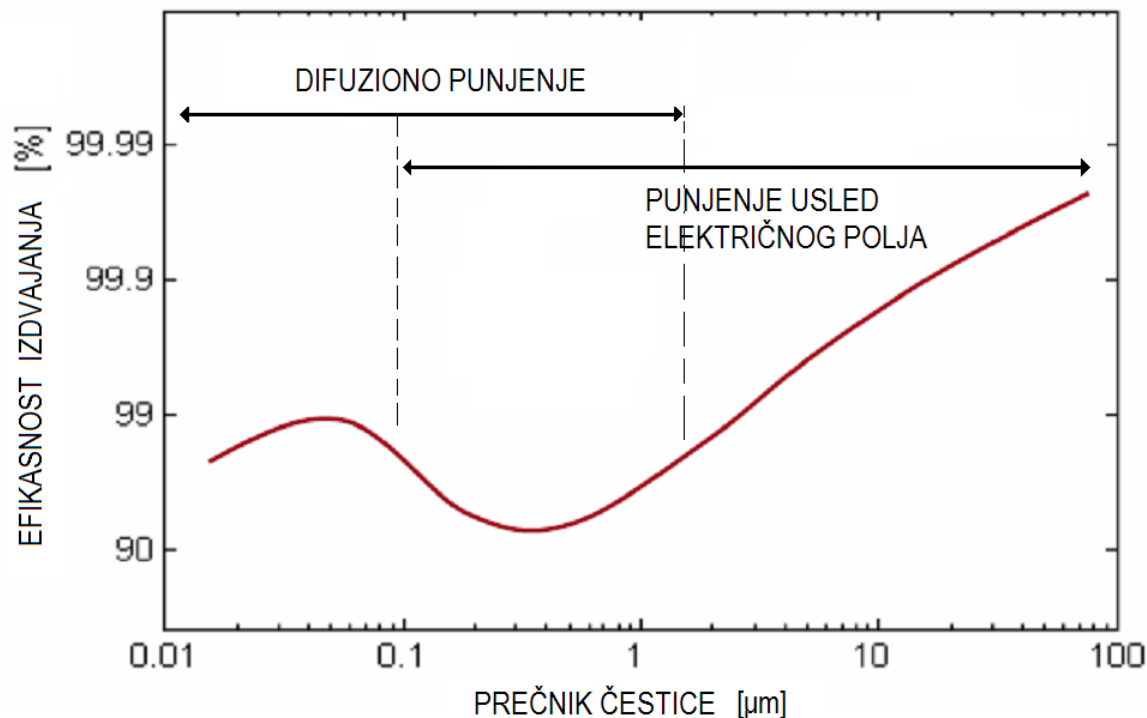


- **Emisione elektrode** se dovode na negativan napon -50kV...-100kV
- Korona stvara negativne jone, čestice dimnog gasa se naelektrisavaju difuzijom i električnim poljem
- Električno polje potiskuje naelektrisane čestice ka uzemljenoj taložnoj elektrodi migracionom brzinom 10-20cm/s

# Izgled taložne komore ESI i mehanizam naelektrisanja čestica



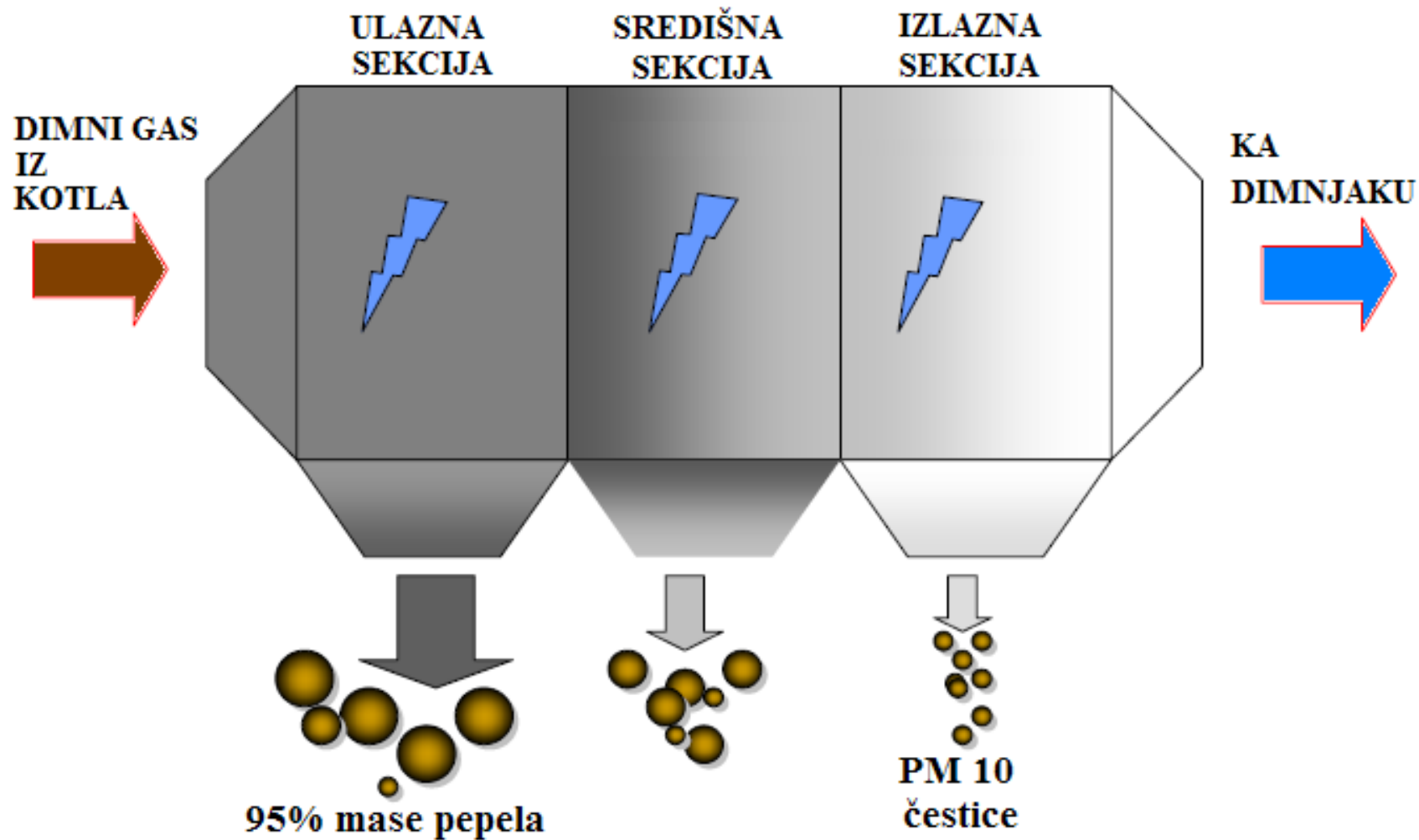
# Efikasnost izdvajanja u funkciji prečnika čestice



Ultra fine čestice (prečnika  $D < 1 \mu\text{m}$ ) se naelektrisavaju difuzijom, dok se PM čestice i krupnije ( $D > 1 \mu\text{m}$ ) naelektrisavaju efektom polja.

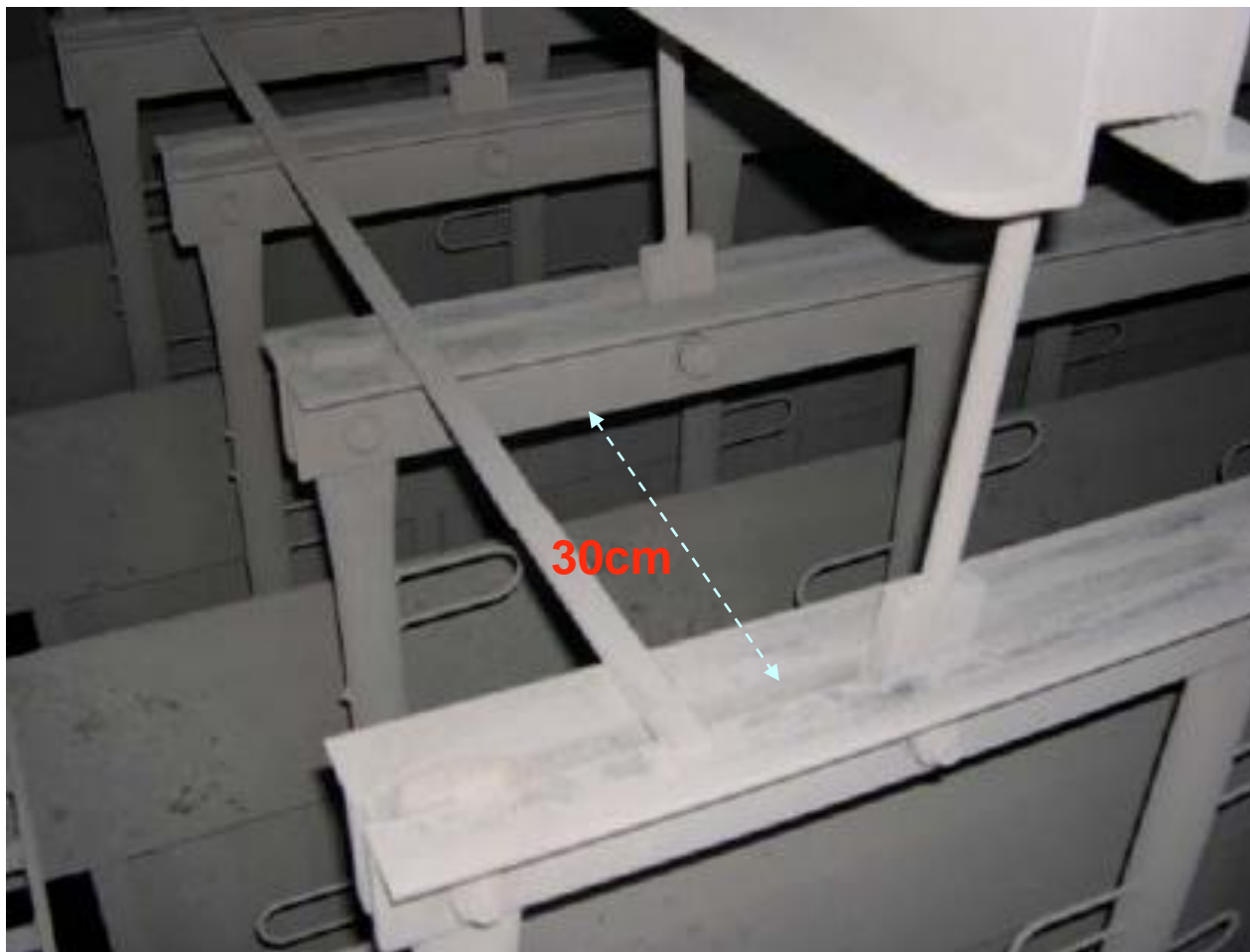
Difuziono punjenje je zbog sporijeg (linearnog) rasta naelektrisanja sa veličinom čestice dominantno pri malim prečnicima čestica, najčešće ispod  $1 \mu\text{m}$  (tipično  $0.1 \mu\text{m}$ ), dok je punjenje čestica poljem dominantno za čestice veće od  $1 \mu\text{m}$ . U oblasti između, oba mehanizma su izražena, pa je efikasnost izdvajanja tih čestica najmanja

# IZGLED TROSEKCIJSKOG IZDVAJAČA





## Sistem taložnih elektroda (realni snimak na postrojenju TENT-A)



**Ukupna površina:**  
20.000-60.000 m<sup>2</sup>  
TIPIČNO: 40.000m<sup>2</sup>

**Rastojanje:** 20-40cm  
TIPIČNO: 30cm

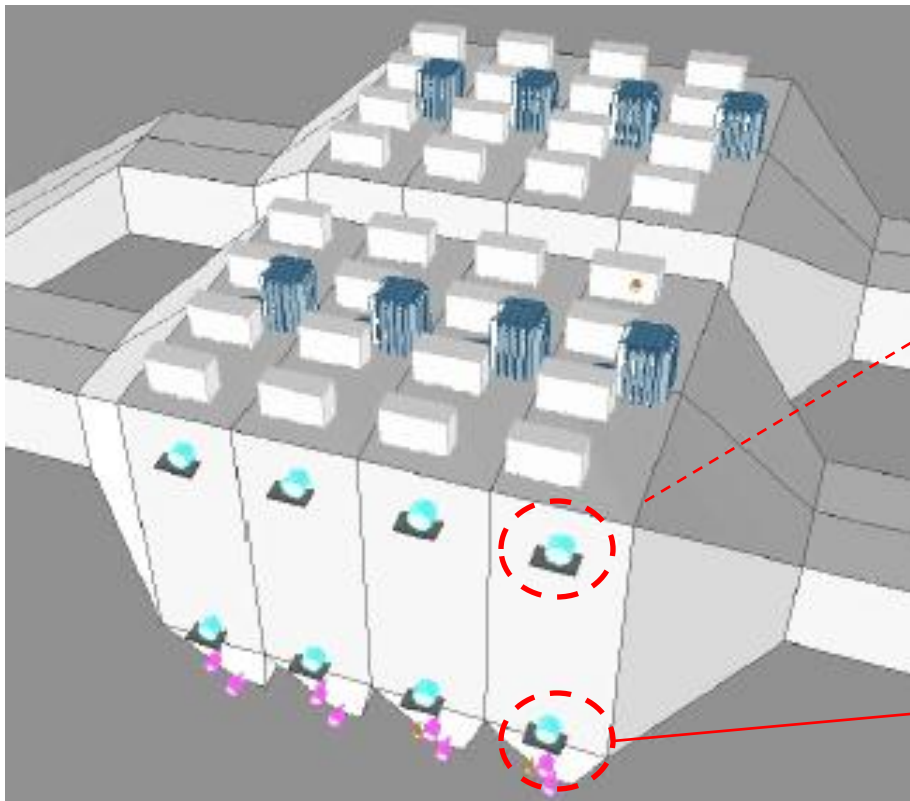
## Sistem emisionih elektroda (realni snimak na postrojenju TENT-A)



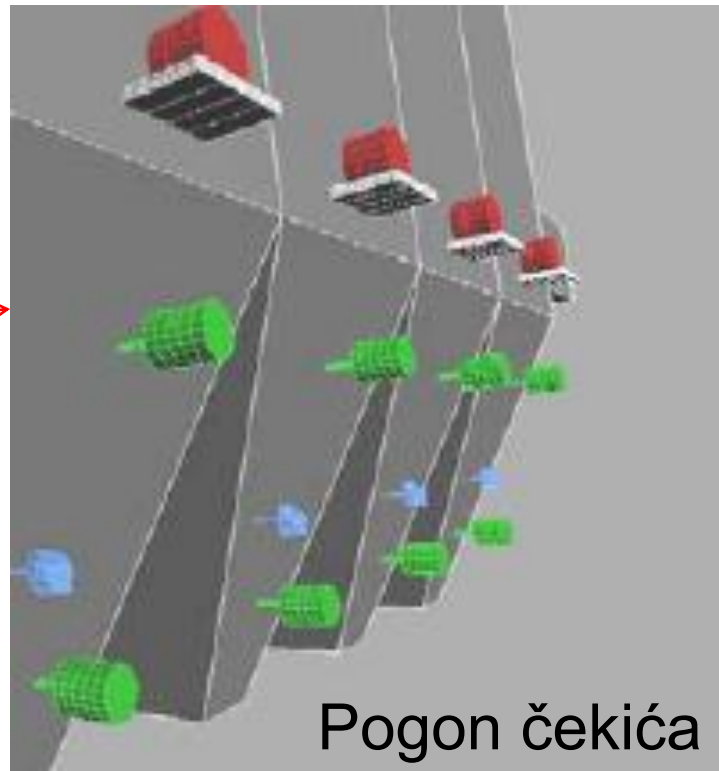
-Ovaj sistem odlučujuće  
utiče na koronu

-Mali poluprečnik  
krivine na ivicama  
uvećava polje

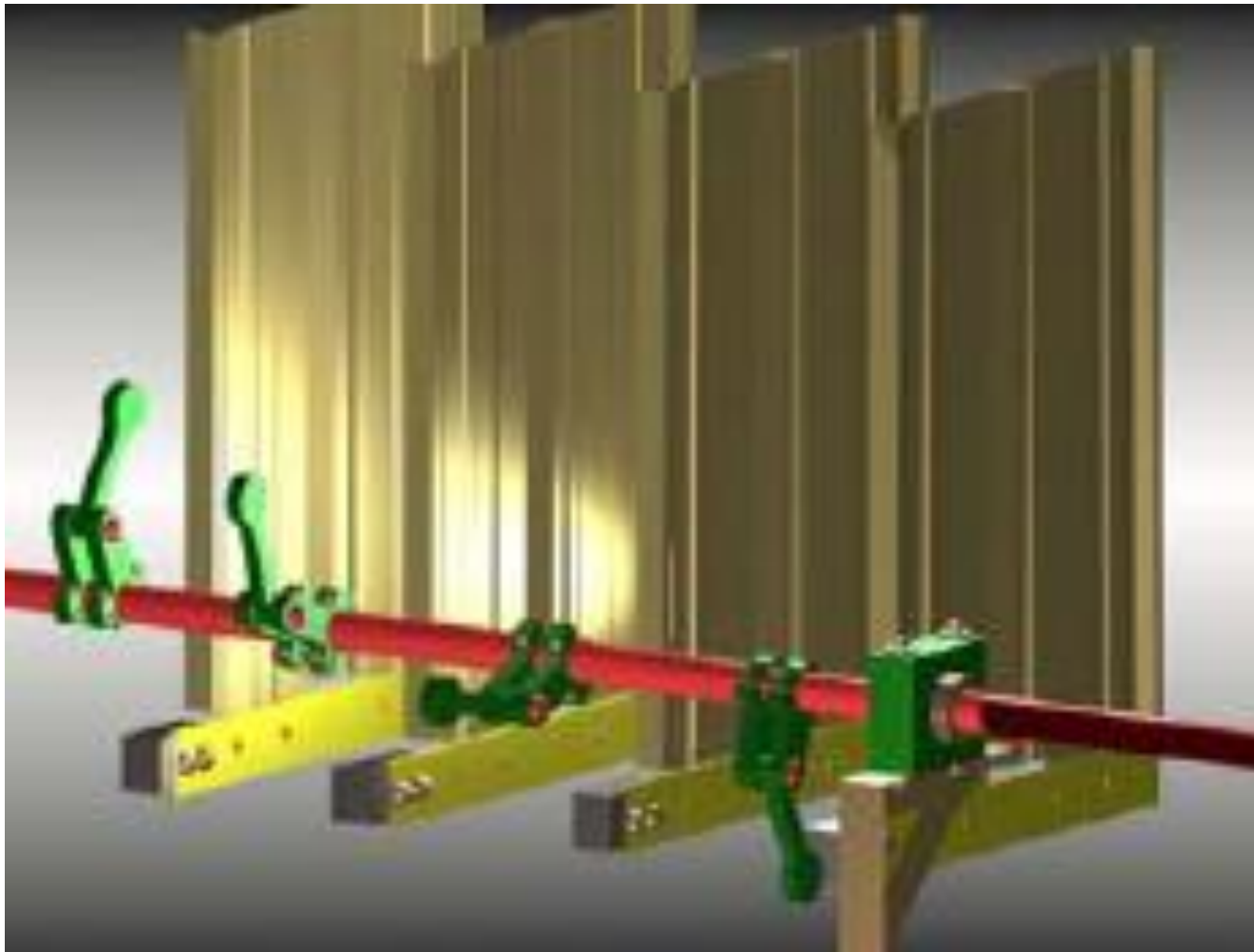




# SISTEM POGONA OTRESAČA



# UDARNI SISTEM (rotirajući čekići) za OTRESANJE

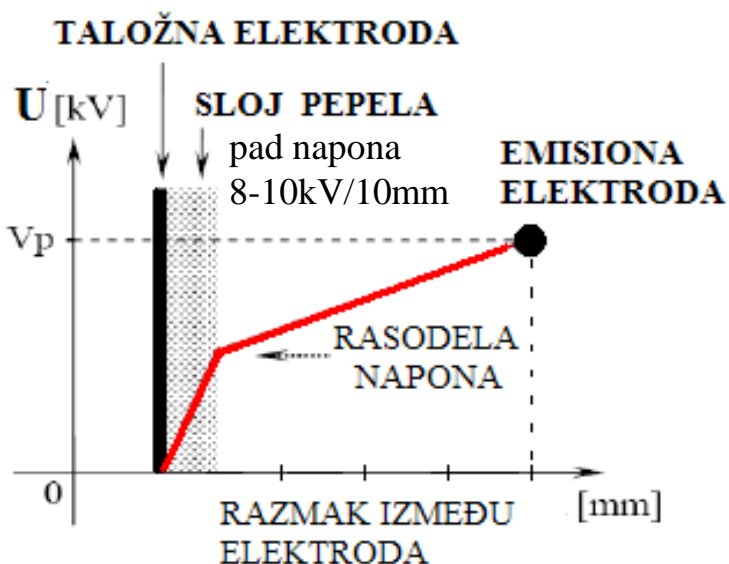


Sistem otresanja je veoma bitan sa stanovišta povratne korone

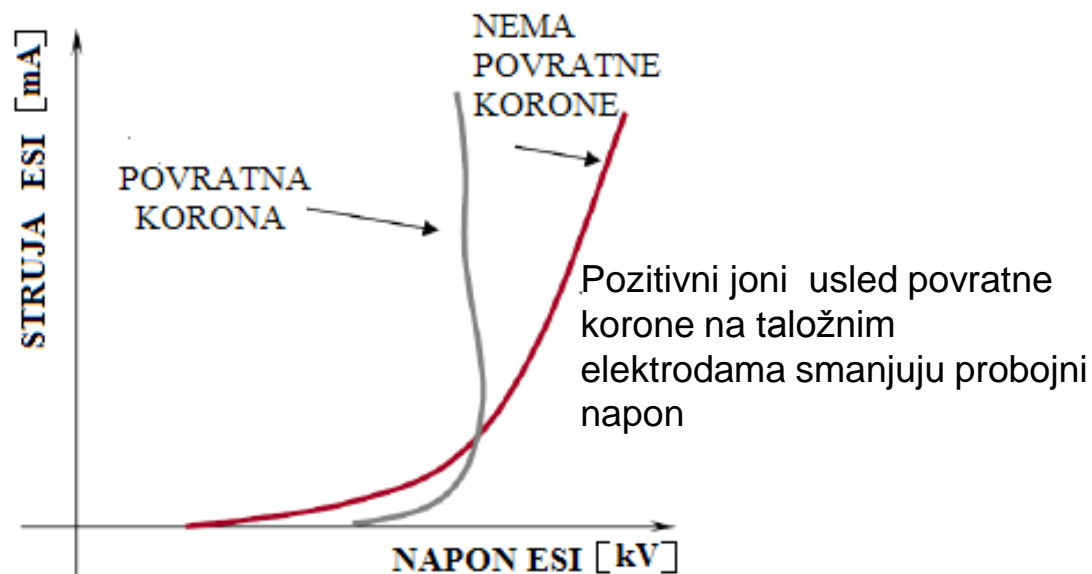
Ustvari veoma je bitno  
USKLAĐIVANJE  
sistema elektrostatičkog  
izdvajanja i sistema  
udarnog otresanja

**POVRATNA KORONA?**

# Efekat povratne korone u taložnoj komori



*raspodela potencijala,*



*I-V karakteristika*

Usled dugotrajnog izdvajanja čestica dimnog gasa na taložnim elektrodama se formira sloj pepela, koji kada dostigne odgovarajuću debljinu, nepovoljno utiče na dalje izdvajanje. Ključni efekat koje se pri tome javlja je **povratna korona**, koja postaje dominantna pogotovu kada se radi o slabo ili srednje provodnom pepelu (specifična provodnost oko  $10^{12}\Omega m$ )

# Negativni efekti povratne korone

- Na taložnoj elektrodi kod pepela srednje provodnosti (oko  $10^{12}\Omega\text{m}$ ) stvaraju se udubljenja (tzv. krateri) sa lokalnim žarenjem pepela, jonizacijom i izbacivanje materijala u među elektrodni prostor.
- Pozitivni joni na taložnim elektrodama smanjuju probojni napon. Posledica ovoga je smanjenje brzine migracije čestica.
- U izlaznoj sekciji brzina migracije može biti redukovana sa 20cm/s na svega 2-3cm/s.
- Kao posledica ovih efekata je i značajno smanjenje izdvajanja čestica
- Povratna korona na emisionim elektrodama smanjuje efekat korisne korone i jonizaciju.
- To umanjeno može biti i do 40%.

# Kako redukovati uticaj povratne korone?

- Većina ovih problema kao i povećanje efekata elektrostatičkog izdvajanja se mogu rešiti uvećanjem ukupne površine elektroda i zapremine izdvajača.
- Međutim ovo rešenje je ekonomski veoma nepovoljno.
- Prilagođenjem napajanja proces izdvajanja se može optimizovati, a brzina migracije povećati. Primena adekvatnog napajanja omogućava uvećanje ostvarive srednje vrednosti napona, povećanje srednje vrednosti struje, smanjenje potrebne površine i težine elektroda, smanjenje energije luka i značajno skraćivanje intervala dejonizacije (tzv. bez naponske pauze).
- Povratna korona se značajno može redukovati korišćenjem intermitentnog napajanja sa dovoljnim trajanjem intervala isključenosti- tzv. *vreme dejonizacije*, u toku kojih se pozitivni joni mogu rekombinovati.
- Inteligentnom intermitentnim režimom kao i metodom rane detekcije povratne korone, migraciona brzina se može značajno uvećati (tipično sa 4-5cm/s na 10-15cm/s).

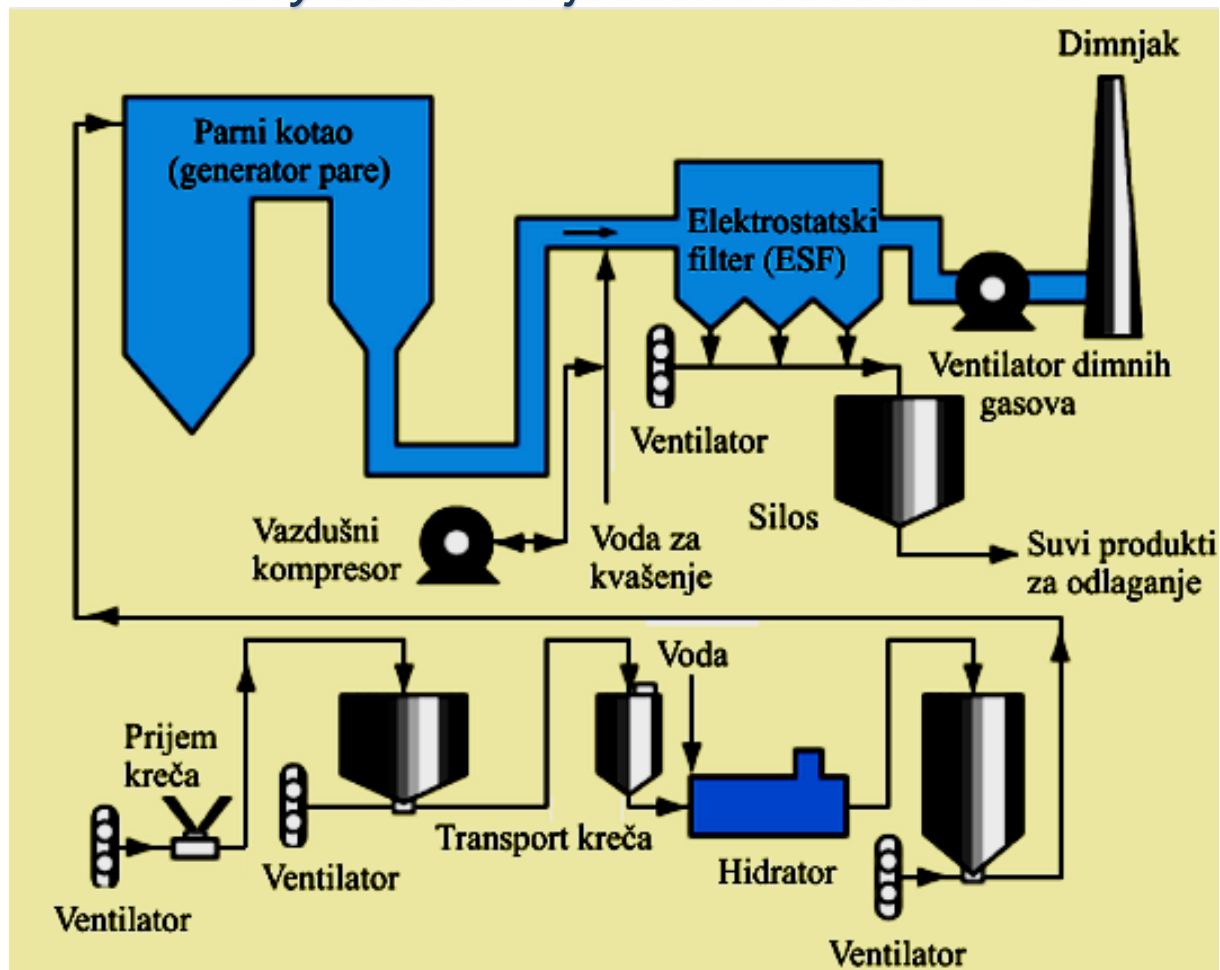
# Postrojenja za izdvajanje SO<sub>2</sub>

- Pri sagorevanju goriva koje sadrži sumpor, kao dominantan proizvod njegove oksidacije nastaje sumpor-dioksid SO<sub>2</sub>, zatim sumpor-trioksid SO<sub>3</sub> (u količini od nekoliko procenata stvorenog SO<sub>2</sub>), kao i drugi oksidi sumpora, koji nemaju neki veći značaj (pojavljuju se kao među-produkti u reakcijama oksidacije).
- Imajući u vidu štetan uticaj sumpornih oksida na čoveka, biljni i životinjski svet, kao i na građevinske objekte i boje, od posebnog je interesa da se njihova emisija svede na prihvatljivu meru, a koja neće biti štetna po okolinu i zdravlje stanovništva.
- Postoji veliki broj tehnika za smanjenje emisija SO<sub>2</sub> iz termoenergetskih postrojenja.
- Prva grupa postupaka zasnovana je na smanjenju emisije SO<sub>2</sub> kroz korišćenje goriva sa manjim sadržajem sumpora (postupci za smanjenje sumpora u gorivu-tzv."čišćenje" goriva), druga grupa zasnovana je na primeni savremenih tehnologija sagorevanja (potrebna rekonstrukcija ili zamena kotlovskog agregata) i treća grupa, zasnovana na prečišćavanju dimnih gasova pre njihovog ispuštanja u atmosferu.

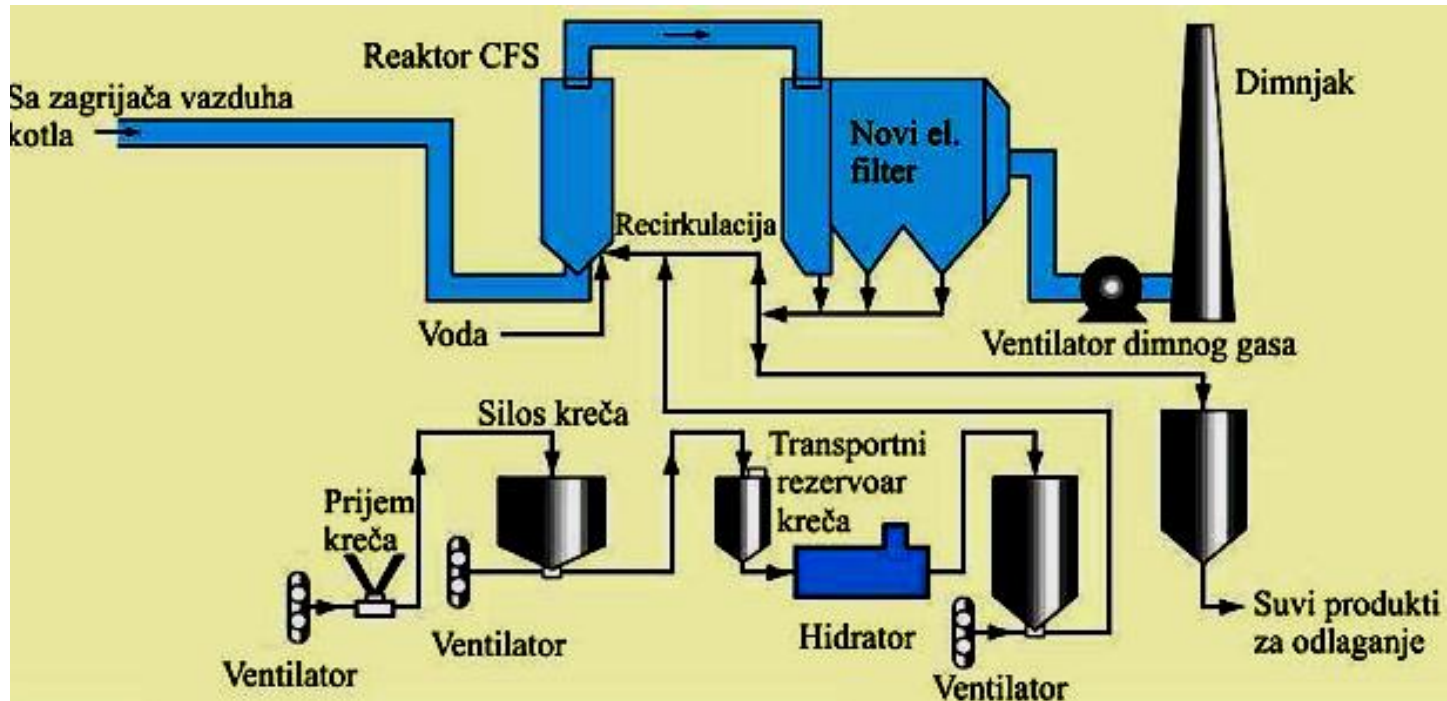


# Šema procesa dodavanja suvog sorbenta (hidratirani kreč)

## *Dry sorbent Injection Process - DSIP*



## Šema suvog procesa sa pripremom (Conditioned Dry Process - CDP), kao alternativa sa CFS



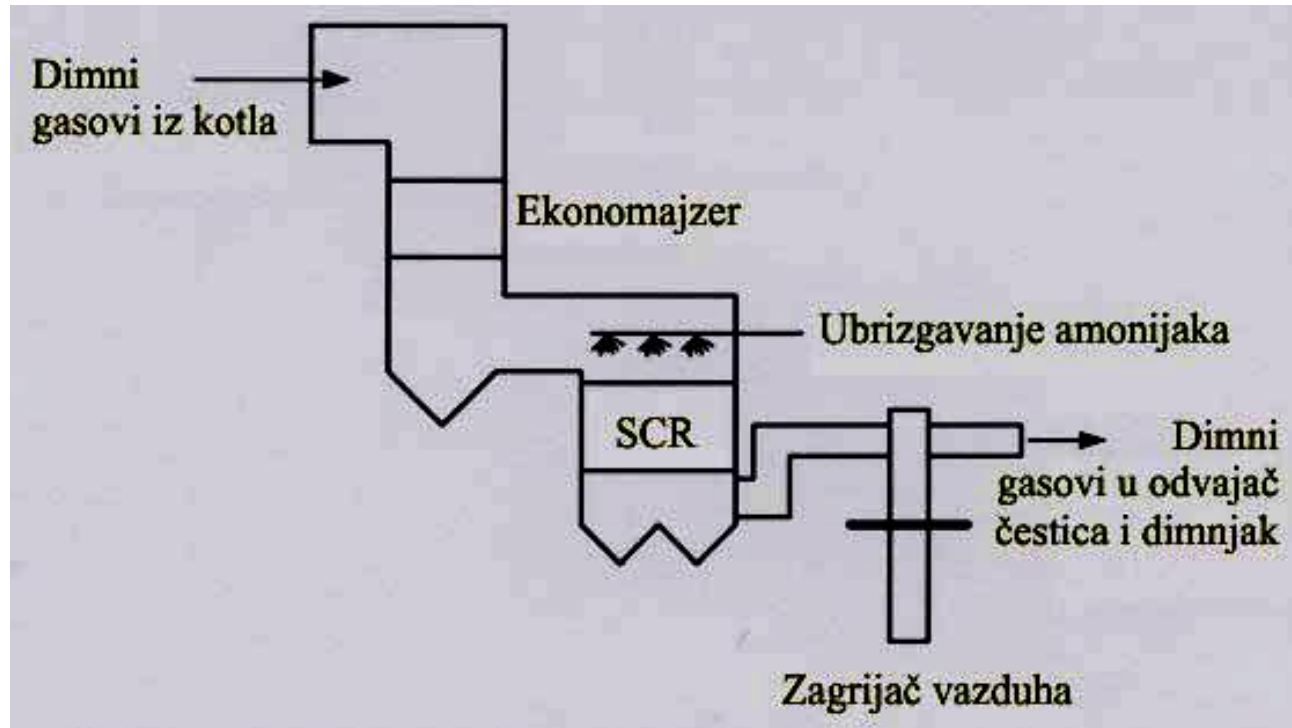
Kod kondicioniranog suvog procesa sa pripremom, sorbent (obično  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) dolazi u vidu suvog praška u dodir sa dimnim gasom. Površine čestica sorbenta vežu zagađivače koji se sakupljaju u filteru (najpovoljniji je filter od tekstila). Budući da je izdvajanje kiselih gasova ( $\text{SO}_x$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{HF}$ ) bolje na niskim temperaturama, dimni gas iz kotla se hladi vodom na oko  $120^\circ\text{C}$  pre ubrizgavanja suvog sorbenta, što takođe redukuje potrošnju sorbenta. Produkti reakcije se sakupljaju u filteru od tekstila (u nekim slučajevima to može biti i elektrostatički filter-ESF). Čisti gas se ispušta kroz dimnjak pomoću dodatnog ventilatora. Krajnji proizvod je u formi suvog praška, sa stavljenog od raznih soli kalcijuma, ostatka letećeg pepela i nereagovanog kalcijum-hidroksida. Deo ove smeše se može reciklirati, sa ciljem povećanja stepena iskorišćenja kreča.

# Uklanjanje azota (N) i oksida azota (NO<sub>x</sub>)

- Azotni oksidi koji najviše utiču na zagađenje životne sredine su azotmonoksid (NO) i azot-dioksid (NO<sub>2</sub>), dok se ostali oksidi javljaju u relativno niskim koncentracijama, pa je i njihov uticaj zanemarljivog karaktera.
- U procesu sagorevanja uglja izdvajaju se tri mehanizma nastajanja azotnih oksida.
  - (Prvi mehanizam) predstavlja reakciju azota i kiseonika iz vazduha pri sagorevanju kod vrlo visokih temperatura koje vladaju u zoni plamena,
  - (Drugi mehanizam) zasniva se na reakciji molekula azota iz vazduha i slobodnih radikala iz goriva u blizini same zone plamena
  - (Treći mehanizam) je zasnovan na oksidaciji vazduha iz sastava goriva (70 % do 80 % od svih nastalih azotnih oksida NO<sub>x</sub>).
- Prilikom sagorevanja fosilnih goriva, oksidi azota (NO<sub>x</sub> = NO i NO<sub>2</sub>) koji se stvaraju uglavnom su u formi azotmonoksida.
  - (NO), čiji manji dio (obično manje od 5 %) oksidira u azotdioksid (NO<sub>2</sub>) tokom prolaza dimnih gasova od ložišta do ulaza u dimnjak.

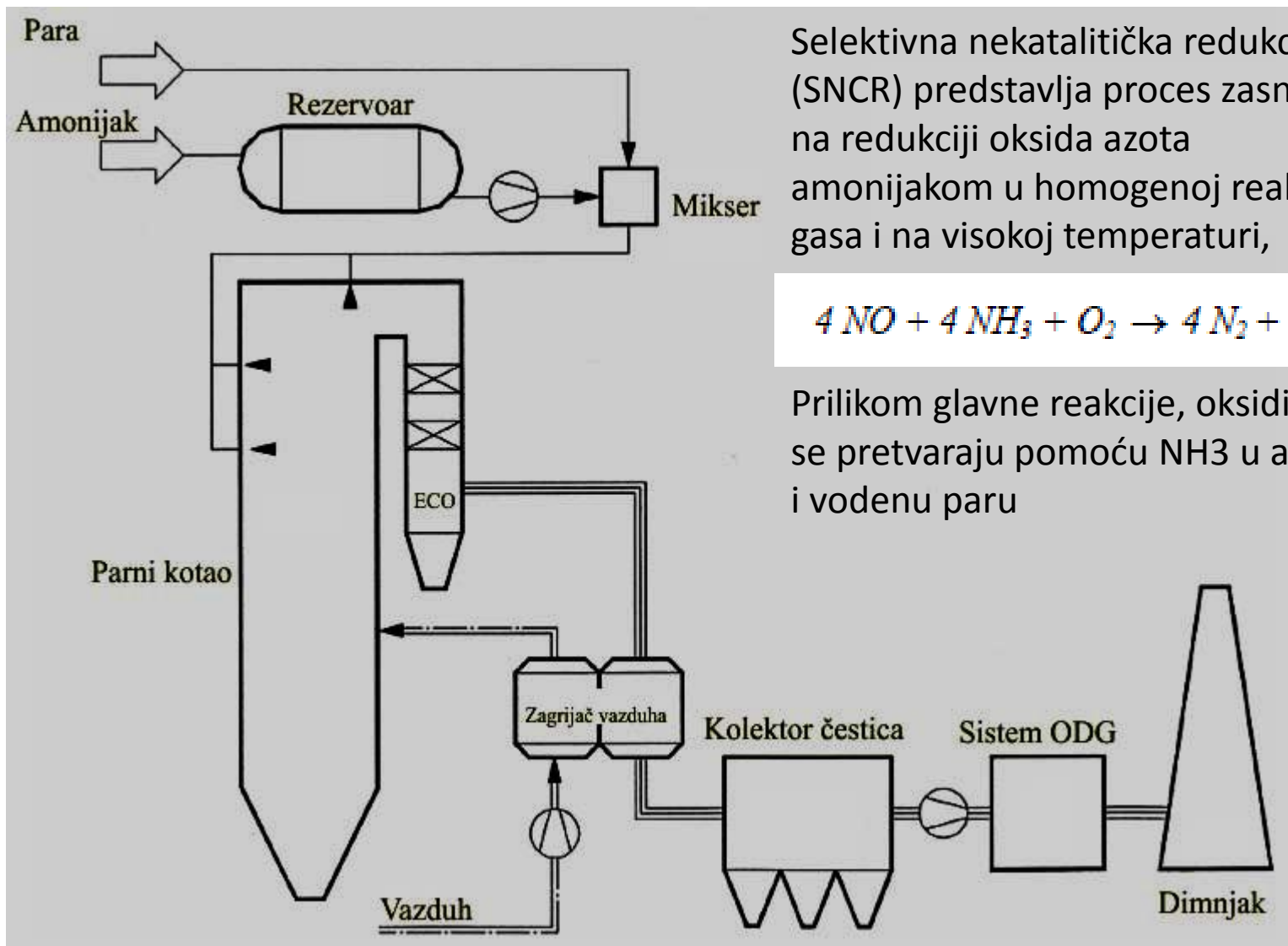
# Uklanjanje azota (N) i oksida azota (NO<sub>x</sub>)

Glavni postupci za odstranjivanje NO<sub>x</sub> iz dimnih gasova su: selektivna katalitička redukcija (*SCR postupak*) i selektivna nekatalitička redukcija (*SNCR postupak*).



Proces se naziva selektivnim, jer se istovremeno ne odvajaju i ostali gasovi (npr. SO<sub>2</sub> i/ili NH<sub>3</sub>).

## Procesni Dijagram SNCR procesa



Selektivna nekatalitička redukcija (SNCR) predstavlja proces zasnovan na redukciji oksida azota amonijakom u homogenoj reakciji gasa i na visokoj temperaturi,



Prilikom glavne reakcije, oksidi azota se pretvaraju pomoću  $NH_3$  u azot i vodenu paru

## *Tehno-ekonomski pokazatelji nekih tehnologija za smanjivanje emisije SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> i čestica (prašine) u vazduh*

Tehnologija	Efikasnost izdvajanja, %			Investicioni troškovi za termoelektrane (TE), EUR/kW	
	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	Čestice	Postojeće TE	Nove TE
Mokri postupak sa krečom/krečnjakom	< 98	-	> 50	130-230	100-180
Suvo ubrizgavanje u ložište	-	50-70	-	40-70	40-70
Primarne mere	-	40-60	-	4-42	< 25
SCR - selektivna katalitička redukcija	-	< 95	-	42-84	42-84
SNCR - selektivna nekatalitička redukcija	-	oko 50	-	8-17	4-8
Elektrostatički filter - ESF	-	-	< 99,90	35-50	35-50
Vrećasti filteri - VF	-	-	< 99,90	42-60	42-60



## DIMNJACI i dimovodne instalacije

- Osnovni zadaci dimnjaka i pripadajućih instalacija su nesmetano odvođenje dimnih gasova u atmosferu, uz osiguravanje optimalnog pogona ložišta pri svakom opterećenju parnog kotla (generatora pare) i osiguranje minimalnog uticaja na zdravlje ljudi i okolne životne sredine.
- Produkti sagorevanja su pomoću dimnjaka raspršivani u više slojeve atmosfere, pri čemu je temperatura izlaznih gasova na izlazu iz kotla, zajedno sa ekološkim propisima o emisiji i imisiji, diktirala gabarite dimnjaka kao i način transporta dimnih gasova u dimnjaku.
- Gabariti= (prečnik na ulazu i na izlazu dimnih gasova iz dimnjaka, visina dimnjaka, konstruktivna izvedba, materijal korišćen za njihovu izgradnju),
- Način transporta= (prirodna promaja za TEP manje snage i relativno visokim temperaturama dimnih gasova na izlazu iz kotla)
- Metalni dimnjaci se grade do visine od 30 m i zidani dimnjaci od opeke visine 50 do 60 m (standardno)
- Za prinudni transport, pomoću ventilatora za dimne gasove- dimnjaci su visine 180 do 330 m,
- Postoje dimnjaci od 360m, pa sve do visina 400, pa i do 500 m).





*a) dimnjaci na TE Kolubara A*



*b) dimnjak na TE Ugljevik*



*c) dimnjak na  
TE Gacko*



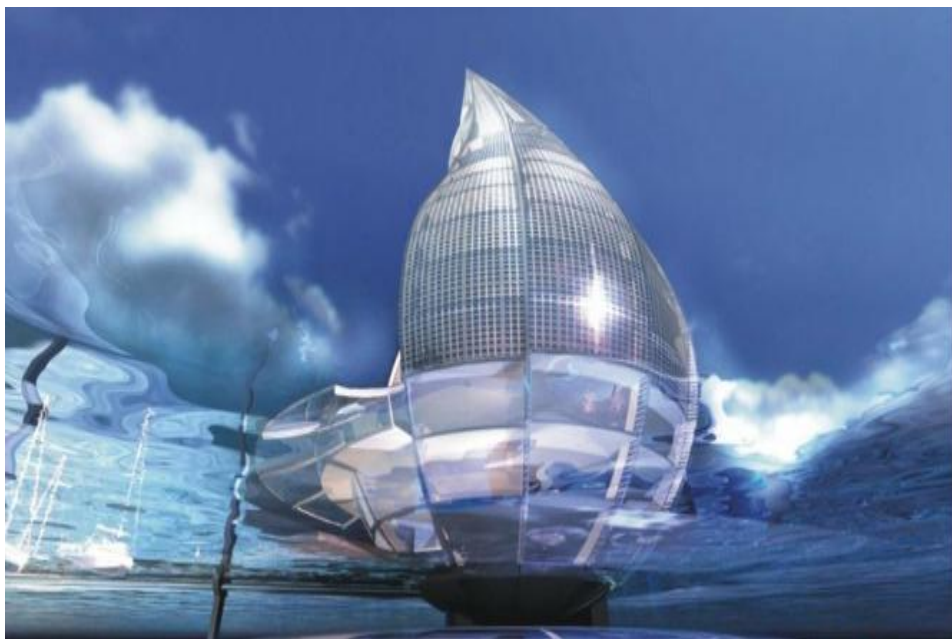
*d) dimnjak na  
TE Sisak*



*e) dimnjak na  
TE Nikola Tesla B*

# HVALA NA PAŽNJI!!!

## Pitanja???



Mart 2021.

# LITERATURA

- Z.N.Milovanović, Termoenergetska postrojenja, B.Luka, 2011.
- D.Belić, Fizika i Ekologija- Zagađivanje, zaštita i prečišćavanje vazduha, Fizički fakultet, 2011  
[http://www.ff.bg.ac.rs/Katedre/Atomska/SiteAtomska/Dodatna%20literatura/EKOFIZIKA\\_2.pdf](http://www.ff.bg.ac.rs/Katedre/Atomska/SiteAtomska/Dodatna%20literatura/EKOFIZIKA_2.pdf).
- V.Pocajt, Prečišćavanje od čestica, Tehnološko metalurški fakultet  
[http://pocajt.tmf.bg.ac.rs/uvod\\_izzs/Pres/5%20-%20Preciscavanje%20od%20cestica.pdf](http://pocajt.tmf.bg.ac.rs/uvod_izzs/Pres/5%20-%20Preciscavanje%20od%20cestica.pdf)
- M.Radić, D.Petković, Elektrostatički filtri, Fakultet zaštite na radu, Niš, 2013.
- Ž.Despotović, S.Vukosavić, M.Bakić, "Savremeni elektrostatički izdvajači", ENERGIJA-ekonomija-ekologija, Vol.3, pp.237-247, Mart 2010.
- S.Vukosavić, Ž.Despotović, N.Popov,"Savremene metode elektrostatičkog izdvajanja čestica iz dimnih gasova", Energetske Tehnologije, Vol.7, Br.4, pp.31-40, Mart 2010