

## UTICAJ KONSTRUKCIONIH ELEMENATA ELEKTRO-ODVAJAČA NA EFIKASNOST IZDVAJANJA ČVRSTIH ČESTICA

### THE INFLUENCE OF CONSTRUCTION PARTS OF ELECTRIC SEPARATORS ON SOLID PARTICLES SEPARATION EFFICIENCY

**Doc.dr. Šefket Goletić**  
**Nusret Imamović, dipl.inž.maš.**  
**Univerzitet u Zenici, Mašinski fakultet Zenica**  
**Bosna i Hercegovina**

#### **REZIME**

*U ovom radu analiziran je uticaj osnovnih konstrukcionih elemenata elektro-odvajača na efikasnost odvajanja čvrstih čestica iz struje otpadnog plina. Ova oblast je nedovoljno istražena i ima dosta nepoznanica, što pokazuje i nedostatak stručne literature. U cilju dokazivanja uticaja konstrukcionih elemenata na efikasnost odvajanja čvrstih čestica iz struje otpadnog plina, provedena su mjerenja koncentracija čestica na izlazu iz elektro-odvajača na bloku 6 Termoelektrane Kakanj u toku i poslije njegove rekonstrukcije i optimizacije. Prosječna emisija čvrstih čestica nakon rekonstrukcije i modifikacije osnovnih konstrukcionih elemenata elektro-odvajača je niža za  $54 \text{ mg/m}^3$ , što znači da je sa dotadašnjih  $146,9536 \text{ mg/m}^3$  svedena na  $92,98 \text{ mg/m}^3$ , te tako varira unutar dozvoljene granične vrijednosti, koja iznosi  $100 \text{ mg/m}^3$  za kotlove snage iznad 50 MW. Rezultati mjerenja emisije pokazuju da konstrukcioni elementi elektro-odvajača značajno utiču na efikasnost odvajanja čestica iz otpadnog plina i smanjenje emisije u atmosferski zrak.*

**Ključne riječi:** elektro-odvajač, konstrukcioni elementi, emisija prašine, čvrste čestice, izdvajanje čestica iz plina

#### **ABSTRACT**

*In this paper are analyzed the influence of basic construction parts of electrical separators in view of efficiency of solid particle separation from the gas flow. This area is insufficiently researched and there is a lot unknown, what shows lack professional literature. In order to prove the effect of the construction elements to efficiency of particle separation from the gas flow, the extensive measurements of particle concentration at the outlet of electrical separator were carried out during and after the reconstruction and optimization of the operation at the Block 6 of the Kakanj Power Plant. The average emission of particles after the reconstruction and modification of the basic construction elements of electric separator is lower for about  $54 \text{ mg/m}^3$ , in other words it has been reduced to  $92,98 \text{ mg/m}^3$ , which is within emission of standards for boiler plants- $100 \text{ mg/m}^3$  for power of the plant 50 MW. Power Plant considerably reduces the solid particle emission degree. The results show that optimization of the basic construction elements significantly improves the efficiency of particle separation from the waste gas on one hand, and on the other – significantly decreases the emission degree.*

**Key words:** electric separator, construction elements, dust emission, solid particles, particles separation.

## 1. UVOD

U današnje vrijeme najveći izvori emisije čvrstih čestica u atmosferu su velika kotlovska ložišta termoelektrana, postrojenja cementara i metalurgije, kao i druga industrijska postrojenja. Emisija čvrstih čestica pri sagorijevanju čvrstih goriva zavisi od mineralnog dijela goriva, načina sagorijevanja, tipa ložišta i efikasnosti otprašivanja. Iako se sve češće za proizvodnju električne energije koriste niskokalorični ugljevi, kod kojih je sadržaj mineralnih materija povećan, ukupan nivo sadržaja čvrstih čestica u atmosferskom zraku opada, zbog povećanog stepena otprašivanja i izgradnje dimnjaka odgovarajuće (veće) visine, čime se pospješuje njihova disperzija i transmisija na relativno velike udaljenosti. Jedan od načina značajnog smanjivanja emisije čvrstih čestica u atmosferu, jeste ugradnja uređaja za odstranjivanje čestica iz otpadnog plina. Danas se koriste različiti uređaji za otprašivanje otpadnih dimnih plinova, odnosno za smanjivanje emisije čvrstih čestica u atmosferu, koji imaju visok stepen efikasnosti. Veoma efikasan i široko primjenjivan uređaj za izdvajanje čvrstih čestica iz otpadnih plinova jeste elektro-odvajač (elektrostatski precipitator ili elektrostatski taložnik ili elektrostatski kolektor). Elektro-odvajači su uređaji koji imaju vrlo veliku efikasnost zadržavanja čestica letećeg pepela, odnosno izdvajanja čvrstih čestica iz struje otpadnog dimnog plina, sa efikasnošću 99% do 99,9%. Oni zadržavaju čestice veličine od 0,01  $\mu\text{m}$  do 500  $\mu\text{m}$ , mali su potrošači električne energije, rade kontinualno, lahko se održavaju, dugotrajni su i jednostavni za rukovanje. Loša im je osobina što zauzimaju veliki prostor, investiciono su skupi i primjena im je ograničena kod eksplozivnih i zapaljivih plinova. Konstruktivni elementi elektro-odvajača imaju značajan uticaj na efikasnost izdvajanja čestica iz otpadnog plina [1]. U ovom radu je analiziran uticaj osnovnih konstrukcionih elemenata elektro-odvajača na efikasnost izdvajanja čestica iz otpadnog dimnog plina.

## 2. NAČINI I MOGUĆNOSTI POBOLJŠANJA STEPENA EFIKASNOSTI ELEKTRO-ODVAJAČA

Osnovni pravci razvoja elektro-odvajača su usmjereni na sljedeća područja:

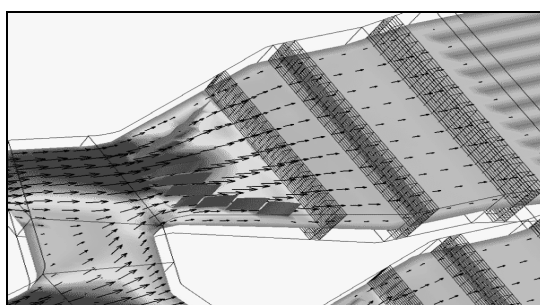
- proučavanje polja strujanja plina (posebno turbulencije) u cilju umanjenja nepovoljnog uticaja turbulencije na stepen odvajanja; proučavanja uticaja električnog vjetrova; nalaženja pouzdanog modela za proračun električnih odvajanja i sl.;
- poboljšanje električne vodljivosti čestica oplemenjivanjem plina kao što su: sumpor trioksid, amonijak, trietil-amin, natrijev hidroksid, voda, hloridi itd.;
- elektrode - mogućnosti povećanja prečnika korinirajuće elektrode, istraživanje uticaja povećanja udaljenosti taložnih elektroda, čišćenje vodom itd.;
- impulsno napajanje - istraživanje uticaja oblika impulsa, širine impulsa, frekvencija;
- prednabijanje čestica - istraživanje uticaja visokointenzivnih jonizatora, troelektrodnog nabijanja, vodom hlađenih anoda, dvije helikoidalne koronirajuće elektrode;
- upravljačko regulacioni sistemi (mikroprocesori);
- električni odvajajući smješteni prije zagrijača zraka [2].

### 2.1 Konstrukcioni elementi elektro-odvajača

Faktori, koji utiču na rad i efikasnost izdvajanja čestica iz struje plina elektro-odvajača, gotovo su neprebrojivi. Pored onih esencijalnih, koji se odnose na karakteristike čvrstih čestica, njihove veličine i količine, vlažnosti, temperature, kao i zastupljenosti mješavina specifičnih plinova u otpadnom plinu, na efikasnost elektro-odvajača značajno utiču i konstrukcioni elementi. U ovom radu je naveden određen broj važnijih konstrukcionih elemenata s tehničkim opisom, kao i mogućnost njihovog rekonstruiranja (poboljšanja) i

optimiziranja u svrhu poboljšanja efikasnosti elektro-odvajača. Između ostalih, važniji konstrukcioni elementi koji su uključeni u razmatranje, analizu i komentare u cilju poboljšanja rada i smanjivanja torškova rada elektro-odvajača, su:

- ulazna i izlazna komora,
- sistem emisionih i kolektorskih elektroda,
- sistem otresanja emisionih i kolektorskih elektroda,
- kućište i oklop odvajača,
- sistem odvođenja izdvojene prašine (lijevak i odstojnici),
- difuzor i konfuzor (perforirane ploče: veličina, otvori, skertni limovi, žaluzine i dr.), od čije konstrukcije izvedbe ovisi ravnomjerna raspodjela otpadnog plina po cijelom presjeku odvajača i njegov tok s poljem brzine prikazanim na Slici 1,
- sistem za postavljanje i napajanje elektro-odvajača strujom visokog napona,
- elementi za dovod i odvod otpadnog dimnog plina.



Slika 1. Polje brzine otpadnog plina na ulazu u L/D stranu odvajača (difuzor) [3]

Većina autora smatra, da su elektro-odvajači standardne konstrukcije sa sljedećim osnovnim konstrukcionim elementima:

- kućište elektro-odvajača,
- elementi za dovod, raspodjelu i odvod očišćenih plinova,
- taložne i emisione elektrode,
- mehanizam za stresanje taložnih i emisionih elektroda,
- elementi za zavješanje mreže emisionih elektroda i za napajanje elektro-odvajača strujom visokog napona [4].

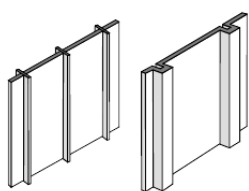
## 2.2 Uticajni faktori na izvedbu elektro-odvajača

Najrašireniji tip u primjeni je horizontalni električni komorni odvajač sa suhim odvođenjem izdvojenih čestica. Na odvajanje čestica u električnom odvajaču, bitan uticaj imaju: brzina plina, stanje i sastav plina, adhezija praha i električni otpor čestica. Stepenn odvajanja opada sa porastom brzine plina. Pri brzinama većim od 2 m/s, može doći do povlačenja već izdvojenih čestica sa sabirnih elektroda djelovanjem struje plina. Isto tako, stepenn odvajanja raste s porastom napona i obratno. Promjene u pogonu mogu osjetno mijenjati napon preskoka a time i stepenn odvajanja čestica iz struje plina. Tako se porastom temperature ili snižavanjem pritiska smanjuju napon preskoka i stepenn odvajanja. Sličan uticaj ima i smanjenje količine kisika u dimnim plinovima. Povećana adhezija praha na elektrodama, koja je posebno izražena kod finih čestica, ima za posljedicu formiranje debljeg sloja odvojenih čestica na elektrodama. Ovim se snižava aktivni dio pada napona između elektroda, što ima za posljedicu pogoršanje stepena izdvajanja [5].

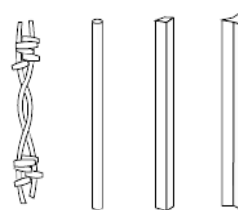
Dalji negativni efekat na efikasnost elektro-odvajača može izazvati ekstremno visok ili ekstremno nizak specifični otpor čestica. Ako je specifični električni otpor čestica  $\rho_z > 10^8 \Omega\text{m}$  pri uobičajenim uvjetima dolazi do jonizacije u sloju odvojenog praha, koja je izazavana

visokim padom napona u sloju. Ova pojava, koja se naziva povratna korona, ometa odvajanje čestica i vodi porastu utroška energije. Ako je  $\rho_z < 10^2 \Omega\text{m}$ , pri kontaktu čestica sa sabirnom elektrodom dolazi do njihovog brzog pražnjenja i odskakanja u struju plina. To dovodi do smanjenja stepena izdvajanja čestica iz struje otpadnog plina. Najpovoljnije vrijednosti specifičnog električnog otpora su  $10^5$  do  $10^8 \Omega\text{m}$ .

Izvedba horizontalnog komornog dvosekcijskog suhog odvajača se može opisati na sljedeći način. U kućištu su zavješene sabirne elektrode (Slika 2), koje tvore sistem komora sastavljenih iz profilisanih traka. Između njih u ravni simetrije postavljene su emisione elektrode koje su sastavljene od žica ili profila sa šiljcima (Slika 3). Sabirne elektrode su električno vodivo spojene sa kućištem dok su emisione razapete u okvirima koji su zavješeni na izolatorima smještenim u kućicama. Na emisione elektrode dovodi se visoki istosmjerni napon 40 do 80 kV. Sabirni bunker se nalazi na donjoj strani kućišta. Oba sistema elektroda imaju uređaj za otresanje, koji ih oslobađa od praha odvojenog na njihovim površinama.



Slika 2. Tipovi sabirnih elektroda [3]



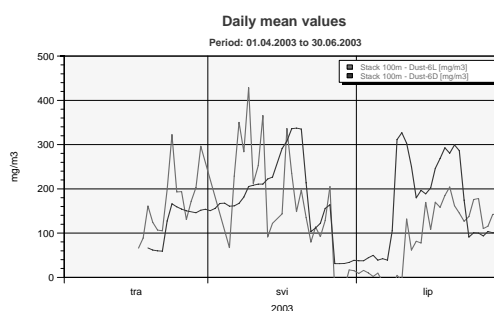
Slika 3. Tipovi žice emisionih elektroda [3]

Funkcija elektro-odvajača se može objasniti na sljedeći način. Visoki napon na emisionim elektrodama izaziva jonizaciju plina i nabijanje čestica u prostoru komora kroz koje protiče očišćeni plin. Manji dio čestica se nabije pozitivno u prostoru korone pa se odvoje na emisionim elektrodama. Zbog toga je i njih potrebno otresati. Veći dio čestica se nabije negativno i one se transportuju prema sabirnim elektrodama. Odvojene čestice formiraju sloj na sabirnim elektrodama, koji postepeno gubi svoj naboj i na taj način se održava kompaktnost sloja. Nakon određenog intervala uključi se uređaj za otresanje, koji naruši adheziju čestica na elektrodi, pa one u agregatima padaju u sabirne bunke. Za dobro odvajanje čestica iz plina, uvjet je, između ostalih faktora, i ravnomjeran profil brzine plina u cijelom prostoru odvajača. Zato se često u priključne cijevi odvajača ugrađuju razvodne lopatice koje izravnavaju profil brzina. Za poboljšanje funkcije električnog odvajača u slučajevima da specifični električni otpor prelazi granicu  $10^8 \Omega\text{m}$ , moguća su dva puta. Prvi je smanjenje gustine struje na sabirnim elektrodama povećanjem specifične površine elektroda prema zapreminskom prostoru. U drugom slučaju se koristi sniženje specifičnog otpora kondicioniranjem plina. To se najjednostavnije rješava vlaženjem pomoću mokrih odvajača-praonika, takozvanih stabilizatora ili dodavanjem aditiva u plinove, koji smanjuju specifični otpor čestica. Električni odvajači izvode se u sekcijama (poljima) i prema potrebi vežu paralelno ili redno. Redna veza se sreće redovno kod viših stepena odvajanja, pri čemu se parametri odvajača u prvoj sekciji podešavaju prema grubljim česticama, a u drugoj sekciji prema finijim česticama. Sekcije se obično smještaju u zajedničko kućište [5].

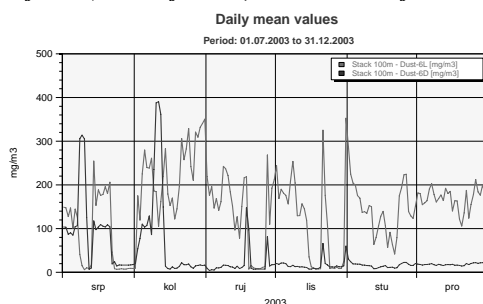
### 2.3 Grafički prikaz podataka monitoringa bloka 6 TE Kakanj

Nakon što je izvršen tehnički pregled elektro-odvajača bloka 6 TE Kakanj, kao i mjerenje brzine na lijevom i desnom elektro-odvajaču u 2003. godini, izvršeni su i korektivni zahvati na konstrukcionim elementima, koji su detaljnije analizirani u ovom poglavlju. Nakon toga, provedeno je kontrolno mjerenje emisije čestica prašine, kojim je potvrđena opravdanost realizacije aktivnosti rekonstrukcije i optimizacije (poboljšanja rada) elektro-odvajača na

bloku 6 TE Kakanj. Na osnovu rezultata mjerenja emisije čestica prašine prikazanih na slikama 4 i 5, može se jasno vidjeti da je efikasnost odvajanja čestica iz struje otpadnog plina značajno povećana, što se potkrepljuje originalnim zapisom u formi grafičkog prikaza. Dati su podaci izraženi preko dnevnih i mjesečnih srednjih vrijednosti za lijevu i desnu stranu odvajачa s monitoringa što je, poređenja radi, prikazano jedno ispod drugog. Na slici 4 date su srednje dnevne vrijednosti količina čestica u izlaznom plinu za tri mjeseca (april, maj i juni) u toku zastoja, za lijevu i desnu stranu elektro-odvajачa bloka 6 TE Kakanj. Na slici 5 su također date srednje dnevne vrijednosti količina čestica za narednih šest mjeseci. Isto tako, na ovim slikama paralelno su prikazana stanja količina čestica u plinu u toku zastoja (rekonstrukcije) elektro-odvajачa za tri mjeseca i poslije rekonstrukcije, za narednih šest mjeseci. Također, na grafičkom prikazu su date koncentracije čestica u izlaznom plinu prije (Slika 4) i poslije provedenog zahvata na poboljšanju rada elektro-odvajачa (Slika 5), iz kojih je komentiran procenat čestica u izlaznom plinu, kao jedan od pokazatelja povećanja stepena efikasnosti, uzevši kao pretpostavku da je sadržaj čestica na ulazu u toku perioda snimanja konstantan. Ta se pretpostavka smatra opravdanom s obzirom da ne postoje egzaktni mjerni podaci stanja prije rekonstruktivnog zahvata, jer je uređaj za mjerenje instaliran u toku rekonstrukcije elektro-odvajачa. Prema stanju količine čestica u izlaznom plinu, data je komparativna prosječana vrijednost, zatim prosječne količine čestica u toku i poslije provedenog zahvata u  $\text{mg}/\text{m}^3$ , gdje postoji jasna razlika, koja ukazuje na rast stepenta efikasnosti odvajanja čestica iz plina, jer su zabilježene znatno niže koncentracije čestica na izlazu. Tako je prosječna količina čestica na izlazu iz elektro-odvajачa u toku rekonstrukcije iznosila  $146,95 \text{ mg}/\text{m}^3$ , a poslije provedene rekonstrukcije iznosila je  $92,98 \text{ mg}/\text{m}^3$ . Time je zadovoljena granična vrijednost za emisiju čvrstih čestica, koja iznosi  $100 \text{ mg}/\text{m}^3$  [6]. Rezultati kontrolnih mjerenja emisije čvrstih čestica potvrđuju da su provedeni korekcionni zahvati poboljšali raspodjelu dimnih plinova po presjeku elektro-odvajачa, a ugrađeni zaprečni limovi na stranicama kućišta su smanjili količinu plinova, koja prolazi neočišćena pored električnog polja, što je značajno uticalo na poboljšanje efikasnosti elektro-odvajачa na bloku 6 TE Kakanj [7].



Slika 4. Količina čestica u izlaznom plinu lijeve i desne strane elektro-odvajачa (za 3 mjeseca) u toku zastoja bloka 6 TE Kakanj



Slika 5. Količina čestica ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) u izlaznom plinu lijeve i desne strane elektro-odvajачa za 6 mjeseci poslije njihove rekonstrukcije i optimizacije

### 3. ZAKLJUČAK

Elektro-odvajači sadrže mnogo elemenata i fenomena, čijim se korekcijama i poboljšanjima utiče na efikasnost odvajanja čestica iz struje otpadnog plina, a svaki od njih je sveobuhvatan i nauk sam za sebe. Ovim se radom pokušala otvoriti mogućnost rješavanja složenijih i konkretnijih problema u ovoj oblasti, ubuduće.

Na osnovu izvršene analize uticaja konstrukcionih elemenata elektro-odvajača na efikasnost izdvajanja čestica iz otpadnog plina i provedenih mjerenja, mogu se izvesti sljedeći zaključci:

1. Projektovanje i poboljšanje rada elektro-odvajača je jako složen proces i zahtjeva obimno istraživanje, veliko radno iskustvo i timski rad, koji je neophodan u sadašnje vrijeme.
2. Oblast izdvajanja čestica iz struje otpadnog plina elektro-odvajačima i uticaj konstrukcionih elemenata na efikasnost njihovog rada je nedovoljno istražena, što pokazuje i nedostatak literature u ovoj oblasti.
3. Konstrukcioni elementi elektro-odvajača značajno utiču na efikasnost izdvajanja čestica iz otpadnog plina, što je konstatovano njihovom rekonstrukcijom i optimizacijom na elektro-odvajaču bloka 6 TE Kakanj i provedenim mjerenjima emisije čestica prašine. Rezultati mjerenja pokazuju, da je srednja količina čestica nakon rekonstruktivnog zahvata manja za oko  $54 \text{ mg/m}^3$ , i ona varira ispod granične vrijednosti emisije čestica prašine, koja iznosi  $100 \text{ mg/m}^3$ .

### 4. LITERATURA

- [1] Đuković, J.: *Zaštita životne okoline*, "Svjetlost", Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Sarajevo, 1990.
- [2] Bajramović, A.: *Utvrdjivanje pokazatelja odvajanja elektrofiltera na osnovu putanja čestica*, Diplomski rad, Mašinski fakultet, Sarajevo, 1997.
- [3] [www.mefos\\_se-images-precipitator\\_jpg.htm](http://www.mefos_se-images-precipitator_jpg.htm)
- [4] Islambegović, M.: Izgradnja elektrofiltera i zamjena baterijskih ciklona na postrojenju aglomeracije u Željezari Zenica, Zbornik radova I. Jugosl. kongresa o očuvanju čistoće vazduha, Zenica, str. 619-625, 1989.
- [5] Bilić, Ž.: Savremene metode i uređaji za otprašivanje emisionih plinova, Zbornik radova, Savjetovanje o zaštiti zraka u proizvodnji koksa, gvožđa, čelika i čeličnog liva, Zenica, str. 103-132, 1983.
- [6] Pravilnik o graničnim vrijednostima emisije u zrak iz postrojenja za sagorijevanje, Službene novine Federacije BiH, broj 12/05.
- [7] Mužek, Z.: Dijagnostika postojećeg stanja i mjere poboljšanja efikasnosti otprašivanja elektrofiltera bloka 6 TE Kakanj, Završni izvještaj, Zagreb, rujan 2003.