



A XII-a Conferință Națională multidisciplinară – cu participare internațională  
"Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii românești",  
SEBEȘ, 2012

## **INTENSITATEA CÂMPULUI ELECTRIC ȘI TENSIUNEA DE DESCĂRCARE ÎNTRE ELECTROZII ELECTROFILTRELOR INDUSTRIALE CU PLĂCI**

Gabriel Nicolae POPA, Corina Maria DINIȘ  
Sorin Ioan DEACONU, Iosif POPA

### **THE ELECTRIC FIELD STRENGTH AND DISCHARGE VOLTAGE BETWEEN THE ELECTRODES OF INDUSTRIAL PLATE-TYPE ELECTROSTATIC PRECIPITATOR**

This paper presents an analysis on discharge wires and collecting plates used at industrial plate-type electrostatic precipitators. Electric field strength is presented (maximum and mean value) and discharge voltage, that voltage depends on the gas properties and the product between the pressure and distance.

Cuvinte cheie: electrofiltre cu plăci, intensitatea câmpului electric, tensiunea de descărcare

Keywords: electrostatic plate, electric field strength, the discharge voltage

#### **1. Introducere**

Starea gazului și în special compoziția gazului determină într-un mod esențial proprietățile electrice ale electrofiltrilor.

Suprafața electrodului determină în mod hotărâtor apariția efectului Corona. Cele mai mici impurități (particule de praf conductor) sau neregularități (din construcție) a electrozilor devin locuri de apariție a efectului Corona și au un caracter instabil. La mică putere, caracterul descărcării Corona este neautonom, și depinde de factorii de ionizare

exteriori. Descărcările au un caracter instabil, fiind greu de reprodus, iar curentul absorbit este extrem de mic. Determinarea tensiunii critice și implicit a intensității critice ale câmpului electric sunt greu de stabilit analitic. Relații empirice se pot stabili numai în condiții deosebite (electrozi perfect curați, natura gazului, umiditate etc.). Crescând tensiunea de alimentare a electrozilor, la un moment dat se trece de la descărcare neautonomă și instabilă, la o descărcare autonomă, iar curenții pot fi măsurați mai ușor pentru că vor avea valori mai mari. Electrocul va fi înconjurat de o luminescență violet - albăstruie și fenomenul este însoțit de un zgomot specific. Dacă se crește în continuare tensiunea, descărcarea va fi din ce în ce mai puternică, la fel și luminescența și la un moment dat apar strimeri<sup>1</sup> care vor conduce la o descărcare completă care este determinată de tensiunea și rezistența internă a sursei. Pe suprafața electrodului de emisie intensitatea câmpului electric se menține aproximativ constantă, indiferent de polaritatea electrodului de emisie, odată cu creșterea tensiunii de alimentare. În exteriorul electrodului intensitatea câmpului electric, diferă de la o alimentare la alta, pentru aceeași tensiune de alimentare [1, 2].

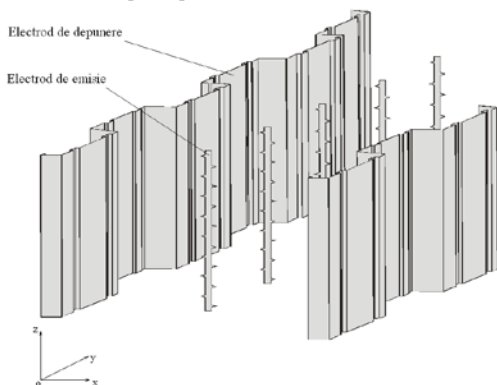


Fig.1

Zona dintr-un canal al electrofiltrului cu 5 electrozi de emisie (tip ISODYN B5) și două suprafețe colectoare (tip CSV)

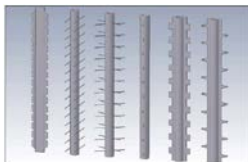


Fig. 2

Tipuri de electrozi de emisie care se utilizează în mod curent în câmpurile electrofiltrului

<sup>1</sup> **STRÍMER** s.n. Canal de gaz ionizat, care se formează în intervalul dintre doi electrozi sub tensiune. [*engl. streamer*].

În figura 1 se prezintă o zonă dintr-un canal al unui câmp (cu electrozi de emisie și electrozi de depunere), iar în figura 2 se prezintă diverse tipuri de electrozi de emisie care se utilizează în câmpurile electrofiltrelor [2].

## **2. Intensitatea câmpului electric între electrozii de emisie și cei de colectare**

Când are loc descărcarea Corona între electrozi, intensitatea medie a câmpului electric este de 1,5-3 kV/cm, iar curenții care apar sunt de 0,012-0,25 mA/m pe electrod de emisie. Mobilitatea moleculelor de gaz este de aproximativ  $2 \text{ cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$ . La alimentarea cu potențial negativ a electrozilor de emisie, ionii pozitivi din vecinătatea electrodului vor fi atrași de electrodul de emisie, iar electronii vor fi emiși de pe suprafața electrodului de emisie și se vor atașa particulelor de praf.

Prin atașarea electronilor la moleculele de gaz se formează ioni negativi. Electronii eliberați de pe electrodul de emisie produc numeroși ioni, care la rândul lor vor determina prin ionizare noi electroni. Odată cu creșterea distanței între electroni și electrodul de emisie, numărul electronilor scade datorită recombinațiilor. Atașarea electronilor de moleculele de gaz depinde de compoziția gazelor. Trebuie utilizați electrozi de emisie care să creeze intensitatea maximă a câmpului electric în vecinătatea electrodului de emisie (se pot obține 80-500 kV/cm) [3]. Vântul ionic are o importanță deosebită în transportul particulelor de praf (de ordinul micrometrilor). Aceste particule de praf sunt în număr cel mai mare și sunt dificil de colectat.

Electrofiltrele cu plăci, au la bază un principiu de funcționare relativ simplu. Particulele, care trebuie epurate din aer, sunt încărcate electrostatic și vor fi deplasate, de către forțele electrice, spre electrozii de colectare. După scuturarea electrozilor, praful este evacuat din electrofiltru. Încărcarea electrostatică are loc prin crearea unui câmp electric intens între două tipuri de electrozi aflați la potențiale diferite [4]. Intensitatea câmpului electric  $E$  dintre doi electrozi, între care se aplică tensiunea  $U$  se calculează cu:

$$E = \frac{U}{d} \quad (1)$$

în care  $d$  este distanța dintre electrozi.

Intensitatea câmpului electric nu este constantă între cei doi electrozi (de emisie și de colectare). Pentru a determina valoarea maximă a intensității câmpului electric  $E_{\text{max}}$ , trebuie făcută o analiză a

liniilor de câmp. Valoarea maximă a intensității câmpului electric se obține în preajma electrodului ascuțit (vârf).

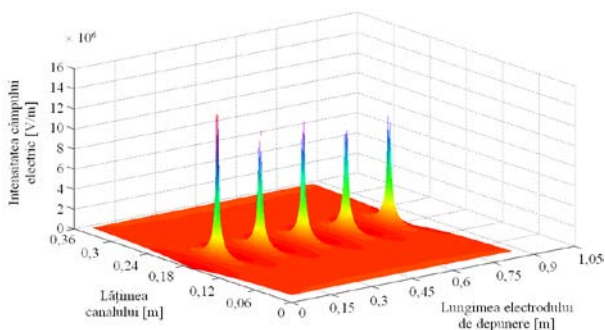


Fig. 3. Intensitatea câmpului electric în cazul unor electrozi de colectare plani (fără profile) și electrozi de emisie circulari cu diametrul de 3 mm, când  $U = 55 \text{ kV}$

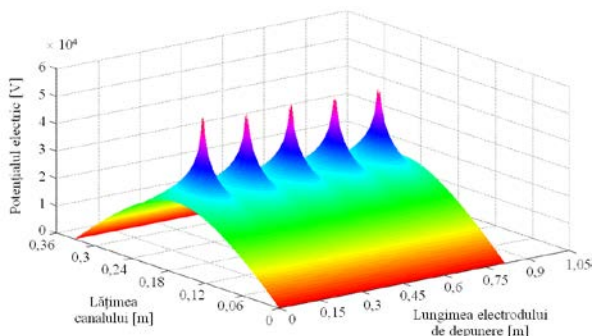


Fig. 4 Potentiajul electric în cazul unor electrozi de colectare plani (fără profile) și electrozi de emisie circulari cu diametrul de 3 mm, când  $U = 55 \text{ kV}$

Graficele din figurile 3 și 4 s-au realizat utilizând mediul de simulare Matlab, în condițiile respectării dimensiunilor la scară pentru un canal al unui câmp.

Valoarea medie a intensității câmpului electric se calculează cu:

$$E_{\text{med}} = \frac{U}{d} \quad (2)$$

Se poate defini factorul de eficiență  $\eta$  cu ajutorul celor două mărimi definite anterior.

$$\eta = \frac{E_{\text{med}}}{E_{\text{max}}} = \frac{U}{d \cdot E_{\text{max}}} \quad (3)$$

În sistemele complexe de electrozi,  $E_{\text{max}}$  poate fi în orice punct al electrozilor, nu neapărat pe electrodul ascuțit și la distanța cea mai

mică între electrozi. Pentru un câmp uniform, factorul de utilizare este 1 și ajunge la zero în zona electrodului plan (sau care poate fi considerat de rază infinită).

### 3. Calculul tensiunii de descărcare

Dacă descărcarea între electrozi este determinată numai de  $E_{\max}$ , atunci tensiunea de descărcare  $U_d$  se poate determina din (3) [5]:

$$U_d = \eta \cdot d \cdot E_{\max} \quad (4)$$

Datorită liniilor de câmp neuniforme din jurul electrozilor, se micșorează valoarea tensiunii de descărcare.

La temperatură și presiune normale, aerul este un bun izolator. Un conductor în aer, în câmpul electric al pământului, are o densitate de curent de  $10^{-16}$ - $10^{-17}$  A/cm<sup>2</sup>. Această valoare este corelată cu suprafața pământului, datorită câmpului electric natural. Acest curent rezultă din radiațiile cosmice și datorită substanțelor radioactive din pământ și din atmosferă. În câmpuri electrice intense, particulele încărcate pot să aibă suficientă energie între coliziuni, pentru a determina ionizări la impactul cu moleculele neutre din punct de vedere electric. Electronii pierd o parte din energie, la ciocnirile elastice, cu particulele, dar primesc repede această energie dacă se găsesc într-un câmp electric. Pe de altă parte, în timpul ciocnirilor plastice o mare parte din energia cinetică este transferată în energie potențială, cauzând ionizarea moleculelor. Ionizarea prin impact a electronilor în câmpuri electrice intense este cel mai important proces care conduce la descărcarea în gaze. Eficiența ionizării prin impact depinde de energia electronului de-a lungul drumului mediu al electronului în direcția liniilor de câmp. Tensiunea de descărcare  $U_d$ , se poate calcula analitic cu:

$$U_d = \frac{B \cdot p \cdot d}{\ln \frac{A \cdot p \cdot d}{\ln \left( 1 + \frac{1}{\gamma} \right)}} \quad (5)$$

Unde A și B sunt coeficienți, p este presiunea aerului, iar d este distanța între electrozi.  $\gamma$  este coeficientul Townsend.

Dacă se derivează (5) în raport cu p·d, și se egalează cu 0, se obține:

$$\frac{dU_d}{d(p \cdot d)} = \frac{B}{\ln \frac{A \cdot p \cdot d}{\ln \left(1 + \frac{1}{\gamma}\right)}} - \frac{B}{\left[ \ln \frac{A \cdot p \cdot d}{\ln \left(1 + \frac{1}{\gamma}\right)} \right]^2} = 0 \quad (6)$$

Din (6) se rezultă:

$$(p \cdot d)_{\min} = \frac{e}{A} \ln \left(1 + \frac{1}{\gamma}\right) \quad (7)$$

Dacă se înlocuiește (7) în (5) se obține:

$$U_{d\min} = 2,718 \frac{B}{A} \ln \left(1 + \frac{1}{\gamma}\right) \quad (8)$$

În practică, tensiunea de descărcare se poate calcula în funcție de produsul p·d.

În tabelul 1 se prezintă tensiunea de descărcare minimă în funcție de produsul între p și d (valoare minimă) pentru câteva tipuri de gaze [5].

Tabelul 1

Tipul gazului	$(p \cdot d)_{\min}$ [torr·cm]	$U_{d\min}$ [V]
Aer	0,55	352
Azot	0,65	240
Hidrogen	1,05	230
Oxigen	0,7	450
Haxaflorură de sulf	0,26	507
Dioxid de carbon	0,57	420
Neon	4,0	245
Helium	4,0	155

Tensiunea de descărcare  $U_d$  într-un câmp uniform, între doi electrozi, depinde de produsul între presiunea gazului și distanța între electrozi, pentru un gaz dat și un tip de material din care sunt realizați electrozii. Această dependență este cunoscută la legea lui Paschen (determinată experimental în 1899) [6]. Tensiunea  $U_d$  atinge un minim pentru o anumită valoare particulară p·d<sub>min</sub>. După această valoare minimă,  $U_d$  are o evoluție aproximativ liniar crescătoare odată cu termenii p·d. În principiu, dacă presiunea gazului sau/și distanța între electrozi crește, va crește și tensiunea de descărcare în gaz. Ca și observație, se poate specifica că pentru aceiași tensiune de descărcare  $U_d$  există două valori ale produsului p·d (exemplu, punctele N și W de pe graficul din figura 5).

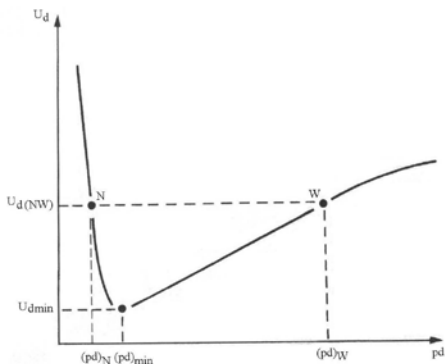
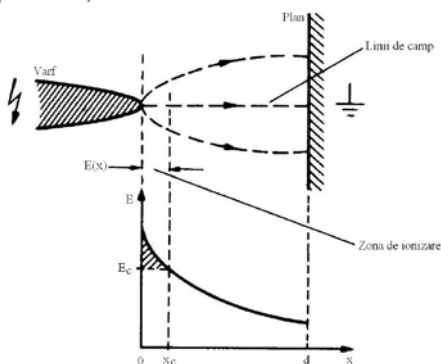


Fig. 5

Legea Paschen.  
Evoluția tensiunii de descărcare în funcție de produsul

Fig. 6  
Distribuția liniilor de câmp electrice într-un câmp neuniform p-d



În laboratoare este la îndemână să fie utilizate sisteme de descărcare electrostatice de tipul vârf-plan. Vârful se conectează la potențialul ridicat, iar conductorul plan la masă. În figura 6 se prezintă cazul sistemului vârf-plan, pentru alimentarea pozitivă a vârfului și distribuția (neliniară) intensității câmpului electric  $E$  în funcție de distanța  $d$  între electrozi.

#### 4. Concluzii

■ În practică există multe tipuri constructive de electrofiltre cu plăci. Intensitatea câmpului între electrozi se poate estima prin metode numerice, iar tensiunea de descărcare poate fi determinată și experimental în condițiile cunoașterii proprietăților gazului.

■ Pentru o anumită geometrie a electrozilor de emisie și de depunere din canalele câmpurilor, estimarea evoluției și amplitudinilor acestor mărimi în electrofiltre este importantă pentru a obține o eficiență de colectare maximă.

## BIBLIOGRAFIE

- [1] Popa, G.N. Abrudean, C., Deaconu, S.I. Popa, I., *A Case Study of ESP Electrical Characteristics from a Thermal Power Station*, the 2009 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, Houston, Texas, U.S.A., 4-8 octombrie, 2009, nr. IAS17p2, 6 pag.
- [2] Misckulnig, G., Bento, P., *Enhanced Corona Discharge using Innovative Rigid Discharge Electrodes*, the IX<sup>th</sup> International Conference on Electrostatic Precipitation (ICESP), Mpumalanga, Africa de Sud, 17-21 mai, 2004, 12 pag.
- [3] Parker, K.R. și colectiv, *Applied Electrostatic Precipitation*, Chapman and Hall, Londra, U.K., 1997.
- [4] Ammer, M., Woschitz, R., *Properties, Charging Processes and Depositions of Particles in Electrostatic Filtration Systems*, the X<sup>th</sup> International Conference on Electrostatic Precipitation (ICESP), Cairns, Queensland, Australia, iulie, 2006, nr. 9B2, 8 pag.
- [5] Kuffel, E., Zaengl, W.S. Kuffel, J., *High Voltage Engineering. Fundamentals*, Linacre House, Jordan Hill, Oxford, U.K., 2000.
- [6] Marquard, A., Meyer, J., Kasper, G., *Influence of Corona Quenching on Charging and Collection of Nanoparticles*, the IX<sup>th</sup> International Conference on Electrostatic Precipitation (ICESP), Mpumalanga, Africa de Sud, 17-21 mai, 2004, 11 pag.

**Notă:** Lucrarea a beneficiat de suport financiar prin proiectul “Dezvoltarea și susținerea de programe postdoctorale multidisciplinare în domeniul tehnice prioritare ale strategiei naționale de cercetare-dezvoltare-inovare” 4D-POSTDOC, cod contract: POSDRU/89/1.5/S/52603, proiect cofinanțat din Fondul Social European prin Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resuselor Umane 2007-2013.

Șef lucr. Dr. Ing. Gabriel Nicolae POPA  
membru AGIR, membru IEEE,  
cercetător postdoc, gabriel.popa@fih.upt.ro  
Șef lucr. ec. Dr. Ing. Corina Maria DINIȘ  
membru AGIR  
Conf. Dr. Ing. Sorin Ioan DEACONU  
membru AGIR, membru IEEE  
Conf. Dr. Ing. Iosif POPA  
membru AGIR

Universitatea „Politehnica” Timișoara, Facultatea de Inginerie Hunedoara